



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم الحواسيب والأتمتة

إدارة الموارد في النظم الحاسوبية الموزعة

أطروحة أعدت لنيل درجة الدكتوراه

بإختصاص هندسة الحواسيب وشبكاتها

إعداد

المهندسة سيرا أستور

الأستاذ الدكتور المهندس فيصل العباس

الدكتور المهندس جعفر الخير

المشرف الرئيسي

المشرف المشارك

العام الدراسي

٢٠١٢-٢٠١٣

لجنة الحكم

تألفت لجنة الحكم بقرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم/3407 /المتخذ بالجلسة رقم
25/ / تاريخ 9/2/ 2013، من السادة:

الدكتور المهندس فيصل العباس /مشرفاً/

الأستاذ في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة- كلية الهندسة
الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق

الدكتور المهندس محمد مازن المحاييري

الأستاذ المساعد في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة- كلية
الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق

الدكتور المهندس صلاح الدوه جي

الأستاذ المساعد في قسم الشبكات والنظم الحاسوبية- كلية
الهندسة المعلوماتية- جامعة دمشق

الدكتور المهندس مأمون يونس

المدرس في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة- كلية الهندسة
الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق

الدكتور المهندس خليل العجمي

الباحث الرئيسي في المعهد العالي للعلوم التطبيقية
والتكنولوجيا

فهرس المحتويات

الباب الأول

المقدمة والدراسة المرجعية

1	 المقدمة	1-1
1	 الحوسبة الموزعة واسعة النطاق	1-1
3	 التطبيقات في الأنظمة الموزعة واسعة النطاق	2-1
4	 الدوافع والأسباب	3-1
5	 أهداف البحث والمنهجية المستخدمة	4-1
7	 مساهمات الأطروحة	5-1
9	 تنظيم الأطروحة	6-1
10	 المقالات المنشورة	6-1
11	 إدارة الموارد "الشبكية"	2-2
11	 الحوسبة "الشبكية" والنفعية	1-2
12	 الحوسبة "الشبكية"	1-1-2
17	 الحوسبة النفعية	2-1-2
22	 إدارة الموارد الموزعة "الشبكية"	2-2
25	 تأمين ضمانات التنفيذ	3-2
27	 التفاوض	1-3-2
30	 حجز الموارد المسبق	2-3-2
34	 إدارة الحجز المسبق	3-3-2
35	 التعبئة الخلفية	4-3-2
36	 التخصيص المتعدد	4-2
38	 الجدولة "الشبكية"	5-2

39	 1-5-2 المجدولات المترقعة وسماصرة الموارد
41	 2-5-2 تراتبية المجدولات في "الشبكة"
43	 3-5-2 بارومتريات الجدولة الأساسية
45	 4-5-2 جدولة دفع العمل
48	 6-2 تموضع الأطروحة وإطارها العام
50	 3- الدراسة المرجعية
50	 1-3 النظام GARA
51	 2-3 النظام HARC
53	 3-3 النظام JSS
55	 4-3 النظام FlexCo
56	 5-3 النظام GridARM
58	 6-3 الأعمال المتعلقة الأخرى
58	 1-6-3 العمل المقدم من (Q. Snell et al)
59	 2-6-3 العمل المقدم من (T. Röblitz et al)
60	 3-6-3 العمل المقدم من (J. Schneider et al)
62	 4-6-3 العمل المقدم من (A. Sulistio et al)
62	 7-3 توليد مخططات الحجز المرن
63	 1-7-3 العمل المقدم من (H. Zhao et al)
64	 8-3 تأطير أبحاث الأطروحة
65	 9-3 ملخص الفصل

الباب الثاني

الحلول العملية المقترحة

67	 4- توليد مخطط الحجز المرن
69	 1-4 جدولة دفع الأعمال "الشبكي"

70	2-4 عرض المسألة
71	1-2-4 المجدولات المحلية للموارد.....
74	2-2-4 الحجز المسبق المرن
75	3-2-4 مقاييس الأداء
76	3-4 النماذج والتوصيفات الأساسية
76	1-3-4 نموذج تطبيقات تدفقات الأعمال
78	2-3-4 توصيف مسألة جدولة دفق لاحتفي موجّه
87	3-3-4 توصيف نموذج الحجز المسبق المرن
91	4-4 خوارزمية مخطط الحجز المسبق المرن لتدفقات الأعمال
92	1-4-4 خلفية
93	2-4-4 شرح الخوارزمية
99	5-4 خوارزميات جدولة دفق العمل "الشبكية" المستخدمة
99	1-5-4 خوارزمية زمن الإنهاء الأبعد غير المتجانسة
102	2-5-4 خوارزمية جدولة المهمات ذات الأداء الكفاء
105	3-5-4 خوارزمية المسار الحرج الديناميكي "للشبكة"
107	6-4 مثال تطبيقي
114	7-4 التقييم والنتائج
114	1-7-4 بناء المحاكاة
116	2-7-4 تحليل النتائج
127	8-4 ملخص الفصل
131	5- وكيل الحجز المسبق المتعدد المرن
132	1-5 عرض المشكلة
134	2-5 وكيل الحجز المتعدد المرن
135	1-2-5 عمل وكيل الحجز المتعدد المرن
140	3-5 تصميم المحاكاة
142	4-5 التقييم والنتائج

150	6-5 ملخص الفصل
152	6- المجداول المترفع ذو مفاوض الحجز
153	1-6 الأسباب والدوافع
156	2-6 البنية والنموذج المستخدم
157	1-2-6 طرفيات المستخدمين
157	2-2-6 المجداول المتعاون
160	3-2-6 مفاوض الحجز
160	4-2-6 المواقع "الشبكية"
162	3-6 التدفق التحكمي للمجدول المترفع (SERN)
163	4-6 التقييم والنتائج
172	5-6 ملخص الفصل
173	7- اختبار الخوارزمية (EWARP)
174	1-7 الخلفية
175	2-7 اختبار الخوارزمية (EWARP) من أجل $(Extra \geq 0)$
176	1-2-7 الإستراتيجية الأولى لتوزيع الإضافات الزمنية
178	2-2-7 الإستراتيجية الثانية لتوزيع الإضافات الزمنية
180	3-2-7 مقارنة أداء إستراتيجيتي توزيع الزمن الإضافي
	3-7 تقييم عمل إستراتيجيتي توزيع الزمن الإضافي في المجداول المترفع
182	(SERN)
182	1-3-7 تقييم عمل إستراتيجية التوزيع الثانية العملي
185	2-3-7 مقارنة أداء إستراتيجيتي التوزيع في المجداول المترفع (SERN)
187	4-7 اختبار تأثير عدد الموارد الأعظمي في استراتيجيات التوزيع
187	1-4-7 أداء الخوارزمية (EWARP) بحسب عدد الموارد المتوافرة
189	2-4-7 أداء المجداول المترفع (SERN) بحسب عدد الموارد المتوافرة
193	5-7 ملخص الفصل

الباب الثالث

الخلاصة والآفاق المستقبلية

195	 8- الخلاصة والآفاق المستقبلية
195	 8-1 الخلاصة
198	 8-2 الآفاق المستقبلية
201	 المراجع

فهرس الأشكال

17	الشكل (1-2): المعمارية الطبقية البرمجية "للشبكة"
42	الشكل (2-2): مكدرس مدرءاء الموارء في بنية النظام الموزع واسع النطاق
81	الشكل (1-4): مبيان (DAG) وبارومتراؤه الأساسية
83	الشكل (2-4): ءءولة مبيان (DAG)
85	الشكل (3-4): ءءصص مبيان (DAG)
88	الشكل (4-4): نموءء ءءز المسبق المرن
89	الشكل (5-4): نموءء ءءءء المءابقة المءلوبة في رءل المءءول المءلى
98	الشكل (6-4): ءوارزمية ءءطط ءءز المسبق المرن (EWARP)
101	الشكل (7-4): ءوارزمية زمن الإنهاء الأءكر ءئر المءءانسة (HEFT)
104	الشكل (8-4): ءوارزمية ءءولة المهماء ذات الأداء الكفاء (PETS)
107	الشكل (9-4): ءوارزمية المسار ءرج الءناملكى "للشبكة" (DCP-G)
109	الشكل (10-4): المءءول الناءء عن اسءءءام ءوارزمية (HEFT) لءفق أعمال
110	الشكل (11-4): مءطء ءءز القاسى الناءء عن ءطببق (HEFT)
111	الشكل (12-4): مءططاء ءاءء الناءءة عن ءطببق ءوارزمية الارتءاء و (EWARP)
112	الشكل (13-4): ءءاول ءءز المرن الناءءة عن ءوارزمية الارتءاء و (EWARP)
113	الشكل (14-4): نءاءء الءورة الأولى من ءوارزمية (EWARP)

- الشكل (4-15): النسبة المئوية للمرونة في كل من خوارزمية الارتخاء (EWARP) 117
- الشكل (4-16): نتائج تطبيق خوارزميتي (EWARP) و (Slack) على مجدولات الخوارزميات الثلاث (HEFT)، و (PETS)، و (DCP-G) 119
- الشكل (4-17): مقارنة نتائج تطبيق (EWARP) على مجدولات (HEFT) للبارومتر α ... 122
- الشكل (4-18): مقارنة الزمن الفائض المستخدم من قبل خوارزمية (EWARP) على كل من مجدولات خوارزميات الجدولة الثلاث (HEFT)، و (PETS)، و (DCP-G) 124
- الشكل (4-19): مقارنة عدد المهمات مع النسبة (CCR) للخوارزميات الثلاث (HEFT)، و (PETS)، و (DCP-G) 126
- الشكل (4-20): مقارنة تقاطع باروميتر الأداء قيد التحليل عند استخدام مجدولات خوارزميات التخصيص الثلاث (HEFT)، و (PETS)، و (DCP-G) 127
- الشكل (5-1): دورة حياة الاتفاقية والحجز المسبق في نظام إدارة "الشبكة" 136
- الشكل (5-2): مراحل عمل وكيل الحجز المتعدد المرن 138
- الشكل (5-3): أقسام المحاكاة المصممة باستخدام الأداة (GridSim) 141
- الشكل (5-4): تقييم عمل وكيل الحجز المتعدد المرن نسبة لعدد المهمات المعدلة 143
- الشكل (5-5): مقارنة أداء وكيل الحجز المتعدد المرن للخوارزميات الثلاث (HEFT)، و (PETS)، و (DCP-G) 145
- الشكل (5-6): نسبة المهمات المعدلة الناجحة عند استخدام وكيل الحجز المرن إلى نسب (CCR) من أجل عدد مهمات مختلفة 148
- الشكل (5-7): النسبة المئوية لعدد الحجوزات المعدلة والناجحة دون ومع استخدام وكيل الحجز المتعدد المرن نسبة لعدد المستخدمين المتزامنين الكلي في النظام ... 149
- الشكل (5-8): عدد المهمات المعدلة الناجحة عند استخدام وكيل الحجز المتعدد المرن مقارنة بقيم (CCR) مختلفة 150
- الشكل (6-1): مكونات الجدول المترفع (SERN) 158

161	الشكل (6-2): التفاعلات المتبادلة بين أجزاء المجدول المترفع (SERN) تخصيص على ثلاثة موارد
165	الشكل (6-3): التفاعلات المتبادلة بين أجزاء السمسار لمجدول تخصيص على ثلاثة موارد
167	الشكل (6-4): مقارنة أداء المجدولين (SERN) و (User Broker)
168	الشكل (6-5): قيم كل من زمن الاستجابة، ومعدل استخدام الموارد للمجدول المترفع (SERN)، ولقيم (CCR) المختلفة
169	الشكل (6-6): قيم طول المجدولات الاستثمارية الناتجة، وزمن الاستجابة للمجدول المترفع (SERN)، ولقيم (CCR) المختلفة
170	الشكل (6-7): نتائج مقارنة أداء سمسار المستخدم المركزي والمجدول المترفع (SERN) في البيئات عالية التنافسية
171	الشكل (6-8): معدل تزايد الفارق بين زمني الاستجابة لكل من سمار الموارد المركزي والمجدول المترفع (SERN) في البيئات التنافسية
177	الشكل (7-1): اختبار توزيع الإضافات الزمنية للخوارزمية (EWARP) ولمقاييس الأداء الثلاث بحسب إستراتيجية التوزيع الأولى
179	الشكل (7-2): نتائج الإستراتيجية الثانية لتوزيع الزمن الإضافي على خوارزميات التخصيص الثلاث ولبارومتري مقياس الأداء
181	الشكل (7-3): مقارنة أداء إستراتيجيتي توزيع الزمن الإضافي بالاعتماد على معيار التوزيع المتساوي للزمن بين كافة مهمات الدفع
183	الشكل (7-4): عدد تدفقات الأعمال غير الناجحة عند استخدام وعدم استخدام إستراتيجية التوزيع الثانية كدخل للمجدول المترفع (SERN)، ولقيم (CCR) مختلفة، وعند (Extra = 15%)
185	الشكل (7-5): عدد تدفقات الأعمال غير الناجحة عند استخدام وعدم استخدام إستراتيجية التوزيع الثانية كدخل للمجدول المترفع (SERN)، ولقيم (CCR) مختلفة، وعند (Extra = 50%)
186	الشكل (7-6): مقارنة إستراتيجيات توزيع الإضافات الزمنية عند استخدامها كدخل للمجدول المترفع (SERN)، وعند قيمة (CCR = 5.0)
188	الشكل (7-7): أداء إستراتيجية التوزيع الثانية للخوارزمية (EWARP) عند مضاعفة عدد الموارد

	الشكل (7-8): أداء المجدول المترفع (SERN) باستخدام إستراتيجية توزيع الزمن الإضافي
189	الثانية عند مضاعفة عدد الموارد المتوافرة في النظام
	الشكل (7-9): أداء المجدول المترفع (SERN) باستخدام إستراتيجية توزيع الزمن
191	الإضافي المعياري عند مضاعفة عدد الموارد المتوافرة في النظام
	الشكل (7-10): طول المجدولات الناتجة عن متوسط خوارزميات التخصيص الثلاث
	المستخدمة (HEFT)، و(PETS)، و(DCP-G) لكل من حالي عدد
192	الموارد

مصطلحات البحث

Acceptance Rate	معدل القبول
Advance Reservation – AR	الحجز المسبق
Agent	وكيل برمجي
Atomic	غير قابل للتجزئة
Backfilling	التعبئة الخلفية
Bag-of-Tasks	سلة المهامات
Broker	السمسار
Cloud	السحابة
Cloud Computing	الحوسبة السحابية
Cluster Computing	الحوسبة العنقودية
Co-Allocation	التحصيل المتعدد
Communication to Computation Rate – CCR	نسبة حجم الاتصال إلى حجم الحساب
Co-Reservation	الحجز المتعدد
Co-Scheduling	الجدولة المتعاونة
Deadline	القيد الزمني – الزمن الأقصى المطلوب
Direct Acyclic Graph – DAG	بيان للاحلقي موجه
Distributed Computing	الحوسبة الموزعة
Distributed Systems – DS	الأنظمة الموزعة
ECRA- Elastic Co-Reservation Agent	وكيل الحجز المتعدد المرن
Elastic Reservation	الحجز المرن
Elasticity Ratio	نسبة المرونة
EWARP - Elastic Workflow Advanced Reservation Planning Algorithm	خوارزمية تخطيط الحجز المسبق المرن لتدفقات الأعمال
First Fit Allocation – FF	التحصيل الملائم الأول
Genetic Algorithms	الخوارزميات الجينية

Global	عمومي
Spare Time	الوفر الزمني
Grid	«الشبكة»
Grid Information Service – GIS	خدمة معلومات "الشبكة"
Interdisciplinary	متداخلة الاختصاصات
Internet Computing	حوسبة الانترنت
Loosely Coupled	قليل للارتباط
Makespan	طول المجدول
Meta-Heuristics	الكسبيات المترفعة
Meta-Scheduler	المجدول المترفع
Middleware	البرمجيات الوسطى
Negotiation	التفاوض
Optimization	استمثال
Parallel Tasks	المهام المتوازية
Quality-of-Service – QoS	جودة الخدمة
Rejection Rate	معدل الرفض
Relaxed	استرخاء
Resource Management	إدارة الموارد
Resource Provisioning	تزويد الموارد
Response Time	زمن الاستجابة
Rigid Reservation	الحجز القاسي
SERN - Simplified Efficient Reservation Negotiator based Meta Scheduler Meta Scheduler	المجدول المترفع البسيط الكفاء المعتمد على مفاوضات الحجز
Service-Level Agreement - SLA	اتفاقية مستوى الخدمة
Slack	ارتخاء
Task Average Spare Time	الوفر الزمني الوسطي للمهام
Task Spare Time %	النسبة المئوية للضيقة الزمني للمهمة

Ubiquitous	كلي الوجود
Utility	نفعي
Utilization	معدل الاستخدام
Virtualization	تحقيق الافتراضية
Workflow Engine	محرك دفع العمل
Workflows	تدفقات الأعمال
Workloads	أحمال تشغيلية

الملخص

تعتبر تدفقات الأعمال "الشبكية" من أكثر أنواع التطبيقات شيوعاً في البيئات الموزعة واسعة النطاق. وتعتبر مسألة جدولتها وتخطيط تنفيذها من المسائل الملحة والمعقدة التي تتطلب تحكماً وتنسيقاً عالياً بسبب بنية دفق العمل التي تتضمن أسبقيات وترابط داخلي بين مهماته من جهة؛ ومواصفات البيئة التنفيذية الموزعة، المتمثلة بالترابط غير الوثيق بين مكوناتها، والتحكم الضئيل لإدارتها على موارد النظام من جهة أخرى.

تقدم هذه الأطروحة مجدولاً مترقياً جديداً (SERN) ذو بنية هجينة صمم خصيصاً لإدارة وتنفيذ تطبيقات تدفقات الأعمال المتطلبة لضوابط جودة الخدمة وذلك عبر الجدولة المتعاونة. يمكن هذا المجدول من تعظيم معدل قبول الأعمال في النظام، وتخفيض زمن استجابتها في نفس الوقت. كذلك يمكن هذا المجدول من تحسين استغلال الموارد على الرغم من استخدامه تقنية الحجز المسبق، لقدرة هذه التقنية على تأمين التخصيص المتعدد الذي تتطلبه هذه الأعمال، وتأمين تزويد الموارد وعند الطلب. يستخدم هذا المجدول (SERN) مخططات حجز مرنة تسمح لكل من إدارة موارد البيئة التنفيذية الموزعة، ومزودي الموارد من إيجاد خيارات بديلة تعظم من أهدافهما معاً. تولّد هذه المخططات عبر خوارزمية جديدة (EWARP) صمّمت على استغلال الفجوات الزمنية المتواجدة في مجلدات التخصيص الأولية. كذلك يستخدم هذا المجدول (SERN) وكيلاً جديداً للحجز المتعدد المرن (ECRA)، صمم خصيصاً لتأمين الحجوزات المتعددة، وبحسب ضوابط جودة الخدمة المطلوبة من قبل المستهلك.

بيّنت النتائج المقدمة تفوق أداء المجدول المقدم (SERN) على المجدولات المترقّة المركزية شائعة الاستخدام من أجل تنفيذ تطبيقات تدفقات الأعمال؛ وبالأخص في حالات التنافسية العالية على الموارد، وعبر تراحم عدد كبير من المستخدمين المتزامنين في النظام.

الكلمات المفتاحية: جدولة تدفقات الأعمال، الحجز المسبق المرن، الحجز المتعدد، الجدولة المتعاونة.

الباب الأول

المقدمة والدراسة

المرجعية

1 المقدمة Introduction

يشكل هذا الفصل مدخلاً عاماً عن المفاهيم الأساسية لموضوع هذه الأطروحة، ويشرح الدوافع والأسباب الموجبة لهذا العمل، أهداف هذا البحث والمنهجية المستخدمة فيه، ومن ثم يعرف المساهمات المقدمة في الأطروحة، وطريقة تنظيمها، ويقدم أخيراً المقالات المنشورة ضمن هذا البحث.

1-1 الحوسبة الموزعة واسعة النطاق

كان لظهور الويب في التسعينيات القرن الماضي بالغ الأثر في تسهيل وتمكين استخدام البنية التحتية الشبكية العالمية - الانترنت، وجعلها كلية الوجود (Ubiquitous)، وواسعة الانتشار، وقابلة للوصول والنفاذ من كل مكان في العالم، وبإمكانيات مادية متواضعة بالنسبة للمستخدمين. وعلى الرغم من هذا الانتشار الواسع، والإمكانيات الفيزيائية المتاحة، والتطور الكبير في البنية الحاسوبية وبنية شبكات الاتصال، استمرت متطلبات التطبيقات البرمجية بالازدياد، والتضخم، والتعقيد، وبالأخص تلك التطبيقات الناتجة عن تقارب وتعاون مجالات علمية كانت مستقلة سابقاً؛ مما ساهم في ظهور العلوم متداخلة الاختصاصات (Interdisciplinary) باللغة التعقيد، وهائلة الحجم، والتي تتطلب طاقة حساب وتخزين لا يمكن لمؤسسة واحدة أن تتحملها.

سمحت تقنيات ونماذج الحوسبة العنقودية (Cluster Computing) بتقديم حجم كبير من طاقة الحساب؛ ولكن يبقى عنقود الحواسيب جهازاً منفصلاً مخصصاً لمهمة معينة وغير قابل للتوسع والامتداد ما بين حدود المؤسسات المختلفة؛ مما يحد من حجم النظام الذي يراد له أن يكامل

الطاقات المجمعّة في أجزاء وأماكن متباعدة. هذا ما حدا بالعلماء والباحثين للتفكير بتجميع الطاقات الحاسوبية غير المستغلة للحواسيب التجارية العادية والمتوفرة بأعداد هائلة على شبكة الانترنت لتطويع هذه الطاقات الحاسوبية لصالح خدمة تطبيقات وتجارب علمية محددة.

استخدم مفهوم حوسبة الانترنت (Internet Computing) [1] بهدف تأمين طاقة حساب عالمية وبطريقة غير مركزية؛ وذلك عن طريق ربط ملايين الحواسيب المنتشرة عبر العالم والتي بمعظمها غير مستخدمة لفترات زمنية طويلة وتطويع دورات وحدات المعالجة المركزية غير المستخدمة (CPU Scavenging) لصالح تجارب علمية عديدة، كان من أولها المشروع المخصص لمراقبة النشاط الفضائي الخارجي (- Search for Extra Terrestrial Intelligence SETI@home) [2]. مع كل ذلك، تتخطى الحاجة الحقيقية للتطبيقات العلمية الحالية القدرات الحاسوبية الهائلة؛ فالعمليات والمسائل بالغة التعقيد تتطلب ربط المعطيات والموارد المتواجدة في عدة مواقع مع بعضها البعض لتقديم مخبر افتراضي عابر لحدود المؤسسات ولأماكن تواجدها الفعلية الجغرافية، وكذلك عابر لإمكانات كل مؤسسة على حد [3]؛ بالإضافة إلى الحاجة للحصول على إنتاجية مستقرة ومنخفضة الكلفة لهذه الطاقة الحاسوبية المجمعّة. من ناحية أخرى، وتمثالاً مع الانتشار الواسع لشبكة الطاقة الكهربائية للعالم بأكمله، وسهولة استئجار واستخدام هذه الطاقة من قبل المستخدمين النهائيين، ووثوقية هذا الاستئجار، بادر علماء الحاسوب لتصميم وتطوير بنية مماثلة لبنية شبكة الطاقة الكهربائية وسميت شبكة الطاقة الحاسوبية [4].

تعتمد الحوسبة الموزعة (Distributed Computing) على مجموعة من المكونات العتادية (Hardware)، والبرمجيات (Software) المتواجدة على شبكة حاسوبية، والتي تتفاعل مع بعضها البعض عبر بروتوكولات الاتصال. بدأت أنظمة الحساب الموزع واسع النطاق (Large Scaled Distributed Systems) تزداد أهمية في عام 1990، بسبب النمو الهائل للانترنت، وأهمية استخدام مواقع العناقيد المؤلفة من عدة مئات من الحواسيب، وظهور مفهوم الحوسبة "الشبكية" (Grid Computing). مؤخراً بدأ مفهوم الحوسبة السحابية (Cloud

(Computing) باستقطاب اهتمام مجتمعات الأعمال والبحوث من أجل تنفيذ الحسابات واسعة النطاق. يعتمد الحساب السحابي على الحوسبة النفعية (Utility Computing)، والتي تقدم موارد النظام كخدمات ذات كلفة مادية بحسب الاستخدام (Pay-as-you-Go).

تعد كل من "الشبكة" والسحابة على أنهما من الأنظمة الموزعة واسعة النطاق؛ لكن تحجز الموارد المقدمة للخدمات في السحابة لزمان غير محدد؛ وتقدم القدرة المطلوبة لاستخدامات متكررة للخدمة عبر استدعاءات خدمة الويب مثلاً. أما في "الشبكة" فالأعمال المستلمة تنفذ لمرة واحدة فقط، ومن ثم تعيد "الشبكة" النتائج إلى المستخدم. وعلى الرغم من التشابهات والنقاط المشتركة الكثيرة بين النظامين، تركّز التقنيات المطوّرة في هذه الأطروحة على البيئات "الشبكية". مع ذلك، يمكن موائمة الكثير من النتائج المقدمة هنا لاستخدامها في البيئات الموزعة الأخرى كالسحابة.

2-1 التطبيقات في الأنظمة الموزعة واسعة النطاق

يمكن تقسيم أنواع التطبيقات المنفّذة في البيئات الموزعة واسعة النطاق إلى ثلاثة أنواع رئيسية؛ التطبيقات الدفعية (Batch Applications)، أو (Bag of Tasks - BoT)، والتي تتألف من عدد من المهمات المستقلة بين بعضها البعض، والتطبيقات المتوازية التي تتألف من مجموعة من المهمات ولكن تتطلب زمن بداية تنفيذ موحد لهذه المهمات مثل تطبيقات واجهة الرسائل المتبادلة (Message Passing Interface - MPI)، وتطبيقات تدفقات الأعمال المكونة من مجموعة من المهمات المترابطة بين بعضها البعض وتتطلب ترتيباً محدداً لتنفيذ هذه المهمات.

معظم التطبيقات "الشبكية" في وقتنا الحالي هي من المسائل المعقّدة واسعة النطاق والتي تبنى من قبل تعاون مؤسساتي علمي للمجتمعات البحثية في مجالات متعددة مثل الفيزياء، والفلك، والتقانة الحيوية، وعلوم الزلازل وعلوم الاقتصاد وغيرها؛ وغالباً ما تتطلب هذه التطبيقات معالجة كميات ضخمة من البيانات ضمن خطوات متقطعة ومنفصلة. تتطلب هذه التطبيقات الضخمة بيانات مثل "الشبكة" من أجل إدارة ومعالجة مجموعات ضخمة من البيانات، وتنفيذ

محاكيات علمية، ومشاركة كل من موارد المعلومات والقدرات الحسابية. لم تعد تولّد وتطوّر مثل هذه التطبيقات كترميز موحّد أو كتطبيق برمجي واحد (Standalone Application)؛ ولكنها تطوّر لتكون مؤلفة من مجموعة من المكونات المتفاعلة مع بعضها البعض والتي تتطلب أن تتّخذ بطريقة منسقة، ومترابطة لتستطيع أن تنتج تنفيذاً ناجحاً لكامل التطبيق. لذلك يمكن النظر إلى هذه التطبيقات كتدفقات أعمال (Workflows) معقدة ومؤلفة من مجموعة من توابع التحويل المختلفة المطبقة على مجموعات البيانات الضخمة.

1-4 الدوافع والأسباب

يتكون دفق الأعمال من مجموعة من المهمات المترابطة مع بعضها البعض؛ بحيث قد يعتمد تنفيذ أحد مهماته على الدخل القادم من مهمة أخرى، أو يعتمد على تحقق مجموعة من الشروط. يمكن أن يضم دفق الأعمال تنفيذاً تسلسلياً في بعض أجزاءه، و/أو تنفيذاً متوازياً في الأجزاء الأخرى. هذا يتطلب أن تكون الموارد التي تتخذ دفق الأعمال متاحة بطريقة منسقة ومتعاونة ومتوازية.

وعلى الرغم من شيوع هذا النوع من التطبيقات وأهميته الكبيرة، ما زال التنفيذ الفعّال والكفاء والنشط لتدفقات الأعمال على البيئات "الشبكية" يشكّل هاجساً علمياً حتى الآن؛ فتعدّ تطبيقات الأعمال من أعقد أنواع التطبيقات المنفذة بسبب الأسبقيات المطلوبة، وبسبب ارتباطات المعطيات الداخلية بين المهام المشكّلة لها، وبسبب التوازي والتساوق المضمّن فيها؛ وهي بذلك تتطلب تحكماً عالياً بالجدولة والتنفيذ المنسق لمهام الدفق؛ وهذا ما يناقض استقلالية إدارات وسياسات الموارد والمواقع "الشبكية" المكونة "للشبكة".

تركز هذه الأطروحة على مسألة التخصيص المتعدد (Co-Allocation) لنموذج تطبيقات دفق الأعمال؛ وهو ما يسميه مجتمع "الشبكة" في العموم بجدولة دفق الأعمال (Workflow Scheduling). وتعد تقنية الحجز المسبق تقنية هامة لضمان متاحة الموارد بطريقة منسقة ومتوازية، مما يسمح بتنفيذ هذه التطبيقات الحرجة زمنياً. من جهة أخرى، تقدم بيئة "الشبكة"

مجموعة من الموارد غير المتجانسة لتنفيذ دفق الأعمال؛ أي أنها تقدم موارد ذات سرعات مختلفة ومتباينة، مما يجعل زمن التنفيذ الحقيقي الواقعي لمهام الدفق يحدد من خلال قدرات الموارد المتاحة للتنفيذ. هذا ما يعقد من مسألة تأمين الحجزات؛ لكون البيئة غير المتجانسة تؤثر على أزمدة بدايات المهام المترابطة وبالتالي تؤثر على زمن التنفيذ الكلي لدفق الأعمال. تزداد المسألة تعقيداً في حال طلب المستخدم لمستويات من جودة الخدمة (Quality of Service - QoS)؛ مثل الزمن الأقصى للتنفيذ (Deadline) أو الكلفة (Cost) في البيئات "الشبكية". على المجدول في هذه الحالة ليس فقط تأمين تنفيذ الدفق بطريقة متعاونة ومتوازنة بل استيفاء قيود جودة الخدمة المطلوبة كذلك.

معظم الخوارزميات المقدمة في مجال جدولة دفق الأعمال تعتمد على استمثال إما الزمن أو الكلفة أو كليهما. وعلى الرغم من أن هناك خوارزميات استمثال زمني ذات أداء متفوق في هذا الحقل، فإن عملية قبول تنفيذ الدفق في بيئات "الشبكة" يمكن أن تتطلب زمناً كبيراً لضمان الحجزات المتعاونة والمتوازنة لكافة عناصر الدفق؛ وتزداد المسألة تعقيداً في البيئات النفعية والتي تتضمن مستخدمين متعددين يتنافسون فيما بينهم على الموارد المتاحة. لذلك فإن تأمين قبول سريع (Fast Admission) لهذا النوع من التطبيقات في البيئات النفعية هو مسألة مهمة جداً.

5-1 أهداف البحث والمنهجية المستخدمة

يهدف هذا البحث إلى دراسة مسألة قبول تطبيقات دفق الأعمال ذات قيود جودة خدمة في بيئات نفعية تنافسية، واقتراح الحلول العملية لها. يعتمد البحث على استخدام تقنية الحجز المسبق لضمان التنفيذ المنسق والمتوازي، ويعتمد كذلك على تقديم مخططات حجز مرنة لتعظيم معدل الاستغلال في موارد "الشبكة" وتقليص زمن استجابة النظام. يقدم الجزء الأول خوارزمية جديدة (Elastic Workflow Advanced Reservation Planning Algorithm - EWARP) [5]، لإنتاج مخطط حجز مرن يعتمد على استغلال الفجوات الزمنية الموجودة في مجدولات

التحصيل. أما الجزء الثاني فيقدم خوارزمية حجز تستخدم مخططات الحجز المرنة وتعمل على إنتاج حجوزات بديلة في حال رفض مجدولات الموارد المحلية الحجز الأولي المطلوب؛ الهدف الأساسي لهذه الخوارزمية هو إنقاص معدل رفض (Rejection Rate) النظام للحجوزات الفردية لمهمات دفع الأعمال لتأمين قبول سريع لكامل الدفع. تستخدم الخوارزمية المقدمة وكيلاً للحجز المتعدد المرن (Elastic Co-Reservation Agent - ECRA) [6]، الذي يعمل على تأمين الحجوزات المنسقة المطلوبة على التوازي بين كل الموارد. يقدم الجزء الثالث تصميم بنیان جديد لمجدول مترفع يعتمد على نموذج هجين هو مزيج من النموذجين المركزي والموزع. يعمل المجدول المترفع ذو مفاوضات الحجز الكفاء المبسط (Simplified Efficient Reservation Negotiator Meta Scheduler - SERN) [7]، على استمثال زمن الاستجابة (Response Time) لتنفيذ دفع أعمال مقدم من قبل المستخدم. يعتمد البنیان المقدم على استخدام مجدول مترفع يعمل على تطبيق واستخدام كل من الجزئيين الأول والثاني من هذه الأطروحة. الجزء الرابع يقدم إعادة تحليل وتقييم للخوارزمية المقدمة في الجزء الأول وتقديم نسخة جديدة منها بعد تطبيقها في البيئات الموزعة واسعة النطاق "كالشبكة"، وباستخدام بنیان المجدول المترفع الجديد المقدم والمحقق في الفصل السادس.

منهجية البحث

تعتمد منهجية البحث المستخدمة في هذه الأطروحة على تشكيل دوافع وأهداف البحث بناءً على تحليل المسألة قيد المعالجة والمبيّنة في الفقرة (1-4)؛ وتعتمد على مسح واسع لمعظم الحلول الهندسية والتقنية المستخدمة في الأدبيات والأبحاث المنشورة المتعلقة بهذه المسألة، وتحليل الحلول الجزئية غير المتكاملة (إن وجدت) المقدمة فيها؛ وتبيان المسافة الفاصلة بين ما هو مقدم وما هو مطلوب في هذا البحث. ومن ثم تقدّم هذه الأطروحة الحلول العملية والكفاءة لمختلف جوانب المسألة المطروحة قيد المعالجة.

من أجل تقييم فعالية الحلول المقدمة في هذه الأطروحة نحتاج إلى سيناريوهات متعددة للبيئات الموزعة واسعة النطاق؛ والتي عليها أن تتميز بمرونة كافية لتعديل وتغيير البارامترات

الأساسية في البيئة التنفيذية قيد الاختبار. إن إنتاج تقييم للأداء بطريقة قابلة للتكرار وقابلة للتحكم مهمة صعبة بسبب البنية متغيرة الخواص "الشبكة"، واستقلالية مزودي الخدمة الخاضعين لسياسات إدارة متعددة ومختلفة، والديناميكية العالية لبيئة "الشبكة" وعناصرها. لهذا تعتمد النتائج المقدمة في هذه الأطروحة على المقارنة وعلى المحاكاة؛ تستخدم محاكاة الأنظمة "الشبكة" باستخدام نماذج لأحمال تشغيل (Workloads) عملية مستقاة من أنظمة "شبكة" حقيقية.

5-1 مساهمات الأطروحة

تقدم هذه الأطروحة مساهمات متعددة في مجالات جدولة تطبيقات تدفقات الأعمال، ومخططات الحجوزات المرنة، الحجز المتعدد، والبنى (المعماريات) الموزعة، والمجدولات المترفعة. يمكن تعداد مساهمات هذه الأطروحة الرئيسية بما يلي:

1- تقدم خوارزمية جديدة لإنتاج مخططات حجز مرنة لتدفقات الأعمال (EWARP) [5]:

- تستخدم الخوارزمية المقدمة مجدولات استمثالية معروفة ومجربة في مجال جدولة دفع العمل "الشبكي"؛ وهي بهذا تنتج مخططات استمثالية أيضاً.
- تؤمن الخوارزمية المقدمة المرونة بطريقة موزعة على مهمات الدفع؛ تتضمن هذه المرونة استرخاءً لكل من زمني بداية ونهاية مهمات الدفع.
- الخوارزمية مستقلة تماماً عن نوع وطبيعة خوارزميات الجدولة؛ ويمكن استخدام أي جدول معروف أو جديد كدخل لها.
- لا تستخدم الخوارزمية المقترحة زمناً إضافياً لإنتاج المخططات المرنة؛ بل تعمل على استغلال الفجوات الزمنية المتولدة ضمن مخططات التخصيص الناتجة، وغير المستخدمة فيها وتوزعها على مهمات الدفع. هذا ما يجعل الخوارزمية تحافظ على طول المجدول الناتج دون أي إطالة إضافية.

- تقدم تحليلاً معمقاً لعمل الخوارزمية باستخدام المحاكاة والمقارنة مع أفضل الخوارزميات المتواجدة في هذا المجال؛ ومن جهة أخرى، مقارنة نتائجها تبعاً لأنواع مجداولات الدخل التابعة لخوارزميات جدولة مختلفة.

2- تقدم وكيلاً للحجز المتعدد المرن (ECRA) [6]، في البيئات "الشبكية" ذات التنافسية العالية:

- يعمل الوكيل بطريقة مستقلة عن الطلبات المستلمة من المستخدمين، وعن مزودي الموارد في "الشبكة".
- يمكنه التعامل مع أية مخططات حجز مرنة؛ حيث يعمل على توليد بدائل طلبات حجز آتية في حال رفض مدراء الموارد الحجوزات الأولية، خلال عملية التفاوض على الطلبات وعلى ضوابط جودة الخدمة المطلوبة.
- يؤمن كافة الحجوزات المطلوبة لدفع العمل قبل بداية التنفيذ، مما يضمن قبول الدفع في النظام.
- يقدم تحليلاً لعمل الوكيل باستخدام المحاكاة، وشرحاً للنتائج من جهة نسبة نجاح حجز المهمات المرنة، والمعدلة، في نظام "شبكة" تنافسي بوجود أعداد مختلفة من الزبائن المترامين.

3- تقدم تصميمًا وتحقيقاً لمجدول مترفع يتمتع ببنية هجينة بسيطة وكفئة، والذي يعتمد على مفاوضات الحجز (SERN) [7]:

- البنية الهجينة هي بنية وسطية بين البنية المركزية والبنية اللامركزية (الموزعة) تعمل على تجميع مميزات كل منها، وتخفيض مساوئ كل منهما.
- يعتمد المجدول المترفع (SERN) على بنية مستقلة عن كل من طرفي النظام؛ المستخدمين ومزودي الموارد؛ مما يسمح له باستيفاء متطلبات كلا الطرفين، وتحقيق متطلبات النظام كتوازن الحمل والعدل في توزيع الطلبات فيه.

- يتضمن آلية حجز مسبق عبر التفاوض، ويستخدم مخططات حجز مرنة تمكّنه من توليد بدائل طلبات الحجز آنياً.
- البنية الهجينة المستخدمة في المجدول المترفع المقترح تؤمن قبولاً سريعاً لتطبيقات دفع الأعمال ذات التخصيص المتعدد، وفي نفس الوقت، تحسّن من استغلالية الموارد.
- يستخدم المجدول المترفع (SERN) نموذج التصميم بالحدث (Event-Based) والاتصال غير المتزامن (Asynchronous Interaction)، مما يجعله قابلاً للتوسع (Scalable)، وقادراً على التعامل مع عدد كبير من المستخدمين المتزامنين.
- يقدم تحليلاً لعمل المجدول المترفع ذو البنية الهجينة في بيئة "شبكية" نفعية عالية التنافسية عبر المحاكاة. وتقدم النتائج عبر مقارنات مختلفة لبارومتريات النظام ودفق العمل. كذلك توضح نسبة التحسين في زمن الاستجابة الكلي للتدفقات الأعمال ولمعدل الاستخدام في موارد النظام عبر المقارنة مع بنية مركزية صرفة.

6-1 تنظيم الأطروحة

تقسم الأطروحة إلى ثلاثة أبواب رئيسية؛ حيث يضم الباب الأول ثلاثة فصول وهي الفصل الأول المقدمة، والفصل الثاني إدارة الموارد "الشبكية" والذي يضم عموم التعاريف والمفاهيم الرئيسية المستخدمة في كامل الأطروحة، والفصل الثالث، الدراسة المرجعية الذي يتضمن الأعمال المتعلقة. يضم الباب الثاني أربعة فصول؛ هي الفصل الرابع وهو مخطط الحجز المرن الذي يقدم خوارزمية توليد مخططات الحجز المرن (EWARP) [5]، أما الفصل الخامس وهو وكيل الحجز المتعدد المرن الذي يقدم تصميماً وتحقيقاً لوكيل حجز متعدد يستخدم مخططات الحجز المرنة، والفصل السادس وهو المجدول المترفع الذي يقدم تصميماً وتحقيقاً للمجدول المترفع المسؤول عن الجدولة المتعددة والمنسقة لتدفقات الأعمال، والفصل السابع المتعلق باختبار أداء الخوارزمية (EWARP) على المجدول المترفع وعبر تغيير عدة بارومتريات ويقترح تحسينات مهمة لها. أما الباب الثالث فيضم الفصل الأخير وهو فصل الخلاصة والأعمال المستقبلية لهذه الأطروحة.

6-1 المقالات المنشورة

تم نشر عدة مقالات ضمن الأبحاث المقدمة في هذه الأطروحة وهي:

أولاً: خوارزمية مخطط الحجز المسبق المرن لتطبيقات تدفقات الأعمال (EWARP) [5]، والتي تم قبولها في مجلة جامعة دمشق بالقرار رقم /2292/، وتاريخ 2012/12/2. يعتمد الفصل الرابع جزئياً على هذه الورقة.

ثانياً: تحسين أداء تدفقات الأعمال ذات قيود جودة الخدمة باستخدام الحجز المسبق المتعدد المرن (ECRA) [6]، والتي تم قبولها في مجلة جامعة دمشق بالقرار رقم /580/، وتاريخ 2013/6/5. يعتمد الفصل الخامس جزئياً على هذه الورقة.

2 إدارة الموارد "الشبكية"

Grid Resource Management

يمكن اعتبار هذا الفصل أساساً لتقديم المفاهيم والتعاريف الرئيسية المستخدمة في كامل الأطروحة. يقدم القسم الأول مفهوم الحوسبة "الشبكية" والنوعية في الأنظمة واسعة النطاق، ويقدم القسم الثاني كافة المفاهيم الرئيسية المتعلقة بإدارة الموارد الموزعة ومتغيرة الخواص في "الشبكة"؛ أما القسم الثالث فيقدم أهم الآليات المستخدمة لتأمين الضمانات وقبوض التنفيذ المطلوبة، يعرف القسم الرابع التخصيص المتعدد والتقنيات المستخدمة لتحقيقه. يغطي القسم الخامس مفهوم الجدولة في الأنظمة واسعة النطاق وتراتبية المجدولات متعددة المستويات، ويحدد القسم السادس إطار البحث في الأطروحة وتموضعها.

2-1 الحوسبة "الشبكية" والنوعية

تعتبر "الشبكة" بيئة موزعة واسعة النطاق، وغير متجانسة، وعالية الديناميكية ومتعاونة، تتطلب تنسيق عال لاستخدام الموارد فيها؛ وتهدف إلى مكاملة موارد الحساب، والخزن، والمعلومات، والشبكات، والاتصالات المتواجدة فيها لتقديم منصة افتراضية لإدارة الحساب، والبيانات، والمعرفة.

يمكن اعتبار "الشبكة" بالحالة العامة على أنها نوع خاص من الأنظمة الموزعة ولكن مع بعض التمايزات. تجمع الأنظمة الموزعة بشكل عام مجموعة من الموارد الحسابية ضمن نظام واحد؛ ولكنها تخدم هدف تشكيل منظمة وحيدة (عالية التحكم ووثيقة الارتباط)، لذلك فإنها تتمتع بتحكم مركزي بالنظام. أما "الشبكة" وعلى الرغم من أنها أيضاً تجمع الموارد الحسابية ولكنها تجمعها

بطريقة قليلة الارتباط (Loosely Coupled) من ناحية التطبيقات المنفذة عليها، وكذلك من ناحية برمجياتها الوسطى (Middleware)، وإدارتها العامة للنظام؛ وبالتالي فهي لا تحتوي على تحكم مركزي، وتخدم مفهوم إنشاء تجمع من المنظمات المختلفة والمستقلة في بيئة واحدة. أما بالنسبة للمواصفات العامة، وعلى الرغم من أن الأنظمة الموزعة تتصف أيضاً بتغايرية الخواص في الموارد، ولكن ذلك بما يخدم مفهوم المنظمة الواحدة؛ أما في "الشبكة" فيتطور ويتوسع مفهوم عدم التجانس ليشمل الموارد غير المتجانسة ولكن التي تنتمي إلى منظمات ذات إدارات مستقلة ومجالات ثقة مختلفة. تعتمد التشاركية غالباً في الأنظمة الموزعة على نموذج المخدم-الزبون؛ أما في "الشبكة" فيمكن للتشاركية أن تضم كل أنواع الموارد من العتاد المادي، والبرمجيات، والمعلومات، والبيانات، والتطبيقات. هذا يتطلب من تكنولوجيا "الشبكة" أن تؤمن التشاركية بين عدد من المنظمات الافتراضية (Virtual Organizations - VOs) [3]، التي يتألف كل منها من عدد من المنظمات المستقلة المختلفة. إضافة إلى ذلك، تدعم "الشبكة" اكتشاف الموارد ومراقبتها على نطاق عمومي (Global)؛ وهذا النطاق المتسع من الدعم هو غير متوافر في الأنظمة الموزعة.

تختلف كذلك "الشبكة" عن أنظمة الند-لند (Peer-to-Peer) غير المركزية؛ تقدم الأخيرة خدمات معينة خاصة دون الاهتمام بنوعية وجودة هذه الخدمات، وليس لديها مفهوم الثقة الأساسي في بناء "الشبكة". كذلك فالنظامان يختلفان في أهدافهما الرئيسية، وكمية البيانات المتبادلة، والموارد المتشاركة بين المشاركين في كل منهما [8].

1-1-2 الحوسبة "الشبكية"

يعرّف الحساب "الشبكي" [3]، بأنه النظام الذي يمكن من مشاركة، واختيار، وتجميع خدمات موارد غير متجانسة ومتباعدة جغرافياً لعدد من المنظمات الخاضعة كل منها إلى مجالات إدارة، وثقة مستقلة ومختلفة. من هنا فإن المهمة الرئيسية لنظام الحساب الشبكي هي في ربط ومكاملة التقنيات والحلول المختلفة التي تمكن الزبائن من الوصول إلى متطلباتهم. يعتمد الوصول

والنفاذ المطلوب على توافر، ومقدرات أداء، وكلفة هذه الموارد، بالإضافة إلى متطلبات جودة الخدمات المطلوبة من قبل المستخدمين والزبائن.

يعرّف فوستر في [9] لائحة الحد الأدنى من المواصفات التي تسمح باعتبار النظام قيد التحقيق هو نظام "شبكة"؛ وتتضمن هذه اللائحة:

1- على "الشبكة" أن تنسق مواردنا بطريقة متعاونة، ويجب ألا تخضع لإدارة مركزية، ويمكن لها أن تكون مملوكة لمؤسسات وشركات مستقلة وفي ذات الوقت؛ أي عليها أن تتعامل مع مواضيع مثل السرية والأمان، السياسات المحلية المختلفة، آليات الدفع والتحصيل المالي، العضوية،

2- على "الشبكة" أن تستخدم بروتوكولات عامة الأهداف وتكون واجهاتها قياسية ومفتوحة. هذه البروتوكولات تعالج المواضيع الرئيسية مثل التصديق (التحقق من الهوية) (Authentication)، التصريح (التأكد من سماحيات الوصول) (Authorization)، اكتشاف الموارد، والنفاذ الموحد إلى هذه الموارد.

3- على "الشبكة" أن تقدم جودة خدمة غير بسيطة أو غير مهمة؛ أي عليها أن تلبي متطلبات المستخدمين المعقدة من زمن استجابة معين، إنتاجية محددة، توافر موارد مخصصة، سرية وأمان،

تقدم هذه اللائحة الفكرة الأساسية من "الشبكة"؛ وهي القدرة على التفاوض على جملة من الموارد المشتركة بين مجموعات مختلفة من الأطراف المشاركة في النظام من مستهلكين من جهة، ومن مزودين لهذه الموارد والخدمات من جهة أخرى.

لا تعني تشاركية الموارد هنا تبادل الملفات فقط، بل الوصول المباشر للحواسيب، والبرمجيات، والتطبيقات، والمعطيات، والموارد الأخرى الموجودة على "الشبكة". على هذا التشارك أن يكون متحكماً به بشكل عال، وعبر سياسات واضحة ومتفق عليها ما بين المستهلكين

والمزودين؛ مثل ما هي الموارد المشاركة، ومن له سماحية الاشتراك، والشروط التي تم على أساسها التشارك والنفاذ. وبناءً على توصيف "الشبكة"، يمكن تلخيص أهم المواصفات العامة، والتي تحدد مكوناتها الرئيسية كما يلي:

1- استقلالية المنظمات: تشمل "الشبكة" عدداً من المنظمات المستقلة والموزعة جغرافياً

ذات مجالات الإدارة والثقة الخاصة بكل منها. تتطلب استقلالية مالكي الموارد (Autonomy) من البرمجيات الوسيطة أن تؤمن تماهياً للإدارة العامة "للشبكة" مع سياسات الإدارة المحلية للمنظمات المستقلة والسماحيات المختلفة لهذا الاستخدام خلال استخدام مواردهم، بحيث يتم ضمان أن هذه القواعد والسماحيات المحلية لا تخرق.

2- عدم التجانسية: تتضمن "الشبكة" عدداً من الموارد التي هي بطبيعتها غير متجانسة

(Heterogeneity)؛ أي تستخدم تقنيات تكنولوجية واسعة التنوع والاختلاف، من البنية العتادية و المعماريات، إلى أنظمة وبيئات التشغيل.

3- الديناميكية والتكيفية: إن بيئة "الشبكة" هي ديناميكية في الأصل؛ فالموارد والمنظمات

يمكنها أن تتضم أو تترك "الشبكة" دون إشعار أو إعلام. كذلك، فإن انهيار الموارد في "الشبكة" هو حتمي ويشكل القاعدة وليس الاستثناء للنظام. في الواقع، وبوجود هذا العدد الكبير من الموارد في "الشبكة" فإن احتمال فشل بعضها هو عال نسبياً، لذلك على إدارة الموارد أن تكون قادرة على تكييف عملها واستخدام الموارد المتاحة والمتوافرة حالياً بشكل كفاء وفعال.

4- قابلية التوسع: يمكن "للشبكة" أن تنمو بحيث تصبح متضمنة عدة ملايين من الموارد

خلال الزمن. كذلك، وبسبب ديناميكيته، يمكن لها أن تكبر أو تصغر بحسب انضمام أو انسحاب الموارد منها. ويمكن أيضاً للتطبيقات العاملة عليها أن تزداد متطلباتها وحجم عملياتها من الحساب أو البيانات الناتجة والمتعاملة مع أجزاء هذا التطبيق خلال مدة التنفيذ. هذا ما يطرح مشكلة انخفاض وتدهور أداء النظام؛ بالتالي فإن التطبيقات

التي تتطلب عدداً كبيراً من الموارد الموزعة جغرافياً يجب أن تصمّم بحيث تكون قابلة لمواربة التأخير في زمن الاستجابة، وعرض نطاق الاتصالات غير المستقر. ويمكن توصيف آلية عمل "الشبكة" العام بالتسلسل التالي:

1- يقوم المستهلك بتقديم متطلباته عبر واجهات مرئية عامة، ويحدد مواصفات المستوى المترفع لهذه المتطلبات وليس التفاصيل التنفيذية الدقيقة؛ مثل نوع التطبيق المراد تنفيذه، نوع نظام التشغيل، الفترة الزمنية للاستجابة وقد يوفر أيضاً بيانات دخل التطبيق قيد التنفيذ.

2- على "الشبكة" أن تعثر على الموارد التي تلبي طلبات المستهلك، وتنتقي المناسب منها، وتخصصها له، ومن ثم تسلم المهام لهذه الموارد لبدء تنفيذ العمل عليها.

3- على "الشبكة" أن تراقب تنفيذ المهام البعيدة والمتناثرة التابعة لتطبيق المستهلك، وأن تهتم بأمور معالجة ومواربة الأخطاء التي يمكن أن تحدث خلال التنفيذ، والتي تتطلب تقنيات معالجة خاصة مثل تقنية المضاعفة (Replication)، و/أو إعادة الجدولة (Rescheduling).

4- على "الشبكة" أن تعيد النتائج المطلوبة، وأن تنبّه المستهلك لوصولها وتوافرها على نقطة الولوج الخاصة به بعد تنفيذ التطبيق بنجاح.

يعتبر تحقيق الافتراضية (Virtualization) أهم المفردات التي تعرّف مفهوم "الشبكة" في الحوسبة واسعة النطاق؛ ويعني تحقيق الافتراضية في "الشبكة" التكامل السلس والشفاف لأنظمة موزعة جغرافياً وغير متجانسة، وبحيث يقدّم نظام "الشبكة" الخدمات المطلوبة إلى المستخدمين بشفافية. وهنا لا نتكلم عن تقنيات تحقيق الافتراضية لنظام واحد كما كان الحال في الأنظمة الموزعة التقليدية، بل عبر نقل هذا المفهوم إلى مستوى مترفع آخر؛ تحتاج "الشبكة" لتحقيق الافتراضية على مواردها الحاسوبية المتناثرة جغرافياً وغير المتجانسة والمتنوعة، وبطريقة عابرة لكل السياسات المحلية لهذه المواقع.

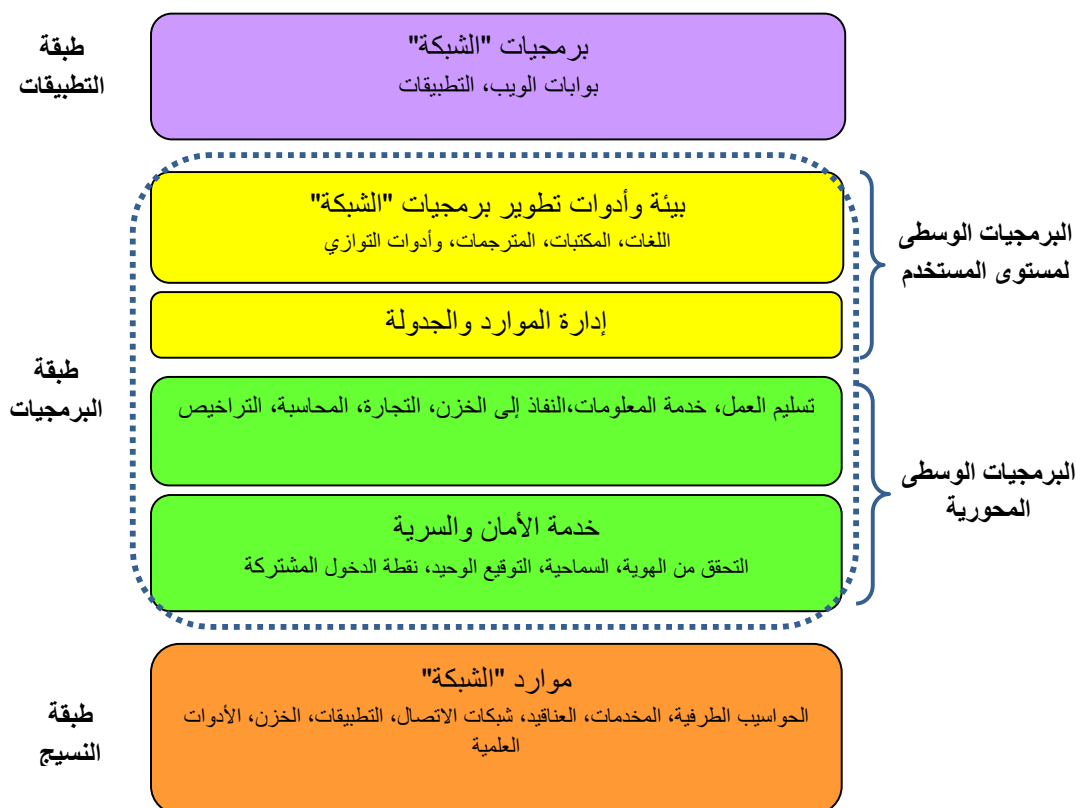
تعبّر الحوسبة "الشبكية" (Grid Computing) عن الحوسبة الممكنة عبر البرمجيات الوسطى "الشبكية" المعتمدة على تشاركية موارد مرنة، آمنة، ومتعاونة بين مجموعات من الموارد والمؤسسات والأفراد الديناميين. وهي تضم كل من الموارد المشكّلة بطريقة افتراضية، والمقدّمة كطرفية حاسوبية واحدة والبرمجيات، والتطبيقات التي تستخدم هذه البنية التحتية.

يمكن تحقيق بنية "الشبكة" على أساس بنية برمجية طبقية [10]؛ تتألف من ثلاث طبقات رئيسية وهي من الأعلى طبقة التطبيقات، طبقة البرمجيات الوسطى، وطبقة النسيج. يبيّن الشكل (2-1) البنية البرمجية "للشبكة".

- **طبقة التطبيقات "الشبكية":** تضم طبقة التطبيقات "الشبكية"، الواجهات البرمجية للتطبيقات "الشبكية" والمحققة من وجهة نظر المستخدم، وبوابات الويب.

- **طبقة البرمجيات الوسطى:** تتضمن طبقة البرمجيات الوسطى "الشبكية" واجهات برمجة التطبيقات (APIs)، والبروتوكولات، والبرمجيات التي تسمح باستخدام محدد "للشبكة". على هذه الطبقة أن تقدم قدرات "الشبكة" بطريقة سلسلة وعبر نفاذ موحد وتحمي مصالح مالكيها؛ وتقوم هذه الطبقة أساساً على إخفاء تفاصيل البنية الفيزيائية التحتية عن المستخدمين، مقدمة بذلك نفاذاً شفافاً لمجموعة كبيرة من الموارد المتنوعة والمتباعدة جغرافياً، وتيسّر تعاون المنظمات المختلفة المشاركة في النظام.

تقسم هذه الطبقة إلى قسمين: برمجيات مستوى المستخدم، والبرمجيات المحورية. كذلك تقسم طبقة البرمجيات الوسطى لمستوى المستخدم إلى جزئين رئيسيين؛ يضم الأول البيئات التطويرية للبرمجيات "الشبكية" وكافة البرمجيات المرتبطة بها من مترجمات ولغات ومكتبات، أما الجزء الثاني فيضم إدارة الموارد في "الشبكة"، وعمليات الاختيار، وتجميع الموارد، والجدولة عبر المجدولات المترفّعة أو سماسة الموارد المتواجدين في هذه الطبقة.



الشكل (1-2): المعمارية الطبقة البرمجية للشبكة

- **طبقة النسيج:** تضم الطبقة الأدنى (طبقة النسيج) كافة الموارد العتادية، والبرمجية، وشبكات الاتصالات المستخدمة في "الشبكة"، ويمكن لها أن تضم مواقع خاصة كمستودعات البيانات، ومواقع أدوات علمية الخاصة.

2-1-2 الحوسبة النفعية

يمكن تعريف "الشبكة" النفعية (Utility Grid) على أنها بنية تحتية "شبكية" تؤمن لطرفي "الشبكة" من زبائن ومزودي خدمات إمكانات التواصل والمشاركة بطريقة تحاكي السوق الاقتصادية الحرة. ويمكن تقسيم مراحل تطور الشبكة" عموماً إلى ثلاثة أجيال رئيسية [11]:

■ **الجيل الأول:** والذي بدأ منذ بداية التسعينيات وحتى منتصفها والذي يتميز بظهور الحساب الضخم (Meta Computing) أو بيئات عمل "الشبكة". كان الهدف من المشاريع المحققة في هذا الجيل هو تأمين الطاقة والموارد الحسابية للتطبيقات ذات الأداء العالي. من أهم هذه المشاريع في هذا الجيل هو مشروع (FAFNER) [12]، الذي أصبح أساس تطوير مشروع البحث عن النشاط الفضائي الخارجي (SETI@home) [2]، والتي تستخدم في أيامنا هذه طاقة حسابية من مستوى (Teraflops) عبر تجميع مئات الآلاف من الحواسيب المتواجدة على الانترنت. كذلك المشروع المنفذ من أجل حلّ التحديات المتواجدة في مجال التشفير والمسمى (Distributed.Net) [13]، الذي يعمل على فك وكسر عدد من خوارزميات التشفير المعتمدة عالمياً مثل (MD5) و (DES) وكذلك خوارزمية التشفير ذات المفتاح العام (RSA). يعتبر المشروع (I-WAY) [14]، هو الأساس لتطوير بيئات تشغيل "شبكة" والتي أصبحت الأساس المعياري في أيامنا هذه مثل (Globus) [15].

■ **الجيل الثاني:** ركّز هذا الجيل على كيفية تصميم وبناء "الشبكة" والخدمات الرئيسية لعملها؛ ولذلك كان هو جيل تطوير البرمجيات "الشبكة" الوسطى التي تسمح بدعم الطاقة الحسابية والمعطيات واسعة النطاق. قد تم في هذا الجيل ظهور البنية التحتية "الشبكات" القابلة لربط ليس فقط عدة أنظمة حاسوبية عالية القدرة ومراكز حسابية ضخمة، وإنما تم استغلال أحدث التقنيات الناشئة في مجال الشبكات الحاسوبية لتأمين شبكات عالية الاتصال، عالمية التوسع. وبدأ العمل أيضاً في هذا الجيل على تطوير معايير محددة خاصة "بالشبكة" وتبنيها. سمحت البنية التحتية الناشئة بالنظر إلى "الشبكة" على أنها بنية تحتية إلكترونية موزعة (e-Infrastructure) بالغة الأهمية على المستوى العالمي التي تدعم تطبيقات كثيفة الحساب و/أو كثيفة البيانات والمتنوعة.

من أهم تحديات هذا الجيل التي تطلبت حلولاً لها هي تباين الخواص أو عدم التجانس، وقابلية التوسع (Scalability)، والديناميكية (Dynamicity)، والتكيفية (Adaptability). استخدمت البرمجيات الوسطى من أجل إخفاء عدم التجانس في الموارد، ولتقديم بيئات متجانسة وسلسلة للمستخدمين والتطبيقات؛ وذلك عبر تقديم مجموعة من الواجهات

البرمجية المعيارية للخدمات المختلفة والمؤلفة لنظام "الشبكة". من أهم المشاريع التي مكّنت من انتقال مفهوم "الشبكة" من الحيز النظري إلى الحيز التطبيقي العملي كانت [15] (Globus)، و [16] (Legion)، ومشروع شبكة المعطيات الأوروبي (European UNIFORM Interface to Computer Resource – [17] (Grid Project Data)، و [18] (UNICORE).

■ **الجيل الثالث:** يمتاز هذا الجيل، وهو الجيل الحالي، بالانحياز وتبني ثلاثة مقاربات أساسية: المقاربة خدمية- التوجه المعتمدة على البنيان خدمي التوجه (Service Oriented Architecture – SOA). استخدم هذا البنيان لمعيرة وبناء "الشبكة" وخدماتها، وتمديد متطلبات إدارة الموارد من أنواع محددة (حسابية، شبكية، خزنه) إلى واجهات إدارة موارد عامة تتعامل مع كل أنواع الخدمات، واستخدام الخدمات المزودة (Provisioned) بدلاً من خدمات الجهد-الأفضل (Best-Effort). يعتمد التوجه الأخير على عاملين أساسيين هما الحاجة إلى دعم سلوكيات أكثر قابلية للتخمين بالأخص في حالة دفع الأعمال (Workflows)، وظهور الحوسبة أو الخدمة النفعية. وأصبح من الواضح أن التحديات الرئيسية في هذه المرحلة هي أتمتة عمليات "الشبكة"؛ فعلى سبيل المثال لم يعد مطلوباً من المستخدمين التفاعل والتعامل مع خاصيتي الاتساع وعدم التجانس، بل أصبحوا يستطيعون تفويض هذه الوظائف إلى عمليات أخرى عبر الاخطاط (Scripting)، والتي قادت إلى استقلالية (Autonomy) الأنظمة المكونة "للشبكة". وبنفس المفهوم الخدمي التوجه، تم تطوير خدمات "الشبكة" من أجل التعافي الأوتوماتيكي للأخطاء؛ وبالتالي لم تعد عمليات التهيئة (Configuration) وعمليات الإصلاح (Repair) تتم يدوياً.

تمكّن البنية التحتية للحوسبة "الشبكة" من تقديم القدرة على ربط الموارد الموزعة جغرافياً بعضها ببعض ديناميكياً لتؤلف مجعاً هائلاً للموارد، يسمح بدعم تنفيذ التطبيقات الموزعة واسعة النطاق والتي تتطلب كثافة عالية من الموارد؛ مثل تطبيقات العلوم، والهندسة، والتجارة. وهي بذلك تقدّم منصة تشاركية مشتركة تمكّن التطبيقات من أن تنفذ بطريقة مرنة وتسمح

باستغلال موارد عابر لحدود المؤسسات ومراكز البيانات. يمكن لهذه المنصة إن تدار بسهولة وتوسّع بطريقة ديناميكية باستخدام خدمات نفعية عند الطلب مقدمة من قبل صناعات مزودي الخدمات النفعية.

تقدم الحوسبة النفعية حلاً وخدمات هائلة لكل من مجتمع الأعمال والمجتمع الأكاديمي، وتعد إضافة كبيرة لمستخدمي تقانة المعلومات؛ ومن أهم مميزاتها هي تقليص كلفة تشغيل كافة عناصر تقانة المعلومات من المكونات المادية والبرمجية والبشرية، وهي تبسّط كذلك من تعقيدات عمليات التشغيل بشكل كبير. فيمكن لمراكز البحوث ومطوري الخدمات في مختلف المجالات من الصحة، وعلوم الحياة، الفلك، المناخ، والاقتصاد، تطوير البرمجيات والوسائط الرقمية دون أن تضخ استثماراتها وجهودها في بناء وتجهيز وصيانة البنية التحتية اللازمة لعمل ونقل وتبادل تقانة المعلومات. كذلك يمكن للحوسبة النفعية أن تكون ذات فائدة كبرى للمؤسسات الصغيرة والمتوسطة التي لا تملك رأس المال الكافي لبناء وتشغيل وصيانة هكذا بنى تحتية.

في "الشبكات" النفعية يحدد المستخدمون متطلبات تطبيقاتهم ويتنافسون للوصول والنفوذ إلى الموارد الأكثر فعالية والرخص البرمجية المتاحة في "الشبكة". هذا عادة ما يقود إلى تأخير غير ضروري في تنفيذ الأعمال، مما يؤدي إلى تخفيض استغلالية الموارد؛ لذلك تحتاج هذه "الشبكات" النفعية إلى آليات وحلول تمكّن من الإدارة الناجعة للموارد في النظام، ومن تخفيف التنافسية على الموارد ومن زيادة استغلالية الموارد.

ويمكن تلخيص الفروق الأساسية بين "الشبكات" المجتمعية البحثية و"الشبكات" النفعية بأن متاحة الموارد ومستويات جودة الخدمة تؤمن في "الشبكات" المجتمعية وفق نموذج الجهد-الأفضل بينما تؤمن المتاحية في النفعية بحسب الحجز المسبق، وتؤمن جودة الخدمة بحسب اتفاقيات جودة الخدمة (Service-Level Agreement - SLA). عادة ما تقدم "الشبكات" المجتمعية خدماتها دون أي تكلفة بينما تستعمل "الشبكات" النفعية عدة نماذج لتسعير خدماتها مثل مقدار الاستهلاك، مستوى جودة الخدمة المطلوب، أو بحسب العرض والطلب في الأسواق الحرة أو بحسب الطلب من المستهلكين.

من جهة أخرى، تشكل بيئات تنفيذ الأعمال غير القابلة للتخمين عائقاً مهماً لمنع انتشار نموذج البيئات الموزعة واسعة النطاق التي تقدم مستويات مهمة من جودة الخدمة؛ لأنها تتضمن خطر فشل الأعمال من التنفيذ في الوقت المحدد من قبل المستخدم. لذلك كان من المهم تطوير آليات تساعد في تحسين تخمينات النظام وضمان مستويات الخدمة من أهمها تزويد الموارد والحجز المسبق.

تزويد الموارد

يعرّف تزويد الموارد (Resource Provisioning)، أو اختصاراً التزويد (Provisioning)، بأنه عملية تقديم التخصيصات على الموارد المكتشفة والمختارة إلى الزبون، من أجل الاستعمال المخصص لها ولفترة زمنية محددة. يمكن للتزويد أن يتم سكونياً باستخدام الحجز المسبق، أو باستخدام آليات تخصيص ديناميكية. ويمكن أن يتم التزويد ديناميكياً باستخدام آليات تقدم نفاذ مؤقت إلى الموارد المحصنة من مواقع بعيدة من دون أن تتطلب هذه الآليات تنسيقاً إضافياً مع المجدول المحلي البعيد. أحد أمثلة التزويد الديناميكي هي الآلية المقدمة في (Condor Glidien [19])، والذي يقوم بتسليم العمل إلى موقع بعيد للتنفيذ. وعندما تبدأ هذه الأعمال بالتنفيذ على الموارد المحصنة تقوم الآلية (Condor Glidien) ببدء وإقلاع إجراءات تسمح بتسليم الأعمال إلى الموارد في الموقع البعيد متجاهلةً مجدول هذا الموقع البعيد. تنشئ هذه الآلية بالتالي بيئة تنفيذ مخصصة على الموارد البعيدة يتحكم بها مجدول محلي بالنسبة للمستخدم. من جهة أخرى، تتطلب هذه الآلية كلفة زمنية عالية لزمن الانتظار قبل أن يستطيع أن يبدأ بالتنفيذ.

أحد أهم القرارات المطلوب اتخاذها عند التزويد هو عدد الموارد التي يمكن تزويدها وفترة التزويد. يتعلق عادة زمن الانتظار للحصول على الموارد بعدد الموارد المطلوبة؛ وعلى الموارد المقدمة أن تكون كافية لتنفيذ التطبيقات المطلوبة حتى نهايتها. من الصعب استمثال أداء النظام عند التزويد الديناميكي أو عند الطلب اللحظي المباشر للموارد؛ لكون الأداء لا يتعلق فقط

بالحمل التشغيلي الحالي وسياسات الجدول فقط، بل أيضاً بالحمل المستقبلي الذي لا يمكن تخمينه بطريقة معقولة.

ويعرّف الحجز المسبق بناءً على مفهوم التزويد بأنه أحد أشكال التزويد ذات الأولوية عبر تخصيص الموارد في المستقبل، وضمان أن الموارد ستبقى متاحة خلال الفترة الزمنية المحجوزة، وأن الشروط والقواعد المتفق عليها خلال التفاوض ستبقى صالحة ولا تنتهك.

أسهم كل من المفهوم الخدمي التوجه، وآليات تزويد الموارد في ظهور الحوسبة النفعية (Utility Computing) [20]، التي تحدد كيفية تأمين متطلبات المستخدمين من الحوسبة "الشبكية" والتطبيقات بطريقة تحاكي سيناريوهات العالم الحقيقي في تزويد وتأمين الخدمات النفعية مثل الطاقة الكهربائية، والغاز، والمياه إلى المستخدمين لقاء تسديدهم مقابل مادي لمقدار استهلاكهم. وهي بذلك تحاكي نماذج الأعمال التي تعتمد على الدفع-مقابل-الاستهلاك (Pay-as-you-Go).

2-2 إدارة الموارد الموزعة "الشبكية"

تعتبر إدارة الموارد (Resource Management) العنصر الأساسي لعمل الأنظمة واسعة النطاق "كالشبكة" والسحابة؛ وتمثل البرمجيات التي تحقق آليات وسياسات إدارة الموارد قسماً كبيراً من البرمجيات الوسطى لهذه الأنظمة. يشير مصطلح "إدارة الموارد" إلى العمليات المستخدمة للتحكم بكيفية تأمين القدرات المقدمة من قبل موارد "الشبكة" وخدماتها للطرفيات الأخرى التي يمكن أن تكون مستهلكين، أو تطبيقات، أو خدمات أخرى. وبتعريف أكثر دقة، فإن إدارة الموارد لا تهتم بالوظيفة المركزية للمورد أو الخدمة (أي ما الذي تقوم به من أجل الزبون) ولكنها تهتم بالكيفية التي تنفذ فيها هذه الوظيفة؛ أي متى تبدأ الخدمة المطلوبة، أو كم تستغرق من الوقت حتى تنتهي. تتضمن الإدارة، أي التحكم بتأمين القدرات في "الشبكة"، عمليات تحديد موقع خدمة ما، وتدبير كيفية استخدامها، وكذلك مراقبة حالتها.

الموارد المتواجدة على "الشبكة" هي في غاية التنوع؛ لذلك فالمصطلح "مورد" هو تعبير عام جداً في "الشبكة"، ويشير إلى أكثر من الطرفية الفيزيائية كالحاسوب، أو جهاز خزن، أو شبكة اتصال؛ وهو عملياً يشير إلى أي مكون فيزيائي أو مادي يمكن الوصول إليه، أو استخدامه، أو مشاركته، عبر واجهات "شبكة" قياسية مثل (APIs) والبروتوكولات. ويستخدم هذا المصطلح ليشير إلى قدرة (Capability)، أو إلى خدمة (Service). هذا التعريف هو متوافق مع البنين خدمي التوجه (SOA)؛ ففي هذا المفهوم، كافة الموارد التقليدية أو الخدمات الافتراضية (مثل قاعدة بيانات، نقل معطيات، المحاكاة، ...) هي متوافقة بالطريقة التي تقدم فيها الخدمة على "الشبكة"، والتي مع ذلك تختلف بالوظيفة التي تقدمها إلى المستهلكين.

وتتكون الموارد بشكل عام في "الشبكة" من عدة أنواع؛ منها الموارد الحاسوبية وهي تتراوح من دورات وحدة معالجة مركزية، المعالجات، الحواسيب عالية القدرة والمخدمات، عنايقد الحواسيب المخصصة، وصولاً إلى أجهزة الحاسوب التجارية العادية؛ كذلك موارد الخزن التي يقصد بها أجهزة التخزين الثانوية لأجهزة الحاسوب، وقواعد البيانات، ومستودعات البيانات، وموارد البيانات (Data)، إضافة إلى البرمجيات والتطبيقات البرمجية؛ كذلك الموارد التي تقدم أجهزة علمية خاصة كالتلسكوبات الضخمة وشبكات الحساسات، التي تقدم بيانات ذات زمن حقيقي وتتطلب نقلاً مباشراً لمواقع حساب أو خزن متواجدة على "الشبكة".

يمكن تقسيم عمليات إدارة الموارد في "الشبكة" إلى الإجراءات الأساسية التالية: اكتشاف الموارد المتوفرة في "الشبكة"، ثم اختيار الموارد المناسبة للتنفيذ، ومفاوضة التخصيص، والجدولة، وتسليم الأعمال إلى الموارد، ومراقبة التنفيذ، وأخيراً إعادة النتائج إلى المستهلك. على هذه العمليات أن تتناسب داخل البنية التحتية الإلكترونية "للشبكة" (e-Infrastructure)، وتتطلب من وظائف الإدارة أن تكون قابلة للتوسع والامتداد، متعاونة قابلة للتطبيق العام على كافة المجالات، وعلى كافة أنواع الموارد والخدمات وبطريقة موحدة.

تم تحقيق العديد من مدراء الموارد من أجل بيئات حاسوبية موزعة في العقدتين الأخيرين؛ ويمكن تقسيم المقاربات المحققة في هذا المجال إلى نوعين رئيسيين [21]؛ الأول هو أنظمة الأرتال

الدفعية الشبكية (Networked Batch Queuing Systems)، وأنظمة الجدولة واسعة النطاق (Wide Area Scheduling Systems) للأنظمة الموزعة. يتضمن النوع الأول المجدولات الدفعية (Batch Schedulers)، ومحركات دفع العمل (Workflow Engines)، وأنظمة التشغيل. وهذه الأنظمة بمجملها هي محلية، ولديها تحكم كامل بالموارد، ولهذا يمكنها أن تحقق الآليات والسياسات التي تضمن استغلال عال الكفاءة للموارد. لكن معظم أنظمة الجدولة الدفعية تؤمن قابلية امتداد محدودة للسياسات؛ بمعنى أن سياسة إدارة الموارد هي محددة إما من قبل النظام أو مدير النظام، وذلك عبر إنشاء سياسات الجدولة أو الأرتال الدفعية، ولكن قابلية تحديد السياسة هي غير متوفرة للمستخدم النهائي، والذي عملياً لديه قدرة تحكم ضئيلة جداً على كيفية تفسير نظام الجدولة الدفعي لمتطلباته من الموارد. كذلك فإن هذه الأنظمة لديها قدرات محدودة من التحصيل الديناميكي (على الخط)؛ حيث أنها لا تقدم قدرات مفاوضة على الضوابط التي يطلبها المستخدم لتنفيذ تطبيقه، من زمن إكمال المهمة المطلوب أو معايير أداء أخرى.

أما في "الشبكة" فالموارد المتوافرة قد لا تؤمن تماماً ما يحتاجه المستهلك من ناحية الموارد الفيزيائية، أو من ناحية الزمن المطلوب؛ مع أنه من المهم التنبيه إلى أن "الشبكة" قد تقدم موارد متوافرة تؤمن للمستهلك حلاً ونسب أداء أعلى مما يطلبه وليس بالضرورة لا ترتقي إلى مستوى متطلباته. لذلك فإدارة الموارد على "الشبكة" وبالأخص النفعية تحتاج لقدرات مفاوضة، استعلام عن واجهات الترابط المتوافرة، قدرة تحكم بالاعتماد فقط على المعلومات المتوافرة، وقدرات للتحصيل المتعدد/المتعاون. لا تقدم أنظمة الأرتال الدفعية التقليدية كافة هذه القدرات، مع أنها تقدم بعض الحلول التي يمكن أن تستخدم على نطاق واسع مثل آليات تحديد موقع مورد، التحكم الموزع للعملية، النفاذ البعيد للملفات.

من جهة أخرى من أهم أنظمة الجدولة واسعة النطاق المستخدمة هي النظام (Condor) [22]، الذي هو نظام حساب عالي الإنتاجية (High Throughput Computing – HTC)، والنظام غرضي التوجه القابل للامتداد (Legion) [16]. حققت الإصدارات الأولى من هذه الأنظمة، والمخصصة للأنظمة الموزعة، حلاً لبعض من تحديات تصميم "الشبكة" ولكن لم يكن يوجد في

تلك المرحلة نظام يحقق كافة المتطلبات ويقدم الحلول لكل التحديات، ولكنها شكّلت النويّة لتطوير نظم إدارة "شبكية" خلال إصداراتها التالية؛ فمثلاً تم تطوير الإصدار (Condor-G) [58]، من النظام (Condor) الخاص ببيئة "الشبكة"، وكذلك تم تطوير النظام (Legion) إلى (AVAKI) [59]، من أجل العمل في البيئة "الشبكية".

3-2 تأمين ضمانات التنفيذ

يعدّ تقديم مستوى خدمة جيد ومضمون من أهم مواصفات "الشبكة" عموماً، وبالأخص النفعية منها؛ ولكن تواجه عملية الحصول على ضمانات لبارومترات جودة الخدمة المطلوبة مشكلتين رئيسيتين؛ استقلالية إدارات الموارد المختلفة والتي تعني نقص التحكم بهذه الموارد، ونقص المعلومات العامة عن الحالة الآنية للنظام، وعدم القدرة على متابعة متاحة الموارد الآنية. "الشبكة" بمستواها المترفع، لها قدرة تحكم محدودة على الموارد المحلية المدارة من قبل الأنظمة المحلية المختلفة، أما الديناميكية العالية لها، فتجعل من إمكانية تجميع المعلومات اللازمة عن كافة احتمالات المجدولات الممكنة، وقدرة الإتاحة المستقبلية، وحجم الطلب المتوقع على الموارد غير عملي.

تستخدم حالياً في "الشبكة" عدة طرق لتأمين ضمانات تنفيذ (Execution Guarantees) الأعمال على الموارد المختارة؛ إما عبر تأمينها من قبل المجدول المترفع، أو من قبل المجدول المحلي.

1- تأمين الضمانات من قبل المجدول المترفع:

تؤمّن عناصر الجدولة المترفعة الضمانات عبر الجدولة المركزية، أو الجدولة بالاعتماد على الجهد الأفضل، أو الأولوية، أو الحجز المسبق.

- عبر الجدولة المركزية: يمكن لمجدول مركزي أن يقوم بتخديم كافة الطلبات في النظام والمحافظة على لائحة تخصيص عامة؛ وبالتالي يستطيع معرفة المعلومات

العامة في النظام. لكن تخالف هذه الطريقة قواعد استقلالية مجالات الإدارة المختلفة في النظام، وتشكل عقدة رئيسية لإمكانية التوسع فيه.

- **عبر الجدولة بناءً على الجهد الأفضل:** بمعنى أن يقوم مجدول التطبيق، أو سمسار التطبيق (المستخدم) (User Broker)، بتقديم عدداً من الفعاليات الجزئية لتنفيذها على الموارد المتوفرة، ولكن المجدول المحلي هو من يقرر أين يمكن لهذه الفعاليات أن تنفذ، ويمكن لمجدول التطبيق استخدام آليات تخمين، أو مضاعفة المهمات من أجل تحسين مستوى الخدمة. تعاني هذه الطريقة من نقص المعلومات العامة - أي أن جودة الخدمة يمكن أن تتحقق فقط من خلال جهد فائض كبير هذا إذا ما تحققت أصلاً.

- **عبر الجدولة بناءً على الأولوية:** يمكن أن يتعاون كل من مجدول التطبيق ونظام الإدارة المحلي عبر دعم أولويات الأعمال، وعبر التنفيذ الشفيعي لها؛ فتوقف الأعمال ذات الأولويات المنخفضة لصالح تنفيذ أعمال ذات أولويات أعلى. تقدم هذه الطريقة مفاضلة بين مستوى الاستقلالية مع مستوى الضمان المطلوب.

- **عبر الحجز المسبق:** أما في حالة استخدام آلية الحجز المسبق (Advance Reservation - AR)، يقوم مجدول التطبيق بحجز قدرات كافية للموارد المحددة مسبقاً؛ وفي هذه الحالة يضمن المجدول المحلي استقلالية موارده، ولكنه يقبل بقرارات مجدول التطبيق ويلتزم بتنفيذها عبر عدة آليات مثل اتفاقيات مستوى الخدمة (SLAs).

2- تأمين الضمانات من قبل المجدول المحلي:

يمكن لمدير الموارد المحلية أن يقوم بالتفاوض الثنائي من أجل التنفيذ الفعّال للتطبيقات الموزعة وموقع شبكي، وعلى الرغم من أن هذه الآلية تقدم حلاً ولكنها تحتاج إلى تغييرات كبيرة في آليات جدولة أنظمة الإدارة المحلية.

2-3-1 التفاوض

لا تكون في كثير من الأحيان متطلبات الطرفين الرئيسيين المشاركين في بيئة "الشبكة"، من المستهلكين ومزودي الخدمات، متوافقة بل متعارضة. هذا ما يتطلب آلية لطرح اتفاقيات أو عقود يتم التفاوض عليها بين الأطراف الرئيسية قبل إقرارها، يتم فيها تحديد عدد من البارومترات؛ منها مثلاً نوع الخدمة المقدمة، ومستوى الخدمة وجودتها، والكلفة المقابلة والمعايير الأخرى الخاصة بالأداء، ونوع البنية التحتية والمنصات الحاسوبية المستخدمة، أو طلب بعض المقيدات الزمنية للمهمات ذات الزمن الحقيقي.

تعد الطريقة الأكثر شيوعاً لحل مسألة التفاوض بين المتطلبات المتنافسة هي عبر التفاوض (Negotiation) على اتفاق مستوى الخدمة (SLA)؛ حيث يتم فيه التعاقد ما بين مزود الخدمة والمستهلك لتقديم قدرة خدمة معينة قابلة للقياس أو إتمام مهمة ما. وتعرف اتفاقيات مستوى الخدمة على أنها عقد قانوني يلزم الأطراف الموقعة عليه، وتعرف بنود هذا العقد مستوى الخدمة المتوقع والمتفق عليه. يقوم اتفاق مستوى الخدمة بالتصريح للأطراف المتعاقدة عن بنود وتفاصيل هذا الاتفاق، ويقدم تجزئاً بسيطاً للمورد الموجود على "الشبكة". لقد مكن انتقال بنية "الشبكة" إلى البنية الموجهة بالخدمات (SOA) والارتباط غير الوثيق لمركبات "الشبكة"، من تبني اتفاقيات مستوى الخدمة (SLA) كميّار لكيفية تخصيص الأعمال في "الشبكة" وتمكين التنسيق والتعاون فيها؛ وهو أخيراً عقد الكتروني الذي من المتوقع التفاوض عليه بطريقة آلية من قبل عدة عمليات، وعليه لذلك أن يكون مفهوماً وقابلًا للتفسير من قبلها.

تصبح السياسة المحلية الخاصة بمزود الخدمة، والاستخدام غير الشبكي للمورد، وتفاصيل معلومات تهيئة المورد والمعلومات الاختصاصية الأخرى، غير ذات أهمية عندما يعرف المورد الذي لديه الرغبة في التفاوض باتفاق مستوى الخدمة. تسمح اتفاقية مستوى الخدمة للمستهلكين بفهم ما عليهم أن يتوقعونه من الخدمة، وبدون طلب التفاصيل الخاصة بحمولات الحساب أو السياسات المحلية للموارد. يبقى هذا المفهوم قائماً سواء كانت الموارد فيزيائية، منطقية (برمجية)، بيانات أو أجهزة خاصة. وبما أنه يمكن للموارد قيد التفاوض أن تنتمي إلى عدة

منظمات ومزودي موارد مختلفين؛ فإن تأسيس اتفاق مستوى خدمة وحيد عبر كل الموارد هو غير ممكن. يمكن حل هذه المسألة بتقسيم المشكلة إلى عناصر ومكونات جزئية، ومن ثم الاعتماد على تركيب هذه المركبات تدريجياً للوصول إلى الاتفاق النهائي المرغوب [23].

ويمكن لاتفاقية واحدة بين الزبون والسّمسار في "الشبكة" أن تترجم إلى عدة اتفاقيات مستوى خدمة بين السّمسار ومزودي الخدمات؛ وخاصة إذا كان التطبيق المطلوب تنفيذه هو تدفق أعمال. يحدد الزبون قيود وضوابط الخدمة على كامل الدفع، وعلى السّمسار أن يترجم هذه الضوابط إلى ضوابط جزئية خاصة بكل مهمة؛ لذلك يمكن تسميتهم ب (Meta SLAs) و (Sub SLAs).

إن استخدام جدولة الأعمال المترفّعة المتعاونة مثل تطبيقات تدفقات الأعمال والمعتمدة على اتفاقيات مستوى الخدمة يقدم عدة مميزات:

1- تمنع الجدول المترفّع من تسلّم عدد غير محدود من الأعمال إلى المجدولات المحلية للموارد.

2- عندما يتم التوصل إلى اتفاق مستوى خدمة يكون الزبائن متأكدون من أن جودة لخدمة المطلوبة سوف تسلم لهم من النظام.

3- يخفّض زمن الانتظار في الأرتال وكذلك زمن المعالجة في المجدولات المحلية بشكل كبير؛ مما يؤدي إلى جودة خدمات (QoS) أفضل، ويمكن تطبيق نظام جزائي معين للتعويض على الزبائن في حالة مخالفة العقد.

4- يعطي المجدولات المحلية استقلالية أعلى وتحكم أكبر بقرارات التخصيص.

ويعرّف التفاوض بأنه نوع من اتخاذ القرار بوجود وسيطين فاعلين على الأقل لا يمكن لهما أخذ القرارات بشكل مستقل؛ أو بمعنى آخر، لا يمكن لهما تحقيق أهدافهما بطريقة أحادية الجانب

(Uni-laterally) وذلك يلجأون إلى وسيط للتوصل إلى تسوية أو اتفاق. ويهدف التفاوض للوصول إلى تخصيص أو إلى حجز مسبق يمثل باتفاقية أو عقد بين الطرفين.

عملياً التفاوض في الأنظمة الموزعة هو عملية تفاعل بين إدارة موارد "الشبكة" مع المستهلكين، للتأثير على عملية التخصيص أما لتحسين اختيار الموارد بحسب الطلبات من زمن وميزانية وطلبات أخرى، أو/ لتحقيق نسبة استخدام أفضل للموارد. ويشمل التفاوض عملية حل النزاعات إذا ما وجدت بين التطبيقات المتنافسة، ومن ثم الاتفاق أو المساومة على قدرات منفردة أو مجتمعة والتي تؤمن خدمات ذات جودة أفضل. وعليه، يمكن النظر إلى المفاوضة على أنها عملية تنتج خيارات متعددة ولنفس المهمة أي تنتج عروضاً بديلة لنفس الطلب. حيث يمكن لعرض مؤد من قبل مدير التخصيص في إدارة موارد "الشبكة" أن يتم قبوله، أو رفضه، أو تعديله لتكرار التفاوض من قبل بادئ عملية التفاوض.

تعتبر المفاوضة ضرورية في التحقيقات الحالية والمستقبلية للأنظمة الموزعة واسعة النطاق للأسباب التالية:

- 1- الحاجة لوجود عقود والتزامات من أجل تقديم الخدمات والموارد.
- 2- الحاجة لحل الخلافات والتناقضات بين طرفي الخدمة من الزبائن ومزودو الخدمات.
- 3- يمكن لمزود الخدمات عبر التفاوض تعظيم عوائدهم الربحية والاستثمارية، ويتمكن الزبائن من تخفيض السعر المقدم لاستخدام موارد "الشبكة"، وذلك عبر استخدام كل من الطرفين التوابع النفعية التي يريدون تعظيمها عبر التفاوض التنافسي.

من المهم ملاحظة أن عملية/بروتوكولات التفاوض تتضمن عدداً ليس بقليل من عمليات الاتصال والتفاعل وصولاً إلى اتفاق نهائي مبرم. وهذا يزيد من زمن توليد التخصيص النهائي للوصول إلى اتفاق نهائي يرضي الطرفين. يمكن أن تقدم خيارات أخرى مثل توليد خيارات ذكية بديلة، حيث يقدم العرض البديل في حالة عدم قبول المستهلك للعرض الأساسي؛ أو يحدد عدد العروض البديلة المقدمة. قد لا توفر هذه الطرق الحل الأمثل؛ ولكن يمكن لها أن توفر

طريقة سريعة، ونشطة (Robust)، وآلية، لإبرام اتفاقيات متعددة وتضبط بشكل جيد زمن التفاوض الكلي.

تشير عملية التفاوض في "الشبكة" إلى كيفية التفاوض بين المزود والمستهلك، والسياق الذي يتم فيه التفاوض، الأطراف المشاركة في التفاوض، العلاقات بين هذه الأطراف، والاتصالات بين الأطراف المختلفة، والتكتيكات المستخدمة من قبل الأطراف للاتفاق على بنود وشروط العقد قيد التداول، بالإضافة إلى تسلسل المراحل المطبقة للوصول إلى الاتفاق النهائي.

على إدارة الموارد المعتمدة على اتفاقيات مستوى الخدمة، أن تكون مستقلة عن الخدمة التي تديرها؛ يقدم المرجع [24] بروتوكول مستخدم في التفاوض على اتفاقيات مستوى الخدمة وهو (Service Negotiation and Acquisition Protocol - SNAP) الذي يعرف كيفية تقديم وظائف إدارة موارد "الشبكة"، ويهدف إلى إدارة النفاذ واستخدام الموارد الحسابية الموزعة بطريقة تعاونية وعبر استخدام أدوات اتفاقيات مستوى الخدمة (SLAs). إضافة إلى ذلك، على إدارة اتفاقيات مستوى الخدمة أن تقدم خدمات للتحكم بإجرائية خرق الاتفاقيات التي تم معالجتها جزئياً في الأطر الهيكلية النظرية مثل (WS-Agreement) [25]، و (WSLA) [26].

2-3-2 حجز الموارد المسبق

تعتمد معظم البيئات "الشبكية" عند تحقيق الإدارة المحلية للموارد من قبل مدير الموقع "الشبكي"، على وجود نظام أرتال قياسي؛ يستطيع هذا النوع من الإدارة أن يضمن أن العمل المستلم سينفذ في مرحلة ما فقط مثلما هو في النظامين (DAGMan) [22]، و (Pegasus) [27]، ولكنه لا يضمن متى. يمكن لهذا النموذج البسيط أن يوسع باستخدام الحجز المسبق المعتمد على تفويض جزئي لقدرة معينة، عبر فترة زمنية محددة، ولمستخدم محدد.

يعرف الحجز المسبق للموارد (Advance Resource Reservation) [28]، بإمكانية حجز قدرات موارد معينة مثل دورات وحدة المعالجة المركزية، حجم من الذاكرة، عرض معين من

نطاق شبكة الاتصال، ولفترة زمنية محددة في المستقبل. وهو يقدّم إمكانية معرفة أن قدرة ما هي مطلوبة، ولكن ليس معرفة طريقة استخدامها. وبالتالي يكون على إدارة الموارد ضمان التزامات معينة وواضحة من مالكي الموارد بالحصول على القدرات المطلوبة في زمن معين و/أو بمستوى قدرة معين، دون التعبير أو دون توصيف كيفية استخدام هذه القدرات. كذلك فإن الحالة المعاكسة هي أيضاً واردة؛ أي يمكن تحديد مستوى أداء مطلوب للعمل أو جودة خدمة معينة، مع عدم وجود أية إمكانية لمورد يستطيع حالياً تلبية حاجاته.

تكون آلية الحجز المسبق في بيئة "الشبكة" والتي تتصف بالديناميكية العالية لتواجد الموارد، ومعدلات عالية من احتمال فشل الموارد هي صعبة ومعقدة جداً. من جهة أخرى، دعم آلية الحجز المسبق تمكّن الزبون من المعرفة مسبقاً متى يبدأ تطبيقه بالتنفيذ وتسمح بتعظيم أداء النظام، وإمكانية تخطيط القدرة (Capacity Planning) فيه لتحسينها التنبؤ بطول المجدول [29] [30].

وعلى الرغم من أن الحجز المسبق يسمح بزيادة أداء تطبيقات دفع الأعمال بشكل دراماتيكي [31][32]، ولكنه يسبب عدداً من المساوئ أيضاً. فعند طلب مجدول مستوى المستخدم أو المجدول المترفع (المفاوض) لحجز ما على موارد متنوعة عليه أن يقدم البارومترات الأساسية الواصفة لهذا الحجز مثل زمن البداية، المدة الزمنية المطلوبة، وكذلك عدد المعالجات اللازمة؛ فإذا لم يتمكن المجدول المحلي من تأمين أحد أو أكثر من هذه البارومترات فإنه يرفض الطلب. وهذا يحتم على المفاوض إعادة التفاوض بعد تغيير البارومترات ولعدد من المرات حتى التوصل إلى الاتفاق المنشود [33]. هذه الطريقة لها تأثير سلبي كبير على زمن الاتصالات الفائض (Communication Overhead) بين المفاوض ومزودي الموارد. كذلك تسبب هذه الطريقة تراجع أداء المورد لإدارته عدد كبير من الطلبات القادمة نتيجة رفضه لعدد منها في السابق. كذلك قد لا تكون نتيجة الاتفاق المتوصل إليه هي الأفضل بالنسبة للمفاوض لأنه ينتظر ويعاود التفاوض وعادة ما يحجز أول فراغ متاح. كل هذا سينتج تجزئة عالية للأعمال التي تتطلب جزءاً مسبقاً تاركة مساحات فارغة كبيرة ما بينها. تؤثر هذه التجزئة الداخلية لمتاحية

الموارد سلباً في: 1- ضياع قدرات حسابية لمورد، 2- زيادة معدلات رفض الطلبات لعدم القدرة على تقديمها، 3- يمكن أن تخفّض استغلالية الموارد بشكل كبير جداً وتسبب بالتالي بإنقاص العوائد المادية لمزودي الخدمة في البيئات النفعية. لذلك ما زال الحجز المسبق في "الشبكة" يشكّل تحدياً حتى الآن بسبب إمكانيته لتخفيض نسبة استخدام الموارد في حال تطبيقه بشكل غير متوازن [28][33]. لكن من جهة أخرى، بدون الحجز المسبق ستقوم المجدولات بجدولة الأعمال دون أي ضمانات للزمن الذي ستبدأ فيه التنفيذ.

يوجب الاتفاق على بدأ الأعمال في نقطة زمنية في المستقبل، أن يكون هنالك اتفاقاً على الزمن في النظام الموزع بين الموارد المتباعدة جغرافياً والمنتمية إلى نطاقات زمنية مختلفة من العالم. يستخدم عادة بروتوكول زمن الشبكة (Network Time Protocol) من أجل مزامنة الزمن ويتم ذلك عبر مخدم عام للزمن متواجد على شبكة الاتصال.

يقسم الحجز بشكل عام إلى نوعين حجز فوري (Immediate)، أو حجز مسبق (Advanced). الفارق الوحيد بين هذين النوعين هو زمن البداية؛ فالحجوزات الفورية تتطلب استخدام الموارد بطريقة آنية، أما الحجوزات المسبقة فهي تأخر استخدام الموارد إلى زمن لاحق. يستعمل تعبير الحجز المسبق للدلالة على كلا النوعين في الكثير من الأدبيات وهو ما سنقوم به في هذه الأطروحة.

بالإضافة لتخفيض استغلالية الموارد والتي تعد أهم سلبيات الحجز المسبق، يمكن تعداد أهم السلبيات الأخرى لهذه التقنية:

- 1- يتطلب خوارزميات أكثر تعقيداً من النموذج الرتلي لاتخاذ قرارات الجدولة؛ فالأنظمة التي تدعم الحجز المسبق تحتاج للتعامل مع الحجوزات القادمة والطلبات بحسب متاحة المساحة (الفواصل الزمنية) في الوقت الحالي والمستقبلي. أما النموذج الرتلي فلا يأخذ الوقت المستقبلي بعين الاعتبار.

2- يمكن أن ينتج أزمّة انتظار أعلى للأعمال الواردة بدون حجز والمتواجدة في الأرتال [34]، كذلك يتطلب حجز الموارد كلفة مادية عموماً؛ ويتطلب مزود الموارد دفع كامل التكلفة حتى ولم يتم استخدام كل الموارد المحجوزة بسبب مثلاً فشل أو عطل في التطبيق خلال زمن التنفيذ، أو بسبب كون زمن التنفيذ الفعلي هو أصغر مما خمن له عند الحجز.

3- تتطلب عادة مفاوضات أكثر بين الموارد والمستخدمين؛ مما يعني زمن قبول أطول في النظام؛ كذلك على النظام أن يدير عدة حجوزات مستقبلية فيه مما يزيد الحمل الفائض للمجدول.

4- يتطلب تنظيم مسألة العرض والطلب خلال فترات الانشغال، والذروة، وعدم الانشغال، لكونها تؤثر على استغلال الموارد، وعلى العوائد النفعية للمزودين، وعلى عدد الطلبات المرفوضة من قبل المجدول، وأزمّة انتظار الأعمال في أرتاله. بالإضافة، عليه أن يدير عمليات إلغاء الحجوزات بفعالية لقدرتها على تخفيض النفعية واستغلال الموارد.

تستخدم عدة تقنيات لتقليل مساوئ الحجز المسبق على الحمل العادي للموارد في مواقع "الشبكة"، وعلى تحسين أداء المجدولات التي تحققه من أهمها:

- 1- تحديد العدد الأقصى من الحجوزات المسموحة ضمن نظام الجدولة المحلي.
- 2- زيادة قابلية التكيف (Flexibility) لطلبات الحجوزات المسبقة، من ناحية المواصفات ومستويات جودة الخدمة العامة، بما يسمح للمجدول المحلي من تعديل الحجوزات قبل بدءها لاستمثال معدل استخدام الموارد فيه [35].
- 3- تمكين توليد حجوزات مسبقة مرنة (Elastic)، والتي لديها قابلية تمديد لخصائصها مثل زمن البداية، وزمن النهاية؛ وإذا كانت قابلة لإعادة التشكيل (Moldable)، يمكن تعديل زمن تنفيذها، وعدد المعالجات المطلوبة [36].

4- تأمين الحجز الزائد للموارد (Over-booking Resources)، لمواربة مساوئ فشل بعض الحجوزات أو إلغائها.

5- استخدام التعبئة الخلفية (Backfilling) في المجدولات المحلية [37] [38].

3-3-2 إدارة الحجز المسبق

يحتاج المجدول المحلي بنية معطيات خاصة لتحقيق إمكانية الحجز المسبق فيه؛ فعليه أن يبقى متنبهاً لكافة المستخدمين، ومتطلباتهم، وجدولهم الزمنية المطلوبة. لذلك تكون بنية المعطيات اللازمة هنا أكثر تعقيداً من بنية معطيات أنظمة . تستخدم مقاربتان رئيسيتان لتحقيق الحجز المسبق في المجدولات المحلية؛ وهي مقارنة الفواصل الزمنية (Slotted Time)، ومقارنة لائحة قوالب القدرة المتاحة (List of Free Capacity Blocks) [39]. تستخدم في مقارنة الفواصل الزمنية طريقة تقسيم الزمن إلى فواصل زمنية متساوية (Δt) لتحقيق بنية الحجز؛ وعلى المجدول المحلي أن يبقى متنبهاً لكافة الفترات الزمنية المتوافرة في النظام حتى يستطيع تحديد إمكانية قبول طلب حجز لعمل ذو حجم محدد في زمن محدد أو رفض العمل. يمثل زمن حجز عمل ما (t_i) كافة الفواصل الزمنية المحجوزة لهذا العمل ($t_i = i \times \Delta t$). تكون مسألة تحديد طول الفاصل الزمني (Δt) مهمة جداً؛ لأنه إذا كان الفاصل طويلاً جداً فهو ينقص من عدد احتمالات زمن بداية الحجز الممكنة للعمل ويزيد من التجزئة الداخلية. عادة ما تستعمل بنية معطيات لأي نوع من الصفوف كالصوان الحلقي لتحقيق بنية معطيات هذه المقاربة. توفر مقارنة الفواصل الزمنية طريقة بسيطة وسريعة لتحقيق الحجز المسبق ولكنها تعاني من الفحص الزائد للتحقق من إمكانية الحجز. أما مقارنة لائحة قوالب القدرة المتاحة فتعتمد اللوائح المترابطة لإدارة المساحات الفارغة المتاحة للحجز المسبق. يعبر كل مدخل في اللائحة المترابطة عن مجال من الموارد المتوافرة. تستخدم عدة طرق لتحقيق هذه المقاربة؛ مثل لائحة الزمن الحصرية (Exclusive Time List)، ولائحة القدرة التراتبية (Capacity Hieratical List)، واللائحة المختلطة (Mixed List) [39]. هذه المقاربة هي أسرع من المقاربة السابقة

ولكنها أكثر تعقيداً للتحقيق. يولد المستخدمين الحجوزات المسبقة عبر طلب فواصل زمنية أو نافذة زمنية من المجدول الدفعي محددين عدداً من البارومتريات المطلوبة لتأمين الحجز منها عدد الموارد المطلوبة للحجز، وزمن بداية ونهاية الحجز، ومدة الحجز. على المجدول المحلي تحديد المطابقة المطلوبة عبر فحص لائحة متاحة الموارد؛ وينفذ المجدول أعمال المستخدم الحاجز على الموارد المحجوزة فقط وخلال فترة الحجز. من جهة أخرى، يحتاج المجدول إلى جدولة الأعمال المستلمة قبل هذه الحجز لتنفيذ أو إخلاء رتل أو عدة أرتال من أرتاله للحجز المحدد.

4-3-2 التعبئة الخلفية

تستخدم المجدولات المحلية التعبئة الخلفية (Backfilling) كآلية لاستمثال سياسة الجدولة عبر تحسين استغلال الموارد.

تعتمد التعبئة الخلفية على تغيير ترتيب تنفيذ الأعمال في رتل الانتظار؛ بحيث تقرب من تنفيذ أعمال متواجدة في الرتل على أن لا تؤخر الأعمال الباقية المنتظرة. تتضمن كافة الأعمال والحجوزات زمن بداية، وحد زمني لنهاية التنفيذ معرف بساعة الحائط. هذا يسمح للمجدول بتحديد زمن نهاية كافة الأعمال الموجودة في الرتل، وبالتالي تحديد الزمن الأبعد لتوافر المورد المطلوب من أجل تنفيذ العمل ذو الأولوية الأعلى. تستخدم التعبئة الخلفية معلومات زمن البداية الأبعد (Earliest Start Time - EST) لتحديد العمل ذو زمن البداية الأبعد ذو الأولوية الأعلى والمورد الذي سينفذ عليه؛ فتقوم بحماية زمن بداية تنفيذه عبر توليد حجز له على المورد المطلوب للعمل. تقدم التعبئة الخلفية تحسناً مهماً على أداء الأرتال المعتمدة على سياسة (First Come First Serve - FCFS). وهي غالباً ما تميل لانتقاء الأعمال الصغيرة (القصيرة) خلفاً عن الأعمال الكبيرة (الطويلة)؛ وهي بذلك تقدم مستوى خدمة أفضل للأعمال القصيرة. من جهة أخرى تؤثر هذه الآلية على ترتيب الرتل؛ وبالتالي فهي تغير من أولويات الأعمال ويمكن أن تؤخر تنفيذ أعمال أخرى ذات أولوية عالية.

تحسّن التعبئة الخلفية بشكل عام من زمن الاستجابة، وتعتظم استغلال الموارد عبر تقليص التجزئة الداخلية الناتجة عن الحجز المسبق [37] [38]. هناك عدة أنواع للتعبئة الخلفية؛ المحافظة (Conservative)، والعدوانية/المكافحة (Aggressive)، والاختيارية (Selective).

يمكن أن يتم تقديم تنفيذ عمل في التعبئة الخلفية المحافظة بشرط أن لا يؤخر هذا التقديم أي من الأعمال الأخرى الموجودة في الرتل. أما التعبئة الخلفية المكافحة والمعروفة ب (EASY) [40]، فهي تقدّم تنفيذ عمل ما في الرتل إذا كان لا يؤخر من تنفيذ العمل الأول فقط في الرتل والمسمى بالعمل المحوري (Pivot)، أي أن العمل الأول هو الوحيد الذي يضمن الجدول تنفيذه بالحجز المسبق. هنا يحتفظ الجدول بزمن ومدة التنفيذ المرتقبة فقط لهذا العمل المحوري. تسمح بعض المجدولات، مثل الجدول ماوي (Maui) [41]، لمدير النظام أن يحدد عدداً أقصى من الأعمال المحورية التي يضمن الجدول تنفيذه؛ وبالتالي على الجدول الاحتفاظ بكافة أزمنة بدء تنفيذه ومدها المرتقبة. إذا كان العدد المحدد الأقصى كبيراً جداً فتصبح التعبئة الخلفية المكافحة من النوع المحافظ. أما في التعبئة الخلفية الاختيارية فيضمن الجدول حجوزات للأعمال التي طالت فترة انتظارها حتى عتبة انتظار محددة من قبل الجدول. تحسب عتبة الانتظار كنتيجة لزمن الاستجابة المطلوب والمتعلق ببارومترات زمن إفشال العمل - وهو نسبة زمن الاستجابة على الأنظمة ذات الحمل إلى زمن الاستجابة على الأنظمة المختصة - والتي تحدد زمن الانتظار الكلي المسموح للعمل.

حالياً هناك عدد من المجدولات الدفعية التي تدعم الحجز المسبق منها؛ (Maui) [41]، و (Moab) [42]، و (PBS Pro) [43]، والنسخة الأخيرة من (SGE) [44].

4-2 التخصيص المتعدد

تتطلب العديد من التطبيقات أكثر من مورد لتنفيذها؛ بالأخص التطبيقات المتوازية والمتراصة، لذلك على "الشبكة" تأمين آليات لتجميع افتراضي للموارد من أجل أعمال ذات طبيعة محددة أو تأمين موارد خاصة لمهام خاصة؛ فقد يتطلب أحد التطبيقات رخص برمجيات معينة أو أجهزة

حوسبية اختصاصية لتنفيذ محاكاة أو رسم المعطيات، أو موارد نادرة مثل التلسكوبات العلمية. كذلك تحتاج هذه التطبيقات إلى متطلبات خاصة من الموارد المجمعة؛ منها استخدام متزامن لعدد من الموارد التي تنتمي لمنظمات مختلفة، وهي بذلك تحتاج إلى التخصيص المتعدد (Co-Allocation) للموارد.

يعرّف التخصيص المتعدد على أنه النفاذ المتزامن أو المنسق لتطبيق وحيد إلى عدة موارد متنوعة؛ ويقدم التخصيص المتعدد تحديات جديدة لإدارة الموارد في "الشبكة"؛ فهو يتطلب تنسيق أزمنة النفاذ إلى الموارد المختلفة ذات الإدارات الذاتية والمستقلة.

هناك عدة أسباب لطلب التطبيقات تخصيصاً متعددًا للموارد [33]؛ من أهمها طلب موارد نادرة متواجدة في مواقع محددة فقط؛ مثل التلسكوبات العلمية الضخمة، ومستودعات البيانات المركزية، وأتوات العرض المرئي، والحواسيب الضخمة (Super Computers). كذلك يقدم التخصيص المتعدد إمكانية لتخفيض زمن استجابة التطبيقات المتوازية، أو المتسايرة (Concurrent)، أو تطبيقات دفع الأعمال (Workflows)، عبر زيادة عدد الموارد المقامة لتنفيذها، وعبر دمج أجزاء من أرتال المجدولات المحلية المتعددة عند أخذ زمن شبكات الاتصال الفائض اللازم لتنفيذها بعين الاعتبار [45]، [46]، [47]. تتدرج عدة أنواع من التطبيقات ضمن أصناف التطبيقات المذكورة؛ مثل تطبيقات الوسائط المتعددة والتي تتطلب قيوداً زمنية، أو تطبيقات دفع الأعمال العلمية الإلكترونية (e-Science Workflows)، والتطبيقات التجارية، وتطبيقات التعليم. كذلك تتطلب تطبيقات المعطيات شديدة الكثافة (Data Intensive) تجميع واستخدام المعطيات المنتمية إلى مصادر متعددة بطريقة متوازية.

بدأ الاهتمام الواسع بتطوير بروتوكولات التخصيص المتعدد في أواخر التسعينيات من القرن الماضي، بغرض استخدامها لتنفيذ التطبيقات المعتمدة على تمرير الرسائل مثل (Message Passing Interface – MPI) حيث تتطلب معظم هذه التطبيقات أن تكون الموارد (المعالجات) متوافرة في نفس الوقت؛ ويمكن لعدم توافر أحدها أن يعرض كامل التطبيق للفشل. يعتمد المستخدمون عادة على المجدول المترفع (Meta Scheduler) لتأمين التخصيص المتعدد.

تعمل المجدولات المترفّعة على توليد طلبات تخصيص منفردة من طلب التخصيص المتعدد، وتسلمها إلى أنظمة الإدارة المحلية للموارد في مواقع النظام المختلفة. تتضمن هذه الطلبات الفترة الزمنية المطلوبة لتنفيذ الأعمال الجزئية وعدد الموارد المطلوبة في كل موقع.

قدمت عدة حلول لضمان هذه الطلبات من الموارد في الفترات الزمنية المتوازية، أو المتسايرة والمنسّقة؛ ويعتبر الحجز المسبق من أهمها وأكثرها انتشاراً. من جهة أخرى، يسبب الحجز المسبق تجزئة في أرتال المجدولات المحلية للموارد بسبب المتطلبات الزمنية القاسية التي يفرضها؛ مسبباً بذلك تجزئة داخلية في رتل المجدول مما يخفّض من نسبة استخدام الموارد. اقترحت عدة حلول كما أشرنا سابقاً للتخفيف من سيئة استخدام الحجز المسبق؛ من أهمها استخدام الفترات الزمنية القابلة للتكيف (Flexible Advance Reservation).

5-2 الجدولة "الشبكية"

تعرفّ الجدولة في النظم الموزعة واسعة النطاق (وتسمى بالعموم الجدولة المترفّعة)، بأنها العملية التي تقوم باتخاذ القرارات المتعلقة بحصصة الموارد عبر مجالات الإدارة المستقلة المتعددة والتي تنتمي إليها هذه الموارد. بتعبير آخر هي المسؤولية عن إسقاط/حصصة وترتيب تنفيذ عدة مهمات مترابطة على موارد موزعة. فهي تقدّم لتطبيق "شبيكي" تخصيصاً للموارد المناسبة التي تمكّنه من التنفيذ بشكل منتهي وكامل، ضمن القيود المفروضة لكل من الموارد والمستهلكين، وتحقيق الأهداف المطلوبة منهما. تتم عمليات اتخاذ القرار بحسب معاملات متعددة تهدف لتعظيم الأداء الكلي للنظام؛ مثل تحقيق إنتاجية عظمى ممكنة، أو تعظيم الأداء المجتمع للموارد الموجودة في النظام. تتضمن عملية الجدولة عمليات البحث ضمن المجالات المستقلة المختلفة من أجل استخدام جهاز معين أو لجدولة عمل واحد ليستعمل عدة موارد في موقع واحد، أو عدة مواقع.

تفرض الحوسبة النفعية آليات جديدة للجدولة في "الشبكة" (Grid Scheduling)؛ فالمشاركون في هذا النوع من "الشبكات" يهتمون بتعظيم أرباحهم أكثر من تعظيم بارومترات أداء مثل

الاستغلال العام للموارد في النظام من دون الحصول على أرباح مباشرة، كذلك فالزبائن لا يتوانون عن الطلب حتى في أوقات الذروة إذا لم تكن لديهم حوافز مباشرة للحد من ذلك. فالمنطق "المجتمعي" الذي كان يحكم آليات "الشبكة" في المجالات البحثية أو الأكاديمية غير متوفر هنا، وبالتالي على الجدولة أن تتم على أساس السوق الذي ينظم عمليات العرض والطلب في النظام ويتطلب خدمات خاصة مثل تزويد الموارد بحسب الطلب وجودة عالية من مستوى الخدمة.

2-5-1 المجدولات المترقعة وسماسرة الموارد

يعد النموذج متعدد المستويات من أكثر النماذج استعمالاً لتحقيق نظام إدارة "شبكة" فاعل وكفاء. وتنقسم عملية الجدولة في "الشبكة" إلى مستويين رئيسيين: الجدولة على المستوى العمومي للنظام (Global Scheduling) ويسمى المجدول على هذا المستوى بالمجدول المترفع (Meta Scheduler) أو سمسار الموارد (Resource Broker)، والجدولة على المستوى المحلي (Local Scheduling). تأخذ الجدولة العمومية كامل النظام بعين الاعتبار، ويمكن أن تكون مؤلفة من عدد من المجدولات المترقعة والتي تتواصل وتتعاون مع بعضها البعض لتأمين الموارد وتخصيصها. أما الجدولة المحلية فهي المسؤولة عن إدارة الموارد المحلية التابعة لها وجدولتها في موقع واحد (Site/Node) على "الشبكة". يعرف مدير الموارد المحلية (Local Resource Manager - LRM) بالخدمة التي تمكن من التفاعل والتواصل مع كل أنواع أنظمة إدارة الموارد المتنوعة المتواجدة في المستوى الأدنى في "الشبكة".

أحد أهم الاختلافات بين مستويي الجدولة هذين هو أن المجدول المترفع لا يمتلك الموارد في أي من المواقع، على عكس مدير الموارد المحلي؛ وهو لذلك لا يملك أي تحكم عليها. هذا هو السبب الرئيسي لتسمية المجدول المترفع بسمسار الموارد. بشكل عام يكون سمسار الموارد ذو ارتباط وثيق مع جدولة مستوى التطبيقات، بالإضافة فليس من الضروري لهم أن يكونوا متواجدين في نفس الموقع أو المجال الإداري للموارد التي يسمسون لها. يمكن أن تنظم

المجذولات المترفعة المتعددة العاملة في نفس النظام ببنى مختلفة بناءً على أهداف النظام مثل الأداء أو قابلية التوسع. وعلى الرغم من أن الجدول المترفع هو ليس عنصر أساسي في البنية التحتية للنظام (فهو مثلاً غير مضمّن في النظام المعياري "الشبكي" (Globus) [15])، ولكن لا شك من أنه مركب مهم جداً من أجل التحكم وتسخير إمكانيات النظام.

يمكن أن يكون للمجذولات المترفعة مقاربات مختلفة لتخصيص الموارد؛ ولكن الطريقة الأكثر شيوعاً في الأنظمة الموزعة و"الشبكية" هي استقبال الأعمال ووضعها في رتل خاص بالجدول. تحتوي بعض المجذولات على أرتال متعددة متخصصة بأولويات معينة في النظام. يتم أخذ الأعمال من الرتل وترسل إلى الموارد المعيّنة بناءً على خوارزمية جدولة خاصة. هذا التسليم هو ما يقوم به العنصر الموزع (Dispatcher).

إن الهدف المركزي للإدارة المترفعة للموارد هو تأسيس اتفاق مشترك بين مزود الخدمة من جهة ومستهلك هذه الخدمة من جهة أخرى، وبحيث يوافق مزود الخدمة على تلبية متطلبات المستهلك وتقديم قدرة يمكن استخدامها من قبل المستهلك لتنفيذ مهمة خاصة به. يحدد مالكو الموارد سياساتهم المحلية الخاصة بكيفية النفاذ إلى الموارد والسماحيات والأولويات، التي يجب على مجدولي "الشبكة" احترامها وتطبيقها. إن وجود الموارد بشكل موزع وبعيد، يجعل من تصميم جدول "شبكي" كفاءاً أمراً بالغ التعقيد.

يعتبر الجدول المترفع الخدمة الأساسية التي تتفاعل مع باقي الخدمات المساعدة مثل الخدمات المقدمة من قبل مدراء الموارد المحليون وخدمة إدارة معلومات النظام. كذلك تتجزأ عملية الجدولة عبر تفاعل مجموعة من الخدمات الجزئية التي تتضمن البحث واكتشاف الموارد، توليد خيار أو عدة خيارات تخصيص (عروض) بحسب متطلبات المستهلكين وجودة الخدمة المطلوبة، التفاوض مع المستهلك ومزود الخدمات على العروض المولدة وصولاً لإتمام عقد اتفاق مستوى الخدمة، تسليم الأعمال إلى الموارد لتنفيذها حين جهوزيتها، ومراقبة التنفيذ ضماناً لبند العقد وإتمام العملية بنجاح ومواربة الأخطاء، وإعادة النتائج النهائية.

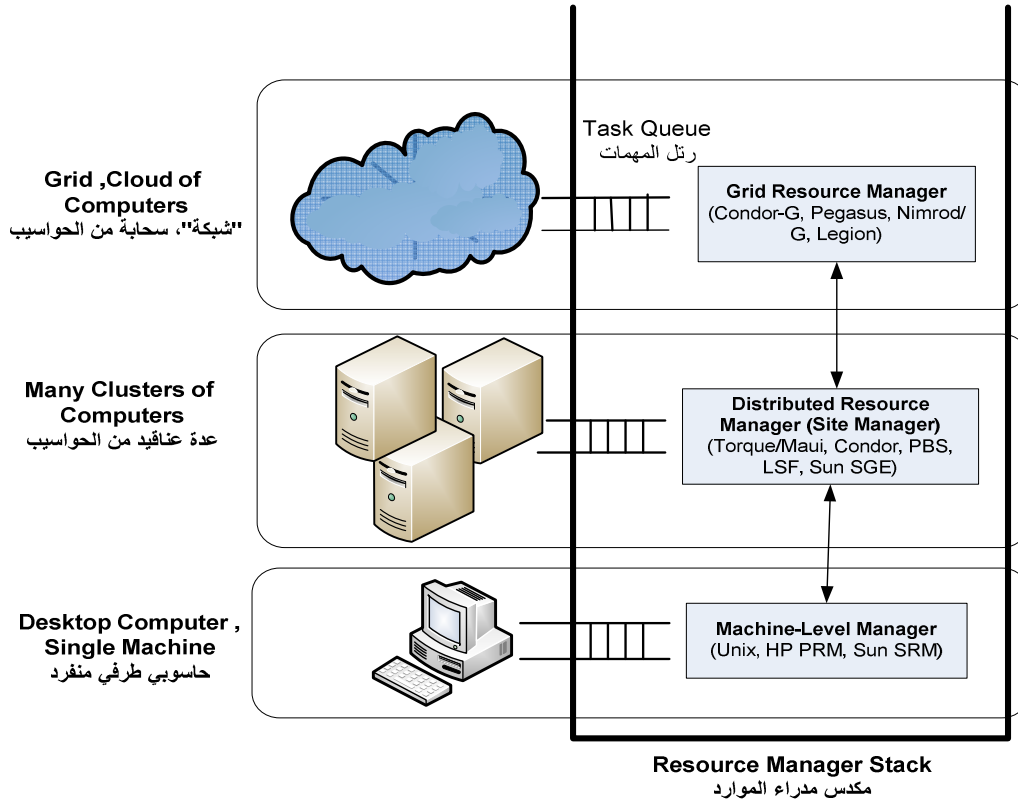
2-5-2 تراتبية المجدولات في "الشبكة"

يتحكم مكس من المدراء بالموارد الموزعة والمتنوعة للأنظمة الموزعة واسعة النطاق؛ تكون صورة المكس غير محددة بشكل واضح لأن بعض مهمات أو عناصر هذا المكس يمكن أن يتم تحقيقها ضمن العنصر الآخر. ولكن لسهولة فهم التفاعل متعدد المستويات بين أنواع المدراء المختلفة، يمكن تقسيمها إلى الطبقات التالية؛ ففي أسفل هذا المكس يتوضع مدراء نظام التشغيل المحلي وهم المدراء على مستوى الأجهزة (Machine Level)؛ مثل (HP-PRM) [48]، (IBM-WLM) [46]، (SGI-Miser) [50]، أو أنظمة التشغيل التقليدية مثل (Linux) أو (Mac-PC) أو (Windows). مهمة هذا النوع من المدراء هي وضع القيود والتحكم باستعمال وحدة المعالجة المركزية، الذاكرة أو بوابات الدخل/الخروج.

يأتي مدراء الموارد الموزعة (Distributed Resource Manager - DRM) تالياً في المكس بعد مدراء مستوى الأجهزة، ويسمون بالمدراء المحليون (Local Resource Managers - LRM)، ومنهم (Condor) [51]، (IBM-LL) [52]، (LSF) [53]، (PBS) [54]، (Sun-) (SGE) [44]، أو (Toroque/Maui) [55]. يقوم هذا النوع من المدراء بإدارة عملية تسليم التطبيقات تحصيل من الحواسيب والمعالجات. تكون التطبيقات الموزعة من النوع الدفعي عادة؛ وبالتالي فهي تنفذ بدون تفاعل بشري. وقد تضمن تصميم هذا النوع من المدراء تحقيق مدير مركزي للموارد الموزعة؛ يقوم بدور المفاوض أو صانع التطابق (Match Maker)، بين الطلبات التي يعيد إرسالها مخدم المجدول الدفعي (Batch Scheduling Daemon - BSD) إلى المجدول بعد استلامها من جهة التطبيقات، وبين الحواسيب المتواجدة في النظام الموزع من جهة أخرى. يعيد مدير الموارد المركزي المعلومات اللازمة في حال إيجاد التوافق المطلوب إلى مخدم المجدول الدفعي، ومنها عنوان الحاسوب/العنقود المتوافر؛ عندها يطالب مخدم المجدول الدفعي بالموارد الحسابي ويتصل به مباشرة. وفي حال نجاحه ينقل إليه الترميزات للتنفيذ الثنائية للمهمات من أجل تنفيذها من قبل مدير التنفيذ (Execution Manager) الموجود عليه.

عادة ما يحتوي المورد الحسابي أيضاً على مراقب تنفيذ المهمات والذي ينقل المعلومات عن حالة التنفيذ وحالة المورد الحسابي إلى المدير المركزي (المفاوض).

أظهرت بيئة "الشبكة" التي تعتمد على الإدارة المنسقة والمتعاونة للموارد المتواجدة فيها، أظهرت الحاجة لتوحيد ومكاملة الموارد بطريقة موحدة بسبب حاجة مدراء الموارد الموزعة للتفاعل مع بعضهم البعض، حيث يمكن لهم أن يتشاركوا الأعمال أو يقومون بتسليم أعمال لبعضهم البعض. وهذا ما أدى إلى إيجاد المجدول المترفع أو "مجدول الشبكة" مثل النظام (Condor-G) [57]، و (Legion) [16]. يبين الشكل (2-2) مكس مدراء الموارد ذات المستويات المختلفة وترتيب عناصره.



الشكل (2-2): مكدس مدراء الموارد في بنية النظام الموزع واسع النطاق

تعتمد بنية المجدول المترفع بشكل رئيسي على عدد الموارد قيد الإدارة، ومواقع هذه الموارد. ويمكن تمييز عدة نماذج رئيسية لتصميم وبناء المجدول؛ هي النموذج المركزي، واللامركزي،

والتراتبية، أو المختلط بين نوعين من الأنواع السابقة. يمكن أن يستخدم النموذج المركزي في تصميم مدير الموارد المحلي (LRM)؛ وعادة ما يكون يدعم سياسة جدولة موحدة تناسب الموقع مثل عنقود من الحواسيب ومنها مجدولات أنظمة الأرتال الدفعية. ويعتبر النموذجين اللامركزي الموزع، والتراتبية متعدد المستويات الأكثر استخداماً في تصميم مجدولات "الشبكة"؛ فهي على عكس المجدولات المركزية تسمح للمهام أن تتم جدولتها عبر عدة مجدولات.

تتفاعل المجدولات "الشبكة" في هذه النماذج مع بعضها البعض لتحديد الموارد التي يجب تخصيصها لتنفيذ الأعمال المطلوبة، ويحتفظ كل جدول بالمعلومات المتعلقة بدفق جزئي من العمل فقط؛ أي أنها تنقص عدد المهمات المدارة من قبل الجدول الواحد مما يسمح لهذه الأنظمة بالتوسع والامتداد والقدرة على موارد الأخطاء. من جهة أخرى، فإن أفضل قرار لدفق جزئي قد يقود إلى استمثال جزئي للأداء بالنسبة لتنفيذ كامل الدفق، إضافة إلى ذلك، يمكن لمشاكل التنازع والمنافسة أن تكون أكثر حدة [56].

2-5-3 بارومتري الجدولة الأساسية

على الجدولة أن تهتم بعدد من الأمور؛ فعليها أن تستغل التوازي والتساير المتواجد في بنية المبيان، وكذلك عليها أن تأخذ حجة/خشونة المهمة بعين الاعتبار (وهي عملياً نسبة كلفة الحساب بالنسبة لكلفة الاتصال)، وعليها الاهتمام بكون كلف الحساب والاتصال هي عشوائية. أيضاً من المهم جداً من أجل التنفيذ العملي لهذه الخوارزميات أن تكون بسيطة نسبياً، وقليلة التعقيد، واقتصادية من حيث عدد المعالجات المستخدمة فيها. ويمكن تقسيم نظام الجدولة في "الشبكة" إلى ثلاث أقسام؛ 1- سياسة الجدولة، 2- التابع الهدف، و3- خوارزمية الجدولة [59].

1- سياسة الجدولة: تعرّف سياسة الجدولة من قبل مالكي أو مديري الموارد وهي التي تحدد القواعد المتبعة لتخصيص الموارد إلى الأعمال المستلمة فسمكن أن تكون حسب زمن الوصول، أو بتحديد أولويات للأعمال المستلمة من قبل أقسام مهنية في منظمة ما تنتمي إلى "الشبكة".

2- التابع الهدي: هو المسؤول عن اختيار جدول معين من مجموعة من المجدولات المحتملة؛ وعادة ما يكون مؤلفاً من عدة بارومتريات يسعى نظام الجدولة إلى تعظيمها أو تصغيرها. تعد خوارزميات الجدولة أساس أي نظام جدولة وهي المسؤولة عن إنتاج جدول شبه أمثلي بالنسبة للتابع الهدي المختار. ويمكن تقسيمها إلى قسمين أساسيين: التوابع الهديفة المضمونة (Guaranteed) من قبل النظام أو مزودو الموارد، والتوابع الهديفة غير المضمونة والتي تعتمد على الجهد الأفضل. من جهة أخرى، يمكن تصنيف أنواع التوابع الهديفة بحسب إستراتيجية الجدولة إلى ثلاث قطاعات رئيسية [60]؛ المعتمدة على الأداء، والمعتمدة على السوق، والمعتمدة على الثقة أو الأمان.

- **المعتمدة على الأداء:** وتضم التوابع الهديفة لاستمثال الأداء ومن أهمها استمثال زمن الجدول (Makespan)، واستمثال إنتاجية الموارد، واستمثال نسبة استخدام الموارد.
- **المعتمدة على السوق:** فتضم التوابع الهديفة التي تخضع لآليات السوق، وهي تهتم باستمثال ميزانية المستهلك من جهة التطبيقات، وبربح مزودو الخدمات من جهة أخرى.
- **المعتمدة على الثقة:** وتضم التوابع الهديفة التي تقوم بانتقاء الموارد بحسب مستوى الثقة لها، وتضم عدداً من المواصفات التي تنتمي إلى نموذج الثقة المطبق في النظام، ومنها مستوى الأمان المقدم، سمعة الموقع، تاريخ الهجمات على الموقع، مستوى الضعف (Vulnerability)، وبارومتريات أخرى.

3- خوارزمية الجدولة: تستخدم عدة مقاربات لحل مسألة الجدولة بشكل عام في الأدبيات العلمية والأبحاث منها؛ بحث فضاء الحالة (State-Space Search)، البرمجة الديناميكية (Dynamic Programming)، الكسبيات (Heuristics)، الكسبيات المترفعة (Meta-Heuristics). يمكن للمقاربتين الأولى والثانية إيجاد حلول أمثلية؛ ولكنهما غير ذو فائدة بما أن معظم الأبحاث لهما هي في حالات البيئات ذات الضوابط المحددة تماماً والتي لا تمثل بيئة "الشبكة" قيد البحث؛ والأهم أنهما تقودان إلى حلول ذات تعقيد زمني أسي في

الحالات الأسوأ، وهذا غير عملي للتنفيذ في بيئات "الشبكة" الديناميكية. لذلك ولمثل هذه البيئات، فإن المقاربتين الثالثة والرابعة، الكسبية والكسبية المترفعة، هي الأكثر فعالية وواقعية وقابلية للتنفيذ. وعلى الرغم من أنهما لا تنتجان حلول أمثلية وإنما حلول قريبة من الأمثلية (Near-Optimal)، ولكنها حلول ذات تعقيد زمني أقل من الأسى، وهما بالتالي تسمحان بالتوصل إلى حلول كفئة ومقبولة. تعتمد فعالية هذه الخوارزميات في أغلب الحالات على كل من التطبيق والموارد المستخدمة.

يهدف الاستمثال (Optimization) في خوارزميات الجدولة لإيجاد العناصر المحتملة الأفضل من مجموعة العناصر الكلية طبقاً لمجموعة من المواصفات المعرفة في تابع الهدف. لا يوجد خوارزميات قادرة على توليد حلول أمثلية ضمن زمن متعدد الحدود في المشكلات الاحتمالية والتي تنتمي إلى فئة المسائل من النوع (NP-Complete)، أو (NP-Hard). لذلك تتم المبادلة بين صحة الحل المضمونة مقابل زمن تنفيذ أصغر للخوارزمية؛ هذا لا يعني أن النتائج هي غير صحيحة بل يعني أنها ليست الأمثلية وأقل جودة من الحلول الأمثلية؛ ولكنها تولد حلولاً ضمن سرعات مقبولة، ولذلك تدعى بالحلول شبه الأمثلية، أو قريبة الأمثلية (Near-Optimal).

تستخدم عدة مقاربات لتوليد الحلول شبه الأمثلية مثل الكسبيات أو الكسبيات المترفعة؛ ولكنها لا تقدم أية ضمانات على الأداء، كون حالات الأداء الأفضل أو الأسوأ أو المتوسطة هي غير معروفة بشكل عام لهذه الخوارزميات. تعتبر خوارزمية كسبية بأنها أفضل من غيرها من نفس الصنف، إذا كانت قادرة على توليد حلولاً تقارب الأمثلية أكثر من غيرها بالمقارنة، أو إذا كانت قادرة على توليد حلولاً قريبة من الأمثلية وبزمن أقل من غيرها بالمقارنة.

2-5-4 جدولة وفق العمل

تكون الأعمال المطلوبة عادة في بيئة "الشبكة" معقدة وكبيرة الحجم. وبالتالي على مدير موارد "الشبكة" التعامل معها بعد تحليلها وحفظ التسلسل الصحيح لتنفيذ مكوناتها الجزئية، وذلك في حال وجود ارتباطات داخلية بين هذه المهمات. إن التوصيف الواضح للمهمات الجزئية يسمح

للمجدول المترفع بإنتاج تخصيص مناسب لكل مهمة على الموارد التي تحتاجها، مما يعظم من كفاءة تنفيذ التطبيق ككل. لهذه الأسباب مجتمعة، هناك توجه كبير في السنوات الأخيرة، باتجاه تعريف التطبيقات "الشبكية" بدفق أعمال "الشبكة" (Grid Workflow).

يمكن تعريف دفق العمل (Workflow) بشكل عام على أنه أتمتة عملية أو عمل ما، مؤلف من عدد من المهمات أو العمليات الجزئية، وبحيث يمكن للمعلومات أو البيانات أن تتدفق بين هذه المهمات الجزئية بناءً على مجموعة من القواعد المحددة سابقاً. إن أي عمل في "الشبكة" يمكن له أن يكون مؤلفاً من عدد من المهمات الجزئية والتي غالباً ما تحتوي على ارتباطات بين بعضها البعض.

كذلك يمكن تطبيق هذا المفهوم على خدمات الويب؛ فيمكن لخدمة ويب معينة أن تكون مؤلفة من خدمات ويب جزئية؛ ويعرّف بالتالي دفق العمل لها بتسلسل تنفيذ الخدمات الجزئية في الخدمة الكلية، وكذلك بالرسائل المتبادلة بين هذه الأجزاء. إن التوجه العام في تصميم وبناء البرمجيات الوسطى "للشبكة" هو في أتمتة عملها؛ أي إيجاد التكنولوجيا التي تدير التكنولوجيا المطوّرة؛ بالتالي يمكن تعريف دفق عمل "الشبكة" (Grid Workflow)، على أنه تسلسل لفعاليات أو خدمات مختلفة والتي تؤلف مجتمعة خدمة معينة تسعى لحل مسألة محددة. كذلك يمكن إطلاق نفس التسمية على أتمتة مجموعة من الخدمات من أجل توليد خدمة جديدة في "الشبكة".

يتطلب دفق عمل "الشبكة" تعاوناً بين الخدمات المكونة له عبر الارتباطات وتدفق معلومات التحكم والبيانات. إن التطبيقات بالغة التعقيد والحجم والتي تتطلب حلولاً عبر "الشبكة"، تتطلب تنامياً عالياً بين الموارد المختلفة في "الشبكة" من جهة، وبين تدفقات الأعمال المعقدة قيد التنفيذ من جهة أخرى. يقدم دفق عمل "الشبكة" مميزات مهمة [61]؛ فهو يسمح ببناء تطبيقات مرنة من الموارد غير المتجانسة والموزعة، وكذلك فإنه يمكن من إدارة التطبيقات التي تتطلب موارد متواجدة في نطاقات إدارة مختلفة في "الشبكة".

على الرغم من أن نظام إدارة الموارد في "الشبكة" يقدم حلاً لجدولة مختلف التطبيقات بطريقة مقبولة من حيث الأداء والكفاءة، لكن هذه الأنظمة تقدم حلاً منخفض الجودة بالنسبة لتطبيقات دفع العمل واسعة النطاق؛ فالكثير من المواقع "الشبكية" المحلية الحالية هي غير ممكنة من أجل تنفيذ عدد من الأعمال القصيرة المترابطة، وبالتالي فتسليم هذه المهمات المكونة لدفع العمل إلى هذه المواقع يقدم عدد من المساوئ منها:

- 1- معظم أنظمة الجدولة المحلية تقدم ميزات متقدمة إضافية من أجل التنفيذ المتوازي، والأرتال المتعددة، والحجز المسبق، وأولوية الأعمال، وبالتالي تقدم زمن حمل فائض عال وفواصل زمنية للجدولة طويلة قد تكون أطول من زمن تنفيذ المهمات المستلمة، مما يؤدي إلى استغلال ضعيف وإنتاجية سيئة للموارد. من ناحية أخرى تؤثر أزمدة الحمل الفائض على أداء التطبيق عن طريق زيادة زمن تنفيذ التطبيق بشكل كبير.
- 2- تزيد التنافسية العالية من قبل المستخدمين على الموارد المشتركة من طول الرتل؛ وبالتالي تزيد من أزمدة انتظار الأرتال مما يؤثر على تنفيذ كامل الدفع بسبب ترابط المهمات فيه.
- 3- السياسات المحلية في معظم مواقع "الشبكة" هي غير صديقة لدفع الأعمال؛ فهي تعطي أولويات أعلى للأعمال الكبيرة على حساب الصغيرة مما يؤدي إلى زيادة أزمدة انتظار الصغيرة التي تنتمي إلى دفع أعمال ما، كذلك تضع بعض سياسات المجدولات المحلية حداً أعظمي على عدد الأعمال المنتظرة في الأرتال التابعة لكل مستخدم، مما يفاقم من المشكلة السابقة ويحد من الأعمال التي يمكن أن تعمل معاً.

هذا يعني أن توزيع مهمات دفع عمل واحد إلى عدة مواقع شبكية تعمل تحت إدارات مختلفة، ولكل منها جدولها الخاص ورتلها الخاص لتنفيذها، يضر باستغلال التوازي المطلوب أو الناتج عن جدول استمثالي للزمن؛ أي وبسبب وجود المجدول المحلي المعتمد على الرتل وعدم التنسيق والتعاون بين إدارات المجالات المختلفة، يمكن للمهام المتوازية أن تنفذ بطريقة تسلسلية وبالتالي لا يلحظ التوازي فيها.

6-2 تموضع الأطروحة وإطارها العام

تطرح مسألة جدولة تطبيقات تدفقات الأعمال ذات متطلبات جودة خدمة معينة في البيئات "الشبكية" واسعة النطاق تحديات عديدة كما بيّنت الفقرات السابقة. تستطيع بعض أنظمة إدارة دفع الأعمال (Workflow Management Systems - WfMS) تجنب بعض هذه المسائل؛ فيمكن ل (Pegasus) [27]، وعبر استخدام تقنيات إعادة تشكيل الدفع المقدمة فيه التخفيف من هذه السيئات عبر استخدام تقنية عنقدة المهمات. فيمكن أن ينجز عملية العنقدة إما أفقياً عبر جميع المهمات المستقلة في كل مستوى من الدفع أو عامودياً عبر جميع الآباء مع الأبناء. تؤمن عملية العنقدة ميزتين لتنفيذ دفع الأعمال؛ فهي تنقص من عدد المهمات المطلوب جدولها في الدفع وبالتالي تنقص كلفة الجدولة الكلية للدفع وكذلك الزمن التأخير الكلي الناتج عن الأرتال، وأيضاً يقوم بزيادة زمن التنفيذ المتوسطي للأعمال في الدفع (عبر جمعها) مما يحسن من استغلالية الموارد. يمكن أن تظهر العنقدة من جهة أخرى آثاراً سلبية جانبية مثل زيادة زمن تنفيذ الدفع الكلي لتأخيرها تنفيذ الأعمال عبر منع المجدول المحلي من الاستفادة من فرص ميزة التعبئة الخلفية (Backfilling) للأعمال الصغيرة؛ كذلك تنقص العنقدة الأفقية من توازي الدفع مما قد يسبب بزيادة طول المجدول فيه.

تستطلع الأبحاث المقدمة في هذه الأطروحة مسألة جدولة تدفقات أعمال "شبكية" ذات متطلبات جودة خدمة يمكن لها أن تكون حرجة زمنياً، (QoS Grid Workflow Scheduling)، في بيئات تنفيذية واسعة النطاق وذات تنافسية عالية مثل البيئات الخدمية النفعية. إن توزيع تطبيقات تدفقات الأعمال على عدة مجالات إدارة مختلفة للموارد، ولكل منها مجدولها الخاص، ورتل انتظارها الخاص، وتعمل تحت سياسات مختلفة هي بالغالب (FCFS)، يعني أن التوازي لن يتم استغلاله ويمكن أن تنفذ المهمات المتوازية ضمن دفع الأعمال في مجالات الإدارة المختلفة بطريقة تسلسلية بسبب وجود المجدول المحلي المعتمد على سياسة رتل انتظاره، خصوصاً دون وجود تعاون أو تنسيق بين هذه الإدارات المستقلة فإن التوازي لن يلحظ. تم استخدام آلية الحجز المسبق المدار من قبل مجدول مترفع لضمان تنفيذ التطبيقات التدفقية في

البيئة "الشبكية"؛ وتم تقديم حلول استمثالية لمسألة ضمان جودة الخدمة المطلوبة في النظام عبر اعتماد سياسة تزويد الموارد بدلاً من سياسات الجهد-الأفضل، باعتبار مقاييس أداء متعددة في الحلول المقترحة، وبحسب المركبة قيد التحقيق والتقييم. تركّز الحلول المقدمة في هذه الأطروحة على تحقيق الاستمثال المطلوب للمعايير المختلفة دون أية إضافة على طول الجدول التحصيل الاستمثالي الناتج عن استخدام أفضل خوارزميات جدولة دفع الأعمال المرجعية والمعروفة في هذا المجال.

كذلك تعتمد الأطروحة على كون المعلومات المقدمة من مزودي الموارد إلى المجدولات المترفعة في النظام هي محدودة ومقيّدة؛ حيث لا يرغب المزودون بكشف المعلومات الخاصة بأنظمتهم المستخدمة مثل مقدار الحمل المحلي، وقدرات الموارد التي يملكونها، واستراتيجيات الجدولة المحلية لهم، في هذه البيئات الخدمية النفعية والتنافسية.

يقدم الفصل الثالث الأعمال المتعلقة بإطار البحث المعتمد لهذه الأطروحة من عدة زوايا تتعلق بالمواضيع قيد التحليل والحل، ويحدد مواضع التماثل والاختلاف بين هذه الأعمال المستطلعة والحلول المقدمة في هذه الأطروحة، والمساهمات الناتجة عن هذا البحث.

3

الدراسة المرجعية

State of the Art

هناك عدد من المجالات للأعمال المتعلقة بالتحصيل والحجز المتعددين باستخدام الحجز المسبق؛ منها استخدام الاسترخاء لتحسين أداء الحجز المسبق، وعبره توليد مخططات الحجز المسبق المسترخية لتستعمل في إدارة عمليات الجدولة، واستخدام أنواع مختلفة من التطبيقات مثل المتوازية، أو تدفقات الأعمال، ومسألة تحقيق وضمان مستويات جودة الخدمة المطلوبة. يقدم هذا الفصل مجموعة الأعمال المتعلقة والأنظمة المحققة المستخدمة للتحصيل والحجز المتعددين، وتلك التي تؤمن مستويات جودة الخدمة المطلوبة؛ وكذلك الأعمال المتعلقة بمجال توليد مخططات الحجز المسبق المسترخي المستخدم ضمن إدارة الموارد الموزعة وتنفيذ التطبيقات في الأنظمة واسعة النطاق مثل "الشبكة".

1-3 النظام (GARA)

تقدم الورقة [62] بنية معمارية موزعة لإدارة الموارد تدعم الحجز المسبق والتحصيل المتعدد (Globus Architecture for Reservation and Allocation - GARA). وهي تعتبر من أوائل التطويرات التي تبنت الحجز المسبق لتحقيق الحجز المتعدد ولضمان تقديم مستويات جودة مطلوبة. صمّم (GARA) في الوقت الذي كانت فيه معظم التحقيقات لإدارة الموارد الموزعة لا تدعم الحجز المسبق؛ واستهدف مسألة الحجز المتعدد التي تتضمن اكتشاف، وحجز، وتحصيل

عدة موارد موزعة جغرافياً مع بعضها البعض، ويهدف لتوفير ضمانات النفاذ المتساير للموارد باستخدام الحجز المسبق.

يتعامل (GARA) مع الحجز المسبق، والموارد الحسابية، ودفق شبكات الاتصال، وبلوكات الذاكرة، كطريفات غرضيه مجردة من الصنف الأول؛ بحيث يمكن إنشاؤها، ومراقبتها، وإدارتها بشكل مستقل، ودعمها بطريقة موحدة ومقيسة. ويعرّف عبر بنية طبقية تسمح باستراتيجيات كشف، وحجز، وتخصيص، وإدارة مجموعات من الموارد لتكون مكبسة في وكلاء للحجز المتعدد، والتخصيص المتعدد. يمكن للوكلاء أن يكونوا محققين عند المستخدم، أو ضمن مسار مستقل، يمكن له أن يكون ذو بنية مركزية أو موزعة.

يدعم الإطار الهيكلي (GARA) الحجز الفوري الذي يليه التخصيص مباشرة، والحجز المسبق. ويقدم وكيلاً جديداً إضافياً عن بنية (Grid Resource Allocation Manager - GRAM) [21]، هو وكيل الحجز المتعدد. هذا الوكيل هو المسؤول عن اكتشاف الموارد المناسبة المتاحة والتي تضمن مستويات الخدمة المطلوبة، ومن ثم يقوم بتأمين الحجز المسبق عليهم؛ تقدم هذه الحجوزات إلى وكيل التخصيص المتعدد الذي يقوم بتخصيص هذه الموارد. يمكن النظر إلى وكيلي الحجز والتخصيص على أنهما جسر بين التطبيق والموارد؛ ويمكن في حالة فشل الحجز أن يتراجع النظام إلى الخلف ويعيد العملية من جديد على موارد بديلة حتى تحقيق فشل، أو نجاح، لعملية الحجز المتعدد الكلي.

قارنت النتائج المقدمة في هذه الورقة تأمين الموارد باستخدام ودون استخدام المعمارية (GARA)، وبيّنت أن كلفة استخدام هذه الأداة هي غير عالية، وتقدّم أداءً أفضل.

2-3 النظام (HARC)

تقدم الورقة [63] إطار عملياً لتحقيق مجدول متعدد (Co-Scheduler) نشط وذو متاحة عالية، (Highly-Available Robust Co-scheduler-HARC). يناسب هذا المجدول المتعدد كافة

أنواع الموارد التي تعمل تحت نطاق تحكم إدارات مجداولات عملية تدعم الحجز والحجز المسبق. يحتوي النظام (HARC) في مركزه على عملية مجداول متعدد مضاعفة والتي يطلق عليها الباحثون في [63] اسم (Acceptors)، والتي تمكن من موارد الأخطاء بفعالية كبيرة.

ينظر الباحثون في هذه الورقة إلى عملية الجدولة المتعددة على أنها مسألة مداولات/معاملات موزعة (Distributed Transaction)؛ ولذلك يستخدم النظام خوارزمية توافق لامبورت ثلاثية الطور (Lamport Paxos Consensus)، لتأمين التثبيت (Commitment) الاتساق (التوافقي) بين مداولات حجوزات الموارد المختلفة، وضمان تقدم عملية الحجز والتخصيص في نفس الوقت، باستخدام مجموعة النسخ المتطابقة من المجدول المتعدد والتي هي مستمرة بالعمل. تستبدل مجموعة النسخ المتطابقة من المجدول المتعدد خدمة المتعاون (Coordination Service) المسؤولة عن استلام رسائل التوكيد (Confirmation Messages) من مزودي الموارد. يتم انتخاب قائد من هذه المجدولات المتعددة لتنسيق العمل بين بعضها البعض.

يقدم المجدول المتعدد عدة إجراءات لعملية الحجز؛ منها عملية الإنشاء، والتعديل، والنقل، والإلغاء. وهو يستلم طلبات حجز لعدد من الموارد ويعمل على تأمين هذه الحجوزات بطريقة متعاونة وعبر التواصل مع إدارات الموارد المطلوبة. تنتهي عملية الحجز إما بالنجاح في حال تأمين كافة طلبات حجز الموارد، أو بالفشل إذا لم يتم تأمين طلب أو أكثر من هذه الطلبات؛ وعندها على المجدول المتعدد إلغاء كافة الحجوزات المؤقتة التي تم ضمانها مسبقاً من هذا الطلب المتعدد.

ويؤمن المجدول المتعدد مسألة الحجز المتعدد التعاوني بين مجموعة إدارات الموارد المطلوبة عبر تطبيق خوارزمية التثبيت (Paxos) التي تقوم بتثبيت مداولات موزعة وتضمن عدم قابلية تجزئة الطلب (Atomicity). بالإضافة، يستخدم النظام (HARC) عدداً من النسخ المتطابقة من المجدول المتعدد لتعمل على التوافق على قيمة معينة بين بعضها البعض لضمان استمرارية العمل في حال فشل أحد المجدولات المتعددة خلال عملية تأمين الحجوزات المتعددة، ويستخدم لذلك بروتوكول تثبيت ثلاثي الطور. هذا البروتوكول يسمح كذلك للرسائل المتبادلة بأن تضيع،

أو تتأخر، أو حتى تتكرر؛ ولذلك فهو نظام مهم من زاوية موارد الأخطاء للمعاملات الموزعة المستخدمة في الأنظمة واسعة النطاق.

يقوم المستخدم أولاً بالتواصل مع إدارات الموارد لمعرفة الجدول الزمني لها؛ وهو من يقوم باختيار مجموعة من الموارد المناسبة للعمل المتعدد المطلوب، ويقدم طلبات الحجز والتخصيص إلى المجدولات المتعددة (Acceptors). ومن ثم يقوم المستخدم باستقصاء هذه المجدولات المتعددة لمعرفة نتيجة الجدولة، ويكرر المحاولة حتى تلقي الرد. يمكن النظام (HARC) من جدولة دفق عمل شبكي عبر تقديمه حجوزات متعددة عشوائية على الموارد المطلوبة.

3-3 النظام (JSS)

يقدم النظام المقترح في [64]، خدمة سمسة موارد تدعم الحجز المسبق، والتخصيص المتعدد، والتشغيل العابر بين "الشبكات"، ويتبنى سياسة سمسة غير مركزية تعمل لصالح المستخدم وتسعى لاستمثال أداءه الفردي عبر تصغير زمن استجابة كل طلب مستلم. النواة المركزية لهذا النظام هي خدمة تسليم العمل (Job Submission Service – JSS)، والتي تستخدم مركبات موائمة (Customized) للقيام بمهامه المختلفة الخاصة والمعرفة بشكل جيد، مما يمكن النظام من استبدال خوارزميات اختيار الموارد المتاحة حسب الحاجة وبحسب بنية "الشبكة" وسيناريوهات تسليم العمل.

تدعم الخوارزميات المستخدمة الحجز والتخصيص المتعدد لتمكين بدء متزامن لعمل مركب. يتكون هذا النظام من سبعة أجزاء رئيسية؛ زبون تسليم العمل، خدمة التسليم (Submitter)، المحصص المتعدد (Co-Allocator)، مكتشف المعلومات (Information Finder)، والسمسار (Broker)، والموزع (Dispatcher).

يضم زبون تسليم العمل نموذجي تسليم؛ تسليم أعمال قياسية وتسليم أعمال مركبة تحتاج تخصيصاً متعددًا، وهو يحتوي كذلك على مترجمات تقوم بترجمة التوصيفات المختلفة للأعمال

المستلمة إلى لغة توصيفيه قياسية واحدة. يرسل هذا الزبون توصيف العمل المترجم إلى خدمة تسليم الأعمال التي تعمل كواجهة رئيسية لوظيفة سمسار الموارد.

تعمل خدمة تسليم الأعمال على تخزين كافة الأعمال المستلمة وترسل الطلبات إلى خدمة التسليم، أو إلى المحصص المتعدد، اللذان يقومان باكتشاف الموارد المتاحة، وجمع معلومات الحالة التفصيلية عن هذه الموارد، عبر مهمة مكتشف المعلومات، واختيار الموارد الأنسب للعمل عن طريق إعطاءها رتباً ومن ثم ترتيبها عبر خدمة السمسار، ومن ثم إرسال العمل إلى الموارد المنتخبة عبر مهمة الموزع.

يقدم هذا النظام إمكانية مرحلة (Staging) ملفات الدخل والخرج عبر خدمة مدير المعلومات التي تعمل على تخمين زمن نقل ملفات الدخل باستخدام المعلومات المتوافرة عن حجم هذه الملفات، ومكان توضع العمل الذي تنتقل إليه، ومن ثم مرحلتها إلى الأماكن المطلوبة للموارد.

يستطيع زبون تسليم العمل تضمين علم يدل على أن الطلب قابل للتكيف (Flexible)، ويستطيع المجدول المحلي بناءً عليه أن يغير من زمن بداية التنفيذ ضمن نافذة البداية، و بعد إنشاء الحجز.

تعتمد خوارزمية التخصيص المتعدد على اعتبار مسألة التخصيص المتعدد هي إجرائية مطابقة متعددة لحجوزات متزامنة تبدأ في نفس الوقت. ونمذجت هذه المسألة كمسألة مطابقة بيان ثنائي الأطراف (Bi-parties)، يكون فيه للمهمات الفردية متطلبات وقيود مختلفة. تعمل الخوارزمية باستخدام زمن ابتداء متزامن مسترخ حيث يمكن للأعمال الجزئية أن تبدأ بأزمنة مختلفة قليلاً عن بعضها البعض. تحدد الخوارزمية المجال الزمني لبدء الأعمال الجزئية عبر تطبيق تقنية إزاحة نافذة زمن البدء، ولعدد من الدورات، حتى ضمان إيجاد مجال بدء متزامن لكافة الحجوزات المطلوبة. وتستخدم عتبة زمنية محددة لمقدار إزاحة النافذة الكلي المرغوب، يتم عندها اعتبار عملية الحجز فاشلة.

لا ينفذ هذا النظام إلى أرتال المجدولات المحلية لتقرير مكان التخصيص والحجز المسبق المطلوب؛ وبهذا يحافظ على استقلالية الوارد وإدارتها. ويعتمد التخصيص المتعدد على مجموعة من التفاعلات بين الجدول المترفع ومزودي الموارد حتى إتمام العملية. أظهرت النتائج المقدمة في هذه الورقة تحسناً في زمن استجابة الطلبات عبر استخدام خدمة تسليم العمل لعدد غير كبير من المستخدمين المتزامنين في النظام.

4-3 النظام (FlexCo)

تقدم الورقة [65]، نموذجاً للتخصيص المتعدد المرن (Flexible Resource Co-allocation - FlexCo) والذي يستخدم الحجوزات المسبقة القابلة للتكيف للأعمال المركبة والمجدولة على مواقع "شبكة" متعددة. تتضمن قابلية التكيف زمن بداية ونهاية تنفيذ مسترخيين، وعدد معالجات قابل للتعديل عبر استخدام الأعمال القابلة للقولبة (Moldable Jobs). يحتوي كل طلب تخصيص متعدد مرن على كافة الأعمال الجزئية المسلمة للمواقع "الشبكة" المختلفة.

يعتمد النظام المقدم في هذه الورقة على إعادة إسقاط (تخصيص) الأعمال على الموارد عبر إعادة الجدولة لتخفيض زمن شبكات الاتصال الفائض. تستخدم الحجوزات المرنة في عملية إزاحة (Shifting) لزمن بداية مركبات العمل الجزئية، بينما تستخدم عملية إعادة الإسقاط (Remapping) للسماح للعمل المركب بتعديل عدد الموارد المستخدمة، عبر محاولة نقل الأجزاء المكونة لها لتعمل على عنقود وحيد إذا أمكن. يهدف النظام إلى تصغير زمن الاستجابة للعمل المركب عبر إعادة الجدولة (وليس تهجير/نقل الأعمال الجزئية)، وإلى تعظيم معدل استغلالية مزودو الموارد.

لا يقوم النظام بالنفذ المباشر إلى أرتال المجدولات المحلية؛ وإنما يقوم الجدول المترفع بتجميع المعلومات المطلوبة عن الفواصل الزمنية المتاحة. تنطلق عملية استمثال الجدول المحلي تحت طلب الجدول المحلي، وعندما لا يستطيع ملئ الفراغات الموجودة في رتل انتظاره من الأعمال

المحلية؛ وعندها يبدأ الجدول المترفع بعملية إعادة الجدولة. لكن على عملية إعادة الجدولة إعادة جدولة كافة المهمات الجزئية المكونة للعمل المركب، وهذا ما قد يولد الحاجة لإيجاد موارد جديدة لضمان زمن بدء واحد لها.

5-3 النظام (GridARM)

يعدّ النظام (GridARM) نظاماً حديثاً يتضمن كافة المفاهيم والتقنيات الجديدة المرتبطة مع الجيل الثالث وما بعده من أجيال "الشبكة". بالأخص بما يتعلق بأتمتة أعمال الجدولة المترفعة، وخدمات مفاوضة الحجز المسبق للموارد، بالاعتماد على نظام حوسبة اقتصادية لدفق أعمال التطبيقات العلمية.

صمم وطوّر النظام (GridARM) [66] [67]، كمدير موارد موزعة مدار ذاتياً قابل للالتساع والامتداد مهمته تسليم الموارد عند الطلب؛ فهو يعمل لصالح مزودي الخدمات مستمثلاً استغلال الموارد وموفرّاً توازن حمل للنظام وفق الحصص النسبية لهذه الموارد في "الشبكة" عبر استخدام استراتيجيات تخطيط للقدرة.

يعمل مدير الموارد كخدمة أمامية مدعومة بثلاث خدمات رئيسية موزعة غير وثيقة الارتباط هي مدير العقدة (Node Manager)، مدير التخصيص (Allocation Manager)، ومدير الفعاليات (Activity Manager). كذلك يعمل كمدير تخصيص متعدد مما يمكنه من تنفيذ حجز مسبق لعدة موارد عند الطلب. إذا لم يتمكن مدير الموارد من إيجاد الموارد المناسبة للطلب محلياً يقوم بالتواصل مع مدراء موارد آخرين في "الشبكة" لتأمين الموارد المطلوبة.

يساعد مدير العقدة الخدمة الأمامية لمدير الموارد باكتشاف، اختيار، وتخصيص الموارد الفيزيائية وبالأخص العقد "الشبكة". يزود مدير الفعاليات النظام (GridARM) بهيكلية لإدارة الفعاليات تمكّن التسجيل الديناميكي للموارد، والنشر الآلي لبرمجيات المطلوبة والتزويد عند

الطلب. تشمل الموارد المدارة في هذه النظام إضافة إلى الموارد الفيزيائية الموارد المنطقية أيضاً من البرامج والتراخيص،

يقدم النظام (GridARM) خدمات التخصيص المتعدد والحجز المسبق عبر آلية التفاوض متعدد الأطوار. وتتألف البنية المعمارية لمسار الموارد من مركبتين تخصيص رئيسيتين: يعمل المحصص (Allocator) على مستوى العقدة، أما المحصص المتعدد (Co Allocator - CM) فيعمل على مستوى "الشبكة". المحصص هو المسؤول عن المفاوضة والإشراف على الحجز المسبق لعقدة "شبكة" واحدة؛ أما المحصص المتعدد فهو المسؤول عن تخصيص عدة عقد "شبكة" تلبية لطلبات تطبيق "شبكة" عبر التفاوض مع عدة محصصين، ويعمل على تأمين التعاون وتعديل بعض القيم في الأعمال المطلوبة بناءً على ارتباطات النظام العمومي ككل. يستخدم المحصص المتعدد بنية موزعة تعتمد على الند الأعظمي (SuperPeer) لتمكين التفاعل والتخصيص في المواقع "الشبكة" غير المحلية والبعيدة عند عدم استطاعة المواقع المحلية من تلبية الطلبات المستلمة. وتولّد خدمة التخصيص المتعدد مستنسخ لمدير تخصيص متعدد (CM) لكل طلب مركّب مستلم في النظام.

يولّد المحصص المتعدد عدة عروض تخصيص متعدد بناءً على العروض المقدمة من المحصصين المستلمين لطلبات العمل الجزئية المكونة لعمل مركّب. ويترك للزبون انتقاء العرض الأكثر مناسبة، ومن ثم يعيد العرض المنتقى مع طلب تثبيت الحجز وتوليد لاتفاقية مستوى الخدمة (SLA) المطلوبة. بروتوكول التثبيت المستخدم في هذا النظام هو ثنائي الطور.

يولّد النظام (GridARM) عدة عروض تخصيص تكون الأقرب إلى الإطار الزمني المطلوب عبر استخدام استراتيجيات مختلفة. يمكن لأحد هذه العروض أن يكون متطابقاً تماماً مع الإطار الزمني المطلوب، أو الأقرب زمنياً بعد الإطار، أو الأبعد زمنياً قبل الإطار الزمني. ويقع على عاتق الزبون اختيار الأنسب حسب رغباته، أو رفض العروض المختارة، أو تعديلها وإعادة التفاوض. يولد هذا النظام عروض الحجزات البديلة عبر استخدام ثلاث استراتيجيات تخصيص (Attentive)، و (Progressive)، و (Shared-Based)، تعمل الأولى على استمثال

المجدول المحلي عبر تصغير المقاطع المحجوزة عبر مراكبة الحجوزات أو مجاورتها مع بعضها البعض؛ وتعمل الثانية (Progressive)، على استمثال التوزيع العادل بين الزبائن المختلفين فتضيف قيوداً على عدد الحجوزات الممكنة لكل زبون في نوافذ زمنية محددة من المجدول، وعلى عدد المعالجات الأعظمي المحجوز من قبل كل زبون في النافذة الزمنية الواحدة؛ أو الإستراتيجية الثالثة فتأخذ عدالة توزيع الحمل وبحسب الحمل الآني التناسبي (Proportional Share) في الموارد قيد التخصيص عند توليد عروض التخصيص.

ولكن يقوم مفهوم الحجوزات في هذا النظام على تعريف زمن بداية تفاوض آني بين مجدول الدفع والموارد لضمان التخصيصات؛ أما الحجوزات فهي لا تربط مادياً بالموارد. وعلى الرغم من ذلك بيّنت النتائج المستخلصة من تحقيق وتحليل النظام أن الحجز المسبق والعروض البديلة قدمت تحسیناً على أداء النظام من عدم استخدامها.

3-6 الأعمال المتعلقة الأخرى

هناك أعمال أخرى تعتمد على استمثال لأحد أو مجموعة من الأهداف قيد البحث، وإن كانت لا تمثل حلاً تكاملياً لكافة الأهداف قيد البحث والتحليل والتحقيق في هذه الأطروحة. لذلك كان من المهم إبراز أهم النتائج المستقاة منها والتي تم الاعتماد عليها في اختيار أفضل الآليات المستخدمة في الحلول المقدمة في هذا البحث.

3-6-1 العمل المقدم من (Q. Snell et al)

يستطلع العمل المقدم في [33] الآثار الناتجة عن تأمين الحجوزات والتخصيصات المتعددة في الأنظمة "الشبكية"؛ ويستكشف الباحثون أهمية استخدام الحجز المسبق لجدولة أعمال "شبكية" في مواقع موزعة ومتباعدة مقارنة بالاستعمال المخصّص (Dedicated Use) لهذه الموارد للاستخدام "الشبكي". تم استخدام ثلاث استراتيجيات للتخصيص المتعدد؛ التخصيص المتعدد المحدد (Specified Co-Allocation) حيث يحدد المستخدمون الموارد ومواقع هذه الموارد

ضمن طلباتهم؛ والتخصيص المتعدد العام الذي لا يحدد المستخدمون فيه أماكن الموارد المطلوبة، والجدولة الاستمثالية التي يحاول فيها المجدول المترفع تحديد الموقع الأفضل لكل طلب موارد لاستمثال كلفة الاستخدام، الأداء، وزمن الاستجابة، أو أي معيار آخر محدد من قبل المستخدم. ويقوم المجدول المترفع باستعلام المجدولات المحلية عن الفواصل الزمنية الحرة لتأمين التخصيص المتعدد. تحدد الطلبات المرسلّة إلى المجدولات المحلية الفترة الزمنية المطلوبة ونوعية الموارد ويكون الرد بإمكانية التخصيص من عدمه. بيّنت نتائج التجارب المحققة تقدّم أداء النظام عند استخدام الحجز المسبق للأعمال المركّبة مقارنة بأدائه عند حجز فترات زمنية مخصصة للاستخدام الخارجي.

3-6-2 العمل المقدم من (T. Röblitz et al)

يقدم العمل المقدم في [68] [69]، مقارنة رياضية لمسألة الحجز المتعدد والتخصيص المتعدد؛ وقدم الباحثون إطاراً عملياً لإدارة الحجوزات المتسايرة على عدة مواقع "شبكة"، أو تطبيقات تتضمن علاقات ترابط زمنية أو مكانية مثل تدفقات الأعمال. عرّفت ووصّفت هذه الأبحاث الحجز المتعدد ودورة حياته، وقدمت معمارية جديدة لمعالجة طلبات الحجز المتعدد التي تدعم موارد الأخطاء. يعتمد مفهوم الحجز المتعدد المقدم على الحجز غير القابل للتجزئة (All-or-Nothing)، ويقدم خوارزميتي تخصيص تسلسلية ومتساوقة. يستخدم هذا النظام عدة استراتيجيات لتوليد خيارات حجز بديلة عند التعامل مع الحجوزات المتعددة المؤكدة والتي يمكن أن تصبح غير متوافرة [70]؛ تعمل الأولى (All Request Parts-ARP) على إيجاد بدائل لحجوزات كافة أجزاء العمل المركّب؛ أما الثانية (Failed, Expired and Granted Request Parts-FEGP) فتعمل على إيجاد بدائل لحجوزات الأجزاء التي فشلت، أو انتهت صلاحية جزءها، أو لبعض الحجوزات المضمونة؛ تؤمن الإستراتيجية الثالثة (Failed and Temporally/Spatially Dependent request parts- FTSD) بدائل الحجز للطلبات التي فشلت، وكافة الطلبات الأخرى المتعلقة بها زمنياً أو مكانياً. يمكن لخيارات الجهد-الأفضل أن

تستخدم إذا ما فشلت جميع الخيارات السابقة أو لم تستطع التوصل إلى حلّ عمليّ لكافة الحجوزات المتعددة أو أن يرفض الطلب.

3-6-3 العمل المقدم من (J. Schneider et al)

ويقدم العمل [71]، بروتوكول قبول سريع وكفاء لتأمين الحجوزات والتخصيصات المتعددة اللازمة لتنفيذ دفع أعمال "شبكي" في بيئة واسعة النطاق، وعالية الديناميكية. البروتوكول المقدم هو تعاوني يعتمد على دمج مقاربتين بروتوكولات التثبيت ثنائية الطور، وبروتوكول السبر (Probing) الذي يخفّض من كمية المعلومات المتبادلة بين طرفي التفاوض على تأمين الحجوزات اللازمة.

يعمل هذا بروتوكول على سبر الموارد المتاحة لترشيح عدة حجوزات للأعمال الجزئية، ويقوم المجدول المترفع في النظام باختيار مجموعة من الفواصل الزمنية المتاحة لكافة أجزاء العمل المركّب؛ وعندها تبدأ عملية الحجز باستخدام بروتوكول تثبيت ثنائي الطور. المرحلة الأولى من بروتوكول التثبيت تحجز الفواصل الزمنية مبدئياً، وإذا تمكن المجدول المترفع من تأمين كافة الحجوزات المبدئية اللازمة للعمل المترفع يبدأ الطور الثاني من البروتوكول وهو تثبيت الحجوزات.

قدم هذا العمل نوعين من الجدولة لدفع الأعمال "الشبكي" [72]، باعتبارها مسألة حجز متزامن في نفس الوقت؛ وهي الجدولة على الخط (In-Line Scheduling)، التي تؤمن الحجوزات والتخصيصات، وتحاول استمثال ناتج التخصيص؛ والجدولة السكونية التي تعمل على استمثال التخصيص تحت طلب المجدولات المحلية بسبب تدهور معدل استغلاليته دون قيمة معينة. في إستراتيجية الجدولة على الخط تم توسيع عمل خوارزمية (Heterogeneous Earliest Finish Time - HEFT) لتضم التخصيص المتعدد والحجز المسبق وأخذ حجز أو توافر قنوات نقل البيانات بين المهمات المترابطة بعين الاعتبار (HEFTSync).

وقد بيّنت نتائج البحث أن معظم تدفقات الأعمال قد رفضت من النظام لعدم إمكانية إيجاد حل عملي لمسألة التخصيص المتعدد بطريقة تغطي كافة الفعاليات الجزئية المتزامنة والمترابطة والمؤلفة لدفق العمل؛ أو لعدم وجود نطاق شبكي كاف لنقل البيانات. لذلك تم تضمين تقنية التراجع الخلفي في نسخة أخرى من إستراتيجية الجدولة على الخط (HEFTSncBT) ليتمكن المجدول من التراجع بحيث يصل إلى أقرب زمن تخصيص للفواصل الزمنية المتعددة المؤلفة لدفق العمل.

أما في الجدولة السكونية فيمكن لزمن خوارزمية الاستمثال (Heterogeneous Latest Start - HLST) أن تكون أطول من الجدولة على الخط، وكذلك يمكن أن تكون رسائل التفاوض المتبادلة بين السمسار والموارد هي أكثر. ولكن تتطلب عملية الاستمثال أن تكون غير قابلة للتجزئة؛ فأى تغيير في حجوزات أعمال جزئية تنتمي إلى دفق "شبكي" يحتم على السمسار أن يعيد عملية الحجز لكافة أجزاء الدفق، وعليه إما أن تتجح جميعها، أو أن تفشل جميعها.

تستعمل خوارزمية التخصيص المتعدد المقدمة هنا الحجوزات القابلة للتكيف، والتي تستخدم في خوارزمية استمثال الجدولة السكونية؛ يعمل المجدول المترفع على حساب الزمن الفائض الموجود في المجدول الأولي للحجوزات الناتج قبل بدء عملية استمثال المورد المحدد ولكامل الدفق، ومن ثم يوزعه بالتساوي بين كافة مهمات الدفق. يقدم المجدول المترفع نافذة المرونة الأعظمية الممكنة لحجوزات دفق أعمال جزئي، والذي قد يكون مؤلفاً من عدد من المهمات المترابطة، والتي لا يعلم المجدول المحلي شيئاً عن أسبقياتها. يمكن لإزاحة تنفيذ المهمات أن يخالف أسبقيات الدفق، لذلك وليتمكن مدير الموارد المحلية من إجراء استمثال لمجدوله عليه أن يكون ممكناً من تطبيقات دفق العمل؛ ومن جهة أخرى، على المجدول المترفع أن يفصح عن معلومات بنية الدفق إلى مدراء الموارد المحليين. أخيراً على المورد قيد الاستمثال أن يرسل الجدولة الجديدة إلى سمسار "الشبكة" ليوافق عليها إذا كانت لا تخالف تراتبيات المهمات الجزئية المنتمية إلى نفس دفق العمل أو ارتباطاتها؛ أما في حالة عدم قبول التعديلات الجديدة من قبل

المستخدم أو السمسار فعلى عملية القبول والرفض أن تكون غير قابلة للتجزئة لجميع الأعمال قيد التعديل في المورد.

3-6-4 العمل المقدم من (A. Sulistio et al)

يقوم العمل المقدم في [73]، على استمثال المجدولات المحلية التي تقدم تخصيصاً لأعمال تدفقات "شبكة". ثلاثة خوارزميات تم اقتراحها في هذا العمل لتحسين معدل استغلالية المجدولات المحلية؛ (Rearrange) و (Move) اللتان تعملان على إعادة إنتاج مجدولات تقلل من عدد المعالجات الكلية المستخدمة لتخصيص دفع العمل وتقليل التجزئة الداخلية في أرتال الانتظار. إما الخوارزمية الثالثة المقدمة (Interweaving) فتعمل على ترتيب تخصيصات عدة تدفقات أعمال محصنة أيضاً لتحسين معدل استغلالية الموارد. تقدم هذه الأطروحة في فصلها ما قبل الأخير نموذجاً للحجز المرن لأعمال مستقلة، وتقتراح خوارزمية جديدة لإنتاج عروض للحجز المطلوب (On-line Strip Packing – OSP) [74]، هدفها أيضاً استمثال المجدولات المحلية. ويحلل البحث المقدم في [69]، نتائج استخدام الحجوزات المرنة ضمن عدة استراتيجيات تخصيص مثل (FCFS)، و (First Fit-FF)، و (BackFilling-BF). أظهرت نتائج المحاكاة المقدمة تفوق الحجز المرن على الحجز القاسي في كل الحالات من ناحية تحسين استغلالية الموارد، وبالأخص عند زيادة معدل مرونة الأحمال التشغيلية المستخدمة في المحاكاة. كذلك أظهرت النتائج تحسين الحجز المسبق لمعدل قبول الحجز على الموارد في النظام.

3-7 توليد مخططات الحجز المرن

معظم الأعمال المتعلقة بتوليد واستخدام مخططات حجز مرتخية أو مرنة تعتمد على إضافة فترات زمنية ($Extra > 0$) إلى طول المجدول الناتج. ومن ثم يتم توزيع الزمن المضاف إلى مهمات الدفع حسب عدة استراتيجيات منها مثلاً التوزيع بالتساوي بين كافة المهمات، مثل ما قدمته الورقة [72] في الفقرة 3-6-3 من هذا البحث.

3-7-1 العمل المقدم من (H. Zhao et al)

تعتمد الورقة [75] على إيجاد طرق تحديد المهمات الجزئية في الدفق قيد التنفيذ والتي هي الأكثر مناسبة لإعادة جدولتها قبل البدء بتنفيذها. تستخدم إعادة الجدولة خلال التنفيذ في الحالات التي يكون فيها تخمين زمن تنفيذ المهمات الجزئية للدفق غير دقيق؛ وتكون أطول من المتوقع مما يهدد بفشل تنفيذ كامل حجوزات المهمات الأبناء لهذه المهمات وبالتالي فشل تنفيذ الدفق. تستخدم هذه الورقة معاملين للتخفيف من نسب إعادة الجدولة نتيجة التخمين الخاطئ لزمن التنفيذ. المعامل الأول هو الوفر الزمني (Spare Time)، الموجود في جدول التخصيص والناجم عن قيود أسبقيات المهمات في الدفق (كمثل انتهاء تنفيذ أحد آباء مهمة ما قبل زمن طويل من انتهاء تنفيذ باقي الآباء لهذه المهمة)، أو قيد تنفيذ مهمات محصنة بطريقة متجاوزة على نفس المورد. أما المعامل الثاني فهو زمن استرخاء المهمة (Slack Time)، المعروف بالوفر الزمني الأصغر لمهمة ما وعبر أي مسار من هذه المهمة حتى مهمة الخرج. بيّنت النتائج فعالية استخدام كل من المعاملين المذكورين في تخفيض عدد مرات إعادة الجدولة وتخفيض عدد المهمات المنقولة بين الموارد؛ وبالتالي تحسين زمن انتهاء تنفيذ الدفق بنجاح.

وتقدم الورقة [76] إستراتيجيتين أساسيتين لتوزيع الزمن إضافي على مهمات الدفق الفردية من أجل أتمتة توليد مخططات حجز مرنة مسترخية. تعتمد الإستراتيجية الأولى على توزيع الزمن الإضافي عودياً على مهمات الدفق؛ وتستخدم معادلات مختلفة لكيفية حساب الزمن الإضافي في دورات الخوارزمية منها؛ توزيع الزمن الإضافي بالتساوي بين مهمات الدفق، وتوزيع الزمن بتناسب طردي مع ثقل المهمات المقدّر. أما الإستراتيجية الثانية فتعتمد على التخصيص بناء على المسار الحرج للدفق؛ وأيضاً تستخدم معادلتين مختلفتين لحساب طريقة توزيع الزمن الإضافي على مهمات الدفق المتبقية تشابه معادلات حساب الإستراتيجية الأولى. نفذت التجارب على هاتين الإستراتيجيتين باستخدام عدة مجداول استثنائية معروفة لإنتاج المجداول الأولية قبل تطبيق خوارزميات توليد مخططات الحجز المرنة، وبيّنت اختلافاً طفيفاً في معدلات الزمن الإضافي لمهمات الدفق الفردية بحسب نوع خوارزمية التخصيص الأولية المستخدمة.

3-8 تأطير أبحاث الأطروحة

يمكننا القول من تنوع وتعدد الأعمال المتعلقة أعلاه، أن مسألة الحجز المتعدد والتخصيص المتعدد، نالت مؤخراً قسطاً وفيراً من البحث والتحليل. ولكن تركّز الأبحاث المقدمة في هذه الأطروحة على مسألة جدولة وتنفيذ وفق أعمال "شبكي" تحت ضوابط جودة الخدمة، وعبر التفاوض. كذلك تستخدم هذه الأبحاث مفهوم الحجز المرن لتوليد العروض البديلة في الموارد. وبإسقاط هذه المتطلبات الإضافية على الأعمال المتعلقة المقدّمة في هذا الفصل لمسألة الحجز والتخصيص المتعددين، نرى أن أقرب الأعمال لهذه المتطلبات جميعها هو النظام (HARC) [63]، ولكنه مع ذلك لا يلحظ مسألة توليد أو استخدام مخططات الحجز المرنة التي تساعد في استمثال أداء النظام. أما الجدول المترفع ذو مفاوض الحجز الكفاء (Simplified Efficient Reservation Negotiator based Meta Scheduler - SERN) [7]، المقدم في هذه الأطروحة، فيعمل على توليد مخططات حجز مرنة قبل بدء عملية التفاوض والحجز. ومن ثم يستخدم هذه المخططات عند الحجز، وهو بذلك يقدم إمكانية استمثال مجداولات الحجز الناتجة وإمكانية إنتاج العروض البديلة آنياً وعند التفاوض. بالإضافة، لا يحتوي النظام (HARC) على جدول مترفع؛ بينما تقدم البنية المختلطة للجدول المترفع (SERN) المقدم هنا مستوى تفاعل أكثر تطوراً وحرفية للتواصل وتأمين متطلبات كافة الأطراف في النظام. صمّم هذا الجدول المترفع (SERN) كبنية مستقلة تماماً ترفع عن الزبائن المهام التي يطلبها منهم النظام المقدم في (HARC)، ليقوم الجدول المترفع بها؛ مثل مهمة اكتشاف ومن ثم الاتصال مع الموارد، وتوليد التخصيصات المطلوبة. من جهة أخرى، توليد العروض البديلة وصولاً إلى حل لمسألة الحجز المتعدد هي آلية تماماً، ولا تتطلب تدخلاً من الزبائن كما هو الحال في النظام (HARC).

من جهة أخرى، يمكن اعتبار العمل المقدم في (JSS) [64]، أقرب الأعمال المقدمة لجهة بنية النظام المقترح في هذه الأطروحة؛ فهو متعدد الطبقات مثل الجدول المترفع المقترح (SERN). ولكن يقدم العمل [64] بنية موزعة تماماً بينما الجدول المترفع (SERN) فقد

صمّم على بنية هجينة هي خليط بين التراتبية والمركزية تؤمن تنسيقاً أعلى للجدولة المتعددة (Co-Scheduling) المطلوبة من تطبيقات تدفقات الأعمال وهي التي لا يدعمها النظام (JSS).

كذلك يستخدم المجدول المترفع (SERN) بروتوكول قبول لتدفقات الأعمال يشابه العمل المقدم في [71]، ولكنه يعتمد على بروتوكول تثبيت ثنائي الطور وليس ثلاثياً كما [71]؛ هذا يبسط من بنيته ويساهم في تصغير زمن استجابة النظام. كذلك النظام المقدم في [72] يستخدم مخططات حجز مرنة؛ ولكنه يكتفي بتوزيع متساو للزمن الإضافي المتوافر في أرتال المجدولات المحلية، وبعد إنتاج المحصص الأولي، وعند بدء خدمة الاستمثال فقط. وعلى الرغم من أن العمل المقدم في [71] يضمن موارد أخطاء أفضل من المجدول المقترح (SERN) [7]، ولكنها ليست من أولويات العمل المقدم في هذه الأطروحة، وإن كانت قد أخذت بعين الاعتبار في بعض الحلول المطروحة.

أخيراً وليس آخراً، تقدم هذه الأطروحة خوارزمية جديدة لتوليد مخططات الحجز المرن لا تتطلب إضافة أزمنة على طول المجدول المستمثل زمنياً من قبل خوارزمية التخصيص، على عكس استراتيجيات توليد مخططات الحجز المرنة المقدمة في [75].

3-9 ملخص الفصل

على الرغم من أن مسألة التخصيص المتعدد ليست جديدة ولكنها لم تحظ بالاهتمام إلا مؤخراً. قدم هذا الفصل أهم الأعمال المتعلقة بمسألتني التخصيص المتعدد، والحجز المتعدد مع عرض لأهم الحلول والتحقيقات والخوارزميات المقترحة. تشمل هاتين المسألتين الكثير من الامتدادات والتوسعات بحسب تخصيص الأنظمة المحققة لها وبنيته الهيكلية، أو بحسب نوع التطبيقات المستخدمة فيها، أو بحسب الآليات المستخدمة لإيجاد الحلول فيها، أو بحسب معايير الأداء المصممة لأجلها؛ هذا ما حتم مقاربة الأبحاث المتعلقة من عدة زوايا تضم كافة التفاصيل السابق ذكرها، وهو ما تمت مقارنته مع الأبحاث المقدمة في هذه الأطروحة في الفقرة (3-8) وصولاً لتأطير دقيق لها.

يقدم الفصلين اللاحقين (4)، و(5) تفاصيل للحلول الجزئية لمسألتَي توليد مخططات الحجز المرن، ومسألة تأمين واستمثال الحجز المتعدد باستخدام الحجوزات المسترخية على التوالي؛ أما الفصل (6) فيقدم المجدول المترفع الذي يستخدم الحلول المقدمة في الفصول التي سبقتَه عبر مكاملتها مع بعضها البعض، ومطوِّراً لها ليقدم الجدولة المتعددة الضامنة لمستويات الخدمة المطلوبة من تدفقات الأعمال "الشبكية".

الباب الثاني

الحلول العملية المقترحة

4 توليد مخططات الحجز المرنة

Generating Elastic AR Plans

بيّنت الكثير من الأبحاث قدرة الحجز المسبق على تحسين تخمينات البيئات التنفيذية عالية الديناميكية والتي تضم مزودو موارد يتمتعون بإدارات مستقلة مثل بيئة "الشبكة" [29] [30]، مما يسمح بالقدرة على التنبؤ بأداء التطبيقات واستمثالها. كذلك يستخدم الحجز المسبق كآلية رئيسية لتأمين التخصيصات المتعددة [64]، للأعمال المتوازية، وتدفقات الأعمال [72]، وبالأخص لتطبيقات تدفقات الأعمال الحرجة زمنياً؛ مما يسمح للنظام بضمان مستويات الخدمة المطلوبة ومنها زمن التنفيذ الأقصى المطلوب. إضافة الى ذلك، بيّنت الأبحاث قدرة الحجز المسبق على تحسين أداء تطبيقات تدفقات الأعمال مثل زمن الاستجابة [45] [46] [47].

من جهة أخرى، يؤمن الحجز المسبق تنفيذاً دون تنافسية في البيئات عالية التنافسية، وبالأخص التي تحتوي إدارات مستقلة تستخدم سياسات جدولة محلية تعتمد على الأولوية؛ وإذا كان زمن الحجز المتقدم (Book-Ahead Time) طويلاً بشكل كافٍ، وهو الزمن الفاصل بين البدء بعملية التفاوض والحجز، وبين البدء بتنفيذ المهمة، يستطيع مزود الخدمة أن يعدّل من قدرات الموارد المقدمة للتناسب مع القدرة المطلوبة فقط. كذلك يمكن للمزود استغلال فترة التفاوض لتحقيق توازن للحمل عبر ترويج الفترات الزمنية ذات الاستخدام الضعيف. لهذه الأسباب مجتمعة نستخدم الحجز المسبق في هذه الأطروحة كآلية تزويد الموارد في "الشبكة"، لتطبيقات تدفقات الأعمال ذات مستوى جودة مطلوب.

يعتبر الحجز المرن أحد أهم الآليات المستخدمة لتخفيض مساوئ الحجز المسبق على النظام؛ فهو يمكن من تحسين أداء عملية الحجز، والقبول، والتنفيذ للتخصيصات المتعددة المضمّنة في

تدفقات الأعمال على مجال البيئات "الشبكية"؛ وذلك عبر زيادة نسبة المرونة لمخططات الحجز المسبق لها [77]. ومن جهة أخرى، يسمح الحجز المرن باستمثال أرتال انتظار مجدولات الموارد المحلية لتمكين المدراء من جدولة أكثر كفاءة من الحجوزات القاسية التي يفرضها الحجز المسبق [65]. مسألة توليد حجوزات مرنة لتدفقات الأعمال لم تلق حتى الآن اهتماماً واسعاً؛ فمعظم الحلول تعتمد على توزيع زمن إضافي على جدول التخصيص لمهام الدفع وفق استراتيجيات توزيع مختلفة.

تعتبر عملية إدارة الموارد في البيئات "الشبكية" والبيئات واسعة النطاق عموماً هي مسألة معقدة؛ عليها أن تضمن سلامة وسرية المعلومات، مواربة الأخطاء، وجدولة الموارد. تتضمن الجدولة عند استخدام آليات الحجز تخطيطاً وحجزاً للموارد قبل تسليم الأعمال لها؛ ويعرّف التخطيط والحجز على أنه جزء من إدارة الموارد في النظام؛ وهو العملية التي تتضمن تحليل العمل وتحديد الموارد المطلوبة لتنفيذ ناجح له. وبناءً على هذه النتائج يتم حجز الموارد لصالح المستخدم. تعتبر الأعمال التدفقية من أصعب أنواع الأعمال للتحليل وتحديد الحجوزات والموارد؛ بسبب الأسبقيات والتعاون والترابط المحدد بين المهمات المختلفة في سياق الدفع.

يقدم هذا الفصل خوارزمية جديدة لتوليد مخطط حجز مسبق مرنة هي خوارزمية (Elastic Workflow Advance Reservation Planning Algorithm – EWARP) [5]، من مجدولات دفع عمل استمثالية. تعتمد هذه الخوارزمية المقترحة من أجل توليد المخطط المرن على استغلال الفجوات الزمنية في جدول التخصيص، وليس عبر إضافات زمنية على طول الجدول. تنتج الفجوات الزمنية في جدول التخصيص ما بين المهام المجدولة على نفس المورد والمتتالية، وتلك الناتجة عن أزمنة الاتصالات الداخلية بين مهام الدفع، وعن أسبقية ترتيب المهمات المنفذة على الموارد المختلفة.

يعرض القسم الأول من هذا الفصل جدولة دفع الأعمال "الشبكي"، ويقدم القسم الثاني ماهية المسألة قيد الدراسة والتحليل وهي توليد المخططات المرنة. أما القسم الثالث فيعرض بالتفصيل النماذج المستخدمة لتوصيف المسألة وتطوير الحلول لها. تقدم الأقسام الأخيرة من هذا الفصل

خوارزمية (EWARP)، وتعرض شرحاً تفصيلياً لها باستخدام مثال عملي، ثم تقدّم النتائج وتعرض تقييماً وتحليلاً موضوعياً لها. يلخص القسم الأخير الأعمال المقدمة في هذا الفصل.

1-4 جدولة دفع الأعمال "الشبكي"

تستطيع خوارزميات الكسبيات إيجاد حلول جدولة لمسائل محددة فقط أو تتناسب نوع محدد من المسائل والتطبيقات. يمكن تصنيف خوارزميات هذا النوع إلى أربعة أصناف رئيسية؛ جدولة المهمات الفردية (Individual Tasks Scheduling)، وجدولة اللائحة (List Scheduling)، الجدولة بالاعتماد على مضاعفة المهمات (Task Duplication-Based Scheduling)، والجدولة العنقودية (Cluster Scheduling) [60].

تعد جدولة المهمات الفردية هي الأبسط لجدولة دفع أعمال التطبيقات. تأخذ الكسبيات المستخدمة قرار الجدولة بالاعتماد فقط على المهمة الفردية. وبالتالي فإن عملية اتخاذ قرار الجدولة تكون محلية، لا تعتمد على معلومات الدفع الكلية. تعد خوارزمية (Myopic) المحققة في عدد من المجدولات "الشبكية" ومنها (Condor-DAGMan) [22]، مثلاً عن هذه النوع.

تعتمد الجدولة اللائحية بشكل أساسي على مبدأ تحديد أولويات للعقد المكوّنة للمبيان، ثم ترتيب هذه العقد حسب أولوياتها في لائحة. وتبدأ من ثم بتخصيص العقد بدءاً بالعقد ذات الأولوية الأعلى. وتعتمد كل من الجدولة العنقودية، ومضاعفة المهمات على مبدأ تخفيض زمن نقل المعطيات والنتائج الوسطية بين المهمات المترابطة بهدف إنقاص زمن التنفيذ الكلي لدفع الأعمال. يمكن لتخفيض زمن الاتصال ونقل المعطيات الداخلي أن يتم إما عبر تقسيم المبيان إلى عدد من العناقيد أولاً، ومن ثم تخصيص كل المهمات في العنقود الواحد على مورد واحد كما في الجدولة العنقودية، أو عبر استغلال زمن الخمول الموجود في الموارد التي تم تخصيص المهمات إليها؛ فيتم مضاعفة أحد آباء المهمة المحصنة إلى المورد لتعمل في زمن الخمول كما هو في الجدولة بمضاعفة المهمات.

من جهة أخرى، يمكن أيضاً تمييز نوعين من جدولة تدفقات الأعمال؛ جدولة مهمات هذه التدفقات باعتبارها مهمات مستقلة فيما بينها (مثل جدولة المهمات الفردية)، وجدولة تدفقات الأعمال باعتبارها مجموعة من المهمات المترابطة، وبالتالي يكون قرار الجدولة في هذا النوع هو عمومياً وعلى مستوى كامل الدفق.

هناك عدة خوارزميات جدولة دفق أعمال لمهمات مستقلة مجمعة أو مقسمة في بيئة "الشبكة" (Grid Workflow Scheduling)؛ يقدم المرجع [78] عدداً منها ويقارنها مع بعضها البعض؛ من أهمها خوارزميات (Min-Min)، و (Max-Min)، و (Suffrage)، وأخريات. هناك العديد من المجدولات لدفق الأعمال "الشبكية" المحققة لجدولة مجموعة من المهمات المستقلة المعروفة ضمن تدفقات الأعمال، ومنها (GrADS) [79]، و (Pegasus) [27]. من المهم التنويه أن المجدولات المذكورة هي مستقلة عن خوارزميات الجدولة المستخدمة فيها، وبالتالي يمكن استخدام أنواع أخرى من الخوارزميات لهذه المجدولات. هذا النوع من جدولة المهمات المستقلة هو ليس من اهتمامات هذا البحث. أما بالنسبة إلى الجدولة لمجموعة من المهمات المترابطة والتي تأخذ معلومات كامل الدفق لتحديد قرار الجدولة، فمن أشهر الخوارزميات هي (Heterogeneous Earliest Finish Time – HEFT) [80]، التي تعد من أكثر خوارزميات جدولة دفق أعمال مرجعية في أدبيات الأبحاث الحديثة. هناك عدد من مجدولات دفق الأعمال "الشبكية" المحققة لمجموعة من المهمات المترابطة؛ منها (Condor-DAGMan) [22]، و (UNICORE plus) [18]، و (Pegasus) [27]، و (ASKALON) [67].

2-4 عرض المسألة

قدمت الكثير من الأبحاث حلولاً لمسألة استمثال جدولة المبيان اللاحقي الموجّه (DAGs) على الأنظمة الموزعة المتجانسة التقليدية، وغير المتجانسة والمتوازية. أما الأنظمة الموزعة واسعة النطاق "كالشبكة" والسحابة فهي تقدم تحديات جديدة على هذه الحلول؛ من أهمها اختلاف البيئة التنفيذية لهذه التطبيقات فأصبحت عدم التجانس بمسئوى أكثر تعقيداً، إضافة إلى الزمن الفائض

لتأمين اتصالات ونقل المعطيات على الشبكات الواسعة والانترنت. كذلك ظهرت عدة مسائل تتعلق باستقلالية إدارة المواقع "الشبكية" المختلفة والمسؤولة عن تزويد الموارد اللازمة لتنفيذ دفع الأعمال؛ من أهمها عدم تأمين الضمانات اللازمة لكيفية التنفيذ، وزمن بداية ونهاية هذا التنفيذ.

يعود سبب عدم القدرة على تأمين الضمانات إلى خضوع المجدولات المحلية لسياسات جدولة متنوعة، واعتمادها على سلوكيات مختلفة لأرتال انتظارها، والتي بأغلبها تستند إلى سياسات الجهد الأفضل التي تعتمد على سياسات مثل القادم أولاً- يخدم أولاً (First Come First Serve - FCFS)، أو العمل الأقصر أولاً (Shortest Job First - SJF)، أو الزمن الأقصى الأقرب أولاً (Earliest Deadline First - EDF)، أو غيرها. اختلاف سياسات المجدولات المحلية هذا لا يمكن مجدولات دفع العمل "الشبكية" من التنبؤ بزمن بداية ونهاية تنفيذ التطبيق المستلم، بسبب عدم تمكنها من التنبؤ بأزمة الانتظار التي ستعترض تنفيذ التطبيق في أرتال مجدولات الموارد المحلية. وبالتالي فهي لا تستطيع ضمان زمن التنفيذ الأقصى المطلوب (Deadline) من المستخدم، مما يعني عدم إمكانية الالتزام بضوابط جودة الخدمة المطلوبة والتي هي من السمات الرئيسية في البيئات "الشبكية" والنفعية. كذلك تتطلب الكثير من تطبيقات دفع الأعمال الحرجة زمنياً نفاذاً متزامناً إلى عدد من الموارد في نفس الوقت، وأزمة انتهاء تنفيذ معروفة ومخمنة من قبل النظام. هذا ما يستوجب من البرمجيات "الشبكية" الوسطى أن تقدم خدمات تخطيط تسمح للمستخدمين بحجز مسبق بناءً على متاحة الموارد، وعلى استيفاء الشروط الزمنية الحرجة لتطبيقاتهم.

4-2-1 المجدولات المحلية للموارد

على العموم، تكون أرتال انتظار المجدولات المحلية غير مرئية من قبل المستخدمين.

لذلك لا يمكنهم التنبؤ بطول فترة الانتظار أو بقدرة المورد لتنفيذ العمل قبل تسليمه إلى رتل الانتظار المحلي للمورد؛ لذلك فإن سياسات الجدولة المعتمدة على الجهد الأفضل المستخدمة

تقليدياً لا تكون كافية ضمان ضوابط جودة الخدمة المطلوبة من المستخدمين كالزمن الأقصى المطلوب لانتهاء التنفيذ. كذلك تفتقد معظم مجدولات الدفع "الشبكة" التقليدية السابقة القدرة على دعم التخصيص المتعدد الذي يتضمن عدد من المزودين.

وعلى الرغم من أن نظام إدارة الموارد في "الشبكة" يقدم حلولاً لجدولة التطبيقات العامة بطريقة مقبولة من حيث الأداء والكفاءة، لكن هذه الأنظمة تقدم حلولاً منخفضة الجودة بالنسبة لتطبيقات تدفقات الأعمال واسعة النطاق؛ فالكثير من المواقع "الشبكة" المحلية الحالية هي غير ممكنة من أجل تنفيذ عدد من الأعمال القصيرة المترابطة، وبالتالي فتسليم هذه المهمات المكونة لدفق الأعمال إلى هذه المواقع يقدم عدد من المساوئ منها:

- 1- معظم أنظمة الجدولة المحلية تقدم ميزات إضافية متقدمة من أجل التنفيذ المتوازي، والأرتال المتعددة، والحجز المسبق، وأولوية الأعمال، وبالتالي تقدم زمن حمل فائض عالي وفواصل زمنية طويلة للجدولة، قد تكون أطول من زمن تنفيذ المهمات المستلمة؛ مما يؤدي إلى استغلال ضعيف وإنتاجية سيئة للموارد. من ناحية أخرى تؤثر أزمدة الحمل الفائض على أداء التطبيق عن طريق زيادة زمن تنفيذ التطبيق بشكل كبير.
- 2- تزيد التنافسية العالية من قبل المستخدمين على الموارد المشتركة من طول الرتل؛ وبالتالي تزيد من أزمدة انتظار الأرتال مما يؤثر على تنفيذ كامل الدفع بسبب ترابط المهمات فيه.
- 3- السياسات المحلية في معظم مواقع "الشبكة" هي غير صديقة لتدفقات الأعمال؛ فهي تعطي أولويات أعلى للأعمال الكبيرة على حساب الصغيرة مما يؤدي إلى زيادة أزمدة انتظار الصغيرة التي تنتمي إلى دفع أعمال ما، كذلك تضع بعض سياسات المجدولات المحلية حداً أعظمي على عدد الأعمال المنتظرة في الأرتال التابعة لكل مستخدم، مما يفاقم من المشكلة السابقة ويحد من الأعمال التي يمكن أن تعمل معاً.

مما يعني أن توزيع مهمات دفق عمل واحد إلى عدة مواقع شبكية تعمل تحت إدارات مختلفة، ولكل منها جدولها الخاص ورتلها الخاص من أجل تنفيذها، يمكن أن يضّر باستغلال التوازي المطلوب أو الناتج عن جدول استمثالي للزمن. هذا يعني أنه وبسبب وجود المجدول المحلي المعتمد على الرتل، وعدم التنسيق والتعاون بين إدارات المجالات المختلفة، يمكن للمهمات المتوازية أن تنفذ بطريقة تسلسلية، وبالتالي لا يلحظ التوازي فيها.

تستطيع بعض أنظمة إدارة دفق الأعمال (Workflows Managmnet Systems - WfMS) تجنب بعض هذه المسائل؛ فيمكن ل (Pegasus) [27]، وعبر استخدام تقنيات إعادة تشكيل الدفق المقدمة فيه التخفيف من هذه السيئات باستخدام عنقدة المهمات. يمكن أن تتجز عملية العنقدة إما أفقياً عبر تجميع المهمات المستقلة في كل مستوى من الدفق، أو عامودياً عبر تجميع الآباء مع الأبناء. تؤمن عملية العنقدة ميزتين لتنفيذ دفق الأعمال؛ فهي تنقص من عدد المهمات المطلوب جدولها في الدفق؛ وبالتالي تنقص كلفة الجدولة الكلية للدفق، وكذلك تنقص زمن التأخير الكلي الناتج عن الأرتال، وأيضاً تقوم بزيادة زمن التنفيذ المتوسطي للأعمال في الدفق (عبر جمعها) مما يحسّن من استغلالية الموارد. يمكن أن تظهر العنقدة من جهة أخرى آثاراً سلبية جانبية مثل زيادة زمن تنفيذ الدفق الكلي بسبب تأخير تنفيذ الأعمال عبر منع المجدول المحلي من الاستفادة من فرص ميزة التعبئة الخلفية للأعمال الصغيرة، وكذلك تنقص العنقدة الأفقية من توازي الدفق، مما قد يسبب بزيادة طول المجدول فيه.

بالعموم، تعتبر آلية التفاوض على زمن بداية التنفيذ المستقبلي، والحجز المستقبلي، أهم الطرق المستعملة للتخلص من مشكلة أرتال الانتظار في المجدولات المحلية. كذلك تستخدم الجدولة المترقّعة لتأمين الضمانات وضوابط جودة الخدمة. ويعتبر الحل الأفضل للتفاوضي المستخدم لضمان تنفيذ دفق الأعمال على مجموعة من الموارد الخاضعة لنطاقات مختلفة، وبمستوى جودة عالي هو الحجز المسبق للموارد. يتم ذلك من خلال مفاوضة عدد من مزودي الخدمات لتحديد الأنسب منها من ناحية طول زمن الانتظار، والكلفة، وتحقيق مستوى الخدمة المطلوب مثل الضابط الزمني الأقصى للتنفيذ.

4-2-2 الحجز المسبق المرن

يسبب الحجز المسبق (Advanced Reservation) تجزئة داخلية لأرتال انتظار أنظمة الجدوليات المحلية بسبب القيم المحددة لأزمنة بداية ونهاية طلبات الحجز المثبتة عليه؛ وتزداد هذه المشكلة حدة في البيئات "الشبكية" عالية الديناميكية حيث يمكن لحجوزات الأعمال أن تعدل، أو تلغى، أو تكرر بكثافة عالية. تسبب التجزئة الداخلية العالية انخفاضاً لمعدل استغلالية الموارد، وتزيد من معدلات رفض ادارات الموارد للحجوزات الجديدة المقدمة من جدوليات النظام المترفعة بسبب عدم توفر الفواصل الزمنية ذات الطول المناسب. تستخدم إدارات الموارد المحلية عادة إجراءات استمثال لمعدل استغلالية مواردها عبر إعادة ترتيب الأعمال في رتل انتظارها، بطريقة تخفف قدر الإمكان من التجزئة الداخلية؛ ولكنها تضع في معظم الأحيان الأعمال الآنية المستلمة، مع الأعمال ذات الحجز المسبق في ذات رتل الانتظار؛ وبذلك تشكل الحجوزات القاسية عقبة رئيسية أما إجراءات الاستمثال هذه.

يستخدم الحجز المسبق المرن (Elastic Advanced Reservation) كأحد أهم الوسائل لرفع كفاءة أرتال الجدوليات المحلية عبر استبدال الحجز القاسي بحجوزات مرنة، يمكن للمجدول المحلي إزاحتها قبل بدءها لتحسين معدل استغلاليته وتخفيض تجزئته الداخلية؛ هذا ما يحسن أيضاً من معدلات قبول الأعمال الجديدة المقدمة من الجدوليات المترفعة في النظام. يمكن أن تضمن المرونة في الحجز عند بداية إجراءات استمثال في المجدول المحلي الذي يستعلم من المجدول المترفع عن مقدار قابلية التكيف المتوافرة للحجوزات المثبتة في رتل انتظاره كما هو مستخدم في [72]، والذي يتطلب معلومات عن ترتيب المهمات المختلفة في أرتال انتظار الجدوليات المحلية. في البيئات الخدمية، والنفعية مثل "الشبكة" النفعية، لا يرغب سماسرة الموارد المترفعين بالكشف عن هذه المعلومات خوفاً من أن يقوم مدراء الموارد من التواصل مع الزبائن مباشرة لاقتراح اتفاقيات تعمل على استبعاد سماسرة الموارد.

تطبق آلية توزيع المرونة على المهمات المفردة من قبل المجدول المترفع وقبل طلب الحجوزات المشكلة السابقة؛ وتتجز معظم الحلول المستخدمة لإنتاج مخططات الحجز المسبق المرنة أو نصف المرونة المعروفة عبر إضافة أزمنة (Extra Time) إلى طول المجدول، ومن ثم توزيع هذا الزمن على المهمات المحصنة فيه عبر استراتيجيات توزيع مختلفة مثل التوزيع المتساوي بين مهمات الدفق، أو بحسب الأولوية لمهمات المسار الحرج، أو بحسب وزن المهمات [76]. عملياً، هذا يعني إطالة زمن المجدول بمقدار الزمن الكلي المضاف؛ في حين أن معظم خوارزميات جدولة تدفقات الأعمال تهدف إلى استمثال زمن التنفيذ النهائي أو طول المجدول (Makespan). أما بالنسبة لتدفقات الأعمال التي تتطلب حداً أقصى لزمن التنفيذ، فعادة ما يعتبر الفارق الزمني بين نهاية المجدول، والحد الزمني الأقصى المطلوب هو الزمن الكلي المضاف. على أن هذا الفارق يكون أكبر من الصفر في الحالة العملية؛ أي (Deadline > Makespan)، وهي الفرضية المستخدمة أيضاً في هذه الأطروحة.

يقوم المجدول المترفع بشكل عام برفض الطلب إذا كان الزمن الأقصى المطلوب هو أصغر من طول المجدول الناتج ويعيده للمستخدم لعدم إمكانية تنفيذه؛ عندها يستطيع المستخدم تعديل القيد الزمني المطلوب وإعادة الطلب مرة أخرى.

4-2-3 مقاييس الأداء

الهدف الرئيسي لخوارزمية توليد مخطط الحجز المرن المقدمة في هذا الفصل هو تعظيم نسبة مرونة المجدول الناتج (Elasticity Ratio) وهي النسبة المئوية لعدد المهمات المرنة من عدد مهمات الدفق الكلي في مخطط الحجز المرن الناتج، أو الوفر الزمني للدفق وهي النسبة المئوية لمجموع الوفر الزمني لكامل الدفق من طول المجدول الناتج، وعبر استمثال استغلال الفجوات الزمنية الناتجة في مجداولات التخصيص. تم تحليل وتقييم عمل خوارزمية (EWARP) لمقاييس الأداء المذكورين، وبحسب بارومترات مختلفة لدفق العمل من جهة، ونوع خوارزمية الجدولة المستخدمة لتوليد المجداولات الدخل الأولوية.

من أجل التحقيق العملي للخوارزمية (EWARP)، تم تحقيق ثلاث خوارزميات جدولة دفق عمل استمثالية مرجعية ومعروفة، وهي خوارزميات (HEFT) [80]، و (Performance Effective Task Scheduling - PETS) [87]، و (Dynamic Critical Path for Grids - DCP-G) [88]. يقدم القسم الثالث تعريفاً بكيفية عملها، وبالمعادلات المستخدمة فيها، حيث تستخدم مجدولات التخصيص الناتجة عن هذه الخوارزميات كدخل لخوارزمية (EWARP).

تطرح الخوارزمية المقدمة في هذه الورقة (EWARP) - آلية مستقلة ذاتياً (Autonomic) لتوليد مخططاً للحجز هو مزيج من الحجوزات المرنة والقاسية لمهام دفق أعمال؛ دون إعطاء أية إضافات زمنية لطول الجدول الناتج؛ وذلك عبر استغلال الفجوات الزمنية المتواجدة فقط في الجدول الناتج. يمكن لخوارزمية (EWARP) أن تستخدم أي مجدولات ناتجة عن أية خوارزميات جدولة للتطبيقات التدفقية، وبغض النظر عن نوعها أو طريقة عملها.

3-4 النماذج والتوصيفات الأساسية

تقدم هذه الفقرة النماذج المستخدمة لكل من تطبيقات دفق الأعمال، والحجوزات المسبقة المرنة؛ وتعطي توصيفاً دقيقاً لها مع أهم المعادلات المستخدمة في معالجتها. كذلك تقدم كافة التدوينات الأساسية المستخدمة في كامل هذه الأطروحة.

1-3-4 نموذج تطبيقات تدفقات الأعمال

يقسم دفق العمل بشكل عام إلى ثلاثة أنواع رئيسية؛ التسلسلي (Sequential)، والحلقي (Cyclic)، واللاحقي (Acyclic). في دفق العمل التسلسلي، تنفذ العمليات الجزئية المكونة لدفق العمل وفق تسلسل خطي محدد؛ يكون هذا النوع سهلاً للتعريف ويمكن توصيفه باستخدام لغة اختطاط بسيطة. إما تدفقات العمل المعقدة فهي تميل إلى أن تكون من النوعين الآخرين. النوع اللاحقي والذي عادة ما يمثل عبر المبيان اللاحقي (Acyclic Graph)، والذي تعبر فيه العقد عن المهمات الجزئية أما الحدود الواصلة فتعبر عن الارتباطات بين هذه المهمات الجزئية.

من الصعب توصيف المبيان اللاحقي باستخدام لغات اختطاط بسيطة، لذلك غالباً ما تستخدم لغات توصيف خاصة لدفق العمل. يعتبر المبيان الحلقي فهو أعقد أنواع دفق العمل؛ إن الاتصالات بين الخدمات في هذا النوع تأخذ شكل مجموعات تبادل رسائل، وتعتبر حدود الوصل في المبيان عن الخدمات المتصلة مع بعضها البعض عبر تبادل الرسائل.

تصنّف الغالبية العظمى من التطبيقات "الشبكية" في أيامنا هذه بمبيان مهمات متفاعلة مع بعضها البعض ذات أسبقيات محددة؛ والذي يعبر عنه بالمبيان اللاحقي الموجّه (Direct Acyclic Graph - DAG). لذلك تم اعتماده في باقي هذه الأطروحة لنمذجة تطبيقات تدفقات الأعمال المستلمة في نظام "الشبكة".

ويعبر المبيان اللاحقي الموجّه (DAG) عن عدد من المهمات الجزئية المتفاعلة والمتصلة مع بعضها البعض، والمتواجدة في بيئة ديناميكية مكونة من مجموعة من الموارد غير المتجانسة ومن عدد من وصلات شبكة الاتصال غير الموحدة أو غير المتماثلة. تمثل العقد في المبيان عن المهمات الجزئية المكونة لدفق أعمال التطبيق؛ حيث تعبر كل عقدة عن تنفيذ مركّب يتميز بمجموعة من الخواص المحددة مثل كلفته المقدرة والمتطلبات المحتملة له من أجل التنفيذ على منصات عمل مستهدفة، ومعايير جودة خدمة خاصة لتنفيذه. أما الموجّهات (Directed Edges) أو الأسهم (Arcs)، فهي تعبر عن ارتباطات التنفيذ الداخلية لدفق الأعمال، وعن كمية الاتصال والمعطيات بين المهمات الجزئية. وبحسب الموجّهات، لا يمكن لمهمة جزئية البدء بالتنفيذ قبل وصول كافة المعطيات اللازمة لبدء التنفيذ من العقد السابقة أو آباء المهمة قيد التنفيذ، ووصول إشارات التحكم لبدء التنفيذ بعد انتهاء تنفيذ كل آباء المهمة قيد التنفيذ. عادة ما تكون الارتباطات، والتي تمثل المعطيات بين مركبات التطبيق أو دفق أعمال "الشبكة"، هي عبارة عن ملفات ضخمة تكتب من قبل مهمة أو مركبة أخرى من الدفق، وتتطلب تنفيذ مركبة أو عدة مركبات أخرى من التطبيق.

4-3-2 توصيف مسألة جدولة دفع للاحلي موجّه

من الناحية الرياضية، فإن مسألة جدولة المبيانات من النوع (DAGs) هي مسألة ذات تعقيد من الرتبة (NP-Complete) بشكلها العام [81] [82]. عادة ما يتم تحديد بعض الفرضيات الأولية التي يمكن أن تخفف من تعقيد المسألة للوصول إلى حلول قابلة للتحقيق؛ حيث تتعلق هذه الفرضيات ببنية المبيانات الممثلة للتطبيق، وكذلك تتعلق بنموذج النظام الموزّع.

يعرّف المبيان (DAG) رياضياً بأنه تابع ثنائي من الفضائيات $G = (V, A)$ حيث تعبر (V) عن فضاء العقد في هذا البيان، أما (A) فتعبر عن فضاء الأسهم (Arcs)، والمكون كل عنصر منها من عنصرين من الفضاء V، ذات اتجاه محدد؛ أي أنها عبارة عن زوج من الشكل $(i, j) \in V$ ، وله اتجاه يحدد الأسبقية، أي أن السهم يتجه من العقدة (i) إلى العقدة (j). يعبر عن كمية الحساب المقدر لكل عقدة (n_i) ، أي زمن تنفيذها على معالج قياسي، بتقل العقدة؛ ويعطى بالمعامل (w_i) المنتمي الى الصف (W) الذي يضم ثقل كافة العقد في المبيان. ويعبر عن زمن الاتصال بين عقدتين من (n_i) إلى (n_j) بالرمز (C_{ij}) ، والتي تحدد كمية المعطيات المتبادلة بين العقدتين المحددتين.

يكون المبيان (DAG) ذو تسلسل داخلي محدد إذا كان يمكن إسقاط كل عقدتين متتاليتين من المبيان على فاصلين زمنيين غير متقاطعين على خط الأعداد الحقيقية [83]. تسمى عقدتان تنتميان إلى مبيان (DAG) أنهما مستقلتان إذا لم يكن بينهما أية ارتباطات وبالتالي ليس بينهما أية أسهم بشكل مباشر. وتسمى العقدتان أنهما مرتبطتان إذا كان بينهما وعلى الأقل، سهم مباشر واحد.

يدعى الحجم الأعظمي من المهمات المستقلة بعرض المبيان DAG، (DAG Width). وتسمى العقدة بالمصدر (Source) أو بالمدخل (Input)، إذا لم يكن لديها أية أسهم قادمة أو آباء، وتسمى العقدة بعقدة خرج في المبيان (Exit) أو بالمرج (Output)، إذا لم يكن لديها أية أسهم خارجة منها أو ليس لديها أي أبناء. يمكن تحويل أي دفع أعمال متعدد المصادر، أو متعدد

المخارج، إلى وحيد المصدر أو وحيد الخرج بإضافة عقدة ذات وزن صفر إلى بداية أو نهاية المبيان، إذا كانت خوارزمية الجدولة تتطلب عقدة مصدر أو عقدة خرج وحيدة للمبيان (DAG) [84].

يعرّف المسار (Path) في المبيان من النوع (DAG) بأنه تسلسل من العقد $(a_1, \dots, a_k)$ ؛ حيث $(a_i \in v)$ و $i = (1, \dots, k)$ ، وتسلسل من الأسهم في هذا المسار وبحيث أن $((a_i, a_{i+1}) \in A)$ ، وأن $(i = 1, \dots, k-1)$.

يعرّف المستوى الأعلى (Top Level - Tlevel) لعقدة (n_i) بأنه ثقل المسار الأطول من العقدة المصدر للمبيان إلى العقدة (n_i) دون أخذها بعين الاعتبار. ويحسب طول مسار ما في المبيان كمجموع كل الأثقال التابعة للعقد وكذلك للأسهم التي تقع على هذا المسار.

يستعمل البارومتر (Tlevel) لعقدة ما (n_i) في تحديد زمن البداية الأقرب للعقدة (Earliest Start Time - EST)، والذي يعبر عنه بالقيمة $(EST(n_i))$ ، ويتحدد هذا الزمن بعد أن يتم تخصيص العقدة (n_i) على مورد فيزيائي محدد. هذا البارومتر هو ديناميكي لأنه يتعلق بالبنية الفيزيائية للمورد المختار (حسب سرعة المعالج وحجم الذاكرة)، والتي تتغير من زمن التنفيذ النسبي المقدّر.

يمكن تصفير ثقل سهم أو أسهم في المبيان إذا ما تم إسقاط (n_i) على ذات المورد الذي عيّن لعقدة أو عقد سابقة مباشرة لها، ولديها ارتباطات (أي أسهم) مع العقدة (n_i) ، أي من آبائها.

أما المستوى الأدنى (Bottom Level - Blevel) لعقدة (n_i) ، فيعرّف على أنه ثقل المسار الأطول من العقدة (n_i) ، إلى عقدة خرج المبيان ومتضمناً ثقلها. من الممكن حساب قيم كل من (Blevel) و (Tlevel) بتعقيد زمني قدره $O(v + a)$ ، حيث تعبر (v) عن عدد العقد في المبيان، و (a) عن عدد الأسهم فيه.

يعرّف المسار الحرج (Critical Path – CP) لمبيان (DAG) على أنه المسار الأطول في هذا المبيان، أي الأثقل فيه. من الممكن تواجد أكثر من مسار حرج واحد في نفس المبيان، وهو يتعلق ببنية المبيان فقط. وفي حالة أخذ زمن تأخير الاتصالات بعين الاعتبار، يضم المسار الحرج كل من أُنْقَال العقد والأسهم المكوّنة له. إن كل من (Tlevel)، و(Blevel) هما محدودتان بقيمة المسار الحرج.

هناك بعض خوارزميات الجدولة اللائحية (List Scheduling) التي لا تأخذ أزمنة الاتصال الداخلية في المبيان عند حساب طول المسارات؛ وبالتالي تكون قيمة هذه المسارات غير متعلقة بإمكانة ومواقع تخصيصات العقد السابقة لها؛ أي أن قيمتها ثابتة بالنسبة للاتصالات وتتعلق فقط بقيمة تنفيذ العقدة على المورد المحدد؛ ولهذا فهي تدعى في أدبيات الجدولة بالمستوى السكوني (Static Level – SL).

يستعمل بارومتر آخر أيضاً في هذا النوع من خوارزميات الجدولة ويدعى (As Late As Possible – ALAP) ويعرّف بالنسبة لعقدة (n_i) بأنه الفرق ما بين ثقل المسار الحرج لمبيان (DAG) وبين (Blevel) لهذه العقدة. يقيس البارومتر (ALAP) مدى إمكانية تأجيل زمن بدء تنفيذ العقدة دون أية زيادة على طول المجدول؛ أي دون زيادة على الزمن الكلي لإنهاء تنفيذ وفق الأعمال (DAG). يتعلق بهذا البارومتر الأخير بارومتر آخر وهو (As Soon As Possible – ASAP) والذي يعبر عن أقرب زمن ممكن لبدء تنفيذ العقدة.

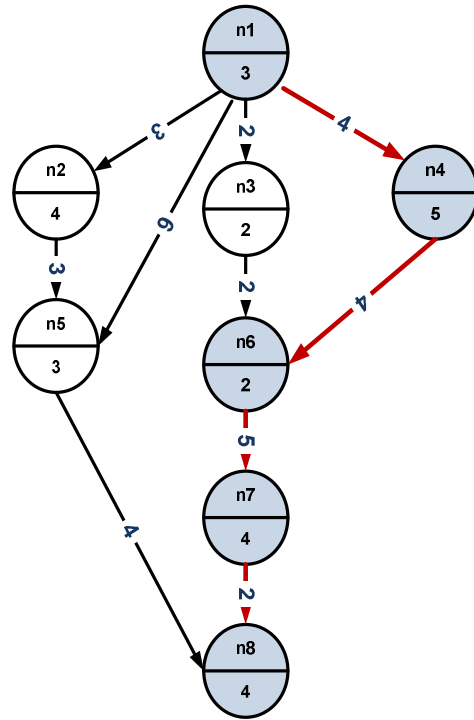
يبين الشكل (1-4) مبيان (DAG) عام والبارومترات الأساسية له. ويعبر الرقم داخل العقدة في القسم (a) من الشكل (1-4) عن رقم العقدة، وعن ثقلها (زمن التنفيذ)؛ ويعبر الرقم على السهم عن قيمة الاتصال بين العقدتين التابعين للسهم. أما القسم (b)، فيبين جدول قيم البارومترات الرئيسية فيه. إن المسار الحرج (وهو وحيد في هذا المبيان) مميز بالأسهم العريضة الملونة والعقد المظللة عليه وهي (n1، n4، n6، n7، وn8).

تعرف المجموعة $(Succ(n_i))$ بأنها المجموعة التي تضم كافة الأبناء المباشرين للعقدة n_i ، أما المجموعة $(Prec(n_i))$ في المجموعة التي تضم كافة الآباء المباشرين للعقدة (n_i) .

تعرف درجة عقدة $(i \in v)$ من المبيان بأنها عدد الأسهم التابعة لهذه العقدة وتعطى بالعلاقة:

$$Deg(i) = Succ(i) + Prec(i) \quad (1-4)$$

Node	SL	Tlevel	Blevel	ALAP
n_1	18	0	33	0
n_2	11	6	18	15
n_3	12	5	21	12
n_4	15	7	26	7
n_5	7	13	11	22
n_6	10	16	17	16
n_7	8	23	10	23
n_8	4	29	4	29



(b): بارومتراة الأساسية

(a): مبيان DAG

الشكل (1-4): مبيان (DAG) وبارومتراة الأساسية. تكون قيمة المسار الحرج (CP) هي نفسها قيمة (Blevel) للعقدة المصدر وقيمتها 33.

يعرف الجدول (S) بأنه تعيين أو تخصيص محدد للمهام على الموارد الحسابية نسبة للزمن؛ أي أنه تابع (f) من الفواصل الزمنية الموجودة على الموارد الحسابية، إلى المهمات المشكّلة

للدفق. ويبنى الجدول عبر خوارزمية/ات جدولة معينة. يعتبر المخطط غانت (Gantt Chart)، المخطط البياني الأكثر استخداماً للتعبير عن الجدول الناتج؛ أما مبيان (DAG) الجدول (Scheduled DAG)، فهو مبيان يتضمن المقيدات التي تضمن تسلسل التنفيذ بالنسبة لجدول محصص.

من جهة أخرى، تعرّف الحبيبية (Granularity) لمبيان (DAG) بالعلاقة التالية:

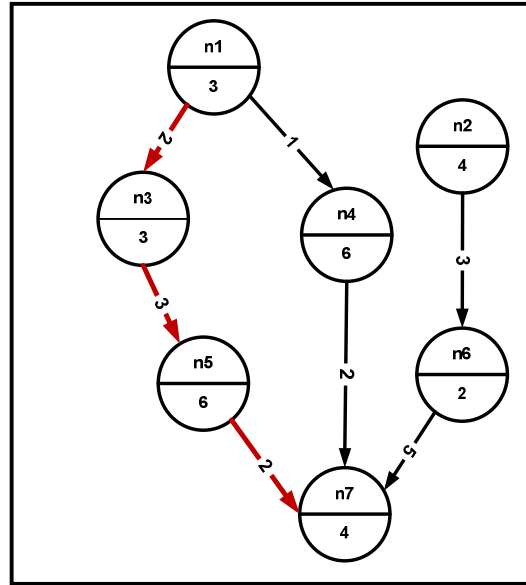
$$CCR = \min_{i=1,v} \{W_i / \max_j \{C_{ij}\}\} \quad (2-4)$$

وهي نسبة زمن الحساب على زمن الاتصال في واحدة الزمن. إذا كانت قيمة $(CCR \geq 1)$ تكون الحبيبية هي خشنة. ويسمى المبيان (DAG) بأنه خشن الحبيبية (Coarse-Grained) إذا كانت كمية الحساب هي كبيرة بالنسبة لكمية الاتصالات. أما في الحالة المعاكسة فيسمى دقيق الحبيبية (Fine-Grained).

تسمى المهمة بالحرّة (Free) إذا لم يكن لديها أية آباء، أو إذا كان كل آباؤها قد تم المرور عليهم، وتم تخصيصهم على موارد محددة. تكون المهمة حرّة جزئياً إذا تم تخصيص بعض من آباؤها. أما المهمة الجاهزة (Ready)، فهي المهمة التي يمكن البدء بتنفيذها مباشرة وذلك لأن كافة المعطيات اللازمة لها قد أصبحت متوافرة على المورد التي ستنفذ عليه؛ وتكون المهمة غير جاهزة إذا كانت لا تزال تنتظر معطيات من أحد من آباؤها على الأقل. المهمة الجاهزة هي مهمة حرّة ولكن ليست كل مهمة حرّة هي جاهزة.

يبين الشكل (2-4) مبيان (DAG) وكذلك جدول محتمل له باستخدام المخطط غانت، أما الجزء الثالث من هذا الشكل فهو مبيان (DAG) الجدول.

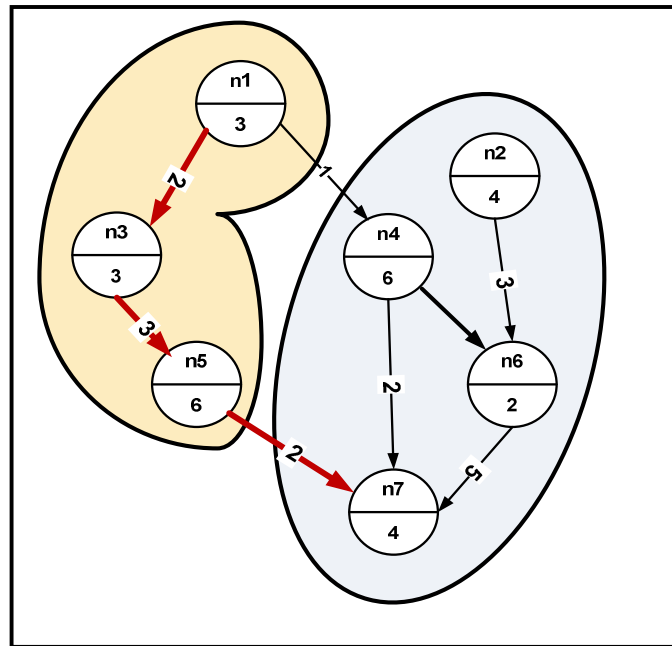
P1	P2	
n1	n2	0
n3		
n5	n4	
	n6	
	n7	17



الشكل (b-2-4): مخطط غانت

الشكل (a-2-4): مبيان (DAG)

الشكل (c-2-4): عناقيد التحصيل



الشكل (2-4): جدولة مبيان (DAG). (a) مبيان (DAG)، (b) مخطط غانت لمجدول محتمل، (c)

مجدول يظهر عناقيد التحصيل

تستخدم تقنية العقدة (Clustering) في مبيان (DAG) من أجل تخفيض زمن الاتصال بين العقد المترابطة، وذلك عن طريق تخصيص مجموعة من المهمات (ذات كثافة اتصال داخلية عالية) على نفس المورد الحسابي. وبالتالي يتم تصفير قيم الاتصال بين المهمات المجمعة في العقود الواحد. إن عملية العقدة، وعبر تصفير كمية الاتصالات في العقود الواحد، تزيد من حجابة المبيان.

تشكل العناقيد (Clusters) المحددة على الشكل (c-2-4)، التخصيصات المعتمدة في الجدول المحتمل والمستخدم في هذا الشكل. أما الأسهم العريضة والموجودة في أحد العقودين فتشير إلى تسلسل التنفيذ للعقد المحصورة على نفس المورد.

يعرّف التسلسل المسيطر (Dominant Sequence - DS) بأنه المسار الحرج لمبيان جدول ويدعى ثقله بزمن التوازي (Parallel Time - PT).

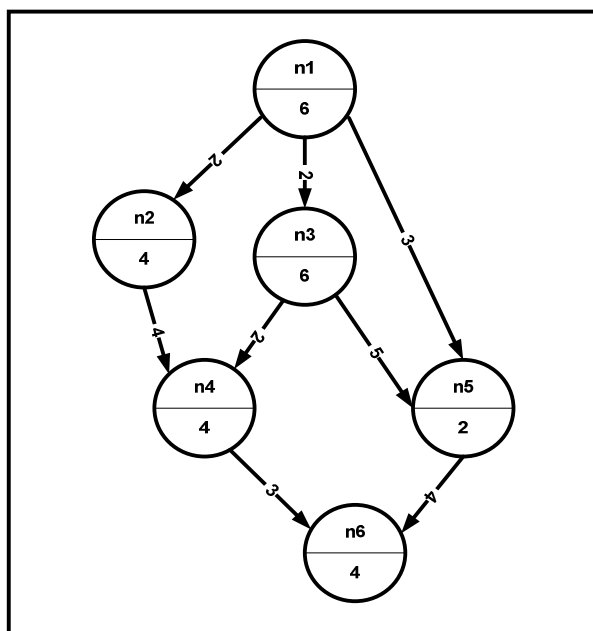
يوجد دائماً في المبيان (DAG) مبادلة ما بين تعظيم التوازي في جدولة المهمات المكونة للمبيان وبين تصغير التأخير الزمني للاتصالات الناتجة عن ترابط المهمات ما بين بعضها البعض. وتعرف هذه المشكلة في أدبيات الجدولة لمبيان (DAG) بمشكلة (Max-Min).

إن تعظيم التوازي يعني توزيع أكبر للمهمات، وفي نفس الوقت، وعلى موارد أكثر؛ مما يؤدي إلى زيادة زمن التأخير الناتج عن الاتصال ما بين المهمات المتعاونة. من ناحية أخرى، فإن تجميع عدد من المهمات (Clustering) على عقد فيزيائية أقل يعني استغلال أضعف للموارد [86].

يتعلق زمن التوازي بكل من المبيان والموارد المحصورة للمهمات، وتستخدم المعادلة التالية لحسابه:

$$PT = \text{Max} \{ T_{\text{level}}(n_i) + B_{\text{level}}(n_i) \}; n_i \in v \quad (3-4)$$

C_{ij}	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6
n_1	0	2	2	0	3	0
n_2	0	0	0	4	0	0
n_3	0	0	0	2	5	0
n_4	0	0	0	0	0	3
n_5	0	0	0	0	0	4
n_6	0	0	0	0	0	0



(b) - مصفوفة الاتصال الداخلية

(a) - مبيان (DAG)

E_{ik}	R_1	R_2	R_3	Avr
n_1	5	10	3	6
n_2	2	7	3	4
n_3	3	8	7	6
n_4	3	2	1	2
n_5	6	4	2	4
n_6	6	3	3	4

	$R_1 \rightarrow R_2$	$R_1 \rightarrow R_3$	$R_2 \rightarrow R_3$	Avr
$n_1 \rightarrow n_2$	2	1	3	2
$n_1 \rightarrow n_3$	2	1	3	2
$n_1 \rightarrow n_5$	2	3	4	3
$n_2 \rightarrow n_4$	4	3	5	4
$n_3 \rightarrow n_4$	2	1	3	2
$n_3 \rightarrow n_5$	4	3	8	5
$n_4 \rightarrow n_6$	2	3	4	3
$n_5 \rightarrow n_6$	4	3	5	4

(d) - مصفوفة زمن التنفيذ المتوقع المتوسطي

(c) - مصفوفة زمن الانتقال المتوقع المتوسطي

الشكل (3-4): تخصيص مبيان (DAG). (a) مبيان (DAG)، وبارومتري التخصيص المختلفة في بيئة متغيرة الخواص وموزعة.

يمكن أن تكون الموارد الحسابية في "الشبكة" متعددة ومختلفة بالعتاد المادي؛ وبالتالي لها سرعة معالجات وذاكرات وخابيات تؤثر على أداء كل من المهمات قيد التخصيص والجدولة، لذلك

ومن أجل اختيار الموارد ذات الأداء الأفضل، يتم حساب مصفوفة زمن التنفيذ المتوقع (Expected Time to Compute - ETC) لكافة المهمات على كافة الموارد المختارة (R_j)؛ أي هي مصفوفة من العناصر ($ETC(i, j)$) والتي تحدد زمن تنفيذ العقدة (n_i) على المورد (R_j).

من جهة أخرى، تكون أزمنة الاتصال المحددة على المبيان (DAG) والمعروفة على وفق الأعمال التجريدي، هي قيم نسبية تعتمد على قيم تقييس وتخمين محددة للنظام، ولذلك يتم حساب مصفوفة الاتصال الداخلية (Inter-Module Communication - IMC) ما بين مركبات وفق الأعمال. يبين الشكل (3-4) مثلاً عما سبق.

تحتسب قيمة التنفيذ من القيم المحددة في مصفوفة زمن التنفيذ المتوقع وعند تطبيق أو تصميم خوارزمية الجدولة وتوليد وفق الأعمال المادي.

هناك عدد من طرق الحساب التقريبية المستخدمة في أدبيات الجدولة للأنظمة غير المتجانسة من أجل الحصول على قيمة وحيدة من هذه مصفوفة؛ منها القيمة المتوسطة لها (Average)، أو القيمة الواقعة في الوسط (Median)، أو القيمة الأسوأ، أو القيمة الأفضل. كذلك تستخدم تقنيات الحساب التقريبي لتحديد تخمين الأداء؛ مثل (Code Profiling)، و (Analytical Benchmarking) [86].

قد تكون الموارد في الأنظمة الموزعة في حال إنشغال بأعمال سابقة؛ لذلك يعرف عادة صف زمن توافر الأجهزة (Machine Availability Time - MAT)، الذي يحدد الأزمنة الأبعد التي تنهي فيها الأجهزة المناسبة والمختارة للمهمات أعمالها السابقة ويكون بإمكانها استلام أعمال جديدة؛ وهي تعطى للمورد (R_i) بالقيمة ($MAT(i)$).

أما زمن الانتهاء (Completion Time - CT) فيكون في هذه الحالة عبارة عن مصفوفة من العناصر التي تبين زمن إنهاء المهمة (n_i) على المورد (R_j)؛ ($CT(i, j)$). وتعطى العلاقة ما بين المقادير الثلاث السابقات بالشكل التالي:

$$CT(i, j) = MAT(j) + ETC(i, j) \quad (4-4)$$

تمثل القيمة العظمى لزمن الإنهاء ($\text{Max } CT(i, j)$)، بالقيمة (Makespan) والتي هي بالتعريف الفترة الزمنية المنصرمة منذ بدء تنفيذ أول مهمة من دفق أعمال التطبيق حتى انتهاء زمن تنفيذ آخر مهمة منه. وهي نفسها طول الجدول (Schedule Length).

3-3-4 توصيف نموذج الحجز المسبق المرن

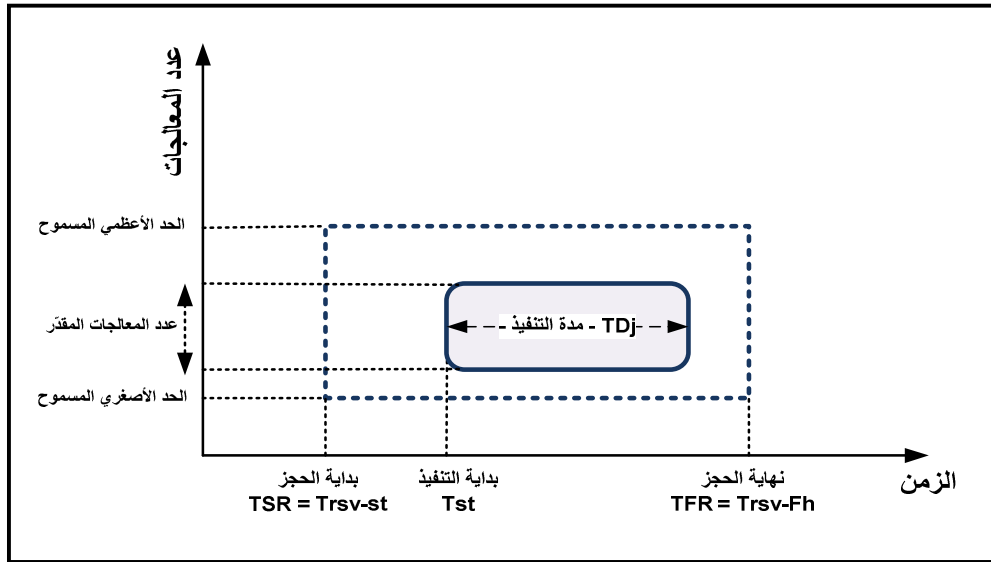
لتحقيق الحجز المسبق يجب معرفة زمن التنفيذ المطلوب على الموارد. يقدم مزودو الموارد عادة المعلومات القياسية التي تقدر زمن تنفيذ الخدمات المختلفة المقدمة من قبلها. أما في تطبيقات الحوسبة عالية الأداء (High Performance Computing - HPC)، فيقدم المستخدم تقديراً لزمن التنفيذ. يمكن الاعتماد على أزمنة التنفيذ السابقة لنفس نوعية الأعمال لتقدير زمن التنفيذ المطلوب. يكون الزمن المقدر عادة ذو نسبة خطأ تتعلق بنوعية المعلومات المقدمة (Quality of Information - QoI) [75]؛ فإذا كان الزمن الفعلي للتنفيذ أكبر من الزمن المقدر فقد يخرّب جدول الحجزات، وبالتالي يؤدي إلى زيادة زمن انتظار الأعمال في الرتل أو إلى خرق اتفاقيات مستوى الخدمة المعقودة. لذلك يقرر الجدول المحلي عادة قتل المهمة/إيقاف الخدمة بدلاً من إكمالها على حساب باقي الحجزات؛ ومن ثم إعادة جدولتها عبر إعادة التفاوض إذا كان هذه ممكناً. أما إذا كان الزمن المقدر للتنفيذ هو أصغر من الزمن المحجوز فتبقى الفترة الزمنية المحجوزة الباقية بعد انتهاء التنفيذ غير مستخدمة حتى بداية زمن الحجز التالي، وهذا عادة ما يسبب تجزئة داخلية لرتل المجدولات المحلية ويخفض من استغلاليتها.

يعتمد النموذج العام للحجز المسبق على المجال ثنائي البعد؛ فيعبر المحور الأفقي عن الزمن ويعبر المحور الشاقولي عن عدد المعالجات المطلوبة لتنفيذ العمل. تحدد (T_{SR}) الزمن الأكبر الممكن لبدء التنفيذ، و(T_{FR}) الزمن الأقصى للتنفيذ كضوابط لزمن التنفيذ الأقصى المطلوب مع تضمين مقدار الضيق الزمني المسموح في الحجز. ويمثل المعامل (T_{DJ}) المدة الزمنية المقدرة والمطلوبة لتنفيذ العمل. أما (T_{ST}) فتتمثل زمن بدء تنفيذ العمل الحقيقي. يستطيع المستخدم من

جهة عدد المعالجات، تحديد الحد الأعظمي والأصغري لعدد المعالجات المطلوب ضمن ضوابط جودة الخدمة المطلوبة للعمل. يبين الشكل (4-4) نموذج الحجز المسبق المرن والبارومتري الرئيسية فيه.

يتحدد نوع العمل عبر نوع المورد/الخدمة التي يتطلبها (K_j)، وحجم القدرة التي يستجرها من المورد (C_j)، وفترة الاستخدام (T_{Dj}). تعتمد وحدة القدرة المستجرة على نوعية الخدمة المطلوبة؛ فيمكن أن يكون عدد المعالجات المطلوبة لعمل حوسبي متوازي، أو عرض نطاق شبكة ($k/bits$)، أو عدد التعليمات المطلوب تنفيذه (MIPS).

يفترض أن تكون فترة الاستخدام هي قيمة منتهية ومحددة، والعمل سينفذ مرة واحدة فقط (من خصائص "الشبكة"). في حال هناك حاجة لتنفيذ متعدد لنفس العمل أو التنفيذ الدوري له فهي ليست مهمة المجدول المحلي وإنما من مهام المستخدم ليعيد طلب العمل مرة أخرى، وبالتالي يتم جدولته وتسليمه إلى النظام.



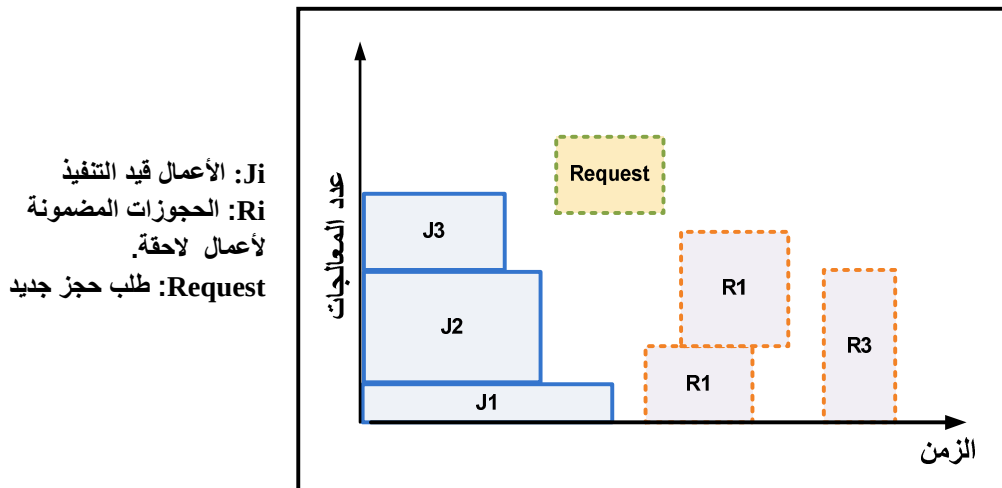
الشكل (4-4): نموذج الحجز المسبق المرن

من جهة أخرى، يمكن للحجز أن يكون قاسياً (Rigid)، أي يكون فيه زمن بدء الحجز مطابقاً لزمن البداية الأبعد المطلوب، أو يكون مرناً (Elastic)، وفيه يترك المستخدم هامشاً لزمن البداية الأبعد الممكن (T_{L-ST})، الذي يؤمن الزمن الأقصى للتنفيذ المطلوب، وضمن الفترة المحجوزة من النافذة الزمنية.

يعتمد زمن تنفيذ المهمة (T_{Dj}) على المورد الذي ستنفذ عليه. يستخدم نموذج عام في الأنظمة غير المتجانسة لتحديد زمن التنفيذ على المورد المحدد. تؤخذ في هذا النموذج سرعة المعالج فقط بعين الاعتبار؛ فيمكن لعمل ما أن ينفذ بنصف المدة المقترحة إذا ما تم تنفيذه على معالج متواز يقدم ضعف القدرة التنفيذية المقترحة. ويمكن تعميماً لهذا النموذج حساب الزمن المتوقع لتنفيذ العمل على المورد المحدد بالعلاقة:

$$t_D = t_{estm} / N_{PEs} \quad (5-4)$$

حيث تعبر (t_{estm}) عن الزمن المتوقع لتنفيذ العمل إذا ما نفذ على معالج وحيد، و(N_{PEs}) عن عدد المعالجات المستخدمة، وهي محدودة بسعة المورد. عملياً العلاقة بين المعاملين السابقين هي أكثر تعقيداً؛ لأنه حتى مع تحديد قيمة عدد المعالجات المطلوب من قبل المستخدم، فإن إمكانيات إعادة المفاوضة واقتراح الحلول البديلة من قبل الجدول قد تكون عالية جداً.



الشكل (5-4): نموذج تحديد المطابقة المطلوبة في رتل الجدول المحلي

لذلك من المرغوب أن يكون توصيف طلب المستخدم دقيقاً ومتربطاً؛ مما يسهل من عملية اتخاذ قرار الجدولة في المجدول المحلي، ويخفف من زمن الحمل الفائض فيه. من العلاقة السابقة، ومن نموذج العمل ثنائي البعد، يمكن استنتاج علاقة القدرة المستجرة من المورد:

$$C_j = N_{PEs} \times t_{Dj} \quad (6-4)$$

ويستعمل هذه المعامل لتحديد كلفة الاستمرار أو الاستخدام المقدمة من المورد إلى المستخدم. يمكن للمجدول أن يقترح عدد معالجات تنفيذ العمل المطلوب بأقل من المطلوب ولكن على حساب زيادة زمن التنفيذ، أو أن يقدم قدرة أعلى عبر زيادة معالجات تنفيذ العمل بأعلى مما هو مطلوب من قبل المستخدم، وبالتالي إنقاص زمن التنفيذ أو تحقيق ضابط زمني مطلوب ولكن مقابل كلفاً أعلى. لتحقيق ما سبق على الأعمال أن تكون من النوع القابل لإعادة التشكيل أو القولية.

تعرف نسبة التنفيذ من فترة الحجز المطلوبة بمعامل ضيق القيد الزمني المطلوب (Deadline Tightness- T_{DT}) وتعطى بالعلاقة:

$$T_{DT} = t_D / T_{FR} - T_{SR} \quad (7-4)$$

كذلك يعرف استرخاء العمل ($Job\ Laxity-T_L$)، والذي يحدد إمكانية زيادة طول زمن تنفيذ العمل دون أن يؤدي لائحة الجدولة المحددة بالمجدول، بأنه الفرق ما بين الحد الزمني الأقصى المطلوب من المستخدم، وزمن انتهاء الطلب من التنفيذ عند بدئه في الزمن المحدد، ويعطى بالعلاقة:

$$T_L = T_{FR} - (T_{SR} - t_D) \quad (8-4)$$

يستخدم تكبير هذا المعامل لزيادة إمكانية التعبئة الخلفية التي تحسن من استغلال الموارد عبر استغلال الفواصل الزمنية الباقية من الحجوزات، وبعد انتهاء تنفيذ العمل المطلوب لحشر أعمالاً أخرى.

4-4 خوارزمية مخطط الحجز المسبق المرن لتدفقات الأعمال

Elastic Workflow AR Planning Algorithm - EWARP

تقدم الأدبيات والبحوث في مجال الحجوزات المرنة خوارزميات بسيطة لاستراتيجيات توزيع الزمن الإضافي على كل مهمات دفق العمل. يعرف الزمن الإضافي (Extra Time) بأنه الفرق بين زمني طول المجدول والضابط الزمني الأقصى المطلوب:

$$\text{Extra Time} = \text{Deadline} - \text{Makespan} \quad (9-4)$$

تضيف معظم الأبحاث والتجارب هذا الزمن الإضافي، إلى نهاية الحجز القاسي مولدة بذلك حجراً مسترخياً؛ وتستخدم الحجوزات الناتجة بعدد من الحلول منها؛ تخفيض معدل إعادة الجدولة عند مواربة الأخطاء الناتجة عن التخمين الخاطئ لأزمة تنفيذ مهمات الدفق، أو تحسين استغلالية النظام عبر إعادة ترتيب الأعمال المتواجدة في أرتال المجدولات المحلية، أو تأخير زمن الحجز الفعلي ضمن هذه الأرتال لحين اقتراب موعد التنفيذ مما يسمح للمجدول المحلي بترتيب كفو للأعمال [62] [73].

يطيل الزمن الإضافي من طول المجدول الذي غالباً ما يكون قد أنتج بطريقة استمثالية؛ لمقاربة هذا التناقض بين استمثال زمن انتهاء التنفيذ وبين إنتاج مخططات الحجز المرنة، صممت خوارزمية (EWARP) [5]، لتعمل على استغلال الفجوات الزمنية المتضمنة في المجدول الاستمثالي وتوزيعها على مهمات المجدول.

تقوم الخوارزمية المقترحة برفع نسبة مرونة المجدول الاستمثالي بقيم متفاوتة، مولدة بذلك مخطط حجز مرّن دون إضافة أي أزمة إلى المجدول الناتج. تعرف نسبة المرونة (Elasticity Ratio) لمخطط الحجز في هذه الأطروحة، بأنها عدد المهمات ذات الحجز المرّن من عدد مهمات الدفق الكلي.

تستخدم الخوارزمية (EWARP) المقترحة تقنية الزمن الموفر المستخدمة في [75]، ولكن استخدمت المخططات المرنة في [75]، لإنتاج مخططات حجز مرتخية لمهمات دفق العمل،

ومن أجل تخفيض معدل عمليات إعادة الجدولة لتنفيذ محدد للدفع، وبالتالي لموارد الأخطاء الناتجة عن التقدير السيئ لأزمة تنفيذ مهماته؛ أما خوارزمية (EWARP) المقدمة هنا تستخدم الفجوات الزمنية من أجل توليد مخطط جديد مرن للحجز المسبق للمهمات.

في هذه الأطروحة تستخدم مخططات الحجزات المرنة من أجل تقليص زمن استجابة النظام عبر تخفيض معدلات الرفض أو تحسين معدلات القبول في البيئات عالية التنافسية.

1-4-4 خلفية

يمكن اعتبار المجدولات الناتجة عن استخدام خوارزميات الجدولة المختلفة على أنها مخطط حجز قاسي (Rigid)؛ أي أن الحجز يتم بناءً على زمن بداية ونهاية تنفيذ محددين غير قابلين للتعديل؛ وعلى مزودي الموارد تأمين هذا الزمن عند حلول زمن الحجز. يمكن طلب الحجز المسبق للمجدول الناتج لكامل الدفع وكمثلة واحدة؛ فيقوم المجدول المترفع بحجز كامل زمن طول المجدول على كافة الموارد المتوافرة، وبالتالي تحجز الفترة الزمنية من زمن بداية المهمة الدخلى إلى زمن نهاية المهمة الخارج بعدد الموارد المخصصة للعمل. تقليدياً، هذا النمط من الحجز كان هو الأكثر شيوعاً من قبل المجدولات المترفعة لتأمين لحجز المسبق لدفع الأعمال على مجداول مزودي الموارد المحليين. تضمن هذه الطريقة تنفيذ كامل الدفع، وتخفيض من الأخطاء التي تتطلب إعادة جدولة ليس المهمات التي يفشل تنفيذها فقط، وإنما كافة المهمات الأبناء المتعلقة بها [75]. ولكن من جهة أخرى، فهي تخفض بشكل عال استغلالية الموارد؛ مما يؤثر سلباً على عوائد مزودي الموارد. الطريقة الأخرى المستخدمة هي عبر حجز مسبق لمهمات الدفع المحددة الفردية على المجدولات المحلية؛ ولكن مع ضمان الأسبقيات للتنفيذ وتأمين المعلومات المتداولة بين المهمات المختلفة لها على الموارد المستخدمة قبل تنفيذها [76].

أظهرت الكثير من التجارب أن أقل أنواع الجدولة كفاءة هي جدولة المهمات ذات الحجز القاسي [36]. فهي لا تسمح للمجدولات المحلية بترتيب حجوزاتها الآتية الديناميكية والمتغيرة بحسب الأعمال المختلفة المنفذة؛ مما يؤدي إلى توليد تجزئة داخلية ضمن أرتال الانتظار، وتخفيض من

استغلالية الموارد الكلية. اقترحت عدة تقنيات لتحسين وتقليل التجزئة الداخلية في المجدولات المحلية عبر تأمين حجوزات غير قاسية؛ إما عبر حجوزات مسترخية (Relaxed)، يكون فيها الزمن النهائي المحجوز هو أكبر من زمن نهاية التنفيذ الفعلي، أو حجوزات مرنة (Elastic)، يكون الزمن المحجوز هو أكبر من زمن التنفيذ الفعلي؛ ويمكن في هذا النوع تعديل زمن البداية، أو زمن النهاية، أو كليهما، عند بداية التنفيذ الفعلي للمهمات على الموارد. أظهرت نتائج الأبحاث في [36]، أن توليد حمل تشغيلي (Workload) هو مزيج من الأعمال ذات مخطط الحجز المسترخي أو المرن، مع الأعمال ذات الحجز القاسي يحسن من أداء النظام، ويزيد من معدل استغلالية الموارد فيه.

تستخدم الخوارزمية المقترحة في هذا الفصل (EWARP) الحجز الفردي لمهمات الدفع؛ وتستخدم آلية مستقلة ذاتياً (Autonomic) لتوليد مخطط حجز مسبق هو مزيج من الحجوزات المرنة والقاسية لمهمات دفع أعمال، دون أية إضافات زمنية على طول المجدول الناتج (Extra time = 0)؛ وذلك عبر استغلال الفجوات الزمنية المتواجدة في المجدول.

2-4-4 شرح الخوارزمية

تستخدم الخوارزمية الجديدة (EWARP)، تقنية استقصاء الفجوات الزمنية لتوليد مخطط حجز مسبق مرّن قابل للتفاوض عليه بين مزودي الموارد، والمجدول المترفع، وصولاً إلى الاتفاق على عقد يضمن أولويات كل من الطرفين عبر اتفاقيات مستوى الخدمة (SLA). أهمية التقنية الحديثة المستخدمة في خوارزمية (EWARP) لتوليد مخطط الحجز المرّن أنها تغيّر ليس فقط من زمن نهاية بعض المهمات، وإنما تسمح بتغيير (إزاحة) زمن بدايتها أيضاً؛ دون التأثير على تراتبية المهمات أو على طول المجدول النهائي. تعتمد الفكرة الأساسية في الخوارزمية المقدّمة في إن إزاحة زمن بداية بعض المهمات يسمح لمهمات أخرى محصّنة أن تستفيد من الفجوات الزمنية المتواجدة في المجدول، والتي كانت غير قابلة للاستخدام؛ وذلك عبر فهم

وتحليل عميق لكل من مبيانات (DAGs)، وعمل خوارزميات الجدولة المنتجة لمخططات التحصيل.

تعتمد تقنية استقصاء الفجوات الزمنية المستخدمة على معالجة أسبقيات تجاور مهمتين من دفق العمل في حالتين هما حالة أسبقيات المبيان نفسه وتجاور المهمات فيه (حالة أب- ابن)، وحالة أسبقيات جدولة المهمات على نفس المورد، أي تجاور مهمتين متتابعتين مجدولتين على ذات المورد.

تعرف الورقة [75] الزمن الموفر (Spare Time) على أنه الزمن المحسوب بين زوج من المهمات المترابطة مع بعضها البعض؛ إما عبر الاتصال بسهم في مبيان (DAG) ويسمى بارتباط المعطيات، أو كون المهمتين سوف تنفذان على التتابع على نفس المورد ويسمى بارتباط المورد. يعبر هذا الزمن الموفر عن الزمن الأعظمي الذي تستطيع فيه مهمة منبع الارتباط أن تنفذ، دون أي يؤثر على زمن بداية تنفيذ مهمة مستقر الارتباط.

من جهة أخرى، يعرف زمن الارتخاء (Slack Time) لمهمة ما في مبيان (DAG)، على أنه الزمن الموفر الأصغري على أي مسار من هذه المهمة إلى المهمة الخرج في المبيان. وهو يعبر عن التأخير الأعظمي الذي يمكن الموارد به في زمن تنفيذ المهمة دون التأثير على طول المجدول الكلي. في حال كان زمن الارتخاء لعقدة ما هو صفر فتدعى بالعقدة الحرجة؛ لأن أي تأخير في زمن تنفيذها سيؤدي حتماً لإطالة زمن جدول التطبيق.

يعطى الزمن الموفر لارتباط المعطيات بالعلاقة (10-4) لعقدة (i)، وعقدة تليها مباشرة (j)؛ حيث يعبر التعبير $(DAT(i, j))$ عن الزمن الذي تتطلبه المعطيات للانتقال من المورد الذي تنفذ عليه المهمة (i)، إلى المورد الذي تنفذ عليه المهمة (j).

$$Spare_{DAG}(i, j) = T_{ST}(j) - DAT(i, j) \quad (10-4)$$

ويعطى الزمن الموفر لارتباط المورد لعقدتين (i) و (j) تنفذان على التتابع بالعلاقة:

$$\text{Spare}_{\text{SameMachine}}(i, j) = T_{\text{ST}}(j) - T_{\text{ET}}(i) \quad (11-4)$$

حيث تعبر $T_{\text{ET}}(i)$ عن زمن انتهاء تنفيذ المهمة (i) في الجدول المعني.

أما الزمن الموفر الأصغري لمهمة ما، أي زمن التأخير الأعظمي لها دون التأثير على زمن بداية أي من المهمات المرتبطة بها ارتباط معطيات أو ارتباط مورد فيعطى بالعلاقة:

$$\text{MinSpare}(i) = \min_{j \in \delta_i} \text{Spare}(i, j) \quad (12-4)$$

حيث تعبر (δ_i) عن مجموعة المهمات المرتبطة مع المهمة (i) بارتباط معطيات من جهة، وارتباط المورد- أي المهمة التالية في ترتيب التنفيذ على المورد الذي تنفذ عليه المهمة (i) من جهة أخرى. وتعبّر (minSpare) عن القيمة الصغرى للزمن الموفر الناتج عن ارتباط المعطيات، وارتباط المورد.

تعمل الخوارزمية (EWARP) أيضاً على استقصاء الفجوات الزمنية؛ ولكنها تقيم تأثير إزاحة زمن بداية المهمات على المهمات الباقية في الجدول، دون أن تغير تلك الإزاحة من زمن الجدول النهائي. أي أنها تعمل على نشر الفجوات الزمنية المعثور عليها في الجدول على مهمات دفق العمل.

كذلك لا تضيف الخوارزمية المقدمة هنا زمن الفجوات الموفر إلى نهاية المهمات فقط؛ بل وعبر تقييم كل مهمة على حدا، تضيف جزءاً من الزمن الموفر إلى بداية زمن المهمة أيضاً، إذا كانت هذه الإضافة لا تؤثر على مواصفات الجدول الكلية. هذه الإضافة إلى كل من زمن النهاية والبداية لمهمات الدفق تمكن من إنتاج مخطط حجز مرّن وليس فقط مخطط حجز مسترخ كما في [74].

كذلك تختلف الخوارزمية (EWARP) بطريقة حساب كل من الزمن الموفر لكل عقدة وزمن الارتخاء لها. فالقيم المحسوبة حسب المعادلات المبينة أعلاه هي قيم سكونية؛ أما (EWARP)

فتعمل على تحريك/إزاحة المهمات ذات الزمن الموفر إلى الأمام زمنياً، إضافة إلى زيادة جزء من هذا الزمن الموفر إلى زمن نهاية وزمن بداية التنفيذ وتحسب القيم الموفرة بطريقة عودية.

تمكّن عملية إزاحة المهمات إلى الأمام زمنياً في الجدول مهمات أخرى من استغلال فجوات زمنية لم تكن قبل الإزاحة قابلة للاستغلال. هذا التقنية الحديثة تزيد من عدد المهمات ذات الزمن الموفر، مولدة بذلك مخططات حجز ذات مزيج يتمتع بنسبة مرونة أعلى من التقنيات الأخرى الموجودة في هذا المجال. كذلك تزيد من زمن الموفر الأعظمي لكامل دفق العمل، عبر استغلال فجوات زمنية أخرى لم تكن قابلة للاستغلال قبل إزاحة المهمات.

تبدأ (EWARP) عملية الاستقصاء من المهمات الأخيرة المحصنة على كل مورد؛ وبالتحديد من العقدة الأخيرة التي تمت جدولتها (المهمة الخرج). تقوم بالمرور الأولي لتحليل كل من ارتباط المعطيات والمورد لكافة مهمات المبيان. وتوسم المهمات التي تمكّن إزاحتها من تحرير أزمنة نهاية مهمات سابقة في الجدول. وخلال المرور التالى تبدأ باستقصاء ارتباط المعطيات من مبيان (DAG) وبطريقة عودية وصولاً إلى مهمة ذات وفر زمني ناتج عن ارتباط المعطيات، ثم تستقصي لهذه المهمة الوفر الزمني الناتج عن ارتباط المورد؛ فإذا وجد، تحسب الزمن الموفر الأصغري لهما.

يقسم الزمن الموفر الأصغري المحسوب تالياً إلى قسمين متساويين؛ يوزع القسم الأول وبالتساوي بين زمن بداية التنفيذ وزمن نهايته. وتزاح المهمة قيد التعامل إلى الأمام في الجدول بمقدار القسم الثاني من الزمن الموفر كانت موسومة؛ أي إذا كان لإزاحة زمن البداية تأثير إيجابي على أي من المهمات الأخرى المجاورة في كل من المبيان أو الجدول. أما إذا لم تكن الإزاحة تؤثر على أي من المهمات الأخرى فلا تتم لضمان الاستغلال الأمثل للفجوات الزمنية.

تعُد الخوارزمية المهمات الموسومة بعد إزاحة أية مهمة وتعيد حساب الزمن الكلي الموفر في الدفق. تتكرر الممرورات حتى يصبح الزمن الموفر لكامل الدفق والباقي دون توزيع (total_r) هو صفر، أو أصغر من قيمة صغريه مستخدمة لإنهاء عمل الخوارزمية.

Elastic Workflow Advanced Reservation Planning Algorithm - EWARP

Algorithm EWARP (The Schedule, Task Dependencies, Order of Scheduling)

```
{
  While (total_r != 0) do
    Calculate partial_r = total_r / t_num;
    (Changing start and end times for all tasks that could move on the schedule
     and are the leading tasks of change)
    For all resulted tasks that are tagged but have no related other tasks do
      {
        Set new Endtime (Ti) = Endtime (Ti) + relax(Ti);
        If Ti is in n_tag for any other tasks
          (So changing its start time will have effect on other tasks in the schedule)
          Set new Starttime(Ti) = Starttime(Ti) + relax[i] - partial_r;
      }
    End For
    Realxing( );
  } End EWARP;
```

الشكل (4-6-4): خوارزمية (EWARP)

يمكن أن تسبب إضافة استقصاء ارتباط المورد، إلى عملية استقصاء ارتباط المعطيات عودياً استعصاءاً (Deadlock) لعملية البحث، وذلك بسبب كون عملية الاستقصاء تجري عودياً في مجالين مختلفين؛ المجدول الأولي، ومبيان (DAG). تستخدم الخوارزمية ترتيب المهمات للجدولة بطريقة معكوسة لضمان عدم الوصول إلى حالة استعصاء.

الخوارزمية (EWARP) هي مستقلة تماماً عن نوع خوارزميات الجدولة المستخدمة لإنتاج مجداولات التخصيص الأولية المستخدمة؛ فهي تتعامل مع مبيان (DAG) ومع المجدول الناتج؛

أي يمكنها أن تستخدم أي من المجدولات الناتجة عن أية خوارزميات جدولة، وبغض النظر عن نوعها أو طريقة عملها.

Algorithm Relaxing ()

```
{
for all scheduled tasks  $T_i$  starting from the last scheduled do

    Start from last scheduled tasks on all Resources
    Identify location of task on Resources
    Calculate minimum value-min of both all outgoing edges and
    task on same processor:
     $spare(T_i) = \min_{j \in Succ} \{ start_{time}(T_j) - C_{ij} \};$ 
    Where  $C_{ij} = 0$  if  $T_i, T_j$  on same processor;
     $Relax[i] = \min \{ spare(T_i), Start_{time}(T_k) \}$ 
    Where  $T_k$  is the predecessor of  $T_i$  on same processor
    Get the Task that gave the minimum value min,  $T_{n\_min}$ ;

    if (  $min == End_{time}(T_i)$  and its related Task  $T_{n\_min}$  is tagged ) then
        set the  $n\_tag[i] = T_{n\_min}$ ;
    else if  $min > End_{time}(T_i)$  check .
        if  $T_{n\_min}$  is tagged then  $n\_tag[i] = T_{n\_min}$ ;
        else { set  $T_i$  as tagged;
             $relax[i] = min - End_{time}(T_i)$ ;
        }
    EndIf.
EndIf.

    Calculate total number of tagged Tasks  $t\_num$ ;
    Calculate total relax time of all Tasks  $total\_r$ ;
End for.
} End Relaxing.
```

الشكل (b-6-4): تابع لخوارزمية (EWARP) - حساب الزمن الموفر

الشكل (6-4): خوارزمية تخطيط الحجز المسبق المرن (EWARP)

لذلك يمكن استخدام أي نوع من الكسبيات (Heuristics)، أو الكسبيات المترفعة (Meta-Heuristics) المعروفة، أو أية أنواع جديدة ليست معروفة بعد لإنتاج المجدولات الأولية.

5-4 خوارزميات جدولة دفع العمل "الشبكية" المستخدمة

من أجل تقييم عمل خوارزمية (EWARP) تم تحقيق ثلاثة خوارزميات تعتمد المنهج الكسبي؛ ولكنها تختلف عن بعضها بالمقاربات المستخدمة في الجدولة؛ فتعتمد خوارزمية (HEFT) [80]، على حساب المسار الحرج في كل عقدة، والعمل على تخصيص المهمة بطريقة تنقص من المسار الحرج لتصغير طول الجدول؛ وهي تستخدم البارومتر (Blevel) في عملية ترتيب المهمات للجدولة. أما خوارزمية (PETS) [87]، فتستخدم تقنية العقدة عبر تقسيم الدفع إلى مجموعات من المهمات المستقلة والموجودة في مستويات الدفع. كل من الخوارزميتين السابقتين تنتمي إلى الجدولة اللائحية السكونية (Static). تعتمد الخوارزمية الثالثة المحققة (DCP-G) [88]، على الجدولة الديناميكية وتعمل على حساب المسار الحرج بعد تخصيص كل مهمة من الدفع. تقدم الفقرات التالية توصيفاً دقيقاً للخوارزميات الثلاث المحققة.

1-5-4 خوارزمية زمن الإنهاء الأبعد غير المتجانسة

Heterogeneous Earliest Finish Time – HEFT

تعد خوارزمية (HEFT) [80]، خوارزمية كسبية تستخدم تقنية الجدولة اللائحية، وهي تهدف إلى تخفيض زمن الإنهاء الكلي للتطبيق (Makespan)، وتتألف من ثلاث مراحل رئيسية. تقوم بالمرحلة الأولى بحساب تخمين لزمن تنفيذ كل مهمة، بالاعتماد على القيمة المتوسطة لتنفيذ المهمة الواحدة على كل من الموارد المتوافرة حسب المعادلة (4-13)، وكذلك تحسب زمن انتقال المعطيات بين المهمات المتوسطي بين كل الموارد المتوافرة بحسب المعادلة (4-14). وتقوم الخوارزمية في المرحلة الثانية بحساب ترتيب كل من العقد في البيان بطريقة عودية وتعتمد على حساب البارومتر (Blevel) وبحسب المعادلة (4-15).

تعين أولويات العقد في البيان بحسب الترتيب الأعلى لها، وتبدأ المرحلة الثالثة بعملية التخصيص بدءاً من المهمة ذات الأولوية العليا. تخصص المهمة المختارة إلى المورد الذي يعطي أصغر زمن انتهاء تنفيذ وذلك بحساب زمن البدء الأبعد للمهمة المختارة على كل الموارد المتوافرة (Earliest Start Time - EST) بحسب المعادلة (4-16) بعد حساب زمن الانتهاء الأبعد (Earliest Finish Time - EFT) بحسب المعادلة (4-17). كذلك، تستخدم مقاربة الحشر (Insertion Approach)؛ والتي تأخذ بعين الاعتبار إمكانية حشر مهمة في الفاصل الزمني الخامل الأبعد والمتواجد بين مهمتين مجدولتين مسبقاً وعلى نفس المورد.

التعقيد الزمني لهذه الخوارزمية هو من رتبة $O(v^2 \times p)$ حيث (v) هي عدد المهمات في المبيان (العقد)، أما (p) فهي عدد الموارد المتوافرة. يعتمد اتخاذ القرار في هذه الخوارزمية على المسار الحرج في مبيان المهمات.

وتكون المعادلات الأساسية المستخدمة في هذه الخوارزمية هي:

حساب تخمين زمن التنفيذ الوسطي للعقدة (n_i) على مجموعة الموارد المتوافرة لها (R_i) :

$$\overline{ETC(i)} = \frac{\sum_{r \in R_i} W(n_i, r)}{|R_i|} \quad (13-4)$$

حيث أن $W(n_i, r)$ هو ثقل تنفيذ العقدة (n_i) على المورد (r) .

أما حساب تخمين زمن النقل المتوسط للمعطيات بين العقدتين (n_i) و (n_j) ، والتي لكل منهما مجموعة الموارد المتوافرة (R_i) و (R_j) على الترتيب فيعطى بالعلاقة:

$$\overline{CI_{ij}} = \frac{\sum_{r_i \in R_i, r_j \in R_j} t(C_{ij}, r_i, r_j)}{|R_i| |R_j|} \quad (14-4)$$

حيث $t(C_{ij}, r_i, r_j)$ هو زمن الانتقال بين العقدتين (i) و (j) ، والمحصصتان على كل من الموردين (r_i) و (r_j) على الترتيب، واللذين ينتميان إلى كل من مجموعتي الموارد المتوافرة (R_i) و (R_j) على الترتيب.

HEFT Algorithm

```

For all  $n_i$  in  $N$ 
    Compute  $\overline{ETC}(i)$ 
    Compute  $\overline{C_{ij}}$ 
End For
For all  $n_i$  in  $N$ 
    Compute Rank( $n_i$ ); // e.g. blevel( $n_i$ )
End For
Insert Start Node to ReadyTaskList
While ReadyTaskList is NOT Empty do
     $n_i$  = Node in ReadyTaskList with the maximum Rank
    For all  $r_j$  in  $R$ 
        Compute  $EST(n_i, r_j)$ ;
        Compute  $EFT(n_i, r_j)$ ;
        // Using Insertion-Based Technique
    End For
    Map node  $n_i$  on processor  $r_j$  which provides Minimum EFT
    Update  $MAT[r_j]$  and ReadyTaskList
End While
End HEFT

```

الشكل (4-7): خوارزمية زمن الإنهاء الأكبر غير المتجانسة (HEFT)

يتم ترتيب المهمات في دفق الأعمال تنازلياً اعتماداً على رتبة كل منها التي تحسب بالعلاقة العودية التالية:

$$\text{Rank}(n_i) = \overline{ETC}(i) + \text{Max}_{n_j \in \text{Succ}(n_i)} (\overline{C_{ij}} + \text{Rank}(n_j)) \quad (15-4)$$

حيث يكون لعقدة الخرج لها العلاقة التالية:

$$\text{Rank}(n_i) = \overline{ETC}(i) , \text{ if } n_i \text{ is an exit node}$$

أما اختيار المورد المناسب بين الموارد المتوافرة لتخصيصه إلى المهمة المختارة فيعتمد على المعادلتين التاليتين:

$$(16-4)$$

$$EST(n_i, r_j) = \text{Max}(MAT[j], \text{Max}_{n_m \in \text{pred}(n_i)} EFT(n_m, r_k) + C_{m,i})$$

حيث $MAT[j]$ هي العنصر الموافق من مصفوفة زمن التوافر الأكبر والذي ينهي فيه المورد تنفيذ كل المهام المجدولة مسبقاً عليه.

وتعطى علاقة زمن الإنهاء الأكبر بالعلاقة:

$$EFT(n_i, r_j) = W(n_i, r_j) + EST(n_i, r_j) \quad (17-4)$$

تقوم الخوارزمية بحساب زمن الإنهاء الأكبر (EFT) للمهمة على كافة الموارد المتوافرة ومن ثم تختار المورد الذي يوفر زمن الإنهاء الأصغر بينهم.

تم فحص عمل هذه الخوارزمية في النظام (ASKALON) [89]، وقورنت النتائج مع نتائج عمل الخوارزمية الجينية وخوارزمية (Myopic) المستخدمة في الجدول (Condor-) (DAGMan) [22]، التي تعتمد على تخصيص مهمات منفردة (Individual Tasks) بدلاً من اعتبار كامل دفق الأعمال كما في خوارزمية (HEFT) والخوارزمية الجينية.

أظهرت النتائج تفوق خوارزمية (HEFT) وفعاليتها؛ وبالأخص في حالات كون المبيان (DAG) غير متوازن. إن دخل خوارزمية (HEFT) في النظام (ASKALON) هو مبيان (DAG) ينتج عن فض (Unroll) كل الحلقات التسلسلية والمتوازية، وعن التخلص من العقد الشرطية المتواجدة في المبيان.

4-5-2 خوارزمية جدولة المهام ذات الأداء الكفاء

Low Complexity Performance Effective Task Scheduling – PETS

تعد إستراتيجية تقسيم دفق الأعمال إلى مجموعة من تدفقات الأعمال الجزئية للمهام المستقلة بين بعضها البعض، ومن ثم جدولة كل دفق جزئي على مجموعة الموارد المتوافرة، من أهم استراتيجيات التنفيذ الكفاء للتطبيقات الضخمة على بيئات الحساب غير المتجانسة. يقدم المرجع [87] خوارزمية (PETS)، والتي تجدرول دفق أعمال من النوع (DAG) على مجموعة من الموارد المتصلة بشكل كامل بين بعضها البعض. يعتمد هذا المرجع على تقديم خوارزمية

ذات تعقيد زمني أقل من خوارزمية (HEFT)، وتقدم زمن جدولة أفضل منهما بحوالي 40% من الحالات وبحسب ادعاء [87].

تتألف خوارزمية (PETS) من ثلاث مراحل هي مرحلة فرز المستوى، ومرحلة تحديد أولويات المهمات، ومرحلة اختيار المورد. يتم في مرحلة فرز المستوى المرور على المبيان (DAG) من الأعلى إلى الأسفل لفرز المهمات في كل مستوى وبحيث يكونون مستقلين بين بعضهم البعض. تعتمد تقنية التقسيم إلى مستويات على كون أي سهم داخل لمهمة (n_i) في مستوى محدد (i)، (n_j, n_i)، هو آت من مهمات تقع جميعها في مستوى (j)، هو بالنسبة إلى المستوى (i) هو في المستوى ($i - 1$) مباشرة. أما مرحلة ترتيب أولويات المهمات فتحسب الأولويات باستخدام ثلاثة بارومترات هي (Average Computation Cost - ACC)، و (Data Transfer Cost - DTC) و (Rank of Predecessor Task - RTP).

القيمة (ACC) هي نفسها قيمة التنفيذ الوسطية المحسوبة بالعلاقة (4-13)، أما القيمة (DTC) فهي مجموع كل أزمنة نقل المعطيات من العقدة (n_i) إلى كل أبنائها، وتحسب لكل مستوى وتعطى بالعلاقة:

$$DTC(n_{exit}) = 0 \text{ حيث تكون } DTC(n_i) = \sum_{j=1}^n C_{i,j} \quad (18-4)$$

وتعطى علاقة حساب ترتيب كل من المهمات بمجموع البارومترات الثلاثة السابقة:

$$Rank(n_i) = \text{round}(ACC(n_i) + DTC(n_i) + RTP(n_i)) \quad (19-4)$$

أما القيمة $RTP(n_i)$ هي أكبر قيمة ترتيب لأي من آباء العقدة (n_i) وتعطى بالعلاقة:

$$RTP(n_i) = \text{Max}_{n_m \in \text{pred}(n_i)} (Rank(n_m)) \quad (20-4)$$

حيث تكون $RTP(n_{entry}) = 0$

وإذا وجدت مهمتان في نفس المستوى لهما نفس الرتبة يكسر التعادل باستخدام القيمة (ACC) فتعطى الأولوية الأعلى للعقدة ذات القيمة (ACC) الأدنى.

PETS Algorithm

```

Divide the input DAG into levels
// A group of independents Tasks in each level
k = number of levels
Mark the levels starting with 0 and ending with k-1
//Start nodes are in level 0 and exit nodes are in level k-1
  For all Levels (L=1 to K-1)
    For all  $n_i$  in Level L
      Compute  $ACC(n_i)$ , and  $DTC(n_i)$ ; and  $RPT(n_i)$ ;
      Compute  $Rank(n_i)$ ;
    End For
  End For
Construct Priority Queue;
  For all levels (L = 1 to k -1)
    For all nodes in L // current level
       $n_i$  = node with the highest priority
      For all  $r_j$  in R
        Compute  $EST(n_i)$ ;
        Compute  $EFT(n_i)$ ;
      // Using Insertion-Based Technique
    End For
    Map  $n_i$  onto  $r_j$  that provides its least PCT
  End For
  Update  $MAT[j]$ 
End For
End PETS

```

الشكل (4-8): خوارزمية جدولة المهمات ذات الأداء الكفاء (PETS)

يتم في المرحلة الثالثة انتقاء المورد الذي يعطي قيمة انتهاء الأقرب (EFT) الأقل، وفي حالة التساوي يتم اختيار أحد الموارد عشوائياً. يتم حساب كل من (EST) و (EFT) لكل مستوى حسب العلاقتين (4-16) و (4-17) بفارق أنه في العلاقة (4-16) يتم استخدام زمن الانتهاء الأبعد الفعلي (AFT - Actual Finish Time) والذي يصبح معروفاً نتيجة جدولة كل آباء المهمة قيد التخصيص على موارد معينة، بدلاً من زمن الإنهاء الأبعد المخمن (EFT).

التعقيد الزمني لهذه الخوارزمية هو $O(e)(P + \log v)$ ؛ ينتج الحد الأول من التعقيد $O(e)$ من فرز المستويات باستخدام تقنية (Breadth First Search - BFS) وبتحقيقها برمجياً باستخدام اللوائح المجاورة بدلاً من المصفوفات المتجاورة. أما الحد $O(\log v)$ فهو ناتج عن تحقيق رتل الأولوية باستخدام الكدسة الثنائية (Binary Heap). يتم حساب (EFT) لكل مهمة على كافة الموارد المتوفرة مما يضيف القيمة (P) إلى هذا الحد في التعقيد النهائي.

3-5-4 خوارزمية المسار الحرج الديناميكي "للشبكة"

Dynamic Critical Path for Grids – DCP-G

يقدم المرجع [88]، تعديلاً على خوارزمية المسار الحرج الديناميكي المعدلة (xDCP) [86]، بخوارزمية ممكنة "شبكة" تسمى (DCP-G) [88]. تعتمد على حساب المسار الحرج في كل خطوة آخذة بعين الاعتبار تغيير متاحة الموارد في البيئة "الشبكة". صممت هذه الخوارزمية من أجل تدفقات الأعمال العلوم الالكترونية بشكل عام؛ وهي لا تضع قيوداً على دفع العمل، وهدفها أيضاً تصغير زمن الجدول النهائي (Makespan).

تقوم (DCP-G) بعدة تعديلات على خوارزمية (DCP) لتمكينها "شبكة"؛ فتحسب القيم (AEST/ALST) لمهمة ما على المورد الذي يحقق زمن التنفيذ الأصغري للمهمة. أما في خطوة تخصيص المهمة الموجودة على المسار الحرج فيتم أخذ بعين الاعتبار كافة الموارد المتوفرة على خلاف (DCP) التي تقوم باعتبار المورد المحصص للأب المهمة أو آباؤها بقصد تقليص زمن الانتقال، لأن زمن التنفيذ هو متساو في البيئات المتجانسة. عند تخصيص أية مهمة يعدّل زمن تنفيذها وزمن نقل المطيات إليها من آباؤها. هذا أيضاً ما يعدّل من قيم (AEST/ALST) للمهمات التالية.

تعطى العلاقات الأساسية المستخدمة في خوارزمية (DCP-G) بالعلاقات التالية:

$$\text{Absolute Execution Time - AET}(t) = \frac{\text{Task_size}(t)}{\text{Max}_{k \in R}(\text{PC}(r_k))} \quad (21-4)$$

حيث تعبر $PC(r_k)$ عن قدرة الحساب للمورد (r_k) .

$$\text{Absolute Data Transfer Time - ADTT}(t) = \frac{\text{Task_Output_Size}(t)}{\text{Max}_{k \in R}(\text{BW}(r_k))} \quad (22-4)$$

حيث تعبر $BW(r_k)$ عن عرض نطاق المعطيات لمورد (r_k) .

أما قيم زمن الابتداء الأبعد والأخير فتحسب بالعلاقات العودية التالية:

$$(23-4)$$

$$AEST(t, r) = \text{Max}_{1 \leq m \leq \text{pred}(t)} (AEST(t_m, r_{tm}) + AET(t_m) + C_{t,tm}(r_t, r_{tm}))$$

حيث $AEST(t_{\text{Entry}}, r) = 0$ ؛ $C_{t,tk}(r_t, r_{tm}) = 0$ عندما $r_t = r_{tm}$ ؛

و $C_{t,tm}(r_t, r_{tm}) = \text{ADTT}(t_m)$ ، إذا كانت t أو t_m لم تحصى بعد.

تقوم الخوارزمية بعد حساب كافة قيم $(AEST)$ للمهام في المبيان بحساب طول المسار الحرج

الديناميكي $(DCPL)$ وهو طول جدول دفع الأعمال المحصى جزئياً:

$$DCPL = \text{Max}_{1 \leq i \leq n} (AEST(t_i, r_{ti}) + AET(t_i)) \quad (24-4)$$

ومن ثم يمكن حساب قيم $(ALST)$ لكافة المهام في البيان بدءاً من المهمة الخرج:

$$(25-4)$$

$$ALST(t, r) = \text{Min}_{1 \leq k \leq \text{SUCC}(t)} (ALST(t_k, r_{tk}) - AET(t) + C_{t,tk}(r_t, r_{tk}))$$

حيث $ALST(t_{\text{Exit}}, r) = DCPL - AET(t)$ ؛ $C_{t,tk}(r_t, r_{tk}) = 0$ عندما $r_t = r_{tk}$ ؛

و $C_{t,tk}(r_t, r_{tk}) = \text{ADTT}(t_k)$ ، إذا كانت t أو t_k لم تحصى بعد.

يتم اختيار المهام التي تقع على المسار الحرج والتي كل آباؤها هي محصصة. وكذلك يتم

اختيار المورد المناسب للمهمة بحيث يقدم زمن تنفيذ المركب الأبعد للمهمة الحرجة قيد

التحصيل والمهمة الابن الحرجة لها، وذلك عبر فحص كافة الموارد المتوفرة واختيار المورد

الذي يقلص زمن البدء للمهمة الحرجة الابن على نفس المورد. تحدد المهمة الحرجة الابن بالمهمة التي لها أقل فرق بين زماني (AEST)، و (ALST) بين كل مهمات الأبناء.

DCP-G Algorithm

```

For all ni in N
    Compute AET(ni);
    Compute ADTT(ni);
End For
For all ni in N // up-bottom in breadth-first manner
    Compute AEST(ni, r); //where r provides min execution Time
End For
Compute DCPL;
For all ni in N // bottom-up in breadth -first manner
    Compute ALST(ni, r); ////where r provides min execution Time
End For
Insert Start Node to ReadyTaskList;
While ReadyTaskList is NOT Empty do
    ni = Node in ReadyTaskList on CP;
    Map node ni on processor which provides Minimum
    Combined earliest time of ni and critical child task.
    // one with minimum (ALST- AEST)among critical child's tasks
    Update AET(ni);
    Update ADTT(ni);
    Update AEST(ni, r), DCPL, ALST(ni, r);
    Update ReadyTaskList;
End While
End DCP-G
    
```

الشكل (4-9): خوارزمية المسار الحرج الديناميكي "للشبكة" (DCP-G)

6-4 مثال تطبيقي

لتوضيح عمل الخوارزمية (EWARP)، تقدم هذه الفقرة مثلاً تفصيلياً عن مراحل الخوارزمية وخرجها باستخدام مثال عملي؛ يقدم كافة تفاصيل مراحل والنتائج المرحلية لعمل الخوارزمية.

ليكن لدينا دفق الأعمال الممثل بالمبيان اللاحقي الموجّه المبين بالشكل (a-10-4)؛ والمطلوب تنفيذه بأسرع ما يمكن على بيئة ديناميكية واسعة النطاق مثل "الشبكة". تمثّل القيم المحددة ضمن عقد المبيان سرعات تنفيذ المهمات المخمّنة باستعمال أي من أدوات تقدير أزمنة العمل [83]، أما القيم المحددة على أسهم هذا المبيان فتمثّل حجم المعلومات المتبادلة بين مهماته.

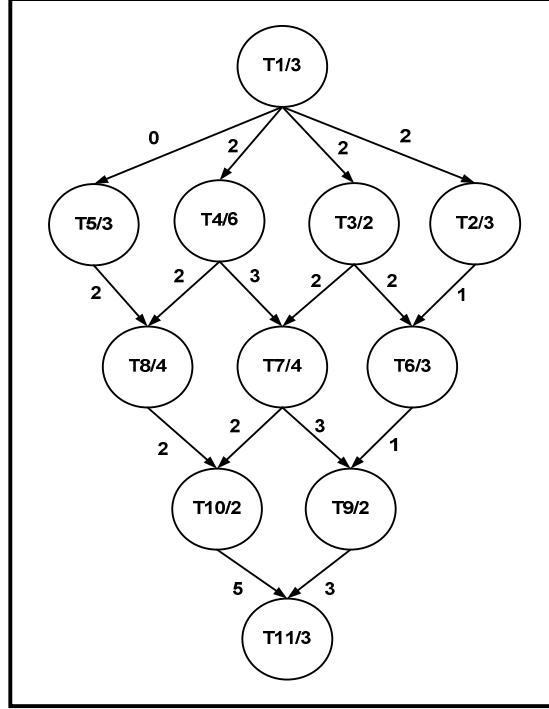
يمثّل هذا المبيان دفقاً له عقدتي دخل (T1) و (T5)؛ ولكنه نمذج على شكل مبيان (DAG) ذو دخل وحيد وخرج وحيد [90]. يمثّل الشكل (b-10-4) الموارد المكتشفة والمتوافرة المعادة من نظام معلومات "الشبكة" (GIS) بعد طلبها وهي ثلاثة موارد؛ ويبين الجدول سرعات التنفيذ المختلفة للموارد الثلاث ولنفس مهمات الدفق. نفترض أن كلف الاتصال الشبكية بين الموارد المختلفة هي متماثلة في هذا المثال، لتبسيط وتوضيح التعريفات الأساسية وعمل الخوارزمية المقترحة.

يبين الشكل (c-10-4) الجدول الناتج عن استخدام خوارزمية (HEFT) [80]، باستخدام مخطط غانت، وتبين الأسهم المعطيات المتبادلة بين المهمات غير المصفّرة عبر الخوارزمية، والتي تشكّل ارتباط المعطيات في تقنية استقصاء الفجوات.

يمكن استخدام الفجوات المجاورة للمهمات، والمبيّنة في الشكل (c-10-4)، بحسب القيود المفروضة على البيان اللاحقي الموجّه من أسبقيات، أو أزمنة اتصال بين المهمات المختلفة، وبحيث لا يؤثر استخدامها على الجدول الناتج وإنما على مخطط الحجز للمهمات الموجودة فيه.

ونلاحظ وجود ثلاث فجوات في مخطط حجز المورد الأول، وأربع فجوات في مخطط حجز المورد الثاني، وفجوتان في مخطط حجز المورد الثالث.

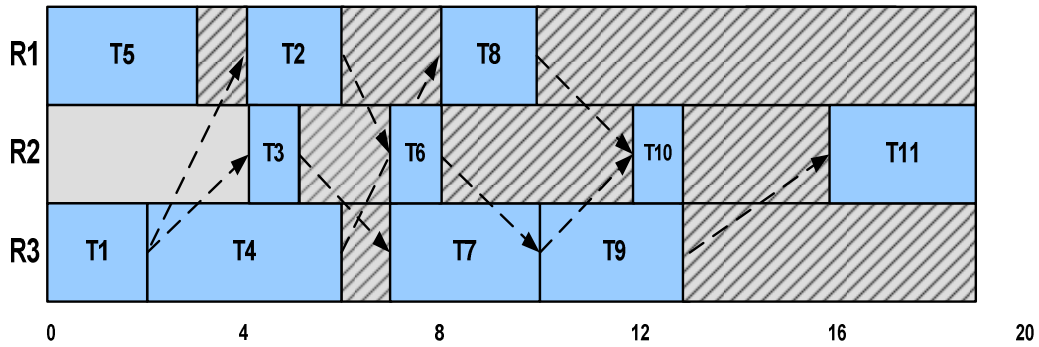
Task	R1	R2	R3
T1	4	3	2
T2	2	4	3
T3	3	1	2
T4	8	6	4
T5	3	4	2
T6	2	1	3
T7	3	3	3
T8	2	2	2
T9	2	1	3
T10	4	1	1
T11	4	3	2



(b) - أزمدة تنفيذ مهمات الدفق على

الموارد المتوافرة.

(a) - مبيان للاحلقي موجّه (DAG).



(c) - الجدول الناتج عن استخدام خوارزمية HEFT.

الشكل (4-10): الجدول الناتج عن استخدام الخوارزمية (HEFT) [76] لدفق أعمال.

يوضّح الشكل (4-11) مخطط التنفيذ، أو مخطط الحجز القاسي، والذي يبيّن زمن بداية ونهاية كل مهمة من الدفق. ويكون زمن تنفيذ دفق العمل الكلي هو نفسه طول الجدول الناتج أي زمن نهاية المهمة الخرج في المبيان والمساوي في هذا المثال (19.0).

Task	Start Time	End Time
T1	0.0	2.0
T2	4.0	6.0
T3	4.0	5.0
T4	2.0	6.0
T5	0.0	3.0
T6	7.0	8.0
T7	7.0	10.0
T8	8.0	10.0
T9	10.0	13.0
T10	12.0	13.0
T11	16.0	19.0

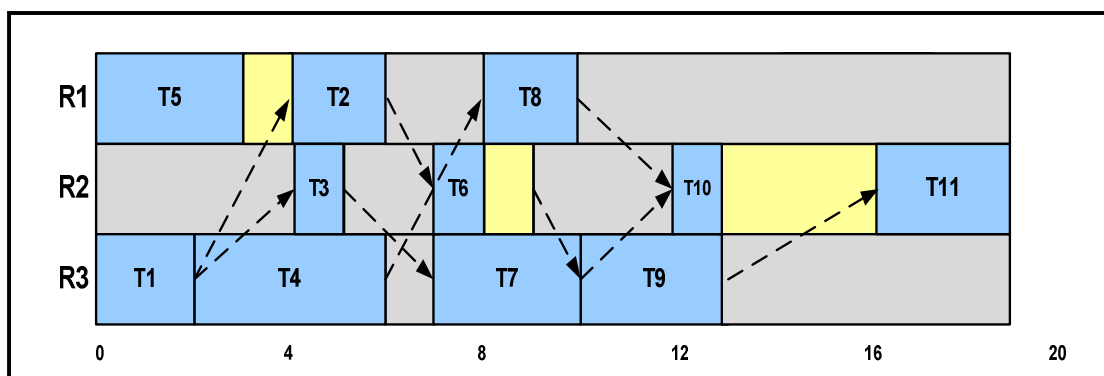
الشكل (4-11): مخطط الحجز القاسي الناتج عن تطبيق (HEFT).

للتثبت من عمل الخوارزمية (EWARP)، تم تحقيق الخوارزمية المقدمة في [72]، التي تعد الأفضل في هذا المجال وهي خوارزمية الارتخاء (Slack Algorithm)، والتي شرحت كافة علاقاتها في الفقرة السابقة من هذا الفصل، وتمت مقارنتها مع الخوارزمية (EWARP). طُبقت كلتا الخوارزميتين على الجدول الناتج في (4-10)، ويبيّن الشكل (4-12) المجدولات الناتجة لكل منها والممثلة بمخططات غانت.

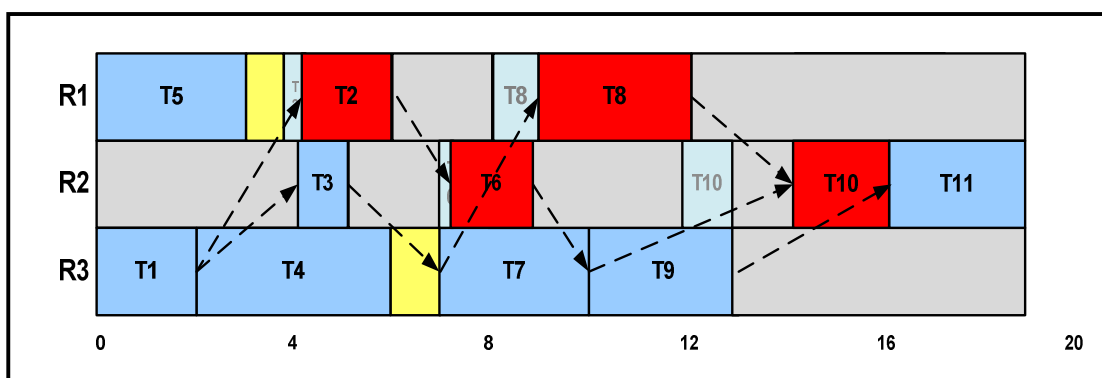
يبيّن اللون الأصفر في الشكل (4-12-a) الفجوات الزمنية التي تمكنت خوارزمية الارتخاء من استغلالها. في حين يبيّن اللون الأصفر في الشكل (4-12-b) الفجوات الزمنية التي تمكنت خوارزمية (EWARP) من استغلالها، ويبيّن المهمات المزاحة والمطالة زمنياً باللون الأحمر.

تتمكن خوارزمية الارتخاء وعبر عملية استقصاء الفجوات الزمنية من إطالة زمن الحجز لثلاث مهمات وهي (t₅) و (t₆) و (t₁₀) وبالمقادير (1)، و (1)، و (3) على التوالي، كما هو مبين بالشكل (4-12-a). أما المهمة (t₂) فلا يمكنها استخدام الفجوة الزمنية المجاورة لها لأنها تمرر

معلومات إلى المهمة (t_6) ، و (t_7) ، وبزمن قدره (2)؛ وبالتالي فأي تغيير على زمن نهاية تنفيذها سيغير من زمن بداية تنفيذ كل من المهمتين (t_6) ، و (t_7) ، وهذا ما يزيد من طول المجدول الكلي. ويكون عدد المهمات المسترخية الكلي الناتج عن خوارزمية الارتخاء هو (3) مهمات من (11) مهمة كلية؛ أي يكون مخطط الحجز الناتج عن تطبيق خوارزمية الارتخاء ذو نسبة مرونة مقدارها (27%).



الشكل (4-12-أ): الفجوات الزمنية المستغلة من قبل خوارزمية الارتخاء وباللون الأصفر.



الشكل (4-12-ب): المهمات المزاحة من قبل (EWARP) وباللون الأحمر

الشكل (4-12): مخططات غانت الناتجة عن تطبيق خوارزمية الارتخاء (a) و (EWARP) (b).

أما خوارزمية (EWARP) فتتمكن من إطالة مهمتين وهي (t_5) و (t_4) ، وبالمقادير (1.063)، و (1) على التوالي. بالإضافة، تقوم بإزاحة أربعة مهمات هي (t_{10}) ، و (t_6) ، و (t_8) ، و (t_2) ، إلى

الأمام زمنياً، وكذلك بإطالة زمن حجز كل منهم بالمقادير (0.84)، و(0.83)، و(0.84)، و(0.11)، على التوالي كما هو مبين بالشكل (b-12-4) باللون الأحمر.

يبين الشكل (4-13) جداول الحجز الناتجة عن تطبيق كل من خوارزمية الارتخاء والخوارزمية (EWARP).

Task	Start Time	End Time
T1	0.0	2.0
T2	4.063	6.17
T3	4.0	5.0
T4	2.0	7.0
T5	0	4.063
T6	7.17	9
T7	7.0	10.0
T8	9.33	12.17
T9	10.0	13.0
T10	14.17	16.0
T11	16.0	19.0

(b): مخطط الحجز الناتج عن خوارزمية (EWARP)

Task	Start Time	End Time
T1	0.0	2.0
T2	4.0	6.0
T3	4.0	5.0
T4	2.0	6.0
T5	0.0	4.0
T6	7.0	9.0
T7	7.0	10.0
T8	8.0	10.0
T9	10.0	13.0
T10	12.0	16.0
T11	16.0	19.0

(a): مخطط الحجز الناتج عن خوارزمية الارتخاء

مهام تمت إزاحتها وإطالة زمن حجزها



مهام تمت إطالة زمن حجزها



الشكل (4-13): جداول الحجز المرنة الناتجة عن خوارزمية الارتخاء (a)، و (EWARP) (b).

نلاحظ إن إزاحة زمن بداية بعض المهمات يسمح لمهام أخرى أن تستفيد من الفجوات الزمنية المتواجدة في الجدول والتي كانت غير قابلة للاستخدام نتيجة ارتباط الموارد؛ فمثلاً تعديل زمن بداية المهمة (t₁₀) يسمح للمهمة (t₈)، والمرتبطة ارتباط معطيات معها، بأن تستفيد من الفجوة الزمنية المجاورة لها. والتي بدورها تمكن (t₄) من إطالة زمن تنفيذها. كذلك إزاحة المهمة (t₁₀) يفسح المجال لإزاحة المهمة (t₆) إلى الأمام، والذي يسمح بدوره للمهمة (t₂) ذات ارتباط

المعطيات مع (t6) أن تطيل من زمن حجزها. ويكون عدد المهمات المسترخية الكلي هو (6) مهمات، وبنسبة مرونة هي (54.54%) من عدد المهمات الكلية في الدفق. وبالتالي تقدم خوارزمية (EWARP) تحسناً في نسبة المرونة بمقدار الضعف (50%) في هذا المثال. تقوم خوارزمية (EWARP) بعدد من الدورات؛ فتحسب في الدورة الأولى مجموع الفجوات الزمنية الموجودة في الجدول (total_r)، وتحدد المهمات القابلة للتعديل وهي في مثالنا المهمتين (t₁₀)، و(t₆). بعد تعديلهما بعد تعديل المهمتين السابقتين تتكرر الخوارزمية وتعيد حساب الفجوات الزمنية الجديدة الناتجة، وتعيد تحديد المهمات التي أصبحت قابلة للتعديل وهي في هذا المثال (t₇)، و(t₂)، و(t₃). تستمر الخوارزمية بالتكرار حتى تنتهي تعديل كافة المهمات القابلة للتعديل، وتخرج من عملية التكرار عندما يصبح مجموع الفجوات الزمنية القابلة للاستغلال والمتواجدة في الجدول الناتج المعدل صفراً، أو أصغر من عتبة صغرى محددة.

Results of First Round of EWARP

Task	TAG (Y/N)	Related Task	Relax value
T1	N	None	0.0
T2	Y	T6	0.0
T3	N	None	0.0
T4	Y	T8	0.0
T5	Y	T2	1.0
T6	Y	None	1.0
T7	N	None	0.0
T8	Y	T10	0.0
T9	Y	None	0.0
T10	Y	None	3.0
T11	N	None	0.0

Total Spare Tasks # = 6
Total Spare Value = 5.0

الشكل (4-14): نتائج الدورة الأولى من خوارزمية (EWARP)

يبين الشكل (4-14) نتائج الدورة الأولى من تطبيق خوارزمية (EWARP) على المثال المبين في الشكل (4-10). يعبر الحقل (TAG) عن المهمات الموسومة وهي المهمات التي يمكن لها

أن تطل زمنيًا؛ إما الحقل (Related Task) فيعبر عن المهمات المرتبطة ارتباطاً مع المهمة قيد التحليل؛ وبالتالي فإن إزاحتها يمكن المرتبط معها من المهمات من تستفيد من الزمن المزاح وإمكانية التعديل.

7-4 التقييم والنتائج

تقدم هذه الفقرة تصميم أجزاء المحاكاة المستخدمة لتطبيق الخوارزمية المقدمة (EWARP)، وكذلك شرحاً وتحليلاً للنتائج المولدة عبر استخدام مجداولات التخصيص الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث المذكورة سابقاً تم تعديل خرج الخوارزميات الثلاث ليوافق الدخل المطلوب من خوارزمية (EWARP).

1-7-4 بناء المحاكاة

لاختبار وتحليل عمل الخوارزمية المقترحة تم تصميم وتحقيق برنامج محاكاة مؤلف من عدة أجزاء. يقوم الجزء الأول بتوليد مبيان للاحقي موجّه عشوائي يخضع لعدة بارومتريات مختلفة عند توليده. استخدمت علاقات الجذر التربيعي واللوغاريتم الثنائي لتحديد ارتفاع المبيان، وعدد المستويات فيه، ومن ثم تحديد عدد المهمات في كل مستوى بحسب عدد المهمات المطلوب. البارومتر الأول المستخدم هو عدد المهمات (n) في المبيان؛ وقد تم استخدام المجال (10، 30، 40، 50، 80، 130). يحدد البارومتر الثاني متوسط قيم الحساب للمبيان وهي من المجال (1، 2، 5، 10، 15، 25، 50). البارومتر الثالث هو نسبة الاتصال إلى الحساب في المبيان (CCR) والمحدد من المجال (0.5، 1، 5، 10، 20)؛ يستخدم هذا البارومتر مع بارومتر قيم الحساب لتوليد أزمنة الحساب للعقد وأزمنة الاتصال بينها. تم استخدام بارومتر شكل المبيان (α) والمحدد في [76]، لقولبة المبيان المولّد؛ حيث تولّد القيم الصغيرة ل (α) مبياناً يميل إلى الطول- أي يظهر توازياً قليلاً بين المهمات المشكّلة له، أما قيم (α) الكبيرة فتولّد بياناً يميل إلى

العرض - أي يظهر توازياً عالياً بين مهماته. استخدمت الرزمة البرمجية المفتوحة المصدر (jGraphs) [91]، في تحقيق وإدارة المبيانات اللاحقية الموجّهة.

يولّد الجزء الثاني من المحاكاة عدد من الموارد عشوائياً بالاعتماد على تابع توزيع احتمالي منتظم (Uniform). وكذلك تولّد السرعات المختلفة لمهمات الدفع على هذه الموارد عبر استخدام تابع توزيع احتمالي أسي وبطريقتين؛ تقترح الأولى بيئة موزعة ذات تغاير خواص ضئيل (Tight)، أي تكون القيم المولّدة متقاربة بالقيمة من القيم المخمّنة لتنفيذ المهمات. أما الطريقة الثانية فتقترح بيئة تنفيذ موزعة ذات تغاير خواص عالي (Large)؛ أي تكون القيم المولّدة لسرعات هذه الموارد متباعدة بين بعضها البعض، وعن سرعة تنفيذ المهمات المخمّنة.

الأجزاء الثالثة، والرابعة، والخامسة، هي تحقيق لخوارزميات جدولة مبيان للاحقي موجّه في بيئة متغايرة الخواص وهي على الترتيب (HEFT) [80]، و (PETS) [87]، و (DCP-G) [88]. تستخدم هذه الخوارزميات خرج الجزئيين الأوليين لتوليد مجدولات على الموارد المتوافرة والمحددة في الجزء الثاني.

الجزء السادس هو تحقيق لخوارزمية الارتخاء (Slack) المقدمة في [75]، والتي تقوم بتوليد حجوزات مسترخية تستخدم من أجل تقليل نسبة إعادة الجدولة عند خطأ تقدير أزمّة تنفيذ المهمات في المبيان. يكون دخل هذه الخوارزمية المجدولات الناتجة عن الأجزاء الثالثة والرابعة والخامسة.

أما الجزء السابع فهو تحقيق لخوارزمية (EWAEP) المقدمة في هذه الورقة؛ تقدم النتائج مقارنة بين نتائجها مع نتائج خوارزمية [75] المحققة في الجزء السادس من جهة، وكذلك تقدم تقييم لهذه الخوارزمية وتحليل لنتائجها تبعاً للمجدولات المختلفة التي تكون دخلاً لها.

عدد المبيانات المولّدة من الجزء الأول هو (630) مبيان للاحقي موجّه، أما عدد الموارد المولّدة لكل مبيان فهي (2) بحسب بارومتر مجال تغاير خواص البيئة الموزعة. وبالتالي هناك (1260) دخل مختلف لكل خوارزمية جدولة.

أما عدد المجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث فهي (3780) مجدولاً مختلفاً، التي هي بدورها دخل لكل من خوارزمية الارتخاء [75]، والخوارزمية (EWARP). عدد نتائج المحاكاة الواحدة هو (7560) خرجاً مختلفاً. كررت المحاكاة ثلاثة مرات لتوليد النتائج المقدمة في المقطع التالي.

2-7-4 تحليل النتائج

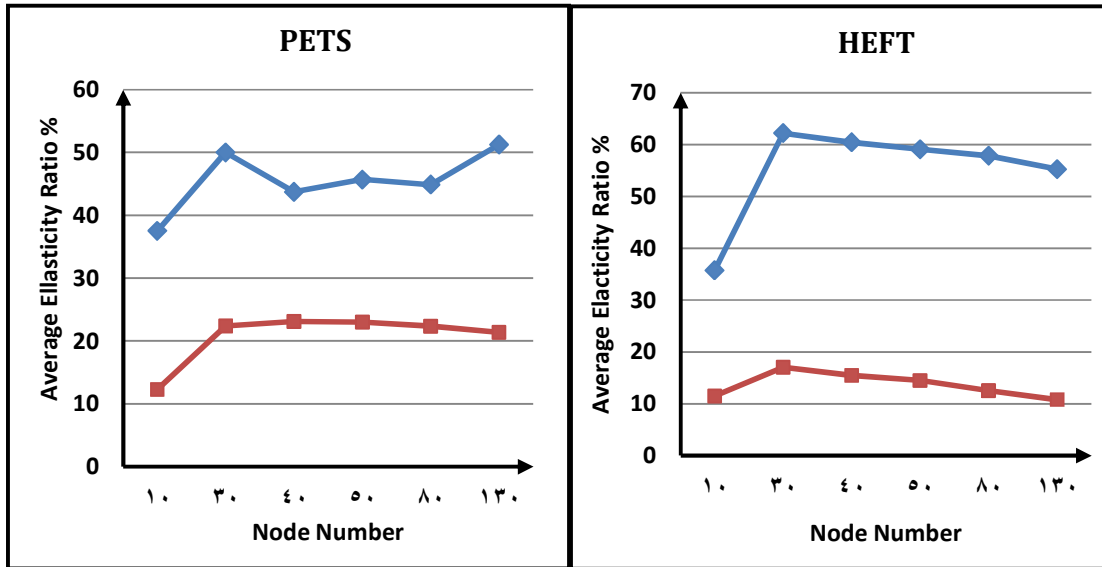
تم تقسيم عملية الاختبار والتحليل إلى قسمين رئيسيين، حيث تم تنفيذ المحاكاة في القسم الأول لمقارنة نتائج الخوارزمية المقدمة في هذه الورقة (EWARP) مع خوارزمية الارتخاء [75].

أما الجزء الثاني فيحلّل عمل الخوارزمية (EWARP) طبقاً لبارومترات محددة مثل عدد المهمات في الدفع، ونسبة الاتصال الى الحساب (CCR).

تظهر المنحنيات المبينة في الشكل (4-15) نتائج هذا القسم من المحاكاة؛ وهي نتائج المقارنة بين الخوارزميتين سابقتي الذكر بعد تطبيقهما على كل من المجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث كل على حدا، ومن أجل معيار مقياس الأداء النسبة المئوية لمرونة للدفع والتي تعطى بالمعادلة:

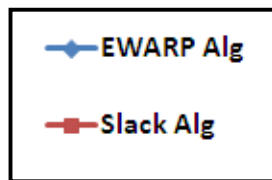
$$\text{Elasticity Ratio \%} = \frac{(\text{Graph Elastic Tasks Number} * 100)}{\text{Total Graph Tasks Number}} \quad (26-4)$$

يظهر الشكل (a-15-4) المعدلات المئوية لنسبة مرونة الدفع الوسطية الناتجة عن تطبيق الخوارزميتين (Slack) [71]، و (EWARP) على الترتيب، على مجداولات التخصيص الناتجة عن تطبيق خوارزمية (HEFT). تظهر النتائج تفوق خوارزمية (EWARP) بحد أدنى قدره (26%)، وبحد وسطي قدره (41.5%). أما الشكل (b-15-4) فيظهر نفس النتائج السابقة ولكن على مجداولات التخصيص الناتجة عن تطبيق خوارزمية (PETS)، وهي تظهر تفوق خوارزمية (EWARP) بحد أدنى قدره (21.5%) وبمتوسط قدره (25%).

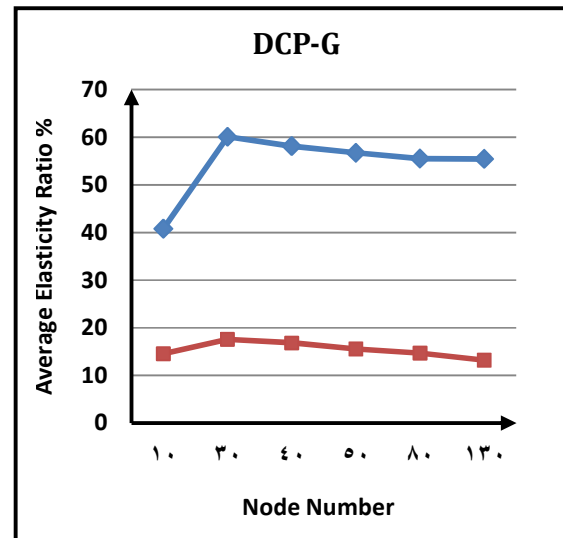


(b) - خوارزمية PETS.

(a) - خوارزمية HEFT.



(d) - الرمز المستخدم.

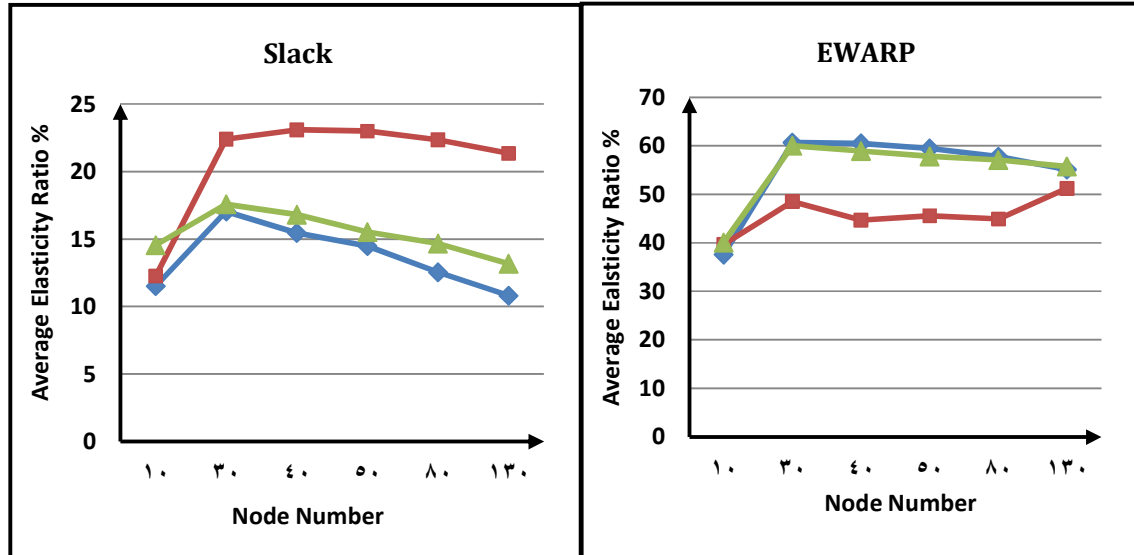


(c) - خوارزمية DCP-G.

الشكل (4-15): النسبة المئوية لنسبة المرونة في كل من الخوارزمية الارتقاء [72]، وخوارزمية (EWARP).

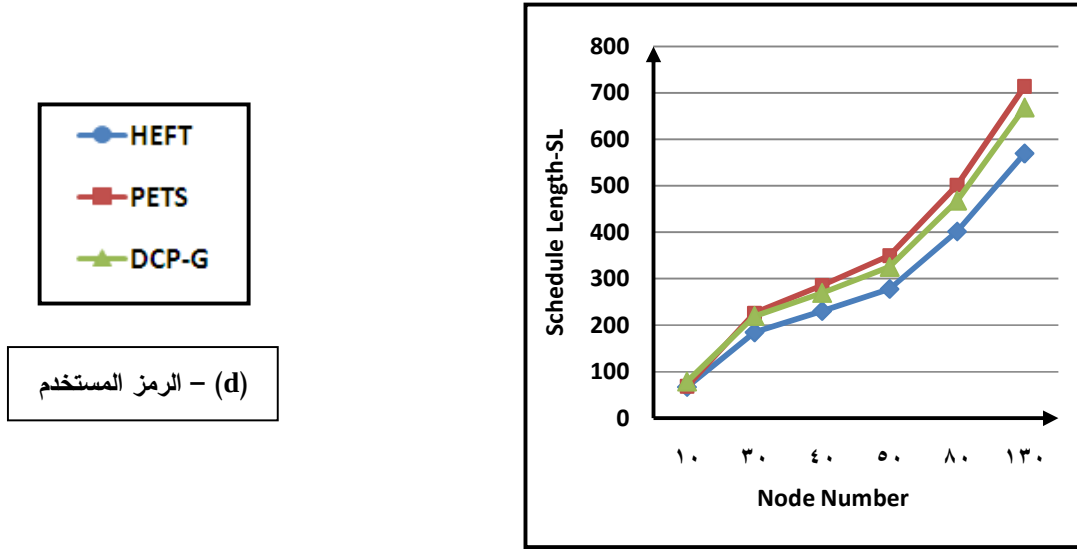
ويظهر الشكل (c-15-3) نتائج التطبيق على مجداولات التخصيص الناتجة عن تطبيق خوارزمية (DCP-G) الديناميكية، وهي أيضاً تظهر تفوق خوارزمية (EWARP) بحد أدنى قدره (25.5%) وبمتوسط قدره (39.5%).

وعلى العموم تظهر النتائج المبينة في (4-15) أن خوارزمية (EWARP) تقدّم تحسناً وسطياً عن خوارزمية الارتخاء ولكافة أنواع الخوارزميات الثلاث قدره (35.38%). أي أنها تتفوق دائماً على خوارزمية الارتخاء، وتضيف إليها كون مخطط الحجز ينتقل من أن يكون مسترخياً ليصبح مرناً في أغلب مهماته المعدلة. أما اختلاف النتائج باختلاف خوارزمية الجدولة ولنفس مجموعة المبيانات فهو ناتج عن كون كلتا الخوارزميتين قيد المقارنة تعتمدان على شكل مجداولات التخصيص الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث؛ من فجوات زمنية في مجداولات التخصيص، وعلى ارتباطات المعطيات الموروثة من دفق الأعمال. هذه الخوارزميات هي بطبيعتها تتعلق بشكل المبيان، وبالبارومترات التي تحدد سير التخصيص والجدولة لها. يوضح الشكل (4-16) نتائج مقارنة أداء كل من خوارزميتي (Slack)، و (EWARP) بالنسبة للمجداولات الناتجة عن الخوارزميات الثلاث المذكورة ولمقياس الأداء نسبة المرونة الناتجة.



(b) - نتائج خوارزمية (Slack)

(a) - نتائج خوارزمية (EWARP)



(c) - طول المجدولات الناتجة (Makespan)

الشكل (4-16): نتائج تطبيق خوارزميتي (EWARP) و (Slack) على مجدولات الخوارزميات الثلاث (HEFT)، و (PETS)، و (DCP-G).

وتبيّن هذه النتائج تفوق (EWARP) على خوارزمية الارتخاء عموماً لجهة نسبة المرونة المولدة، كما تبيّن قدرة خوارزمية (EWARP) على مقاومة تعقيد الدفق المتعلق بعدد المهمات فيه؛ بينما ينخفض أداء خوارزمية الارتخاء (Slack) بزيادة تعقيد الدفق وعند عدد المهمات الكبير. كذلك، تظهر النتائج المبينة في الشكل (4-16-a) أن خوارزمية (EWARP) تولّد أفضل النتائج من حيث نسبة معدل المرونة المئوي في التدفقات لمجدولات خوارزمية (HEFT)؛ وهذه النتائج هي متقاربة جداً مع نتائج تطبيق الخوارزمية على مجدولات (DCP-G). على عكس من ذلك، فإن خوارزمية (Slack) تقدّم أفضل النتائج عند تطبيقها على مجدولات خوارزمية (PETS). كذلك نلاحظ أن أدائها على الخوارزميتين الأخريتين هو متقارب جداً كما هي حال نتائج (EWARP).

لتفسير تقارب نتائج الخوارزميتين (HEFT) و (DCP-G) لكل من خوارزميتي الارتخاء و (EWARP)؛ نعتمد على تحليل طريقة عملهما؛ فكلتاها تعتمد بالتحصيص على مقارنة تقليص المسار الحرج للمبيان عبر استخدام تقنية زمن الانتهاء الأقرب، وإن كانت الخوارزمية

(HEFT) هي سكونية، و خوارزمية (DCP-G) هي ديناميكية. وبالتالي مجدولات تخصيصهما الناتجة هي متقاربة جداً ومع تفوق أداء خوارزمية (HEFT).

من جهة أخرى، وعبر تحليل عمل خوارزمية (PETS) نلاحظ أنها تميل إلى تجزئة أكبر لأزمة الجدول الناتج بسبب اعتمادها على تحليل جزئي للمبيان في كل مستوى منها، بدلاً من التحليل العمومي المستخدم في الخوارزميتين الأخريتين؛ هذا ما يتيح لخوارزمية (Slack) أن تستغل عدد الفجوات الأكبر الناتج عن هذه التجزئة، ويعلّل تقدم نتائج مجدولات خوارزمية (PETS) على الخوارزميتين الأخريتين في خوارزمية الارتخاء. ويبين الشكل (a-16-4) تقدّم نتائج تطبيق خوارزمية (EWARP) عند استخدام مجدولات تخصيص خوارزميتي (HEFT) و (DCP-G) على خوارزمية (PETS)؛ ويبين الشكل (c-16-4) طول المجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث المستخدمة، حيث تظهر المنحنيات أن خوارزمية (PETS) لديها زمن تنفيذ كلي هو أكبر ولكافة المبيانات ذات أعداد المهمات المختلفة من الخوارزميتين الأخريتين، واللذان تقدمان طول جدول (Makespan) أفضل؛ أما خوارزمية (HEFT) فتقدم أفضل النتائج؛ وبالتالي فهي تقدم الحلول الأكثر استمثالاً لناحية زمن التنفيذ النهائي. هذا يوضّح قدرة على تقديم أداء أكثر استمثالاً من خوارزمية الارتخاء؛ أو يمكن القول بطريقة أخرى، أن ضعف الأداء لخوارزمية (EWARP) ينتج عن ضعف الأداء الموروث في مجدولات التخصيص المستخدمة كدخل لها وليس في الخوارزمية ذاتها، وبالتالي استخدام مجدولات تخصيص أكثر استمثالاً ينتج مخططات حجز مرنة هي أيضاً أكثر استمثالاً.

تجدر الإشارة أن زمن تنفيذ خوارزميتي (HEFT) و (PETS) هو متقارب وهو من مرتبة $O(v^2 \times p)$ لخوارزمية (HEFT)، ومن مرتبة $O(e)(p + \log v)$ لخوارزمية (PETS) حيث تعبّر (v) عن عدد العقد في المبيان، و (e) عن عدد الأسهم فيه؛ أما (p) فتعبر عن عدد الموارد المتوافرة المستخدمة في التخصيص. أما خوارزمية (DCP-G) الديناميكية فهي ذات زمن تنفيذ يقارب $O(v^4)$ كونها تعيد حساب المسار الحرج الكامل عند كل خطوة جدولة، وبالتالي هي أعلى بكثير من زمن تنفيذ الخوارزميتين السابقتين.

في القسم الثاني من المحاكاة قمنا بتحليل تأثير تطبيق خوارزمية (EWARP) المقدمة في هذا الفصل، على المجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث لتحليل العلاقة بين الخوارزمية المقدمة والأنواع المختلفة من الدخل المطبق عليها. يبين الشكل (4-17) مقارنة لأداء الخوارزمية (EWARP) على المجدولات الناتجة عن الخوارزمية (HEFT) من ناحية بارومتر شكل المبيان (α)، مع نسبة الاتصال الى الحساب (CCR). تم اعتبار مقياسي أداء خلال هذا التحليل وهما نسبة مرونة مخطط الحجز الناتج (Elasticity Ratio) والمعطى في المعادلة (4-26)، ومعدل الوفر الزمني لكامل الدفق (Graph Spare Time) من طول جدول التخصيص الناتج والمعطى بالمعادلة التالية:

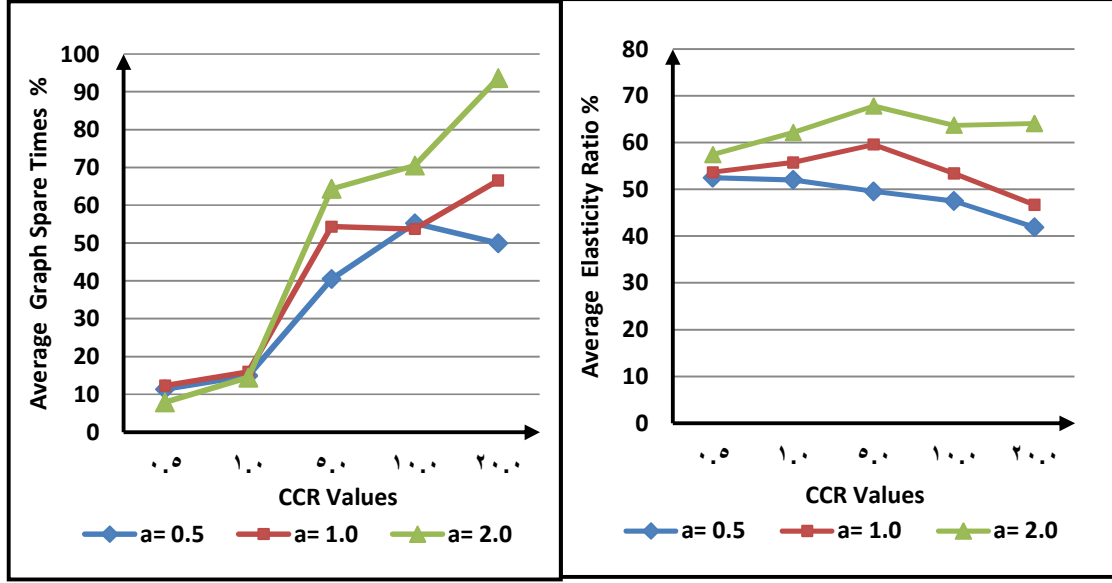
$$\text{Graph Spare Time \%} = \frac{\text{Total Graph Spare Time} \times 100}{\text{Graph Schedule Length}} \quad (27-4)$$

يوضح الشكل (a-17-4) أنه كلما ازداد مقدار التوازي المضمن في المبيان (عند القيم الأعلى للبارومتر α)، يمكن للخوارزمية (EWARP) من إنتاج معدلات نسبة مرونة أعلى، ومهما كانت قيم بارومتر الاتصال الى الحساب.

أما الشكل (c-17-4) فيبين طول الجدول بالنسبة للبارومتر (α)، ويوضح أن المبيانات عالية التوازي تنتج مجدولات هي أقصر من المبيانات ضئيلة التوازي ولنفس عدد العقد فيها؛ هذه النتيجة هي حتمية في الحالة المثالية، ولكنها تدل هنا على جودة نوعية خوارزميات الجدولة المستخدمة. وبالتالي تقدم الخوارزمية (EWARP) نسبة مرونة أعلى وللمجدولات الأقصر للمبيانات عالية التوازي، مما يوضح قدرتها على استمثال التوازي المتواجد في المبيان.

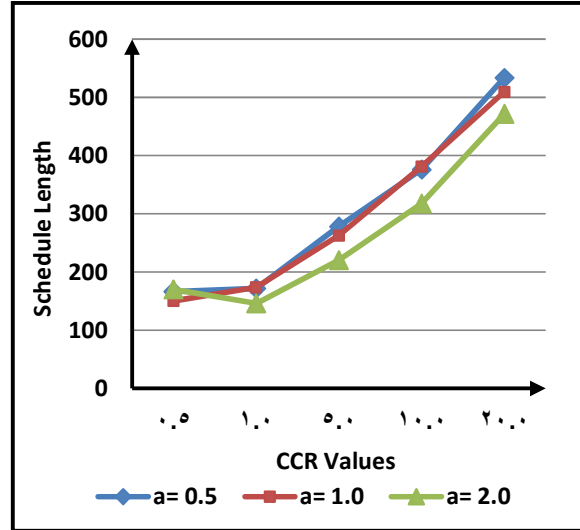
كذلك يبين الشكل (b-17-4) أن متوسط الوفر الزمني المئوي، وهو نسبة ضيق القيد الزمني المعرف بالعلاقة (4-7) ولكامل الدفق، يكون أيضاً أعلى من المبيانات متوسطة وضئيلة التوازي، مع أن طول المجدولات الكلي هو الأقصر. أيضاً هذا يبين قدرة خوارزمية (EWARP) على استمثال عال للوفر الزمني في مجدولات التخصيص. يزداد الوفر الزمني بزيادة نسبة الاتصال إلى الحساب (CCR) وهذا طبيعي ومتوقع؛ ولكن هذه الزيادة تكون بمعدل

سريع؛ أي أن المبيانات ذات قيم (CCR) العالية يمكنها أن تقدّم زمنًا موفّرًا أعلى وبكثير من المبيانات ذات قيم (CCR) المنخفضة.



(a-17-4) - نسبة المرونة لخوارزمية (EWARP) على مجداول (HEFT) وللبارومتر α .

(b-17-4) - نسبة الوفر الزمني لخوارزمية (EWARP) على مجداول (HEFT) وللبارومتر α .



(c-17-4) - طول المجدولات الناتجة

الشكل (17-4): مقارنة نتائج تطبيق (EWARP) على مجداول (HEFT) للبارومتر α . (a) نسبة المرونة، (b) معدل الوفر الزمني لكامل الدفق، (c) طول المجدولات الناتجة.

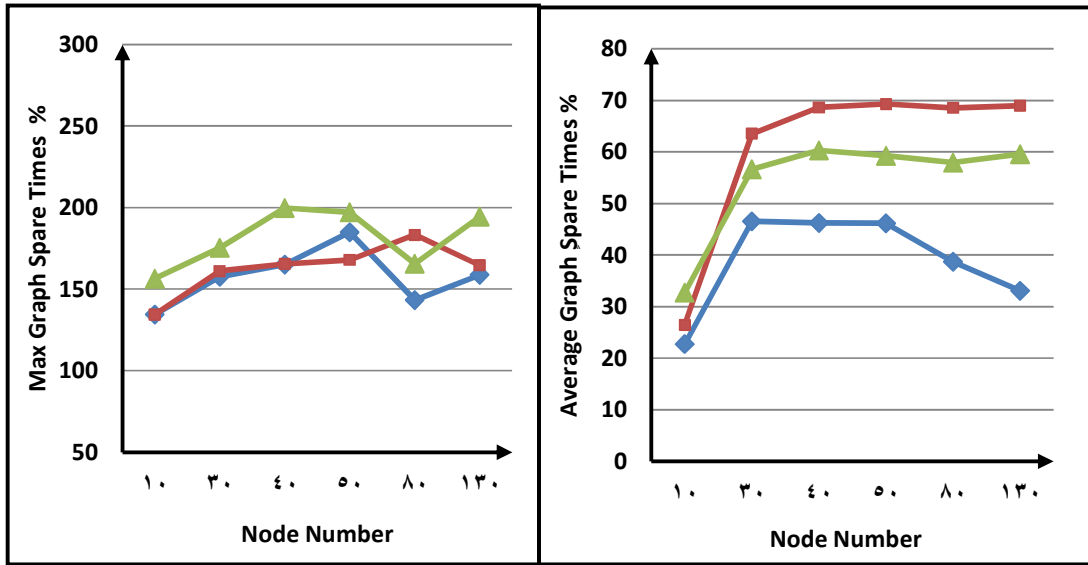
في القسم الثالث من المحاكاة تمت مقارنة نتائج الخوارزمية (EWARP) على مجداولات الخوارزميات الثلاث المستخدمة بالنسبة لعدد مهمات الدفع؛ يظهر الشكل (4-18) النسبة المئوية للزمن الموفر الوسطي المعطى بالمعادلة (4-27)، والنسبة المئوية للزمن الموفر الأعظمي، والأصغري، والمستخدم في عمليات تشكيل الحجز المرن من طول المجدول الناتج (SL)، بالنسبة لعدد مهمات الدفع، ولكل من مجداولات خوارزميات الجدولة الثلاث.

يبين الشكل (4-18-a) أن الخوارزمية (PETS) تقدم أفضل نسب الوفر الزمني لكامل الدفع، وتليها (DCP-G) وبفارق وسطي تقريبي قدره (10%)، وتأتي أخيراً (HEFT) وبفارق وسطي تقريبي قدره (25%) عن (PETS). بمقارنة هذه النتائج مع نتائج الشكل (4-16-c) نرى أنها متوافقة معها؛ وبالتالي تستطيع (EWARP) أن تحافظ على تقدّم الأداء الناتج في مجداولات التخصيص وعلى كامل مجال عدد مهمات المبيان.

أما الشكل (4-18-b) فيظهر تفوق خوارزمية (DCP-G) في نسبة الوفر الذي يمكن لخوارزمية (EWARP) إنتاجه من مجداول التخصيص الناتج عنها، ولكامل مجال عدد المهمات المختلفة للدفع عن الخوارزميتين الباقيتين، واللّتين تقدمان أداءً متقارباً بالنسبة لمعيار الوفر الأعظمي للحجوزات المرنة الناتجة في مخططات الحجز المرن.

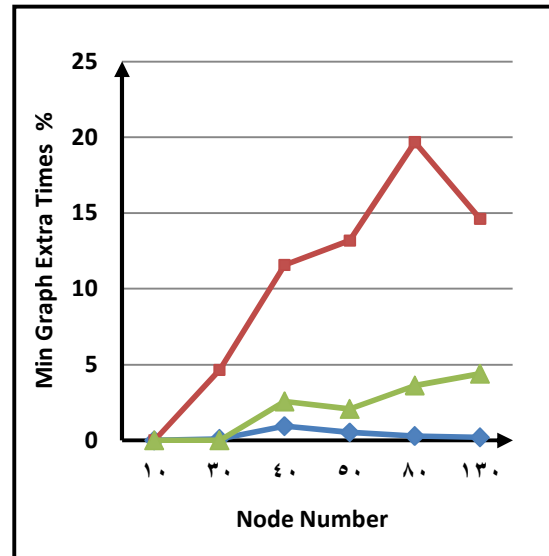
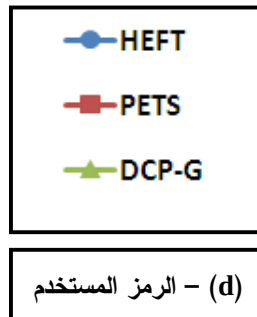
ويظهر الشكل (4-18-c) التفوق الكبير لأداء (EWARP) على مجداولات خوارزمية (PETS)، من ناحية الزمن الفائض الأدنى المستخدم في عملية تشكيل مخطط الحجز المرن.

هذا الشكل الأخير هو ذو أهمية خاصة لأنه يشير للمجداولات المترفعة الموجودة في النظام، على خوارزميات الجدولة التي تستطيع انتاج مجداولات يمكنها أن تعطي استغلال أعلى للوفر الزمني الأدنى، وهي الحالة الأكثر حرصاً في النظام بشكل عام، وبالتالي تعظم من فوائد طرفي النظام؛ الزبائن من جهة اللذين لا يضطرون لحمل أعباء مادية أعلى لتنفيذ أعمالهم ضمن القيود الزمنية المطلوبة، ومزود الموارد اللذين يمكنهم الحجز المرن من الحصول على استغلالية أعلى لمواردهم والحصول على عوائد مالية أعلى.



(a) - النسبة المئوية لمتوسط وفر الزمن.

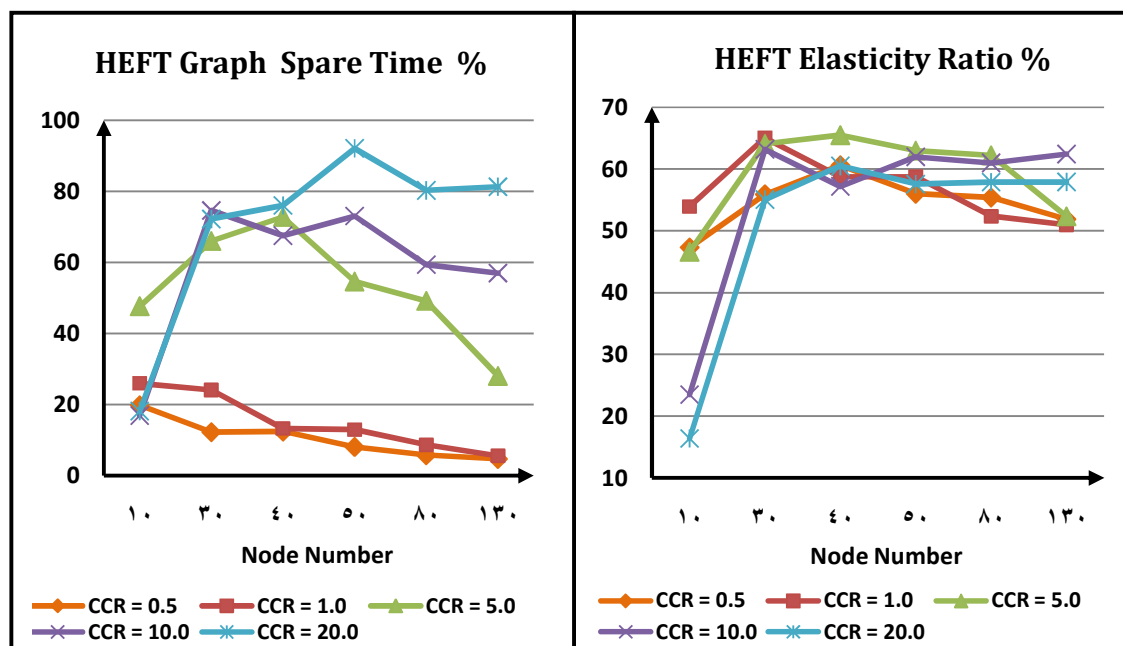
(b) - النسبة المئوية للقيمة العظمى لوفر الزمن.



(c) - النسبة المئوية للقيمة الصغرى لوفر الزمن.

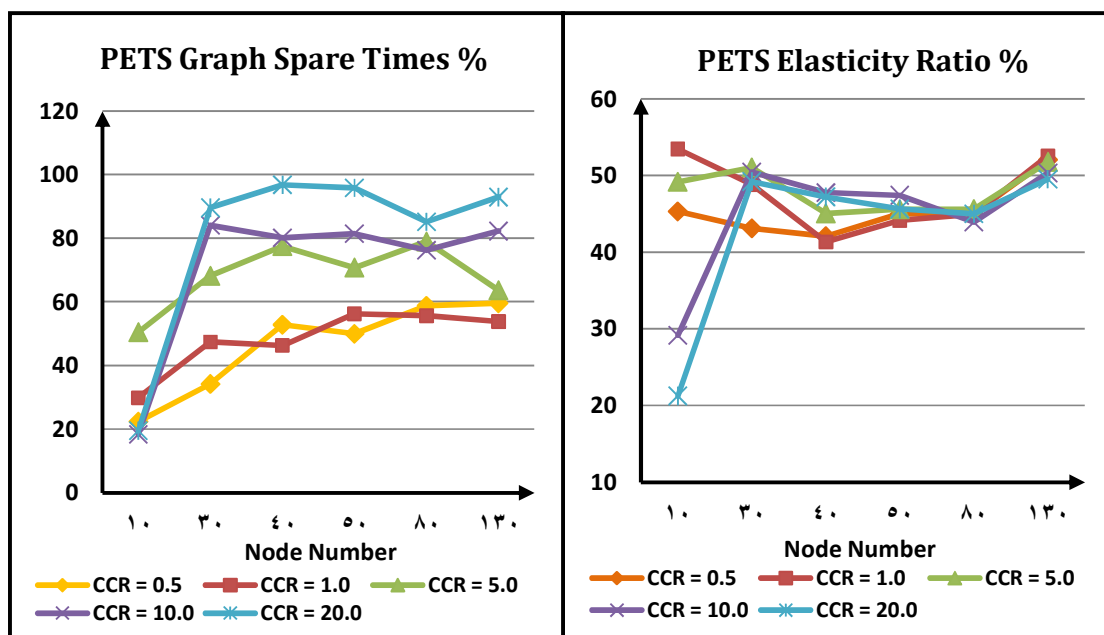
الشكل (4-18): مقارنة الزمن الفائض المستخدم من قبل خوارزمية (EWARP) على كل من مجداولات خوارزميات الجدولة الثلاث (HEFT)، و(PETS)، و(DCP-G).

في الجزء الأخير تمت مقارنة عمل خوارزمية (EWARP) باستخدام مجداولات التحصيل الناتجة عن الخوارزميات الثلاث المذكورة، لجهة علاقة بارومتري الأداء قيد التحليل وهما نسبة مرونة الدفع، ونسبة الوفر الزمني للدفع لجهة عدد مهمات الدفع مع قيم (CCR) المختلفة.



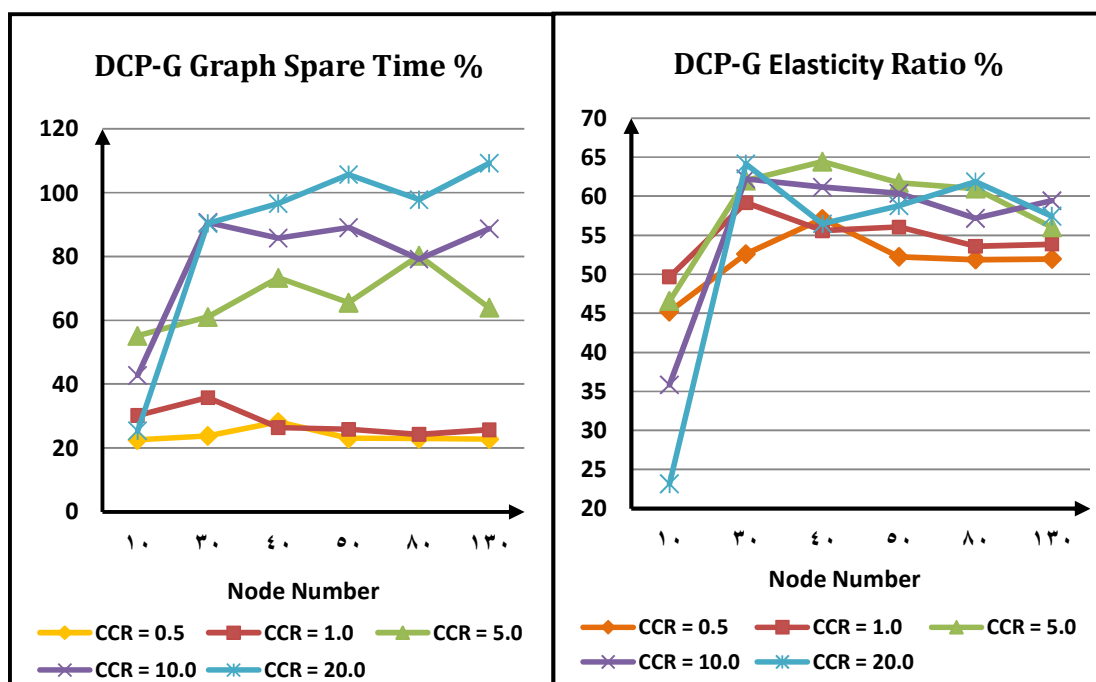
(b) - نسبة الوفر الزمني باستخدام خوارزمية (HEFT).

(a) - نسبة المرونة باستخدام خوارزمية (HEFT).



(d) - نسبة الوفر الزمني باستخدام خوارزمية (PETS).

(c) - نسبة المرونة باستخدام خوارزمية (PETS).



(e) - نسبة المرونة باستخدام خوارزمية (DCP-G). (f) - نسبة الوفرة الزمني باستخدام خوارزمية (DCP-G).

الشكل (4-19): مقارنة عدد المهمات مع النسبة (CCR) للخوارزميات الثلاث (HEFT)، و (PETS)، و (DCP-G).

يظهر الشكل (3-19) المبين في الأعلى النتائج لكل من الخوارزميات الثلاث. يوضح هذا الشكل أن نتائج خوارزمية (EWARP) تظهر مقاومة فعالة لجهة عدد مهمات الدفق؛ وهي الأفضل في مجداولات (PETS) فتستمر بالزيادة مع زيادة عدد المهمات، أما مجداولات (DCP-G) فتحافظ على الأداء في القيم العالية من عدد المهمات؛ بينما ينخفض الأداء مع ازدياد تعقيد الدفق وبقيمة ضئيلة لمجداولات (HEFT)؛ وإن كان الأداء العام هو الأفضل للأخيرة. بالإضافة، لا يتأثر معامل نسبة المرونة للدفق بازدياد معامل نسبية الاتصال إلى الحساب إلا بشكل طفيف؛ وهذا مهما جداً في البيئات ذات زمن الاتصال الطويل مثل البيئات واسعة النطاق.

أما بمقارنة الشكلان (b)، و (d)، و (e)، يظهر بوضوح الممانعة الأكبر لمجداولات (PETS) لزيادة تعقيد الدفق بالنسبة لمعامل معدل الوفرة الزمني المضمن في مخططات الحجز؛ وكذلك

قدرة خوارزمية (EWARP) على إنتاج وفر زمني عالي نسبياً بالنسبة لقيم (CCR) الصغيرة مقارنة باستخدام مجداولات (HEFT).

من مقارنة النتائج في الشكل (a-16-4)، و(a-18-4)، يتبين أن مجداولات (DCP-G) تعطي أفضل النتائج من مجداولات الخوارزميتين الباقيتين عند مقاطعة نتائج النسبة المئوية لمرونة الدفق المنتجة في مخططات الحجز المرن، والنسبة المئوية للوفر الزمني المحصل فيها؛ وللتأكيد الرياضي لاستقرار هذه النتيجة، تم حساب تقاطع القيم الوسطية المنتجة لكل من بارومتري الأداء قيد التحليل، ويبين الجدول (20-4) النتائج المستخلصة. تبين النتائج الحسابية أن مجداولات (DCP-G) هي فعلاً تعطي أفضل النتائج، تليها مجداولات خوارزمية (PETS)، مع تقارب قيمة تقاطع الأداء، ومن ثم مجداولات (HEFT) التي تتأخر بما يقارب (9%) عن (DCP-G). وبالمقارنة مع نتائج الشكل (19-4) نلاحظ أن (DCP-G) تقدم هذا الأداء المتفوق مع استقرار الأداء في درجات التعقيد العالية لتدفقات الأعمال.

	Average Elasticity Ratio %	Average Graph Spare Time %	The Crossing Result %
HEFT	55.18	42.12	23.24
PETS	45.76	67.78	31.01
DCP-G	54.95	58.73	32.27

الشكل (20-4): مقارنة تقاطع بارومتري الأداء قيد التحليل عند استخدام مجداولات خوارزميات

التحصيل الثلاث (HEFT)، و(PETS)، و(DCP-G).

8-4 ملخص الفصل

تعد مسألة جدولة وتنفيذ تطبيقات دفق العمل من أهم المسائل في بيئات "الشبكة". يقدم هذا الفصل خلفية عامة لمسألة جدولة دفق عمل "شبكة"، وأهم التحديات التي تواجهه؛ وبالأخص مسألة

ضمان التنفيذ بحسب ضوابط جودة الخدمة المطلوبة من المستخدمين. وتعتبر آلية الحجز المسبق حجر أساس في الحلول التي تؤمن هذا الضمان.

تستخدم الكثير من الأبحاث تقنية الحجز المرن لتلافي مشاكل الحجز المسبق التي من أهمها تخفيض استغلالية موارد النظام؛ قدم هذا الفصل خوارزمية حديثة مستقلة (EWARP) لإنتاج مخططات هي مزيج من الحجز المرن والقاسي للأعمال التدفقية في البيئات واسعة النطاق "كالشبكات" و"السحابات"، دون أية إضافات زمنية على طول الجدول. تعتمد الخوارزمية المقدمة على إنتاج أكبر عدد ممكن من المهمات ذات الحجز المرن للمجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة المختلفة. كذلك قدم هذا الفصل شرحاً للخوارزمية المقترحة، ومن ثم قدم مثال عملي عن آلية عملها.

قدّم القسم الأخير من هذا الفصل النتائج المولدة عن الخوارزمية الجديدة (EWARP) [5]، عن طريق تصميم وتحقيق محاكاة لاستقبال طلبات تنفيذ من مستخدمين بيئة "شبكة" هي تطبيقات تدفقات أعمال. كذلك قدمنا شرحاً وافياً عن ثلاث خوارزميات جدولة استمثالية هي (HEFT) [80]، و (PETS) [87]، و (DCP-G) [88]، والتي استخدمت وحقت لإنتاج مجدولات استمثالية يمكنها أن تكون دخلاً للخوارزمية المقدمة.

أوضحت نتائج التجارب المستخدمة أن الخوارزمية المقدمة يمكنها توليد مخططات حجز مرنة ذات نسب مرونة عالية؛ كذلك بيّنت النتائج أن نسبة المرونة المنتجة في مخططات الحجز المرن، وحجم الوفر الكلي الناتج يتعلق بنوع خوارزمية الجدولة المستخدمة وبارومترات دفع العمل الأساسية مثل شكل المبيان (مقدار التوازي المضمّن فيه)، وبارومتر نسبة الاتصال إلى الحساب فيه، وعدد مهماته. تقدّم خوارزمية (EWARP) أفضل النتائج للمبيانات عالية التوازي وذات نسب (CCR) عالية. وهذا يدلّ على قدرة الخوارزمية الجديدة (EWARP) على تقديم استمثال أفضل للمبيانات ذات التوازي العالي لجهة نسبة المرونة الناتجة، ونسبة الوفر الزمني المقدّم من المبيانات متوسطة وضئيلة التوازي، مع أنها تتميز بطول مجدولات أقصر. وهي بالتالي تقدّم

استمثالاً لطلب المستخدم من زمن التنفيذ الأقصر، ونتائجاً أفضل عند الاستخدام في البيئات "الشبكة" النفعية عالية التنافس.

على العموم، تسمح مقارنات نتائج تطبيق الخوارزمية (EWARP) على الجدولات المختلفة والمقدمة في الفقرة السابقة، تسمح بتحليل عمل الخوارزمية المقدمة في هذا الفصل (EWARP) لإنتاج مخططات حجز مسبق مرّن. تبين هذه النتائج بوضوح تأثير طريقة عمل خوارزمية الجدولة، وكذلك بارومترات المبيان (DAG)، على إنتاج الفجوات الزمنية، وبالتالي على أداء الخوارزمية المقدمة لجهة كل من نسبة مرونة الدفق، ومعدّل الوفر الزمني الناتج.

من جهة أخرى، لا تولي هذه الخوارزمية اهتماماً كافياً بسياسات وطرق التوزيع الأمثل للزمن الموفّر القابل للاستعمال بين مهمات الدفق المختلفة؛ تعتمد الخوارزمية على تقسيم متساو للزمن الكلي الموفّر بين المهمات القابلة للتعديل في كل دورة منها. هذا لا ينتج توزيعاً نهائياً متساو للزمن الموفّر بين المهمات لاختلاف مقدار هذا الزمن، وعدد المهمات القابلة للتعديل في كل دورة من الخوارزمية.

تسمح المعلومات الناتجة عن المقارنات السابقة للمجدول المترفع بتنظيم عمليات الاستخدام والطلب، عبر اتخاذ قرارات أكثر فاعلية لجهة انتخاب خوارزمية الجدولة، وبحسب البارومترات العامة للنظام من زمن الاستجابة فيه، أو نسيه التنافسية، وبحسب فترات الذروة أو الاستخدام المنخفض لكافة موارد النظام من شبكات اتصال أو موارد حوسبية أو خزنية. وهو ما يسمح بتطبيق سياسات استخدام عادلة تؤمن توازن الحمل فيه.

يمكن تنظيم مقارنات لعدد أكبر من خوارزميات الجدولة الاستمثالية المتواجدة حالياً ومن ضمنها الكسبيات المترفعة لتجميع المعلومات المستخلصة المعرفية. يمكن لهذه المعلومات أن تستخدم في جدولات "الشبكة" المترفعة لاستمثال اختيار خوارزمية التخصيص المناسبة والتي تحقق كفاءة عالية للنظام؛ عبر استمثال كل من عمليات التخصيص، والحجز، والتنفيذ، لتطبيقات تدفقات الأعمال.

تقدم الفصول التالية تصميماً لبنيان ومعمارية جديتين لمجدول مترفع يعمل في بيئة "شبكة" نفعية، تستخدم المعلومات المستقاة من النتائج المقدمة في هذا الفصل، لتحقيق قرارات تخصيص عمومية تحسّن من توازن حمل النظام، وتسرع من زمن استجابته.

5 وكيل الحجز المسبق المتعدد المرن *Elastic CO-Reservation Agent*

يمكن استخدام عدة موارد لتخصيص وجدولة تطبيقات دفع الأعمال، يمكن خوارزميات الجدولة من استغلال التوازي المضمن في الدفع، عبر جدولة المهمات المتوازية، والمترابطة زمنياً على أكثر من مورد؛ مما يسمح بتقليص زمن التنفيذ النهائي للمجدول الناتج. هذا يتطلب من الموارد المختارة للتنفيذ أن تضمن توافر الأطر الزمنية اللازمة وعند الطلب، وبحسب الضوابط الزمنية المطلوبة لزمن بداية ونهاية كافة مهمات دفع العمل قيد التنفيذ.

يستخدم الحجز المسبق لتأمين ضمانات التنفيذ وبحسب طلبات المستخدمين، وتأمين التخصيص المتعدد في البيئات "الشبكية" متغايرة الخواص كما أسلفنا سابقاً، ويمكن تطبيقات دفع الأعمال من التنفيذ الكفاء، والموثوق، والفعال، ويسمح بتأمين ضوابط جودة الخدمة المطلوبة من خلال عمليات التفاوض بين المجدول المترفع، وبين مدراء المجدولات المحلية. الطريقة الأكثر استخداماً عملياً لحجز الفترات الزمنية المتعددة اللازمة لتنفيذ تطبيق دفع العمل هي عبر خدمة حجز متعدد مركزية تتواجد في المجدول المترفع. تطلب هذه الخدمة الحجوزات من مدراء المجدولات المحلية للموارد الموزعة في النظام بطريقة تضمن العلاقات المطلوبة، والأسبقيات بين حجوزات مهام تطبيقات تدفقات الأعمال. بالإضافة، وعبر تجميع المعلومات التفصيلية عن حالة الموارد وخصوصاً متاحيتها المستقبلية وكلفتها، يمكن لهذه الخدمة أن تعثر على مرشحين آخرين من مزودي الموارد قادرين على تقديم ليس فقط الحجوزات ضمن ضوابط الجودة المطلوبة، بل تؤمن كذلك أهداف كل من المستخدمين والنظام.

يقدّم هذا الفصل تطويراً لخدمة حجز متعدد تعمل على تأمين طلبات تطبيقات تدفقات الأعمال ذات مستويات جودة خدمة مطلوبة؛ يعرض القسم الأول منه مشكلة تأمين حجوزات متعددة في البيئات "الشبكية" عبر استخدام الحجز المسبق، ويقدم القسم الثاني وكيل الحجز المتعدد المرن (Elastic Co-Reservation Agent - ECRA)، المصمّم والمطور لحل المسألة المطروحة، وتقدّم الأقسام الأخيرة تصميم المحاكاة المستخدمة لتحليل وتقييم عمل الوكيل المقترح، وكذلك نتائج التحليل والمقارنة، ويختتم الفصل بملخص عنه.

1-5 عرض المشكلة

يسلمّ الزبائن طلباتهم من تطبيقات دفع العمل المركّبة، والتي تسمى في هذه الحالة بالعمل المترفع (Meta Job)، إلى الجدول المترفع في النظام. يعمل الجدول المترفع المستقل على تفكيك، أو تقسيم الأعمال المترفعة إلى عدد من الأعمال الجزئية التي يتم تسليمها إلى مدراء مزودي الموارد الموزعين. نستخدم في هذه الأطروحة تعبير مزودو الموارد ومدراء الموارد المحلية بشكل متبادل، وهم المسؤولون عن إدارة رتل الجدولة والتحكم بالنفاز إلى المورد. يمكن لرتل الجدولة المحلي أن يضم أعمالاً محلية (Local) والتي تأتي من الموقع "الشبكي" الذي يحوي هذا المزود أو من نطاق العنقود نفسه، أو أعمالاً بعيدة (Remote)، والتي تأتي من مواقع "الشبكية" الأخرى أو من شبكات أخرى، وهي تمثّل الطلبات المقدمة إلى المورد.

وعلى الرغم من أن كافة التدابير تتخذ من أجل تأمين التنفيذ في البيئات "الشبكية" في الزمن المطلوب من قبل تطبيق دفع العمل الحرج زمنياً، يبقى على الجدول المترفع أو سمسار الموارد تأمين كافة حجوزات التطبيق، قبل بدء التنفيذ وبما يحقق الحد الزمني الأقصى المطلوب للتنفيذ، وعلى كافة الموارد المختارة. هذا يتطلب من سمسار الموارد الدخول في مفاوضات متعددة المستويات وعلى عدة جبهات مع الموارد المختلفة، لتأمين كافة حجوزات دفع عمل وحيد.

تزداد المسألة تعقيداً في البيئات الخدمية النفعية، والتي تضم أعداداً ضخمة من المستخدمين؛ فتتزامن التطبيقات على الموارد المحدودة المتواجدة في النظام، والممثلة هنا بالفواصل الزمنية المقدّمة من الموارد الحسابية. وتسمى عادة الفواصل الزمنية الفارغة في رتل الجدولة المحلي بالفواصل الزمنية الحرة. هذا ما يجعل عملية التفاوض وصولاً إلى نقطة بدء مشتركة واحدة بين كافة الموارد المختارة، وبطريقة تضمن حجز كافة الفواصل الزمنية المطلوبة بمواصفاتها الخاصة من تسلسل وأسبقيات، وكذلك توازي لبعض أجزاء الدفع هي عملية معقدة وصعبة. وعادة ما تحتاج أنظمة إدارة الموارد إلى وقت ليس بقليل لتأمين هذه الحجوزات.

تسمى عملية قبول كافة حجوزات مهام تطبيق دفع عمل في النظام بقبول الدفع (Workflow Admission). على هذا القبول أن يتم بسرعة، بالأخص في الحالات التي يكون فيها الزمن الفاصل بين استلام سمسار الموارد للطلب من المستخدم وزمن بداية التنفيذ المطلوب هو محدود وصغير.

يقدم هذا الفصل تصميمًا وتحقيقًا لوكيل الحجز المتعدد المرن (Elastic Co-Reservation Agent - ECRA) [6]، الذي يعمل على تأمين الحجوزات المطلوبة لدفع عمل في البيئات "الشبكية" النفعية عالية التنافسية. يستخدم الوكيل المقدم مخططات الحجز المسبق المرن ليولد حجوزات بديلة آتياً في حال رفض مجدولات الموارد للحجوزات الأولية المطلوبة بسبب حجزها من قبل تطبيقات منافسة أخرى في النظام. الهدف الرئيسي لهذا الوكيل هو تصغير معدلات رفض، أو زيادة معدل القبول مدراء الموارد المحلية للحجوزات المطلوبة، من أجل تأمين قبول سريع لدفع العمل، مما يخفف من زمن استجابة النظام وبالتالي يحسن من أدائه.

تحتوي الطلبات المقدّمة إلى سمسار الموارد على كافة مواصفات العمل المطلوبة من قبل المستخدمين. نكتفي في هذه الأطروحة بقيدين لجودة الخدمة؛ هما عدد المعالجات المطلوبة، وزمن التنفيذ النهائي الأقصى.

2-5 وكيل الحجز المتعدد المرن

على عكس الأعمال المتعلقة والمقدمة في الفصل الثالث [63] [65] [69]، يعتمد وكيل الحجز المتعدد المرن (ECRA) المقدم في هذا الفصل على تقسيم مسألة استمثال زمن الاستجابة الكلي للدفق؛ فيعتمد على خوارزميات استمثالية لإنتاج مجداولات تخصيص قريبة من الأمثلية لزمن انتهاء التنفيذ لمبيانات (DAGs)، ومن ثم يعمل على استمثال زمن الحجز المسبق لهذه المجداولات شبه الأمثلية؛ هذا ما يساعد في تبسيط مسألة إيجاد حلول شبه أمثلية لزمن استجابة النظام الكلية لتنفيذ تدفقات الأعمال باستخدام الحجز المسبق. من جهة أخرى، يسمح استخدام مخططات الحجز المرنة لوكيل الحجز المتعدد المرن بإيجاد حل عملي لكافة الحجوزات المتراكبة والمتوازية المطلوبة بطريقة أسرع من الحجوزات القاسية المستخدمة في الأعمال المقدمة؛ وذلك عبر تقديم بدائل حجز من داخل المخطط الحجز المرن. بالإضافة، يستخدم الوكيل المقدم هنا مخططات الحجز المرنة المعتمدة في إنتاجها على الفجوات الزمنية للمجدول وليس على زيادة طول مجداول التخصيص الناتج عن خوارزمية التخصيص شبه الأمثلية، مما يزيد من تقليص زمن الاستجابة ويساهم في استمثاله. يولد الوكيل المقترح (ECRA) بدائل الحجز بشكل آني عند رفض مزودي الموارد للحجز المطلوب نتيجة تنافسية وجود حجوزات أخرى من زبائن آخرين. تزداد أهمية وجود مخططات الحجز المرن في البيئات شديدة التنافسية مثل البيئات الحوسبية النفعية، والتي تقدم معدلات رفض أعلى للحجوزات القاسية نتيجة التنافسية العالية على الفواصل الزمنية المقدمة من قبل مزودي الموارد.

تتميز الآلية المقدمة في هذا الفصل بأنها تحقيق مستقل يقع ضمن المستوى الأعلى من البرمجيات الوسطى (Middleware)؛ بحيث أنها لا تتطلب تعديلات على أي من المكونات الموجودة قيد الاستخدام حالياً والمحقة عملياً؛ إن كان في العقد الطرفية للنظام (في المجداولات المحلية للموارد) أو في محركات دفع الأعمال، وعليه يمكن تصنيفها ضمن مكونات المجداولات المترفعة أو في مكونات السمسار الموارد.

5-2-1 عمل وكيل الحجز المتعدد المرن

يتلقى سمسار الموارد في "الشبكة" الطلبات من المستخدمين؛ وعليه أن يدير عمليات تفكيك الطلب المتعدد إلى طلبات وحيدة، والتخصيص، والجدولة، وإدارة التنفيذ الناجح، واستقبال النتائج الكلية للتطبيق، ومن ثم إعادتها إلى المستخدم. كذلك عليه أن يؤمن الحجوزات المسبقة في البيئات التي تستخدم آلية الحجز المسبق في النظام، عبر التفاوض، والتفاوض المتعدد وصولاً إلى اتفاقيات تضمن أولويات كل من الطرفين في النظام؛ المستخدمين وضوابط جودة الخدمة المطلوبة من جهة، ومزودو الموارد من جهة أخرى. يبين الشكل (5-1) دورة حياة كل من الاتفاقية والحجز المسبق في نظام إدارة "الشبكة".

أهمية العمل المقدم في هذا الفصل بأنه يقسم عملية التخصيص والجدولة وتأمين الحجوزات لتطبيقات دفع الأعمال في النظام؛ فتتم عملية الجدولة والتخصيص، بعد اكتشاف الموارد المتاحة، باستخدام خوارزميات استمثالية (يمكن أن تكون كسبية، أو كسبية مترقعة وحيدة الهدف)، قبل البدء بتأمين الحجوزات المطلوبة. إن تفكيك وسلسلة مهمات الجدولة، والتخصيص، والحجز، تسهل وتبسط من عملية تأمين حجوزات فعالة وكفئة لدفع العمل في نظام "شبيكي" واسع النطاق.

تتميز آلية الوكيل المقدم في هذا الفصل بأنها تحقيق مستقل تماماً عن كل من الزبائن، ومزودو الخدمات في النظام النفعي الموزع؛ فهي لا تدخل ضمن تحقيق المجدولات على مستوى المستخدم التي تقدم الأعمال نيابة عن الزبائن؛ وكذلك هي ليست من ضمن تحقيق مجدولات مزودو الخدمة التي تعمل على تحقيق أهداف المزودين فقط من ناحية استمثال استغلالية الموارد أو/و زيادة إرباحها في البيئات الاقتصادية النفعية للنظام الموزع.

يقع وكيل الحجز المتعدد المرن ضمن البنية البرمجية "للشبكة"، في المستوى الأعلى من برمجيات المستخدم الوسطى (User Upper Level Middleware)، والموضح في البنية التطبيقية "للشبكة" في الشكل (2-1)؛ وبحيث أنها لا تتطلب تعديلات على أي من المكونات قيد الاستخدام

[illegible]

الشكل (5-1): دورة حياة الاتفاقية والحجز المسبق في نظام إدارة "الشبكة"

كذلك صمّم وكيل الحجز المتعدد المرن (ECRA) [6]، ليتمكن من طلب وحجز المهام الفردية التابعة لدفق أعمال ما، أو طلب وتأمين حجوزات كامل الدفق على مورد وحيد (حالة اعتبار كامل الدفق عملاً وحيداً)، أو عدة موارد باعتبارها حالات خاصة من الأولى، وذلك عبر إضافة بارومترات تحدد شكل الحجز المطلوب، وتمكّن الوكيل من تحديد نهاية عملية الحجز.

يتوجب على مولّدات مخططات الحجز الفردي لمهام الدفق، في الحالات التي يتم فيها عمليات حجز فردية لمهام دفق أعمال ذو قيود جودة خدمة، أخذ قيود جودة الخدمة الفردية أيضاً بعين الاعتبار؛ تم استخدام خرج خوارزمية (EWARP)، المقدمة في الفصل السابق، والتي تنتج مخطط حجوزات مسبقة مرنة للمهام الفردية المكونة لدفق الأعمال، كدخل لوكيل الحجز المتعدد المرن المقدم في هذا الفصل.

من المهم التنويه أن الوكيل المقترح يمكنه تأمين الحجوزات الفردية المطلوبة عن طريق استخدام أي مخطط حجز مرن كدخل له؛ وليس بالضرورة الناتج عن خوارزمية (EWARP)، ولكن تم استخدام الخرج الناتج عن الأخيرة بغرض تقييم هدفين رئيسيين: قدرة الحجز المسبق المرن أو المختلط على تحسين معدل قبول الحجوزات عن الحجز القاسي بشكل عام، وإمكانية تحسين معدل قبول الحجوزات دون أية إضافة زمنية على المجدولات الاستمثالية وهذا ما تقدمه (EWARP).

تم تعديل خرج خوارزمية (EWARP) [5]، لتكون قادرة على التعبير عن قيود جودة الخدمة الفردية للمهام والمستخلصة من القيود الكلية لدفق الأعمال. ولتسهيل عملية الدراسة والتحليل اكتفينا بتضمين قيديّن في التحقيق العملي لنموذج طلبات المستهلك وهما؛ عدد المعالجات المطلوب لتنفيذ المهام المختلفة، والزمن الأقصى المطلوب للتنفيذ.

يستلم الوكيل مخطط الحجز المسبق المرن ذو ضوابط جودة الخدمة؛ ويفرز مخطط العمل المترقّع المستلم، وبحسب الموارد المطلوبة، ويقسمّها إلى طلبات وحيدة. ثم يبدأ عملية التفاوض مع الموارد المختارة لتأمين الحجوزات الأولية القاسية، الموجودة ضمن الحجوزات المرنة،

مباشرة لكل مهمة على حدا. في حالة رفض مدير المورد/الخدمة الحجز المسبق القاسي المطلوب يعمل الوكيل على توليد بدائل من الحجوزات المرنة للمهمات آنياً، وإعادة التفاوض مع المدراء المحليين للموارد. يبين الشكل (2-5) مراحل عمل وكيل الحجز المتعدد المرن الرئيسية. تتم عملية توليد بدائل طلبات الحجز واتخاذ قرار الحجز باستخدام إستراتيجية التخصيص حسب الموقع الملائم الأول (First Fit Allocation – FF). استخدمت هذه الإستراتيجية لضمان النظام الحصول على زمن قبول أصغري للتطبيق قيد الحجز.

Notations:

St = Start time of a Reservation

Ft = Finish time of a Reservation

Dur = Duration of a Reservation – for a rigid reservation $Dur = (Ft - St)$

Elastic Co-Reservation (input: Elastic Reservation Plan)

for all required resources R do

for all task reservations for a Resource R_i do

If (reservation is rigid)

Send reservation as it is (St, Dur)

else

/ the Reservation is Elastic */*

Send reservation with the earliest start time

If (the reservation is rejected)

Ask for avail = availability in the domain [St – Ft]

while avail is not empty do

Check all QoS parameters for a free period

if (all parameters are satisfied)

update St with the period start time

Re-Send new reservation with the new start

End if

End while

End if

End else

End do

End do

الشكل (2-5): مراحل عمل وكيل الحجز المتعدد المرن

الهدف الرئيسي لهذا الوكيل هو تأمين كافة الحجوزات دون تغيير/تمديد زمن المجدول الدخل إلا في الحالات التي يتعذر فيها تأمين البديل؛ عندها يعمل على توليد زمن بداية حجوزات أصغري لدفق الأعمال. تقيم النتائج المقدمة في هذا الفصل نسبة تحسين أداء الحجز لدفق الأعمال المتمثل هنا بزمن التنفيذ النهائي، في حالة استخدام الحجوزات المرنة الناتجة عن استطلاع الفجوات الزمنية في المجدول وليس عن أية إضافات زمنية على المجدول الناتج.

تتم عملية التخصيص الفعلي للموارد عبر عدة مراحل؛ يتم التخصيص الأولي عبر تطبيق خوارزمية جدولة من مكتبة تضم عدداً من الخوارزميات المعروفة والقياسية لجدولة دفق أعمال "شبكي" وبحسب بارومترات كل من المستخدم والنظام. يقوم الوكيل من ثم بتفكيك، تقسيم المجدول الناتج إلى عدد من الطلبات الجزئية بحسب المورد المطلوب.

تبدأ عملية التفاوض بطريقة مركزية ومتتالية مع مدراء الموارد المحلية لتأمين الحجوزات. تم استخدام بروتوكول التفاوض ثنائي الطور لضمان الحجوزات المطلوبة. يبدأ الطور الأول باستخدام تقنية الاستعلام عن فواصل زمنية محددة من قبل الوكيل، وطلب البدائل في حال الرفض، ومن ثم حجزها مبدئياً. لا يتطلب الوكيل معلومات دقيقة عن الموارد أو عن انشغالياتها أو/وحجم رتل انتظارها، مما يوفر ضمان إخفاء المعلومات لمزودي الموارد. في حال تأمين كافة حجوزات لأجزاء الدفق، يقوم الوكيل بتنشيط طلبات الحجز في الطور الثاني من بروتوكول التفاوض عبر طلب التنشيط (Commit Request) على الموارد، وتسليم الأعمال (Submit) لها. يستقبل الوكيل نتائج كافة الأعمال المشكّلة لدفق العمل ويقوم بتجميعها ومن ثم تسليمها للمستخدم.

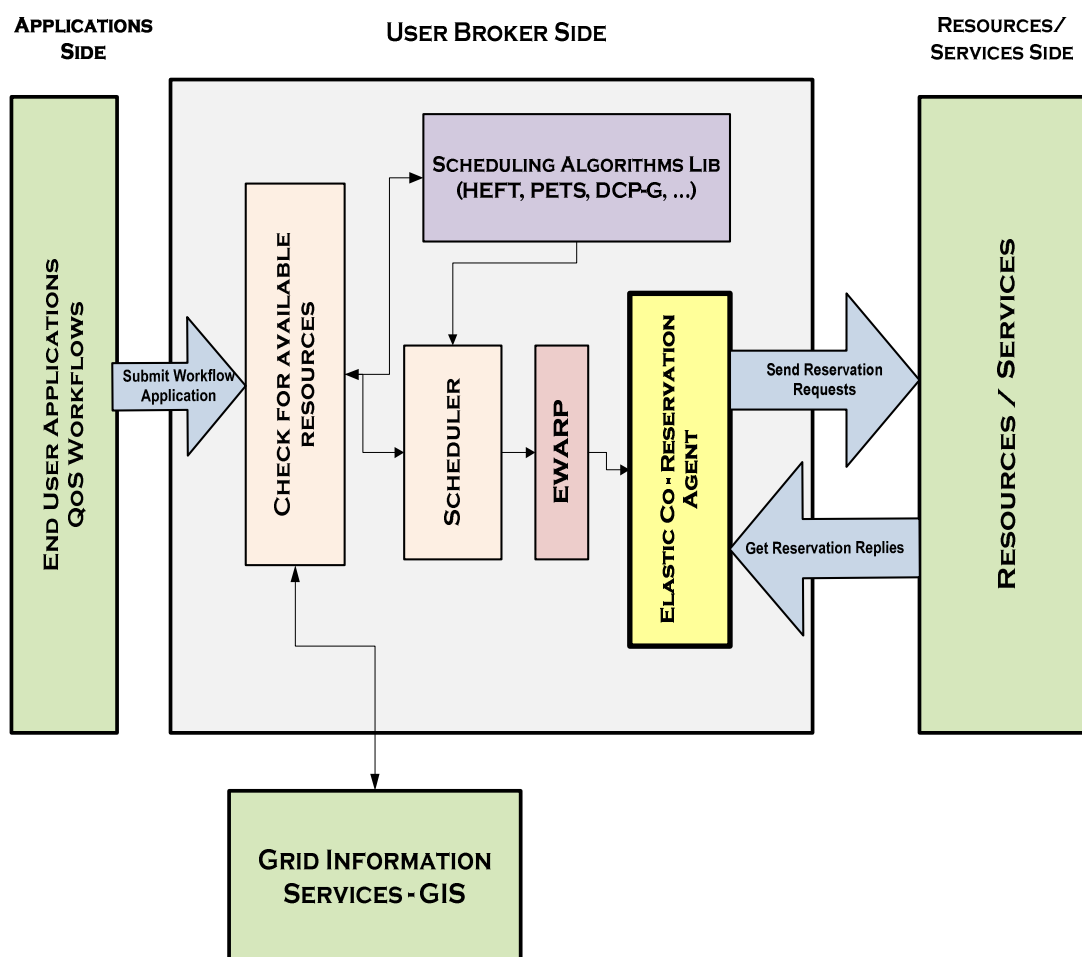
يمكن للوكيل استلام عدة أعمال مترفّعة من نفس المستخدم أو من مستخدمين متعددين في النظام وفي نفس الوقت؛ يعطي الوكيل رقماً تعريفياً مركباً لكل عمل مترفّع؛ يتألف هذا الرقم التعريفي من الرقم التعريفي للمستخدم، مضافاً إليه رقم تسلسلي للعمل المترفّع. يحتفظ الوكيل بلائحة عن كافة الأعمال الخاصة بالأعمال المترفّعة التي يديرها في النظام. يحذف العمل المترفّع مع أجزاءه من هذه اللائحة بعد انتهائه بنجاح وتسليم نتائجه إلى المستخدم، أو بعد فشله في التنفيذ.

تم تضمين كافة النتائج المقدّمة في الفصل السابق والناجمة عن تقييم عمل خوارزمية (EWARP) على المجدولات المنتجة من خوارزميات الجدولة الثلاث (HEFT) [80]، (PETS) [87]، و (DCP-G) [88]. تسمح المقارنات المستنتجة في الفصل السابق بين عمل هذه الخوارزميات لوكيل الحجز بتحديد الخوارزمية الأكثر مناسبة لتأمين ضوابط جودة الخدمة للمستهلك وبارومتريات بيئة التنفيذ في النظام.

3-5 تصميم المحاكاة

لتقييم عمل الوكيل المقترح نحتاج لمحاكاة بيئة "شبكة" نفعية تنافسية مع أحمال تشغيلية (Workloads) حقيقية. استخدمت أداة المحاكاة البرمجية (GridSim) [92] [93]، لمحاكاة بيئة اختباريه للتجارب المقدمة في هذا الفصل. تقدّم هذه الأداة إمكانية توليد أحمال تشغيلية تتمزج أحياناً تشغيلية حقيقية مأخوذة من مواقع "شبكة" معروفة. وتعتبر هذه الأداة من أكثر أدوات المحاكاة الموجودة استخداماً لتشكيل بيئات "شبكة" بحثية تجريبية، وتستخدم لتقييم أداء عناصر النظام المختلفة. وهي رزمة برمجية مفتوحة المصدر، تقدم التسهيلات اللازمة لنمذجة المواقع "الشبكة"، والموارد متغيرة الخواص المكونة لها، وكذلك نمذجة شبكات الاتصال متعددة القدرات والنطاقات. بالإضافة، تقدم هذه الأداة الدعم الأساسي لتركيب التطبيقات بأنواعها المختلفة، وتوفير خدمة المعلومات "الشبكة" (Grid Information System - GIS) اللازمة لاكتشاف الموارد المتاحة في النظام. كذلك توفرّ هذه الأداة إمكانية تحقيق وتطوير مجدولات أو سماسرة لتقييم أداء وفعالية خوارزميات تخصيص وجدولة جديدة مقترحة. تقدم النسخ الجديدة من هذه الأداة إمكانيات الحجز المسبق، استرجار وتطبيق حمولات واقعية عملية على الموارد، ومواربة الأخطاء. تعتمد إدارة الحجز المسبق في هذه الأداة على الفواصل الزمنية، وتسمح عبر استعلامات على، أو عبر إرسال رسائل إلى الموارد بتقديم معلومات عن متاحة الموارد الآنية والمستقبلية.

يظهر الشكل (3-5) الأقسام الرئيسية التي تم تحقيقها ضمن المحاكاة المصممة من أجل اختبار وتقييم وكيل الحجز المتعدد المرن المقترح. تتألف هذه الأقسام من طرفية الزبائن وهي تقوم بتوليد عشوائي لتدفقات الأعمال والتي نُمدجت كمبيان للاحقّي موجّه. ترسل طلبات الأعمال من طرفية المستخدم إلى طرفية استقبال أمامية للطلبات يمكن اعتبارها كسمسار موارد للمستخدم تم تطويره ليعمل على اكتشاف الموارد المتاحة عبر استخدام خدمة معلومات "الشبكة" (GIS)، ومن ثم توليد مجلد التحصيل على هذه الموارد باستخدام إحدى خوارزميات الجدولة الكسبيّة الثلاث المذكورة سابقاً وبما يحقق متطلبات طرفي النظام.



الشكل (3-5): أقسام المحاكاة المصممة باستخدام الأداة (GridSim) [92] [93].

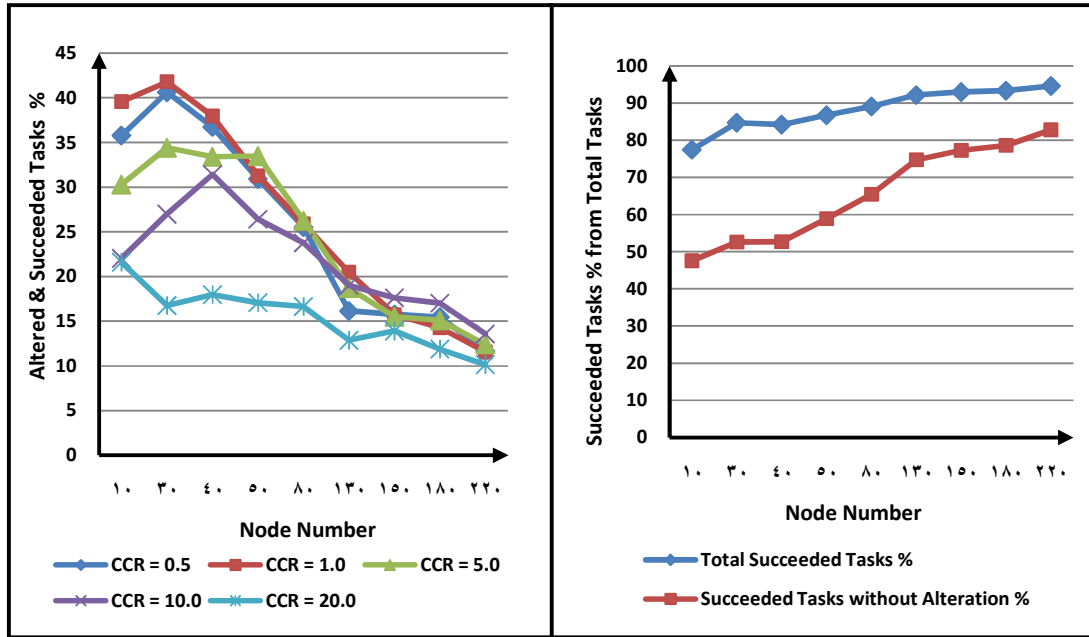
يمرر سمسار الموارد المجدول الأولي الناتج عن تطبيق خوارزمية تخصيص مختارة إلى خوارزمية (EWARP) [5]، لتولّد مخطط حجز مرن، والذي يمرر بدوره إلى وكيل الحجز المتعدد المرن (ECRA). يبدأ الوكيل (ECRA) عندها بطلب الحجوزات الفردية لكامل مهمات دفع العمل وعلى كافة الموارد المحددة، عبر المفاوضة ثنائية الطور وعبر إنتاج البدائل وصولاً لتأمين كامل الحجز. وتضم المكتبة المبيّنة في الشكل (3-5) خوارزميات الجدولة الثلاث المحققة مسبقاً؛ ويمكن مستقبلاً إضافة عدداً من خوارزميات الجدولة الأخرى لإنتاج مجدولات شبه أمثلية لتدفقات الأعمال، بحيث يمكن للمجدول المترفع، وتحت الطلب، اختيار الأنسب منها بحسب المواصفات والطلبات المقدمة من الزبائن.

4-5 التقييم والنتائج

تمت المحاكاة باستخدام بارومتريات متعددة منها شكل الدفع (مقدار التوازي بين المهمات المكونة له)، وقيم القدرات الحسابية المطلوبة من قبل المهمات، وتخصيص المهمات على أعداد عشوائية من الموارد تقع في المجال (2-5) موارد ذات سرعات تنفيذ عشوائية أيضاً. تم التركيز على تقييم أداء الوكيل نسبة إلى بارومتريين أساسيين: الأول هو بارومتر عدد المهمات المكونة لدفع العمل لما له من تأثير على تعقيد الدفع، وبالتالي على تعقيد تأمين كافة حجوزاته فيزداد التعقيد بزيادة عدد المهمات المكونة للدفع. استخدمت قيم عدد المهمات من المجال التالي (10، 30، 40، 50، 80، 130، 150، 180، 220). كذلك اختبرت المحاكاة علاقة أداء تدفقات الأعمال نسبة لقيم مختلفة لمعدل الاتصالات المتبادلة بين مهمات الدفع إلى القدرات الحسابية لها (CCR)، التي تراوحت ضمن المجال (0.5، 1.0، 5.0، 10.0، 20.0). كررت المحاكاة ثلاثة مرات ولكافة البارومتريات المقترحة، وتم اعتماد القيم الوسطية لنتائج التكرار الثلاث.

للتأكد من صلاحية الوكيل (ECRA) والتثبت من عمله، تمت مقارنة عمل النظام دون وجوده ومع وجوده. أظهرت النتائج المبينة في الشكل (5-4-a) أن معدل نجاح الحجوزات الفردية لمهمات تدفقات الأعمال قد تحسن وبقيمة وسطية مقدارها (22.25%) باستعمال الوكيل

(ECRA) عند استعمال الفائض الزمني المقدم في الحجوزات المرنة، مقارنة مع الحجوزات القاسية الأساسية. هذا التحسين هو الفارق بين المنحنيين المبينين في الشكل. من الجدير بالاهتمام إعادة التركيز على أن الفائض الزمني المستخدم هو ناتج عن الفجوات الزمنية الموجودة في الجدول الأولي غير المستخدمة مسبقاً، وليس عن أية إضافات على زمن الجدول النهائي. كذلك يظهر الشكل أن نسبة التحسين هذه تتناقص مع زيادة عدد المهمات في الدفق، على الرغم من الازدياد المطلق للعدد الكلي للحجوزات الناجحة والمبين بالمنحنى الأعلى من الشكل. يمكن نسب هذه النتيجة إلى واقع أن طول المجدولات (Makespan) الناتجة عن التدفقات ذات عدد المهمات الأكبر هو أطول من تلك ذات الأعداد القليلة؛ وبالتالي فترات الحجز المطلوبة للدفق (وليس للمهمات) تكون أطول مما يزيد من نسب احتمال نجاح الحجز المباشر القاسي.



(a) - النسبة المئوية لنجاح عمليات الحجز دون
ومع استخدام الوكيل.

(b) - النسبة المئوية لنجاح عمليات الحجز المعدلة نسبة إلى
قيم (CCR) المختلفة.

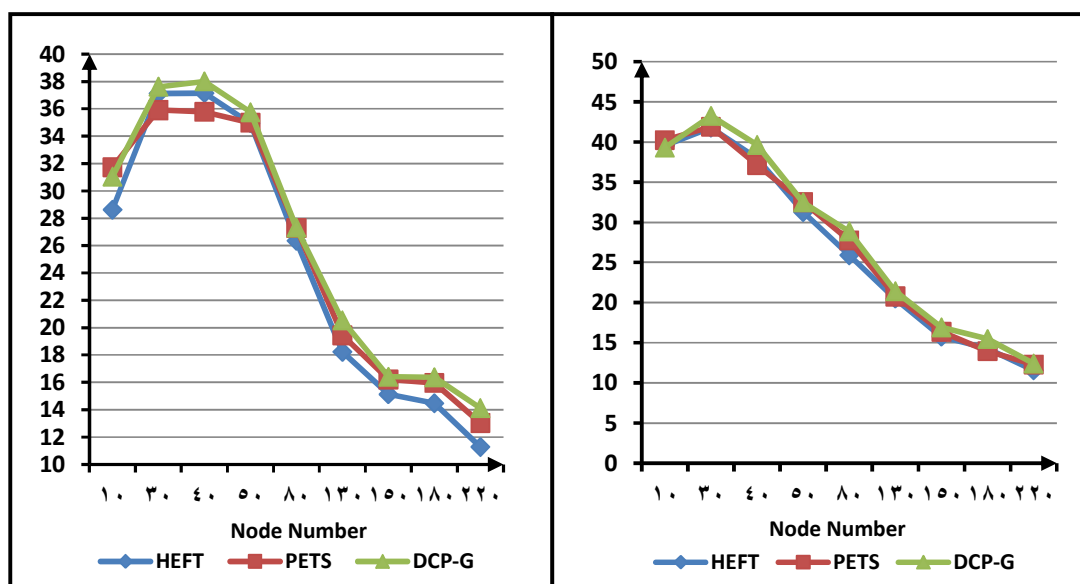
الشكل (4-5): تقييم عمل وكيل الحجز المتعدد المرن نسبة لعدد المهمات المعدلة

وهذا يظهر بوضوح على المنحى الأدنى من الشكل (a-4-5) والذي يزداد بقيمة وسطية تقريبية قدرها (35%)، بينما يقدم الوكيل المقترح تناقصاً لعدد نجاح الحجزات مع ازدياد عدد المهمات المشكّلة للدفع. وعلى الرغم من هذا التناقص فإن معدل النجاح الكلي للحجوزات القاسية والمرنة معاً يزداد مع ازدياد عدد المهمات الكلي في الدفع بمعدل وسطي قدره (17%).

اعتمد القسم الثاني من المحاكاة على دراسة وتقييم أداء وكيل الحجز المتعدد المرن بالمقارنة مع نسب مختلفة من معدل نسبة الاتصالات إلى الحساب (CCR) في تدفقات الأعمال. يقدم الشكل (b-4-5) مقارنة بين نسب المهمات المعدلة والتي نجحت بالحجز مع قيم (CCR) المختلفة، حيث بيّنت النتائج أن الوكيل المقترح يستطيع أن يزيد دائماً من معدل قبول الحجزات للمهمات الدفع؛ وهذا ظاهر من كون القيم في الشكل (b-4-5) هي دائماً أكبر من الصفر، ولكن بنسب متغايرة بحسب (CCR). وهو يقدم أفضل النتائج في تدفقات الأعمال ذات الأعداد الصغيرة ونسب (CCR) الصغيرة.

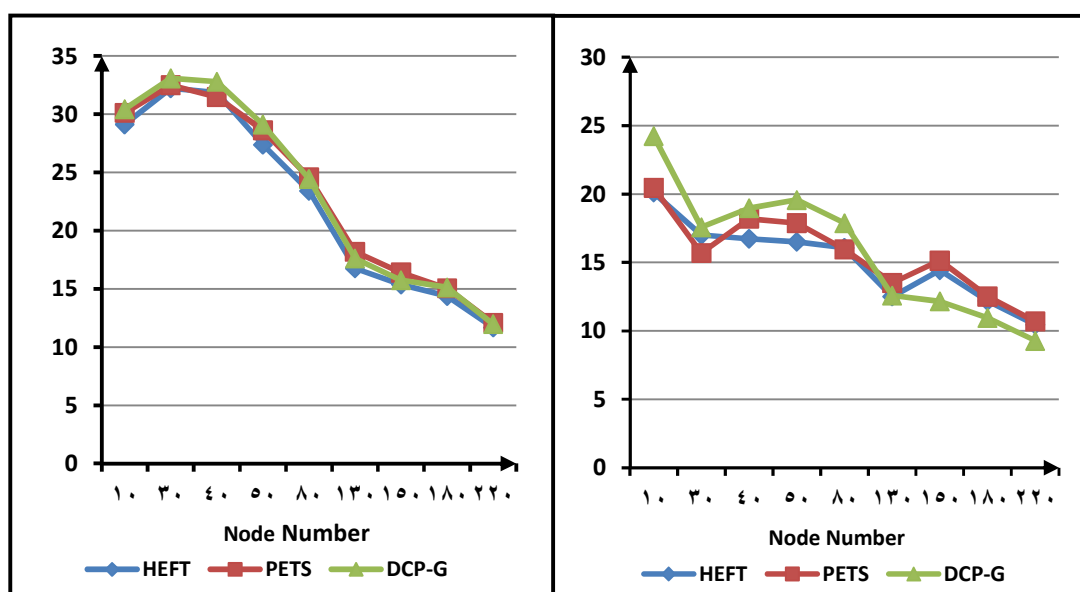
نلاحظ أن أعلى نسبة مئوية لعدد نجاح الحجزات المعدلة من عدد حجوزات المهمات الكلي لتدفقات الأعمال تصل إلى (41.54%) في التدفقات ذات عدد المهمات المساوي إلى (30)، ومعدلات (CCR) المساوية إلى (0.5)، و(1.0). أما الأداء الأضعف للوكيل المقترح فهو عند قيمة (CCR = 20.0)، فهو يقدم معدل تحسين عن الحجز القاسي ولكنه الأضعف نسبة إلى باقي قيم CCR.

ويمكن النظر إلى هذه النتائج عبر ربطها بنتائج الشكل (a-4-5)؛ وهذا يشير إلى فعالية وكيل الحجز المتعدد المرن تزداد في الظروف التي يصبح فيها الحجز المباشر القاسي متعشراً؛ أي عندما تكون الأزمنة المتاحة للحجز قصيرة نسبياً - طول الجدولات المستلمة في زمن المحاكاة قصير نتيجة لصغر زمن المهمات ولعددها القليل، والحجوزات المطلوبة متقاربة أو متطابقة في الأزمنة، وهذا ما تمثّله القيم الصغيرة من (CCR).



(a) - النسبة المئوية لعدد المهمات المعدلة والناجحة
للخوارزميات الثلاث عند (CCR = 1.0)

(b) - النسبة المئوية لعدد المهمات المعدلة والناجحة
للخوارزميات الثلاث عند (CCR = 5.0)



(c) - النسبة المئوية لعدد المهمات المعدلة والناجحة
للخوارزميات الثلاث عند (CCR = 20.0)

(d) - النسبة المئوية لعدد المهمات المعدلة والناجحة
للخوارزميات الثلاث عند متوسط كافة قيم (CCR)

الشكل (5-5): مقارنة أداء وكيل الحجز المتعدد المرن للخوارزميات الثلاث (HEFT)، و(PETS)، و(DCP-G).

من جهة أخرى، بمقارنة النتائج المقدمة هنا مع نتائج الفصل السابق وبالأخص نتائج الشكل (4-19)، والتي تعطي أن مقدار الوفر الزمني المحصل، ونسبة المرونة الناتجة هي الأقل في مخططات الحجز المرن للمبيانات ذات قيم (CCR) الصغيرة، نلاحظ أن هذه النتائج هي متقاربة جداً ولنسبة المرونة الناتجة هنا.

يعمل القسم الثالث من عملية تقييم عمل الوكيل على استخدام نتائج مخططات الحجز المرنة الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث المستخدمة والمذكورة آنفاً. تم تضمين النتائج الأكثر تبايناً وهي كانت بالنسبة لمعدلات (CCR) ذات القيم (1.0)، و(5.0)، و(20.0) والمتوسط لكافة قيم مجال (CCR).

يبين الشكل (5-5-a) أن الخوارزمية (DCP-G) تعطي نتائجاً أفضل بقليل من الخوارزميتين الأخريين عند (CCR = 1.0) ولكامل مجال عدد مهمات الدفق؛ أي مهما زاد تعقيد الدفق. أما الشكل (5-5-b) فيوضح أنه عند النسبة (CCR = 5.0)، وهي تشكل تقريباً قيمةً وسطية عند ربطها مع قيم مجال زمن الحساب الوسطي للمهمات المستخدم، فإن الخوارزمية (HEFT) تعطي نتائجاً أفضل (PETS) بالنسبة لتعقيد قليل لدفق الأعمال، بينما تتفوق (PETS) عليها في المبيانات ذات تعقيد عدد المهمات العالي.

أما في المبيانات ذات نسبة (CCR) العالية فتتفوق (PETS) على باقي الخوارزميات في المبيانات عالية التعقيد، كما هو واضح من الشكل (5-5-c). ويتراجع أداء مخططات الحجز الناتجة عن مجدولات (DCP-G) عند زيادة تعقيد الدفق في حالة نسب الاتصال العالية للدفق والمتمثلة بقيمة (CCR = 20.0).

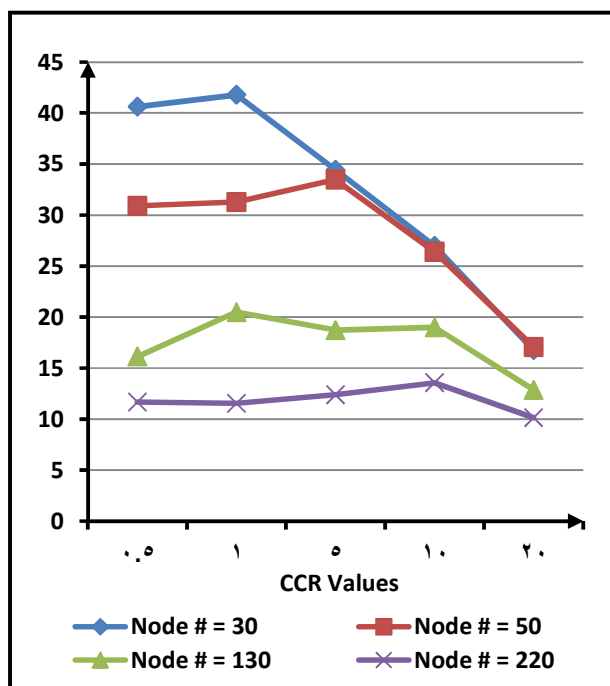
وعلى رغم النتائج المختلفة لأداء مخططات الحجز المرن الناتجة عن استخدام مجدولات تخصيص لخوارزميات جدولة مختلفة، يبين الشكل (4-5-d) أنه في البيئات التنفيذية ذات الطلبات المتغيرة المختلفة والقادمة من عدة مستخدمين، أن مجدولات (DCP-G) تقدّم أفضل النتائج. من جهة أخرى، تظهر هذه النتائج تفوق الخوارزمية (DCP-G) بشكل عام لكل من

نسبة مرونة مخطط الحجز المرن الناتج، ونسبة الوفر الزمني الكلي المحصل في الدفع. تتيح مقارنة النتائج المبينة في الشكل (4-5) مع النتائج التي قدمت في الفصل السابق على تبيان أن مفتاح تفوق نجاح عملية الحجز بين الخوارزميات الثلاث هو للخوارزمية التي تعطي تقاطع القيمتين الأكبر لكل من نسبة المرونة، ونسبة الوفر الزمني للدفع.

يمكن تعميم هذه النتيجة، والقول أن استمثال أداء الوكيل المتعدد المرن (ECRA) في البيئات التنفيذية متغيرة الخواص يتعلق باستمثال تقاطع كل من بارومتري عدد المهمات المرنة في دفع الأعمال، ونسبة الوفر الزمني الكلي لهذه المهمات. كذلك تتيح النتائج التفصيلية للمجدول المترفع تقدير وتخمين نسبة نجاح الحجزات المطلوبة، عبر فحص البارومتريين الرئيسيين لدفع الأعمال المستقبل للتنفيذ؛ عدد المهمات فيه ونسبة (CCR) له، ويمكنه عبر ذلك تحسين التوقعات لزمن استجابة الدفع في النظام.

يوضح الشكل (5-6) علاقة معدل نجاح الحجزات المعدلة نسبة إلى قيم (CCR) المختلفة من أجل قيماً متعددة لعدد العقد في تدفقات الأعمال المستلمة من قبل النظام. يظهر الشكل أن نسبة التحسن الأقل هي بالنسبة لتدفقات الأعمال ذات عدد المهمات الأعلى؛ من جهة أخرى، يوضح الشكل أن معدل التحسين يتناقص لكافة المبيانات ذات أعداد المهمات المختلفة عند قيم (CCR) العالية لتصل إلى قيم متقاربة جداً. هذا يعني أن عدد المهمات يصبح ذو تأثير ضئيل عند قيم (CCR) العالية لجهة معدل التحسين المقدم من قبل وكيل الحجز المتعدد.

يدرس الجزء الأخير من هذه المحاكاة تأثير مقدار التنافسية على أداء الوكيل المقترح. تم استخدام قيم مختلفة لعدد مستخدمي النظام الذين يقدمون طلباتهم من تدفقات الأعمال المختلفة في عدد مهماتها الكلي أو في نسب (CCR) لها في التجربة الواحدة. كذلك تم اختيار موارد ذات عدد واحد من الآلات الحسابية في كل عقدة "شبكة" لتوضيح التنافسية لعدد غير كبير من الأعمال المترامنة. تم اختيار عدد المستخدمين المترامين في النظام من ضمن المجال المحدد بالقيم المبينة {5, 15, 30, 45, 90}.

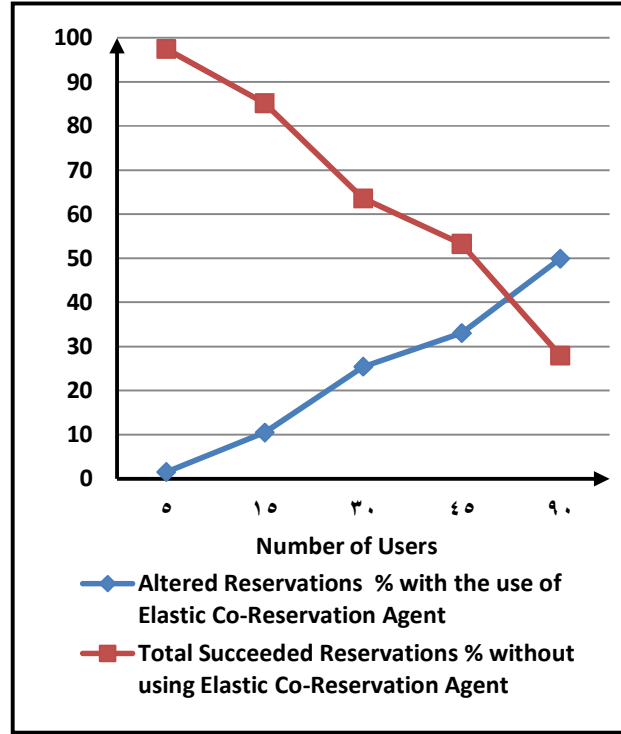


الشكل (5-6): نسبة المهمات المعدلة الناجحة عند استخدام وكيل الحجز المرن إلى نسب (CCR) من أجل عدد مهمات مختلفة

يظهر الشكل (5-7) النسبة المئوية لعدد الحجوزات التي استفادت من وكيل الحجز المتعدد المرن وتمكنت من الحجز بنجاح، مقارنة مع النسبة المئوية لعدد الحجوزات الناجحة بشكل مباشر نسبة لعدد المستخدمين المتزامنين والمتنافسين في النظام.

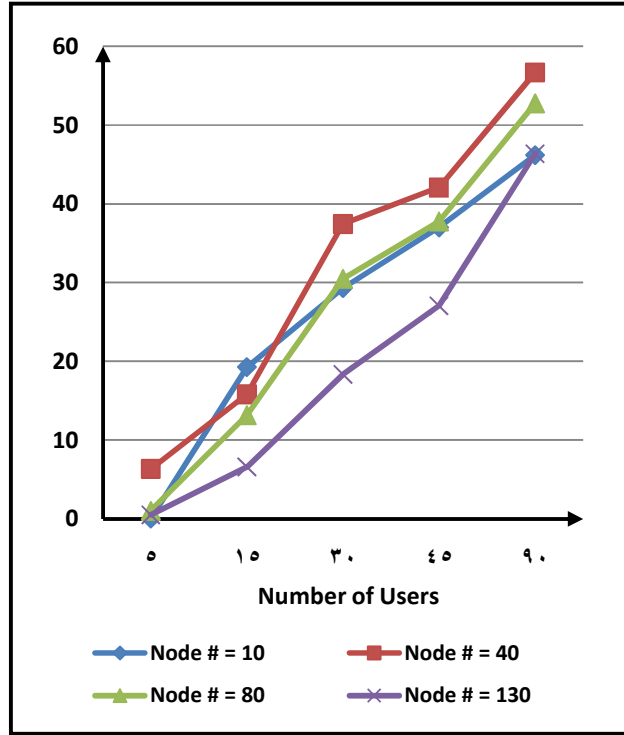
يتمكن وكيل الحجز المتعدد المرن في هذه الحالة من زيادة النسبة المئوية للحجوزات الناجحة بمقدار (48.37%) أي بمقدار النصف تقريباً، عندما يزداد عدد المتنافسين في النظام من (5) مستخدمين متزامنين إلى (90) مستخدم متزامن.

تظهر هذه النتائج أهمية تواجد وكيل الحجز المتعدد المرن في بيئة نفعية عالية تنافسية؛ فبازدياد التنافسية يزداد احتمال تزامم المتنافسين المختلفين على حجز نفس الأطر الزمنية في الموارد المتاحة، وبالتالي تتناقص وبحدة عدد الحجوزات المباشرة الناجحة.



الشكل (5-7): النسبة المئوية لعدد الحجوزات المعدلة والناجحة دون ومع استخدام وكيل الحجز المتعدد المرن نسبة لعدد المستخدمين المتزامنين الكلي في النظام.

يوضح الشكل (5-8) النسبة المئوية لنجاح الحجوزات مع استخدام وكيل الحجز المتعدد المرن ولكن بالنسبة إلى تعقيد تدفقات الأعمال المقدمة إلى النظام، مقارنةً بمقدار التنافسية في النظام. تظهر النتائج المبينة في هذا الشكل أن الوكيل المقترح (ECRA) يقدم عدد حجوزات معدلة وناجحة متقاربة نسبة إلى تدفقات الأعمال ذات عدد المهمات (10)، و(40)، و(80). لكن يبدأ معدل النجاح بالتناقص في التدفقات ذات عدد المهمات (130)؛ ويمكن إرجاع ذلك إلى ازدياد طول الجدول النهائي في هذه التدفقات مما يزيد من احتمالات تغير الأطر الزمنية المطلوبة من قبل هذه المهمات، وبالتالي يزيد من عدد نجاحات الحجوزات المباشرة مما يقلل من العدد الكلي للحجوزات البديلة. هذه النتائج هي متوافقة تماماً مع النتائج المبينة في الشكل (5-4) الذي يظهر تناقص معدل نجاح الحجوزات المرنة مع ازدياد عدد مهمات الدفع؛ بمقابل زيادة مطلقة في معدل نجاح الحجوزات الكلية (كل من القاسية والمرنة معاً) للتدفقات.



الشكل (5-8): عدد المهمات المعدلة الناجحة عند استخدام وكيل الحجز المتعدد المرن مقارنة بقيم (CCR) مختلفة.

يمكن اعتبار هذه النتائج شديدة الأهمية لجهة تحسين معدلات نجاح الحجوزات في البيئات التنافسية أو شديدة التنافسية والتي تتطلب تدفقات الأعمال فيها جودة خدمة محددة بالنسبة لزمّن الاستجابة، أو بالنسبة للقيود الزمني المطلوب لانتهاء التنفيذ. تظهر النتائج بوضوح أن زمن استجابة النظام يزداد بازدياد التنافسية فيه، مما يستوجب وجود أدوات تساعد في تخفيض هذا الزمن كالوكيل المقترح في هذا الفصل.

5-6 ملخص الفصل

بيّنت النتائج المقدمة في هذه الورقة أهمية استخدام مخططات الحجز المرن من أجل زيادة معدلات نجاح حجوزات مهمات تدفقات الأعمال في الأنظمة الموزعة متغايرة الخواص؛ وبالأخص لتطبيقات دفع الأعمال التي تتطلب بارومترات جودة خدمات تفرض قيوداً زمنية على

زمن انتهاء التطبيق الكلي، أو زمن الاستجابة الكلي للنظام لتنفيذ تدفقات الأعمال. يسمح استخدام مخططات الحجز المرنة توليد بدائل للحجز القاسي المطلوب آنياً عبر وكيل الحجز المتعدد المرن (ECRA) [6]. يستخدم هذا الوكيل إستراتيجية الموقع الملائم الأول لتحديد أولوية البدائل المختارة للحجوزات القاسية؛ هذه الإستراتيجية تبسّط من تعقيد عملية إيجاد وإنتاج البدائل وتسمح بتخفيض زمن قبول دفع الأعمال الكلي في بيئة "شبكة".

كذلك أظهرت النتائج الإمكانية الكبيرة لوكيل الحجز المتعدد المرن المقدم في هذا الفصل (ECRA) لجهة زيادة معدلات نجاح الحجوزات في البيئات النفعية شديدة التنافسية. البنية التصميمية للوكيل المقدم في هذا الفصل هي بنية مركزية؛ تقوم باستلام كافة الطلبات ومن ثم تؤمن تسلسلياً الحجوزات المطلوبة من كل مورد ولكل طلب على حدا. في الحالات التي يكون فيها عدد المهمات كبير ضمن دفع الأعمال، تتطلب عملية الحجز المركزية زمناً طويلاً لتأمين كافة الحجوزات تسلسلياً وهو ما يخفّض من أداء النظام، ويرفع من زمن قبول التطبيق. بناءً على النجاحات المقدمة في هذا الفصل، تم تطوير عمل الوكيل المقترح (ECRA) عبر استخدام بنى تنظيمية أخرى مثل البنى التنظيمية غير مركزية، لتتماشى مع متطلبات البيئات الموزعة واسعة النطاق "كالشبكة". سنقدم في الفصل التالي بنية معمارية جديدة للمجدول المترفع والذي يتضمن تطويراً لعمل الوكيل المقدم في هذا الفصل والتي تسمح بتحسين فعالية الوكيل ورفع أدائه.

6

المجدول المترقع ذو مفاوض الحجز *SERN Meta Scheduler*

تعتبر طلبات تدفقات الأعمال "الشبكية" ذات ضوابط جودة الخدمة على أنها طلبات ذات طبيعة خاصة، وتتطلب تعاملًا خاصًا من إدارة "الشبكة"؛ فهي طلب متعدد يتطلب تخصيصاً متعددًا لمجموعة من الموارد المتنوعة والموزعة ضمن مجالات إدارة محلية مختلفة. كذلك تتطلب هذه التطبيقات حد أدنى من جودة الخدمة على إدارة "الشبكة" ضمانه، برغم من عدم تحكمها بمدراء الموارد المحليين الذين يتمتعون باستقلالية تامة لجهة قبول أو رفض الطلبات بحسب سياستهم المحلية الداخلية. يستعمل الحجز المسبق كوسيلة مهمة لتأمين التخصيص المتعدد، وضمان جودة الخدمة من خلال عملية التفاوض، وصولاً إلى عقد اتفاقيات مستوى خدمة التي تضمن متطلبات كل من طرفي "الشبكة" المستخدمين، ومزودي الموارد. إضافة يؤمن الحجز المسبق إمكانية تنفيذ تطبيقات في "الشبكة" بدون تزامن أو تنافس فيما بينها بالأخص في "الشبكات" النفعية عالية التنافسية.

مما سبق يتبين إنه على إدارة "الشبكة" أن تقوم بإدارة عدد من العمليات عند استلام طلبات تدفقات أعمال ذات ضوابط جودة خدمة؛ ومنها اكتشاف الموارد المتاحة وفلترتها المناسب منها بحسب بارومترات طلبات المستخدمين، وتوليد مخططات الجدولة والتخصيص المتعدد، وتأمين كافة الحجوزات اللازمة من مزودي الموارد عبر التفاوض، وتسليم الأعمال المكونة للدفق إلى مدراء الموارد المحليين، مراقبة التنفيذ ومواربة الأخطاء على المستوى "الشبكي"، وتأمين الثقة والأمان لاتصالات ومكونات النظام، وتجميع النتائج وإعادتها إلى المستخدمين. عادة ما يقوم

سمسار الموارد، أو المجدول المترفع بهذه الأعمال إما بطريقة مركزية، أو عبر التفاعل مع خدمات مجتزأة مقيسة.

يقدم هذا الفصل بنياناً جديداً لمجدول مترفع في بيئة "شبكة" عالية التنافسية؛ ولكنه لا يتضمن كافة الخدمات والأجزاء التي تقوم بأداء العمليات المذكورة، ولكن يركّز على عملية الجدولة، والتخصيص المتعدد، والحجز المتعدد، وضمان التنفيذ وإعادة النتائج إلى المستخدم. بنيان المجدول المترفع المقدم في هذا الفصل هو تجميع وتكامل للحلول والنتائج المقدمة في الفصلين السابقين، وتطويرها لتحقيق الأهداف الرئيسية التالية: تخفيض زمن قبول التطبيقات في النظام، تخفيض زمن الاستجابة الكلي، وتحسين استغلالية موارد النظام.

1-6 الأسباب والدوافع

يعتبر المجدول المترفع الأداة المركزية في نظام إدارة "الشبكة"؛ وعادة ما يكون الواجهة الأمامية التي تستقبل الطلبات من مستخدمي النظام. وعند استخدام آلية الحجز المسبق للأسباب المذكورة سابقاً، يكون على المجدول المترفع تأمين الحجوزات المطلوبة عبر التفاوض مع مزودي الموارد؛ في حال كان طلب المستخدم هو مركباً كدفق أعمال، على المجدول المترفع تأمين كافة الحجوزات على عدد من الموارد الموزعة بطريقة تضمن ضوابط جودة الخدمة وأسبقيات المهمات المكوّنة للدفق. في البيئات شديدة التنافسية تكون إمكانية تواجد وبالتالي حجز الفواصل الزمنية بطريقة منسقة ومتوازية على عدد من الموارد بالغة الصعوبة، وتحتاج إلى وقت طويل للتفاوض وإعادة التفاوض وصولاً إلى نقطة بدء مشتركة لكافة حجوزات الدفق. لتسهيل هذه المهمة يتم استخدام مخططات حجز مرنة تسمح لمجدول المترفع باقتراح حلولاً بديلة بطريقة آنية عند رفض الحجوزات من قبل مزودي الموارد. المشكلة الرئيسية في تأمين الحجوزات المنسقة أن المجدول المترفع يقوم بالحجز المبدئي الأولي للأعمال الجزئية المكونة للدفق، وفي حال تمكنه من حجز كافة المهمات يقوم عندها بتثبيت الحجوزات في الموارد ومن ثم تسليم الأعمال. عادة ما يقدم مزودو الموارد الحجوزات الأولية مع فترة صلاحية زمنية محدودة ليتم

تثبيتها واعتبارها حجوزات حقيقية؛ فإذا ما لم يتم التثبيت ضمن فترة الصلاحية المقدمة، يلغى مزودو الموارد الحجز الأولي المقدم. وعندها يكون على المجدول المترفع أن يقوم بإعادة كامل الحجوزات المطلوبة للدفع لكونها مترابطة ومنسقة مع بعضها البعض، فالإزاحة الزمنية لأحدها يمكن أن تتسبب بإزاحة المبيان الجزئي للابن المتعلق فيها في الدفع، ويمكن في الحالات الأسوأ أن يتطلب تعديل كافة حجوزات الدفع. في مدرء المجدولات المحلية التي تدعم الحجز المسبق، تتعلق عادة فترة صلاحية الحجز الأولي بطول فترة زمن الحجز المتقدم (Book-Ahead Time)، وبطول فترة الحجز المطلوبة. يتم الحجز لتطبيقات تدفقات الأعمال عبر خدمة الحجز المركزي بطريقتين أساسيتين؛ إما حجز لكامل الدفع أو حجز لمهام الدفع. الطريقة الأولى تسمح بتنفيذ قليل الأخطاء ولكن تتسبب بانخفاض استغلالية الموارد، كذلك فهي تكون ذات كلفة عالية على المستخدمين لطول فترات الحجز. أما الطريقة الثانية فتعتمد على حجز مهام الدفع الفردية [75]، وهي تحتاج إلى سياسة موارد مواربة أخطاء جيدة ولكنها تحسن من استغلالية الموارد؛ وهي حالياً الطريقة الأكثر شيوعاً في حجز تدفقات الأعمال. تتطلب عملية حجز مهام الدفع تفاوضاً متعددًا على كافة المهام تكون كلفته عالية في البيئات واسعة النطاق بسبب تباعد مواقع الموارد والحمل الفائض الناتج عن شبكات الاتصال. إضافة، في التدفقات عالية التعقيد يزداد عدد عمليات عملية التفاوض بشكل كبير مما يزيد من زمن الوصول إلى حل عملي مشترك لكافة حجوزات الدفع. هذا الزمن الطويل يجعل الحجوزات الأولية بخطر الإلغاء بسبب نفاذ صلاحيتها من قبل مزودي الموارد قبل أن يتم تثبيتها. وهذا ما يتطلب من زمن قبول الحجز في هذه الأنظمة أن يكون أقصر ما يمكن.

تتطلب الحجوزات المتعددة والمتوازية تنسيقاً عالياً لتأمين الترابط والأسبقيات المتواجدة بين مهام الدفع؛ وهنا نستطيع تحديد المسألة بالجدولة المتعددة (Co-Scheduling) بدلاً من تأمين الحجوزات المتعددة فقط.

ويمكن تعريف الجدولة المتعددة بأنها العملية التي يتم فيها توفير عدد من الموارد بطريقة متزامنة لأكثر من مستهلك أو لأكثر من مهمة وفي نفس الوقت. ويتم ذلك عبر التعاون

والتنسيق بين الحجوزات المتعددة على الموارد المطلوبة. يمكن أن تضم هذه العملية تنسيق خدمات نقل المعطيات والتي يجب أن يتم فيها تنسيق المنبع والمصب لأجهزة الخزن مع عرض حزمة شبكات الاتصال، والحساب المتوازي الموزع الذي يتم فيه توفير عدة موارد حسابية ولنفس الفترة الزمنية.

هذا ما يجعل من البنيان المركزي حلاً أفضلًا لعملية الحجز؛ فهو يسمح بمعرفة المعلومات العمومية عن حالة الحجوزات في الموارد الموزعة؛ وبالتالي تحسين عملية تنسيق الحجز، ومواربة الأخطاء، والتنفيذ لهذه الأجزاء الموزعة. من جهة أخرى، يسبب البنيان المركزي تأخيراً زمنياً عالياً عند تأمين كافة الحجوزات لأجزاء الدفق؛ مما يجعل النظام يخاطر بفقدان طلبات الحجز الأولية لنفاذ صلاحيتها، بالأخص عند كون زمن الحجز المتقدم هو صغير، أو درجة عدد مهمات الدفق كبيرة. لذلك يسمح الحجز اللامركزي الموزع بتوازي عمليات المفاوضة والحجز بين مزودي الموارد المتعددين والمتباعدين؛ ولكنه، من جهة أخرى، يخفض من التنسيق والتعاون بين الأجزاء المختلفة للدفق.

تجعل هذه الأسباب مجتمعة اختيار بنيان هجين (Hybrid) بين النموذجين السابقين، يعمل على تجميع مميزات كل منهما وتخفيض مساوئهما، خياراً أمثلًا لحل مشكلة تأمين الحجز المتعدد والمنسق ضمن فترة زمنية مقبولة، وهو ما صمم عليه المجدول المترفع المقدم في هذا الفصل.

يستخدم البنيان المقترح الحجز المسبق أيضاً من أجل التخصيص المتعدد للموارد في النظام؛ كذلك يستخدم مخططات الحجز المسبقة المرنة للتفاوض وإنتاج الحلول البديلة لإعادة الجدولة. يستخدم هذا البنيان مفاهيم مبسطة لا تعمل على تعديل أرتال مجدولات الموارد المحلية، محافظة بذلك على استقلالية مزودي الموارد وتصور سياسات الجدولة الخاصة بهم.

تقدم هذه البنية أداءً كفاً لزمناً استجابة النظام للطلبات المستلمة في بيئة "شبكة" تنافسية، لذلك تم تسميته بالمجدول المترفع المبسط الكفاء المعتمد على مفاوضي الحجز (SERN - Simplified Efficient Reservation Negotiator based - Meta Scheduler) [7].

2-6 البنية والنموذج المستخدم

يمكن اعتبار المجدول المترفع المقدّم في هذا الفصل كجزء من نظام الإدارة "الشبكي"؛ ويقع ضمن طبقة البرمجيات الوسطى لمستوى المستخدم من طبقات النظام "الشبكي" المبينة في الشكل (1-2) كما وكيل الحجز المتعدد المرن (ECRA) [6]، المقدم في الفصل السابق.

يعمل المجدول المترفع (SERN) على استلام طلبات تدفقات الأعمال وتفكيكها مركزياً، ومن ثم يبدأ بعملية التفاوض، والحجز الأولي، وإنتاج بدائل الحجوزات عند الرفض، بطريقة متسايرة مع الموارد المختارة في النظام. في حال التوصل إلى حل عملي لمسألة الحجوزات المتعددة، وضمن الضوابط الزمنية المطلوبة من المستخدمين، يقوم المجدول بتثبيت الحجوزات على الموارد بطريقة متسايرة أيضاً، ويتم تسليم الأعمال الجزئية، حين جهوزيتها، إلى مدراء الموارد المحلية. تُعاد النتائج بطريقة موزعة ومتسايرة من قبل مدراء الموارد المحليين في النظام، ليقوم المجدول المترفع بتجميع وتشكيل النتيجة الكلية للطلب وإعادتها مركزياً إلى المستخدم. يسمح استخدام خوارزميات جدولة استمثالية معروفة بتبسيط مسألة استمثال زمن استجابة تدفقات الأعمال في النظام لتصبح استمثالاً لزمن بداية ونهاية الحجز فقط.

صمّم المجدول المترفع (SERN) باستخدام نموذج التصميم بالحدث (Event-based) ونموذج الاتصال غير المتزامن (Asynchronous Communication)، مما يضيف للنظام قابلية الاتساع (Scalability) عبر إمكانية استلام ومعالجة عدد أكبر من الطلبات؛ وكذلك يسمح بقابلية التشغيل العابر لمستخدمين مختلفين ذو طلبات متعددة في النظام عبر استخدام واجهات تخاطبية مقيّسة معتمدة على الملفات، بين أجزاء النظام ككل. ويتألف المجدول المترفع (SERN) من قسمين رئيسيين هما المجدول المتعاون (Coordinator Scheduler)، ومفاوض الحجز (Reservation Negotiators).

تقدم هذه الفقرة الأقسام الرئيسية للمجدول المترفع (SERN) والتفاعلات المتبادلة بينهم. ويبيّن الشكل (1-6) هذه الأقسام وتفاعلاتها.

6-2-1 طرفيات المستخدمين

هم الزبائن أو مجدولات مستوى المستخدم التي تقوم بتسليم الأعمال المترفعة لتدفقات الأعمال، والمنمذجة على شكل مبيان للاحلي موجه (DAG)، إلى المجدول المترفع. في النظام المقدم هنا، تتضمن متطلبات المستخدمين عدداً من معالجات المورد، وأزمنة تنفيذ مخمّنة من قبل المستخدم، وضوابط جودة الخدمة المطلوبة مثل الحد الأقصى لزمن التنفيذ النهائي. كذلك يمكن للمستخدمين تضمين أفضلياتهم مثل تأمين أسرع زمن استجابة ممكن، أو العدد الأصغري، أو الأعظمي للموارد المطلوبة للتنفيذ.

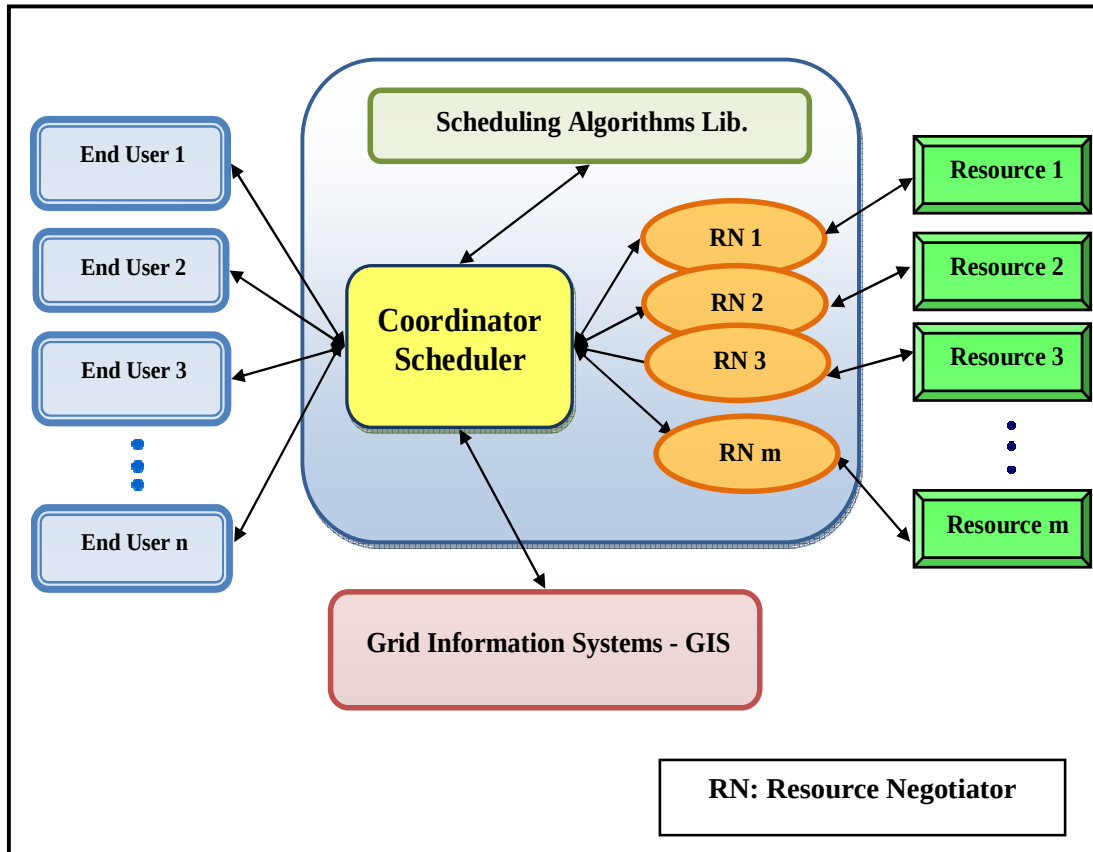
تقود هذه الأفضليات عملية اتخاذ القرار في المجدول المتعاون لجهة تحديد خوارزمية جدولة التي ستستخدم في التخصيص، والمتضمنة في مكتبة خوارزميات الجدولة المتواجدة في النظام. تقدم هذه المكتبة تحقيقاً لعدد من الخوارزميات الاستمثالية لجدولة دفع الأعمال "الشبكية" المعروفة والمجربة في الأدبيات والبحوث كما ذكرنا في الفصل السابق.

6-2-2 المجدول المتعاون

هو الجزء المركزي من المجدول المترفع (SERN). يتلقى المجدول المتعاون (Coordinator Scheduler) الطلبات المسلمة من طرفيات المستخدمين؛ وهو من يقوم بعملية اكتشاف الموارد المتاحة في النظام عبر التواصل مع خدمة معلومات "الشبكة" لطلب معلومات عن الموارد المتاحة، توافريتها المستقبلية المحتملة والأحمال الموجودة عليها. بناءً على هذه المعلومات يختار الموارد التابعة لعدد من المواقع "الشبكية" الموزعة الأنسب التي تستوفي متطلبات المستخدمين وتؤمن عدالة في توزيع الأحمال بانتقاء الموارد الأقل حمولة لتأمين توازن حمل عمومي في النظام.

يقوم المجدول المتعاون بانتخاب خوارزمية الجدولة الأنسب التي تؤمن أفضليات المستخدم بالنسبة لبارومتريات النظام من شدة التنافسية فيه، ويطبق هذه الخوارزمية على مبيان (DAG)

للعمل المترفع المستلم مولداً مجدول التخصيص. ويطبق المجدول المتعاون خوارزمية توليد مخطط الحجز المرن (EWARP) على مجدول التخصيص الناتج. يمكن استخدام أية خوارزمية توليد مخططات حجوزات مرنة أخرى في المجدول المتعاون؛ بسبب تصميميه بطريقة مستقلة وتجزئية للمكونات المستخدمة كدخل وخرج له. ولكن استخدمت الخوارزمية (EWARP) لكونها لا تضيف زمناً على طول مجدول التخصيص الاستمثالي الناتج. يقوم تالياً المجدول المتعاون بتفكيك العمل المترفع إلى عدة أعمال جزئية بحسب المورد المحصنة عليه، ويسلمها مع مخططات الحجز المرنة التابعة لها إلى مفاوضات الحجز. يتألف العمل الواحد من عدد من المهمات المتسلسلة زمنياً ذات بدايات ونهايات حجز مرنة.



الشكل (6-1): مكونات المجدول المترفع (SERN).

إن مهمة تحديد أي من المهمات عليها أن تحصى وعلى أية موارد هي مهمة خوارزمية التخصيص استمثالية المستخدمة، إضافة إلى عدد الموارد المتاحة المختارة؛ لا يعدل المجدول المتعاون من هذا التخصيص ليحافظ على طول المجدول استمثالي الناتج.

يتلقى المجدول المتعاون نتائج التفاوض والحجز المبدئي من مفاوضات الحجز بعد انتهاء عملية التفاوض. ويقرر تبعاً لهذه النتائج على زمن بداية مشترك لحجوزات دفع العمل المترفع، إذا كان ممكناً إيجاد حل عملي لهذه الحجوزات في النظام بحسب ضوابط الجودة المطلوبة؛ ويصدر بعدها طلبات تثبيت الحجوزات المبدئية وتسليم الأعمال إلى مفاوضات الحجز. أخيراً يقوم بتلقي النتائج المعادة من قبل مفاوضات الحجز والتابعة للأعمال الجزئية لكل عمل مترفع ويعمل على توليد خرجاً موحداً لها يعيده إلى المستخدم.

من أجل موارد الأخطاء في النظام، يحتفظ المجدول المترفع بلائحة تضم كافة الأعمال المترفعة وأجزائها في النظام؛ فإذا تم فقدان أي عمل خلال انتقاله في شبكات الاتصال، أو إذا انهار أي مورد في "الشبكة"، أو أي مفاوضات حجز، يمكن للمجدول المتعاون إعادة تحديث العمل حسب البارومترات الجديدة الآتية.

وتحذف هذه الأعمال المترفعة وأجزائها من اللائحة بعد إعادة نتائجها إلى المستخدم. كذلك في حال عدم إيجاد حل عملي لحجوزات العمل المترفع نتيجة رفض أحد المهمات أو أكثر في عمل ما يقوم المجدول المتعاون بإعادة توليد مخطط حجز مرّن عبر إزاحته إلى الأمام زمنياً وبقيمة عشوائية لا تخرق ضابط الزمن الأقصى المطلوب من المستخدم.

يستخدم المجدول المتعاون عتبة من ثلاث محاولات لنفس العمل المترفع لتأمين حل عملي للحجوزات. فإذا فشل بعد المحاولات الثلاث، يعتبر العمل المترفع المطلوب فاشلاً ويعيد رسالة فشل التطبيق إلى المستخدم. عندها يعود للمستخدم تعديل ضوابط جودة الخدمة المطلوبة، وإعادة تسليم الطلب مرة أخرى إلى المجدول المترفع، في حال رغب في ذلك.

يقوم المجدول المترفع بكافة عمليات إدارة مفاوضي الحجز؛ فهو المسؤول عن توليدهم (استنساخهم)، تحديثهم في حال انضمام موارد جديدة للنظام (إضافة)، أو خروج موارد من النظام (حذف). كذلك هو المسؤول عن الاحتفاظ بلائحة عنهم.

3-2-6 مفاوضو الحجز

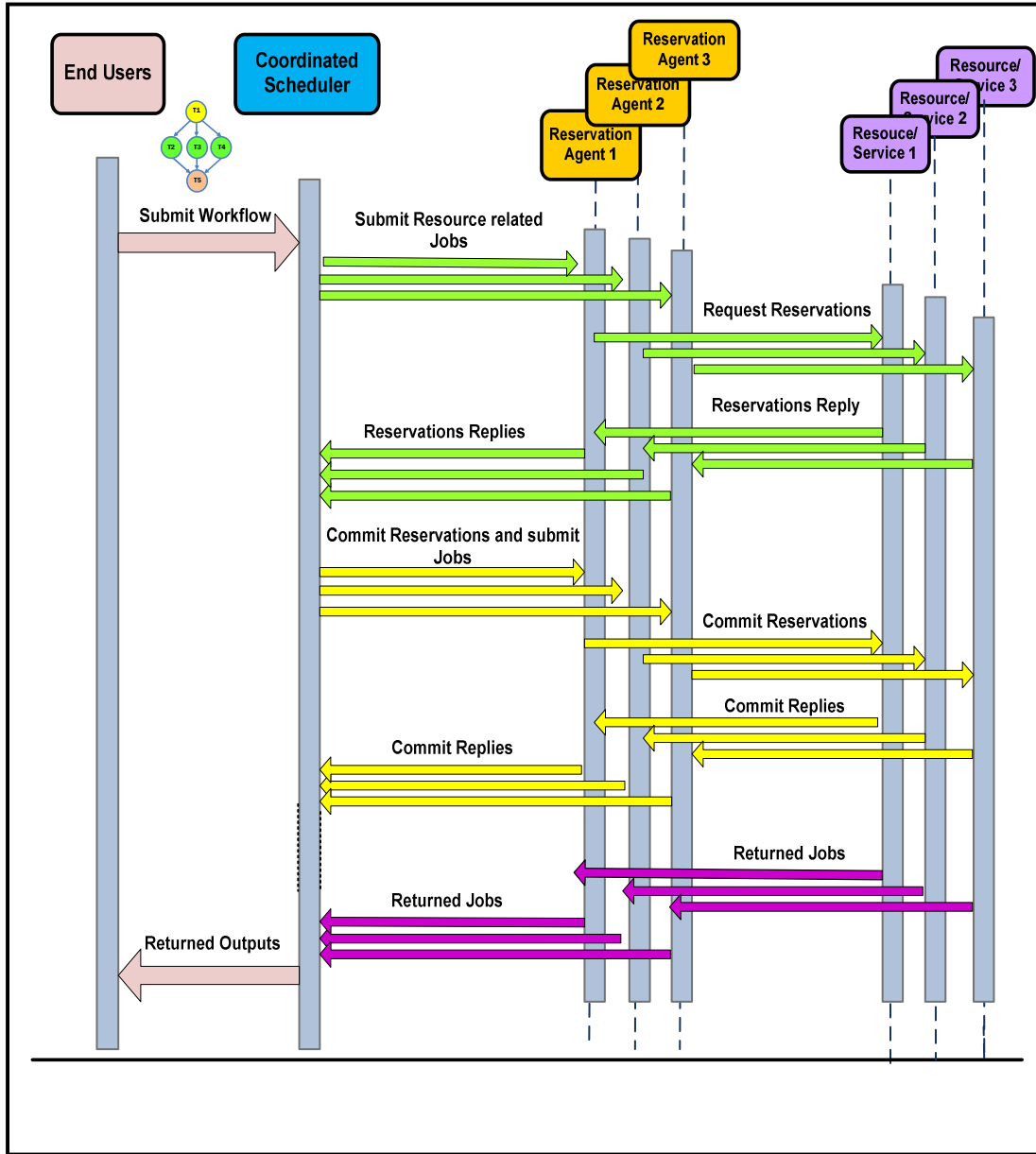
يتم استنساخهم من قبل المجدول المتعاون كمفاوض لكل مورد متاح في "الشبكة". لا يتعلق مفاوضو الحجز بأي من الطلبات أو المستخدمين؛ على عكس ذلك، هم يقومون بمعالجة الأعمال الجزئية المستلمة من المجدول المتعاون بطريقة مجهولة (Anonymous) تبعاً لمورد المخصصين له؛ هذا ما يجعلهم مستقلون تماماً عن حجم ونوع الأعمال المخدّمة في النظام. وهم بالتالي يمكن أن ينفّذوا طلبات تتعلق بأعمال مترفعة مستقلة الارتباطات (دفعيّة)، أو متوازية.

يتبع تصميم مفاوضو الحجز تصميم وكيل الحجز المتعدد المرن المقدم في الفصل السابق؛ فهم يستخدمون إستراتيجية الموقع الملائم الأول للتخصيص (First Fit Allocation) كما أسلفنا سابقاً. يقوم مفاوضو الحجز بعدد من المهمات ووفقاً لطلبات المجدول المتعاون؛ وهي 1- الحجز المبدئي وتوليد الحجوزات البديلة في حال رفض مدراء الموارد للحجوزات المبدئية المطلوبة، 2- تثبيت الحجوزات وبحسب الأوامر المستلمة من المجدول المتعاون، 3- تسليم الأعمال الجزئية إلى الموارد، 4- استلام النتائج الجزئية من الموارد بعد انتهاء التنفيذ، وإعادتها إلى المجدول المتعاون. يدار هؤلاء المفاوضون بطريقة تعاونية ومنسّقة من قبل المجدول المتعاون وبما يضمن تأمين الجدولة المتعددة لتدفقات الأعمال المستلمة في النظام.

4-2-6 المواقع "الشبكية"

يمكن للموقع "الشبكي" في هذا النظام أن يكون مؤلفاً من عدة عناقيد، أو من عدة حواسيب ضخمة، أو مزيجاً منهما. يسجل كل موقع "شبكي" جديد في النظام نفسه في خدمة معلومات

"الشبكة"، ويمكن اعتبارهم كمزود خدمات في النظام النفعي. تتمذج كل فاصلة زمنية مقدمة منهم كفراغ ذو بعدين؛ يمثل البعد الشاقولي عدد المعالجات المطلوبة، ويمثل البعد الأفقي الزمن المطلوب.



الشكل (6-2): التفاعلات المتبادلة بين أجزاء المجدول المترفع (SERN) لمجدول تخصيص على ثلاثة موارد.

يمكنّ مزودو الموارد من الاستخدام المخصص (Dedicated Usage) للفواصل الزمنية المطلوبة لديهم عبر الحجز المسبق. ويمكن أن يقدموا معلومات عن الفواصل الزمنية الحرة المتواجدة في مجدولاتهم المحلية عند استلام طلبات الاستفسار من قبل المجدول المتعاون، ومفاوضي الحجز. يقدم الشكل (6-2) التفاعلات المتبادلة بين أجزاء النظام ككل، باعتبار أن التخصيص يتم على ثلاثة موارد متباعدة.

3-6 التدفق التحكمي للمجدول المترفع (SERN)

توضّح هذه الفقرة تسلسل عمليات التخصيص، والحجز، والتّفيذ، المتبعة في المجدول المترفع (SERN). ويتضمن تسلسل العمليات الخطوات الرئيسية التالية:

- 1- استلام طلبات الأعمال المترفعة من المستخدمين.
- 2- اكتشاف الموارد المتاحة عبر التواصل مع خدمة معلومات "الشبكة" (GIS)، واختيار الأنسب منها حسب بارومترات الطلب وحمولات النظام.
- 3- اختيار خوارزمية الجدولة المناسبة لتحقيق أفضليات وضوابط جودة المتضمنة في الطلب، وتوليد مجدول التخصيص.
- 4- توليد مخططات الحجز المسبق المرن بتطبيق الخوارزمية (EWARP) [5]، على مجدول التخصيص.
- 5- استنساخ وتحديث منتسخات مفاوض الحجز في النظام للموارد المتاحة.
- 6- تفكيك العمل المترفع، وتسليم الأعمال الجزئية المكوّنة له إلى مفاوضي الحجز.
- 7- استقبال نتائج الحجز المبدئية الجزئية من مفاوضي الحجز، وتوليد نقطة بدء حجز مشتركة في حال وجود حل عملي لمسألة الحجز، تضمن البدء الأبعد للتنفيذ.
- 8- مواربة الأخطاء الناتجة عن رفض جزء أو أكثر من الأعمال، ومعاودة محاولة الحجز لثلاث مرات على الأكثر.
- 9- استلام النتائج الجزئية من مفاوضي الأعمال وتوليد خرج موحد وإعادته إلى المستخدم.

4-6 التقييم والنتائج

اعتمدت المحاكاة لتحليل عمل المجدول المترفع (SERN) المقدم في هذا الفصل. تم تطوير وتحديث نموذج المحاكاة المستخدم للأداة (GridSim) [92] [93]، والمحقق في الفصل السابق، من عدة نواحي لتشكيل البيئة التنفيذية "الشبكة" المستخدمة لتقييم عمل المجدول المترفع (SERN). ضمنت أمانة الاتصال وأمانة نقل الأعمال بين المركبات المختلفة للمجدول المترفع وكذلك بين عناصر النظام المختلفة لتقييم أمانة الاستجابة. كذلك، تم تحقيق المجدول المترفع باستخدام البنية الهيكلية المقدمة في الأقسام السابقة؛ فأضيف المجدول المتعاون، وتم تضمين عمل وكيل الحجز المتعدد المرن (ECRA) [6]، في مفاوض الحجز، والذي أصبح يُستنسخ ويُدار من قبل المجدول المتعاون.

وللتحقق من صحة النموذج وصلاحيته تم تصميم وتحقيق مجدول مترفع له بنية مركزية صرف يستخدم نفس بارومترات المجدول المترفع (SERN)؛ تمت تسميته بسمسار المستخدم (User Broker)، بما إن المجدول المترفع المركزي في "الشبكة" عموماً يعمل تماماً مثل سمسار الموارد. يستخدم هذا السمسار المركزي لمقارنة أدائه مع أداء المجدول المترفع (SERN).

الاختلاف الوحيد بين تحقيقي السمسار والمجدول المترفع هو بالبنية المركزية للسمسار من ناحية التخصيص، الحجز وإعادة الحجز، وتثبيت كافة حجوزات الدفع، والتنفيذ الكلي له. فهو يتكون من مركبة واحدة تقوم بكافة العمليات ولا يفوض أي من عملياته إلى مركبة أخرى. لكن، تم استخدام نفس البنى والنماذج التصميمية المستخدمة في المجدول المترفع (SERN) من ناحية الاتصالات غير المتزامنة أو المتبادلة بالحدث. كذلك استخدمت نفس الخصائص والبارومترات لكل من النظام وتدفقات الأعمال.

السبب الرئيسي لاستخدام البنية المركزية للسمسار للمقارنة والتثبت من النموذج المقترح، هو إمكانية المجدول المترفع (SERN) أن يقدم تأخيراً زمنياً ناتجاً عن العبء الزمني العالي لشبكات الاتصال. يبين الشكل (5-2) أن هناك أربعة مركبات متفاعلة عن كل طلب حجز وبكل اتجاه؛

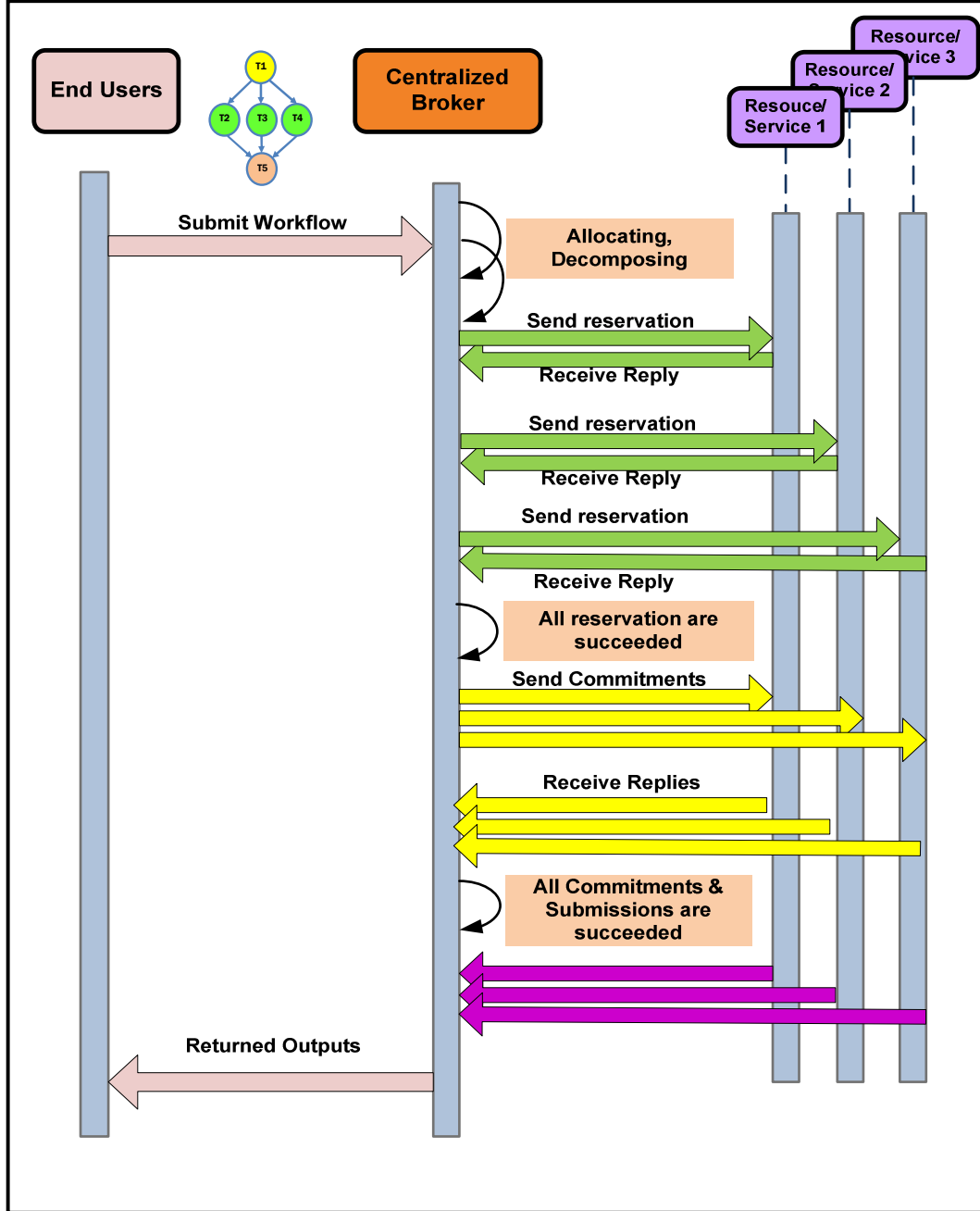
أي لدينا ستة عمليات اتصال لكل طلب حجز أو تثبيت حجز كحد أدنى. تتضمن عمليات الاتصال هذه نقلاً للأعمال الجزئية المكوّنة للعمل المترفع، والتي يمكن إن تستهلك زمن اتصال عالي إذا كانت ذات حجم كبير، أو إذا كانت ذات عدد مهمات كبير في تدفقات الأعمال عالية التعقيد، بالأخص في الشبكات واسعة النطاق قيد البحث في هذه الأطروحة.

يبين الشكل (6-3) التفاعلات بين مركّبات النظام في حال استخدام سمسار الموارد المركزي أيضاً لمجدول تخصيص على ثلاثة موارد؛ تبين المقارنة مع الشكل (6-2) انخفاض كثافة عدد الاتصالات الكلي للعمل المترفع الواحد في النظام، من ستة عمليات اتصال أصغرية في المجدول المترفع (SERN)، إلى أربع عمليات اتصال أصغرية فقط في سمسار المستخدم المركزي.

من جهة أخرى، يمكن أن يؤثر تأمين الحجوزات الجزئية التابعة لعمل مترفع واحد بطريقة تسلسلية في السمسار المركزي، على زمن الاستجابة الكلي للدفق. إضافة، هذا الحجز التسلسلي يستدعي أزمنة صلاحيات حجز مبدئية أعلى، وبالأخص للحجوزات الأولى للعمل المترفع؛ وإلا ستلغي الموارد الحجز المبدئي مما يستدعي إعادة عملية الحجز كاملة.

استخدمت بيئة المحاكاة نفسها لكلا النظامين؛ كذلك استخدمت أحياناً تشغيلية في هذه البيئات تنمذج أحياناً واقعية من النوع (DAS-2)، والمقدمة عبر أداة المحاكاة (GridSim) [92] [93]. تمت المحاكاة باستخدام مولّد المبيان اللاحقي الموجّه، ومولّد الموارد متغيرة الخواص المحققين في الفصل الثالث من هذه الأطروحة. كذلك طورت الاتصالات وواجهات التخاطب بين مكونات النظام المختلفة باستخدام ملفات الدخل/الخروج.

نفّذت المحاكاة ثلاث مرات، ولثلاثين (30) دفق أعمال كلي مستلمة من قبل النظام لكل من البارومترات المختلفة. استخدمت النتائج الوسيطة لهذه التجارب الثلاث في الأشكال البيانية المقدمة في القسم التالي.



الشكل (3-6): التفاعلات المتبادلة بين أجزاء السمسار لمجدول تخصيص على ثلاثة موارد.

يبين الشكل (4-6) نتائج الجزء الأول من المحاكاة المنفذة للنظامين السابقين الذكر؛ ويقارن بين زمن الاستجابة ومعدل استخدام الموارد لكل منهما.

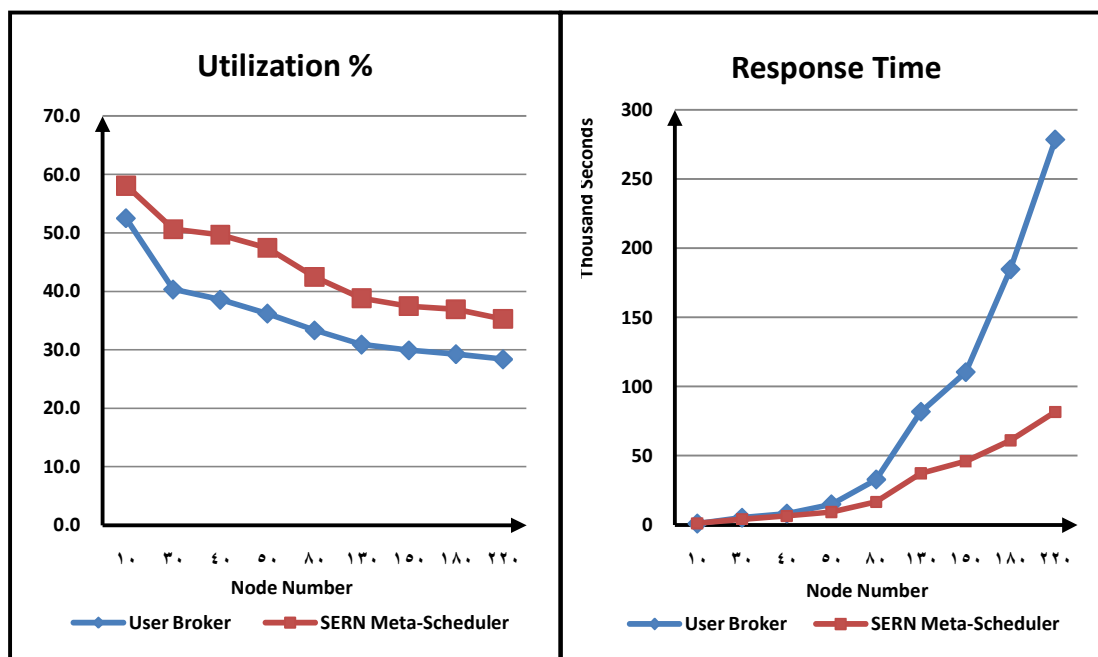
من المتوقع زيادة زمن الاستجابة مع ازدياد تعقيد الدفق لازدياد عدد مهماته الكلي. يوضح الشكل (a-4-6) إمكانية سمسار المستخدم أن يتفوق على (SERN) عند التدفقات ذات عدد المهمات الصغير مثل (10)، وبعدها يبدأ المجدول المترفع بإعطاء أزمنة الاستجابة الأفضل لتصل قيمة هذا التحسين إلى القيمة (3.41) ضعف عند التدفقات ذات عدد المهمات المساوي إلى (220). وبحساب القيمة الوسطية للفرق بين زمني استجابة كل من البنيتين المعماريتين قيد المقارنة تكون قدرة المجدول المترفع (SERN) على توليد زمن استجابة أقل من سمسار المستخدم بشكل عام وبمقدار (2.73) ضعف وسطياً لتدفقات الأعمال ذات التعقيدات المختلفة لكامل المجال (10-220)، وعلى الرغم من أنه يستخدم كثافة اتصالات أعلى. مما يعني أن الربح الزمني الناتج عن التوازي الموزع يتغلب وبوضوح على ازدياد كثافة الاتصالات للنموذج (SERN) بشكل عام.

كذلك يمكن الاستنتاج أن السماسرة الشخصيين ذوي البنية المركزية لا يقومون بجدولة عدد كبير من المهمات حتى بوجود الموارد الكثيرة المتاحة وذلك بسبب نقص التعاون بين السماسرة الشخصيين المتعددين في البيئات "الشبكية" واسعة النطاق؛ وبالتالي عندما يحاول مستخدم ما أن يقوم بالحجز فإن مالك الموارد ينتقي مستخدماً واحداً من المستخدمين المتنافسين على موارده في النظام، ويرسل إشارة فشل بالحجز لكل المستخدمين الآخرين. تعاود الأعمال الفاشلة محاولة الحجز وهذا يسبب في كثير من الأحيان بفشل الأعمال ذات زمن التنفيذ الأقصى الضيق.

من جهة أخرى، يبين الشكل (a-4-6) قدرة المجدول المترفع (SERN) على ضبط زيادة زمن الاستجابة عند القيم العالية لعدد مهمات الدفق؛ بينما يظهر سمسار المستخدم ازدياداً أسي الشكل مع ازدياد عدد المهمات. مما يوضح أهمية استخدام هذا النموذج الهجين لتدفقات الأعمال الكبيرة وعالية التعقيد. أما الشكل (b-4-6) فيوضح إمكانية المجدول المترفع (SERN) على تحقيق معدلات استخدام مئوية أفضل وبقيمة وسطية مقدارها (8.87%).

استخدم زمن المحاكاة الكلي والمحدد حتى نهاية تنفيذ كافة تدفقات الأعمال المستلمة في النظام، كزمن الاستخدام الكلي لكل من المواقع "الشبكية"، وضرب بعدد الأجهزة والمعالجات المقدمة في

كل موقع منها. يوضح الشكل أن نسبة التحسين في معدلات الاستخدام تصبح ثابتة القيمة تقريباً عند تدفقات الأعمال ذات أعداد المهمات العالية.



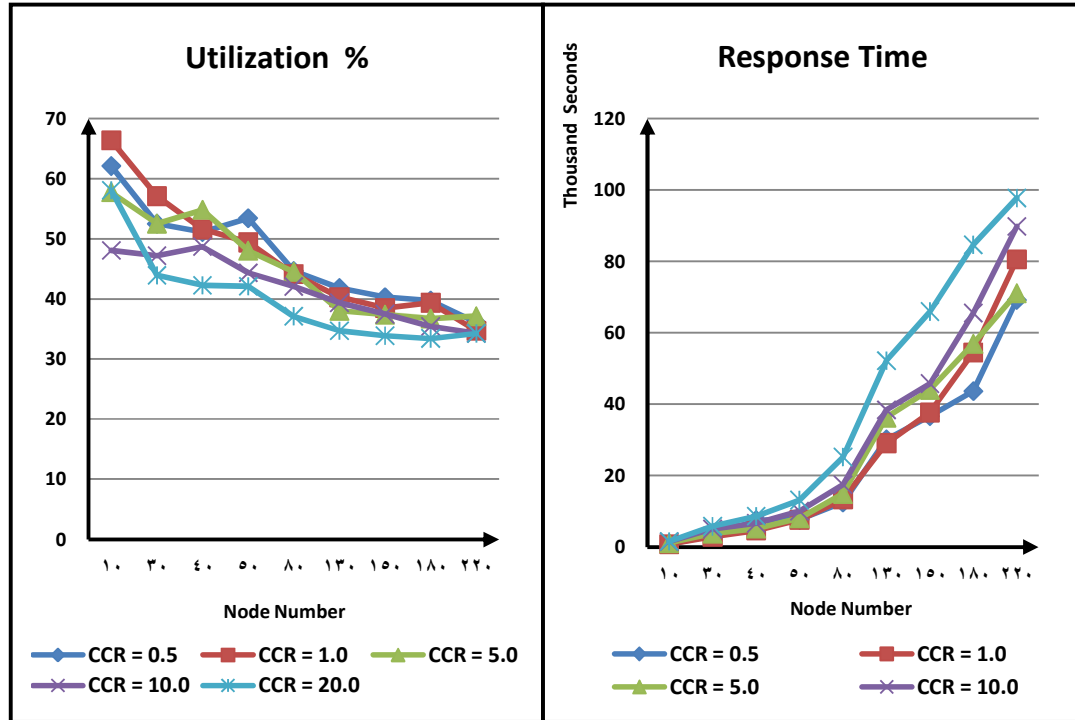
(b) - النسبة المئوية لمعدل استخدام الموارد

(a) - زمن الاستجابة

الشكل (4-6): مقارنة أداء المجدولين (SERN) و (User Broker).

في الجزء الثاني من التقييم، تمت مقارنة بارومتر الأداء المستخدمين من زمن الاستجابة لتدفقات الأعمال في النظام، ومعدل استغلالية الموارد فيه، لقيم نسبة الاتصال إلى الحساب (CCR) مختلفة للمجدول المترفع (SERN)؛ ويبين الشكل (a-5-6) أن قيم (CCR) الأعلى تتطلب أزمنة استجابة أعلى، وهذا يعني أنه بازياد نسبة الاتصالات الداخلية لتدفقات الأعمال تزداد أزمنة الاستجابة لها؛ وهذا متوقع بسبب كون طول المجدولات (SL) تزداد مع ازدياد نسبة (CCR) كما هو مبين في الشكل (6-6)، وبالتالي زمن تنفيذها الكلي سيزداد مما يزيد من زمن الاستجابة العام لها.

ولكن تبقى النتيجة الأهم والتي يمكن استخلاصها من مقارنة البنيانين في الشكل (6-6)، ملاحظة الازدياد الحاد في طول المجدولات ولكل أنواع الخوارزميات الاستمثالية بعد قيم (CCR) المساوية إلى (1.0)، بينما تزداد قيم الاستجابة الكلية والوسطية لكافة عدد المهمات في تدفقات الأعمال المستلمة في المجدول المترفع (SERN) وبطريقة ناعمة، وسلسلة، غير حادة تؤكد قدرة المجدول المترفع على كبح وتصغير أزمنة الاستجابة الناتجة في الأنظمة التي يديرها.



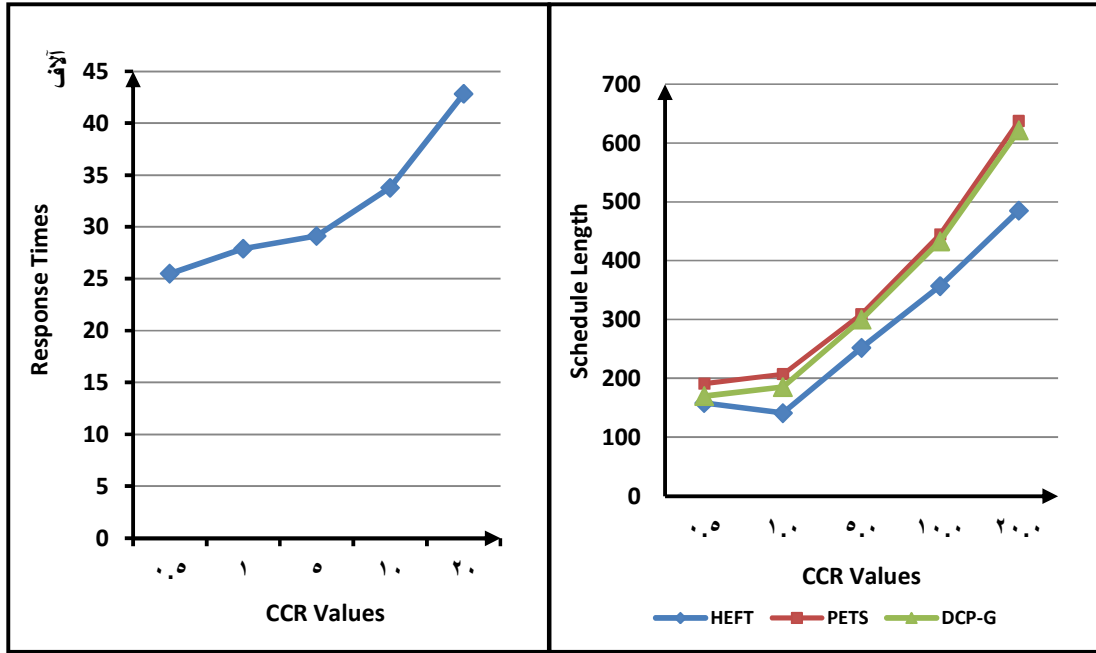
(b)- معدل استخدام الموارد

(a)- زمن الاستجابة

الشكل (6-5): قيم كل من زمن الاستجابة، ومعدل استخدام الموارد للمجدول المترفع (SERN)، ولقيم (CCR) المختلفة.

من جهة أخرى، يبين الشكل (6-5b) أن معدل استغلال الموارد ينخفض بازدياد معدلات (CCR) في تدفقات الأعمال المستلمة في النظام؛ ويمكن نسب ذلك أيضاً إلى كون أزمنة الاتصالات الداخلية هي السائدة التطبيقات عالية معدلات (CCR) على حساب أزمنة التنفيذ التي هي من ينتج معدلات الاستغلال العالية. تمكن هذه النتائج مزودو الموارد من إدارة ناجعة،

عالية الربح؛ بحيث تستطيع أن تضع كلفاً أعلى على قبول حجوزات وتنفيذ التدفقات ذات نسب (CCR) العالية، أو أن تضع قيوداً على قبولها مثل أن تقبل مثل هذه التدفقات خارج أوقات الذروة لها، وبالعكس تقدم سياسة تحفيزية لتدفقات الأعمال ذات نسب (CCR) المنخفضة.

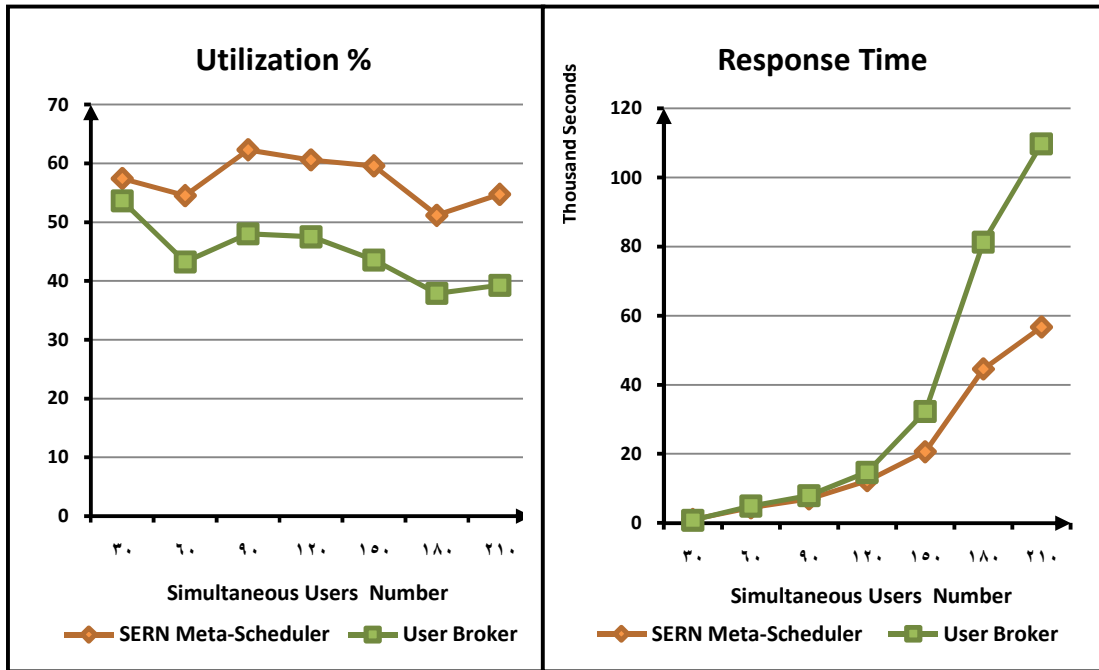


الشكل (6-6): قيم طول المجدولات الاستمثالية الناتجة، وزمن الاستجابة للمجدول المترفع (SERN)، ولقيم (CCR) المختلفة.

الجزء الثالث من تحليل أداء المجدول المترفع هو عبر تقييم أدائه في البيئات ذات التنافسية العالية من المستخدمين المتزامنين لموارد النظام. تم توليد محاكاة لبيئات تنافسية ذات أعداد مختلفة من المستخدمين المتزامنين من المجال (30، 60، 90، 120، 150، 180، 210)؛ والذين يقدمون طلبات لتدفقات أعمال ويتنافسون على الموارد المتوافرة في النظام. تمت مقارنة نتائج التنفيذ لكل من بنيتي المجدول المترفع المركزية والهجينة، وبيّنت النتائج المقدمة في (6-7) أن المجدول المترفع (SERN) وبنيته الهجينة يقدم أداءً أفضل لكلا البارومتريين قيد القياس.

هذه النتائج هي مقاربة جداً مع النتائج المقدمة في (6-4)، ما يدلّ على أن المجدول المترفع يتصرف بتدفقات الأعمال المستلمة من قبل مستخدمين متعددين متنافسين كما يتصرف بالنسبة

لتدفقات الأعمال عالية التعقيد الوحيدة؛ وهذا يمكن نسبته إلى طريقة تصميم المجدول المترفع ومفاوض الحجز اللذان يحددان بنية التطبيق إذا ما كانت دفق عمل، أو متوازية، أو مؤلفة من عدة أعمال منفصلة متسلسلة دفعية، عن طريقة الحجز والتنفيذ في النظام. هذا ما يؤكد على استقلالية عمل المجدول المترفع وشفافيته عبر قدرته على إخفاء تفاصيل العمل المستلم عن مزودي الموارد؛ مما يسهل ويبسط من إدارات المجدولات المحلية ويعزز من تعاملها الموحد مع كافة التطبيقات والحجوزات، وهي بالتالي لا تتطلب من المجدولات المحلية أن تكون ممكنة من تدفقات الأعمال حتى تستطيع تنفيذها.



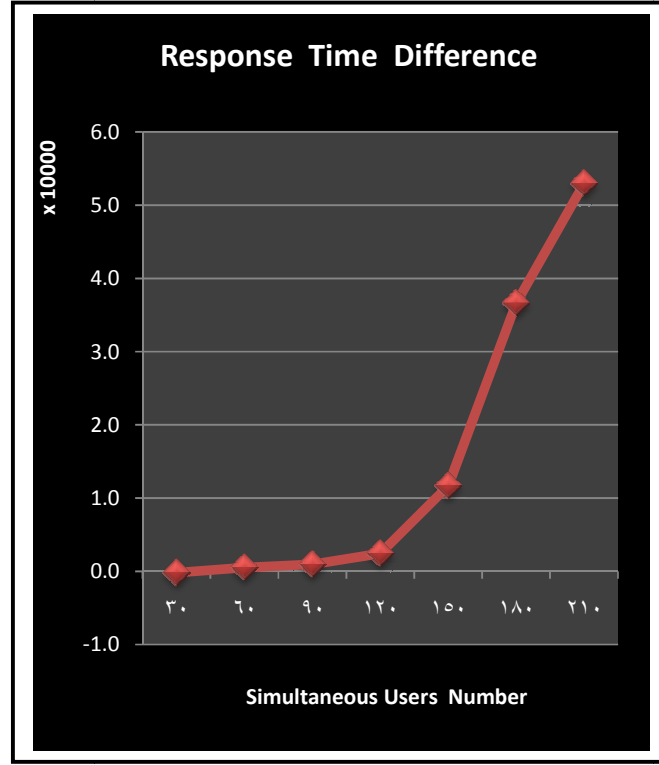
(b) - معدل استخدام الموارد

(a) - زمن الاستجابة

الشكل (6-7): نتائج مقارنة أداء سمسار المستخدم المركزي والمجدول المترفع (SERN) في البيانات عالية التنافسية.

يبين الشكل (6-7-a) أن معدل ازدياد زمن الاستجابة لسمسار المستخدم هو أسرع بكثير من المجدول المترفع (SERN) عند أعداد المستخدمين المتزامنين الكبيرة؛ وهذا أيضاً يوضح قدرة المجدول المترفع الهجين (SERN) على الممانعة في وجه الأعداد العالية من الطلبات المتزامنة،

وقدرته على ضبط مستويات الزيادة في زمن الاستجابة لها. كذلك فهو يقدم معدلات استخدام أعلى لمزودي الموارد من سمسار الموارد المركزي.



الشكل (6-8): معدل تزايد الفارق بين زمني الاستجابة لكل من سمار الموارد المركزي والمجدول المترفع (SERN) في البيئات التنافسية.

يعطي الشكل (6-8) تزايد الفارق بين البنيتين قيد المقارنة لجهة زمن الاستجابة مع الأعداد المتزايدة من المستخدمين المتزامنين؛ ويوضح أنه بعد (100) مستخدم متزامن يبدأ الفرق بالاتساع ليصل إلى ما يزيد عن (50,000) ثانية لأعداد المستخدمين المتزامنين التي تفوق (200) مستخدم. وهذا يوضح أهمية استخدام المجدول المترفع المقترح في البيئات عالية التنافسية، وقدرته على تلبية متطلبات المستخدمين من الزمن الأدنى لتنفيذ تدفقات أعمالهم.

5-6 ملخص الفصل

تسبب تطبيقات تدفقات الأعمال تعقيداً إضافياً في إدارة عمليات "الشبكة"؛ فهي تحتاج لتنسيق عالي يراعي الترابط والأسبقيات المضمنة فيها خلال عمليات الحجز والتنفيذ على الموارد المتنوعة والمتباعدة جغرافياً.

قدّم هذا الفصل مجدولاً مترفعاً ذو بنية بسيطة وفعّالة هي بنية هجينة بين المركزية والموزعة، تستغل حسنات كل من البنيتين المذكورتين وتعمل على استمثال زمن الاستجابة للتطبيقات، وتحسين معدل الاستخدام لمزودي الموارد مما يعظم من أرباحهم. كذلك يعمل المجدول المترفع على تأمين ضوابط جودة الخدمة من الزمن الأقصى للتنفيذ الكلي للتطبيقات المستلمة.

بيّنت النتائج المقدّمة في هذا الفصل قدرة المجدول المقترح على التنفيذ الكفء لتدفقات الأعمال عالية التعقيد، وكذلك ضبط ازدياد زمن الاستجابة في البيئات عالية التنافس، مما يحسّن من أداء النظام ككل. تمت مقارنة أداء المجدول المترفع هجين البنية مع سمسار موارد مركزي البنية؛ ومع أن السمسار مركزي البنية يحتاج إلى كثافة اتصالات ورسائل أقل من البنية الهجينة المقترحة للمجدول المترفع للمعاملة الواحدة، بيّنت النتائج أن الكسب في الزمن الناتج عن التوازي والتوزيع للمجدول المترفع المقترح (SERN) في العموم، هو أعلى من عبء كثافة الاتصال لهذا النموذج.

7 اختبار الخوارزمية EWARP مجدداً

Re-Experimenting With EWARP

استخدمت مخططات الحجز المرن الناتجة عن الخوارزمية (EWARP) [5]، كدخل لوكيل الحجز المرن، وكذلك في المجدول المترفع (SERN) [7]. وتم تحليل نتائجها بالتوازي مع نتائج أداء المركبات المصممة لحصصة، وحجز، وتنفيذ تدفقات الأعمال. اختيرت تدفقات الأعمال ذات قيد الزمني أقصى للتنفيذ (Deadlines) هو مساوي لطول المجدول الناتج؛ أي أن الزمن الأقصى المطلوب هو أسرع ما يمكن وعند قيمة البارومتر ($Extra = 0$)، وهو المعروف في المعادلة (4-9). الهدف الرئيسي للخوارزمية (EWARP) الذي صممت من أجله في تلك المرحلة هو الاستمثال الأعظمي للفجوات الزمنية المتواجدة في جدول التخصيص الناتج عن تطبيق خوارزميات الجدولة المعروفة. لكن لم تولى مسألة توزيع الوفر الزمني الناتج بطريقة عادلة أو متساوية على كافة مهمات الدفق العناية الكافية؛ كذلك لم يتم تجريب هذه الخوارزمية في الحالات التي تكون فيها ($Extra > 0$)، بمعنى أن المستخدمين يطلبون زمن تنفيذ أقصى هو أكبر من طول جدول التخصيص الناتج، بحيث يمكن لهذا الإضافة الزمنية أن تضاف إلى الوفر الزمني المجمّع من الفجوات الزمنية لإنتاج مخططات حجز مسبق أكثر مرونة من الحالات السابقة والتي كانت فيها ($Extra = 0$).

نركز في هذا الفصل على أداء الخوارزمية (EWARP) لجهة حجم وتوزيع المقادير الزمنية المضافة إلى كل من مهمات الدفق عند إنتاج مخططات الحجز المسبق المرن، وتأثير هذه

العوامل على أداء الجدول المترفع الذي يقدم جدولة متعددة لكامل الدفق. تم تأجيل هذا الفصل حتى نهاية الأطروحة لأن نتائج العوامل قيد الدراسة والتحليل في هذا الفصل تبرز أهميتها وفعاليتها في أداء ونتائج الجدولة المتعددة (Co-Scheduling)، والتي يقوم بها الجدول المترفع (SERN)، المقدم في الفصل السابق.

1-7 الخلفية

أظهرت الكثير من التجارب والأبحاث ومنها [72]، أن عملية إيجاد فواصل زمنية متزامنة من أجل الحجز المتعدد على موارد متنوعة، وتنتمي إلى مواقع "شبكة" مختلفة لتطبيقات تدفقات الأعمال، غالباً ما تنسم بالفشل نتيجة عدم توافر الفواصل الزمنية في ذات الزمن، أو ضمن السياق والأسبقية المطلوبة لتنفيذ دفق العمل في مورد أو أكثر من الموارد المختارة للتخصيص، أو لعدم توافر النطاقات الشبكية اللازمة لنقل المعلومات المطلوبة بين مهمات الدفق الواحد المترابطة، أو لنقل ملفات الدخل اللازمة لبدء هذا التطبيق.

ومع أن مسألة توافر نطاقات شبكات الاتصال هي ليست من اهتمام هذا البحث، نستطلع في هذا الفصل قدرة معدل المرونة والاسترخاء المقدم من قبل مخططات الحجز المرن على تحسين هذا الواقع؛ عبر زيادة معدلات نجاح الجدولة المتعددة لتدفقات الأعمال في البيئات "الشبكة" واسعة النطاق النفعية والتنافسية. بارومتري الأداء المستهدفة في هذا الفصل هي عدد تدفقات الأعمال التي يمكن لها أن تتجح بالحجز والتنفيذ الكلي من ضمن مجموعة الأعمال المستلمة من قبل الجدول المترفع والمقدمة من قبل المستخدمين والزبائن في النظام.

يفشل تطبيق دفق العمل في إيجاد الفواصل الزمنية المتاحة المتزامنة والتي تنتمي إلى نطاقات متعددة لأسباب عديدة؛ منها ما يتعلق بنسبة المرونة والاسترخاء المضمن في مخططات الحجز المرن التي يستخدمها مفاوض الحجز لإيجاد بدائل الحجز، أو بسبب تغير بارومتري البيئة التنفيذية ذات العلاقة؛ مثل زيادة عدد الزبائن المتنافسين على ذات الفواصل الزمنية، و/أو تغير

الحمل التشغيلي الآني والمستقبلي في كل من الموارد قيد الحجز والتخصيص، و/أو أوقات انشغالية الذروة، والانشغالية المخفضة لهذه الموارد،

لإبراز تأثير أداء الخوارزمية (EWARP) وبارومترياتها المختلفة على مقياس أداء النظام قيد التحليل، وهو معدل نجاح تنفيذ تطبيقات تدفقات الأعمال، نغير من عتبة فشل التطبيق المستخدمة في المجدول المترفع (SERN) والمحددة في الفصل السابق، من (3) محاولات إلى محاولة واحدة. أعتبرت الحالة الأولية للحجز في النظام كالحالة الوحيدة لتحقيق الفشل أو النجاح لهذا التطبيق، ويتم مقارنة معدلات النجاح عند تغيير بارومتري الخوارزمية (EWARP). هذا ما يخفف، وإن كان لا يلغي، من تأثير بارومتري البيئة التنفيذية المستخدمة في المحاكاة إلى الحد الأدنى، وهي الناتجة عن العشوائية المستخدمة في توليد الموارد وأعمالها الآنية.

2-7 اختبار الخوارزمية (EWARP) من أجل $(Extra \geq 0)$

نأخذ في الاعتبار، في هذا الجزء من تحليل الأداء، مجموعة من الحالات التي تكون فيها قيم (Extra) أكبر أو تساوي الصفر. تعتبر قيم هذه الإضافة الزمنية لطول جدول التخصيص، كنسب مئوية من طول المجدول الناتج؛ ومن ضمن المجال (0، 15، 30، 50، 70، 100، 125، 150، 200٪). تم اعتماد ثلاثة بارومتري قياس لأداء الخوارزمية (EWARP)؛ وهي نسبة المرونة لمخططات الحجز المرنة الناتجة (Elasticity Ratio) المعطاة في المعادلة (4-26)، ومعدل الوفر الزمني للدفق (Graph Spare Time) والمعطى في المعادلة (4-27)، وكذلك تم قياس نسبة الضيق الزمني للمهمة الواحدة المئوية من مهمات الدفق (Task Spare Time)، أو معدل الوفر الزمني للمهمة المئوي والمعطى بالمعادلة التالية:

$$\text{Task Spare Time \%} = \frac{\text{Task Average Spare Time} \times 100}{\text{Graph Schedule Length}} \quad (1-7)$$

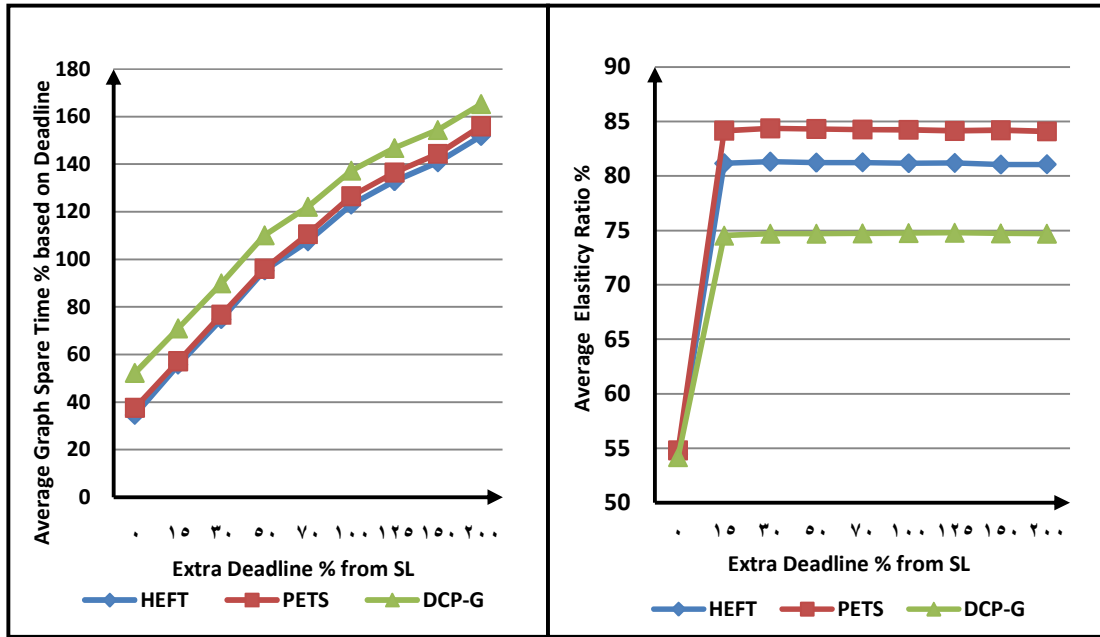
حيث أن الوفر الزمني الوسطي للمهمات (Task Average Spare Time) هو نسبة الوفر الزمني الكلي المحصل على عدد المهمات المرنة في الدفق، والمعطى بالمعادلة:

$$\text{Task Average Spare Time} = \frac{\text{Total Graph Spare Time}}{\text{Graph Elastic Tasks Number}} \quad (2-7)$$

1-2-7 الإستراتيجية الأولى لتوزيع الإضافات الزمنية

تم تعديل الخوارزمية (EWARP) لتستطيع التعامل مع إضافات زمنية هي أكبر من الصفر؛ اعتبرت هذه القيم الإضافية على أنها فجوات إضافية في جدول التخصيص الناتج ولمهمة الخرج في المبيان. هذا التعميم هو واقعي كون المهمات الأخيرة المحصنة على مورد ما والتي لا تكون هي المهمة الخرج في المبيان، تظهر هذا النوع من الفراغات أو الفجوات في جدول التخصيص والتي تستعمل في الخوارزمية الأولية. ويتم خلال الدورات العودية والحسابية في الخوارزمية تقسيم هذه الإضافات الزمنية بين بعض المهمات التي ترتبط بهذه المهمة إن كان ارتباط معطيات، أو ارتباط مورد.

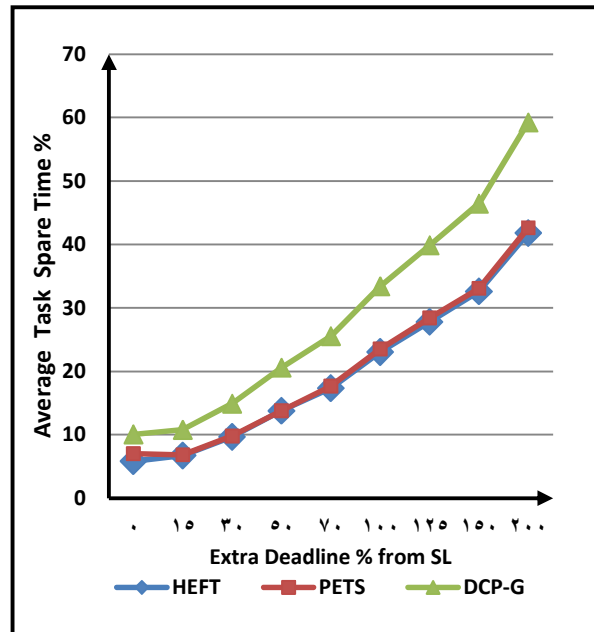
تظهر النتائج المبينة في الشكل (1-7) نتائج مقاييس الأداء الثلاثة قيد الاختبار للخوارزمية (EWARP)، بالمقارنة بين أنواع خوارزميات التخصيص الثلاث المستخدمة من بداية هذا البحث وهي (HEFT) [80]، و (PETS) [87]، و (DCP-G) [88]. ويظهر الشكل (a-1-7) أن خوارزمية التخصيص (PETS) تنتج العدد الأكبر من المهمات المرنة في مخططات الحجز المسبق المولدة؛ وهذه النتيجة لا تنطبق مع ما تم الحصول عليه من نتائج في الشكل (a-16-4) من الفصل الرابع لهذه الأطروحة، والذي كانت فيه الخوارزمية (PETS) تعطي أدنى النتائج من أجل الإضافات الزمنية المساوية للصفر ولكامل مجال نسبة تعقيد الدفق. كذلك، يبين الشكل (7-b-1) تعاكس هذه النتائج مع النتائج المقدمة في الشكل (a-18-4)؛ فتعطي الخوارزمية (PETS) أكبر معدلات الوفر الزمني الكلي للدفق عندما تكون الإضافات الزمنية مساوية للصفر. وعلى عكس ذلك، وعند استخدام الإضافات الزمنية وبحسب إستراتيجية التوزيع هذه تكون الخوارزمية (DCP-G) هي الأكثر تحصيلاً للوفر الزمني لكامل الدفق.



(b) - الوفر الزمني لكامل الدفق

(a) - نسبة المرونة في الدفق

(c) - نسبة الوفر الوسطي للمهمة



الشكل (7-1): اختبار توزيع الإضافات الزمنية للخوارزمية (EWARP) ولمقاييس الأداء الثلاث بحسب إستراتيجية التوزيع الأولى.

تتوافق نتائج (c-1-7) مع نتائج الشكل (b-1-7)؛ وذلك لأن الشكل (a-1-7) يبيّن أن هذه الخوارزمية (DCP-G) تعطي أقل عدد للمهمات المرنة؛ وبالتالي قيمة الوفر الزمني الكلي الوسطية لكل منها من سيكون أعلى من مثيلاتها في الخوارزميتين الأخريتين.

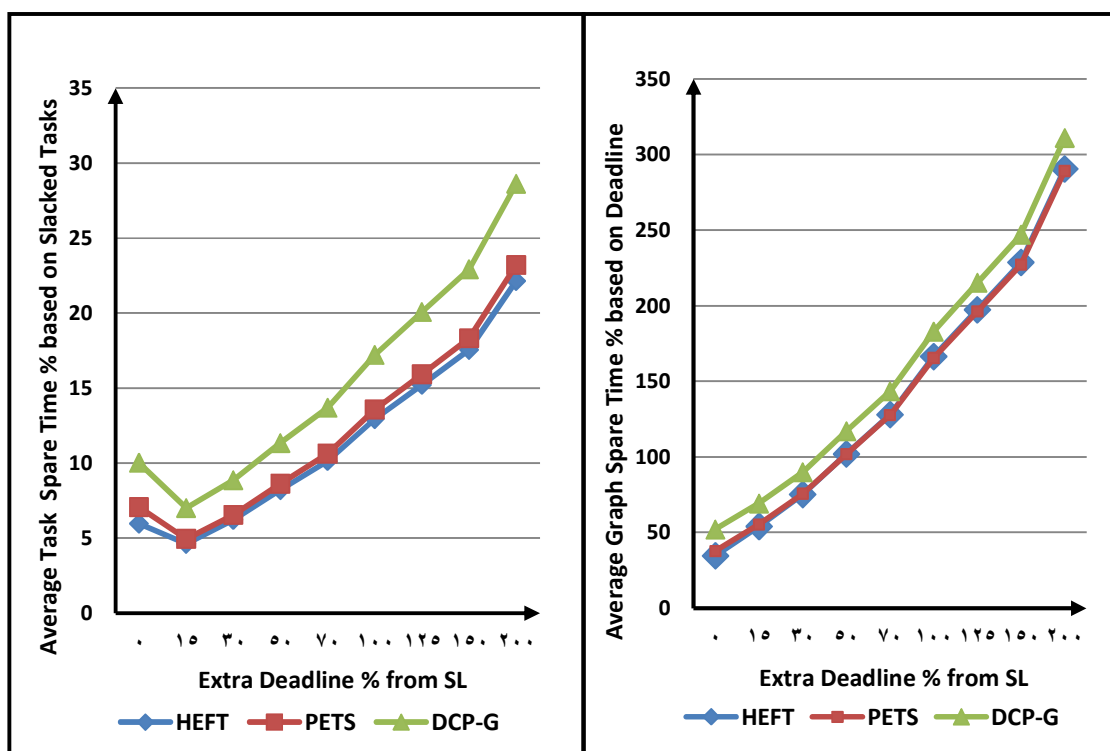
تدلّ هذه النتائج على أن طريقة توزيع الزمن الإضافي المعتبر كفجوة زمنية للمهمة الخرج، في كل من خوارزميتي (HEFT)، و (DCP-G) هي غير أمثلية في هذه الحالة، حيث كلتا هاتان الخوارزميتان تعتمدان على مبدأ تصغير المسار الحرج فيهما. وأكثر من ذلك، تكون الخوارزمية (DCP-G) هي ذات الأداء الأسوأ لمقياس نسبة مرونة الدفع في هذه الحالة، وتكون لها أفضل النتائج لجهة مقياسي الأداء نسبة الوفر الزمني لكامل الدفع، ونسبة الوفر الزمني الوسطي لكل مهمة.

2-2-7 الإستراتيجية الثانية لتوزيع الإضافات الزمنية

للتأكد من أن طريقة التوزيع هي غير مثالية في إستراتيجية التوزيع الأولى، والتي تعتمد على اعتبار الإضافة الزمنية هي فجوة زمنية في جدول التخصيص للمهمة الخرج في المبيان، قمنا بتعديل هذه الإستراتيجية ليكون التوزيع أكثر عدلاً بين كامل المهمات في الدفع. تم استنتاج هذا التعديل من الشكل (a-1-7) والذي يبيّن أنه مع الإضافات الزمنية للمجدول فإن النسبة المئوية الوسطية ولكافة أنواع خوارزميات الجدولة ليست أعظمية دائماً؛ أي لا تساوي (100%). هذا يعني أنه ومع الإضافات الزمنية لكامل الدفع، هناك مهمات تبقى أقل حظاً من غيرها، ولا يوزّع عليها أي من هذه الإضافات.

تعتمد الإستراتيجية الثانية على التوزيع المتساوي للإضافات الزمنية على كافة مهمات الدفع؛ ونستعمل لذلك إجرائية توزيع عوديه تضيف الزمن الإضافي لكل من مهمات الدفع وبالتساوي، وتعّدّل في نفس الوقت من زمن حجز بداية، ونهاية كل مهمة منها. في المرحلة الثانية من الإستراتيجية تبدأ عملية استقصاء الفجوات الزمنية وإضافاتها أيضاً بذات طريقة عمل الخوارزمية (EWARP). يبيّن الشكل (2-7) نتائج استخدام إستراتيجية توزيع الزمن الإضافي

الثانية على تطبيق الخوارزمية (EWARP) ولبارومترات قياس الأداء الثلاث ذاتها سابقة الذكر. أهملت نسبة المرونة المئوية للدفق من الشكل (7-2)، لكون جميع خوارزميات التحصيل ولكامل الإضافات تعطي نسبة مرونة كاملة (100%) في هذه الحالة.



(a) – معدل الوفر الزمني لكامل الدفق

(b) – معدل الوفر الزمني الوسطي للمهمة

الشكل (7-2): نتائج الإستراتيجية الثانية لتوزيع الزمن الإضافي على خوارزميات التحصيل الثلاث ولبارومتري مقياس الأداء.

على الرغم من تشابه نتائج الأداء لهذه الحالة مع نتائج توزيع الزمن الإضافي في الإستراتيجية الأولى، وتفوق أداء خوارزمية التحصيل (DCP-G) على الأخريات، ولكن من المهم ملاحظة أن شكل المنحنيات قد تغير؛ فبينما تعطي إستراتيجية التوزيع الأولى منحنى وفر زمني كلي يشابه المنحنى الأسّي وتبدأ فيه معدلات الزيادة بالثبات عند نسب الإضافات الكبيرة، تعطي الإستراتيجية الثانية منحنى أسّي سالب لمعدل الوفر الزمني الكلي للدفق؛ وبالتالي تستطيع إستراتيجية التوزيع الثانية إبقاء هذا المعدل بازياد مع زيادة الإضافات الزمنية. بالإضافة،

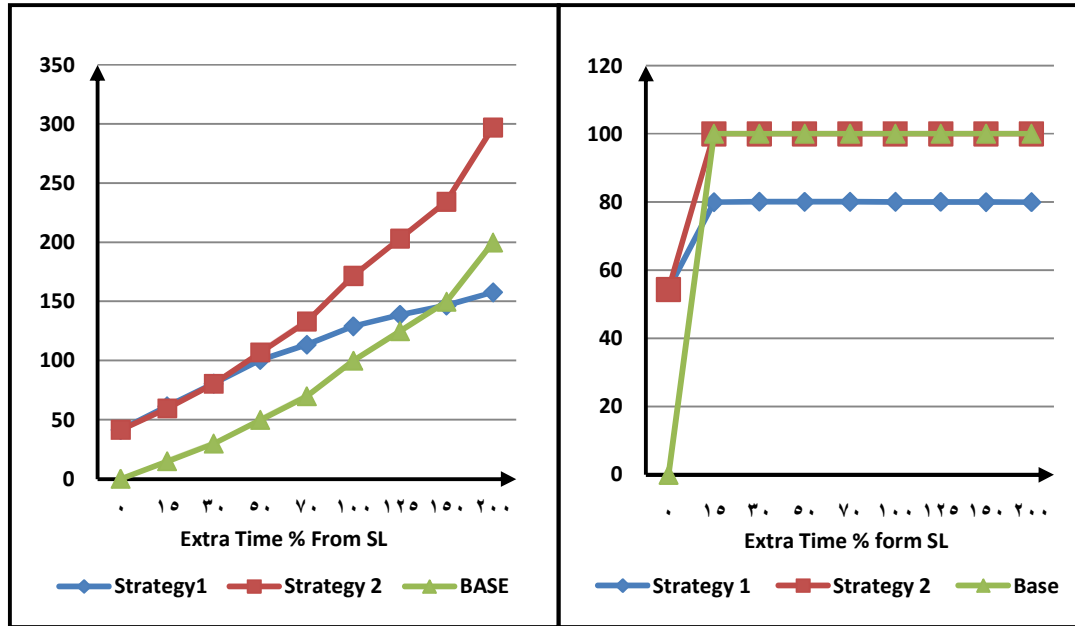
وعبر مقارنة قيم الوفر الزمني الكلي لكلتا الإستراتيجيتين نرى أنه قد تضاعف تقريباً بالقيمة، مما يعني قدرة إستراتيجية التوزيع الثانية على تحصيل وفراً زمنياً أعلى من الإستراتيجية الأولى ولنفس قيم الإضافات الزمنية. ولكن يتناقص مقدار الوفر الزمني الوسطي للمهمة الواحدة بمقدار النصف في الإستراتيجية الثانية عن الأولى وذلك بسبب ازدياد عدد المهمات المرنة في مخطط الحجز الناتج ليصبح كامل المرونة، وبحسب المعادلة (7-1).

7-2-3 مقارنة أداء إستراتيجيتي توزيع الزمن الإضافي

في الجزء الثاني من تقييم الأداء لكلتا الإستراتيجيتين، تمت مقارنة نتائجهما مع بعضهما البعض وملتوسط نتائج كافة أنواع خوارزميات الجدولة المستعملة. كذلك تم استعمال نتائج التوزيع المتساوي للإضافة الزمنية (Extra)، ومن دون احتساب وإضافة الفجوات الزمنية الناتجة في مجداولات التخصيص، كمعيار قياسي لتقييم أداء كلتا إستراتيجيتي توزيع الزمن الإضافي، وتبيان مدى أهمية إضافة الفجوات الزمنية إلى مخططات الحجز المرنة المولدة. نفذت المحاكاة لثلاث مرات وأخذت النتائج المتوسطة في النتائج النهائية.

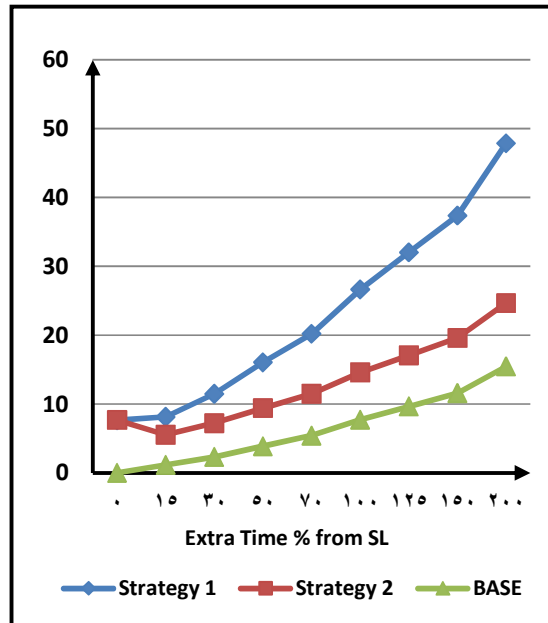
يبين الشكل (7-3) النتائج العامة لأداء الإستراتيجيتين في التحليل بالمقارنة مع المقياس المعياري للإضافة الزمنية دون احتساب الفجوات الزمنية المنتجة في مجداول التخصيص. ويوضح الشكل (7-3-b) تفوق إستراتيجية التوزيع الثانية على الأولى، وبالأخص عند قيم الإضافات الزمنية العالية؛ والأهم في هذه الشكل هو أن الإستراتيجية الثانية تعطي منحنيّاً مطابقاً تقريباً للمنحي المقياس مع إزاحة إضافية إلى الأعلى تمثل أن قيم الفجوات الزمنية المحصّلة تزداد بازدياد الإضافة الزمنية.

هذا يوضح قدرة الإستراتيجية الثانية على تقديم استمثال عالي لتحصيل الوفورات الزمنية في مجداولات التخصيص الناتجة ذات الإضافات الزمنية.



(b) - معدل الوفر الزمني لكامل الدفق

(a) - نسبة الوفر الزمني (Elasticity Ratio)



(c) - معدل الوفر الزمني الوسطي للمهمة

الشكل (7-3): مقارنة أداء إستراتيجيتي توزيع الزمن الإضافي بالاعتماد على معيار التوزيع المتساوي للزمن بين كافة مهمات الدفق.

إما الشكل (7-3-c) يبين بوضوح أن الوفر الزمني الواسطي للمهمة هو الأعلى في إستراتيجية التوزيع الأولى؛ ولكن مرة أخرى هذا بسبب أن عدد المهمات المرنة هو أقل من الإستراتيجية الثانية. كافة المنحنيات المقدمة في الشكل (7-3) تبين فائدة استخدام الفجوات الزمنية المنتجة في مجدولات التخصيص لتحسين نسبة الوفر الزمني للمهمة، ولكامل الدفق.

7-3-3 تقييم عمل إستراتيجيتي توزيع الزمن الإضافي في المجدول المترفع (SERN)

لمعرفة وتحليل تأثير نتائج الخوارزمية (EWARP) باستخدام إستراتيجيتي توزيع الزمن الإضافي على أداء المجدولات المترفعة وبالأخص المجدول المترفع ذو البنية الهجينة (SERN)، نطبق نتائج إستراتيجيتي توزيع الزمن الإضافي كدخل للمجدول المترفع ضمن محاكاة تمثل بيئة "شبكة" تنافسية واسعة النطاق.

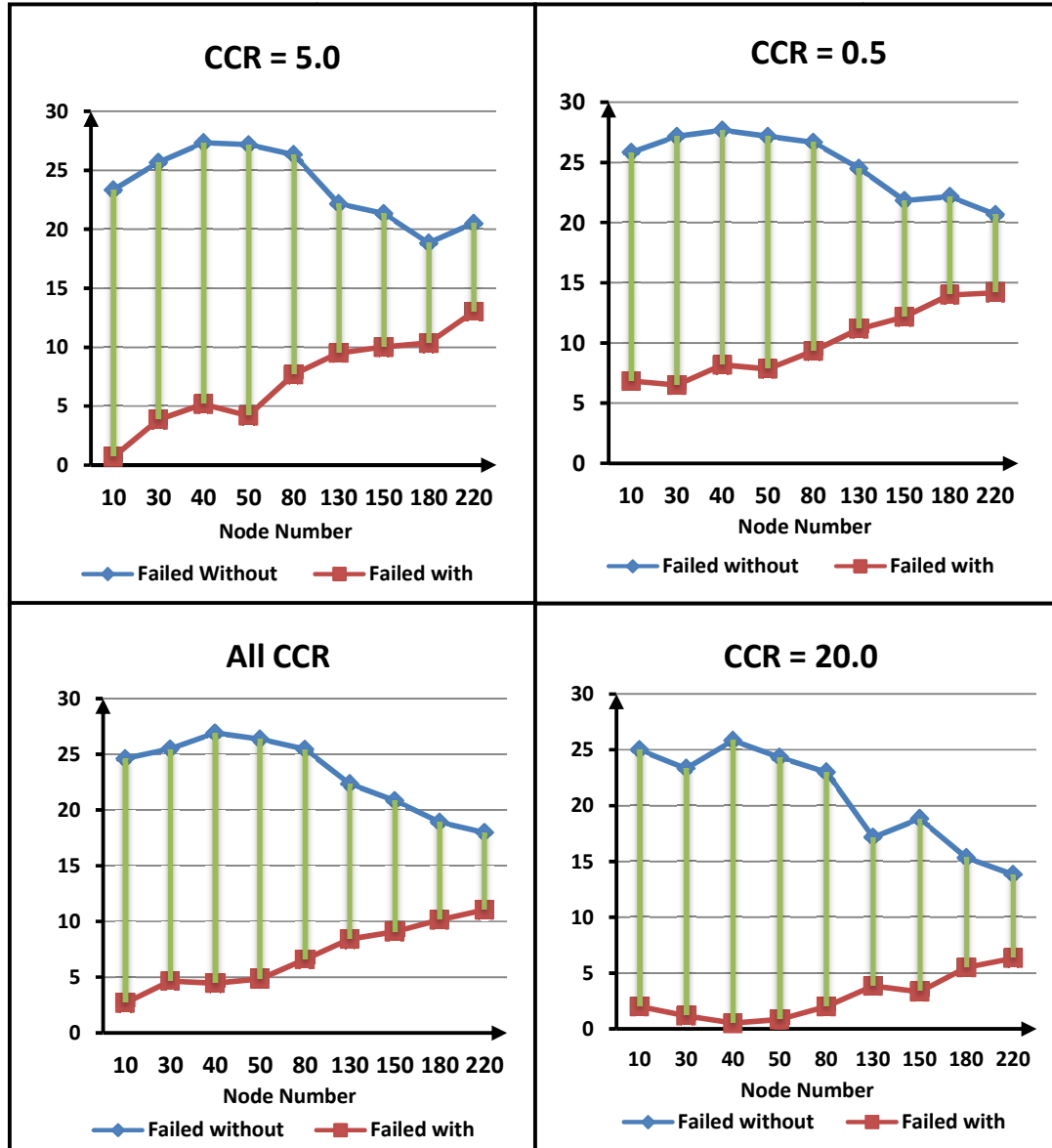
معيار الأداء المعتمد هنا هو عدد تدفقات الأعمال الكلية الناجحة وباستخدام الحالة الأسوأ؛ وهي أن نجاحات كافة المهمات هي غير قابلة للتجزئة (Atomic)، وفي حال فشل مهمة واحدة من الدفق يعتبر كامل الدفق فاشلاً. بنيت المحاكاة باستخدام التصميم المسبق للمجدول المترفع وكافة المركبات الأخرى المتعلقة والمفصلة في الفصول السابقة. تم اعتبار أن عدد الموارد المتوازية المتوفرة الأعظمي في النظام هو خمسة موارد، لتكثيف التنافسية بين التطبيقات المستلمة على هذه الموارد وإبراز أثر مخططات الحجز المسبق المرنة.

7-3-1 تقييم عمل إستراتيجية التوزيع الثانية العملي

في هذا الجزء من التقييم نستعمل خرج إستراتيجية التوزيع الثانية كدخل للمجدول المترفع (SERN)، لتقييم أداء الإستراتيجية العملي في بيئة تنفيذية تحاكي البيئات العملية الواقعية.

تم لحظ قيمتين أساسيتين من قيم الإضافة الزمنية في هذا الجزء من التحليل؛ وهما القيمتان (15%)، و(50%)، والتي يمكن اعتبارهما كقيمتي معيار متوسطي أدنى وأعلى من ضمن

المجال المختبر، مع تغيير تعقيد التدفقات (عدد مهمات الدفع)، وكذلك تغيير نسبة الاتصال إلى الحساب (CCR).

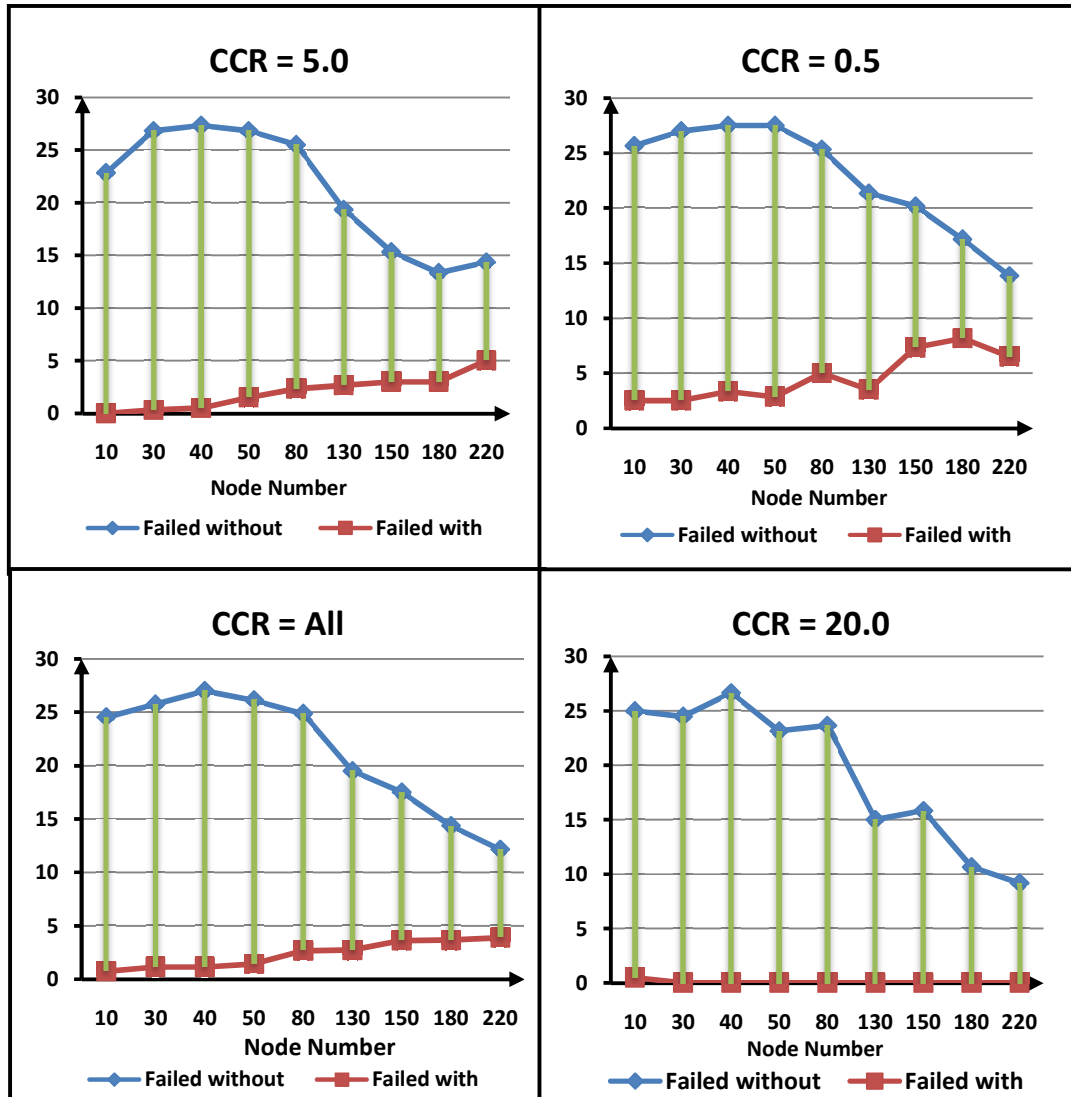


الشكل (4-7): عدد تدفقات الأعمال غير الناجحة عند استخدام وعدم استخدام إستراتيجية التوزيع الثانية كدخل للمجدول المترفع (SERN)، ولقيم (CCR) مختلفة، وعند (Extra = 15%).

يبين الشكل (4-7) معدلات انخفاض عدد تدفقات الأعمال غير الناجحة عند استخدام مخططات الحجز المرنة المولدة عبر إستراتيجية التوزيع الثانية. ونلاحظ أن استخدام مخططات الحجز المرنة والمولدة عبر إستراتيجية التوزيع الثانية تعطي انخفاضاً مهماً في عدد التدفقات التي لا تتجح في البيئات "الشبكية" واسعة النطاق.

يتحسن أداء الجدول المترفع عند ارتفاع قيمة البارومتر (CCR) دون استخدام مخططات الحجز المرنة وهو ما يوضحه الشكل (4-7) عند القيمة (CCR = 20)؛ ولكن مع ذلك تتمكّن مخططات الحجز المرنة من تحسين هذا الأداء بشكل إضافي. تنخفض قيمة التحسين باستخدام مخططات الحجز المرنة المولدة عبر إستراتيجية التوزيع الثانية عند عدد المهمات العالي ونلاحظ تناقص قيمة أعمدة الانخفاض المطلقة (Drop/Down Bars) ولكافة قيم (CCR). ولكن من المهم ملاحظة انخفاض عدد التدفقات غير الناجحة دون استخدام مخططات الحجز المرنة عند التدفقات ذات الأعداد الكبيرة؛ ويمكن تفسير ذلك أيضاً بازدياد طول المجدولات الكلية مما يعطي فرصة زمنية أكبر للموارد لتنظيم الحجوزات الكلية على أرتالها الداخلية.

يبين الشكل (5-7) ذات النتائج المقدمة في الشكل (4-7)؛ ولكن عند الإضافة الزمنية المساوية إلى (50%) من طول الجدول الأساسي، (Extra = 50%). توضح المنحنيات في الشكل (7-5) ازدياد طول أعمدة الانخفاض، والتي هي المؤشر الرئيسي لتحسين الأداء باستخدام مخططات الحجز المرنة بازدياد قيمة الإضافة الزمنية من (15%) إلى (50%). ونلاحظ أن هذا التحسين يزداد بازدياد النسبة (CCR)، إلى أن يصل عدد تدفقات الأعمال غير الناجحة من أجل قيمة (CCR = 20) إلى قيم تقارب الصفر. هذا الشكل يوضح أن الإضافات الزمنية التي تصل إلى (50%) من طول الجدول الأساسي والمستخدم في توليد مخططات الحجز المسبقة عبر إستراتيجية توزيع الزمن الإضافي الثانية، تمكّن الجدول المترفع من تقديم أداء أمثلي لتطبيقات تدفقات الأعمال في البيئات "الشبكية"، وبالأخص ذات قيم (CCR) العالية.

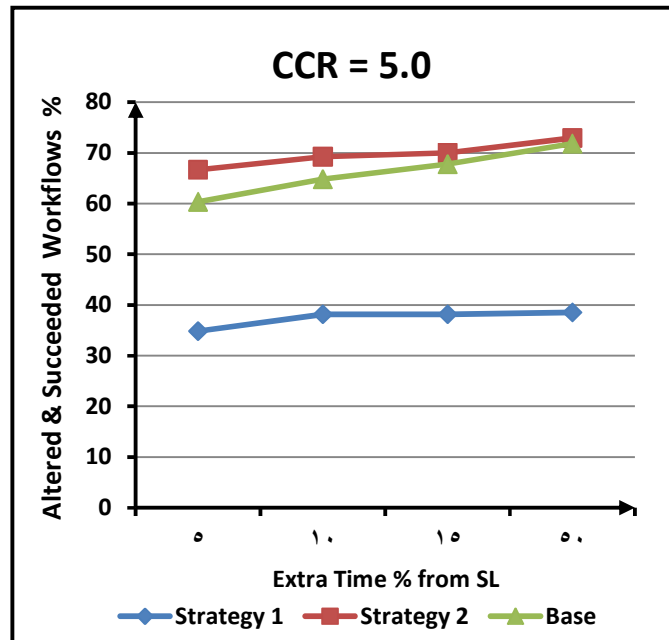


الشكل (5-7): عدد تدفقات الأعمال غير الناجحة عند استخدام وعدم استخدام إستراتيجية التوزيع الثانية كدخل للمجدول المترفع (SERN)، ولقيم (CCR) مختلفة، وعند (Extra = 50%).

2-3-7 مقارنة أداء إستراتيجيتي التوزيع في المجدول المترفع (SERN)

تمكنا وعبر المقارنات السابقة من تقييم أداء إستراتيجية توزيع الزمن الإضافي الثانية عند اختبارها في البيئات التي تحاكي البيئات "الشبكية" العملية. وبيّنت النتائج أن القيم العظمى للإضافات الزمنية التي تحقق أداء أمثلًا تقارب القيمة (50%)؛ هذا ما استدعى تغيير مجال

الإضافات الزمنية ليصبح أكثر دقة في مجال مقارنة نتائج إستراتيجيتي توزيع الزمن الإضافي مع المعيار القياسي للإضافات الزمنية المستخدم مسبقاً؛ ولكن أيضاً بعد اختبار مخططات الزمنية المولدة عبر الاستراتيجيات الثلاث كدخل للمجدول المترفع في المحاكاة المصممة لذلك. استخدمنا قيم الإضافات الزمنية من المجال (5%، 10%، 15%، 50%) من طول المجدول الأساسي. وثبتت قيمة نسبة الاتصال إلى الحساب في التدفقات الأصلية على القيمة الوسطية ($CCR = 5.0$). يبين الشكل (6-7) نتائج الأداء المتمثلة بالنسبة المئوية لعدد التدفقات الناجحة عند استخدام مخططات الحجز المرن المولدة عبر كل من الاستراتيجيات الثلاث. هذا الشكل يوضح تفوق المعيار القياسي للإضافات الزمنية في مخططات الحجز المرن على إستراتيجية توزيع الزمن الإضافي الأولى وبقية هي ليست بضئيلة؛ على الرغم من أن الشكل (b-3-7) يوضح أن الوفر الزمني المحصل عبر استراتيجيه التوزيع الأولى هو أعلى من المعيار القياسي، بينما يوضح الشكل (a-3-7) أن المعيار القياسي يقدم نسبة مرونة في مخططات الحجز الناتجة أكبر من الإستراتيجية الأولى ولكافة قيم الإضافات الزمنية ما عدا القيمة صفر.



الشكل (6-7): مقارنة إستراتيجيات توزيع الإضافات الزمنية عند استخدامها كدخل للمجدول المترفع (SERN)، وعند قيمة ($CCR = 5.0$).

يثبت الشكل (6-7) أن أداء المجدولات المترفّعة لتنفيذ تطبيقات تدفقات الأعمال تتعلق بنسبة مرونة مخططات الحجز المرن أكثر من معدل الوفر الزمني المحصّلة في الدفع، أو في كل مهمة من مهمات الدفع على حدا.

من جهة أخرى، يبيّن هذا الشكل تقارب قيم أداء إستراتيجية التوزيع الثانية مع المعيار القياسي لجهة النسبة المئوية لعدد تدفقات الأعمال الناجحة؛ وهذا يوضّح أن أهمية الفجوات الزمنية المحصّلة عبر خوارزمية (EWARP) تتناقص في الأهمية عند الإضافات الزمنية الكبير على المجدولات الناتجة الأساسية؛ أي عند أزمنة التنفيذ الأقصى الواسعة (Large)؛ بينما تبرز أهمية استخدام الفجوات الزمنية المتواجدة في المجدولات عند أزمنة التنفيذ الأقصى الضيق وهي الحالات الأكثر صعوبة في البيئات الموزعة واسعة النطاق العملية والواقعية.

4-7 اختبار تأثير عدد الموارد الأعظمي في استراتيجيات التوزيع

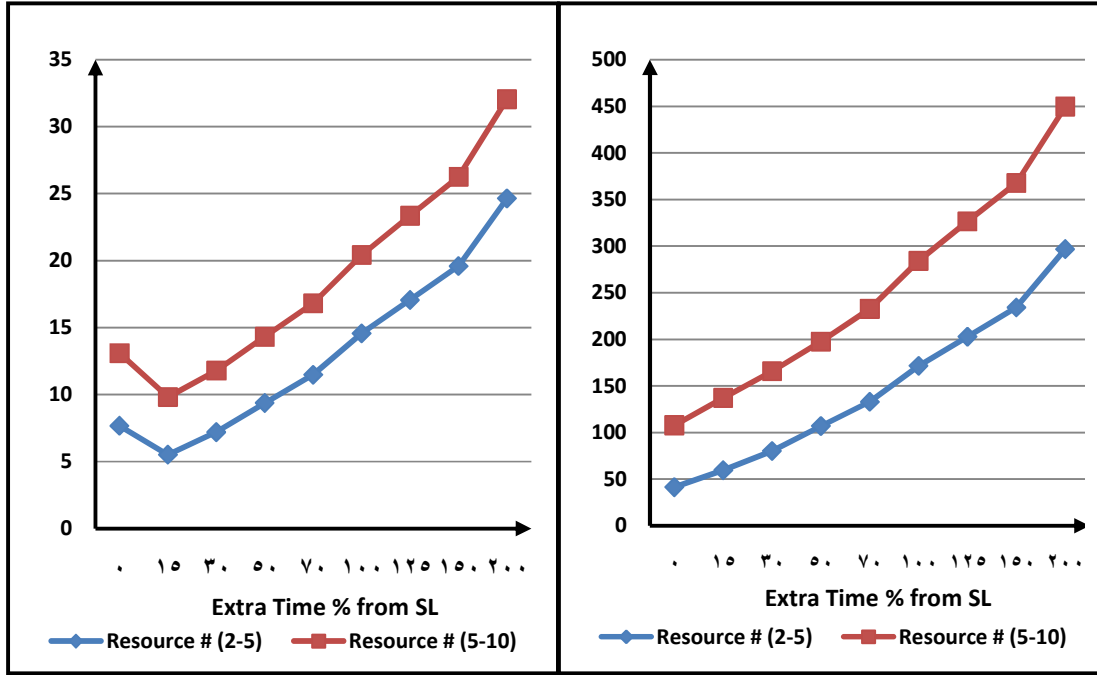
في هذا الجزء من اختبار استراتيجيات توزيع الزمن الإضافي في مولّدات مخططات الحجز المرن، استخدمنا عدد موارد مضاعف عن التجاري السابقة؛ ويتراوح بين القيمتين الصغرى والعظمى وهما (5-10) موارد في خوارزمية توليد الموارد المتوافرة في النظام؛ الهدف من هذا الاختبار تقييم تأثير عدد الموارد الزائد على إنتاج فجوات زمنية قد تكون أكبر من الحالة السابقة.

1-4-7 أداء الخوارزمية (EWARP) بحسب عدد الموارد المتوافرة

تم اختبار أداء إستراتيجية توزيع الزمن الإضافي الثانية فقط لكون النتائج السابقة أثبتت تفوقها على إستراتيجية توزيع الزمن الإضافي الأولى.

يبيّن الشكل (7-7) نتائج المقارنة لمقاييس الأداء النسبة المئوية لمعدل الوفر الزمني الكلي للدفع، والنسبة المئوية للوفر الزمني الواسطي للمهمة الواحدة في كل دفع. تم إهمال إظهار

مقياس نسبة المرونة للدفق، في الشكل (7-7) لكونها تصل إلى القيم العظمى (100%) عند الإضافات الزمنية الأكبر من الصفر في هذه الإستراتيجية.



(b) – معدل الوفر الزمني للهمة الواحدة

(a) – معدل الوفر الزمني لكامل الدفق

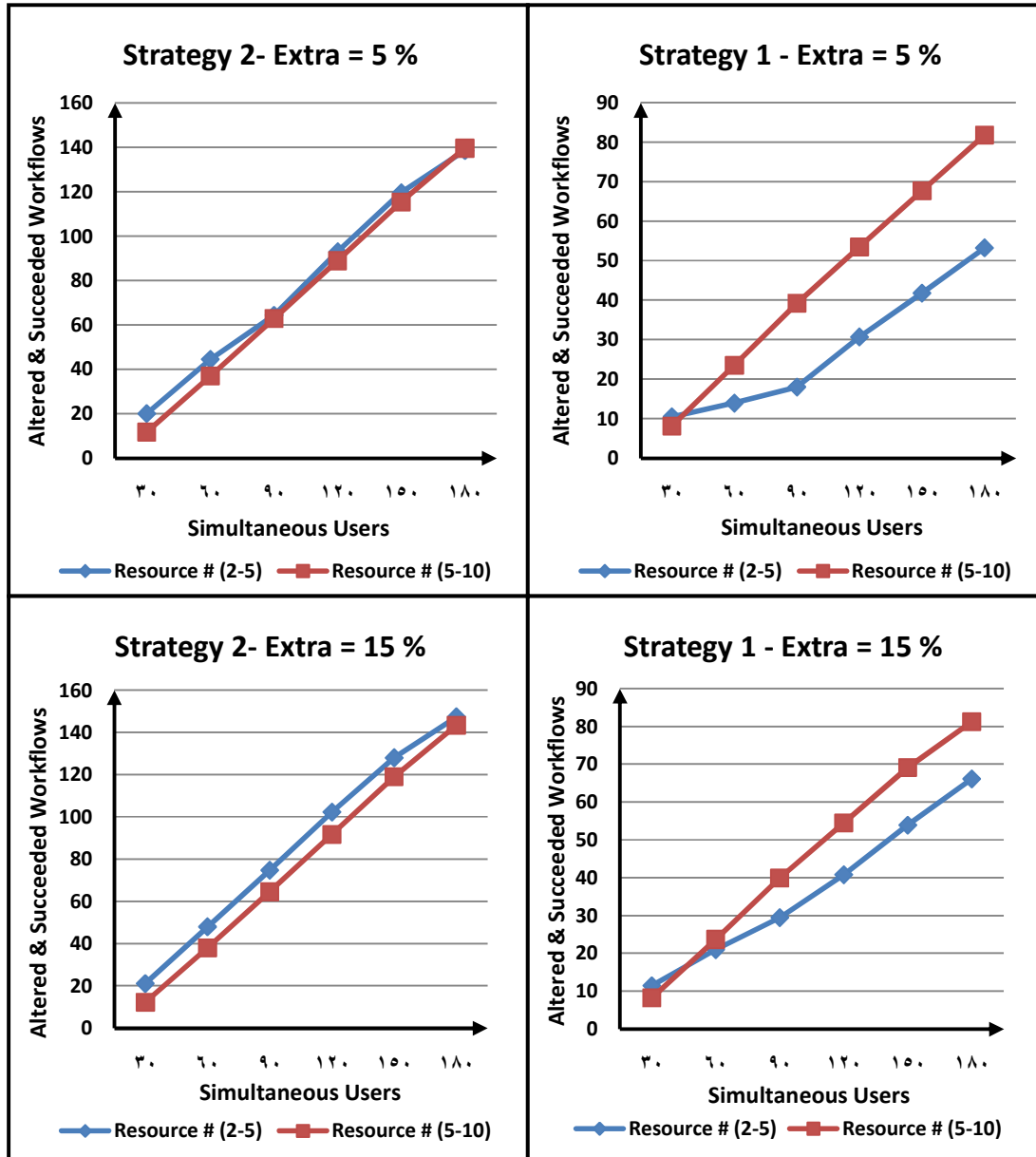
الشكل (7-7): أداء إستراتيجية التوزيع الثانية للخوارزمية (EWARP) عند مضاعفة عدد الموارد.

كما يبيّن الشكل (a-3-7)، مع التتويه أنه عند القيمة (Extra = 0) تعطي حالة الموارد الأعلى قيمة أكبر في نسبة المرونة للدفق تقارب (9.24%).

أما الشكل (a-7-7) يظهر أن مضاعفة الموارد يمكن الخوارزمية (EWARP) من تحصيل وفر زمني كلي للدفق يتجاوز القيمة (450%) من قيمة المجدول الأساسي. كذلك يظهر الشكل (b-7-7) أن ازدياد الموارد يحقق وفراً زمنياً أكبر للهمة الواحدة وذلك لأن معدل المرونة للدفق هو ثابت لكافة قيم الإضافة الزمنية ما عدا القيمة صفر لكلتا الحالتين قيد المقارنة.

2-4-7 أداء المجدول المترفع (SERN) بحسب الموارد المتوافرة

استخدمت مخططات الحجز المرن الناتجة عن الجزء السابق من التقييم كدخل للمجدول المترفع (SERN)، ويبيّن الشكل (7-8) نتائج أداء المجدول المترفع لجهة عدد تدفقات الأعمال المستلمة والمنفّذة بنجاح في بيئة محاكاة "الشبكة".



الشكل (7-8): أداء المجدول المترفع (SERN) باستخدام إستراتيجية توزيع الزمن الإضافي الثانية عند مضاعفة عدد الموارد المتوافرة في النظام.

اختيرت القيمة ($CCR = 5.0$) لتنفيذ هذه المجموعة من الاختبارات كقيمة وسطية، وتمت مقارنة نتائج إستراتيجيتي توزيع الزمن الإضافي الأولى، والثانية، لعدة قيم من الإضافات الزمنية. ويظهر الشكل (7-8) هذه النتائج لقيم الإضافات الزمنية ذات المقادير ($Extra = 5\%$)، و($Extra = 15\%$). اختبر أداء الجدول المترفع في بيئات ذات تنافسية عالية؛ واختير عدد الزبائن المتنافسين من المجال (30، 60، 90، 120، 150، 180).

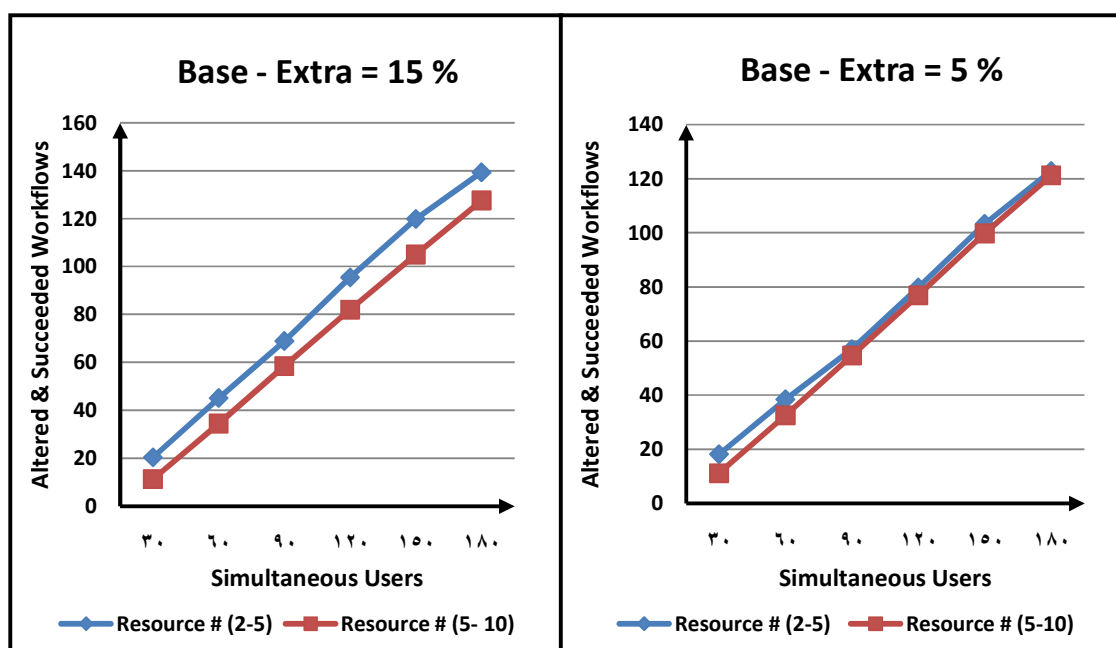
نلاحظ أن إستراتيجية التوزيع الأولى توافق التوقعات بازدياد عدد التدفقات الناجحة بازدياد عدد الموارد؛ وعلى الرغم من أن قيمة هذا الازدياد تتخفض مع ازدياد قيمة الإضافة الزمنية وعند المقدار ($Extra = 15\%$). كذلك تبرز هذه النتائج قدرة كلتا الإستراتيجيتين لتعظيم نتائج الأداء في البيئات عالية التنافس؛ وهو ما تم الإشارة إليه في الفصل الرابع من هذه الأطروحة بالنسبة لإستراتيجية التوزيع الأولى.

ولكن تبرز نتائج استخدام مخططات الحجز المرنة المولدة عبر إستراتيجية توزيع الزمن الإضافي الثانية أن الأداء يكون أسوأ عند مضاعفة الموارد؛ وهذا يظهر بوضوح عند قيمة الإضافة الزمنية ($Extra = 15\%$). للتأكد من هذه النتائج قمنا باستخدام مخططات الحجز المرنة القياسية لتحديد ما إذا كان هذه التصرف هو نتيجة الخوارزمية (EWARP) أو أنه تصرف أكثر عمومية.

يبين الشكل (7-9) تطابق نتائج مخططات الحجز المرنة المولدة عبر إستراتيجية توزيع الزمن الإضافي الثانية في الجدول المترفع (SERN)، مع نتائج مخططات الحجز المرن القياسية المستخدمة مسبقاً؛ فهي كذلك تبدي مخططات الحجز المرن ذات تخصيص على الموارد الأقل عدداً تفوقاً على مثيلاتها ذات عدد الموارد المضاعف، ولكافة أعداد المستخدمين المتزامنين المختلفة.

لتحليل هذه النتائج تمت مقارنة طول المجدولات الناتجة بعد الإضافات الزمنية لكل من عدد الموارد المتراوح في المجال (2-5)، وحالة عدد الموارد المتراوحة في المجال (5-10). ويبين

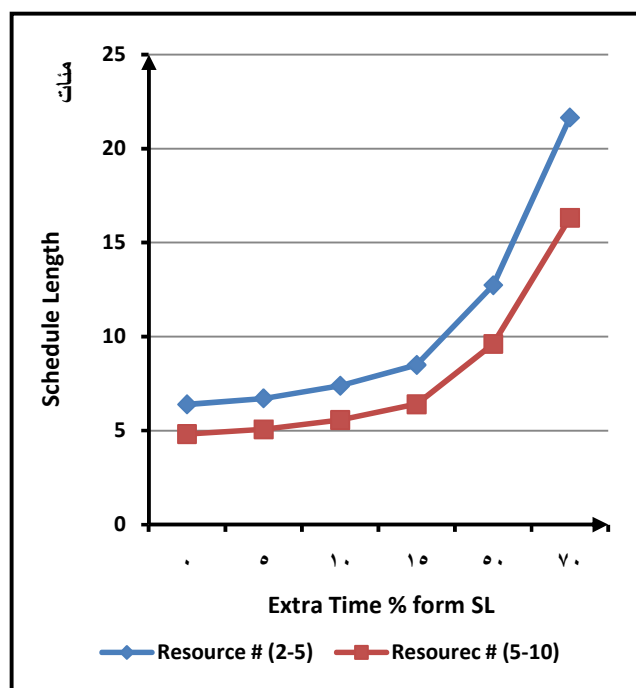
الشكل (7-10) أنه بازدياد عدد الموارد يتناقص طول المجدولات الناتجة. يجدر التنويه إلى أن خوارزميات التخصيص المستخدمة لا تخصص المهمات على جميع الموارد المتوافرة؛ بل وبسبب مشكلة (Max-Min) في المبيانات اللاحقية الموجهة والمقدم زمن التوازي لها في المعادلة (4-3)، تستمثل هذه الخوارزميات المجدول الناتج من جهة طوله؛ ويمكن لها أن تستعمل موارد أقل من المتوافرة.



الشكل (7-9): أداء المجدول المترفع (SERN) باستخدام إستراتيجية توزيع الزمن الإضافي المعياري عند مضاعفة عدد الموارد المتوافرة في النظام.

ومع ذلك تظهر النتائج الموضحة في الشكل (7-10)، وبالنسبة لمجال عدد الموارد المستخدمة في هذه المحاكاة من جهة، وهيكلية المبيانات المستخدمة من عدد مهمات الكلية، ومعدل دخل وخرج المهمات فيها، ونسب (CCR) المستخدمة، من جهة أخرى، أن المجدولات المولدة أو مخططات الحجز المرن يتناقص طولها بازدياد عدد الموارد المستخدمة. يمكن النظر في هذه الحالة إلى مجدولات التخصيص الناتجة على أنها فراغ ثنائي البعد؛ بازدياد طول أحد أضلاعه يتناقص طول ضلعه الآخر لتكون مساحته تقريباً ثابتة.

وقد بيّنت النتائج المقدمة في الفصل الرابع أن الخوارزمية (PETS) لها أطول المجدولات بين خوارزميات التخصيص المستخدمة، وهي أنتجت نسب مرونة الأقل وبالتالي كان أداؤها الأسوأ. هذه النتائج تفتح أبواباً جديدةً لتحليل أداء المجدولات المترفعة بشكل عام، والمجدول المترفع (SERN) المقدم في هذه الأطروحة بشكل خاص، بالنسبة لبارومترات تتعلق بالبيئة التنفيذية مثل عدد الموارد المتوفرة.



الشكل (7-10): طول المجدولات الناتجة عن متوسط خوارزميات التخصيص الثلاث المستخدمة

(HEFT)، و(PETS)، و(DCP-G) لكل من حالي عدد الموارد.

تمكّن البحوث والتجارب الأكثر تعمقاً وتفصيلاً في هذه الحالة من تجميع المعلومات التي تعطي المجدولات المترفعة في البيئات "الشبكية" واسعة النطاق، والنتافسية، القدرة على تحسين عملية التطابق لتحسن مردود النظام بينما تلبي حاجات وشروط كل من طرفي النظام من المستخدمين، ومزودي الموارد.

5-7 ملخص الفصل

قَدِّم هذا الفصل إستراتيجيتين لتوزيع للزمن الإضافي في الحالات ($Extra \geq 0$) ضمن الخوارزمية (EWARP) وقارن بينهما. بيّنت النتائج تفوق الإستراتيجية التوزيع الثانية، والتي تعمل على توزيع أكثر عدلاً للزمن الإضافي على مهمات الدفق، على إستراتيجية التوزيع الأولى التي تعتبر الإضافات الزمنية كفجوات لذيل الدفق (On Tail)، وللمهمة الخرج. وعلى الرغم من أن كلا بارومتري الأداء المستخدمين لتقييم عمل الخوارزمية وهما نسبة مرونة الدفق، ومعدل الوفر الزمني لكامل الدفق يؤثران على أداء مخططات الحجز المرن الناتجة في البيئات "الشبكة" واسعة النطاق التنافسية، بيّنت النتائج المقدمة في هذا الفصل أن بارومتر نسبة مرونة الدفق له تأثيراً أكبر من معدل الوفر الزمني لكامل الدفق. هذه النتيجة هي عند استخدام الجدول المترفع ذو البنية الهجينة (SERN) ولتدفقات الأعمال المترابطة وباعتبار إن حجز وتنفيذ هذه التدفقات هو غير قابل للتجزئة (Atomic). وبذلك يكون من الضروري لضمان نسب تنفيذ ناجح أعلى لتدفقات الأعمال ذات الحجز الفردي لمهامها، أن يكون لكل مهمة فيها فائضاً زمنياً يمكن مفاوض الحجز من توليد حجوزات بديلة آنية تسمح لكامل الدفق بالحجز المسبق والتنفيذ بنجاح.

كذلك بيّنت النتائج المقدمة في هذا الفصل أن الخوارزمية (EWARP)؛ والتي تعتمد على استغلال الفجوات الزمنية في مجداولات التخصيص المنتجة عبر خوارزميات التخصيص المختلفة، تزداد أهميتها في حالات تدفقات الأعمال ذات الزمن الأقصى الضيق (Tight Deadlines)، وكلما ازداد هذا الزمن ضيقاً، وذلك عبر توفيرها بديل عن الزمن الإضافي اللازم لتوليد المخططات المرنة من الفجوات الزمنية المضمنة في المجداولات المنتجة.

أظهر الجزء الأخير من هذا الفصل تأثير بارومترات البيئة التنفيذية العامة على أداء المجداولات المترفعة لجهة عدد تطبيقات تدفقات الأعمال الناجحة في النظام؛ ومنها عدد الموارد المتاحة والمستخدم لتتفيذ هذه الأعمال. بيّنت النتائج أن تقييم تأثير هذه البارومترات ما زال بحاجة إلى المزيد من الأبحاث والتحليل التي يمكن أن تزيد من قدرة النظام على تخمين مقدار أو نسبة

نجاح تنفيذ التطبيقات المستلمة فيه، وبحسب حالته الآنية والمستقبلية مما يسمح له بتحسين إدارة القدرة فيه، وتحسين شروط التفاوض مع التطبيقات المتنافسة على موارده.

الباب الثالث
الخلاصة والآفاق
المستقبلية

8

الخلاصة والآفاق المستقبلية

Conclusion & Future Directions

1-8 الخلاصة

تعتبر مسألة ضمان تنفيذ تدفقات الأعمال ذات قيود جودة خدمة في الأنظمة الموزعة واسعة النطاق التنافسية مسألة بالغة التعقيد؛ وبالأخص لكون الموارد المجمعّة لتنفيذ مثل هذه التطبيقات هي متباعدة وتخضع لسياسات إدارة مستقلة ومختلفة. التحدي الأكبر في تنفيذ مثل هذه التطبيقات ذات المهمات المترابطة، والمتراكبة زمنياً، وذات تسلسل التنفيذ المحدّد، هو ضمان تنفيذها الناجح ضمن الفترة الزمنية المحددة من قبل المستخدمين؛ وهذا ما يتطلب استمثال لسرعة استجابة النظام الموزع والتي ترتبط بشكل مباشر بعملية تأمين قبول سريع للدفق تضمن فيه كافة الحجوزات المسبقة للمهام الجزئية للدفق، وتكون قادرة على إيجاد زمن بداية تنفيذ مشترك.

تتطلب مسألة ضمان تنفيذ تدفقات الأعمال ذات قيود الخدمة في البيئات الموزعة واسعة النطاق، عدداً من التقنيات والحلول الرئيسية؛ من استخدام التخصيص المتعدد، وتقنيات تأمين ضمانات التنفيذ، وضمان قيود جودة الخدمة وبالأخص قيد زمن التنفيذ الأقصى، ومعالجة التنافسية العالية على الموارد المتاحة. بيّنت الدراسة المرجعية المقدمة في الفصل الثالث من هذه الأطروحة أن هذه المسألة ما زالت تحتاج لمزيد من البحث والتجارب وتطوير للأدوات والحلول المستخدمة؛ فمعظم الأبحاث المقدمة تعالج أحد أو عدة نقاط رئيسية لهذه المسألة، ولكنها لا تعالجها جميعها.

قدمت هذه الأطروحة أدوات وحلول جديدة تمكن من إيجاد حلول مبسطة وكفئة لهذه المسألة؛ نستعمل آلية الحجز المسبق لتأمين الحجز المتعدد المولّد عبر التخصيص المتعدد؛ وكذلك يستخدم الحجز المسبق لتأمين ضمانات التنفيذ بدلاً من استخدام سياسات الجهد الأفضل. بالإضافة يسمح الحجز المسبق بالتنفيذ دون تنافسية ويستطيع تأمين زمن التنفيذ الأقصى المطلوب من قبل المستخدمين.

من جهة أخرى، من أبرز مساوئ الحجز المسبق هي تخفيض معدلات استغلالية مزودي الموارد؛ مما يؤثر سلباً على عوائدهم في البيئات النفعية. يستخدم الحجز المسبق المرن لتمكين المجدولات المحلية من استمثال أرتال انتظارها وتحسين معدلات استغلال مواردها، وكذلك لتحسين نتائج إعادة الجدولة. قدمنا توسيعاً لاستخدامات الحجز المسبق المرن بحيث يعمل على إنتاج حجوزات بديلة آنية من مخططات الحجز المرنة المستخدمة، وخلال عملية التفاوض بين إدارة "الشبكة" ومدراء الموارد المحليين، مما سمح لهذه الإدارة من تسريع عملية إتمام كافة حجوزات مهمات الدفع، وبالتالي تأمين قبول سريع وكفاء لتطبيقات تدفقات الأعمال في النظام.

تم تصميم خوارزمية توليد مخططات حجز مرنة جديدة هي (EWARP) [5]، في هذه الأطروحة؛ وبحيث تستخدم مكونات إدارة "الشبكة" مخططات حجز المرنة المولدة عبر هذه الخوارزمية لإنتاج حجوزات مهمات دفع الأعمال قيد القبول، وصولاً لحل عملي يضمن تنفيذ كافة هذه المهمات وبحسب مقيدات الدفع من جهة، وضوابط جودة الخدمة المطلوبة من المستخدمين من جهة أخرى، وفي بيئات تنفيذية موزعة واسعة النطاق، نفعية وذات تنافسية عالية.

صممت الخوارزمية (EWARP) بحيث تعتمد عند إنتاج الحجوزات المرنة، على استغلال الفجوات الزمنية المضمّنة في مجدولات التخصيص الأولية الناتجة عن استخدام خوارزميات تخصيص أمثلية. الهدف الرئيسي للتقانة المستخدمة في هذه الخوارزمية هو توليد مخططات مرنة دون التأثير على المجدول الاستثماري الناتج عن خوارزميات التخصيص؛ أي دون إضافة فترات زمنية على طول المجدول الناتج تلغي استمثاليته الزمنية المولدة. أثبتت النتائج المقدمة

عبر التحليل والمقارنة أهمية هذه الخوارزمية لجهة زيادة نسبة مرونة مخططات الحجز المرنة المولدة، وبالأخص عند طلبات أزمنة تنفيذ الأقصى ضيقة.

كذلك قدّمت هذه الأطروحة تصميماً لعدد من مكونات الإدارة "الشبكية" المترفّعة؛ فقدّمت تصميماً لمفاوض حجز مستقل، سُمّي وكيل الحجز المتعدد المرن (ECRA) [6]، يعمل على التفاعل مع إدارات الموارد المحلية لتأمين حجوزات تدفقات عمل جزئية من دفق العمل الكلي، وبطريقة تضمن قبول سريع لهذه الحجوزات. تشمل عملية تأمين القبول السريع لدفق العمل توليد عدد من المفاوضين وبحسب عدد الموارد المراد تأمين الحجوزات عليها، وكذلك استخدمت سياسة التخصيص (الحجز) الملائم أولاً على هذه الموارد؛ تعمل عملية الحجز المتوازية هذه على تصغير زمن قبول مثل هذه التطبيقات التدفقية.

كذلك تم تصميم جدول مترفّع بسيط وكفاء (SERN) [7]، يستخدم مفاوض الحجز السابق ذكره (ECRA)، والذي يعمل على تأمين الجدولة المتعاونة اللازمة لإنتاج حلّ عملي مشترك بين أجزاء دفق العمل المكوّنة للتطبيق قيد القبول. تم تطوير تصميم هجين لبنية الجدول المترفّع الذي يستخدم مفاوض الحجز، الذي يعمل على استلام تطبيقات تدفقات الأعمال، وينتج مجداول التخصيص اللازمة، ومن ثم يقوم بعملية التفاوض والحجز مع مزودي الموارد عبر وكيل الحجز المتعدد المرن (ECRA)، الذي يؤمن حجوزات بديلة آنية عند التفاوض لتفادي التنافسية، وتخفيض معدلات رفض مزودي الموارد لطلبات الحجز.

تسمح بنية الجدول المترفّع الهجينة ما بين البنية المركزية، والبنية اللامركزية الموزعة، تسمح له بأن يتمتع بمميزات كل من النموذجين؛ تأمين التنسيق العالي المطلوب لتحقيق الجدولة المتعددة اللازمة في تدفقات الأعمال مترابطة البنية، وتوزيع العمل على عدة مفاوضي حجز لتسريع عملية قبول الدفق وبالتالي تخفيض زمن الاستجابة الكلي له. أثبتت النتائج المقدمة في هذه الأطروحة تمكّن الحجز المسبق المرن من زيادة سرعة الاستجابة، وكذلك من زيادة معدلات استغلالية الموارد عبر استخدام الجدول المترفّع (SERN) المقترح. كذلك بيّنت قدرة

المجدول المترفع وبمساعدة مخططات الحجز المرنة المولدة من الخوارزمية (EWARP) على زيادة عدد تدفقات الأعمال الناجحة في مثل هذه البيئات التنافسية الموزعة واسعة النطاق. مكن المجدول المترفع المصمم من اختبار مخططات الحجز المرنة المولدة من الخوارزمية (EWARP)، في بيئة تنفيذ "شبكة" ذات إدارة مترفعة. بيّنت هذه الاختبارات إمكانيات التطوير المحتملة للخوارزمية (EWARP). تم اقتراح استراتيجيات توزيع جديدة ومختلفة للفجوات الزمنية الموجودة في مجداول التخصيص الأولية، كذلك تم اختبار أداء هذه الخوارزمية والاستراتيجيات المختلفة المستخدمة في حالة توافر إضافات زمنية على المجدول ($Extra \geq 0$) على كل من زمن استجابة تطبيقات تدفقات الأعمال واستغلالية الموارد في البيئة التنفيذية المولدة عبر المحاكاة.

كافة الحلول والخوارزميات المقدمة في هذه الأطروحة تم اختبارها وتقييمها عبر المحاكاة وذلك لقلة المعلومات الموجودة في "الشبكات" الحقيقية عن الأنظمة الممكنة من الحجز المسبق وبالأخص المرن، وصعوبة اختبار هذه الحلول على البيئات "الشبكة" الحقيقية. لذلك تم تصميم وتطوير بيئات محاكاة تعمل على توليد تطبيقات تدفقات أعمال عشوائية وبحسب بارومترات محددة وتوليد موارد متاحة مختلفة ومنوعة ذات أحمال تشغيلية عشوائية مختلفة. تم استخدام أداة المحاكاة (GridSim) [92]، [93]، التي تسمح بتصميم بيئة تنفيذية "شبكة" عملية، وتمتدج المواد المتاحة وبحسب مولد الموارد المستخدم. كذلك تسمح أداة المحاكاة هذه باختبار خوارزميات التخصيص والحجز وتحقيق المجدول المترفع المقدم في هذه الأطروحة.

2-8 الآفاق المستقبلية

تعتبر إدارة الموارد الموزعة من أكثر المهام تعقيداً وأهمية في الأنظمة الموزعة واسعة النطاق "كالشبكة"؛ تم التركيز في هذه الأطروحة على تحليل وتطوير الحلول لبعض هذه المهام مثل تخطيط الحجز المسبق والجدولة المتعاونة لتطبيقات تدفقات الأعمال. ولكن تبقى عدة مواضيع بحثية متعلقة بالإدارة المترفعة في "الشبكة"، والتي لم يتم التطرق إليها، للأبحاث والتجارب

المستقبلية مثل خوارزميات وتقنيات اكتشاف الموارد في "الشبكة"، وتوفير المعلومات عن متاحيتها، وخوارزميات اختيار الأنسب بين هذه الموارد المتاحة الموارد، والتي تعظم من نفعية أحد، أو كلا طرفي النظام.

الخوارزميات المستخدمة هنا تعمل على اختيار الموارد الأفضل لتنفيذ متطلبات المستخدمين؛ ونقصد بالأفضل الموارد الأكثر كفاءة. في الأنظمة النفعية، هذا قد لا يكون الخيار الدائم والمستحب لأطراف النظام؛ فقد يطلب المستخدمون الاستمثال الممكن لكلفة استجرار قدرات الموارد، أي تصغير الكلفة قدر المكان؛ أو يطلب مزودو الموارد تعظيم العوائد المالية الناتجة عن تقديمهم الخدمات في هذا النظام، أو يكون على النظام تأمين كلا أهداف المستخدمين، ومزودي الموارد. لهذا يكون على النظام استخدام إدارة للعوائد (Revenue Management) في مثل هذه الأنظمة، والمعتمدة على سياسات السوق الاقتصادية الحرة مثل العرض والطلب؛ بحيث تُعنى إدارة العوائد بتقديم السعر المناسب لكل خدمة وللزبائن المختلفين، وتعمل على تحديث هذه الأسعار دورياً كاستجابة لمتطلبات السوق. هذا يسمح لمزودي الموارد باستخدام تقنيات إدارة عوائد تزيح طلبات المستخدمين الذين لديهم هاجس الكلفة إلى أوقات خارج الذروة مثلاً؛ لتأمين متاحة موارد أكبر لمستخدمين لديهم ضوابط زمنية قصوى ضيقة على تنفيذ تطبيقاتهم، ومستعدون لتحمل ودفع كلف أعلى للتنفيذ مقابل هذه الميزات. وهذا ما يتطلب عادة مبادلة بين نوعية الموارد المختارة من قبل الجدول المترفع وكلفة هذه الموارد. يحتاج تحقيق هذه السياسات النفعية لتعاون وتنسيق بين الجدول المترفع وإدارات الموارد المحلية وهذا يمكن أن يكون من ضمن الأعمال المستقبلية.

كذلك لم تأخذ هذه الأطروحة بعين الاعتبار تأمين نطاقات شبكات الاتصال عند تأمين الموارد؛ تعتبر النطاقات الشبكية موارد موجودة في "الشبكة" تحتاج مثل الموارد الحسابية لمعلومات عن توافرها و متاحيتها الحالية والمستقبلية في حالة الحجز المسبق. يكون على الجدول المترفع تأمين نطاقات شبكات الاتصال اللازمة بين الموارد المختارة؛ وبحيث تؤمن هذه النطاقات نقل كميات المعطيات المطلوبة بين مهمات الدفع، ونقل ملفات الدخل والخرج (Staging) لهذه

التطبيقات. من جهة أخرى، يمكن تحقيق واستخدام خوارزميات اختيار موارد تعمل على استمثال أمكنة توضع الموارد الحسابية بطريقة تصغر من الزمن الكلي، أو من كلفة استجرار هذه الموارد الحسابية، والنطاقات شبكات الاتصال الواصلة بينها، أو كليهما.

أخيراً يحتاج تأثير بارومترات وخصائص البيئة التنفيذية على أداء مدراء الموارد المترفعين في "الشبكة" مثل عدد الموارد المتاحة إلى المزيد من الدراسة، والبحث، والتحليل، وبالأخص عند ارتباطها ببنية إدارة الموارد ومنهجيتها في النظام؛ ويمكن اعتبار هذا الموضوع مجال بحث مفتوح في المستقبل.

المراجع

- [1] I. Foster; *Internet Computing and the Emerging Grid*, Nature, Dec. 7, 2000.
- [2] W. T. Sullivan, III, D. Werthimer, S. Bowyer, J. Cobb, D. Gedye, and D. Anderson; A new major SETI project based on Project Serendip data and 100,000 personal computers, Proceedings of the Fifth International Conference on Bio-astronomy, 1997. <http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>. (accessed June 1st, 2013).
- [3] I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke; *The Anatomy of the Grid: Enabling scalable virtual organizations*. International J. Supercomputer Applications 15(3) (2001).
- [4] I. Foster and C. Kesselman (editors), *The Grid: Blueprint for a Future Computing Infrastructure*, Morgan Kaufmann Publishers, USA, 1999.
- [5] S. Astour, F. Al-Abbas, J. Al-Kheir; *Elastic Workflow Advanced Reservation Planning Algorithm (EWARP)*; Engineering Science Magazine, Damascus University, 2014.
- [6] S. Astour, F. Al-Abbas, J. Al-Kheir; *Enhancing QoS Workflows Performance by Using Elastic Advance Co-Reservations*; Engineering Science Magazine, Damascus University, 2014.
- [7] S. Astour, F. Al-Abbas, J. Al-Kheir; **SERN: Simplified Efficient Reservation Negotiator-based Meta-Scheduler**; International Arab Journal of Information Technology – IAJIT, 2014.
- [8] I. Foster and A. Iamnitchi; *On death, taxes, and the convergence of peer-to-peer and grid computing*, volume 2735 of Lecture Notes in Computer Science, pages 118–128. Springer Berlin /Heidelberg, October 2003. Available online at: <http://www.springerlink.com/index/CTQ1AGJECH3D55M3.pdf> (accessed June 1st, 2013).
- [9] I. Foster. *What is the grid? a three point checklist*. Grid Today, 1(6), July 2002.

- [10] M. Baker, R. Buyya, and D. Laforenza; *The Grid: International Efforts in Global Computing*, International Conference on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Science, and Education on the Internet (SSGRR 2000), l'Aquila, Rome, Italy, July 2000.
- [11] D. De Roure, M. A. Baker, N. R. Jennings, and N. R. Shadbolt; *The evolution of the grid. In Grid Computing -Making the Global Infrastructure a Reality*, pages 65–100. John Wiley and Sons Ltd, 2003.
- [12] FAFNER. <http://www.npac.syr.edu/factoring.html>. (accessed June 1st, 2013).
- [13] Distributed Net. <http://www.distributed.net/>. (accessed June 1st, 2013).
- [14] I. Foster, J. Geisler, W. Nickless, W. Smith, and S. Tuecke; *Software infrastructure for the I-Way high performance distributed computing experiment*. In Proc. 5th IEEE Symposium on High Performance Distributed Computing, pages 562–571, 1997.
- [15] I. Foster and C. Kesselman; *Globus: A meta-computing infrastructure toolkit*. International Journal of Supercomputer Application, 11(2):115–128, 1997. http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0/key/GT4_Primer_0.6.pdf. (accessed June 1st, 2013).
- [16] A. Grimshaw et al; *The legion vision of a worldwide virtual computer*. Communications of the ACM, 40(1):39–45, 1997.
- [17] The Data Grid Project. <http://eu-datagrid.web.cern.ch/>.
- [18] UNICORE Forum. *UNICORE Plus Final Report: Uniform Interface to Computing Resource*. 2003, <http://www.unicore.org/documents/UNICOREPlus-Final-Report.pdf>. (accessed June 1st, 2013).
- [19] Condor Glidein, <http://www.cs.wisc.edu/condor/glidein>. (accessed June 1st, 2013).
- [20] G. Thickins; *Utility Computing: The Next New IT Model*, Darwin Magazine, April 2003.
- [21] K. Czajkowski, I. Foster, N. Karonis, C. Kesselman, S. Martin, W. Smith, S. Tuecke; *A Resource Management Architecture for Meta-computing Systems*.

In: Feitelson, D.G., Rudolph, L. (eds.) IPPS-WS 1998, SPDP-WS 1998, and JSSPP 1998. LNCS, vol. 1459, Pages 62–82. Springer, Heidelberg (1998).

[22] T. Tannenbaum, D. Wright, K. Miller, and M. Livny; *Condor - A Distributed Job Scheduler*, Beowulf Cluster Computing with Linux, The MIT Press, MA, USA, 2002.

[23] I. Foster and C. Kesselman; *The grid: blueprint for a new computing infrastructure*, Series in Computer Architecture and Design, Pages 15-52, Morgan Kaufmann, 2nd edition, December (2003).

[24] Czajkowski, K., Foster, I., Sander, V., Kesselman, C., and Tuecke, S.; *SNAP: A protocol for negotiating service level agreements and coordinating resource management in distributed systems*, in 8th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, Edinburgh, Scotland, 2002.

[25] A. Andrieux, K. Czajkowski, A. Dan, K. Keahey, H. Ludwig, T. Nakata, J. Pruyne, J. Rofrano, S. Tuecke, & M. Xu; *Web Services Agreement Specification (WS-Agreement)*. OGF proposed recommendation (GFD.107), (2007).

[26] A. Keller, and H. Ludwig; *The WSLA framework: specifying and monitoring service level agreements for web services*. Network and Systems Management Special Limitation on E-Business Management, 11(1), Pages 57-81, USA, 2003.

[27] E. Deelman, et al; *Mapping abstract complex workflows onto grid environments*. Journal of Grid Computing 1, 25–39 , 2003.

[28] W. Smith, I. Foster, V. Taylor; *Scheduling with advanced reservations*. In: IPDPS '00: Proceedings of the 14th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, Cancun, Mexico, Pages 127-132, 2000.

[29] A. S. McGough, A. Afzal, J. Darlington, N. Furmento, A. Mayer, L. Young; *Making the grid predictable through reservation and performance modeling*. The Computer Journal 48(3), Pages 358–368, 2005.

[30] M. Wiecek, M. Siddiqui, A. Villazon, R. Prodan, T. Fahringer; *Applying advance reservation to increase predictability of workflow execution on the grid*. In: E-SCIENCE '06: Proceedings of the Second IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing, Washington, DC, USA, Page 82. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, 2006.

- [31] P. Wieder, R. Yahyapour, O. Waldrich, W. Ziegler; *Improving Workflow Execution through SLA-based Advance Reservation*. CoreGRID Technical Report Number TR-0053, December 29, 2006.
- [32] S. Stein, T. R. Payne, and N. R. Jennings, Fellow, IEEE; *Robust Execution of Service Workflows Using Redundancy and Advance Reservations*. IEEE Transactions on Services Computing Vol. 4 , No. 2, 2011.
- [33] Q. Snell, M. Clement, D. Jackson, C. Gregory; *The performance impact of advance reservation meta-scheduling*. In: JSSPP '00: Proceedings of the 6th Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, 14th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, Cancun, Mexico, Lecture Notes Computer Science Vol. 1911, Pages 137-153, 2000.
- [34] D. Nurmi, R. Wolski, and J. Brevik; *VARQ: virtual advance reservations for queues*, 17th international symposium on High performance distributed computing (HPDC'08), 2008.
- [35] N. R. Kaushik, S. M. Figueira, and S. A. Chiappari; *Flexible time-windows for advance reservation scheduling*. In Proc. of the 14th MASCOTS, Monterey, USA, 2006.
- [36] M. A. S. Netto, K. Bubendorfer, R. Buyya; *SLA-based advance reservations with flexible and adaptive time QoS parameters*. ICSOC '07 Proceedings of the 5th international conference on Service - Oriented Computing; Pages 119 – 131, 2007.
- [37] B. Lawson and E. Smirni; *Multiple-Queue Backfilling Scheduling with priorities and reservations for parallel Systems*. In job scheduling strategies for parallel processing, Springer-verlag, lecture notes in computer Science, Vol. 2537, Pages 72-87, 2002.
- [38] B. Lawson, E. Smirni and D. Puiu; *Self-adapting Backfilling Scheduling for parallel systems*. In proceedings of the 2002 International Conference on Parallel Processing (ICPP 2002) pages 583-592, Vancouver, B.C., August 2002.
- [39] J. Schneider; *Grid Workflow Scheduling based on Incomplete Information*. PhD Thesis, der Technischen Universität Berlin, Pages. 23-25, 2010.

- [40] Mu'alem, A.W. and Feitelson, D. G.; *Utilization, predictability, workloads, and user runtime estimates in scheduling the IBMSP2 with backfilling*. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 12(6):529–543, 2001.
- [41] D. B Jackson, Q. Snell, M. J. Clement; *Core Algorithms of the Maui Scheduler*. In: JSSPP '01: Revised Papers from the 7th International Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, London, UK, Pages 87–102. Springer, Heidelberg, 2001. <http://www.supercluster.org/maui>.
- [42] Moab - <http://www.clusterresources.com/pages/products/moab-cluster-suite.php>. (accessed June 1st, 2013).
- [43] PBS Pro, <http://www.pbspro.com>. (accessed June 1st, 2013).
- [44] Sun Micro Systems Inc.: Sun Grid Engine,
<http://www.oracle.com/us/products/tools/oracle-grid-engine-075549.html>.
(accessed June 1st, 2013).
- [45] A. I. D. Bucur and D. H. J. Epema; *Scheduling policies for processor co-allocation in multi-cluster systems*. IEEE Trans. On Parallel and Distributed System, 18(7):958–972, 2007.
- [46] W. M. Jones, W. B. L. III, L. W. Pang, and D. C. S. Jr; *Characterization of bandwidth-aware meta-schedulers for co-allocating jobs across multiple clusters*. The Journal of Supercomputing, 34(2):135–163, 2005.
- [47] O. Waldrich, Ph. Wieder, and W. Ziegler; *A Meta-scheduling Service for Co-allocating Arbitrary Types of Resources*. In Proc. of the Second Grid Resource Management Workshop (GRMWS'05) in conjunction with the Sixth International Conference on Parallel Processing and Applied Mathematics (PPAM 2005), Vol. 3911 of LNCS, Pages 782–791. Springer, September 11–14, 2006.
- [48] Hewlett-Packard Development Company, L.P. *Process Resource Manager*.
<http://h20338.www2.hp.com/hpux11i/cache/317534-0-0-0-121.html,2006>.
(accessed June 1st, 2013).
- [49] IBM Corp. AIX 5L WorkLoad Manager (WLM).
<http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg245977.pdf>. 2001 (accessed June 1st, 2013).

- [50] Silicon Graphics Inc. Irix 6.5 man pages: Miser(5).
<http://techpubs.sgi.com/library/tpl/cgi-bin/getdoc.cgi?cmd=getdoc&coll=0650&db=man&fname=5\%20mise>. 2006
 (accessed June 1st, 2013).
- [51] M. Litzkow, M. Livny, and M. Mutka; *Condor - a hunter of idle workstations*. In Proc. 8th International Conference on Distributed Computing Systems, Pages 104–111, 1988.
- [52] IBM Corp. *IBM Load Leveler for AIX5L: Using and administering*.
<http://publibfp.boulder.ibm.com/epubs/pdf/a2278810.pdf>, 2001. (accessed June 1st, 2013).
- [53] Platform Computing Inc. *Platform LSF family of products*.
<http://www.platform.com/Products/Platform.LSF.Family/>, 2000 (accessed June 1st, 2013).
- [54] Altair Engineering Inc. *PBS Professional 7.1*.
<http://www.altair.com/software/pbspro.htm>, 2006 (accessed June 1st, 2013).
- [55] Torque resource manager 2.0.
<http://www.clusterresources.com/pages/products/torque-resource-manager.php>, 2006 (accessed June 1st, 2013).
- [56] G. Mateescu; *Quality of Service on the Grid via Meta-scheduling with Resource Co-scheduling and Co-reservation*. International Journal of High Performance Computing Applications, 17(3):209-218, SAGE Publications Inc, London, UK, August 2003.
- [57] J. Frey, T. Tannenbaum, I. Foster, M. Livny, and S. Tuecke; Condor-G: A computation management agent for multi-institutional grids. Cluster Computing, Vol. 5, P237–246, (2002).
- [58] Avaki -
<http://pomponi.cs.ucsb.edu/~wenye/majorexam/Architecture/avaki.pdf>.
- [59] R. Yahyapour; *Design and evaluation of job scheduling strategies for grid computing*. PhD thesis, University of Dortmund, November 2002. Available online at: <https://eldorado.uni-dortmund.de/handle/2003/2838> (accessed June 1st, 2013).

- [60] J. Yu and R. Buyya; *A taxonomy of workflow management systems for grid computing*. Technical Report GRIDS-TR-2005-1, University of Melbourne, Grid Computing and Distributed Systems Laboratory, Australia, March 2005. Available online at: www.citeseer.ist.psu.edu/yu05taxonomy.html (accessed January 1st, 2009).
- [61] D. C. Marinescu; *A Grid Workflow Management Architecture*. GGF White Paper, 2002.
- [62] I. Foster, C. Kesselman, C. Lee, B. Lindell, K. Nahrstedt, and A. Roy. *A distributed resource management architecture that supports advance reservations and co-allocation*. In 7th International Workshop on Quality of Service, Pages 27–36, IEEE, 1999.
- [63] J. MacLaren et al; *HARC: The Highly-Available Resource Co-Scheduler*. In Proceedings of the International Conference on Grid computing, high-performance and Distributed Applications (GADA'07), Vilamoura, Algarve, Portugal, 2007.
- [64] E. Elmroth, and J. Tordsson; *A standards-based grid resource brokering service supporting advance reservations, co-allocation and cross-grid interoperability*. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 25(18):2298–2335, 2009.
- [65] R. Buyya, and M. Netto; *Rescheduling Co-Allocation Requests based on Flexible Advance Reservations and Processor Remapping*. Proceedings of the 9th IEEE/ACM International Conference on Grid Computing (IEEE/ACM GRID'08), Tsukuba, Japan, 2008.
- [66] M. Siddiqu, T. Fahringer; *GridARM: Askalon's Grid Resource Management System*. In: Sloot, P.M.A., A.G. Hoekstra, T. Priol, A. Reinefeld, M. (eds.) Bubak, EGC 2005. LNCS, vol. 3470, Pages 122–131. Springer, Heidelberg , 2005.
- [67] M. Wiczcerek, R. Prodan, T. Fahringer; *Scheduling of Scientific Workflows in the ASKALON Grid Environment*. ACM SIGMOD Record 35(3), Pages 56–62, 2005. <http://dps.uibk.ac.at/~marek/publications/acm-sigmod-2005.pdf>. (accessed June 1st, 2013).

- [68] T. Röblitz, F. Schintke, and A. Reinefeld; *Resource reservations with fuzzy requests*. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 18(13):1681–1703, 2006.
- [69] T. Röblitz; *Global Optimization for Scheduling Multiple Co-Reservations in the Grid*. In: Proceedings of the Core GRID Symposium 2008, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, Pages 93–109, August, 2008.
- [70] T. Röblitz, K. Rzacca; *On the placement of reservations into job schedules*. In: 12th International Euro-Par Conference 2006, Dresden, Germany, Pages 198–210, 2006.
- [71] J. Schneider, J.s Gehr, B. Linnert, and T. Roblitz; *An Efficient protocol for reserving multiple grid resources in advance*. In Grid and Services Evolution (Proceedings of Proceedings of the 3rd CoreGRID Workshop on Grid Middleware), Pages 189–204. Springer, 2008.
- [72] J. Decker and J. Schneider; *Heuristic scheduling of grid Workflows*, S. Navaux, W. Cirne, and V. Rebello, editors, 7th Intl. IEEE Intl. Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid07), Pages 335–342, Rio de Janeiro, Brazil, May 2007. IEEECS Press.
- [73] A. Sulistio, W. Schiffmann, and R. Buyya; *Advanced Reservation-based Scheduling of Task Graphs on Clusters*. In Proceedings of the 13th International Conference on High Performance Computing (HiPC’06), Bangalore, India, Dec. 18–21, 2006.
- [74] A. Sulistio, K. H. Kim and R. Buyya; *On Incorporating an On-line Strip Packing Algorithm into Elastic Grid Reservation-based Systems*. In Proceedings of the 13th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS’07), Hsinchu, Taiwan, Dec. 5–7, 2007.
- [75] H. Zhao and R. Sakellariou; *A low-Cost Rescheduling policy for efficient mapping of workflows on Grid Systems*; Scientific Programming, 12(4), Pages 253-262, Dec. 2004.
- [76] H. Zhao and R. Sakellariou; *Advance Reservation Policies for Workflows*. Proceedings of the 12th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing (JSSPP’06), Pages 47–67, Saint-Malo, France, June 26, 2006.

- [77] N. Kaushik, S. Figueira, and S. A. Chiappari; *Resource co-allocation using advance reservations with flexible time- windows*. SIGMETRICS Perform. Eval. Rev., 35(3):46–48, 2007.
- [78] R. Braun, H. Siegel, et al.; *A Comparison of Eleven Static Heuristics for Mapping a Class of Independent Tasks onto Heterogeneous Distributed Computing Systems*. Journal of Parallel and Distributed Computing, vol. 61, no.6, Pages 810-837, 2001.
- [79] F. Berman, H. Casanova, A. Chien, et al; *New Grid Scheduling and Rescheduling Methods in the GrADS Project*. International Journal of Parallel Programming (IJPP), 33(2-3):209-229, 2005.
- [80] H. Topcuoglu, S. Hariri and M.Y. Wu; *Performance-Effective and Low-Complexity Task Scheduling for Heterogeneous Computing*, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 13, No. 3, Pages 260-274, 2002.
- [81] M. R. Garey and D. S. Johnson; *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. W.H. Freeman and Company, 1979.
- [82] Y. K. Kwok and I. Ahmad; *Static scheduling algorithms for allocating directed task graphs to multiprocessors*. ACM Computing Surveys, 31(4):406–471, 1999.
- [83] P.C. Fishburn; *Interval Orders and Interval Graphs*. John Wiley & Sons, 1985.
- [84] R. Sakellariou and H. Zhao; *A Hybrid Heuristic for DAG Scheduling on Heterogeneous Systems*. Presented at 13th Heterogeneous Computing Workshop (HCW 2004), Santa Fe, New Mexico, USA, 2004.
- [85] M. Drozdowski; *Scheduling for Parallel Processing*. Springer-Verlag London Limited 2009.
- [86] M. Chetty and R. Buyya; *Weaving computational grids: how analogous are they with electrical grids*. IEEE Transactions on Computational Science and Engineering, Volume 4, Issue 4, Pages:61 – 71, July-Aug. 2002.
- [87] E. Ilavarasan and P. Thambidurai; *Low Complexity Performance Effective Task Scheduling Algorithm for Heterogeneous Computing Environments*;

Journal of Computer Sciences 3 (2): 94-103, 2007. ISSN 1549-3636 ; © 2007 Science Publications.

[88] M. Rahman, S. Venugopal and R. Buyya; *A Dynamic Critical Path Algorithm for Scheduling Scientific Workflow Applications on Global Grids*, Third IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing, Pages 35-42, Oct. 2007.

[89] T. Ma and R. Buyya; *Critical-Path and Priority based Algorithms for Scheduling Workflows with Parameter Sweep Tasks on Global Grids*. Proc. the 17th International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing, Rio de Janeiro, Brazil, October 2005.

[90] J. Yu and R. Buyya; *Workflow Scheduling Algorithms for Grid Computing*; 2007.

[91] jGrapht. <http://jgrapht.org/>. (accessed June 1st, 2013).

[92] R. Buyya and M. Murshed; *GridSim: A Toolkit for the Modeling and Simulation of Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing*. The Journal of Concurrency and Computation: Practice and Experience (CCPE), Volume 14, Issue 13-15, Wiley Press, Nov.- Dec., 2002.

[93] A. Sulistio and R. Buyya; *A Grid Simulation Infrastructure Supporting Advance Reservation*. In 16th International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2004), MIT Cambridge, Boston, USA, November 9 -11, 2004.

Abstract

Workflows Applications is considered the most common kind of applications in the Large-Scaled Distributed System environments. The problem of scheduling and planning the execution of these applications is a very complex one, and demand high control and cooperation. This is due to the workflow structure that exhibits ordering and inter-dependencies among its tasks from one side, and the characteristics of the execution environment such as the loosely coupling of its components, and the low control of its management on the system recourse from other side.

This thesis presents a new Meta-Scheduler (SERN) with hybrid structure, designed especially for the management and execution of QoS workflows by using Co-Scheduling. This Meta-Scheduler (SERN) is able to maximize the workflows acceptance rate in the system, while minimizing their response times. Moreover, it enhances the resource utilization rate even though using the Advance Reservation technique for the Co-Allocation required by the workflows, and the on-demand resource provisioning. The (SERN) Meta-Scheduler uses elastic AR plans that allows both the resource providers and the users to find alternatives choices that could satisfy both of their objectives. These Elastic AR plans are generated by a new designed algorithm (EWARP) that exploits timing gaps of the initial allocation schedules. The proposed Meta Scheduler (SERN) also uses a new designed Elastic Co-Reservation Agent (ECRA) which was designed especially for providing concurrently Co-Allocations, with the needed QoS.

The results show the outperforming of the presented Meta-Scheduler on the most common centralized Meta-Scheduler used for workflows executions; especially in a highly contended environments with many simultaneous users competing on the system resources.

Keywords: Workflows Scheduling, Elastic Advanced Reservation, Co-Reservation, Co-Scheduling.

Syrian Arab Republic
Damascus University

Faculty of Mechanical & Electrical Engineering
Computer Engineering & Automation Department



Resource Management in Distributed Computing Systems

**Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree
Doctor of Philosophy
in Computer Engineering and Networking**

**By
Eng. Sira W. ASTOUR**

**Supervised By
Prof. Faysal Al-Abbas
Dr. Jafar Al-Keir**

**Academic Year
2012 – 2013**