



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة الحواسيب والأتمتة

تحليل بروتوكولات التوجيه لتحسين الكفاءة في شبكات ترانسل المعطيات
Analyzing Routing Protocols to Improve the Efficiency in
Data Networks

رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير في هندسة الحواسيب وشبكاتها

إعداد: م. رائف صالح

مشرف مساعد:

د.م. محمد الشايطه

إشراف:

د.م. وسيم موسى السمارة

2020

أعضاء لجنة الحكم :

تضمن قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم /2327/ المتخذ بالجلسة رقم /21/ تاريخ
2020/7/20 الموافقة على تأليف لجنة الحكم من السادة:

د.وسيم موسى السمارة: الأستاذ المساعد في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة عضواً مشرفاً

د.محمد تاج الدين الحسيني : المدرس في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة عضواً

د.مفيد حداد: المدرس في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة عضواً

كلمة شكر

أتوجه بجزيل الشكر والامتنان لكل من ساهم في انجاز هذا العمل وانجازه وأخص بالشكر الدكتور وسيم السمارة على ما قدمه من توجيهات ومواكبة لهذا العمل خطوة بخطوة، كما أتوجه بالشكر الى كل من الدكتور تاج الدين الحسيني والدكتور مفيد حداد على ملاحظاتهم وعلى كل ما قدموه في سبيل انجاح هذا العمل.

الإهداء

*الى من كان له الفضل الأكبر لأن أكون ما أنا عليه

أبي.....أمي

*الى رفيق الدرب وشريك العمر

زوجي الغالي

*الى فرحة العمر

ابنتي غزل

*الى من شاركوني أجمل الأيام

إخوتي

*الى من شاركوني فرحة النجاح

أصدقائي

الفهرس

8	قائمة الجداول
8	قائمة الأشكال التوضيحية
9	الملخص
10	مقدمة
11	أهمية البحث
11	الهدف من البحث
12	الدراسات المرجعية
13	الفصل الاول
13	التوجيه في شبكات الانترنت
13	1-1 مفاهيم التوجيه الأساسية في الشبكات
14	1-1-1 متطلبات التوجيه وآلية العمل
15	2-1-1 الحصول على معلومات طبولوجيا الشبكة
16	3-1-1 التوجيه المركزي والتوجيه الموزع
17	4-1-1 اختيار المسار الأفضل
18	5-1-1 عمليات بروتوكولات طبقة الشبكة
19	6-1-1 المسارات الساكنة مقابل المسارات الديناميكية
20	2-1 عمليات التوجيه الديناميكي
20	3-1 تحديد المسافات على مسارات الشبكة
21	4-1 محددات بروتوكول التوجيه
21	1-4-1 خوارزمية التوجيه
22	2-4-1 وزن وكلفة المسار
22	3-4-1 رسائل التحديث
23	4-4-1 إعادة الحساب
23	5-4-1 المؤقتات
24	5-1 تصنيف بروتوكولات التوجيه
28	الفصل الثاني

28.....	بروتوكولات التوجيه الرئيسية
29.....	1-2 بروتوكول معلومات التوجيه Routing Information Protocol
29.....	1-1-2 خوارزمية توجيه بروتوكول RIP ومحدداته
32.....	2-1-2 آلية عمل بروتوكول RIP
35.....	2-2 بروتوكول المسار الأقصر أولاً Open Shortest Path First
35.....	1-2-2 خوارزمية عمل بروتوكول OSPF
36.....	3-2 بروتوكول التوجيه الداخلي المحسن بين البوابات Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
37.....	1-3-2 خوارزمية عمل بروتوكول EIGRP
41.....	2-3-2 مؤقتات بروتوكول EIGRP
42.....	4-2 بروتوكول البوابة الحدودية Border Gateway Protocol
45.....	الفصل الثالث
45.....	دعم جودة الخدمة في شبكة الانترنت
46.....	1-3 مفاهيم جودة الخدمة
46.....	1-1-3 المصطلحات الأساسية لمفهوم جودة الخدمة
48.....	2-3 تحسين التوجيه بتقنية تبديل الوسوم متعدد البروتوكول MPLS
50.....	1-2-3 مبدأ عمل تقنية MPLS
51.....	2-2-3 البروتوكولات المتوافقة مع تقنية MPLS
53.....	الفصل الرابع
53.....	القسم العملي
54.....	1-4 تصميم نموذج الشبكة
56.....	2-4 بارامترات قياس جودة الخدمة
56.....	1-2-4 مدة التقارب (Convergence Duration)
56.....	2-2-4 تغير تأخير الرزمة (Packet Delay Variation)
56.....	3-2-4 التأخير بين العقد النهائية (End-to-end Delay)
57.....	4-2-4 إنتاجية الشبكة (Throughput)
57.....	5-2-4 الرجفان للصوت (Voice Jitter)
57.....	6-2-4 تأخير الانتظار في الأرتال (Queuing Delay)
57.....	7-2-4 مؤشر كفاءة الترميز (Mean Opinion Score, MOS)

58.....	3-4 سيناريوهات المحاكاة واعدادات العقد
59.....	4-4 نتائج القياس والتحليل
59.....	1-4-4 مؤشر زمن مدة التقارب (Convergence Duration)
60.....	2-4-4 مؤشر مدة تأخير الانتظار في الأرتال (Queuing Delay)
61.....	3-4-4 مؤشر الرجفان لتطبيق الصوت (Voice Jitter)
62.....	4-4-4 مؤشر كفاءة الترميز MOS لتطبيق الصوت
63.....	5-4-4 مؤشر تغييرات تأخير الرزم لتطبيق الصوت
64.....	6-4-4 تأخير رزم البيانات طرف لطرف لتطبيق الصوت
65.....	7-4-4 تأخير رزم البيانات لتطبيق المحادثة الفيديوية
65.....	8-4-4 تأخير رزم البيانات طرف لطرف لتطبيق المحادثة الفيديوية
66.....	9-4-4 تحسين زمن بناء جدول التوجيه باستخدام تقنية MPLS
68.....	الاستنتاجات والتوصيات
70.....	الآفاق المستقبلية
71.....	المصطلحات العلمية
71.....	المراجع

قائمة الجداول

26	الجدول (1-1): تصنيف بروتوكولات التوجيه الرئيسية
47	الجدول (1-3): خصائص جودة الخدمة للتطبيقات
55	الجدول (1-4): توصيف التجهيزات العملية المستخدمة لنمذجة الشبكة.
56	الجدول (2-4): خصائص التطبيقات في الشبكة
58	الجدول (3-4): سيناريوهات المحاكاة
60	الجدول (4-4): القيم المسجلة لمؤشر زمن مدة التقارب
61	الجدول (5-4): القيم الدنيا والعليا والمتوسطة لمؤشر الرجفان في تطبيق الصوت عبر الانترنت

قائمة الأشكال التوضيحية

33	الشكل (1-2): مشكلة الاعتماد على عدد القفزات في بروتوكول RIP
34	الشكل (2-2): خوارزمية التوجيه في بروتوكول RIP.
40	الشكل (3-2): خوارزمية عمل بروتوكول EIGRP
43	الشكل (4-2): مفهوم AS ضمن شبكة الانترنت
44	الشكل (5-2): مسارات التوجيه الداخلية والخارجية في بروتوكول BGP
49	الشكل (1-3): موقع الوسوم ضمن رزمة بيانات الانترنت
49	الشكل (2-3): شبكة MPLS
54	الشكل (1-4): خطوط العمود الفقري الواصلة بين الشبكات الفرعية لشبكة الموجهات الكاملة.
55	الشكل (2-4): توزيع الموجهات في الشبكة الفرعية.
59	الشكل (3-4): تقرير المحاكاة النهائي لسيناريو الشبكة.
61	الشكل (4-4): مؤشر مدة تأخير الانتظار في الأرتال (Queuing Delay).
62	الشكل (5-4): القيم المتوسطة لمؤشر الرجفان في السيناريوهات المختلفة
63	الشكل (6-4): مؤشر كفاءة الترميز MOS لتطبيق الصوت عبر الانترنت VOIP.
64	الشكل (7-4): تغيرات تأخير رزم البيانات بالنسبة لتطبيق الصوت عبر الانترنت VOIP.
64	الشكل (8-4): تأخير رزم البيانات على كامل مسار البيانات وصولاً للعقد النهائية.
65	الشكل (9-4): تأخير رزم البيانات لتطبيق المحادثة الفيديوية.
66	الشكل (10-4): تأخير رزم البيانات لطرف لطرف لتطبيق المحادثة الفيديوية.
66	الشكل (11-4): زمن بناء جداول عبر الشبكة باستخدام MPLS.

الملخص

سنقوم في هذا البحث بدراسة آليات التوجيه المعتمدة في شبكات نقل البيانات والمقدمة لخدمات النقل في الزمن الحقيقي ولاسيما تطبيقات الصوت عبر الانترنت والمحادثاة الفيديوية وتحليل مؤشرات الأداء لنموذج تصميمي لشبكة موجهات مقاربة لشبكة موجهات حقيقية مصممة في الجمهورية العربية السورية. وسنقدم شرحاً مفصلاً لأهم بروتوكولات التوجيه الشائعة الاستخدام في الشبكات العالمية مع استعراض آلية العمل، الميزات والتحديات لكل منها. وسنركز على أهم التقنيات المستخدمة لتحسين فاعلية التوجيه في شبكات نقل المعطيات والداعمة لمفهوم جودة الخدمة وتقنياتها في المستويات المختلفة وصولاً إلى تقنية الوسوم المتعددة MPLS المتناغمة مع عملية التوجيه. بالإضافة الى تقديم تحليل لمقاييس مؤشرات الأداء المقاسة لنموذج عملي تطبيقي لشبكة موجهات ضخمة مستوحاة من تصميم واقعي لأحد شبكات الاتصال في الجمهورية العربية السورية مذيلاً بخلاصة من الاستنتاجات والتوصيات.

مقدمة

مع التطور المتسارع لشبكات نقل البيانات وتطور بيئات العمل المختلفة معها، بدت الحاجة ملحة إلى تحسين أداء تلك الشبكات بما يتوافق مع جودة الخدمة العالية المطلوبة وعلى كافة المستويات بدءاً من تحسين التطبيقات ووصولاً إلى تحسين البنية الفيزيائية. معظم الابحاث حالياً تتوجه نحو ابداع تطبيقات جديدة تؤمن خدمات حديثة وذات مستويات عالية، لكن تحتاج تلك التطبيقات لبنية متينة على مستوى طبقات التوجيه ووصل المعطيات من أجل ضمان الحفاظ على كفاءة الشبكة في تقديم الخدمة بأفضل جودة ممكنة.

تعد شبكات التبديل بالرزم العصب الأساسي لمختلف الشبكات الحديثة وصولاً إلى شبكات الجيل الخامس. عملية توجيه البيانات بين الموجهات المختلفة ضمن شبكة IP هي العملية الأساسية التي تضمن تحقيق توافرية الشبكة و وثوقيتها. تختلف بروتوكولات التوجيه بمجموعة من العوامل أهمها الخوارزمية المطبقة، وبنية رسائل التحديث الخاصة وغيرها من الاختلافات.

يعنى هذا البحث بدراسة آليات التوجيه المعتمدة في شبكات نقل البيانات والمقدمة لخدمات النقل في الزمن الحقيقي ولاسيما تطبيقات الصوت عبر الانترنت والمحادثة الفيديوية وتحليل مؤشرات الأداء لنموذج تصميمي لشبكة موجهات مقارنة لشبكة موجهات حقيقية مصممة في الجمهورية العربية السورية. كما يركز في البحث في الآليات والمنهجيات المعتمدة لتحسين فاعلية التوجيه بحيث تتوافق مع التقنيات المحدثة في الطبقات العليا المعنية بجودة خدمات التطبيقات.

يقدم الفصل الاول من هذا البحث أبجدية التوجيه عبر شبكات نقل المعطيات ملخصاً المفاهيم الأساسية لعملية التوجيه ومكوناتها وفلسفتها. أما الفصل الثاني فيقدم شرحاً مفصلاً لأهم بروتوكولات التوجيه الشائعة الاستخدام في الشبكات العالمية مستعرضاً آلية العمل، الميزات والتحديات لكل منها. يركز الفصل الثالث على أهم التقنيات المستخدمة لتحسين فاعلية التوجيه في شبكات نقل المعطيات والداعمة لمفهوم جودة الخدمة وتقنياتها في المستويات المختلفة وصولاً إلى تقنية الوسوم المتعددة MPLS المتناغمة مع عملية التوجيه. أما الفصل الأخير فيقدم تحليلاً لمقاييس مؤشرات الأداء المقاسة لنموذج عملي تطبيقي لشبكة موجهات ضخمة مستوحاة من تصميم واقعي لأحد شبكات الاتصال في الجمهورية العربية السورية مذيلاً بخلاصة من الاستنتاجات والتوصيات.

أهمية البحث

تعتمد شبكات نقل المعطيات الحديثة على تقسيم شبكاتها الى شبكات خاصة عبر الشبكة العالمية. تختلف بروتوكولات التوجيه الممكن استخدامها ضمن هذه الشبكات، منها بروتوكولات ضمن المجال مثل بروتوكول OSPF وبروتوكولات تعمل في الجزء خارج المجال مثل BGP وهناك بروتوكولات صممت للعمل ضمن وخارج المجال، يختلف اداء هذه البروتوكولات وفقاً لحجم الشبكة ومتطلبات جودة الخدمة.

سيتم العمل على دراسة مؤشرات الأداء لهذه البروتوكولات وفق نموذج لشبكة موجهات ضخمة نسبياً ودراسة ادائها مع تطبيقات الصوت عبر الانترنت والمحادثة الفيدوية من اجل اقتراح البروتوكول الانسب وفقاً للتطبيقات المطلوب تقديمها وتقييم التحسين الذي تقدمه تقنية MPLS من وجهة نظر عملية التوجيه.

الهدف من البحث

- تحليل مؤشرات الأداء لبروتوكولات التوجيه ضمن شبكة نقل معطيات وفقاً لمتطلبات جودة الخدمة وتحديد بروتوكول التوجيه الأمثل للعمل مع شبكات نقل البيانات عبر الانترنت وفقاً لمتطلبات جودة الخدمة لتطبيقات الويب، الصوت، الفيديو عبر الانترنت.
- تقييم التحسين الذي تضيفه تقنية MPLS في تحسين فاعلية التوجيه.

الدراسات المرجعية

اهتمت العديد من الدراسات المرجعية الحديثة والقديمة بتقييم عمل بروتوكولات التوجيه الأساسية، ولوحظ التطور في تقديم النتائج لكل منها وفقاً لحدثة البحث وتصميم الشبكة، لكن معظم هذه لدراسات لم تربط مفهوم التوجيه مع مفهوم جودة الخدمة بالشكل الذي يقدمه هذا البحث، كما أنه لم نجد دراسة سابقة موثقة ومقيمة تحلل أداء التوجيه لشبكة معطيات موزعة في الجمهورية العربية السورية. نقدم فيما يلي أهم الدراسات التي استند إليها هذا البحث:

- قدم كل من **Achraf El Hassani ، Sohaib Lamkadmi ،Amine Taleb ،Ayoub Bahnasse** مقالاً بحثية منشورة في مجلة International Journal of Computer Applications نيسان 2019 تحت عنوان " Performance Analysis of Dynamic Routing Protocols in IPv6 and IPv4 Networks " تقدم مقارنة لأداء بروتوكولات التوجيه الديناميكية في كل من شبكات IPV4 & IPV6 مستخدمة نموذج لشبكة عالمية ضخمة مصممة على محاكي OPNET modeler ، خلصت تلك الدراسة إلى فعالية أفضل لبروتوكولات التوجيه الديناميكي في شبكات IPV6.
- قدم كل من **Ida Nurhaida, Dimas Widya Putra Pratama, Remmy A. M. Zen, Hong Wei** مقالاً بحثية هامة جداً بعنوان " Interior Gateway Protocol Routing Performance Comparison Of The Virtual Private Network Based On Multi Protocol Label Switching And Direct-Link Backup " في المملكة المتحدة البريطانية نشرت في شهر شباط عام 2020 في مجلة موقع SINGRI، تمت فيها نمذجة شبكة من الموجهات وفق طبولوجيا الحلقة واختبار فعالية بروتوكولات التوجيه مع تقنية الشبكة الافتراضية الخاصة والوسوم المتعددة VPN-MPLS على محاكي GN3، خلصت تلك المقالة إلى أن بروتوكول EIGRP هو الأفضل بالنسبة لبنية الحلقة.
- قدم كل من **Ljiljana Trajkovic, Don Xu** مقالاً بحثية بعنوان " Dynamic Routing Protocols (OSPF/RIP/BGP) " وقد تم نشرها في العام 2018 ،تقدم هذه الدراسة تحليلاً نظرياً جيداً ومفصلاً لآلية عمل كل بروتوكول والمقارنة بينها واعدادات تطبيقها.

الفصل الاول

التوجيه في شبكات الانترنت

1-1 مفاهيم التوجيه الأساسية في الشبكات

تعتمد شبكات الانترنت والشبكات العامة والخاصة حالياً على تقنية التبدل بالرمز التي تهتم بإيصال رزم البيانات من لعقدة المصدر إلى العقدة الهدف، ويتم تحقيق هذه المهمة بتحديد مسار شبكي يصل بين العقدتين المصدر والهدف ضمن عملية أساسية تسمى التوجيه.

تتألف شبكات المعلومات في العالم من مجموعة من الشبكات المستقلة تسمى أنظمة مستقلة، يحتوي كل نظام مستقل على مجموعة من الموجهات تنتمي لبنية إدارية معينة وتتعاون فيما بينها لتؤدي وظيفة توجيه داخلية خاصة بهذا النظام المستقل وصولاً إلى النظام المستقل التالي.

تنجز وظيفة التوجيه عبر الموجهات في الشبكة حيث يكون على كل موجه إيجاد القفزة التالية لكل رزمة بيانات عابرة عبره نحو الهدف المحدد، غالباً ما يوجد أكثر من طريق يصل بين العقدة المصدر والعقدة الهدف، يتوجب على الشبكة حينئذ اختيار الطريق الأمثل وهو الأقل تكلفة سواء كانت التكلفة معتمدة على عدد القفزات في الشبكة أو مدة التأخير المتوقع أو غيرها من المقاييس الأخرى.

إذاً يمكن القول باختصار أن بروتوكول التوجيه أو بروتوكول التسيير هو اسم لعائلة من بروتوكولات الشبكة التي تُحدد مجموعة القواعد الضابطة لكيفية تواصل تجهيزات الشبكة، كالموجهات أو العقد مع بعضها البعض، وكيفية توزيع المعلومات المرتبطة بطبولوجيا الشبكة وكيفية اختيار أفضل مسار يصل نحو أيّ وجهة أو عقدة فيها، وآلية تعديل جداول التوجيه بشكل آلي عند حصول تغير في الطوبولوجيا. أي أن بروتوكول التوجيه يلعب دوراً جوهرياً في إنجاز عملية التوجيه بشكل سليم^[1].

تُساعد بروتوكولات التوجيه في ملء جداول التوجيه وفي اتخاذ قرارات التوجيه، وتتميز عن بعضها البعض بمجموعة من العوامل وهي: الخوارزمية التي يُطبقها البروتوكول ونوع وبنية رسائل التحديث الخاصة به ومعنى الوزن وطريقة حسابه، بالإضافة إلى ذلك، يستخدم كل بروتوكول توجيه عدداً من المؤقتات لضبط رد فعله على التغييرات الحاصلة في طبولوجيا الشبكة أو لمنع تشكّل الحلقات .

تلعب بروتوكولات التوجيه دوراً أساسياً في شبكات المُعطيات، ويمكن تصنيفها إلى بروتوكولات التوجيه العاملة في شبكات الحاسب وبروتوكولات التوجيه العاملة في الشبكات المتحركة .

1-1-1 متطلبات التوجيه وآلية العمل

تحتاج الشبكة للمتطلبات التالية لتقوم بمهام عملية التوجيه:

- اختيار موجه أساسي في الشبكة مسؤول عن حساب أقصر الطرق في الشبكة وبنها إلى بقية عناصر التوجيه في الشبكة، في حال كان موجه واحد فقط مسؤولاً عن عملية إدارة التوجيه فيسمى التوجيه بالمركزي، أما في حال تولى هذه المسؤولية مجموعة من عناصر الشبكة فيسمى عندئذٍ بالتوجيه الموزع.

- استخدام خوارزميات التكلفة الدنيا من أجل حساب تكلفة المسار الأقصر.
- تخزين معلومات التوجيه عن أقصر الطرق في جداول التوجيه وتحديثها آلياً لدى كل موجه كلما تغيرت حالة إحدى العقد أو إحدى الوصلات في الشبكة بحيث تكون عملية التوجيه متكيفة مع أي تغير يطرأ في الشبكة.
- بروتوكولات التوجيه المسؤولة عن التخاطب فيما بين الموجهات بغية تبادل المعلومات المتعلقة بحالة الشبكة وتغيرات حركة البيانات عليها وكذلك تحديثات جداول التوجيه وكلفة الوصلات.

إنّ الهدف الأساسي من عمل تجهيزات الطبقة الثالثة هو إنجاز عملية التوجيه، وتتطلب هذه العملية إنجاز مهمتين أساسيتين، الأولى هي الحصول على المعلومات التي تصف طوبولوجيا الشبكة، والتي تسمى معلومات التوجيه، أما الثانية فهي فهم وتحليل المعلومات، وحساب أفضل مسار من أجل كل وجهة مُحتملة تُضافه إلى جدول التوجيه، وليساعد في اتخاذ قرار التوجيه لكل رزمة بشكل منفرد، وقرار التوجيه هو تحديد المنفذ الذي سيتمّ دفع رزمة البيانات عبره، ويعتمد هذا القرار على المعلومات الموجودة في جدول التوجيه.

بروتوكولات التوجيه هي أحد مصادر معلومات التوجيه، وتقوم بتأمين هذه المعلومات للتجهيزات العاملة على مستوى الطبقة الثالثة، إلى جانب التوجيه الساكن (Static routing) والشبكات المتصلة بشكل مباشر. بالإضافة إلى ذلك، فإن بروتوكولات التوجيه تقوم بتحليل المعلومات واختيار أفضل مسار نحو كل وجهة، ويتمّ بعد ذلك إضافة المسار إلى جدول التوجيه، مع الإشارة إلى مصدره، أي إلى كونه مضافاً عن طريق أحد بروتوكولات التوجيه.

1-1-2 الحصول على معلومات طبولوجيا الشبكة

تحصل العقد العاملة على مستوى الطبقة الثالثة على المعلومات اللازمة لملء جدول التوجيه خاصتها بثلاثة طرق، الأولى هي الاتصال المباشر مع الشبكات، والثانية هي التوجيه الساكن، وفيه يقوم مدير الشبكة بملء جدول التوجيه بشكل يدوي، إمّا باستخدام الأوامر الخاصة بنظام تشغيل الموجه^[3] أو الواجهة الرسومية في حال وجودها،^[4] أمّا الثالثة فهي التوجيه الآلي (Dynamic Routing)، وفيه يتم ملء جدول التوجيه بشكل آلي بواسطة بروتوكول توجيه واحد أو أكثر .

تستطيع كل عقد الشبكة العاملة على مستوى الطبقة الثالثة، كالموجه مثلاً، التعرف على الشبكات المتصلة معه بشكل مباشر، بشرط أن يستضيف منفذ الذي يتصل معها أحد عناوين الشبكة، ولكنه لا يستطيع التعرف على باقي الشبكات بشكل آلي، ومهمة بروتوكول التوجيه هي تعريف الموجه بوجود هذه الشبكات وتزويده بالمعلومات الخاصة بطبولوجيا الشبكة والتي تشمل شبكات غير متصلة معه بشكل مباشر، يقوم البروتوكول أيضاً بحساب أفضل المسارات نحوها ليمهد الطريق أمام الموجه اتخاذ قرار التوجيه بشكل سليم .

تبدأ العملية بشكل مستقل في كل موجه، حيث يتعرف في البداية على الشبكات المتصلة معه بشكل مباشر، ثم يجري الاعتماد على بروتوكول توجيه، لنشر هذه المعلومات عبر الشبكة وبين الموجهات باستخدام رسائل التحديث، تختلف طبيعة ومحتوى وحجم ومدى انتشار هذه الرسائل بحسب بروتوكولات التوجيه، ولكن العامل المشترك فيها أنها تُرسل بعد ملء جدول التوجيه بالمعلومات من الشبكات المتصلة بشكل مباشر، وعند حدوث أي تغيير في هذه المعلومات ترسل العديد من بروتوكولات التوجيه رسائل التحديث بشكل دوري بفواصل زمنية ثابتة يمكن التحكم بها .

يمكن أن تسبب عملية نشر معلومات التوجيه ثغرة أمنية في الشبكة، فقد يهدف المهاجمون للحصول على معلومات عن عملية التوجيه أو إلى العبث بمحتويات جدول التوجيه بهدف توجيه حركة البيانات نحو وجهة معينة، أو كهجوم حجب الخدمة (DoS)،^[5] وتدعم بعض بروتوكولات التوجيه العديد من الميزات الأمنية مثل كلمات المرور والتحقق من الهوية.

1-1-3 التوجيه المركزي والتوجيه الموزع

يحدد قرار التوجيه الطريق الذي ستسلكه رزم البيانات للوصول إلى وجهه محددة وهو عبارة عن وصلات متتابعة تقوم عقد الشبكة بالربط فيما بينها.

في التوجيه المركزي يؤخذ القرار في عقدة توجيه محددة مسبقاً كمركز تحكم في الشبكة ثم يبت هذا القرار إلى جميع عقد التوجيه في الشبكة. تكمن خطورة التوزيع المركزي في احتمالية تعطيل كامل لأركان وأجزاء الشبكة في حال حدث فشل في أداء العقدة المركزية. لذلك لا يستخدم هذا النمط من التوزيع إلا في الشبكات الصغيرة أو الحساسة لموضوع أمن الأوامر التحكمية، مع اتخاذ احتياطات لعمل عقدة بديلة للعقدة المركزية في حال الفشل. أما معظم الشبكات الكبيرة فهي تلجأ إلى التوجيه الموزع كونه آمن أكثر رغم تعقيد إدارته وكلفته مقارنة بالمركزي.

في التوجيه الموزع يؤخذ قرار التوجيه في كل عقدة على حدى، ويجري التوجيه وفق الخوارزمية التالية:

1. تجمع العقدة كل المعلومات اللازمة لها عن طبولوجيا وحالة الشبكة مما توفر لديها محلياً كتكلفة كل وصلة خارجية لديها، وقد تجمع أيضاً معلومات من العقد الجيران أهمها المعلومات التي تتعلق بشاغرية مخازن وأرتال الانتظار فيها إضافة لتبادل جداول التوجيه معها.
2. عند توافر جميع المعلومات اللازمة والممكنة لدى العقدة تتكون لديها صورة كافية عن طبولوجيا الشبكة وحالة وصلتها وكلفها وطرقها وتقوم بحساب الطريق الأقصر بينها إلى بقية الشبكة.
3. تقوم كل عقدة بتحديث حساباتها في حال حدوث أي تحديث لحالة الشبكة بناءً على المعلومات الواردة للعقد.

يستعمل الموجّه عنوان الشبكة لتعريف الشبكة الوجهة (شبكة المناطق المحلية) لرزمة ضمن شبكات مترابطة.

مسؤول الشبكة يعيّن عناوين مضيفي الشبكة وفقاً لخطة عنونة داخلية محدّدة مسبقاً لبقية بروتوكولات طبقة الشبكة، ويكون تعيين عناوين المضيفين ديناميكياً بشكل جزئي أو كلي. معظم أنظمة عنونة بروتوكولات الشبكة تستعمل نوعاً من أنواع عناوين المضيفين أو العقد.

1-1-4 اختيار المسار الأفضل

يقوم الموجّه عادة بترحيل رزمة البيانات من وصلة إلى وصلة بيانات أخرى باستعمال وظيفتين أساسيتين:

- وظيفة تحديد مسار.
- وظيفة تبديل.

تستعمل الموجّهات العنونة لوظائف التوجيه والتبديل، و يستعمل الموجّه جزء الشبكة في العنوان لينتقي المسارات من أجل تمرير الرزمة إلى الموجّه التالي على طول المسار.

بعد أن يقوم بروتوكول التوجيه بنقل المعلومات المرتبطة بعملية التوجيه بين الموجّهات، والتي قد تكون عبارة عن جداول توجيه كاملة^[7] أو معلومات عن الطوبولوجيا بحاجة لمزيد من المعالجة،^[8] يتم تطبيق مجموعة من القواعد التي تحدد كيفية التعامل مع هذه المعلومات، وتُسمّى هذه القواعد خوارزمية التوجيه. لكل بروتوكول توجيه خوارزمية توجيه خاصة، تحدد هذه الخوارزمية كيفية فهم البروتوكول لطوبولوجيا الشبكة وكيفية تعامله معها، ومعنى كلفة المسار، وبالتالي فهي تحدد آلية اختيار أفضل مسار ، وأشهر الخوارزميات المعتمدة من قبل بروتوكولات التوجيه هي خوارزمية بلمان-فورد وخوارزمية ديكسترا .

تدعم أنظمة تشغيل بعض الموجّهات استخدام أكثر من بروتوكول توجيه في نفس الوقت، ويسبب هذا التباساً بسبب اختلاف معنى كلفة المسار في كل منها، فعلى سبيل المثال قد يكون المسار الأفضل بالنسبة لأحد البروتوكولات هو المسار صاحب الوزن الأقل، بينما بالنسبة لآخر قد يكون المسار صاحب الوزن الأعلى، بالإضافة لذلك تتعامل بعض البروتوكولات مع أوزان من رتبة الملايين، وبعضها الآخر برتبة العشرات والمئات فقط، في هذه الحالة يتم استخدام الوزن الإشرافي (Administrative Distance) ،^[9] وهو قيمة عددية يُمكن ضبطها وتُمنح لبروتوكول التوجيه، وفي حال وجود مسارين تمّ الحصول عليهما من بروتوكولي توجيه مختلفين، لا تتم مقارنة الأوزان مع بعضها البعض لأنها نتجت عن بروتوكولات مختلفة، لكن يتم اختيار المسار الخاص ببروتوكول التوجيه صاحب الوزن الإشرافي الأقل .

بعد اختيار أفضل المسارات نحو وجهة ما، تضاف هذه المعلومات إلى جدول التوجيه لتصبح معتمدة في عملية اتخاذ قرار التوجيه .

من الخصائص التي تميز فيها بروتوكولات التوجيه عن بعضها البعض: كيفية تجنب الحلقات، وكيفية اختيار أفضل المسارات، ومعنى الوزن أو الكلفة والزمن اللازم لإنجاز إعادة الحساب عند حصول تغيير ما في الطوبولوجيا، بالإضافة إلى قابلية التوسّع.

تتيح وظيفة التبديل للموجه قبول رزمة في واجهة وتميريرها إلى الأمام من خلال واجهة أخرى. وظيفة تحديد المسار تمكّن الموجه من انتقاء أنسب واجهة لتمرير الرزمة إلى الأمام. جزء العقدة في العنوان يستعمله الموجه الأخير (الموجه الموصول بالشبكة الوجهة) لتسليم الرزمة إلى المضيف الصحيح.

غالباً ما يحصل خلط بين البروتوكول الموجه وبروتوكول التوجيه. البروتوكول الموجه هو أي بروتوكول شبكة يزود ما يكفي من معلومات في عنوان طبقة شبكته للسماح بتمرير رزمة من مضيف إلى آخر بناءً على نظام العنونة. تعرّف البروتوكولات الموجهة تنسيقات الحقول ضمن الرزمة. يتم عادة نقل الرزم من نظام إلى آخر. بروتوكول الانترنت (IP) هو مثال عن بروتوكول موجه.

تدعم بروتوكولات التوجيه بروتوكولاً موجهاً بتزويدها آليات لمشاركة معلومات التوجيه. تنقل بروتوكول التوجيه الرسائل بين الموجهات. يتيح بروتوكول التوجيه للموجهات الاتصال بالموجهات الأخرى لتحديث وصيانة الجداول. أهم بروتوكولات التوجيه المعروفة والمستخدمّة في الشبكات الحالية هي:

- RIP (اختصار Routing Information Protocol، بروتوكول معلومات التوجيه)
- IGRP (اختصار Interior Gateway Routing Protocol، بروتوكول توجيه العبارة الداخلية)
- EIGRP (اختصار Enhanced Interior Gateway Routing Protocol، بروتوكول توجيه العبارة الداخلية المحسّن)
- OSPF (اختصار Open Shortest Path First، فتح أقصر مسار أولاً)

5-1-1 عمليات بروتوكولات طبقة الشبكة

عندما يحتاج برنامج مضيف إلى إرسال رزمة إلى وجهة في شبكة مختلفة، يعنون المضيف إطار وصلة البيانات إلى الموجه، باستعمال عنوان إحدى واجهات الموجه. تقوم عملية طبقة شبكة الموجه بفحص مقدمة الرزمة الواردة لتحديد الشبكة الوجهة، ثم تستشير جدول التوجيه الذي يربط الشبكات بالواجهات الصادرة. يتم تغليف الرزمة مرة أخرى في إطار وصلة البيانات الملائم للواجهة المنتقاة، وتوضع في النسق لتسليمها إلى الوثبة التالية في المسار.

تجري هذه العملية كلما تم تمرير رزمة من خلال موجه آخر. في الموجه الموصول بشبكة المضيف الوجهة، يتم تغليف الرزمة في نوع إطار وصلة البيانات التابعة لشبكة المناطق المحلية الوجهة ويتم تسليمها إلى المضيف الوجهة.

الموجهات قادرة على دعم عدة بروتوكولات توجيه مستقلة وعلى صيانة جداول توجيه لعدة بروتوكولات موجهة. تتيح هذه القدرة للموجه تسليم الرزم من عدة بروتوكولات موجهة على نفس وصلات البيانات. هذه الميزة هي الإطار الأساسي للاختبار العملي الذي يقدمه هذا البحث.

1-1-6 المسارات الساكنة مقابل المسارات الديناميكية

في التوجيه الساكن ، يقوم مسؤول الشبكة بإدخال إدخالات التوجيه يدوياً في جدول التوجيه لكل جهاز توجيه وجهاز كمبيوتر. إدخال التوجيه هو إدخال يحدد البوابة التي يجب إعادة توجيه الحزمة إليها حتى تصل إلى وجهة معينة. على كل جهاز توجيه أو كمبيوتر، يوجد جدول يسمى جدول التوجيه يحتوي على عدد من إدخالات التوجيه. بالنسبة إلى شبكة صغيرة بسيطة ، سيكون إدخال التوجيهات الثابتة لكل جهاز توجيه أمراً ممكناً ولكنه يصبح مملاً للغاية مع زيادة حجم الشبكة وتعقيدها. أيضاً ، في حالة حدوث تغيير في شبكة تؤثر على التوجيه (على سبيل المثال ، يكون جهاز التوجيه معطلاً أو تتم إضافة جهاز توجيه جديد) ، يجب تغيير إدخالات التوجيه يدوياً. لذلك ، في التوجيه الساكن ، يجب أيضاً إدارة جداول التوجيه بواسطة المسؤول. ميزة التوجيه الساكن هي أنه لا يوجد الكثير من المعالجة. الإجراء الوحيد هو إجراء بحث على جدول التوجيه لوجهة محددة، وبالتالي يجب ألا تحتاج أجهزة التوجيه إلى أي معالجات معقدة تجعلها أرخص.

في التوجيه الديناميكي ، يتم إنشاء إدخالات التوجيه تلقائياً عن طريق خوارزميات التوجيه. وبالتالي ، لا يتعين على المسؤول القيام بأي تحرير يدوي. تعد خوارزميات التوجيه خوارزميات رياضية معقدة حيث تعلن أجهزة التوجيه عن روابطها وباستخدام تلك المعلومات ، يتم حساب الطرق الأكثر مثالية. هناك طرق مختلفة اعتماداً على كيفية حدوث الإعلانات والحسابات. خوارزميات حالة الارتباط وخوارزميات متجه المسافات هما طريقتان شهيرتان. فتح أقصر مسار أولاً عبارة عن خوارزمية تتبع خوارزمية حالة الارتباط و RIP (بروتوكول معلومات التوجيه) عبارة عن خوارزمية تستخدم خوارزمية متجه المسافات. بالنسبة للشبكات الكبيرة الحديثة التي تتطوي على الكثير من التغييرات أثناء التشغيل ، يعد التوجيه الديناميكي مثالياً.

في التوجيه الديناميكي ، يتم تحديث جداول التوجيه بشكل دوري ، وبالتالي ، إذا حدث أي تغيير ، سيتم تشكيل جداول التوجيه الجديدة وفقاً لها. ميزة أخرى هي أنه في التوجيه الديناميكي ، اعتماداً على الازدحام ، يتم تكييف التوجيه. أي إذا كان هناك ازدحام شديد في مسار معين ، فإن بروتوكولات التوجيه ستكتشفها وسيتم تجنب تلك المسارات في جداول التوجيه المستقبلية. عيب التوجيه الديناميكي هو أن الحساب معقد لأنه سوف يحتاج إلى قدر كبير من المعالجة. لذلك ، ستكون تكلفة أجهزة التوجيه هذه مكلفة.

1-2 عمليات التوجيه الديناميكي

يعتمد نجاح التوجيه الديناميكي على وظيفتين أساسيتين للموجه:

- المحافظة على جدول توجيه
- توزيع المعرفة في الوقت المناسب على هيئة تحديثات توجيه إلى الموجهات الأخرى
- يتكامل التوجيه الديناميكي على بروتوكول توجيه لمشاركة المعرفة بين الموجهات. يعرف بروتوكول التوجيه مجموعة القواعد التي يستعملها الموجه عندما يتصل بالموجهات المجاورة. مثلاً:
- كيفية إرسال التحديثات
- ما هي المعرفة المتواجدة في تلك التحديثات
- متى يجب إرسال هذه المعرفة
- كيفية إيجاد مستلمي التحديثات

1-3 تحديد المسافات على مسارات الشبكة

عندما تقوم خوارزمية التوجيه بتحديث جدول توجيه، يكون هدفها الرئيسي هو تحديد أفضل المعلومات لشمها في الجدول. كل خوارزمية توجيه تفسر معنى كلمة "أفضل" على طريقتها الخاصة. تولد الخوارزمية رقماً، يدعى القيمة المترية، لكل مسار عبر الشبكة. عادة، كلما كان الرقم المتري أصغر، كلما كان المسار أفضل. يمكن حساب القياسات المترية بناءً على ميزة واحدة للمسار، يمكنك احتساب قياسات مترية أكثر تعقيداً بدمج عدة مميزات، عادة القياسات المترية التي يمكن أن تستعملها الموجهات يمكن أن تفقد بالتالي:

- عرض الحزمة : سعة البيانات في الوصلة؛ (عادة، وصلة إيثرنت سعة 10 ميغابت بالثانية مفضلة على خط مؤجر سعة 64 كيلوبت بالثانية).
- المدة الزمنية (Time limit) : هي الوقت المطلوب لنقل رزمة على كل وصلة من المصدر إلى الوجهة.
- الحمل (load) : كمية النشاط في مورد شبكي كموجه أو وصلة.
- الموثوقية : تشير عادة إلى معدل الأخطاء في كل وصلة شبكية.
- عدد القفزات : عدد الموجهات التي يجب أن تسافر من خلالها الرزمة قبل أن تصل إلى وجهتها.

- النبضات : التأخير في وصلة بيانات باستعمال نبضات ساعة كمبيوتر IBM (حوالي 55 ميلي ثانية).
- الكلفة : وهي الكلفة التي يتكبدها المضيف من استضافة الشبكة، بما في ذلك الأجهزة وتراخيص البرامج وأي موارد أخرى مرتبطة بتشغيل الشبكة.

1-4 محددات بروتوكول التوجيه

1-4-1 خوارزمية التوجيه

هي الطريقة أو الآلية التي يتبعها بروتوكول التوجيه من أجل حساب وتحديد المسارات التي سوف تسلكها رزم البيانات،^[11] وتحتاج خوارزمية التوجيه إلى مُدخلات هي معلومات عن طوبولوجيا الشبكة، حيث يجمع بروتوكول التوجيه المعلومات الضرورية حول الشبكة ويخزنها ضمن جداول في ذاكرة الموجه ثم يقوم بتطبيق الخوارزمية باستخدام هذه المعلومات واتخاذ القرار لتحديد مسار رزم البيانات بغية الوصول الى الهدف. تعتمد بعض بروتوكولات التوجيه على خوارزمية بلمان-فورد، وفيها يتم حساب وزن كل مسار بشكلٍ مُنفرد وتراكمي، حيث يزداد الوزن بالابتعاد عن العقدة المصدر إمّا بحسب عدد القفزات أو أوزان الوصلات، تمتاز هذه الخوارزمية بسهولة حسابها وعدم تعقيدها لكنّها بالمقابل لا تقدّم وصفاً دقيقاً لطوبولوجيا الشبكة،^[12] وتعاني من مشكلة تشكّل الحلقات بسبب عدم وجود تصوّر نهائي للشبكة بعد الانتهاء من عملية إعادة الحساب، وتُسمى بروتوكولات التوجيه التي تُشغل هذا النوع من الخوارزميات ببروتوكولات التوجيه العاملة بخوارزمية شعاع المسافة^[13].

تُشغل بروتوكولات توجيه أخرى خوارزمية ديكسترا التي تُنتج وصفاً دقيقاً وتفصيلياً أشبه بخريطة للشبكة، لكن ذلك يتم على حساب التعقيد وزيادة الوقت اللازم لإنجاز الحسابات. في هذه الخوارزمية يُوجد البروتوكول أفضل مسار نحو كل وجهة على اعتبار أن الموجه الذي يُشغله هو المصدر، وتكون النتيجة النهائية طوبولوجيا خالية من الحلقات^[14]. تعتمد دقة الخوارزمية على نوعية القيم التي يتم استعمالها لحساب الأوزان، وتسمى البروتوكولات التي تُشغل هذا النوع من الخوارزميات ببروتوكولات التوجيه العاملة بخوارزمية حالة الوصلة^[13].

يُمكن لبروتوكول التوجيه أن يعتمد على خوارزمية تسلك سلوكاً يجمع بين الخوارزميتين السابقتين، ويُسمى في هذه الحالة بروتوكولاً هجيناً^[15]. كما يُمكن أن يُشغل شكلاً مُعدلاً من خوارزمية شعاع المسافة بحيث لا تتشكل الحلقات فيه، ويُسمى في هذه الحالة ببروتوكول التوجيه العامل بخوارزمية شعاع المسار.

1-4-2 وزن وكلفة المسار

هو قيمة عددية تُمنح للمسار أو لجزء منه أو لوصلة بين نقطتين بغرض خلق آلية للقياس والمقارنة، ويختلف معنى الوزن وكيفية حسابه باختلاف بروتوكول التوجيه المستخدم. بشكل عام، كلما كان وزن المسار أقل، كان المسار أفضل، السبب في ذلك هو الطبيعة التراكمية لوزن المسار التي غالباً ما تكون مجموعاً لقيم مأخوذة أو محسوبة من الوصلات على طول المسار [17].

تختلف طريقة حساب الوزن بين بروتوكولات التوجيه، فبروتوكولات التوجيه العاملة بخوارزمية شعاع المسافة، تقوم بإيجاد المجموع الجبري لأوزان الوصلات التي تُشكّل المسار، وعندما تكون الأوزان جميعها مُساوية للواحد، فإنّ المجموع يُمثّل عدد القفزات أو الوصلات على طول المسار، وهي طريقة شائعة جداً لحساب الوزن في هذه العائلة من البروتوكولات [18]. بينما تعتمد بروتوكولات التوجيه العاملة بخوارزميات أخرى على مجموعة أكبر من العوامل لحساب وزن كل وصلة في المسار مثل عرض نطاقها وزمن التأخير فيها، بالإضافة لوثوقية الوصلة وغيرها، [19] وكلما ازداد عدد العوامل الداخلة في الحساب، ازداد تعقيد العملية وازدادت دقتها في تحديد أفضل المسارات .

بسبب تنوع طرق الحساب والعوامل الداخلة فيه، فإنّ معنى وقيمة الوزن يختلفان بحسب البروتوكول المستخدم فقد لا تتجاوز قيمة وزن المسار في بعض البروتوكولات بضع عشراتٍ أو أقل، وقد تصبح قيمة الوزن لنفس المسار بالملايين إذا استُعمل بروتوكول توجيه آخر، لذلك لا يُمكن المقارنة بين أوزان المسارات التي نتجت عن استخدام بروتوكولات توجيه مختلفة. وفي حال وجود مساريين لنفس الوجهة، ولكن تمّ الحصول عليهما من بروتوكولي توجيه مختلفين فلا تتمّ مقارنة الوزنين، وإنّما يُؤخذ الوزن الإشرافي لكل بروتوكول، ويتمّ اختيار المسار الذي أوجده البروتوكول صاحب الوزن الإشرافي الأقل قيمةً.

1-4-3 رسائل التحديث

الأصل في بروتوكول التوجيه أن يتعامل مع كامل طوبولوجيا الشبكة دفعة واحدة، بدون تقسيمها إلى مناطق أو عناوين أو التعامل معها بحسب بُنية هرمية، بل العمل فيها وكأنّها مكونة من مستوى واحد فقط، ويُسمى هذا النوع من الطوبولوجيا بالطوبولوجيا المسطحة [19].

لكن هذا لا ينطبق على جميع بروتوكولات التوجيه، ففي بعض الأحيان تكون الشبكة مُتشعبة ومُتباعدة الأطراف، وهو ما يُنتج طوبولوجيا هائلة الحجم يستحيل التعامل معها دفعة واحدة. وفي حالات أخرى تكون الطوبولوجيا معقدة بسبب دعم الفائضية [20]. أما في الشبكات المُتحركة، فتكون موارد العقدة قليلة، فلا

تستطيع تخزين جداول توجيه كبيرة أو معالجة طوبولوجيا كبيرة الحجم. وفي كل ما سبق يكون اللجوء إلى تقسيم الطوبولوجيا إلى أجزاء والتعامل مع كل جزء منفرد على حدة هو الحل .

يمكن أن يتم تقسيم الطوبولوجيا إلى مناطق أو عناقيد أو بشكلٍ هرميٍّ بحسب خوارزمية عمل بروتوكول التوجيه،^[21] وبعد التقسيم تُعنى المُوجّهات أو العقد التي تشغل البروتوكول بمعرفة كل المسارات في الجزء الذي توجد فيه، وبالمسارات الرئيسيّة التي تُوجّه الرزم إلى خارجه، ويتطلب ذلك من البروتوكول تعريف أنواع مختلفة من المُوجّهات بحسب موقعها في الطوبولوجيا الناتجة عن التقسيم، مثل المُوجّهات التي تقع بالكامل داخل منطقة واحدة أو التي تصل بين منطقتين أو التي تُشكّل رأس عنقود وغير ذلك بحسب الطريقة التي يتمّ فيها تقسيم الطوبولوجيا .

1-4-4 إعادة الحساب

هي العملية التي يقوم بها البروتوكول كردّ فعل على حصول تغيير في طوبولوجيا الشبكة، مثل توقّف أحد المسارات عن العمل أو ظهور مسار جديد^[22]. وتبدأ العملية من اللحظة التي يستشعر فيها البروتوكول حصول التغيير في الطوبولوجيا وتنتهي عند عندما تعود الشبكة لحالة الاستقرار مجدداً، أي عند وجود مسار فعّال لكل شبكة موجودة في جدول التوجيه. يُسمى الزمن الذي تستغرقه هذه العملية زمن إعادة الحساب، وكلّما كان هذا الزمن أقل كان أداء البروتوكول أعلى .

بسبب طبيعة عملها، فإن البروتوكولات العاملة بخوارزمية شعاع المسافة تستغرق زمناً طويلاً لإنجاز عملية إعادة الحساب^[23] والتي تتطلب وجود تقنيات خاصة مثل (Route Poisoning) أو (Split Horizon) لتلافي مشكلة تشكل الحلقات^[24]. أمّا البروتوكولات العاملة بخوارزمية حالة الوصلة فإنّها تُعيد تطبيق الخوارزمية وإجراء كل الحسابات من البداية من أخذ التغيير الحاصل بعين الاعتبار، وهي أسرع من سابقتها ولا خوف من تشكل الحلقات^[25].

بعض بروتوكولات التوجيه لها مُقاربة فردية لهذه الميزة، فهي تحسب أفضل مسارين نحو كل وجهة، وتضيف أفضلهما إلى جدول التوجيه في حين تحتفظ بالآخر بشكل احتياطي، لينوب عن المسار الأساسي في حال توقّفه عن العمل، وتشتترط هذه المقاربة أن لا يكون المسار الاحتياطي جزءاً أو يتشارك جزءاً مع المسار الأساسي^[26].

1-4-5 المؤقتات

إنّ الأحداث الأساسية التي يتجاوب معها بروتوكول التوجيه هي تفعيله على أحد المنافذ في عقدة ما من عقد الشبكة أو حصول تغيير في الطوبولوجيا. تُنظّم مؤقتات البروتوكول عملية التجاوب، وهي عبارة

عن أداة لقياس مدّة زمنية مُحددة بالثواني، وقد تجري عملية القياس بشكل تصاعدي، أي بدءاً من الصفر حتى قيمة مُحددة، أو تنازلي، أي من قيمة محددة حتى الصفر، وعند يسمى انتهاء الفترة الزمنية التي يجري قياسها بنفاذ المؤقت، أما إعادة ضبط المؤقت فتعني البدء بقياس الفترة الزمنية مرة أخرى من جديد .

يُشغل كل بروتوكول توجيه عدد من المؤقتات بحسب حاجته، وتكون هذه قيمة هذه المؤقتات عند إعادة الضبط قابلة للتهيئة، ولكن معظم البروتوكولات تستخدم قيماً مدروسة ومختارة بعناية لمؤقتاتها ويتم عادة تحديدها في المعايير الخاصة بالبروتوكول،^[27] ويجب توخّي الحذر عند تغيير هذه القيم لأن ذلك قد يؤدي إلى فشل البروتوكول أو عمله بصورة غير صحيحة، كما قد يؤدي ذلك إلى غمر الشبكة برسائل التحديث واستهلاك عرض نطاقها .

تُنظّم المؤقتات عمل رسائل التحديث، وعادة ما يقترن أحد المؤقتات بها بحيث يُحدد الزمن الفاصل بين كل رسالتي تحديث مُتتاليتين، فيتمّ إعادة ضبطه عند إرسال رسالة التحديث، ثمّ انتظار نفاذه لإعادة إرسالها مرة أخرى من جديد. بعض المؤقتات تُستخدم في عملية التحقق من استمرار الاتصال مع العقد الأخرى التي تُشغّل البروتوكول، والتي تسمى جيراناً. لتحقيق ذلك يُرسل البروتوكول العامل في العقدة رسائل تعارف (Hello) لكل جار من جيرانه، وتحصل هذه العملية بشكلٍ دوري، بفواصل زمنية ثابتة يُحددها مؤقت خاص،^[28] وطالما استمرت عملية استقبال رسائل التعارف من الجار فإنّ ذلك يعني أنّه ما يزال فعّالاً .

تُساعد المؤقتات أيضاً في تنظيم دورة حياة المسار، فالعديد من بروتوكولات التوجيه تُخصص مؤقت لكل مسار، لتحديد صلاحيّته، ويتمّ إعادة ضبط هذا المؤقت في كل يجري فيها استقبال رسالة تحديث تُؤكّد أن المسار المرتبط به مازال فعّالاً. بالإضافة لذلك، فإنّ بعض بروتوكولات التوجيه لا تحذف المسار غير الصالح بشكل مُباشر من جدول التوجيه، وإنّما توسمه بسمة خاصّة على أنّه غير صالح لفترة من الزمن يُحددها مؤقت خاص، وفي حال نفاذ هذا المؤقت بدون ورود أي معلومات عن المسار يتمّ حذفه بشكلٍ نهائي من جدول التوجيه .

1-5 تصنيف بروتوكولات التوجيه

في الشبكات الثابتة، تُصنّف بروتوكولات التوجيه بحسب الهدف من استخدامها، إمّا إلى بروتوكولات توجيه خارجيّة أو بروتوكولات توجيه داخلية، يعمل بروتوكول التوجيه الداخلي داخل نظام مستقل ما، أما بروتوكول التوجيه الخارجي فيعمل بين الأنظمة المُستقلة^[29].

أو تُصنّف بحسب طريقة العمل، إمّا إلى بروتوكولات توجيه عاملة بخوارزمية شعاع المسافة أو بروتوكولات توجيه عاملة بخوارزمية حالة الوصلة أو بروتوكولات التوجيه العاملة بخوارزمية شعاع المسار

أو بروتوكولات التوجيه هجينة، فبروتوكولات التوجيه العاملة بخوارزمية شعاع المسافة تعتمد على حساب وزن المسار بشكل تراكمي، غالباً باستخدام خوارزمية بلمان-فورد أو إحدى الخوارزميات المشابهة، أما بروتوكولات التوجيه العاملة بخوارزمية حالة الوصلة، فتعتمد على بناء طوبولوجيا كاملة للشبكة قبل البدء بحساب أوزان المسارات، وتعتمد بالغالب على خوارزمية ديكسترا، وقد تسلك بعض البروتوكولات سلوكاً مختلطاً من المجموعتين السابقتين، فتسمى بروتوكولات توجيه هجينة. أما البروتوكولات العاملة بخوارزمية شعاع المسار، فهي تعتمد على خوارزمية شعاع المسار، وهي خوارزمية شبيهة من حيث المبدأ بخوارزمية بلمان فورد، ولكنها قادرة على حل مشكلة تشكل الحلقات من تلقاء نفسها، كما أنها تحتفظ بمعلومات تخص المسار نفسه عوضاً عن الوزن التراكمي فقط .

أو تصنف بحسب سلوك البروتوكول مع فضاء العنونة الخاص ببروتوكول الإنترنت (IPv4) ، فإما أن يكون بروتوكول توجيه قياسي (Classful) أو غير قياسي (Classless) فبروتوكول التوجيه القياسي هو بروتوكول التوجيه الذي لا يتعامل إلا مع الشبكات القياسية من الأصناف (A) أو (B) أو (C) ، أما بروتوكول التوجيه غير القياسي فهو قادر على فهم وتوجيه الرزم نحو شبكات غير قياسية، أي شبكات نتجت عن عملية تجزئة الشبكة .

أو بحسب الطبقة التي يعمل فيها البروتوكول في نموذج الاتصال المعياري (OSI) ، فقد تعمل بروتوكولات التوجيه في الطبقة الثانية أو الثالثة أو السابعة.

بروتوكول التوجيه	التصنيف بحسب الطبقة بحسب نموذج الاتصال المعياري (OSI)	التصنيف بحسب السلوك مع فضاء العنوان الخاص ببروتوكول الإنترنت	التصنيف بحسب خوارزمية العمل	التصنيف بحسب الهدف من الاستخدام
بروتوكول معلومات التوجيه (RIPv1)	طبقة التطبيق	الإصدار الرابع (IPv4) ، قياسي	شعاع المسافة	داخلي
بروتوكول معلومات التوجيه (RIPv2)	طبقة التطبيق	الإصدار الرابع، غير قياسي	شعاع المسافة	داخلي
بروتوكول معلومات التوجيه (RIPng)	طبقة التطبيق	الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت (IPv6)، لا يخضع لهذا التصنيف	شعاع المسافة	داخلي
بروتوكول المسار الأقصر (OSPFv2)	طبقة الشبكة	الإصدار الرابع، غير قياسي	حالة الوصلة	داخلي
بروتوكول المسار الأقصر (OSPFv3)	طبقة الشبكة	الإصدار السادس، لا يخضع لهذا التصنيف	حالة الوصلة	داخلي
بروتوكول الربط بين الأنظمة الوسيطة (IS-IS)	طبقة ربط البيانات	الإصدار الرابع، غير قياسي	حالة الوصلة	داخلي
بروتوكول التوجيه بين البوابات الداخلية (IGRP)	طبقة الشبكة	الإصدار الرابع، قياسي	شعاع المسافة	داخلي
بروتوكول التوجيه الداخلي المُحسّن بين البوابات (EIGRP)	طبقة الشبكة	الإصدار الرابع، غير قياسي	هجين	داخلي
بروتوكول البوابات الحدودية الإصدار الرابع (BGP-4)	طبقة التطبيق	الإصدار الرابع، غير قياسي	شعاع المسار	خارجي
بروتوكول البوابات الحدودية (الإصدار مُتعدد البروتوكولات (MP-BGP)	طبقة التطبيق	الإصدار السادس، لا يخضع لهذا التصنيف	شعاع المسار	خارجي

الجدول (1-1) تصنيف بروتوكولات التوجيه الرئيسية

تختلف الشبكات المتحركة عن الشبكات التقليدية بعدم وجود معمارية ثابتة لها، فبنيتها مُتغيرة بطبيعتها ويؤثر هذا على طريقة وآلية عمل بروتوكولات التوجيه. في البداية، صُنفت بروتوكولات التوجيه في الشبكات المتحركة إلى تلك التي تُنشئ جداول التوجيه (Table-Driven)، وإلى التي تعمل عند الطلب (on-demand)، فالأولى تُنشئ جداول التوجيه بشكل مُسبق وتحافظ عليها مُحدثة بشكل دائم، أما الثانية فإنها تقوم بحساب المسار عند الحاجة فقط .

لاحقاً تم توسيع هذا التصنيف ليشمل ثلاث مجموعات، وأصبح تصنيفاً على أساس فلسفة التصميم أي طريقة عمل الخوارزمية، وسميت المجموعات الفاعلة (Active) والاستباقية (Proactive) والهجينة (Hybrid)، أما الاستباقية فهي التي تُنشئ جدول توجيه بشكل مُسبق، والفاعلة هي تلك التي تعمل عند الطلب أو عند الحاجة، والهجينة هي التي تسلك السلوكين معاً .

يُمكن أن تُصنّف بروتوكولات التوجيه في الشبكات المتحركة أيضاً بحسب الطريقة التي تقوم فيها بالتعامل طوبولوجيا الشبكة، فهناك بروتوكولات التوجيه التي تتعامل الطوبولوجيا المُسطحة، والتي تتعامل مع كامل طوبولوجيا الشبكة دفعة واحدة، أو التي تتعامل مع الشبكة بشكل هرمي، وهناك مجموعتين في هذا التصنيف فإمّا أن تُقسّم البروتوكولات الشبكة إلى عناقيد (Cluster) أو إلى مناطق (Zone) .

عادة ما يتم مقارنة بروتوكولات التوجيه في الشبكات المتحركة بحسب بُنية الطوبولوجيا (مُسطحة - هرمية)، وتوافرية المسارات، والتحديثات الدورية، والحاجة للتخزين وزمن التأخير وقابلية التوسع .

الفصل الثاني

بروتوكولات التوجيه الرئيسة

الفصل الثاني

بروتوكولات التوجيه الرئيسية

يقدم هذا الفصل تعريفاً بأهم بروتوكولات الانترنت المعيارية المستخدمة لنقل البيانات في شبكات الاتصالات في الوقت الحالي، وشرحاً مبسطاً لمبدأ عملها وميزاتها.

2-1 بروتوكول معلومات التوجيه Routing Information Protocol

بروتوكول RIP هو بروتوكول توجيه داخلي، وأحد أقدم البروتوكولات العاملة بخوارزمية شعاع المسافة، وهو يُستخدم عدد القفزات كوسيلة لحساب وزن المسار أو كلفته. يمنع البروتوكول من تشكيل الحلقات من خلال تطبيق يحدد عدد القفزات المسموحة بين المصدر والوجهة من أجل كل مسار. يستخدم البروتوكول عدد من الآليات لمنع انتشار معلومات التوجيه غير الصحيحة.

هناك ثلاث إصدارات من بروتوكول معلومات التوجيه، وهي الإصدار الأول (RIPv1) وهو موصوف بوثيقة طلب التعليقات (RFC 1058)، والإصدار الثاني وهو موصوف بالوثيقة (RFC 2453)،^[2] وهما يدعمان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت (IPv4) وإصدار الجيل التالي (RIPng) وهو موصوف في الوثيقة (RFC 2080) وهو يدعم الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت (IPv6).

يعمل بروتوكول معلومات التوجيه في طبقة التطبيق في حزمة بروتوكولات الإنترنت وهو يعتمد على بروتوكول حزم بيانات المستخدم (UDP) في طبقة النقل، وقد تم تخصيص رقم المنفذ (520) له في الإصدارين الأول والثاني ورقم المنفذ (521) في إصدار الجيل التالي.

2-1-1 خوارزمية توجيه بروتوكول RIP ومحدداته

يعتمد بروتوكول معلومات التوجيه على خوارزمية بلمان-فورد لحساب أفضل المسارات في كل إصداراته، وهي تُسمى أيضاً خوارزمية شعاع المسافة، وبحسب هذه الخوارزمية فإن كل مُوجه يشغل البروتوكول، يمتلك معلومات أساسية تصف طوبولوجيا الشبكة، ولكنها ليست شاملة ودقيقة، وتكون هذه المعلومات على شكل مجموعة من البنود، يمثل كل بند وجهة محتملة، ويضم وزناً للمسار الذي يقود إلى الوجهة، ومُعزفاً مُميزاً لأول عقدة في ذلك المسار. عملياً، لا يملك المُوجه معلومات كاملة عن المسار، فقط وزنه، وكيفية بلوغ أول عقدة فيه إنطلاقاً من العقدة التي تُشغل البروتوكول.

بشكل عام، تعمل الخوارزمية لتحقيق هدفين، الأول هو بناء جدول التوجيه في العقدة التي تُشغّل البروتوكول، والثاني هو تعقّب التغيرات الحاصلة في طوبولوجيا الشبكة وتحديث جدول التوجيه بشكل متوافق معها. لتحقيق الهدف الأول، يجب على كل موجه يُشغّل البروتوكول أن يتبادل المعلومات الخاصة بالتوجيه مع جيرانه من العقد الأخرى التي تُشغّل البروتوكول، أما تحقيق الهدف الثاني فيحصل بشكلين، إمّا عن طريق تبادل رسائل التحديث الدورية وملاحقة التغيرات الحاصلة في الطوبولوجيا من خلالها، أو من خلال التجاوب مع نوع خاص من رسائل التحديث، يُسمّى رسائل التحديث المُحفّزة (Triggered Updated)، وهي رسائل تحديث غير دورية تُرسل للإبلاغ عن رصد تغيير ما في الطوبولوجيا.

يُستعمل وزن المسار من أجل إيجاد طريقة للمقارنة بين المسارات المختلفة واختيار الأفضل، ويعتبر البروتوكول بأنّ المسار الأفضل الذي يصل بين نقطتين هو المسار صاحب الوزن الأقل. لكل مسار وزن، إذا كانت الشبكة متصلة بشكل مباشر مع العقدة، فإن وزن المسار إليها من تلك العقدة هو (0).

يعتمد بروتوكول معلومات التوجيه على قيمة الوزن التراكمي للمسار لتحديد مدى جودته، ولحساب هذا الوزن يتم إيجاد مجموع أوزان الوصلات التي تشكل المسار بين المصدر والوجهة، ولكن وزن كل وصلة هو (1) بشكل افتراضي، وبالتالي فإنّ مجموع الأوزان يتحول إلى عدد الوصلات التي تشكل المسار، وبصورة أدق إلى عدد القفزات على طول المسار. من حيث المبدأ هناك إمكانية لتعديل أوزان الوصلات، ولكن ذلك غير مُستحسن. يعتمد الوزن بشكل أساسي على طول المسار، وليس على معدل نقل البيانات في وصلاته، أي أن البروتوكول سيختار المسار الأقصر على حساب المسار الأسرع وبسبب ذلك فقد وجّهت انتقادات لطريقة تعريف البروتوكول "لأفضل" مسار.

إنّ أعظم وزن ممكن للمسار هو (15)، أما القيمة (16) فهي تُعبّر عن الوزن اللانهائي، ويكون وزن المسار لا نهائياً عندما يكون الوصول إليه غير ممكناً. يضيف ذلك قيداً على تشغيل البروتوكول في الشبكات الكبيرة الحجم، التي قد يزيد طول المسار فيها عن (15) قفزة.

تستعمل رسائل التحديث لنشر المعلومات المرتبطة بالتوجيه بين العقد التي تُشغّل البروتوكول. في بروتوكول معلومات التوجيه تحتوي رسائل التحديث على معلومات مأخوذة من جدول التوجيه، يختلف محتوى الرسالة بحسب إصدار البروتوكول المستعمل، ولكنها، وبشكل عام، تحتوي على عناوين وجهات وأوزان أفضل المسارات إليها. بالإضافة لذلك، يختلف عدد المسارات التي يُمكن لرسالة التحديث الواحدة أن تحملها باختلاف الإصدار، على أيّة حال، من الممكن أن يتم توزيع المعلومات على أكثر من رسالة تحديث في حال لم تكف رسالة واحدة.

في الإصدار الأول من بروتوكول معلومات التوجيه كانت رسائل التحديث تُرسل كرسائل بث عام، ولكن ذلك يؤدي إلى استهلاك عرض النطاق في الشبكة، لذلك أصبحت الرسائل ترسل بشكل بث مجموعاتي إلى عناوين خاصة، في الإصدار الثاني هو (224.0.0.9) والذي يُمثل عنوان مجموعة كل الموجهات التي تُشغل الإصدار الثاني من البروتوكول، أما في إصدار الجيل التالي فإن عنوان المجموعة هو (FF02::9)

هناك نوعين من رسائل التحديث التي يدعمها البروتوكول، الأول هو رسائل التحديث الدورية، وترسل هذه الرسائل بشكل دوري بفواصل زمنية ثابتة يُحددها مُؤقت التحديث، وتضمّ معلومات عن كامل جدول توجيه العقدة، أما النوع الثاني، فهو رسائل التحديث المُحقّرة، وهي تُرسل كرد فعل على اكتشاف تغيير في طوبولوجيا الشبكة، وذلك بهدف نشر المعلومات عن التغيير الحاصل بأسرع ما يمكن منعاً لتشكيل الحلقات . يخضع انتشار رسائل التحديث لقاعدة تحديد الأفق (Split Horizon) ، وذلك تلافياً لمشكلة العدّ إلى اللانهاية ولمنع تشكيل الحلقات .

أما فيما يتعلق بالمؤقتات ، كان كل مُوجه يُرسل معلومات عن كامل جدول توجيهه كل (30) ثانية، ففي التطبيقات الأولى كانت جداول التوجيه صغيرة الحجم بحيث لا يؤثر إرسالها بهذا الشكل على حركة البيانات، لكن مع توسّع الشبكات، أصبح من الواضح أن هناك زيادة مفاجئة في حركة البيانات كل (30) ثانية، حتى لو تمّ بدء تشغيل المُوجهات بأوقات عشوائية، أي لم يتمّ إقلاعها بنفس الوقت، حيث كان الاعتقاد السائد أن ذلك سوف يسبب جعل إرسال جداول التوجيه مُبعثراً زمنياً، لكن التطبيق العملي أثبت عكس ذلك. أظهرت دراسة لاحقة في العام 1994م، ^[12] أنه بدون توزيع عشوائي مُحكم، فإنّ مُؤقتات التحديث تتزامن مع بعضها بشكل آليّ مع مرور الوقت . يُشغل البروتوكول ثلاث أنواع من المُؤقتات، يرتبط النوع الأول برسائل التحديث، أما النوعين الثاني والثالث، فهما زوج من المُؤقتات يخصصان لكل مسار، ويلعبان دوراً أساسياً في دورة حياة المسار. بشكل عام، المُؤقتات التي يُشغلها البروتوكول هي كالتالي :

- مُؤقت التحديث: (Update timer) وهو مُوقت يحدد الزمن الفاصل بين التحديثات الدورية التي يُرسلها الموجه على المنافذ التي تمّ تفعيل البروتوكول عليها، بشكلٍ افتراضيّ تكون قيمته (30) ثانية.

- مُؤقت المهلة: (Timeout timer) وهو مُوقت خاصّ مرافق لكل مسار موجود في جدول التوجيه. يُحدد هذا المُؤقت صلاحية البند في جدول التوجيه، إذا نفذت قيمة المُؤقت فالبند غير صالح ولا يُؤخذ به. تضبط قيمة المُؤقت إلى القيمة (180) ثانية بشكل افتراضي عند إضافة المسار لجدول

التوجيه أول مرة، ويتم إعادة ضبط المؤقت في كل مرة يتم فيها استقبال رسالة تحديث تحتوي على بند مطابق للبند الموجود في جدول التوجيه.

- **مؤقت الانتظار (Garbage-collection timer):** قيمته الافتراضية (120) ثانية، وهو يحدد الزمن الذي يظل فيه المسار غير الصالح موجوداً في جدول التوجيه، يتم تفعيل هذا المؤقت فور اعتبار أحد المسارات غير صالحاً. في حال نفذ هذا المؤقت، بدون استقبال أي رسالة تحديث تحتوي معلومات عن المسار، فإن المسار يُحذف بشكل نهائي من جدول التوجيه، أما في حال استقبالها فيُعاد المسار ليكون صالحاً ويحافظ على موقعه في جدول التوجيه.

2-1-2 آلية عمل بروتوكول RIP

يقوم بروتوكول معلومات التوجيه بمهمتين أساسيتين، الأولى هي تعريف كل عقد الشبكة التي تشغله على أفضل المسارات نحو كل الوجهات المتاحة، بشكل أدق، ملء جداول التوجيه في هذه العقد، وتحصل هذه العملية اعتماداً على آليتين، الأولى هي التعرف على الشبكات المتصلة بشكل مباشر مع كل عقدة، والثانية هي الإعلان عنها إلى جميع العقد الأخرى، بحيث تنتشر هذه المعلومات لتصل إلى كل عقد الشبكة .

تحصل عملية تفعيل البروتوكول على مرحلتين، في المرحلة الأولى يتم تفعيل البروتوكول في العقدة ككل، بعد ذلك يتم تفعيله على منافذ العقدة بحسب التصميم الموضوع. بغض النظر عن الإصدار، يُعرف بروتوكول معلومات التوجيه، نوعين من الرسائل التي يتم تبادلها بين العقد التي تشغله، هذان النوعان هما [13]:

1. رسائل الطلب.

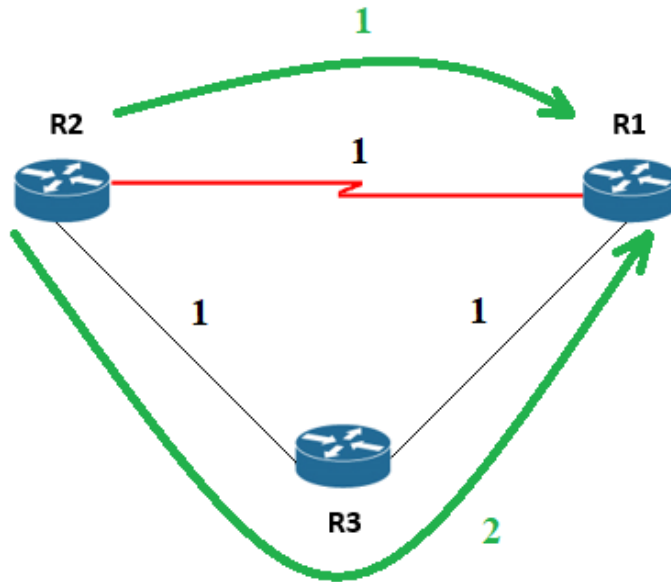
2. رسائل الرد.

عندما يتم تشغيل البروتوكول في موجه ما، فإنه يُرسل رسائل طلب بشكل بثّ عام عبر جميع منافذه التي تم تفعيل البروتوكول عليها، وتجيب جميع الموجهات الجيران، أي التي تُشغل البروتوكول أيضاً، بإرسال رسائل الرد الحاوية على جداول توجيهها. على أي حال، ترسل رسائل الردّ هذه بشكل دوريّ بفواصل زمنية ثابتة يحددها مؤقت خاص يُسمى مؤقت التحديث .

عندما يستقبل الموجه رسالة تحديث تحتوي على جدول توجيه، فإنه يُعالج كل بند فيه بحسب الخوارزمية

التالية [14]:

1. إذا كان البند يحتوي مساراً نحو وجهة جديدة، غير معروفة بالنسبة للبروتوكول في الموجه، فإنه يقوم بإضافتها بشكلٍ فوريٍّ إلى جدول التوجيه مع المعلومات المرافقة لها.
 2. إذا كان البند يحتوي مساراً نحو وجهة موجودة، ولكن بوزن أقل من الوزن المعروف بالنسبة للبروتوكول في الموجه، فإنه يقوم بتحديث قيمة الوزن بشكلٍ مباشر.
 3. إذا كان البند يحتوي مساراً نحو وجهة موجودة، ولكن بوزن أكبر من الوزن المعروف، فيتمّ تحديث وزن المسار إلى القيمة اللانهائية، وتشغيل مؤقت انتظار. لحين نفاذ مؤقت الانتظار فإنّ الموجه يستخدم المسار نفسه لتوجيه الرزم. بعد نفاذ مؤقت الانتظار، يتفحص البروتوكول قيمة وزن المسار في رسالة التحديث التالية، إذا كانت القيمة الجديدة ما تزال نفسها، أيّ القيمة الجديدة التي كانت أكبر من الوزن المعروف، فأنته يقوم بتعديلها في جدول توجيهه، الهدف من الانتظار قبل زيادة وزن مسار معروف، وإلا فإنه يعتبر بأنّ وزن المسار لانهاية وبأنه لا يمكن الوصول للوجهة، إن سبب استعمال مؤقت الانتظار هو لتجنب مشكلة العدّ إلى اللانهاية^[15].
- بعد ذلك ترسل رسائل التحديث بشكل دوري، ويُنظّم مؤقت التحديث ذلك، أو بشكل مُحفّز، وتسمى رسائل التحديث المحفّزة (Triggered Update Message)، وهي تُرسل عند اكتشاف حصول تغيير في وزن أحد المسارات، فيتمّ تحفيز رسالة تحديث خاصّة بالمسار، عوضاً عن الانتظار لنفاذ مؤقت التحديث، والهدف من ذلك هو نشر التحديث عبر الشبكة بأسرع ما يمكن منعاً لتشكّل الحلقات.

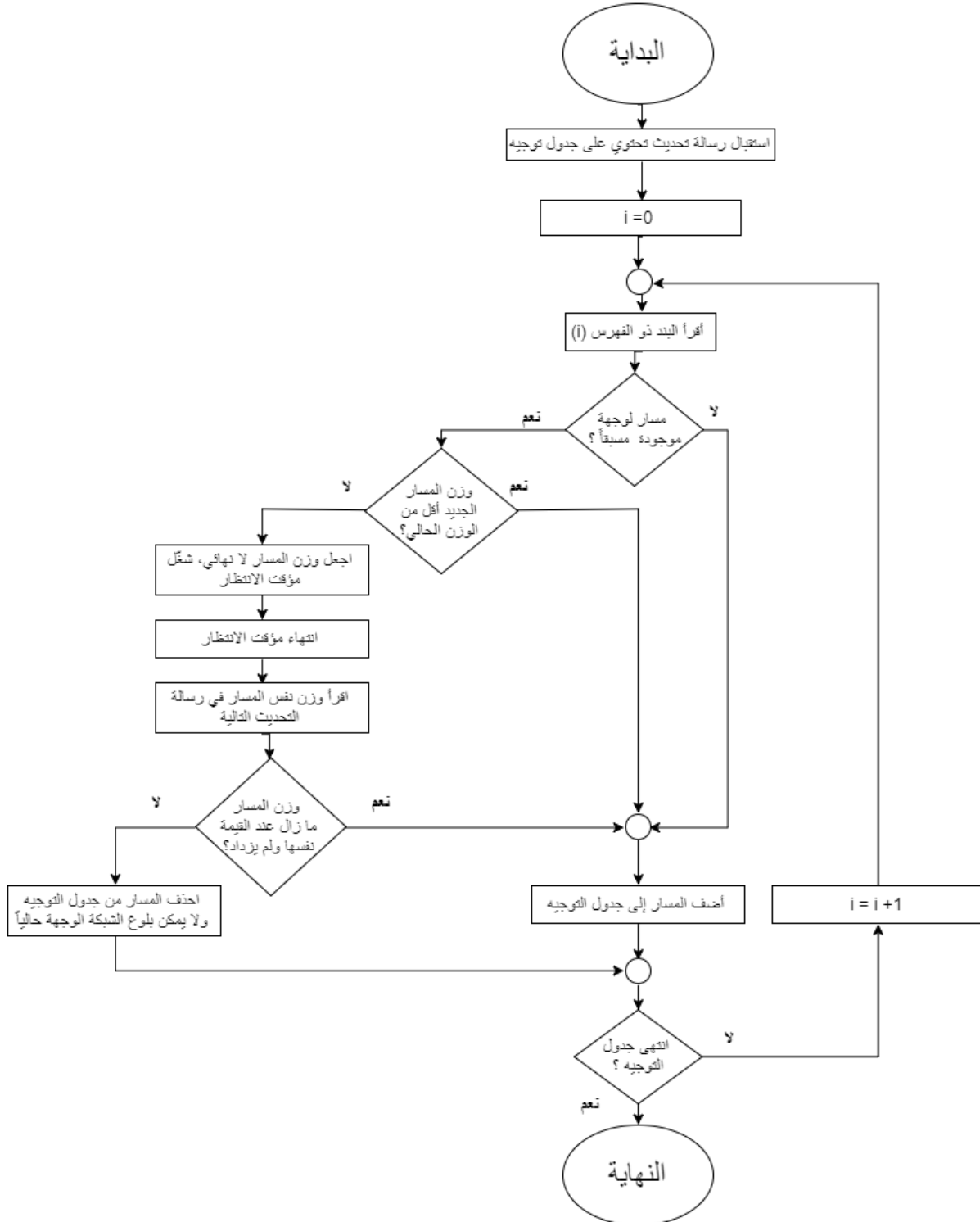


الحاشية

موجه	وصلة (1Mbps)	وصلة (56Kbps)
------	--------------	---------------

الشكل (1-2) مشكلة الاعتماد على عدد القفزات في بروتوكول RIP

في الشكل (2-1) توضح مشكلة الاعتماد على عدد القفزات تجعل اختيار أفضل المسارات غير دقيق، فالبروتوكول سيختار دوماً المسار الأقصر على حساب الأسرع أو الأقل ازدحاماً. في هذا المثال يختار البروتوكول المسار المباشر الذي يربط بين الموجهين (R2) و (R1) لأن وزنه هو (1)، على الرغم من المسار غير المباشر، عبر الموجه (R3) أفضل بكثير من حيث معدل النقل، لكن وزنه هو (2).



الشكل (2-2) خوارزمية التوجيه في بروتوكول RIP.

2-2 بروتوكول المسار الأقصر أولاً Open Shortest Path First

بروتوكول OSPF هو بروتوكول توجيه، داخلي، من طائفة بروتوكولات التوجيه المعتمدة على حالة الوصلة بين عقد الشبكة، ينتخب المسار الأقصر بحسب خوارزمية ديكسترا، يعمل على توجيه رزم بروتوكول الإنترنت داخل نظام مُستقل ما. إنَّ مُحددات الإصدار الثاني من بروتوكول فتح أقصر مسار أولاً (OSPFv2) موجودة بوثيقة طلب التعليقات (RFC 2328)، وهو يدعم رزم الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت (IPv4)، أما مُحددات الإصدار الثالث من بروتوكول فتح أقصر مسار أولاً (OSPFv3) فهي موجودة في الوثيقة (RFC 5340) وقد طُوِّر خصيصاً لدعم توجيه رزم الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت (IPv6).

يقوم OSPF بالكشف عن التغييرات في الطوبولوجيا، كحالات مثل إخفاق الوصلات، فيعمل بسرعة كبيرة لتتوافق المسيرات على بُنى تعليمات توجيه جديدة، أي تحديد مسارات للحزم تُجنّبها الدخول في مسارات دائرية، وذلك في غضون ثوان. حيث يحسب الطريق الأقصر (شجريا) لكل جهة باستخدام خوارزمية ديكسترا، وهي خوارزمية لإحتساب أفضل الطرق، تأخذ في الحسبان "تكلفة" المسار بحسب معطيات مثل الزمن اللازم لإرسال حزمة وإستقبالها عبر المسار، أو قدرة المسار على إستيعاب دفق البيانات أو الثقة ببقاء المسار متاحاً؛ معبرا عنها بقيم عددية مجردة.

2-2-1 خوارزمية عمل بروتوكول OSPF

يستخدم الـ (OSPF) خوارزمية الـ (Dijkstra) وذلك من أجل حساب أفضل مسار لكل شبكة. ويقوم الـ (OSPF) بإرسال تفاصيل عن الشبكات الموجودة داخل المنظومة ولا يقتصر الأمر على عنوان الشبكة الـ (network address) فقط، بل تحتوي المعلومات المرسلّة عن الشبكات، نوع الشبكة وعنوان الشبكة ورقم الرواوتر الـ (Router ID) المعلن عن هذه الشبكة بالإضافة لتفاصيل أخرى.

يقوم كل راوتر بالإعلان عن الوصلات (links) التي لديه والمفعلة ضمن عمل البروتوكول وكذلك الوصلات التي تعلّمها من خلال بروتوكول الـ (OSPF) والموجودة لدى الراوترات الأخرى. تستخدم الـ ("LSAs" Link State Advertisements) لنشر التفاصيل عن الوصلات الموجودة داخل المنظومة. والجدير بالذكر بأن تفاصيل الشبكات التي تعنى بها الراوترات هي بالأساس موجودة على وصلات، أي أن طبيعة الوصلات وصفتها ينعكس على طبيعة الشبكة وصفتها، ولهذا السبب اعتمد تسمية الوصلات بدل من الشبكات.

يستخدم الـ (OSPF) قيمة الـ (bandwidth) لحساب كلفة (metric) الوصول لأي شبكة، وتعتمد المعادلة المخصصة لحساب الكلفة على قيمة مرجعية تسمى الـ (reference bandwidth) وقيمتها الافتراضية (108) وتقسّم القيمة المرجعية على قيمة الـ (bandwidth) لإيجاد الكلفة.

$$\text{metric} = 108 / \text{bandwidth}$$

من أهم مزايا الـ (OSPF) أنه (classless) أي أنه يدعم نقل المعلومات عن الشبكات الجزئية (subnetworks)، حيث تحمل التحديثات المرسلة عن الشبكات قيمة الـ (subnet mask) لكل شبكة مهما كان طوله. (VLSM)

وكذلك يمتاز الـ (OSPF) بنقل البيانات المتعلقة بالشبكات بموثوقية (reliability) نتيجة استخدام رسالة مخصصة (ACK message) لتأكيد استلام الرسائل المختلفة المرسلة من الـ (OSPF) وهذا شبيه بمبدأ بروتوكول (TCP) الذي يمتاز بموثوقية نقل البيانات بين أجهزة المستخدمين لكنه يؤديها بطريقة مختلفة إذ يستخدم (TCP) خانة (Field) مخصصة لذلك ضمن الـ (header) المضاف على البيانات.

2-3 بروتوكول التوجيه الداخلي المحسن بين البوابات Enhanced

Interior Gateway Routing Protocol

بروتوكول EIGRP هو بروتوكول توجيه، داخلي، هجين، غير قياسي يعمل في طبقة الشبكة من نموذج الاتصال المعياري. في الأصل، تمّ تصميم البروتوكول ليكون ملكية خاصة لشركة سيسكو، وليمثل فقط على موجهاتها، ولكنه تحول لاحقاً بشكل جزئي إلى بروتوكول مفتوح المصدر في العام 2013م، ثم نُشرت وثيقة طلب تعليقات خاصة به فيه العام 2016، هي الوثيقة (RFC 7868)

جاء تطوير بروتوكول التوجيه الداخلي المُحسن بين البوابات ليحل محل بروتوكول التوجيه الداخلي بين البوابات. لقد كان الدافع الأساسي لهذا التطوير هو محدودية الأخير وعدم قدرته على مواكبة تطوّر الشبكات، يتميز البروتوكول بسرعة إنجازه لعملية حساب خالية من الحلقات وببساطة آلية عمله العامة رغم اعتماده على خوارزمية شديدة التعقيد .

يتمّ تشغيل البروتوكول في كل موجه بشكلٍ مُنفصل، وبعد تشغيله، يصبح الموجه عضواً في مجموعة كل الموجهات التي تُشغّل بروتوكول التوجيه المُحسن، ويبدأ عندها باستقبال رسائل التعارف من الموجهات الأخرى التي تشغّل البروتوكول والتي تسمى جيراناً. رسائل التعارف، وهي رسائل بث مجموعاتي، تُرسل إلى العنوان (224.0.0.10) من أجل الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، وإلى العنوان (FF02::A)

من أجل الإصدار السادس، وفي كلا الحالتين، فإن هذا العنوان هو عنوان مجموعة كل المُوجّهات التي تُشغّل بروتوكول التوجيه المُحسن. بعد ذلك، يتم تبادل المعلومات التي تخصّ الطبولوجيا، ثم حساب أفضل المسارات نحو الوجهات وأخيراً إضافة هذه المسارات إلى جدول التوجيه لاستخدامها في توجيه رزم البيانات. يتميز بروتوكول التوجيه المُحسن بعدد من الميزات، أهمها سرعة عملية إعادة الحساب، فهو الأسرع من بين بروتوكولات التوجيه إذا تمّ استعمال كامل ميزاته، بالإضافة إلى عدم استهلاكه لعرض النطاق المُتاح في الشبكة من أجل تبادل معلومات التوجيه، فباستثناء عملية التبادل التي تحصل عند التعارف، فإنّ العقد التي تشغّل هذا البروتوكول لا تتبادل كامل معلومات التوجيه بعد ذلك مطلقاً، بل تكتفي بتبادل المعلومات المُتعلقة بالتغيرات الحاصلة في الطبولوجيا، ويكون هذا التبادل محدوداً ولا يشمل كامل الشبكة^[11]. بالإضافة لذلك، فمن السهل تشغيل البروتوكول وتقديم الدعم الفني له، ولكن الاستفادة من كامل ميزاته، تتطلب تصميمًا دقيقاً للشبكة، وفهماً لخوارزمية العمل المُعقّدة، وكيفية حساب الأوزان وآلية انتشار التحديثات.

2-3-1 خوارزمية عمل بروتوكول EIGRP

يعمل بروتوكول التوجيه المُحسن على بناء جدول التوجيه والحفاظ عليه بأحدث صورة مُمكنة، كما يتميز بإجراءاته عملية إعادة حساب سريعة وبدون تشكّل حلقات. من حيث فلسفة التصميم، فإنّ هذا البروتوكول يعمل وفق خوارزمية مُشابهة لخوارزمية شعاع المسافة، من حيث الشكل، ولكن هناك العديد من الاختلافات من حيث المضمون.

بعد تفعيل البروتوكول على منافذ الموجه، يبدأ المُوجّه باكتشاف جيرانه أولاً، والجار هو مُوجّه آخر يُشغّل البروتوكول ويقع على بعد قفزة واحدة فقط، ثم يُنشئ البروتوكول الذي يعمل في كلا الموجهين علاقة جيران تربطهما، ويتمّ الحفاظ على فعالية هذه العلاقة من خلال تبادل نوع خاص من الرسائل يسمى رسائل التعارف. يحتفظ كل مُوجّه بجدول خاصّ يضمّ المعلومات الخاصة بالجيران المُتصلين معه، وبالعلاقات معهم ويُسمى هذا الجدول بجدول الجيران.

بعد إنشاء علاقات الجيران، يقوم المُوجّه الذي تمّ تفعيل البروتوكول فيه، بإرسال المعلومات التي ترتبط بالشبكات المُتصلة معه بشكل مباشر إلى جيرانه، بالإضافة لاستقباله معلومات التوجيه الخاصة بالطبولوجيا منهم، ولا يتمّ بعد ذلك تبادل كامل معلومات التوجيه بين الجيران أبداً، وتقتصر المعلومات المُتبادلة فقط على التغيرات الحاصلة في الطبولوجيا.

بعد ذلك يقوم الموجه بتجميع المعلومات التي استقبلها في جدول خاص هو جدول الطوبولوجيا، ويضمّ هذا الجدول بنوداً يُمثل كل منها وجهة ما في الشبكة. إنّ المعلومات الموجودة في هذا الجدول لا تقدّم وصفاً دقيقاً مُتكاملاً لكامل الطوبولوجيا، وهي عبارة عن توصيف لمسارات فيها، وهي تشمل التأخير الكلي الحاصل على طول المسار، وأدنى عرض نطاق خاص بوصلة من بين الوصلات التي تُشكّل المسار، بالإضافة للوزن المنقول الخاص بالمسار، وغير ذلك .

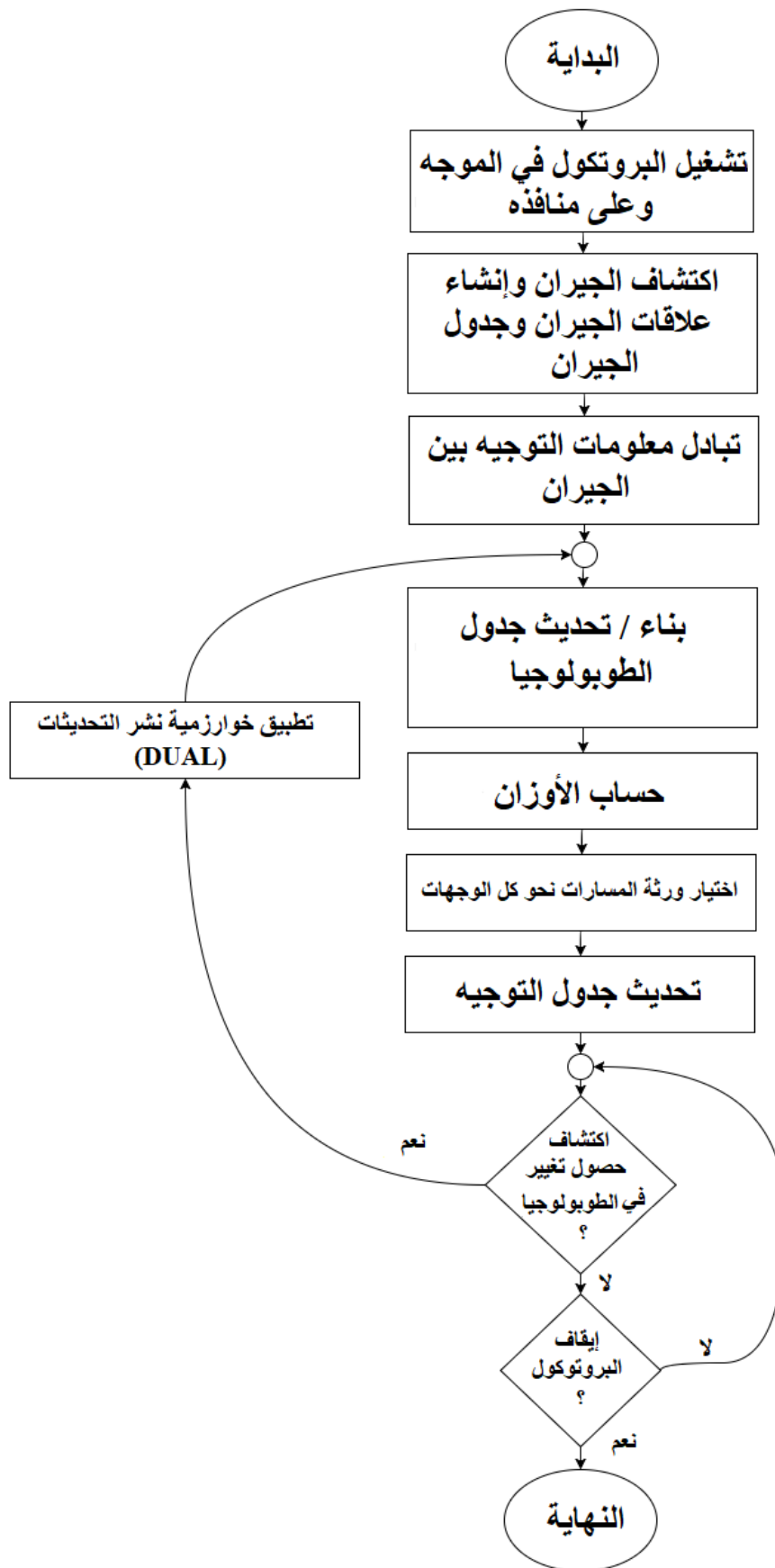
من حيث المبدأ، يزداد وزن المسار مع زيادة طوله، ويزداد طول المسار من خلال إضافة وصلات جديدة إليه. من أجل كل مسار، يملك الموجه وزناً خاصاً، بالإضافة لمعرفة للموجه الذي يُمثل الخطوة التالية في المسار، والذي يُسمى الوارث بحسب مصطلحات البروتوكول، في هذا فإنّ البروتوكول يسلك سلوك بروتوكول عامل بخوارزمية شعاع المسافة، لكنّ في نفس الوقت، فإنه يحتفظ بمعلومات تخصّ الطوبولوجيا مثل زمن التأخير وعرض النطاق الأدنى في وصلات المسار، وهو بذلك يسلك سلوك بروتوكول عامل بخوارزمية حالة الوصلة من حيث تجميعه لمعلومات تصفّ الطوبولوجيا، على أي حال، فإن هذا البروتوكول لا ينتمي إلى أي من المجموعتين، وغالباً ما يُوصف بأنّه بروتوكول هجين (Hybrid)،^[17] أو بأنّه بروتوكول توجيه عامل بخوارزمية شعاع المسافة المُطوّرة^{[18][19]} (Advanced Distance Vector) بعد اكتمال عملية تبادل المعلومات، يتمّ تطبيق معادلة خاصة لحساب وزن كل مسار، ويُضاف هذا الوزن إلى جدول الطوبولوجيا. لحساب الوزن الخاص بكل مسار، يستخدم عرض الحزمة الأدنى على طول المسار، وزمن التأخير الكلي، وقيمة الوثوقية الدنيا على طول المسار، ونسبة الحمولة العليا على طول المسار ونسبة الوثوقية الدنيا على طول المسار، ويُسمّى الوزن عندها وزناً تقليدياً. بالإمكان إضافة مُعاملات أخرى لحساب الوزن، مثل عدد القفزات ووحدة النقل الأعظمية (MTU) و تقلّل الإرسال والطاقة، ويسمى الوزن عندها بالوزن المُوسّع .

من أجل كل مسار، يحتفظ الموجه بوزنين هما الوزن المنقول وهو الوزن كما ورد من الجار الذي أعلن عنه، والثاني هو الوزن المحسوب، هو الوزن بعد إنجاز عملية الحساب. يتمّ ترتيب بنود جدول الطوبولوجيا بحسب الوجهات، وقد يمتلك الموجه أكثر من مسار نحو نفس الوجهة، وفي هذه الحالة يختار البروتوكول الوزن المحسوب الأدنى ويضيفه إلى جدول التوجيه، ويسمى الجار الذي أعلن عن هذا الوزن بوارث المسار . في حالة وجود أكثر من مسار نحو نفس الوجهة، قد يختار البروتوكول مساراً احتياطياً، ليكون مساراً بديلاً في حال فشل المسار الأصلي، ويتطلب ذلك تجاوز المسار لشرط خاص يسمى شرط المُلائمة. يسمح وجود مسار احتياطي بتسريع عملية إعادة الحساب بشكل كبير، ففي حال فشل المسار الأصلي يتمّ الانتقال

بشكل مباشر نحو المسار الاحتياطي، بدون إضاعة الوقت لإنجاز عملية حساب مسار جديد، لكن ذلك يتطلب تصميم الشبكة بشكل دقيق للاستفادة من هذه الميزة .

عند حصول تغيير في الطوبولوجيا، يطبق البروتوكول خوارزمية خاصة هي خوارزمية نشر التحديثات، تعمل هذه الخوارزمية على إيجاد العقد التي تأثرت بالتغيير الحاصل، لتقوم وحدها بالقيام بعملية إعادة الحساب، عوضاً عن قيام كل عقد الشبكة بذلك، تضمن خوارزمية نشر التحديثات الحصول على أفضل مسار بدون تشكل حلقات وبأسرع وقت ممكن من خلال تقليل عدد العقد المشاركة في الحاسب إلى أدنى عدد ممكن .

باستثناء ذلك، فإن البروتوكول يُحافظ على علاقات الجيران فعالة من خلال تبادل رسائل التعارف بشكل دوري، ولا يتم أبداً تبادل أي معلومات تتعلق بالطوبولوجيا أو بالتوجيه، وتستمر هذه الحالة المستقرة إلى حين حصول تغيير في الطوبولوجيا أو إيقاف تشغيل البروتوكول في الموجه.



الشكل (2-3) خوارزمية عمل بروتوكول EIGRP

2-3-2 مؤقتات بروتوكول EIGRP

يعتمد بروتوكول التوجيه المُحسّن (EIGRP) على ثلاث مُؤقتات لإنجاز عمله هي مُؤقت التعارف ومُؤقت الانتظار اللذان يحكّمان دورة حياة الجار، ومُؤقت الفعاليّة الذي يلعب دوراً هاماً في دورة حياة المسار .

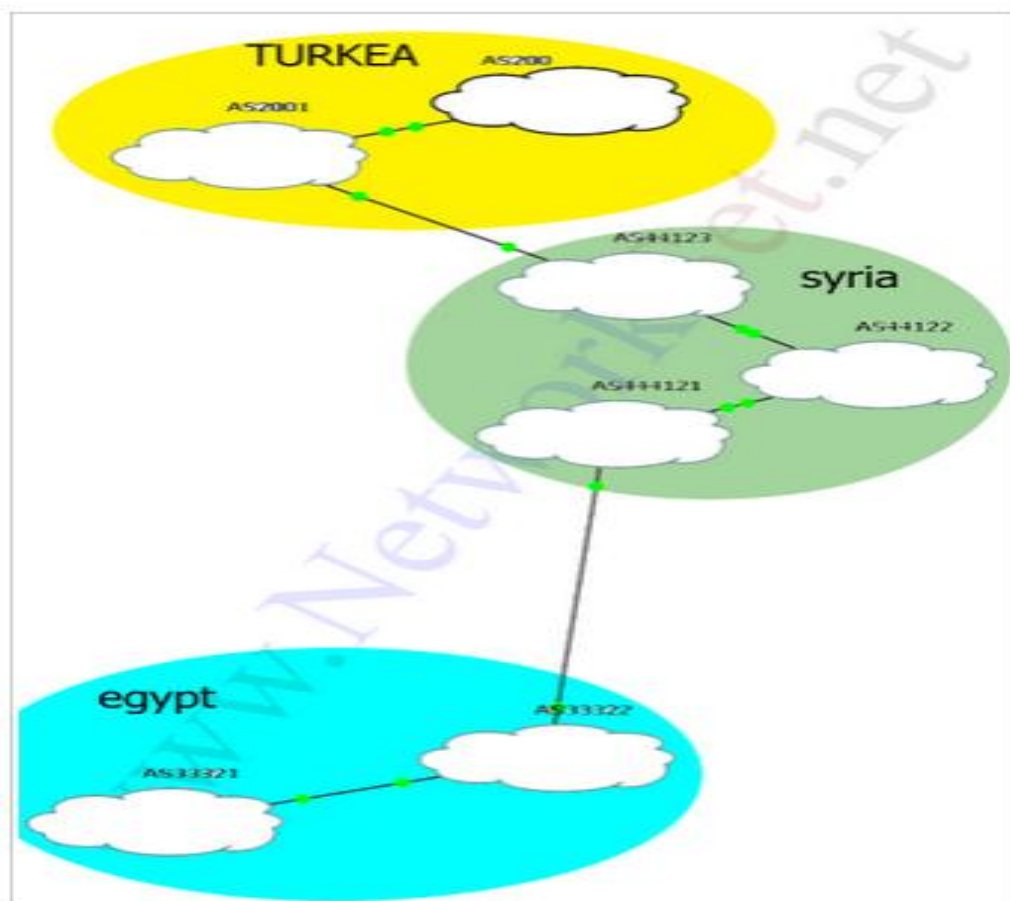
- **مؤقت التعارف:** يُحدد مُؤقت التعارف (Hello Timer) الفترة الزمنية الفاصلة بين رسائل التعارف التي يُرسلها البروتوكول عبر منفذ ما . في المُوجّهات العاملة بأنظمة تشغيل سيسكو تكون القيمة الاسميّة لهذا المُؤقت هي (5) ثواني في منافذ الشبكات المحليّة، و (60) ثانية في منافذ الشبكات المُتباعدة . لا يُسبب اختلاف قيم مُؤقت التعارف بين طرفين مانعاً لتشكل علاقة الجيران، ولكن وضع قيم غير مدروسة بشكلٍ جيّد قد يُسبب إنشاء علاقة جيران غير مُستقرّة .
- **مؤقت الانتظار:** يُحدد مُؤقت الانتظار (Hold Timer) الزمن الذي ينتظره البروتوكول بعد استلام رسالة تعارف من جارٍ ما قبل إعلان فشل علاقة الجيران معه، ويعني الفشل أنّ الوصول إلى الجار غير مُمكن، ويُعدّ ذلك تغييراً في الطوبولوجيا . يُسبب استلام رسالة تعارف من جارٍ ما إعادة ضبط مُؤقت العلاقة مع ذلك الجار إلى قيمته الاسميّة . بشكلٍ افتراضيّ، تكون قيمة هذا المُؤقت ثلاث أضعاف قيمة مُؤقت التعارف، وفي المُوجّهات العاملة بنظام تشغيل سيسكو تبلغ القيمة الاسميّة لهذا المُؤقت (15) ثانية في المنافذ المُتصلة مع شبكات محليّة، و(180) ثانية في المنافذ المُتصلة مع شبكات مُتباعدة .
- يجب الانتباه إلى أن آليّة تحديد فشل أو استمرار علاقة الجيران تعمل بشكلٍ مُستقلّ في كل من طرفي علاقة الجيران . لا يظهر أيّ إشكالٍ إذا استخدمت نفس قيمة مُؤقت الانتظار في طرفي علاقة الجيران، ولكن عند تهيئة قيم مُختلفة في الطرفين، فإنّ كل طرف سيستخدم قيمة مُؤقت الانتظار التي تمّت تهيئتها في الطرف الآخر كأساس لتحديد حالة علاقة الجيران، لا القيمة التي تمّت تهيئتها محلياً . يُرسل كل مُوجّه قيمة مُؤقت الانتظار الخاصّة به ضمن رسائل التعارف ليتمّ اعتمادها في جدول جيران الجار لاحقاً في حال نجاح علاقة الجيران، يجب أن تكون قيمة مُؤقت الانتظار أكبر من قيمة من مُؤقت التعارف، وتستحسن سيكسو أن تكون قيمة مُؤقت الانتظار ثلاث أضعاف قيمة مُؤقت التعارف .
- **مؤقت الفعاليّة:** يُحدد مُؤقت الفعاليّة (Active Timer) الزمن الذي يقضيه المسار في الحالة الفعّالة بعد إرسال رسالة الاستعلام قبل أن يعتبره البروتوكول عالقاً في الحالة الفعّالة (Stuck)

(in Active SIA)، يسبب نفاذ مؤقت الفعالية اعتبار الوصول إلى الوجهة غير مُمكناً وحذف المسار من جدول الطوبولوجيا ويُمكن أن تستخدم رسالة الاستعلام للإبقاء على الحالة الفعالة (SIA Query) من أجل إعادة ضبط هذا المؤقت إلى قيمته الاسمية بهدف منح المسار مزيداً من الوقت في الحالة الفعالة لحين انتهاء الحساب.

2-4 بروتوكول البوابة الحدودية Border Gateway Protocol

يعد بروتوكول BGP من أكثر البروتوكولات المستخدمة في الإنترنت يطلق عليه لقب قلب الإنترنت كونه مسؤول عن ربط جميع الأنظمة المستقلة autonomous System ببعضها البعض ويقصد بها الأنظمة التي تخضع لإدارة مستقلة عن بعضها البعض وهنا تكمن أهمية عمله في شبكات MPLS_VPN كونه يسمح لشبكات تختلف في أنظمة عملها وبروتوكولاتها وتقنياتها بتبادل البيانات. يعمل هذا البروتوكول على الطبقة الرابعة وهو يستخدم بروتوكول التحكم بالنقل TCP لترميز البيانات والاتصال مع الموجهات الموجودة في نظام مستقل AS آخر وكما هو معروف عن الـ TCP بأن أول مهامه هو فتح جلسة Session مع الطرف الآخر لذا الخطوة الأولى هي فتح جلسة مع الطرف الآخر من خلال البورت 179 الخاص ببروتوكول الـ BGP، والخطوة الثانية هي تبادل جداول التوجيه مع الطرف الآخر وهو يقوم فيها مرة واحدة فقط وبعدها يقتصر التبادل بين الجاران على شكل تحديثات فقط Update message [20].

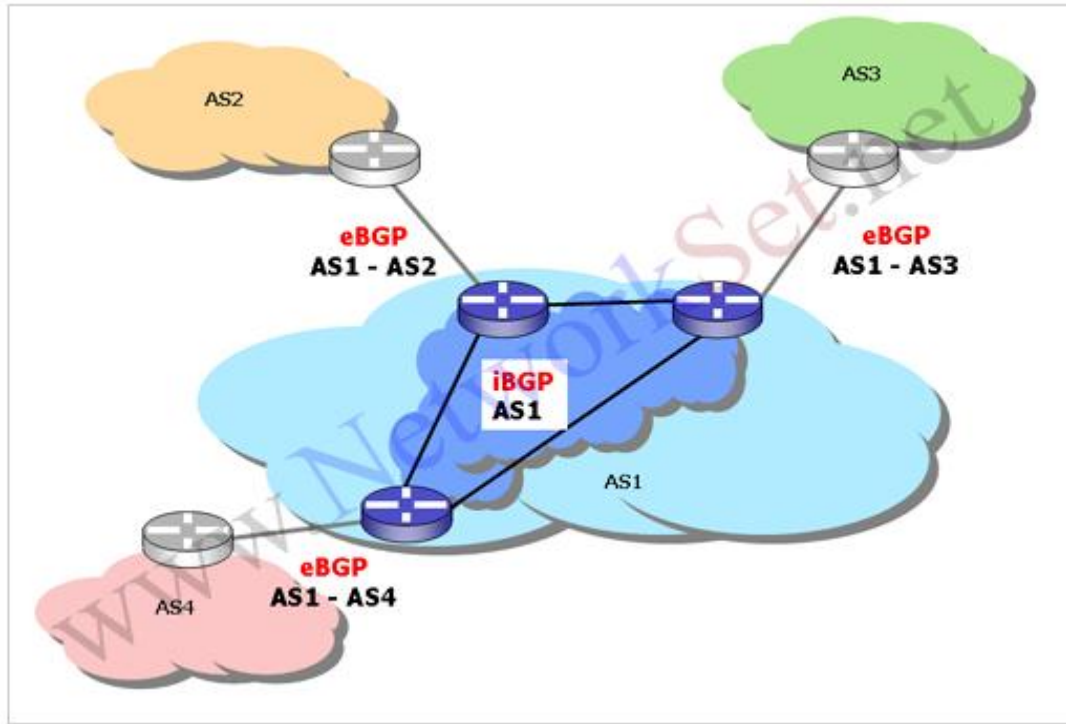
يقوم الـ BGP بوصل الأنظمة المستقلة autonomous System ببعضها البعض الـ AS هي عبارة عن أرقام تقوم الـ IANA بالأشراف عليها وتوزيعها على مخدمات الإنترنت في العالم وهي تتألف من 16 بت [21] تبدأ برقم صفر 0 وتنتهي 65536 ومن 64512-64534 تعد خاصة أي Privet AS ولا يمكن استخدامها وحتى عام 2008 تم حجز 49152 AS وقد تم وضع مخطط لزيادتها إلى 32 بت . إن كل شركة أنترنت تحصل على رقم خاص فيها والتي يستخدمها بروتوكول BGP لوصل كل شيء موجود على الأنترنت ببعضه البعض كشبكة واحدة فلك أن تتخيل حجم هذه الشبكة يوضح الشكل (2-4) هذا المفهوم بحيث تمثل كل غيمة شركة أنترنت أو ISP ولها رقم AS خاص يقوم بروتوكول الـ BGP بربطها جميعها مع بعضها البعض ويقوم بتبادل جداول التوجيه بينها.



الشكل (4-2) مفهوم AS ضمن شبكة الانترنت

أحد الشروط المهمة التي يجب إعدادها لكي يعمل البروتوكول بشكل جيد هي تعريف الجيران المتصلين مع الموجه بشكل يدوي ويطلق عليهم Peers كمصطلح وطريقة الأعداد سوف نتطرق إليه فيما بعد. يقوم البروتوكول بإرسال رسالة تدل على وجوده هي (Keep alive Msg) كل 60 ثانية ليتأكد من الاتصال مع جيرانه connective وهي 19 بايت .

يعتمد اختيار أفضل مسار في الـ BGP على عدة معاملات Attributes وهي كثيرة جدا وتنقسم إلى نوعين الأول Well-Known Attributes وهي إجبارية والثاني Optional Attributes وهي اختيارية. يوجد في بروتوكول BGP ثلاث جداول توجيه الأول خاص بالجيران المتصل معهم Peers Table والثاني جدول التوجيه BGP Routing Table وهي تحوي كل المسارات المتاحة للوصول إلى AS والثالث هي IP Routing Table وطبعا يوجد فيها أفضل مسار للوصول إلى AS .



الشكل (2-5): مسارات التوجيه الداخلية والخارجية في بروتوكول BGP

الفصل الثالث

دعم جودة الخدمة في شبكة الانترنت

الفصل الثالث

دعم جودة الخدمة في شبكة الانترنت

مع النمو المتزايد لحركة البيانات على شبكة الانترنت وظهور تطبيقات الوسائط المتعددة بدأ الاهتمام بمتطلبات جودة الخدمة في مختلف طبقات الشبكة بعد أن كانت محصورة سابقاً في الطبقات العليا والنظم الطرفية. يهتم هذا الفصل بالإضاءة على التقنيات الجديدة التي تهتم بتلبية متطلبات جودة الخدمة بدءاً من طبقة التوجيه والطبقات المرتبطة بها.

الهدف الأساسي من جودة الخدمة (QOS) هو تقديم مستويات التخدم الكافي لبعض التطبيقات غير المتجانسة (heterogeneous applications) دون التقليل من تخدم التطبيقات الأخرى.

3-1 مفاهيم جودة الخدمة

تعرف جودة الخدمة بأنها قياس لسلوك الشبكة في مواجهة تدفقات ذات خواص مختلفة، تلك الخواص ممكن أن تتعلق بنوع التطبيق أو حتى نوع الزبون، يمكن أن تصنف مجموعة التدفقات التي تشترك بنفس سوية درجة الخدمة ضمن صنف محدد.

3-1-1 المصطلحات الأساسية لمفهوم جودة الخدمة

ضبط حركة الرزم (Traffic Policing): يتيح قبول الرزم المقبولة ضمن الشبكة ورفض الرزم غير المقبولة، لذلك هذه العملية يجب أن توكل للموجهات التي تقع على حدود الشبكة أو ما تسمى موجهات الحافة (edge router).

تشكيل رزم البيانات (Traffic shaping): لا تهتم هذه العملية بأمور قبول أو رفض الرزم، إنما تصب اهتمامها على تنسيق رزم البيانات بالشكل المطلوب وتحقيق تجانسها. قد تتضمن رزم البيانات أشكالاً غير مرغوب بها لذلك تقوم هذه العملية على تخزين تلك الرزم والعمل على تحسينها لتصبح مطابقة أكثر للشكل المطلوب.

إدارة جودة الخدمة (Management of QOS): تهتم إدارة جودة الخدمة بتقسيم عرض الحزمة وفقاً لمتطلبات التطبيقات، وضمان تحقيق الإنصاف في تحديد حجم التدفقات، تقليل التأخيرات المختلفة، ضياعات الرزم الخ.

تختلف البارامترات المحددة لجودة الخدمة في كل طبقة من الطبقات المنطقية للشبكة، ولكن بوصف عام يمكن أن تحدد السوية درجة الخدمة بالخواص الرئيسية التالية: الموثوقية، التأخير، الرفعان وعرض الحزمة. تتبثق عن هذه المحددات الرئيسية محددات خاصة تختلف من بحث لآخر ومن تقنية لأخرى. وفقاً للخواص الرئيسية السابقة تحدد الهيئات النازمة سوية جودة الخدمة لأهم التطبيقات تبعاً للجدول الآتي:

التطبيق	الموثوقية	التأخير	الرجرة	عرض الحزمة
بريد إلكتروني SMTP	عالية	منخفضة	منخفضة	منخفضة
نقل ملفات FTP	عالية	منخفضة	منخفضة	معتدلة
نفاذ إلى الويب HTTP	عالية	معتدلة	منخفضة	معتدلة
دخول من بُعد TELNET	عالية	معتدلة	معتدلة	منخفضة
سمعي عند الطلب	منخفضة	منخفضة	عالية	معتدلة
فيديوي عند الطلب	منخفضة	منخفضة	عالية	عالية
الهاتف	منخفضة	عالية	عالية	منخفضة
التحكم من بعد	منخفضة	عالية	عالية	عالية

الجدول (3-1) خصائص جودة الخدمة للتطبيقات

تعتبر الموثوقية عامل مهم بالنسبة لتطبيقات تبادل المعطيات المطبقة في التعاملات المصرفية والمعاملات والأوراق الثبوتية إذ لا يمكن قبول وصول معلومات خاطئة كما لا يمكن القبول بفقدان جزء منها. من أجل ذلك تتبع هذه التطبيقات اجرائيات محددة ومطورة لكشف الخطأ وتصحيحه كرموز التدقيق وطرق الإقرار.

أما التطبيقات التي تعتمد على البريد الإلكتروني وتبادل الملفات فهي لا تعتبر حرجة إلى عامل الموثوقية أو حتى التأخير، بعكس تطبيقات الصوت التي تعتبر حرجة جداً أمام التأخير وأما الرفعان، كذلك الأمر فيما يتعلق بالتطبيقات التفاعلية المعتمدة أساساً على المحادثات الصوتية والفيديوية التي تتطلب سرعة وانسيابية عالية بعيداً عن التأخير والارتجاف، فضلاً على أن مثل هذه التطبيقات التفاعلية يتطلب عرض حزمة كبير ومعدل نقل بيانات عالي وتعتبر البيانات المتعلقة بتلك التطبيقات غير مرنة تجاه تغيرات الأحداث في الشبكة فه تتطلب قيمة دنيا لمعدل تدفق البيانات لا يمكن النزول عنها وضماناً لعدم التأخير وحداً أعلى يمكن القبول به بالنسبة للرفعان مع بعض المسامحة بوصول الرزم كاملة إليها. إذ أنه في تلك

التطبيقات التفاعلية يفضل إهمال الرزم المتأخرة أو الخاطئة مقابل الاسراع بإرسال الرزم المتبقية على أن لا يتجاوز فقدان الرزم الحد المقبول به.

بناءً عليه تضيف التطبيقات الحرجة للتأخير متطلبان أساسيان لبنية الشبكة:

- هناك حاجة إلى طريقة لإعطاء أفضلية في المعالجة للتطبيقات الأكثر إلحاحاً، وبالتالي يجب أن توسم أو تعرف تلك التطبيقات بمعرف يدل على أنها حرجية قبل البدء بتقديم الخدمة أساساً وبشكل يسمح للشبكة بتوقع الطلبات وبالتالي رفض الطلبات الجديدة في حال كانت موارد الشبكة لا تكفي لتلبيتها. برز بروتوكول حجز المورد RSVP كأحد أهم التقنيات المستخدمة لتحقيق هذا المتطلب والذي يعمل في طبقة النقل بالتنسيق مع الطبقات الأدنى، فهو لا يهتم بنوع البيانات المطلوب نقلها بقدر اهتمامه بمتطلبات تلك البيانات.
- بالإضافة لأفضلية المعالجة، هناك متطلب إضافي وهو أفضلية حجز موارد الشبكة للتطبيقات الأكثر إلحاحاً، كذلك ظهرت تقنيات جديدة تعطي تلك الأفضلية على مستوى أرتال الانتظار في عقد الشبكة البينية كالموجهات و المبدلات وكذلك على مستوى الوصلات، تعمل هذه التقنيات عادة في الطبقات الدنيا (طبقة التوجيه وطبقة نقل المعطيات) ومن أبرزها تقنيات الأرتال Queuing وتقنية الوسوم المتعددة MPLS.

3-2 تحسين التوجيه بتقنية تبديل الوسوم متعدد البروتوكول MPLS

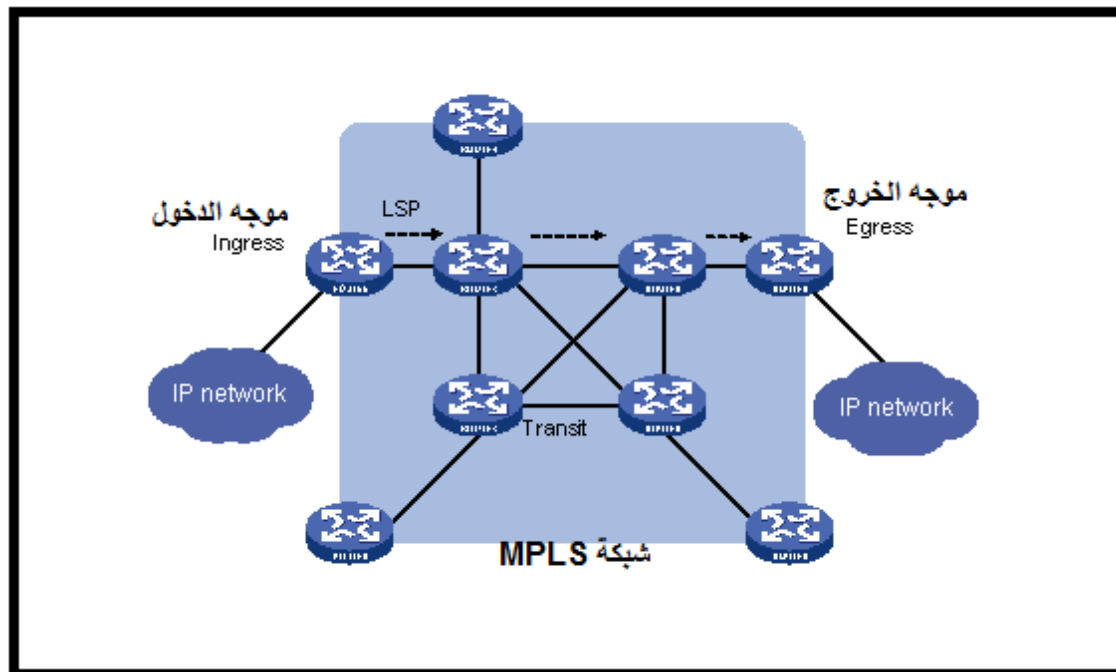
تبديل الوسوم متعدد البروتوكول (MPLS) هي معيار حدد من قبل قوة مهمات هندسة الإنترنت (IETF: Internet Engineering Task Force) في الوثيقة رقم 3031 تاريخ 2001 التي تحمل عنوان (Multiprotocol Label Switching Architecture) والتي قدمت من أجل تخصيص و توجيه وإرسال وتبديل تدفق الحركة بفاعلية عبر الشبكة، تعتبر تقنية جديدة نسبياً إذ تعمل على شبكات المناطق الواسعة (WAN) لتحسين عمل شبكات مزودي خدمات الإنترنت (Internet Service Providers) وتستخدم هذه التقنية للاستفادة من قدرتها على هندسة حركة مرور البيانات في الشبكة. إن تقنية التبديل المتعدد الوسوم للبروتوكول وحت في مجالات صناعة الاتصالات لسنوات عدة ، كما تم مناقشتها في الوثيقة RFC-3031، MPLS جمعت بين مزايا ATM ومزايا الطبقة الثالثة، لكنها لا تملك بنية مستقلة تعمل على التبديل والتوجيه بسرعة، MPLS هي تقنية تستخدم النفقية ضمن وبين الأنظمة المستقلة، كما أنه يتعامل مع مخطط IP كما لو أنه بيانات خام .

Link-layer header	MPLS label	IP header	Data
-------------------	------------	-----------	------

الشكل (3-1) موقع الوسوم ضمن رزمة بيانات الانترنت

في الشبكات MPLS الوسوم ثابتة الطول ،تستخدم لبناء الوسوم ولإدارة الوسوم بين موجهات الشبكة، هذه الوسوم يتم إرفاقها برزمة البيانات لتمريرها عبر الشبكة باستخدام تبديل الوسوم بدلا من تبديل الـ IP. تقنية تبديل الوسوم ليست بالتقنية الجديدة ويتم استخدامها مع تقنية Frame Relay ATM ، آلية التبديل السريعة في MPLS ممكنة من خلال إضافة وسوم في بداية الرزم مما يمكن التجهيزات من التبديل بين الوصلات بسهولة و بسرعة .

في جوهر عمل هذه التقنية أنها تجمع بين مزايا توجيه الـ IP وبساطة التبديل في Frame Relay ATM ، أجهزة MPLS تعمل على كل من طبقة IP وكذلك طبقة تبديل التسمية بسبب هذه الطبيعة تسمى هذه الأجهزة (LSR) Label Switch Routers .



الشكل (3-2): شبكة MPLS

تم تطوير هذه التقنية من بين مجموعة مقترحات لنقل بروتوكول الإنترنت IP من خلال تقنية ATM حيث قامت على التبديل باستخدام مؤشرات تعريفية تسمى وسوم (Labels) موجودة في كل رزمة ويكون طول بروتوكول الإنترنت فيها ثابتاً من أجل تسهيل إعادة توجيه حزم البيانات لشبكات أخرى. تكمن مزايا

تقنية MPLS في إمكانية استعمال بنية تحتية موحدة للشبكة بالإضافة إلى دمج أفضل بين التقنيات المستخدمة في شبكات وبروتوكول الإنترنت (IP) التي بدورها تعمل على تحسين جودة الخدمة (QoS). إن الميزة الجوهرية لتقنية MPLS والتي جعلتها واحدة من أفضل التقنيات هي توافقيتها الكاملة مع بروتوكول الإنترنت (IP) دون الحاجة لتغيير أي من مكونات الشبكة بعكس التقنيات التقليدية مثل شبكات النقل غير المتزامن وشبكات ترحيل الأثر ATM .

إن التحويل التقليدي باستخدام الـ IP يعتمد على بروتوكولات توجيه تستخدم لتوزيع معلومات التوجيه الموجودة في الطبقة الثالثة. ويجب أن تتواجد معلومات التوجيه هذه على كل جهاز موجود في الشبكة لتنتم عملية التوزيع. إضافةً لذلك يجب تشغيل بروتوكول BGP: Border Gateway Protocol على كل موجه ليتم تخزين معلومات التوجيه في جدول خاص، ويزداد تعقيد هذه المعلومات اعتماداً على حجم الشبكة. فضلاً على أن التحويل يعتمد على عنوان الوجهة فقط مما يتطلب أن تتم مراجعة عملية التوجيه عند كل موجه، حيث يتخذ كل موجه قراره في الوجهة التي سيرسل فيها المعلومات بشكل مستقل. تأتي وظيفة الـ MPLS للتقليل من هذه العقبات من خلال تقليل عدد مرات مراجعة معلومات التوجيه "Lookups" بل وقد تلغي الحاجة إلى تشغيل بروتوكولات توجيه محددة على بعض أجهزة الشبكة، إلا أن استخدام الـ MPLS لا يعني أبداً إلغاء عملية التوجيه التقليدي باستخدام IP وإنما تعلمان جنباً إلى جنب من أجل توفير سرعات أكبر في الاتصال.

3-2-1 مبدأ عمل تقنية MPLS

تقوم تقنية MPLS على مبدأ تبديل قيم الوسوم التي تم إلحاقها بكل رزمة بيانات، في كل موجه عبر موجهات الشبكة إلى أن تصل إلى الوجهة المطلوبة حيث يتم نزع هذه العلامات "Labels". ويكون لهذه الوسوم صيغة ثابتة يتم ادخالها في بداية كل رزمة بيانات عند دخول الرزمة إلى شبكة MPLS. في كل قفزة للرزمة خلال الشبكة يتم توجيهها بالاعتماد على قيمة الوسوم الواسلة حيث تنطلق إلى وجهتها التالية بعد إسناد قيمة جديدة للوسم حسب الموجه التالي المتاح للانتقال إليه.

عملية تبديل الوسوم labels تتم في موجهات خاصة تدعى (Label Switching Router. LSR) أما عملية إضافة الوسوم لرزمة ما أو حذفه فهي تتم في موجه يدعى الموجه الجبهي Edge LSR علماً أن كلا الموجهين يستطيعان القيام بنفس الوظائف، ولكن الاختلاف في التسمية يكمن في مكان توضع كل منهما في الشبكة. فالموجهات التي تكون عند دخول الشبكة أو الخروج منها تدعى Edge LSR أما الموجهات الوسيطة فهي تدعى LSR .

عند مدخل الشبكة يتم فحص علامة الرزمة لتحديد المسار الذي سيتم إرسالها فيه، والقيمة الجديدة التي ستسند إليها. وبما أن التبديل بين الـ labels ثابت فإن مسار الرزمة سيعتمد على القيمة البدائية له، وكل الرزم التي يتم إرسالها عبر طريق واحد تدعى بصف التحويل المتكافئ FEC .

في MPLS يحدث نقل البيانات على مسارات تبديل الوسوم (LSP's: Label Switching Path's) LSP's هي تسلسل من الوسوم عند كل عقدة على طول المسار من المنبع إلى الهدف. تُخصص LSP's إما قبل إرسال البيانات (قيادة متحكم بها) أو عند اكتشاف تدفق معين للبيانات (قيادة من قبل البيانات). الوسوم الموجودة تحت معرفات البروتوكول المحدد توزع باستخدام بروتوكول توزيع الوسوم (LDP: Label Distribution Protocol) أو (RSVP) أو تُحمل على بروتوكولات توجيه مثل بروتوكول البوابة الحدودية (BGP: Border Gateway Protocol) أو (OSPF) [12,13,4]. تقوم كل رزمة بيانات بتغليف وحمل الوسوم خلال رحلتها من المصدر إلى الهدف. تبديل البيانات بسرعة عالية هنا ممكن لأن الوسوم الثابتة الطول تُحشر عند بداية الرزمة أو الخلية ويمكن أن تُستخدم من قبل التجهيزات لتبديل الرزم بسرعة بين الوصلات.

في موجهات MPLS لا يتم إرسال الرزم بناءً على عنوان الهدف الموجود في الترويسة، بدلاً من ذلك يتم إرسالها بناءً على وسم يشابه بمهمته لقيمة معرف المسار الافتراضي/معرف القناة الافتراضية ((VPI/VCI: Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier)) الموجود في ترويسة خلية الـ ATM [12].

3-2-2 البروتوكولات المتوافقة مع تقنية MPLS

عائلة بروتوكولات MPLS تضم [5] :

❖ بروتوكولات التأشير والتوجيه :

1- OSPF (Open Shortest Path First).

2- RSVP (Resource Reservation Protocol).

3- Intermediate System to Intermediate System Routing Protocol

(IS-IS)

4- BGP (Border Gateway Protocol).

5- ATM PNNI .

❖ LDP (Label distribution Protocol).

❖ CR-LDP (Constraint Routed Label Distribution Protocol).

❖ RSVP-TE (Resource Reservation Protocol _ Traffic Engineering).

لتوسيع قدرة الـ MPLS قام المهندسين بتطوير معايير جديدة مثل Virtual Private LAN Services (VPLS) وخدمات الشبكات الافتراضية الخاصة الهرمية (HVPLS) وشبكات التبديل العمومية ذات البرتوكول متعدد الوسوم (GMPLS) [9,14].

إن تقنية الـ MPLS تحقق آلية لإدارة تدفق البيانات وجودة الخدمة (QoS). وتوفر MPLS سياسة جيدة لإدارة تدفقات البيانات وإدارة الاختناقات الحاصلة في ممرات الشبكة ، عن طريق تشكيل حركة المرور وإدارة الطوابير لرزم البيانات .

باختصار MPLS يعالج العديد من المشاكل المتعلقة بالشبكة اليوم ، كالسرعة وإمكانية التوسع بالشبكات وجودة الخدمات وهندسة تدفق البيانات .

مع هذه الميزات العديدة التي تقدمها شبكات MPLS أصبحت شبكات الجيل الجديد لحل مشكل نقل البيانات بأنواعها المختلفة كالصوت والصورة باستخدام نفس الشبكة .

الفصل الرابع

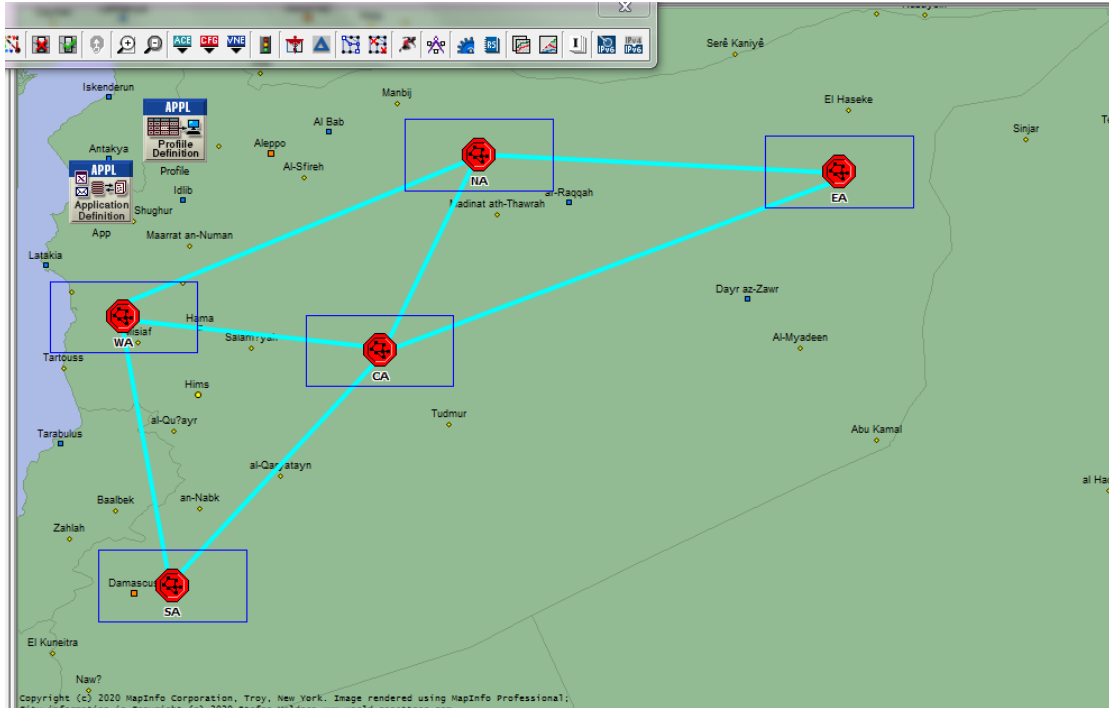
القسم العملي

القسم العملي

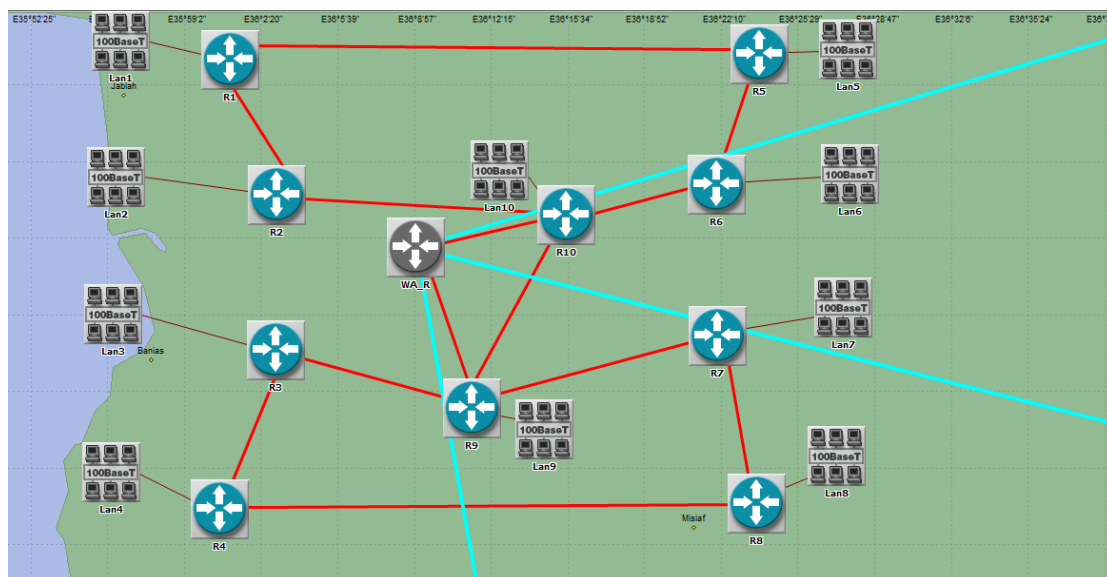
يتم في هذا القسم وضع نموذج واقعي لشبكة خدمات تعتمد على شبكة أساسية من الموجهات المنتشرة على مساحة جغرافية محددة، تصلح هذه الشبكة لأن تقدم خدمات الانترنت لجامعة افتراضية مثلاً أو مكاتب حوالات مالية، أو حتى شركة مصرفية.

1-4 تصميم نموذج الشبكة

تم تصميم الشبكة وفق النموذج الآتي، شبكة كبيرة تغطي كامل أراضي الجمهورية العربية السورية مقسمة إلى خمس مناطق أساسية، المنطقة الغربية، الشرقية، الجنوبية، الشمالية والمنطقة الوسطى. كل منطقة تخدم عشرة شبكات محلية كل شبكة محلية تتألف من 10 محطات عمل، وتتصل هذه الشبكات المحلية مع بعضها بتركيبة من الموجهات (10 موجهات) ، وتستخدم موجه إضافي كبوابة عبور للاتصال مع بقية مناطق الشبكة الكبيرة والانترنت. توضح الأشكال (1-4) (2-4) توزيع الموجهات وفق التصميم المقترح. مع الأخذ بعين الاعتبار نقطة مهمة جداً في التصميم أنه لكل موجه يجب أن يكون لديه مسارين للوصول إلى الموجه المرتبط مع المخدمات، مسار رئيسي ومسار للحماية يستخدم لنقل وتوجيه البيانات في حال انقطع المسار الرئيسي.



الشكل (1-4) خطوط العمود الفقري الواصلة بين الشبكات الفرعية لشبكة الموجهات الكاملة.



الشكل (4-2): توزيع الموجهات في الشبكة الفرعية.

من أجل محاكاة واقعية للتصميم المقترح تم استخدام التجهيزات والوصلات الفيزيائية المبينة في الجدول

التالي:

العدد	التوصيف التقني	الاسم التجاري	توصيف التجهيزة
5*10	شبكة محلية مؤلفة من 10 محطات قاعدية Workstations ترتبط مع بعضها بخطوط 100BaseT	100BaseT Lan	محطات عمل موصولة ضمن شبكة محلية وفق الطوبولوجيا الخطية
5*10	موجهات بيانات بأربع مآخذ إيثرنت تدعم تقنية ATM لنقل البيانات المتعددة	ATM_Ethernet4_slip4_srp_router_adv	موجهات بيانات تربط الشبكات المحلية مع بعضها ومع شبكة الانترنت
1*5	موجه بوابة بأربع مآخذ إيثرنت و 16 slip (واجهات لخطوط تسلسلية) يسمح بالوصل بين الانظمة المستقلة	Ethernet4_slip16_gtwy_adv	موجه بوابه يربط كامل موجهات الشبكة الفرعية مع الشبكات الفرعية الأخرى
5*10	وصلات مشتركة تحمل البيانات المشتركة للشبكة المحلية الواحدة وتنقلها إلى الموجه المرتبط بها	100BaseT	وصلات محلية بسعة 100 ميغا
5*13	وصلات ضوئية محجوزة للعمل نقطة لنقطة تربط بين الموجهات العاملة في الشبكة المحلية الواحدة بمعدل نقل بيانات 1.455 Mbps	PPP DS1	وصلات ضوئية محجوزة بسرعة Mbps 1.455
7	وصلات ضوئية محجوزة للعمل نقطة لنقطة تربط بين الموجهات العاملة كوابواب تربط بين الشبكات المحلية بمعدل نقل بيانات 44.736 Mbps	PPP DS3	وصلات ضوئية محجوزة بسرعة Mbps 44.736

الجدول (4-1) توصيف التجهيزات العملية المستخدمة لنمذجة الشبكة.

يتم الحصول على خدمات التطبيقات من المخدم الموجود في الفرع المركزي SA يقدم هذا المخدم تطبيقات الصوت عبر الانترنت VOIP و خدمات المحادثة الفيديوية وفق الخصائص الموضحة في الجدول التالي:

التطبيق	نمط بيانات التطبيق	العقد المستخدمة للتطبيق
VOIP	PCM Quality	جميع محطات العمل النهائية $500=5*10*10$
Videoconferencing	Medium resolution Video	جميع محطات العمل النهائية $500=5*10*10$

الجدول (2-4) خصائص التطبيقات في الشبكة

2-4 بارامترات قياس جودة الخدمة

1-2-4 مدة التقارب (Convergence Duration)

يعبر هذا البارامتر عن سرعة توصيل وتخطيب الموجهات التي تتبع لنفس مجموعة التوجيه، وهو من أهم بارامترات جودة لخدمة بالنسبة لتطبيقات الزمن الحقيقي على مستوى عمليات التوجيه، كلما قلت مدة تخاطب الموجهات مع بعضها كلما كان أفضل، لأنها ستتسارع في تشكل خطط التوجيه، كما أنها من المفترض أن تكون قادرة على إعادة تشكيل تلك الخطط في حال فشل بعض الموجهات.

2-2-4 تغير تأخير الرزمة (Packet Delay Variation)

يعبر هذا البارامتر عن تأخير استلام الرزم في طرف الاستقبال. يحصل هذا التأخير بسبب الدفق المستمر للبيانات في جهة الإرسال مما يؤدي أحياناً إلى حدوث ازدحام في الشبكة وتشكل ارتداد انتظار للرزم وأحياناً أخطاء في اعدادات الرزم أو حتى أن يقوم المستقبل بإرسال رزم أخرى بنفس وقت وصول الرزم إليه، جميع هذه الاحداث تؤثر على أداء الشبكة وتسبب تغييراً في تأخير الرزم. في تطبيقات الزمن الحقيقي كالمحادثة الفيديوية والصوتية هذا البارامتر هام جداً لقياس جودة الخدمة لأنه مع هذه التطبيقات لا مجال للانتظار ريثما تصبح الظروف مناسبة لتبادل البيانات في الشبكة.

3-2-4 التأخير بين العقد النهائية (End-to-end Delay)

عندما تنتقل رزم البيانات عبر الشبكة من المصدر إلى الهدف النهائي، هذا الوقت يتم اخذه بعين الاعتبار لأن له تأثير كبير على أداء الشبكة وعملياتها بشكل عام ولاسيما إذا كانت تلك الشبكات تقدم خدمات الزمن

الحقيقي، إذ أن رزم البيانات التي تعاني من قيم كبيرة للتأخير النهائي سيتم إهمالها واستئناف العمل مع الرزم الأسرع، ذلك سيؤثر على جودة تقديم الخدمة لاسيما إذا كانت مكالمات هاتفية أو محادثة فيديو، لذلك يعتبر هذا البارامتر من البارامترات الهامة عند الحديث عن جودة الخدمة لتطبيقات الزمن الحقيقي.

4-2-4 إنتاجية الشبكة (Throughput)

يعد من البارامترات الأساسية لتقييم أداء الشبكات ويعبر عن معدل رزم البيانات الواصلة بنجاح وبشكل سليم من العقدة المصدر إلى العقدة الهدف عبر جميع وصلات وقنوات الشبكة.

4-2-5 الرجفان للصوت (Voice Jitter)

يعرف الرجفان بأنه الاختلاف في تغيرات التأخير في وصول رزم بيانات الصوت بين المرسل والمستقبل، علماً أنه في برنامج المحاكاة تمثل القيم المقاسة هي الاختلاف عن القيمة المرجعية للتأخيرات القياسية المعتمدة لكل تطبيق. لذلك يمكن لهذا البارامتر أن يأخذ قيم موجبة أو سالبة وفقاً للفرق بين قيم التأخير المقاسة والقيمة المرجعية المعتمدة لنوع التطبيق. في طرف الإرسال يتم دفع رزم بيانات الصوت بمعدل ثابت ومستقر وبفروق زمنية ثابتة وبمعدل إرسال أقل من معدل نقل البيانات عبر الوصلات من أجل ضمان تجنب تأثير حالات الازدحام على جودة نقل الصوت ولذلك يجب أن يتم إرسال البيانات بأقل معدل ممكن، أما في طرف الاستقبال تتعرض تلك الدفقات من الرزم المستمرة إلى تأخيرات مختلفة تبعاً لحالة الشبكة في كل لحظة مما يؤدي لوصولها بتأخيرات زمنية مختلفة، من أجل تحقيق جودة خدمة جيدة لتطبيقات الصوت يجب أن لا تكون قيم التأخيرات هذه مختلفة بشكل كبير عن القيم المرجعية.

4-2-6 تأخير الانتظار في الأرتال (Queuing Delay)

يقاس هذا البارامتر من طرف الإرسال ويعبر عن الزمن الذي تبقى فيه رزمة البيانات في نسق انتظار قناة الإرسال ريثما يتم إرسال آخر بت فيها.

4-2-7 مؤشر كفاءة الترميز (Mean Opinion Score , MOS)

MOS هو مؤشر لمدى كفاءة الترميز وفاق الترميز المستخدم للصوت أو الفيديو، قيمته من 1 حتى 5، معرف من قبل المنظمة الدولية للاتصالات (ITU-T) وهي تعتمد على التجربة والاحصاء، وعمل ظروف معينة من مستوى الضجيج وحجم الصوت وغيرها، يمكن حساب هذا المؤشر اعتماداً على خوارزميات

محددة معرفة في التوصيات RTU-T R.P.800 علماً أن القيمة 5 تعني أن الاداء ممتاز، وكلما نقصت قيمته كلما ساء الأداء، أقل قيمة مقبولة عالمياً هي القيمة 3 .

3-4 سيناريوهات المحاكاة واعدادات العقد

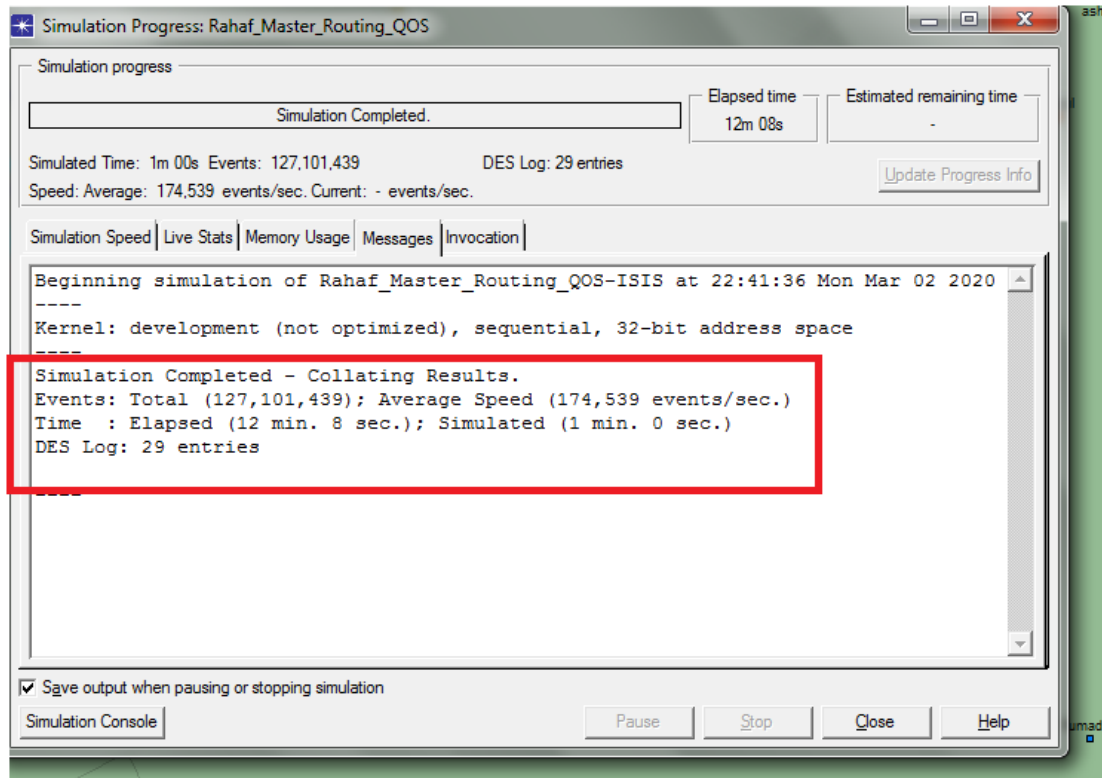
من أجل الوصول إلى الهدف المطلوب من هذا البحث والمتمثل في تقييم عمل بروتوكولات التوجيه وتأثيرها على بارامترات جودة الخدمة لتطبيق الصوت عبر الانترنت والمحادثة الفيدوية تم اختبار البارامترات المحددة على التصميم الفيزيائي المحدد سابقا باستخدام أربعة سيناريوهات تختلف فيها بروتوكولات التوجيه المستخدمة وفق الآتي:

السيناريو	البروتوكول المستخدم داخل-خارج المجال
1	ISIS-ISIS
2	OSPF-ISIS
3	EIGRP-ISIS
4	OSPF-BGP

الجدول (3-4) سيناريوهات المحاكاة

ومن أجل تقييم أمثلي لعمل تلك البروتوكولات تمت دراسة وثوقية الشبكة وتأثير فشل احد الوصلات الهامة على الأداء، لذلك تم إضافة عنصر يسمى عقدة الفشل (Failer node) والذي يتم من خلاله التحكم بفشل وصلات أو عقد الشبكة وبأزمة محددة أثناء المحاكاة.

نظراً لعدد العقد والوصلات الكبير الممثل للشبكة المفترضة والتي تغطي كامل أراضي الجمهورية العربية السورية سيتم محاكاة الشبكة خلال زمن مقداره 60 ثانية، وعند الثانية 30 يتم قطع الوصلات الرئيسية [CA-SA] و [NA-CA] ويستمر هذا الانقطاع حتى نهاية زمن المحاكاة. يبين الشكل (4-6) الوقت اللازم لمحاكاة الشبكة مع عدد الاحداث فيها بالنسبة لتطبيقي الصوت والمحادثة الفيدوية والتي تبين أن المحاكى استغرق 12 دقيقة و 8 ثواني لمحاكاة عمل الشبكة وجمع الاحصائيات لمدة 60 ثانية لسيناريو واحد فقط، ومثلها لكل سيناريو آخر.



الشكل (3-4) تقرير المحاكاة النهائي لسيناريو الشبكة.

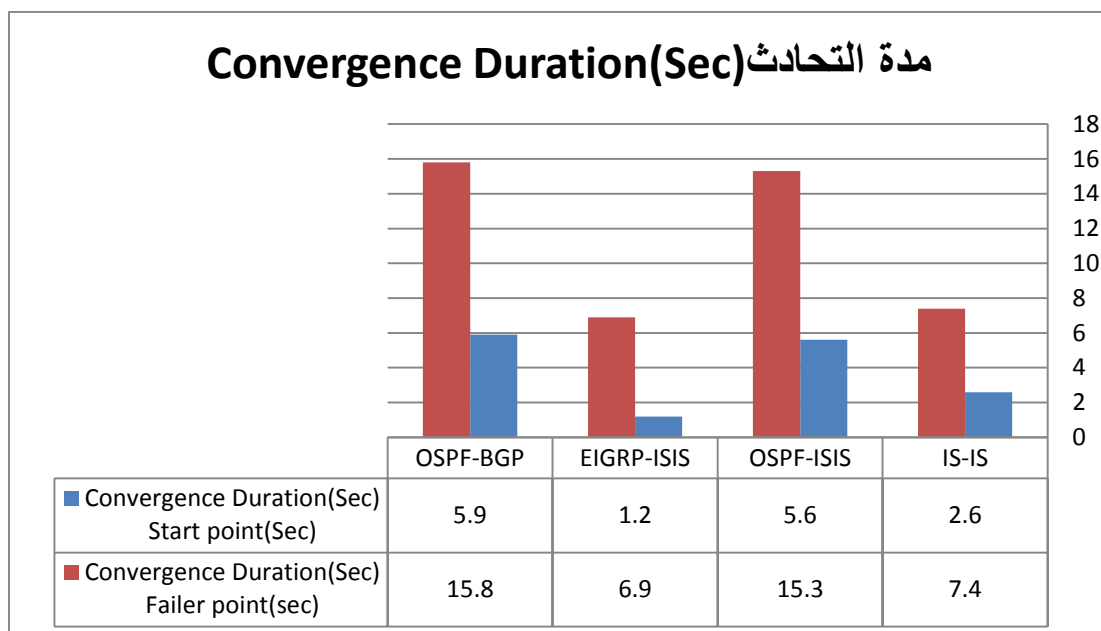
4-4 نتائج القياس والتحليل

تم اختبار أداء الشبكة وجمع الاحصائيات للبارامترات المحددة خلال 4 سيناريوهات (موضحة في الجدول (3-4)، حيث تم تعريف كل شبكة فرعية كنظام مستقل بذاته وطبقت ضمنها بروتوكولات التوجيه العاملة ضمن الوسط الواحد، بينما طبقت بروتوكولات التوجيه العاملة بين الاوساط المختلفة على الوصلات المشكلة للعمود الفقري (الوصلات ذات النوع DS3).

4-4-1 مؤشر زمن مدة التقارب (Convergence Duration)

يمكن أن يسمى هذا البارامتر بوقت التقارب ويعبر عنه باختصار الوقت اللازم للوصول إلى حالة مستقرة عند كل حدث جديد يطرأ في الشبكة، في التصميم المعتمد هناك نقطتين زمنيتين هامتين في الشبكة، النقطة الزمنية الأولى بداية المحاكاة والتي تبدأ معها عقد التوجيه بناء مخطط تحديد مسارات الموجهات ، والنقطة الزمنية الثانية هي فشل الوصلتين الأساسيتين التي تم تحديدهما في عقدة الفشل. تبين النتائج الموضحة في الجدول (4-4) الزمن الذي استغرقته بروتوكولات الشبكة من أجل التخاطب مع بعضها وبناء جداول التوجيه ، عند استخدام بروتوكول التوجيه OSPF بعد فشل العقد المعنية أحتاجت الموجهات إلى تقريباً

15 ثانية لتتحدث مع بعضها وتتبادل رسائل الترحيب وبناء جداول توجيهها في حين لم تستغرق تلك الموجهات أكثر من 7.4 ثانية .. في تشكيلة IS-IS ... وهي مدة زمنية تقاس بوحدة الزمن ثانية .

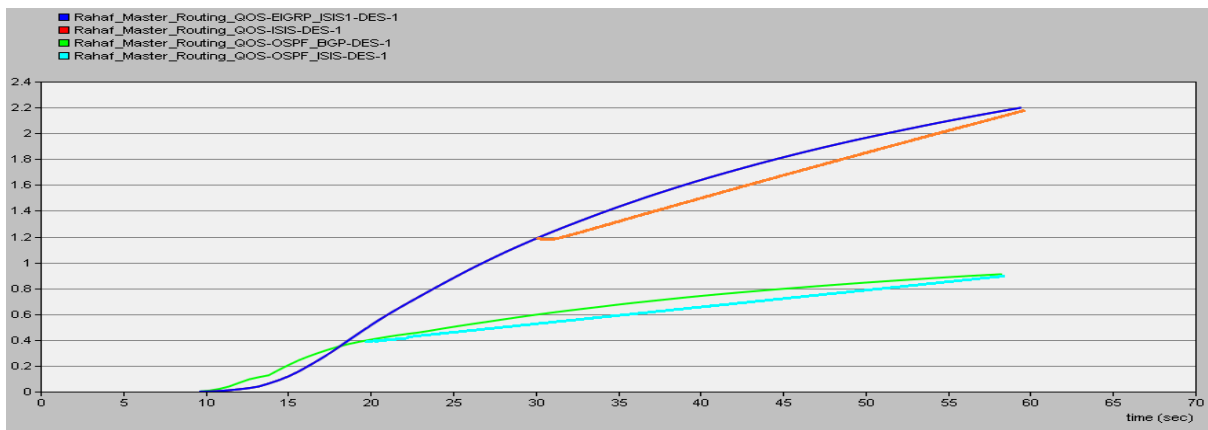


الجدول (4-4) : القيم المسجلة لمؤشر زمن مدة التقارب في بروتوكول IP

2-4-4 مؤشر مدة تأخير الانتظار في الأرتال (Queuing Delay)

يقاس هذا البارامتر من طرف الارسال ويعبر عن الزمن الذي تبقى فيه رزمة البيانات في نسق انتظار قناة الارسال ريثما يتم ارسال آخر بت فيها.

تبين النتائج أن السيناريو المتضمن البروتوكولين OSPF-ISIS هو الأفضل حيث أنه تركيبة من بروتوكولين يعتمدان على خوارزمية حالة الوصلة. تستغرق بروتوكولات حالة الوصلة وقتاً أطول في بداية انشاء الشبكة من أجل بناء جداول الارتباط والتوجيه الخاصة بها وتشكل قاعدة بيانات متينة تسمح لها بالتأقلم السريع بعد ذلك لأي حدث جديد في الشبكة، أي أنها تتأقلم بشكل سريع لفشل الوصلات، لذلك طالما أن الوصلات التي تعاني من الفشل هي الوصلات الرابطة بين الأنظمة المستقلة، لذلك يجب أن يكون البروتوكول الثاني بروتوكول يعتمد على حالة الوصلة. لذلك الأفضلية لبروتوكول ISIS بدلاً من .BGP



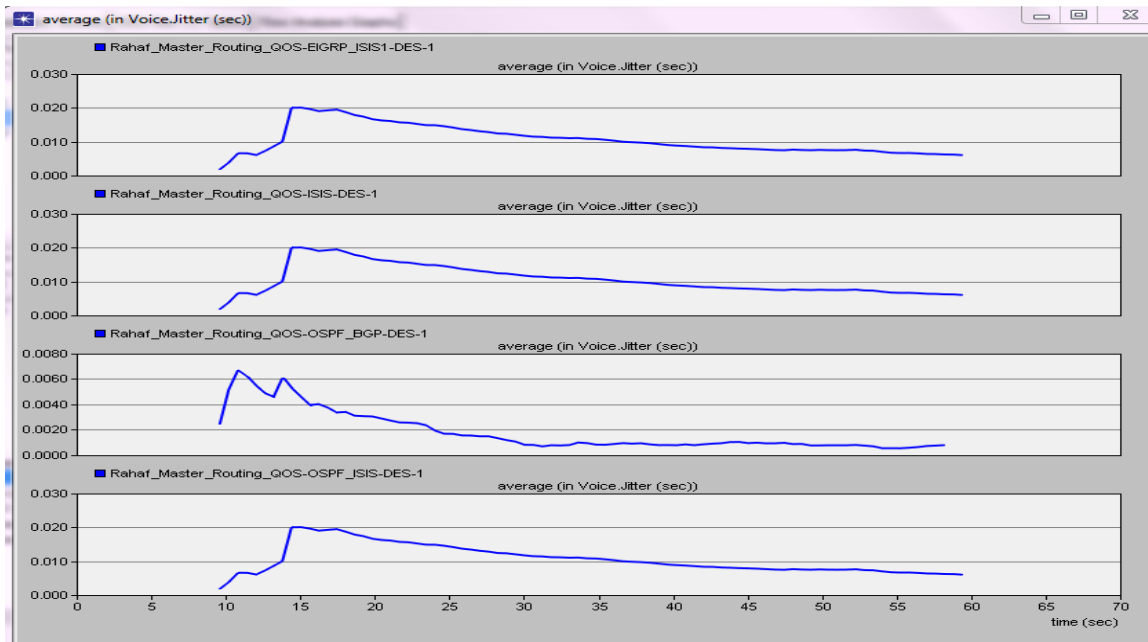
الشكل (4-4): مؤشر مدة تأخير الانتظار في الأرتال (Queueing Delay).

3-4-4 مؤثر الرجفان لتطبيق الصوت (Voice Jitter)

يلخص كل من الجدول (4-4) والشكل (4-8) النتائج المجمعة لقيم الرجفان لتطبيق الصوت للسيناريوهات الأربع المختلفة، تبين النتائج أن السيناريو الأفضل من حيث تقييم مؤشر الرجفان لتطبيق الصوت هو تركيبة بروتوكول OSPF بين الأنظمة، وبروتوكول BGP بين الأنظمة المستقلة بمتوسط يصل حتى 1.8 ميكرو ثانية وقيمة عظمى تصل حتى 6.68 ميكرو ثانية، أي بتكلفة زمن أقل بمقدار 85% من السيناريوهات الأخرى مثل تركيبة البروتوكولين OSPF-ISIS بمتوسط يصل حتى 11 ميكرو ثانية تقريباً وقيمة عظمى تصل حتى 20 ميكرو ثانية وتكرر القيم ذاتها لبقية السيناريوهات رغم أن منحنيات القيم خلال فترة المحاكاة مختلفة للسيناريوهات الثلاث المتبقية.

Routing protocols	Max(sec)	Min(sec)	Avg(sec)
QOS-ISIS_ISIS	0.020067	0.001929	0.010605
QOS-EIGRP_ISIS1	0.020067	0.001929	0.010605
QOS-OSPF_BGP	0.006685	0.000549	0.001823
QOS-OSPF_ISIS	0.020067	0.001929	0.010605

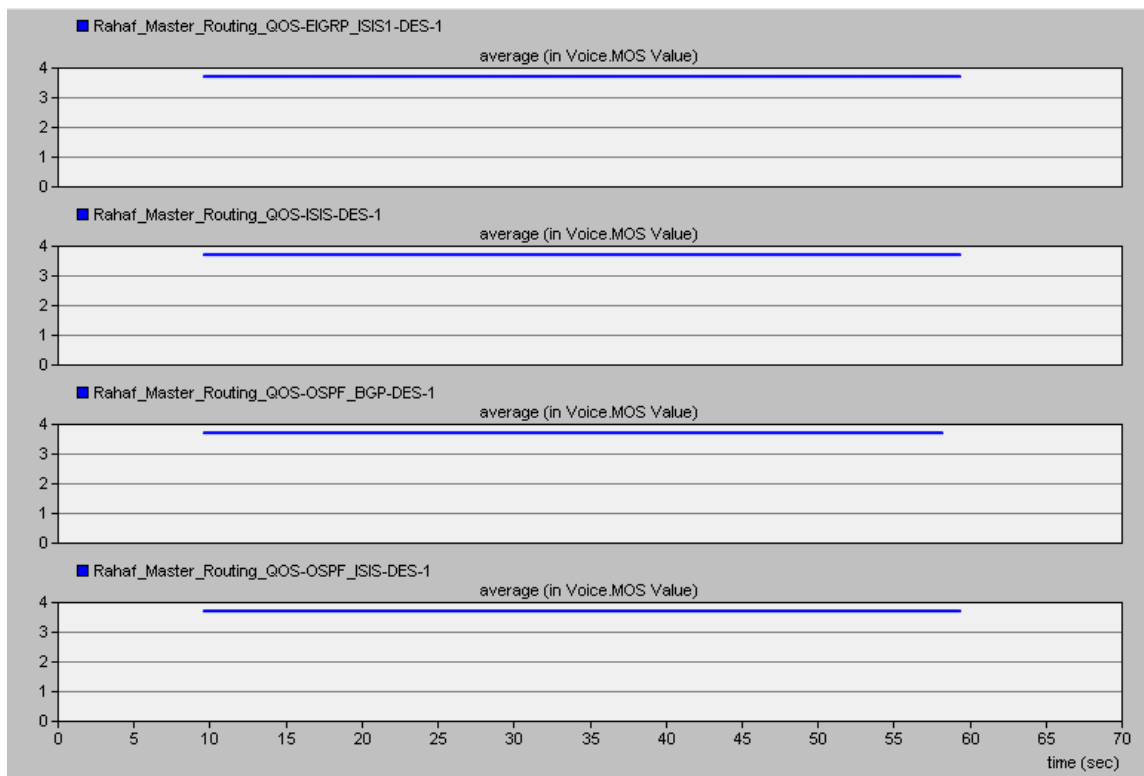
الجدول (4-5) القيم الدنيا والعليا والمتوسطة لمؤثر الرجفان في تطبيق الصوت عبر الانترنت



الشكل (4-5) القيم المتوسطة لمؤشر الرجفان في السيناريوهات المختلفة

4-4-4 مؤشر كفاءة الترميز MOS لتطبيق الصوت

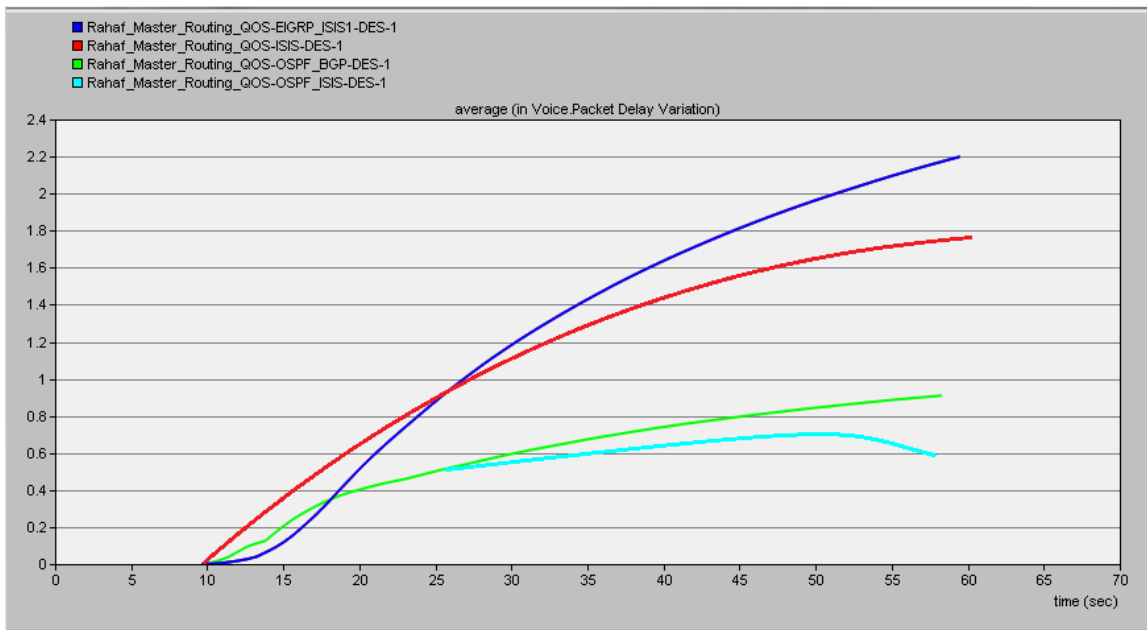
تدل النتائج الموضحة في الشكل (4-9) على وجود تقارب كبير في قيم مؤشر كفاءة الترميز، وفقاً لخوارزمية حساب هذا المؤشر فإنها تعتمد بشكل أساسي على نوع الترميز المعتمد لبيانات تطبيق الصوت وكما هو محدد في المحاكاة جميع السيناريوهات تستخدم نفس نوع الترميز، أما بقية المعاملات فلها أثر قليل جداً لا يمكن تحسسه ببساطة، لذلك تقريباً يأخذ هذا البارامتر قيمة ثابتة هي 3.693 لجميع السيناريوهات وهي قيمة مقبولة عالمياً، علماً أنه عالمياً القيمة 4 تدل على مؤشر جيد والقيمة 3 تدل على مؤشر مقبول.



الشكل (4-6) مؤشر كفاءة الترميز MOS لتطبيق الصوت عبر الانترنت VOIP.

4-4-5 مؤشر تغييرات تأخير الرزم لتطبيق الصوت

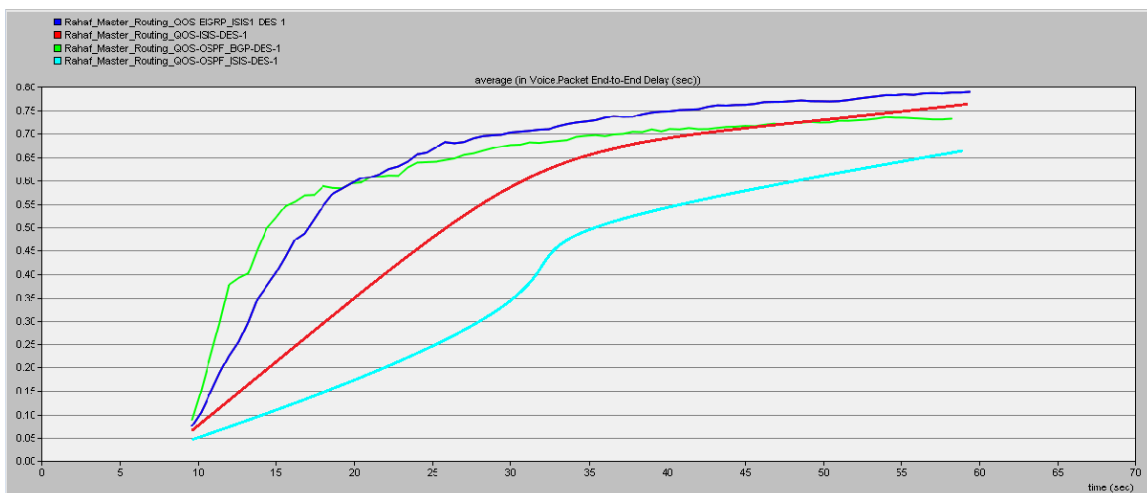
كما سبق يعبر هذا البارامتر عن تأخير استلام الرزم في طرف الاستقبال، يتضح من النتائج المبينة في الشكل (4-10) أن السيناريو الأفضل لتطبيق الصوت عبر الانترنت من وجهة نظر تغييرات تأخير رزم البيانات هي تركيبة البروتوكولين OSPF-ISIS، إذ لا تتجاوز قيمة تغييرات تأخير وصول الرزم مقدار 0.7 ثانية حتى بعد تعطل الوصلات الرئيسية، يليه في الأداء السيناريو المكون من تركيبة OSPF-BGP. إذ تقترب تقريبا من القيمة 1 ثانية بينما تصل أعلى قيمة في السيناريو EIGRP-ISIS حتى 2.2 ثانية. تدل هذه النتائج على تصدر بروتوكول OSPF ليقدم أفضل أداء ضمن النظام المستقل الواحد من وجهة نظر تغييرات تأخير الرزم.



الشكل (4-7): تغيرات تأخير رزم البيانات بالنسبة لتطبيق الصوت عبر الانترنت VOIP.

4-4-6 تأخير رزم البيانات طرف لطرف لتطبيق الصوت

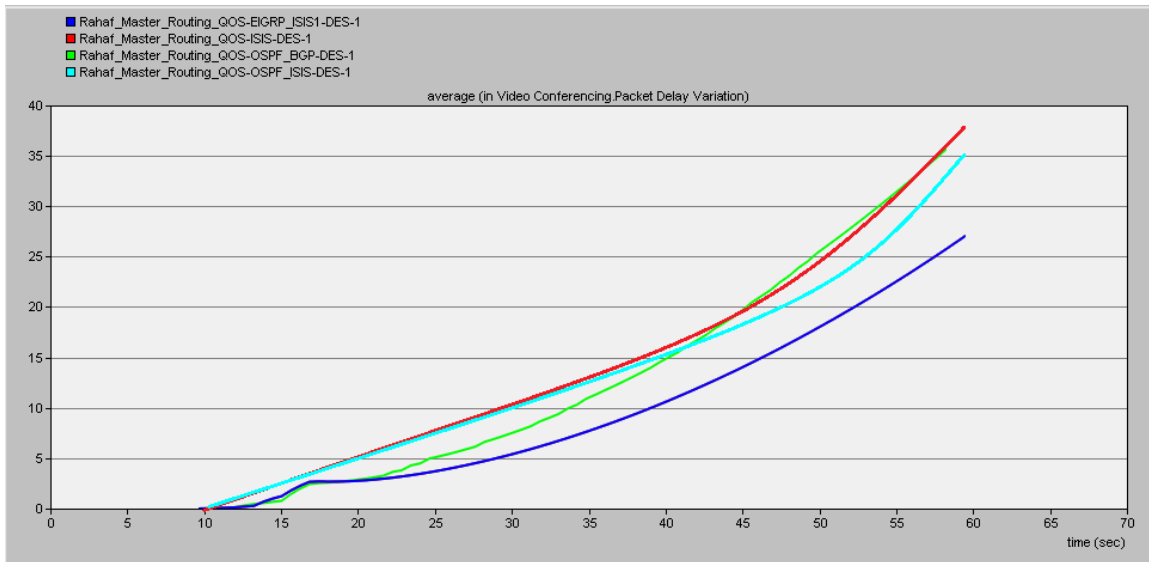
يعتبر هذا البارامتر من البارامترات الهامة عند الحديث عن جودة الخدمة لتطبيقات الزمن الحقيقي. وفقاً للننتائج المبينة في الشكل (4-11) تصل قيمة هذا البارامتر في تشكيلة البروتوكول OSPF-ISIS حتى قيمة 0.45 ثانية في الحالة المثالية للشبكة (أي قبل فشل الوصلات الرئيسية)، أما بعد فشل الوصلات الرئيسية يمكن أن تصل حتى 0.65 ثانية وهي القيم الأفضل من ضمن السيناريوهات المختلفة.



الشكل (4-8): تأخير رزم البيانات على كامل مسار البيانات وصولاً للعقدة النهائية.

4-4-7 تأخير رزم البيانات لتطبيق المحادثة الفيديوية

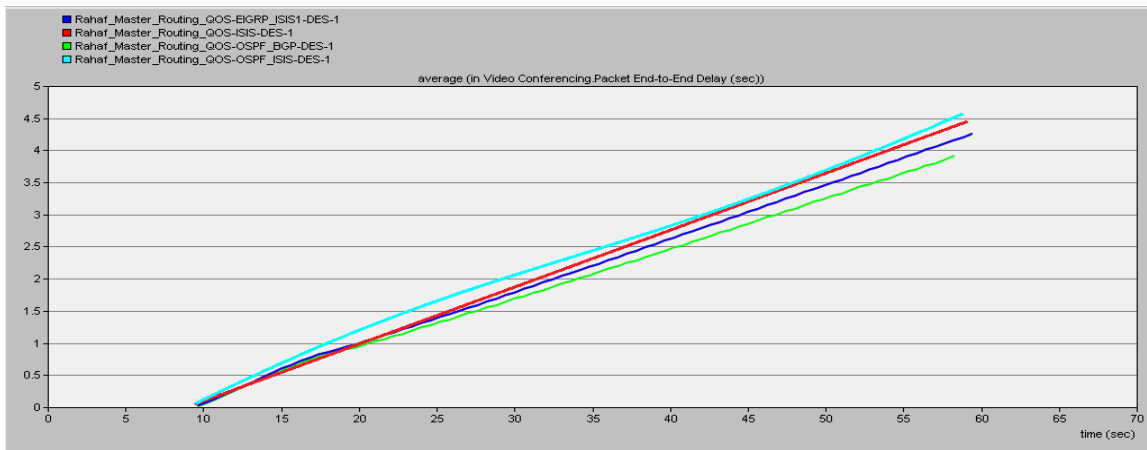
تتفوق تركيبة بروتوكولات EIGRP-ISIS على التشكيلات الأخرى فيما يتعلق بتأخير رزم البيانات كما تدل النتائج الممثلة بالشكل (4-12). بينما تمثل تشكيلة ISIS الأكثر كلفة في التأخير. أما تشكيلة البروتوكولات OSPF-BGP هي الأكثر تأثراً بفشل الوصلات الرئيسية، إذ يزداد تقعر المنحني بعد لحظة فشل العقد. بالنظر إلى الشكل العام للإحصائيات الممثلة لكل من تطبيقات الصوت والفيديو نجد أن الإحصائيات في مجملها تتبع لتوزيع أسّي، لكن الإحصائيات في تطبيق الصوت عبر الانترنت تتبع لنموذج لوغاريتمي، في حين أن الإحصائيات المتعلقة بتطبيق المحادثة الفيديوية تتبع لتوزيع أسّي وهذا واضح بالمقارنة بين الشكلين (4-10) و (4-12).



الشكل (4-9): تأخير رزم البيانات لتطبيق المحادثة الفيديوية.

4-4-8 تأخير رزم البيانات طرف لطرف لتطبيق المحادثة الفيديوية

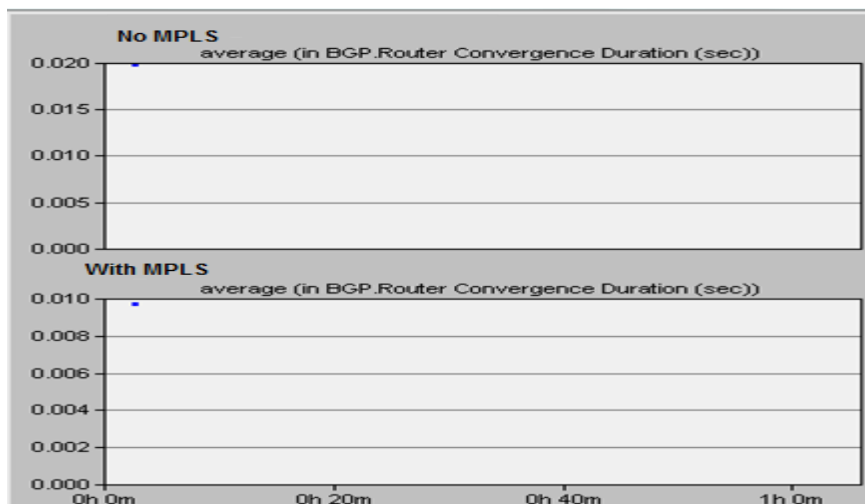
تتبع الإحصائيات المعبرة عن حصة التأخير الكلي في الشبكة والمعبر عنه بهذا البارامتر شكلاً خطياً متزايداً مع استمرار ضخ رزم البيانات في الشبكة والانتظار ضمن الأرتال في مختلف نقاط الشبكة، تسجل تشكيلة البروتوكول OSPF-BGP أفضلية بسيطة نسبة لبقية التشكيلات إذا لا تصل حصة التأخيرات العظمى فيها عتبة 3.8 ثانية، لكنها لا تتجاوز 0.7 ثانية عن التشكيلة الأكثر تكلفة والمتمثلة بـ OSPF-ISIS.



الشكل (4-10): تأخير رزم البيانات طرف لطرف لتطبيق المحادثة الفيديوية.

4-4-9 تحسين زمن بناء جدول التوجيه باستخدام تقنية MPLS

الهدف الاساسي من تقنية MPLS تبسيط عملية التوجيه وتقليل كلفتها من خلال تقليل زمن معالجة جداول التوجيه في الموجهات والاستعاضة عنها بمعالجة وسوم صغيرة الحجم تختصر المعلومات اللازمة للتوجيه. من أجل تقييم التحسين المقدم للشبكة يتم قياس الزمن الذي يحتاجه بروتوكول التوجيه لاسيما BGP لبناء جداول التوجيه الخاصة به في كامل الشبكة، ومن الطبيعي أن نجد أن الزمن الذي تحتاجه الشبكة التي تستخدم تقنية MPLS ستكون اقل بسبب آلية عمل هذه الشبكة المعتمدة على بناء أنفاق محددة ووسوم صغيرة الحجم لا تحتاج لكثير من عمليات التحقق وبناء الجداول فضلاً عن عدم الحاجة لتطبيق هذا البروتوكول على موجهات LSR الموزعة ضمن البنية الداخلية أي أنها لن تكون مضمنة في جداول التوجيه BGP وبالتالي لن تخضع رزم البيانات المارة عبرها لفحص بارامترات التوجيه بل لفحص الوسوم فقط، مما يخفض الزمن المطلوب نسبة 50% كما هو مبين في الشكل (4-11):



MPLS. الشكل (4-11): زمن بناء جداول عبر الشبكة باستخدام

وبالتالي يمكن أن نقول أن تقنية MPLS هي حل أفضل للطريقة التقليدية في توجيه الرزم، وبما أنها تقوم بالتوجيه اعتماداً على labels مما يجعل الرزم تصل بسرعة أكبر من استخدام الطريقة التقليدية المعتمدة على التوجيه بالبحث عن ip destination وذلك بأخذ المعلومات من جدول التوجيه، وبالتالي تكون MPLS قد وفرت علينا تعقيدات ومشاكل جداول التوجيه. كما تعد MPLS التطور الطبيعي للشبكات الموجودة لتأمين المقدرات الضرورية لدعم التطور الهائل في الانترنت ، وفي نفس الوقت تمكين مدراء الشبكة من التحكم بالحركة بمستوى أكبر. طُورت MPLS بشكل مستمر لسنوات عديدة واستخدامها مستمر في النمو. ويُنظر إلى MPLS على أنها عبارة عن مساحة تقنية ضخمة مختلفة، بالإضافة إلى أنها تقنية مرنة لانتشار الخدمة وللتكيف مع التقنيات الحديثة.

ويمكن أن نقول أن MPLS حققت مايلي:

- تحسين أداء ارسال الرزمة في الشبكة.
- تدعم QOS .
- تكامل بين IP و ATM .
- بناء شبكات ممكن معالجتها حيث أنها تعتبر حل مبني على معايير تحقيق التعاون بين شبكات IP و ATM ، كمان أنها تساعد في بناء شبكات افتراضية خاصة مستقرة مع خاصية هندسة الحركة.
- تقليل الكلفة حيث يمكن تقليل الكلفة بالنسبة لنقل البيانات مقارنة مع شبكات مثل ATM و Frame Relay الى نحو 50% وخاصة عند نقل الصوت والفيديو.

الاستنتاجات والتوصيات

1. وفقاً للدراسات المرجعية ونتائج المحاكاة والدراسات العملية، يختلف أداء بروتوكولات التوجيه باختلاف نموذج تصميم الشبكة ومسارات البيانات فيها، لذلك من المهم جداً اختيار التصميم المتناسب مع بنية الشبكة ووظيفتها والآفاق المستقبلية.
2. تقسيم الشبكة الكلية إلى شبكات فرعية مستقلة ضروري جداً من أجل إدارة عمليات الشبكة بشكل سريع يضمن موثوقية الشبكة في حال حدوث الاعطال.
3. تتدرج جودة الخدمة المتعلقة ببروتوكولات التوجيه تحت مظلة الخدمات التكاملية التي تهتم بموضوع اقتسام الموارد المختلفة في الشبكة في حال الاختناق، بينما تهتم الخدمات التفاضلية بتصنيف بيانات التطبيقات.
4. تعتبر موثوقية الشبكة من أولويات عناصر جودة الخدمة واستمرار تقديم خدمات الشبكة خلال التغيرات الطارئة عليها ولاسيما على مستوى الطبقة الفيزيائية وهي مهمة لجميع التطبيقات، دلت النتائج أن تشكيلة البروتوكولين OSPF-ISIS هي الأنسب من جهة التأقلم مع الاحداث الطارئة والمحافظة على توافرية الشبكة.
5. تستغرق بروتوكولات حالة الوصلة وقتاً أطول في بداية انشاء الشبكة من أجل بناء جداول الارتباط والتوجيه الخاصة بها وتشكل قاعدة بيانات متينة تسمح لها بالتأقلم السريع بعد ذلك لأي حدث جديد في الشبكة، أي أنها تتأقلم بشكل سريع لفشل الوصلات. لذلك ينصح ببروتوكول ISIS بين الانظمة المستقلة كبديل للBGP. وهذا ما نجده في معظم التصميمات العملية لشبكات البنوك والاتصالات التي تعتمد على أنظمة مستقلة تدير شبكات فروعها.
6. تمثل ترتيبية البروتوكولات OSPF-ISIS الترتيبية الأفضل في مؤشرات أداء جودة الخدمة بالنسبة لتطبيقات الزمن الحقيقي ولاسيما تطبيقات الصوت عبر الانترنت. وعملياً هي الترتيبية المعتمدة من قبل شركة مزود خدمة الاتصالات السورية سيرنيل.
7. فيما يتعلق بعمليات توجيه البيانات تقدم تقنية MPLS تحسناً واضحاً لأداء جودة الخدمة فيما يتعلق بعملية التوجيه، فهي تختصر عملية قراءة جداول التوجيه بشكل كبير وتستعيز عنها بقراءة الوسوم.

8. توصي الاختبارات العملية بالانتباه إلى ضرورة وضع تصنيف عالي لبيانات التحكم في بروتوكولات التوجيه عند استخدام تقنية MPLS من أجل تجنب فشل الشبكة في حال الازدحام وفقد بيانات التحكم بجدول التوجيه.

الآفاق المستقبلية

يمكن لهذا البحث أن يستكمل في سياق دراسة أثر بروتوكولات التوجيه على مؤشرات جودة الخدمة للتطبيقات المختلفة ولكن ضمن اطار متكامل لتقنية IMS الحديثة من خلال البحث في دور بروتوكولات التوجيه ضمن هذه التقنية وطريقة التفاعل مع التقنيات المتكاملة معها في الطبقات المختلفة.

المصطلحات العلمية

المصطلحات العلمية

ATM: Asynchronous Transfer Mode	نظام النقل اللامتزامن
AS: Autonomous System	الأنظمة المستقلة
BGP: Border Gateway Protocol	بروتوكول البوابة الحدودية
CR-LDP: Constraint Routed Label Distribution Protocol	بروتوكول توزيع الوسم المحدد التوجيه
EIGRP: Enhanced Interior Gateway Routing Protocol	بروتوكول التوجيه الداخلي المحسن بين البوابات
FTP: File Transfer Protocol	بروتوكول نقل الملفات
FEC: Forwarding Equivalence Class	صف التحويل المتكافئ
GMPLS: Generalized MPLS	تبديل الوسوم المتعدد البروتوكولات المعمم
HTTP: Hypertext Transfer Protocol	بروتوكول نقل النص التشعبي
HVPLS: Hierarchical Virtual Private LAN Services	خدمات الشبكات الافتراضية الخاصة الهرمية
IETF: Internet Engineering Task Force	قوة مهمات هندسة الانترنت
IGRP: Interior Gateway Routing Protocol	بروتوكول توجيه العبارة الداخلية
IP: Internet Protocol	بروتوكول الإنترنت
IPv6: Internet Protocol version6	النسخة السادسة من بروتوكول الانترنت
ISP: Internet Server Provide	مزود خدمة الانترنت
IS-IS: Intermediate System to Intermediate System Routing Protocol	بروتوكول الربط بين الأنظمة الوسيطة
LDP: Label Distribution Protocol	بروتوكول توزيع الوسم
LSR: Label Switch Routers	موجه تبديل الوسم
MOS: Mean Opinion Score	مؤشر كفاءة الترميز
MPLS: Multiprotocol Label Switching	تبديل الوسوم متعدد البروتوكول
MPLS_VPN	شبكة MPLS الافتراضية الخاصة
OSI: Open Systems Interconnection	ربط الأنظمة المفتوحة
OSPF: Open Shortest Path First	بروتوكول المسار الأقصر أولاً
QOS: Quality of Service	جودة الخدمة

RIP: Routing Information Protocol	بروتوكول معلومات التوجيه
RSVP: Resource Reservation Setup Protocol	بروتوكول اعداد حجز المصدر
SMTP: Simple Mail Transfer Protocol	بروتوكول نقل الايميل البسيط
TCP: Transmission Control Protocol	بروتوكول التحكم بالارسال
VoIP: Voice over IP	الصوت عبر بروتوكول الانترنت
VPLS: Virtual Private LAN Services	خدمات الشبكة المحلية الافتراضية الخاصة
VPN: Virtual Private Network	شبكة افتراضية خاصة

المراجع

- [1] S. G. Thornier, "Communication service provider's choice between OSPF and IS-IS dynamic routing protocols and implementation criteria using OPNET simulator," in Proc. Second International Conference on Computer and Network Technology (ICCNT), Bangkok, Thailand, Apr. 2010, p. 38–42.
- [2] S. G. Thornier, "Dynamic routing protocol implementation decision between EIGRP, OSPF, and RIP based on technical background using OPNET Modeler," in Proc. Second International Conference on Computer and Network Technology (ICCNT), Bangkok, Thailand, Apr. 2010, pp. 191–195.
- [3] B. Fortz, J. Rexford, and M. Thorup, "Traffic engineering with traditional IP routing protocols," IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 10, pp. 118–124, Oct. 2002.
- [4] A. Feldmann, A. Greenberg, C. Lund, N. Reingold, and J. Rexford, "Netscape: traffic engineering for IP networks," IEEE Network Magazine, vol. 14, no. 2, pp. 11–19, Mar. 2000.
- [5] Cisco, Enhanced Interior Gateway Routing Protocol [Online]. Available: http://docwiki.cisco.com/wiki/Enhanced_Interior_Gateway_Routing_Protocol.
- [6] H. Newton, Newton's Telecom Dictionary 24th Edition. New York: Flatiron Publishing, 2008, p. 683.
- [7] B. Fortz and M. Thorup, "Optimizing OSPF/IS-IS weights in a changing world," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 20, no. 4, pp. 756–767, May 2002.
- [8] Celik, F., A. Zengin and B. Cobanglu, 2013. Discrete event simulation-based performance evaluation of internet routing protocols. Turk. J. Electr. Eng. Co., 21: 1720-1736.
- [9] El-Sayed, H., M. Ahmed, M. Jaseemuddin and D.C. Petriu, 2006. Framework for performance engineering of OSPF software. IEE Proc-Softw., 153: 219-229.
- [10] Hacene, S.B. and A. Lehireche, 2011. Coherent route cache in dynamic source routing for ad hoc networks. Comput. Sci. J. Moldova, 19: 304-319.
- [11] Heydarian, M., 2012. A high performance optimal dynamic routing algorithm with unicast multichannel QoS guarantee in communication systems. J. Supercomput., 62: 315-344.

- [12] Malik, S.U., S.K. Srinivasan and S.U. Khan, 2012. Convergence time analysis of open shortest path first routing protocol in internet scale networks. *Electron. Lett.*, 48: 1188-1190.
- [13] Papaj, J., D. Lubomr and C. Anton, 2013. Performance analysis of the enhanced DSR routing protocol for the short time disconnected MANET to the OPNET modeler. *J. Electr. Electron. Eng.*, 6: 103-106.
- [14] Pethe, R.M. and S.R. Burnase, 2011. Technical era language of the networking-EIGRP. *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, 3: 1-5.
Ramakrishnan, K.G. and M.A. Rodrigues, 2001. Optimal routing in shortest-path data networks. *Bell Labs Tech. J.*, 6: 117-137.
- [15] Sukhov, A.M. and D.Y. Chemodanov, 2013. A metric for dynamic routing based on variational principles. *J. High Speed Netw.*, 19: 155-163.
- [16] Tan, W.K., S.G. Lee, J.H. Lam and S.M. Yoo, 2013. A security analysis of the 802.11s wireless mesh network routing protocol and its secure routing protocols. *Sensors*, 13: 11553-11585.
- [17] F. Ahmed. Z. U. A. Butt, and U. A. Siddqui, "MPLS based VPN Implementation in a Corporate Environment," *Journal of Information Technology & Software Engineering*, vol. 6, no.5, pp. 1-7, Jan 2016. DOI: 10.4172/2165-7866.1000193 .
- [18] I. Nurhaida, D. Ramayanti, R. Riesaputra, "Digital Signature & Encryption Implementation for Increasing Authentication, Integrity, Security and Data Non-Repudiation," *International Research Journal of Computer Science (IRJCS)*, vol. 11, no.4, pp. 4-14, Nov 2017
- [19] Y. Prayudi and A. Ashari, "A Study on Secure Communication for Digital Forensics Environment," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 6, no. 1, pp. 1036-1043, Jan 2015. DOI: 10.14299/ijser.2015.01.010
- [20] R. Hidayat, Rushendra and E. Agustina, "Digital beamforming of smart antenna in millimeter wave communication," 2017 International Conference on Broadband Communication, Wireless Sensors and Powering (BCWSP), Jakarta, 2017, pp. 1-5. DOI: 10.1109/BCWSP.2017.8272564
- [21] K. R. Shibu and R. Suji Pramila, "Routing protocol based key management schemes in manet: A Survey", *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 1453-1456, 2018. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.14219.

[22] M. Kolhar, M. A. Abualhaj, and F. Rizwan, "QoS Design Consideration for Enterprise and Provider's Network at Ingress and Egress Router for VoIP Protocols," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 6, no.1, pp. 235-241, Feb 2016. DOI: 10.11591/ijece.v6i1.9013

[23] I. Nurhaida, H. Wei, R. A. M. Zein, R. Manurung, and A. M. Arymurthy, "Texture Fusion for Batik Motif Retrieval System," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 6, no. 6, pp. 3174 – 3187, December 2016. DOI: 10.11591/ijece.v6i6.12049

[24] Cisco Systems, Inc. Implementing Cisco IP Routing (ROUTE) Foundation Learning Guide. Indianapolis: Cisco Press; 2015

[25] E. D. Asabere, J. K. Panford and J. B. Hayfron-Acquah, "Comparative Analysis of Convergence Times Between OSPF, EIGRP, IS-IS and BGP Routing Protocols in a Network," *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*, vol. 15, no. 12, pp. 225-227, December 2017

[26] J. Danielson & T. Anderson, An Investigating Methods for Measuring Network Convergence Times. Master Thesis. Västerås & Mälardalen University; 2016

[27] M. Divya & R. Gobinath, "A survey on platform of secured routing algorithm," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 35-39, 2018. DOI: 10.14419/ijet.v7i2.26.12530

[28] M. Alhihi, M. R. Khosravi, H. Attar, and M. Samour, "Determining the Optimum Number of Paths for Realization of Multi-path Routing in MPLS-TE Networks." *TELKOMNIKA*, vol. 15, no. 4, pp. 1701-1709, December 2017. DOI: 10.12928/telkomnika.v15i4.6597

[29] A. Sulaiman, Omar Kh. And S. Alhafidh, "Performance Analysis of Multimedia Traffic over MPLS Communication Networks with Traffic Engineering," *International Journal of Computer Networks and Communications Security*, vol. 2, no. 3, pp. 93-101, March 2014

[30] N. H. Almofary, H. S. Moustafa and F. W. Zaki, "Scalability Aspects in BGP/MPLS VPN," *International Journal of Modern Engineering Sciences*, vol. 2, no. 7, pp. 578-580, December 2015

[31] Cisco Systems , Internetworking Technology Handbook: Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP), 2008

[32] Cisco Systems , EIGRP Information Draft, 2013.

Abstract

In this paper, we will study the routing mechanisms adopted in data transmission networks and provided for real-time transmission services, especially voice over the Internet and video chat applications, and analyze performance indicators for a design model for a network of proximal vectors for a real network of routers designed in the Syrian Arab Republic.

We will provide a detailed explanation of the most important routing protocols commonly used in global networks, while reviewing the mechanism of action, the features and challenges of each. We will focus on the most important techniques used to improve the efficiency of routing in data transmission networks that support the concept of quality of service and its technologies at different levels, reaching the multi-marking technology (MPLS) that is compatible with the routing process. In addition to providing an analysis of the measured performance indicators measures for an applied practical model for a huge network of routers inspired by a realistic design of a communication network in the Syrian Arab Republic, appended with a summary of conclusions and recommendations.

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Mechanical & Electrical Engineering
Department of Computer and Automation Engineering



Analyzing Routing Protocols to Improve the Efficiency in Data Networks

Thesis submitted for obtaining a master degree in computer and
network engineering

Done By:
Rahaf Saleh

Supervisor
Dr.Wasim Alsamara

Associate Supervisor
Dr.Mohammed Alchaita

2020