



جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة الحواسيب والأتمتة

تقييم أداء بروتوكول التحكم بالنقل TCP مع التسليم
المستقل عن الوسائط MIH

Evaluation of TCP Performance with
Media Independent Handover

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الحواسيب وشبكاتها

إعداد
م. هبة يوسف

المشرف
د. محمد صالحاني

العام الدراسي

٢٠١٦ - ٢٠١٧





إلى من وهبني الحياة والأمل

إلى من علمني الصبر ورباني على شغف الاطلاع والمعرفة

إلى مثل الأبوة الأعلى و إلى حبيبة قلبي الأولى أبي وأمي

إلى سندي وقوتي

إلى رفيق دربي وحبيبي . . . إلى صاحب القلب الطيب

الحب كل الحب زوجي الغالي

إلى سندي وملاذي بعد الله

إلى من تذوقت معهم أجمل لحظات حياتي

سمرة , آية , ديسان , أحمد و الغالي علي أخوتي الأعزاء

إلى من أرى الحياة عبر عيونهم أبنائي فارس ورامز

إلى من قضيت معهم أجمل لحظات الفرح والحزن

إلى صحبة اخنا رهم قلبي أصدقائي



أُتقدم بخزير الشكر والعرفان إلى من كان له عظيم الأثر في مسيرتي

العلمية، لما أحاطني به من فكر وعلم. إلى أسناذي

الأسناذ المساعد الدكتور محمد صالحاني

الذي تفضل بالإشراف على هذا البحث، فأمدني بخبرته الكبيرة

وملاحظاته القيمة وتوجيهاته السديدة، وكان لي خير من شد وموجه.

له مني كل الاحترام والتقدير

وأوجه بكثير شكري إلى جامعة دمشق وكلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية

وجميع أساتذتي الأفاضل طوال دراساتي الجامعية.

لجنة الحكم

قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم /659/ المتخذ

بالجلسة رقم /17/ تاريخ 2016/12/26

الدكتور محمد مازن المحاييري الأستاذ المساعد في قسم هندسة
الحواسيب والأتمتة
عضواً

الدكتور محمد خالد شاهين الأستاذ المساعد في قسم هندسة
الالكترونيات والاتصالات
عضواً

الدكتور محمد صالحاني الأستاذ المساعد في قسم هندسة
الحواسيب والأتمتة
عضواً مشرفاً

ملخص البحث

تتجه الأبحاث الحالية نحو المزيد من التطوير في الشبكات اللاسلكية المختلفة نتيجة الازدياد في احتياجات المستخدمين كدعم تطبيقات الزمن الحقيقي وجودة الخدمة (معدل نقل عالٍ للمعطيات، وتقليل التأخير الزمني، وغيرها)، ما دفع بمزودي خدمات الشبكات للعمل على دمج ومكاملة العديد من موارد الشبكات المتغيرة الخواص لدعم الاتصال وتلبية احتياجات المستخدم المختلفة بتأمين أي خدمة عبر أي جهاز وأي شبكة، وفي أي مكان وزمان.

يُعدّ التسليم الشاقولي خطوة مهمة وضرورية لتأمين عملية تسليم العقدة المتحركة (MN) Mobile Node بين الشبكات المختلفة . في السعي لتقليل التأخير الزمني الحاصل عند التسليم وتأمين عملية تسليم سلسلة Seamless بين تقانات النفاذ المختلفة باستخدام المعيار IEEE 802.21 الذي جرى تطويره في كانون الثاني 2009، أو ما يسمى تقنية التسليم المستقل عن الوسط (Media Independent Handover) .

يُعدّ بروتوكول التحكم بالإرسال (النقل) Transmission Control Protocol (TCP) من أهم البروتوكولات المستخدمة في الشبكات والتي تضمن الوثوقية Reliability في إرسال المعطيات، لكن أدائه يتأثر بشكل كبير أثناء التسليم بين شبكتين مختلفتي الطبيعة، وذلك بسبب التغير الذي يطرأ على القيم مثل السرعة (معدل النقل) وعرض المجال . إضافةً إلى كون البروتوكول TCP يفترض أن الفقد الحاصل هو مؤشر لحدوث الازدحام، على الرغم من أنه قد يكون ناتج عن العديد من الأسباب مثل الخفوت في الإرسال Fading ، أو نتيجة التسليم Handover .

يتناول هذا البحث دراسة عملية التسليم الشاقولي باستخدام المعيار IEEE 802.21 عند حركة العقدة المحمولة MN بين ثلاثة أنواع مختلفة من الشبكات UMTS، وواي فاي Wi-Fi، وواي ماكس WiMax . كما يتم في هذا البحث دراسة أداء بروتوكول التحكم في الإرسال TCP من خلال تقييم عدد من خوارزميات التحكم بالازدحام مثل فيغاس TCP Vegas ورينو TCP Reno والجديدة TCP new Reno وتاهو TCP Tahoe ، والمقارنة فيما بينها باستخدام عدد من المتوسطات Parameters لقياس الأداء مثل فقد المعطيات Packet loss ، والتأخير الزمني الناتج عن عملية التسليم HO latency ومعدل التدفق Throughput، وسرعة العقدة المحمولة، وذلك باستخدام محاكي الشبكات Network Simulator version2 (NS2) والذي يتضمن دعم لتقنية MIH من قبل المعهد الوطني للمعايير والتقانة (NIST) National Institute of Standard and Technology .

بيّنت نتائج الدراسة التحسن الملموس في الأداء عند استخدام تقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH في تأمين عملية تسليم سلس للعقدة المحمولة MN، إضافةً إلى تحسن معدل التدفق Throughput . كما أظهرت النتائج أن خوارزمية رينو الجديدة TCP New Reno هي ذات الأداء الأفضل أثناء عملية التسليم من حيث حفاظها على معدل تدفق جيد وفقد قليل للمعطيات، بينما تعاني خوارزمية TCP Vegas من انخفاض كبير في الأداء خلال عملية التسليم . كما أظهرت النتائج تأثير سرعة العقدة المحمولة على عملية التسليم وأداء خوارزميات التحكم بالازدحام، حيث تزداد قيمة التأخير الزمني الناتج عن عملية التسليم بزيادة سرعة العقدة المحمولة .

Abstract

The current researches are moving towards more development in order to provide the growing needs of user such as support real-time application, quality of service and particularly; the high data rate transfer and other . That prompts the network service providers to integrate many properties for different networks resource, and support providing the service “ anywhere and anytime” .

The vertical handover is very important and necessary step to provide the mobility of mobile nodes between the different networks by using Media Independent Handover (MIH) IEEE 802.21 standard which is developed in January 2009 .

Transmission Control Protocol (TCP) is the most important protocol which ensures reliability to send data, but its performance is heavily influenced during the handover between different networks, because of changes in the values such as speed and data rate transfer. In addition to the fact that the TCP Protocol assumes that the lost packet is an indication of congestion, although it may be due to many reasons such as Fading or Handover.

In this thesis, the performance of vertical handover process using IEEE802.21 is evaluated and we study the performance of TCP by discussing and evaluating some congestion control algorithms such as TCP Vegas, TCP Reno, TCP NewReno and TCP Tahoe , and comparison them taking into account many parameters such as packet loss, handover latency, and throughput using NS2 simulator (Network Simulator version2) which includes a support for MIH technology by the National Institute of Standard and Technology (NIST) .

The results of the study showed improvement in performance when we use MIH technology to have seamless handover, in addition to the improvement in Throughput .

TCP New Reno has the best performing during the handover, it has good Throughput and little packets are lost, while TCP Vegas algorithm suffers from decrease in performance during the handover. The results also showed the influence of the speed of mobile node on the handover and performance of congestion control algorithms, where the Handover latency increases according to speed of mobile node.

فهرس المحتويات

1.....	ملخص البحث
3.....	ملخص البحث باللغة الإنكليزية
5.....	فهرس المحتويات
10.....	فهرس الأشكال
14.....	فهرس الجداول
15.....	قائمة المصطلحات عربي – انكليزي
19.....	قائمة المصطلحات انكليزي – عربي
24.....	اختصارات المصطلحات العلمية

الفصل الأول

27.....	مدخل إلى البحث Introduction to the Research
28.....	1.1. مقدمة
28.....	2.1. مشكلة البحث
29.....	3.1. أهداف البحث
29.....	4.1. أهمية البحث
30.....	5.1. الدراسة المرجعية

الفصل الثاني

34.....	Handover Concept in Wireless Networks مفهوم التسليم في الشبكات اللاسلكية
35.....	1.2. تطور أجيال الشبكات النقالة

2.2	الشبكات اللاسلكية المستخدمة في البحث	36
1.2.2	الشبكات المحلية اللاسلكية WLANs	36
2.2.2	شبكة WiMax النقالة	37
3.2.2	شبكة منظومة الاتصالات النقالة العالمية UMTS	37
3.2	تعريف التسليم	38
4.2	أصناف التسليم	39
1.4.2	التسليم الأفقي والتسليم الشاقولي	39
2.4.2	التسليم القاسي والتسليم اللين	41
3.4.2	التسليم وفقاً لمن يتخذ قرار التسليم	42
4.4.2	التسليم الإلزامي والتسليم الاختياري	43
5.2	بعض مقاييس أداء عملية التسليم على أداء العقدة المحمولة	43
6.2	إدارة عملية التسليم	44
7.2	خوارزميات اتخاذ قرار التسليم الشاقولي VHO	44

الفصل الثالث

بروتوكول التحكم بالإرسال وخوارزميات التحكم بالازدحام TCP Protocol and		
47	Congestion Control Algorithms	
1.3	تعريف بروتوكول التحكم في الإرسال TCP	48
2.3	التحكم بالازدحام Congestion Control	50
3.3	مراحل التحكم بالازدحام	51
1.3.3	خوارزمية البدء البطيء Slow Start وخوارزمية تجنب الازدحام Congestion Avoidance	52

54.....	2.3.3 خوارزمية إعادة الإرسال السريع Fast Retransmit
55.....	3.3.3 خوارزمية الاستعادة السريعة Fast Recovery
56.....	4.3 خوارزميات التحكم بالازدحام
56.....	1.4.3 خوارزمية تاهو TCP Tahoe
57.....	2.4.3 خوارزمية رينو TCP Reno
58.....	3.4.3 خوارزمية رينو الجديدة TCP new Reno
58.....	4.4.3 خوارزمية فيغاس TCP Vegas
59.....	5.3 أداء بروتوكول التحكم في الإرسال TCP أثناء عملية التسليم الشاقولي VHO
62.....	6.3 أداء بروتوكول التحكم في الإرسال TCP أثناء عملية التسليم الشاقولي للوصلة الصاعدة Upward VHO
62.....	7.3 أداء بروتوكول التحكم في الإرسال TCP أثناء عملية التسليم الشاقولي للوصلة الهابطة Downward VHO
63.....	

الفصل الرابع

65	التسليم المستقل عن الوسط Media Independent Handover MIH
66.....	1.4 الهدف من المعيار IEEE 802.21
67.....	2.4 بنية المعيار IEEE 802.21
69.....	3.4 الخدمات التي يوفرها المعيار IEEE 802.21
70	1.3.4 خدمة الأحداث المستقلة عن الوسط
70	2.3.4 خدمة الأوامر المستقلة عن الوسط
71.....	3.3.4 خدمة المعلومات المستقلة عن الوسط

الفصل الخامس

بناء عملية المحاكاة وتنفيذها Simulation Development and Implementation

72.....	
73.....	1.5 الهدف من المحاكاة
73.....	2.5 البرمجيات المستخدمة
74.....	1.2.5 محاكي الشبكات (NS2) Network Simulation 2
76.....	2.2.5 لغة الاستعلام AWK
76.....	3.2.5 الوحدات المطورة من قبل المعهد الوطني للمعايير والتقانة (NIST)
77.....	3.5 دعم وحدة المعيار IEEE 802.21 ضمن المحاكى NS2
81.....	4.5 السيناريو المقترح للمحاكاة

الفصل السادس

الدراسة التحليلية لنتائج المحاكاة Analysis of simulation Results

86.....	
87.....	1.6 خوارزمية اتخاذ قرار التسليم المتبعة
89.....	2.6 عملية التسليم من شبكة UMTS إلى شبكة Wi-Fi وفق السيناريو الأول للمحاكاة
91.....	3.6 عملية التسليم من شبكة Wi-Fi إلى شبكة WiMax وفق السيناريو الأول للمحاكاة
95.....	4.6 معدل التدفق Throughput
98.....	5.6 فقد الرزم Packet Loss
102	6.6 تأخير التسليم Handover Latency
102.....	1.6.6 تأخير التسليم الناتج عن عمليات التسليم وفق السيناريو الأول
103.....	2.6.6 تأخير التسليم الناتج عن عمليات التسليم وفق السيناريو الثاني

108.....	7.6. التأخير الزمني نهاية لنهاية End to End Delay
108	8.6. مقارنة بين أداء خوارزميات التحكم بالازدحام
111.....	Conclusion الخاتمة
112	Future works الآفاق المستقبلية
113.....	References المراجع
117	Appendices الملاحق
118.....	الملحق الأول : النص البرمجي لعمليات التسليم وفق السيناريو الأول للمحاكاة
131	الملحق الثاني : النص البرمجي بلغة AWK لحساب مقدار فقد الرزم
133.....	الملحق الثالث : النص البرمجي بلغة AWK لحساب قيمة معدل التدفق
135.....	الملحق الرابع : وحدة اكتشاف الجوار
140.....	الملحق الخامس : المعيار IEEE 802.21

فهرس الأشكال

- الشكل (1-2) : تطور أجيال الشبكات النقالة وسرعاتها والتطبيقات التي تدعمها 35
- الشكل (2-2) : تصنيف الشبكات اللاسلكية تبعاً لمنطقة التغطية 37
- الشكل (3-2) : البنية العامة لشبكة UMTS 38
- الشكل (4-2) : أصناف التسليم 39
- الشكل (5-2) : التسليم الأفقي والتسليم الشاقولي 40
- الشكل (6-2) : التسليم الهابط والتسليم الصاعد 41
- الشكل (7-2) : التسليم القاسي Hard Handover 41
- الشكل (8-2) : التسليم اللين Soft Handover 42
- الشكل (9-2) : مراحل عملية التسليم 44
- الشكل (10-2) : العوامل المساهمة في خوارزمية اتخاذ قرار التسليم 45
- الشكل (11-2) : المعاملات المساهمة في اتخاذ قرار التسليم 46
- الشكل (1-3) : الزمن RTT من لحظة إرسال الرزم إلى لحظة استقبال إشعار الاستلام ACK .. 50
- الشكل (2-3) : الصوان في جهة المستقبل 50
- الشكل (3-3) : تأثير قيمة RTO على سلوك الشبكة 52
- الشكل (4-3) : فقد رزمة خلال اتصال TCP 52
- الشكل (5-3) : النمو الأسّي في طور خوارزمية البدء البطيء Slow Start 53
- الشكل (6-3) : رسم تقريبي للترديد الأسّي في طور خوارزمية البدء البطيء 54
- الشكل (7-3) : خوارزمية البدء البطيء وخوارزمية تجنب الازدحام 55
- الشكل (8-3) : خوارزميات التحكم بالازدحام المختلفة 57

- الشكل (3-9) : خوارزمية التحكم بالازدحام رينو Reno 58
- الشكل (3-10) : سلوك جهة المرسل في بروتوكول TCP أثناء عملية التسليم 61
- الشكل (3-11) : عمليات إرسال غير ضرورية نتيجة عملية التسليم القاسي Hard HO 61
- الشكل (3-12) : إعادة ترتيب الرزم أثناء عملية التسليم 62
- الشكل (3-13) : آلية التسليم الشاقولي عبر الوصلة الصاعدة 64
- الشكل (3-14) : آلية التسليم الشاقولي عبر الوصلة الهابطة 65
- الشكل (4-1) : مراحل تطور المعيار IEEE 802.21 عبر الزمن 65
- الشكل (4-2) : البنية العامة للمعيار IEEE 802.21 67
- الشكل (4-3) : نقاط النفاذ إلى الخدمة SAP في تقنية MIH 70
- الشكل (4-4) : خدمات المعيار IEEE 802.21 70
- الشكل (5-1) : البنية البرمجية في البرنامج NS2 75
- الشكل (5-2) : نواتج تنفيذ الملف البرمجي ضمن NS2 76
- الشكل (5-3) : بنية وهيكلية المحاكى NS2 76
- الشكل (5-4) : الصيغة العامة لحقول ملف التعقب 76
- الشكل (5-5) : ارتباطات MIHF مع العقدة المحمولة MN 78
- الشكل (5-6) : العقدة المتعددة الواجهات 79
- الشكل (5-7) : مفهوم العقد الوهمية في محاكاة الشبكات اللاسلكية WiMax 80
- الشكل (5-8) : حدود الاستطاعة المحددة ضمن NS2 82
- الشكل (5-9) : التوصيل الشبكي لسيناريو المحاكاة 83
- الشكل (5-10) : السيناريو الأول للمحاكاة 84

الشكل (5-11) : السيناريو الثاني للمحاكاة	85
الشكل (6-1) : خوارزمية اتخاذ قرار التسليم	89
الشكل (6-2) : توليد الحدث اكتشاف الوصلة أثناء التسليم من شبكة UMTS لشبكة Wi-Fi	90
الشكل (6-3) : توليد حدث الاتصال مع الشبكة أثناء التسليم من شبكة UMTS لشبكة Wi-Fi	90
الشكل (6-4) : تبادل رسائل RS و RA أثناء عملية التسليم	91
الشكل (6-5) : خطوات التسليم من شبكة UMTS لشبكة Wi-Fi	92
الشكل (6-6) : المخطط التفصيلي لخطوات عملية التسليم من شبكة Wi-Fi لشبكة WiMax	93
الشكل (6-7) : الواجهات التابعة للشبكات المتوفرة أثناء عملية المحاكاة	94
الشكل (6-8) : توليد الحدث اكتشاف الوصلة أثناء التسليم من شبكة Wi-Fi لشبكة WiMax	94
الشكل (6-9) : توليد حدث الاتصال مع الشبكة WiMax	95
الشكل (6-10) : توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار وحدث انهيار الوصلة	96
الشكل (6-11) : معدل التدفق أثناء عملية التسليم وفق السيناريو الأول	97
الشكل (6-12) : مقارنة معدل التدفق أثناء عملية التسليم	98
الشكل (6-13) : علاقة معدل التدفق لخوارزميات التحكم بالازدحام مع سرعة العقدة المحمولة ...	99
الشكل (6-14) : فقد الرزم أثناء عملية التسليم	100
الشكل (6-15) : فقد الرزم بدلالة المعامل Pr_limit	101
الشكل (6-16) : تأخير التسليم بدلالة المعامل Pr_limit	102
الشكل (6-17) : فقد الرزم بتغير سرعة العقدة المحمولة	102
الشكل (6-18) : علاقة تأخير التسليم بسرعة العقدة المحمولة أثناء التسليم وفق السيناريو الأول	104

- الشكل (6-19) : تأخير التسليم بين الشبكتين Wi-Fi و WiMax وفق السيناريو الثاني105
- الشكل (6-20) : العلاقة بين سرعة العقدة المحمولة وتأخير التسليم بين الشبكتين Wi-Fi و WiMax وفق السيناريو الثاني للمحاكاة106
- الشكل (6-21) : زمن التأخير الناتج عن عملية التسليم في خوارزميات التحكم بالازدحام108
- الشكل (6-22) : العلاقة بين سرعة العقدة المحمولة والتأخير الزمني الناتج عن التسليم في خوارزميات التحكم بالازدحام108

فهرس الجداول

الجدول (1-2) :التعديلات المُدخلة على المعيار IEEE 802.11.....	36
الجدول (1-3) : خوارزمية البدء البطيء Slow Start.....	54
الجدول (2-3) :خوارزمية تجنب الازدحام Congestion Avoidance.....	55
الجدول (3-3) : خوارزمية إعادة الإرسال السريع	56
الجدول (4-3) : خوارزمية إعادة الإرسال السريع والاستعادة السريعة	56
الجدول (1-4) : بعض الأحداث المهمة في المعيار IEEE 802.21	71
الجدول (2-4) : أهم أوامر المعيار IEEE 802.21	72
الجدول (1-5) : بعض الأوامر والأحداث المدعومة في MIH	81
الجدول (2-5) : أهم المعاملات المستخدمة في عملية المحاكاة	86
الجدول (1-6) : فقد الرزم أثناء عمليات التسليم وفق السيناريو الأول للمحاكاة	100
الجدول (2-6) : فقد الرزم أثناء عمليات التسليم وفق السيناريو الثاني للمحاكاة	100
الجدول (3-6) : التأخير الزمني الناتج عن عملية التسليم وفق السيناريو الثاني للمحاكاة	105
الجدول (4-6) : مقارنة بين السيناريو الأول والسيناريو الثاني	107
الجدول (5-6) : التأخير الزمني أثناء عمليات التسليم وفق السيناريو الأول للمحاكاة	109
الجدول (6-6) : مقارنة بين أداء خوارزميات التحكم بالازدحام	109

قائمة المصطلحات عربي – انكليزي

Connection-oriented	اتصال ارتباطي التوجه
Full Duplex	اتصال ثنائي الاتجاه
ND	اكتشاف الجوار
Fast Recovery	الاستعادة السريعة
RA	الإعلان عن الموجه
Handover Latency	التأخير الزمني الناتج عن عملية التسليم
Mobility	التحريك
Horizontal Handover	التسليم الأفقي
Vertical Handover	التسليم الشاقولي
Upward Handover	التسليم الصاعد
Hard Handover	التسليم القاسي
Soft Handover	التسليم اللين
MIH	التسليم المستقل عن الوسط
Downward Handover	التسليم الهابط
L3HO	التسليم على مستوى الطبقة الثالثة
L2HO	التسليم على مستوى الطبقة الثانية
1G	الجيل الأول
3G	الجيل الثالث
2G	الجيل الثاني

4G	الجيل الرابع
WLAN	الشبكات المحلية اللاسلكية
Heterogeneous Networks	الشبكات غير المتجانسة
MN	العقدة المحمولة
CN	العقدة المراسلة
Super Node	العقدة متعددة الواجهات
BBM	الفصل قبل الوصل
BS	المحطة القاعدية
3-way handshake	المصافحة ثلاثية الطرائق
NIST	المعهد الوطني للمعايير والتقانة
GSM	النظام العالمي للاتصالات المحمولة
MBB	الوصل قبل الفصل
Full Duplex	اتصال ثنائي الاتجاه
Time out	انقضاء المهلة
RTO	انقضاء مهلة إعادة الإرسال
LD	انهيار الوصلة
Beacon frame	إطار الإرشاد
Fast Retransmit	إعادة الإرسال السريع
ACK	إشعار الاستلام
End-to-End Protocol	بروتوكول اتصال نهاية لنهاية

MIPv6	بروتوكول الإنترنت النقال الإصدار السادس
TCP	بروتوكول التحكم بالإرسال (النقل)
MIHF	تابع التسليم المستقل عن الوسط
Congestion Avoidance	تجنب الازدحام
Wireless Technology	تقانات الشبكات اللاسلكية
LGD	توجه الوصلة نحو الانهيار
BDP	جداء عرض المجال بالتأخير
QoS	جودة الخدمة
RS	حث الموجه
MSS	حجم المقطع الأعظمي
Awnd	حجم النافذة المعلن عنها عند المستقبل
Overload	حمل زائد
MIES	خدمة الأحداث المستقلة عن الوسط
MICS	خدمة الأوامر المستقلة عن الوسط
MIIS	خدمة المعلومات المستقلة عن الوسط
AIMD	خوارزمية الزيادة الجمعية / التخفيض المضاعف
RTT	زمن الذهاب والإياب
UMTS	شبكة منظومة الاتصالات النقالة العالمية
Disconnection Factor	عامل انقطاع الاتصال
SStresh	عتبة البدء البطيء

CSThresh_	عتبة تحسس الحامل
RxThresh_	عتبة حساسية المستقبل
BW	عرض المجال
BBM	فصل قبل الوصل
Packet Loss	فقد الرزم
IETF	فريق العمل الهندسي للإنترنت
RSS	قوة الإشارة المستقبلية
AWK	لغة استعلامية نصية
OTCL	لغة أوامر الأدوات الغرضية التوجه
NS	محاكي الشبكات
Monitors	مراقب (وحدات إظهار)
Parameters	موسطات (بارامترات)
Throughput	معدل التدفق
Trace File	ملف التتبع
Cwnd	نافذة التحكم بالازدحام
SAP	نقاط نفاذ الخدمة
PoA	نقطة النفاذ
MIH user	واجهة التواصل
MBB	وصل قبل الفصل
Agent	وكيل (عميل)

قائمة المصطلحات انكليزي – عربي

1G	الجيل الأول
2G	الجيل الثاني
3G	الجيل الثالث
3-way handshake	المصافحة ثلاثية الطرائق
4G	الجيل الرابع
ACK	إشعار الاستلام
Agent	وكيل (عميل)
AIMD	خوارزمية الزيادة الجمعية / التخفيض المضاعف
AWK	لغة استعلامية
Awnd	حجم النافذة المعلن عنها عند المستقبل
BBM	فصل قبل الوصل
BDP	جداء عرض المجال بالتأخير
Beacon Frame	إطار الإرشاد
Buffer	الصّوان
BS	المحطة القاعدية
BW	عرض المجال
Command Service	خدمة الأوامر
CN	العقدة المراسلة
Congestion Avoidance	تجنب الازدحام

Congestion Control	التحكم بالازدحام
Connection-oriented	اتصال ارتباطي التوجه
CSThresh_	عتبة تحسس الحامل
Cwnd	نافذة التحكم بالازدحام
Disconnection Factor	عامل انقطاع الاتصال
Downward Handover	التسليم الهابط
Duplicate Ack	إشعار الاستلام المتكرر
End-to-End Protocol	بروتوكول اتصال نهاية لنهاية
Event Service	خدمة الأحداث
Fast Recovery	الاستعادة السريعة
Fast Retransmit	إعادة الإرسال السريع
Flow control	التحكم بتدفق المعطيات
Full Duplex	اتصال ثنائي الاتجاه
GSM	النظام العالمي للاتصالات المحمولة
Handover	التسليم
Hard Handover	التسليم القاسي
Horizontal Handover	التسليم الأفقي
Handover Latency	التأخير الزمني الناتج عن عملية التسليم
IETF	فريق العمل الهندسي للإنترنت
Information Service	خدمة المعلومات

L2 HO	التسليم على مستوى الطبقة الثانية
L3 HO	التسليم على مستوى الطبقة الثالثة
LGD	توجه الوصلة نحو الانهيار
LD	انهيار الوصلة
MBB	وصل قبل الفصل
MICS	خدمة الأوامر المستقلة عن الوسط
MIES	خدمة الأحداث المستقلة عن الوسط
MIH	التسليم المستقل عن الوسط
MIH user	واجهة التواصل
MIHF	تابع التسليم المستقل عن الوسط
MIIS	خدمة المعلومات المستقلة عن الوسط
MIPv6	بروتوكول الإنترنت النقال الإصدار السادس
MSS	حجم المقطع الأعظمي
MN	العقدة المحمولة
Mobility	التحريك
Monitors	مراقب (وحدات إظهار)
ND	اكتشاف الجوار
NIST	المعهد الوطني للمعايير والتقانة
NS	محاكي الشبكات
OTCL	لغة أوامر الأدوات الغرضية التوجه

Overload	حمل زائد
Packet Loss	فقد الرزم
Parameters	موسطات (بارامترات)
PoA	نقطة النفاذ
Power Management	إدارة الاستطاعة
RA	الإعلان عن الموجه
RS	حث الموجه
RSS	قوة الإشارة المستقبلية
RTO	انقضاء مهلة إعادة الإرسال
RTT	زمن الذهاب والإياب
RxThresh_	عتبة حساسية المستقبل
SAP	نقاط نفاذ الخدمة
Seamless	سلس
Soft Handover	التسليم اللين
ssthresh	عتبة البدء البطيء
Super Node	العقدة متعددة الواجهات
TCP	بروتوكول التحكم بالإرسال (النقل)
Throughput	معدل التدفق
Time out	انقضاء المهلة
Trace File	ملف التتبع (التعقب)

UMTS	شبكة منظومة الاتصالات النقالة العالمية
Upward Handover	التسليم الصاعد
VHO	التسليم الشاقولي
WLAN	الشبكات المحلية اللاسلكية
WiMax	شبكات التشغيل البيني على النطاق العالمي للنفاز بالأمواج المكروية

اختصارات المصطلحات العلمية

AP	Access Point
ACK	Acknowledgment
AIMD	Additive Increase/Multiplicative Decrease
BBM	Break Before Make
BDP	Bandwidth-Delay-Product
BS	Base Station
BW	Bandwidth
CS Thresh	Carrier Sense Threshold
Cwnd	Congestion Window
GSM	Global System for Mobile Communications
HO	Handover
HHO	Horizontal Handover
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
LGD	Link Going Down
LD	Link Down
MBB	Make-Before-Break
MSS	Maximum Segment Size

MICS	Media Independent Command Service
MIES	Media Independent Event Service
MIH	Media Independent Handover
MIHF	Media Independent Handover Function
MIIS	Media Independent Information Service
MCHO	Mobile Controlled Handoff
MCNA	Mobile Controlled Network Assisted
MIPv6	Mobile Internet Protocol Version 6
MN	Mobile Node
NIST	National Institute of Standard and Technology
NCHO	Network Controlled Handoff
NCMA	Network Controlled Mobile Assisted
NGWN	Next Generation Wireless Networks
NS	Network Simulator
OTCL	Object Tool Command Language
PoA	Point of Access
RSS	Received Signal Strength
RTT	Round Trip Time
SAP	Service Access Point
ssthresh	Slow Start threshold

TCP	Transmission Control Protocol
VHO	Vertical Handover
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access

الفصل الأول

مدخل إلى البحث

Introduction to the Research

1.1. مقدمة

من التحديات التي تواجه الشبكات اليوم هو العمل على إيجاد حلول لتأمين عمليات تسليم سلس وآمن عند تجوال العقدة المحمولة بين شبكات مختلفة الطبيعة والخواص، والسعي لضمان عدم حدوث انقطاع في الاتصال أو انخفاض في جودة الخدمة. لذا جاءت فكرة المعيار IEEE 802.21 (MIH) كحل لدمج الأنواع المختلفة من الشبكات، وتقليل الزمن اللازم لعمليات التسليم HO، ومن ثم الحصول على خدمة واتصال جيد بأي وقت وبأي مكان.

يُعدّ بروتوكول التحكم بالإرسال (النقل) TCP بروتوكول اتصال ارتباطي التوجه موثوق إلا أنه مصمم للشبكات السلكية، لكن نتجت مشاكل عديدة عن تطبيقه في الوصلات اللاسلكية، إضافة لتأثر أدائه بشكل كبير عند الانتقال بين الشبكات المختلفة الخواص.

سنركز في هذا البحث على دراسة المعيار IEEE 802.21 ودراسة أداء بروتوكول التحكم في الإرسال TCP أثناء عملية التسليم HO بين شبكات منظومة الاتصالات النقالة العالمية (UMTS) Universal Mobile Telecommunication System وشبكات تقانة الاتصال اللاسلكي بالإنترنت (واي فاي) Wireless Fidelity (Wi-Fi) وشبكات التشغيل البيئي على النطاق العالمي للنفاز بالأمواج المكروية (واي ماكس) Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMax). .

2.1. مشكلة البحث

تحتاج العقدة المحمولة MN للقيام بعدد من عمليات التسليم خلال حركتها ضمن منطقة جغرافية ما بين عدد من الشبكات المتوافرة وفق ما تقدمه من تأمين جودة خدمة وشروط مناسبة للاتصال.

يترتب على حدوث عملية التسليم فقد عدد من الرزم Packet، إضافة إلى التأخير الزمني وانخفاض الجودة في نقل المعطيات نتيجة تغير المسار لشبكة أخرى بخواص مختلفة لا تدعم عرض المجال أو السرعة اللازمة للطرفية المتحركة، مما يؤثر في أداء بروتوكول التحكم في الإرسال TCP، الذي يفسر فقد الرزم بأنه مؤشر لحدوث الازدحام. بينما قد يكون السبب هو وصول الرزم بترتيب خاطئ أو نتيجة الخفوت في الإرسال، وهذا بدوره يسبب العديد من عمليات إعادة الإرسال غير الضرورية، أو يقلل معدل الإرسال نتيجة إجراءات التحكم بالازدحام الخاطئة.

سنتناول في هذا البحث دراسة تقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH (المعيار IEEE 802.21) وعملية التسليم بوجود هذه التقنية، ودراسة بروتوكول التحكم بالإرسال TCP خلال عملية التسليم

الشاقولي VHO بين عدد من الشبكات المختلفة، كما سيتم تقييم أداء عدد من خوارزميات التحكم بالازدحام المختلفة أثناء عملية التسليم لما لعملية التسليم من أثر كبير على أداء البروتوكول TCP، حيث يعاني من هبوط وانحدار كبير كونه غير مصمم للتعامل مع الشبكات اللاسلكية أو مع التكرارية (التنقلية) Mobility نتيجة الاختلاف في خواص الشبكة اللاسلكية عن الشبكة السلكية.

3.1. أهداف البحث

من أبرز أهداف هذا البحث دراسة مفهوم وأداء عملية التسليم الشاقولي VHO بين الشبكات UMTS و Wi-Fi و WiMax بوجود تقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH، وتقييم أداء عدد من خوارزميات التحكم بالازدحام أثناء عملية التسليم عبر عرض دراسة مرجعية لأهم الأبحاث التي تناولت عملية التسليم بين هذه الشبكات، وأداء بروتوكول التحكم بالإرسال TCP خلال عملية التسليم الشاقولي VHO. كما يهدف هذا البحث إلى دراسة المعيار IEEE 802.21 وعدد من خوارزميات التحكم بالازدحام مثل تاهو Tahoe ورينو Reno ورينو الجديدة NewReno وفيغاس Vegas. ومدى تأثيرها بعملية التسليم وخاصة عند استخدام تقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH بواسطة قياس عدد من المعاملات مثل فقد الرزم Packet loss والتأخير الزمني الناتج عن عملية التسليم Handover latency، ومعدل التدفق Throughput وتأثر الأداء بسرعة العقدة المحمولة. ومقارنة أداء هذه الخوارزميات.

4.1. أهمية البحث

للبحث أهمية كبيرة في دراسة أداء الشبكات اللاسلكية الحديثة، حيث يتضمن دراسة موجزة للشبكات UMTS و Wi-Fi و WiMax المستخدمة في عملية المحاكاة، ويركز على عملية التسليم عند حركة العقدة المحمولة بين هذه الشبكات وذلك باستخدام تقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH. كما يتناول البحث المقارنة بين التسليم عند حركة العقدة المحمولة من شبكة Wi-Fi إلى شبكة WiMax والحركة بالاتجاه المقابل، عبر دراسة مقدار فقد الرزم، والتأخير الزمني اللازم الناتج عن عملية التسليم، ومعدل التدفق، وسرعة العقدة المحمولة.

يتضمن البحث عرض ودراسة أهم المعاملات المساهمة في اتخاذ قرار التسليم، جرى الاعتماد بشكل أساسي على قوة الإشارة المستقبلية في خوارزمية اتخاذ قرار التسليم المتبعة.

يتناول البحث دراسة بروتوكول التحكم بالإرسال TCP وعدد من خوارزميات التحكم بالازدحام وتأثيرها بعملية التسليم الشاقولي VHO، و دراسة المعيار IEEE 802.21، وبنيتها والخدمات التي

يقدمها. تمت الدراسة باستخدام المحاكى NS2 مع العديد من التعديلات والتحسينات لتحقيق الدعم لتقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH، وتنفيذ العمل البرمجي لسيناريوهات المحاكاة، حيث جرى اقتراح اثنين من السيناريوهات المختلفة للمحاكاة بما يخدم الدراسة. إضافةً إلى تحليل نتائج المحاكاة وتقييم أداء بروتوكول التحكم بالإرسال TCP بمقارنة أداء عدة خوارزميات للتحكم بالازدحام.

5.1. الدراسة المرجعية

اهتمت أبحاث عديدة بدراسة أداء عملية التسليم الشاقولي VHO عند تحرك العقدة المحمولة بين عدد من الشبكات المختلفة باستخدام تقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH. إضافةً إلى دراسة أداء بروتوكول التحكم بالإرسال TCP وخوارزميات التحكم بالازدحام المتعلقة به وتأثيرها بعملية التسليم.

إذ قام الباحثون في [1] بدراسة عامة عن مفهوم عملية التسليم Handover بين الشبكات اللاسلكية، وأصنافه وأهميته، وعرض مراحل عملية التسليم من تجميع المعلومات اللازمة عن الشبكات المجاورة واتخاذ قرار التسليم، وتنفيذ العملية. كما درس الباحثون أهم العوامل المساهمة في اتخاذ قرار التسليم ومعايير اختيار الشبكة الهدف. بينما قدم الباحثون في [2] دراسة وتحليل لأداء عملية التسليم الشاقولي بوجود تقنية MIH عند حركة العقدة المحمولة بين محطتين قاعديتين BS من نوع شبكة WiMax ونقطة نفاذ تابعة لشبكة Wi-Fi، جرت عملية المحاكاة باستخدام برنامج محاكاة الشبكة (NS2) Network Simulator Version 2، وتم دعم تقنية MIH باستخدام الوحدات المتضمنة من قبل المعهد الوطني للمعايير والتقانة في NIST add-on module. درس الباحثون عدد من المعاملات لتقييم الأداء مثل تأخير التسليم HO-Latency، معدل التدفق Throughput، فقد الرزم Packet drop والتأخير الزمني نهاية لنهاية End to End Delay.

درس الباحثون في [3] تطوير تقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH عبر تحسين خدمة المعلومات المستقلة عن الوسط (MIIS) Media Independent Information Service، بما يخدم نقل تطبيقات الفيديو بوساطة تقليل معدل فقد الرزم، والتأخير الزمني، ونسبة الضجيج أثناء عملية التسليم بين شبكة WiMax وشبكة UMTS بالاعتماد على قوة الإشارة المستقبلية بشكل أساسي لاتخاذ قرار التسليم. كما اقترح الباحثون في [4] خوارزمية اتخاذ قرار التسليم مطوّرة تعتمد على عدد من المعاملات، مثل عرض المجال، وقوة الإشارة المستقبلية، استهلاك الاستطاعة وسرعة العقدة المحمولة. ودراسة أداء العقدة المحمولة أثناء عملية التسليم بين شبكة WiMax، وشبكتين من نوع Wi-Fi وشبكة UMTS، وقد لوحظ انخفاض عدد عمليات التسليم غير اللازمة، ما ساهم في تحسين كل من معدل التدفق، تأخير التسليم، وفقد الرزم.

كما تطرق الباحثون في [5] إلى تحسين أداء عملية التسليم عند حركة العقدة المحمولة بين شبكة Wi-Fi وشبكة WiMax بتخفيض زمن التأخير الناتج عن عملية التسليم بالاعتماد على دراسة الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار (Link Going Down (LGD ، وتوليده في الوقت المناسب، وتأثير ذلك على التطبيقات التي تستخدمها العقدة المحمولة .

قام الباحثون في [6] بالعمل على تحسين أداء سلوك الوصلة الصاعدة في التسليم الشاقولي عند الانتقال من شبكة WLAN إلى شبكة 3G، باقتراح آلية فعالة لتجنب عمليات التحكم بالازدحام غير الضرورية عند التسليم بإضافة رسالة معلومات خاصة بعملية التسليم HO ضمن تابع التسليم المستقل عن الوسط (MIH Function (MIHF، وتم استخدام هذه المعلومات من قبل بروتوكول التحكم بالإرسال TCP لتقدير قيمة حجم نافذة التحكم بالازدحام cwnd وزمن تأخير الذهاب والإياب (Round Trip Time (RTT للوصلة الجديدة .

من جهة أخرى، قدم الباحثون في [7] شرح بسيط عن المعيار IEEE 802.21، وكيفية تطبيقه وتقييم أدائه باستخدام برنامج محاكاة الشبكة NS2، إضافةً إلى تقييم الوثوقية والفعالية للمحاكي NS2 في محاكاة سيناريوهات المعيار IEEE 802.21 . حيث اقترح الباحثون نموذج شبكة مؤلف من محطة قاعدية (Base Station (BS نوع WiMax، وثلاث نقاط نفاذ (Access Points من نوع Wi-Fi، وعدد عشوائي متغير من العقد المحمولة يصل إلى حوالي مائة والقيام بحوالي 79 عملية تسليم، وبعدها تم قياس معدل ضياع الرزم والتأخير والذي تبين أنه انخفض بشكل كبير عند استخدام التقنية MIH .

في إطار العمل على تحسين أداء خوارزميات التحكم بالازدحام قام الباحثون في [8] بتوقع قيمتي RTT وجداء عرض المجال بالتأخير (Bandwidth-Delay-Product (BDP للشبكة الجديدة، حيث يعبر RTT عن الفترة الزمنية من لحظة إرسال الرزمة إلى حين استقبال إشعار الاستلام، بينما يعبر BDP عن العدد الأعظمي للمعطيات الممكن لبروتوكول TCP إرساله عبر الشبكة . ويعدّ الحفاظ على حجم نافذة التحكم بالازدحام cwnd قريبة من قيمة BDP أحد القواعد المهمة في خوارزميات التحكم بالازدحام للحفاظ على معدل تدفق Throughput عالٍ خلال الاتصال، وبذلك يجري تجنب فقد الرزم بتعديل نافذة الازدحام cwnd بتعديل حجمها والعتبة Threshold، ومن ثم المقارنة بين خوارزميتي SS-TCP وFreez-TCP، حيث يقوم كل من المرسل والمستقبل في خوارزمية SS-TCP بإضافة حقل جديد ضمن الترويسة (الرأسية) TCP header وذلك للتعريف ببداية حدوث التسليم وانتهائه، بينما في خوارزمية Freez-TCP يقوم طرف المستقبل بإرسال إعلان تفسير النافذة (Zero Window Advertisement (ZWA لجهة المرسل الذي يقوم بدوره بتقليل

قيمة النافذة للصفر والدخول بطور التجمد Frozen mode . ومن ثمّ إيقاف كل عمليات الإرسال ما يضمن عدم فقد الرزم، ويستأنف الإرسال بعد انتهاء عملية التسليم، إلا أن هذه الخوارزميات مخصصة للتسليم الأفقي حصراً أي بين نقاط النفاذ (المحطات القاعدية) للشبكة الواحدة .

بينما درس الباحثون في [9] سلوك الوصلة الصاعدة في التسليم الشاقولي Upward VHO عند الانتقال من شبكة محلية لاسلكية WLAN إلى شبكة خلية من الجيل الثالث 3G، وعمدوا إلى جعل حجم نافذة الازدحام بعد حدوث التسليم مساوياً لحجمها قبل نفاذ الوقت، لكن هذا سبب عمليات تحكم بالازدحام غير ضرورية وتفاقت المشكلة. كما استخدم الباحثون في [10] خوارزمية التحكم بالازدحام Westwood+ لتقدير قيمة عرض المجال، وعند ملاحظة أي تغيير مفاجئ في القيمة الحالية لعرض المجال فإن المرسل TCP Sender يقوم بتعديلها، ولكنها لا تأخذ بالحسبان عمليات التحكم بالازدحام غير الضرورية الناتجة عن الاختلاف بقيمة RTT بين كل من الوصلتين القديمة والجديدة .

أما في [11] فقد عمل الباحثون على اقتراح تقنية تسليم شاقولي VHO خاصة ببروتوكول TCP للتعامل مع مشكلة انقضاء المهلة للإرسال Retransmit Time Out (RTO) نتيجةً للتأخير ونفاذ الوقت الذي يطرأ أثناء عملية التسليم. تعتمد هذه التقنية على التنسيق بين المرسل والمستقبل أثناء التسليم وإرسال إشعاري استلام Acknowledgement (Acks) لجهة المرسل، أحدها عبر الوصلة القديمة والثاني عبر الوصلة الجديدة .

سنتطرق في هذا البحث انطلاقاً من الدراسة المرجعية لأهم الأبحاث حول عملية التسليم بين الشبكات المختلفة ، بدراسة أداء عملية التسليم الشاقولي VHO، وتقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH، وتحسن أداء عملية التسليم عند استخدام المعيار IEEE 802.21 أثناء انتقال العقدة المحمولة MN بين الشبكات Wi-Fi و WiMax و UMTS، ودراسة سلوك بروتوكول التحكم بالإرسال TCP أثناء عملية التسليم بمقارنة أداء عدد من خوارزميات التحكم بالازدحام مثل رينو TCP Reno، ورينو الجديدة TCP New Reno، وتاهو TCP Tahoe، وفيغاس TCP Vegas باستخدام تقنية MIH . يتم تقييم الأداء بدراسة عدد من المعاملات مثل معدل التدفق Throughput، وضياح الرزم Packet loss والتأخير الزمني لعملية التسليم HO latency والتأخير الزمني نهاية لنهاية End to End Delay ، وسرعة العقدة المحمولة وتأثيرها على أداء عملية التسليم .

سنعتمد في تحقيق التنفيذ البرمجي على استخدام المحاكى Network Simulator version 2 (NS2) الإصدار NS2 version 2.29 مع نظام تشغيل لينوكس Linux Ubuntu

11.04، ودمج عدد من الإضافات مع المحاكى NS2، لدعم تقنية التسليم المستقل عن الوسط، والتحركية Mobility وغيرها .

الفصل الثاني

مفهوم التسليم في الشبكات اللاسلكية

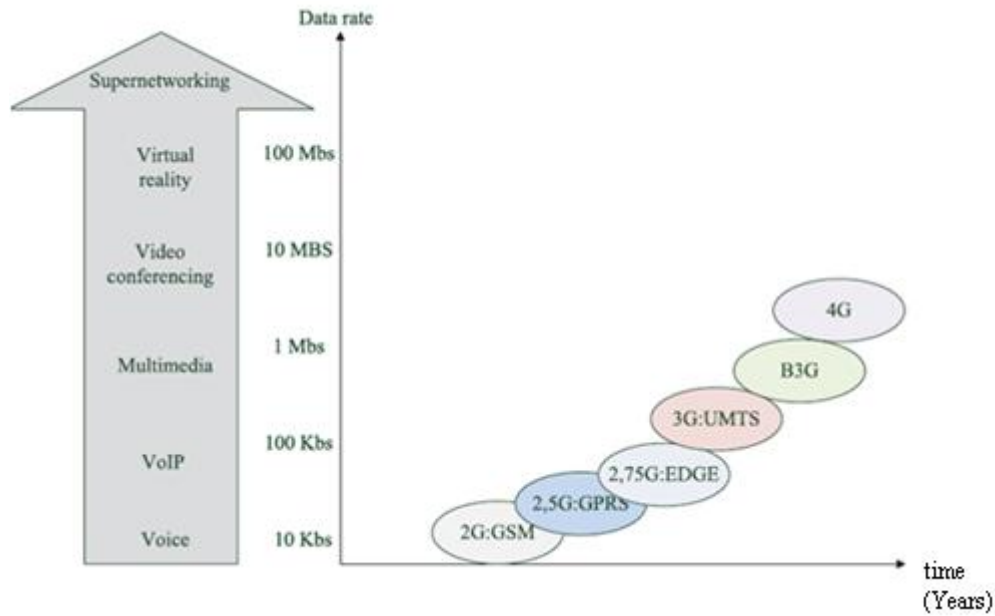
Handover Concept In Wireless Networks

يتناول هذا الفصل لمحة موجزة عن الشبكات اللاسلكية المستخدمة، ومفهوم التسليم وأصنافه، إضافة إلى ذكر بعض المعاملات المساهمة في اتخاذ قرار التسليم .

1.2. تطور أجيال الشبكات النقالة

بدأت الأنظمة المحمولة مع الأنظمة الخلوية باستخدام الإرسال التماثلي Analog في الجيل الأول (1G) First-Generation، والذي لم يدعم الاتصالات ذات معدل المعطيات المرتفع، إنما كان مخصصاً فقط لخدمة الصوت [12] . ودعمت هذه الأنظمة التسليم الأفقي ولكنها لم تدعم السرعات العالية للطرفيات ولم تكن قادرة على مواكبة الطلب المتزايد على الخدمات التي تقدمها الاتصالات اللاسلكية من الأجيال اللاحقة .

يبين الشكل (1-2) تطور أجيال الشبكات النقالة ومعدلات النقل والتطبيقات التي تدعمها.



الشكل (1-2) تطور أجيال الشبكات النقالة وسرعاتها والتطبيقات التي تدعمها [12]

في نهاية الثمانينيات طُوّرت شبكات الجيل الثاني 2G والتي استبدلت التقنيات التماثلية بالرقمية للاتصالات اللاسلكية، وكانت تدعم تطبيقات الصوت بشكل جيد حيث دعمت تقنية التبديل الدارتي Circuit-Switching لخدمات الصوت، كما دعمت خدمات بمعدل نقل للمعطيات أفضل، لكن بقيت السرعات التي تدعمها منخفضة نسبياً، مع إمكانية استخدام الوسط بشكل أكثر فعالية وزيادة سعة الشبكة . جاءت شبكات 2.5G تطوير لشبكة 2G، والتي أضافت تقنية التبديل الرزمي Packet-Switching لنقل المعطيات ولكن بشكل ضعيف نسبياً .

فيما بعد حدد الاتحاد الدولي للاتصالات المواصفات الرئيسية للجيل الثالث 3G عام 2000 بكونها تتضمن معدلات نقل مرتفعة للمعطيات في المركبات المتحركة، إضافةً إلى معدلات نقل معطيات تصل إلى حوالي 2Mbps، والتي أصبحت تدعم بشكل كامل تقنية التبديل الرزمي .

في عام 2008 بدأ العمل على ما يسمى الجيل اللاحق أو الجيل الرابع 4G لدعم خدمات الوسائط المتعددة في الزمن الحقيقي، وتنوعت الخدمات التي يدعمها هذا الجيل بين مرئية وصوتية، ونقل معطيات وصور وفيديو وغيرها . بحيث يعتمد هذا الجيل على كدسة بروتوكول التحكم في الإرسال / بروتوكول الإنترنت TCP/IP Stack، ويتطلب عرض مجال كبير ويحقق معدل نقل معطيات مرتفع، إضافةً إلى تطوير استراتيجيات لدعم عمليات التسليم Handover بشكلٍ سلس .

2.2. الشبكات اللاسلكية المستخدمة في البحث

1.2.2. الشبكات المحلية اللاسلكية WLANs

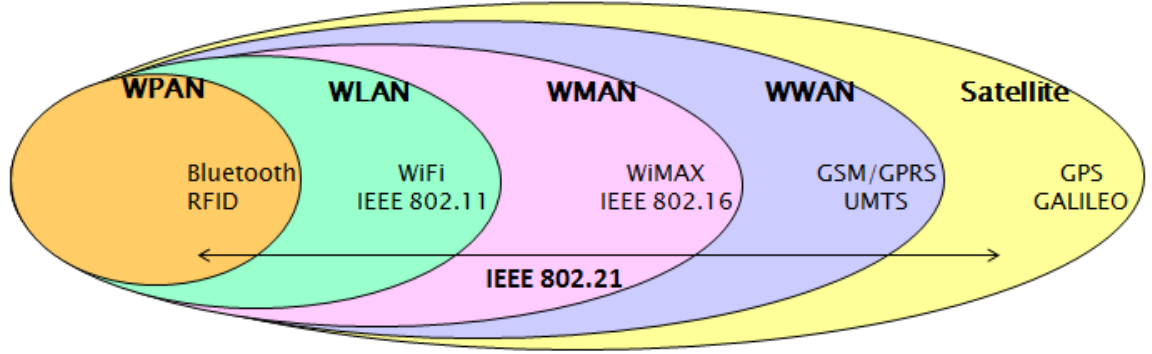
هي عبارة عن شبكة محلية لاسلكية على نطاق محدود، تُعرف أيضاً بالمعيار IEEE802.11 ، والذي حدد مواصفات الطبقة الفيزيائية PHY ومحددات طبقة النفاذ إلى الوسائط MAC . هناك نوعان من الشبكات اللاسلكية استناداً إلى كيفية بناء الشبكة وهما نمط البنية التحتية Infrastructure mode ونمط Ad hoc mode . وتُعدّ هذه الشبكات المحلية ذات البنية التحتية من أهم الشبكات المستخدمة في تطبيقات الاتصالات الحالية لقدرتها على الدمج مع غيرها من الشبكات الخلوية والوصول لمعدلات نقل عالية للمعطيات، إضافةً لمعدلات نقل معطيات عالية نسبياً، وانخفاض التكاليف ما ساهم في انتشارها في العديد من الشركات والجامعات والمنازل وغيرها .

يبين الجدول (1-2) أهم التحسينات والتعديلات التي أدخلت على المعيار IEEE802.11 .

الجدول (1-2) التعديلات المُدخلة على المعيار IEEE802.11 [5]

المعيار	الإصدار	المجال الترددي	سرعة نقل البيانات العظمى	المساحة المغطاة داخل الأبنية
802.11	1997	2.4GHz	2Mbps	20m
802.11a	1999	5GHz	54Mbps	35m
802.11b	1999	2.4GHz	11Mbps	38m
802.11g	2003	2.4GHz	54Mbps	38m
802.11n	2009	2.4GHz/5GHz	150/300Mbps	70m

يبين الشكل (2-2) تصنيف الشبكات اللاسلكية تبعاً للمنطقة المغطاة .



الشكل (2-2) تصنيف الشبكات اللاسلكية تبعاً لمنطقة التغطية [5]

2.2.2. شبكة WiMax النقالة

وتعني الشبكة التشغيلية البينية عبر العالم للنفاذ الميكروي النقال Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access ، تعتمد هذه الشبكات على المعيار 802.16e-2005، وتُعرف أيضاً بـ 802.16e والذي أتى كتطوير للمعيار IEEE 802.16-2004 والذي لم يكن يدعم الحركة Mobility . تُعدّ هذه الشبكات ذات معدل نقل معطيات مرتفع وتدعم الحركة، إضافة لتغطية مساحة جغرافية كبيرة نسبياً تصل نظرياً إلى 50 كيلومتر [12] . أتاحت هذه التقنية للمستخدم إمكانية التسليم Handover بين محطاتها القاعدية BSs .

3.2.2. شبكة منظومة الاتصالات النقالة العالمية UMTS

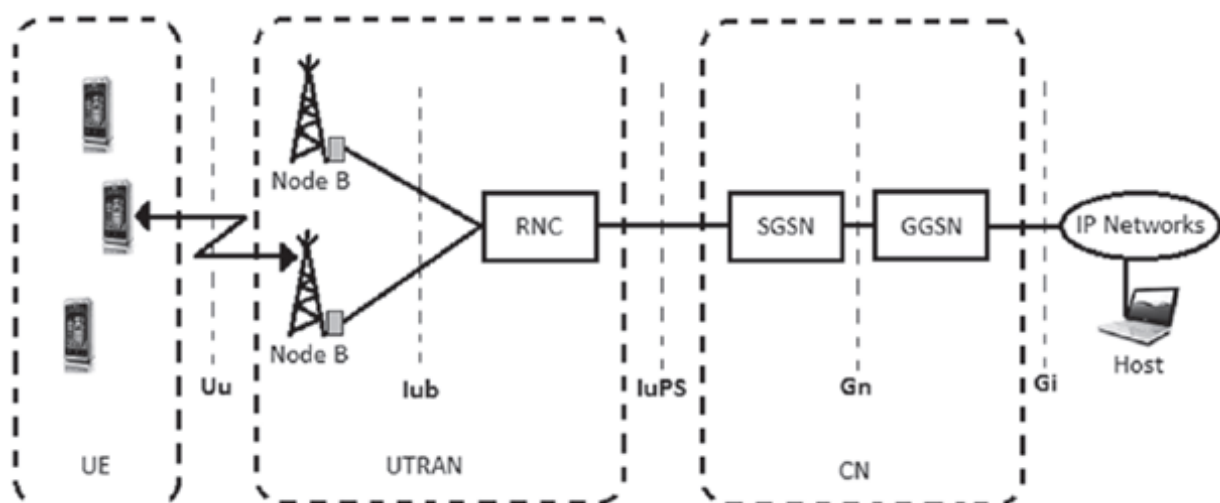
يُعدّ النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (UMTS) Universal Mobile Telecommunication System نظام قياسي عالمي موحد تابع للجيل الثالث، وهو تطوير لنظام GSM مروراً بـ GPRS و EDGE [14] ، اجتمعت خمس مؤسسات دولية كبرى عام 1997 (TTC(Japan) ARIB) ، TTA(Korea) ، TTP1(USA) ، ETSI) وكونت ما يسمى مشروع شراكة الجيل الثالث (3GPP (Third Generation Partnership Project)) ، وحددت المواصفات القياسية للنظام UMTS ، حيث تم اعتماد تقنية (WCDMA Wideband Code Division Multiple Access) للحصول على المصادر الراديوية Radio Resources ، كونها تحقق إمكانية تخديم عدد أكبر من المستخدمين وسعة أكبر نتيجة الاستخدام الجيد للترددات بالإضافة إلى وثوقيتها. كما تدعم الخدمات والتطبيقات التي تتطلب جودة خدمة QoS مثل تطبيقات الزمن الحقيقي في الهاتف (ملفات الفيديو، الصوت) والتطبيقات التفاعلية (web-browsing) Inter Active App وغيرها.

أهم مميزات هذه الشبكة القدرة على إجراء المكالمات أثناء الحركة بجودة عالية، كما أنها تحقق معدل إرسال عالي للمعطيات، وجودة الصوت، ومجال التغطية الكبير وبسعة عالية [14].

عُرض النظام العالمي للاتصالات المتنقلة في أوروبا من قبل المعهد الأوروبي باسم UMTS، ويُعرف خارج أوروبا بأسماء أخرى مثل فوما FOMA، WCDMA، وغالباً ما يشير له في مجال التسويق بالجيل الثالث 3G.

يبين الشكل (3-2) البنية العامة لنظام الاتصال UMTS حيث يتألف من ثلاثة أجزاء رئيسية :

- جزء الطرفية حيث نشير للعقدة المحمولة (User Equipment (UE).
- الجزء الراديوي (UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) مؤلف من العقدة B (Node B) والتي تشير للمحطة القاعدية BS الموصولة لمتحكم الشبكة الراديوي (Radio Network Controller (RNC).
- قلب الشبكة (Core Network (CN).



الشكل (3-2) البنية العامة لشبكة UMTS [14]

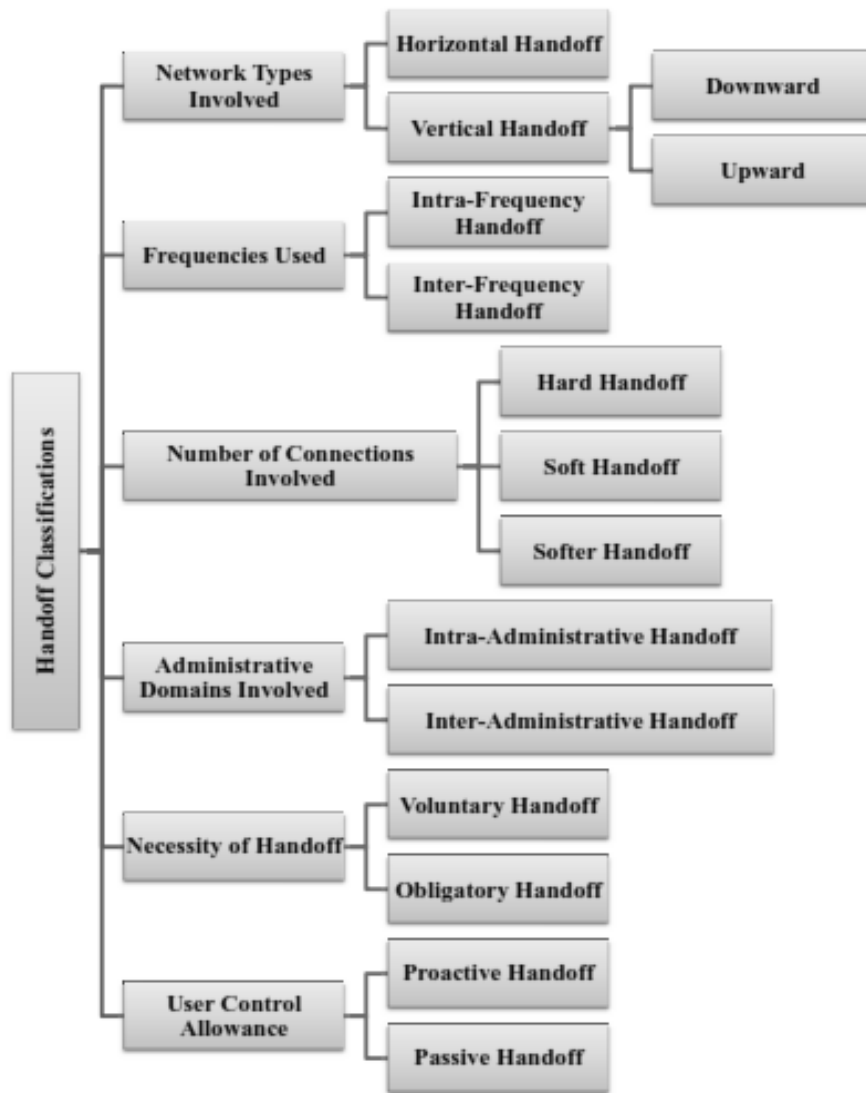
3.2. تعريف التسليم

يُعرف التسليم على أنه عملية المحافظة على جلسة الاتصال الفعالة للمستخدم user's active session عندما تغير العقدة المحمولة (MN) نقطة النفاذ الخاصة (PoA) بها - نتيجةً لانخفاض في جودة الإشارة - إلى شبكة أو محطة قاعدية (Base Station (BS) أخرى ضمن منطقة جغرافية ما

سعيًا منها للحصول على إشارة ذات جودة أفضل أو إلى محطة قاعدية ذات جودة خدمة أفضل للتطبيق الحالي وذلك للحفاظ على استمرارية الاتصال (الخدمة).

4.2. أصناف التسليم

يبين الشكل (4-2) أهم أصناف التسليم (المناولة) Handover [1].



الشكل (4-2) أصناف التسليم [1]

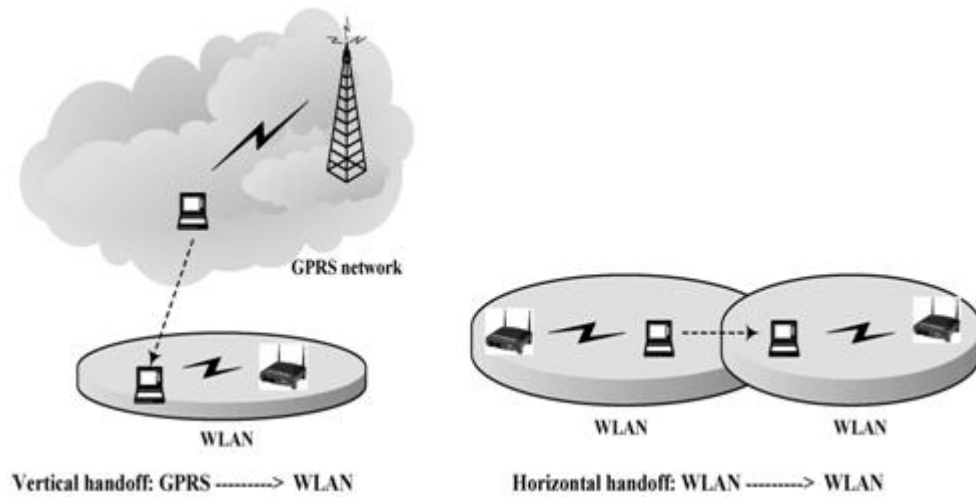
يُصنّف التسليم وفق عدة معايير من أهمّها [1] :

1.4.2. التسليم الأفقي والتسليم الشاقولي :

يقسم التسليم وفقاً لطبيعة الشبكة (نوع التقنية (التقانة)) إلى نوعين :

- **التسليم الأفقي Horizontal Handover** : هو التسليم الذي يجري بين شبكتين من نفس البنية والتقانة، مثل التسليم من شبكة Wi-Fi إلى شبكة Wi-Fi أخرى . ويُعرف أيضاً بالتسليم ضمن الخلية (بين الخلايا المتشابهة) Intra-cell Handover عند انتقال العقدة المحمولة بين خليتين تستخدمان نفس تقانة النفاذ .
- **التسليم الشاقولي Vertical Handover** : هو التسليم الذي يجري بين شبكتين مختلفتين من حيث البنية والتقانة، كالتسليم بين شبكة GPRS وشبكة Wi-Fi . ويُعرف أيضاً بالتسليم خارج الخلية (بين الخلايا المختلفة) Inter-cell Handover عند انتقال العقدة المحمولة إلى خلية أخرى تستخدم تقانة نفاذ مختلفة .

يبين الشكل (5-2) نوعي التسليم وفقاً لطبيعة الشبكة .

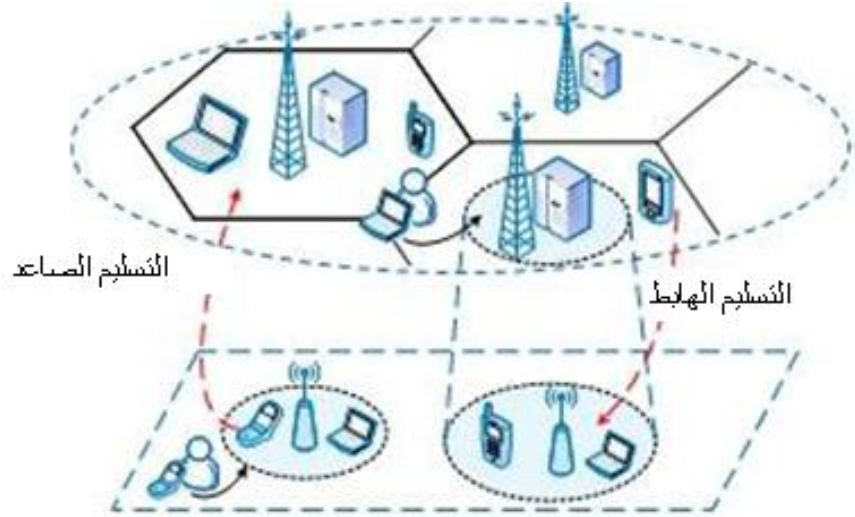


الشكل (5-2) التسليم الأفقي والتسليم الشاقولي

بدوره يُصنف التسليم الشاقولي VHO إلى نوعين اثنين هما : التسليم الصاعد والتسليم الهابط Upward and Downward Handover [17] .

- التسليم الصاعد: يحدث عند تسليم الطرفية المتحركة من شبكة ذات تغطية صغيرة لشبكة ذات تغطية كبيرة .
- التسليم الهابط: يحدث بالمفهوم المعاكس من شبكة ذات تغطية كبيرة لشبكة ذات تغطية أصغر .

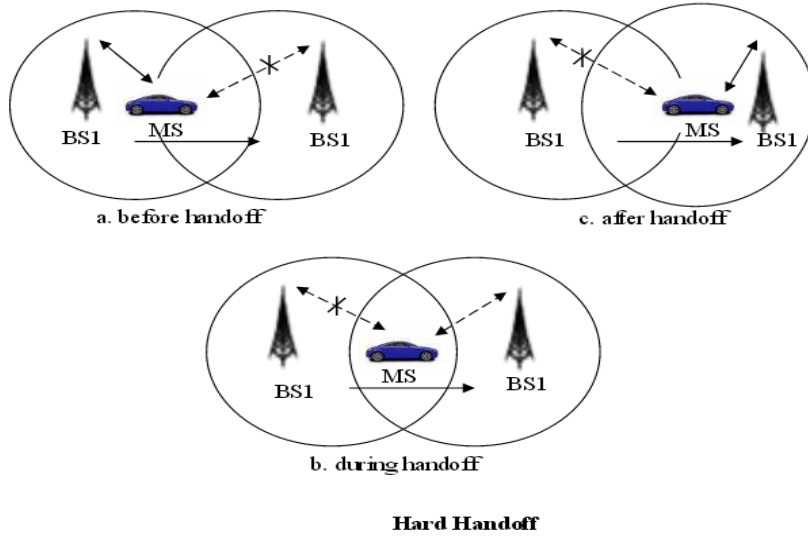
يبين الشكل (6-2) كلاً من التسليم الصاعد والهابط [17] .



الشكل (6-2) التسليم الهابط والتسليم الصاعد [17]

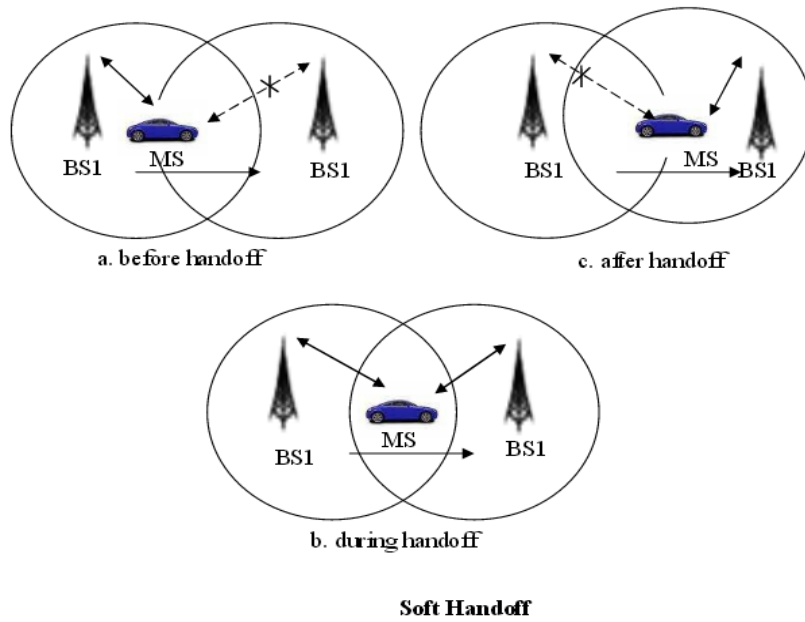
2.4.2. التسليم القاسي والتسليم اللين:

- **التسليم القاسي Hard Handover** : يجري فيه تحرير الاتصال القديم قبل إنشاء الاتصال مع نقطة النفاذ الجديدة، ويسمى أيضاً فصل قبل الوصل (BBM) break-before-make نظراً لحدوث انقطاع في الخدمة مدة من الزمن مع المحطة القديمة قبل الاتصال مع المحطة الجديدة . قد يسبب هذا النوع فجوة في الاتصال بالإضافة لضياع الرزم عندما لا تكون عملية التسليم سريعة كفاية. يبين الشكل (7-2) التسليم القاسي .



الشكل (7-2) التسليم القاسي Hard Handover [47]

- **التسليم اللين Soft Handover :** في هذا النوع من التسليم تحافظ العقدة المحمولة أثناء التسليم على الاتصال مع الشبكة السابقة لحين إتمام الاتصال مع نقطة النفاذ الجديدة، أي تكون العقدة المحمولة متصلة مع نقطتي نفاذ APs على الأقل وبنفس الوقت (لفترة زمنية قصيرة جداً)، وبعد إتمام عملية التسليم فإنه يجري قطع الاتصال مع نقاط النفاذ القديمة، كما هو مبين في الشكل (8-2). يسمى هذا النوع من التسليم وصل قبل الفصل (MBB) make-before-break .



الشكل (8-2) التسليم اللين Soft Handover [47]

3.4.2. التسليم وفقاً لمن يتخذ قرار التسليم

يصنف التسليم الشاقولي وفقاً لمن يتحكم باتخاذ قرار التسليم إلى الأنواع الآتية :

- التسليم المتحكم به من قبل النقال Mobile Controlled Handoff (MCHO) وفيه تتحكم العقدة المحمولة باتخاذ قرار التسليم .
- التسليم المتحكم به من قبل الشبكة Network Controlled Handoff (NCHO) وفيه تتحكم الشبكة باتخاذ قرار التسليم [17].
- التسليم المتحكم به من قبل النقال والمدعوم من الشبكة Mobile (MCNA) Network Controlled (NCMA) و Mobile Assisted Controlled Network (MCA) تكون هنا عملية اتخاذ قرار التسليم مشتركة بين الشبكة والعقدة المحمولة .

4.4.2. التسليم الإلزامي والتسليم الاختياري (Imperative and Alternative handoffs)

يحدث التسليم الإلزامي (الإجباري) عند فقدان الإشارة حيث تُعدّ شدة الإشارة المستقبلية (RSS) Received Signal Strength كافية لأخذها بالحسبان في هذا النوع من التسليم [18].

بينما يُمكن التسليم الاختياري المستخدم من الحصول على أداء أفضل بإتاحة هذا النوع من التسليم وصولاً لجودة خدمة أفضل QoS . وفي هذا النوع يجري اعتماد العديد من معاملات جودة الخدمة مثل عرض المجال المتاح، والتكلفة، وقوة الإشارة المستقبلية وذلك لتأمين عملية تسليم ذات أداء جيد، وخصوصاً لتطبيقات الزمن الحقيقي .

5.2. بعض مقاييس أداء عملية التسليم على أداء العقدة المحمولة

وهي مجموعة المعاملات المستخدمة لقياس تأثير عملية التسليم HO على أداء العقدة المحمولة (MN) وأهمها [19] :

- 1- تأخير التسليم Handover latency : وهو الوقت المستغرق لإتمام عملية التسليم.
- 2- معدل فقد الرزم Packet loss : ويحسب كنسبة بين الرزم التي لم تصل إلى المستقبل نتيجة خطأ ما، وبين العدد الكلي للرزم التي أرسلت .
- 3- عامل انقطاع الاتصال Disconnection factor : وهو النسبة بين زمن الفصل عندما تكون العقدة المحمولة غير قادرة على استقبال أي معطيات وبين زمن التأخير الناتج عن عملية الفصل أثناء عملية التسليم.
- 4- التغيير في الترتيب (Out-of-Order): وهو عدد الرزم الخارجة عن تسلسلها في طرف الاستقبال عن ما أرسلت به في طرف الإرسال . يحدث هذا في حالة التسليم اللين الذي هو من نمط "وصل قبل الفصل (make-before-break)" كون العقدة المحمولة ما تزال تستخدم الواجهة القديمة بنفس الوقت الذي يجري فيه التسليم، وعليه فإنه سيتم استلام المعطيات عبر الواجهتين لفترة قصيرة من الزمن، وعند توجيه الرزم المتعاقبة عبر وصلات مختلفة الخواص قد تتخطى الرزم بعضها البعض، وتصل بعضها قبل الأخرى مما يسبب عدم الترتيب .

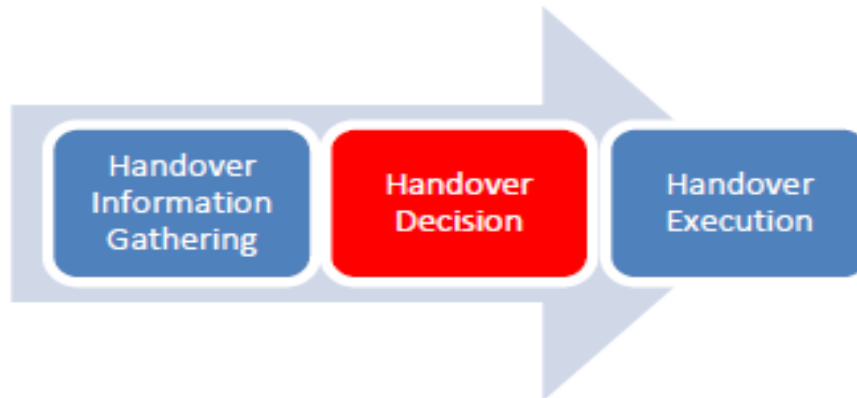
6.2. إدارة عملية التسليم

تُعدّ إدارة عملية التسليم مسؤولة عن الحفاظ على استمرار الاتصال للطرفية المتحركة عند التسليم من محطة لأخرى، تم مناقشة إدارة عملية التسليم في العديد من المراجع مثل [20] [21] . حيث تتم عملية إدارة التسليم على ثلاث مراحل وفق ما هو مبين في الشكل (9-2) :

1- جمع معلومات التسليم: يجري فيها جمع المعلومات اللازمة لبدء عملية التسليم . وتُعرف هذه المرحلة أيضاً بطور بدء عملية التسليم، أو مرحلة استكشاف الشبكات الجديدة، أو مرحلة التحضير للتسليم .

2- قرار التسليم: يجري فيها تحديد كيف ومتى يُنفذ التسليم باختيار نقطة النفاذ المتوافرة والأفضل، ثم إعطاء التعليمات للمرحلة اللاحقة (تنفيذ عملية التسليم) . تُعرف أيضاً هذه المرحلة بمرحلة اختيار الشبكة .

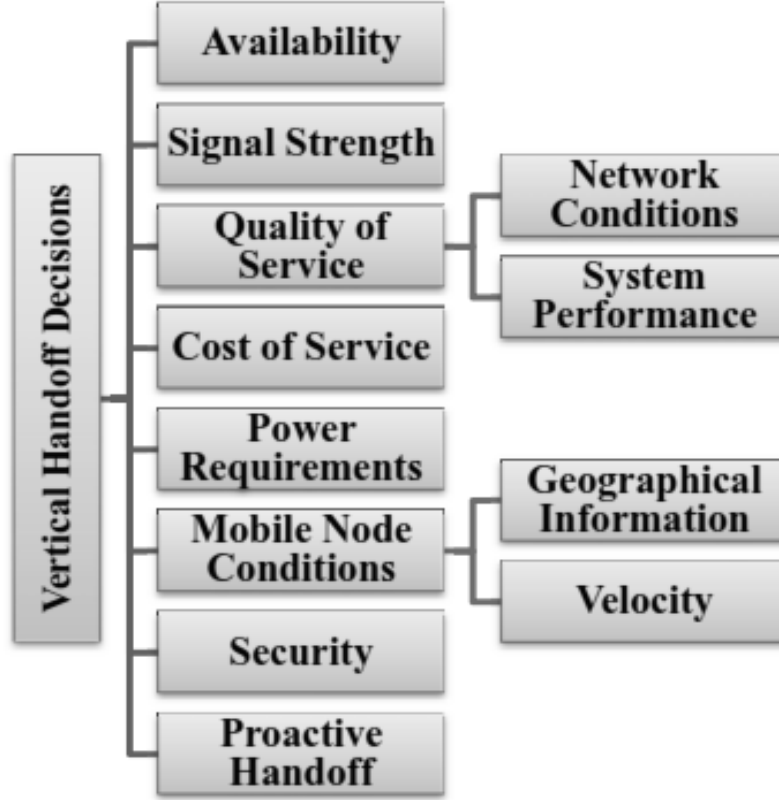
3- تنفيذ التسليم: يجري في هذه المرحلة تغيير القناة (التردد) التي كانت العقدة تعمل بها وفق ما أُقرّ في مرحلة اتخاذ القرار، ويجري التسليم بشكل فعلي .



الشكل (9-2) مراحل عملية التسليم [22]

7.2. خوارزميات اتخاذ قرار التسليم الشاقولي Vertical Handover Decision Algorithms

اقترحت عدة خوارزميات في الأبحاث المتعلقة باتخاذ القرار أثناء عملية التسليم الشاقولي، تأخذ هذه الخوارزميات العديد من المعاملات بالحسبان لتكون ذكية كفاية لتحديد الشبكة الهدف .



الشكل (10-2) العوامل المساهمة في خوارزمية اتخاذ قرار التسليم [1]

يُظهر الشكل (10-2) عدد من المعاملات المهمة في خوارزمية اتخاذ القرار المبينة، مثل المعاملات المتعلقة بالمستخدم كأداء المستخدم ونمط وسلوك الحركة عبر الشبكة . إضافةً إلى معاملات الشبكة وتتضمن عرض المجال، والتأخير الزمني وقوة الإشارة المستقبلية (RSS) والتكلفة المادية للاتصال . كما تُعدّ السرعة ومعلومات الموقع وطاقة البطارية من المعاملات المتعلقة بالطرفية .

من أهم المعاملات المساهمة في عملية اتخاذ قرار التسليم [1] :

- 1- قوة الإشارة المستقبلية (RSS) Received Signal Strength : وهي الطريقة الأفضل لقياس جودة الخدمة والأكثر شيوعاً، وتُعدّ مؤشراً على مدى استخدام الشبكة . تتعلق قراءة RSS بشكل أساسي بالمسافة الفاصلة بين الطرفية المتحركة mobile terminal ونقطة النفاذ المتصلة بها، إضافةً إلى فقد الوسط ووجود عوائق.
- 2- زمن الاتصال بالشبكة Network connection time : وهو الفترة الزمنية التي يكون فيها المستخدم متصلاً بنقطة النفاذ (AP) أو المحطة القاعدية (BS) . ويُعدّ انتظار اللحظة المناسبة للبدء بعملية التسليم (القدح) أمر مهم جداً .
- 3- عرض المجال المتوافر Available BW : والذي يشير إلى موارد المعطيات المتوفرة في الشبكة ويقاس بوحدة bit/sec .

4- استهلاك الاستطاعة Power Consumption : يشير إلى مستوى الاستطاعة ببطارية العقدة المحمولة، ويعدّ من المعاملات المهمّة التي يجب أخذها بالحسبان عند التسليم لشبكة أخرى تستهلك استطاعة أكبر من هذه البطارية .

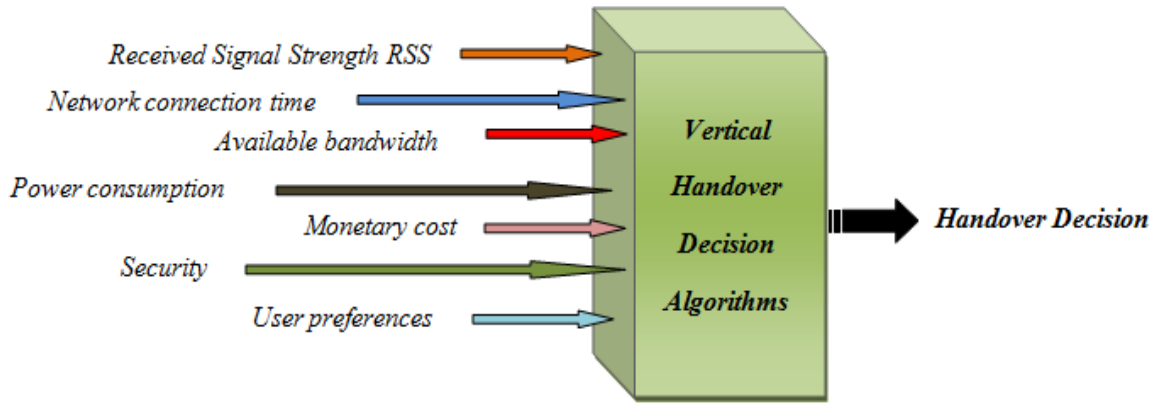
5- التكلفة المادية Monetary cost : ويقصد بها هنا عملية الفوترة، وتأخذ العديد من الخوارزميات عند اتخاذها قرار التسليم هذا المعامل بالحسبان .

6- الأمن Security : تعدّ السلامة قضية حرجية في بعض التطبيقات عند اتخاذ قرار التسليم الشاقولي للحصول على مستويات أعلى في أمن المعلومات .

7- معدل تدفق الشبكة Network throughput : تشير لمعدل المعطيات أو معدل الرسائل المستلمة بنجاح عبر وصلة اتصال محددة، تعدّ عملية التسليم لشبكة ذات معدل تدفق أعلى أمر مفضل ومرغوب به .

تعتمد خوارزمية اتخاذ القرار الجيدة على كل من المعاملات الديناميكية والسكونية ويجب الأخذ بالحسبان أكبر عدد من هذه المقاييس على الرغم من صعوبة إدراجها جميعها في خوارزمية واحدة نظراً للتعقيد والصعوبة في هذا الأمر .

يبين الشكل (11-2) بعض هذه المعاملات المساهمة في عملية اتخاذ قرار التسليم .



الشكل (11-2) المعاملات المساهمة في اتخاذ قرار التسليم [22]

في السيناريو المقترح في بحثنا وكون التسليم الشاقولي يجري وفق المعيار IEEE 802.21 فإنه يتم اختيار الشبكة الأفضل التي سيجري التسليم إليها وفقاً لقيمة قوة الإشارة المستقبلية RSS للواجهات المتوافرة وفقاً لحالتها .

الفصل الثالث

بروتوكول التحكم بالإرسال TCP

وخوارزميات التحكم بالازدحام

TCP Protocol and Congestion Control Algorithms

يُعدّ بروتوكول التحكم في الإرسال TCP بروتوكول نقل موثوق يعمل على مستوى طبقة النقل، وهو من أهم البروتوكولات المستخدمة، إلا أنه صُمم للاستخدام في الشبكات السلكية مما سبب ظهور العديد من المشاكل عند استخدامه في الشبكات اللاسلكية .

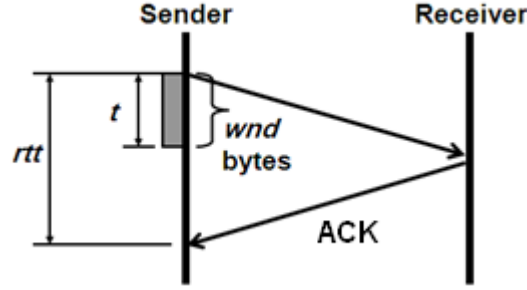
من أهم الأمور التي يقوم بها البروتوكول TCP هي تحديد مستوى الازدحام في الشبكة واتخاذ الآلية المناسبة للتحكم بمعدل الإرسال والتخفيف من الازدحام للحفاظ على أداء الشبكة، وذلك بواسطة خوارزميات التحكم بالازدحام المختلفة .

1.3. تعريف بروتوكول التحكم في الإرسال TCP

عُرّف هذا البروتوكول ضمن (RFC 793) Request for Comment [23] . وله المزايا الآتية:

- هو بروتوكول نقل موثوق يعمل على مستوى طبقة النقل .
- يُعدّ بروتوكول اتصال ارتباطي التوجّه Connection-oriented protocol أي يؤمن اتصال مباشر بين المرسل والمستقبل بواسطة دارة افتراضية virtual circuit .
- يجري الاتفاق بين المرسل والمستقبل على كمية المعطيات التي سترسل خلال جلسة العمل وإجراءات المصافحة ثلاثية الطرائق 3-way handshake قبل البدء بالإرسال .
- يُعدّ بروتوكول TCP بروتوكول اتصال نهاية لنهاية End-to-End، أي أنه موجه للاتصال بين نقطتين (المرسل جهاز واحد والمستقبل جهاز واحد) فهو غير قادر على بث المعطيات لكل الأجهزة بأن واحد إنما يعمل على إرسال المعطيات لكل جهاز على حدة .
- يعتمد بروتوكول TCP على تقنية تبديل الرزم Packet Switching أي تقسيم المعطيات إلى مقاطع segments منفصلة وترقيمها وإرسالها، حيث يكون ترتيب استلام المقاطع بنفس ترتيب إرسالها .
- يتميز بكونه يؤمن اتصال ثنائي الاتجاه full-duplex أي ترسل المعطيات بالاتجاهين بأن واحد .
- يعاني البروتوكول TCP من بطء في الإرسال نتيجة الوثوقية والحفاظ على الترتيب لكونه يتأكد من وصول الرزمة المُرسلة بواسطة إشعار الاستلام Ack، وفي حال ضياع الرزمة يعمل على إعادة إرسالها من جديد قبل إرسال الرزمة التي تليها، مما يحقق وثوقية عالية لتسليم المعطيات لكن على حساب الزمن .

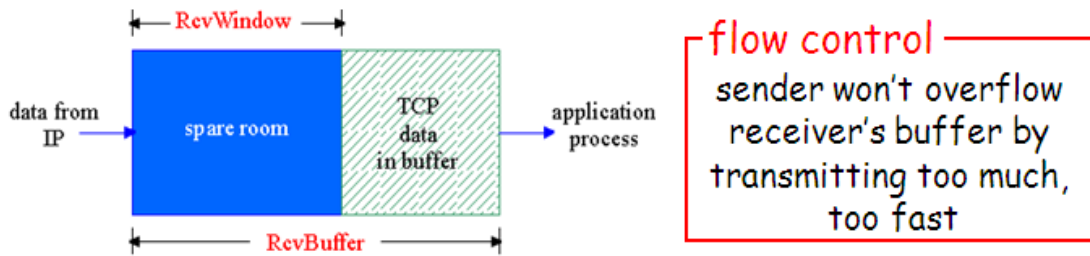
يُطلق على المدة الزمنية بين لحظة إرسال المقطع ولحظة استقبال إشعار الاستلام Ack الخاص بهذا المقطع زمن الذهاب والإياب Round Trip Time (RTT) ، كما هو مبين في الشكل (1-3) .



الشكل (1-3) الزمن RTT من لحظة إرسال الرزم إلى لحظة استقبال ACK

يقلل بروتوكول التحكم بالإرسال TCP من الازدحام Congestion بإبطاء معدل الإرسال، أو إعادة إرسال بعض الرزم عند حدوث فقد في المعطيات . لكن سيئته أنه يفترض أن الفقد الحاصل ناتج عن الازدحام على الرغم من أنه قد يكون ناتجاً عن أسباب مثل الخفوت في الإرسال، أو نتيجة التسليم والتحركية Mobility، أو عدم الترتيب في وصول الرزم ما يسبب الدخول بنمط خوارزمية البدء البطيء Slow Start عدد من المرات فيُفسر على أنه ازدحام .

يمتاز البروتوكول TCP بالتحكم بتدفق المعطيات flow control ويملك صوان Buffer في جهة المستقبل كما هو مبين في الشكل (2-3)، حيث يعمل على تخزين المعطيات وتحديد الوقت المناسب لإرسالها لوجهتها حسب شروط الاتصال كي لا يسبب حمل زائد overload، وبإمكان التطبيقات إعلام TCP بإرسال المعطيات دون انتظار امتلاء الصوان .



الشكل (2-3) الصوان في جهة المستقبل

2.3. التحكم بالازدحام Congestion Control

تهدف الخوارزميات الخاصة بالتحكم بالازدحام إلى الحفاظ على أداء الشبكة ومنع المرسل TCP Sender من الاستهلاك الزائد لموارد الشبكة .

يجري التحكم بتدفق المعطيات بواسطة التغيير بقيمة حجم نافذة الازدحام cwnd والتغيير بقيمة عتبة البدء البطيء Slow Start Threshold والتي يرمز لها ssthresh وبما يتلاءم مع حمل الشبكة، واكتشاف الحاجة لهذا بواسطة كشف ضياع الرزم . إذ يكشف ضياع الرزمة إما بنفاذ الوقت time out، أو بوصول إشعار الاستلام المتكرر duplicate Ack (عند وصول 3dup Ack) .

يعمل TCP على مراقبة زمن الذهاب والإياب RTT الخاص بالرزم أثناء الاتصال، وتُحسب قيمة انقضاء مهلة إعادة الإرسال Retransmission Time Out (RTO) اعتماداً على قيمة RTT وغالباً ما تكون قريبة جداً أو أكبر بقليل حسب شروط الشبكة.

يمكن تقدير قيمة RTT وحساب RTO وفق خوارزمية كارن Karn [24] .

Sample RTT وهي عينة تُحدَّث من أجل كل رزمة . ويُحسب زمن رحلة الذهاب والإياب المنعم Smoothed RTT من زمن Sample RTT اعتماداً على العلاقة (1.3) [24] .

$$sRTT = (1-g) * sRTT + g * sampleRTT \quad (3.1)$$

ويُعطى الانحراف المعياري في قيمة Smoothed RTT بالعلاقة (2.3) .

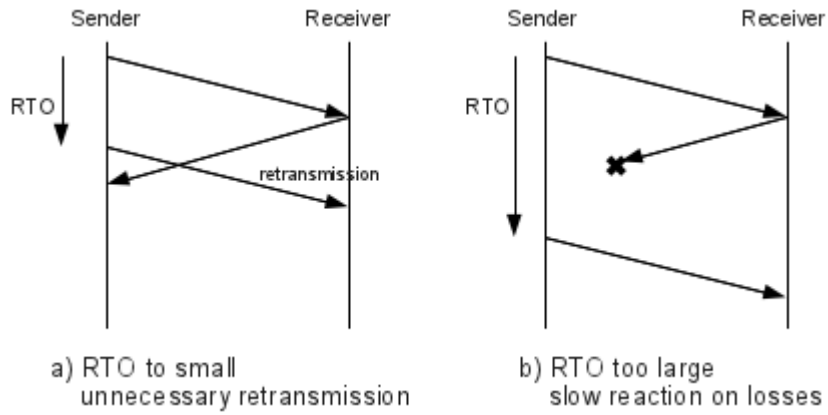
$$D = (1-h) * D - h * |sampleRTT - sRTT| \quad (3.2)$$

وتكون قيم الثوابت عادةً : $g = 0.125$ ، $h = 0.25$ ، أما قيمة RTO فإنها تُعطى بالعلاقة (3.3) .

$$RTO = sRTT + 4 D \quad (3.3)$$

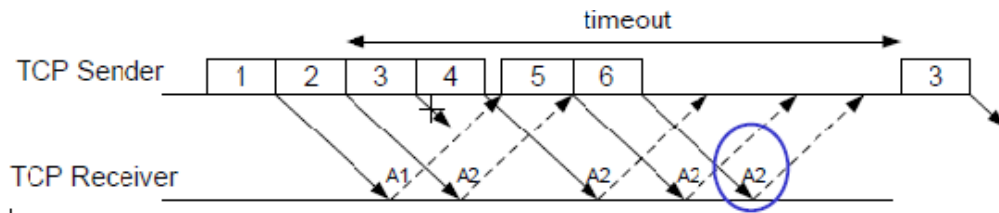
يبين الشكل (3-3) تأثير قيمة RTO على سلوك الاتصال وأداء الشبكة، وفيه نلاحظ ما يأتي :

- في حال كانت قيمة RTO صغيرة جداً : تُقَرَّب قيمة RTO إلى ثانية واحدة في حال كانت أقل من 1 ثانية، وهي القيمة الدنيا المسموح بها وفق RCF [25] . ويحدث العديد من عمليات إعادة الإرسال غير الضرورية .
- أما في حال كانت قيمة RTO كبيرة جداً : فهذا يعني أن الشبكة تعاني من بطء في اتخاذ ردة الفعل عند فقد الرزم .



الشكل (3-3) تأثير قيمة RTO على سلوك الشبكة [25]

لنتطرق الآن إلى مفهوم إشعار الاستلام المتكرر duplicate Ack : في حال ضياع الرزمة فإن المستقبل يستمر بإرسال إشعار الاستلام Ack إلى المرسل ولكنه لا يعدل حقل رقم المتتالية seq num field الموجود ضمن رزمة Ack . لذا عندما يستقبل المرسل ثلاثة إشعارات استلام متكررة (وصول 3dup Ack) لرزمة فهذا يدل على فقد الرزمة كما هو مبين في الشكل (4-3) .



الشكل (4-3) فقد رزمة خلال اتصال TCP

يُرمز لحجم النافذة عند المرسل بـ W وتعطى بالعلاقة (4.3) .

$$W = \min (cwnd , awnd) \quad (3.4)$$

حيث $cwnd$: حجم نافذة الازدحام، التي تُستخدم لمنع المرسل من إرسال عدد أكبر من المعطيات والرمز الذي يمكن أن تتحمله الشبكة في شروط الحمل .

$awnd$: حجم النافذة المعلن عنها عند المستقبل، وتُستخدم لمنع المرسل من إرسال عدد أكبر من قدرة موارد المستقبل .

3.3. مراحل التحكم بالازدحام

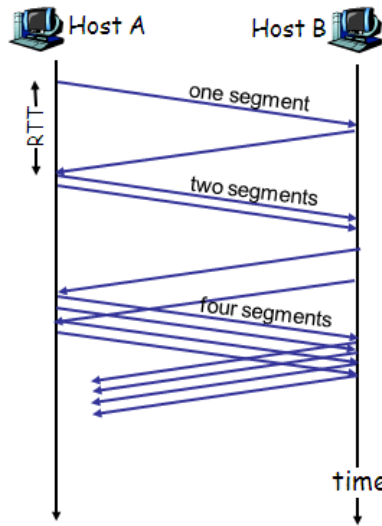
تتشارك كل نسخ TCP في المراحل الأربعة للتحكم بالازدحام وهي :

1.3.3. خوارزمية البدء البطيء Slow Start وخوارزمية تجنب الازدحام Congestion Avoidance

تُطَبَّق هاتان الخوارزمتان معاً، وتُستخدم المتغيرات الآتية : العتبة ونافاذة الازدحام، حيث تُعدّ نافذة الازدحام (cwnd) متغير يحدد كمية المعطيات التي يتمكن المرسل TCP Sender من إرسالها لمنع جهة المرسل من إرسال معطيات كثيرة (أكثر مما يمكن أن تتحملة شروط الحمل في الشبكة) . بينما تُعدّ العتبة ssthreshold متغير يشير إلى أن الوصلة قريبة لأن تغلق (تصل إلى حالة حرجة) نتيجة الازدحام، وعندها يجب على جهة المرسل خفض معدل الإرسال [26] .

• خوارزمية البدء البطيء (SS) Slow Start :

توضع قيمة ابتدائية لنافذة الازدحام cwnd لحجم المقطع الأعظمي Maximum Segment size (MSS) قدرها 1 ثانية عند بداية الاتصال، ومن ثم يجري العمل على مضاعفة حجم هذه النافذة عند كل مرة يصل فيها إشعار استلام Ack والتي تستهلك وقت RTT [27] . وهكذا حتى نصادف حالة فقد رزمة (استلام 3Ack) كمؤشر لبداية ازدحام أو تصبح قيمة cwnd أكبر من قيمة العتبة ssthresh وفق ما هو مبين في الشكل (3-5) والجدول (3-1) .



الشكل (3-5) النمو الأسّي في طور خوارزمية البدء البطيء Slow Start

الجدول (1-3) خوارزمية البدء البطيء Slow Start [25]

Slowstart algorithm

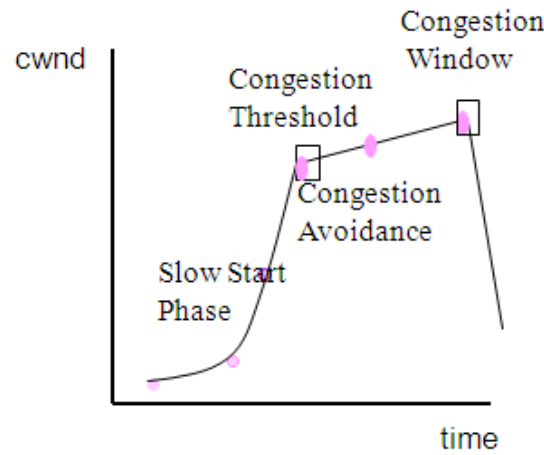
Initialize: cwnd = 1

For (each segment ACKed)

cwnd ++;

Until (congestion event or cwnd > ssthresh)

ومن ثم سيزداد حجم نافذة الازدحام أسياً حتى الوصول إلى قيمة العتبة ssthreshold بعدها تصبح الزيادة خطية عند الدخول في طور تجنب الازدحام Congestion Avoidance أي زيادة 1 عند وصول إشعار الاستلام ، كما هو مبين في الشكل (6-3) .



الشكل (6-3) رسم تقريبي للتزايد الأسّي في طور خوارزمية البدء البطيء [25]

• خوارزمية تجنب الازدحام Congestion Avoidance :

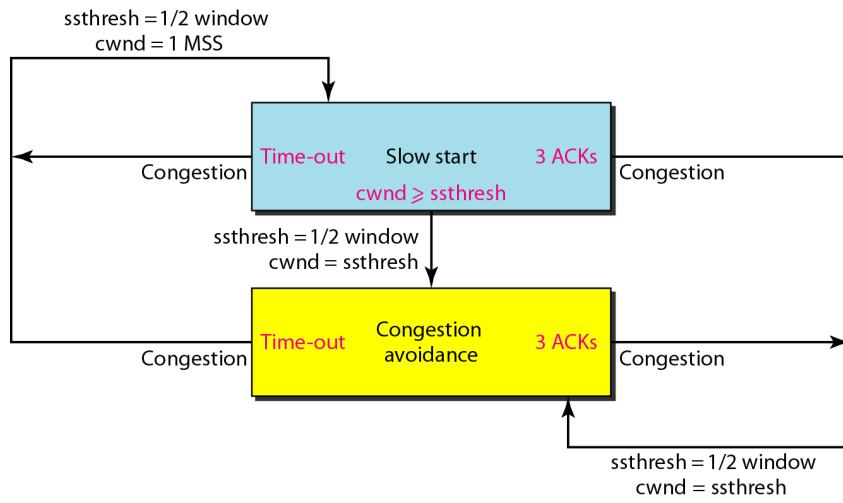
وتسمى أيضاً مرحلة "الزيادة الإضافية (الجمعية) Additive Increase"، تزداد هنا قيمة cwnd بحدّة أقل من نموذج البدء البطيء Slow Start ويكون المنحني خطي، حيث تزداد قيمة النافذة بـ 1 عند كل RTT (عند كل استلام لـ Ack).

عند إنقضاء المهلة Time out يبدأ طور جديد من البدء البطيء Slow Start وتصبح العتبة الجديدة $ssthreshold = cwnd/2$ وفق الجدول (2-3) [25] .

الجدول (2-3) خوارزمية تجنب الازدحام Congestion Avoidance [25]

<i>Congestion avoidance algorithm</i>
<i>/* slowstart is over */</i>
<i>/* cwnd > ssthresh */</i>
<i>every new ACK:</i>
<i>cwnd += 1/cwnd</i>
<i>Until (timeout) /* loss event */</i>

يبين الشكل (7-3) المخطط التدفقي لآلية عمل خوارزمية البدء البطيء Slow Start وخوارزمية تجنب الازدحام .



الشكل (7-3) خوارزمية البدء البطيء Slow Start وخوارزمية تجنب الازدحام

2.3.3. خوارزمية إعادة الإرسال السريع Fast Retransmit :

في هذه الخوارزمية يقوم المرسل TCP Sender بإعادة إرسال الرزمة عند وصول ثلاث إشعارات استلام متكررة 3dupAck دون انقضاء المهلة Time out، ومن ثم تسريع عملية إعادة الإرسال [25]. والدخول بطور البدء البطيء Slow Start بعد جعل قيمة $sssthresh = cwnd/2$ ومن ثم إسناد القيمة الجديد إلى $cwnd=1$ ، وفق الجدول (3-3).

الجدول (3-3) خوارزمية إعادة الإرسال السريع [25]

<i>Fast retransmit algorithm</i>
<i>If receiving 3DUPACK or RTO</i>
<i>Retransmit the packet</i>
<i>ssthresh = cwnd / 2</i>
<i>cwnd = 1</i>
<i>perform slowstart</i>

3.3.3. خوارزمية الاستعادة السريعة Fast Recovery :

تعمل هذه الخوارزمية مباشرةً بعد إعادة إرسال الرزمة الضائعة وفق خوارزمية إعادة الإرسال السريع Fast Retransmit، حيث يجري الدخول بطور تجنب الازدحام Congestion Avoidance (وليس طور البدء البطيء Slow Start). ويعود السبب في عدم الدخول في نمط Slow Start إلى أن استقبال 3dup Ack يعني أكثر من دلالة على فقد الرزمة [25]، ومع استمرار تبادل المعطيات في الاتصال وحفظها في الصّوان Buffer فإن كل من خوارزمية إعادة الإرسال السريع وخوارزمية الاستعادة السريعة تعملان معاً وفق الخوارزمية المبينة في الجدول (4-3).

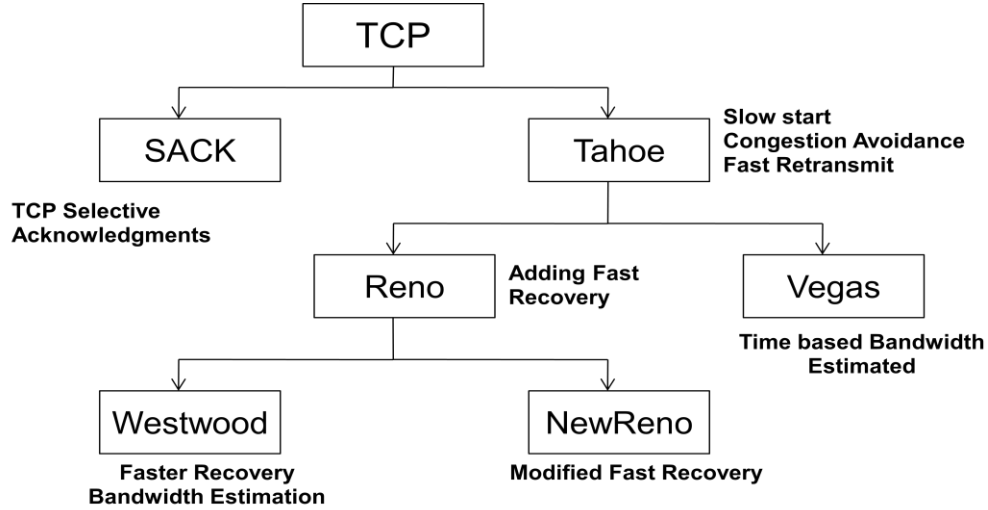
الجدول (4-3) خوارزمية إعادة الإرسال السريع والاستعادة السريعة [25]

<i>Fast retransmit algorithm (Reno)</i>
<i>If receiving 3DUPACK or RTO</i>
<i>Retransmit the packet</i>
<i>After retransmission do not enter slowstart</i>
<i>Enter fast recovery</i>
<i>Fast recovery algorithm (Reno)</i>
<i>Set ssthresh = cwnd/2 ;</i>
<i>cwnd = ssthresh + 3 ;</i>
<i>/* the three extra packets to compensate for the three packets leaving the network causing the DUPACKs */</i>
<i>Each duplicate ACK received</i>
<i>cwnd+ + ;</i>
<i>/* to compensate for the one leaving the network */</i>
<i>transmit new packet if allowed</i>
<i>If new ACK cwnd=threshold ;</i>
<i>return to congestion avoidance</i>

ومن ثمّ يجري خفض قيمة نافذة الازدحام cwnd إلى نصف القيمة الحالية بدلاً من "1" [26].

4.3. خوارزميات التحكم بالازدحام

تمتلك كل خوارزمية آلية مختلفة للتخفيف من الازدحام بهدف الحفاظ على مستوى أداء الشبكة. سنستعرض هنا أهم هذه الخوارزميات والمبينة في الشكل (8-3). وسنأتي فيما يلي على ذكر تفاصيل بعض منها.



الشكل (8-3) خوارزميات التحكم بالازدحام المختلفة [25]

1.4.3. خوارزمية تاهو TCP Tahoe :

اقترحت هذه الخوارزمية من قبل Van Jacobson في أواخر الثمانينات [28]، تتضمن هذه الخوارزمية ثلاثة أطوار للتحكم بالازدحام : طور البدء البطيء Slow Start، وطور تجنب الازدحام Congestion Avoidance، وطور إعادة الإرسال السريع Fast Retransmit .

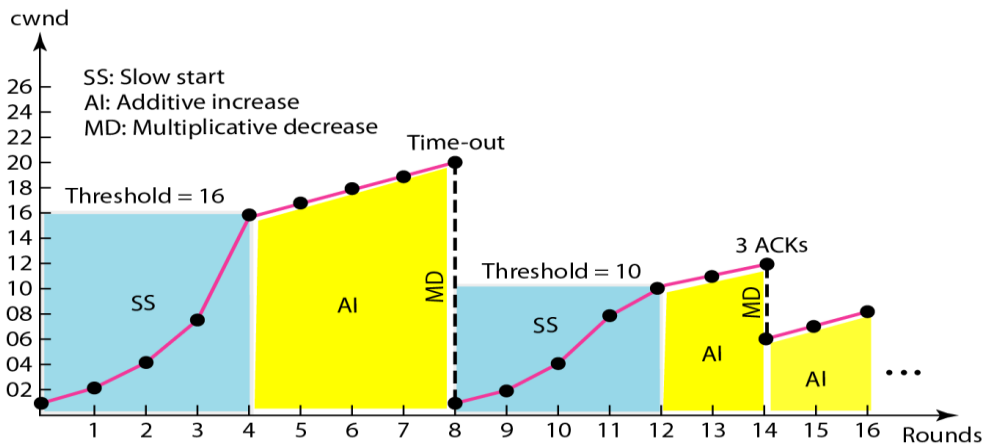
وتعتمد على خوارزمية الزيادة الجمعية / التخفيض المضاعف Additive (AIMD) Increase/Multiplicative Decrease، أي تستمر الخوارزمية بزيادة قيمة حجم النافذة cwnd بشكل خطي بمقدار "1" عند كل زمن رحلة ذهاب وإياب RTT، وعند اكتشاف ضياع رزمة تخفض قيمة cwnd إلى نصف قيمتها واعتماد نصف القيمة التي حدث عندها الازدحام كعتبة، وتُعطى القيمة 1 في حال انقضاء المهلة، ومن ثم إعادة نمط Slow Start لحين الوصول إلى العتبة ثم الزيادة بشكل خطي .

تضمن خوارزمية AIMD أن سعة الشبكة لن تنفذ، ولكنها لا تؤمن التوزيع العادل للسعة، كما تكمن المشكلة في هذا النوع من الخوارزميات في الوقت الطويل اللازم لاكتشاف فقد الرزمة .

2.4.3. خوارزمية رينو TCP Reno :

ظهرت هذه الخوارزمية عام 1990، تعتمد نفس مبدأ خوارزمية Tahoe مع إضافة ذكية لطور الاستعادة السريعة Fast Recovery [28]. وتفيد هذه الإضافة في اكتشاف مبكر لفقد الرزم حيث تستقبل إشعار الاستلام Ack مباشرة بعد وصول الرزمة، وفي حال وصول dupAck يُستدل أنّ الرزمة المتوقعة وصولها تأخرت أو وصلت في غير دورها مما يعني أن الرزمة قد ضاعت، ويُعاد إرسال الرزمة فور حدوث 3dupAck كما هو مبيّن في الشكل (3-9)، وتجرى إعادة الإرسال دون انتظار انقضاء المهلة Time out .

بعد حدوث ضياع للرزمة (استلام 3Ack) لا يجري إنقاص لنافذة الازدحام cwnd للـ "1" إنما الدخول في نمط Fast retransmit و Fast Recovery وتوضع قيمة العتبة ssthreshold مساوية إلى نصف قيمة نافذة الازدحام [28].



الشكل (3-9) خوارزمية التحكم بالازدحام رينو Reno

مساوئ خوارزمية رينو Reno :

- تعمل جيداً في حال كون عدد الرزم الضائعة قليل، ولكن في حال ضياع عدد كبير من الرزم فإنها لا تعمل بشكل جيد [30].
- يجري خفض قيمة نافذة التحكم مرتين في حال ضياع أكثر من رزمة .
- قد لا يكون بالإمكان كشف الضياع عندما تكون قيمة نافذة التحكم صغيرة جداً .
- يعدّ فقد الرزم دلالة على حدوث الازدحام وهذا أمر خاطئ فقد يكون السبب الضجيج أو خطأ بالوصلة أو بعملية التسليم HO .

3.4.3. خوارزمية رينو الجديدة TCP new Reno

تعدّ واحدة من أكثر خوارزميات التحكم بالازدحام استخداماً في تطبيقات الإنترنت، وهي نسخة محسّنة عن خوارزمية TCP Reno. تعتمد على أربع خوارزميات وهي Slow Start، congestion Avoidance، fast retransmit، fast recovery، إذ أنها تعمل على تحسين الأداء عند ضياع عدد من الرزم، حيث تسمح بالعديد من عمليات إعادة الإرسال خلال طور Fast Recovery، ولا يجري الخروج من هذا الطور حتى عمل إشعار استلام Ack لكل الرزم الضائعة (لا ينتظر حدوث 3dupAck لإعادة إرسال الرزم الضائعة).

مساوئ خوارزمية رينو الجديدة New Reno :

- الحاجة لزم RTT واحد من أجل كشف ضياع رزمة ما، ومن ثمّ لا يمكن استنتاج الرزمة الثانية الضائعة إلا بعد وصول إشعار الاستلام Ack الخاص بالرزمة التي جرى إعادة إرسالها .
- لا تميز خوارزمية New Reno في حال حصول ضياع للرزم أو حالة عدم الترتيب في وصول الرزم، وتعمل على إنقاص نافذة الازدحام بشكل أعمى، وإنقاص معدل إرسال المعطيات مما يسبب انخفاض كبير في الأداء .

4.4.3. خوارزمية فيغاس TCP Vegas :

تعتمد على خاصية التنبؤ الاستباقي Proactive، حيث يكتشف حدوث الازدحام قبل حدوث ضياع الرزم [30]، فهي لا تعتمد فقط على ضياع الرزم كمؤشر لحدوث الازدحام، إنما يكتشف حدوث ازدحام من الانخفاض في معدل الإرسال الفعلي ($cwnd/RTT$) بالمقارنة مع ما هو متوقع ($cwnd/RTT_{min}$) .

تجري زيادة قيمة نافذة التحكم بالازدحام بشكل خطي في حال كان الفرق أقل من قيمة العتبة ألفا α ، وإنقاص قيمة نافذة التحكم بالازدحام $cwnd$ بشكل خطي في حال كان الفرق أكبر من قيمة العتبة بيتا β ، وفي حال كان الفرق محصور بين القيمتين α و β عندها تبقى قيمة النافذة $cwnd$ ثابتة وفق العلاقة (3.5) .

$$cwnd = \begin{cases} cwnd + 1 & \text{if } diff < \alpha \\ cwnd - 1 & \text{if } diff > \beta \\ cwnd & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.5)$$

مشكلة خوارزمية فيغاس TCP Vegas :

تتمثل في أنها لا تحقق توزيع عادل لعرض المجال BW إضافة إلى اعتمادها الكامل على قيمة RTT . فعند التسليم إلى شبكة جديدة ذات تأخير delay أكبر لن يجري التمييز ما إذا كان السبب في زيادة الزمن اللازم لوصول إشعار الاستلام ناتج عن الازدحام أو ناتج عن تغيير الوجهة، ويتم تفسير هذا الأمر على أنه ازدحام ومن ثمّ إنقاص قيمة عرض المجال .

5.3. أداء بروتوكول التحكم في الإرسال (النقل) TCP أثناء عملية التسليم الشاقولي

VHO

يفترض بروتوكول TCP أن الفقد الحاصل في الرزم ناتج عن الازدحام مما قد يسبب انخفاض في أداء هذا البروتوكول أثناء عملية التسليم الشاقولي بسبب عمليات إعادة الإرسال الخاطئة، إضافة إلى اختلاف قيمة RTT بين الشبكات المختلفة الطبيعة والخواص، مما يسبب هبوط وانحدار كبير بأداء بروتوكول TCP .

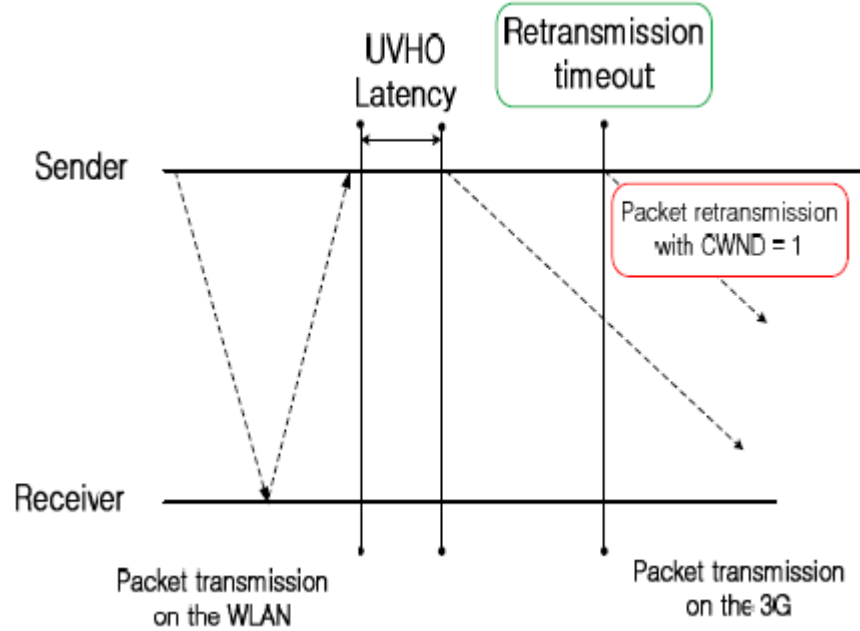
كما يحدث تغيير في ترتيب الرزم نتيجة وصولها متأخرة وفق المسار الجديد، مما يؤدي لبعض الصعوبة في التمييز بين الرزم الضائعة والرزم المتغيرة الترتيب .

فيما يأتي بعض المشاكل التي يعاني منها بروتوكول TCP خلال عملية التسليم الشاقولي [6] :

• انقضاء مهلة إعادة الإرسال المزيفة Spurious RTOs :

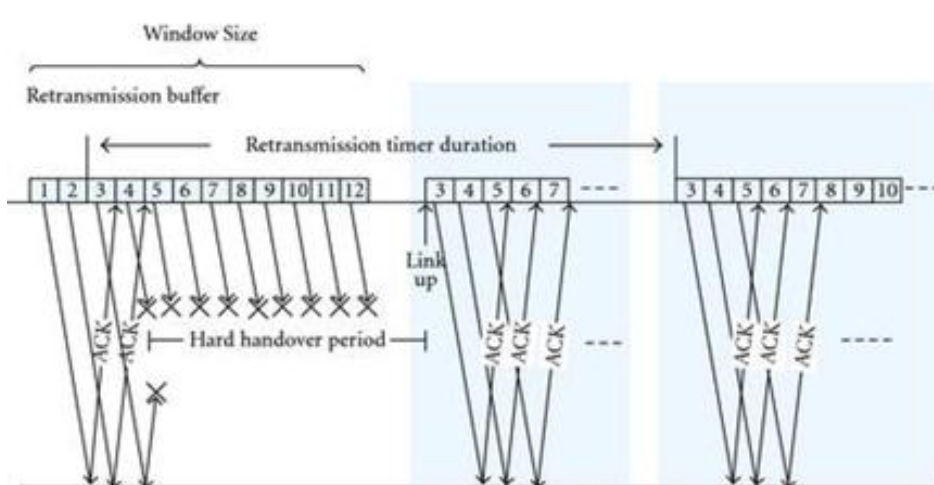
يحدث انقضاء مهلة إعادة الإرسال المزيفة في حالة التسليم المرن soft HO والذي يعمل بنمط "وصل قبل الفصل make-before-break" كما أسلفنا، وذلك عند التسليم من وصلة ذات تأخير منخفض low latency إلى أخرى ذات تأخير مرتفع high latency . حيث يتأخر إشعار الاستلام Ack نتيجة التأخير الكبير في الوصلة الجديدة بعد حدوث التسليم، ومن ثمّ ينقضي الزمن المخصص لإعادة الإرسال قبل وصول Ack عبر الوصلة الجديدة نتيجة قيمة RTO الصغيرة التي جرى حسابها وفق مواصفات المسار القديم مسبباً انقضاء مهلة إعادة الإرسال المزيفة حدوث Spurious

RTO مزيف وهذا بدوره يقود إلى حدوث العديد من عمليات إعادة الإرسال غير الضرورية، ونقصان قيمة كل من $cwnd$ و $ssthresh$ ، مما يسبب نقصان معدل الإرسال، ومن ثمّ انخفاض الأداء [6]. كما هو مبين في الشكل (10-3).



الشكل (10-3) سلوك جهة المرسل في بروتوكول TCP أثناء عملية التسليم [6]

كما يمكن حدوث العديد من عمليات إعادة الإرسال غير الضرورية بعد إتمام عملية التسليم القاسي Hard HO وهو ما يبيّنه الشكل (11-3).



الشكل (11-3) عمليات إرسال غير ضرورية نتيجة عملية التسليم القاسي Hard HO

- زمن الاتصال غير المستخدم ونقصان قيمة العتبة **SSThresh** :

يُفصل الاتصال بين العقدة المتحركة (MN) والعقدة المنسقة (المراسلة) CN في حالة التسليم القاسي Hard HO من نمط "فصل قبل الوصل break-before-make"، ويستأنف الاتصال بعد إتمام عملية التسليم . وفي حال كون زمن الفصل أكبر من قيمة RTO الحالية فإنه ينقضي زمن مؤقت إعادة الإرسال، ويعمل TCP على إعادة إرسال الرزم الأولى التي لم يصل إشعار الاستلام الخاص بها، وتضاعف قيمة RTO، وهذا يحصل في كل مرة ينقضي فيها زمن المؤقت الخاص بإعادة الإرسال، وبذلك ينتظر TCP انقضاء هذا الزمن المتزايد في كل مرة ليصل لحوالي دقيقة كاملة، وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض حاد في الأداء .

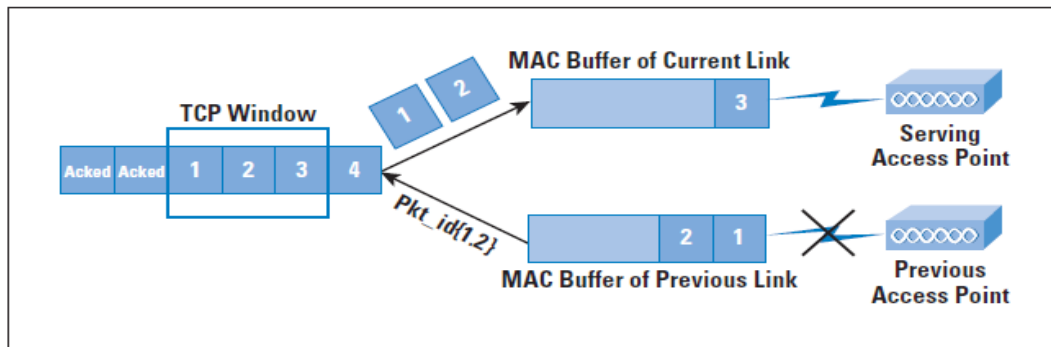
- فقدان الرزم :

يحصل فقد الرزم عند التسليم من وصلة ذات عرض مجال عالٍ لوصلة ذات عرض مجال منخفض، مما يسبب تناقص قيمة جداء عرض المجال بالتأخير (BDP Bandwidth-Delay-Product) بعد التسليم .

يمكن أن يحصل فقد حتى في حال كون قيمة BDP واحدة في الوصلتين [32] .

- إعادة ترتيب الرزم Packet Reordering :

يعدّ إعادة ترتيب الرزم مشكلة تواجه TCP في حال وجود تناقص حاد في قيمة التأخير delay عند حدوث تسليم من نمط وصل قبل الفصل "make-before-break" ، حيث تُرسل الرزم عبر الوصلة ذات التأخير المنخفض low delay بعد التسليم، والتي بدورها تتخطى الرزم المرسلة عبر الوصلة ذات التأخير المرتفع high delay قبل التسليم، مما يسبب مشكلة عدم الترتيب [34] . كما هو مبين في الشكل (12-3) .



الشكل (12-3) إعادة ترتيب الرزم أثناء عملية التسليم [34]

باستخدام المعيار IEEE802.21 تعلم وحدات MIH بوجود عدد من الرزم التي أُرسلت عبر الوصلة القديمة وبقيت في المخزن إلا أنها لم يتم إتمام إرسالها قبل حدوث التسليم ولا يمكن إتمام عملية إرسالها نتيجة تغيير المسار، يمكن للبروتوكول TCP في هذه الحالة أن يعمل على إعادة إرسال هذه الرزم عبر الوصلة الجديدة بعد إتمام التسليم إلا أنها ستصل في غير ترتيب إرسالها [34].

• التقارب البطيء في قيمة RTO :

تتقارب قيمة RTO لقيمة RTT للوصلة الجديدة ببطء شديد، وذلك لكون قيمة RTT تُحدَّث مرة واحدة فقط وليس كل مرة يجري فيها استقبال إشعار استلام Ack [32].

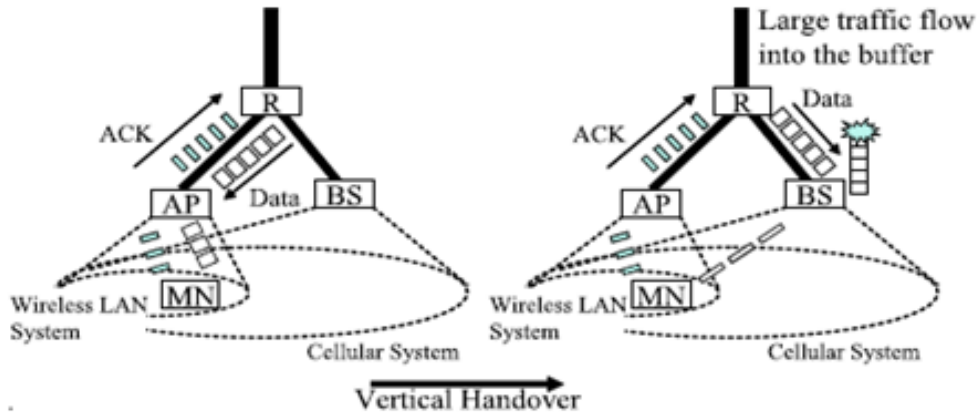
6.3. أداء بروتوكول التحكم في الإرسال TCP أثناء عملية التسليم الشاقولي للوصلة

الصاعدة VHO Upward

يعاني بروتوكول التحكم في الإرسال TCP من مشكلة انقضاء مهلة إعادة الإرسال المزيفة Spurious RTOs ومن ثمّ من انخفاض كبير في معدل التدفق عند حدوث التسليم الشاقولي عبر الوصلة الصاعدة Upward VHO إضافةً إلى حدوث فيض الصّوان Buffer overflow [33].

تُرسل الرزم من جهة المُرسل TCP sender في كل مرة يصل فيها إشعار استلام Ack، وحتى بعد إتمام عملية التسليم والارتباط بالشبكة الجديدة فإن وجهة المرسل TCP Sender تستمر باستقبال إشعارات الاستلام Acks بنفس المعدل الخاص بوصلة النفاذ القديمة حتى استلام المستقبل TCP Receiver لرزمة من الوصلة الجديدة، مما يسبب فيض الصّوان Buffer overflow، ومن ثمّ الكثير من الفقد .

إضافةً إلى كون الرزم التي تتبع المسار الجديد لا تُرسل إشعار الاستلام الخاص بها بالوقت المحدد مما يتسبب بالعديد من عمليات إعادة الإرسال الخاطئة، والتي تدل على الازدحام (وهذا تفسير خاطئ)، وتسبب عمليات تجنب ازدحام غير ضرورية، مما يسبب انخفاض كبير في قيمة معدل التدفق في هذه المرحلة . يبيّن الشكل (3-13) آلية التسليم الشاقولي عبر الوصلة الصاعدة [46].



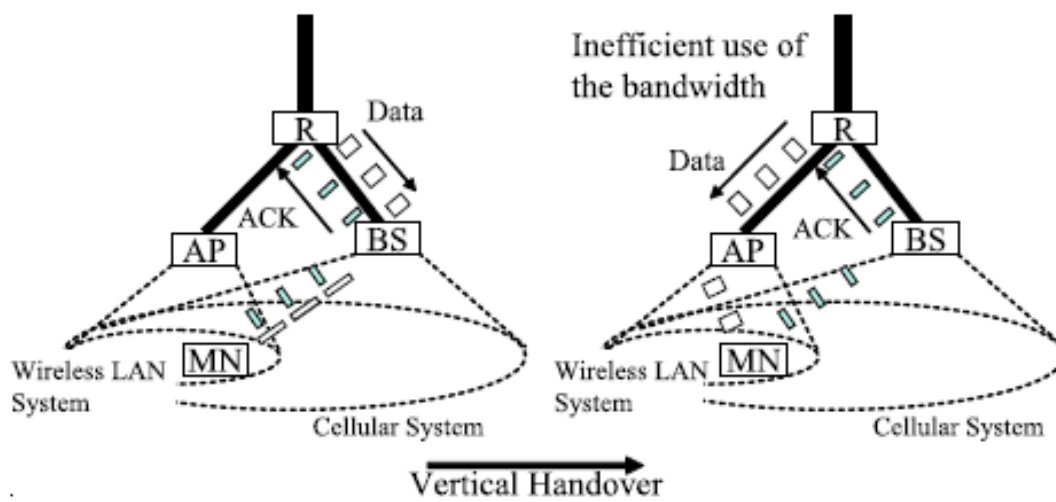
الشكل (3-13) آلية التسليم الشاقولي عبر الوصلة الصاعدة [46]

7.3. أداء بروتوكول التحكم في الإرسال TCP أثناء عملية التسليم الشاقولي للوصلة

الهابطة Downward VHO

يعاني بروتوكول التحكم في الإرسال TCP من انخفاض حاد في استخدام الوصلة Link Utilization عند حدوث التسليم الشاقولي عبر الوصلة الهابطة، لذا من الضروري زيادة قيمة نافذة التحكم بالازدحام cwnd لتصل إلى قيمة جداء عرض المجال بالتأخير (Bandwidth-Delay-Product) بعد حصول التسليم .

يستخدم بروتوكول TCP خوارزمية AIMD لتحديث حجم النافذة cwnd وزيادة قيمة النافذة تدريجياً، لذا عند حدوث تسليم وزيادة في قيمة BDP، والذي يعبر عن العدد الأعظمي الممكن لبروتوكول التحكم بالإرسال TCP إرساله عبر الشبكة، تتطلب هذه الزيادة المفاجئة تعديل قيمة حجم نافذة الازدحام، الأمر الذي يحتاج بعض الوقت، يستمر خلاله TCP بإرسال الرزم مترافقاً مع قيمة عتبة منخفضة لكون حجم نافذة الازدحام ما يزال أقل مما يجب أن يكون عليه، وهذا بدوره يؤدي لانخفاض الأداء . يبين الشكل (3-14) آلية التسليم الشاقولي عبر الوصلة الهابطة [46] .



الشكل (14-3) آلية التسليم الشاقولي عبر الوصلة الهابطة [46]

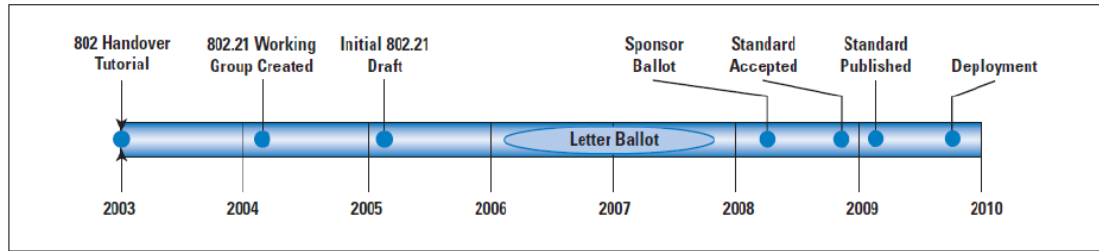
الفصل الرابع

التسليم المستقل عن الوسط

Media Independent Handover

ظهرت العديد من المعايير التي تعتمد على استعمال تقنيات مختلفة، لذا فإن مشكلة توافق هذه التقنيات وإرسال المعطيات فيما بينها أثناء تجوال المستخدمين بدون حدوث انقطاعات في الخدمة أصبح التحدي الأكبر الذي يجب مواجهته لتأمين مستوى جيد من جودة الخدمة للمستخدم، مما دفع لتطوير معيار جديد تحت اسم IEEE 802.21 [34] أو التسليم المستقل عن الوسط Media Independent Handover لتأمين تسليم سلس Seamless HO بين تقنيات الاتصال المختلفة بما يحقق تحركية mobility أفضل للمستخدمين بين الشبكات المختلفة الموجودة حالياً بدلاً من تطوير وإيجاد تقنيات جديدة، إذ أن كل أنواع الشبكات أصبحت متوافرة وبسرعة مقبولة وأصبح التوجه الحالي نحو دمجها وتكاملها من خلال ما يقترحه هذا المعيار.

بدأ العمل على تطوير المعيار بدءاً من العام 2003، وانضمت عدد من الشركات إلى مجموعة عمل IEEE بعد آذار 2004 وتم إصدار المسودة الأولى من المعيار في 2005، وفي كانون الثاني عام 2009 تم الإفراج عن إصدار المعيار IEEE 802.21 [34]. يبين الشكل (1-4) مراحل تطور المعيار.



الشكل (1-4) مراحل تطور المعيار IEEE 802.21 عبر الزمن [34]

1.4. الهدف من المعيار IEEE 802.21 :

يُعدّ الهدف الأساسي من المعيار IEEE802.21 تأمين طبقة وصل ذكية تدعى (MIH) لتحسين عملية التسليم بين الشبكات، عبر تحقيق أهم المحاور الآتية [5] :

- تأمين عملية تسليم سلسلة بين الشبكات غير المتجانسة .
- إيجاد ما يسمى الطبقة اثنان ونصف 2.5 بين الطبقة الثانية والطبقة الثالثة بما يضمن تحقيق الاستقلال في التعامل مع طبقة الوصلة عن الطبقة الفيزيائية للشبكة.
- تحقيق عملية التسليم السلسة بوساطة دعم التحركية Mobility والبروتوكولات المسؤولة عن التحركية مثل البروتوكول Mobile IP .

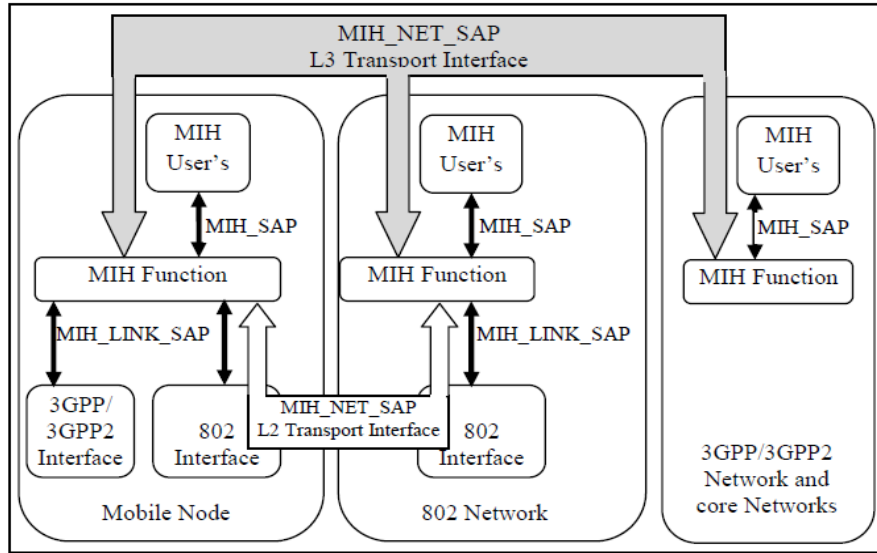
إضافة إلى عدد من الأهداف التي يحققها المعيار IEEE 802.21 [5]:

- يؤمن المعيار IEEE 802.21 تحقيق استمرارية الخدمة بما يضمن استمرار الخدمة خلال عملية التسليم وبعدها .
- يزود المعيار IEEE 802.21 التطبيقات بالتوابع اللازمة للمشاركة باتخاذ القرار بعمليات التسليم، على سبيل المثال تطبيق الهاتف عبر بروتوكول الإنترنت (VoIP) Voice over Internet Protocol يقرر تنفيذ عملية التسليم خلال فترة الصمت لتقليل فترات انقطاع الخدمة.
- تحقيق جودة الخدمة (Quality of Service (QoS أثناء التسليم بوساطة اتخاذ القرار بالتسليم لشبكة جديدة وفق خوارزمية تشمل عدد من البرامترات لضمان تأمين جودة الخدمة المطلوبة QoS .
- اكتشاف الشبكات المجاورة Network Discovery : يجري ذلك بتزويد المستخدم بمعلومات عن الشبكات المجاورة خلال عملية التسليم .
- المساعدة باختيار الشبكة المناسبة Network Selection Assistance : بالاعتماد على عدة عوامل منها (جودة الخدمة والعتبة والتكلفة وغيرها) .
- إدارة الاستطاعة Power Management : عبر تزويد المستخدم بمعلومات مثل توزيع الشبكات في المنطقة الجغرافية المحددة التي توجد فيها العقدة المحمولة بما يخفف استهلاك الاستطاعة في العقدة المحمولة .

2.4. بنية المعيار IEEE 802.21

يبين الشكل (2-4) البنية العامة للتقنية MIH المحددة بالمعيار IEEE 802.21 [35] .

تملك كل العقد المتوافقة مع المعيار 802.21 بنية عامة مشتركة لكنونة مركزية تُدعى تابع التسليم المستقل عن الوسط MIH Function (MIHF) . يمثل MIHF الطبقة المتوسطة 2.5 بين الطبقات العليا والدنيا، وظيفته الأساسية هي تنسيق تبادل المعلومات وتمثيل الأحداث والأوامر بين الأجهزة المختلفة المساهمة في اتخاذ قرارات التسليم والمشاركة بتنفيذها .



الشكل (2-4) البنية العامة للمعيار IEEE 802.21 [35]

تملك العقدة المحمولة MN واجهتين (واجهة خاصة بشبكة 802، وواجهة خاصة بشبكة 3GPP) تتصل العقدة المحمولة مع الشبكة عبر واجهة 802 وفق الشكل (2-4)، وتملك كل عقدة محمولة مجموعة من (MIH Users) والتي تستخدم وظائف MIHF للتحكم وكسب معلومات متعلقة بعملية التسليم.

عند ملاحظة أي تغيير في شروط الوصلة (انخفاض جودة الخدمة المقدمة مثلاً) من قبل MIHF، يُرسل إلى MIH user وفق أحداث الطبقة الثانية L2 Event مثل حدث توجه الوصلة نحو الانهيار Link Going Down وعندها يتخذ تطبيق إدارة الحركة mobility management application للمستخدم MIH user الخطوات اللازمة للقيام بعملية التسليم [35].

لا يوجد رؤية عامة لإخبار طبقة الشبكة حول التغييرات الحاصلة في طبقة الربط والطبقة الفيزيائية بدون MIH، وبذلك فإن المعيار IEEE 802.21 يساهم في تحسين أداء الشبكة وتقليل التأخير الحاصل عن التسليم.

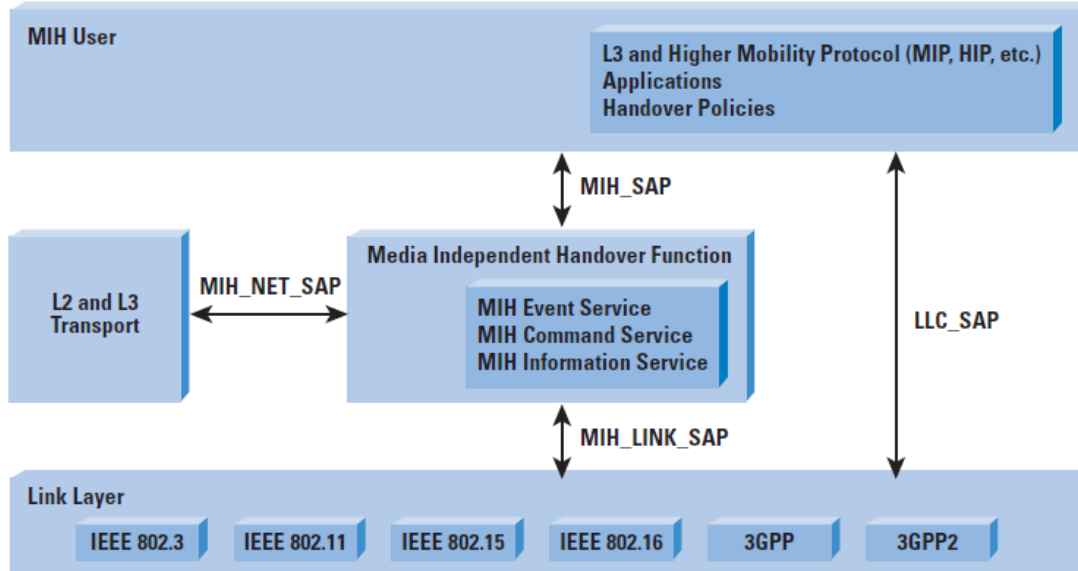
نقاط النفاذ إلى الخدمة (SAP) Service Access Points :

يعتمد الاتصال بين (MIHF و MIH User) وبين (MIHF والطبقات الأدنى) على عدد من نقاط النفاذ إلى الخدمة SAP. تحوي النسخة الحالية من المعيار 802.21 ثلاثة أنواع من نقاط نفاذ إلى الخدمة [35]. كما هو مبين في الشكل (3-4) وهي :

1- MIH-SAP : تسمح هذه الواجهة بالاتصال بين طبقة MIHF والطبقات الأعلى .

2- MIH-LINK-SAP : تستخدم للاتصال بين طبقة MIHF والطبقات الأدنى، وتعدّ واجهة مستقلة عن الوسط مشتركة لكل التقنيات لكون جميع عمليات الاتصال مع الطبقات الأدنى تجري عبرها.

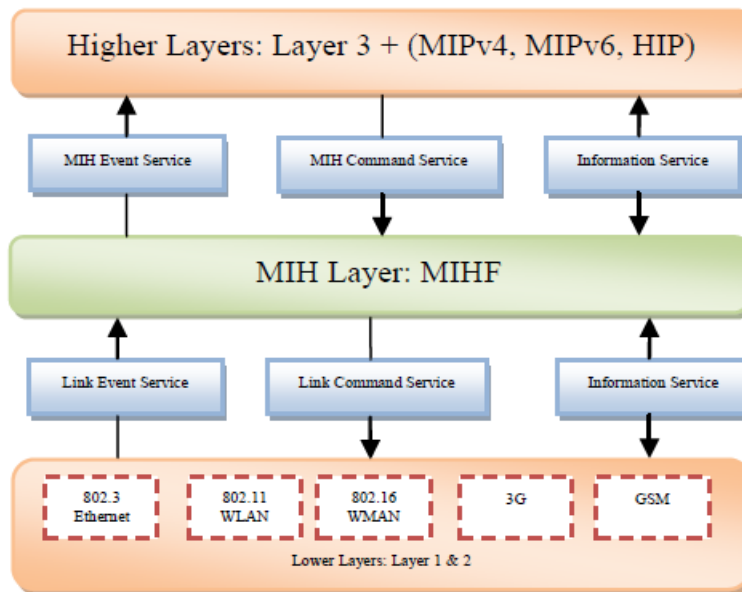
3- MIH-NET-SAP : تدعم تبادل المعلومات بين كينونات MIHF البعيدة .



الشكل (3-4) نقاط نفاذ إلى الخدمة SAP في تقنية MIH [34]

3.4 الخدمات التي يوفرها المعيار IEEE 802.21

يؤمن تابع التسليم المستقل عن الوسط MIHF ثلاثة أنواع من الخدمات كما هو مبين في الشكل (4-4) .



الشكل (4-4) خدمات المعيار IEEE 802.21 [22]

1.3.4. خدمة الأحداث المستقلة عن الوسط

تشمل جميع الأحداث والقوادر المولدة من الطبقة الأولى والثانية باتجاه الطبقة الثالثة فما فوق، وبناءً على هذه الأحداث يتم توجيه الأوامر من الطبقات العليا إلى الطبقات الدنيا بالاتجاه المعاكس.

يبين الجدول (1-4) مجموعة من الأحداث المهمة في المعيار IEEE 802.21 والهدف من كل حدث من الأحداث .

الجدول (1-4) بعض الأحداث المهمة في المعيار IEEE 802.21 [5]

Event/ MIH Event	الوظيفة Function
Link_Detected/ MIH_Link_Detected	اكتشاف شبكة جديدة
Link_Up /MIH_Link_Up	الاتصال مع الشبكة الجديدة على مستوى الطبقة الثانية
Link_Down/ MIH_Link_Down	فقدان الاتصال بإحدى الشبكات المتصل بها
Link_Handover_Complete/ MIH_Link_Handover_Complete	إتمام عملية الانتقال على مستوى الطبقة الثانية
Link_Going_Down/ MIH_Link_Going_Down	قرب فقدان الاتصال بالشبكة

كما نلاحظ وجود نوعين من القوادر Triggers في MIH :

- القوادر التنبؤية : تعبر عن احتمالية التغيير في خواص المنظومة في المستقبل

القريب، مثل حدث توجه الوصلة نحو الانهيار (Link Going Down)

. LGD

- قوادر الأحداث : تعبر عن حدث محدد بعينه، مثل حدث انهيار الوصلة Link

. Down

2.3.4. خدمة الأوامر المستقلة عن الوسط

تمكن هذه الخدمة واجهة التواصل MIH User من التحكم في إدارة عملية التسليم من خلال طلب بعض المعلومات والموسطات مثل نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) Signal-to-ratio أو غيرها للشبكة المتصلة فيها من تابع التسليم المستقل عن الوسط MIHF، وإعطاء الأوامر الخاصة بعملية التسليم . تقسم هذه الأوامر إلى نوعين :

- أوامر الوصلة Link Command : وهي مجموعة الأوامر الصادرة عن MIH

user لتابع التسليم المستقل عن الوسط MIHF .

- أوامر التسليم المستقل عن الوسط MIH Command : وهي أوامر صادرة عن تابع التسليم المستقل عن الوسط MIHF والتي تسمح بالاستفسار عن موارد الشبكة الهدف .

يبين الجدول (2-4) أهم الأوامر في المعيار IEEE 802.21 ووظيفة كل منها.

الجدول (2-4) أهم أوامر المعيار IEEE 802.21 [5]

Command	الوظيفة Function
Link_Event_Subscribe	تسجيل على حدث أو أكثر من طبقة الوصلة Link
Link_Event_Unsubscribe	إلغاء التسجيل على حدث أو أكثر من طبقة الوصلة Link
Link_Get_Parameters	طلب الحصول على بعض المتوسطات (البارامترات) مثل SNR من الاتصال الفعال
MIH_N2N_HO_Query_Resources	السماح بالاستفسار عن الموارد بواسطة إرسال هذا الطلب من تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF الحالي إلى تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF الهدف

3.3.4. خدمة المعلومات المستقلة عن الوسط

تعمل هذه الخدمة على اكتشاف المعلومات الخاصة بالشبكات المجاورة الموجودة ضمن مساحات جغرافية معينة لتسهيل عملية اتخاذ القرار بالتسليم بين هذه الشبكات .

كما تؤمن طريق ثنائي الاتجاه بين الطبقات العليا والدنيا لتبادل المعلومات السكونية (محددات الجودة، وعناوين الشبكات المجاورة وغيرها) والديناميكية (معدل المعطيات والعتبة وغيرها) فيما بينها لاتخاذ قرارات تسليم أكثر فعالية .

الفصل الخامس

بناء عملية المحاكاة وتنفيذها

Simulation Development and Implementation

نستعرض في هذا الفصل السيناريوهات المقترحة في دراستنا وأهم المعاملات المعتمدة في عملية المحاكاة وكيفية إجراء التسليم بين الشبكات المقترحة.

1.5. الهدف من المحاكاة

تهدف عملية المحاكاة وفق السيناريو المقترح إلى دراسة أداء عملية التسليم الشاقولي VHO باستخدام تقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH عند حركة العقدة المحمولة عبر مجال تغطية ثلاثة أنواع مختلفة من الشبكات UMTS و Wi-Fi و WiMax ، وتقييم أداء بروتوكول التحكم بالإرسال TCP أثناء عملية التسليم عبر دراسة أداء عدد من خوارزميات التحكم بالازدحام والمقارنة فيما بينها بالاعتماد على عدد من المعاملات .

2.5. البرمجيات المستخدمة

يوجد العديد من برامج المحاكاة لدراسة وتحليل أداء الشبكات مثل OPNET، GLOMOSIM ، OMNET، NS2، QUALNET .

اعتمدنا في دراستنا على المحاكى Network Simulation version (NS2) [38]، الإصدار NS2 version 2.29 . جرى تنصيب المحاكى NS2 على نظام تشغيل لينوكس Linux Ubuntu 11.04 نظراً لاعتماده على عدد من التقنيات والبروتوكولات الحديثة، كما جرى دمج عدد من الإضافات مع المحاكى NS2 .

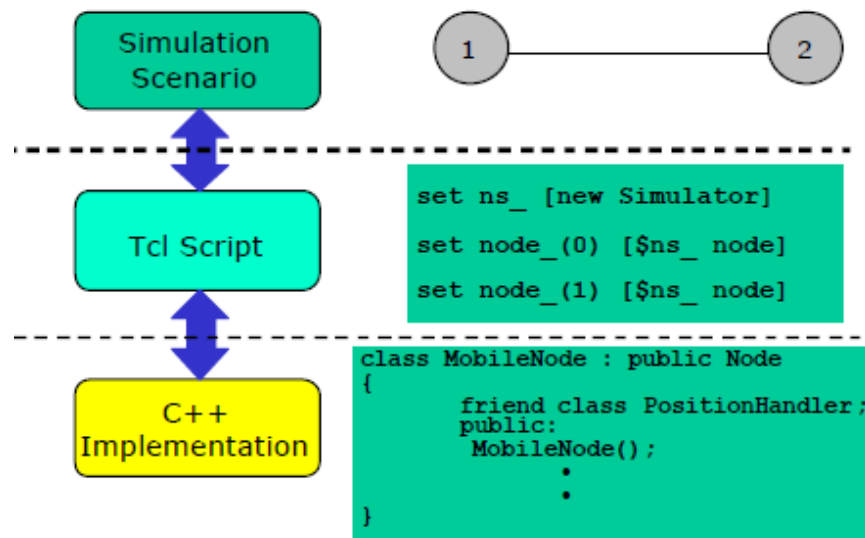
رغم كون المحاكى NS3 يُعدّ نسخة محدثة عن NS2 وأكثر تطوراً منه، لكن لعدم جاهزية إطار عمل متكامل لتقنية MIH ضمن المحاكى NS3 تم الاعتماد على المحاكى NS2 على الرغم من محاولة العديد من الباحثين العمل على وضع المحاكى NS3 في العمل بإيجاد Patch (مجموعة من تعليمات dos يتم استدعاؤها لتنفيذ بالترتيب لتغيير بنية المحاكى NS3 بالشكل الذي يسمح بتنفيذ المهمة التي نريد) لبعض نسخ البرنامج إلا أن الأمر صعب نوعاً ما بسبب :

- وجود الكثير من الأخطاء التي لم يتم إكمال حلها بما يتعلق بتطبيق تقنية MIH .
- توقف العمل على تطويره مؤقتاً (آخر تعديل تم بتاريخ 9-1-2009) [39] .
- دليل العمل والتحميل ينقصه العديد من التفاصيل المهمة .
- المحاكى NS2 حالياً هو أحد أكثر برامج المحاكاة استخداماً من قبل الباحثين في الشبكات في الأبحاث المنشورة عالمياً .

1.2.5. محاكي الشبكات 2 (NS2) Network Simulation :

يتميز محاكي الشبكات NS2 بما يأتي :

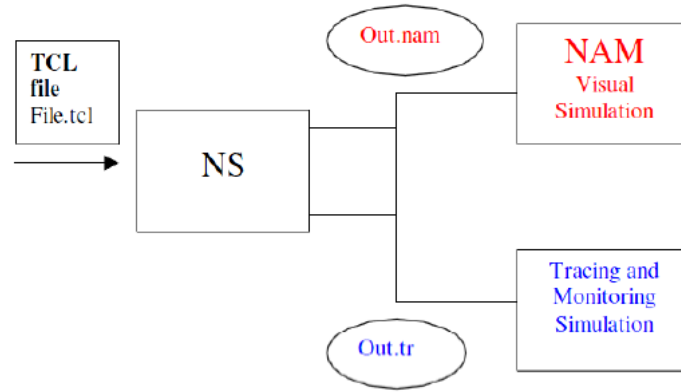
- محاكي الشبكات NS2 مفتوح المصدر Open Source ومجاني .
- يستخدم مفهوم الأحداث المتقطعة ويعتمد على تسجيل الأحداث أثناء عملية المحاكاة.
- يعمل على محاكاة معظم البروتوكولات الشبكية، ويتيح للمستخدم إمكانية كتابة أي بروتوكول جديد أو التطوير في أداء البروتوكولات الموجودة [5] .
- جرى تطويره بدايةً لأنظمة لينوكس Linux بشكل أساسي، يعمل حالياً مع هذه الأنظمة دون مشاكل إضافةً إلى إمكانية العمل مع أنظمة الويندوز Windows بدعم من Cygwin .
- يستخدم كل من اللغتين C++ و OTCL [40] . حيث يتم استخدام لغة C++ من أجل التطبيقات المتعلقة بالبروتوكولات وتفاصيلها، وعندما يتطلب الأمر سرعة تنفيذ عالية ومهمة . تستخدم هذه اللغة لتوسعة المحاكى، كتعريف بروتوكول جديد أو إضافة ميزة لبروتوكول موجود . بينما تُعدّ OTCL لغة توسيع غرضية التوجه للغة أوامر الأدوات (TCL) Tool Command Language، سرعة التنفيذ فيها بطيئة ولكن يمكن تعديل المعاملات وفقاً للتغيرات بشكل سريع مما يجعل المحاكاة أسهل، تُستخدم لكتابة سيناريوهات المحاكاة . يبين الشكل (1-5) البنية البرمجية للبرامج المكتوبة وفق NS2 .



الشكل (1-5) البنية البرمجية في البرنامج NS2 [40]

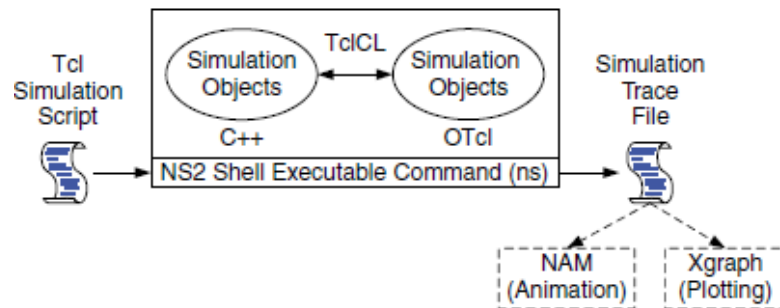
يدعم المحاكى NS2 ما يدعى بالمراقب (وحدات الإظهار) Monitors، والذي يزودنا بعدد من المعلومات الكمية مثل عدد الرزم الضائعة وعدد الرزم الواصلة ضمن الرتل وغيرها .

يبين الشكل (2-5) نواتج تنفيذ الملف البرمجي ضمن NS2 .



الشكل (2-5) نواتج تنفيذ الملف البرمجي ضمن NS2 [41]

ينتج عن عملية المحاكاة باستخدام المحاكى NS2 ملف يسمى ملف التتبع Trace File، يتضمن مجموعة الأحداث التي جرت أثناء عملية المحاكاة، حيث يكتب برموز الأسكى ASCII code .



الشكل (3-5) بنية وهيكلية البرنامج NS2 [41]

بعض الحقول الموجودة في ملف التعقب هي : نوع الحدث – زمن المحاكاة عند حدوث الحدث – العقدة المرسله والعقدة الهدف – حجم الرزمة – المؤشرات وغيرها .
يبين الشكل (4-5) الصيغة العامة لحقول ملف التعقب .

event	time	from node	to node	pkt type	pkt size	flags	fid	src addr	dst addr	seq num	pkt id
r	:	receive	(at to_node)								
+	:	enqueue	(at queue)					src_addr	:	node.port (3.0)	
-	:	dequeue	(at queue)					dst_addr	:	node.port (0.0)	
d	:	drop	(at queue)								

الشكل (4-5) الصيغة العامة لحقول ملف التعقب

2.2.5. لغة الاستعلام AWK :

يكون حجم ملف التعقب كبيراً جداً ولا يمكن قراءته بصورة مباشرة، لذا تُستخدم لغة نصية Scripting Language لاستخلاص النتائج المطلوبة من ملف التتبع Trace file. تُعدّ لغة AWK من أشهر هذه اللغات، وهي اختصار للأحرف الأولى في أسماء المؤلفين (Aho، Weinberger، Kernigham).

ظهرت لغة AWK في العام 1977 كنموذج مسح بسيط وممتاز . تتصف بكونها مُقادة بالمعطيات Data-driven أي تصف المعطيات التي تريد التعامل معها، حيث تبحث في سطور ملف التتبع وعندما يحدث التطابق مع عينة معينة فإن AWK تقوم بوظيفة محددة ثم تستمر بمعالجة سطور الدخّل لحين الوصول لنهاية الملف .

3.2.5. الوحدات المُطوّرة من قبل المعهد الوطني للمعايير والتقانة (NIST) :

كانت هناك حاجة للعديد من التعديلات والإضافات اللازمة لدعم موضوع الدراسة، وذلك كون المحاكى NS2 لا يدعم الشبكات اللاسلكية WiMax والحركية mobility إضافةً إلى عدم دعمه لنظام الاتصال UMTS أو للمعيار IEEE 802.21 ، وهذه تُعدّ من المكونات الأساسية التي يقوم عليها هذا البحث .

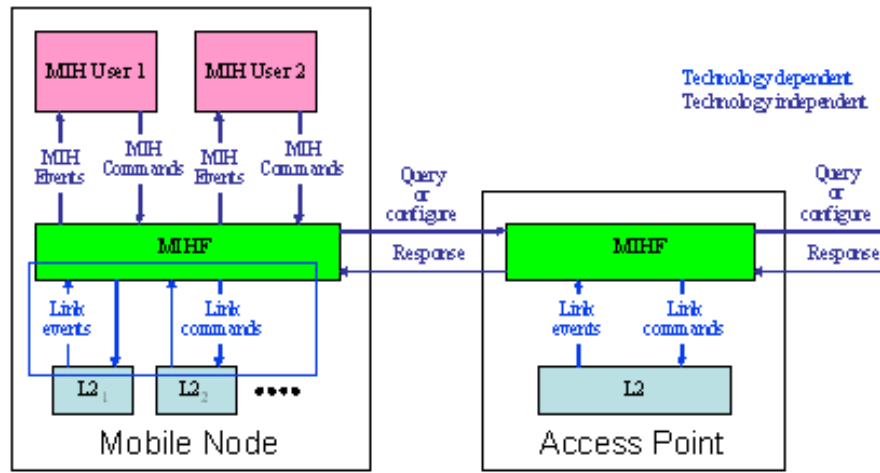
بالمقابل قدم المعهد الوطني للمعايير والتقانة NIST عدد من التحديثات (التعديلات) لعدد من الملفات ضمن النسخة المعيارية من NS2 في السعي لدعم سيناريوهات الحركية mobility، فيما يلي بعض التعديلات [43] :

- دعم وحدة المعيار IEEE 802.21 module وذلك بالاعتماد على draft3 of IEEE 802.21 [43] .
- دعم وحدة المعيار IEEE 802.16 module لدعم شبكة WiMax وذلك بالاعتماد على IEEE 802.16g-2004 و IEEE 802.16e-2005 mobility extension .
- دعم نظام الاتصال UMTS بالاعتماد على الإضافة Eurane (Enhanced UMTS) Radio Network extensions for ns2 [13] .
- تطوير وحدة اكتشاف الجوار Neighbor Discovery Module .
- تحديث تطبيق IEEE 802.11 الموجود أصلاً .

- تطوير وحدة التحركية Mobility module لدعم حركية العقد، وتضمينها عدد من المعايير المطلوبة لتحقيق محاكاة عملية التسليم وأهمها [43] : المعيار Mobile IPv6 - المعيار IEEE 802.21 - وحدة اكتشاف الجوار - المعيار IEEE802.16e .

3.5. دعم وحدة المعيار IEEE 802.21 ضمن المحاكى NS2

تحتوي وحدة المعيار IEEE 802.21 تطبيق توابع التسليم المستقل عن الوسط MIHF ويبين الشكل (5-5) ارتباطات MIHF المختلفة مع المكونات المختلفة للعقدة المحمولة MN .



الشكل (5-5) ارتباطات MIHF مع العقدة المحمولة MN [44]

يطبق MIHF و MIH Users على أنهم وكلاء Agents وهو صف معرف ضمن NS2 وجرى توسيعه من قبل NIST، ووظيفته تسهيل الاتصال بين الطبقات الدنيا (مثل MAC) والطبقات العليا مثل (MIH User)، وتأمين الربط بين نقاط نفاذ خدمة (MIH-SAP) و (MIH-Link-SAP) وبهذا يصبح باستطاعة تابع التسليم المستقل عن الوسط MIHF إرسال رزم الطبقة الثالثة L3 لتوابع التسليم المستقل عن الوسط البعيدة، كما يصبح بإمكان MIH user استقبال الأحداث من الواجهات المحلية والبعيدة .

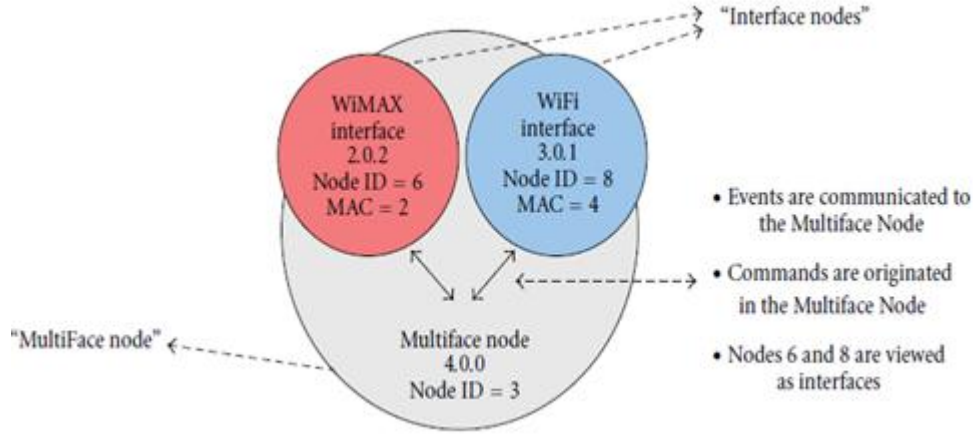
بعض تقنيات المعيار IEEE 802.21 المدعومة في المحاكى NS2 :

1- العقدة متعددة الواجهات (Multi-interface Node) Super Node [44]

لا يدعم المحاكى NS2 الواجهات المتعددة للعقدة المحمولة وهذه مشكلة عند الحاجة لعملية تسليم شاقولي VHO ، ولذلك أوجد المعهد الوطني للمعايير والتقانة NIST الحل لهذه المشكلة بإيجاد ما

يسمى العقدة الفائقة Super node، وهي عبارة عن عقدة تتصل مع غيرها من العقد وتُعدّهم واجهات لها .

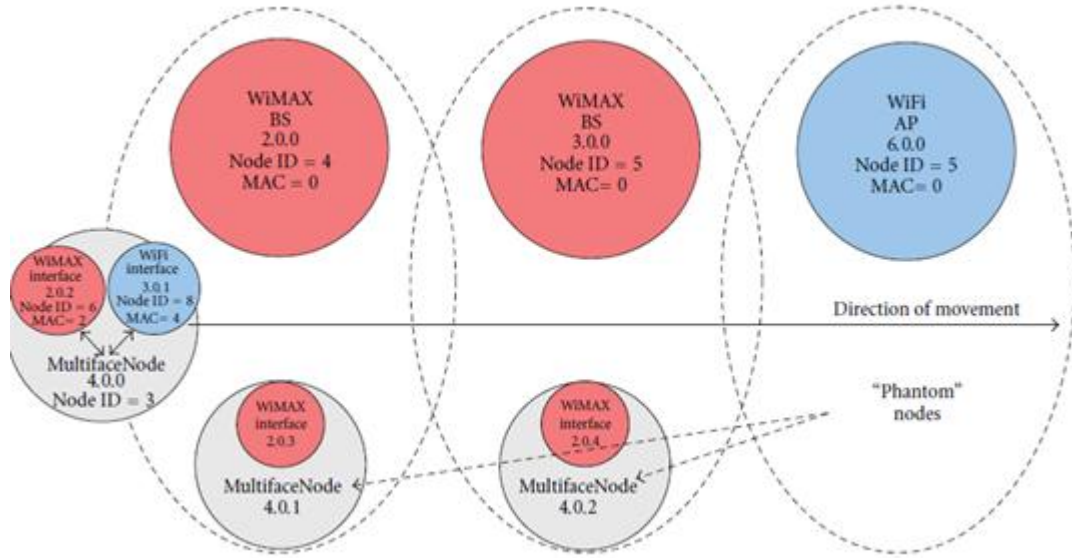
يبيّن الشكل (5-6) عقدة متعددة الواجهات، الواجهة الأولى خاصة بشبكة Wi-Fi والواجهة الثانية خاصة بشبكة WiMax . ما يمكن هذه العقدة من الاتصال مع كلا الشبكتين بنفس الوقت أو الانتقال بينهما بسهولة .



الشكل (5-6) العقدة المتعددة الواجهات [44]

2- دمج الشبكات اللاسلكية WiMax ومفهوم العقدة الوهمية (التخيلية) Phantom node

تُعد وحدة WiMax من الوحدات المدعومة ضمن NIST . في عملية المحاكاة وعند استخدام خلايا WiMax يجب أن يكون هنالك عقدة محمولة واحدة على الأقل لكل مجال خلية، ونتيجة وجود هذا الشرط فإن سيناريو محاكاة WiMax يجب أن يتضمن هذا النوع من العقد Phantom node [44]، وهذه ما يبيّنه الشكل (5-7) .



الشكل (7-5) مفهوم العقد الوهمية في محاكاة الشبكات اللاسلكية WiMax [44]

3- دمج الشبكات اللاسلكية Wi-Fi

أجريت تعديلات عديدة وذلك في السعي لدعم توافق وحدة المعيار IEEE 802.21 بما يخص توفير أزمنة فواصل التأجيل defer time والتراجع backoff time، إضافة إلى اعتماد المرشد Beacon في إدارة الأطر بإرسال رسالة مرشد beacon من قبل نقطة النفاذ لتخبر العقدة المحمولة بوجودها وذلك كل فترة زمنية (حوالي كل 100 ms) [44].

4- دمج خدمات المعلومات IS وخدمات الأوامر CS وخدمات الأحداث ES

تقدم وحدة المعيار IEEE 802.21 ثلاثة أنواع من الخدمات، لكن بالمقابل فإن المحاكى NS2 لا يدعم خدمة المعلومات (IS) Information Service في التطبيق الحالي لوحدة المعيار IEEE 802.21، وإنما فقط خدمة الأوامر CS وخدمة الأحداث ES مدعومة.

يبين الجدول (1-5) بعض الأحداث والأوامر في التسليم المستقل عن الوسط (MIH) المدعومة في محاكي الشبكات NS2.

الجدول (1-5) بعض الأوامر والأحداث المدعومة في MIH [44]

MIH commands	MIH events
Link event subscribe	Link UP
Link event unsubscribe	Link down
Link configure threshold	Link going down
Link get parameters	Link detected
MIH get status	Link event rollback
MIH link scan	Link parameters report
	Link handover imminent
	Link Handover Complete

5- دعم اكتشاف الشبكات الفرعية وتغيير العناوين Subnet Discovery and Change of Address

جرى دعم اكتشاف الشبكات الفرعية وتغيير العناوين أثناء عملية التسليم HO باستخدام المحاكى NS2 كما يأتي [44]:

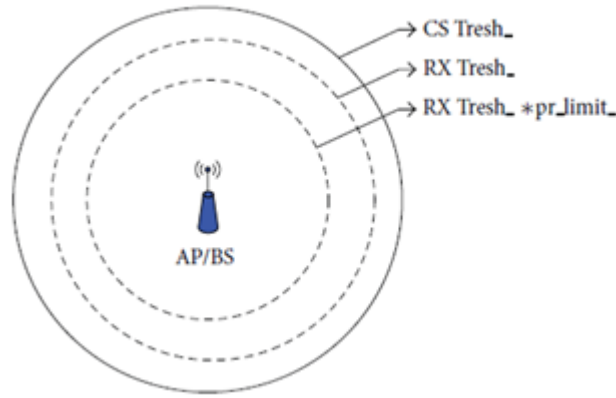
- رسائل إعلان الموجه Router Advertisement (RA) : هي رسائل تُبث دورياً من قبل نقاط النفاذ APs أو BSs لإعلام العقدة المحمولة حول بادئة الشبكة.
- رسائل نداء (حث) الموجه Router Solicitation (RS) : تُستخدم من قبل العقدة المحمولة MN لاكتشاف نقطة نفاذ AP أو BS جديدة بعد حدوث عملية التسليم .
- رسائل اكتشاف الجوار Neighbor Discovery (ND) : حيث يتوضع عميل ND Agent في كل عقدة محمولة، ويكون مسؤول عن استقبال رسائل إعلان الموجه RA، وتحديد فيما إذا كانت تحوي بادئة جديدة وإعلام مدير الواجهة Interface manager بذلك، أو تحديث المؤقت الزمني الخاص به في حال لم تتغير الشبكة . وفي حال فقدان الاتصال مع نقطة الارتباط الحالية PoA (AP أو BS) فإنه لن تُستقبل أية رسائل RA ويُرسل إشعار لمدير الواجهة بهذا الأمر .

6- **حدود الاستطاعة** في خلايا كل من الشبكات Wi-Fi و WiMax المحددة ضمن برنامج المحاكاة NS2 موضحة في الشكل (5-8)، حيث تُقسم المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً إلى عدة مناطق بهدف تحقيق عملية المحاكاة اعتماداً على ثلاث عتبات [44] :

- عتبة تحسس الحامل Carrier Sense Threshold (CSThresh_) : تُعرّف هذه العتبة الحد الأدنى من الاستطاعة اللازم لتحسس ورود رزمة، وتجعل هذه العتبة

طبقة التحكم بالنفاذ إلى الوسائط MAC تنتقل من وضع الراحة Idle إلى وضع الانشغال Busy .

- عتبة حساسية المستقبل (RxThresh_) : وتُعرّف الحد الأدنى من الاستطاعة من أجل استلام رزمة بدون أخطاء .
- عتبة الاستطاعة الدنيا: تحدد بالعلاقة $(Pr_limit_)* (RX_Thresh_)$ ، وهي عتبة الاستطاعة الدنيا التي ستقوم بعدها طبقة MIHF بإرسال الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD للطبقات العليا .



الشكل (8-5) حدود الاستطاعة المحددة ضمن NS2 [44]

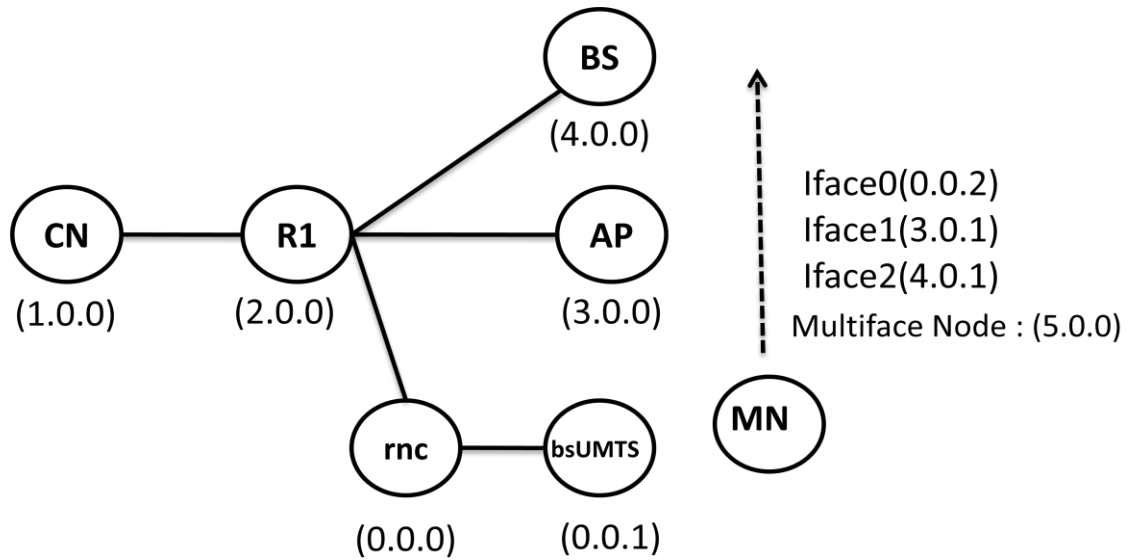
4.5. السيناريو المقترح للمحاكاة :

جرى تقسيم العمل إلى عدة مراحل : مرحلة ما قبل المحاكاة – مرحلة المحاكاة – مرحلة تحليل نتائج المحاكاة .

يجري إعداد الشبكة وتهيئة مكوناتها (معاملات العقدة المحمولة ومعاملات الشبكات المستخدمة وعناوينها والتطبيق المستخدم في الدراسة) في مرحلة ما قبل المحاكاة .

تشمل مرحلة المحاكاة تنفيذ البرنامج الرئيسي لعملية المحاكاة مع الملفات المرتبطة به والمحددة في مرحلة ما قبل المحاكاة . نستخدم اللغة AWK في مرحلة تحليل النتائج لاستخلاص النتائج من ملفات النتائج الناتجة عن عملية المحاكاة ودراستها .

يبين الشكل (9-5) التوصيل الشبكي وتوزيع العناوين للشبكات المدروسة .



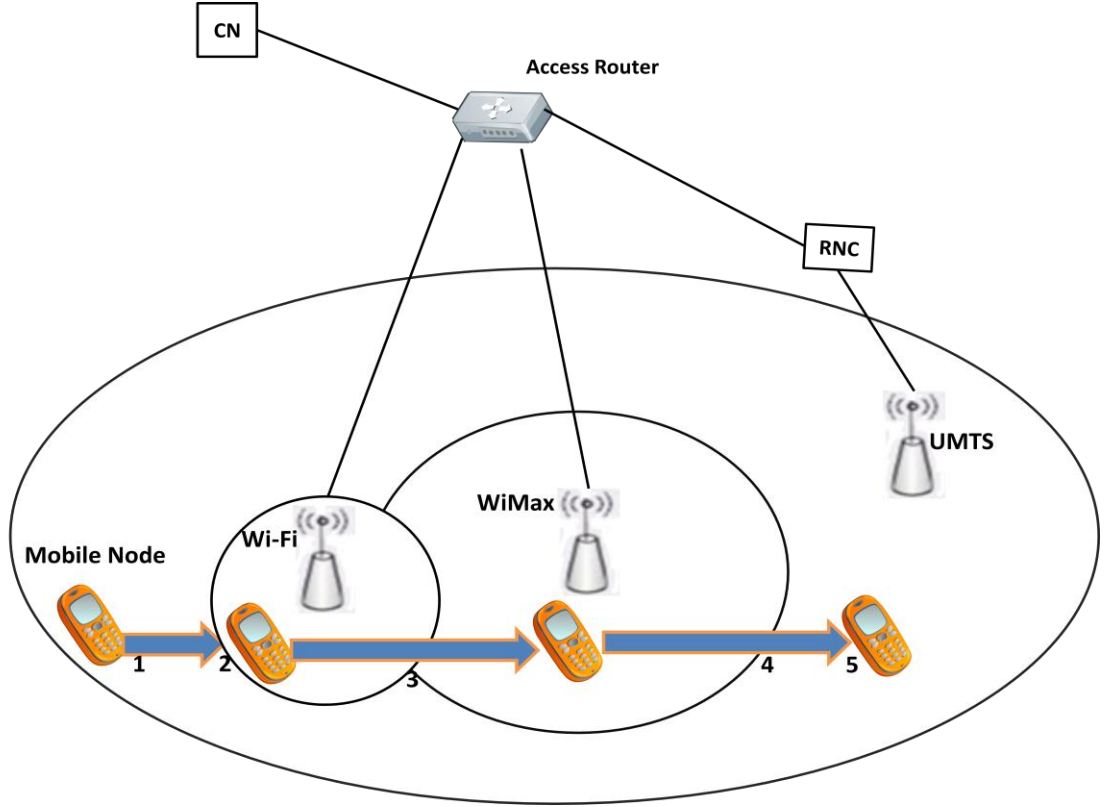
الشكل (9-5) التوصيل الشبكي لسيناريو المحاكاة

- السيناريو الأول للمحاكاة :

يتألف السيناريو الأول للمحاكاة من شبكة UMTS بنصف قطر 3km لمجال تغطيتها، حيث تقع المحطة القاعدية BS للشبكة في النقطة الجغرافية ذات الإحداثيات (y=1000،x=1800)، كما يوجد في هذا السيناريو شبكة 802.16e WiMax بنصف قطر 500 m لمجال تغطيتها وتتموضع المحطة القاعدية BS للشبكة WiMax في النقطة الجغرافية ذات الإحداثيات (y=500،x=1000)، أيضاً هناك الشبكة 802.11b Wi-Fi والتي تغطي منطقة جغرافية نصف قطرها 50 m وتقع نقطة النفاذ لشبكة Wi-Fi في النقطة الجغرافية ذات الإحداثيات (y=500،x=475) .

يقع مجال تغطية كلا الشبكتين Wi-Fi و WiMax ضمن نطاق تغطية الشبكة UMTS باعتبارها الشبكة الأكبر من ناحية التغطية، كما هو مبين في الشكل (10-5) .

كان يُفترض وضع محاور الإحداثيات للسيناريو الموضح في الشكل (10-5)، لكن لم يتم وضعها للتبسيط، ولضرورة وضوح الشكل، وعدم زيادة تعقيد الرسم .



الشكل (10-5) السيناريو الأول للمحاكاة

وفق السيناريو الأول للمحاكاة، وبفرض أن العقدة المحمولة متصلة بدايةً بالمحطة القاعدية للشبكة UMTS، وتتحرك بسرعة ثابتة 10m/s متجهةً من النقطة (1) ذات الإحداثيات الجغرافية $(y=500, x=1600)$ نحو النقطة الهدف (5) ذات الإحداثيات الجغرافية $(y=500, x=350)$ ، عابرةً كل من شبكة Wi-Fi وشبكة WiMax. وينشأ اتصال TCP بين العقدة المحمولة MN والعقدة المراسلة (المنسقة) CN.

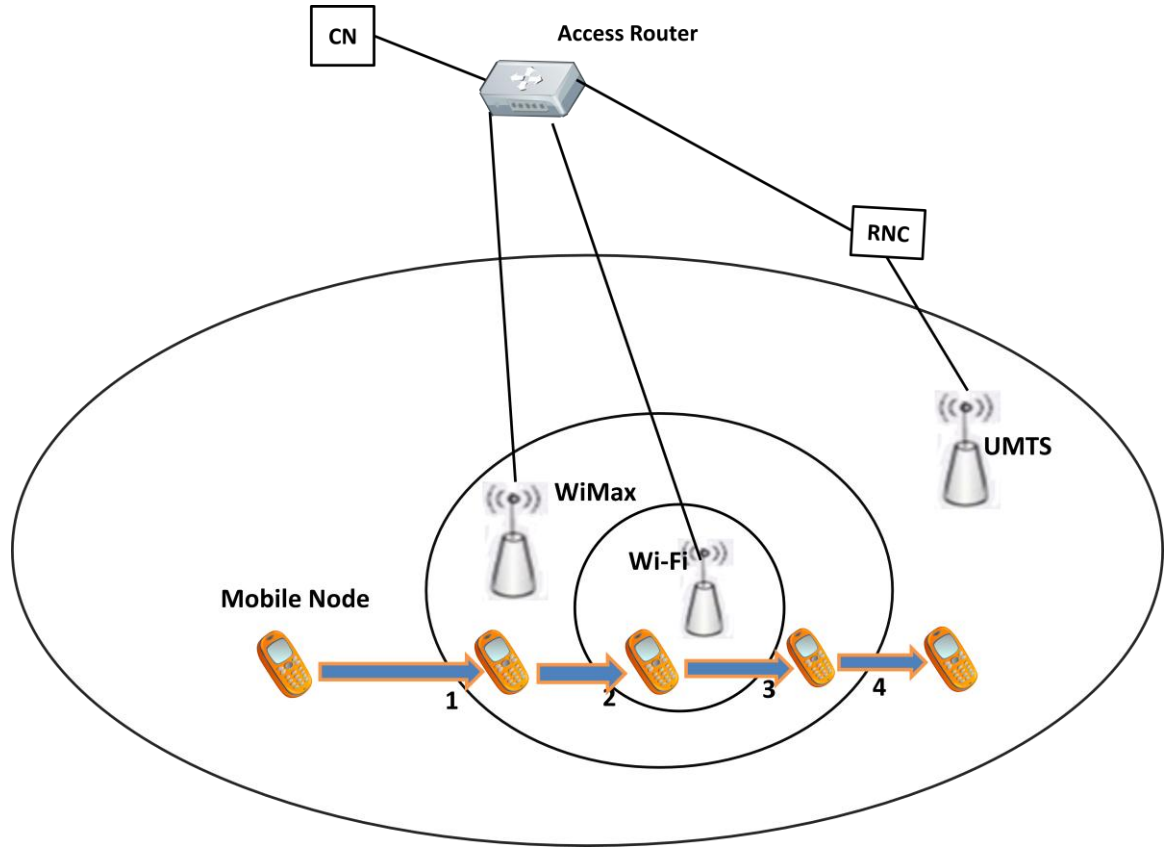
تقوم العقدة المحمولة MN بعدد من عمليات التسليم وفق سيناريو الحركة المقترح :

- 1- عملية التسليم الأولى VHO1 من الشبكة UMTS إلى الشبكة Wi-Fi عند النقطة (2) .
- 2- عملية التسليم الثانية VHO2 من الشبكة Wi-Fi إلى الشبكة WiMax عند النقطة (3) .
- 3- عملية التسليم الثالثة VHO3 من الشبكة WiMax إلى الشبكة UMTS عند النقطة (4) .

- السيناريو الثاني للمحاكاة :

يتألف السيناريو الثاني للمحاكاة من نفس مكونات سيناريو المحاكاة الأول باستثناء موقع الشبكة Wi-Fi، حيث تتموضع هنا نقطة نفاذ الشبكة في النقطة الجغرافية ذات الإحداثيات

(y=500, x=1250)، ويقع مجال تغطية الشبكة Wi-Fi ضمن نطاق تغطية الشبكة WiMax بشكل كامل، كما هو مبين في الشكل (11-5).



الشكل (11-5) السيناريو الثاني للمحاكاة

وفق السيناريو الثاني تقوم العقدة المحمولة MN بأربع عمليات تسليم أثناء حركة العقدة المحمولة :

- 1- عملية التسليم الأولى VHO1 من الشبكة UMTS إلى الشبكة WiMax عند النقطة (1) .
- 2- عملية التسليم الثانية VHO2 من الشبكة WiMax إلى الشبكة Wi-Fi عند النقطة (2) .
- 3- عملية التسليم الثالثة VHO3 من الشبكة Wi-Fi إلى الشبكة WiMax عند النقطة (3) .
- 4- عملية التسليم الرابعة VHO4 من الشبكة WiMax إلى الشبكة UMTS عند النقطة (4) .

سنقوم بدراسة أداء عملية التسليم الثانية عند انتقال العقدة المحمولة من الشبكة WiMax إلى الشبكة Wi-Fi ومقارنة الأداء مع عملية التسليم بالاتجاه المقابل للحركة (عملية التسليم الثالثة VHO3 من الشبكة Wi-Fi إلى الشبكة WiMax) بالنسبة لكل من فقد الرزم وتأخير التسليم .

الهدف من اختيار هذين السيناريوهين المختلفين :

إظهار تأثير نوع الشبكة والشبكة المجاورة لها على عمليات التسليم، بحيث يتسنى لنا مناقشة عدد من الحالات لأهم الشبكات اللاسلكية الحالية الأمر الذي تفتقد إليه أغلب الأبحاث الحالية التي تكتفي باختيار نوعين فقط من الشبكات .

استخدمنا العديد من المعاملات في عملية المحاكاة للشبكات UMTS و WiMax و Wi-Fi، نوردتها في الجدول (2-5) .

الجدول (2-5) أهم المعاملات المستخدمة في عملية المحاكاة

Simulation Range	5000 m × 5000 m
Simulation Duration	400 sec
MN moving speed	10 m/s
IEEE 802.11b	
IEEE802.11 Data Rate	11 Mbps
Coverage Area	50 m
Frequency	2.4 GHz
Transmission Power (pt_)	0.0134 W
Receiving Threshold (RXThresh_)	5.25089 e-10 W
IEEE 802.16e	
Coverage Area	500 m
Frequency	3.5 GHz
Transmission Power (pt_)	0.025 W
Receiving Threshold (RXThresh_)	2.025e-12 W
Propagation model	Two Ray Ground
UMTS	
Coverage Area	3 Km
Modulation	WCDMA
UMTS uplink bandwidth	384 kbps
UMTS downlink bandwidth	384 kbps
LL Type	UMTS/RLC/AM
UMTS Transport channel	DCH

الفصل السادس

الدراسة التحليلية لنتائج المحاكاة

Analysis of Simulation Results

سنتناول في هذا الفصل دراسة وتحليل النتائج العملية لمحاكاة عملية التسليم بين الشبكات المدروسة وفق السيناريوهات المقترحة . ومناقشة أداء بروتوكول التحكم بالإرسال TCP بواسطة تقييم عدد من خوارزميات التحكم بالازدحام مثل : TCP Vegas و TCP Reno و TCP new Reno و TCP و Tahoe ، والمقارنة فيما بينها باستخدام عدد من المعاملات مثل فقد الرزم Packet_loss والتأخير الناتج عن عملية التسليم HO_Latency ومعدل التدفق Throughput، وتأثر الأداء بتغير سرعة العقدة المحملة .

1.6. خوارزمية اتخاذ قرار التسليم المتبعة

يعتمد المعيار IEEE 802.11 وفق دراستنا على التسليم من نمط وصل قبل الفصل Make-Before-Break (MBB) أو ما يسمى بالتسليم اللين، حيث تتصل العقدة المحملة MN بالشبكة الجديدة قبل فصل الاتصال مع الشبكة الحالية . ومن ثمّ تستخدم العقدة المحملة (متعددة الأوجه Multiface) أكثر من واجهة بنفس الوقت لفترة من الزمن في السعي لتأمين اتصال سلس وتحقيق خدمة مستمرة دون انقطاع .

تعتمد خوارزمية اتخاذ قرار التسليم المتبعة في دراستنا على قوة الإشارة المستقبلية RSS من قبل العقدة المحملة لاختيار الشبكة الأفضل التي سيتم التسليم لها، حيث تبدأ عملية التسليم بطلب من واجهة التواصل الموجودة في العقدة المحملة الحصول على معلومات عن جميع الشبكات المحيطة بالعقدة المحملة بواسطة عملية المسح، وحالما يُعثر على شبكة مجاورة مناسبة من بين الشبكات المحيطة تقوم العقدة المحملة بالاستماع لأطر الإرشاد القادمة من الشبكات المحتملة .

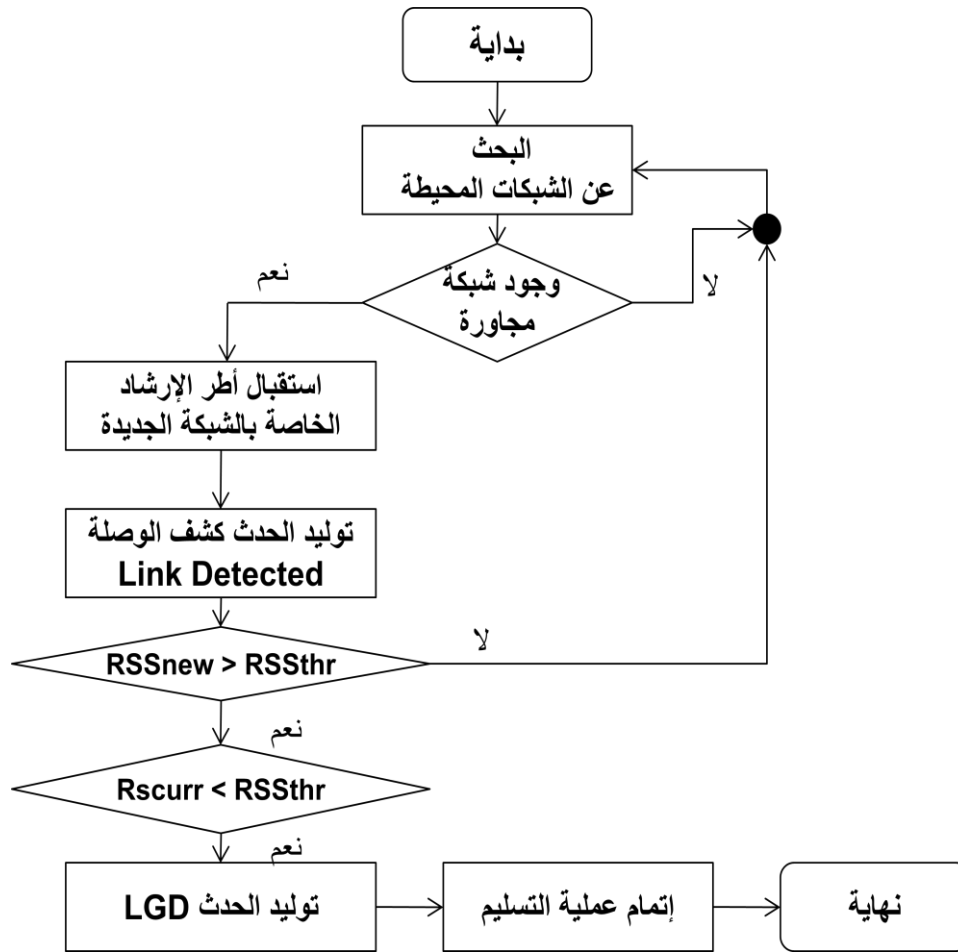
حالما يستقبل إطار إرشاد يتولد حدث كشف الوصلة Link-detected (والذي يفيد بتوافر شبكة جديدة يمكن الاتصال بها) . عندها يطلب MIH user الموجود في العقدة المحملة من تابع التسليم المستقل عن الوسط MIHF بعض المعلومات الضرورية عن الشبكة الجديدة للتحقق من مدى قدرتها على تأمين الخدمة المطلوبة .

لاتخاذ قرار التسليم تُقارن قوة الإشارة المستقبلية من الشبكة الجديدة (RSSnew) وقوة الإشارة المستقبلية من الشبكة الحالية (RSScurr) مع العتبة وفق الشروط الآتية :

- $RSS_{curr} > RSS_{thr}$: تحافظ العقدة المحملة على اتصالها بالشبكة الحالية
- $RSS_{curr} < RSS_{thr} \& RSS_{new} > RSS_{thr}$: تبدأ العقدة المحملة بعملية التسليم HO

ويتولد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD .

يبين الشكل (1-6) خطوات خوارزمية اتخاذ القرار المتبعة .



الشكل (1-6) خوارزمية اتخاذ قرار التسليم

اختيرت قوة الإشارة المستقبلية RSS بشكل أساسي في خوارزمية اتخاذ قرار التسليم كونها المعامل الأساسي في قرح عملية التسليم، وتُعد مؤشراً قوياً عن استخدام الشبكة. كما أنه عند إدخال معاملات أخرى ضمن الخوارزمية إضافة إلى RSS مثل عرض المجال BW وسرعة العقدة المحمولة، ستكون الأهمية الكبرى لتحقيق عدم وجود عدد كبير من الفقد والحفاظ على مستوى خدمة جيد محقق مع سرعة العقدة المحمولة، وذلك بصرف النظر عن نوع الشبكة التي يجري التسليم لها. بالتالي وفقاً لهذه المعاملات لن تحدث أي عملية تسليم نحو شبكة Wi-Fi وفق سيناريو المحاكاة المقترح في دراستنا، كون شبكة Wi-Fi غير مصممة لدعم الحركية والسرعات العالية على خلاف شبكة WiMax و UMTS إضافة إلى الفقد الحاصل. (الفصل والوصل المتكرر بين الشبكات يسبب انخفاض في الجودة المقدمة).

كما تُعدّ هذه الخوارزمية معيارية وعملية تطويرها ليست من صلب دراستنا المطروحة في هذا البحث

2.6. عملية التسليم من شبكة UMTS إلى شبكة Wi-Fi وفق السيناريو الأول للمحاكاة

- 1- تتحرك العقدة المحمولة ضمن مجال تغطية شبكة UMTS باتجاه الشبكة Wi-Fi وفق السيناريو الأول المقترح .
- 2- تدخل العقدة المحمولة MN مجال تغطية الشبكة Wi-Fi.
- 3- تبدأ العقدة المحمولة باكتشاف وتحسس أطر الإرشاد beacon الخاصة بشبكة Wi-Fi ويتولد الحدث اكتشاف الوصلة Link Detected، وهذا ما يبيّنه الشكل (2-6) المأخوذ من ملف التتبع الناتج عن عملية المحاكاة .

```
At 8.000305 in 5.0.0 MIH Agent received LINK DETECTED trigger.  
At 8.000305 in 5.0.0 Interface Manager received MIH event  
At 8.000305 in 5.0.0 Handover1 link detected  
type 19, MacAddr=5, PoA=4  
The new interface is better...connect  
I launch the connection on the link
```

الشكل (2-6) توليد الحدث اكتشاف الوصلة أثناء التسليم من شبكة UMTS لشبكة Wi-Fi

- 4- يقوم تابع التسليم المستقل عن الوسط MIHF بتحويل هذا الحدث الوارد إليه إلى واجهة التواصل MIH User الموجودة في العقدة المحمولة .
- 5- توجه واجهة التواصل MIH User العقدة المحمولة (واجهة الشبكة Wi-Fi) للاتصال مع نقطة النفاذ AP المتوفرة .
- 6- تبدأ عملية التسليم على مستوى الطبقة الثالثة L3HO ويتولد حدث الاتصال مع الشبكة Link-up-event، ويكون البروتوكول MIPv6 مسؤول عن تحويل الاتصال للشبكة الجديدة والبدء باستقبال الرزم من خلالها وذلك عند الزمن 8.001731 ثانية تقريباً من زمن المحاكاة، كما يبيّنه الشكل (3-6) المأخوذ من ملف التتبع .

```
At 8.001731 in 5.0.0 MIH Agent received LINK UP trigger.  
At 8.001731 in 5.0.0 Interface Manager received MIH event  
At 8.001731 in 5.0.0 Handover1 received link up  
type 19, MacAddr=5, MacPoA=4  
Case2: sending RS
```

الشكل (3-6) توليد حدث الاتصال مع الشبكة أثناء التسليم من شبكة UMTS لشبكة Wi-Fi

- 7- يجري تبادل رسائل حث الموجه Router Solicitation (RS) والإعلان عن الموجه Router Advertisement (RA) بين كل من العقدة المراسلة CN والعقدة المحمولة لتعديل عنوان العقدة المحمولة وفقاً للشبكة الجديدة وإعطائها عنوان مؤقت Care of Address (COA)، يبيّن الشكل (4-6) المأخوذ من ملف التتبع التسليم على مستوى الطبقة الثالثة.

```

At 8.001731 MIPv6 Agent in 5.0.0 requests ND to send RS
At 8.001731 in 3.0.1 ND module send RS
At 8.010860 in 3.0.0 ND module received RS from node 3.0.1
At 8.375112 in 3.0.0 ND module processes RS reply.
At 8.375112 in 3.0.0 ND module send RA
At 8.385272 in 3.0.1 ND module received RA from node 3.0.0
    router-lifetime=1800.000000 s
    prefix valid_lifetime=5 s
    prefix=3.0.0
    advertisement interval=600000 ms
    -> New neighbor
At 8.385272 in 5.0.0 Handover1 received new prefix 3.0.0
    old address: 3.0.1, prefix=3.0.0, new address will be 3.0.1
At 8.385272 in 5.0.0 MIH Agent sending capability discovery request
    The new up interface is better...checking for flows to redirect
Studying flow 0 using interface 0.0.2
    Must redirect flow from interface 0.0.2 to 3.0.1
    The new up interface is better...checking for flows to redirect
Studying flow 0 using interface 3.0.1
    Must redirect flow from interface 3.0.1 to 3.0.1
    The new up interface is better...checking for flows to redirect
Studying flow 0 using interface 3.0.1
At 8.385272 MIPv6 Agent in 5.0.0 send redirect message using interface 3.0.1
At 8.408950 MIPv6 Agent in 1.0.0 received redirect packet from 3.0.1
At 8.429913 MIPv6 Agent in 5.0.0 received ack for redirect packet from 1.0.0

```

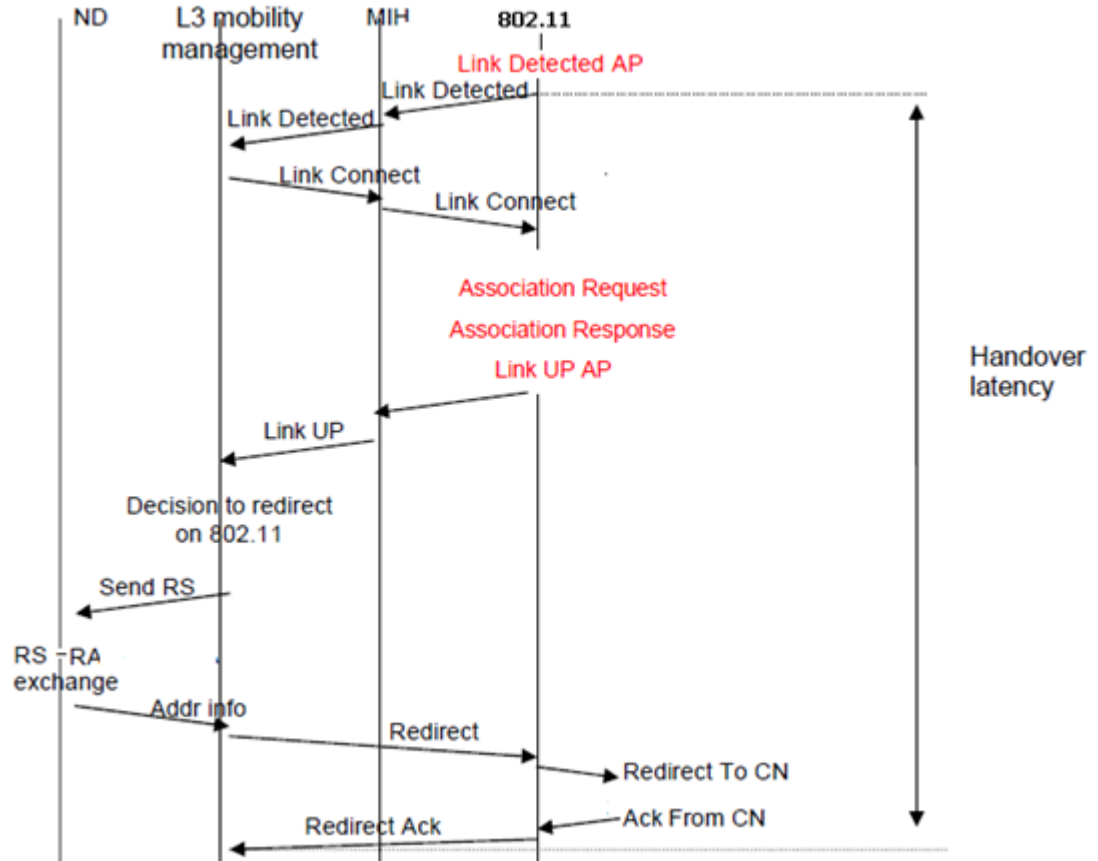
الشكل (4-6) تبادل رسائل RS و RA أثناء عملية التسليم

تُعرّف رسائل الإعلان عن الموجه RA بأنها رسائل تُبث دورياً من قبل نقطة النفاذ AP أو المحطة القاعدية BS لإعلام العقدة المحمولة حول بادئة الشبكة وغيرها. بينما رسائل حث الموجه RS تُبث من قبل العقدة المحمولة عند دخولها منطقة تغطية جديدة لحث موجه النفاذ على إرسال رزمة الإعلان عن الموجه RA.

يجري دورياً تحديد الزمن الفاصل بين رسالتي الإعلان عن الموجه RA اعتماداً على القيمتين : MinRtrAdv Interval (الزمن الأدنى المسموح به بين إرسال إعلانين عن موجه ببث متعدد ومن دون دعوة) و MaxRtrAdv Interval (الزمن الأعلى المسموح به بين إرسال إعلانين عن موجه ببث متعدد ومن دون دعوة). وفي حال تجاوزت هذه القيمة دون أن تصل رسالة الإعلان عن الموجه، يظهر المؤشر أنّ العقدة المحمولة قد دخلت شبكة جديدة، عندها تقوم العقدة المحمولة MN ببث متعدد لرسالة (دعوة الموجه RS) بحثاً عن موجه نفاذ في الشبكة الجديدة. وإذا استلم موجه النفاذ هذه الرسالة فإنه يجيب العقدة المحمولة برسالة الإعلان عن الموجه (RA) والتي تتضمن العنوان الشامل IPv6 لموجه النفاذ.

8- يُحوّل الاتصال عبر الشبكة الجديدة Wi-Fi ويبدأ استقبال الرزم من خلالها.

يبين الشكل (5-6) أهم خطوات عملية التسليم من شبكة UMTS لشبكة Wi-Fi [19].

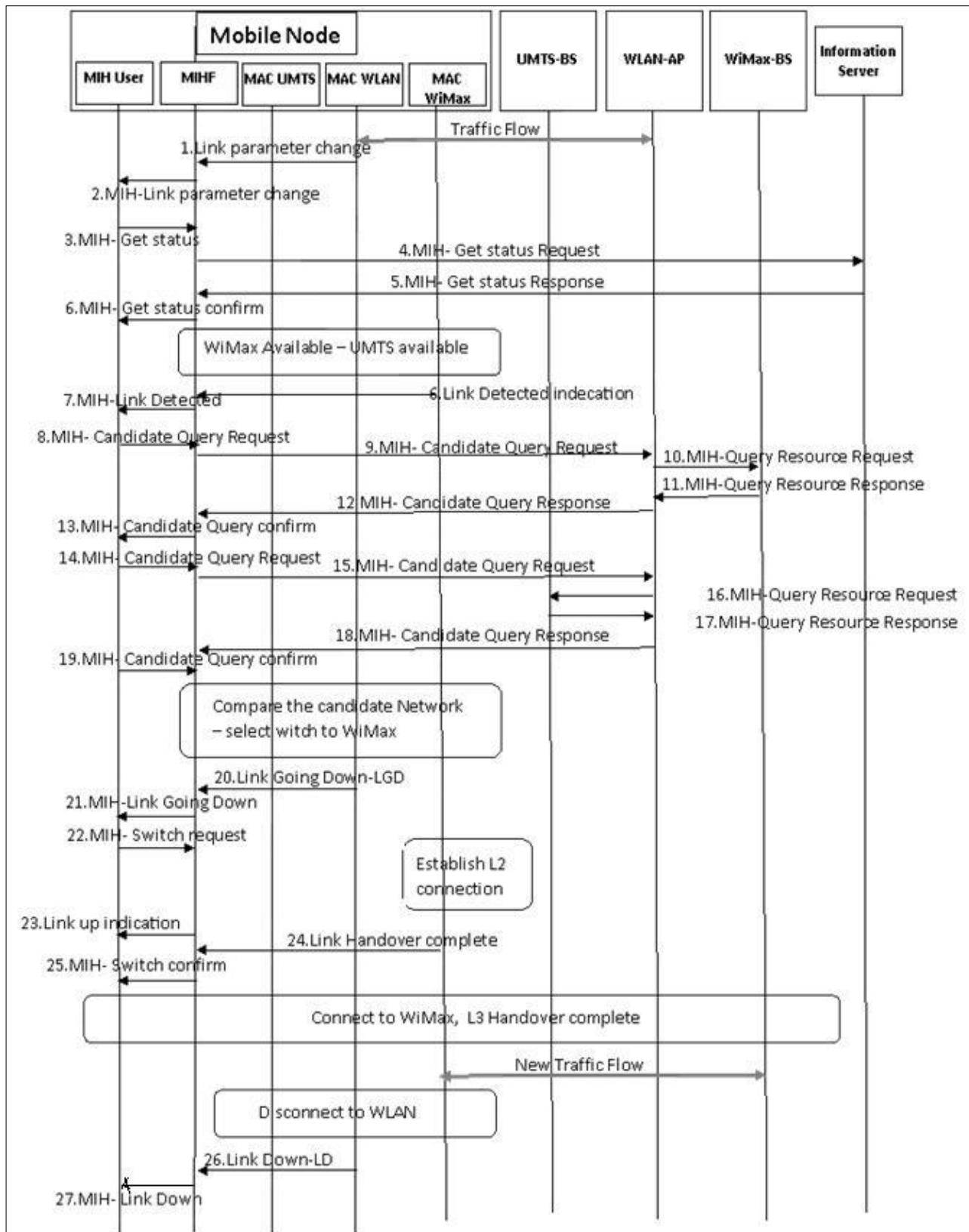


الشكل (5-6) خطوات التسليم من شبكة UMTS لشبكة Wi-Fi [19]

3.6. عملية التسليم من شبكة Wi-Fi إلى شبكة WiMax وفق السيناريو الأول للمحاكاة

يبين الشكل (6-6) أهم خطوات عملية التسليم من شبكة Wi-Fi لشبكة WiMax أثناء حركة العقدة المحمولة بين الشبكات UMTS و Wi-Fi و WiMax، وفق السيناريو الأول المقترح في الدراسة . بمتابعة حركة العقدة المحمولة MN ضمن الشبكة Wi-Fi وعند اقترابها من حدود مجال تغطية الشبكة، تكون الحاجة ملحة للقيام بعملية تسليم الاتصال Handover لإحدى الشبكات المتوفرة بما يحافظ على جودة الخدمة وسلامة الاتصال وفق ما يأتي :

- 1- تستفسر واجهة التواصل MIH user الموجودة في العقدة المحمولة MN من تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF عن حالة جميع الشبكات المحيطة بالعقدة المحمولة وفق الرسالة رقم (3)، ويحوّل الطلب وفق رسالة MIH Get-status-request إلى مخدم المعلومات Information Service .



الشكل (6-6) المخطط التفصيلي لخطوات عملية التسليم من شبكة Wi-Fi لشبكة WiMax

2- يأتي الجواب برسالة MIH Get-status-Response ويُحوّل إلى واجهة التواصل في العقدة المحمولة وفق الرسالة رقم (6) . يبيّن الشكل (6-7) المأخوذ من ملف التتبع الواجهات التابعة للشبكات المتوفرة والمتضمنة في رسالة الرد :

- الأولى تابعة لشبكة UMTS (نوع الوصلة 23) .
- الثانية تابعة لشبكة Wi-Fi المتصلة بها العقدة المحمولة (نوع الوصلة 19) .
- الثالثة خاصة بشبكة WiMax (نوع الوصلة 27) .

```
MIH_Get_Status results for 3 interface(s):
    Link ID: LinkType=23, macMobileTerminal=0, macPoA=-1
    Capabilities are: commands:3, events:3
MIH User subscribing for events 1ff on Mac 0
    Subscription status: requested=1ff, result=3
    Link ID: LinkType=19, macMobileTerminal=5, macPoA=-1
    Capabilities are: commands:f, events:1bf
MIH User subscribing for events 1ff on Mac 5
    Subscription status: requested=1ff, result=1bf
    Link ID: LinkType=27, macMobileTerminal=7, macPoA=-1
    Capabilities are: commands:f, events:1bf
```

الشكل (6-7) الواجهات التابعة للشبكات المتوفرة أثناء عملية المحاكاة

- 3- تتعامل واجهة التواصل MIH user في العقدة المحمولة مع الأحداث من كل الواجهات .
- 4- تطلب واجهة التواصل MIH user في العقدة المحمولة من تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF بعض المعلومات عن الشبكات الجديدة التي جرى اكتشافها (بعد استلام الحدث كشف الوصلة MIH-Link Detected) فيقوم MIHF بتحويل هذ الطلب إلى نقطة النفاذ (AP) المتصلة بها العقدة المحمولة ويجري الاستفسار عن قدرة الشبكات على تأمين الموارد اللازمة وتحقيق جودة الخدمة المطلوبة ممثلاً بالرسائل رقم (9) و(15) MIH-Candidate Query Request .

يبيّن الشكل (6-8) المأخوذ من ملف التتبع الناتج عن المحاكاة الحدث كشف الوصلة .

```
At 15.002314 in 5.0.0 MIH Agent received LINK DETECTED trigger.
At 15.002314 in 5.0.0 Interface Manager received MIH event
At 15.002314 in 5.0.0 Handover1 link detected
type 27, MacAddr=7, PoA=6
```

الشكل (6-8) توليد حدث اكتشاف الوصلة أثناء التسليم من شبكة Wi-Fi لشبكة WiMax

- 5- ترسل الإجابة عن هذه الاستفسارات إلى العقدة المحمولة وفق الرسائل (12) (13) و(18) (19)، وهكذا تحصل على جميع المعلومات اللازمة عن الشبكات المحيطة لاتخاذ قرار التسليم الأنسب .

- 6- تُعلم واجهة التواصل تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF بالوجهة التي سيتم الانتقال لها وفق الرسالة (22) ليُجري البدء بعملية التسليم، بالتالي توجه واجهة التواصل MIH User العقدة المحمولة (واجهة الشبكة WiMax) للاتصال مع المحطة القاعدية BS .
- 7- ينتهي القسم الأول من عملية التسليم أي الانتقال على مستوى الطبقة الثانية L2HO عند وصول الرسالة رقم (25)، ويتم البدء بعملية التسليم على مستوى الطبقة الثالثة L3HO وفق البروتوكول MIPv6 .
- 8- يولد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار Link-Going-Down عندما تصل العقدة المحمولة أثناء سيرها لحدود مجال تغطية شبكة Wi-Fi .
- 9- تتصل العقدة المحمولة (واجهة الشبكة WiMax) بالمحطة القاعدية BS ويتم توليد حدث الاتصال مع الشبكة Link-up-event والذي يستقبل من قبل MIHF في العقدة المحمولة، وهذا ما يبيّنه الشكل (9-6) المأخوذ من ملف التتبع .

```
At 15.030581 in 5.0.0 MIH Agent received LINK UP trigger.
At 15.030581 in 5.0.0 Interface Manager received MIH event
At 15.030581 in 5.0.0 Handover1 received link up
    type 27, MacAddr=7, MacPoA=6
    Case2: sending RS
At 15.030581 MIPv6 Agent in 5.0.0 requests ND to send RS
At 15.030581 in 4.0.1 ND module send RS
At 15.037237 in 4.0.0 ND module received RS from node 4.0.1
At 15.278067 in 4.0.0 ND module processes RS reply.
At 15.278067 in 4.0.0 ND module send RA
At 15.287050 in 4.0.1 ND module received RA from node 4.0.0
    router-lifetime=1800.000000 s
    prefix valid_lifetime=5 s
    prefix=4.0.0
    advertisement interval=600000 ms
    -> New neighbor
At 15.287050 in 5.0.0 Handover1 received new prefix 4.0.0
    old address: 4.0.1, prefix=4.0.0, new address will be 4.0.1
At 15.287050 in 5.0.0 MIH Agent sending capability discovery request
    The new up interface is better...checking for flows to redirect
    Studying flow 0 using interface 3.0.1
    The new up interface is better...checking for flows to redirect
    Studying flow 0 using interface 3.0.1
At 15.396881 in 4.0.0 MIH Agent received capability discovery request
At 15.396881 in 4.0.0 MIH Agent sending capability discovery response
At 15.402784 in 5.0.0 MIH Agent received capability discovery response
At 15.402784 in 5.0.0 Handover1 received MIH_Capability_discover.confirm
    Remote MIHF: Id = 2,
At 15.402784 in 5.0.0 MIH Agent sending registration request
```

الشكل (9-6) توليد حدث الاتصال مع الشبكة WiMax

- 10- يوجه الاتصال في MN من واجهة شبكة Wi-Fi لواجهة شبكة WiMax .

11- يجري توليد الحدث انهيار الوصلة Link-down event من قبل واجهة شبكة Wi-Fi وفق الرسالة رقم (26) غالباً في نفس الوقت الذي تنهي فيه العقدة المحمولة اتصالها مع AP (Wi-Fi) . يبيّن الشكل (10-6) المأخوذ من ملف التتبع كل من الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار وحدث انهيار الوصلة أثناء عملية التسليم .

```
At 17.420427 in 5.0.0 Handover1 received Link going down
probability = 83%
We fake a link down
At 17.420427 in 5.0.0 Handover1 received link down
MacAddr=5
Studying flow 0 using interface 3.0.1
Must redirect this flow to use interface 4.0.1
At 17.420427 MIPv6 Agent in 5.0.0 send redirect message using interface 4.0.1
There are 1 elements in the request
At 17.420427 in 5.0.0 MIH Agent sending link scan.
At 17.444927 MIPv6 Agent in 1.0.0 received redirect packet from 4.0.1
At 17.466739 MIPv6 Agent in 5.0.0 received ack for redirect packet from 1.0.0
```

الشكل (10-6) توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار وحدث انهيار الوصلة

بمتابعة حركة العقدة المحمولة MN ضمن الشبكة WiMax وعند اقترابها من حدود مجال تغطية الشبكة تضعف قوة الإشارة المستقبلية، وتصبح الحاجة ملحة للقيام بعملية تسليم نحو شبكة أخرى متوفرة بما يضمن عدم انقطاع الاتصال وجودة الخدمة . ينشأ الحدث Link Down وتكون الشبكة الوحيدة المتوفرة هي شبكة UMTS ويجري الاتصال معها . من أهم المعاملات التي درست خلال عملية المحاكاة هي معدل التدفق، وفقد الرزم ، وتأخير التسليم .

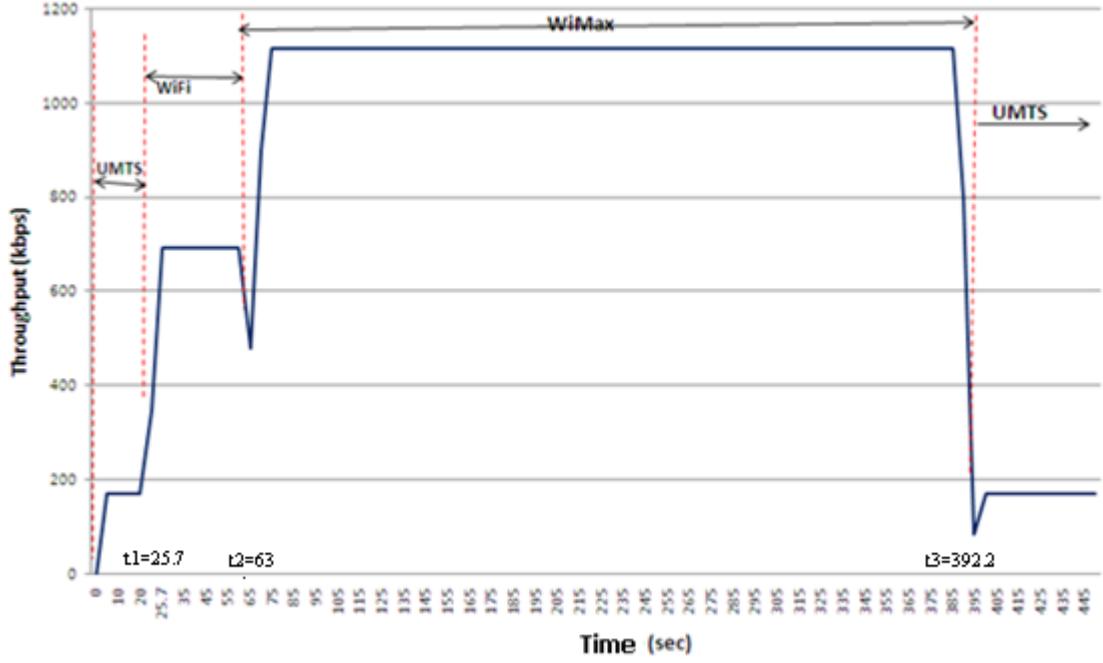
4.6. معدل التدفق Throughput

وهو مقياس لمعدل نقل المعطيات بوحدة الزمن وفق العلاقة (6-1) .

$$\text{Throughput} = (\text{Received size of data} / (\text{End_time} - \text{Start_time})) \quad (6.1)$$

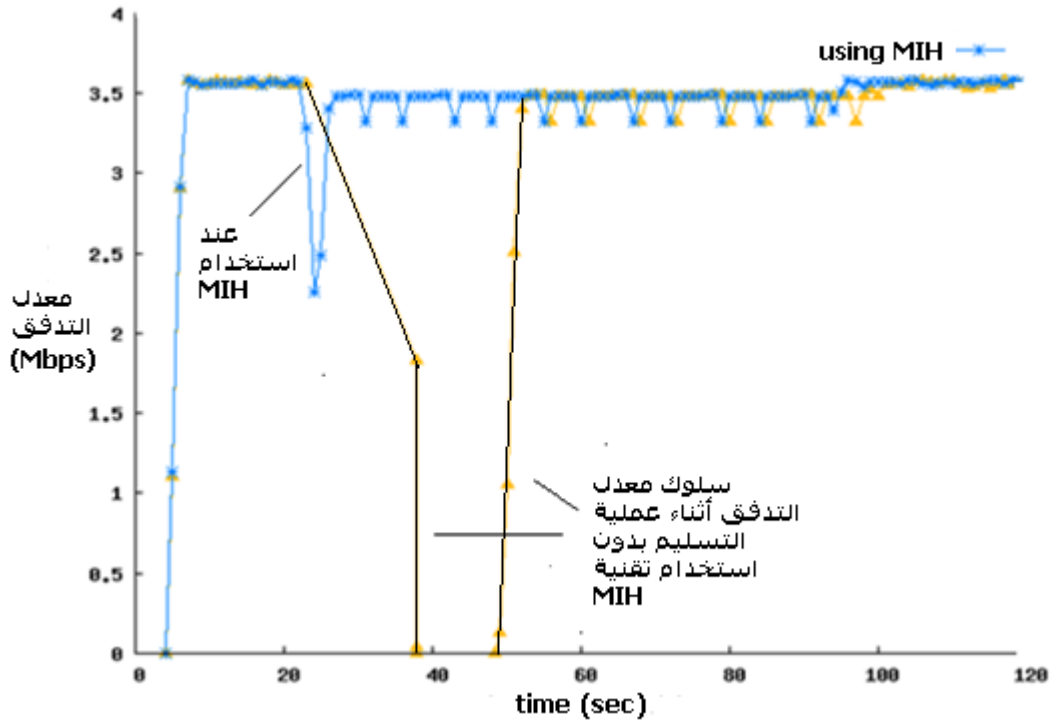
يُبيّن الشكل (11-6) نتائج عملية المحاكاة لمعدل تدفق المعطيات أثناء حركة العقدة المحمولة وفق سيناريو المحاكاة الأول، حيث تقوم العقدة بثلاث عمليات تسليم شاقولي خلال انتقالها بين الشبكات UMTS و Wi-Fi و WiMax، كما يبيّن وجود معدل تدفق جيد VHO مع انخفاض بنسبة حوالي (30 - 40) بالمائة أثناء فترة التسليم .

زمنياً يمكن تقسيم المخطط البياني إلى أربع فترات : الفترة الأولى تمثل اتصال العقدة المحمولة بالشبكة UMTS بمعدل تدفق يصل لقيمة 172.214 kbps تقريباً، يتم في الفترة الثانية مرور العقدة المحمولة عبر الشبكة Wi-Fi وبمعدل تدفق مستقر حوالي 693.504 kbps، تبدأ الفترة الثالثة بانتقال العقدة إلى الشبكة WiMax بمعدل تدفق أعلى 1116.67 kbps، ثم تعود لتتصل بشبكة UMTS بمعدل تدفق 172.214 kbps .



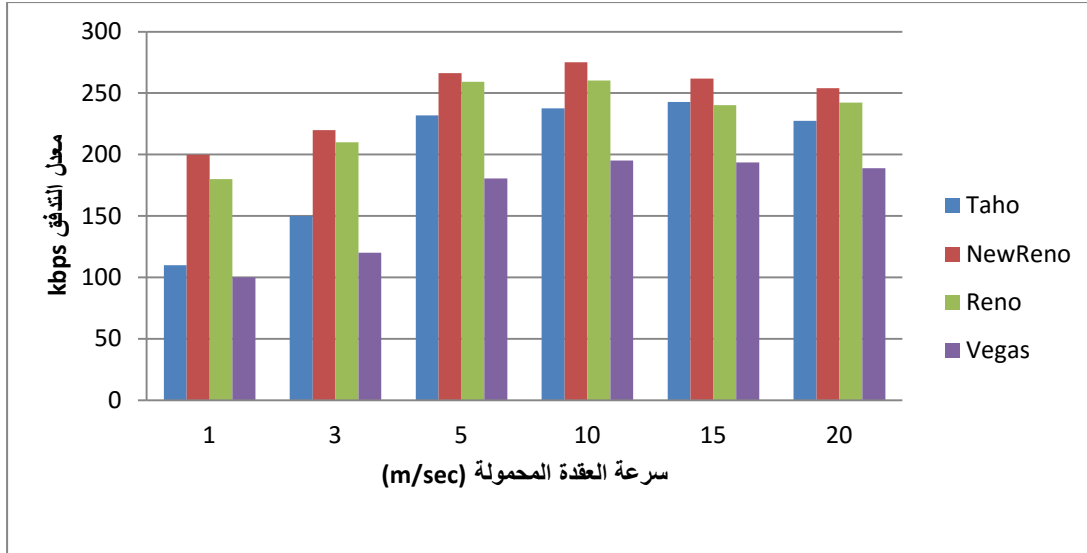
الشكل (11-6) معدل التدفق أثناء عملية التسليم وفق السيناريو الأول

بينما يبيّن الشكل (12-6) وفقاً للمرجع [45] مقارنة بين معدل التدفق في كلا الحالتين : حالة استخدام التسليم المستقل عن الوسط MIH أثناء عملية التسليم وحالة عدم استخدامه، حيث نلاحظ الانخفاض الكبير في معدل تدفق المعطيات أثناء عملية التسليم عند عدم استخدام التقنية MIH، إضافة إلى التأخير الزمني الكبير الناتج عن عملية التسليم handover latency حيث يزداد الزمن اللازم لإتمام عملية التسليم ويستغرق حوالي 9 ثواني (تبدأ عملية التسليم عند اللحظة 38 ثانية وتستمر لحوالي 47 ثانية لإتمامها)، وهو وقت كبير جداً، وهذا ما يسبب ضياع كبير في المعطيات ومن ثمّ انخفاضاً واضحاً في أداء عملية التسليم وعدم تحقيق استمرارية للخدمة مقارنةً بما هو عليه الحال عند استخدام التقنية MIH، حيث نلاحظ أنه لا يحدث هبوط كبير بمعدل تدفق المعطيات ولا تصل قيمته إلى الصفر أثناء عملية التسليم إنما تعاني من انخفاض صغير بقيمة معدل التدفق (من حوالي 3.5 Mbps لقيمة 2.3 Mbps) وذلك لفترة قصيرة من الزمن (1.75 ثواني) ثم يعود معدل التدفق للاستقرار بعد إتمام عملية التسليم، مما يعني فقد رزم أقل وتأخير زمني أقل أثناء القيام بعملية التسليم .



الشكل (12-6) مقارنة معدل التدفق أثناء عملية التسليم [45]

الآن لندرس أداء عملية التسليم بوجود خوارزميات التحكم بالازدحام . يبين الشكل (13-6) معدل التدفق لكل من خوارزميات التحكم بالازدحام وتأثره بسرعة العقدة المحمولة المتغيرة من 1m/s لـ 20 m/s . نلاحظ أن أداء خوارزمية رينو الجديدة TCP NewReno هو الأفضل وذلك لتحقيقها معدل النقل الأعلى لقدرتها على الاكتشاف المبكر لفقد الرزم أثناء التسليم، وتحقق معدل تدفق أكبر بحوالي 40% من خوارزمية فيغاس TCP Vegas التي ينخفض أداؤها أثناء عمليات التسليم وتحقق معدل نقل منخفض نتيجة لاعتمادها على الطريقة التنبؤية لحدوث الازدحام والتي تفشل أثناء التسليم . كما يوضح الشكل (13-6) أن معدل التدفق يبقى ثابت تقريباً مع تغير سرعة العقد ضمن المجال من 5m/sec حتى 20m/sec لكل من الخوارزميات المدروسة .



الشكل (6-13) علاقة معدل التدفق لخوارزميات التحكم بالازدحام مع سرعة العقدة المحملة

5.6. فقد الرزم Packet Loss

يُعرف فقد الرزم Packet loss بأنه عدد الرزم التي أرسلت ولم تصل إلى المستقبل وفق العلاقة :

$$\text{Packet loss num} = \text{Number of sent packets} - \text{Number of received packets}$$

يزداد معدل فقد الرزم خلال عملية التسليم، وكون البروتوكول TCP يدعم نقل المعطيات الموثوق، فإن أغلب الفقد يكون أثناء عمليات التسليم .

في نموذجنا المقترح تبين أنه عند الزمن $t = 8.2 \text{ sec}$ تقريباً تجري عملية التسليم VHO1 (التسليم من شبكة UMTS إلى شبكة Wi-Fi) ويصل الفقد لحوالي 4 رزم حيث الشبكة Wi-Fi ضمن حدود تغطية الشبكة UMTS بالتالي لا يوجد فقد للإشارة ولا يوجد فقد كبير للمعطيات رغم الاختلاف الكبير في خصائص الشبكتين . بينما تحدث عملية التسليم الثانية VHO2 (التسليم من شبكة Wi-Fi إلى الشبكة WiMax) تقريباً في الفترة الزمنية 17.4 sec ، ويصل الفقد لحوالي 15 رزمة، حيث ينخفض أداء بروتوكول TCP عند التسليم عبر الوصلة الصاعدة إضافة لخصائص الشبكتين المختلفتين وحصول فقد للإشارة .

نشير أنه من المفضل حساب نسبة فقد الرزم، وليس عددها فقط واعتماد النسبة كمؤشر لحدوث الازدحام ضمن الحد المعياري المسموح به لنسبة الفقد . لكن الهدف هنا فقط مقارنة عمليات التسليم بين الشبكات من حيث الفقد .

يبين الشكل (6-14) المأخوذ من ملف التتبع بعض الأزمنة التي حصل فيها الفقد والتي تكون غالباً أثناء فترة التسليم .

d -t 17.437450518 -Hs 7 -Hd 12582913 -Ni 7 -Nx 524.37 -Ny 500.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -NL MAC -Nw NCO -Ma d4 -Md 5 -
Ms 4 -Mt 800 -Is 4194304.0 -Id 12582913.0 -It tcp -Il 1340 -If 0 -Ii 170 -Iv 29 -Pn tcp -Ps 75 -Pa 0 -Pf 0 -Po 0
d -t 17.437666536 -Hs 6 -Hd 12582913 -Ni 6 -Nx 475.00 -Ny 500.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -NL RTR -Nw CBK -Ma d4 -Md 5 -
Ms 4 -Mt 800 -Is 4194304.0 -Id 12582913.0 -It tcp -Il 1280 -If 0 -Ii 170 -Iv 29 -Pn tcp -Ps 75 -Pa 0 -Pf 0 -Po 0
d -t 17.437666536 -Hs 6 -Hd 12582913 -Ni 6 -Nx 475.00 -Ny 500.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -NL MAC -Nw RET -Ma d4 -Md 5 -
Ms 4 -Mt 800 -Is 4194304.0 -Id 12582913.0 -It tcp -Il 1280 -If 0 -Ii 170 -Iv 29 -Pn tcp -Ps 75 -Pa 0 -Pf 0 -Po 0

الشكل (14-6) فقد الرزم أثناء عملية التسليم

عند الزمن $t = 115 \text{ sec}$ يبدأ التسليم VHO3 (التسليم من شبكة WiMax إلى الشبكة UMTS) ويصل الفقد لحوالي 9 رزم .

يبين الجدول (1-6) فقد الرزم أثناء عمليات التسليم وفق السيناريو الأول المقترح للمحاكاة .

الجدول (1-6) فقد الرزم أثناء عمليات التسليم وفق السيناريو الأول للمحاكاة

Handover direction	UMTS -> Wi-Fi	Wi-Fi -> WiMax	WiMax -> UMTS
Packet-lost	4	13	9

وفق السيناريو الثاني المقترح للمحاكاة، وعند دراسة عملية التسليم من شبكة Wi-Fi إلى شبكة WiMax نجد أن فقد الرزم يصل لحوالي 15 رزمة وهو أكبر مما هو عليه أثناء عند التسليم بالاتجاه المقابل وحركة العقدة المحمولة من شبكة WiMax إلى شبكة Wi-Fi حيث يصل فقد الرزم لحوالي 5 رزم .

يبين الجدول (2-6) فقد الرزم أثناء عمليات التسليم وفق السيناريو الثاني المقترح للمحاكاة .

الجدول (2-6) فقد الرزم أثناء عمليات التسليم وفق السيناريو الثاني للمحاكاة

Handover direction	UMTS -> WiMax	WiMax -> Wi-Fi	Wi-Fi -> WiMax	WiMax -> UMTS
Packet-lost	3	5	15	9

نفسر ذلك بأن شبكة Wi-Fi لا تدعم التحركية mobility والسرعات العالية بصورة جيدة مقارنة بشبكة WiMax IEEE 802.16e، إضافة إلى أن قدرة الشبكة WiMax أكبر على تجميع المعطيات لديها (بعملية التخزين buffering قبل نقلها إلى الشبكة Wi-Fi) من قدرة الشبكة Wi-Fi. يُعدّ توقيت الحدث LGD مهم جداً في عملية التسليم كونه يفيد في التنبؤ بقرب مغادرة العقدة المحمولة للمنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً، وذلك لتجنب حدوث انقطاع كبير في الخدمة وبالتالي يساهم في التقليل من فقد الرزم أثناء عمليات التسليم .

بهدف تحقيق عملية المحاكاة تم تقسيم المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً اعتماداً على ثلاث عتبات كما ذكرنا في الفصل الخامس، كما يلي :

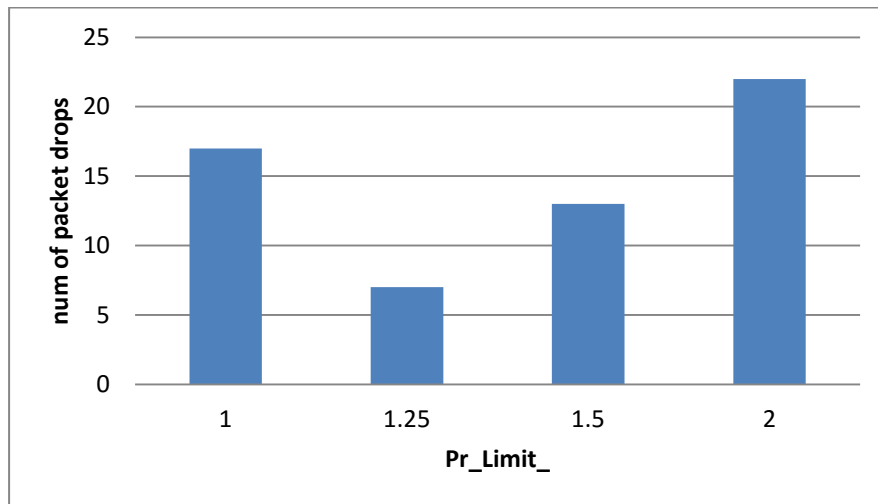
- عتبة تحسس الحامل (CSThresh_) .
- عتبة حساسية المستقبل (RxThresh_) .
- عتبة الاستطاعة الدنيا: تحدد بالعلاقة $(Pr_limit_)* (RX\ Thresh_)$.

تُعدّ قيمة المعامل $Pr_limit_$ مهمة جداً للحصول على زمن تسليم أصغري وفقد أقل . يبيّن الشكل (15-6) معدل فقد الرزم أثناء عملية التسليم بتغيير قيمة هذا المعامل وفق ما يلي:

- عندما تكون قيمة المعامل $(Pr_limit_ = 1)$ فإننا نحصل على الحدث انهيار الوصلة LD فوراً دون الحدث توجه للوصلة نحو الانهيار، مما يسبب الكثير من الفقد كون العقدة المحمولة MN ستفقد الاتصال بنقطة النفاذ الحالية دون أن يتسنى لها الوقت الكافي للبحث عن نقاط النفاذ الجديدة .

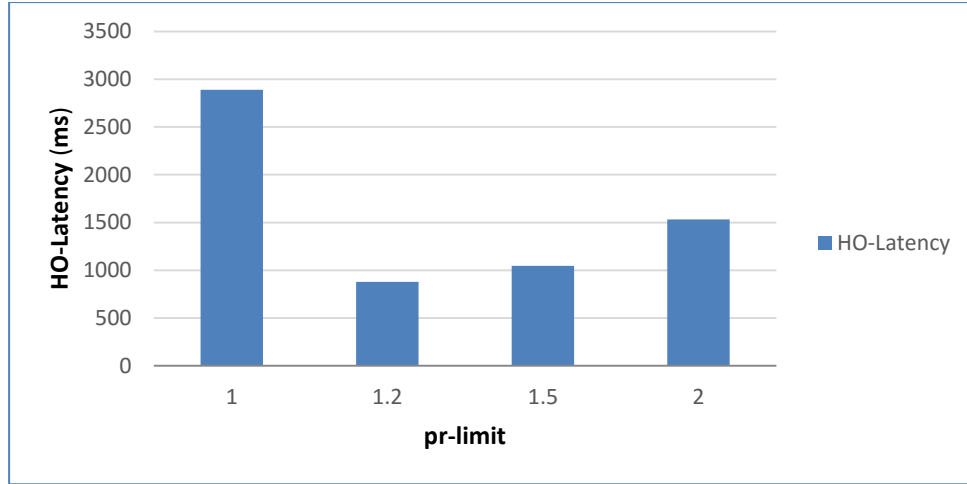
- عند إعطاء هذا المعامل قيمة كبيرة نسبياً $(Pr_limit_ = 2)$ لضمان إرسال الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار مبكراً إلى الطبقات العليا، فإن ذلك سيؤدي إلى عمليات تسليم مبكرة وغير ضرورية وزيادة كبيرة في فقد الرزم .

مما سبق نجد أنه يجب أن تتحدد القيمة للمعامل $Pr_limit_$ بين 1 و 2 للحصول على مقدار مقبول من الفقد، وقد تم في بحثنا اعتماد القيمة (1.25) لحصولنا على أقل عدد من الفقد عند هذه القيمة.



الشكل (15-6) فقد الرزم بدلالة المعامل $Pr_limit_$

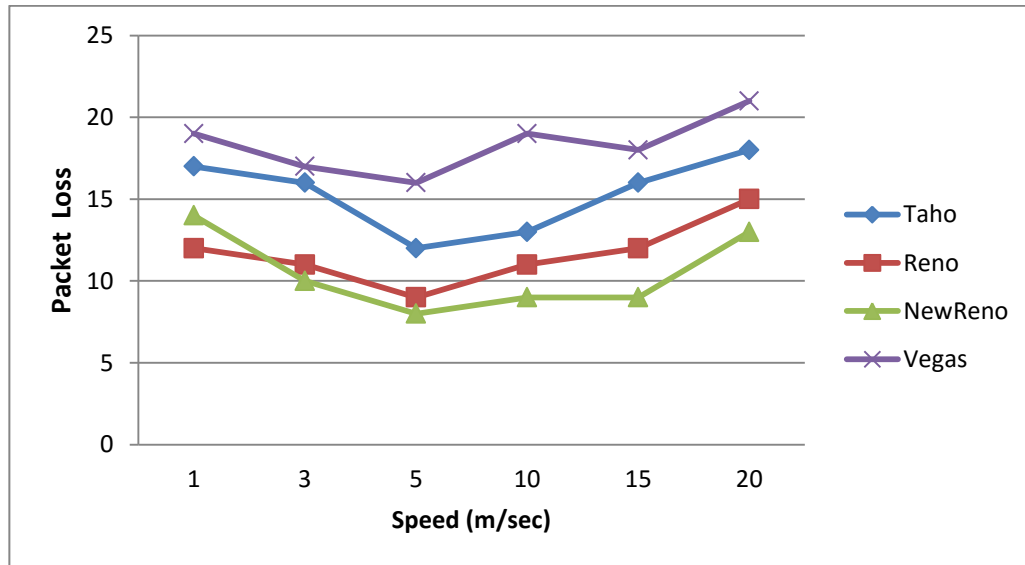
يبيّن الشكل (16-6) الزمن اللازم لإتمام عملية التسليم Ho-Latency عند قيم مختلفة للمعامل $Pr_limit_$ ، نلاحظ أنه نحصل على زمن تسليم أصغري عندما $Pr_limit_ = 1.25$.



الشكل (6-16) تأخير التسليم بدلالة المعامل Pr_limit

عند الأخذ بالحسبان تحرك العقدة المحمولة بسرعة متفاوتة بين 1m/s و 20m/s فإن عدد الرزم المفقودة عند استخدام خوارزمية فيغاس TCP Vegas أكبر منه عند استخدام باقي الخوارزميات، كما هو مبين في الشكل (6-17). حيث تزايد قيمة الضياعات بزيادة السرعة وتعاني من انخفاض كبير في الأداء وفقد في المعطيات عند التسليم بشكل عام وخصوصاً عند السرعات نظراً لاعتمادها الخاصة التنبؤية لاكتشاف الازدحام.

بينما تحقق خوارزمية رينو الجديدة TCP NewReno فقد بعدد أقل، وتحقق الأداء الأفضل عند السرعات العالية، لقدرتها على الاكتشاف المبكر لحالات الفقد ومعالجتها. يتشابه أداء خوارزمية رينو TCP Reno معها كون سلوكهما متشابه إلا في حال حدوث عدد كبير من الفقد. تُعدّ خوارزمية تاهو Tahoe غير جيدة في السرعات العالية تحتاج لزمان كبير لاكتشاف فقد الرزمة.



الشكل (6-17) فقد الرزم بتغير سرعة العقدة المحمولة

6.6. تأخير التسليم Handover Latency :

يُعرّف تأخير التسليم بأنه الفترة الزمنية من لحظة بدء عملية التسليم وحتى انتهائها . وتأخير التسليم بمفهوم MIH هو الفترة الزمنية من أول حدث توجه وصلة نحو الانهيار LGD يُولد حتى نهاية التسليم، يقسم هذا التأخير الزمني إلى التأخير الزمني الناتج عن الطبقتين L2 و L3 وفق العلاقة [18] (6.3)

$$\text{HO Latency} = \text{L2 HO delay} + \text{L3 HO delay} \quad (6.3)$$

- التأخير الزمني (L2 HO delay) : ناتج عن عملية المسح للشبكة الجديدة وإجرائية الدخول إلى هذه الشبكة .

- التأخير الزمني (L3 HO delay) : ناتج عن مرحلة اكتشاف موجه النفاذ الجديد (New access router discovery) ومرحلة تحديث بيانات الموجه .

1.6.6. تأخير التسليم الناتج عن عمليات التسليم وفق السيناريو الأول

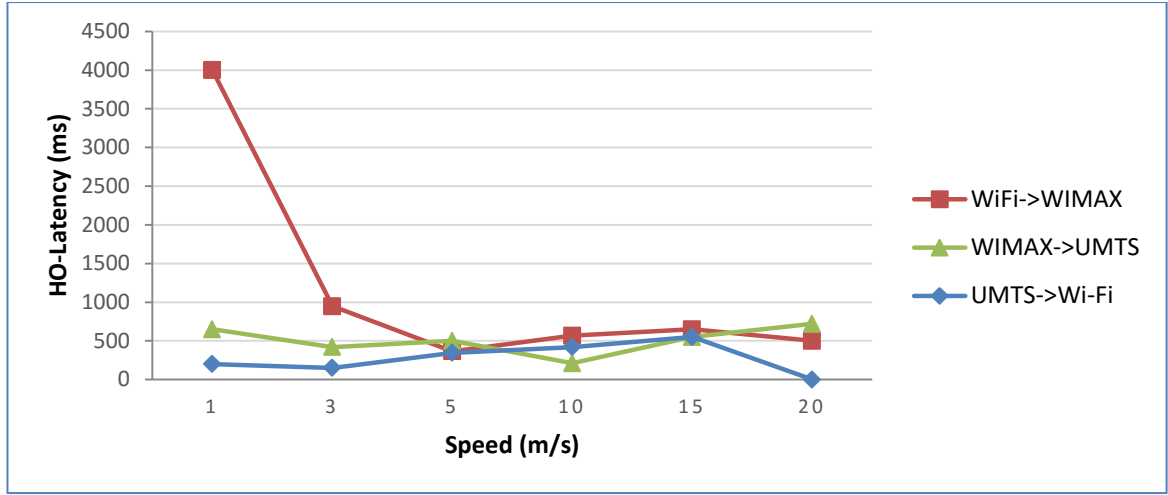
وفق السيناريو الأول المقترح للمحاكاة تقوم العقدة المحمولة MN بثلاث عمليات تسليم، عملية التسليم الأولى من الشبكة UMTS إلى الشبكة Wi-Fi، وعملية التسليم الثانية من الشبكة Wi-Fi إلى الشبكة WiMax، والثالثة من شبكة WiMax لشبكة UMTS .

تبدأ عملية التسليم الأولى عند توجه العقدة المحمولة من الشبكة UMTS إلى الشبكة Wi-Fi في الزمن $t = 8.012 \text{ sec}$ ، لا يتولد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD حيث لا يتم فقد للإشارة، وتنتهي عند الزمن $t = 8.429 \text{ sec}$ بتوجيه الاتصال عبر الشبكة Wi-Fi وتبادل الرزم من خلالها، بالتالي يصل التأخير الزمني الناتج عن عملية التسليم لحوالي 0.408 ثانية .

أثناء عملية التسليم الثانية من الشبكة Wi-Fi إلى الشبكة WiMax يجري توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD في اللحظة $t = 17.42 \text{ sec}$ ويجري إرساله مباشرة إلى واجهة التواصل MIH User . قيمة التأخير الزمني الناتج عن عملية التسليم الثانية تساوي 0.567 ثانية .

تبدأ عملية التسليم الثالثة عند وصول العقدة المحمولة لأطراف مجال التغطية في شبكة WiMax عند الزمن $t = 115.3 \text{ sec}$ تقريباً وتصل قيمة تأخير التسليم لحوالي 0.210 ثانية .

يبين الشكل (6-18) قيمة التأخير الزمني الناتج عن عملية التسليم وعلاقته بسرعة العقدة المحمولة، تتحرك العقدة المحمولة وفق السيناريو الأول المقترح للمحاكاة بسرعة تتفاوت بين 1m/s و 20m/s



الشكل (18-6) علاقة تأخير التسليم بسرعة العقدة المحمولة أثناء التسليم وفق السيناريو الأول

أثناء حركة العقدة المحمولة بسرعة عالية 20 m/s متجهة من شبكة UMTS نحو شبكة Wi-Fi ونظراً لكون مجال التغطية لشبكة Wi-Fi صغير (نصف قطر مجال التغطية 50m) لا تحدث أي عملية التسليم نحو الشبكة Wi-Fi ولا يجري أي تبادل للمعطيات معها، وهذا ما يفسر قيمة تأخير التسليم المساوية للصفر في هذه الحالة، وهذا ما يبيّنه الشكل (18-6).

عند السرعات المنخفضة (أقل من 3 m/s) تكون قيمة التأخير الزمني اللازم لإتمام عملية التسليم كبيرة، نتيجة الزمن الذي تستغرقه العقدة المحمولة للحركة ضمن مجال تغطية الشبكة.

تزداد قيمة التأخير الزمني اللازم لإتمام عملية التسليم Ho-Latency عند حركة العقدة المحمولة بسرعة تتفاوت بين 5m/s إلى 20 m/s، حيث تبدأ عملية التسليم باكراً مما يسبب مزيد من التأخير والعديد من الفقد في المعطيات.

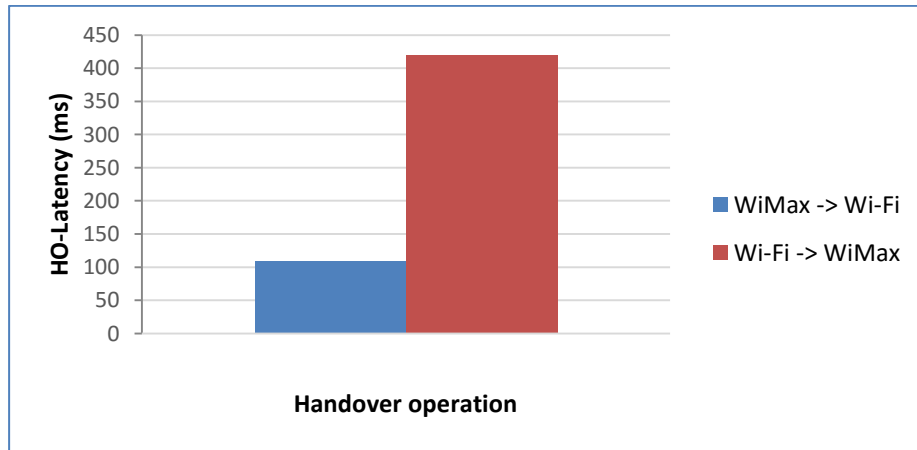
2.6.6. تأخير التسليم الناتج عن عمليات التسليم وفق السيناريو الثاني :

تبلغ قيمة التأخير الزمني الناتج عن التسليم وفق السيناريو الثاني المقترح للمحاكاة عند توجه العقدة المحمولة من شبكة WiMax إلى شبكة Wi-Fi، حيث تتوضع الشبكة Wi-Fi بشكل كامل ضمن مجال تغطية الشبكة WiMax قرابة 0.110 ثانية، كما هو مبين في الجدول (3-6).

الجدول (3-6) التأخير الزمني الناتج عن عملية التسليم وفق السيناريو الثاني

Handover direction	UMTS -> WiMax	WiMax -> Wi-Fi	Wi-Fi -> WiMax	WiMax -> UMTS
HO_Latency(s)	0.435	0.110	0.543	0.102

بينما نجد أن قيمة تأخير التسليم من شبكة Wi-Fi إلى شبكة WiMax تصل لحوالي 0.543 ثانية وهي أكبر بكثير من قيمة تأخير التسليم من شبكة WiMax لشبكة Wi-Fi كما يبيّنه الشكل (6-19). يُفسّر ذلك أن العقدة المحمولة - العابرة للشبكة Wi-Fi - تبقى ضمن حدود تغطية WiMax في السيناريو الثاني (حيث لا يوجد فقد للإشارة ولا توليد للحدث LGD)، لذا تستهلك العقدة المحمولة زمناً أقل لإنجاز عملية التسليم باتجاه الشبكة Wi-Fi .



الشكل (6-19) تأخير التسليم بين الشبكتين Wi-Fi و WiMax وفق السيناريو الثاني

تظهر المنحنيات البيانية الموضّحة في الشكل (6-20) العلاقة بين سرعة العقدة المحمولة وتأخير التسليم وفق السيناريو الثاني المقترح للمحاكاة عند حركة العقدة المحمولة بين الشبكة Wi-Fi والشبكة WiMax بسرعة تتفاوت بين 1m/s و 20m/s .

يوجد تناسب طردي بين سرعة العقدة المحمولة وزمن تأخير التسليم عند السرعات الأعلى من 5 m/s، بزيادة السرعة تبدأ عملية التسليم باكراً مما يسبب مزيداً من التأخير والعديد من الفقد في المعطيات .

بينما عند السرعات المنخفضة ما بين 1 m/s و 3 m/s تزداد قيمة تأخير التسليم نتيجة الزمن الذي تستغرقه العقدة المحمولة لعبور مجال تغطية الشبكة . وهذا تأكيد لنفس النتيجة المستخلصة من السيناريو الأول .



الشكل (20-6) العلاقة بين سرعة العقدة المحمولة وتأخير التسليم بين الشبكتين Wi-Fi و WiMax وفق السيناريو الثاني

مناقشة بعض خيارات التسليم وفق السيناريو الثاني

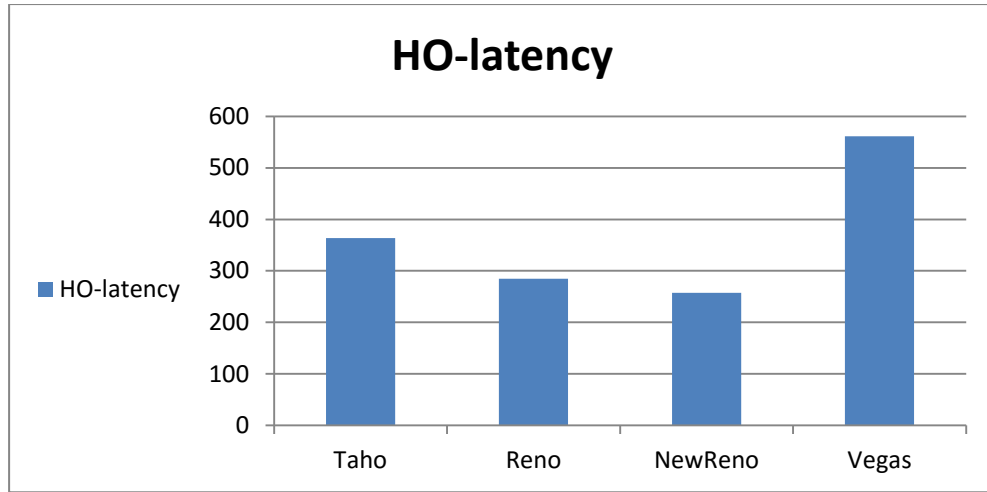
- نتيجة وجود العقدة المحمولة ضمن نطاق تغطية الشبكة Wi-Fi وفق السيناريو الثاني، فإن اتخاذ قرار التسليم نحو أحد الشبكات المتوفرة أو استمرار الاتصال بنفس الشبكة، قد يتم وفقاً لقوة الإشارة المستقبلية إضافة لمعاملات جودة الخدمة، والفوترة .
- عند الأخذ بعين الاعتبار معامل فقد المعطيات أو دعم السرعة : من المفضل ألا تتم أي عملية تسليم أو اتصال مع شبكة Wi-Fi لتجنب حدوث عدد كبير من الضياعات، إضافة لعدم دعمها السرعات العالية .
- من وجهة نظر الفوترة : من المفضل أن تتصل العقدة المحمولة مع شبكة Wi-Fi في حال تحقيقها لمتطلبات التطبيق (جودة الخدمة) .

يبين الجدول (4-6) مقارنة بين السيناريو الأول والسيناريو الثاني المقترح للدراسة، من حيث أهم الفروقات ونقاط الاختلاف بين السيناريوهين، بما يخص التوزيع الجغرافي للشبكات المدروسة، عدد عمليات التسليم، والديناميكية في عمليات التسليم .

الجدول (4-6) مقارنة بين السيناريو الأول والسيناريو الثاني

الفروقات	السيناريو الأول	السيناريو الثاني
التوزيع الجغرافي للشبكات	يوجد تداخل صغير بين منطقة تغطية شبكة Wi-Fi ومنطقة تغطية شبكة WiMax	تقع شبكة Wi-Fi بالكامل ضمن نطاق تغطية شبكة WiMax المحتواة ضمن نطاق تغطية شبكة UMTS
عدد عمليات التسليم	ثلاث عمليات تسليم مطلوبة ولازمة لتحقيق استمرارية الخدمة	أربع عمليات تسليم لازمة لاستمرارية الخدمة
عمليات التسليم بين شبكة Wi-Fi وشبكة WiMax	عملية تسليم واحدة من شبكة Wi-Fi لشبكة WiMax	عملية تسليم من شبكة Wi-Fi لشبكة WiMax . عملية تسليم من شبكة WiMax لشبكة Wi-Fi
الديناميكية في عمليات التسليم	تتم عمليات التسليم وفق سيناريو حركة العقدة المحمولة عندما تكون الحاجة ملحة لحصول عملية تسليم نتيجة الاقتراب من حدود تغطية الشبكات واحتمال انقطاع الخدمة مثل التسليم من شبكة Wi-Fi لشبكة WiMax	عندما تكون العقدة المحمولة ضمن Wi-Fi يحقق عملية التسليم ضمن وجود عدد من الخيارات المطروحة لاختيار الشبكة الأفضل وفق خوارزمية اتخاذ القرار المتبعة بما يحقق استمرارية الخدمة .

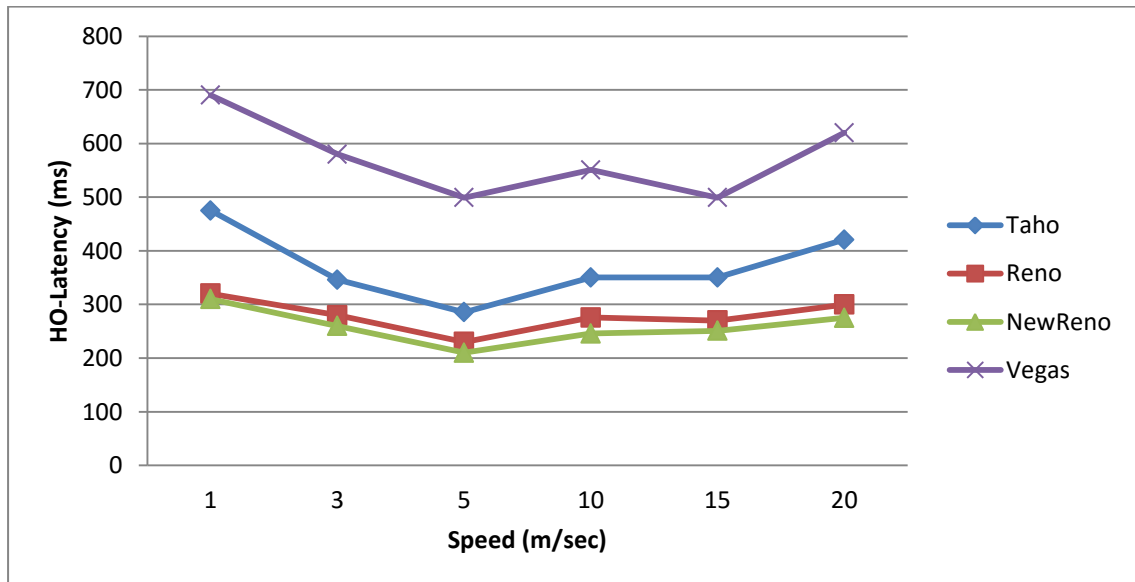
يُظهر الشكل (6-21) زمن التأخير الكبير الذي تستغرقه خوارزمية Vegas لإتمام عملية التسليم لاعتمادها بشكل أساسي في سلوكها على قيمة RTT المتغيرة عند التسليم خلافاً لبقية الخوارزميات مما يدل على سوء الأداء، وعدم استمرارية جودة الخدمة بالمقارنة مع خوارزمية TCP New Reno التي تحقق أقل قيمة لزمن التأخير مما يحقق أداء جيد وفقد أقل للمعطيات، حيث تسمح بالعديد من عمليات إعادة الإرسال للزمن الضائعة . تحافظ خوارزمية TCP Reno على أداء مشابه لخوارزمية TCP New Reno لعدم وجود عدد كبير من الفقد ضمن منظومة الشبكة المقترحة، بينما تُظهر خوارزمية Tahoe أداء جيد بتأخير زمني متوسط لإتمام عملية التسليم .



الشكل (21-6) زمن التأخير الناتج عن عمليات التسليم في خوارزميات التحكم بالازدحام

كما يبيّن الشكل (22-6) أن خوارزمية TCP Vegas تعاني من زمن تأخير كبير عند حدوث عملية التسليم ويزداد هذا الزمن بزيادة السرعة، بينما تحافظ خوارزميتي TCP Reno و TCP New Reno على نفس السلوك وبأداء أفضل من باقي الخوارزميات .

عند السرعات المنخفضة أقل من 5m/sec، يزداد تأخير التسليم بشكل واضح كما هو مبين في الشكل الآتي وذلك نتيجة الوقت الكبير الذي تستغرقه العقدة المحمولة عند الحركة في مجال تغطية الشبكات نتيجة بطء السرعة .



الشكل (22-6) العلاقة بين السرعة والتأخير الزمني الناتج عن التسليم في خوارزميات التحكم بالازدحام

7.6. التأخير الزمني نهاية لنهاية : End to End Delay

يُعرّف التأخير الزمني نهاية لنهاية End to End Delay بأنه الزمن الذي تستغرقه الرزمة من لحظة إرسالها من جهة المرسل، إلى لحظة وصولها إلى جهة المستقبل .

يبيّن الجدول (5-6) التأخير الزمني اللازم أثناء عمليات التسليم وفق السيناريو الأول للمحاكاة .

الجدول (5-6) التأخير الزمني أثناء عمليات التسليم وفق السيناريو الأول للمحاكاة

Handover direction	UMTS -> Wi-Fi	Wi-Fi -> WiMax	WiMax -> UMTS
End to End Delay (ms)	0.720	0.840	0.283

نلاحظ أن التأخير الزمني عند التسليم بين شبكة UMTS وشبكة WiMax أقل من قيمة التأخير الزمني عند حركة العقدة المحمولة عند التسليم من أو إلى شبكة Wi-Fi، يُفسر ذلك بانخفاض أداء شبكة Wi-Fi بالمقارنة مع شبكة WiMax وشبكة UMTS، إضافةً إلى اختلاف خصائصها بما يتعلق بدعم الحركة والسرعات العالية .

8.6. مقارنة بين أداء خوارزميات التحكم بالازدحام

يبيّن الجدول (6-6) مقارنة بين أداء خوارزميات التحكم بالازدحام المختلفة أثناء عمليات التسليم وفق السيناريوهات المدروسة .

الجدول (6-6) مقارنة بين أداء خوارزميات التحكم بالازدحام

خوارزمية التحكم بالازدحام	دعم السرعات	معدل التدفق	فقد المعطيات	تأخير التسليم
TCP Tahoe	أداء جيد في السرعات المنخفضة	معدل تدفق متوسط	عدد كبير من الضياعات (بطء في اكتشافها في حال حدوثها)	تأخير زمني متوسط
TCP New Reno	مفضلة في السرعات العالية	تحقق معدل تدفق مرتفع	فقد قليل للمعطيات	تأخير زمني مقبول

خوارزمية التحكم بالازدحام	دعم السرعات	معدل التدفق	فقد المعطيات	تأخير التسليم
TCP Reno	أداء جيد في السرعات العالية	تحقق معدل تدفق مرتفع	فقد قليل للمعطيات ، ينخفض الأداء عند حدوث عدد كبير من الفقد	يزداد تأخير التسليم في حال وجود ضياعات
TCP Vegas	تفشل في السرعات المرتفعة أثناء التسليم، تُستخدم في السرعات المنخفضة	معدل تدفق منخفض بسبب فشلها أثناء التسليم	فقد كبير وضياعات في المعطيات	تأخير زمني كبير لإتمام عملية التسليم

في الخلاصة، استعرضنا في ما سبق أداء عملية التسليم الشاقولي بين شبكة UMTS وشبكة Wi-Fi وشبكة WiMax عند حركة العقدة المحمولة عبر مجال تغطية هذه الشبكات حيث تقوم بثلاث عمليات تسليم وفق السيناريو الأول للمحاكاة، عملية التسليم الأولى من شبكة UMTS إلى شبكة Wi-Fi . وعملية التسليم الثانية من شبكة Wi-Fi إلى شبكة WiMax، وعملية التسليم الثالثة من شبكة WiMax إلى شبكة UMTS .

يفرض السيناريو الثاني المقترح للمحاكاة وجود مجال تغطية Wi-Fi بشكل كامل ضمن المنطقة الجغرافية المغطاة بمجال تغطية الشبكة WiMax . تقوم العقدة المحمولة وفق السيناريو الثاني بأربع عمليات تسليم، عملية التسليم الأولى من شبكة UMTS إلى شبكة WiMax، وعملية التسليم الثانية من شبكة WiMax إلى شبكة Wi-Fi، وعملية التسليم الثالثة من شبكة Wi-Fi إلى شبكة WiMax، وعملية التسليم الرابعة من شبكة WiMax إلى شبكة UMTS .

جرت المقارنة بين السيناريو الأول والسيناريو الثاني المقترح للدراسة، من حيث أهم الفروقات ونقاط الاختلاف بينهما، بما يخص التوزع الجغرافي للشبكات المدروسة، عدد عمليات التسليم، والديناميكية في عمليات التسليم . أظهرت النتائج الفرق عند التسليم من شبكة Wi-Fi لشبكة WiMax والتسليم بالاتجاه المقابل وفق السيناريو الثاني للمحاكاة بالنسبة لمقدار فقد الرزم والتأخير الزمني اللازم لإنجاز عملية التسليم . حيث تستهلك العقدة المحمولة زمناً أقل لإنجاز عملية التسليم

نحو شبكة Wi-Fi (لا يوجد فقد للإشارة)، إضافة إلى أن فقد الرزم عند التسليم من شبكة Wi-Fi إلى شبكة WiMax كبير نوعاً ما بالمقارنة لفقد الرزم عند التسليم من شبكة WiMax لشبكة Wi-Fi .

عرضنا خوارزمية اتخاذ القرار المتبعة أثناء عملية التسليم . و درسنا أداء عمليات التسليم من خلال عدد من المعاملات مثل معدل التدفق Throughput، ضياع الرزم Packet loss والتأخير الزمني اللازم لإنجاز عملية التسليم HO latency وسرعة العقدة المحمولة.

بيناً ضرورة تحديد توقيت الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD لما له من أهمية كبيرة في عملية التسليم، كما قمنا بمقارنة الأداء لعدد من خوارزميات التحكم بالازدحام TCP Reno، TCP Tahoe، TCP New Reno، TCP Vegas وتأثيرها بعملية التسليم وتغير سرعة العقدة المحمولة .

وجدنا أن أفضلها أداءً هي خوارزمية TCP New Reno نتيجة عدم تأثرها بشكل كبير بعمليات التسليم الحاصلة، حيث تحقق أقل عدد من الفقد حتى في السرعات العالية للعقدة المحمولة، إضافة إلى تحقيقها معدل النقل الأعلى وذلك كونها تسمح بالعديد من عمليات إعادة الإرسال خلال طور الاستعادة السريع Fast Recovery، ولا يحدث الخروج من هذا الطور إلى أن يصل إشعار استلام Ack لكل الرزم الضائعة. بينما أسوأ الخوارزميات أداءً هي خوارزمية TCP Vegas حيث تعاني من انخفاض كبير في الأداء خلال عملية التسليم، وضياع في المعطيات عند السرعات العالية كونها تعتمد على الخاصية التنبؤية، ولا يمكن التمييز فيما إذا كان السبب في زيادة الزمن اللازم لوصول إشعار الاستلام ناتج عن الازدحام أو ناتج عن تغيير الوجهة، ويتم تفسير الأمر على أنه ازدحام .

الخاتمة ونتائج البحث Conclusion and Research Result

قمنا في هذا البحث بدراسة أداء عملية التسليم باستخدام تقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH، درست عملية التسليم الشاقولي VHO بين الشبكات UMTS و Wi-Fi و WiMax. كما قمنا بمقارنة الأداء لعدد من خوارزميات التحكم بالازدحام TCP Tahoe، TCP Reno، TCP و TCP NewReno و Tahoe وتأثيرها بحدوث عملية التسليم وبتغير سرعة العقدة المحمولة.

خلص البحث إلى الاستنتاجات الآتية :

- بينت النتائج التحسن الملموس في الأداء عند استخدام تقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH في تأمين عمليات تسليم سلسلة seamless HO للعقدة المحمولة MN بما يضمن عدم انقطاع الاتصال أو انخفاض مستوى جودة الخدمة .
- أظهرت النتائج تحسن معدل التدفق Throughput عند استخدام تقنية التسليم المستقل عن الوسط MIH .
- بينت النتائج أهمية تحديد توقيت الشروع في عملية التسليم لتجنب حدوث انقطاع كبير في الخدمة .
- أظهرت النتائج أهمية دراسة سرعة العقدة المحمولة وتأثيرها على أداء خوارزميات التحكم بالازدحام أثناء عملية التسليم، حيث تزداد قيمة التأخير الزمني الناتج عن عملية التسليم بزيادة سرعة العقدة المحمولة .
- بينت النتائج أن فقد الرزم عند التسليم من شبكة Wi-Fi إلى شبكة WiMax أعلى نوعاً ما بالمقارنة لفقد الرزم عند التسليم من شبكة WiMax لشبكة Wi-Fi .
- أكدت النتائج أن الخوارزمية ذات الأداء الأفضل خلال عملية التسليم هي خوارزمية TCP New Reno من حيث حفاظها على معدل تدفق جيد وفقد قليل للمعطيات .
- كما تحافظ خوارزمية TCP Reno على أداء جيد مشابه تقريباً لأداء خوارزمية TCP Reno New لعدم وجود عدد كبير من الفقد . بينما تعاني خوارزمية TCP Vegas من انخفاض كبير في الأداء خلال عملية التسليم، وفقد في المعطيات عند السرعات العالية .

الآفاق المستقبلية Future Works

- يمكن تطوير خوارزمية عملية اتخاذ القرار لاختيار الشبكة الهدف أثناء التسليم بإدخال المزيد من المعاملات التي تساهم في تقديم المزيد من المعلومات اللازمة للقيام بعملية تسليم ضرورية وفي الوقت المناسب وبجودة خدمة أفضل .
- التركيز على دراسة سرعة العقدة المحملة وتأثيرها على تحديد الشبكة الهدف أثناء عملية التسليم ولاسيما عند السرعات العالية حيث يتأثر أداء عملية التسليم بشكل ملحوظ.
- تقليل عمليات التحكم بالازدحام غير الضرورية عند التسليم من خلال التخمين الجيد لقيمة نافذة الازدحام cwnd و RTT للوصلة الجديدة واستخدام هذه المعلومات من قبل بروتوكول التحكم بالنقل TCP.
- دراسة زمن تنفيذ الخوارزمية وتأثيره على أداء عمليات التسليم والزمن اللازم لإتمامها .
- دراسة خوارزميات أخرى للتحكم بالازدحام ولاسيما خوارزمية Westwood.
- دراسة أداء بروتوكول UDP ومقارنته مع TCP .

المراجع References

- 1) M. Elkhaili, A. Khiat, B. Jamila, "Vertical Handover methods for heterogeneous wireless networks" , The International conference on WITS, April 2016.
- 2) M. W. Akram, P. Vanajakshi, "Performance Analysis of mobile node using Media Independent Handover", IJCST, Vol. 6, Issue 2, April – June, 2015 .
- 3) Y. Xu, C. Chow, H. Ishii, K. Utsu, "An enhanced Media Independent Handover (MIH) schema for mobile video streaming between UMTS and WiMax networks", ICIC, Vol. 8, March 2014 .
- 4) Payaswini. P, Manjaiah. D. H, "Dynamic Vertical Handoff Algorithm using Media Independent Handover Service for Heterogeneous Network", I. J. Information Technology and Computer science, November 2014 .
- 5) محمد شادي هاجر، "تخفيض زمن التأخير الناتج عن الانتقال في شبكات الجيل القادم اللاسلكية باستخدام المعيار IEEE 802.21 ، أطروحة ماجستير، جامعة دمشق، 2013
- 6) S. S. Kim and J. W. Jang, " Improved TCP Performance during the Upward Vertical Handover Using an IEEE 802.21 MIHF Framework", ICHIT 2011, LNCS 6935, pp. 197-204, 2011.
- 7) H. Marques, J. Ribeiro, P. Marques, and J. Rodriguez, "Simulation of 802.21 Handovers Using NS2", Journal of Computer Systems, Networks, and Communication, 2010 .
- 8) K. Kim , J. Han , and J. Lee , "Enhanced TCP Congestion Control for Vertical Handover with the RTT inflation and the measured-RTT of the new network " , 2008.
- 9) C. H. Lim , J. W. Jang, "A New scheme to Improve Overall TCP Throughput with Vertical Handover between 3G Cellular Packet Networks and Wireless LANs" , EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking, 2009.
- 10) E. Y. Ko, D. H. An , I. j. Yeom, H. Yoon, "Dealing with Sudden Bandwidth Changes in TCP", Communications IEEE ICC 2008 , PP. 3007 – 3011, 2008.
- 11) D. Li, K. Sleurs, E. V. Lil and A. V. de Capelle, "A Fast Adaptation Mechanism for TCP Vertical Handover " , In Proc.of the International Conference on Advanced Technologies for Communication , ATC 2008 , Oct. 2008.
- 12) M. Vranjes, T. Svedek, S. Rimac-Drlje, "The use of NS-2 simulator in studying UMTS performances", IJECES, Vol. 1, Number. 2, December 2010 .

- 13) "Enhanced UMTS Radio Access Network Extension for ns-2",
<http://eurane.ti-wmc.nl/eurane/June 2010> .
- 14) C. Douglas, "Computer Networks and Internets", 5th Ed,
Pearson, 2008 .
- 15) Kamran Etemad, Ming-Yee Lai, "WiMax Technology and
Network Evolution", published by John Wiley & Sons, 2010 .
- 16) T. Bchini , M. Ouabiba , "Interaction and Interconnection
Between 802.16e & 802.11s ", Advanced Transmission
Techniques in WiMax .
- 17) A. Bhuvaneswari , E. George Dharma Prakash Raj, "An Overview
of Vertical Handoff Decision Making Algorithms", Computer
Network and Information Security , Aug 2012 .
- 18) S. Hesham, "Mobile IPv6: Mobility in a Wireless Internet",
Addison-Wesley Professional, 2004.
- 19) N. Montavont, R. Rouil, N. Golmie, "Effects of router
configuration and link layer trigger parameters on handover
performance ", 2005.
- 20) S. Kumar , D. Nagarajan , "Simulation of Hard Handover (HHO)
Mechanism in IEEE 802.16j Transparent Mode networks",
International Journal of Computer Applications, Vol. 14, pp. 35-
39, 2011.
- 21) M. H. A. Djemai , M. Feham , "Performances evaluation of inter-
system handover between IEEE 802.16e and IEEE 802.11
networks", International Journal of Computer Science and
Information Security, vol. 9, pp. 18-24, 2011.
- 22) A. Bathich, M. D. Baba, M. Ibrahim , "IEEE 802.21 Based
Vertical Handover in Wi-Fi and WiMax Network", IEEE
Symposium on Computers and Information, 2012 .
- 23) Poste. L. J, "Transmission Control Protocol", RCF 793, Internet
Request for Comments 793, Sept. 1981.
- 24) W. Gang Zeng , "Introduction to TCP in Wireless Network ", July
2003.
- 25) S. Hagag , A. El-sayed , "Enhanced TCP Westwood Congestion
Avoidance Mechanism (TCP WestwoodNew)", International
Journal of Computer Applications, Vol. 45, No.5 , May 2012 .
- 26) J. Mo, R. j. La, V. Anantharam, J. Walrand, "Analysis and
comparison of TCP Reno and Vegas", 1998.
- 27) W. Stevens, "TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast
Retransmit , and Fast Recovery Algorithms " , RFC2001, January
1997.
- 28) Jacobson. V, " Congestion avoidance and control in Proceeding of
ACM SIGCOMM '88 ", pp. 314-329, 1988 .

- 29) L. Grieco , S. Mascolo , “ Performance evaluation and comparison of Westwood+ , New Reno , and Vegas TCP congestion control ” , ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 2 , pp 25 -38 , 2004.
- 30) “A Comparative Analysis of TCP Tahoe , Reno , New Reno , SACK and Vegas” .
- 31) H. Zhang, Z. Bian, "Evaluation of different TCP congestion control Algorithms using NS2", 2002 .
- 32) L. Daniel, M. Kojo, "The Performance of Multiple TCP Flows with Vertical Handoff" .
- 33) G. Giambene¹ , S . Marchi¹ , S . Kota², "TCP Performance Issues in Satellite and Wi-Fi Hybrid Networks for High-Speed Trains", 2012 .
- 34) E. Piri, K. Pentikousis, “IEEE 802.21: Media-Independent Handover Services”, The Internet Protocol Journal, VTT Technical Research Centre of Finland, pp 7-27, 2008 .
- 35) A. Oliva , A. Banchs , I. SOTO, “An Overview of IEEE 802.21: Media Independent Handover Services” , IEEE Wireless Communications, pp. 96-103 , August 2008 .
- 36) M. Kim, T. Moon, S. Cho, “A Study on IEEE 802.21 MIH Frameworks in Heterogeneous Wireless Networks”, The 11th International Conference on Advanced, 2009 .
- 37) K. Ferchichi, "Evaluation and Implementation of Media Independent Handover In Hastily Formed " , 2013 .
- 38) "The network simulator tool , " NS2 ,
- 39)
- 40) T. Issariyakul , E. Hossain , "Introduction to Network Simulator NS2" ,Springer 2009.
- 41) The Network Simulator NS2 , NIST add-on , Mac 802.11 ,2013 , Draft-1.0.Retrieved-from:
http://www.nist.gov/itl/antd/emntg/upload/MAC802_11.doc
- 42) "The Network Simulator NS2 , NIST add-on , IEEE802.16 model (MAC+PHY) , " National Institute of Standards and Technology (NIST) , January 2009 , Draft , 1.2.1 , Retrieved from :http://www-x.antd.nist.gov/seamlessandsecure/req_802.16.html .
- 43) "The Network Simulator NS2 , NIST add-on , IEEE 802.21 model (based on IEEE P802.21/D03.00) ,2007 , " National Institute of Standards and Technology (NIST) , January 2007 , Retrieved from:.
- 44) H. Marques, J. Ribeiro, P. Marques, and J. Rodriguez, "Simulation of 802.21 Handovers Using NS2", 2010.

- 45) CHANG¹, L. CHU², H. LEE¹, T. WANG¹, C. LIAW^J, "A Handover Mechanism Using IEEE 802.21 in Heterogeneous 3G and Wireless Networks ".
- 46) Y. Matsushita, T. Matsuda and M. Yamamoto, " TCP Congestion Control with ACK-Pacing for Vertical Handover", 2005 .
- 47) I. Stojmenovic, "Handbook of wireless networks and mobile computing", John Wiley & Sons, Vol. 27, 2003.

الملاحق

Appendices

الملحق الأول : النص البرمجي لعمليات التسليم وفق السيناريو الأول

المقترح للمحاكاة

نعرض في هذا الملحق النص البرمجي لعمليات التسليم الشاقولي VHO المختلفة بين شبكة Wi-Fi وشبكة WiMax وشبكة UMTS نتيجة لحركة العقدة المحمولة عبر مجال تغطية هذه الشبكات وفق السيناريو الأول المقترح في الدراسة، والذي أجريت محاكاته باستخدام المحاك NS-2 (Version 29.9) باستخدام اللغة OTCL :

```
# @author : Hiba Yousef
# Scenario: Create a multi-interface node There is a TCP
#connection between the router0 and MultiFaceNode. We first
#use the UMTS interface, then switch the traffic to the
#802.11 interface when it becomes available. when the node
#leaves the coverage area of 802.11 it creates a link going
#down event to redirect to 802.16 after that the node switch
#to UMTS.

#check input parameters
if {$argc != 0} {
    puts ""
    puts "Wrong Number of Arguments! No arguments in this
topology"
    puts ""
    exit (1)
}

global ns
#set debug attributes
Agent/ND set debug_ 1
Agent/MIH set debug_ 1
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6 set debug_ 1
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1 set debug_ 1
#++++++
Mac/802_16 set lgd_factor_ 1
```

```

Mac/802_11 set pr_limit_ 1.2
Mac/802_16 set debug_ 0
Mac/802_11 set debug_ 0

#defines function for flushing and closing files
proc finish {} {
    global ns f
    $ns flush-trace
    close $f
    exec xgraph congestion.xg -geometry 800x500 -t "cwnd" -x
"time, secs" -y "window, pkts" &
    puts " Simulation ended."
    exit 0
}

# set global variables
set output_dir .
#create the simulator
set ns [new Simulator]
$ns use-newtrace
#open file for trace
set f [open test_out.tr w]
$ns trace-all $f
set outfile [open "congestion.xg" w]

#Plotting window size with xgraph
proc plotWindow {tcpSource outfile} {
    global ns
    set time 0.01
    set now [$ns now]
    set cwnd [$tcpSource set cwnd_]
    puts $outfile "$now $cwnd"
    $ns at [expr $now+$time] "plotWindow $tcpSource $outfile"
}

```

```

set nf [open nam-out-test.nam w]
$ns namtrace-all-wireless $nf 5000 5000

# set up for hierarchical routing (needed for routing over a
basestation)
$ns node-config -addressType hierarchical
AddrParams set domain_num_ 6
AddrParams set cluster_num_ {1 1 1 1 1 1}
AddrParams set nodes_num_ {3 1 1 2 2 1}
# 1st cluster: UMTS: 2 network entities + nb of mobile nodes
# 2nd cluster: CN
# 3rd cluster: core network
# 4th cluster: WLAN: 1AP + nb of mobile nodes
# 5th cluster: WiMax: 1BS + nb of mobile nodes
# 6th cluster: super nodes

#++++++ UMTS ++++++

$ns set hsdSCHEnabled_ 1addr
$ns set hsdSCH_rlc_set_ 0
$ns set hsdSCH_rlc_nif_ 0

# configure RNC node
$ns node-config -UmtsNodeType rnc
set rnc [$ns create-Umtsnode 0.0.0] ;# node id is 0.
puts "rnc $rnc"

# configure UMTS base station
$ns node-config -UmtsNodeType bs \
    -downlinkBW 384kbs \
    -downlinkTTI 10ms \
    -uplinkBW 384kbs \
    -uplinkTTI 10ms \

```

```

        -hs_downlinkTTI 2ms \
        -hs_downlinkBW 384kbs

set bsUMTS [$ns create-Umtsnode 0.0.1] ;# node id is 1
$bsUMTS set X_ 1800
$bsUMTS set Y_ 1000
$bsUMTS set Z_ 0
puts "bsUMTS: tcl=$bsUMTS; id=[$bsUMTS id]; addr=[$bsUMTS
node-addr]"

# connect RNC and base station
$ns setup-Iub $bsUMTS $rnc 622Mbit 622Mbit 15ms 15ms
DummyDropTail 2000

$ns node-config -UmtsNodeType ue \
        -baseStation $bsUMTS \
        -radioNetworkController $rnc

set iface0 [$ns create-Umtsnode 0.0.2] ;# node id is 2
puts "iface0 created $iface0"

# Node address for router0 and router1 are 3 and 4,
respectively.
set router0 [$ns node 1.0.0]
puts "router0 $router0"
set router1 [$ns node 2.0.0]
puts "router1 $router1"

$ns duplex-link $rnc $router1 622Mbit 0.4ms DropTail 1000
$ns duplex-link $router1 $router0 100MBit 5ms DropTail 1000
$rnc add-gateway $router1

# creation of the MutiFaceNodes
$ns node-config -multiIf ON

```

```

set multiFaceNode [$ns node 5.0.0]
$ns node-config -multiIf OFF
puts "multiFaceNode: tcl=$multiFaceNode; id=[$multiFaceNode
id]; addr=[$multiFaceNode node-addr]"

#+++++ WLAN ++++++

# parameter for wireless nodes
set opt(chan)          Channel/WirelessChannel
set opt(prop)          Propagation/TwoRayGround
set opt(netif)         Phy/WirelessPhy
set opt(mac)           Mac/802_11
set opt(ifq)           Queue/DropTail/PriQueue
set opt(ll)            LL
set opt(ant)           Antenna/OmniAntenna
set opt(ifqlen)        50
set opt(adhocRouting)  DSDV
set opt(umtsRouting)   ""
set opt(channel)       [new $opt(chan)]
set opt(x)             5000
set opt(y)             5000

#define coverage area for 802.11 stations:
#for r=50 m
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.0134
Phy/WirelessPhy set freq_ 2412e+6
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 5.25089e-10
Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set
RXThresh_]]

# configure rate for 802.11
Mac/802_11 set basicRate_ 11Mb
Mac/802_11 set dataRate_ 11Mb
Mac/802_11 set bandwidth_ 11Mb

```

```

#create the topography
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $opt(x) $opt(y)
puts "Topology created"

# create God
create-god 11
# configure Access Points
$ns node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
                -llType $opt(ll) \
                -macType $opt(mac) \
                -channel $opt(channel) \
                -ifqType $opt(ifq) \
                -ifqLen $opt(ifqlen) \
                -antType $opt(ant) \
                -propType $opt(prop) \
                -phyType $opt(netif) \
                -topoInstance $topo \
                -wiredRouting ON \
                -agentTrace ON \
                -routerTrace OFF \
                -macTrace ON \
                -movementTrace OFF

# configure Base station 802.11
set bstation802_11 [$ns node 3.0.0] ;# node id is 6
$bstation802_11 set X_ 475.0
$bstation802_11 set Y_ 500.0
$bstation802_11 set Z_ 0.0
puts          "bstation802_11:          tcl=$bstation802_11;
id=[$bstation802_11 id]; addr=[$bstation802_11 node-addr]"
# we need to set the BSS for the base station
set bstationMac [$bstation802_11 getMac 0]

```

```

set AP_ADDR_0 [$bstationMac id]
$bstationMac bss_id $AP_ADDR_0
$bstationMac enable-beacon
$bstationMac set-channel 1

# creation of the wireless interface 802.11
$ns node-config -wiredRouting OFF \
                -macTrace ON
set ifacel [$ns node 3.0.1]
;# node id is 7.
$ifacel random-motion 0
;# disable random motion
$ifacel base-station [AddrParams addr2id [$bstation802_11
node-addr]] ;#attach mn to basestation
$ifacel set X_ 350.0
$ifacel set Y_ 500.0
$ifacel set Z_ 0.0
[$ifacel set mac_(0)] set-channel 1
$ns at 0 "$ifacel setdest 1600.0 500.0 10.0"
;# debug info
puts "ifacel: tcl=$ifacel; id=[$ifacel id]; addr=[$ifacel
node-addr]"
puts "wireless interface 1 created ..."

# add link to backbone
$ns duplex-link $bstation802_11 $router1 100MBit 15ms
DropTail 1000

#++++++ WiMax ++++++

# configure 802.16 nodes

set opt(mac) Mac/802_16
set opt(netif) Phy/WirelessPhy/OFDM

```

```
#define coverage area for 802.16 stations:
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.025
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 2.025e-12
Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set
RXThresh_]]
```

```
$ns node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
                -llType $opt(ll) \
                -macType $opt(mac) \
                -channel $opt(channel) \
                -ifqType $opt(ifq) \
                -ifqLen $opt(ifqlen) \
                -antType $opt(ant) \
                -propType $opt(prop) \
                -phyType $opt(netif) \
                -topoInstance $topo \
                -wiredRouting ON \
                -agentTrace ON \
                -routerTrace OFF \
                -macTrace ON \
                -movementTrace OFF
```

```
# configure Base station 802.16
set bstation802_16 [$ns node 4.0.0] ;# node id is 8
$bstation802_16 set X_ 1000.0
$bstation802_16 set Y_ 500.0
$bstation802_16 set Z_ 0.0
puts          "bstation802_16:          tcl=$bstation802_16;
id=[$bstation802_16 id]; addr=[$bstation802_16 node-addr]"
```

```
#set bstationMac [$bstation802_16 getMac 0]
set clas [new SDUClassifier/Dest]
[$bstation802_16 set mac_(0)] add-classifier $clas
```

```

#$bstationMac add-classifier $clas
#set the scheduler for the node. Must be changed to -shed
[new $opt(sched)]
set bs_sched [new WimaxScheduler/BS]
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-scheduler $bs_sched
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-channel 1

puts "BS 802.16 created"

# creation of the wireless interface 802.16
$ns node-config -wiredRouting OFF \
                -macTrace ON
set iface2 [$ns node 4.0.1]
;# node id is 9.
$iface2 random-motion 0
;# disable random motion
$iface2 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802_16
node-addr]] ;#attach mn to basestation
$iface2 set X_ 350.0
$iface2 set Y_ 500.0
$iface2 set Z_ 0.0
set clas [new SDUClassifier/Dest]
[$iface2 set mac_(0)] add-classifier $clas
#set the scheduler for the node. Must be changed to -shed
[new $opt(sched)]
set ss_sched [new WimaxScheduler/SS]
[$iface2 set mac_(0)] set-scheduler $ss_sched
[$iface2 set mac_(0)] set-channel 1
$ns at 0 "$iface2 setdest 1600.0 500.0 10.0"
puts "wireless interface 2 created ..."
;# debug info

# add link to backbone

```

```
$ns duplex-link $bstation802_16 $router1 100MBit 15ms
DropTail 1000
```

```
# add interfaces to MultiFaceNode
$multiFaceNode add-interface-node $iface0
$multiFaceNode add-interface-node $iface1
$multiFaceNode add-interface-node $iface2
```

```
# install ND modules
```

```
set nd_bs [$bstation802_11 install-nd]
$nd_bs set-router TRUE
$nd_bs router-lifetime 1800
set nd_mn [$iface1 install-nd]
```

```
set nd_bs2 [$bstation802_16 install-nd]
$nd_bs2 set-router TRUE
$nd_bs2 router-lifetime 1800
set nd_mn2 [$iface2 install-nd]
```

```
set nd_rncUMTS [$rnc install-nd]
$nd_rncUMTS set-router TRUE
$nd_rncUMTS router-lifetime 1800
$nd_rncUMTS enable-broadcast FALSE
$nd_rncUMTS add-ra-target 0.0.2 ;
set nd_ue [$iface0 install-nd]
```

```
# install interface manager into multi-interface node and CN
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1 set case_ 3
set handover [new
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1]
$multiFaceNode install-ifmanager $handover
$nd_mn set-ifmanager $handover
$handover nd_mac $nd_mn [$iface1 set mac_(0)]
```

```

$nd_mn2 set-ifmanager $handover
$handover nd_mac $nd_mn2 [$iface2 set mac_(0)]
$nd_ue set-ifmanager $handover

set ifmgmt_cn [$router0 install-default-ifmanager]

# install MIH in multi-interface node
set mih [$multiFaceNode install-mih]

$handover connect-mih $mih ;#create connection between MIH
and iface management

# install MIH on AP/BS
set mih_bs [$bstation802_11 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802_11 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs

set mih_bs [$bstation802_16 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802_16 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs
#
#create traffic: TCP application between router0 and Multi
interface node

set tcp0 [new Agent/TCP/Reno]
$tcp0 set class_ 2
$tcp0 set packetSize_ 1240
$tcp0 set fid_ 0

set ftp0 [new Application/Traffic/CBR]
$ftp0 set packetSize_ 1000
$ftp0 set interval_ 0.1

```

```

$ftp0 attach-agent $tcp0
set sink2 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $router0 $tcp0
$multiFaceNode attach-agent $sink2 $iface0
$handover add-flow $sink2 $tcp0 $iface0 1

puts "tcp stream made from [$router0 node-addr] and [$iface0
node-addr]"

# do some kind of registration in UMTS
$ns node-config -llType UMTS/RLC/AM \
    -downlinkBW 384kbs \
    -uplinkBW 384kbs \
    -downlinkTTI 20ms \
    -uplinkTTI 20ms \
    -hs_downlinkTTI 2ms \
    -hs_downlinkBW 384kbs

set dch0 [$ns create-dch $iface0 $tcp0]
$ns attach-dch $iface0 $handover $dch0
$ns attach-dch $iface0 $nd_ue $dch0

# Now we can register the MIH module with all the MACs
set tmp2 [$iface0 set mac_(2)] ;
$tmp2 mih $mih
$mih add-mac $tmp2
set tmp2 [$iface1 set mac_(0)] ;
$tmp2 mih $mih
$mih add-mac $tmp2 ;
set tmp2 [$iface2 set mac_(0)] ;
$tmp2 mih $mih
$mih add-mac $tmp2
# enable trace file
$bsUMTS trace-outlink $f 2

```

```

$iface0 trace-inlink $f 2
$iface0 trace-outlink $f 3
$iface0 trace-inlink-tcp $f 2

$ns at 10 "$ftp0 start"
$ns at 0 "[eval $iface0 set mac_(2)] disconnect-link" ;
# set the starting time for Router Advertisements
$ns at 3 "$nd_bs start-ra"
$ns at 3 "$nd_bs2 start-ra"
$ns at 9 "[eval $iface0 set mac_(2)] connect-link"

$ns at 0.0 "plotWindow $tcp0 $outfile"

$ns at 400 "finish"
puts " Simulation is running ... please wait ..."
$ns run

```

الملحق الثاني : النص البرمجي بلغة AWK لحساب مقدار فقد

الرزم Packet Loss

نعرض في هذا الملحق النص البرمجي لحساب مقدار فقد الرزم، والذي جرت كتابته باللغة النصية الاستعلامية AWK .

```
BEGIN
{
fsDrops = 0
numFs = 0
}
#Body
{
# Trace line format: normal
    if ($2 != "-t")
    {
        action = $1
        time = $2
        from = $3
        to = $4
        type = $5
        pktsize = $6
        flow_id = $8
        src = $9
        dst = $10
        seq_no = $11
        packet_id = $12
    }
    # Trace line format: new
    if ($2 = "-t")
    {
        action = $1
        time = $3
        from = $5
        to = $7
        type = $34
        pktsize = $36
        flow_id = $38
        packet_id = $40
    }
    if ( action == "s" && type == tcp )
        numFs++;
    if (action == "d" )
        fsDrops++;
}
```

```
END {  
    printf("number of packets sent:%d lost:%d\n",  
        numFs, fsDrops);  
}
```

الملحق الثالث : النص البرمجي بلغة AWK لحساب قيمة معدل

التدفق Throughput

نعرض في هذا الملحق النص البرمجي لحساب قيمة معدل التدفق، والذي جرت كتابته باللغة النصية الاستعلامية AWK .

```
BEGIN {
rec =0
flow = 0
flow_t = AM_Data
hdr_size = 0
simtime = 400
}
#Body
{
## Trace line format: normal
    if ($2 != "-t") {
        event = $1
        time = $2
        if (event == "+" || event == "-") node_id = $3
        if (event == "r" || event == "d") node_id = $4
        flow_id = $8
        pkt_id = $12
        pkt_size = $6
    }
##Trace line format: new
    if ($2 == "-t") {
        event = $1
        time = $3
        node_id = $5
        flow_id = $39
        pkt_id = $41
        pkt_size = $37
    }

    # Calculate total received packets' size
    if (flow_id == flow && event == "r" && node_id == 9)
    {
        if (flow_t != "AM_DATA") {
            recv += pkt_size - hdr_size
            printf("recv[%g] = %g\n",node_id,pkt_size-hdr_size,recv)
        } else {
            if (pkt_size != 448 && pkt_size != 864 &&
pkt_size != 1280) pkt_size = 0
            if (pkt_size == 448) pkt_size = 400
            if (pkt_size == 864) pkt_size = 800
        }
    }
}
```

```

                                if (pkt_size == 1280) pkt_size = 1200
                                recv += pkt_size
                                printf("recv[%g] = %g --> tot:
%g\n",node_id,pkt_size,recv)
                                }
                                }
                                }
                                END {
                                printf("%10g
                                %10g\n",flow,flow_t,(recv/simtime)*(8/1000))
                                }
                                %10s

```

الملحق الرابع : وحدة اكتشاف الجوار

قام المعهد الوطني للمعايرة والتقانة NIST بتطوير وحدة كشف الجوار Neighbour Discovery لدمجها مع المحاكى NS2، بما يحقق بيئة برمجية متكاملة لتحقيق محاكاة عملية التسليم وفق المعيار IEEE 802.21 لإتمام عملية التسليم على مستوى الطبقة الثالثة L3HO .



The Network Simulator NS-2 NIST add-on Neighbor Discovery

January 07

1 Table of Content

1	Table of Content.....	2
2	Overview	3
3	Design	3
3.1	Flow process.....	3
3.2	Support for different interfaces.....	4
3.3	Messages.....	4
3.4	Files location	4
4	TCL Configuration.....	4
4.1	Creation.....	4
4.2	Default values	4
4.3	Commands.....	5

2 Overview

When moving from one network to another, the Neighbor Discovery module is used to create a new IP address in the new network. A new module has been created in NS-2 in order to provide the functionality of Neighbor Discovery. This new agent is implemented to support multiple types of interfaces (Ethernet, UMTS, 802.11..) by using broadcast or unicast messages depending on the technology.

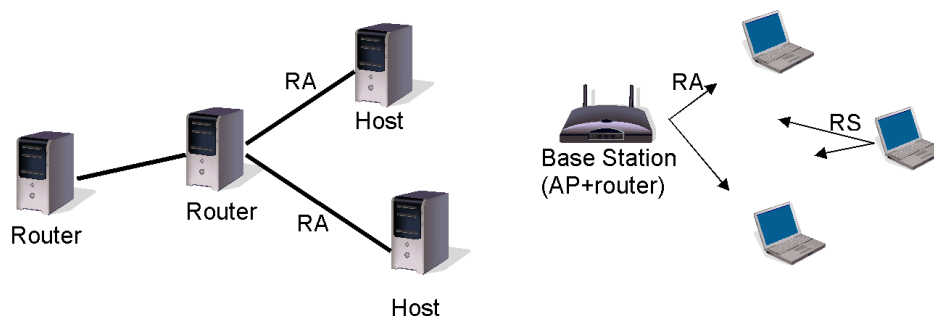


Figure 1: Overview of ND in Ethernet and 802.11

Section 3 presents the design of the ND Agent implemented in NS2. Section 4 presents the TCL configuration.

3 Design

3.1 Flow process

The ND Agent implementation is based on the information provided by RFC 2461 Neighbor Discovery for IPv6, but only a few elements have been implemented.

If the node is a router, it will send unsolicited Router Advertisement (RA) messages periodically (following a law $U[\text{minRtrAdvInterval}, \text{maxRtrAdvInterval}]$). If a router receives RA messages, it will silently discard them. Upon reception of a Router Solicitation (RS), the router will decide if a reply can be sent or must be delayed depending on when the last RA was sent and when the next RA is scheduled.

A host can send RS messages to request the emission of an RA. The decision is made by an upper mobility management protocol. Upon reception of an RA, the ND checks in its table if the prefix is already known. If it is not, then it

creates an entry in the database and informs registered modules about the new prefix. Also using the information included in the RA message, a timer is used to determine when the prefix will expire if the node stops receiving the messages containing the same prefix. Every time a message arrives, it will update the prefix expiration time.

3.2 Support for different interfaces

The ND Agent is located in all nodes but must be configured depending on the node's type. In NS-2, some nodes (802.11) can generate broadcast packets while others do not have this capability (Ethernet, UMTS). To work around this problem, the ND Agent can be configured with a list of targets where it will send unicast messages.

3.3 Messages

There are two types of messages implemented in the ND Agent: The Router Solicitation (RS) and the Router Advertisement (RA).

The RA contains 2 options:

- One prefix information
- One advertisement interval

3.4 Files location

Coding and definitions of the Neighbor Discovery module are located in the following files:

- `hsntg/nd.h`: define the NDAgent
- `hsntg/nd.cc`: implementation of the NDAgent
- `tcl/lib/ns-hsntg-nist.tcl`: define default values for NDAgent

4 TCL Configuration

4.1 Creation

A utility method has been created to add the NDAgent into a node.

Use `$node install-nd` to add the ND module into a node (see `tcl/lib/ns-hsntg-nist.tcl` for implementation information).

4.2 Default values

This section contains the attributes configured by TCL and their default values (defined in `tcl/lib/ns-hsntg-nist.tcl`)

Name	Description	Default value
<code>router_</code>	Specify if the agent is located in the router or a host.	0
<code>router_lifetime_</code>	The lifetime associated with the	5

	router (in seconds)	
prefix_lifetime_	The lifetime associated with the prefix (in seconds)	5
broadcast_	Specify if the RA messages must be send in broadcast	1
minRtrAdvInterval_	Minimum time between 2 RAs (in seconds)	0.03
maxRtrAdvInterval_	Maximum time between 2 RAs (in seconds)	0.07
minDelayBetweenRA_		0.03
maxRADelay_	Maximum time for replying to an RS (in seconds)	0.005
default_port_	The port number where the agent is attached in the node	254

4.3 Commands

The following command are supported by the NDAgent

Command	Arguments	Description
start_ra	None	Start scheduling RA messages (for router only)
stop_ra	None	Stop scheduling RA messages (for router only)
send_rs	None	Send an RS (for host only)
dump-table	None	Dump the list of prefixes
set-minRtrAdv	Double	Set the minimum time between two RAs
set-maxRtrAdv	Double	Set the maximum time between two RAs
router-lifetime	Unsigned int	Set the router lifetime (in seconds)
prefix-lifetime	Unsigned int	Set the prefix lifetime (in seconds)
set-router	TRUE/FALSE	Specify if the agent must behave as a router or host
set-ifmanager	TCL reference	Set the interface manager that will receive notifications of new and expired prefixes
enable-broadcast	TRUE/FALSE	Set if the messages must be sent in broadcast or unicast
add-ra-target	NS Address	Add a target node for the RA messages
remove-ra-target	NS Address	Remove a target node for the RA messages
add-rs-target	NS Address	Add a target node for the RS messages
remove-rs-target	NS Address	Remove a target node for the RS messages

الملحق الخامس : المعيار IEEE802.21

نعرض في هذا الملحق موجز عن المعيار IEEE802.21، (تقنية التسليم المستقل عن الوسط (MIH) وأهم الخدمات التي يقدمها بما يحقق عملية تسليم سلسلة seamless VHO.



The Network Simulator NS-2 NIST add-on IEEE 802.21 model (based on IEEE P802.21/D03.00)

January 2007

1 Table of Content

1	Table of Content.....	2
2	Glossary	3
3	Overview	3
4	MIH implementation	3
4.1	Architecture and internals.....	3
4.1.1	Design overview	3
4.1.2	MIH Function	4
4.1.3	MIH User	5
4.2	Configuration.....	7
5	MAC layer support for MIH	8
5.1	Class Mac	8
5.2	Class Mac802_11	8
5.2.1	Supported events	8
5.2.2	Supported commands	8
5.3	Class Mac802_16.....	9
5.3.1	Supported events	9
5.3.2	Supported commands	9
5.4	Class Mac802_3.....	9
5.4.1	Supported events	9
5.4.2	Supported commands	9
5.5	Class UMTS.....	10
5.5.1	Supported events	10
5.5.2	Supported commands	10
6	Mobility extensions for NS-2.....	10
6.1	Support for multiple interfaces	10
6.2	Layer 2 mobility.....	11
6.3	Layer 3 mobility.....	12
6.3.1	Neighbor Discovery.....	12
6.3.2	Routing algorithms and address update	12

2 Glossary

AP – Access Point
BS – Base Station
CN – Correspondent Node
ND – Neighbor Discovery
MIH – Media Independent Handover
RA – Router Advertisement
RS – Router Solicitation
SAP – Service Access Point

3 Overview

This document presents an MIH implementation for NS-2 developed for the Seamless Mobility project. It also provides an overview of the mobility extensions made to the standard release of NS-2.

Note: Due to the limitations of NS-2 in the evaluation of mobility scenarios, this release contains numerous modifications of the standard release. Workarounds were found to be able to simulate layer 2 and layer 3 handovers. We consider that the reader must be familiar with the details of NS-2 especially in the following areas:

- Hierarchical addressing
- Understanding of the design and implementation of wireless nodes.
- Knowledge of wireless networks and their technologies (IEEE 802.11, IEEE 802.16) and mobility protocols.

4 MIH implementation

The modified version of ns-2.29 contains an implementation of MIHF based on the draft 3 of IEEE 802.21 specifications. It is a platform to evaluate the performances and find problems that could arise due to the definition of the primitives. It also serves to evaluate different handover decision engines.

4.1 *Architecture and internals*

4.1.1 Design overview

Figure 1 represents a high level view of the MIHF interaction with the different components of the node. The MIHF is implemented as an Agent and therefore can send layer 3 packets to remote MIHF. The MIHF contains the list of local interfaces to get their status and control their behavior. The MIH User is also

implemented as an Agent and registers with the MIHF to receive events from local and remote interfaces.

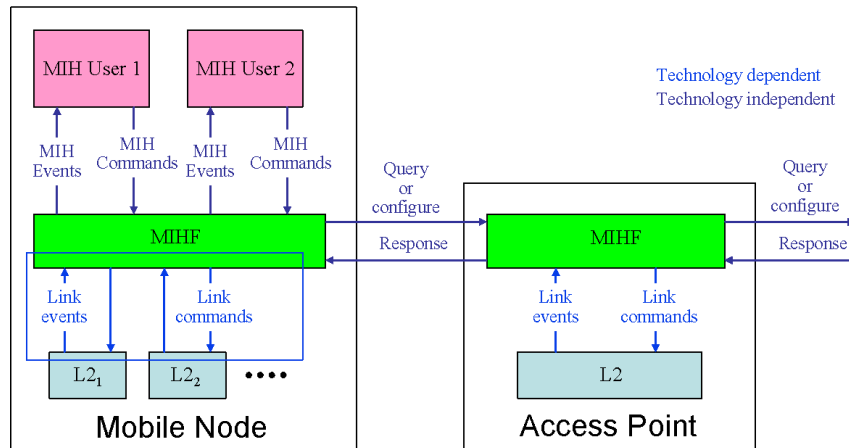


Figure 1: MIH design overview

The cross layer information exchange has been added to the NS-2 by modifying the MAC layer and linking the MIHF to the MAC layers via TCL.

4.1.2 MIH Function

As mentioned earlier, the MIHF extends the class Agent defined in NS-2. This allows each instance to send and receive packets at layer 3. The files related to the MIH implementation are located in the `hsntg` subdirectory of the distribution. The `MIHAgent` is at the center of the implementation. It communicates with both the lower layers (i.e. MAC) and the higher layers (i.e. MIH Users). The class handles the list of MIH Users and their registration information. It also takes care of handling the communication with remotes MIHFs. Finally it provides the mapping between the media independent interface (`MIH_SAP`) and the media dependent interface (`MIH_LINK_SAP` and media specific primitives). Figure 2 shows the key components of the MIHF implementation.

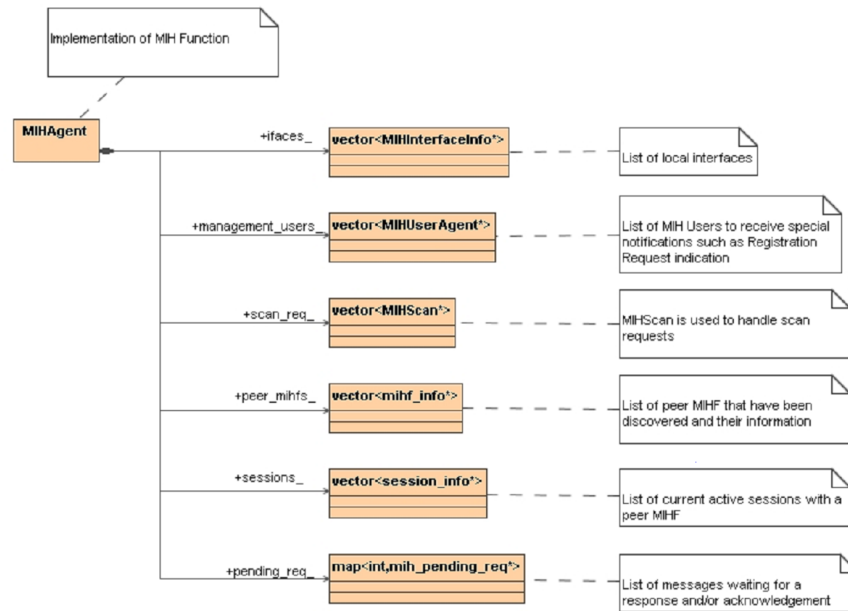


Figure 2: MIHF design

4.1.3 MIH User

MIH Users are entities that make use of the MIHF functionalities in order to enhance user performances by optimizing handovers. Since there are an infinite number of implementations depending on the user preference or network policies, the implementation provides an abstract class MIHUser that can be easily extended.

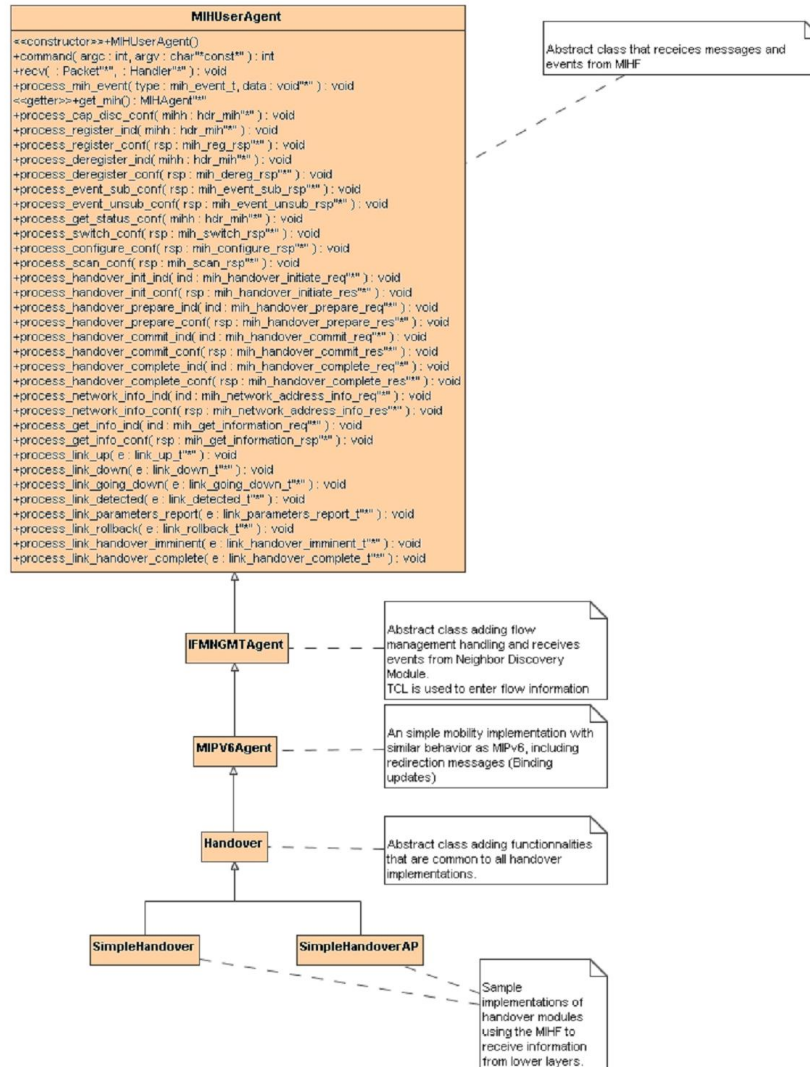


Figure 3: MIH User class hierarchy
NIST/ITL/ANTD/HSNTG – Draft 1.0 - 6 -

As shown in Figure 3, the MIHUser sends commands to and receives events/messages from the MIHF. To enhance usability, the implementation also provides a series of abstract classes that contain commonly used functionality. The IFMNGMT provides flow management functions. Using the TCL, the user can register the flows that are being used in the node. This facilitates the handover module in finding the flows that need to be redirected. It also receives events from the ND agent when a new prefix is detected or when it expires. The MIPv6Agent adds the redirection capability to the MIH User. When a flow needs to be redirected, a message can be sent to the source node to inform him of the new address or interface to use. Finally, the Handover class provides a template for handover modules and computing a new address after successful handover.

Samples of handover modules are located in the `hsntg/` and `hsntg/802_21` subdirectories.

4.2 Configuration

Adding the MIHF to a node

```
set mihf [$node install-mih]
```

Linking the MIHF to the lower layers

```
set mac [$node set mac_(0)] ;#get the MAC element
$mac mih $mih ;#link the mih to the MAC layer
$mih add-mac $mac ;#add the MAC layer to the MIH
```

Adding a handover module

```
set handover [new Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPv6/Handover/Simple]
$node install-ifmanager $handover
$handover connect-mih $mih
```

Linking the ND and MAC modules to handover module

```
set nd [$node install-nd] ;# create ND agent
$handover nd_mac $nd $mac ;# inform the IFMNGMT agent about the
relationship between the ND module and the MAC layer.
```

To support flow redirection, the CN (i.e. the node with which the MN is communicating) must be able to receive messages from the MIPv6. The following command must be included in all CNs.

```
$cn install-default-ifmanager
```

Default values for the MIH parameters are located in the file `tcl/lib/ns-hsntg-nist.tcl`.

5 MAC layer support for MIH

The MAC layers have been modified to include the `MIH_LINK_SAP` functions and to handle trigger generation. This section explains the modification to the classes.

5.1 Class *Mac*

The *Mac* class is the superclass of all the MAC implementations. The `MIH_LINK_SAP` has been added to this class so that the MIH handles *Mac* objects as much as possible.

5.2 Class *Mac802_11*

This class has been enhanced to support management frames.

5.2.1 Supported events

It supports the following events:

- Link UP
- Link Down
- Link Going Down
- Link Detected
- Link Event Rollback
- Link Parameters Report
- Link Handover Imminent
- Link Handover Complete

Therefore the bitmap mask for the MAC 802.11 is 0x1BF.

5.2.2 Supported commands

The following link commands are supported:

- Link Event Subscribe
- Link Event Unsubscribe
- Link Configure Threshold
- Link Get Parameters

The bitmask for the command list is 0xF

5.3 Class Mac802_16

5.3.1 Supported events

- Link UP
- Link Down
- Link Going Down
- Link Detected
- Link Event Rollback
- Link Parameters Report
- Link Handover Imminent
- Link Handover Complete

Therefore the bitmap mask for the MAC 802.16 is 0x1BF.

5.3.2 Supported commands

The following link commands are supported:

- Link Event Subscribe
- Link Event Unsubscribe
- Link Configure Threshold
- Link Get Parameters

The bitmask for the command list is 0xF

5.4 Class Mac802_3

5.4.1 Supported events

- Link UP
- Link Down

Therefore the bitmap mask for the MAC 802.16 is 0x3.

5.4.2 Supported commands

The following link commands are supported:

- Link Event Subscribe
- Link Event Unsubscribe

The bitmask for the command list is 0x3

5.5 Class UMTS

5.5.1 Supported events

- Link UP
- Link Down

Therefore the bitmap mask for the MAC 802.16 is 0x3.

5.5.2 Supported commands

The following link commands are supported:

- Link Event Subscribe
- Link Event Unsubscribe

The bitmask for the command list is 0x3

6 Mobility extensions for NS-2

In addition to the MIH implementation, the mobility model includes enhancements to support handovers in NS-2. This includes:

- Integration of multiple technologies (UMTS, Bluetooth, 802.16) to allow for heterogeneous handovers.
- Modification of default implementation (802.11) to support handovers.
- Define a generic design for nodes with multiple interfaces.
- Support for subnet discovery and change of address.

6.1 Support for multiple interfaces

In order to evaluate handover in heterogeneous environment, we integrated multiple packages providing additional technologies. The following is a list of technologies added to the package:

- UMTS: the source code is based on the EURANE code (<http://www.ti-wmc.nl/eurane/>). The modification includes support for hierarchical addressing.
- Bluetooth: package from the University of Cincinnati (<http://www.ececs.uc.edu/~cdmc/ucbt/>) based on version ucbt-0.9.8.2a.
- IEEE 802.16: developed internally and focusing on the mobility aspects of the technology (802.16e).
-

The difficulty encountered is that support for multiple interfaces is not intuitive in NS-2. Furthermore, external packages do not necessarily follow the same node structure as the one defined in the basic model. For example the routing algorithms are different. For this reason, a workaround has been found allowing each technology to work independently from the others.

NIST/ITL/ANTD/HSNTG – Draft 1.0 - 10 -

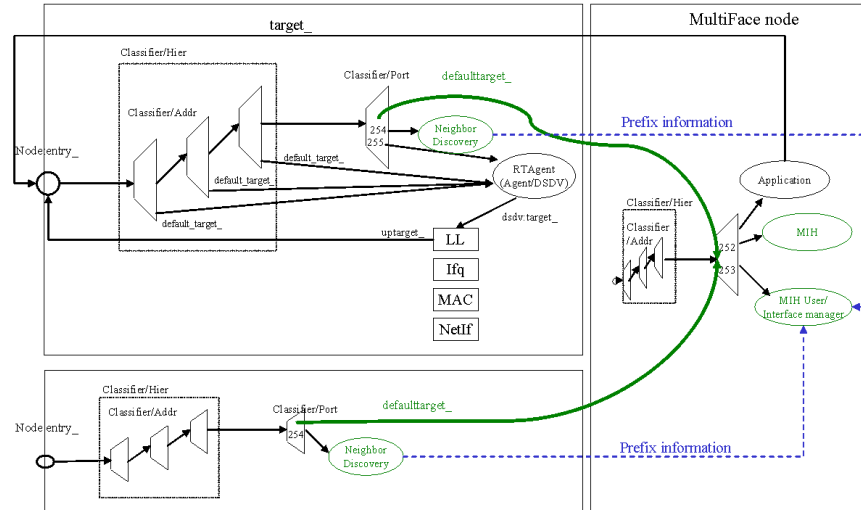


Figure 4: Multiple interfaces node design

As shown on **Error! Reference source not found.**, the multiFace node is a virtual node linking nodes of similar or different technologies. The other nodes are considered interfaces for the multiFace node. Let's define them as interface nodes. An ND agent located in each node allows for layer 3 movement detection (new and expired prefix) and notifications are sent to the interface manager (IFMNGMT). The MIH located in the MultiFace node is linked with each MAC object of the interface node. The application target_ object is dynamically assigned to the entry of the node chosen to send the traffic.

With this design, we have been able to simulate handovers between IEEE 802.11, IEEE 802.16 and UMTS.

6.2 Layer 2 mobility

Layer 2 mobility is provided by the lower layer. In the model provided, IEEE 802.11 and IEEE 802.16 allows for switching AP/BS. Note that in NS-2, each AP/BS is on a different subnet (i.e. domain or cluster) and therefore will require a

Layer 3 handover. For information about Layer 2 mobility, refer to the documentation specific to each media.

6.3 Layer 3 mobility

6.3.1 Neighbor Discovery

This section contains a short overview of the functionalities provided by the ND module. For more information refer to the Neighbor_Discovery documentation manual.

The ND module is used to provide Layer 3 movement detection. In the network, APs and BSs periodically send RAs to inform the MNs about the network prefix. In our scenarios, the prefix is the address of the AP/BS. The RA is sent using broadcast messages when supported (802.11, 802.16) or unicast otherwise (ethernet). The ND agent located in the MN receives these RAs and determine if the message contains a new prefix and inform the interface manager. A timer is associated with the lifetime of the prefix. When the MN losses its connection with the AP/BS, the prefix expired and a notification is sent to the interface manager. The implementation also supports RS to enable a MN to discover new AP/BS after a handover.

By convention, we assign the address of the AP/BS with a node address of 0. For example 3.0.0 and 4.0.0 are valid addresses for these nodes. MNs are assigned addresses with node IDs other than 0 (i.e 3.0.1, 4.0.12).

6.3.2 Routing algorithms and address update

In NS-2 the routing is done in different ways depending on the type of nodes. In a wired network, the routes are computed at the initialization and the classifiers are updated. In a wireless network, a routing agent takes care of routing the packets in a more dynamic way since the topology and routing can change. The project does not focus on ad-hoc networks; therefore, a routing algorithm supporting infrastructure more is required. The first solution was to modify the DSDV routing to behave differently and not send too many packets. The second solution was to use the NOAH protocol (<http://icapeople.epfl.ch/widmer/uwb/ns-2/noah/>). We modified it to handle node address change.

During a simulation, a MN can change network. When switching AP/BS, the node needs to be reachable via a new address. This functionality is not included in NS-2.29 and we propose the following workaround. After the execution of a layer 2 handover, the ND protocol is used to receive the new prefix information. When

receiving a new prefix, we compute the new node address with the following formula:

```
new_address = (old_address & 0x7FF) | (prefix & 0xFFFF800);
```

We can note that the node ID will be the same in the new network. Only the domain and cluster is updated.

To ensure proper behavior, the following rules must be followed:

- Determine the maximum number of nodes that can be within a single network. For example if at the beginning of the simulation there are 2 wireless networks (defined by 2.0.0 and 3.0.0) with 2 MNs each, it is possible that two nodes move to the other network, and therefore the maximum number of nodes in the network is 5 (4MNs + AP).
- Assign the address with unique node ID for each nodes. Using the example above, a possible configuration is 2.0.1, 2.0.2, 3.0.3, and 3.0.4.

Figure 5 illustrates the change of address

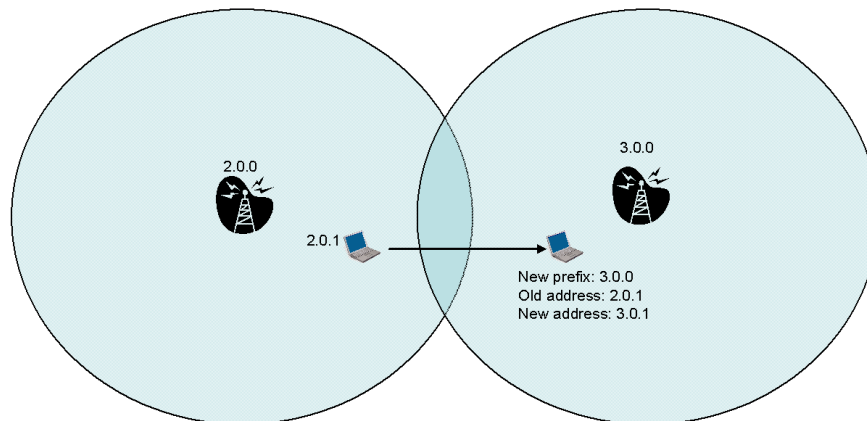


Figure 5: Example of node address change

After computing the new address, additional changes are required:

- Update the address of the node
- Since each agent located in the node has a cache of the node address they also need to be updated. This is especially valid for the routing algorithm.
- Update the base station information in the routing protocol.
