جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الحواسيب والأتمتة

تخفيض زمن التأخير الناتج عن الانتقال من شبكات الجيل القادم اللاسلكية باستخدام المعيار IEEE802.21

Reducing Handover Latency Time in Next Generation Wireless Networks Using IEEE802.21

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الحواسيب وشبكاتها

إعداد

م. محمد شادي هاجر

المشرف الرئيسي
د.م. محمد خالد شاهين

المشرف المشارك
د.م. رائوف حمدان

العام الدراسي 2013/2012



كل الحمد والشكر والثناء لصاحب الفضل والكرم المطلقين

لله سبحانه وتعالى لما يغدوني به من نعمه ولما هيأه لي من

أسباب لنجاح هذا البحث

الإهداء

إلى صاحبي القلب الكبير

إلى ينبوع الصبر والتفاؤل والأمل

إلى سندي وقوتي وملاذي بعد الله

إلى من وهبا حياتهما وأفنيا عمريهما في سبيل سعادتي

إلى كل قطرة عرق ترقرقت من جبينهما تعباً لأجلي

لا أملكَ سوى هذه الثمرة التي هي من ثمرات جهدكما أهديها إليكما

أبي وأمي

إلى توأم روحي ورفيقة دربي

إلى صاحبة القلب الطيب والنوايا الصادقة

إلى الوجه المفعم بالبراءة

إلى من بصحبتها تتفتح براعم الغد

زوجتي

إلى من أسعد برؤيتهم

إلى إشراقة الأمل في حياتي

إلى من يحملون في عيونهم ذكريات طفولتي

إخوتي

إلى صحبة اختارهم قلبي

سيبقى القلب مسكنكم وتسعد الروح بذكركم

أصدقائي

وإلى كل من ساهم في إنجاح هذا البحث...

شكر

لم أجد أثمن من هذه الفرصة لأتقدم بجزيل الشكر إلى أساتذتي الأفاضل الذين كانوا يد العون لي طوال دراستي الجامعية كما أني أتقدم بأسمى آيات الشكر والعرفان بالجميل إلى أستاذيَّ الكبيرين:

د.م. محمد خالد شاهين **د.م. رائوف حمدان**

وذلك لتفضلهما بالإشراف على هذا البحث و بذلهما كل الجهد في سبيل إنجاحه بما قدماه لي من علمٍ غزير وتوجيهٍ سديد.

لجنة الحكم

قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم /2057/ المتخذ بالجلسة رقم /15/ تاريخ 2013/4/15

د. محمد خالد شاهين الأستاذ المساعد في قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات	عضواً مشرفاً
د. كمال قمر المدرس في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة	عضواً
د. رأفة خازم المدرسة في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة	عضواً

فهرس المحتويات

فهرس المحتويات..... 1

فهرس الأشكال..... 7

فهرس الجداول..... 10

مصطلحات البحث..... 11

ملخص البحث..... 13

الفصل الأول

مدخل إلى الدراسة..... 14

1.1. مقدمة..... 15

2.1. مشكلة الدراسة وتساؤلاتها..... 15

3.1. أهداف البحث..... 16

4.1. أهمية البحث..... 17

5.1. الدراسة المرجعية..... 18

الفصل الثاني

الشبكات اللاسلكية ومفهوم الانتقال..... 21

1.2. مقدمة..... 22

2.2. الشبكات النقالة..... 22

1.2.2. الجيل الأول 1G..... 22

2.2.2. الجيل الثاني 2G..... 22

3.2.2. الجيل الثالث 3G..... 23

4.2.2. الجيل الرابع 4G..... 24

3.2. تقانات الشبكات اللاسلكية..... 25

1.3.2. الشبكات اللاسلكية المحلية WLAN..... 25

2.3.2. شبكات المدن اللاسلكية WMAN..... 26

4.2. الانتقال..... 26

1.4.2. تعريف الانتقال..... 26

2.4.2. أصناف الانتقال..... 27

1.2.4.2. الانتقال وفقاً لطبيعة الشبكة..... 27

2.2.4.2. الانتقال وفقاً لطبقة TCP/IP..... 28

الفصل الثالث

المعيار بروتوكول الانترنت النقال الإصدار السادس MIPv6 والانتقال..... 31

1.3. مقدمة..... 32

2.3. المعيار IPv6..... 33

3.3. الاختلافات الأساسية بين المعيارين MIPv4 وMIPv6..... 34

4.3. مكونات المعيار MIPv6..... 34

5.3. الانتقال وفقاً للمعيار MIPv6 36

1.5.3. كشف الحركة..... 37

2.5.3. اختيار موجه النفاذ المرشح..... 40

3.5.3. تشكيل العنوان 40

4.5.3. التحقق والتخويل 42

5.5.3. تحديث الإيثاق..... 42

6.3. مقارنة بين أمثلة المسار والتغليف ثنائي الاتجاه..... 44

الفصل الرابع

الانتقال المستقل عن الوسط MIH..... 47

1.4. مقدمة..... 48

2.4. الهدف من المعيار IEEE802.21..... 48

3.4. الخدمات التي يوفرها المعيار IEEE802.21 50

1.3.4. خدمة الأحداث المستقلة عن الوسط..... 51

2.3.4. خدمة الأوامر المستقلة عن الوسط..... 53

3.3.4. خدمة المعلومات المستقلة عن الوسط..... 54

4.4. مثال عن عملية انتقال باستخدام المعيار IEEE802.21..... 55

الفصل الخامس

بناء عملية المحاكاة وتنفيذها 59

1.5. مقدمة..... 60

2.5. الهدف من المحاكاة 60

3.5. محاكيات الشبكات التي تدعم الشبكات اللاسلكية 60

1.3.5. المحاكي OMNET++ 61

2.3.5. المحاكي NS-2..... 62

3.3.5. المحاكي OPNET Modeler 62

4.5. البرمجيات المستخدمة..... 63

1.4.5. محاكي الشبكات NS-2..... 63

2.4.5. الإضافات المستخدمة مع المحاكي NS-2 64

5.5. السيناريو المقترح للمحاكاة..... 64

6.5. الانتقال المستقل عن الوسط..... 67

1.6.5. الغاية الرئيسية من المعيار IEEE802.21..... 67

2.6.5. الانتقال على مستوى الطبقة الثانية..... 68

1.2.6.5. الحدث انهيار الوصلة Link Down..... 68

2.2.6.5. الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار Link Going Down..... 70

3.6.5. الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة 72

1.3.6.5. الحصول على عنوان شبكي جديد..... 73

الفصل السادس

الدراسة التحليلية لنتائج عملية المحاكاة..... 75

1.6. مقدمة..... 76

2.6. عملية الانتقال باستخدام الحدث انهيار الوصلة LD..... 76

1.2.6. نتائج عملية المحاكاة باستخدام الحدث انهيار الوصلة LD..... 76

3.6. عملية الانتقال باستخدام الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD..... 78

1.3.6. تحديد قيمة معامل توجه الوصلة نحو الانهيار LGD_Factor..... 81

1.1.3.6. سرعة العقدة المحمولة 81

2.1.3.6. تأخير الانترنت RTT..... 82

4.6. عملية الانتقال باستخدام القيمة المقترحة للمعامل توجه الوصلة نحو الانهيار LGD_Factor 84

1.4.6. النتائج العملية للمحاكاة باستخدام قيمة توجه الوصلة نحو الانهيار LGD_Factor المقترحة.... 86

1.1.4.6. التأخير الناتج عن عملية الانتقال..... 86

2.1.4.6. أثر عملية الانتقال على التطبيق الذي تستخدمه العقدة المحمولة MN..... 87

الخاتمة ونتائج البحث..... 94

الآفاق المستقبلية..... 94

المراجع..... 96

الملحقات..... 98

الملحق الأول: مسرد المصطلحات عربي – إنكليزي..... 99

الملحق الثاني: مسرد المصطلحات إنكليزي – عربي..... 104

الملحق الثالث: نموذج من أحد سيناريوهات الانتقال 109

الملحق الرابع: المعيار IEEE802.21 109

الملحق الخامس: وحدة التحركية Mobility Module..... 109

ملخص البحث باللغة الإنكليزية..... 111

*****

فهرس الأشكال

الفصل الثاني

الشكل (2-1) تطورات الشبكات النقالة..... 23

الشكل (2-2) تصنيف الشبكات اللاسلكية تبعاً للمساحة المغطاة..... 24

الشكل (2-3) الانتقال الأفقي والانتقال الشاقولي 26

الشكل (2-4) الانتقال على مستوى الطبقة الثانية..... 27

الشكل (2-5) الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة 29

الفصل الثالث

الشكل (3-1) البنية الرئيسية لشبكات الجيل الرابع..... 31

الشكل (3-2) المكونات الرئيسة للمعيار MIPv6..... 35

الشكل (3-3) مراحل عمل المعيار MIPv6..... 36

الشكل (3-4) إجرائية اكتشاف عدم امكانية الوصول إلى الجار NUD..... 38

الشكل (3-5) مثال على تشكيل العنوان IPv6 40

الشكل (3-6) الحصول على تشكيلة عنوان باستخدام كشف العنوان المتكرر DAD 41

الشكل (3-7) رسالة تحديث الإيثاق إلى وكيل الموطن HA 42

الشكل (3-8) رسالة تحديث الإيثاق إلى العقدة المراسلة CN 43

الشكل (3-9) التغليف ثنائي الاتجاه Bidirectional tunneling..... 44

الشكل (3–10) أمثلة المسار Route Optimization..... 45

الفصل الرابع

الشكل (4–1) الجدول الزمني لمراحل تطور المعيار IEEE 802.21..... 47

الشكل (4–2) البنيان العام للمعيار IEEE802.21..... 50

الشكل (4–3) خدمات و تموضع المعيار IEEE802.21..... 52

الشكل (4–4) مثال لعملية انتقال شاقولي بين شبكة 3G وشبكة WiFi..... 56

الفصل الخامس

الشكل (5–1) توضع شبكتي الـ WiFi و الـ WiMax..... 65

الشكل (5–2) التوصل الشبكي للسيناريو المقترح لعملية المحاكاة..... 66

الشكل (5–3) مجال عمل المعيار IEEE802.21..... 68

الشكل (5–4) عملية الانتقال على مستوى الطبقة الثانية باستخدام الحدث انهيار الوصلة LD..... 69

الشكل (5–5) كيفية توليد الحدث LGD..... 70

الشكل (5–6) عملية الانتقال على مستوى الطبقة الثانية باستخدام الحدث LGD..... 72

الشكل (5–7) الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة..... 73

الشكل (5–8) مثال على تغيير العناوين الشبكية بعد الانتقال..... 74

الفصل السادس

الشكل (6–1) العلاقة بين تأخير الانترنت والتأخير الناتج عن عملية الانتقال..... 77

الشكل (6-2) العلاقة بين سرعة العقدة المحمولة MN والتأخير الناتج عن عملية الانتقال..... 78

الشكل (6-3) التباين بين قيمتي SampleRTT و EstimatedRTT 83

الشكل (6-4) توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD أثناء عملية المحاكاة..... 86

الشكل (6-5) تغيّر التأخير الزمني الناتج عن الانتقال باستخدام الحدثين LD و LGD 87

الشكل (6-6) تغيّر معدل التدفق خلال عملية الانتقال بالنسبة لتطبيق FTP..... 88

الشكل (6-7) تغيّر فقد الرزم خلال عملية الانتقال بالنسبة لتطبيق FTP 89

الشكل (6-8) تغيّر التأخير من طرف لأخر خلال عملية الانتقال بالنسبة لتطبيق FTP..... 89

الشكل (6-9) تغيّر معدل التدفق خلال عملية الانتقال بالنسبة لتطبيق VOIP 90

الشكل (6-10) تغيّر فقد الرزم خلال عملية الانتقال بالنسبة لتطبيق VOIP 90

الشكل (6-11) تغيّر التأخير من طرف لآخر خلال عملية الانتقال بالنسبة لتطبيق VOIP 91

الشكل (6-12) تغيّر معدل التدفق خلال عملية الانتقال بالنسبة لتطبيق Video Streaming 91

الشكل (6-13) تغيّر فقد الرزم خلال عملية الانتقال بالنسبة لتطبيق Video Streaming 92

الشكل (6-14) تغيّر التأخير من طرف لآخر خلال عملية الانتقال بالنسبة لتطبيق Video Streaming 92

*****

فهرس الجداول

الفصل الثاني

الجدول (2-1) التحسينات التي أُدخلت على المعيار IEEE802.11 24

الفصل الرابع

الجدول (4-1) بعض الأحداث Events المهمة في المعيار IEEE802.21..... 53

الجدول (4-2) بعض أوامر المعيار IEEE802.21..... 54

الفصل الخامس

الجدول (5-1) موسطات شبكة WiFi..... 65

الجدول (5-2) موسطات شبكة WiMax..... 66

الفصل السادس

الجدول (6-1) تغيرات قيمة المعامل _LGD_Factor أثناء حركة العقدة المحمولة 85

الجدول (6-2) موسطات التطبيقات المستخدمة في عملية المحاكاة..... 88

*****

مصطلحات البحث

4G	Fourth Generation
A&A	Authentication & Authorization
AC	Address Configuration
AP	Access Point
AR	Access Router
BACK	Binding Acknowledgement
BCE	Binding Cache Entries
BER	Bit error Rate
BS	Base Station
BU	Binding Update
BW	Bandwidth
CARS	Candidate Access Router Selection
CN	Correspondent Node
CoA	Care-of-Address
CS	Circuit Switching
CSThresh_	Carrier Sense Threshold
DAD	Duplicate Address Detection
DSL	Digital Subscriber Line
FA	Foreign Agent
FAR	Foreign Access Router
FN	Foreign Network
GSM	Global System for Mobile Communications
HA	Home Agent
HHO	Horizontal Handover
HN	Home Network
HO	Handover
HoA	Home Address
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITU	International Telecommunications Union
LD	Link Down
LGD	Link Going Down
MICS	Media Independent Command Service
MIES	Media Independent Events Service
MIH	Media Independent Handover
MIIE	Media Independent Information Service

MIHF	Media Independent Handover Function
MIPv6	Mobile Internet Protocol Version 6
MN	Mobile Node
NAT	Network Address Translation
ND	Neighbour Discovery
NGWN	Next Generation Wireless Networks
NIST	National Institute of Standards and Technology
NS	Neighbour Solicitation
NS-2	Network Simulator 2
NUD	Neighbour Unreachability Detection
OTCL	Object Tool Command Language
P2P	Peer to Peer
PoA	Point of Access
Proxy ARP	Proxy Address Resolution Protocol
PS	Packet Switching
PSTN	Public Switched Telephone Networks
QoS	Quality of Service
RA	Router Advertisement
RD	Router Discovery
RDT	Reliable Data Transfer
RFC	Request for Comments
RS	Router Solicitation
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTT	Round Trip Time
RxThresh_	Receiver Sensitivity
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TARS	Target Access Router Selection
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VHO	Vertical Handover
VoIP	Voice over Internet Protocol
WiFi	Wireless Fidelity
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Networks
WMAN	Wireless Metropolitan Area Networks

*****

ملخص البحث

تطورت الشبكات اللاسلكية في السنوات القليلة الماضية بشكل كبير وملحوظ، وذلك من أجل تلبية احتياجات المستخدم المختلفة. إلا أنها عجزت إفرادياً عن تلبية هذه الاحتياجات المتزايدة، مما دفع الأبحاث باتجاه مكاملة هذه الشبكات ودمجها فيما عُرف باسم شبكات الجيل القادم اللاسلكية NGWN أو الجيل الرابع 4G. ويمكن تعريف هذه الشبكات بعبارة بسيطة تلخص الهدف من هذه الشبكات وهي تأمين أي خدمة بواسطة أي جهاز وعبر أي شبكة وفي أي مكان وفي أي زمان.

إن أهم تحدي يواجه هذه الشبكات هو تأمين عملية انتقال سلسلة Seamless Handover بين الشبكات ذات تقانات النفاذ المختلفة، والذي يؤثر بصورة كبيرة على جودة الخدمة.

ولتحقيق هذا الهدف جرى تطوير المعيار IEEE802.21، والذي يعمل بين الطبقتين الثانية والثالثة في كدسة البروتوكولات TCP/IP، ويقوم بعزل الطبقات العليا عن طبقة وصلة المعطيات Data link Layer، وتزويد الطبقات العليا بحالة الشبكات اللاسلكية وما يستجد عليها من أحداث، إضافةً إلى معلومات أخرى تفيد الطبقات العليا في تأمين عملية انتقال سلسة.

وحيث أن شبكات الجيل القادم تؤمن التحركية Mobility بين شبكتين من طبيعتين مختلفتين، فلابد من استخدام المعيار Mobile IP. لقد اعتمدت جميع الأبحاث و الدراسات على MIPv6 نظراً لأن عملية الانتقال من IPv4 إلى IPv6 أضحت مسألة وقت لا أكثر.

يتناول هذا البحث دراسة عملية الانتقال باستخدام المعيار IEEE802.21، والمعيار MIPv6 بهدف تحسين عملية الانتقال وأمثَلَتها، ويركّز بصورة مباشرة على الحدثين انهيار الوصلة LD وتوجه الوصلة نحو الانهيار LGD، ومحاولة إيجاد آلية أكثر مرونة وديناميكية لتوليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD بهدف تخفيض زمن التأخير الناتج عن عملية الانتقال.

الكلمات المفتاحية: المعيار IEEE802.21، الانتقال المستقل عن الوسط MIH، المعيار MIPv6، الانتقال الشاقولي VHO، الحدث انهيار الوصلة LD، الحدث اتجاه الوصلة نحو الانهيار LGD.

الفصل الأول

مدخل إلى الدراسة

Introduction

1.1. مقدمة

مع تطور احتياجات المستخدمين وتنوعها وتعدد مزودي خدمات الاتصالات والبنى التحتية، لم يعد بمقدور نوع واحد من شبكات الاتصال المتاحة تلبية جميع المتطلبات المتنوعة ولكافة المستخدمين. لذا تركزت الأبحاث في السنوات الأخيرة على دمج الشبكات ومكاملتها مع بعضها البعض لتحقيق هذه الغاية، وهو ما قاد إلى الجيل الرابع Fourth Generation (4G) من الشبكات [1].

تتيح شبكات الجيل الرابع 4G للمستخدم اتصال دائم بالشبكة، مع إمكانية استخدام أي نوع من الخدمات بواسطة أي جهاز يدعم تقانة الجيل الرابع، وفي أي مكان وأي وقت، وذلك بالاتصال بأي نوع من الشبكات المحيطة به مثل Wireless Fidelity (WiFi) و Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMax) وغيرها [1].

يتوجب على العقدة المحمولة (الجهاز المحمول) Mobile Node (MN) أثناء تجوالها ضمن شبكات الجيل الرابع 4G القيام بعمليات انتقال (مناولة) Handover (HO) من شبكة إلى أخرى. وينبغي أن تكون عملية الانتقال هذه سلسة Seamless بما يضمن عدم حدوث انقطاع في الاتصال أو انخفاض في جودة الخدمة. ولتحقيق هذا الهدف جرى وضع وتطوير الكثير من المعايير، بهدف الوصول لانتقال سلس من شبكة لاسلكية أو حتى سلكية إلى أخرى. سنركز في هذا البحث على دراسة المعيار IEEE802.21 والمعيار MIPv6 بهدف تحسين عملية الانتقال HO في الشبكات المعتمدة عليهما.

2.1. مشكلة الدراسة وتساؤلاتها

أثناء تجوال العقدة المحمولة MN في منطقة جغرافية ما، فإنها قد تتعرض لانخفاض في استطاعة الإشارة المستقبلة من نقطة النفاذ Point of Access (PoA) المتصل بها ومن ثمَّ في جودة الخدمة، أو قد تستقبل أثناء تجوالها إشارة من شبكة جديدة أفضل جودة من تلك المتصل بها. كما يمكن أن تتطلب التطبيقات التي تستخدمها العقدة المحمولة MN الاتصال بشكبة لاسلكية توفر معدل نقل بيانات أعلى من تلك المتصل بها.

سنتناول في هذا البحث دراسة عملية الانتقال HO هذه بهدف تحسينها وتخفيض زمن التأخير الذي سينتج عن هذه العملية، لما له من أثر كبير على التطبيقات التي تستخدمها العقدة المحمولة MN. كما سندرس أثر عملية الانتقال HO المقترحة على بعض التطبيقات. ويشمل هذا البحث دراسة المعيار IEEE802.21 أو ما يسمى الانتقال المستقل عن الوسط Media Independent Handover (MIH) والمعيار Mobile IPv6 (MIPv6)، إضافةً إلى مراجعة الأبحاث السابقة في هذا المجال، وخاصة تلك التي ركزت على عملية الانتقال الشاقولي Vertical Handover (VHO) باستخدام المعيارين السابقين.

3.1. أهداف البحث

من أبرز أهداف هذا البحث دراسة التأخير الزمني الناتج عن عملية الانتقال الشاقولي VHO بين شبكات الجيل القادم اللاسلكية Next Generation Wireless Networks (NGWN)، ثم محاولة التركيز على أحد الموسطات (البارامترات) Parameters المؤثرة مباشرةً على عملية الانتقال HO، بهدف تخفيض هذا التأخير، وذلك وفق خطة تشمل عدد من المساقات من أهمها:

1. الدراسة المرجعية لأهم الأبحاث التي تناولت موضوع التأخير الزمني الناتج عن عملية الانتقال HO.
2. دراسة شبكتي WiFi وWiMax ومفهوم الانتقال HO وأسباب التأخير الناتج عن الانتقال HO ومكوناته.
3. دراسة المعيار IEEE802.21 والمعيار MIPv6 ومساهمة هذين المعيارين في عملية الانتقال HO.
4. دراسة أثر الحدثين انهيار الوصلة Link Down (LD) وتوجه الوصلة نحو الانهيار Link Going Down (LGD) المتضمنيّن في المعيار IEEE802.21، وأثرهما على زمن التأخير الناتج عن عملية الانتقال، ثم البحث عن طريقة تجعل من توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD أكثر ديناميكية وكفاءة، إضافةً إلى دراسة أثر الطريقة المقترحة على عملية الانتقال HO وعلى بعض التطبيقات التي من الممكن استخدامها من قبل العقدة المحمولة MN.

4.1. أهمية البحث

تكمن أهمية البحث في أنه يتناول مسألة التأخير الزمني الناتج عن عمليات الانتقال HO في الجيل الرابع 4G، والتي تُعدّ حجر الأساس في شبكات الجيل القادم اللاسلكية NGWN. كما يتناول البحث أهم معيارين سيستخدمان في الجيل القادم وهما المعيار IEEE802.21 ، والمعيار MIPv6 لتأمين عملية الانتقال على مستوى الطبقتين الثانية والثالثة.

ركز البحث على حدثين مهمّين في المعيار IEEE802.21 هما انهيار الوصلة LD وتوجه الوصلة نحو الانهيار LGD، ومحاولة إيجاد طريقة أكثر فاعلية لتوليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD أثناء تجوال العقدة المحمولة MN، بهدف أمثَلَة عملية الانتقال HO، وتخفيض زمن التأخير الناتج عنها. كما أُجريت أيضاً دراسة لأثر عملية الانتقال بالطريقة المقترحة على تطبيقات مختلفة للعقدة المحمولة MN.

جرى تنظيم محتوى الرسالة على النحو الآتي:

- الفصل الأول: وهو يشتمل على عرض مشكلة الدراسة وأهدافها وأهميتها وعرض هيكلية البحث.
- الفصل الثاني: ويتضمن توضيح مفهوم الانتقال HO والشبكات النقالة إضافةً إلى دراسة موجزة لشبكتي WiFi و WiMax اللتين ستُستخدمان في عملية المحاكاة.
- الفصل الثالث: ويتكون من دراسة معمقة للمعيار MIPv6 وطريقة عمله في تأمين عملية انتقال شاقولي VHO سلسة Seamless من شبكة إلى أخرى.
- الفصل الرابع: ويشتمل على دراسة المعيار الأهم في التحركية Mobility وشبكات الجيل القادم اللاسلكية NGWN، وهو المعيار IEEE802.21، ودراسة إطار العمل الذي يقدمه هذا المعيار لتأمين عمليات الانتقال HO السلسة Seamless بين الشبكات.
- الفصل الخامس: ويتناول بالتفصيل البرمجيات المستخدمة في عملية المحاكاة والسيناريو المقترح لكيفية الانتقال HO على مستوى الطبقتين الثانية والثالثة.
- الفصل السادس: ويتضمن النتائج العملية لمحاكاة السيناريو المقترح دراسةً وتحليلاً، ومحاولة إيجاد القيمة المثلى لمعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor، والتي يكون من أجلها الزمن الذي

تستغرقه عملية الانتقال أصغرياً. كما جرت دراسة أثر عملية الانتقال HO على التطبيقات التي من الممكن أن تستخدمها العقدة المحمولة MN أثناء تجوالها.

- إضافة إلى الخاتمة والآفاق المستقبلية للبحث.

5.1. الدراسة المرجعية

يتيح المعيار IEEE802.21 عمليات انتقال HO سلسة Seamless بين الشبكات غير المتجانسة Heterogeneous. وتعتمد هذه العمليات على إحدى الخدمات الثلاث التي يقدمها وهي خدمة الأحداث Events Service. تستطيع العقدة المحمولة MN بفضل هذه الخدمة التنبؤ بأي انقطاعات في الاتصال مع نقطة النفاذ Point of Access (PoA)، أو بانخفاض في جودة الاتصال، مما يستدعي القيام بفعل ما. يُعدَ الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD من أهم هذه الأحداث على الإطلاق بالنسبة لعملية الانتقال، حيث يقوم المعيار IEEE802.21 بتوليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD اعتماداً على تحليل وقياسات لطبقة الوصلة Link Layer.

ركزت أبحاث عديدة على دراسة الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD وتأثيره على عملية الانتقال HO. فبعض الأبحاث، مثل [3][2] للباحثين V. Mhatre, K. Papagiannaki و S. Woon, N. Golmie, Y.A. Sekercioglu، قامت بدراسة هذا الحدث LGD، واقترحت اعتماد قيمة عتبة ثابتة لاستطاعة الرزم المستقبلة P_r يجري من أجلها توليد هذا الحدث.

وقام الباحثون [5][4] Sang-Jo Yoo و David Cypher و Nada Golmie وهم من الباحثين الرئيسيين في المعهد الوطني للمعايير والتقانة National Institute of Standards and Technology (NIST) الذين عملوا على تطوير المحاكي NS-2 لدعم المعيار IEEE802.21، بالاستفادة من المعلومات التي يتيحها المعيار IEEE802.21 عن الشبكات المحيطة والتي يمكن الحصول عليها من مخدم المعلومات الخاص بالمعيار في توليد الحدث LGD، بحيث تجري عملية الانتقال قبل وقت كافٍ من مغادرة العقدة المحمولة MN للمساحة المغطاة لاسلكياً.

أما في [6] فقد اقترح الباحثون K.R Kumar, P. Angolkar, D. Das توليد الحدث LGD بالاعتماد فقط على تثقيل Weighting مجموعة من المؤشرات لقوة الإشارة المستقبلة Received Signal Strength Indicator (RSSI) دون أخذ أية عوامل أخرى بالحسبان.

وفي [8] اقترح الباحثان R. Chandavarkar, R. Reddy مجموعة من العوامل الهامة لأخذها بالحسبان عند توليد الحدث LGD مثل الزمن المتوقع لمغادرة العقدة المحمولة MN للمنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً، واستهلاك الطاقة للعقدة المحمولة MN، إضافةً إلى عرض المجال Bandwidth (BW) المتاح، ومن ثم قاموا بتثقيل Weighting هذه العوامل. كما اقترح الباحثون أيضاً تعديل إطار الإرشاد Beacon Frame ليشتمل على نصف قطر المساحة المغطاة لاسلكياً، كي تتمكن العقدة المحمولة MN من حساب الزمن المتوقع لمغادرة المنطقة المغطاة لاسلكياً، في حين أن الأمر لا يستدعي هذا التعديل وذلك لكون العقدة المحمولة MN تستطيع الحصول على هذه المعلومة وغيرها من المعلومات من مخدم المعلومات الذي يتيحه المعيار IEEE802.21 وبواسطة خدمة المعلومات Information Service. كما جرى في هذا البحث تحديد عتبة ثابتة Pr_Limit_ لتوليد الحدث LGD، ومن ثم معالجة هذا الحدث من قبل واجهة التواصل MIH user المسؤولة عن عملية الانتقال HO والموجودة في طبقة التطبيقات Application Layer.

سنقوم في هذا البحث انطلاقاً من الدراسة المرجعية للأبحاث حول المعيار IEEE802.21 وآلية توليد الحدث LGD، بدراسة هذا الحدث ثم مقارنته مع الحدث LD وأثرهما على التأخير الناتج عن عملية الانتقال HO. كما سنسعى إلى إيجاد آلية أكثر مرونة وديناميكية لتوليد الحدث LGD في الوقت المناسب، نظراً لأن توليد هذا الحدث مبكراً يؤدي إلى زيادة عمليات الانتقال غير الضرورية، والتي قد تستدعي الانتقال مبكراً إلى شبكة ذات تكلفة أعلى. كما أن التأخر في توليد الحدث LGD قد ينجم عنه انقطاع الاتصال مع نقطة النفاذ PoA.

وسنقوم بعد ذلك بدراسة أثر الآلية المقترحة لتوليد الحدث LGD على عدد من التطبيقات التي يمكن أن تستخدمها العقدة المحمولة MN.

سنعتمد في دراستنا وفي التنفيذ البرمجي على استخدام المحاكي NS-2 مفتوح المصدر، وعلى استخدام عدد من الإضافات الضرورية التي طورها المعهد الوطني للمعايير والتقانة NIST والتي لا يدعمها المحاكي NS-2 أساساً.

*****

الفصل الثاني

الشبكات اللاسلكية ومفهوم الانتقال

Wireless Networks and Handover Concept

1.2. مقدمة

تمثل الشبكات اللاسلكية التقنية الأحدث في عالم الشبكات في الوقت الراهن. فالتخلص من الكوابل ومشكلات تمديدها، إضافةً إلى حرية الحركة والتنقل يعدّ أمراً ضرورياً. تتيح الشبكات اللاسلكية والأنظمة المحمولة للمستخدمين الاتصال ومعالجة المعلومات دون أية قيود على المكان أو الوقت، كما أن وضعية المستخدم سواءً أكان ثابتاً أم متحركاً يجب أن لا تؤثر على جودة الخدمة أو قدرة المستخدم على استخدام موارد الشبكة.

2.2. الشبكات النقالة Mobile Networks

1.2.2. الجيل الأول 1G

اعتمد الجيل الأول للشبكات النقالة على الإرسال التماثلي Analogue Transmission، ففي العام 1979 قامت شركة NTT (Nippon Telephone and Telegraph) في اليابان بتنفيذ أول شبكة خَلَوِيّة Cellular، ثم تبعتها شركة AT&T في أميركا الشمالية في العام 1980 وذلك بتوفير الجيل الأول من الأنظمة النقالة للمستخدمين. تمثلت الخدمة الأساسية في هذا الجيل في تأمين المحادثات الصوتية، واستخدمت المجال الترددي 800-900 MHz وبعرض مجال Bandwidth قدره 40 MHz [7].

2.2.2. الجيل الثاني 2G

ظهر هذا الجيل مع نهاية الثمانينات من القرن العشرين، وأضاف هذا الجيل خدمة جديدة إلى سابقه. إذ غدا بإمكان المستخدمين تبادل المعطيات Data إنما بسرعات منخفضة، إضافةً إلى المحادثات الصوتية. وتَمثَّل التغيير الأساسي في هذا الجيل في الانتقال من الإرسال التماثلي إلى نظيره الرقمي، لكون الأخير أكثر كفاءة في نقل المعطيات من جهة، وأفضل من حيث الفاعلية الطيفية Spectrum Efficiency من جهة أخرى.

جرى في هذا الجيل تطوير النظام العالمي للاتصالات المحمولة Global System for Mobile Communications (GSM) في أوربا، والذي استخدم المجال الترددي 900MHz وبعرض مجال 50MHz. ثم

جرت إضافة العديد من التحسينات إلى هذا الجيل، والتي قادت إلى ما يسمى الجيل الثاني والنصف 2.5G، (والذي من خلاله أصبح ممكناً تبادل المعطيات Data بواسطة تقانات مثل GPRS أو EDGE) ويعمل حالياً في أكثر من 190 بلد حول العالم، ويفوق عدد مستخدميه الـ 800 مليون مستخدم [7].

3.2.2. الجيل الثالث 3G

دفع النجاح الكبير للجيل الثاني 2G والذي فاق التوقعات شركات الاتصالات لتحقيق متطلبات المستخدمين الجديدة سواءً من حيث سرعة نقل المعطيات أو من حيث الحفاظ على مستوى معين من جودة الخدمة. كما تنبهت الشركات أيضاً إلى خدمات جديدة مثل الانترنت والاتصالات المرئية [7].

دفعت هذه المتطلبات الجديدة الاتحاد الدولي للاتصالات International Telecommunications Union (ITU) للعمل على تطوير الجيل الثالث من الشبكات المحمولة، فقام في العام 2000 بوضع المواصفات Specifications الرئيسية لهذا الجيل ومنها[7]:

1. تقدم شبكات الجيل الثالث ذات جودة الاتصال الصوتي التي تقدمها شبكات الهاتف التبديلية العامة Public Switched Telephone Networks (PSTN).
2. تضمن شبكات الجيل الثالث معدل نقل معطيات مرتفع في المركبات المتحركة.
3. يجب أن يضمن الجيل الثالث سرعة نقل معطيات تصل حتى 2Mbps داخل الأبنية.
4. يجب أن يدعم الجيل الثالث نقل المعطيات المتناظر وغير المتناظر.
5. يجب أن يحافظ الجيل الثالث على تبديل الدارات Circuit Switching وتبديل الرزم Packet Switching.

4.2.2. الجيل الرابع 4G

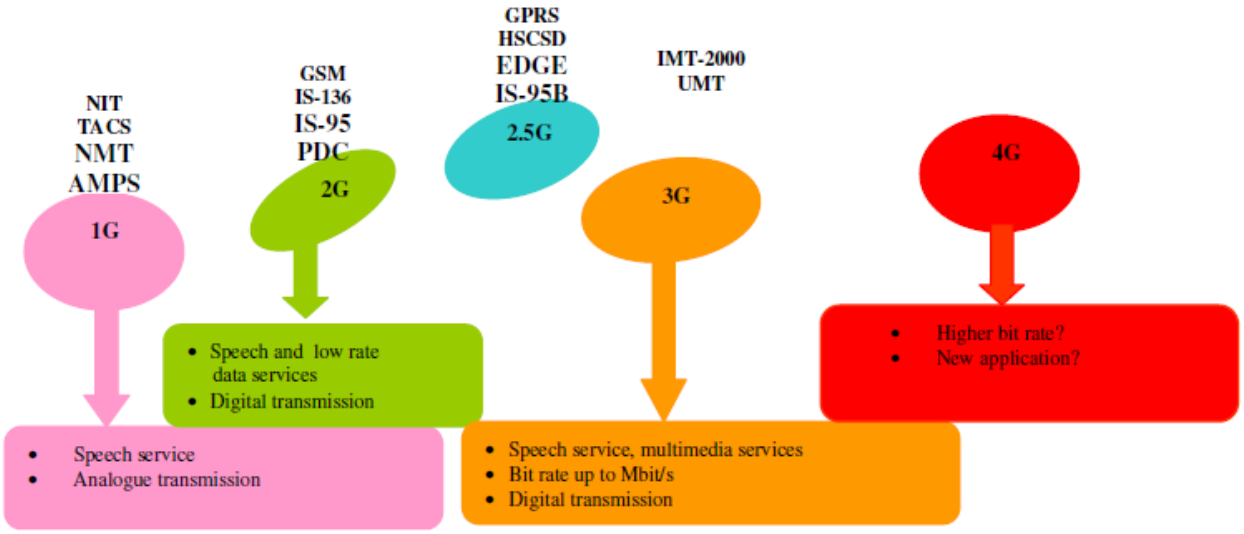
الجيل الرابع أو الجيل اللاحق Next Generation هو الجيل الذي يُعمل حالياً على تطويره ليحل مكان الجيل الثالث خلال السنوات القليلة القادمة. بدأ العمل على هذا الجيل في العام 2008 تقريباً بهدف دعم خدمات الوسائط المتعددة في الزمن الحقيقي، بحيث تختار العقدة المحمولة Mobile Node (MN) الشبكة الأنسب في أي لحظة بصورة آلية [7]. يتميز الجيل الجديد من الاتصالات المحمولة باتصالات سلسة مع خدمة انترنت

بعرض مجال كبير في أي زمان ومكان. وتتنوع الخدمات من الاتصالات الصوتية إلى المرئية إلى نقل البيانات والصور ومقاطع الفيديو وغير ذلك.

يعتمد الجيل الرابع 4G على كدسة البروتوكولات TCP/IP Stack، والتي تستخدمها شبكة الانترنت حالياً، مما سيسمح للمستخدمين باستخدام تطبيقاتهم بحرية تامة، ومن أي بيئة عمل. باختصار يمكن القول أن الجيل الجديد سيعتمد بشكل أساسي على بروتوكول الانترنت Internet Protocol (IP).

يتطلب تنوع التطبيقات في الجيل الجديد عرض مجال كبير لتحقيق معدل نقل معطيات مرتفع، كما يحتاج هذا الجيل لتطوير استراتيجيات جديدة ومتطورة لعمليات الانتقال (المناولة) Handover (HO) من شبكة لاسلكية إلى أخرى، لكونه سيعمل جنباً إلى جنب مع شبكات الجيلين الثاني والثالث.

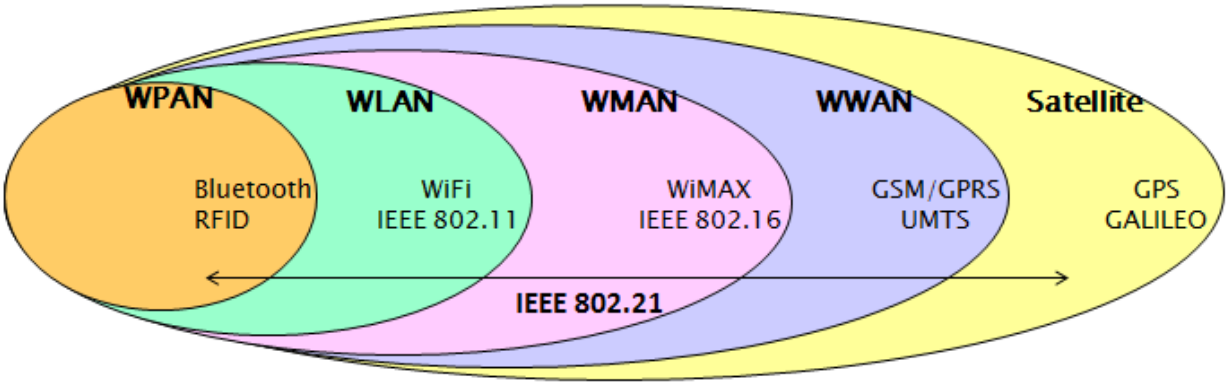
يبيّن الشكل (2–1) تطور أجيال الشبكات النقالة.



الشكل (2–1) تطورات الشبكات النقالة [7]

3.2. تقانات الشبكات اللاسلكية Wireless Technologies

تُصنّف الشبكات اللاسلكية وفقاً لمعايير متعددة، من أهمها معدل نقل المعطيات والحركية والمساحة المغطاة لاسلكياً. يبيّن الشكل (2–2) تصنيف الشبكات اللاسلكية وفقاً للمساحة المغطاة لاسلكياً.



الشكل (2–2) تصنيف الشبكات اللاسلكية تبعاً للمساحة المغطاة

تُعدّ الشبكات المحلية اللاسلكية Wireless Local Area Networks (WLANs) وشبكات المدن اللاسلكية Wireless Metropolitan Area Networks (WMANs) من أهم الشبكات اللاسلكية. لذا سنتناول فيما يأتي أهم مزايا هاتين الشبكتين واللتين جرى استخدامهما في المحاكاة.

1.3.2. الشبكة المحلية اللاسلكية WLAN

وضع معهد Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) المعيار 802.11 في العام 1997، والذي يوصّف الطبقة الفيزيائية Physical Layer وطبقة التحكم في النفاذ إلى الوسائط Media Access Control (MAC) لهذا النوع من الشبكات والتي تستخدم المجال الترددي المخصص للتطبيقات الصناعية والعلمية والطبية غير المرخصة Industrial, Scientific and Medical (ISM). وقد جرى تطوير هذا المعيار وإدخال العديد من التحسينات عليه كما هو مبيّن في الجدول (2–1).

الجدول (2–1) التحسينات التي أُدخلت على المعيار IEEE802.11

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

تمتاز هذه الشبكات بسهولة الإنشاء وانخفاض التكاليف إضافةً إلى سرعة نقل معطيات كبيرة نسبياً، مما أسهم في رواج هذا النوع من الشبكات.

2.3.2. شبكة المدن اللاسلكية WMAN

دفعت التحركية Mobility المحدودة والمساحة الجغرافية الصغيرة نسبياً في الشبكات المحلية اللاسلكية WLAN بمعهد IEEE في العام 1999 إلى تشكيل مجموعة بحث بهدف تطوير شبكة ذات معدل نقل بيانات مرتفع ويدعم التحركية Mobility، إضافةً إلى تغطية مساحة جغرافية كبيرة نسبياً. فقام معهد IEEE بتطوير شبكة التشغيلية البينية عبر العالم للنفاذ المِكروي Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) تحت مسمى المعيار IEEE802.16، والتي تُقسم إلى صنفين رئيسين هما:

1. شبكة الـ WiMAX الثابتة Fixed WiMAX:

   وهي التي تعتمد على المعيار IEEE 802.16-2004 وتُعرف أيضاً بـ IEEE802.16d. ولا تدعم هذه الشبكات عملية الانتقال Handover بين نقاط النفاذ Access Points، لكونها صُممت أساساً لتقديم الخدمة للأماكن الثابتة مثل المكاتب والمقرات. وتُعدّ رديفاً لخدمة الخط الرقمي للمشترك Digital Subscriber Line (DSL) في الأماكن التي لا يتوافر فيها بنية تحتية من الأسلاك النحاسية [7].

2. شبكة الـ WiMAX النقالة Mobile WiMax:

   وهي الشبكات التي تعتمد على المعيار 802.16e-2005، وتُعرف أيضاً بـ 802.16e. أتاحت هذه التقانة الجديدة للمستخدم عملية الانتقال HO بين نقاط النفاذ Access Points [7].

4.2. الانتقال Handover

1.4.2. تعريف الانتقال

عندما تتحرك العقدة المحمولة MN ضمن منطقة جغرافية ما، فإنها قد تتعرض لإنخفاض في جودة الإشارة المستقبلة، أو قد يحدث بعض التداخل Interference. لذا تحتاج العقدة المحمولة MN إلى تغيير نقطة النفاذ Point of Access (PoA) المتصل بها إلى نقطة نفاذ جديدة nPoA، بحثاً عن جودة إشارة أفضل، أي عن نقطة نفاذ AP تكون فيها الإشارة المستقبلة أفضل.

2.4.2. أصناف الانتقال

يُصنف الانتقال وفقاً لعدة معايير من أهمها:

1.2.4.2. الانتقال وفقاً لطبيعة الشبكة

يُقسم الانتقال Handover وفقاً لطبيعة الشبكة إلى نوعين هما:

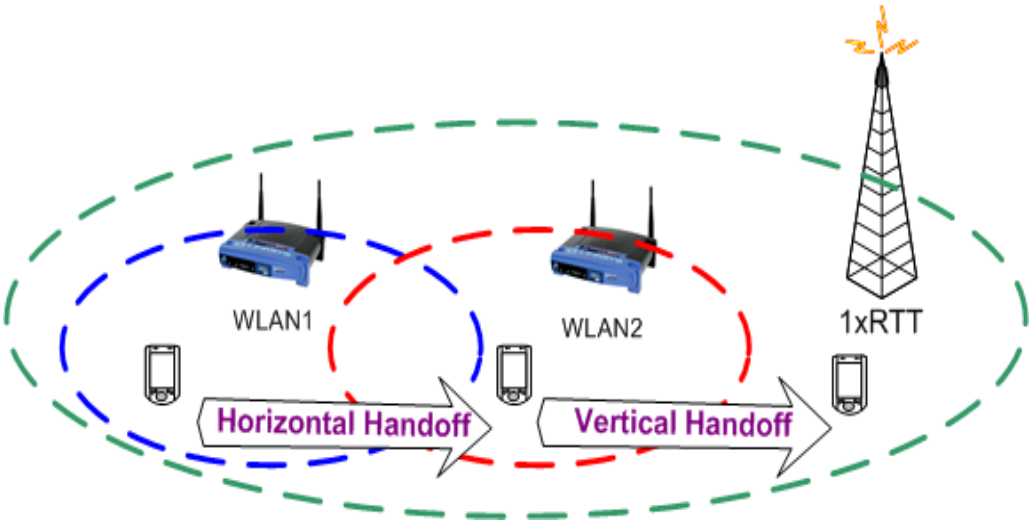
1. الانتقال الأفقي Horizontal Handover

يُقصد بها الانتقال الذي يجري بين نقطتي نفاذ تستخدمان نفس التقانة اللاسلكية Wireless Technology، كالانتقال من شبكة WiFi إلى شبكة WiFi أخرى.

2. الانتقال الشاقولي Vertical Handover

يُقصد به الانتقال الذي يجري بين نقطتي نفاذ مختلفتين من حيث التقانة اللاسلكية Wireless Technology، كالانتقال من شبكة Wireless Fidelity (WiFi) إلى شبكة WiMAX.

يبيّن الشكل (2-3) نوعي الانتقال وفقاً لطبيعة الشبكة.

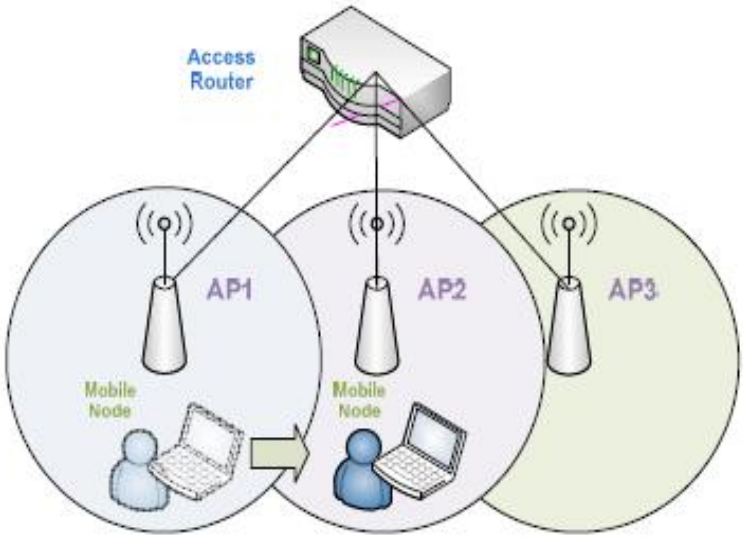


الشكل (2-3) الانتقال الأفقي والانتقال الشاقولي [29]

2.2.4.2. الانتقال وفقاً لطبقة TCP/IP

1. الانتقال على مستوى الطبقة الثانية L2HO

يحدث الانتقال على مستوى الطبقة الثانية عندما تنتقل العقدة المحمولة MN من نقطة نفاذ AP إلى أخرى، حيث يجري تحرير الاتصال من نقطة النفاذ القديمة، والبدء بإنشاء اتصال مع نقطة النفاذ الجديدة (على سبيل المثال)، ومن ثمّ يجري تحديث الإيثاق Binding Update بين عنوان الـ IP في الطبقة الثالثة مع عنوان الـ MAC في الطبقة الثانية للموجه Router الجديد. يبيّن الشكل (2-4) مبدأ الانتقال على مستوى الطبقة الثانية.



الشكل (2-4) الانتقال على مستوى الطبقة الثانية [29]

في هذا النوع من الانتقال يمكن تمييز نوعين من الانتقال هما:

- الانتقال القاسي Hard Handover

يجري فيه تحرير الاتصال القديم قبل إنشاء الاتصال مع نقطة النفاذ الجديدة nAP، ويسمى أيضاً القطع قبل الإنشاء Break-before-Make، نظراً لحدوث انقطاع في الخدمة لمدة من الزمن.

- الانتقال اللين Soft Handover

في هذا النوع من الانتقال تكون العقدة المحمولة MN قادرة على إنشاء اتصال مع نقطة النفاذ الجديدة مع الحفاظ على الاتصال القديم، أي تكون العقدة المحمولة MN متصلة مع نقطتي نفاذ APs في نفس الوقت، ثم يجري قطع الاتصال مع نقطة النفاذ AP القديمة. يسمى أيضاً هذا النوع من الانتقال بالإنشاء قبل القطع Make-before-Break.

2. الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة L3HO

يحدث هذا النوع من الانتقال عند الانتقال من نقطة نفاذ AP إلى أخرى تقع في شبكة مختلفة، ومن ثمَّ لديها مجال عناوين IP مختلف مثل الحالتين الآتيتين:

- انتقال العقدة المحمولة أفقياً HHO إلى نقطة نفاذ جديدة nAP، تتبع لمزود خدمة Service Provider مختلف، كما هو مبيّن بالشكل (2-5).
- انتقال العقدة المحمولة شاقولياً VHO إلى شبكة جديدة.

ينتج عن الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة L3HO تأخير زمني أكبر بكثير من التأخير الناتج عن الانتقال على مستوى الطبقة الثانية. وسنقوم بدراسة البروتوكول MIPv6 بشيء من التفصيل في الفصل الثالث لكونه المسؤول عن الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة L3HO.

يتكون التأخير الناتج عن الانتقال Handover بصورة عامة من مجموع التأخيرين الناتجين عن الانتقال على الطبقتين الثانية والثالثة، كما هو معطى بالعلاقة (2-1).

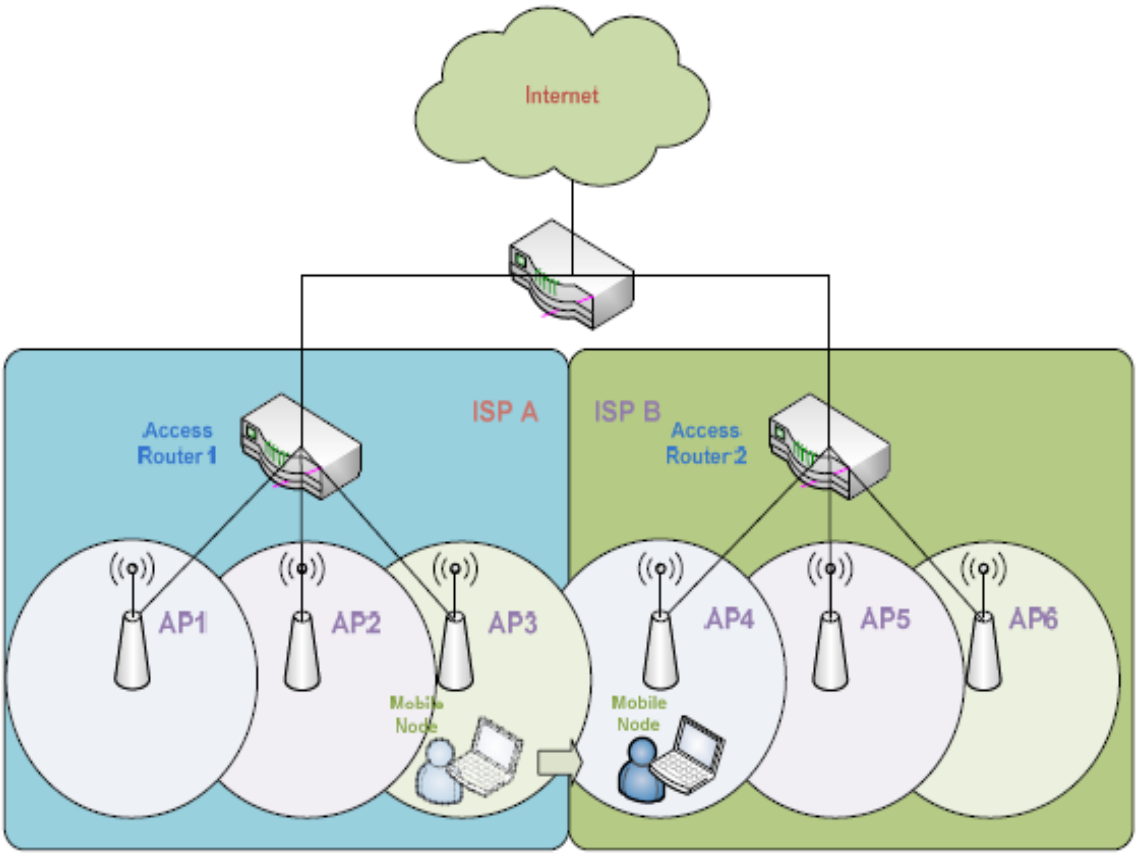
$$HO\ Delay = L2HO\ Delay + L3HO\ Delay \qquad (1\text{-}2)$$

وفي حالة كان الانتقال Handover أفقياً إلى نقطة نفاذ تنتمي إلى نفس مزود الخدمة يكون التأخير على الطبقة الثالثة معدوماً، كما هو مبيّن بالعلاقة (2-2).

$$L3HO\ Delay = 0 \qquad (2\text{-}2)$$

ويُعطى التأخير الكلي بالعلاقة (2-3).

$$HO\ Delay = L2HO\ Delay \qquad (3\text{-}2)$$



الشكل (2-5) الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة [29]

*****

الفصل الثالث

المعيار بروتوكول الانترنت النقال الإصدار السادس MIPv6 والانتقال

MIPv6 and Handover

1.3. مقدمة

تُعد التحركية Mobility حجر الأساس في الجيل الرابع من الشبكات اللاسلكية المفترض به تلبية جميع متطلبات المستخدمين. صُممت شبكات الجيل القادم بحيث تكون نواتها معتمدة أساساً على المعيار بروتوكول الانترنت الإصدار السادس Internet Protocol version 6 (IPv6) كما هو مبيّن بالشكل (3-1). يمثل المعيار IPv6 تطويراً للمعيار IPv4 الذي لم يعد ملائماً من حيث فضاء العناوين المتاح. سنتناول في هذا الفصل بشكل موجز المعيار Mobile Internet Protocol Version 6 (MIPv6) وطريقة عمله لتأمين عملية انتقال شاقولي سلسة من شبكة إلى أخرى.



الشكل (3-1) البنية الرئيسية لشبكات الجيل الرابع [31]

2.3. المعيار IPv6

يمثل المعيار IPv6 الجيل الجديد من عناوين الانترنت IP، وقد جرى إطلاقه في العام 1996 من قبل فريق العمل الهندسي للإنترنت Internet Engineering Task Force (IETF).

ويهدف هذا المعيار الجديد أساساً إلى زيادة عدد العناوين بعد أن شارفت عناوين الانترنت IPv4 على النفاد. تُعد إجرائية التحويل المسماة ترجمة عنوان الشبكة Network Address Translation (NAT) إحدى أهم مساوئ المعيار IPv4، وقد استُخدمت للفصل بين عناوين المعيار IPv4 الخاصة Private والعناوين العامة Global، بهدف التقليل من استخدام عناوين IPv4. وقد أثرت إجرائية ترجمة عنوان الشبكة NAT سلباً على استخدام تطبيقات الند للند Peer to Peer (P2P)، وفي مقدمتها المهاتفة بواسطة بروتوكول الانترنت Voice over IP (VoIP). ومع الانتشار المتزايد للشبكات اللاسلكية يُعدّ استخدام المعيار IPv6 مسألة وقت لا أكثر. ففي العام 2005 حددت الحكومة الأمريكية تاريخ تموز 2010 موعداً نهائياً لاستخدام المعيار IPv6 وذلك لجميع الوكالات الفيدرالية الأميركية [9].

ونعرض فيما يأتي إلى أهم نقاط القوة في المعيار الجديد [22]:

- زيادة عدد العناوين من 2^{32} إلى 2^{128} ، ويتيح هذا العدد الكبير من العناوين استعمال عدة مستويات من العنونة الهرمية.
- الاستعاضة عن البث Broadcast المستخدم في الجيل الرابع، باستخدام البث المتعدد Multicast، والبث المختلف Anycast.
- استخدام المعيار IPv6 ترويسة Header أبسط من تلك المستخدمة في المعيار IPv4 مما يحسّن من استغلال عرض المجال BW.
- توفير المعيار IPv6 لمرونة أكبر من سابقه، لكون ترويسته مصممة لاستيعاب التطويرات والخيارات المستقبلية.
- تصميم المعيار IPv6 لدعم بعض السمات الأمنية مثل التحقق (الاستيقان) Authentication وسلامة المعطيات Data Integrity، وهو ما لا يوفره المعيار IPv4.

3.3. الاختلافات الأساسية بين المعيارين MIPv4 وMIPv6

ورِث المعيار بروتوكول الانترنت الإصدار السادس النقال Mobile IPv6 من سلفه المعيار بروتوكول الانترنت الإصدار الرابع النقال Mobile IPv4 التصميم الرئيسي نفسه. كما أنهما يشتركان بالكثير من

السمات الرئيسية، إضافةً إلى طريقة العمل نفسها، مع بعض الفروق المتعلقة بأمثَلَة (استمثال) عمل المعيار IPv6. يمكن إجمال هذه الفروق بالنقاط الآتية [29]:

- إلغاء مفهوم الوكيل الخارجي Foreign Agent (FA) في الشبكة التي جرى الإنتقال إليها (Visited Network) بشكل نهائي من المعيار MIPv6. إذ غدا بإمكان العقدة المحمولة MN العمل من دون أي دعم من الموجّه (المسيّر) المحلي Local Router.
- دعم المعيار MIPv6 لمفهوم أمثَلَة المسار Route Optimization.
- جعل عملية أمثَلَة المسار Route Optimization عمليةً آمنةً حتى من دون تنسيق مسبق بين العقدة المحمولة MN والعقدة المراسلة Correspondent Node (CN).
- تصميم الترويسة الجديدة بحيث لا تحتاج إلى إعادة تغليفها Tunneling، مما يُحسّن الأداء بشكل ملحوظ.
- استخدام المعيار MIPv6 لتقنية اكتشاف الجار Neighbor Discovery عوضاً عن تقنية بروتوكول مَيْز العناوين للمُفوَّض Proxy Address Resolution Protocol (Proxy ARP).

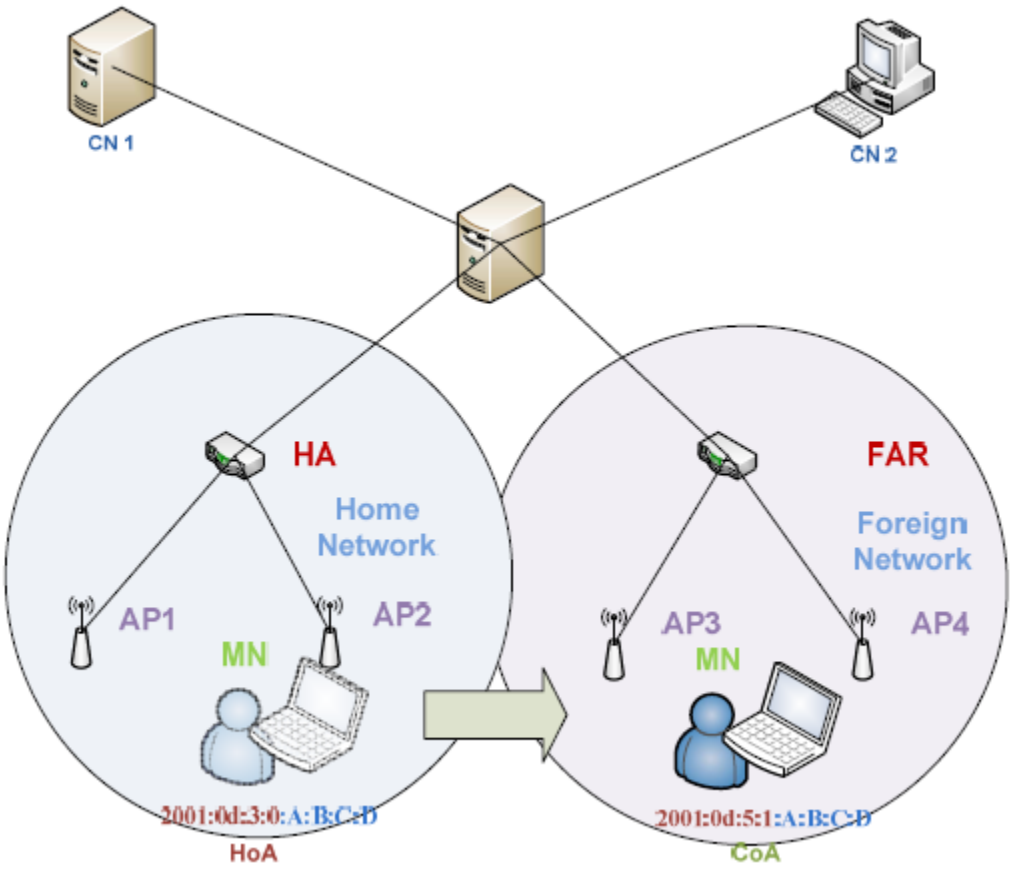
4.3. مكونات المعيار MIPv6

نعرض فيما يأتي لأهم المكونات الضرورية لشرح كيفية عمل المعيار MIPv6:

- العقدة المحمولة (النقالة) Mobile Node (MN): وهو الجهاز المحمول الذي ينتقل من شبكة إلى أخرى.
- نقاط النفاذ Access Points (AP): وهي التي تؤمن الاتصال الراديوي للعقدة المحمولة MN.
- مُوَجه النفاذ Access Router (AR): وهو الموجه الذي يزود العقدة المحمولة MN بالانترنت.
- عنوان الموطن Home Address (HoA): وهو عنوان الـ IP الدائم للـ MN، وتصل عادة كامل حركة العبور Traffic إلى العقدة المحمولة MN بواسطة هذا العنوان.
- وكيل الموطن Home Agent (HA): وهو موجه النفاذ AR الذي زَوَد العقدة المحمولة MN بعنوان الموطن HoA ويشترك معها بنفس بادئة عنوان IPv6.

- شبكة الموطن Home Network (HN): وهي الشبكة التي حصلت فيها العقدة المحمولة MN على عنوان الموطن HoA، أو هي الشبكة التي ينتمي إليها وكيل الموطن HA.
- عنوان الرعاية Care-of-Address (CoA): وهو العنوان المؤقت الذي تحصل عليه العقدة المحمولة MN عندما تتواجد خارج شبكة موطنها HN.
- موجه النفاذ الخارجي Foreign Access Router (FAR): وهو الموجه الذي يتيح للعقدة المحمولة MN الاتصال بالشبكات الأخرى بواسطة شبكة الانترنت عندما تكون متواجدة خارج شبكتها HN.
- الشبكة الخارجية Foreign Network (FN): هي أي شبكة تتصل بها العقدة المحمولة MN باستثناء شبكة موطنها HN.
- العقدة المراسلة Correspondent Node (CN): وهي العقدة التي تتخاطب مع العقدة المحمولة MN بواسطة عنوان موطنها عندما تكون خارج شبكة موطنها.

يبيّن الشكل (3-2) مكونات هذا المعيار.

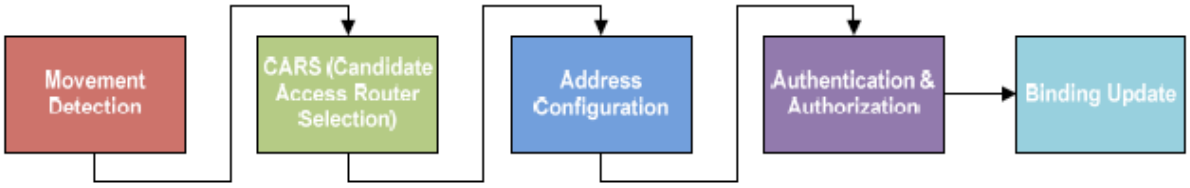


الشكل (3–2) المكونات الرئيسة للمعيار MIPv6 [29]

5.3. الانتقال وفقاً للمعيار MIPv6

تقسم عملية الانتقال وفقاً للمعيار MIPv6 إلى المراحل الخمسة الآتية، كما هو مبيّن بالشكل (3–3):

- كشف الحركة Movement Detection.
- اختيار موجه النفاذ AR المرشح Candidate Access Router Selection (CARS).
- تشكيل العنوان Address Configuration (AC).
- التحقق (الاستيقان) والتخويل Authentication & Authorization (A&A).
- تحديث الإيثاق Binding Update (BU).



الشكل (3-3) مراحل عمل المعيار MIPv6 [29]

وفيما يأتي شرح مفصل لكل مرحلة من المراحل الخمسة.

1.5.3. كشف الحركة

وهي الإجرائية التي تحدد لحظة انتقال العقدة المحمولة MN من شبكة إلى أخرى، وهي المرحلة الأولى من عملية الانتقال Handover [28]. عندما يجري تأكيد دخول العقدة المحمولة MN إلى شبكة جديدة، تبدأ سلسلة الإجرائيات المبيّنة في الشكل (3-3).

يجري تأكيد الدخول إلى شبكة جديدة عندما يتحقق الشرطان الآتيان [10]:

- اكتشاف موجه نفاذ AR جديد من قبل العقدة المحمولة MN.
- عدم قدرة العقدة المحمولة MN على الاتصال مع موجه النفاذ AR الحالي.

وبموجب المعيار RFC3775 [10]، لا تحدث عملية الانتقال إلا عندما تدرك العقدة المحمولة MN أنها لم تعد قادرة على الاتصال بالانترنت بواسطة موجه النفاذ AR الحالي، وهو ما سيتسبب بانخفاض جودة الخدمة بشكل كبير وملحوظ.

أُوجدت إجرائية كشف الحركة Movement Detection للحد من هذا الانخفاض في جودة الخدمة، حيث تعمل هذه الإجرائية على اكتشاف الجار Neighbor Discovery (ND)، والتي تتضمن اكتشاف الموجه Router Discovery (RD)، وأيضاً اكتشاف عدم امكانية الوصول إلى الجار Neighbor Unreachability Detection (NUD).

تقوم إجرائية كشف الحركة Movement Detection باستخدام رسالتين لكشف وجود شبكات جديدة هما دعوة الموجه Router Solicitation (RS)، والإعلان عن الموجه Router advertisement (RA). وتجري آلية كشف شبكة جديدة، اعتماداً على هاتين الرسالتين، على النحو الآتي:

يقوم كل موجه Router يدعم المعيار MIPv6، ببث متعدد Multicast لرسالة إعلان عن الموجه RA بواسطة نقطة نفاذ AP، ويجري دورياً تحديد الزمن الفاصل بين رسالتين اعتماداً على القيمتين

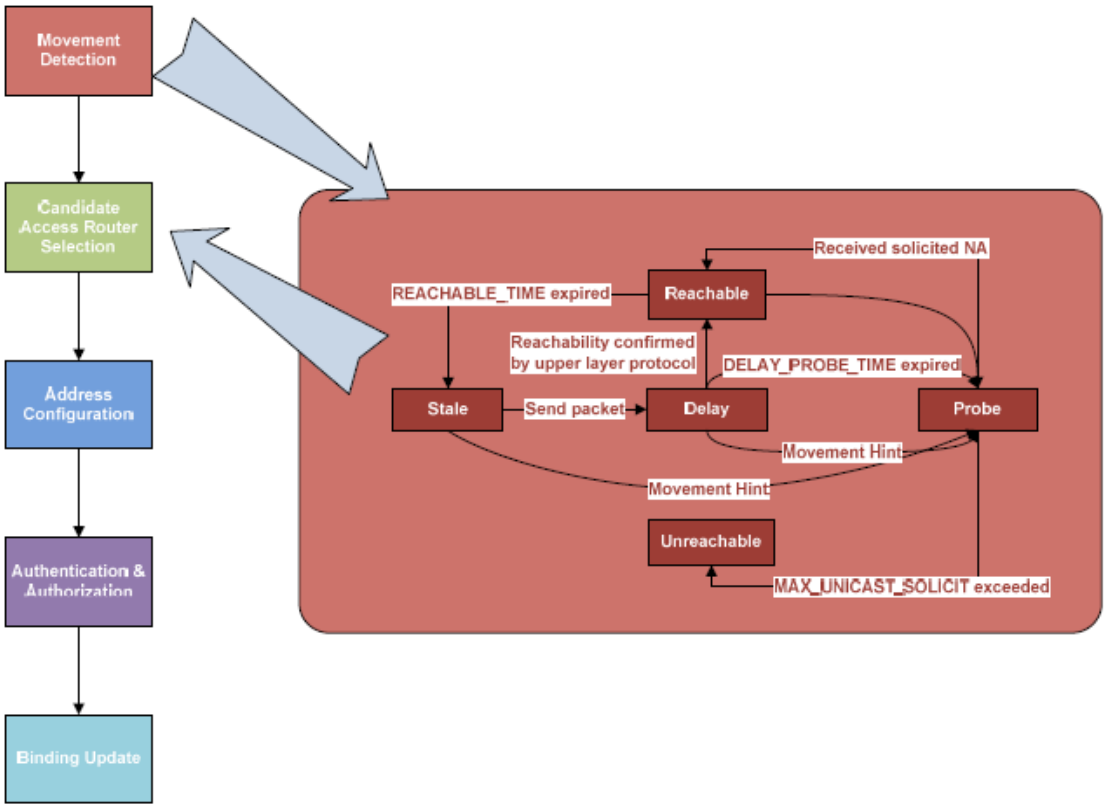
MinRtrAdvInterval (وتمثل الزمن الأدنى المسموح بين إرسال إعلانين عن موجه ببث متعدد من دون دعوة) و MaxRtrAdvInterval (وتمثل الزمن الأعلى المسموح بين إرسال إعلانين عن موجه ببث متعدد من دون دعوة) والمحددتين في الموجه Router. إذا انتظرت العقدة المحمولة MN رسالة الإعلان عن الموجه RA لمدة زمنية أكبر من القيمة MaxRtrAdvInterval دون أن تصل الرسالة، فإن هذا سوف يعطي العقدة المحمولة MN مؤشراً أنها دخلت إلى شبكة جديدة. وستقوم العقدة المحمولة MN عند ذاك ببث متعدد Multicast لرسالة دعوة الموجه RS بحثاً عن موجه نفاذ AR في الشبكة الجديدة. إذا استلم أي موجه نفاذ AR هذه الرسالة، فإنه سيجيب العقدة المحمولة MN برسالة إعلان عن الموجه RA تتضمن العنوان الشامل Global IPv6 لموجه النفاذ AR، إضافةً إلى عنوان التحكم في النفاذ إلى الوسائط MAC لنقطة النفاذ AP. وفي هذه الحالة يكون الشرط الأول في المعيار RFC3775 قد تحقق. وفي حال استلمت العقدة المحمولة MN رسالة الإعلان عن الموجه RA من دون إجراء بث متعدد Multicast لرسالة دعوة الموجه RS يكون الشرط الأول محققاً أيضاً.

أما المهمة الثانية وهي اكتشاف عدم امكانية الوصول إلى الجار Neighbour Unreachability Detection (NUD)، فإنها تُستخدم للتحقق من الشرط الثاني في المعيار RFC3775 [10]. إذ تقوم بالتحقق من أن الاتصال بموجه النفاذ AR الحالي غدا غير ممكن Unreachable.

يُحدد المعيار RFC2461 [11] إجرائية اكتشاف عدم امكانية الوصول إلى الجار NUD، كما هو مبيّن بالشكل (3-4).

يُعرّف هذا المعيار خمسة حالات لكل عقدة بروتوكول الانترنت الإصدار السادس IPv6 node هي: قابلة للوصول Reachable ومفقودة Stale ومتأخرة Delay واستجواب Probe وغير قابلة للوصول Unreachable.

عندما تدخل العقدة المحمولة MN إلى شبكة جديدة، تقوم ببث متعدد لرسائل اكتشاف جار ND وذلك لإيجاد أي جوار قابل للوصول.



الشكل (3-4) إجرائية اكتشاف عدم امكانية الوصول إلى الجار **NUD [29]**

حالما تستلم العقدة المحمولة MN رداً من أي جار، تقوم بوصف حالة هذا الجار أنه قابل للوصول Reachable، وبعد فترة زمنية ثابتة تسمى زمن الوصول REACHABLE_TIME تتحول حالة هذا الجوار إلى مفقود Stale، ولا تتغير بعدها حالة هذا الجار حتى تقوم العقدة المحمولة MN بإرسال رزمة Packet له. حالما تقوم العقدة المحمولة MN بإرسال رزمة إلى هذا الجار، تتحول حالته إلى متأخر Delay، تنتظر فيها العقدة المحمولة MN الرد من هذا الجوار لفترة زمنية تدعى تأخير أول استجواب DELAY_FIRST_PROBE. في حال لم يصل أي رد إلى العقدة المحمولة MN تتحول الحالة إلى استجواب Probe. في هذه الحالة تنتظر العقدة المحمولة MN لفترة زمنية أطول نسبياً تساوي عدة أضعاف الفترة الزمنية الفاصلة بين رسالتيّ دعوة الجار Neighbor Solicitation (NS) تسمى دعوة بث وحيد أعظمي MAX_UNICAST_SOLICIT. وإذا لم يصل أي رد تتحول الحالة إلى غير قابل للوصول Unreachable.

2.5.3. اختيار موجه النفاذ المرشح

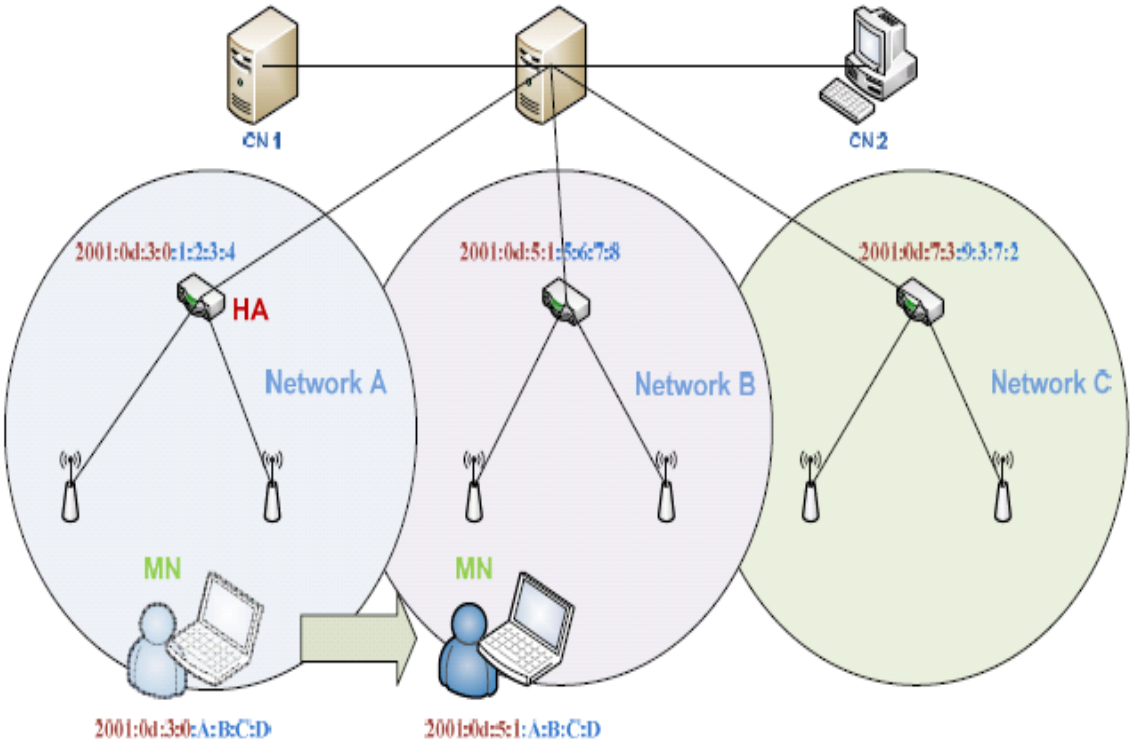
بعد أن تحدد العقدة المحمولة MN أن الحركة قد جرت، تقوم بالبحث عن موجه نفاذ AR جديد يتصل به ليضمن محافظته على الاتصال بالشبكة. تتكون عملية اختيار موجه النفاذ المرشح CARS من مرحلتين [25]:

1. اكتشاف موجه النفاذ المرشح Candidate Access Router Discovery.
2. اختيار موجه النفاذ الهدف Target Access Router Selection (TARS).

3.5.3. تشكيل العنوان Address Configuration:

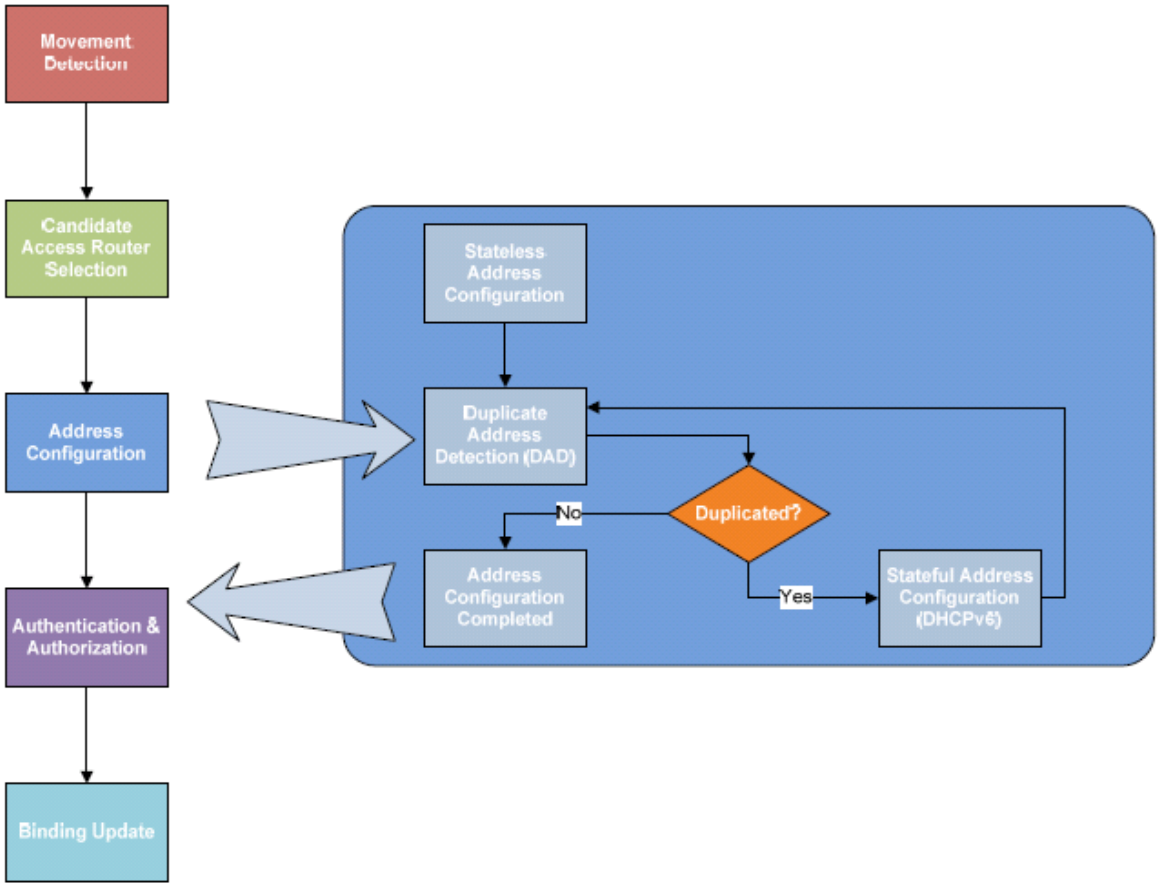
تحتاج العقدة المحمولة MN، بعد اختيار موجه النفاذ AR الجديد، إلى عنوان جديد IPv6 مؤقت، وذلك وفقاً للمعيار RFC3775 [10]. يسمى هذا العنوان الجديد عنوان الرعاية Care-of-Address (CoA). ثمة طريقتان في الواقع للحصول على هذا العنوان هما:

1. تشكيلة عنوان برقابة الحالة Stateful Address Configuration: يجري الحصول على عنوان جديد من مخدم بروتوكول التشكيل الديناميكي للمضيف الإصدار السادس DHCPv6 [30]، وهو مشابه في طريقة عمله لمخدم بروتوكول التشكيل الديناميكي للمضيف الإصدار الرابع DHCPv4. تتطلب هذه الطريقة وقتاً طويلاً نسبياً، لذلك فهي تعيق عملية الانتقال HO.
2. تشكيلة عنوان من دون رقابة الحالة Stateless Address Configuration: في الشبكات اللاسلكية المعتمدة على المعيار IPv6، تمتلك كل عقدة محمولة MN وشبكة فرعية Subnetwork معرّفاً Identifier (ID) خاصاً بها يسمى Network ID. تعتمد هذه الطريقة على دمج البادئة Prefix لكل من معرّف الشبكة Network ID والعقدة المحمولة MN لتشكيل عنوان الرعاية CoA. يبيّن الشكل (3-5) مثالاً على هذه الإجرائية.



الشكل (3-5) مثال على تشكيل العنوان IPv6 [29]

يمكن استخدام عنوان الرعاية CoA بعد اجتيازه لاختبار التحقق من كونه فريد (غير مستخدم)، ويسمى هذا الاختبار كشف العنوان المتكرر Duplicate Address Detection (DAD)، وقد وضع فريق العمل الهندسي للإنترنت IETF هذا الاختبار، بموجب المعيار RFC2462 [26]، لتحديد ما إذا كان عنوان الرعاية CoA فريداً Unique أم لا. إلا أنه لم يحدد ما الذي يتوجب فعله في حال كون هذا العنوان غير فريد، وترك ذلك للمطوّرين ليقوموا بحل هذه المشكلة. ويجري في الغالب الرجوع إلى الطريقة الأولى للحصول على تشكيلة عنوان برقابة الحالة Stateful Address Configuration. يبيّن الشكل (3-6) إجرائية الحصول على عنوان الرعاية CoA.



الشكل (3-6) الحصول على تشكيلة عنوان باستخدام كشف العنوان المتكرر **DAD [29]**

4.5.3. التحقق والتخويل

تُستخدم هذه الإجرائية للتأكد فيما إذا كانت العقدة المحمولة MN تملك التخويل Authorization المطلوب للاتصال مع موجه النفاذ AR، ولن نسهب في شرح هذه الإجرائية لكون مسألة الأمان خارج إطار البحث.

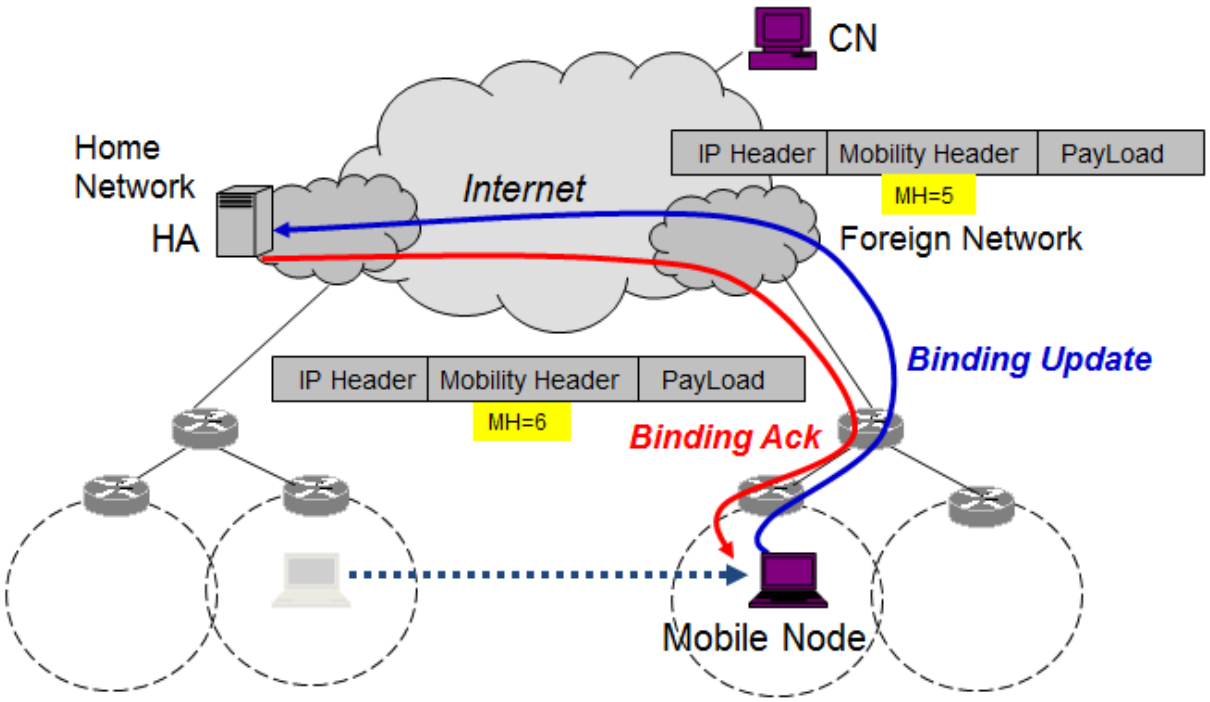
5.5.3. تحديث الإيثاق

وهي آخر مرحلة من مراحل عملية الانتقال HO. وتهدف عملية تحديث الإيثاق BU إلى إعلام كل من وكيل الموطن Home Agent (HA)، والعقدة المراسلة Correspondent Node (CN) بالمكان الجديد للعقدة المحمولة MN.

تستخدم هذه العملية رسالتين لإتمام هذه المرحلة بنجاح هما:

1. رسالة تحديث الإيثاق BU message: ولها نوعان هما:

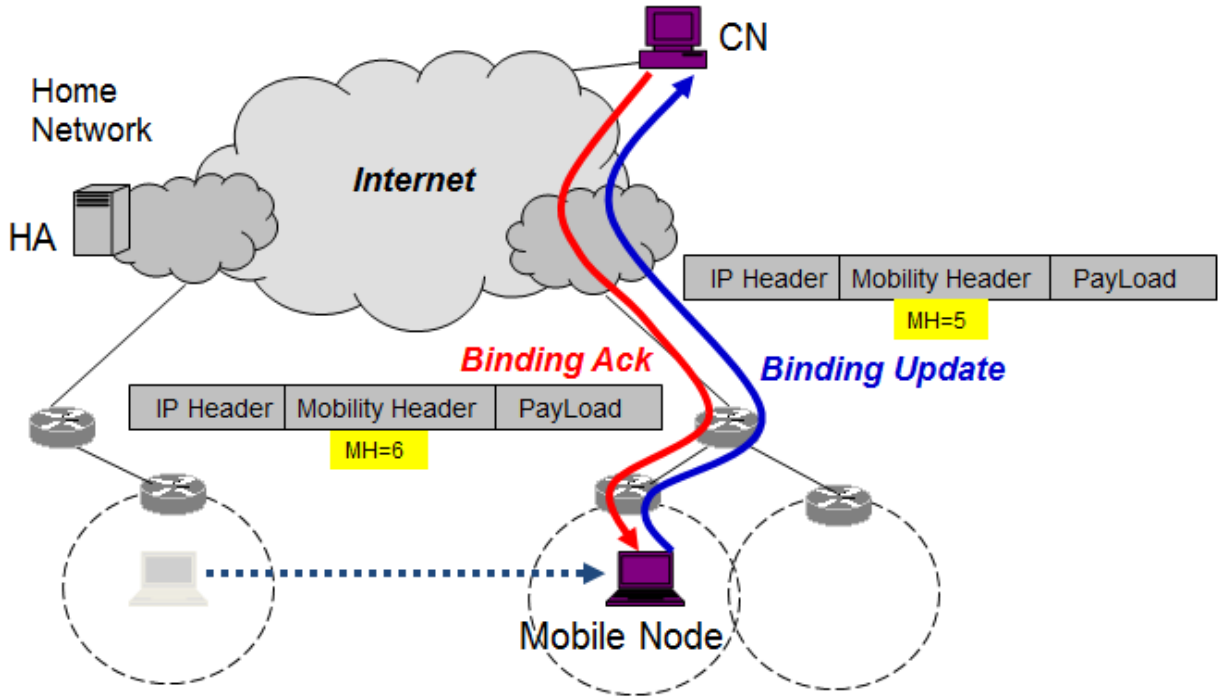
أ. رسالة تحديث الإيثاق إلى وكيل الموطن HA: يحتوي كل وكيل موطن HA على جدول يسمى مداخل خابية الإيثاق Binding Cache Entries (BCE)، حيث يقوم بإضافة سجل Record لكل عقدة محمولة MN يحتوي العنوانين؛ عنوان الموطن HoA وعنوان الرعاية CoA ويقوم بتحديثهما باستمرار. يتيح هذا الجدول BCE للعقدة المحمولة MN بالبقاء على اتصال باستمرار، كما هو مبيّن بالشكل (3-7).



الشكل (3-7) رسالة تحديث الإيثاق إلى وكيل الموطن HA [29]

ب- رسالة تحديث الإيثاق إلى العقدة المراسلة CN: تُرسل رسالة تحديث الإيثاق BU إلى العقدة المراسلة CN فقط، وهذا ما يسمى بأمثَلَة (استمثال) المسار Route Optimization. فوفقاً للمعيار MIPv6 [27]، ثمة سيناريوهان للاتصال بين العقدة المراسلة CN والعقدة المحمولة MN هما التغليف (الكبسلة) ثنائي الاتجاه Bi-directional tunneling، وهي الحالة المتبعة عندما يجري إرسال رسالة تحديث الإيثاق BU إلى وكيل الموطن HA، والسيناريو الآخر هو أمثَلَة المسار

Route Optimization، وذلك عندما يجري إرسال رسالة تحديث الإيثاق BU إلى العقدة المراسلة CN كما هو مبيّن بالشكل (3-8).



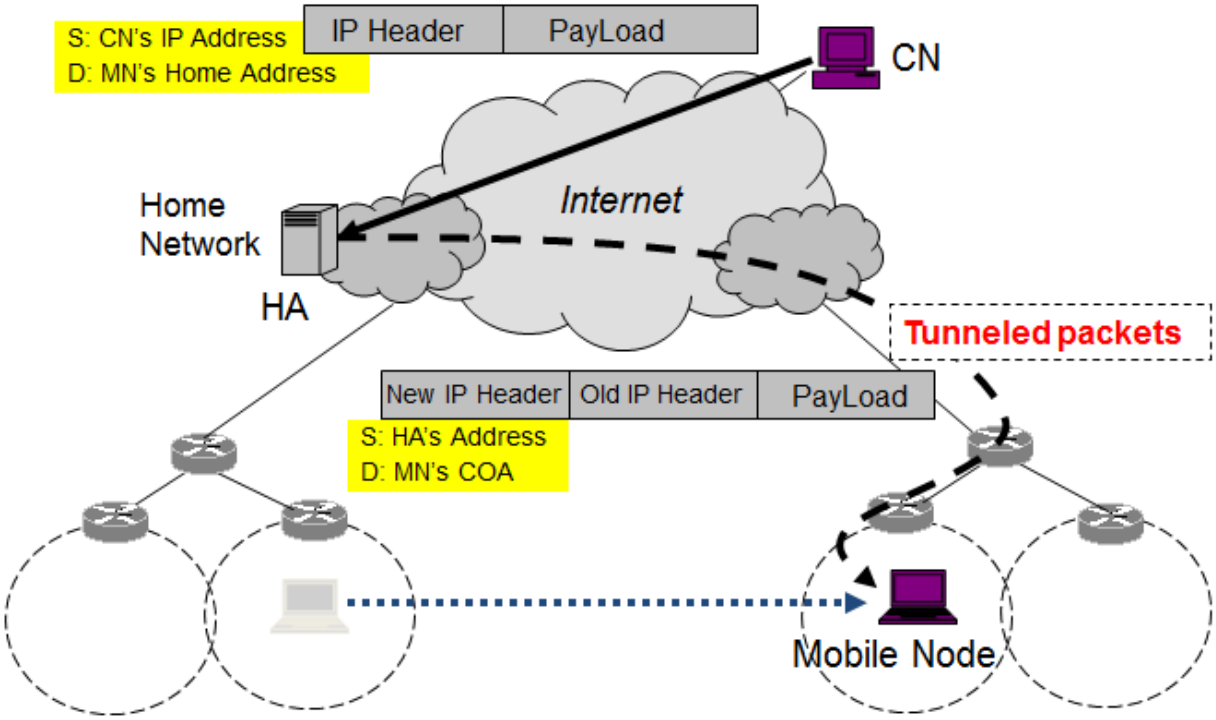
الشكل (3-8) رسالة تحديث الإيثاق إلى العقدة المراسلة CN [29]

2. رسالة إشعار الإيثاق Binding Acknowledgement (BACK): إذا استلم وكيل الموطن HA أو العقدة المراسلة CN رسالة تحديث الإيثاق BU المرسلة من العقدة المحمولة MN بنجاح، فيردان برسالة إشعار BACK إلى العقدة المحمولة MN.

6.3. مقارنة بين أمثلة المسار والتغليف ثنائي الاتجاه

في طريقة التغليف ثنائي الاتجاه Bidirectional tunneling لا يُطلب من العقدة المحمولة MN إعلام العقدة المراسلة CN بعنوانها الجديد. إذ يقوم وكيل الموطن HA فقط بمتابعة تحركات العقدة المحمولة MN. عندما ترغب العقدة المراسلة CN بإرسال رزم Packets إلى العقدة المحمولة MN، فإنها تقوم بتوجيهها إلى وكيل الموطن HA، والذي يقوم بدوره بتحويل هذه الرزم إلى العقدة المحمولة MN في شبكته الجديدة، بعد أن يقوم

بتغيير ترويسة كل رزمة. وإذا أرادت العقدة المحمولة MN إرسال رزم إلى العقدة المراسلة CN، فإنها تقوم بإرسالها إلى وكيل الموطن HA، والذي بدوره يقوم بتحويلها إلى العقدة المراسلة CN. ويبيّن الشكل (3–9) هذه العملية.

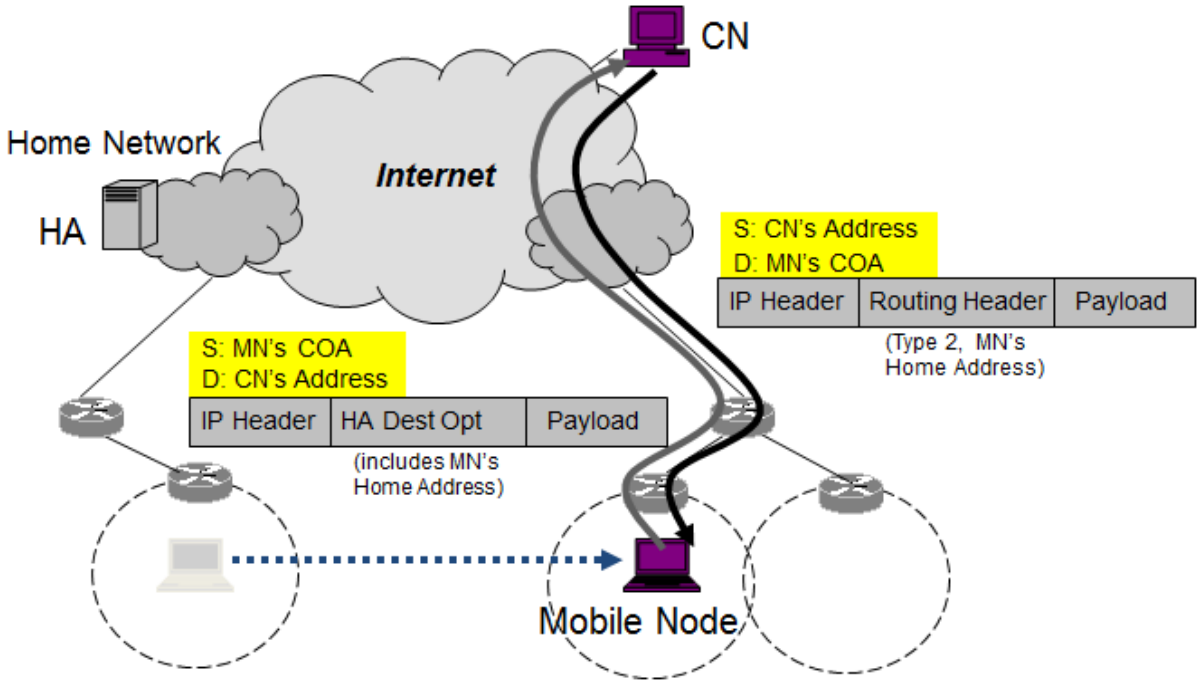


الشكل (3–9) التغليف ثنائي الاتجاه Bidirectional tunneling [29]

أما في طريقة أمثَلَة المسار Route Optimization، فيجري إقصاء وكيل الموطن HA من عملية إيصال الرزم. إذ تحتفظ العقدة المراسلة CN بنسخة من جدول مداخل خابية الإيثاق BCE، وتقوم بتحديثه باستمرار، نظراً لأن العقدة المحمولة MN سترسل رسالة تحديث الإيثاق BU إلى العقدة المراسلة CN عوضاً عن وكيل الموطن HA. يجري في هذه الحالة الاتصال بين العقدة المحمولة MN والعقدة المراسلة CN بشكل مباشر من دون تدخل وكيل الموطن HA.

تمتاز طريقة أمثَلَة المسار Route Optimization بالتوفير في موارد الشبكة، إضافةً إلى تقليص زمن الذهاب والإياب Round Trip Time (RTT) بين العقدة المحمولة MN والعقدة المراسلة CN. لذا يفضل استخدام هذه الطريقة في الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة MIPv6 Handover.

يبيّن الشكل (3–10) كيفية تبادل الرزم بين العقدة المحمولة MN والعقدة المراسلة CN بموجب هذه الطريقة.



الشكل (3–10) أمثلة المسار Route Optimization [29]

*****

الفصل الرابع

الانتقال المستقل عن الوسط

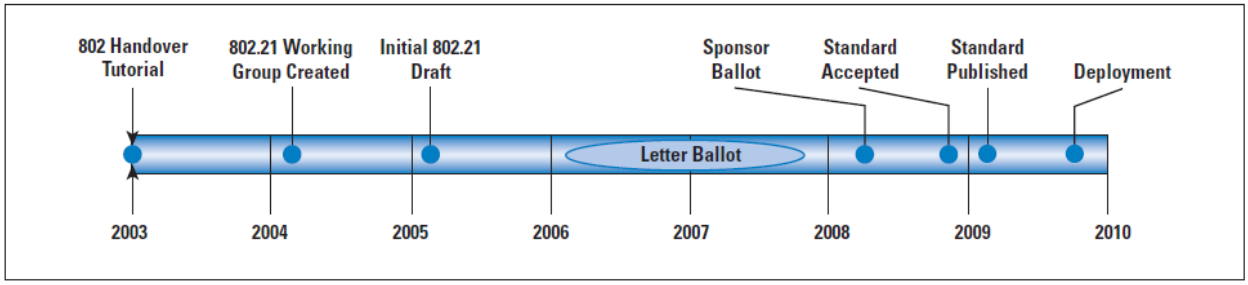
Media Independent Handover

1.4. مقدمة

الانتقال المستقل عن الوسط Media Independent Handover (MIH) هومعيار طوّر تحت الاسم IEEE802.21 ليؤمن انتقالاً HO سلساً Seamless لجلسات بروتوكول الانترنت IP Sessions من تقنية اتصال إلى تقنية أخرى محققة تحركية Mobility أفضل للمستخدمين [15].

يتألف المعيار IEEE802.21 من مجموعة من الآليات التي تساهم في أمثَلَة عملية الانتقال HO بين الشبكات غير المتجانسة Heterogeneous، مثل الانتقال بين شبكات IEEE802 والشبكات الخلوية Cellular Networks، أو بين هذه الشبكات والشبكات السلكية.

يبيّن الشكل (4-1) الجدول الزمني لمراحل تطور هذا المعيار بدءاً من العام 2003، إلى أن جرى تشكيل مجموعة تطوير في العام 2004، والتي قامت بإصدار المسودة الأولى للمعيار في العام 2005، ثم جرى نشر هذا المعيار من قبل IEEE في العام 2009 [15].



الشكل (4-1) الجدول الزمني لمراحل تطور المعيار IEEE 802.21 [32]

2.4. الهدف من المعيار IEEE802.21

يمكن إيجاز الهدف من وضع المعيار IEEE802.21 في المحاور الرئيسة الثلاثة الآتية:

1. البحث عن إطار عمل يضمن عملية انتقال HO سلسة Seamless بين الشبكات غير المتجانسة Heterogeneous. يعتمد إطار العمل هذا بشكل رئيسي على كدسة بروتوكول التحكم في الإرسال/بروتوكول الانترنت (الترابط الشبكي) Transmission Control Protocol/Internet Protocol

Stack (TCP/IP)، نظراً لكون كدسة البروتوكولات هذه مضمّنة في كل العقد المطلوب منها القيام بعملية الانتقال HO. سيؤمن هذا المعيار كل ما هو ضروري لهذه العقد لمساعدتها في عملية اتخاذ القرار المتعلق بعملية الانتقال [14].

2. ضمان الاستقلال التام للتعامل مع طبقة الوصلة Link Layer، ولجميع الوظائف الخاصة بهذه الطبقة، عن الطبيعة الفيزيائية للشبكة. ويتحقق ذلك بواسطة طبقة جديدة تقع بين الطبقة الثانية والطبقة الثالثة يمكن تسميتها بالطبقة اثنان ونصف.
3. تزويد البروتوكولات المسؤولة عن التحركية Mobility، مثل البروتوكول Mobile IP، بما تحتاجه وظيفياً لإنجاز عملية انتقال سلسة.

وإضافةً إلى الأهداف الرئيسية للمعيار IEEE802.21 المذكورة أعلاه، ثمة عدد من الأهداف الثانوية من أهمها [14]:

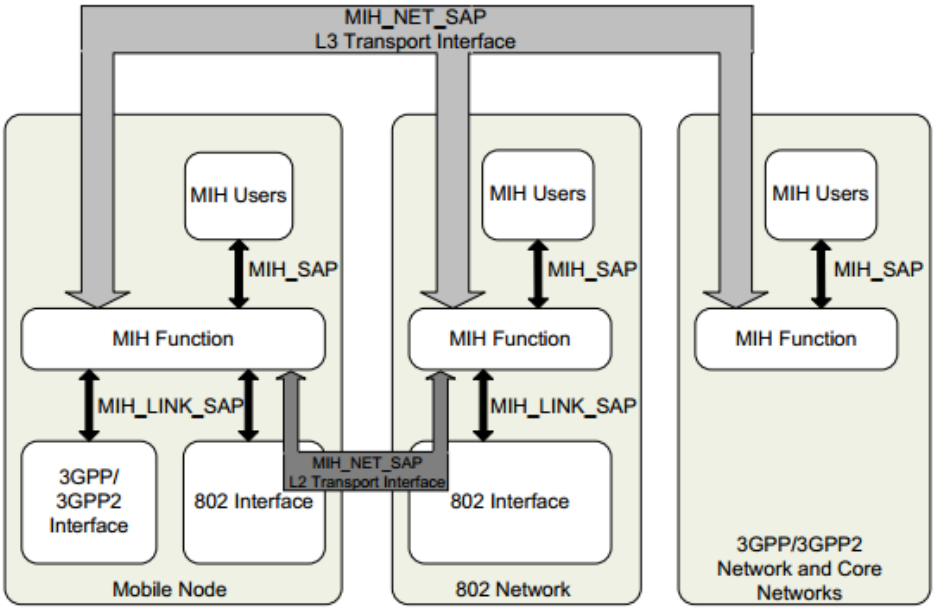
1. استمرارية الخدمة Service Continuity: إذ يجب ضمان استمرارية الخدمة خلال عملية الانتقال وبعدها.
2. إشراك التطبيقات Applications في عملية الانتقال: إذ يتيح المعيار IEEE802.21 للتطبيقات المشاركة في عملية اتخاذ قرار الانتقال، فمثلاً يمكن لتطبيق المهاتفة عبر بروتوكول الانترنت Voice over Internet Protocol (VoIP) أن يقرر إجراء عملية الانتقال خلال فترة الصمت.
3. جودة الخدمة Quality of Service (QoS): يؤمن المعيار IEEE802.21 الوظائف الضرورية لتأمين اتخاذ قرار الانتقال HO وفقاً لجودة الخدمة QoS، فمثلاً يمكن أن تُجرى عملية الانتقال HO من شبكة إلى أخرى بهدف الحصول على جودة الخدمة QoS المنشودة.
4. اكتشاف الشبكات المحيطة: يوفر المعيار IEEE802.21 للمستخدمين معلومات عن الشبكات المجاورة لاختيار الشبكة الأنسب من أجل عملية الانتقال HO.
5. المساعدة في اختيار الشبكة المناسبة: في الغالب يجري اختيار الشبكة الأنسب وفقاً لمجموعة من المعايير مثل المردود، والتكلفة، وجودة الخدمة، وغيرها. ويساعد المعيار IEEE802.21 في اختيار

الشبكة الأنسب وفقاً لبعض المعايير الرئيسية، ويترك مسؤولية اتخاذ القرار في الانتقال HO للطبقات العليا.

6. إدارة الاستطاعة Power Management: يمكن الاستفادة من بعض المعلومات التي يقدمها المعيار IEEE802.21 لتخفيض استهلاك الاستطاعة في العقدة المحمولة، فبتقديم معلومات عن توزع الشبكات في المنطقة الجغرافية المتواجدة فيها العقدة المحمولة MN، تعمد الأخيرة إلى قطع محولات الشبكة غير الضرورية.

3.4. الخدمات التي يوفرها المعيار IEEE802.21

يتوضع المعيار IEEE802.21 على شكل كيان منطقي بين الطبقتين الثانية (طبقة وصلة المعطيات Data-link)، والثالثة (طبقة الشبكة Network). يبيّن الشكل (4–2) البنيان Architecture العام للمعيار IEEE802.21.



الشكل (4–2) البنيان العام للمعيار IEEE802.21 [12]

كما يبيّن الشكل (4–2) أيضاً بنية العقدة المحمولة MN بوجود الطبقة اثنان ونصف، التي عرّفها المعيار IEEE802.21. وتحوي العقدة المحمولة MN منفذي شبكة أحدهما من النوع 802 والآخر مشروع شراكة الجيل الثالث 3rd Generation Partnership Project (3GPP). ويشتمل الشكل (4–2) أيضاً على البنية العامة لشبكتين إحداهما من النوع 802 والأخرى من النوع 3GPP.

يلاحظ من البنية المشتركة للعناصر الثلاثة السابقة وجود كيان مركزي ضمن كدسة البروتوكولات يسمى تابع الانتقال المستقل عن الوسط Media Independent Handover Function (MIHF). ويساهم هذا الكيان في تبادل المعلومات والأوامر بين الطبقات الدنيا، وخاصة طبقة وصلة المعطيات Data-link layer، وباقي الطبقات العليا.

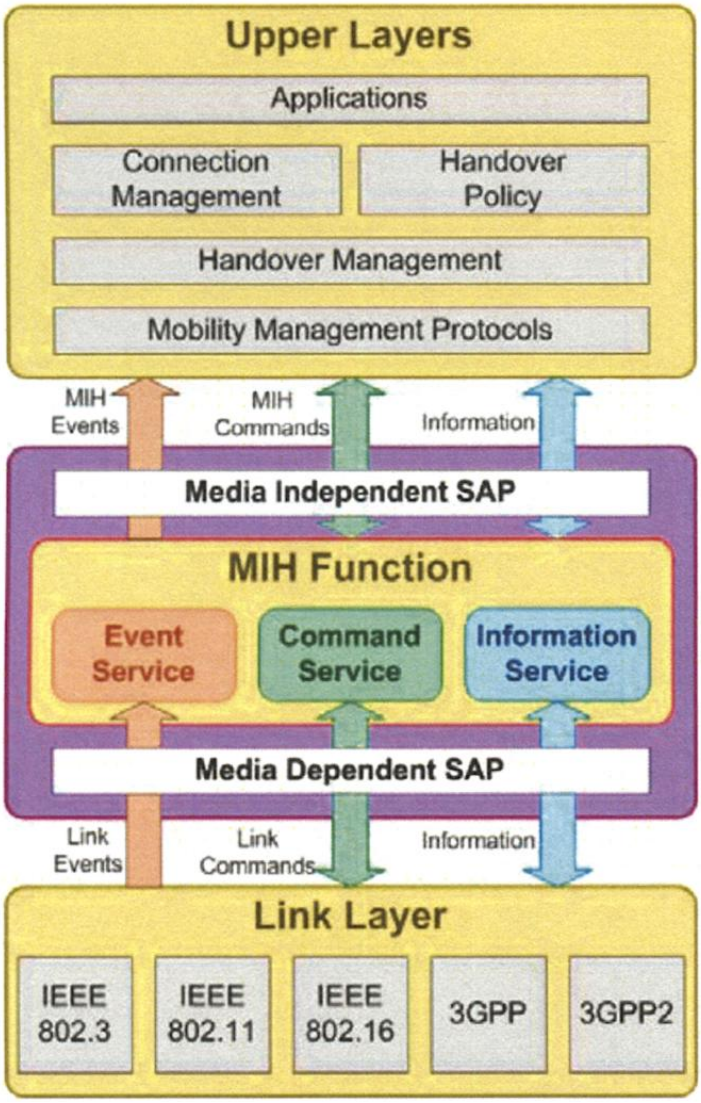
يؤمن تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF ثلاثة أنواع من الاتصال بين الطبقات الدنيا والعليا، أو بصيغة مكافئة ثلاثة أنواع من الخدمات، كما هو مبيّن بالشكل (4–3) وهي:

1.3.4. خدمة الأحداث المستقلة عن الوسط Media Independent Events Service (MIES)

ينتج هذا الحدث عن تغير في وسط النقل، سواءً أكان هذا التغير فيزيائياً، أو منطقياً، أو نتيجةً للتنبؤ بتغير ما. يمكن أن ينشأهذا الحدث محلياً أو من طرف آخر بعيد، كما أنه من الممكن أن يُرسل إلى الطبقات العليا في العقدة نفسها، أو أن يُرسل إلى طرف آخر بعيد.

تقسم هذه الأحداث إلى نوعين رئيسيين:

- أحداث الوصلة Link Events: وتنتجها طبقة وصلة المعطيات Data link، وتُرسل إلى واجهة التواصل MIH users (يقصد بالـ MIH users التطبيقات، والمقصود بها هنا تلك المعنية بعملية الانتقال HO) مروراً بالطبقة MIHF.
- أحداث الانتقال المستقل عن الوسط MIH Events: من الممكن أن يقوم تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF نفسه بتوليد مجموعة من الأحداث Events وإرسالها إلى الطبقات العليا، أو أن يقوم بتمرير ما يرده من أحداث إلى الطبقات العليا.



الشكل (4–3) خدمات المعيار IEEE802.21 [1]

نلاحظ أنه في كلا النوعين السابقين فإن اتجاه حركة الأحداث هي من الطبقات الدنيا بإتجاه الطبقات العليا.

يبيّن الجدول (4–1) أدناه مجموعة من الأحداث الهامة التي يقوم تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF بإرسالها إلى واجهة التواصل MIH Users، والهدف أو الوظيفة لكل حدث من الأحداث.

الجدول (4-1) بعض الأحداث Events المهمة في المعيار IEEE802.21

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

2.3.4. خدمة الأوامر المستقلة عن الوسط Media Independent Command Service (MICS)

تسمح هذه الخدمة للطبقات العليا بالتحكم بالطبقات الدنيا، فمثلاً يسمح لواجهة التواصل MIH User في الطبقات العليا باختيار الشبكة الهدف لعملية الانتقال HO، أو أن يطلب من تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF بعض المعلومات أو الموسطات (البارامترات) لشبكة مُتصَل بها حالياً مثل معدل خطأ البت Bit error Rate (BER)، أو نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج Signal-to-Noise Ratio (SNR)، أو غيرها. إلا أن الهدف الرئيسي لهذه الخدمة يتمثل في إعطاء الأوامر المتعلقة بعملية الانتقال HO، مثل إعطاء الأمر للطبقات الدنيا بالشروع في عملية الانتقال إلى الشبكة الهدف.

تقسم هذه الأوامر إلى نوعين أوامر الوصلة Link Command، وأوامر الانتقال المستقل عن الوسط MIH Command. وفي كلا النوعين فإن هذه الأوامر سوف تمر عبر تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF قبل أن تدخل حيز التنفيذ.

يبيّن الجدول (4-2) أهم هذه الأوامر بنوعيها أوامر الوصلة Link Command وأوامر الانتقال المستقل عن الوسط MIH Command.

الجدول (4-2) أهم أوامر المعيار IEEE802.21

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 الموسطات (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 Media Independent Information Service (MIIS)

تفيد هذه الخدمة في حصول العقدة المحمولة MN على معلومات عن جميع الشبكات اللاسلكية الموجودة في منطقة جغرافية ما. وتساهم هذه المعلومات في عملية الانتقال HO.

في كثير من الأحيان لا تكفي الأحداث Events الصاعدة من الطبقة الثانية عبر تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF، لاتخاذ قرار عملية الانتقال بشكل فعال. فعلى سبيل المثال يمكن لعقدة محمولة MN متصلة بشبكة 802، مثل شبكة الـ WiFi، الحصول على معلومات عن شبكة منظومة الاتصالات النقالة العالمية Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) الموجودة في المنطقة الجغرافية المتواجدة فيها العقدة المحمولة MN، وذلك دون الحاجة لقيام العقدة المحمولة بتفعيل محول الشبكة الخاصة بشبكة UMTS للحصول على هذه المعلومات. مما يسهم في خفض استهلاك الطاقة.

سنعرض فيما يأتي لمثال عملي عن مشاركة المعيار IEEE802.21 في عملية الانتقال بين شبكة WiFi وشبكة UMTS.

4.4. مثال عن عملية انتقال باستخدام المعيار IEEE802.21

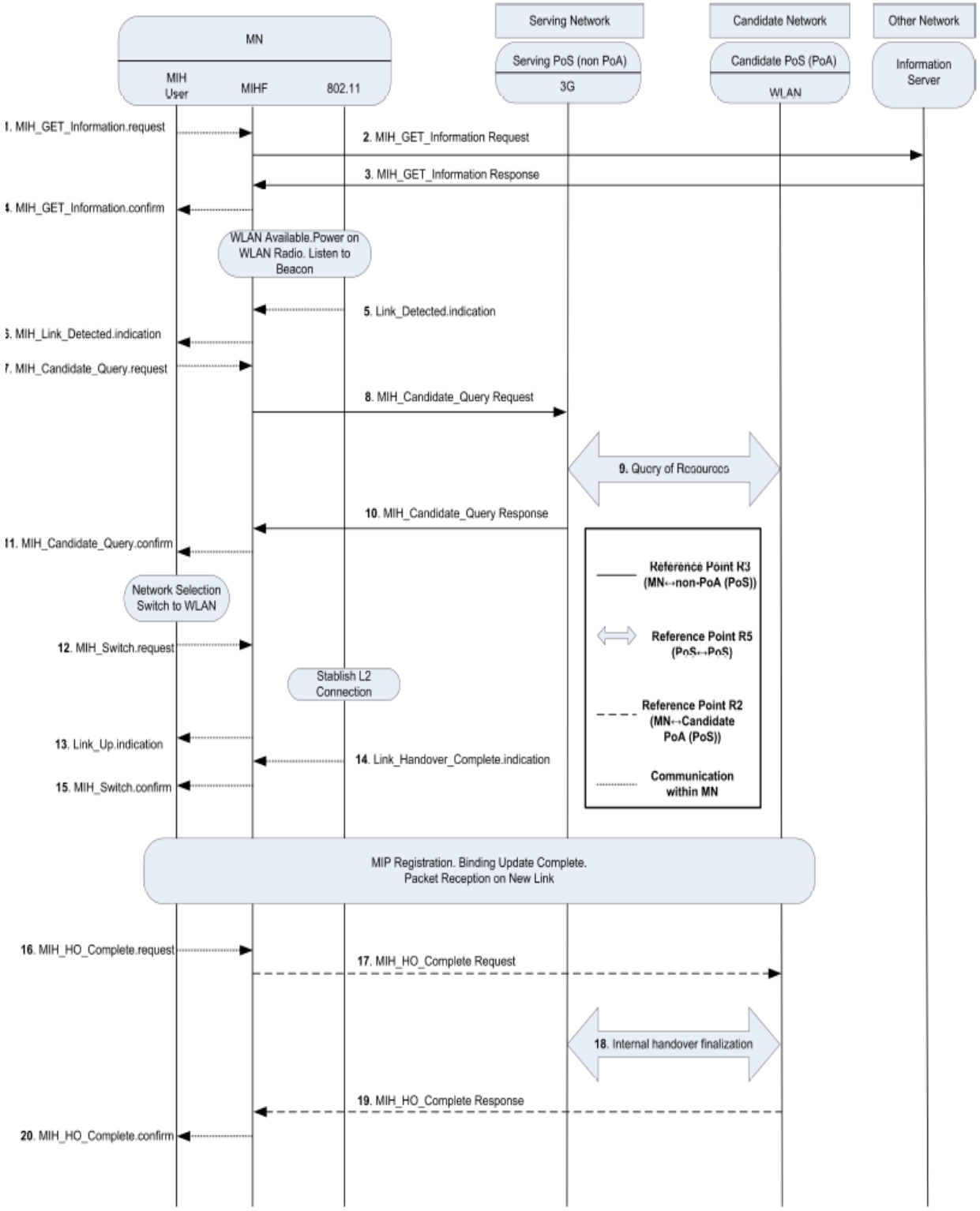
يبيّن الشكل (4–4) أدناه عملية انتقال HO من شبكة UMTS إلى شبكة WiFi، وتجري عملية الانتقال هذه بمساعدة المعيار IEEE802.21 وفق الخطوات الآتية [14]:

- تبدأ عملية الانتقال HO بطلب واجهة التواصل MIH User، الموجودة في العقدة المحمولة MN والمسؤولة عن اتخاذ قرار الانتقال HO، من تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF الحصول على معلومات عن جميع الشبكات المحيطة بالعقدة المحمولة MN، والممثل هنا بالرسالة رقم (1).

  تنتقل هذه الرسالة من تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF إلى مخدم المعلومات الموجود لدى مزود الخدمة. وتبدأ هذه المرحلة بالرسالة رقم (1) وتنتهي برسالة الجواب القادمة من مخدم المعلومات والممثلة هنا بالرسالة رقم (4).

  تسعى العقدة المحمولة بواسطة الرسائل من (1) إلى (4) للحصول على معلومات عن توزع جميع الشبكات الأخرى في المنطقة الجغرافية التي تتجول فيها العقدة المحمولة MN.

  في هذا المثال كانت رسالة الجواب تحوي معلومات عن احتمال وجود شبكة WiFi في المنطقة الجغرافية التي تتواجد فيها العقدة المحمولة MN، ونتيجة لرسالة الجواب (4) تقوم العقدة المحمولة MN بتشغيل محول الشبكة الخاص بشبكة WiFi، والذي يستمع إلى أي إطار إرشاد Beacon Frame قادم من نقطة النفاذ AP المفترضة.
- حالما تستقبل العقدة المحمولة MN إطار الإرشاد Beacon Frame يجري توليد الحدث كشف وصلة Link_Detected في الطبقة الثانية، وهي هنا الرسالة رقم (5). يفيد هذا الحدث بتوافر شبكة جديدة يمكن الاتصال بها، فيقوم تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF بتحويل هذا الحدث الوارد إليه إلى واجهة التواصل MIH User المسؤول عن اتخاذ قرار البدء بعملية الانتقال.
- عندما تستلم واجهة التواصل MIH User الحدث MIH_Link_Detected، يُطلب من تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF بعض المعلومات عن الشبكة الجديدة التي جرى اكتشافها وهي هنا الرسالة رقم (7)، فيقوم تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF على الفور بتحويل هذا الطلب إلى نقطة النفاذ PoA المتصلة بها العقدة المحمولة MN، وهو ممثل بالرسالة رقم (8).



الشكل (4-4) مثال على عملية انتقال شاقولي بين شبكة 3G وشبكة WiFi [14]

- عندما تستلم نقطة النفاذ PoA المتصلة بها العقدة المحمولة الرسالة رقم (8)، تبدأ مباشرة بالاستفسار عن قدرة الشبكة الجديدة على تأمين الموارد Resources اللازمة وجودة الخدمة QoS المطلوبة، إضافةً إلى أمور أخرى متضمنة بالرسالة رقم (8). تُرسل الإجابة عن هذه الاستفسارات إلى العقدة المحمولة MN عبر الرسالتين (10) و(11)، عند ذلك يكون لدى العقدة المحمولة MN جميع المعلومات الضرورية عن الشبكات الجديدة الموجودة في محيطها الجغرافي لاتخاذ قرار الانتقال الأنسب.
- عندما تقرر واجهة التواصل MIH User الشبكة الهدف التي تصبو الانتقال إليها، تُخطر على الفور تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF بذلك ليجري بعدها الشروع بعملية الانتقال HO، وهي هنا الرسالة رقم (12). عندما يستلم تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF أمر الانتقال، يبدأ الاتصال على مستوى الطبقة الثانية بشبكة الـ WiFi، ويُرسل إلى واجهة التواصل MIH User إخطاراً بالبدء بالاتصال مع الشبكة الجديدة والممثل هنا بالرسالة رقم (13).
- حالما يجري الاتصال بشكل كامل مع شبكة الـ WiFi، تقوم الطبقة الثانية بإرسال الرسالة (14) إلى تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF، تخطره بإنتهاء عملية الانتقال على مستوى الطبقة الثانية، ليقوم بعدها تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF بتحويل هذه الرسالة إلى واجهة التواصل MIH User المسؤولة عن عملية الانتقال والممثلة بالرسالة رقم (15).
- حالما تستقبل واجهة التواصل MIH User الرسالة رقم (15) من تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF، تدرك أنه جرى الانتهاء من الشق الأول من عملية الانتقال HO، وهو الانتقال على مستوى الطبقة الثانية L2HO، وتقوم فوراً بإخطار البروتوكول المسؤول عن عملية الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة L3HO، وهو في دراستنا البروتوكول Mobile IP لبدء العمل.
- مع إنتهاء عمل البروتوكولات المسؤولة عن عملية الانتقال HO في الطبقات العليا، والمقصود هنا البروتوكول Mobile IP، تُرسل واجهة التواصل MIH User الرسالة MIH_HO_Complete إلى تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF ، والذي يقوم بتحويلها إلى نقطة النفاذ PoA الجديدة (الهدف)، والممثلتان بالرسالتين (16) و (17). وعندما تستلم نقطة النفاذ PoA الجديدة تلك الرسالة، تقوم

بإخطار نقطة النفاذ PoA القديمة بإتمام عملية الانتقال بنجاح وأنه أضحى بإمكانها تحرير جميع الموارد التي كانت محجوزة لديها للعقدة المحمولة MN، والممثلة بالرسالة (18).

- وأخيراً يجري إرسال الرسالة رقم (19) من نقطة النفاذ PoA الجديدة إلى العقدة المحمولة MN لإعلامها بإتمام عملية الانتقال بنجاح. وتنتقل هذه الرسالة عبر تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF إلى واجهة التواصل MIH User معلنة إتمام عملية الانتقال HO بنجاح.

*****

الفصل الخامس

بناء عملية المحاكاة وتنفيذها

Simulation Development and Implementation

1.5. مقدمة

سنعرض في هذا البحث للبرمجيات المستخدمة في عملية المحاكاة، كما سنعرض السيناريو المقترح والمعاملات المعتمدة في عملية المحاكاة. وسنتناول أيضاً في هذا الفصل كيفية إجراء عملية الانتقال على مستوى الطبقتين الثانية والثالثة.

2.5. الهدف من المحاكاة

يتمثل الهدف الرئيسي من عملية المحاكاة في دراسة التأخير الناتج عن عملية الانتقال Handover Latency، وذلك عندما تتحرك العقدة المحمولة MN في منطقة جغرافية مغطاة، بالكامل أو بشكل جزئي، بواسطة شبكتين لاسلكيتين هما شبكة WLAN 802.11b وشبكة WMAN 802.16e. تهدف هذه الدراسة إلى التركيز على مجموعة من الموسطات (البارامترات) المهمة أثناء عملية الانتقال الشاقولي بين الشبكتين السابقتين، وترتبط الموسطات ارتباطاً وثيقاً بتحركية Mobility العقدة المحمولة MN.

3.5. محاكيات الشبكات التي تدعم الشبكات اللاسلكية

تعدّ عملية المحاكاة ركيزة أساسية من ركائز البحث العلمي، نستطيع بواسطتها محاكاة ليس فقط شبكات الاتصال بل إنما محاكاة أي نظام قد يتطلب بناؤه وقتاً وكلفة كبيرين ومهما بلغ تعقيد هذا النظام.

سنستعرض في هذه الفقرة محاكيات الشبكات الأكثر شهرة بهدف إيجاد المحاكي الأمثل والذي يوفر موازنة جيدة للعوامل الخمسة الآتية:

- المزايا Features التي يتيحها المحاكي.
- الكفاءة Efficiency.
- التوسعية Extensibility وهي قدرة المحاكي على محاكاة البروتوكولات والمعايير الجديدة.
- الدقة Accuracy.
- سهولة التعامل.

تطرق البحثان [34] و[35] لدراسة مجموعة من أهم محاكيات الشبكات ومقارنتها مع بعضها البعض مبرزة نقاط الضعف والقوة لكل منها. سنستعرض في الفقرات الثلاث الآتية المحاكيات NS-2 وOPNET Modeler و++OMNET وهي المحاكيات الثلاث الأبرز التي تدعم الشبكات اللاسلكية.

1.3.5. المحاكي ++OMNET

جرى تطوير المحاكي ++OMNET (Objective Modular Network Testbed in C++) بشكل أساسي من قبل الباحث Andras Varga في جامعة بودابست. وهو يعتمد بصورة رئيسية على المحاكاة باستخدام الأحداث المنفصلة Discrete Events.

طوِّر المحاكي ++OMNET بدايةً ليحاكي شبكات الاتصال بصورة رئيسية، إلا أن بنيته العامة والمرنة سمحت له بمحاكاة الكثير من أنظمة المعلومات وحتى المعقدة منها. يتألف المحاكي ++OMNET بصورة عامة من مجموعة من العناصر Components أو الوحدات Models المبنيّة بصورة هرمية والتي جرى تطويرها باستخدام لغة C++. لا يتيح المحاكي ++OMNET محاكاة الشبكات اللاسلكية بحد ذاته، إلا أن هناك بعض التحديثات التي تمكنه من محاكاة الشبكات اللاسلكية وبالأخص شبكات Ad-hoc. ما يزال المحاكي ++OMNET يفتقر لبعض المزايا الهامة لمحاكاة الشبكات اللاسلكية مثل افتقاره لنماذج الطاقة Energy Models [35].

وعلى الرغم من سهولة استخدام هذا المحاكي إلا أنه يعد فقيراً نوعاً ما بالنتائج والقياسات التي يتيحها للباحث، الأمر الذي يجبر الكثير من الباحثين لكتابة بعض البرامج لاستخلاص النتائج والقياسات المطلوبة.

وأخيراً فإن المحاكي ++OMNET يعمل على أنظمة تشغيل ويندوز Windows ولينوكس Linux.

2.3.5. المحاكي NS-2

محاكي الشبكات Network Simulator 2 (NS-2) هو أحد أكثر برامج المحاكاة استخداماً من قبل الباحثين في الشبكات، يمتاز بكونه مفتوح المصدر Open Source، ومجاني، ومقاد بأحداث منفصلة Discrete

Events [23]. ويعتمد هذا المحاكي على تسجيل الأحداث أثناء عملية المحاكاة. يمتاز هذا المحاكي بالقدرة على محاكاة معظم البروتوكولات الشبكية، كما يتيح للمستخدم كتابة أي بروتوكول جديد، إلا أن هذه المهمة تتطلب خبرة وجهد كبيرين.

جرت كتابة هذا المحاكي باستخدام لغة C++ واللغة OTCL، وهي توسيع غرضي التوجه للغة أوامر الأدوات Tool Command Language (TCL)، تستخدم لغة C++ لتوسعة المحاكي Extend كتعريف بروتوكول جديد أو إضافة ميزة جديد لبروتوكول موجود، أما اللغة OTCL فتستخدم لكتابة سيناريوهات المحاكاة. في الحقيقة فإن بنية المحاكي NS-2 معقدة، الأمر الذي يستدعي معرفة جيدة لبنية NS-2 وعمل شاق لإضافة أي عنصر جديد لهذا المحاكي [16].

ينتج عن عملية المحاكاة باستخدام المحاكي NS-2 ملف يسمى ملف تعقب Trace File، يتضمن هذا الملف كل الأحداث التي جرت أثناء عملية المحاكاة، ويكون حجم هذا الملف عادة كبيراً إلى حد ما. في الواقع لا يمكن قراءة ملف التعقب Trace File بصورة مباشرة، لذا يجري عادة استخدام لغة إخطاطية Scripting Language لاستخلاص النتائج المطلوبة من ملف التعقب Trace File، ومن أشهر هذه اللغات هي لغة AWK. وأخيراً يعمل المحاكي NS-2 على نظام التشغيل Linux.

3.3.5. المحاكي OPNET Modeler

يعتمد المحاكي OPNET (Optimized Network Engineering Tools) على عملية المحاكاة باستخدام الأحداث المنفصلة Discrete Events وهو منتج تجاري، ولكن هناك نسخة مجانية منه خاصة بالقطاع الأكاديمي إلا أنها لا تحتوي على جميع المزايا. جرى تطوير هذا المحاكي باستخدام لغة C++ في معهد MIT في العام 1987. يتيح المحاكي OPNET محاكاة مجال واسع من البروتوكولات، كما إن هناك توسعة Extension خاصة بمحاكاة الشبكات اللاسلكية تدعى OPNET Modeler Wireless Suite تتيح نمذجة وتحليل ومحاكاة الشبكات اللاسلكية. على الرغم من أن المحاكي مزود بدليل استخدام Manual جيد إلا أن عملية الدعم الفني غير متاحة للنسخة الأكاديمية من هذا المحاكي، الأمر الذي يجعله أقل استخداماً في البحث العلمي. وأخيراً يعمل هذا المحاكي على أنظمة تشغيل Windows وLinux.

4.5. البرمجيات المستخدمة

1.4.5. محاكي الشبكات NS-2

اعتمدنا في هذه الدراسة المحاكي NS-2 2.29 [23] كونه محاكي مفتوح المصدر ويتيح إمكانية الحصول على نتائج وقياسات كثيرة ومتعددة، كما أنه يعدّ المحاكي رقم واحد للباحثين. جرى تنصيب المحاكي NS-2 على نظام تشغيل Linux. ونظراً لاعتماد الدراسة بصورة رئيسية على عدد من البروتوكولات الحديثة نوعاً ما، جرت الاستعانة بمجموعة من الإضافات والتي جرى دمجها مع المحاكي NS-2، وسنتناولها بالتفصيل في الفقرة الآتية.

2.4.5. الإضافات المستخدمة مع المحاكي NS-2

لا يدعم المحاكي NS-2 محاكاة الشبكات اللاسلكية WiMax، كما أنه لا يدعم البروتوكول MIPv6، إضافةً إلى عدم دعمه للمعيار IEEE802.21 والذي هو موضوع الدراسة في هذا البحث [17].

شكلت عدم قدرة المحاكي NS-2 على محاكاة المعايير السابقة الذكر، إحدى أهم العقبات التي واجهت هذه الدراسة، وقد تطلب الأمر الكثير من الجهد لإيجاد الحل الأمثل. تمثل هذا الحل في الإضافات المقدمة من المعهد الوطني للمعايير والتقانة National Institute of Standards and Technology (NIST)، والذي أنشأه الكونغرس في العام 1901 لزيادة القدرة التنافسية للصناعات الأمريكية، وهو يُعدّ من أقدم المختبرات العلمية في الولايات المتحدة الأمريكية.

قام المعهد الوطني للمعايير والتقانة بتطوير مجموعة من الوحدات Modules لدمجها مع المحاكي NS-2 وقد استخدمنا في هذه الدراسة الوحدتين الآتيتين:

- وحدة المعيار IEEE802.16 module
- وحدة التحركية Mobility module

تتيح الوحدة الأولى IEEE802.16 إمكانية محاكاة الشبكات اللاسلكية WiMax [18]، في حين تتضمن الوحدة الثانية مجموعة هامة من المعايير والبروتوكولات الضرورية لمحاكاة عملية الانتقال HO سواء الأفقي منه Horizontal أو الشاقولي Vertical. ومن بين هذه المعايير والبروتوكولات [19]:

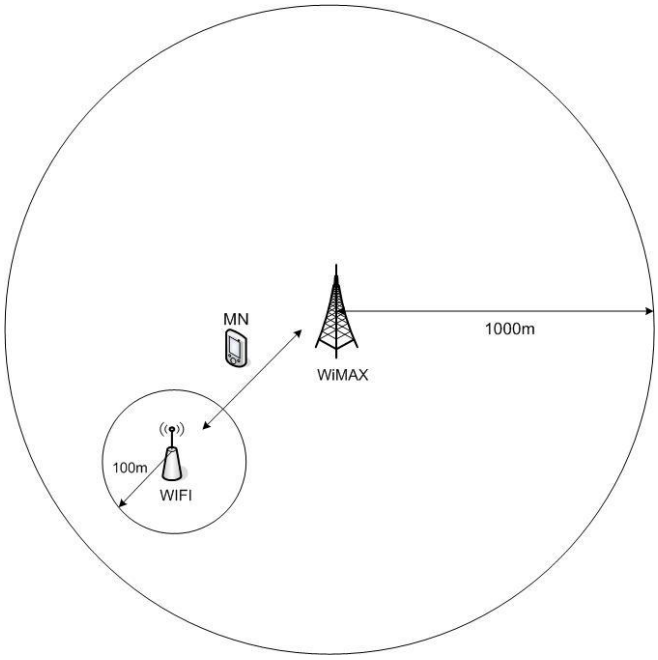
- المعيار Mobile IPv6
- المعيار IEEE802.21
- وحدة اكتشاف الجار Neighbor Discovery Module
- المعيار IEEE802.16e

ولم يكن دمج الوحدتين السابقتين مع المحاكي NS-2 بالأمر السهل، نظراً لوجود العديد من الإصدارات للمحاكي NS-2. لذا تطلبت عملية الدمج بعض عمليات التنقيح للوحدتين السابقتين والمكتوبتين بلغتي البرمجة C++ و OTCL أثناء عملية الدمج.

5.5. السيناريو المقترح للمحاكاة

حيث أن هدف البحث هو دراسة التحركية Mobility بين الشبكات اللاسلكية غير المتجانسة Heterogeneous، فقد اخترنا الشبكتين اللاسلكيتين WiMax و WiFi. ومن ثمَّ فإن دراسة التحركية Mobility في هذا التطبيق تتمثل في دراسة عملية الانتقال الشاقولي Vertical Handover (VHO) بين الشبكتين اللاسلكيتين WiFi و WiMax.

تتألف بيئة المحاكاة من منطقة جغرافية أبعادها 3000m X 3000m، يقع في النقطة الجغرافية (1000,1000) برج لشبكة WiMax، ويغطي هذا البرج مساحة جغرافية دائرية نصف قطرها 1000m. كما يقع في النقطة الجغرافية (1500,550) نقطة نفاذ AP لشبكة WiFi، تغطي مساحة جغرافية دائرية نصف قطرها 100m، كما هو مبيّن بالشكل (5-1).



الشكل (5-1) توضع شبكتي الـ WiFi و الـ WiMax

تتحرك العقدة المحمولة MN في هذه المساحة الجغرافية عابرةً من شبكة الـ WiFi بإتجاه شبكة الـ WiMax.

يبيّن الجدولان (5-1) و (5-2) أهم موسطات كل من شبكة الـ WiFi والـ WiMax المستخدمتان في عملية المحاكاة.

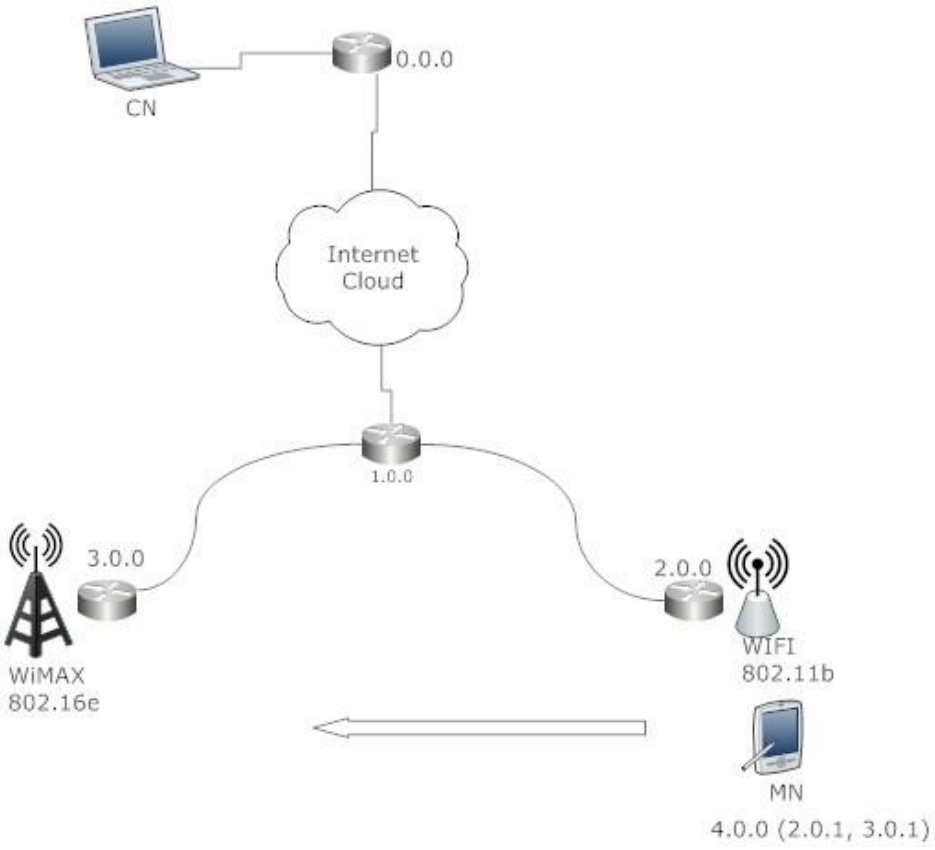
الجدول (5-1) موسطات شبكة WiFi

IEEE 802.11b	
Coverage Radius	100 m
Radio Propagation Model	Two-Ray Ground
Frequency	2.4 GHz
Transmission Power (Pt_)	0.027 W
Receiving Threshold (RXThresh_)	7.59375×10^{-10} W

الجدول (5–2) موسطات شبكة WiMax

IEEE802.16e	
Coverage Radius	1000 m
Radio Propagation Model	Two-Ray Ground
Frequency	3.5 GHz
Transmission Power (Pt_)	15 W
Receiving Threshold (RXThresh_)	7.59375×10^{-11} W

أما بخصوص التوصيل الشبكي لبيئة المحاكاة المقترحة فهو مبيّن بالشكل (5–2)، والذي يتضمن شبكتي WiFi و WiMax تتبعان لمزوديّ خدمة مختلفين. وتظهر في الشكل أيضاً العقدة المراسلة CN، والتي تتبع إلى مزود خدمة ثالث. كما يبيّن الشكل (5–2) أيضاً توزيع العناوين IPv6.



الشكل (5–2) التوصيل الشبكي للسيناريو المقترح لعملية المحاكاة

6.5. الانتقال المستقل عن الوسط Media Independent Handover

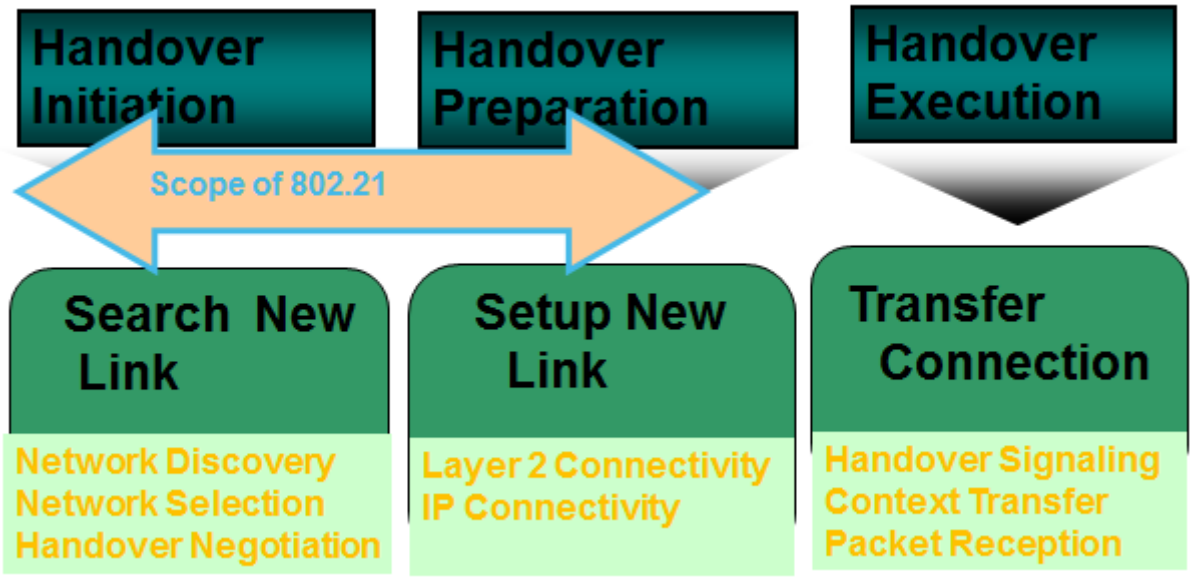
يهدف الانتقال المستقل عن الوسط MIH إلى دعم الطبقات العليا في عملية اتخاذ القرار عند عملية الانتقال HO. لذلك قامت مجموعة العمل 802.21 بإطلاق المعيار IEEE802.21، والذي يتيح عملية الانتقال بين الشبكات غير المتجانسة Heterogeneous بشكل سلس. وتشمل الشبكات غير المتجانسة الشبكات التي تبدأ بـ 802 مثل شبكة WiFi وWiMax، وتلك التي لا تبدأ بـ 802 مثل شبكة منظومة الاتصالات النقالة العالمية Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) [15].

1.6.5. الغاية الرئيسية من المعيار IEEE802.21

يتمثل الهدف الرئيسي من هذا المعيار في تزويد الطبقات العليا بدءً من الطبقة الثالثة بمجموعة من المعلومات والأحداث Events التي تطرأ على الشبكات المتاحة، بهدف أمثلة عملها لاتخاذ القرار المناسب، ومن ثمَّ خفض فترات الانقطاع عن الخدمة أثناء عمليات الانتقال Handover إلى الحد الأدنى.
يبيّن الشكل (5-3) مجال عمل المعيار IEEE802.21، والذي يقتصر فقط على مرحلتين هما:

- البحث عن شبكة جديدة.
- تجهيز الاتصال على مستوى الطبقة الثانية مع الشبكة المكتشفة.

أما المرحلة الثالثة والأخيرة من عملية الانتقال وهي تحويل الاتصال إلى الشبكة الجديدة، والبدء باستقبال الرزم عن طريقها فهي مناطة بالبروتوكول MIPv6.



الشكل (5-3) مجال عمل المعيار IEEE802.21 [14]

2.6.5. الانتقال على مستوى الطبقة الثانية

يجري الشروع بالانتقال على مستوى الطبقة الثانية بأحد الحدثين الآتيين من طبقة تابع الانتقال المستقل عن الوسط Media Independent Handover Function (MIHF) وهما:

- الحدث المقتَدِح بانهيار الوصلة Link Down trigger (event)
- الحدث المقتَدِح بتوجه الوصلة نحو الانهيار Link Going Down trigger (event)

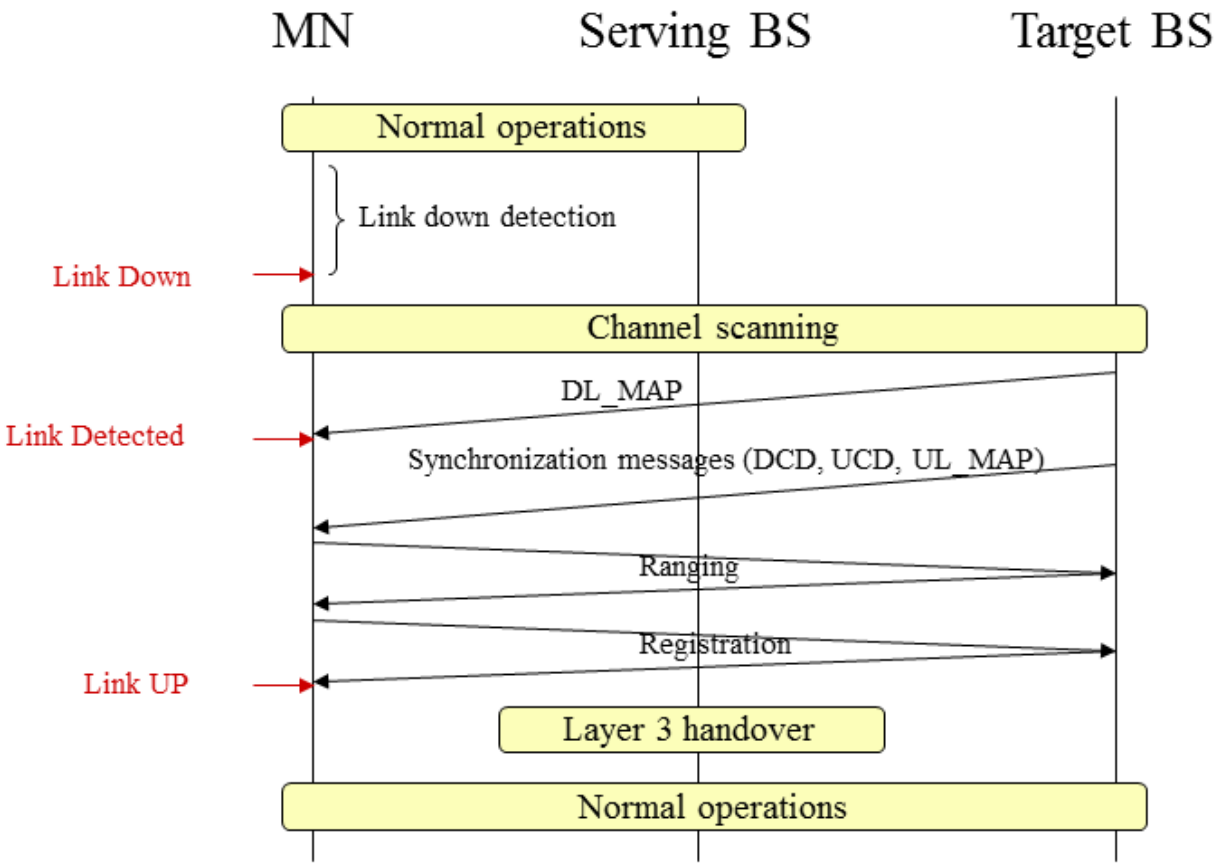
1.2.6.5. الحدث انهيار الوصلة Link Down

عندما تتحرك العقدة المحمولة MN خارج المساحة المغطاة بالشبكة اللاسلكية، فإنها ستفقد الاتصال بنقطة النفاذ AP المتصلة بها، وترسل عند ذلك طبقة تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF الحدث انهيار الوصلة Link Down إلى الطبقات العليا.

تقوم العقدة المحمولة MN عندها بالإصغاء إلى باقي الأقنية Channels للشبكة التي كانت العقدة المحمولة MN متصلة بها، كما تقوم العقدة المحمولة MN بالإصغاء إلى باقي الشبكات باستخدام محولات الشبكات الأخرى التي تملكها، بحثاً عن نقاط نفاذ جديدة.

يتطلب استخدام الحدث انهيار الوصلة Link Down لإنجاز عملية الانتقال الكثير من الوقت، ويتعلق بشكل كبير بالمدة الزمنية الفاصلة بين أطر الإرشاد Beacon Frames التي ترسلها نقاط النفاذ للتعريف عن نفسها، إذ لا تقوم العقدة المحمولة MN بأي دور فعال للبحث عن نقاط النفاذ باستثناء الإصغاء لأطر الإرشاد.

يبيّن الشكل (5-4) عملية الانتقال على مستوى الطبقة الثانية باستخدام الحدث انهيار الوصلة Link Down [18].



الشكل (5-4) عملية الانتقال على مستوى الطبقة الثانية باستخدام الحدث انهيار الوصلة LD [18]

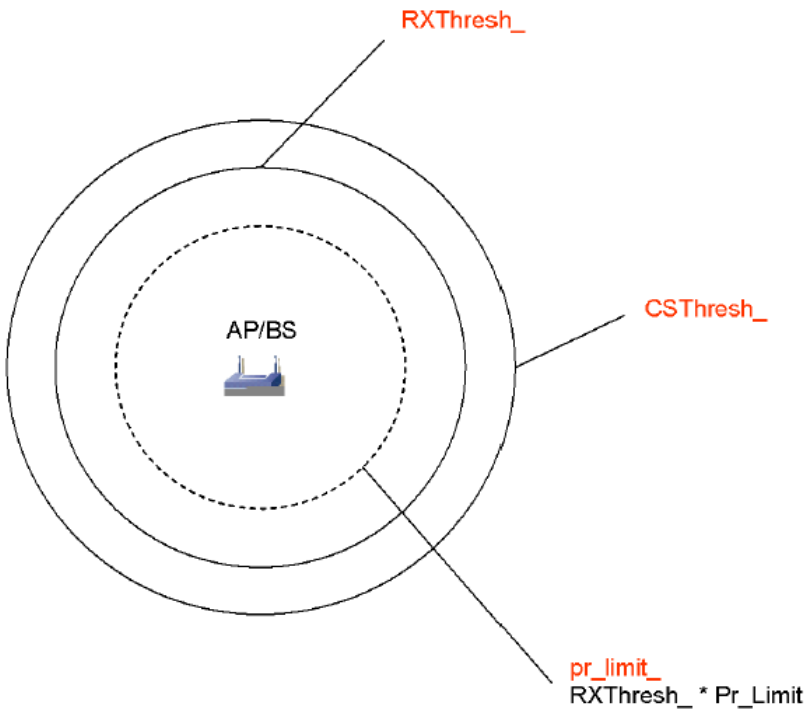
2.2.6.5. الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار Link Going Down

يجري توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار Link Going Down بواسطة تحديد مستوى استطاعة الرزم المستلمة من قبل العقدة المحمولة MN [20].

وبهدف محاكاة هذا الحدث يجري تقسيم المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً اعتماداً على عتبتين مهمتين هما:

- عتبة حساسية المستقبل Receiver Sensitivity (RxThresh_): وهي تعرّف الحد الأدنى للطاقة من أجل استلام رزمة بدون أخطاء.
- عتبة تحسس الحامل Carrier Sense Threshold (CSThresh_): وهي تعرّف الحد الأدنى من الطاقة لتحسس ورود رزمة، وأيضاً لجعل طبقة التحكم في النفاذ إلى الوسائط MAC تنتقل من وضع راحة Idle إلى انشغال Busy.

يبيّن الشكل (5-5) كلتا العتبتين.



الشكل (5-5) كيفية توليد الحدث LGD [20]

إن توقيت الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD مهم جداً في عملية الانتقال، وذلك لتجنب حدوث انقطاع كبير في الخدمة. ولتحديد توقيت هذا الحدث استخدمنا المعامل Pr_Limit_، إن حاصل جداء هذا المعامل بعتبة حساسية المستقبل RXThresh_ يعرّف العتبة RXThresh_ X Pr_Limit_، وهي عتبة الطاقة الدنيا التي ستقوم بعدها الطبقة MIHF بإرسال الحدث LGD إلى الطبقات العليا.

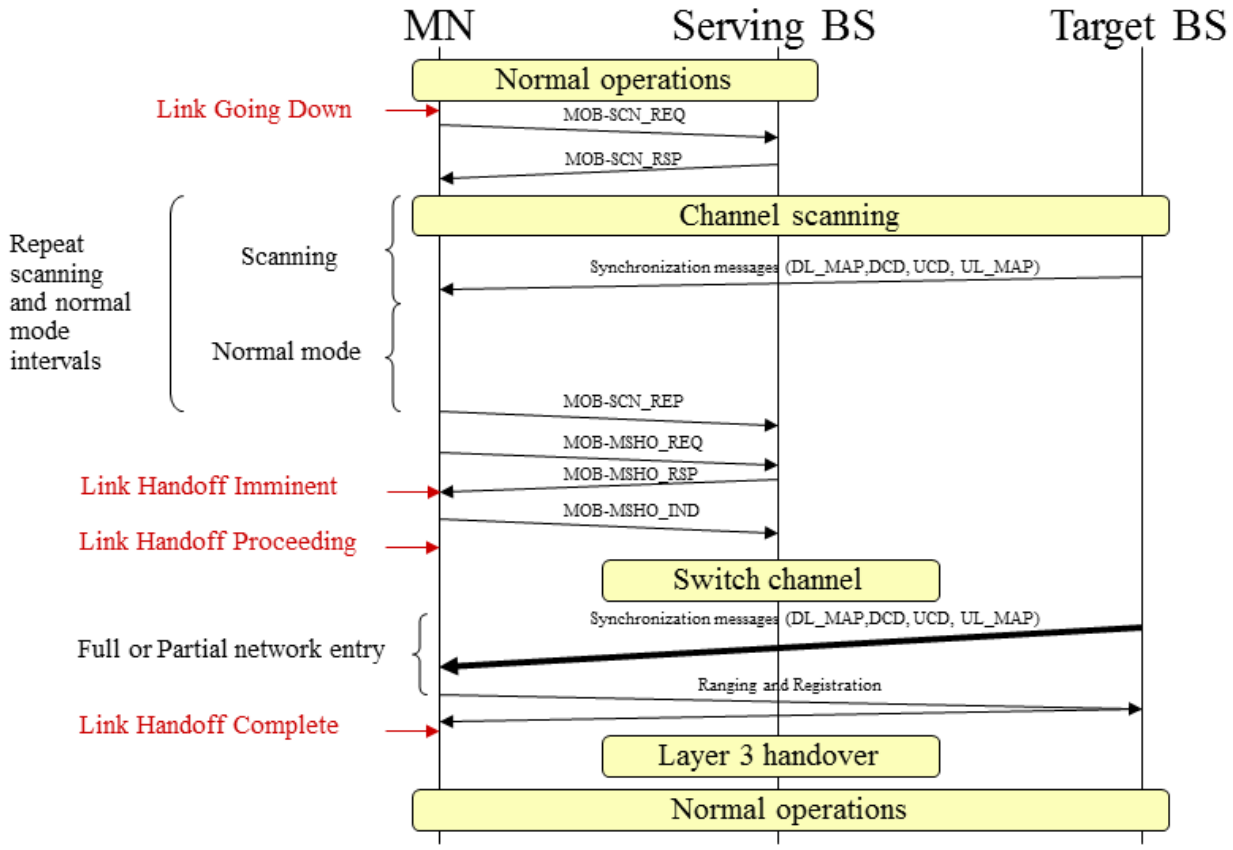
يمكن باستخدام هذا المعامل التحكم بتوليد الحدثين LD و LGD كالآتي:

- Pr_Limit_ = 1 ⟹ Link Down Event
- Pr_Limit_ > 1 ⟹ Link Going Down Event

سوف نطلق على Pr_Limit_ اسم LGD_Factor_ ونحاول إيجاد القيمة المثلى له، والتي من أجلها سيكون الزمن الذي تستغرقه عملية الانتقال أصغرياً.

عند ورود الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD إلى الطبقات العليا، تبدأ العقدة المحمولة بالمسح Scan بحثاً عن نقطة نفاذ جديدة في الحال، وذلك قبل مغادرتها المنطقة المغطاة بنقطة النفاذ الحالية.

يبيّن الشكل (5-6) تتابع الرسائل خلال عملية المسح Scan عن نقطة نفاذ جديدة عند ورود الحدث LGD، وفق الطريقة المنفذة من قبل المعهد الوطني للمعايير والتقانة في الإضافة IEEE802.16 module [18].

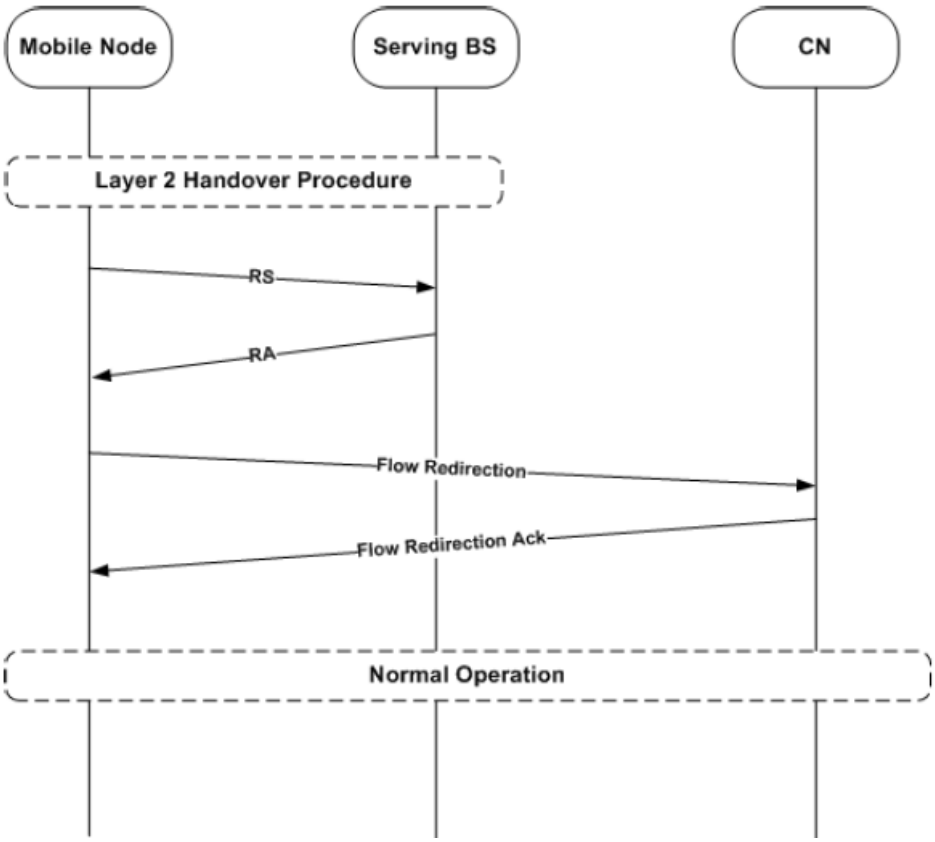


الشكل (5–6) عملية الانتقال على مستوى الطبقة الثانية باستخدام الحدث LGD [18]

3.6.5. الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة

تجري عملية الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة بعد إتمام عملية الانتقال على مستوى الطبقة الثانية بنجاح. وتسمح الإضافة NIST Mobility Module لنقطة النفاذ AP/BS بالعمل كموجه نفاذ Access Router (AR). إذ تقوم نقطة النفاذ AP/BS ببث دوري لرزمة الإعلان عن موجه Router Advertisement (RA)، وتحوي هذه الرزمة مجموعة من المعلومات المهمّة، ومنها البادئة الشبكية الخاصة بالشبكة الجديدة Prefix IP، كما يمكن للعقدة المحمولة MN المنتقلة حديثاً إلى منطقة تغطية جديدة إرسال الرزمة حث الموجه Router Solicitation (RS) لحث موجه النفاذ AR على إرسال رزمة الإعلان عن الموجه RA [19].

بعد أن تحصل العقدة المحمولة MN على عنوان شبكي IP جديد، تقوم بإخطار العقدة المُراسِلة CN بعنوانها الشبكي الجديد، وستقوم العقدة المراسلة CN فور إخطارها بالعنوان الجديد، بإعادة توجيه جميع الرزم إلى عنوان العقدة المحمولة MN الجديد، كما هو مبيّن بالشكل (5-7).



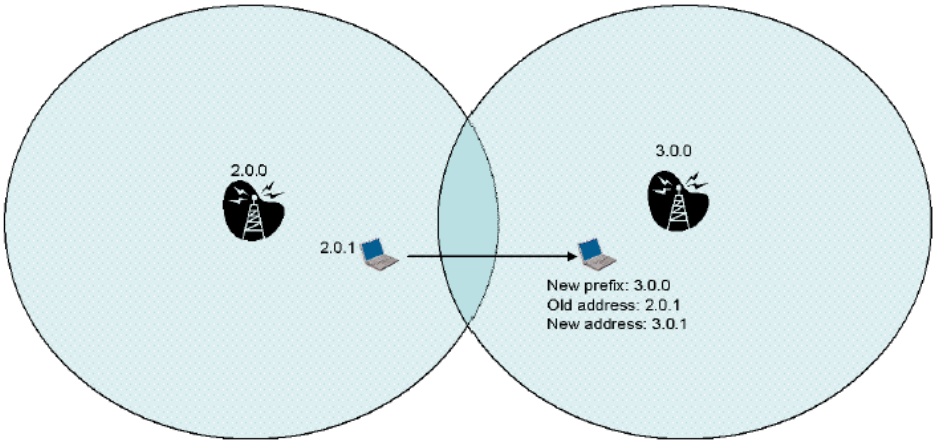
الشكل (5-7) الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة [19]

1.3.6.5. الحصول على عنوان شبكي جديد

عندما تنتقل العقدة المحمولة MN إلى شبكة جديدة، كما هو مبيّن بالشكل (5-8)، فإنها تحتاج إلى عنوان رعاية Care-of-Address جديد. ويجري الحصول على العنوان الجديد بإحدى الحالتين الآتيتين:

- وجود مخدم لتوزيع العناوين الشبكية بطريقة ديناميكية، عندها يمكن استخدام البروتوكول DHCPv6 إلا أن ذلك يحتاج إلى مدة زمنية كبيرة وهو لا يتناسب مع مفهوم الانتقال السلس.

- أن تقوم العقدة المحمولة باختيار عنوان شبكي جديد من ضمن الشبكة التي انتقلت إليها، إذ تستطيع تحديد مجال العناوين المسموح بها من الرسالة الإعلان عن موجه RA التي تلقتها من موجه النفاذ AR. إلا أنه من المحتمل أن تقوم العقدة المحمولة MN باستخدام عنوان شبكي مستخدم من قبل عقدة محمولة MN أخرى، لذلك تقترح هذه الطريقة أن تتأكد العقدة المحمولة MN من أن العنوان المختار غير مستخدم من قبل عقدة محمولة أخرى، وتسمى هذه الخوارزمية كشف العناوين المتكررة Duplicate Address Detection (DAD). قام الباحثون في [21] بدراسة هذه الخوارزمية ووجدوا أنها تحتاج وسطياً إلى ثانية واحدة للتأكد من كون العنوان الشبكي غير مستخدم. ونظراً لكون الزمن واحد ثانية زمن كبير جداً أثناء عملية الانتقال، فقد اقترح الباحثون قيام موجه النفاذ AR بهذه المهمة، والتأكد من صلاحية العناوين، والاحتفاظ بشكل دائم بقائمة من العناوين الصالحة للاستعمال، وسميت هذه الخوارزمية خوارزمية كشف العناوين المتكررة المتقدمة Advanced DAD (A-DAD).



الشكل (5-8) مثال على تغيير العناوين الشبكية بعد الانتقال [19]

سنستخدم في عملية محاكاة السيناريو المقترح خوارزمية A-DAD، ومن ثمَّ ستجري عملية الحصول على عنوان شبكي جديد عند الانتقال بالإفادة من الرسائل حث الموجه RS والإعلان عن الموجه RA المتبادلة بين العقدة المحمولة MN وموجه النفاذ AR. وبذلك يكون الوقت الذي تستغرقه هذه العملية مهملاً.

*****

الفصل السادس

الدراسة التحليلية لنتائج عملية المحاكاة

Analysis of Simulation Results

1.6. مقدمة

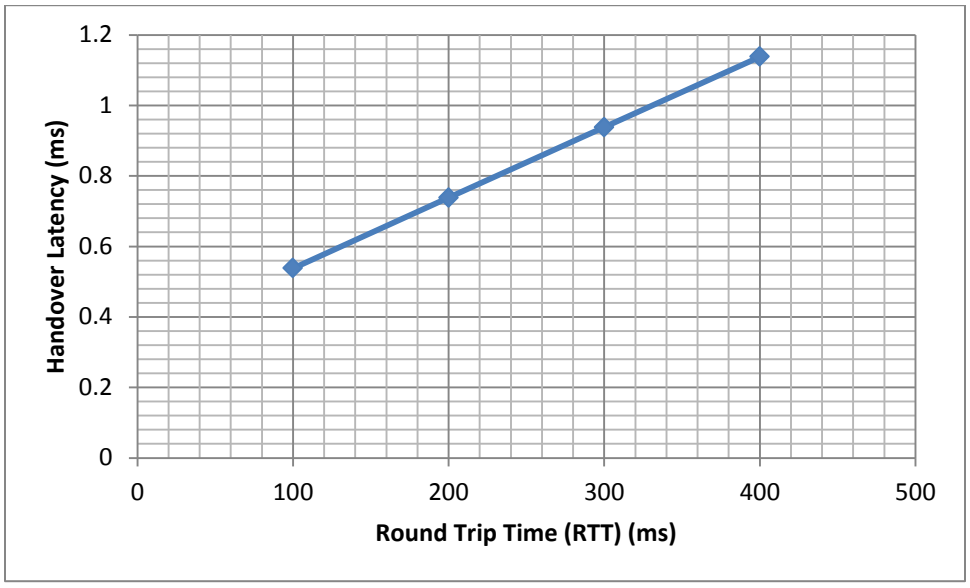
عرضنا في الفصل الخامس عملية الانتقال HO بشقيها الانتقال على مستوى الطبقة الثانية L2HO والانتقال على مستوى الطبقة الثالثة L3HO. سنتناول في هذا الفصل النتائج العملية لمحاكاة السيناريو المقترح لعملية الانتقال بين شبكة الـ WiFi وشبكة الـ WiMax دراسة وتحليلاً. كما أننا سنسعى لإيجاد القيمة المثلى للموسط توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor، والتي من أجلها يكون الزمن الذي تستغرقه عملية الانتقال أصغرياً. ومن ثم سندرس تأثير عملية الانتقال على التطبيقات المختلفة التي يمكن للعقدة المحمولة MN استخدامها أثناء تجوالها.

2.6. عملية الانتقال باستخدام الحدث انهيار الوصلة LD

يؤثر الزمن الذي تستغرقه عملية الانتقال بصورة مباشرة على جودة الخدمة، وربما قد يؤدي إلى خسارة الاتصال. وسينجم عن تخفيض هذا الزمن بصورة مباشرة، تقليل فَقْد الرزم Packet Loss، كما أنه سيؤثر بصورة إيجابية على معدل التدفق Throughput، وعلى الأخص أثناء المدة الزمنية التي تجري فيها عملية الانتقال HO. كما تؤثر عملية الانتقال HO بصورة مختلفة على التطبيقات التي تستخدمها العقدة المحمولة MN، نظراً للخصائص المميزة لكل تطبيق. فعلى سبيل المثال يمكن أن تتسامح تطبيقات الصوت Voice بمعدل فقد رزم يصل حتى 10%.

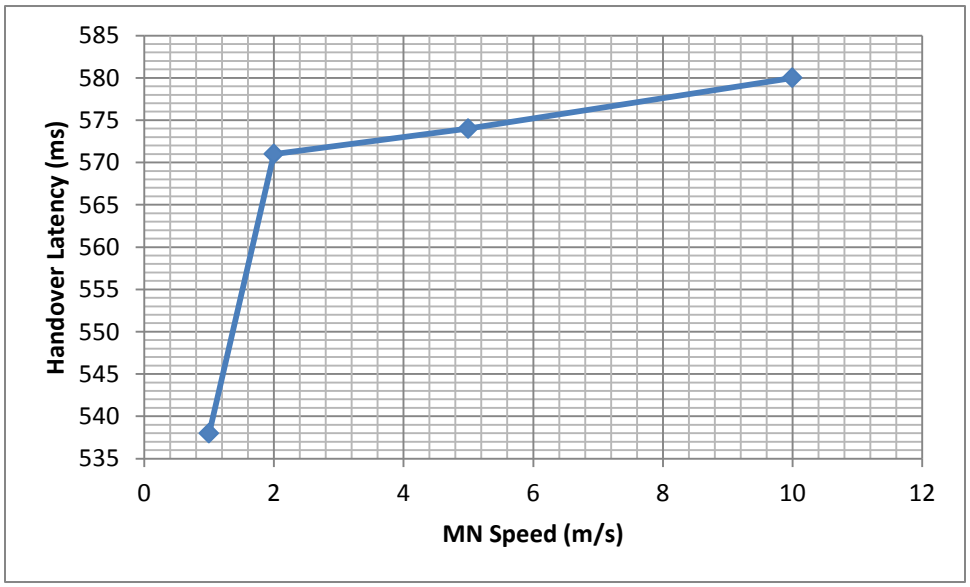
1.2.6. نتائج عملية المحاكاة باستخدام الحدث انهيار الوصلة LD

يجري توليد الحدث انهيار الوصلة LD، حالما تغادر العقدة المحمولة MN منطقة التغطية، حيث تفقد اتصالها مع نقطة النفاذ PoA، وتبدأ بمحاولة الاتصال بإحدى نقاط النفاذ المتاحة. تستغرق عملية الانتقال في هذه الحالة زمناً أطول من الزمن اللازم في حال الاعتماد على الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD، الأمر الذي يسبب زيادة معدل فقد الرزم. ويبيّن الشكل (6-1) وجود تناسب طردي بين تأخير الانتقال Handover Latency وزمن الذهاب والإياب Round Trip Time (RTT)، وهو الزمن اللازم لرزمة (أو نبضة إشارة) للانتقال من المرسل إلى المستقبل ثم العودة إلى المرسل ثانية [22].



الشكل (6-1) العلاقة بين تأخير الانترنت والتأخير الناتج عن عملية الانتقال

في حين نستنتج من الشكل (6-2) وجود تناسب طردي أيضاً بين تأخير الانتقال Handover Latency وسرعة العقدة، مع سلوك خاص في مجال السرعات الصغيرة التي تقل عن 2 m/s.



الشكل (6-2) العلاقة بين سرعة العقدة المحمولة MN والتأخير الناتج عن عملية الانتقال

تصل مدة التأخير الزمني الناجم عن الانتقال إلى قرابة 0.6 ثانية عندما تسير العقدة المحمولة بسرعة 10m/s منتقلة من شبكة WiFi إلى WiMax وهو زمن طويل نسبياً، ويؤثر بصورة كبيرة على جودة الخدمة واستمرارية الاتصال.

3.6. عملية الانتقال باستخدام الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD

كما ذكرنا سابقاً، فإن الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD يفيد في التنبؤ بقرب مغادرة العقدة المحمولة MN للمنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً. وقد بيّنا في الفصل الخامس أن هذا التنبؤ يجري بواسطة تحديد عتبة لاستطاعة الرزم الواردة حيث جرى تحديد هذه العتبة بالجداء المبيّن بالعلاقة (6−1) [20]:

$$RXThresh_ \times Pr_Limit_ \qquad (1\text{-}6)$$

- عندما تكون Pr_Limit_ =1 نحصل على الحدث انهيار الوصلة LD، والذي يفيد أن العقدة المحمولة MN فقدت الاتصال بنقطة النفاذ الحالية PoA.
- عندما يكون Pr_Limit_ > 1 نحصل على الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD، والذي نتنبأ من خلاله بأن العقدة المحمولة MN على وشك فقد الاتصال مع نقطة النفاذ الحالية PoA، عندها ستحاول العقدة المحمولة MN الاتصال بنقطة نفاذ جديدة nPoA.

سنركز الآن على إيجاد القيمة المثلى للمعامل Pr_Limit_، والتي سوف نسميها معامل توجه الوصلة نحو الانهيار LGD_Factor_.

كثيرة هي الدراسات التي ربطت بين زمن الانتقال Handover Latency وسرعة العقدة المحمولة MN، فكلما ازدادت سرعة العقدة المحمولة MN سيزداد معها زمن الانتقال. كما يجب الانتباه هنا إلى أن زيادة سرعة العقدة المحمولة تفرض الشروع بعملية الانتقال مبكراً، أي يجب أن يُرسل الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD إلى الطبقات العليا بصورة مبكرة أكثر، كلما ازدادت سرعة العقدة المحمولة MN [8].

إلا إن السرعة ليست العامل المهم الوحيد، إذ يؤدي الزمن RTT أيضاً دوراً كبيراً، فإزدياد هذا الزمن سيزيد الحاجة للشروع بعملية الانتقال مبكراً.

ومن ثمَّ يرتبط التوقيت المناسب للحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD، بعاملين مهميّن هما سرعة العقدة المحمولة MN والزمن RTT.

قامت بعض الدراسات بإعطاء قيمة ثابتة للمعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor كبيرة نسبياً، وذلك لضمان إرسال الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD مبكراً إلى الطبقات العليا، إلا أن ذلك سيؤدي إلى عمليات انتقال مبكرة وغير ضرورية ربما من شبكة ذات تكلفة منخفضة إلى أخرى ذات تكلفة أعلى [24].

وسنوضح من خلال السيناريو الذي اقترحناه في الفصل الخامس للمحاكاة، أهمية ضبط قيمة هذا المعامل وجعلها ديناميكية لا ثابتة. إن شبكة الـ WiFi المستخدمة في السيناريو المقترح لعملية المحاكاة لها الموسطات (البارامترات) الآتية:

- Frequency = 2.412×10^6 Hz
- $P_t = 0.027$ W
- RXThresh_ = 2.64504×10^{-10} W
- CSThresh_ = 0.9 x RXThresh_

وبفرض أن معامل توجه الوصلة نحو الانهيار LGD_Factor_ = 2

نحصل على:

$$\text{LGD_Factor_ X RXThresh_} = 2 \times 2.64504 \text{ X } 10^{-10}$$

$$= 5.29008 \times 10^{-10}$$

وهذا يعني أنه سيجري توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD عند أول رزمة يجري استلامها، وتكون استطاعتها مساوية لـ 5.29008×10^{-10} W، حيث تتخامد الإشارة مع المسافة في كل أنواع الاتصالات اللاسلكية ويطلق عليه فقد الفضاء الحر Free Space Loss وتحسب استطاعة الإشارة المستقبلة باستخدام هوائي الاستقبال بالعلاقة (2-6) [13]:

$$\text{Pr} = Pt \times \text{Gt} \times \text{Gr} \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \qquad (2\text{-}6)$$

يمكن باستخدام العلاقة (6−2) حساب بُعد النقطة الجغرافية التي ستشرع فيها العقدة المحمولة MN بعملية الانتقال عن نهاية المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً.

بالتعويض والحساب نجد أن:

$$d = 70.7 \text{ m}$$

أي إن العقدة المحمولة MN ستشرع بعملية الانتقال HO قبل الوصول لحدود المنطقة المغطاة لاسلكياً بحوالي الثلاثين متر، وهي مسافة كبيرة نوعاً ما، خاصة في حال كان تأخير الانترنت RTT صغيراً نسبياً، عندها سيكون من الأجدى تأخير توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD.

1.3.6. تحديد قيمة معامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor

كما رأينا سابقاً ترتبط قيمة المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار LGD_Factor ارتباطاً وثيقاً بسرعة العقدة المحمولة MN والزمن RTT. إذن يمكن القول أن المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor هو تابع لكل من سرعة العقدة المحمولة والزمن RTT كما في العلاقة (6−3):

$$LGD_Factor_ = F(V, RTT) \qquad (3\text{-}6)$$

1.1.3.6. سرعة العقدة المحمولة

نستطيع بواسطة معرفة سرعة العقدة المحمولة تحديد الزمن المقدر Estimated Time (ET)، وهو الزمن المتوقع أن تستغرقه العقدة المحمولة MN لمغادرة المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً من العلاقة (6−4):

$$ET = \frac{D}{v} \qquad (4\text{-}6)$$

وتمثل فيها:

v: سرعة العقدة المحمولة MN.

D: المسافة التي سوف تقطعها العقدة المحمولة ضمن المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً.

والنقطة الأساسية هنا هي كيفية تحديد العقدة المحمولة MN لقيمة المتحول D.

في الواقع تستطيع العقدة المحمولة MN تحديد قيمة المتحول D، إذا علمت نصف قطر المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً R واستطاعة إرسال نقطة النفاذ P_t. ولا تصعُب معرفة هذين المتحولين كما رأينا عند دراسة المعيار IEEE802.21 في الفصل الرابع، حيث يمكن الحصول على الكثير من المعلومات بفضل الاتصال مع مخدم المعلومات Information Server المعرّف في المعيار IEEE802.21.

عندما تبدأ الاستطاعة المستقبلة P_r بالتناقص أثناء حركة العقدة المحمولة، فهذا يعني أن العقدة المحمولة بدأت بالاتجاه خارج المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً، عندها تقوم العقدة المحمولة MN بحساب قيمة d، بُعد العقدة المحمولة MN عن نقطة النفاذ، من العلاقة (6−2).

أما قيمة D، المسافة التي سوف تقطعها العقدة المحمولة ضمن المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً، فتُحدد من العلاقة (6−5):

$$D = R - d \qquad (5\text{-}6)$$

إذن أصبح بالإمكان تحديد الزمن المتوقع لمغادرة العقدة المحمولة للمنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً من العلاقة السابقة (6−4).

2.1.3.6. تأخير الانترنت RTT

يرتبط المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار LGD_Factor_ ارتباطاً وثيقاً بتأخير الانترنت RTT كما سبق بيانه. ولكن عندما يتعلق الأمر بشبكات التبديل بالرزم Packet Switching فستؤثر كثير من العوامل على تحديد قيمة هذا التأخير، وستختلف قيمة هذا التأخير من رزمة إلى أخرى.

عندما تكون الشبكة مزدحمة Congestion، تمكث الرزم مدد أطول في أرتال Queues الموجهات Routers قبل أن تجري معالجتها. كما أن الرزم في شبكات التبديل بالرزم Packet Switching لا تسلك جميعها المسار نفسه من المرسل إلى المستقبل، إضافةً إلى عوامل أخرى عديدة.

ومن ثمَّ فإن اعتمادنا على قيمة زمن الذهاب والإياب RTT المقاسة لتحديد قيمة المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor لن تكون دقيقة بما يكفي. سنستفيد هنا من الطريقة التي يتبعها بروتوكول TCP في حساب قيمة الـ Timeout Interval، وكيفية تنبؤه بقيمة RTT [22] حيث يجري حساب التأخير المقدر EstimatedRTT بالعلاقة (6−7).

$$EstimatedRTT = (1- \alpha) . EstimatedRTT + \alpha . SampleRTT \qquad (7\text{-}6)$$

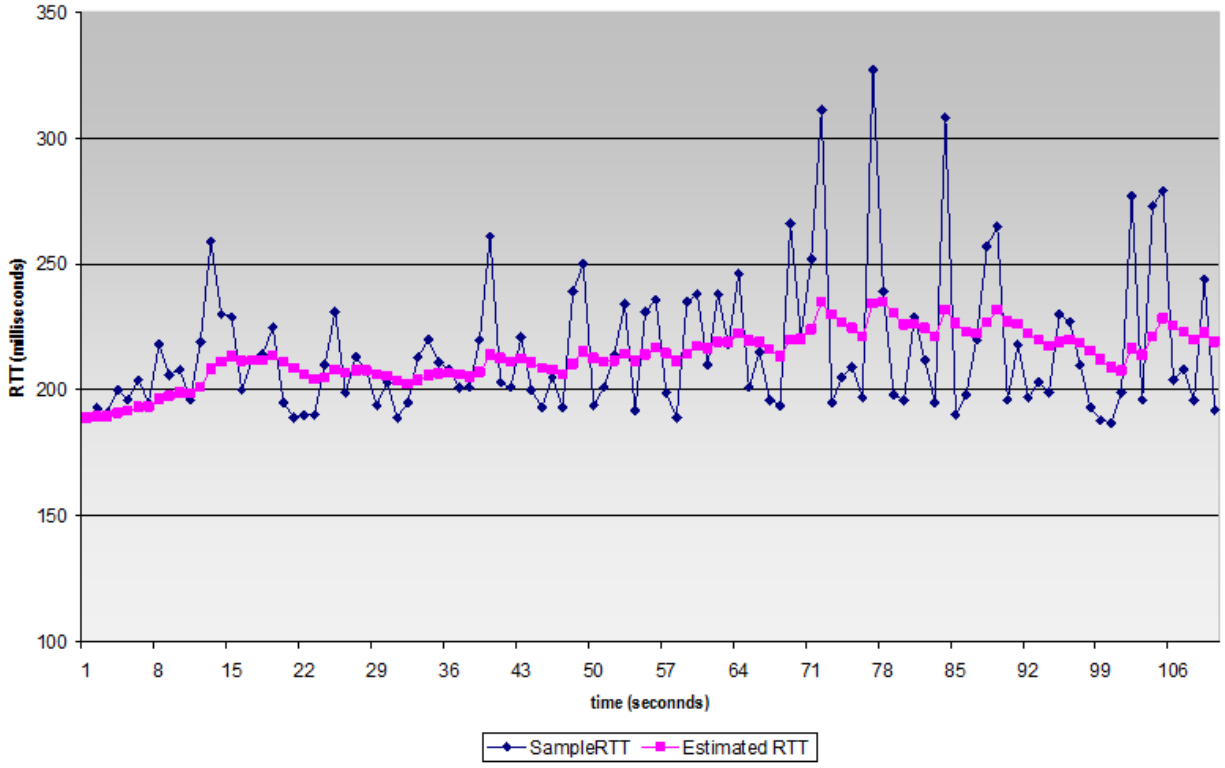
حيث α هو معامل قيمته النموذجية هي 0.125 **[22]**.

حيث نجد أن القيمة المقدرة EstimatedRTT ليست إلا متوسط موزون Weighted Average من قيم SampleRTT.

يبيّن الشكل (6−3) التباين الكبير بين القيمة المقدرة EstimatedRTT والقيمة المقاسة SampleRTT، وبسبب هذا التباين بين هاتين القيمتين فمن المناسب حساب التغاير Variation لقيم SampleRTT بالنسبة للقيمة المقدرة EstimatedRTT، وهي معّرفة في [RFC 6298] [33] بالعلاقة (6−8):

$$DevRTT = (1-\beta) \cdot DevRTT + \beta \cdot |SampleRTT - EstimatedRTT| \qquad (8\text{-}6)$$

حيث β هو معامل قيمته النموذجية هي 0.25 **[22]**.



الشكل (6-3) التباين بين قيمتي SampleRTT وEstimatedRTT [22]

يمكن اعتماداً على العلاقتين (6-7) و(6-8) توقّع قيمة الزمن RTT العظمى، والتي سوف نستخدمها في حساب قيمة المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار LGD_Factor_ بالعلاقة (6-9).

$$MaxRTT = EstimatedRTT + DevRTT \qquad (9\text{-}6)$$

وباستخدام (6-6) و (6-9) يمكن تحديد قيمة المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار LGD_Factor_ على النحو المبيّن بالعلاقة (6-10).

$$LGD_Factor_1 + \frac{MaxRTT}{ET} \qquad (10\text{-}6)$$

وبمناقشة العلاقة المقترحة لتحديد قيمة المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار LGD_Factor_ نجد:

- الحالة الأولى MaxRTT > ET: أي أن الزمن MaxRTT أكبر من الزمن المتوقع للعقدة المحمولة MN لتغادر المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً، عندها تكون قيمة توجه الوصلة نحو الانهيار

LGD_Factor_ > 2 ، وستعجّل هذه القيمة بصورة كبيرة في توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD.

- الحالة الثانية MaxRTT ≤ ET: أي أن الزمن الذي سوف تستغرقه العقدة المحمولة لمغادرة المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً أكبر من الزمن MaxRTT، فنحصل على قيمة لتوجه الوصلة نحو الانهيار 1 < LGD_Factor_ وأصغر من 2، وستقوم بتوليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD في الوقت المناسب.

ويجب أن تكون قيمة توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor أكبر تماماً من الواحد، لضمان توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD، وليس الحدث انهيار الوصلة LD، والذي يتسبب بزمن انتقال كبير كما رأينا سابقاً.

4.6. عملية الانتقال باستخدام القيمة المقترحة للمعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor

بالإفادة من السيناريو المقترح للمحاكاة سنحدد قيمة المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor وفقاً للطريقة المبيّنة بالفقرة (6.3)، وبافتراض أن العقدة المحمولة MN تقع ضمن شبكة الـ WiFi وعلى بعد D يساوي 50m عن حدود المنطقة المغطاة لاسلكياً، وأن الزمن MaxRTT يساوي 200ms، وأن العقدة المحمولة تسير بسرعة ثابتة تساوي 10 m/s متجهةً بشكل مستقيم خارج حدود المنطقة المغطاة لاسلكياً بشبكة الـ WiFi.

بحساب قيمة هذا المعامل في اللحظة التي تبدأ فيها العقدة المحمولة MN بالحركة، نجد أنها مساوية للقيمة 1.04، وبمتابعة العقدة المحمولة MN للسير بإتجاه الخروج من المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً ستبدأ قيمة المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor بالازدياد. وفي المقابل تبدأ استطاعة الرزم المستقبلة بالانخفاض تدريجياً حتى الوصول إلى النقطة التي ستشرع فيها العقدة المحمولة MN بعملية الانتقال HO، وعندها تكون تقريباً قيمة معامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor مساوية لـ 1.22، ويكون بُعد

العقدة المحمولة MN عن حدود المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً مساوياً لِـ 8 m تقريباً. في هذه اللحظة يرسل تابع الانتقال المستقل عن الوسط MIHF الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD إلى الطبقات العليا وتبدأ عندها العقدة المحمولة MN بعملية الانتقال HO. يبيّن الجدول (6−1) قيم المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor أثناء سير العقدة المحمولة MN بإتجاه الخروج من المنطقة الجغرافية المغطاة بشبكة الـ WiFi.

الجدول (6−1) تغيّر قيمة المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor أثناء حركة العقدة المحمولة

d	P_r	ET	معامل توجه الوصلة نحو الانهيار LGD_Factor	LGD_Factor X RXThresh_	HO decision taken
10	2.64469E-08	9	1.02222222	2.70E-10	NO
20	6.61173E-09	8	1.025	2.71E-10	NO
30	2.93855E-09	7	1.02857143	2.72E-10	NO
40	1.65293E-09	6	1.03333333	2.73E-10	NO
45	1.30602E-09	5.5	1.03636364	2.74E-10	NO
50	1.05788E-09	5	1.04	2.75E-10	NO
60	7.34637E-10	4	1.05	2.78E-10	NO
70	5.39733E-10	3	1.06666667	2.82E-10	NO
80	4.13233E-10	2	1.1	2.91E-10	NO
90	3.26505E-10	1	1.2	3.17E-10	NO
91	3.19369E-10	0.9	1.22222222	3.23E-10	Yes

سنقوم في الفقرة الآتية بتحليل نتائج عملية المحاكاة هذه وتأثيرها على نوع التطبيق المستخدم.

1.4.6. النتائج العملية للمحاكاة باستخدام قيمة توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor المقترحة

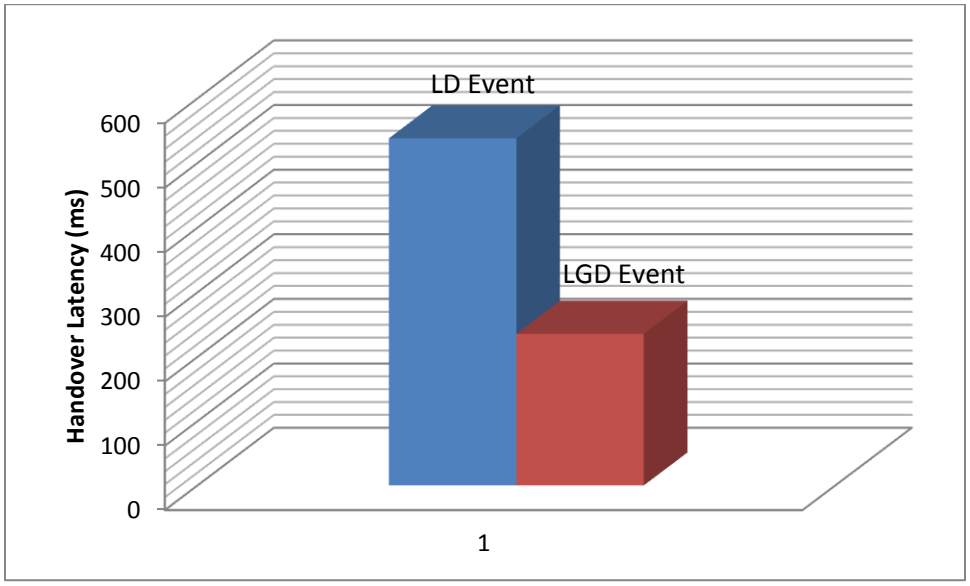
1.1.4.6. التأخير الناتج عن عملية الانتقال:

باعتماد الطريقة المقترحة لحساب قيمة المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor، نلاحظ أنه يجري توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD في اللحظة 14.8099، ويجري إرساله مباشرة إلى الطبقات العليا وتحديداً إلى واجهة التواصل MIH User المسؤولة عن عملية الانتقال HO، واسمها هنا Handover1، كما يظهر ذلك في الشكل (6-4) والمأخوذ من نتيجة عملية المحاكاة.

```
5340  At 14.809932 in 4.0.0 MIH Agent received LINK GOING DOWN trigger.
5341  At 14.809932 in 4.0.0 Interface Manager received MIH event
5342  At 14.809932 in 4.0.0 Handover1 received Link going down
5343       probability = 84%
5344       We fake a link down
5345  At 14.809932 in 4.0.0 Handover1 received link down
5346       MacAddr=1
5347  Studying flow 0 using interface 2.0.1
5348       Must redirect this flow to use interface 3.0.1
5349  At 14.809932 MIPv6 Agent in 4.0.0 send redirect message using interface 3.0.1
5350  There are 1 elements in the request
5351  At 14.809932 in 4.0.0 MIH Agent sending link scan.
5352  At 14.809932459 Mac 1 received link_scan command
```

الشكل (6-4) توليد الحدث توجه الوصلة نحو الانهيار LGD أثناء عملية المحاكاة

إن قيمة التأخير الزمني الناتج عن عملية الانتقال باعتماد الطريقة المقترحة لحساب قيمة المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor تساوي 235.608 ms، وهي أقل من النصف مقارنة بالرقم الذي حصلنا عليه عند استخدام الحدث انهيار الوصلة LD وهو 538.08 ms كما يظهر بالشكل (6-5). كما أن عملية الانتقال هنا ستبدأ عندما تصل العقدة المحمولة MN إلى بُعد ثمانية أمتار من حدود المنطقة الجغرافية المغطاة لاسلكياً، وتنتهي قبل مغادرته إياها حيث تكون العقدة المحمولة MN على بعد خمسة أمتار فقط.



الشكل (6–5) التأخير الزمني الناتج عن الانتقال باستخدام الحدثين LD و LGD

2.1.4.6. أثر عملية الانتقال على التطبيق الذي تستخدمه العقدة المحمولة MN

تتيح شبكات الجيل الرابع 4G للمستخدم استعمال أي تطبيق يحتاجه. إن التطبيقات المستخدمة من قبل العقدة المحمولة MN تتميز بخصائص مختلفة. فثمة تطبيقات تفرض قيود زمنية صارمة وأخرى لا تسمح بفقد أي رزمة، وتلك التي تسمح بفقد رزم بنسب متفاوتة. حقيقةً بعض هذه المتطلبات يجري معالجتها باختيار بروتوكول النقل Transport المناسب، إلا أن متطلبات أخرى ستتأثر بصورة كبيرة أثناء عملية الانتقال HO. سندرس فيما يلي أثر عملية الانتقال باستخدام الطريقة المقترحة لحساب المعامل توجه الوصلة نحو الانهيار _LGD_Factor على التطبيقات الثلاثة الآتية:

- File Transfer Protocol (FTP)
- Voice Over Internet Protocol (VOIP)
- Video Streaming

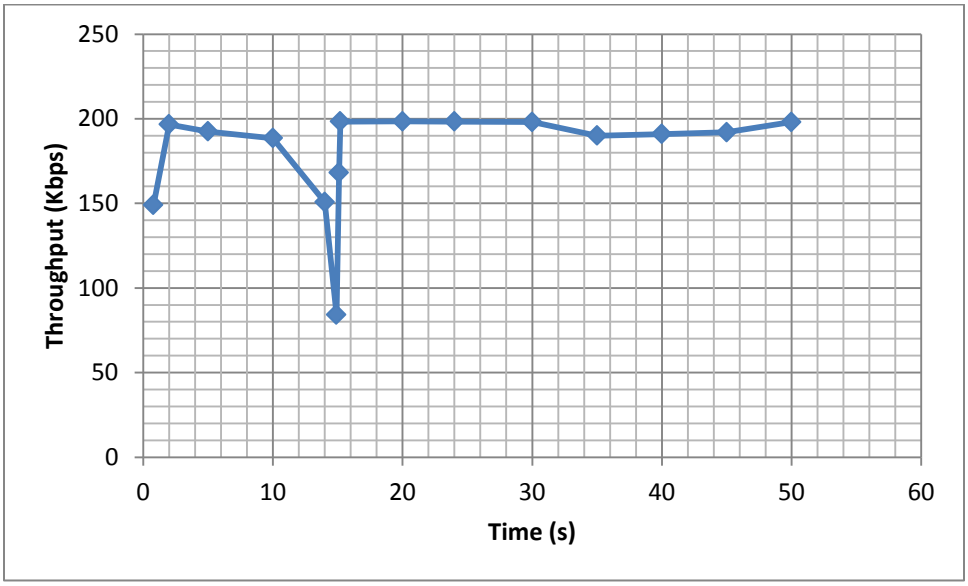
تقوم العقدة المحمولة MN في عملية المحاكاة بالاتصال مع العقدة المراسِل CN مستخدمةً في كل مرة تطبيق من التطبيقات الثلاثة المذكورة أعلاه. ويبيّن الجدول (6–2) أهم خواص هذه التطبيقات.

الجدول (6-2) موسطات التطبيقات المستخدمة في عملية المحاكاة

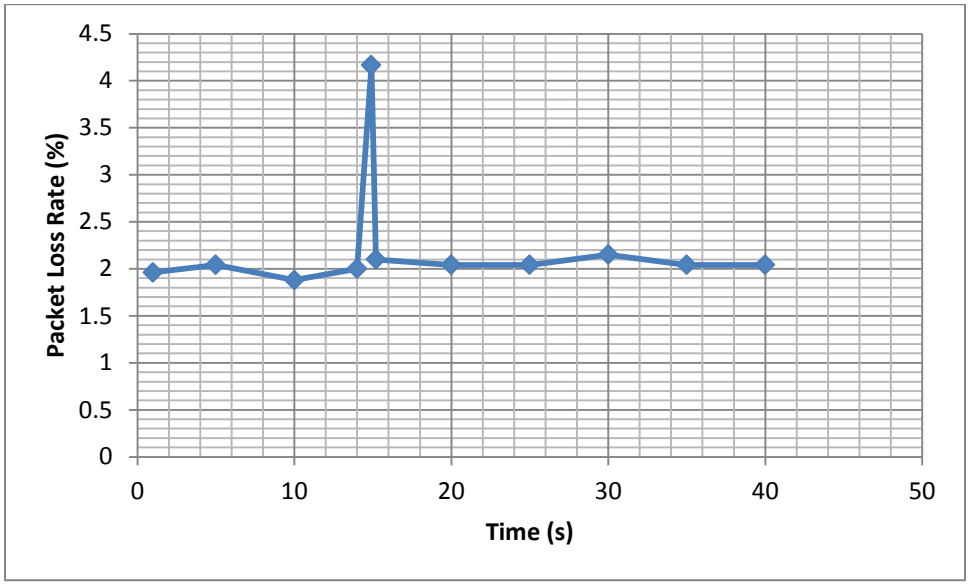
Traffic type	Packet size	Delay interval	Data rate
FTP	1500 B	100 ms	120 Kbps
Streaming	2000 B	100 ms	160 Kbps
VOIP	160 B	20 ms	64 Kbps

تظهر المنحنيات البيانية المبيّنة في الأشكال من (6-6) إلى (6-14) المنحنيات البيانية لمعدل فقد الرزم ومعدل التدفق والتأخير من طرف لآخر لعدة تطبيقات هي بروتوكول نقل الملفات File Transfer Protocol (FTP)، والمهاتفة عبر بروتوكول الانترنت Voice over Internet Protocol (VoIP)، والدفقية الفيديوية Video Streaming.

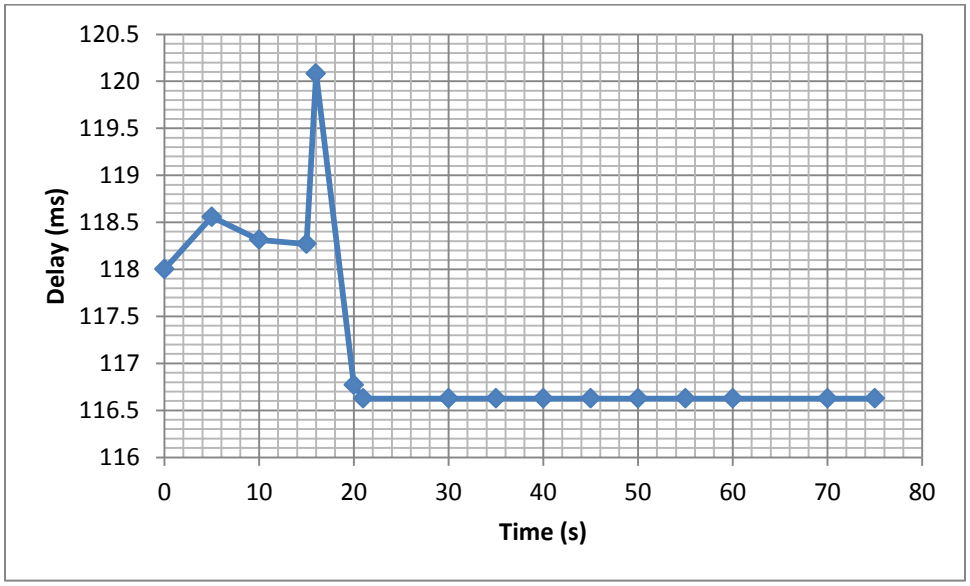
1. بروتوكول نقل الملفات FTP:



الشكل (6-6) تغيّر معدل التدفق أثناء عملية الانتقال بدلالة الزمن بالنسبة للتطبيق FTP

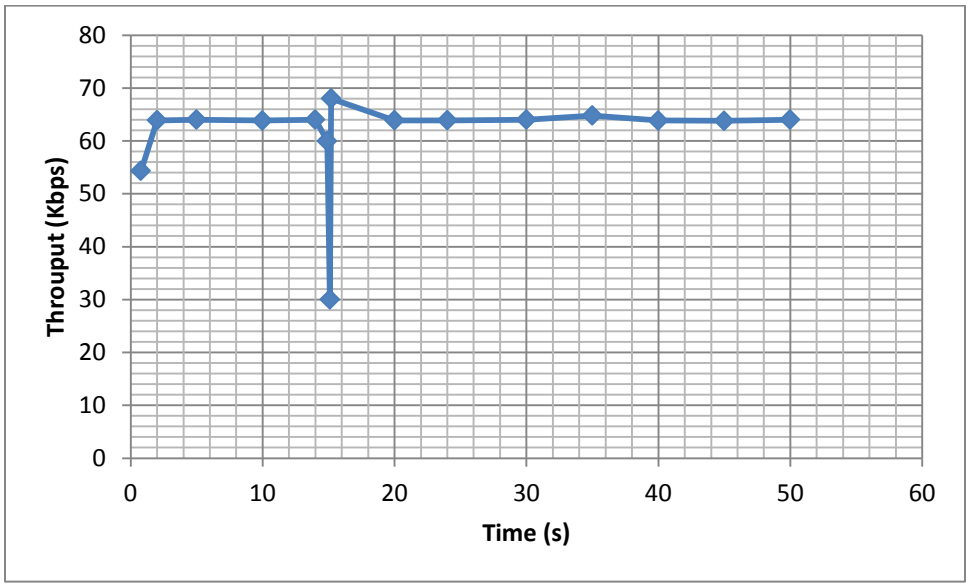


الشكل (6-7) تغيّر فقد الرزم خلال عملية الانتقال بدلالة الزمن بالنسبة للتطبيق FTP

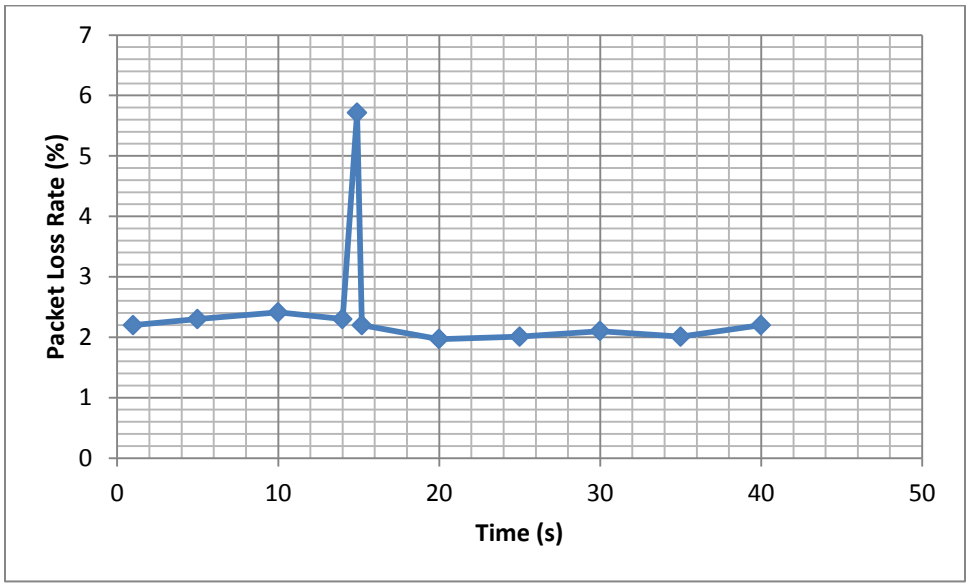


الشكل (6-8) تغيّر التأخير من طرف لأخر أثناء عملية الانتقال بدلالة الزمن بالنسبة لتطبيق FTP

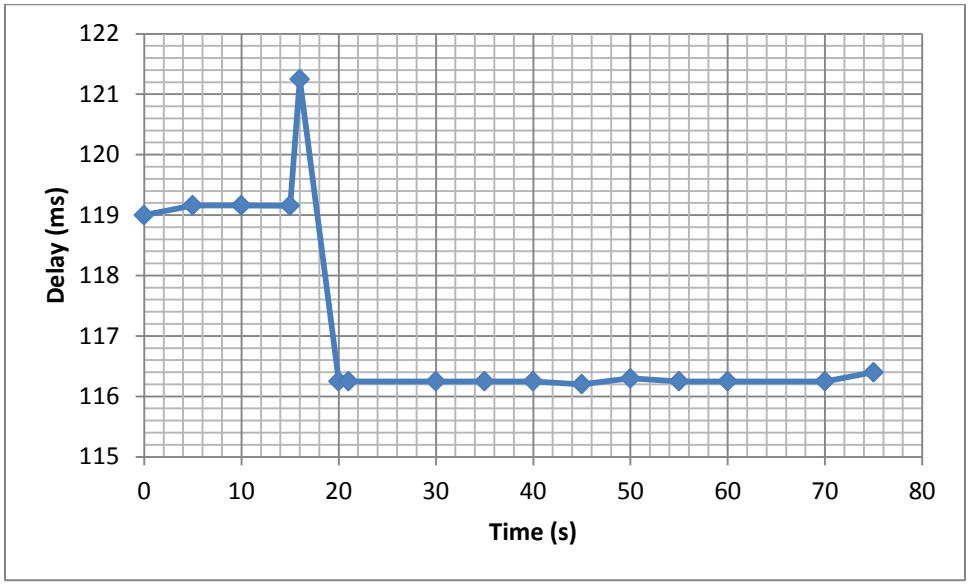
2. المهاتفة عبر بروتوكول الانترنت VOIP:



الشكل (6-9) تغيّر معدل التدفق أثناء عملية الانتقال بدلالة الزمن بالنسبة للتطبيق VOIP

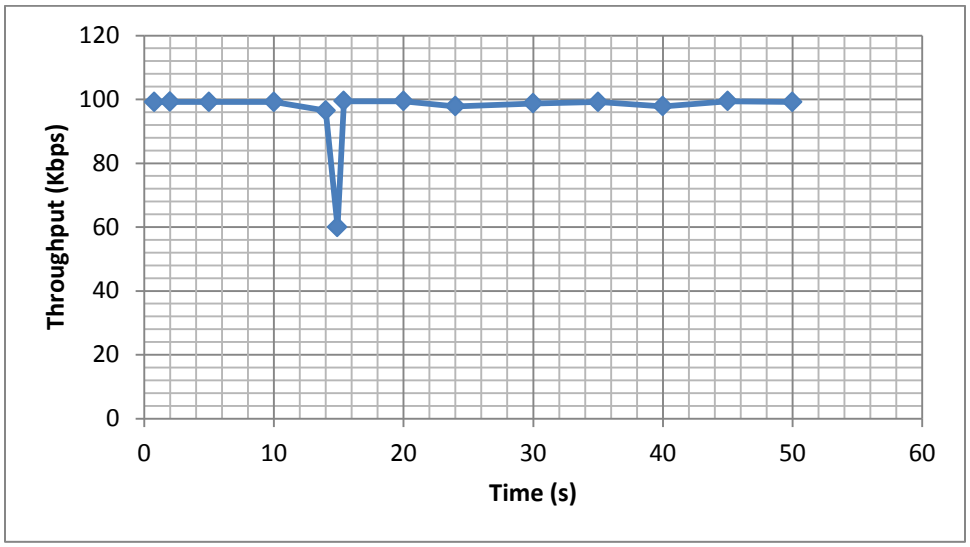


الشكل (6-10) تغيّر فقد الرزم أثناء عملية الانتقال بدلالة الزمن بالنسبة للتطبيق VOIP

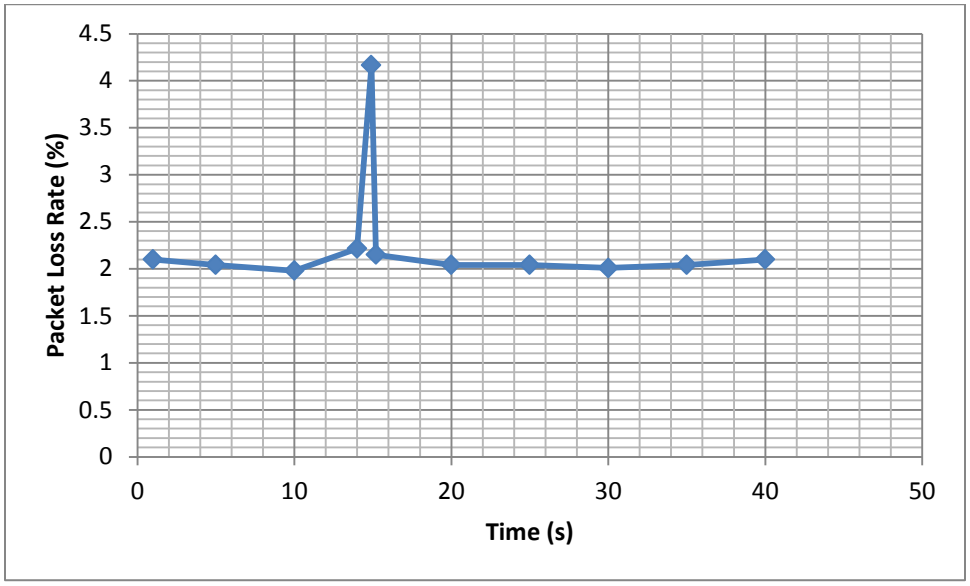


الشكل (6-11) تغيّر التأخير من طرف لأخر أثناء عملية الانتقال بدلالة الزمن بالنسبة للتطبيق VOIP

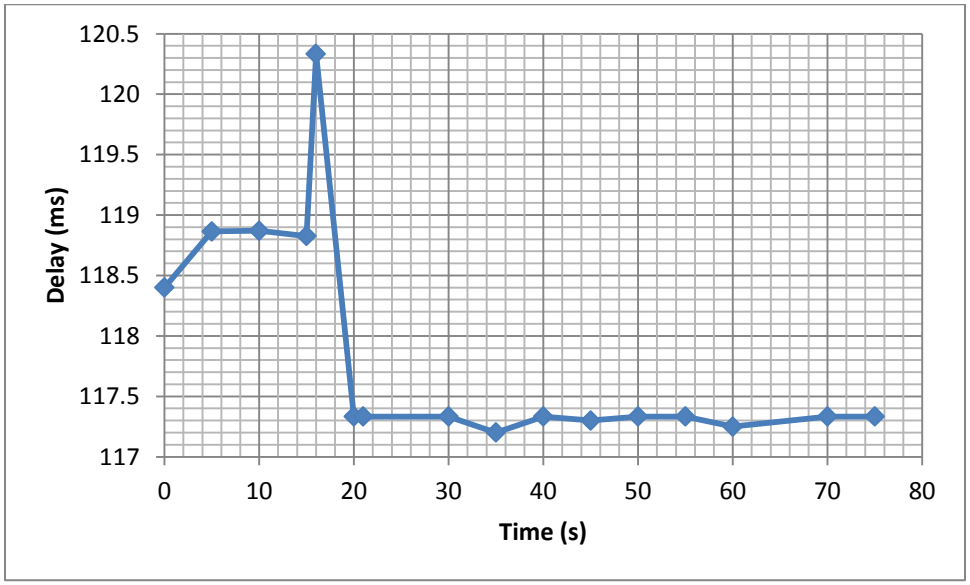
3. الدفقية الفيديوية Video Streaming



الشكل (6-12) تغير معدل التدفق أثناء عملية الانتقال بدلالة الزمن بالنسبة لتطبيق Video Streaming



الشكل (6-13) تغيّر فقد الرزم أثناء عملية الانتقال بالنسبة للتطبيق Video Streaming



الشكل (6-14) تغيّر التأخير من طرف لآخر أثناء عملية الانتقال بدلالة الزمن بالنسبة لتطبيق Video Streaming

معدل التدفق Throughput: وهو مقياس لمعدل نقل المعطيات عبر نظام اتصالات معقد نوعاً ما، ويعرّف أيضاً على أنه الجزء من سعة القناة الكلية المستخدم من أجل إرسال المعطيات. تظهر المنحنيات البيانية معدل تدفق جيد خلال فترة الانتقال الشاقولي VHO مع انخفاض بنسبة خمسين بالمئة خلال عملية الانتقال

HO، وتجاوزت هذه النسبة قليلاً بالنسبة لتطبيق الـ FTP، إلا أنها تبقى مقبولة حسب المراجع ذات الصلة [8].

التأخير من طرف لطرف End to End delay: وهو معدل التأخير الحاصل على الرزم بين المرسل والمستقبل، حيث نلاحظ من المنحنيات أن التأخير ارتفع بنسبة خمسة بالمئة عند عملية الانتقال HO وهي قيمة جيدة جداً. كما نلاحظ أن التأخير عندما كانت العقدة المحمولة MN متصلةً بشبكة الـ WiFi أعلى منه عند الاتصال بشبكة الـ WiMax، وهذا مرده إلى كون شبكة الـ WiFi لا تدعم التحركية Mobility بصورة جيدة مقارنة بشبكة IEEE802.16e. إلا أنه وحسب [12] فإن التأخير تجاوز الحد المسموح به بالنسبة لتطبيق VOIP وهي 100ms، ومرد ذلك إلى أننا اعتمدنا لزمن الذهاب والإياب بين شبكة العقدة المحمولة MN وشبكة العقدة المراسلة CN مساوياً لِـ 200 ms، وهي قيمة كبيرة نوعاً ما، وهي التي أدت إلى خرق القيد الزمني لتطبيق VOIP المسموح به.

فقد الرزم Packet Loss: هو معدل الرزم التي جرى إرسالها ولم تصل إلى المستقبل. يلاحظ من المنحنيات أن معدل الفقد يتضاعف خلال عملية الانتقال إلا أنه لا يتجاوز العشرة بالمئة، ومن ثمَّ فإنه مقبول بالنسبة لتطبيقات المهاتفة عبر بروتوكول الانترنت VOIP والدفقية الفيديوية Video Streaming [12]، أما بالنسبة لتطبيق الـ FTP حيث يجب أن يكون معدل فقد الرزم معدوماً [12]، فإن بروتوكول النقل TCP سيضمن وصول جميع الرزم كونه يدعم نقل البيانات الموثوق Reliable Data Transfer (RDT) [22].

*****

الخاتمة ونتائج البحث

قمنا في هذا البحث بدراسة مجموعة من المعايير المهمة، والتي تُعدّ الحجر الأساس في شبكات الجيل الرابع 4G. كما بيّنا أهمية تأمين انتقال HO سلس Seamless للعقدة المحمولة MN، يضمن لها عدم انقطاع الاتصال، أو انخفاض جودة الخدمة عن الحد المطلوب. كما قمنا بإيجاد صيغة أكثر مرونة وديناميكية لتوقيت توليد الحدث LGD بحيث جرى:

- تخفيض زمن التأخير الناتج عن عملية الانتقال HO إلى أقل من النصف مقارنة مع الحدث LD.
- إيجاد التوقيت المناسب لتوليد الحدث LGD، بحيث يجري الانتقال HO إلى شبكة جديدة بشكل سلس Seamless ومن دون انقطاع، آخذين بالحسبان وجود هامش مناسب.
- دراسة أثر الصيغة المقترحة على عدد من التطبيقات التي يمكن للعقدة المحمولة MN استخدامها، حيث جرت دراسة ومناقشة النتائج الآتية:
  - معدل فقد الرزم Packet Loss.
  - التأخير من طرف لطرف End to End Delay.
  - معدل التدفق (المردود) Throughput.

الآفاق المستقبلية

سمح البحث الذي قمنا به باستنتاج دور عدد من العوامل في إنجاح عملية الانتقال، فالمعلومات Information والأحداث Events التي يقدمها المعيار IEEE802.21 إلى وحدة اتخاذ قرار الانتقال Handover Decision Module والمتمثلة بالـ MIH User لا تكفي، رغم أهميتها في اتخاذ القرار الأنسب.

وقد وجدنا خلال بحثنا أن اتخاذ القرار المناسب يتطلب أن تكون العقدة المحمولة MN على دراية بكثير من العوامل والمعلومات الأخرى، والتي قد لا يقدمها المعيار IEEE802.21 ومنها:

- استهلاك الاستطاعة Power Consumption: وذلك لكون بعض الشبكات اللاسلكية أكثر استهلاكاً للإستطاعة من غيرها.

- التكلفة Cost: حيث أن الشبكات اللاسلكية تتفاوت من حيث أجور استخدامها.
- تفضيلات المستخدم User Preferences: فلا بد من الأخذ بالحسبان رغبة المستخدم في اختيار الشبكة الهدف لعملية الانتقال HO.
- معدل فقد الرزم Packet Loss: تتفاوت التطبيقات في سماحيتها لضياع الرزم.
- تأخير الانترنت Internet Delay: إذ تضع بعض التطبيقات قيوداً زمنيةً صارمةً، يجب أخذها بالحسبان عند اختيار الشبكة الهدف.
- الارتعاش Jitter: بعض التطبيقات تكون حساسة للتأخير المتغير للرزم المستقبلة.
- معدل التدفق Throughput: إذ تتفاوت الشبكات اللاسلكية من حيث معدل نقل المعطيات.
- قوة الإشارة المستقبلة RSS: لقوة الإشارة المستقبلة دور مهم في عملية الانتقال HO، فالعقدة المحمولة تبحث دوماً عن الشبكات ذات التغطية اللاسلكية الأفضل.
- سرعة العقدة المحمولة Velocity: تؤدي سرعة العقدة المحمولة دوراً مهماً في توقيت عملية الانتقال HO، وفي تحديد الشبكة الهدف، فبعض الشبكات اللاسلكية لا تدعم التحركية Mobility بسرعات كبيرة.

قمنا بتصنيف هذه العوامل إلى ثلاث فئات هي:

- متطلبات المستخدم User Requirements.
- متطلبات التطبيقات Applications Requirements.
- موسطات الشبكة Network Parameters.

يقوم بعدها الـ MIH User المسؤول عن عملية الانتقال HO بإتخاذ القرار المناسب للشروع بعملية الانتقال HO. يمكن الإفادة من نتائج هذ البحث في تطوير خوارزمية أفضل، تسمح لِـ MIH user باتخاذ القرار الأمثل في اختيار الشبكة الهدف لعملية الانتقال HO، وتوقيت الشروع بعملية الانتقال وفقاً للعوامل المقترحة.

*****

References المراجع

[1] M. Kim, T. Moon, S. Cho, (2009). "A Study on IEEE 802.21 MIH Frameworks in Heterogeneous Wireless Networks". The 11th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT), 2009, Korea.

[2] V. Mhatre, K. Papagiannaki, (2006), "Using Smart Triggers for Improved User Performance in 802.11 Wireless 24 Networks", ACM Mobisys'06, pp.246-259.

[3] S. Woon, N. Golmie, Y.A. Sekercioglu, (2006), "Effective Link Triggers to Improve Handover Performance", IEEE PIMRC06, pp1-5.

[4] S. Yoo, D. Cypher, N. Golmie (2008). Predictive Handover Mechanism based on Required Time Estimation in Heterogeneous Wireless Networks. Military Communications Conference, 2008. MILCOM 2008. IEEE, pp 1-7.

[5] S. Yoo, D. Cypher, N. Golmie (2010). "Timely Effective Handover Mechanism in Heterogeneous Wireless Networks". Wireless Personal Communications Journal, Vol. 52 Issue 3, February 2010, Pages 449 – 475.

[6] K.R Kumar, P. Angolkar, D. Das, R. Ramalingam (2008). "SWiFT: A Novel Architecture for Seamless Wireless Internet for Fast Trains", IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) Spring 2008, pp. 3011-3015.

[7] C. Douglas, (2008) "Computer Networks and Internets", 5th ed., Pearson.

[8] R. Chandavarkar, R. Reddy (2011). "Improvement in Packet Drop during Handover between WiFi and WiMax" International Conference on Network and Electronics Engineering IPCSIT,Vol. 11, 2011, IACSIT Press, Singapore.

[9] US government agencies must be IPv6 ready by July, Retrieved from: http://www.searchsmbasia.com/en/content/us-goverment-agencies-must-beipv6-ready-july [last visited 2010 /06/26].

[10] D. B. Johnson, C. E. Perkins, and J. Arkko, (2004), RFC 3775 - Mobility Support in IPv6, June 2004. Retrieved from: http://www.ietf.org/rfc/rfc3775.txt [last visited 2013/2/26]

[11] T. Narten, E. Nordmark, and W. Simpson, (1998), Neighbour Discovery for IP version 6, IETF RFC 2461, Dec. 1998. Retrieved from: http://www.ietf.org/rfc/rfc2461.txt [last visited 2013/2/28]

[12] Jeffery G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, (2007). "Fundamentals of WiMAX", Prentice Hall.

[13] W. Stallings, (2011). "Data and Computer Communications", 9th ed., Pearson.

[14] A. Oliva, A. Banchs, I. SOTO, (2008) "An Overview of IEEE 802.21: Media Independent Handover Services", IEEE Wireless Communications, August 2008, pp. 96-103.

[15] Media Independent Handover Services, IEEE Std 802.21™-2008. Retrieved from: http://standards.ieee.org/about/get/802/802.21.html [last visited 2013/2/28]

[16] T. Issariyakul, E. Hossain, (2009) "Introduction to Network Simulator NS2", Springer.

[17] Simulation Models for NS-2, Retrieved from: http://www.nist.gov/itl/antd/emntg/ssm_tools.cfm last visited 2013/2/28]

[18] The Network Simulator NS-2, NIST add-on IEEE 802.16 model (MAC+PHY),2009, Draft 1.2.1, Retrieved from:

http://www-x.antd.nist.gov/seamlessandsecure/req_80216.html [last visited 2013/2/28]
[19] The Network Simulator NS-2 NIST add-on, IEEE 802.21 model (based on IEEE P802.21/D03.00), 2007, Retrieved from: http://www-x.antd.nist.gov/seamlessandsecure/req_mobility.html [last visited 2013/2/28]
[20] The Network Simulator Ns-2 NIST add-on, Mac 802.11, 2013, Draft 1.0. Retrieved from: http://www.nist.gov/itl/antd/emntg/upload/MAC802_11.doc [last visited 2013/2/28].
[21] S. Trong, S. Tursunova, Y. Kim, (2008),"Enhanced Vertical Handover in Mobile IPv6 with Media Independent Handover Services and Advance Duplicate Address Detection", KNOM Conference (2008).
[22] J. F. Kurose, K.W. Ross, (2009) "Computer Networking: A Top-Down Approach", 5th ed., Pearson.
[23] The Network Simulator NS-2, Retrieved from: http://www.isi.edu/nsnam/ns/ [last visited 2013/2/28].
[24] S. Khan, J. H. Lee, G. R. Khan (2012), "Evaluation of Parameters for Improving Handoff Performance in Mobile WiMax NETWORKS" International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS) Vol.3, No.5, September 2012.
[25] M. Liebsch, A. Singh, H. Chaskar, D. Funato and E. Shim, (2005), (Experimental) Candidate Access Router Discovery (CARD), IETF RFC4066, 2005. Retrieved from: http://www.ietf.org/rfc/rfc4066.txt. [last visited 2013/2/28].
[26] S. Thomson and T. Narten, (1998), IPv6 Stateless Address Autoconfiguration, RFC 2462, 1998. Retrieved from: http://tools.ietf.org/html/rfc2462. [last visited 2013/2/28].
[27] L. Jong-Hyouk , C. Tai-Myoung and G.Sri, (2008), Shall We Apply Paging Technologies to Proxy Mobile IPv6?, MobiArch'08, Seattle, Washington, USA, August 22, 2008.
[28] B. Park, S. Lee and H. Latchman, (2006), "A Fast Neighbor Discovery and DAD Scheme for Fast Handover in Mobile IPv6 Networks", Proceedings of International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies, Washington, pp. 201–201.
[29] S. Hesham, Mobile IPv6: Mobility in a Wireless Internet, Book, Addison-Wesley Professional, April 15, 2004.
[30] B. Volz, IETF RFC4649 Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6), August 2006.
[31] J. Schiller, (2008) "Mobile Communications", 2nd ed. USA, Pearson.
[32] E. Piri, K. Pentikousis, "IEEE 802.21: Media-Independent Handover Services", The Internet Protocol Journal, VTT Technical Research Centre of Finland, pp 7-27.
[33] V. Paxson, M. Allman, J. Chu, M. Sargent , (2011), RFC 6298 - Computing TCP's Retransmission Timer, Retrieved from: http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6298.txt [last visited 2013/2/28]
[34] J. Lessmann, P. Janacik, L. Lachev, and D. Or-fanus. "Comparative Study of Wireless Network Simulators". The Seventh International Conference on Networking, pages 517-523, 2008. IEEE.
[35] L. Begg,W. Liu, K. Pawlikowski, S. Perera, and H. Sirisena. "Survey of Simulators of Next Generation Networks for Studying Service Availability and Resilience". Technical Report TRCOSC 05/06, Department of Computer Science & Software Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, February, 2006.

الملحقات

Appendices

الملحق الأول: مسرد المصطلحات عربي – إنكليزي

اختيار موجه النفاذ AR المرشح	CARS
اختيار موجه النفاذ الهدف	TARS
استمرارية الخدمة	Service Continuity
اكتشاف الجار	ND
اكتشاف الموجه	RD
اكتشاف عدم امكانية الوصول إلى الجار	NUD
الاتحاد الدولي للاتصالات	ITU
الاستيقان	Authentication
الانتقال الأفقي	HHO
الانتقال الشاقولي	VHO
الانتقال القاسي	Hard Handover
الانتقال اللين	Soft Handover
الانتقال المستقل عن الوسط	MIH
الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة	L3HO
الانتقال على مستوى الطبقة الثانية	L2HO
الإرسال التماثلي	Analogue Transmission
الإعلان عن الموجه	RA
البث	Broadcast
البث المتعدد	Multicast
البث المختلف	Anycast
التحركية	Mobility
التحقق (الاستيقان) والتخويل	A&A
التخويل	Authorization
التداخل	Interference
التغليف (الكبسلة) ثنائي الاتجاه	Bi-directional tunneling
الجيل الأول	1G

الجيل الثالث	3G
الجيل الثاني	2G
الجيل الرابع	4G
الجيل اللاحق	Next Generation
الخط الرقمي للمشترك	DSL
الشبكات المحلية اللاسلكية	WLAN
الشبكات النقالة	Mobile Networks
الشبكات غير المتجانسة	Heterogeneous Networks
الشبكة الخارجية	FN
الطبقة الفيزيائية	Physical Layer
العقدة المحمولة	MN
العقدة المراسلة	CN
الفاعلية الطيفية	Spectrum Efficiency
القطع قبل الإنشاء	Break-before-Make
المجال الترددي المخصص للتطبيقات الصناعية والعلمية والطبية غير المرخصة	ISM
المعهد الوطني للمعايير والتقانة	NIST
المعيار بروتوكول الانترنت النقال الإصدار السادس	MIPv6
المهاتفة بواسطة بروتوكول الانترنت	VoIP
الموجّه (المسيّر) المحلي	Local Router
الموسطات (البارامترات)	Parameters
الند للند	P2P
النظام العالمي للاتصالات المحمولة	GSM
الوكيل الخارجي	FA
انتقال (مناولة)	HO
انهيار الوصلة	LD
إطار الإرشاد	Beacon Frame

أحداث منفصلة	Discrete Events
أمثَلَة (استمثال) المسار	Route Optimization
برتوكول الانترنت الإصدار الرابع	IPv4
بروتوكول الانترنت	IP
بروتوكول الانترنت الإصدار السادس	IPv6
بروتوكول التشكيل الديناميكي للمضيف الإصدار الرابع	DHCPv4
بروتوكول التشكيل الديناميكي للمضيف الإصدار السادس	DHCPv6
بروتوكول مَيْز العناوين للمُفوَّض	Proxy ARP
تابع الانتقال المستقل عن الوسط	MIHF
تأخير أول استجواب	DELAY_FIRST_PROBE
تبديل الدارات	CS
تبديل الرزم	PS
تثقيل	Weighting
تحديث الإيثاق	BU
ترجمة عنوان الشبكة	NAT
ترويسة	Header
تشكيل العنوان	AC
تشكيلة عنوان برقابة الحالة	Stateful Address Configuration
تشكيلة عنوان من دون رقابة الحالة	Stateless Address Configuration
تقانات الشبكات اللاسلكية	Wireless Technologies
جلسات	Sessions
جلسات بروتوكول الانترنت	IP Sessions
جودة الخدمة	QoS
خدمة الأحداث	Events Service
خدمة الأحداث المستقلة عن الوسط	MIES
خدمة الأوامر المستقلة عن الوسط	MICS
خدمة المعلومات	Information Service

خدمة المعلومات المستقلة عن الوسط	MIIS
دعوة الجار	NS
دعوة الموجه	RS
دعوة بث وحيد أعظمي	MAX_UNICAST_SOLICIT
رتل	Queue
رسالة إشعار الإيثاق	BACK
زمن الذهاب والإياب	RTT
زمن الوصول	REACHABLE_TIME
سلامة المعطيات	Data Integrity
سلس	Seamless
شبكات الجيل القادم اللاسلكي	NGWN
شبكات المدن اللاسلكية	WMAN
شبكات الهاتف التبديلية العامة	PSTN
شبكة الموطن	HN
شبكة فرعية	Subnetwork
شبكة منظومة الاتصالات النقالة العالمية	UMTS
طبقة التطبيقات	Application Layer
طبقة الوصلة	Link Layer
عتبة تحسس الحامل	CSThresh_
عتبة حساسية المستقبل	RxThresh_
عرض المجال	BW
عنوان الرعاية	CoA
عنوان الموطن	HoA
فريق العمل الهندسي للإنترنت	IETF
كدسة البروتوكولات	TCP/IP Stack
كشف الحركة	Movement Detection
كشف العنوان المتكرر	DAD

لغة إخطاطية	Scripting Language
لغة أوامر الأدوات الغرضية التوجه	OTCL
مُوَجه النفاذ	AR
محاكي الشبكات 2	NS-2
مداخل خابية الإيثاق	BCE
مسودة للتعليق	RFC
مشروع شراكة الجيل الثالث	3GPP
معامل توجه الوصلة نحو الانهيار	LGD_Factor_
معدل خطأ البت	BER
مفتوح المصدر	Open Source
ملف التعقب	Trace File
موجه النفاذ الخارجي	FAR
مؤشرات قوة الإشارة المستقبلة	RSSI
نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج	SNR
نقاط نفاذ	AP
نقطة نفاذ	PoA
نقطة نفاذ جديدة	nPoA
نقل البيانات الموثوق	RDT
واجهة التواصل	MIH user
وتوجه الوصلة نحو الانهيار	LGD
وكيل	Agent
وكيل الموطن	HA

*****

الملحق الثاني: مسرد المصطلحات إنكليزي – عربي

1G	الجيل الأول
2G	الجيل الثاني
3G	الجيل الثالث
3GPP	مشروع شراكة الجيل الثالث
4G	الجيل الرابع
A&A	التحقق (الاستيقان) والتخويل
AC	تشكيل العنوان
Agent	وكيل
Analogue Transmission	الإرسال التماثلي
Anycast	البث المختلف
AP	نقاط نفاذ
Application Layer	طبقة التطبيقات
AR	مُوَجه النفاذ
Authentication	الاستيقان
Authorization	التخويل
BACK	رسالة إشعار الإيثاق
BCE	مداخل خابية الإيثاق
Beacon Frame	إطار الإرشاد
BER	معدل خطأ البت
Bi-directional tunneling	التغليف (الكبسلة) ثنائي الاتجاه
Break-before-Make	القطع قبل الإنشاء
Broadcast	البث
BU	تحديث الإيثاق
BW	عرض المجال
CARS	اختيار موجه النفاذ AR المرشح

العقدة المراسلة	CN
العقدة المراسلة	CN
عنوان الرعاية	CoA
تبديل الدارات	CS
عتبة تحسس الحامل	CSThresh_
كشف العنوان المتكرر	DAD
سلامة المعطيات	Data Integrity
تأخير أول استجواب	DELAY_FIRST_PROBE
بروتوكول التشكيل الديناميكي للمضيف الإصدار الرابع	DHCPv4
بروتوكول التشكيل الديناميكي للمضيف الإصدار السادس	DHCPv6
أحداث منفصلة	Discrete Events
الخط الرقمي للمشترك	DSL
خدمة الأحداث	Events Service
الوكيل الخارجي	FA
موجه النفاذ الخارجي	FAR
الشبكة الخارجية	FN
النظام العالمي للاتصالات المحمولة	GSM
وكيل الموطن	HA
الانتقال القاسي	Hard Handover
ترويسة	Header
الشبكات غير المتجانسة	Heterogeneous Networks
الانتقال الأفقي	HHO
شبكة الموطن	HN
انتقال (مناولة)	HO
عنوان الموطن	HoA
فريق العمل الهندسي للإنترنت	IETF
خدمة المعلومات	Information Service

Interference	التداخل
IP	بروتوكول الانترنت
IP Sessions	جلسات بروتوكول الانترنت
IPv4	برتوكول الانترنت الإصدار الرابع
IPv6	بروتوكول الانترنت الإصدار السادس
ISM	المجال الترددي المخصص للتطبيقات الصناعية والعلمية والطبية غير المرخصة
ITU	الاتحاد الدولي للاتصالات
L2HO	الانتقال على مستوى الطبقة الثانية
L3HO	الانتقال على مستوى الطبقة الثالثة
LD	انهيار الوصلة
LGD	وتوجه الوصلة نحو الانهيار
LGD_Factor_	معامل توجه الوصلة نحو الانهيار
Link Layer	طبقة الوصلة
Local Router	الموجّه (المسيّر) المحلي
MAX_UNICAST_SOLICIT	دعوة بث وحيد أعظمي
MICS	خدمة الأوامر المستقلة عن الوسط
MIES	خدمة الأحداث المستقلة عن الوسط
MIIS	خدمة المعلومات المستقلة عن الوسط
MIH	الانتقال المستقل عن الوسط
MIH user	واجهة التواصل
MIHF	تابع الانتقال المستقل عن الوسط
MIPv6	المعيار بروتوكول الانترنت النقال الإصدار السادس
MN	العقدة المحمولة
Mobile Networks	الشبكات النقالة
Mobility	التحركية
Movement Detection	كشف الحركة

البث المتعدد	Multicast
ترجمة عنوان الشبكة	NAT
اكتشاف الجار	ND
الجيل اللاحق	Next Generation
شبكات الجيل القادم اللاسلكي	NGWN
المعهد الوطني للمعايير والتقانة	NIST
نقطة نفاذ جديدة	nPoA
دعوة الجار	NS
محاكي الشبكات 2	NS-2
اكتشاف عدم امكانية الوصول إلى الجار	NUD
مفتوح المصدر	Open Source
لغة أوامر الأدوات الغرضية التوجه	OTCL
الند للند	P2P
الموسطات (البارامترات)	Parameters
الطبقة الفيزيائية	Physical Layer
نقطة نفاذ	PoA
بروتوكول مَيْز العناوين للمُفوَّض	Proxy ARP
تبديل الرزم	PS
شبكات الهاتف التبديلية العامة	PSTN
جودة الخدمة	QoS
رتل	Queue
الإعلان عن الموجه	RA
اكتشاف الموجه	RD
نقل البيانات الموثوق	RDT
زمن الوصول	REACHABLE_TIME
مسودة للتعليق	RFC
أمثَلَة (استمثال) المسار	Route Optimization

RS	دعوة الموجه
RSSI	مؤشرات قوة الإشارة المستقبلة
RTT	زمن الذهاب والإياب
RxThresh_	عتبة حساسية المستقبل
Scripting Language	لغة إخطاطية
Seamless	سلس
Service Continuity	استمرارية الخدمة
Sessions	جلسات
SNR	نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج
Soft Handover	الانتقال اللين
Spectrum Efficiency	الفاعلية الطيفية
Stateful Address Configuration	تشكيلة عنوان برقابة الحالة
Stateless Address Configuration	تشكيلة عنوان من دون رقابة الحالة
Subnetwork	شبكة فرعية
TARS	اختيار موجه النفاذ الهدف
TCP/IP Stack	كدسة البروتوكولات
Trace File	ملف التعقب
UMTS	شبكة منظومة الاتصالات النقالة العالمية
VHO	الانتقال الشاقولي
VoIP	المهاتفة بواسطة بروتوكول الانترنت
Weighting	تثقيل
Wireless Technologies	تقانات الشبكات اللاسلكية
WLAN	الشبكات المحلية اللاسلكية
WMAN	شبكات المدن اللاسلكية

*****

الملحق الثالث: نموذج من أحد سيناريوهات الانتقال

نعرض فيما يلي لأحد سيناريوهات الانتقال التي جرى محاكاتها باستخدام المحاكي NS-2 والذي تمت كتابته باستخدام اللغة OTCL:

```
# @author Muhammad Shadi Hajar
# @date 03/08/2010
# Scenario: I create a multi-interface node using different technologies
# There is a UDP/TCP connection between the router0 and MultiFaceNode.
# Firstly I use the 802.11 interface, then I switch the traffic
# to the 802.16 interface when WiFi becomes not available.
#
#
# Topology scenario:
#
#                                bstation802.11(2.0.0)->)
#                                /
#                               /
# router0(0.0.0)---router1(1.0.0)--                      +---------------------------------+
#                               \                        +iface1:802.11(2.0.1)|            |
#                                \                       +--------------------+MutiFaceNode|
#                                bstation802.16(3.0.0)->)+iface2:802.16(3.0.1)|  (4.0.0)   |
#                                                        +---------------------------------+
#
#
#
#

# Read arguments
$defaultRNG seed 0
Mac/802_16 set scan_iteration_       2
set use_going_down                   1

if {$use_going_down == 1} {
    Mac/802_16 set lgd_factor_        1.25
```

```
} else {
    Mac/802_16 set lgd_factor_        1.0
}
Mac/802_16 set scan_duration_         50
Mac/802_16 set interleaving_interval_ 40
Mac/802_16 set dcd_interval_         5 ;
Mac/802_16 set ucd_interval_         5 ;
set default_modulation               OFDM_16QAM_3_4 ;
set contention_size                  5 ;
Mac/802_16 set t21_timeout_          0.02 ;
Mac/802_16 set client_timeout_       50

# Defining MAC 802_11 parameters
Mac/802_11 set bss_timeout_ 5
Mac/802_11 set pr_limit_ 1.25 ;
Mac/802_11 set client_lifetime_ 40.0 ;
Mac/802_11 set basicRate_ 11Mb
Mac/802_11 set dataRate_ 11Mb
Mac/802_11 set bandwidth_ 11Mb

# Define frequency of RA at Basestation
Agent/ND set minRtrAdvInterval_ 1
Agent/ND set maxRtrAdvInterval_ 10
Agent/ND set router_lifetime_   1800
Agent/ND set minDelayBetweenRA_ 0.03
Agent/ND set maxRADelay_        0

# Defining debug values
Agent/ND set debug_ 1
Agent/ND set send-RS 1
Agent/MIH set debug_ 1
Mac/802_16 set debug_ 1
Mac/802_11 set debug_ 1
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6 set debug_ 1
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/LGD_Handover set debug_ 1
```

```
# Handover
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/LGD_Handover set case_ 3

# Set global variables
set output_dir .
set traffic_start 0
set traffic_stop  300
set simulation_stop 300
set departure  10

# Parameters 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(x)       3000                              ;
set opt(y)       3000                              ;

# Defining function for flushing and closing files
proc finish {} {
        global ns tf
            $ns flush-trace
        close $tf
      exit 0
}

# Creation the simulator
set ns [new Simulator]
$ns use-newtrace
```

```
# Opening file for trace
set tf [open out.tr w]
$ns trace-all $tf

# Setup for hierarchical routing
$ns node-config -addressType hierarchical
AddrParams set domain_num_  5                    ;
AddrParams set cluster_num_ {1 1 1 1 1}          ;
AddrParams set nodes_num_   {1 1 2 3 1}          ;

# Node address for router0 and router1 are 4 and 5, respectively
set router0 [$ns node 0.0.0]
set ifmgmt_cn [$router0 install-default-ifmanager]
puts "router0: tcl=$router0; id=[$router0 id]; addr=[$router0 node-addr]"
set router1 [$ns node 1.0.0]
puts "router1: tcl=$router1; id=[$router1 id]; addr=[$router1 node-addr]"

# Connecting links
$ns duplex-link $router1 $router0 155MBit 100ms DropTail 1000

# Creation of the MutiFaceNodes
$ns node-config  -multiIf ON                         ;
set multiFaceNode [$ns node 4.0.0]                   ;
$ns node-config  -multiIf OFF                        ;
puts "multiFaceNode: tcl=$multiFaceNode; id=[$multiFaceNode id];
addr=[$multiFaceNode node-addr]"

# Create the topography
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $opt(x) $opt(y)
set chan [new $opt(chan)]
create-god 7                                         ;

# Defining coverage area for base station
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.027
Phy/WirelessPhy set freq_ 2412e+6
```

```
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 2.64504e-10
Phy/WirelessPhy set CSThresh_ [expr 0.9* [Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]


# Configuring Access Points
$ns node-config  -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
                 -llType $opt(ll) \
                 -macType $opt(mac) \
                 -channel $chan \
                 -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

# Configuring AP 802.11
Mac/802_11 set debug_ 1
set bstation802 [$ns node 2.0.0] ;
$bstation802 set X_ 1500.0
$bstation802 set Y_ 550.0
$bstation802 set Z_ 0.0
puts "bstation802: tcl=$bstation802; id=[$bstation802 id];
addr=[$bstation802 node-addr]"
set bstationMac [$bstation802 getMac 0]
set AP_ADDR_0 [$bstationMac id]
puts "bss_id for bstation 1=$AP_ADDR_0"
$bstationMac bss_id $AP_ADDR_0
$bstationMac enable-beacon
set nd_bs [$bstation802 install-nd]
$nd_bs set-router TRUE
```

```
$nd_bs router-lifetime 1800
set mih_bs [$bstation802 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs

# Creation of the wireless interface 802.11
$ns node-config -wiredRouting OFF \
                -macTrace ON
Mac/802_11 set debug_ 1
set iface1 [$ns node 2.0.1]                                          ;
$iface1 random-motion 0                                               ;
$iface1 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802 node-addr]] ;
$iface1 set X_ 1500.0
$iface1 set Y_ 600.0
$iface1 set Z_ 0.0
puts "iface1: tcl=$iface1; id=[$iface1 id]; addr=[$iface1 node-addr]"

# Adding link to backbone
$ns duplex-link $bstation802 $router1 100MBit 15ms DropTail 1000

# Adding Wimax nodes
set opt(netif)          Phy/WirelessPhy/OFDM       ;
set opt(mac)            Mac/802_16                 ;
Phy/WirelessPhy set Pt_ 15
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 7.59375e-11 ;
Phy/WirelessPhy set CSThresh_ [expr 0.8*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]

# Configuring Access Points
$ns node-config  -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
                 -llType $opt(ll) \
                 -macType $opt(mac) \
                 -channel $chan \
                 -ifqType $opt(ifq) \
                 -ifqLen $opt(ifqlen) \
                 -antType $opt(ant) \
```

```
                -propType $opt(prop)    \
                -phyType $opt(netif) \
                -topoInstance $topo \
                -wiredRouting ON \
                -agentTrace ON \
                -routerTrace ON \
                -macTrace ON  \
                -movementTrace OFF

# Configuring Basestation 802.16
Mac/802_16 set debug_ 1
set bstation802_16 [$ns node 3.0.0] ;
$bstation802_16 set X_ 1000
$bstation802_16 set Y_ 1000
$bstation802_16 set Z_ 0.0
puts "bstation802_16: tcl=$bstation802_16; id=[$bstation802_16 id];
addr=[$bstation802_16 node-addr]"
set clas [new SDUClassifier/Dest]
[$bstation802_16 set mac_(0)] add-classifier $clas
set bs_sched [new WimaxScheduler/BS]
$bs_sched set-default-modulation $default_modulation
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-scheduler $bs_sched
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-channel 1
set nd_bs2 [$bstation802_16 install-nd]
$nd_bs2 set-router TRUE
$nd_bs2 router-lifetime 20 ;
set mih_bs [$bstation802_16 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802_16 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs

# Creation of the wireless interface 802.11
$ns node-config -wiredRouting OFF \
                -macTrace ON
Mac/802_16 set debug_ 1
set iface2 [$ns node 3.0.1]                              ;
```

```
$iface2 random-motion 0                                                    ;
$iface2 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802_16 node-addr]] ;
$iface2 set X_ 1500.0
$iface2 set Y_ 600.0
$iface2 set Z_ 0.0
set clas [new SDUClassifier/Dest]
[$iface2 set mac_(0)] add-classifier $clas
set ss_sched [new WimaxScheduler/SS]
[$iface2 set mac_(0)] set-scheduler $ss_sched
[$iface2 set mac_(0)] set-channel 1
puts "iface2: tcl=$iface2; id=[$iface2 id]; addr=[$iface2 node-addr]"
# Adding link to backbone
$ns duplex-link $bstation802_16 $router1 100MBit 15ms DropTail 1000

# Adding interfaces to MultiFaceNode
$multiFaceNode add-interface-node $iface1
$multiFaceNode add-interface-node $iface2
set nd_mn [$iface1 install-nd]
set nd_mn2 [$iface2 install-nd]

# Installing interface manager into multi-interface node and CN
set handover [new Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/LGD_Handover]
$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)] ;

# Installing MIH in multi-interface node
set mih [$multiFaceNode install-mih]
$handover connect-mih $mih        ;
set tmp2 [$iface1 set mac_(0)]    ;
$tmp2 mih $mih
$mih add-mac $tmp2                ;
set tmp2 [$iface2 set mac_(0)]    ;
$tmp2 mih $mih
```

```
$mih add-mac $tmp2                ;
$ns at 2 "$nd_bs start-ra"
$ns at 2 "$nd_bs2 start-ra"
# Configuring traffic
set tcp0 [new Agent/TCP]
$tcp0 set class_ 2
$tcp0 set packetSize_ 1240
$tcp0 set fid_ 0
set ftp0 [new Application/Traffic/CBR]
$ftp0 set packetSize_ 1500
$ftp0 set interval_ 0.1
$ftp0 attach-agent $tcp0
set sink2 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $router0 $tcp0
$multiFaceNode attach-agent $sink2 $iface1
$handover add-flow $sink2 $tcp0 $iface1 1
$ns at $traffic_start "$ftp0 start"
$ns at $traffic_stop "$ftp0 stop"
$ns at $departure "$iface2 setdest 1500.0 700.0 10.0"
$ns at $departure "$iface1 setdest 1500.0 700.0 10.0"
$ns at $simulation_stop "finish"

puts " Simulation is running ... please wait ..."
$ns run
```

*****

الملحق الرابع: المعيار IEEE802.21

نعرض فيما يلي لمقدمة عن المعيار IEEE802.21 والموجودة على العنوان التالي:

http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.21-2008.pdf

IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—

Part 21: Media Independent Handover Services

IMPORTANT NOTICE: This standard is not intended to assure safety, security, health, or environmental protection in all circumstances. Implementers of the standard are responsible for determining appropriate safety, security, environmental, and health practices or regulatory requirements. This IEEE document is made available for use subject to important notices and legal disclaimers. These notices and disclaimers appear in all publications containing this document and may be found under the heading " Important Notice" or " Important Notices and Disclaimers Concerning IEEE Documents." They can also be obtained on request from IEEE or viewed at http://standards.ieee.org/IPR/ disclaimers.html.

1. Overview

1.1 Scope

This standard defines extensible IEEE 802 ® media access independent mechanisms that enable the optimization of handover between heterogeneous IEEE 802 networks and facilitates handover between IEEE 802 networks and cellular networks.

1.2 Purpose

The purpose is to improve the user experience of mobile devices by facilitating handover between IEEE 802 networks whether or not they are of different media types, including both wired and wireless, where handover is not otherwise defined; and to make it possible for mobile devices to perform seamless handover where the network environment supports it. These mechanisms are also usable for handovers between IEEE802 networks and non IEEE 802 networks.

1.3 General

This standard provides link-layer intelligence and other related network information to upper layers to optimize handovers between heterogeneous networks. This includes media types specified by Third Generation (3G) Partnership Project (3GPP), 3G Partnership Project 2 (3GPP2), and both wired and wireless media in the IEEE 802 family of standards. In this standard, unless otherwise noted, *media* refers to the method/mode of accessing a telecommunication system (e.g., cable, radio, satellite), as opposed to sensory aspects of communication (e.g., audio, video).

Copyright © 2009 IEEE. All rights reserved.

The following items are not within the scope of this standard: —

- Intra-technology handover [except for handovers across extended service sets (ESSs) in case of IEEE 802.11] —
- Handover policy —
- Security mechanisms —
- Enhancements specific to particular link-layer technologies that are required to support this standard (they will be carried out by those respective link-layer technology standards) —
- Higher layer (layer 3 and above) enhancements that are required to support this standard

The purpose of this standard is to enhance the experience of mobile users by facilitating handovers between heterogeneous networks. The standard addresses the support of handovers for both mobile and stationary users. For mobile users, handovers can occur when wireless link conditions change due to the users' movement. For the stationary user, handovers become imminent when the surrounding network environment changes, making one network more attractive than another.

This standard supports another important aspect of optimized handover—link adaptation. A user can choose an application that requires a higher data rate than available on the current link, necessitating a link adaptation to provide the higher rate, or necessitating a handover if the higher rate is unavailable on the current link.

In all such cases, service continuity should be maintained to the extent possible during handover. As an example, when making a network transition during a phone call the handover procedures should be executed in such a way that any perceptible interruption to the conversation will be minimized.

This standard supports cooperative use of information available at the mobile node and within the network infrastructure. The mobile node is well-placed to detect available networks. The network infrastructure is well-suited to store overall network information, such as neighborhood cell lists, location of mobile nodes, and higher layer service availability. Both the mobile node and the network make decisions about connectivity. In general, both the mobile node and the network points of attachment (such as base stations and access points) can be multi-modal (i.e., capable of supporting multiple radio standards and simultaneously supporting connections on more than one radio interface).

The overall network can include a mixture of cells of drastically different sizes, such as those from IEEE 802.15, IEEE 802.11, IEEE 802.16, 3GPP, and 3GPP2, with overlapping coverage. The handover process can be initiated by measurement reports and triggers supplied by the link layers on the mobile node. The measurement reports can include metrics such as signal quality, synchronization time differences, and transmission error rates. Specifically the standard consists of the following elements:

a) A framework that enables service continuity while a mobile node (MN) transitions between heterogeneous link-layer technologies. The framework relies on the presence of a mobility management protocol stack within the network elements that support the handover. The framework presents media independent handover (MIH) reference models for different link-layer technologies.

b) A set of handover-enabling functions within the protocol stacks of the network elements and a new entity created therein called the MIH Function (MIHF).

c) A media independent handover service access point (called the MIH_SAP) and associated primitives are defined to provide MIH users with access to the services of the MIHF. The MIHF provides the following services:

1) The media independent event service that detects changes in link-layer properties and initiates appropriate events (triggers) from both local and remote interfaces.

2) The media independent command service provides a set of commands for the MIH users to control link properties that are relevant to handover and switch between links if required.

Copyright © 2009 IEEE. All rights reserved.

3) The media independent information service provides the information about different networks and their services thus enabling more effective handover decision to be made across heterogeneous networks.

d) The definition of new link-layer service access points (SAPs) and associated primitives for each link-layer technology. The new primitives help the MIHF collect link information and control link behavior during handovers. If applicable, the new SAPs are recommended as amendments to the standards for the respective link-layer technology.

Figure 1 shows the placement of the MIHF within the protocol stack of a multiple interfaced MN or network entity. The MIHF provides services to the MIH users through a single media independent interface (the MIH service access point) and obtains services from the lower layers through a variety of media dependent interfaces (media-specific SAPs).

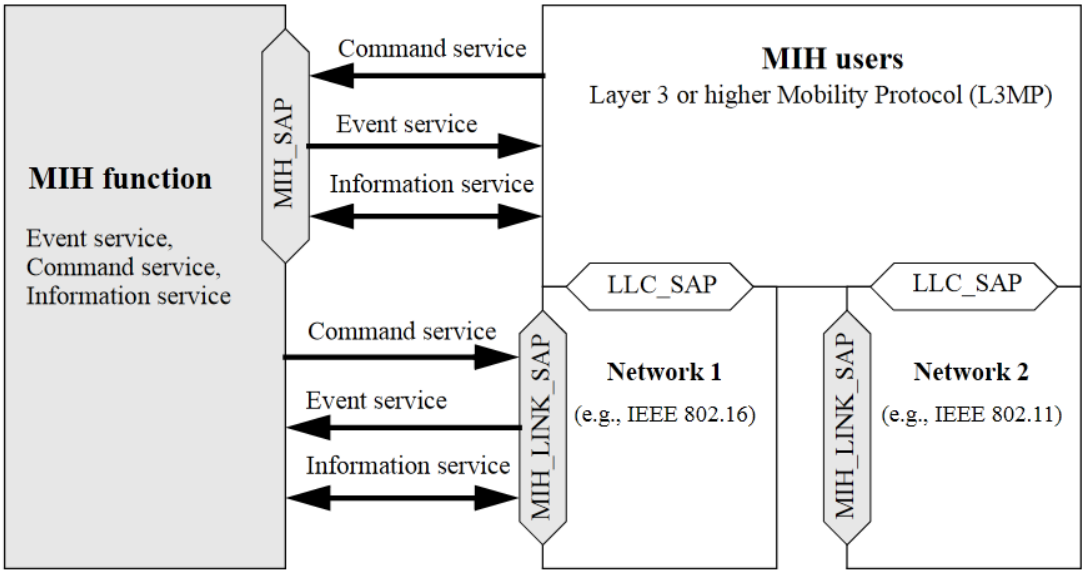


Figure 1—MIH services and their initiation

1.4 Assumptions

The following assumptions have been made in the development of this standard:

a) The MN is capable of supporting multiple link-layer technologies, such as wireless, wired, or mixed.

b) The MIHF is a logical entity, whose definition is independent of its deployment location on the MN or in the network.

c) The MIHF, regardless of whether it is located on the MN or in the network, receives and transmits information about the configuration and condition of access networks around the MN. This information originates at different layers of the protocol stack within the MN or at various network elements.

1) When the information originates at a remote network element, the MIHF on the local network element obtains it through MIH message exchanges with a peer MIHF instance that resides in the remote network element.

2) When the information originates at lower layers of the protocol stack within an MN or network entity, the MIHF on that entity obtains it locally through the service primitives of the SAPs that define the interface of the MIHF with the lower layers.

Copyright © 2009 IEEE. All rights reserved.

1.5 Media independence

The intent of this standard is to provide generic link-layer intelligence independent of the specifics of mobile nodes or radio networks. As such, this standard is intended to provide a generic interface between the link-layer users in the mobility-management protocol stack and existing media-specific link layers, such as those specified by 3GPP, 3GPP2, and the IEEE 802 family of standards.

This standard defines SAPs and primitives that provide generic link-layer intelligence. Individual media-specific technologies thereafter need to enhance their media-specific SAPs and primitives to satisfy the generic abstractions of this standard. Suitable amendments are required to existing link-layer [medium access control (MAC)/ physical layer (PHY)] standards of different media-specific technologies such as IEEE Std 802.3™, IEEE Std 802.11™, IEEE Std 802.16™, 3GPP, and 3GPP2 to satisfy the requirements of generic link-layer intelligence identified by this standard.[1]

1 Information on references can be found in Clause 2.

Copyright © 2009 IEEE. All rights reserved.

2. Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document (i.e., they must be understood and used, so each referenced document is cited in text and its relationship to this document is explained). For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments or corrigenda) applies.

3GPP TS 23.003 (2007-09), Numbering, addressing and identification (Release 7).

3GPP TS 2 5.008, Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); Radio subsystem link control.

3GPP TS 25.215 (2007-11), Physical layer - Measurements (FDD) (Release 7).

3GPP TS 25.401 (2007-09), UTRAN overall description (Release 7).

3GPP TS 25.413 (2007-09), UTRAN Iu interface RANA P signalling (Release 7).

3GPP2 C.S0004-D (2004-02), Signaling Link Access Control (LAC) Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems.

ANSI X3.159-1989: Programming Language C.[2]

IEEE P802.1aj™/D2.2, (2007-10), Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Virtual Bridged Local Area Networks Amendment 08: Two-Port Media Access Control (MAC) Relay. [3,4,5]

IEEE P802.11u™/D3.0, (2008-05) (this version), Draft Amendment to Standard for Information Technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements; Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Amendment 7: Interworking with External Networks.

IEEE P802.16Rev2/D5.0, (2008-06), Information Technology—Telecommunications and information exchange between system-Local and me tropolitan area networks—Specific Requirements—Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems.

IEEE Std 802.11™-2007, Information Technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.

IEEE Std 802.11k™-2008, Information Technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements; Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications; Amendment 1: Radio Resource Measurement of Wireless LANs.

IEEE Std 802.16™-2004 [ISO/IEC 8802-16: 2004], Information Technology—Telecommunications and information exchange between system—Local and metropolitan area networks—Specific Requirements—Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems.

---

2 ANSI publications are available from the Sales Department, American National Standards Institute, 11 West 42nd Street, 13th Floor, New York, NY 10036, USA (http://www.ansi.org/).

3 IEEE publications are available from the Institute of Electrical and Electronics Engineers, 445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854, USA (http://standards.ieee.org/).

4 The IEEE standards or products referred to in this clause are trademarks of the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

5 Numbers preceded by P are IEEE authorized standards projects that were not approved by the IEEE-SA Standards Board at the time this publication went to press. For information about obtaining drafts, contact the IEEE.

Copyright © 2009 IEEE. All rights reserved.

IEEE Std 802.16e™-2005 [ISO/IEC 8802-16: 2005], Information Technology—Telecommunications and information exchange between system—Local and metropolitan area networks—Specific Requirements—Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1.

IEEE Std 802.3™-2005, Information Technology—Telecommunications and information exchange between system—Local and metropolitan area networks—Specific Requirements—Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications.

IETF RFC 1661 (1994-07), The Point-to-Point Protocol (PPP). [6]

IETF RFC 2865 (2000-06), Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS).

IETF RFC 2988 (2000-11), Computing TCP's Retransmission Timer.

IETF RFC 3344 (2002-08), IP Mobility Support for IPv4.

IETF RFC 3588 (2003-09), Diameter Base Protocol.

IETF RFC 3775 (2004-06), Mobility Support in IPv6.

IETF RFC 3825 (2004-07), Dynamic Host Configuration Protocol Option for Coordinate-based Location Configuration Information.

IETF RFC 4119 (2005-12), A Presence-based GEOPRIV Location Object Format.

IETF RFC 4140 (2005-08), Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6).

IETF RFC 4282 (2005-12), The Network Access Identifier.

IETF RFC 4555 (2006-06), IKEv2 Mobility and Multihoming Protocol (MOBIKE).

IETF RFC 4776 (2006-11), Dynamic Host Configuration Protocol (DHCPv4 and DHCPv6) Option for Civic Addresses Configuration Information.

IETF RFC 4857 (2007-06), Mobile IPv4 Regional Registration.

IETF RFC 4881 (2007-06), Low-Latency Handoffs in Mobile IPv4.

IETF RFC 5268 (2008-06), Mobile IPv6 Fast Handovers.

ISO 3166-1 (1997), Codes for the representation of names of countries and their subdivisions—Part 1: Country codes. [7]

ISO 4217, Codes for the Representation of Names of Countries.

ITU-T Recommendation X.290 (1995), OSI conformance testing methodology and framework for protocol Recommendations for ITU-T applications—General concepts. [8]

ITU-T Recommendation X.296 (1995), OSI conformance testing methodology and framework for protocol Recommendations for ITU-T applications—Implementation conformance statements.

---

[6] IETF RFCs are available from the Internet Engineering Task Force website at http://www.ietf.org/rfc.html.

[7] ISO publications are available from the ISO Central Secretariat, Case Postale 56, 1 rue de Varembé, CH-1211, Genève 20, Switzer-land/Suisse (http://www.iso.ch/). ISO publications are also available in the United States from the Sales Department, American National Standards Institute, 11 West 42nd Street, 13th Floor, New York, NY 10036, USA (http://www.ansi.org/).

Copyright © 2009 IEEE. All rights reserved.

ITU-T Recommendation Y.1540, Internet protocol data communication service—IP packet transfer and availability performance parameters.

W3C Recommendation, RDF/XML Syntax Specification. [9]

W3C Recommendation, Resource Description Framework (RDF)—Concepts and Abstract Syntax.

W3C Recommendation, SPARQL Query Language for RDF.

[8] ITU-T publications are available from the International Telecommunications Union, Place des Nations, CH-1211, Geneva 20, Switzer-land/Suisse (http://www.itu.int/).

[9] W3C recommendations are available from http://www.w3.org.

Copyright © 2009 IEEE. All rights reserved.

3. Definitions

For the purpose of this standard, the following terms and definitions apply. *The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms* [B17] [10] should be referenced for terms not defined in this clause.

3.1 candidate point of attachment (candidate PoA): A point of attachment (PoA) under evaluation to which the link may be switched.

3.2 dual-radio operation: In this mode a dual radio device can receive and transmit simultaneously on both the radios. Since both radios can be active simultaneously in these types of devices, the target radio connects with the target network to prepare the target network for handover. The source radio maintains connection with the source network during the handover. *See also:* **single-radio operation**.

3.3 handover: The process by which a mobile node obtains facilities and preserves traffic flows upon occurrence of a link switch event. The mechanisms and protocol layers involved in the handover can vary with the type of the link switch event (i.e., with the type of the serving and target point of attachment and the respective subnet associations). Different types of handover are defined based on the way facilities for supporting traffic flows are preserved. *See also:* **hard handover; soft handover; seamless handover**.

3.4 hard handover: Handover where facilities for supporting traffic flows are subject to complete unavailability between their disruption on the serving link and their restoration on the target link (break-before-make).

3.5 handover policies: A set of rules that contribute to making the handover decision for a mobile node.

3.6 home subscriber network: Network managed by an operator with whom the subscriber has a business relationship (subscription). *See also:* **visited network; serving network.**

3.7 horizontal handovers: A handover where a mobile node moves between point of attachments of the same link type (in terms of coverage, data rate and mobility), such as universal mobile telecommunications systems (UMTS) to UMTS or wireless local area network (WLAN) to WLAN. *Syn:* **intra-technology handovers.**

3.8 inter-technology handovers: *See*: **vertical handovers.**

3.9 intra-technology handovers: *See*: **horizontal handovers.**

3.10 link: A communication channel through which nodes communicate for the exchange of L2 protocol data units. Each link is associated with two endpoints and has a unique identifier.

3.11 link layer: Conceptual layer of control or processing logic that is responsible for maintaining control of the data link. The data link-layer functions provide an interface between the higher-layer logic and the data link.

3.12 link indication: Link state information provided by the link layer to higher layers.

3.13 link switch: The process by which a mobile node changes the link that connects it to the network. Changing a link implies changing the remote link endpoint and therefore the point of attachment of the mobile node.

---

10 The numbers in brackets correspond to those of the bibliography in Annex A.

Copyright © 2009 IEEE. All rights reserved.

3.14 lower layers: The layers located at OSI Level 2 and below across different link-layer technology standards supported by this standard. For example, the IEEE 802.11 Lower Layers are the MAC sublayer and the PHY, while the 3GPP Lower Layers are L1/MAC/radio link control (RLC)/packet data convergence protocol (PDCP) in the case of wideband code division multiple access (W-CDMA) frequency division duplex (FDD)/time division duplex (TDD), L1/LAPDm in the case of GSM CS, and L1/MAC/RLC in the case of general packet radio service (GPRS)/ Enhanced GPRS (EGPRS), respectively. The term " Lower Layers" also includes Logical Link Control Layers such as IEEE 802.2 Logical Link Control (LLC) or 3GPP Radio Link Control (RLC). The MIHF uses the services provided by these layers.

3.15 media independent handover (MIH) discovery protocol: A protocol for discovering media independent handover (MIH) entities.

3.16 media independent handover (MIH) network entity: Network entity with media independent handover function (MIHF) capability.

3.17 media independent handover point of service (MIH PoS): Network-side MIHF instance that exchanges MIH messages with an MN-based MIHF. The same MIH Network Entity includes an MIH PoS for each MIH-enabled mobile node with which it exchanges MIH messages. A single MIH PoS can host more than one MIH service. The same MIH Network Entity can include multiple MIH Points of Service that can provide different combinations of MIH services to the respective mobile nodes based on subscription or roaming conditions. Note that for a network entity comprising multiple interfaces, the notion of MIH PoS is associated with the network entity itself and not with just one of its interfaces.

3.18 media independent handover (MIH) node: An media independent handover function (MIHF) capable entity (mobile node or network).

3.19 media independent handover (MIH) non-PoS: An MIH network entity that can directly exchange MIH messages with other MIH network entities but cannot *directly* exchange MIH messages with any MIH enabled mobile node.

3.20 media independent handover (MIH) transport protocol: A protocol for transporting MIH protocol messages between a pair of MIH entities.

3.21 media independent handover (MIH) users: Entities that use the services provided by the MIHF. MIH users use the MIH_SAP to interact with the MIHF.

3.22 media independent handover function (MIHF): A function that realizes MIH services.

3.23 media independent handover function (MIHF) pairing: The communication relationship that exists between different MIHF instances when they exchange MIH messages or MIH information.

3.24 media independent handover function (MIHF) transaction: A combination of an MIH Request message and MIH Response message, MIH Indication, or MIH Response message and any associated MIH Acknowledgement messages.

3.25 mobile-controlled handover: The mobile node has the primary control over the handover process.

3.26 mobile-initiated handover: The mobile node initiates the handover process by indicating to the network that the handover is necessary or desired.

3.27 mobile node (MN): Communication node that can change its point of attachment from one link to another.

Copyright © 2009 IEEE. All rights reserved.

3.28 mobile node association: The connectivity state where the mobile node is ready to exchange user data [like transmission control protocol (TCP) / user datagram protocol (UDP) packets] with the network point of attachment.

3.29 network detection: The process by which a mobile node collects information on networks in its locality, identifies the different points of attachment, and ascertains the validity of link-layer configuration.

3.30 network entity: A communication node inside the network.

3.31 network-controlled handover: A handover where the network has the primary control over the handover process.

3.32 network-initiated handover: The network initiates the handover process by indicating to the mobile node that the handover is necessary or desired.

3.33 network neighborhood: The area of interest in which the network discovery and selection entity seeks to determine the available coverage of a wired/wireless network with identical or different link-layer technologies.

3.34 network point of attachment (network PoA, or PoA): The network side endpoint of a layer 2 link that includes a mobile node as the other endpoint. *See also:* **candidate PoA; serving PoA; target PoA.**

3.35 network selection: The process by which a mobile node or a network entity makes a decision to connect to a specific network (possibly out of many available) based on a policy configured in the mobile node and/or obtained from the network.

3.36 network selector: The entity that undertakes the network selection decisions that can lead to a handover.

3.37 operator identifier (operator ID): An identifier of the access or core network provider.

3.38 PICS Proforma: A normative document to express in compact form the static conformance requirements of a specification. As such, it serves as a reference to the static conformance review.

3.39 seamless handover: A handover associated with a link switch between points of attachment, where the mobile node either experiences no degradation in service quality, security, and capabilities, or experiences some degradation in service parameters that is mutually acceptable to the mobile subscriber and to the network that serves the newly connected interface.

3.40 serving network: A network that provides services to the user. The serving network can be a home subscriber network or a visited network. *See also:* **visited network; home subscriber network.**

3.41 serving point of attachment (serving PoA): The PoA of the current link being used by the mobile node.

3.42 single-radio operation: In this mode, a dual radio device can receive and transmit on only one radio at a time. This is usually the mode of operation when radio frequencies of the two radios are close to each other (e.g., in IMT 2000 bands). Since only one radio can be active at a time in these types of devices, the source radio uses the back-end connection of the source network with the target network to prepare the target network for handover while maintaining the client side connections. Once the target preparation is complete the device switches from source radio to target radio. Since all the target preparation has been completed a priori, the target radio quickly establishes connectivity with the target network and all the connections are then transferred from source network to target network. *See also:* **dual-radio operation.**

Copyright © 2009 IEEE. All rights reserved.

3.43 soft handover: Handover where facilities for supporting traffic flows are continuously available while the mobile node link-layer connection transfers from the serving point of attachment to the target point of attachment. The network allocates transport facilities to the target point of attachment prior to the occurrence of the link switch event (make-before-break).

3.44 static conformance requirement: One of the requirements that specify the limitations on the combinations of implemented capabilities permitted in a real open system, which is claimed to conform to the relevant specification(s).

3.45 static conformance review: A review of the extent to which the static conformance requirements are claimed to be supported by the system under test, by comparing the answers in the implementation conformance statement(s) and the system conformance statement with the static conformance requirements expressed in the relevant specifications.

3.46 target point of attachment (target PoA): A candidate PoA that has been selected to become the new serving PoA.

3.47 vertical handovers: A handover where the mobile node moves between point of attachments of different link types, such as from universal mobile telecommunications system (UMTS) to wireless area network (WLAN). *Syn:* **inter-technology handovers.**

3.48 visited network: A network managed by an operator other than the subscribers home operator and in which the subscriber is receiving service. *See also:* **home subscriber network; serving network.**

Copyright © 2009 IEEE. All rights reserved.

الملحق الخامس: وحدة التحركية Mobility Module

نعرض في هذا الملحق لوحدة التحركية Mobility Module، التي قام المعهد الوطني للمعايير والتقانة NIST بتطويرها لدمجها مع المحاكي NS-2، وذلك من أجل دعم المعيار IEEE802.21.

NIST
National Institute of Standards and Technology

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

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**.

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.

NIST
National Institute of Standards and Technology

Architecture and internals

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

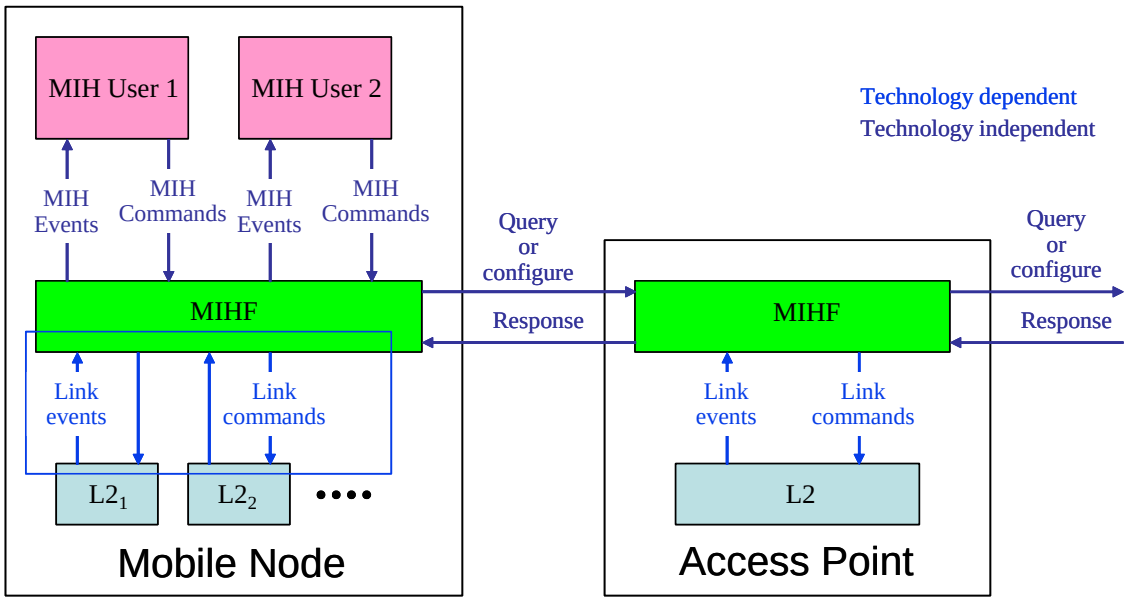


Figure 1: MIH design overview

and registers with the MIHF to receive events from local and remote interfaces.
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.

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.

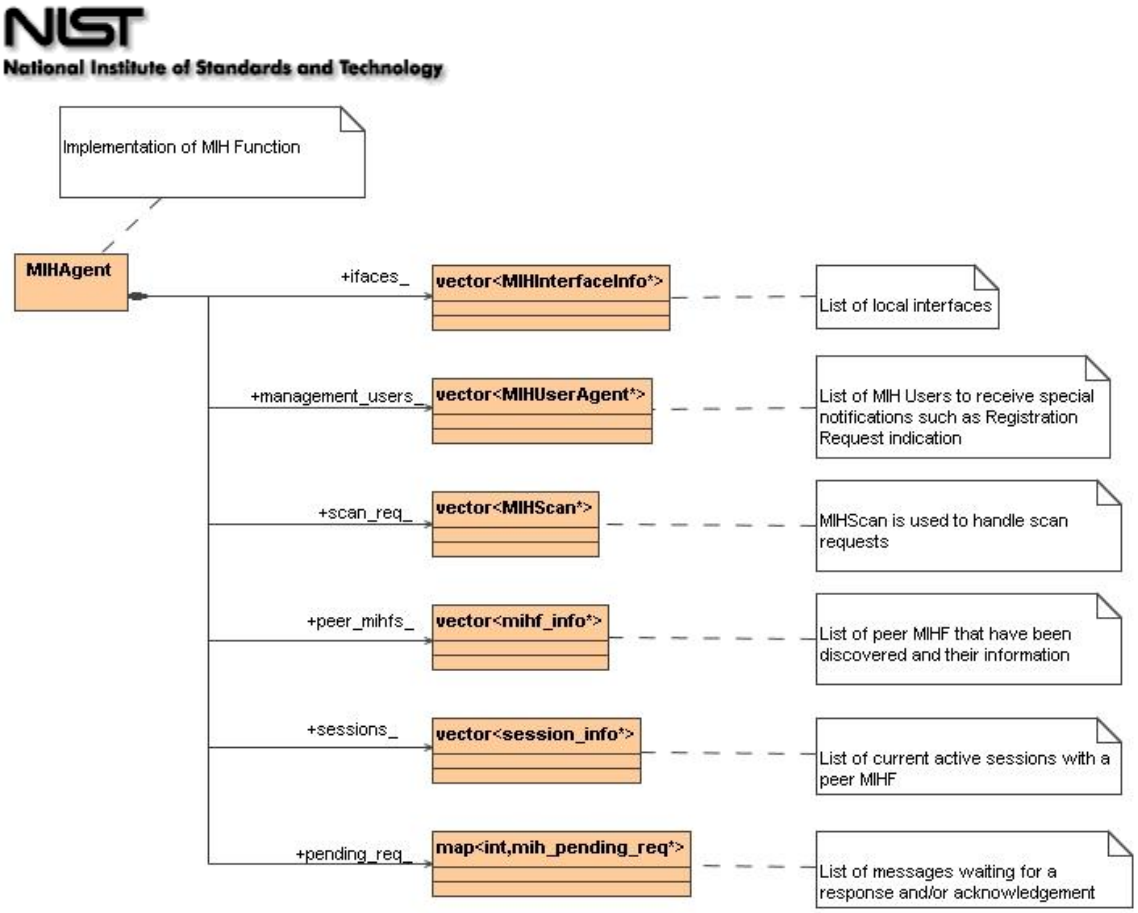


Figure 2: MIHF design

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.

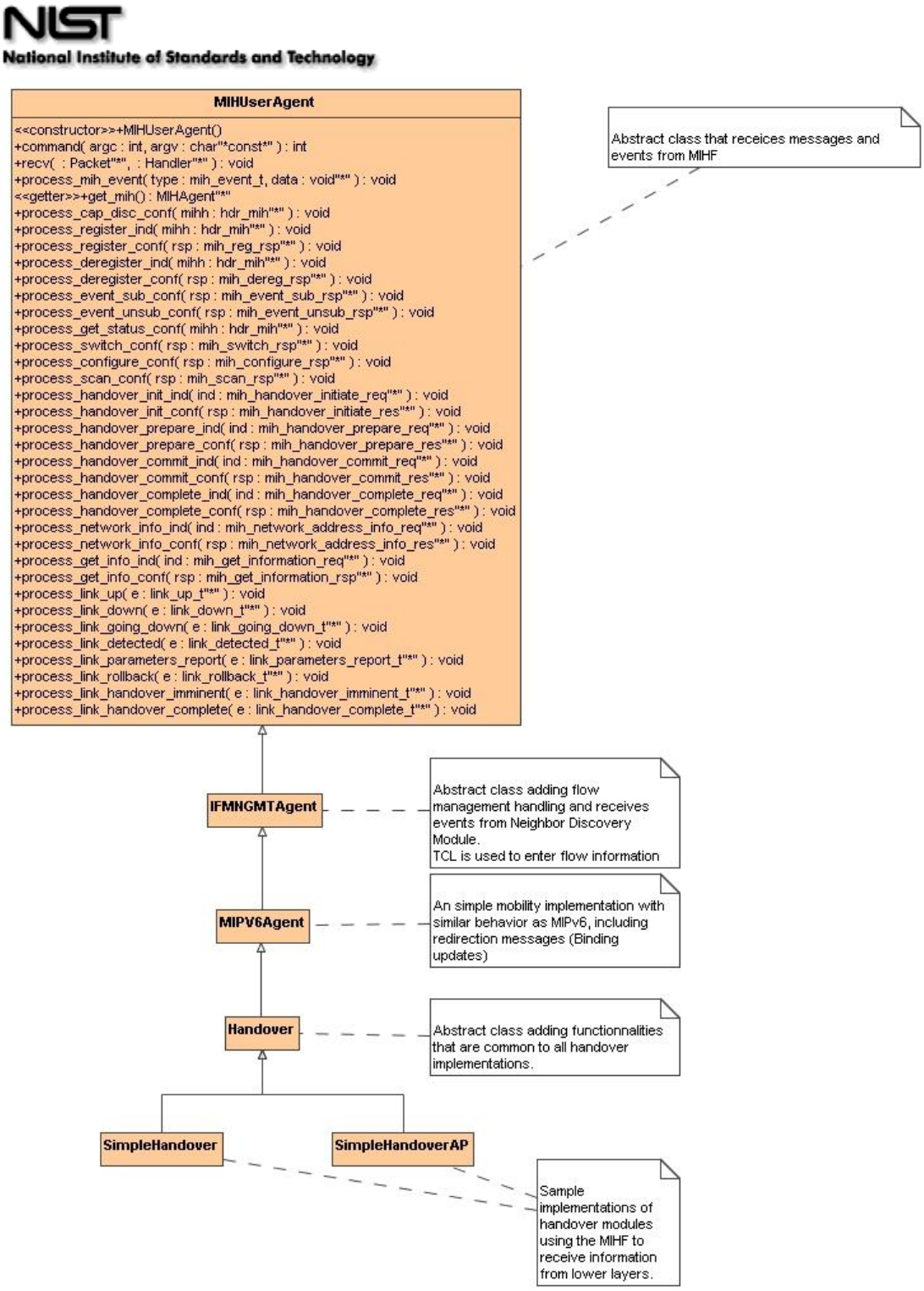


Figure 3: MIH User class hierarchy

NIST
National Institute of Standards and Technology

As show in **Figure 3**, the MIHUser sends commands to and receive 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 needs 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.

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 including in all CNs.

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

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

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.

NIST
National Institute of Standards and Technology

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.

Class Mac802_11

This class has been enhanced to support management frames.

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.

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

Class Mac802_16

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.

NIST
National Institute of Standards and Technology

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

Class Mac802_3

Supported events

- Link UP
- Link Down

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

Supported commands

The following link commands are supported:

- Link Event Subscribe
- Link Event Unsubscribe

The bitmask for the command list is 0x3

Class UMTS

Supported events

- Link UP
- Link Down

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

Supported commands

The following link commands are supported:

- Link Event Subscribe
- Link Event Unsubscribe

The bitmask for the command list is 0x3

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.

NIST
National Institute of Standards and Technology

- Define a generic design for nodes with multiple interfaces.
- Support for subnet discovery and change of address.

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.

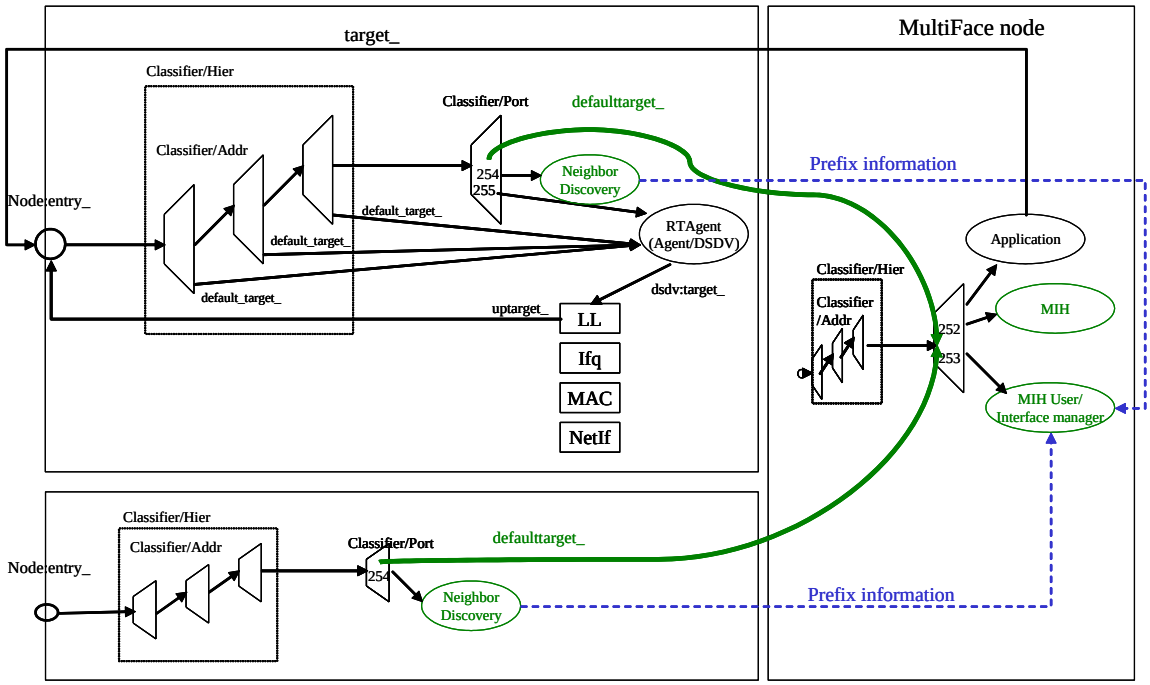


Figure 4: Multiple interfaces node design

NIST
National Institute of Standards and Technology

As show 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.

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.

Layer 3 mobility

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).

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.

*****

Abstract

In recent years, various wireless access technologies have continuously grown as well as user demands have. However, such user demands have not been satisfied by any wireless access technology alone. Therefore, the Next Generation Wireless Networks (NGWNs) were proposed to integrate various heterogeneous access technologies, in order to support both vertical and seamless handovers.

In particular, the IEEE 802.21 specifies Media Independent Handover (MIH) services to enhance the mobile user experience, by optimizing handovers between heterogeneous access networks.

In this thesis, we briefly discuss handover process using IEEE802.21, and MIPv6. We have also focused on the handover framework using MIH LD, and MIH LGD events. We propose a new procedure to trigger LGD event, and evaluate the performance of the proposed handover procedure in terms of handover latency, throughput, end to end delay, and packet loss.

Keywords: IEEE802.21, MIH, MIPv6, Vertical Handover, LD, LGD.

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



Reducing Handover Latency Time in Next Generation Wireless Networks Using IEEE802.21

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Computer and Networks Engineering

By

Eng. Muhammad Shadi Hajar

Supervised by

Dr. Mohamed Khaled Chahine **Dr. Raouf Hamdan**

2012-2013