تقييم أداء بروتوكولات إدارة الحركية باستخدام النموذج الرياضي العام

طالب الدراسات العليا: م. علاء سلامه

قسم هندسة التحكم الآلي والحواسيب

إشراف د. علي ذياب

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة البعث

ملخص البحث

تشهد شبكات الاتصالات تطوراً هائلا حيث أن الشبكات المستقبلية ستربط الشبكات غير المتجانسة، المكونة من أجهزة حاسب وأجهزة أخرى، بأنظمة تشغيل وبروتوكولات مختلفة مع بعضها البعض، بواسطة نواة عامة تعتمد على بروتوكول IP ويصطلح على تسميتها ALL–IP. وتبرز إدارة الحركية Mobility Management كواحدة من أهم المشكلات وأكثرها تحديًا لشبكات إنترنت الأشياء (IoT)، وتتألف هذه الشبكات من أجهزة إنترنت الأشياء IoT devices والتي هي أساسًا العقد المتنقلةMobile Nodes (MNs) التي تتطلب وجود بروتوكولات إدارة الحركية والتنقل Mobility Management Protocols (MMPs) لتوفير خدمات شفافة للمستخدمين دون التعرض لمقاطعة أو انقطاع الاتصال. يقوم هذا البحث بدراسة تحليلية لبروتوكولات إدارة الحركية والتنقل باستخدام النماذج الرياضية لتحليل الأداء، يستعرض هذا البحث أشهر وأحدث بروتوكولات إدارة الحركية والتنقل MMPs، ويركز على تحليل الأداء. تبعاً لزمن التسليم handoff latency خلال التنقل مع أخذ ضياع رسائل التحكم بعين الاعتبار باستخدام النماذج الرياضية. يقوم البحث بمقارنة أهم البروتوكولات إدارة الحركية والتنقل وهي: بروتوكول الإنترنت المتنقل بإصداره الرابع Mobile IP version 4 (MIPv4)، بروتوكول الإنترنت المتنقل بإصداره السادس Mobile IP version 6 (MIPv6) ، برتوكول الإنترنت

المتنقل بإصداره السادس السريع Fast MIPv6 (FMIPv6)، بروتوكول إدارة التنقل المعتمد على بروتوكول التطبيقات محدودة المصادر (CoMP)، الشبكة المعتمدة على ملصق التنقل Mobility Label Based Network (MLBN) . تخلص دراستنا إلى أن بروتوكول الشبكة المعتمدة على ملصق التنقل بحالة التنقل المحلي MLBN–Local يظهر أداءً أفضل مقارنةً مع أداء البروتوكولات المدروسة، حيث يقلل زمن التسليم الناتج من تنقل العقدة المتنقلة MN بين الخلايا من خلال تتبع Tracks العقدة المتنقلة MN. لكن الأداء المتميز لهذا البروتوكول يتم من خلال فرض مكونات جديدة مستقلة تماماً عن بروتوكول Mobile IP ومشتقاته ومكوناته والذي يعد أكثر البروتوكولات انتشاراً، كما يحتاج تطبيق هذا البروتوكول الى فرض بنية تحتية جديدة.

الكلمات المفتاحية: شبكات إنترنت الأشياء، إدارة الحركية والتنقل، بروتوكول الإنترنت المتنقل، الحركية والتنقل المعتمد على الشبكة، الحركية والتنقل المعتمد على المضيف، زمن التسليم.

Performance evaluation of mobility management protocols using a generic mathematical model

Abstract

Communication networks are witnessing a tremendous development as the future networks will connect heterogeneous networks, consisting of computers and other devices, with different operating systems and protocols with each other, by a general kernel based on the IP protocol called ALL–IP. Mobility management emerges as one of the most important and challenging issues for Internet of Things (IoT) networks, and these networks consist of IoT devices which are primarily Mobile Nodes (MNs) that require Mobility Management Protocols (MMPs).

To provide transparent services to users without being interrupted or disconnected. This research conducts an analytical study of kinetic and mobility management protocols using mathematical models to analyze performance. This research reviews the most famous and latest kinetic and mobility management protocols (MMPs), and focuses on analyzing performance according to the

handoff latency during mobility, taking into account the loss of control messages using mathematical models. The research compares the most important mobility management protocols, namely: Mobile IP version 4 (MIPv4), Mobile IP version 6 (MIPv6), Fast MIPv6 (FMIPv6), a management protocol Mobility Label Based Network (CoMP), Mobility Label Based Network (MLBN).

Our study concludes that the MLBN-Local label-based network protocol shows better performance compared to that of the studied protocols, as the resulting delivery latency reduces the mobility of the mobile node MN between cells by tracking the MN Tracks. But the outstanding performance of this protocol is achieved by imposing new components that are completely independent of the Mobile IP protocol and its derivatives and components, which is the most common protocol, and the implementation of this protocol needs to impose a new infrastructure.

Keywords: Internet of things networks, mobility management, mobile Internet protocol, network-based mobility, host-based mobility, handoff latency.

1. المقدمة

أدى التطور الكبير والمتزايد الذي تشهده شبكات الاتصالات من حيث عدد الأجهزة المحمولة وتقنيات الوصول إلى ظهور مجالات جديده للباحثين والأكاديميين، وكما هو معلوم فإن الإنترنت عبارة عن تجمع شبكات مترابطة يُشار إليها بشبكات فرعية Subnets. كل شبكة فرعية تملك فضاء عنوان خاص بها، يُسمى عنوان الشبكة. تتألف الشبكة الفرعية بدورها من مجموعة طرفيات مترابطة[1]. يُخصص لكل طرفية ضمن الشبكة الفرعية عنوان وحيد يُسمى عنوان الطرفية. إن الجمع بين عنوان الشبكة وعنوان الطرفية يُحدد الطرفية ضمن الإنترنت. تترابط الشبكات الفرعية مع بعضها من خلال عقد خاصة تدعى الموجهات (Routers).[2] تقسم شبكات الاتصالات إلى قسمين أساسيين، السلكي wireless واللاسلكي wired one. في الأنظمة المعتمدة على البنية التحتية infrastructure-based systems، تتصل كل عقدة متنقلة Mobile Node (MN) مع أخرى ثابتة أو متحركة عبر نقطة وصول Access Point (AP). تُدعى الشبكة اللاسلكية متجانسة Homogenous عندما تستخدم نقاط الوصول APs نفس التقنية اللاسلكية وغير متجانسة Heterogeneous بخلاف ذلك. عندما تتحرك عقدة متنقلة خارج نطاق التغطية لنقطة وصول معينة إلى داخل نطاق تغطية نقطة وصول جديدة، فإن المسؤولية عنها تنتقل لنقطة الوصول الجديدة. هذا الإجراء يدعى مرحلة التسليم Handoff ويتضمن ثلاث أطوار، اكتشاف مرحلة التسليم، التهيئة والتنفيذ. تتضمن مرحلة التسليم تبادل رسائل التحكم Signaling بين العقدة المتنقلة والشبكة من جهة، وبين عقد الشبكة مع بعضها البعض من جهة أخرى.[3]

تحظى شبكات إنترنت الأشياء Internet of Things (IoT) اهتماماً كبيراً كونها تضم عدداً كبيراً من العقد الثابتة والمتحركة التي تتفاعل وتتبادل البيانات مع بعضها

البعض ضمن شبكات غير متجانسة، ويتطلب نشر هذه الشبكات التغلب على العديد من التحديات. أحد أكبر هذه التحديات يتمثّل في كيفية إدارة الحركية والتنقل Mobility management بين خلايا متصلة عبر الشبكة بما يحقق متطلبات العمل في الزمن الحقيقي، تُمكن إدارة الحركية والتنقل الشبكة من تحديد موقع العقدة المتنقلة (MN) لتسليم حزم البيانات، والحفاظ على استمرار الاتصال أثناء تغيير نقطة الربط. لكن معظم الأجهزة (مثل أجهزة الكمبيوتر المحمولة والهواتف المحمولة) أو أي أدوات أخرى مرتبطة بـ IOT هي أجهزة محمولة والتي تتطلب بروتوكولات خاصة لإدارة الحركية والتنقل، حيث ينبغي أن تتواجد آليات تمكننا من تحقيق تسليم سلس seamless handoffs للاتصال.[2] علاوة على ذلك ينبغي أن تزود هذه الشبكات بالحركية الشخصية Personal mobility والحركية الطرفية Terminal mobility وحركية الشبكة Network mobility. تعبر الحركية الشخصية عن قدرة المستخدم على الوصول لخدمات الشبكة الخاصة به أثناء تواجده بعيدا عن الشبكة التي ينتمي إليها. تعبر حركية الطرفية عن مقدرة الشبكة على تحديد موقع العقدة المتنقلة، وتوجيه المكالمات الواردة، أو الصادرة والحفاظ على الاتصال مع العقدة المتنقلة أثناء تواجدها بعيداً عن الشبكة التي تنتمي إليها. تتطلب حركية الطرفية دعما لمهمتين أساسيتين هما إدارة الموقع Location management وإدارة مرحلة التسليم Handoff management. تعبّر حركية الشبكة عن مقدرة الشبكة على دعم حركة شبكة فرعية بكاملها أو شبكة ذات بنية تلقائية. [3]

يقوم هذا البحث بدراسة تحليلية لبروتوكولات إدارة الحركية والتنقل وآليات تحقيق التسليم، ويركز البحث على تحليل الأداء تبعاً لزمن التسليم handoff latency خلال التنقل لأشهر وأحدث بروتوكولات إدارة الحركية والتنقل MMPs، مع أخذ ضياع رسائل التحكم بعين الاعتبار باستخدام النماذج الرياضية.

يقوم البحث بمقارنة ثمانية من أهم البروتوكولات المدروسة وهي:

1. بروتوكول الإنترنت المتنقل بإصداره الرابع Mobile IP version 4 (MIPv4)
2. توسعة التوجيه الأمثلي لبروتوكول الإنترنت المتنقل بإصداره الرابع

MIPv4-Route Optimization Extension

3. بروتوكول الإنترنت المتنقل بإصداره السادس Mobile IP version 6 (MIPv6) بحالة التوجيه المثلثيMIPv6-Triangular routing
4. بروتوكول الإنترنت المتنقل بإصداره السادس بحالة التوجيه الأمثلي MIPv6-route optimization
5. برتوكول الإنترنت المتنقل بإصداره السادس السريع Fast MIPv6 (FMIPv6)
6. بروتوكول إدارة التنقل المعتمد على بروتوكول التطبيقات محدودة المصادر (CoMP)

Constrained Application Protocol (CoAP)-based Mobility Management Protocol

7. الشبكة المعتمدة على ملصق التنقل بحالة التنقل المحلي Mobility Label Based Network Local (MLBN-Local)
8. الشبكة المعتمدة على ملصق التنقل بحالة التنقل بين المناطق MLBN-Inter

2. المشكلة قيد البحث

يمكن أن تُصنف التطبيقات العاملة على الشبكات إلى مجموعتين أساسيتين، تطبيقات الزمن الحقيقي (Real-time applications) وتطبيقات الزمن غير الحقيقي (Elastic applications). تتطلب تطبيقات الزمن الحقيقي (مثل الفيديو

والصوت) قيمة صغرى محدودة من عرض الحزمة لتعمل بشكل جيد. بالمقابل تستخدم تطبيقات الزمن غير الحقيقي (مثل نقل الملفات، البريد الإلكتروني، تصفح الويب) عرض الحزمة المتاحة. إذا لم يتوفر عرض حزمة لفترة مؤقتة، تنتظر هذه التطبيقات من دون أن تتأثر بشكل كبير. تتسامح تطبيقات الزمن الحقيقي مع ضياع البيانات. لكن تتطلب تطبيقات الزمن غير الحقيقي نقل بيانات موثوق. [3]

المعايير الرئيسية لجودة الخدمة QoS هي: التأخير delay، التذبذب Jitter، الوثوقية reliability، عرض الحزمة bandwidth. يُعبر التأخير عن الزمن اللازم لإرسال رزمة بيانات من مصدر ما إلى هدف محدد. إن التغير في هذا التأخير يُعبَّر عنه بالتذبذب. تصف الوثوقية كيف يمكن أن تتحمل التطبيقات الضياع في رزم البيانات. يعبِّر عرض الحزمة عن إمكانية نقل البيانات ضمن الشبكة.[3]

تؤثر حركية الطرفية بشكل كبير على جودة الخدمة المُقدمة للتطبيقات. يمكن أن يزيد بروتوكول إدارة الحركية والتنقل تأخير رزم البيانات من خلال التوجيه عبر طريق غير مثالي، ويمكن ألا تكون التطبيقات قادرة على تحمل هذا التأخير، والذي يمكن أن ينتج عنه ضياع في رزم البيانات. بالإضافة لذلك يمكن أن يُهمل بروتوكول إدارة الحركية والتنقل رزم البيانات التي يجري إرسالها أثناء حركة الطرفية، والتي ينتج عنها ضياع رزم البيانات عند المستقبل، أو من الممكن توجيههم من نقطة وصول قديمة إلى أخرى جديدة خلال مرحلة التسليم، والذي سيؤدي إلى زيادة التأخير وبالتالي زيادة التذبذب لهذه الرزم مقارنةً مع الرزم المستقبلة قبل وبعد مرحلة التسليم.

يمكن أن تصنف مرحلة التسليم تبعا لمعايير متعددة، كعدد نقاط الوصول المضمنة، الوصلة اللاسلكية المستخدمة في عملية التسليم، بداية مرحلة التسليم، تغيير تقنية الوصول، بنية شبكة الربط، حالة الطرفية واستمرارية الخدمة. [3]

بالنسبة لعدد نقاط الوصول المضمنة في عملية التسليم، يمكن أن تصنف عملية التسليم إلى تسليم صلب (Hard)، ناعم (Soft)، أنعم (Softer) وتنبؤي (Predictive). تملك كل عقدة متنقلة اتصالاً مع نقطة وصول واحدة عند اعتبار التسليم الصلب. لكن يمكن أن تتصل العقدة المتنقلة مع أكثر من نقطة وصول بنفس الوقت في حالة التسليم الناعم. يتطلب التسليم الناعم بالطبع تداخل الخلايا اللاسلكية. تدعى عملية التسليم من مقطع إلى آخر متحكم به عن طريق نقطة الوصول نفسها بالتسليم الأنعم. يمكن مع عملية التسليم التنبؤي أن يتم التنبؤ بمجموعة من نقاط الوصول والتي يمكن أن تتنقل إليها العقدة المتنقلة في المستقبل. [3]

بالاعتماد على الوصلة اللاسلكية المستخدمة في عملية التسليم، يمكن أن يكون التسليم إما خلفي (Backward handoff) أو أمامي (Forward handoff). تسمح عملية التسليم الخلفية للعقدة المتنقلة بتنفيذ عملية التسليم بينما تبقى على اتصال. بالنسبة لعملية التسليم الأمامية تنفذ العقدة المتنقلة عملية التسليم عبر نقطة الوصول الجديدة بعد انهيار الوصلة الراديوية مع نقطة الوصول القديمة.[3]

بأخذ بداية عملية التسليم بعين الاعتبار يمكن أن تكون عملية التسليم محرّضة من قبل الطرفية أو من قبل الشبكة أو من قبل الشبكة بمساعدة الطرفية. في عملية التسليم المحرّضة بالطرفية، تدير الطرفية عملية التسليم وتقرر مع أية نقطة وصول ينبغي بناء وصلة لاسلكية. في المقابل يكون للشبكة الدور الأساسي في عملية التسليم المحرضة من قبل الشبكة، إلا أنه من المفترض أن تكون الشبكة قادرة على تحديد موقع الطرفية. تدير الشبكة عملية التسليم أيضاً في عملية التسليم المحرّضة من قبل الشبكة بمساعدة الطرفية. إلا أن الطرفية ترسل بشكل دوري تقارير للشبكة لتساعدها في اتخاذ قرار التسليم.[3]

بالاعتماد على تغيير تقنية الوصول يمكن أن يكون التسليم ضمن التقنية نفسها أو من تقنية لأخرى. مرحلة التسليم ضمن التقنية نفسها هي التسليم بين نقاط وصول عاملة على نفس التقنية اللاسلكية. أما مرحلة التسليم من تقنية لأخرى فهي التسليم بين نقاط وصول عاملة بتقنيات لاسلكية مختلفة.[3]

بأخذ بنية شبكة الربط بعين الاعتبار يمكن أن يكون التسليم محلي أو عام. تتحرك العقدة المتنقلة داخل نفس نطاق المجال الإداري في التسليم المحلي. يعبّر التسليم العام عن الحركة إلى نقطة وصول جديدة تعود لنطاق تابع لمجال إداري آخر.[3]

بالاعتماد على حالة الطرفية يقسم التسليم إلى تسليم فعال وتسليم غير فعال. يدل التسليم الفعال على التسليم خلال جلسة عمل نشطة. بالمقابل يمثل التسليم غير الفعال التسليم بينما تكون الطرفية غير فعالة.

بالاعتماد على استمرارية الخدمة، تُصنف عملية التسليم إلى تسليم بلا خسائر وتسليم سلس وتسليم غير سلس، يضمن التسليم بلا خسائر بأنه لا يوجد ضياع في استمرارية الخدمة ممثلةً بعدم وجود ضياعات في رزم البيانات. أما التسليم السلس فيكون غير ملحوظ بالنسبة للمستخدم، بينما يلاحظ المستخدم التسليم غير السلس.

من خلال المناقشة السابقة، ينبغي أن يأخذ أي حل لإدارة الحركية المتطلبات التالية في الحسبان:

1. المحافظة على هوية ثابتة للعقدة المتنقلة بغض النظر عن موقعها الحالي.
2. إعطاء شركاء الاتصال إمكانية تحديد موقع العقدة المتنقلة بعد الحركة.
3. تقليل تأثير حركة العقدة المتنقلة على التطبيقات.

4. تقليل كلفة دعم الحركية (تكلفة إشارات التحكم (Signaling cost)، تكلفة تسليم رزم البيانات، وغيرها).

5. عدم التسبب بإضافة ثغرات أمنية جديدة للشبكة.

6. عدم التأثير على قابلية الشبكة للتوسع (Network scalability)، لكن ينبغي أن يكون بروتوكول إدارة الحركية قابل للتوسع (Scalable)، متين (Robust)، قابل للنشر (Deployable).

3. هدف البحث

يهدف البحث الى دراسة حزمة واسعة من بروتوكولات إدارة الحركية والتنقل وتقييم أدائها باستخدام نموذج رياضي عام أثبت فعاليته، وتحليل أداء زمن التسليم خلال تنقل العقدة المتنقلة تبعاً للبروتوكولات المدروسة.

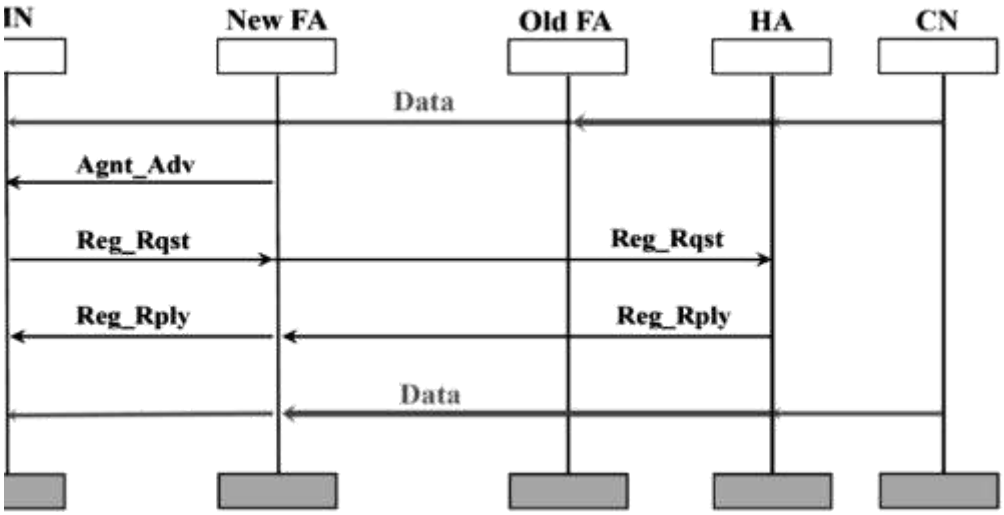
4. الدراسة المرجعية

يُعتبر الإصدار الرابع لبرتوكول الإنترنت IP version 4 (IPv4)، والإصدار السادس لبرتوكول الإنترنت IP version 6 (IPv6) المعيار الأساسي المُستخدم لتوجيه حزم البيانات من مصدر ما لهدف محدد. ويعتبر بروتوكول الإنترنت المتنقل بإصداره الرابع Mobile IP version 4 (MIPv4) والسادس Mobile IP version 6 (MIPv6) من أكثر البروتوكولات انتشاراً.

1. MIPv4 [4][5]

يقدم هذا البروتوكول وحدتين جديدتين هما العميل المحلي Home Agent (HA) والعميل الأجنبي Foreign Agent (FA). العميل المحلي هو عبارة عن مخدم موجود في الشبكة الأم التي تنتمي لها العقدة المتنقلة. يتحقق هذا المخدم من هوية

العقدة المتنقلة ويوفر لها الخدمات سواء كانت ضمن الشبكة الأم أو خارجها. أما العميل الأجنبي فهو عبارة عن مخدم موجود في الشبكة التي تزورها العقدة المتنقلة حالياً. العقدة التي تتواصل مع العقدة المتنقلة يشار لها بشريك الاتصال (CN)، وقد تكون عبارة عن عقدة ثابتة أو عقدة متنقلة. يتم تعيين عنوان IP فريد لكل عقدة متنقلة كعنوان محلي ضمن الشبكة الأم ويكون عبارة عن معرف ثابت لها. عند ابتعاد العقدة المتنقلة عن الشبكة الأم، يتم تعيين عنوان IP مؤقت لها Care of Address (CoA) يحدد نقطة الاتصال الحالية بالشبكة. يعلن كل عميل أجنبي عن وجوده ومميزاته بواسطة نشر دوري لرسائل الإعلان عن العميل Advertisement messages (Agnt_Adv). بعد انتقال العقدة المتنقلة العاملة ببروتوكول MIPv4 إلى نقطة وصول تنتمي إلى شبكة فرعية مختلفة وإنشائها للاتصال اللاسلكي معها، تقوم بعملية تسليم على مستوى الطبقة الثالثة. تتضمن عملية التسليم في الطبقة الثالثة مرحلتين هما اكتشاف الانتقال (Movement detection) وطور التسجيل (Registration phase). يقصد بمصطلح اكتشاف الانتقال اتخاذ القرار بأن العميل الحالي الذي يقدم الخدمات للعقدة المتنقلة غير متاح، والبحث عن عنوان IP جديد للعميل الجديد الذي يخدم الشبكة الفرعية الجديدة. تتضمن مرحلة التسجيل الخطوات اللازمة لإعلام HA بعنوان IP المؤقت (CoA) الجديد الذي حصلت عليه العقدة المتنقلة. يبين الشكل(1) تفاصيل هذه المرحلة.



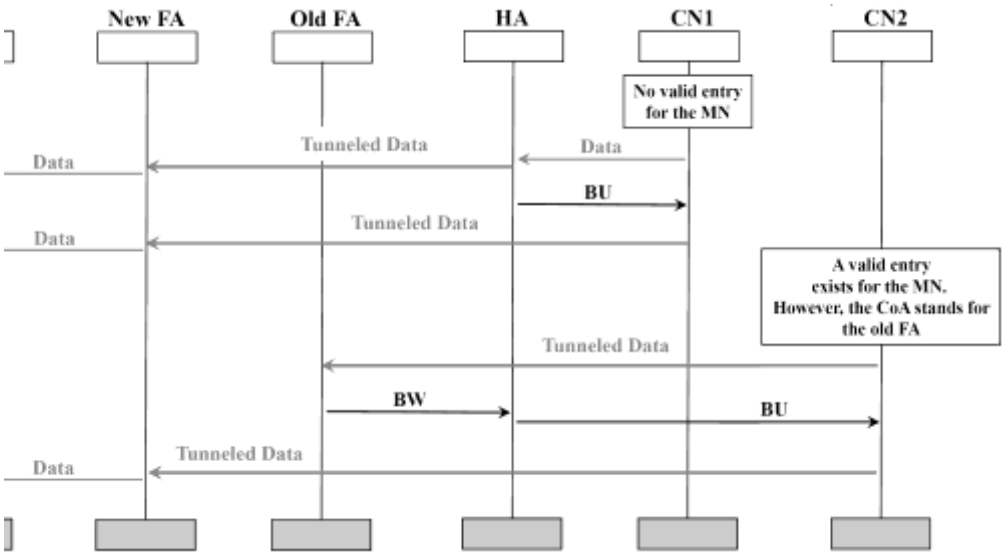
شكل 1: عملية التسليم عند استخدام بروتوكول MIPv4 [4]

بعد اكتشاف العقدة المتنقلة لخروجها خارج نطاق تغطية الشبكة القديمة وحصولها على عنوان مؤقت جديد، فإنها ترسل طلباً للتسجيل Registration Request (Reg_Rqst) إلى العميل الأجنبي الجديد، والذي بدوره يسجل العقدة المتنقلة ضمن لائحة الزوار Visitor list الخاصة به ويمرر طلب التسجيل إلى العميل المحلي الخاص بالعقدة المتنقلة. يقوم العميل المحلي بالتحقق من رسالة طلب التسجيل للتأكد من أن مصدرها هو العقدة المتنقلة بالفعل. عندما تتم عملية التحقق بنجاح يسجل العميل المحلي العنوان المؤقت للعقدة المتنقلة ضمن قائمة الارتباط (Binding list) ويولد رداً على طلب التسجيل Registration Reply (Reg_Rply) ويرسله إلى العقدة المتنقلة. لكل عملية تسجيل زمن حياة محدد وإن انتهاء هذا الزمن يجبر العقدة المتنقلة على إعادة التسجيل مع العميل المحلي بواسطة عملية تبادل الرسائل الموضحة فيما سبق. عندما يرغب شريك الاتصال بالتواصل مع عقدة متنقلة ما، فإنها تقوم بإرسال رزم البيانات إلى عنوان العقدة المتنقلة في شبكتها الأم (MN's home address)، تمرر هذه الرزم إلى العميل المحلي لأن عنوان العقدة المتنقلة الأساسي يقع ضمن نطاقه. في حال كون العقدة

المتنقلة خارج نطاق شبكتها الأم، يقوم العميل المحلي باعتراض رزم البيانات وتغليفها وتمريرها إلى العنوان المؤقت الجديد للعقدة المتنقلة. يتم فك تغليف البيانات المغلفة (Encapsulated data) ضمن العميل الأجنبي ويمررها إلى العقدة المتنقلة في حال كانت الأخيرة تمتلك عنواناً معيناً لها من قبل العميل الأجنبي.

2. توسعة التوجيه الأمثلي لبروتوكول MIPv4 [4][5]

تمكن توسعة التوجيه الأمثلي لبروتوكول MIPv4، شركاء الاتصال من الحفاظ على سجل للارتباطات يحتوي على العناوين المؤقتة (CoAs) لواحدة أو أكثر من العقد المتنقلة. عندما يرغب شريك الاتصال بإرسال رزم بيانات إلى عقدة متنقلة تتحقق أولاً من وجود ارتباط صالح في سجل الارتباط، وفي حال وجوده يرسل شريك الاتصال البيانات عبر قناة (Tunnel) إلى العنوان المؤقت للعقدة المتنقلة. في حال عدم وجود ارتباط صالح في سجل الارتباط، يرسل شريك الاتصال البيانات إلى العنوان المحلي في الشبكة الأم للعقدة المتنقلة، حيث يعترض المخدم المحلي رزم البيانات ويقوم بإرسالها عبر قناة (Tunnel) إلى العنوان المؤقت للعقدة المتنقلة. ونتيجةً لذلك يقوم المخدم المحلي بإبلاغ شريك الاتصال عن العنوان المؤقت للعقدة المتنقلة بواسطة رسالة تحديث ارتباط. يُسجل شريك الاتصال العنوان المؤقت الجديد في سجل ارتباطاته ويرسل البيانات بعدها مباشرة إلى هذا العنوان. لا تتطلب رسالة تحديث الارتباط هذه إشعاراً بالقبول وذلك لأن شريك الاتصال سيستمر بإرسال البيانات للمخدم المحلي حتى تستلم منه رسالة تحديث ارتباط. عندما يستلم أي مخدم أجنبي رزم بيانات لعقدة متنقلة لا تقع ضمن مجاله فإنه يرسل رسالة تحذير ارتباط ((Binding Warning (BW) للمخدم المحلي، والذي يُعلم بدوره شريك الاتصال بالعنوان المؤقت الجديد للعقدة المتنقلة. إن الرسائل المتبادلة خلال إجرائية التوجيه الأمثل مبينة في الشكل (2).

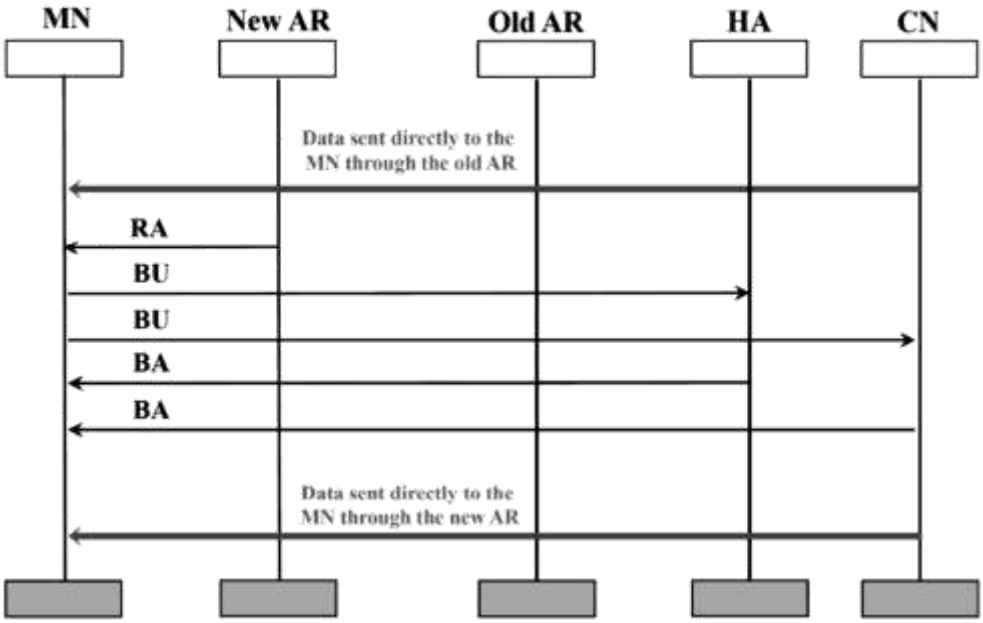


شكل 2: الرسائل المتبادلة خلال إجرائية التوجيه الأمثل لبروتوكول MIPv4 [5]

3. MIPv6 [6]

يمكن افتراض افتراضات مشابهة للافتراضات الخاصة ببروتوكول MIPv4. يكمن الفرق في كون MIPv6 لا يحتاج إلى موجهات خاصة تدعم الحركية في الشبكات الفرعية التي تزورها العقدة المتنقلة، إذ أن موجهات الوصول العادية AR الخاصة ببروتوكول IPv6 كافية. ويقدمMIPv6 توسيعات جديدة لترويسات بروتوكول IPv6 وهي: ترويسة استخدام عنوان الشبكة الأم كعنوان للوجهة (Home address destination option)، ترويسة التوجيه (Routing header) وترويسة نقل البيانات ضمن القناة (Tunneling header). بعد انتقال العقدة المتنقلة لضمن نطاق موجه وصول (AR) جديد، تنتظر وصول رسالة الإعلان عن الموجه Router Advertisement (RA) وتقوم باختيار عنوان CoA الخاص بها بعد استلام رسالة الإعلان. يمكن بشكل بديل أن يتم حث إرسال رسالة الإعلام عن الموجه (RA) بإرسال رسالة استعلام عن الموجه Router Solicitation (RS). بعد أن يتم الانتقال والحصول على عنوان CoA جديد، تقوم العقدة المتنقلة بإعلام

كل من شريك الاتصال والعميل المحلي الخاص بها (HA) بعنوانها المؤقت الجديد. للقيام بذلك ترسل العقدة المتنقلة رسالة تحديث الارتباط Binding Update (BU) إلى شريك الاتصال ورسالة تحديث ارتباط أخرى إلى العميل المحلي. يتم بعدها إرسال رسالة إقرار بالارتباط Binding Acknowledgement (BA) من قبل كل من شريك الاتصال والعميل المحلي كرد على رسالة تحديث الارتباط، كما هو موضح في الشكل (3).



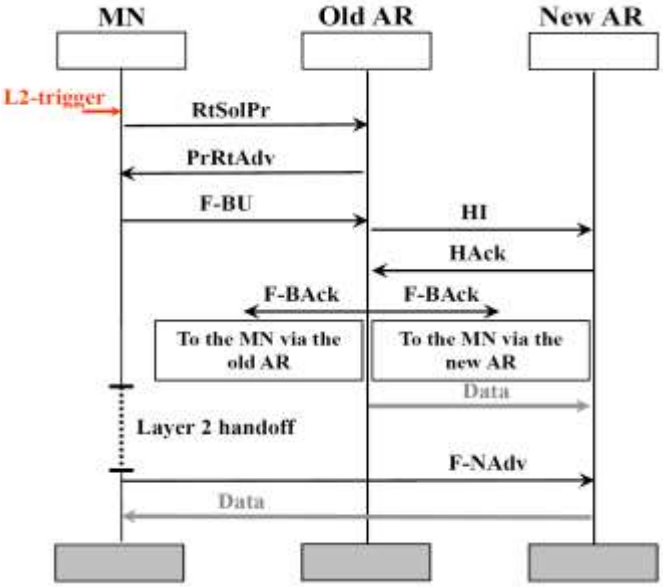
شكل 3: عملية التسليم عند استخدام بروتوكول MIPv6 [6]

يرسل شريك الاتصال عادةً حزم البيانات إلى الشبكة الأم للعقدة المتنقلة، عندما يعترض المخدم المحلي سبيل هذه الرزم ويقوم بتمريرها إلى العنوان المؤقت (CoA) الحالي للعقدة المتنقلة. تؤدي هذه العملية إلى توجيه دون الأمثل، يُعرف باسم التوجيه المثلثي، يُؤدي إلى زيادة زمن الاتصال بين العقدة المتنقلة وشريك الاتصال.

4. برتوكول MIPv6 السريع [7][8]

يسرع بروتوكول MIPv6 السريع (FMIPv6) Fast MIPv6 من عملية التسليم على مستوى طبقة الشبكة بالاستفادة من مثيرات الطبقة الثانية أيضاً، حيث يهدف هذا البروتوكول إلى اكتشاف العميل الأجنبي الجديد والقيام بتهيئة العنوان المؤقت الجديد فيما تكون العقدة المتنقلة لا تزال متصلة مع موجه الوصول القديم. يعتمد مبدأ العمل هذا البروتوكول على إنشاء قناة ثنائية الاتجاه بين موجهي الوصول القديم والجديد بعد انطلاق مثير الطبقة الثانية. تُنقل البيانات الواردة للعقدة المتنقلة عبر هذه القناة من موجه الوصول القديم إلى موجه الوصول الجديد خلال عملية التسليم على مستوى الطبقة الثانية، أما البيانات المرسلة فتنقل عبر هذه القناة من موجه الوصول الجديد إلى الموجه القديم بعد عملية التسليم حتى يتم تحديث الارتباط الجديد ويكون موجه الوصول القديم هو المسؤول عن تمرير الرزم. يمكن تشغيل بروتوكول FMIPv6 بنمطي عمل هما النمط التنبؤي Predictive والنمط التفاعلي Reactive. النمط الافتراضي للعمل هو النمط التنبؤي حيث تحاول العقدة المتنقلة التعرف على موجه الوصول الجديد من مثير الطبقة الثانية قبل حصول عملية التسليم على مستوى الطبقة الثانية وبالتالي تبدأ بعملية التسليم على مستوى الطبقة الثالثة مقدماً. تقوم العقدة بإجراء عملية التسليم على مستوى الطبقة الثانية وتنتقل للعمل بالنمط التفاعلي في حال فشلها بالعمل بالنمط التنبؤي. عمل بروتوكول FMIPv6 في النمط التنبؤي مبين في الشكل (4). عندما تلاحظ العقدة المتنقلة أن هناك حاجة لإجراء عملية التسليم، فإنها ترسل رسالة وكيل لاستدراج الموجه Router Solicitation Proxy message (RtSolPr) لموجه الوصول القديم والتي تحتوي على بعض المعلومات التي يمكن من خلالها لموجه الوصول القديم تحديد عنوان IP للموجه الجديد. ونتيجة لذلك يرسل موجه الوصول القديم رسالة PrRtAdv للعقدة المتنقلة تحتوي على معلومات كافية تسمح لها بتحديد عنوانها

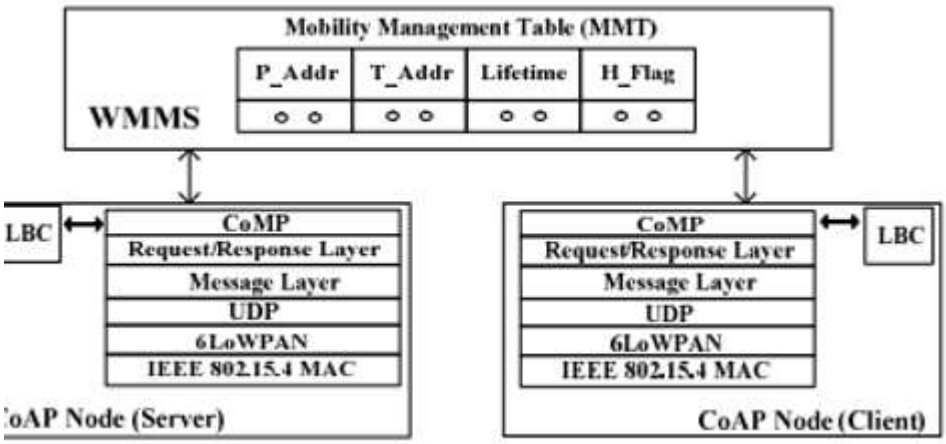
المؤقت الجديد. يمكن للموجه القديم إجبار العقدة المتنقلة على إجراء عملية التسليم بإرسال رسالة PrRtAdv تحتوي على عنوان الشبكة الفرعية الجديدة. بعد تهيئة عنوانها المؤقت الجديد، ترسل العقدة المتنقلة رسالة تحديث ارتباط سريع Fast Binding Update (F-BU) إلى موجه الوصول القديم لتعلمه باكتمال عملية التسليم. فور استلام موجه الوصول القديم لرسالة F-BU يرسل رسالة البدء بالتسليم Handover Initiate (HI) لموجه الوصول الجديد ليعلمه من خلالها بالعقدة المتنقلة القادمة. ينبغي أن تحتوي رسالة HI العنوان المؤقت الحالي والعنوان المؤقت الجديد المقترح للعقدة المتنقلة ضمن الشبكة الفرعية لموجه الوصول الجديد.



شكل4: عمل بروتوكول FMIPv6 في النمط التنبؤي [7]

5. CoMP [9][10]

طورت مجموعة عمل IETF CoRE بروتوكول التطبيقات محدودة المصدر Constrained Application Protocol (CoAP) المخصص للتعامل مع التطبيقات المستندة إلى الويب في بيئة إنترنت الأشياء IoT، ويتمثل أحد قيود CoAP في أنه لا يعالج إدارة التنقل للعقد المتنقلة، يوفر بروتوكول CoMP إدارة التنقل للعقد المتنقلة لبروتوكول CoAP. يقوم CoMP بتتبع عناوين IP الحالية للعقد المتنقلة وتمكن من تسليم البيانات إلى عملاء الويب بشكل موثوق وذلك باستخدام كل من HTTP وCoAP. ويستخدم وظيفة منفصلة لإدارة الموقع لدعم قابلية تنقل، يوضح الشكل (5) بنية إدارة التنقل باستخدام CoMP.

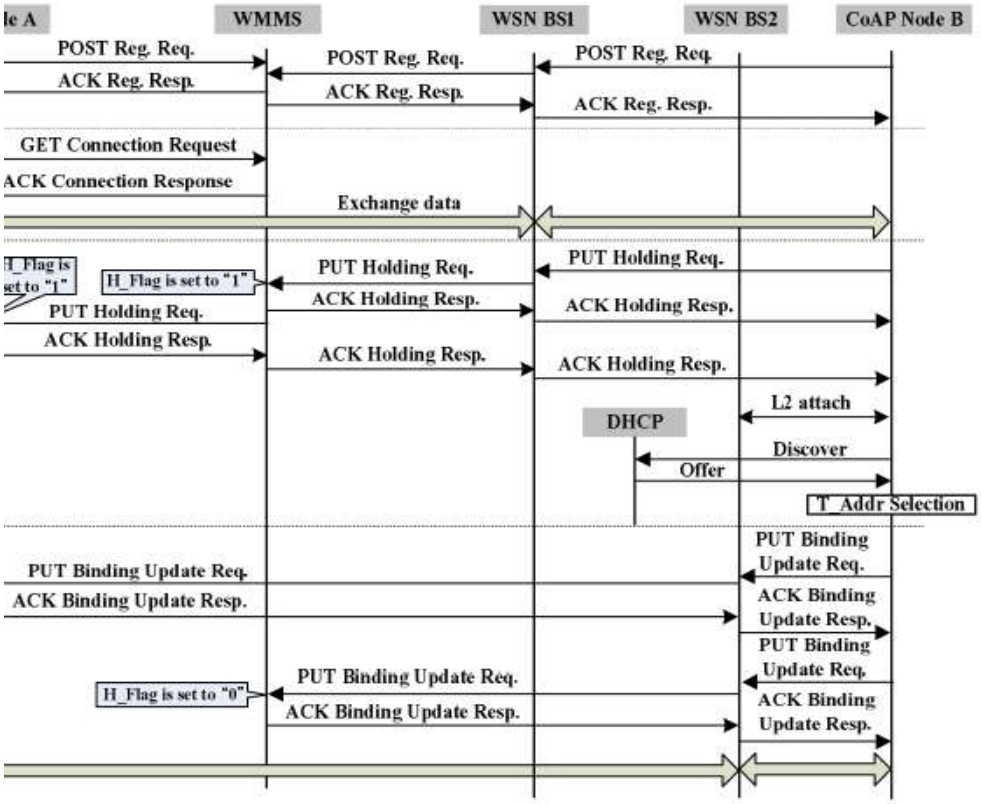


الشكل 5: بنية إدارة التنقل باستخدام CoMP [9]

تتكون مكونات البنية من CoAP server وclient nodes ونظام إدارة الحركية لويب الأشياء WoT Mobility Management System (WMMS) وجدول إدارة الحركية Mobility Management Table (MMT)، تحتفظ WMMS بمعلومات عنوان الموقع في MMT لتتبع موقع العقدة المتنقلة. ويتم استخدام أساليب GET وPOST وPUT وDELETE في طبقة CoAP

Request/Response من أجل توفير وظائف إدارة الحركية والتنقل. وتحتوي عقدة CoAP على ذاكرة تخزين مؤقت للربط المحلي (LBC) local binding cache، والتي تتضمن P_Addr و T_Addr و Lifetime و H_Flag وهي نفسها لتلك الموجودة في جدول إدارة الحركية MMT، حيث يشير P_Addr الى عنوان IP الدائم للعقدة، و T_Addr الى عنوان IP المؤقت للعقدة، و H_Flag إلى حالة تسليم العقدة فإذا كان H_Flag هو "1" ، فهذا يشير إلى أن العقدة لا تزال تؤدي عملية التسليم. ويشير Lifetime الى زمن ربط P_Addr مع T_Addr.

يوضح الشكل (6) إجراءات إدارة التنقل الخاصة بـ CoMP.



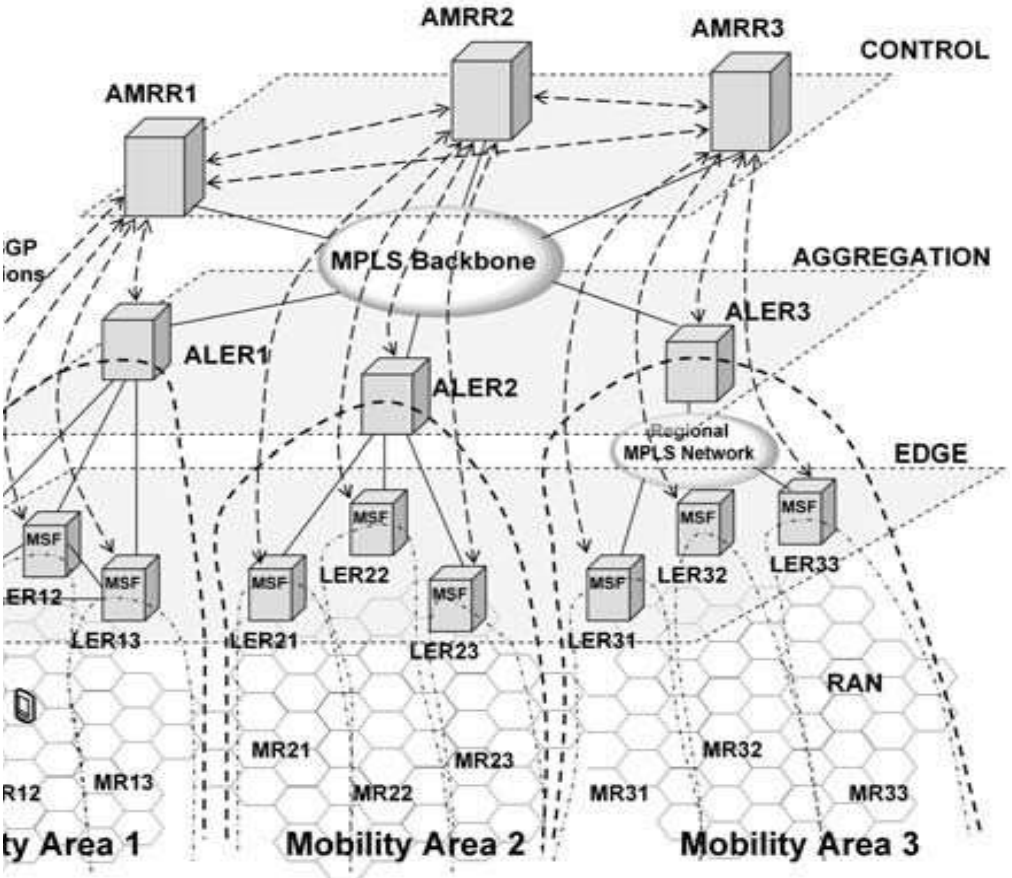
الشكل 6: إجراءات إدارة التنقل الخاصة بـ CoMP [9]

تقوم كل من العقدة A وB بتسجيل عنوانها الدائم P_Addr وLifetime في جدول إدارة الحركية MMT الموجود في WMMS من خلال تبادل رسالة طلب تسجيل POST والاستجابة ACK، بفرض ان العقدة B انتقلت من BS1 إلى BS2وذلك يتطلب عملية تسليمIP. ترسل العقدة B رسالة طلب تعليق PUT إلى WMMS للاحتفاظ برسائل الطلب من العقد الأخرى (من أجل منع ضياع الحزمة)، تقوم WMMS بتحديث H_Flag للعقدة B في MMT إلى القيمة "1". وتقوم WMMS بعد ذلك بإرسال رسالة طلب PUT إلى العقدة A، ثم تقوم العقدة A بتحديث H_Flag في LBC إلى القيمة "1". استجابةً لذلك ترسل العقدة A رسالة ACK إلى WMMS، ومن ثم تقوم العقدة B بقطع الاتصال معBS1 والاتصال مع BS2 واسترداد عنوان مؤقت T_Addr جديدة عبر خادم DHCP، ثم ترسل العقدة B رسالة طلب تحديث PUT إلى كل من WMMS والعقدة A من خلالBS2، لكي يتم تحديث T_Addr وLifetime في MTT وLBC وكما يتم تعيين قيمة H_Flag الى القيمة "0" والتي تدل على اكتمال عملية التسليم.

6. MLBN [11]

يعتبر بروتوكول الشبكة المعتمدة على ملصق التنقل نظام لإدارة الحركية والتنقل على مستوى طبقة الشبكة والمستقل تماماً عن بروتوكول Mobile IP، لا يحتاج هذا البروتوكول الى وكيل محلي HA أو عنوان مؤقت CoA أو أنفاق Tunneling، حيث تعامل المضيفين المسجلين أو أجهزة التوجيه على أنها عقد متنقلة. يهدف هذا البروتوكول الى دمج مستوى التحكم في التنقل على مستوى الطبقة الثالثة مع نظام التوجيه MPLS من أجل تحقيق التسليم الأمثل وتجنب أوجه القصور في الحلول المعتمدة على بروتوكول الإنترنت المتنقل Mobile IP. ويتم تحقيق ذلك باستخدام ملصق التنقل(ML) Mobility Label لتمثيل الموقع

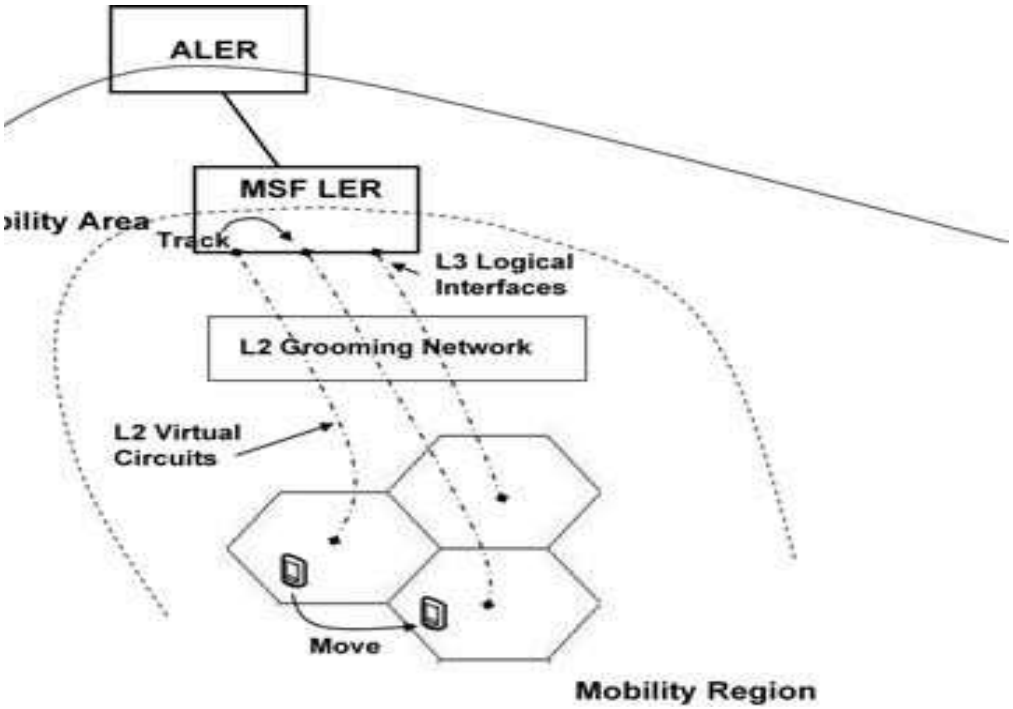
الحالي للعقدة المتنقلة في الشبكة. ترتبط ملصقات التنقل بعناوين IP للعقد المتنقلة أو بادئات IP التي تقدمها أجهزة التوجيه المتنقلة وذلك لتشكيل روابط التنقل Mobility Bindings (MB). من الناحية المعمارية يتبع MLBN بنية MPLS الكلاسيكية والتي أهم مكوناتها هي:[1] -Label Edge Router (LER) والتي هي عقدة حافة في MLBN. يتصل LER بـ RAN باستخدام شبكة L2 grooming، وتنفذ LER وظيفة دعم التنقل (MSF). [2]-Router-ID (RID) وهو عنوان IP يعرّف بشكل فريد لعقدة في MLBN. [3]- Mobility Support Function (MSF) وظيفة دعم التنقل-مجموعة من العمليات المنفذة في LER والمسؤولة عن تسجيل الجهاز المتنقل (المضيف أو الموجه)، وتخصيص ملصق التنقل، وإنشاء رابط التنقل وتوزيعه باستخدام تحديث الشبكة. [4]- Area LER (ALER)-عقدة تجميع MPLS التي تنفذ MSF وتشارك في إعادة توجيه الحزمة. [5]-Area Mobility Route Reflector (AMRR)-عاكس مسار التنقل يخدم منطقة التنقل. لا تشارك AMRR في إعادة توجيه الحزمة وتؤدي وظائف مستوى التحكم (signaling). تتعامل جميع أجهزة LERs MSF في منطقة التنقل بالإضافة إلى ALER مباشرة معAMRR. [6]-Mobility Region (MR)- مجموعة من خلايا RAN التي يخدمها MSF واحد مقيم في عقدة LER. [7]- Mobility Area-مجموعة من مناطق التنقل MR مجمعة بواسطة Area LER (ALER). [8]- (ML) Mobility Label-ملصق MPLS مرتبط ببادئة العقدة. يتم تخصيص ملصقات التنقل بواسطة LERs واستخدامها كعناوين داخلية. [9]- (LML) Local Mobility Label-مهم محليًا عند LER أو ALER معين. [10]- (CML) Current Mobility Label-مرتبط ببادئة عنوان العقدة ويحدد معلومات RAN المحددة للوصول إلى العقدة. قد يتغير CML مع تنقل العقدة، بينما قد يظل LML المرتبط به دون تغيير. يوضح الشكل (7) بنية MLBN المفترضة.



الشكل 7: بنية MLBN المفترضة [11]

يشار إلى عمليات التسليم بين شبكات RAN المختلفة في نفس منطقة التنقل MR على أنها عمليات تسليم MSF–Local ولا تؤدي إلى إجراءات الاكتشاف والتسجيل الجديدة أو تحديث الشبكة باستخدام معلومات ملصق التنقل الجديدة. يقوم MSF في LER "بتتبع tracks " العقدة المتنقلة من خلال ملاحظة أن الحزم على الوصلة المصدر الخاصة بالعقدة المتنقلة وعناوين IP بدأت في الوصول إلى واجهة منطقية مختلفة مرتبطة بخلية أو مجموعة RAN الجديدة. ويقوم MSF بعد ذلك بتحديث جدول الارتباط المحلي في LER بمعرف واجهة الطبقة 3 الجديد للعقدة المتنقلة. إذا انتقلت العقدة المتنقلة إلى RAN بخصائص مختلفة للطبقة الثانية من RAN الأصلي، فقد تقوم MSF بتحديث سجل الارتباط المحلي بالمعلومات المحددة

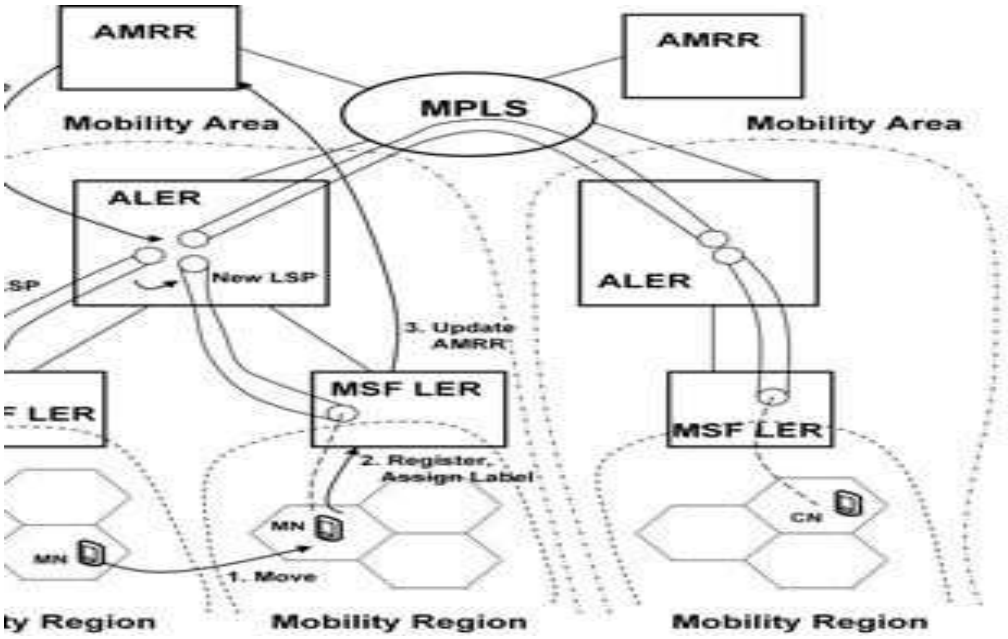
للطبقة الثانية (مثل التغليف ورؤوس طبقة الارتباط). وهذا موضح في الشكل(8) حيث انه في هذا النوع من التسليم ملصق التنقل الخاصة بالعقدة المتنقلة لا يتغير ولا يوجد حاجة لتحديث ربط التنقل.



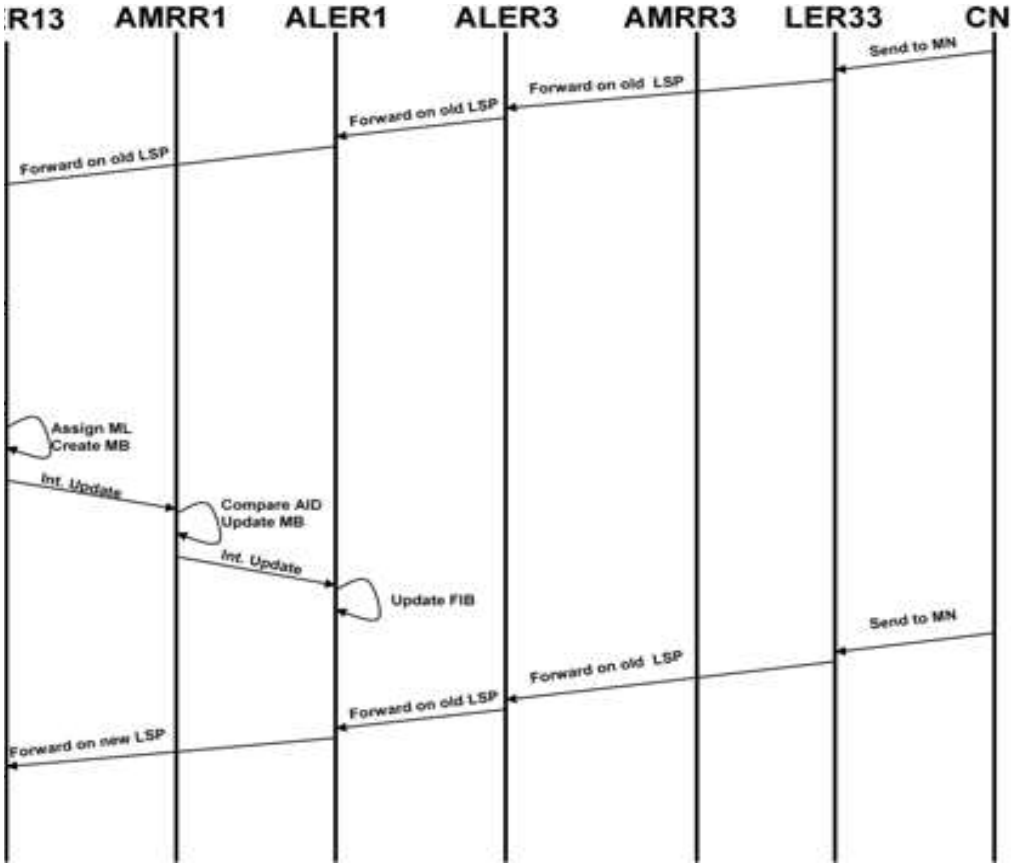
الشكل 8: عملية التسليم MSF–Local [11]

ويشار إلى عمليات التسليم بين مناطق التنقل MR باسم عمليات التسليم المشتركة بين Inter–MSF. يعد التنقل بين مناطق التنقل MR داخل نفس منطقة AR مثالاً أيضًا علىmicro–mobility حيث لا يلزم تحديث الشبكة خارج المنطقة area. وبعبارة أخرى تنتقل العقدة المتنقلة من التحكم في MSF في LER إلى آخر مع توصيل كل منهما بنفس ALER. قد تختلف تقنية RAN في MR الجديد عن تلك الموجودة في MR القديم وفي هذه الحالة قد تختلف أيضًا عنونة طبقة الارتباط. لذلك يُفترض عمومًا أن العقدة المتنقلة ستحتاج إلى تنفيذ إجراء اكتشاف وتسجيل

جديد مع MSF الجديد. بهذه الحالة يبدأ MN التسجيل مع MSF الجديد في LER، والذي يقوم بتحديث AMRR بربط التنقل لـ MN بما في ذلك ملصق التنقل الجديد وقيمة معرف المنطقة المستلمة من MN باستخدام التحديث الداخلي. يقرأ AMRR قيمة معرف المنطقة ويقارنها بآخر معرف منطقة مسجل لـ MN. إذا كانت القيم هي نفسها فإن AMRR يعكس ربط التنقل MB الى ALER دون إجراء تحديث آخر تجاه عقد AMRR النظيرة الأخرى. يتلقى ALER التحديث الداخلي ويقوم بدوره بتحديث سجل تتبع الملصق لـ MN في FIB الخاص به. لا يقوم ALER بتنفيذ التحديث الخارجي لـ AMRR نظرًا لوجود رابط التنقل لـ MN مسبقاً. يوضح الشكل (9) تنقل العقدة المتنقلة بين عقد Inter–MSF، ويوضح الشكل (10) عملية التسليم Inter–MSF.



الشكل 9: تنقل العقدة المتنقلة بين عقد Inter–MSF [11]



الشكل 10: عملية التسليم Inter-MSF.[11]

يوضح الجدول (1) مقارنة تحليلية بين بروتوكولات إدارة الحركية والتنقل المدروسة

Characteristics	Mobility Protocols				
	MIPv4	MIPv6	FMIPv6	CoMP	MLBN
Date	2002	2004	2005	2015	2021
Scalability	No	Yes	Limited	Yes	Yes
Router	No	Support	Support	No	No

optimisation		ed	ed		
QoS	No	(partial)	(partial)	(partial)	(partial)
Additional infrastructure	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Packet reordering	No	No	Yes	No	No
Handover Type	Reactive	Reactive	Reactive / Proactive	Reactive	Reactive / Proactive
Mobility Scope	Global	Global	Global/ Local	Global	Global/ Local
Handover	Long	Long	Moderate	Long	Low
Mobility Class	Host based	Host based	Host based	Hybrid	Network based
MN Modification	High	High	High	High	Low
Power	High	High	High	Low	High
DAD	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

الجدول (1) مقارنة تحليلية بين بروتوكولات إدارة الحركية والتنقل المدروسة

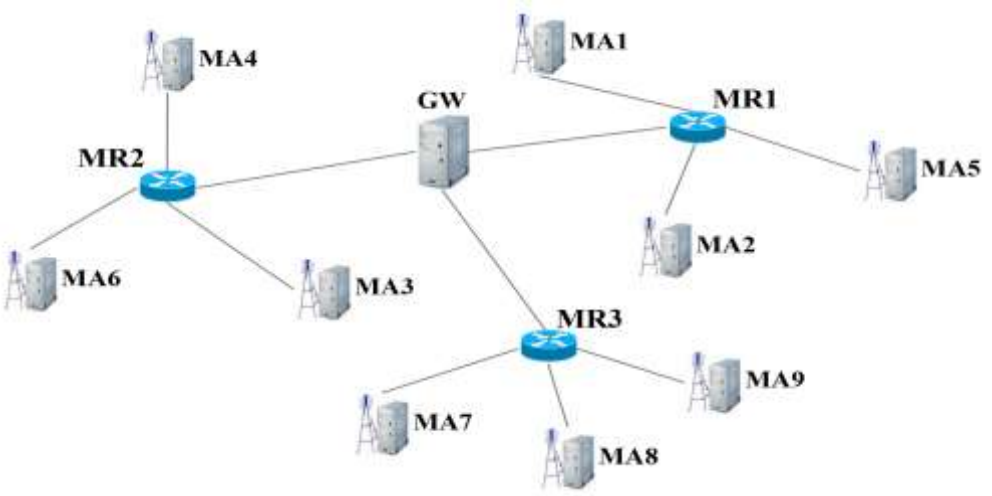
5. النموذج الرياضي

يمكن إجراء التحليلات للحلول المقدّمة لإدارة الحركية باستخدام النماذج الرياضية، المحاكاة، أو التشغيل الفعلي. تستغرق محاكاة أو تحقيق البروتوكولات عادةً زمناً طويلاً، لكنها على أية حالٍ تعطي نتائج مفصّلة ودقيقة، بينما يمكن تطوير النماذج الرياضية بسرعةٍ لتعطي تقييماً جيداً للأداء. يتمّ تعيين المتحولات للنموذج الرياضي العام تبعاً لمواصفات وخصائص البروتوكولات المستخدمة، بنية الشبكة وسيناريوهات الحركة (mobility scenarios)، أما تحليل الأداء فيتمّ تبعاً لزمن التسليم الوسطي (average handoff latency) مع أخذ حذف رسائل التحكم بعين الاعتبار. من المفترض أنّ جميع عقد الحركية تتحرك ضمن مجالٍ واحد. تقوم كلّ عقدة بتوفير اتصال (IP−connectivity) ضمن المجال مشكّلة بدورها عقدة العميل التي تدعم الحركية ((Mobility Agent (MA)، على سبيل المثال (FA،AR ،MAG). تكون العقدة المتنقلة غير قادرة على إرسال أو استقبال الرزم خلال التسليم (handover)، وفي حال تمّ حذف رسالة التحكم فإنّ قيمة المؤقت T_{timer} سوف تتضاعف. تعرّف رسالة التحديث (update message) بأنّها رسالة التحكم التي يتمّ إرسالها من أجل تعديل معلومات ربط الحركية (mobility binding). ومن المفترض أنّ جميع التأخيرات التي تعانيها الرزمة ضمن عناصر شبكة والوصلات مختلفة (links) تكون محددة.[3]

وخلال هذه الدراسة التحليلية، تمّ افتراض دفقين تابعين للبروتوكول (UDP) بمعدل بتّ ثابت (constant bit rate UDP streams). الدفق الأول هو عبارة عن دفق هابط تابع للبروتوكول (UDP) (downlink UDP stream) يتمّ توليده من قبل شريك الاتصال (CN) وتوجيهه إلى العقدة المتنقلة، أمّا الدفق الثاني فهو عبارة عن دفق وصلة صاعدة تابعة للبروتوكول (UDP) مرسل من قبل العقدة المتنقلة (MN)وموجّه إلى شريك الاتصال (CN).[3]

5.1. نمذجة بنية الشبكة

يمتلك كلّ نطاق أو مجال في النموذج المقترح بوابة افتراضية واحدة (GW)، ويفترض أن مجموعة عقد العملاء (Ma_s) المؤلفة من (ν) عقدة يتمّ التحكم بها من قبل مجموعة الموجهات (MR_s) التي تدعم الحركية(ϑ) والموجودة ضمن نفس المجال يوضح الشكل(11) بنية الشبكة المقترحة من أجل $\nu=3$ و $z=9$ و $\vartheta=3$. ويعرف جهاز التوجيه المشترك (crossover router) بأنّه العقدة التي تشترك بالمسار بين البوابة (GW) وعقدة العميل القديمة(MA) وكذلك تشترك بالمسار بين البوابة وعقدة العميل الجديدة.



شكل 11: بنية الشبكة المقترحة

يمكن حساب المسافات بين عقدة العميل الحالية والموجه الذي يدعم الحركية MR والبوابة وعقدة العميل القديمة أو عقدة محددة ببساطة من خلال عدد القفزات hops بالاعتماد على المسار الأقصر. نطلق على العقدة التي يجب تحديث معلومات ربط الحركية عندها اسم عقدة تحديث معلومات الربط Binding Update

node

(*BUnode*). ويشار إلى أي عقدة يتمّ اختيارها لتكون*BUnode* ومختلفة عن المخدم الأساسي للعقدة المتنقلة (HA) وموجه دعم الحركية (MR) وعقد العميل القديمة والجديدة بالنقطة المرجعية (*ANP*) Anchor Point. أي عقدة قادرة على استيعاب الحركية ومختلفة عن HA، GW، MR، وكلّ من MA الجديدة والقديمة و *ANP* يشار إليها بالعقدة الوسيطة (*InNode*) Intermediate Node.[3]

نفرض أنّ المتحولات الخاصة ببنية الشبكة المقترحة موضحة في الجدول (1).

جدول 2: المتحولات الخاصة ببنية الشبكة المفترضة.

δ_D	δ_s	ρ	τ_2	$D_{GW,HA}$	$D_{GW,CN}$	$D_{CN,HA}$	$\overline{D}_{MA,GW}$ $\overline{D}_{newMA,oldMA}$	$\overline{D}_{MA,MR}$
0.05	0.5	10	5msec	5hops	4 hops	3hops	3 hops	2hops	1.5hops

تعتمد قيمة τ_1 على تقنية الوصول الراديوية، فعلى سبيل المثال تمتلك الشبكة اللاسلكية تقنية وصول راديوية سريعة، وبالتالي تكون τ_1 مساوية لـ2 msec . وبالعكس فإنّ GSM وUMTS تمتلك تقنيات وصول راديوية أبطأ، بقيمة 80 msec من أجل UMTS و150 msec من أجل GSM.

5.2. زمن التسليم

يمكن وصف زمن التسليم **handoff latency** رياضياً كما في المعادلة (1)[3]، وذلك بحالة عدم ضياع رسالة التحديث **update message** خلال طريقها إلى العقدة $BUnode$

$$T_{BUnode} = \Delta t + k_1 * t_{MN,MA} + k_2 * t_{currentMA,BUnode} + k_1^{'} * a_{MA} + k_2^{'} * a_{BUnode} + k_3^{'} * ni * a_{InNode} + \gamma \quad (1)$$

في حال ضياع رسالة التحديث **update message** خلال طريقها إلى العقدة $BUnode$، يتمّ اشتقاق زمن التسليم من المعادلة (2).[3]

$$T_{BUnode} = \Delta t + k_1 * t_{MN,MA} + k_2 * t_{currentMA,BUnode} + k_1^{'} * a_{MA} + k_2^{'} * a_{BUnode} + k_3^{'} * ni * a_{InNode} + \gamma + \sum_{i=2}^{S} 2^{(i-2)} * T_{timer} \quad (2)$$

حيث تمثل k_1 عدد الرسائل المتبادلة على الوصلة اللاسلكية خلال التسليم، أما k_2 فتمثل عدد الرسائل المتبادلة بين عقدة العميل الحالية والعقدة $BUnode$ على الوصلة السلكية. تشير القيم $k_1^{'}$ و $k_2^{'}$ و $k_3^{'}$ إلى عدد مرات معالجة رسالة التحديث ضمن العقد العملاء (**MA**) الحالية، $BUnode$ و $InNode$ على التتالي. يمثل المتحول ni عدد العقد الوسيطة. ويمثل المتغير a_x زمن معالجة الرسالة ضمن العقدة **x**، وتشير Δt إلى زمن اكتشاف الانتقال. يكون المتحول $t_{currentMA,BUnode}$ مساوٍ إلى $\tau_2 * D_{currentMA,\ BUnode}$ في حال كان التأخير الحاصل على الوصلة بين كل قفزتين متتاليتين داخل وخارج النطاق هو نفسه، بينما يساوي المتحول $t_{MN,MA}$ إلى قيمة τ_1.

تمثل γ الزمن الإضافي المطلوب من أجل بروتوكول حركية محدد مثل زمن التوثيق authentication time، التشكيل التلقائي للعنوان address auto-configuration، رسائل التحفيز solicitation، تختلف γ من بروتوكول إلى آخر وقد تكون قيمتها غير ثابتة، كما يمكن أيضاً حسابها من معادلة خاصة ببروتوكول محدد. نفترض بأن العقدة المتنقلة تستقبل رسالة إعلان من عقدة العميل الجديدة وتتبادل رسائل الإعلام والتحفيز خلال الفترة المحددة ضمن منطقة التداخل وهذا يعني أنّ زمن كشف الانتقال أو الحركية(Δt) مساوٍ إلى الصفر، وتمّ إسناد القيمة 4 ميلي ثانية إلى γ من أجل التعبير عن التأخير الناتج عن WAN، والسبب في ذلك أنّ رزم المعطيات بالإضافة إلى رسائل التحكم يجب أن تتمّ معالجتها أولاً ضمن جهاز التوجيه الذي ينفذ WAN قبل المرور إلى WAN بحدّ ذاتها. وفي حال ضياع رسالة التحديث تسند القيمة $2*RTT$ إلى T_{timer} حيث أنّ RTT (round trip time) هو عبارة عن زمن التداول بين العقدة المتنقلة و $BUnode$ والموضح بالمعادلة(4). ويعرف المتغير T_{timer} بأنه القيمة البدائية للمؤقت الزمني عند إرسال رسالة التحكم ريثما يتمّ تلقي استجابة عليها والموضح بالمعادلة (3). ويمثل المتغير s عدد مرات إرسال رسالة تحكم محددة.[3]

$T_{timer} = 2 * RTT$	(3)
$RTT = \tau_1 + \tau_2 * D_{MA,BUnode}$	(4)

6. تطبيق النموذج الرياضي العام على البروتوكولات

6.1. البروتوكول MIPv4

يتم الاتصال دوماً مع المخدم الأساسي HA الذي يمثل$BUnode$ ، تتمّ معالجة الانتقالات (mobility) فقط ضمن العقد العملاء (MAs) والمخدم الأساسي(HA)، إذ لا توجد عقد وسيطة$InNodes$. خلال عملية التسليم يتم الاتصال من خلال $New-MA$ والتي تمثل $Current-MA$. يوضح الجدول (3) قيم المتحولات المطلوبة لحساب زمن التسليم.

جدول 3: المتحولات المطلوبة من أجل حساب الزمن T_{HA} التابع للبروتوكول(MIPv4).

Δt	k_1	k_2	$k_1^{'}$	$k_2^{'}$	$k_3^{'}$	a_{MA}	a_{BUnode}	a_{InNode}	ni	γ
0	2	2	2	1	0	0.1 msec	0.5 msec	0	0	4 msec

حساب زمن التسليم يتم بتطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (3) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (1)

$$T_{BUnode} = \Delta t + k_1 * t_{MN,MA} + k_2 * t_{currentMA,BUnode} + k_1^{'} * a_{MA} + k_2^{'} * a_{BUnode} + k_3^{'} * ni * a_{InNode} + \gamma$$

حيث:

$$t_{MN,MA} = \tau_1 = 2m\sec$$

$$t_{currentMA,BUnode} = \tau_2 * D_{currentMA,\ BUnode} = \tau_2 * (\overline{D}_{MA,GW} + D_{GW,HA}) = \quad 5*(3+5) =$$

$40m\sec$

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (2*40) + (2*0.1) + (1*0.5) + 0 + 4 = 88.7 m\sec$$

بحالة ضياع رسالة التحكم مرة واحدة يتم تطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (3) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (2):

$$T_{BUnode} = \Delta t + k_1 * t_{MN,MA} + k_2 * t_{currentMA,BUnode} + k_1^{'} * a_{MA} + k_2^{'} * a_{BUnode} + k_3^{'} * ni * a_{InNode} + \gamma + \sum_{i=2}^{S} 2^{(i-2)} * T_{timer}$$

حيث:

$s = 2$ ، $RTT = \tau_1 + \tau_2 * D_{MA,BUnode} = 2 + 5*8 = 42 m\sec$ ، $T_{timer} = 2 * RTT$ ،

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (2*40) + (2*0.1) + (1*0.5) + 0 + 4 + (2*42) = 172.7 m\sec$$

6.2. توسعة التوجيه الأمثل لبروتوكول MIPv4

بشكل مشابه لبروتوكول MIPv4يتم الاتصال دوماً مع المخدم الأساسي HA الذي يمثل$BUnode$ ، تتمّ معالجة الانتقالات (mobility) فقط ضمن العقد العملاء (MAs) والمخدم الأساسي(HA)، إذ لا توجد عقد وسيطة$InNodes$. خلال عملية التسليم يتم الاتصال من خلال $New-MA$ والتي تمثل $Current-MA$. ولكن يتم إرسال رسالة تحذير ارتباط على الوصلة السلكية مما يؤدي الى زيادة عدد الرسائل المتبادلة. يوضح الجدول (4) قيم المتحولات المطلوبة لحساب زمن التسليم.

جدول 4: المتحولات المطلوبة من أجل حساب الزمن التابع لتوسعة التوجيه الأمثل لبروتوكول(MIPv4).

Δt	k_1	k_2	$k_1^{'}$	$k_2^{'}$	$k_3^{'}$	a_{MA}	a_{BUnode}	a_{InNode}	ni	γ
0	**2**	**3**	**2**	**2**	**0**	**0.1 msec**	**0.5 msec**	**0**	**0**	**4 msec**

حساب زمن التسليم يتم بتطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (4) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (1) حيث:

$$t_{MN,MA} = \tau_1 = 2m\sec$$

$$t_{currentMA,BUnode} = \tau_2 * D_{currentMA,\ BUnode} = \tau_2 * (\overline{D}_{MA,GW} + D_{GW,HA}) = \quad 5*(3+5) =$$

$$40m\sec$$

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (3*40) + (2*0.1) + (2*0.5) + 0 + 4 = 89.2m\sec$$

بحالة ضياع رسالة التحكم مرة واحدة يتم تطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (4) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (2):

$$s = 2\ RTT = \tau_1 + \tau_2 * D_{MA,BUnode} = 2 + 5*8 = 42m\sec \text{ ، } T_{timer} = 2*RTT \text{ ،}$$

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (3*40) + (2*0.1) + (2*0.5) + 0 + 4 + (2*42) = 173.2m\sec$$

6.3. بروتوكول MIPv6–التوجيه المثلثي

بشكل مشابه لبروتوكول MIPv4 يتم الاتصال دوماً مع المخدم الأساسي HA الذي يمثل$BUnode$ ، تتمّ معالجة الانتقالات (mobility) فقط ضمن المخدم الأساسي(HA)، إذ لا توجد عقد وسيطة$InNodes$. وتكون a_{MA} الذي يكون مساوٍ إلى الصفر بسبب عدم الحاجة إلى دعم الحركية ضمن العقد العملاء، و γ المساوية

إلى $4+\Delta_{Auto-Conf}+\Delta_{DAD}$ حيث تشير كلّ من $\Delta_{Auto-Conf}$ و Δ_{DAD} الى التأخير الناتج من التهيئة التلقائية للعنوان وإجرائية DAD على التتالي. من المعروف أنّ إجرائية DAD تتطلب كمية كبيرة من الوقت من أجل إتمامها، توجد عدة طرق مقترحة من أجل إنقاص الوقت المستنفذ من قبل هذه الإجرائية، في هذه الدراسة التحليلية تمّ افتراض طريقة التهيئة التلقائية للعنوان المستقلة عن الحالة، وافترض أن الزمن $\Delta_{Auto-Conf}+\Delta_{DAD}$ يساوي إلى 50 msec. خلال عملية التسليم يتم الاتصال من خلال $New-MA$ والتي تمثل $Current-MA$. يوضح الجدول (5) قيم المتحولات المطلوبة لحساب زمن التسليم.

جدول 5: المتحولات المطلوبة من أجل حساب الزمن T_{HA} التابع لبروتوكول(MIPv6) – التوجيه المثلثي.

Δt	k_1	k_2	$k_1^{'}$	$k_2^{'}$	$k_3^{'}$	a_{MA}	a_{BUnode}	a_{InNode}	ni	γ
0	**2**	**2**	**2**	**1**	**0**	**0**	**0.5 msec**	**0**	**0**	**54 msec**

حساب زمن التسليم يتم بتطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (5) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (1) حيث:

$$t_{MN,MA}=\tau_1=2m\sec$$

$$t_{currentMA,BUnode}=\tau_2*D_{currentMA,BUnode}=\tau_2*\left(\overline{D}_{MA,GW}+D_{GW,HA}\right)=\quad 5*(3+5)=$$

$$40m\sec$$

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (2*40) + 0 + (1*0.5) + 0 + 54 = 138.5 m\sec$$

بحالة ضياع رسالة التحكم مرة واحدة يتم تطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (5) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (2):

$$s = 2\ RTT = \tau_1 + \tau_2 * D_{MA,BUnode} = 2 + 5*8 = 42 m\sec \text{ ، } T_{timer} = 2*RTT \text{ ،}$$

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (2*40) + 0 + (1*0.5) + 0 + 54 + (2*42) = 222.5 m\sec$$

6.4. بروتوكول MIPv6–التوجيه الأمثلي

بحالة التوجيه الأمثلي لبروتوكول MIPv6 يتم الاتصال مع شريك الاتصال CN الذي يمثل $BUnode$ ، تتمّ معالجة الانتقالات (mobility) فقط ضمن شريك الاتصال CN، إذ لا توجد عقد وسيطة $InNodes$. وبشكل مشابه للتوجيه المثلثي تكون a_{MA} الذي يكون مساوٍ إلى الصفر بسبب عدم الحاجة إلى دعم الحركية ضمن العقد العملاء، و γ المساوية إلى $4 + \Delta_{Auto-Conf} + \Delta_{DAD}$ وتساوي 54 msec، خلال عملية التسليم يتم الاتصال من خلال $New-MA$ والتي تمثل $Current-MA$. يوضح الجدول (6) قيم المتحولات المطلوبة لحساب زمن التسليم.

جدول 6: المتحولات المطلوبة من أجل حساب الزمن T_{HA} التابع لبروتوكول(MIPv6) –التوجيه الأمثلي.

Δt	k_1	k_2	k_1'	k_2'	k_3'	a_{MA}	a_{BUnode}	a_{InNode}	ni	γ
0	**2**	**2**	**2**	**1**	**0**	**0**	**0.5 msec**	**0**	**0**	**54 msec**

حساب زمن التسليم يتم بتطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (6) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (1) حيث:

$$t_{MN,MA} = \tau_1 = 2m\sec$$

$$t_{currentMA,BUnode} = \tau_2 * D_{currentMA,\ BUnode} = \tau_2 * (\overline{D}_{MA,GW} + D_{GW,CN}) = \quad 5*(3+4) =$$

$$35m\sec$$

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (2*35) + 0 + (1*0.5) + 0 + 54 = 128.5m\sec$$

بحالة ضياع رسالة التحكم مرة واحدة يتم تطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (6) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (2):

$$s = 2\ RTT = \tau_1 + \tau_2 * D_{MA,BUnode} = 2 + 5*7 = 37m\sec \text{ ، } T_{timer} = 2*RTT \text{ ،}$$

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (2*35) + 0 + (1*0.5) + 0 + 54 + (2*37) = 165.5m\sec$$

6.5. بروتوكول FMIPv6

في بروتوكول FMIPv6 يتم الاتصال مع عقدة العميل الجديدة والتي تمثل $BUnode$ **، تتمّ معالجة الانتقالات (mobility) فقط ضمن عقدة العميل الجديدة والقديمة، إذ لا توجد عقد وسيطة** $InNodes$ **. وبشكل مشابه لبروتوكول MIPv6 تكون** γ **المساوية إلى** $4 + \Delta_{Auto-Conf} + \Delta_{DAD}$ **وتساوي 54 msec، خلال عملية التسليم يتم الاتصال من خلال** $old-MA$ **والتي تمثل** $Current-MA$ **. يوضح الجدول (7) قيم المتحولات المطلوبة لحساب زمن التسليم.**

جدول 6: المتحولات المطلوبة من أجل حساب الزمن T_{HA} التابع لبروتوكول(MIPv6) –التوجيه الأمثلي.

Δt	k_1	k_2	$k_1^{'}$	$k_2^{'}$	$k_3^{'}$	a_{MA}	a_{BUnode}	a_{InNode}	ni	γ
0	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**0.1 msec**	**0.1 msec**	**0**	**0**	**54 msec**

ء

حساب زمن التسليم يتم بتطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (7) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (1) حيث:

$$t_{MN,MA} = \tau_1 = 2m\sec$$

$$t_{currentMA,BUnode} = \tau_2 * D_{currentMA,\ BUnode} = \tau_2 * \left(\overline{D}_{old-MA,New-MA}\right) = 5*2 = 10m\sec$$

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (2*10) + (2*0.1) + (1*0.1) + 0 + 54 = 78.3m\sec$$

بحالة ضياع رسالة التحكم مرة واحدة يتم تطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (7) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (2):

$$s = 2\ RTT = \tau_1 + \tau_2 * D_{MA,BUnode} = 2 + 5*2 = 12m\sec \text{ ، } T_{timer} = 2*RTT \text{ ،}$$

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (2*10) + (2*0.1) + (1*0.1) + 0 + 54 + (2*12) = 102.3m\sec$$

6.6. بروتوكول CoMP

في بروتوكول CoMP يتم الاتصال مع عقدة WMMs الموجودة في البوابة GW والتي تمثل $BUnode$ ، تتمّ معالجة الانتقالات (mobility) فقط ضمن WMMs وشريك الاتصال CN، إذ لا توجد عقد وسيطة $InNodes$ وكذلك تكون a_{MA} مساوية إلى الصفر بسبب عدم الحاجة إلى دعم الحركية ضمن العقد العملاء. وتبعاً لبروتوكول CoMP تكون γ ناتجة عن التأخير الإضافي الناجم من تبادل الرسائل مع شريك الاتصال والبوابة عند ملاحظة ضعف إشارة عقدة العميل القديمة وتساوي 100 msec، خلال عملية التسليم يتم الاتصال من خلال $New-MA$ والتي تمثل $Current-MA$. يوضح الجدول (8) قيم المتحولات المطلوبة لحساب زمن التسليم.

جدول 8: المتحولات المطلوبة من أجل حساب الزمن T_{HA} التابع لبروتوكول(CoMP)

γ	ni	a_{InNode}	a_{BUnode}	a_{MA}	$k_3^{'}$	$k_2^{'}$	$k_1^{'}$	k_2	k_1	Δt
100 msec	0	0	0.5 msec	0	0	2	0	4	4	0

حساب زمن التسليم يتم بتطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (8) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (1) حيث:

$$t_{MN,MA} = \tau_1 = 2m\sec$$

$$t_{currentMA,BUnode} = \tau_2 * D_{currentMA,\ BUnode} = \tau_2 * (\overline{D}_{New-MA,GW}) = 5*3 = 15msec$$

$$T_{BUnode} = 0 + (4*2) + (4*15) + 0 + (2*0.5) + 0 + 100 = 169msec$$

بحالة ضياع رسالة التحكم مرة واحدة يتم تطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (8) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (2):

$$s = 2\ RTT = \tau_1 + \tau_2 * D_{MA,BUnode} = 2 + 5*3 = 17msec \text{ ، } T_{timer} = 2*RTT \text{ ،}$$

$$T_{BUnode} = 0 + (4*2) + (4*15) + 0 + (2*0.5) + 0 + 100 + (2*17) = 203msec$$

6.7. بروتوكول Local-MLBN

في بروتوكول Local-MLBN يقوم LER (يمثل موجه يدعم الحركية MR) بعملية التسليم دون الحاجة الى تبادل رسائل أو تحديث رابط التنقل من خلال تتبع البيانات على الوصلات، يمثل MR عقدة $BUnode$ ، تتمّ معالجة الانتقالات (mobility) فقط ضمن MR، إذ لا توجد عقد وسيطة $InNodes$ وكذلك تكون a_{MA} مساوية إلى الصفر بسبب عدم الحاجة إلى دعم الحركية ضمن العقد العملاء. وتبعاً لبروتوكول MLBN تكون γ ناتجة عن التأخير الإضافي الناجم WAN وتساوي 4 msec، خلال عملية التسليم يتم الاتصال من خلال $New-MA$ والتي تمثل $Current-MA$. يوضح الجدول (9) قيم المتحولات المطلوبة لحساب زمن التسليم.

جدول 9: المتحولات المطلوبة من أجل حساب الزمن T_{HA} التابع لبروتوكول(Local-MLBN)

Δt	k_1	k_2	$k_1^{'}$	$k_2^{'}$	$k_3^{'}$	a_{MA}	a_{BUnode}	a_{InNode}	ni	γ
0	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**5**	**0**	**0**	**4**

							msec			msec

حساب زمن التسليم يتم بتطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (9) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (1) حيث:

$$T_{BUnode} = 0 + 0 + 0 + 0 + (1*5) + 0 + 4 = 9m\sec$$

بما انه لا يوجد حاجة لتحديث رابط التنقل فانه بحالة ضياع الرسالة التي يتم تتبعا بواسطة العقدة MR مرة واحدة يتم تطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (9) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (2):

$$s = 2\ RTT = \tau_1 + \tau_2 * D_{MA,BUnode} = 2 + 5*1.5 = 9.5m\sec \text{ ، } T_{timer} = 2*RTT \text{ ،}$$

$$T_{BUnode} = 0 + 0 + 0 + 0 + (1*5) + 0 + 4 + (2*9.5) = 28m\sec$$

6.8. بروتوكول Inter-MLBN

بشكل مشابه لبروتوكول local -MLBN يقوم LER (يمثل موجه يدعم الحركية MR) بعملية التسليم ويمثل MR عقدة $BUnode$ ، تتمّ معالجة الانتقالات (mobility) فقط ضمن MR و AMMR و ALER التي تمثل عقد وسيطة $InNodes$ ، وتكون a_{MA} مساوية إلى الصفر بسبب عدم الحاجة إلى دعم الحركية ضمن العقد العملاء. وتبعاً لبروتوكول MLBN تكون γ ناتجة عن التأخير الإضافي الناجم WAN وتساوي 4 msec، خلال عملية التسليم يتم الاتصال من خلال

$New-MA$ والتي تمثل $Current-MA$. يوضح الجدول (10) قيم المتحولات المطلوبة لحساب زمن التسليم.

جدول 10: المتحولات المطلوبة من أجل حساب الزمن T_{HA} التابع لبروتوكول(inter-MLBN)

Δt	k_1	k_2	$k_1^{'}$	$k_2^{'}$	$k_3^{'}$	a_{MA}	a_{BUnode}	a_{InNode}	ni	γ
0	2	2	2	1	1	0	5 msec	0.5 msec	2	4 msec

حساب زمن التسليم يتم بتطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (10) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (1) حيث:

$$t_{currentMA,BUnode} = \tau_2 * D_{currentMA,\ BUnode} = \tau_2 * \left(\overline{D}_{New-MA,MR}\right) = 5*1.5 = 7.5 m\sec$$

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (2*7.5) + 0 + (1*5) + (1*2*0.5) + 4 = 29 m\sec$$

بحالة ضياع رسالة التحكم مرة واحدة يتم تطبيق قيم المتحولات المذكورة بالجدول (10) والقيم الخاصة بالبنية المقترحة المذكورة بالجدول (2) على المعادلة (2):

$$s = 2\ RTT = \tau_1 + \tau_2 * D_{MA,BUnode} = 2 + 5*1.5 = 9.5 m\sec \text{ ، } T_{timer} = 2*RTT \text{ ،}$$

$$T_{BUnode} = 0 + (2*2) + (2*7.5) + 0 + (1*5) + (1*2*0.5) + 4 + (2*9.5) = 48 m\sec$$

7. مقارنة النتائج

يوضح الجدول (11) النتائج التي تم الحصول عليها نتيجة تطبيق النموذج الرياضي على بروتوكولات أدره الحركية والتنقل المدروسة.

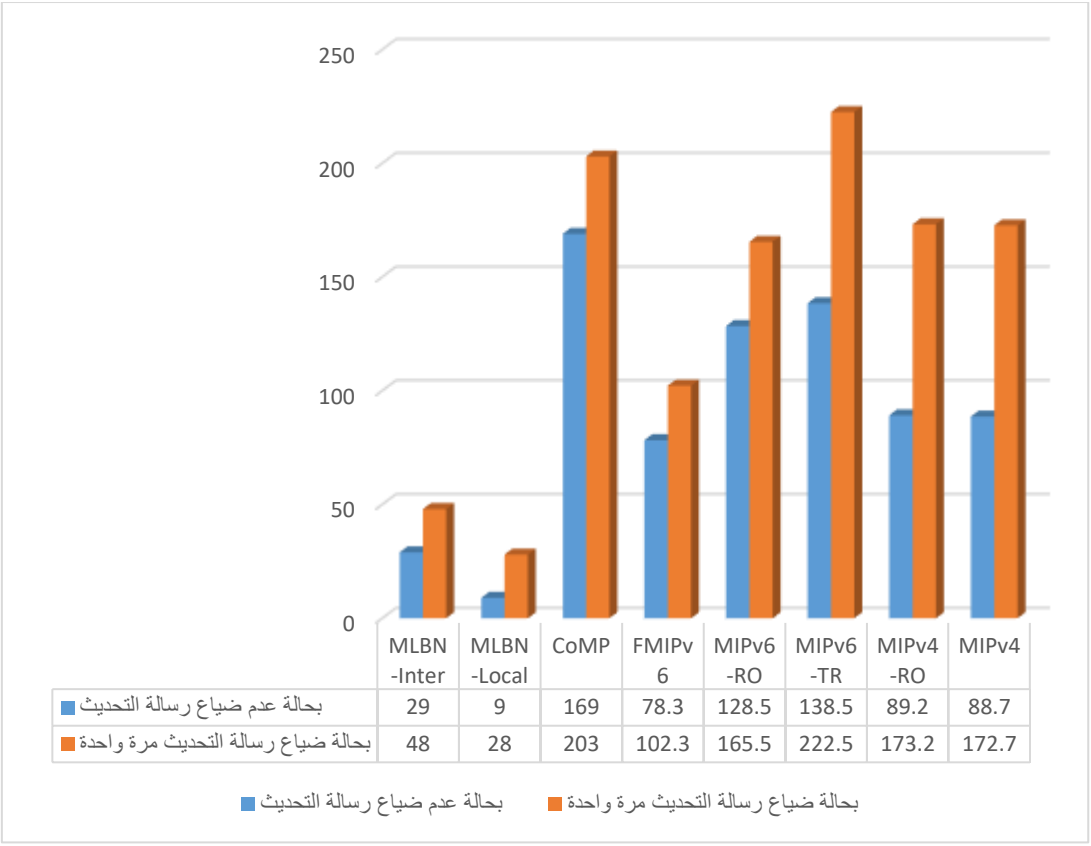
الجدول(11) : مقارنة نتائج تحليل البروتوكولات المدروسة

البروتوكول	زمن التسليم T_{BUnode} (msec)	
	عدم ضياع رسالة التحديث	ضياع رسالة التحديث مره واحده
MIPv4	88.7	172.7
MIPv4\ Route Optimization Extension	89.2	173.2
MIPv6\ triangular routing	138.5	222.5
MIPv6\ route optimization	128.5	165.5
FMIPv6	78.3	102.3
CoMP	169	203
MLBN –Local	9	28

MLBN –Inter	29	48

يظهر الشكل (12) مقارنة النتائج الموضحة بالجدول (11)، وبمناقشة زمن التسليم بحالة عدم ضياع رسالة التحديث. تكون تبعاً للدراسة التحليلية قيمة MLBN– Local أفضل بمعدل 68.9% منMLBN–Inter، وبالمقارنة مع CoMP فإنّ MLBN–Local يكون أفضل بمعدل 94.6%. وأفضل بمعدل 88.5% من بروتوكول FMIPv6. وأفضل بنسبة 99.2% و93.5% بالمقارنة مع بروتوكول MIPv6 بحالة التوجيه الأمثلي والتوجيه المثلثي على الترتيب، وأفضل بنسبة 89.9% بالمقارنة مع توسعة التوجيه الأمثلي لبروتوكول MIPv4، وأفضل بنسبة 89.8% بالمقارنة مع بروتوكول MIPv4، ويمكن تفسير ذلك كون بروتوكول MLBN–Local يقوم بتتبع Tracks العقدة المتنقلة MN دون الحاجة الى تغيير ملصق التنقل Mobility Label (ML) أو تحديث رابط التنقل Mobility Binding (MB)، ولا تحتاج الى إجراءات اكتشاف وتسجيل جديدة وبالتالي يقوم بروتوكول MLBN–Local بتخفيض عدد رسائل التحكم المتبادلة لتنفيذ عملية التسليم للحد الأدنى، وبذلك يتم تخفيض زمن التسليم.

الشكل 12: مقارنة زمن التسليم للبروتوكولات المدروسة بحالة ضياع رسالة التحديث مرة واحدة وبحالة عدم ضياع الرسالة



كما يتفوق بروتوكول MLBN-Local بحالة ضياع رسالة التحديث مرة واحدة على البروتوكولات المدروسة الأخرى، حيث يكون أفضل بمعدل 41.6% من MLBN-Inter، وبالمقارنة مع CoMP فإنّ MLBN-Local يكون أفضل بمعدل 86.2%. وأفضل بمعدل 72.6% من بروتوكول FMIPv6. وأفضل بنسبة 83% و87.4% بالمقارنة مع بروتوكول MIPv6 بحالة التوجيه الأمثلي والتوجيه المثلثي على الترتيب، وأفضل بنسبة 83.3% بالمقارنة مع توسعة التوجيه الأمثلي لبروتوكول MIPv4، وأفضل بنسبة 83.7% بالمقارنة مع بروتوكول MIPv4، هذا يعود إلى فترة المؤقت المستخدم والتي تكون أصغر في حالة MLBN-Local.

8. خلاصة البحث

بناءً على نتائج الدراسة التي تم إجراؤها، يمكن استخلاص النتائج التالية:

1. بروتوكول إدارة الشبكة المعتمدة على ملصق التنقل MLBN يظهر أداءً متميزاً بشكل كبير، حيث انه استطاع تخفيض التأخير النتائج عن عملية التسليم للحد الأدنى تقريباً
2. قدم بروتوكول MLBN حلول جديدة لقابلية توسع شبكة ونظام إدارة فعال.
3. على الرغم من أن أداء بروتوكول CoMP لا يعتبر الأفضل، إلا انه يحقق إمكانية استخدام بروتوكولات ويب الأشياء ودعمها بآليات لإدارة الحركية والتنقل.
4. الأداء المتميز لبروتوكول MLBN يتم على حساب فرض بنية تحتية جديدة مستقلة تماماً عن بروتوكول Mobile IP ومكوناته.

9. التوصيات المستقبلية

تحليل البروتوكولات المدروسة باستخدام بارامترات إضافية، على سبيل المثال عدد الحزم المفقودة والكلفة الكلية لإرسال الحزم، بالإضافة الى تطبيق نماذج حركية مختلفة وبنى شبكة متنوعة.

المراجع العلمية

1. Yassein, M. B., Aljawarneh, S., & Al-Sarayrah, W. (2017, May). Mobility management of Internet of Things: Protocols, challenges and open issues. In 2017 International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS) (pp. 1-8). IEEE.
2. Ghaleb, S. M., Subramaniam, S., Zukarnain, Z. A., & Muhammed, A. (2016). Mobility management for IoT: a survey. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2016(1), 1-25.
3. Diab,A. (2010). Mobility Management in IP-Based Networks ,Analysis, Design, Programming and Computer-Based Learning Modules
4. Perkins, C. (Ed.). (2002). RFC3220: IP Mobility Support for IPv4.
5. Perkins, C. (2010). IP mobility support for IPv4, revised.
6. Johnson, D., Perkins, C., & Arkko, J. (2004). Mobility support in IPv6.
7. Koodli, R. (2005). Fast handovers for mobile IPv6 (pp. 1-42). RFC 4068, july.

8. Koodli, R., & Perkins, C. (2009). Mobile IPv6 fast handovers (pp. 931-934). RFC 5568, July.
9. Chun, S. M., & Park, J. T. (2015, January). Mobile CoAP for IoT mobility management. In 2015 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC) (pp. 283-289). IEEE.
10. Chun, S. M., & Park, J. T. (2017). A mechanism for reliable mobility management for internet of things using CoAP. sensors, 17(1), 136.
11. Berzin, O. (2021). Mobility label based network: Hierarchical mobility management and packet forwarding architecture. Computer Networks, 53(12), 2153-2181. https://arxiv.org/abs/2110.09609