Study and Evaluation of the Performance of Distributed Mobility Management (DMM) for d2d Communications in SDN-Based LTE Networks

Dr. Radwan Dandah*
Dr. Talal Al Aateky**
Ranim Sino***

(Received 10 / 4 / 2023. Accepted 5 / 6 / 2023)

□ ABSTRACT □

The rapid growth of mobile communication networks and the exponential increase in the number of users of mobile devices has led to a significant increase in the volume of data traffic and scenarios for connecting to the Internet, due to the continuous demand for multimedia applications in real time, which prompted cellular network operators to introduce communication technology from device to device D2D(Device to Device) in LTE (Long Term Evolution) networks that reduce the traffic of data passing through the base station, but it suffers from some challenges as it depends on a central mobility anchor that manages the movement of users when they are handed over between cells, so In this research, we study and analyze the performance of Distributed Mobility Management (DMM), which is a solution to manage mobility in LTE networks based on Software Defined Networking (SDN), which is a promising approach that supports DMM concepts, because traditional mobility solutions and handover procedures cannot support the continuity of D2D communication. The performance of managing distributed mobility and handovers for D2D connections in an SDN-Based LTE environment was evaluated by several factors, the most important of which are handover failure ratio, packet loss rate and throughput

Keywords: LTE networks, SDN, D2D communications, distributed mobility management (DMM), packet loss rate.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor, Department of Computer Networks & System, Faculty of Information Technology, Tishreen University, Lattakia, Syria. rrradwan@scs-net.org**
****Assistant Professor, Department of Computer Networks & System, Faculty of Information Technology, Tishreen University, Lattakia, Syria. talal.alaateky@tishreen.edu.sy**
***** Postgraduate Student (PhD), Department of Computer Networks & System, Faculty of Information Technology, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

دراسة و تقييم أداء إدارة التنقل الموزع DMM لاتصالات d2d في شبكات SDN-Based LTE

د. رضوان دنده*

د. طلال العاتكي**

رنيم سينو***

(تاريخ الإيداع 10 / 4 / 2023. قُبِل للنشر في 5/ 6 / 2023)

□ ملخّص □

أدى النمو المتسارع لشبكات الاتصالات المتنقلة والزيادة الهائلة في عدد مستخدمي الأجهزة المحمولة إلى ارتفاع كبير في حجم البيانات وفي سيناريوهات الاتصال بالانترنت، بسبب الطلب المستمر على تطبيقات الوسائط المتعددة، مما دفع مشغلو الشبكات الخلوية إلى إدخال تقنية الاتصال من جهاز إلى جهاز(D2D(Device to Device في شبكات التطوير بعيد المدى (LTE(Long Term Evolution التي تخفف من حركة البيانات المارة عبر المحطة الأساسية، إلا أنها تعاني من بعض التحديات كونها تعتمد على مرساة (anchor) تنقل مركزية تعمل على إدارة تنقل المستخدمين عند تسليمهم بين الخلايا، لذلك نتطرق في هذا البحث إلى دراسة وتحليل أداء إدارة التنقل الموزع (DMM(Distributed Mobility Management) الذي يعد بمثابة حل لإدارة التنقل في شبكات LTE المعتمدة على الشبكات المعرفة برمجيا" (SDN(Software Defined Networking التي تعد نهجا" واعدا" يدعم مفاهيم DMM، لأن حلول التنقل التقليدية وإجراءات التسليم لا يمكنها دعم استمرارية اتصال D2D، وتم تقييم وتحليل أداء إدارة التنقل الموزع وعمليات التسليم لاتصالات D2D في شبكة SDN-Based LTE من خلال عدة عوامل أهمها نسبة فشل التسليم ومعدل فقدان الحزم والإنتاجية .

الكلمات المفتاحية: شبكات LTE ، الشبكات المعرفة برمجيا" SDN ، اتصالات D2D ، إدارة التنقل الموزع DMM ، معدل فقدان الحزم.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* **أستاذ، قسم النظم والشبكات الحاسوبية، كلية الهندسة المعلوماتية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.rrradwan@scs-net.org**

** **مدرس، قسم النظم والشبكات الحاسوبية، كلية الهندسة المعلوماتية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.**

talal.alaateky@tishreen.edu.sy

*** **طالبة دراسات عليا (دكتوراه)، قسم النظم والشبكات الحاسوبية، كلية الهندسة المعلوماتية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.**

مقدمة:

نظرا" للتقدم في شبكات الاتصالات المتنقلة وفي تقنيات الوصول اللاسلكي، ومع الانتشار السريع للأجهزة والخدمات المحمولة تنمو حركة البيانات بشكل كبير، مما أدى إلى إدخال تقنية الاتصال من جهاز إلى جهاز D2D في شبكات LTE التي تم طرحها لأول مرة في الإصدار 12 من مشروع شراكة الجيل الثالث 3GPP، والتي منحت مجالا" واسعا" للتحسين في أداء شبكات LTE الخلوية التي تسمح للأجهزة القريبة من بعضها البعض بالاتصال باستخدام روابط مباشرة بدلا" من المرور عبر المحطة الأساسية، ولكن مع تزايد عدد المستخدمين وزيادة حجم الشبكة يوما" بعد يوم تزداد الصعوبة في عملية إدارة حركية وتنقلات المستخدمين بين المحطات القاعدية التي تمثل أحد المشاكل الهامة التي تواجه شبكات LTE التقليدية، بالإضافة إلى مزيد من الوقت والجهد لمراقبة الشبكة وتتبع حركية المستخدمين ظهرت الحاجة الملحة إلى الاعتماد على الشبكات المعرفة برمجيا" SDN التي تمثل الإطار المستقبلي للشبكات الخلوية، وتعد حل متقدم للتحديات التي تواجه إدارة التنقل المركزي في شبكات LTE من خلال تطبيق إدارة التنقل الموزع DMM التي تدير اتصالات الأجهزة المحمولة، والحفاظ على استمرارية الخدمة عند تنقل مستخدمي D2D.

أهمية البحث وأهدافه:

تبرز أهمية البحث في أن الشبكات المعرفة برمجيا" SDN تعد تقنية حديثة وتمثل مستقبل شبكات الهاتف المحمول وخاصة شبكات LTE، تقوم بفصل مستوى التحكم وإدارة الشبكة عن مستوى نقل البيانات وذلك في كيانات منفصلة، ويعد المتحكم العقل المدبر للشبكة الذي يتحكم بخدمة اتصالات D2D في شبكات LTE، إلا أن تأخير التسليم وارتفاع زمن الوصول الأمر الذي جعل دراسة إدارة التنقل الموزع DMM لمستخدمي D2D في شبكات SDN-Based LTE أمر هام ويعود ذلك أيضا" لقلة الأبحاث التي تتناول هذا المجال، كون حلول إدارة التنقل التقليدية وإجراءات التسليم لا يمكنها دعم استمرارية خدمة D2D، لذلك كان الهدف الرئيسي من هذا البحث هو دراسة وتحليل أداء إدارة التنقل الموزع وعمليات التسليم لاتصالات D2D في بنية شبكات SDN-Based LTE، باختلاف طبولوجيا الشبكة من عدد متحكمات ومكان توضع كل متحكم في كل سيناريو من الشبكة المدروسة وفقا" لعدة عوامل بهدف الوصول إلى البنية الأفضل التي نستطيع الاعتماد عليها في هذا البحث.

الدراسات السابقة:

قام الباحثون في هذا البحث [1] بتقديم آلية تسليم لمستخدمي D2D في شبكات LTE التي تعمل على إدارة تنقل مستخدمي D2D بكفاءة، بينما قام الباحثون في هذه الدراسة[2] بمعالجة وإدارة تنقل مستخدمي D2D في الشبكات الخلوية، ومقارنة حلول تقنيات DMM الحالية وتظهر نتيجة المقارنة أن الحل المعتمد على الشبكات المعرفة برمجيا" SDN يتفوق على بقية حلول DMM الأخرى من حيث تأخير التسليم، وفقدان الحزمة، بينما قام الباحثون في هذه الدراسة [3] بدمج مزايا SDN و DMM وقدمو طريقة لاستخدام SDN-based DMM في شبكات المحمول وقارنو حلول DMM الحالية مع حلول DMM المقترحة المعتمدة على شبكات SDN، وتظهر نتيجة المقارنة أن تعقيد الشبكة ينخفض وأن إعادة التصميم أسهل وأسرع مقارنة بإدارة التنقل المركزي (CMM) Centralized mobility management، بينما اقتراح الباحثون في الدراسة [4] آلية للتسليم مع التخزين المؤقت للبيانات وإعادة التوجيه

HoBF باستخدام وحدات التحكمSDN controllers ، والتي تستخدم مفاهيم DMM وتطوير نموذج محاكاة لنشر آليات إدارة التنقل السريعة والمرنة والموثوقة والقابلة للتطوير في شبكات SDN–based LTE، بينما اقترح الباحثون في المقال [5] حلا" لإدارة التنقل الموزع DMM المستند إلى SDN والمطبق في اتصال D2D، وتمت في الدراسة [6] اقتراح الشبكات المعرفة برمجيا"SDN لمعالجة تحديات عمليات التسليم المتكررة من خلال التعامل مع التنقل المحلي المستند إلى الواجهة x2، واقترح الباحثون في الدراسة [7] نهجًا لـ DMM قائمًا على SDN والذي ينفذ وظائف إدارة الموقع والتسليم في وحدة تحكم SDN مركزية، بينما قدم الباحثون بنية eSDN–ProSe في [8] حيث يتم استخدام وظائف المحاكاة الافتراضية Network Function Virtualization(NFV) لتحسين اتصالات D2D واقترحو مخطط تدفق إجراء التسليم وأثبتو أن البنية المقترحة قادرة على تقليل عدد رسائل التشوير أثناء تسليم D2D من 22 رسالة إلى 9 رسائل.

طرائق البحث ومواده:

1–إدارة التنقل الموزع Distributed Mobility Management (DMM) :

تُستخدم إدارة التنقل المركزي CMM على نطاق واسع في تقنيات شبكات التطوير بعيد المدى LTE لإدارة التنقل وتحديد مواقع المشتركين والتحكم في مسارات نقل البيانات، ولكن تزايد عدد المشتركين وإنشاء عدد كبير من رسائل الإشارات، يجعل إدارة التنقل في شبكات LTE عرضة للعديد من قيود الأداء مثل التوجيه دون المستوى الأمثل وقابلية التوسع المنخفضة، بالإضافة إلى نقطة الفشل الوحيدة التي تعد من أهم المشاكل المتعلقة بـCMM، لحل هذه التحديات ولتوفير إدارة تنقل فعالة، طوّر فريق عمل هندسة الإنترنت Internet Engineering Task Force (IETF) [9] حلاً يسمى إدارة التنقل الموزع DMM، حيث يتم التعامل مع التنقل وإدارة التدفقات المتنقلة عبر أقرب نقطة ارتكاز لكيان إدارة التنقل الموزع تم فيه تطوير مفهوم النظام المسطح، ويتمثل الاختلاف الرئيسي فيما يتعلق بإدارة التنقل التقليدية عبر بروتوكول الإنترنت في أن DMM توزع التنقل على حافة الشبكة، مما يؤدي إلى تسطيح الشبكة بشكل فعال عن طريق إزالة التسلسلات الهرمية، وعندما يقوم الهاتف المحمول بتغيير نقطة تعلقه بالشبكة، يتم الاحتفاظ بالجلسات المستمرة إلى المرساة السابقة بينما تتم إدارة الجلسات الجديدة بواسطة المرساة في الشبكة الهدف، يمكن توزيع وظائف إدارة التنقل في مستوى البيانات وهو يعد حل موزع وديناميكي أي بالإمكان تقديم دعم الحركية لكل جلسة من جلسات المستخدم على حدة وعدم تقديمها لجلسات أخرى حسب نوع التطبيق المستخدم، بينما قد يكون مستوى التحكم إما مركزيًا أو موزعًا، ويمكن نقل المرساة بالقرب من جهاز المستخدم، تم اقتراح العديد من حلول وتقنيات عائلة DMM في معايير IETF ومشروع شراكة الجيل الثالث(3GPP) 3rd Generation Partnership Project ، إلا أن الدراسات المرجعية التي تتناول تطبيق حلول DMM هذه في اتصال D2D لاتزال قليلة.

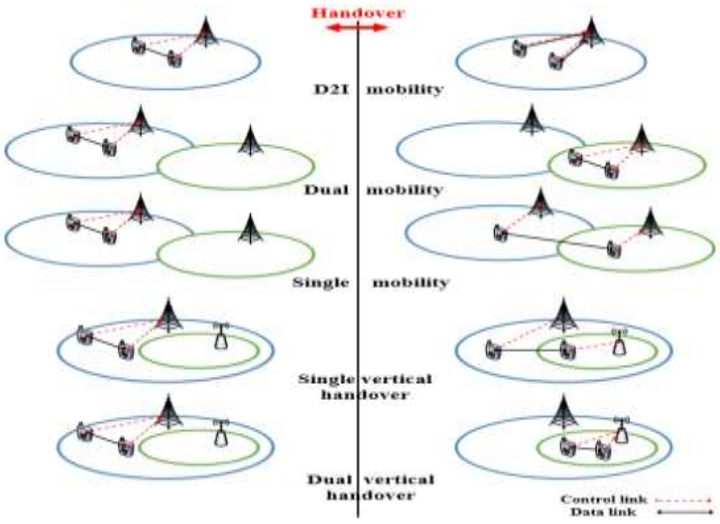
2–اتصالات من جهاز إلى جهاز D2D :

في الشبكات الخلوية التقليدية تتصل الأجهزة بالمحطة الأساسية فقط عبر مسارات الإرسال أو الوصلة الهابطة، وفشلت في تلبية الطلب المتزايد باستمرار على الخدمات الاجتماعية والتجارية والتطبيقات القائمة على التقارب، وبالتالي أدخلت 3GPP اتصال من جهاز إلى جهاز D2D في إصدار LTE 12 تحت اسم ProSe [11] من أجل الاستجابة للنمو السريع لحركة البيانات، ولتمكين الاكتشاف الفعال والتواصل بين الأجهزة القريبة من بعضها البعض عبر مسار بيانات

مباشر دون المرور عبر عقد البنية التحتية الخلوية (مثل eNB، HeNB) مما يجعل التوقعات بوقت استجابة أقل واستهلاك أقل للطاقة في eNB، وتم تطوير تقنيات Direct D2D في العديد من المعايير اللاسلكية، بهدف تلبية الحاجة إلى نقل البيانات المحلية الفعالة الذي تتطلبه الخدمات المتنوعة في المجالات الشخصية والعامة والصناعية، وأصبحت الحاجة إلى الاتصال المتكرر بين الأجهزة القريبة أمرًا بالغ الأهمية مع قدرة الأجهزة الذكية على مشاركة المحتوى وتشغيل الألعاب والاكتشاف الاجتماعي، كما تهدف تقنيات D2D إلى دعم الاكتشاف المحلي وتحديد الهوية وتعزيز قدرة الشبكة وتغطيتها والتعامل مع مجتمعات السلامة العامة، إلا أن هذا الوضع ليس سلسًا تمامًا للشبكات الخلوية المتنقلة ويحدث إما في الطيف المرخص (أي داخل النطاق) أو الطيف غير المرخص (أي النطاق الخارجي) يشكل تحديًا كبيرًا نظرًا لأن مستخدمي D2D الذين يعملون في وضع النطاق الداخلي يمكن أن يعطلوا الخدمات الخلوية للمستخدمين العاديين مما ينعكس سلبا" على تحقيق تنقل وتسليم سلس يلبي متطلبات جودة الخدمة [12].

3- سيناريوهات إدارة التنقل لاتصالات D2D :

تشير إدارة التنقل إلى مجموعة من الآليات للحفاظ على استمرارية الجلسات عندما يقوم مستخدم الهاتف المحمول بتغيير نقطة ارتكاز التنقل الخاصة به في الشبكة، كما أن تطبيقات IP في الوقت الفعلي مثل مؤتمرات الفيديو، نقل الصوت عبر الإنترنت (VoIP)، الألعاب وغيرها هي أمثلة للتطبيقات المطلوبة بشكل ملحوظ في بيئات شبكات الهاتف المحمول التي تدعم التنقل عبر بروتوكول الإنترنت، وتعد الاستمرارية السلسة للجلسة ضرورة للمستخدمين أثناء عمليات التنقل، تعتمد معظم حلول تنقل IP الحالية التي تم توحيدها بواسطة كل من IETF و3GPP على كيان مرساة للتنقل مركزي يكون مسؤولاً عن كل من مستوى التحكم المرتبط بالتنقل ومستوى البيانات، إن وجود عقدة شبكة مركزية يجعل إدارة التنقل عرضة لعدة قيود مثل الإدارة المركزية، والتوجيه غير الأمثل، ونقطة الفشل الوحيدة ومشكلات الموثوقية وغيرها، كما يؤدي إدخال الاتصال المباشر من جهاز إلى جهاز D2D في الشبكات الخلوية إلى تقديم إجراء جديد لإدارة التنقل بالإضافة إلى التسليم الخلوي التقليدي كما هو موضح في الشكل(1)، يوجد ثلاثة أنواع رئيسية [2] من التسليم لاتصالات D2D :



الشكل (1) سيناريوهات التنقل الثلاثة لاتصالات D2D .

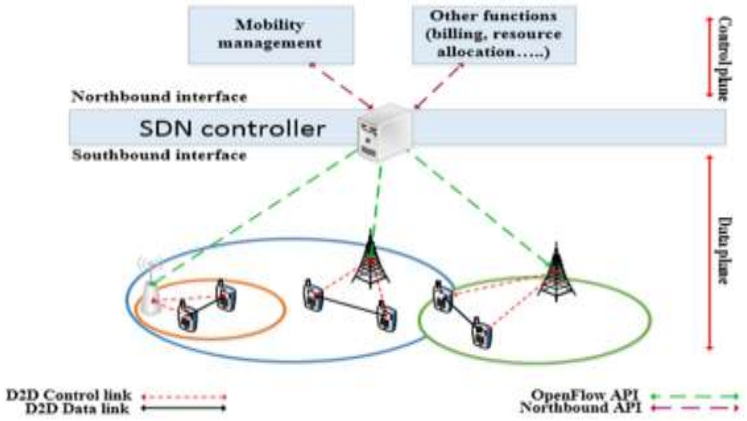
1. التنقل من جهاز إلى البنية الأساسية D2I (Device-to-Infrastructure) mobility : هو تبديل اتصال D2D بين الاتصال الخلوي التقليدي ووصلة الاتصال المباشر، عندما يصبح ارتباط D2D غير مناسب للاتصال تتخذ المحطة الأساسية قرارًا بتبديل البنية التحتية لاتصالات D2D وتبدأ عملية التسليم.

2. التنقل الفردي single mobility والتنقل المزدوج dual mobility: هو تسليم الجهاز المحمول بين المحطات الأساسية أثناء إجراء مكالمة D2D ، ويمكن أن يكون التنقل لجهاز واحد يسمى التنقل الفردي أو بين جهازين يسمى التنقل المزدوج .

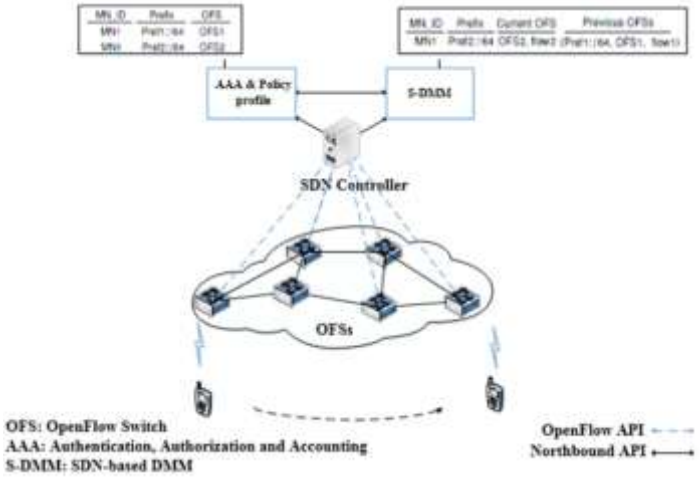
3. التسليم العموديvertical handover: يسمح باستمرارية الخدمة والتغطية الشاملة للأجهزة المحمولة، يحافظ على اتصال D2D عندما ينتقل الجهاز المحمول (single vertical handover) أو اثنين من الأجهزة المحمولة (dual vertical handover) بين المحطات القاعدية أو بين الشبكات المختلفة.

3-1-إدارة التنقل الموزع DMM لاتصالات D2D المعتمدة على الشبكات المعرفة برمجيا" SDN:

تعد الشبكات المعرفة برمجيا" مستقبل الشبكات الخلوية بإحداث تقنية ثورية في تصميمها عن طريق تقسيمها إلى مستويين، المستوى الأول هو مستوى التحكم الذي يوفر الأداء وإدارة الأخطاء ويتعامل عادةً مع إدارة التكوين لأجهزة SDN ويفهم طبولوجيا الشبكة، ويمكن لوحدة التحكم معالجة طلبات الاتصال بناءً على المتطلبات المطلوبة مثل مستويات جودة الخدمة وإجراء إدارة الارتباط بين الأجهزة، أما المستوى الثاني هو مستوى البيانات المسؤول عن إعادة توجيه حركة المرور إلى الوجهة المحددة، بالإضافة إلى ذلك يقوم مستوى التحكم بتكوين مسارات الاتصال أو التدفق في مستوى البيانات لاستخدام بروتوكولات التحكم مثل بروتوكول التحكم OpenFlow بواسطة وحدة التحكم في SDN لأداء وظائف مثل إعداد الاتصال عندما يحاول مستخدم d2d الاتصال مع مستخدم d2d آخر عبر SDN، يتم النظر إلى الحزمة الأولى المتضمنة في التدفق الجديد لتحديد ما إذا كان يمكن اتخاذ القرار محليًا بواسطة مبدل [6] OpenFlow، أو إذا كان المبدل يحتاج إلى سؤال وحدة التحكم عما يجب القيام به باستخدام بروتوكول التحكم OpenFlow، حيث تمت إضافة كيان جديد يسمى وحدة تحكم الشبكة مسؤول عن تتبع الأجهزة المحمولة D2D وقواعد إعادة التوجيه إلى بوابات DMM عبر OpenFlow API، ومن ثم عند إرفاق كلا الجهازين المتحركين D2D أو أحدهما بمحطة أساسية جديدة، تقوم وحدة التحكم بتكوين القواعد في كل eNB تمت زيارتها بواسطة أزواج D2D، وبالتالي يتم الحفاظ على استمرارية الجلسة نظرًا لعدم وجود تغيير في عنوان IP كما يبينه الشكل (2)، كما تم تقديم حل DMM القائم على SDN يعرف باسم (S-DMM) الموضوع كخدمة أعلى وحدة تحكم SDN [2] كما يبينه الشكل(3)، يكتشف OFS أي ارتباط جديد لأي جهاز محمول جديد عن طريق رسائل الاكتشاف، ثم يسأل وحدة تحكم SDN عن قواعد إعادة التوجيه والمعلومات الأخرى المتعلقة بجهاز المحمول من خلال رسالة Packet-in، بعدئذٍ يتلقى كيان S-DMM الرسالة ثم يقوم بتحديث قاعدة البيانات الخاصة به لتتبع موقع ومعلومات الجهاز المحمول، يتم بعد ذلك إنشاء رسالة إعلان جهاز التوجيه وإرسالها إلى OFS المقابل عبر رسالة بروتوكول OpenFlow (Packet-out) لبدء الاتصال بالعقدة المقابلة، يقوم OFS بإعادة توجيه الحزمة إلى الجهاز المحمول، فيما يتعلق بوحدة التحكم SDN Controller فإنها تتلقى الحزمة الأولى من التدفق وتقوم بتحديث قواعد إعادة التوجيه بناءً على خدمات التوجيه يتم إرسال هذه القواعد إلى OFS لإعادة توجيه التدفق إلى الوجهة.

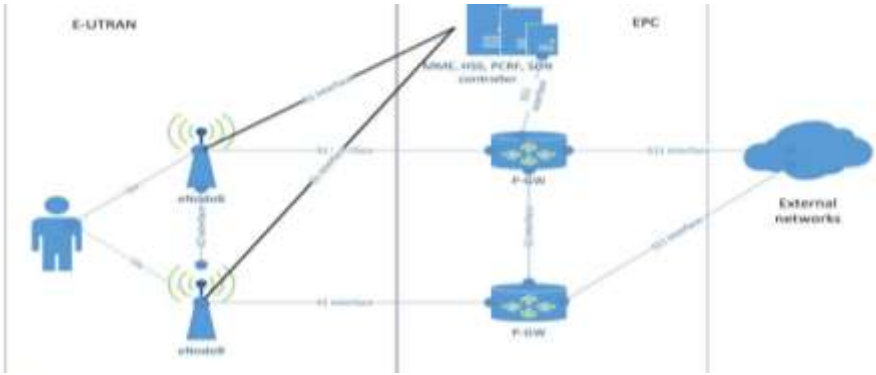


الشكل (2) حل DMM القائم على SDN لدعم اتصالاتD2D [2].



الشكل (3) بنية S-DMM architecture [2] .

كما تم وصف حل DMM المقترح لشبكات LTE المعتمدة على شبكات SDN في [14] والموضح في الشكل (4) تقوم P-GW بالتعامل مع تنقل UE وإدارة إجراءات التسليم بدلاً من CMM الموجودة في قسم الإدارة في EPC، يدير P-GW عنوان IP لتجهيزات UE أثناء عمليات التسليم لا تغير UE عنوان IP عندما تكون eNodeBs المخدمة والهدف تابعة لنفس P-GW، بينما يتغير عنوان IP عندما تدخل منطقة P-GW مختلفة وتنفذ إجراءات التسليم S1 بين P-GWs المتجاورة، وبعد تنفيذ إجراءات التسليم بنجاح، تقوم وحدة تحكم SDN بتكوين جدول التوجيه وذلك لتوفير جلسة مستمرة، ثم تقوم بتحديث جدول التوجيه الخاص بالمبدلات لمسار جديد بين UE والشبكات الخارجية، أخيرًا تحرر وحدة تحكم SDN موارد الراديو وعنوان IP القديم بناءً على طلب قطع الاتصال بواسطة PGW المخدمة. ومع ذلك ، قبل عملية التحرير هذه ، يمكن لعنوانين IP (PGWs مختلفة) توفير اتصالات متزامنة لـ UE، ويتم إجراء عمليات تخزين البيانات وإعادة الإرسال بين eNodeBs أو بين PGWs.



الشكل (4) بنية الحل المقترح لـ DMM في SDN-based LTE [14].

3-2-استخدامات D2D في شبكات SDN-based LTE :

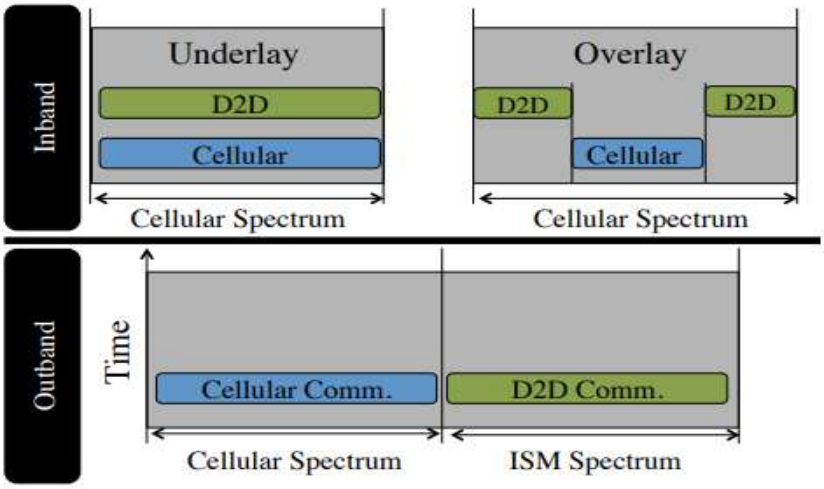
مع انتشار الأجهزة الذكية والطلب الزائد على الخدمات والتطبيقات القائمة على التقارب، هناك حاجة ملحة لدمج اتصالات D2D في شبكات LTE لتمكين الاكتشاف الفعال والتواصل بين المستخدمين القريبين، وبالتالي توفير اتصالات في كل مكان وتقديم مجموعة غنية من الخدمات لمستخدمي الهواتف المحمولة [24] ويتم تصنيف استخدامات D2D كما يلي:

- الاكتشاف الاجتماعي: اكتشاف الأشخاص القريبين المرتبطين بشبكة اجتماعية مثل: Facebook وLinkedIn، أو حضور نفس الحدث مثل: حفلة موسيقية أو مباراة.
- الاستخدام التجاري والاكتشاف المحلي: التفاعل مع الأجهزة المتصلة مثل إرشادات محلية كدليل تفاعلي للسائحين والمسافرين، ومستخدمي الخدمات التجارية والعامة مثل الإعلانات من المتاجر والمطاعم القريبة، ومعلومات الطيران، وقد يقوم المستخدم بتعيين اهتمامات شخصية مسبقًا ليتم تنبيهه بواسطة خدمات من مكان قريب في المنطقة، كما يمكن للمستخدم أيضًا إجراء بحث في الوقت الفعلي للعثور على الخدمات القريبة [24].
- يمكن أن تعمل الأجهزة التي تم تمكين D2D عليها كوحدة تحكم في شبكات آلة إلى آلة (M2M) machine to machine وشبكات مركبة إلى مركبة Vehicle-to-Vehicle(V2V) .
- تفريغ قلب الشبكة من المعطيات: قد يخفف D2D من ازدحام الشبكة ويقلل من استخدام الطاقة بين الجهازين القريبين.
- امتداد التغطية: يمكن أن يؤمن جهاز D2D واحد أو أكثر تغطية الشبكة للأجهزة التي لديها اتصال ضعيف أو ليس لديها اتصال بالشبكة (على حافة الخلية) أو في حالة فشل المحطات القاعدية eNBs.

3-3-تصنيف اتصالات D2D :

تعد اتصالات D2D تقنية واعدة لشبكات LTE المعتمدة على الشبكات المعرفة برمجيا" نظراً لتفريغ البيانات من المحطات القاعدية عن طريق الإرسال المباشر بين الأجهزة المحمولة، و إن ارتفاع معدل البيانات لاتصالات D2D مطلوب لدعم الطلب المتزايد على حركة مرور التطبيقات الحرجة و زيادة إنتاجية النظام، مع العلم أن اتصالات D2D ليست مقيدة بواسطة نطاقات التردد المرخصة من حيث استخدام الطيف لذلك تم تصنيفها إلى نوعين inband و outband [23].

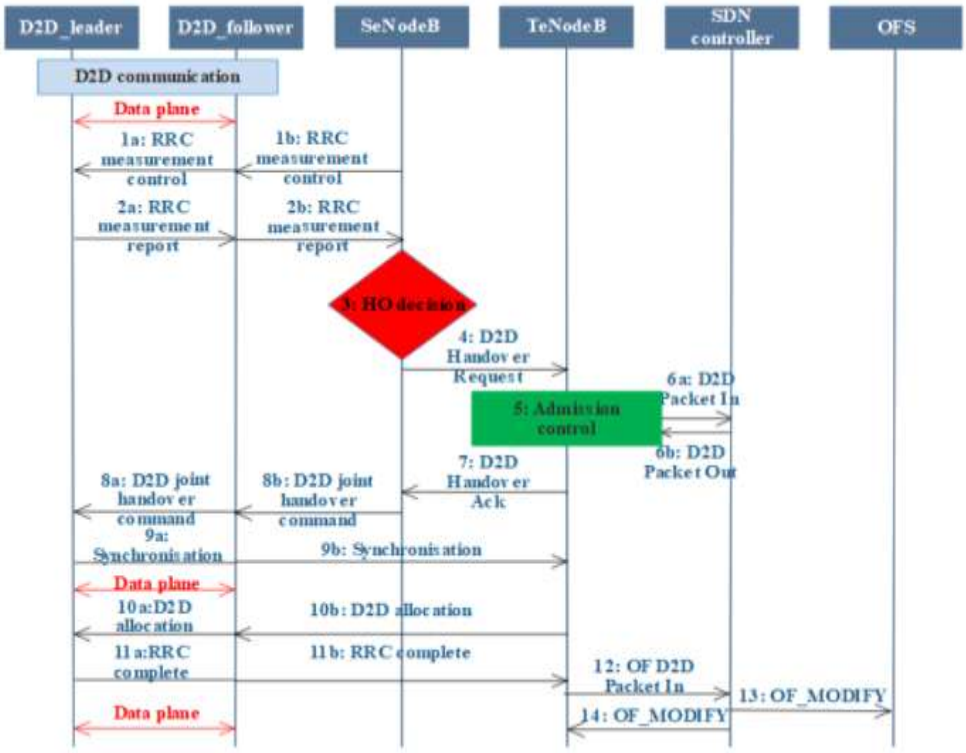
- اتصال Inband D2D : تستخدم الاتصالات الخلوية واتصالات D2D نفس الطيف المرخص للمشغل الخلوي، يمكن تقسيم الطيف إما إلى أجزاء غير متداخلة من D2D والاتصالات الخلوية على التوالي (overlay) أو قد لا يتم تقسيمها على الإطلاق (underlay).
- اتصال outband D2D : يستخدم اتصال D2D طيفًا غير مرخص (على سبيل المثال ، نطاق 2.4 جيجا هرتز SM) حيث لا يحدث الاتصال الخلوي، تساعد في القضاء على التداخل بينD2D والمستخدمين الخلويين على الرغم من أن التداخل لا يزال موجوداً من أجهزة إلكترونية أخرى(مثل Bluetooth و Wi-Fi) التي تعمل في هذا النطاق.



الشكل(5) تصنيف اتصالات d2d [23] .

3-4-إجراء التسليم المشترك D2D [15]:

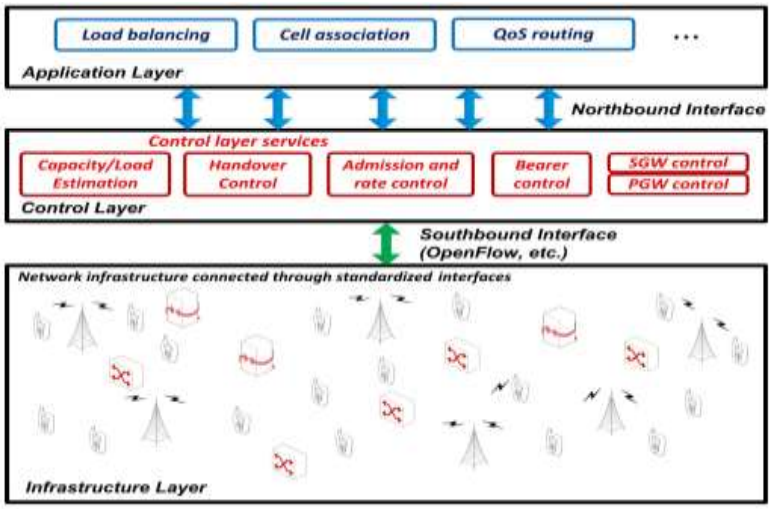
يعمل اتصال D2D في الشبكات الخلوية على زيادة الإنتاجية وتقليل زمن الوصول ويدعم سيناريوهات التطبيقات الجديدة، وعند اتصال جهازين في وضع ProSe يكون هناك كل احتمال للتسليم لأن الأجهزة ديناميكية بالفطرة، مع العلم أن مرشحون D2D يجب أن يكونو على مسافة قريبة حتى يتمكنوا من التسليم في وقت واحد إلى الخلية المجاورة وتوفير استمرارية الخدمة، وتكون خطوات تسلسل التسليم كما يبينه الشكل(6) حيث يرسل SeNodeB بشكل دوري رسالة تحكم بالقياس RRC، ويرد مرشحو D2D من خلال تقرير قياس RRC الذي يشير إلى مؤشر جودة القناة (CQI) لكل من الوصلة الصاعدة UpLink(UL) والوصلة الجانبية SlideLink(SL) ، وبناء على قرار HO يرسل SeNodeB المخدمة طلب التسليم إلى TeNodeB الهدف الذي يرسل طلب تسليم إلى وحدة التحكم SDN Controler على شكل رسالة Packet in لإبلاغه بأن مرشح D2D يقوم بتشغيل أو قدح حدث تسليم X2- handover، وإخطار وظيفة ProSe التي تعمل كتطبيق داخلي في وحدة تحكم SDN للمصادقة على تحديد مرشحي D2D، ويحتفظ الهدف بموارد RRC لمرشح D2D، ومن ثم يتم تسليم رسالة إقرار طلب التسليم إلى SeNodeB تشير إلى أن تخصيص الموارد قد اكتمل، وبمجرد اكتمال مرحلة التحضير للتسليم، يرسل SeNodeB رسالة أمر التسليم المشترك إلى أزواج D2D لإرشادهم لإجراء التسليم، ويكتشف مرشحو D2D إشارة التزامن وبمجرد المزامنة يصبح TeNodeB قادرًا على إرسال واستقبال الحزم، ثم يرسل زوج D2D رسالة تأكيد التسليم إلى TeNodeB ،وترسل وحدة التحكم SDN Controller حزمة OF-MODIFY إلى مبدل OpenFlow لتحديث جدول التدفق.



الشكل (6) إجراء التسليم المشترك لاتصالات d2d [15]

3-5-الشبكات المعرفة برمجيا" (Software Defined Networking)SDN:

هي إطار إدارة تنقل جديد معرف بالبرمجيات يلعب دورًا مهمًا في شبكات LTE الخلوية يفصل مستوى التحكم وإدارة الشبكة عن مستوى نقل البيانات، وذلك في كيانات منفصلة عن طريق تجميع وظيفة التحكم وإزالتها من الأجهزة الموجودة في الشبكة، ووضعها في جهاز واحد فقط يدير الشبكة هو المتحكم العقل المدبر للشبكة الذي يتحكم بالخدمات ويديرها بشكل أتوماتيكي ممايسهل من تهيئة إعدادات كامل الشبكة، يتألف إطار الشبكة الخلوية المستوحى من SDN [16]في الشكل(7) المحدد من قبل مؤسسة ONF من ثلاث طبقات: وهي طبقة البنية التحتية وطبقة التحكم وطبقة التطبيق، تتكون طبقة البنية التحتية من أجهزة المستخدم و eNodeBs ومبدلات الشبكة وبوابات لتوفير الاتصال بالشبكة الخارجية، وطبقة التحكم تحوي المتحكم المسؤول عن إدارة تنقل تجهيزات المستخدم، وحركة الشبكة، وتخفيف التداخل، وتخصيص الموارد الراديوية، وطبقة التطبيقات المكونة من الخدمات أعلى وحدة التحكم، وواجهة برمجة التطبيقات APIs تقوم بالفصل بين أجهزة البنية التحتية والمتحكم، حيث يقوم المتحكم بتحديث سياسة البيانات في المبدلات بواسطة واجهات تطبيق معينة أشهرها وأكثرها استخداما" OpenFlow ليصبح عمل أجهزة البنية التحتية منحصرا في تمرير البيانات فقط أما الإدارة والتحكم والخدمات ستصبح في طبقة التحكم وطبقة التطبيقات.



الشكل(7) بنية SDN-based LTE [16].

3-6- مشكلة توضع المتحكمات في بنية شبكات SDN-Based LTE:

يعد المتحكم بمثابة مركز ذكاء شبكات SDN يدير وظائف الشبكة ويتحكم بها ويقوم باختيار المسار الأقصر لنقل قواعد التوجيه لجداول التدفق، يعتبر SDN نهج جديد للشبكات الخلوية يتيح التحكم البرمجي والديناميكي في الشبكة [20]، ويعتبر العدد الأمثل لوحدات التحكم ومواقعها هو التحدي الأكبر لاتصالات d2d في شبكات SDN-Based LTE، المعروفة بمشكلة توضع وحدة التحكم Controller placement problem(CPP)[17] التي تعد من أكثر المشكلات إثارة للجدل، يمكن العثور عليها في شبكة SDN عندما يتم نشر وحدات تحكم متعددة في إدارة الشبكات بالإضافة إلى تطبيق قواعد الشبكة في وحدات التحكم هذه، الغرض من CPP هو العثور على العدد المناسب من وحدات التحكم وأماكنها في شبكات SDN لمواجهة التحديات واحتياجات جودة الخدمة مع تلبية متطلبات المصداقية، كما بحثت العديد من الدراسات في طرق تطوير حلول لتحسين قابلية التوسع، واختيار المكان الأفضل للمتحكم، ودرست العديد من الأبحاث أهداف CPP التي تشمل تقليل زمن الانتقال بين وحدات التحكم والمفاتيح المرتبطة[19]، وتعزيز موثوقية ومرونة الشبكة ويتأثر أداء وموقع وحدة تحكم SDN [10] بالتغيير في جدول توجيه OpenFlow على مبدلات SGW OFSwitches وعمليات حساب مسار التوجيه[13].

النتائج والمناقشة:

تم تقييم أداء اتصالات D2D من خلال دراسة عملية التسليم handover في شبكة SDN-based LTE بالاعتماد على إدارة التنقل الموزع DMM الذي تم تقديمه بواسطة IETF [9]، وباستخدام المحاكي NS-3 ووضع وحدة التحكم SDN controller في مواقع مختلفة من أجل الحصول على أداء أفضل للشبكة وللوصول إلى بنية الشبكة الأمثل من حيث الإنتاجية وتخفيض نسبة فشل التسليم ومعدل فقدان الحزم.

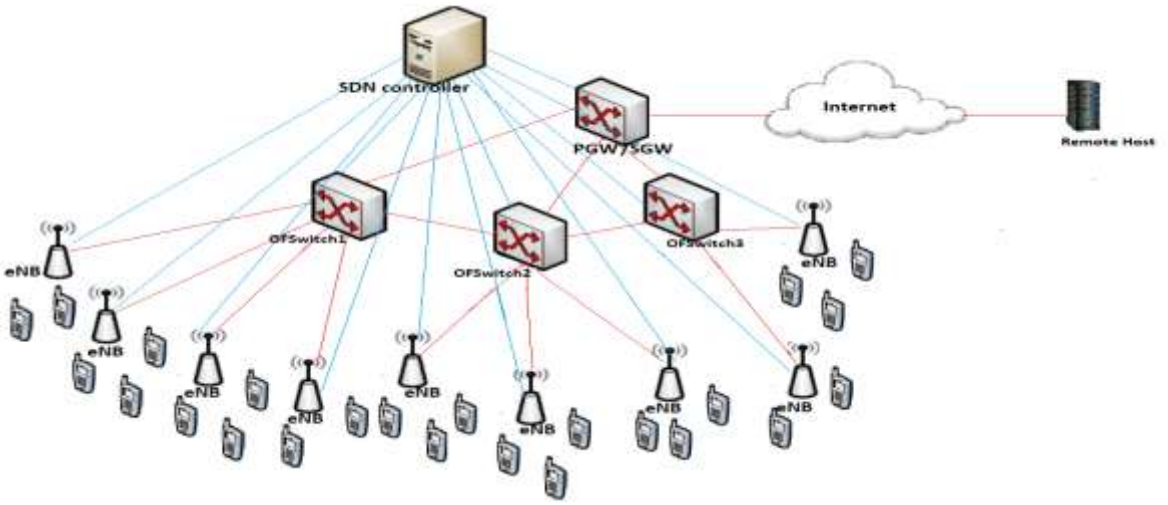
1-سيناريو المحاكاة:

قمنا بتقييم أداء عمليات التسليم لاتصالات من جهاز إلى جهاز ضمن بيئة شبكة SDN-Based LTE، ويتألف نموذج الاتصال الأول الموضح في الشكل (8) من متحكم واحد SDN controller و ثلاثة من OpenFlow switches، مع العلم أننا انطلقنا من الحل المقترح في [14] لإنشاء طبولوجيا الشبكة المدروسة، وتتألف الشبكة أيضا" من عقدة PGW/SGW واحدة و9 من eNodeBs ومضيف بعيد واحد Remote Host وعدد المستخدمين الكلي يبلغ (50) مستخدم d2d يتم زيادتها من 10 إلى 50 ، و(50) مستخدم خلوي، والأداة التي قمنا باختبار التجارب عليها تمتلك معالج Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU @ 1.80GHz 1.99 GHz، وذواكر بسعة 8GB DDR3، بنظام تشغيل windows 10 مع أداة افتراضية على برنامج VMware Workstation Pro، تم عليها تنصيب نظام تشغيل Linux 20.04-64bit، تمت عمليات تقييم وتحليل الأداء باستخدام المحاكي الشبكي NS-3.29 على الأداة الافتراضية، ويمكن تحميله من خلال الرابط التالي: https://www.nsnam.org/releases/ns-3-29/download وإضافة أكواد D2D المتوفرة على الـ github لدعم تقنية الـd2d من خلال الرابط التالي: https://github.com/zengluyang/ns3-d2d ، و NS3 هو اختصار لـ Network Simulator 3 برنامج مفتوح المصدر تعتمد عليه أغلب البحوث والدراسات الأكاديمية في دراسة وتحسين أداء الشبكات، ويستخدم لغة البرمجة C++ مع الربط بلغة بايثون لإنشاء البرامج لمجموعة من النماذج التي يدعمها NS3، مع إضافة أيضا" نموذج LENA-LTE module الموجود بشكل أساسي في المحاكي، ومن أجل محاكاة شبكات SDN يجب إضافة الوحدة OpenFlow1.3 module و OFSwitch13 التي تعزز المحاكي ns3 بقدرات OpenFlow1.3 والموجودة في: https://github.com/ljerezchaves/ofswitch13 وتسمح لمستخدمي ns-3 بمحاكاة الشبكات المعرفة برمجيا" كما تم إضافة حل DMM المقترح من قبل Luca Valtulina من خلال الرابط https://github.com/lucval/dmm/ .

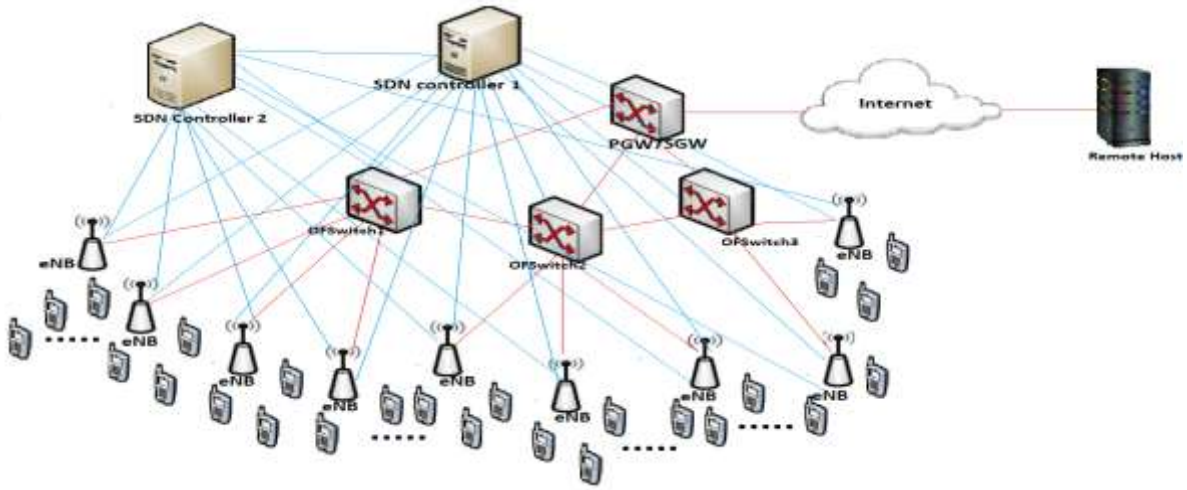
2-النتائج ومناقشتها:

تم دراسة معايير التقييم على الشبكة المدروسة في الشكلين (8) و(9) حيث يلخص الجدول (2) البارامترات الأساسية لسيناريو المحاكاة مع تنفيذ كل محاكاة 10 مرات وأخذ متوسط النتائج باستخدام x2-handover الموجودة في الرابط التالي:

http://man.hubwiz.com/docset/ns-3.docset/Contents/Resources/Documents/lena-x2-handover-measures_8cc.html



الشكل(8) بنية SDN-based LTE بالاعتماد على DMM مع وجود متحكم واحد.



الشكل(9) بنية SDN-based LTE بالاعتماد على DMM مع وجود متحكمين.

وذلك لتنفيذ خوارزمية التسليم A2-A4 RSRQ المعتمدة على x2، مع العلم أن نموذج LENA model يوفر مجموعات اختبار لتقييم ثلاثة أنواع من خوارزميات التسليم المستندة إلى X2-handover وهي : خوارزمية no-op handover التي تعد خوارزمية خاصة تعطل مشغل التسليم التلقائي من أجل السماح بالتسليم اليدوي، أما خوارزميات A2-A4 RSRQ و-A3 RSRP أوتوماتيكية تعتمد على تقارير قياس المستخدم وتفي بالشروط المحددة في الجدول (1) بناءً على مواصفات 3GPP.

الجدول (1) معايير التشغيل أو القدح المستندة إلى الأحداث في NS-3 [21] .

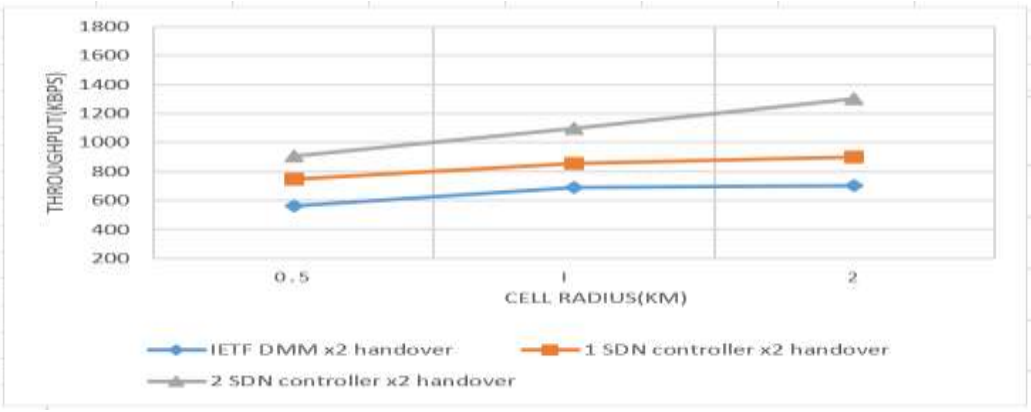
الحدث	الوصف
A1	جودة الإشارة للخلية الخادمة أعلى من عتبة محددة
A2	جودة الإشارة للخلية الخادمة أقل من عتبة محددة
A3	جودة الإشارة للخلية المجاورة أعلى من جودة الإشارة للخلية الخادمة بمقدار ازاحة offset dB
A4	جودة الإشارة للخلية المجاورة أعلى من عتبة محددة
A5	جودة الإشارة للخلية الخادمة أقل من عتبة محددة وجودة الإشارة للخلية المجاورة أعلى من عتبة محددة

الجدول (2) البارامترات الأساسية للمحاكاة[18][14]

البارامتر	القيمة
عدد المتحكمات	2 SDN controller
عدد المبدلات	3 OFSwitches مبدلات
عدد الـeNodeBs ، طاقة ارسال الـeNodeB	9 eNodeBs , 25dBm
عدد d2d users، طاقة ارسال الـd2d user عدد cellular users ، طاقة ارسال الـcellular user	(10–50) d2d users , 20 dBm 50 cellular users, 20 dBm
Time–To–Trigger(ms)	300 ms
HO Triggering event	A2-A4
Carrier frequency	2.6 GHz
Hysteresis(dB)	3 dB
Path loss model	Cellular:128.1+37.6log10d, d2d path loss: 148 + 40 log10d
المدة الزمنية الفاصلة بين الرزم	0.10s
نصف قطر الخلية	0.5 km ،1 km , 2 km
المسافة الفاصلة بين d2d users	15m
نموذج الحركة لمستخدمي d2d	SteadyStateRandomWaypointMobilityModel
زمن المحاكاة	100 s
نوع التطبيق وحجم الباكيت	UDP,1500 Bytes

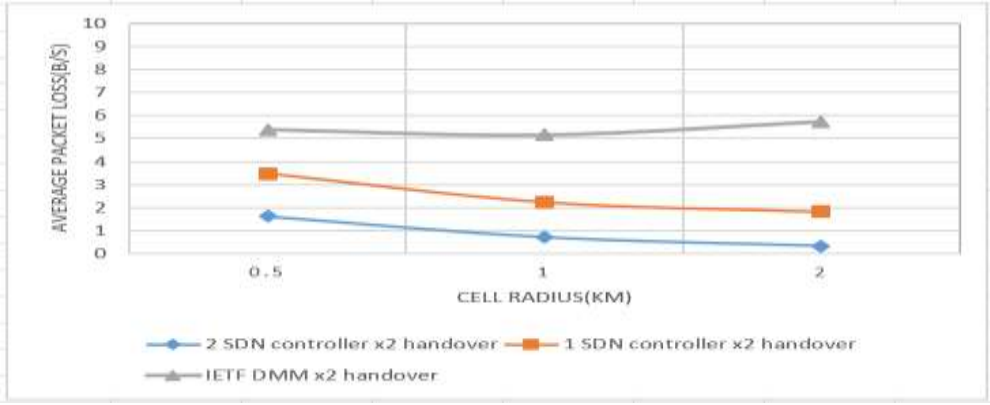
<u>السيناريو الأول : دراسة تأثير البنى المختلفة لـ DMM على إنتاجية الشبكة مع زيادة نصف قطر الخلية</u>: يتم تقييم أداءx2–handover لمستخدمي d2d في شبكة SDN–based LTE كما في الشكل (10)، بالاعتماد على إدارة التنقل الموزع من ناحية الإنتاجية التي تعد مؤشر أداء رئيسي (KPI) للشبكات الخلوية، نقوم بحساب الإنتاجية وذلك بتقسيم عدد الباكيتات التي تم استقبالها على الوصلتين الصاعدة والهابطة ($Ul/DlRxBytes$) على إجمالي الزمن الكلي للمحاكاة ($simTim$) ويعطى بالعلاقة : $Through put = sum\ (Ul/DlRxBytes) * 8/1000$ /$simTim$، كما يمكن حساب الإنتاجية على الوصلة الصاعدة Uplink على حدى وعلى الوصلة الهابطة Downlink على حدى كما هو موضح في توثيق ns–3 التالي :https://www.nsnam.org/docs/models/html/lte–user.html#frequency–reuse–algorithms، فكلما زادت عدد الباكيتات التي تم استقبالها خلال زمن المحاكاة كلما زادت إنتاجية الشبكة، وبالتالي تحسن من أداء الشبكة المدروسة بشكل عام، ويعد هذا البارامتر مؤشرا" أساسيا" على أداء الشبكة وكلما زاد هذا البارامتر كان أداء الشبكة أفضل، كما يبينه الشكل (10) نلاحظ أن البنى المختلفة المستخدمة في المحاكاة تؤثر في إنتاجية الشبكة مع زيادة نصف قطر الخلية، بينما الزيادة الملحوظة تحققها بنية SDN مع متحكمين حيث رفعت من إنتاجية الشبكة بشكل كبير بسبب تقليل عدد المصافحات وتبادل الرسائل بين المتحكمات أثناء عملية التسليم لمستخدمي d2d، وتوفر إنتاجية عالية واتصالات موثوقة مع تقليل حمل المحطة

الأساسية بسبب تبادل البيانات بالاتصال المباشر بين أزواج D2D، مما يقلل من الحمل الزائد للإشارات ومن عدد عمليات الـhandovers.



الشكل (10) إنتاجية الشبكة لبنى DMM المختلفة مع زيادة نصف قطر الخلية

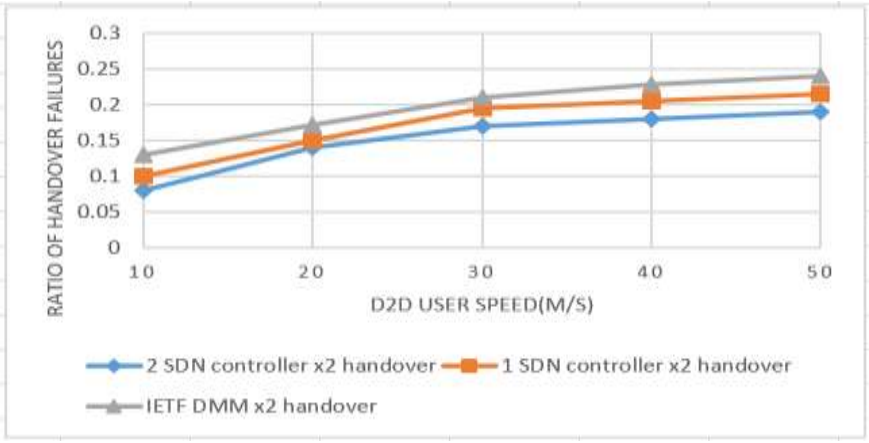
<u>السيناريو الثاني : دراسة تأثير البنى المختلفة لـ DMM على معدل فقدان الحزم مع زيادة نصف قطر الخلية</u>: يعرّف هذا العامل بأنه النسبة المئوية لعدد الحزم المفقودة أثناء إجراءات التسليم (تنفيذ التسليم واستكماله) مقسومًا على إجمالي عدد الحزم يعطى بالعلاقة التالية:[22] $PLR=\frac{(N^{tx}-N^{rx})}{N^{tx}}\times 100\%$ حيث N^{tx} عدد الحزم المرسلة الكلية، و N^{rx} عدد الحزم المستقبلة الكلية، وكلما كان معدل فقدان الحزم أقل زادت فعالية الشبكة، ويعد تقليل هذا العامل أمرًا بالغ الأهمية في الشبكة المدروسة، كونه يعد مقياسًا مهمًا للأداء للتدفقات في الوقت الفعلي مثل الفيديو وVoIP بين مستخدمي d2d، ومع زيادة نصف قطر الخلية يزداد معدل فقدان الحزم بالنسبة لحل DMM المقترح من قبل IETF، بينما مع وجود متحكم واحد ينخفض معدل فقدان الحزم، أما حالة وجود متحكمين تحقق أقل قيمة لمعدل فقدان الحزم نظرا لأن وحدتي التحكم تقومان بإعادة توجيه الحزمة إلى الهدف، بسبب سرعة إدخال التدفقات الجديدة في مبدلات OpenFlowعلى شكل رسائل Packet out أثناء تغيير المسار خلال عملية التسليم.



الشكل (11) معدل فقدان الحزم مع زيادة نصف القطر.

السيناريو الثالث : دراسة تأثير البنى المختلفة لـ DMM على معدل فشل التسليم مع زيادة سرعة المستخدم :

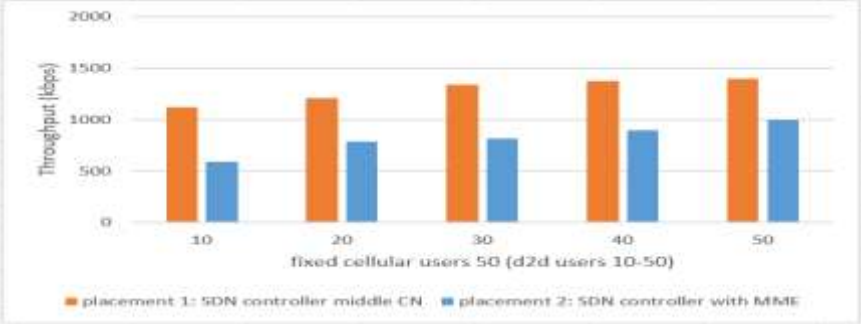
يعود السبب الرئيسي لفشل التسليم هو الخطأ في إرسال رسائل التشوير المتعلقة بالتمرير أثناء تنفيذ إجراءات التسليم، ويتم تعريف قياس حالات فشل التسليم على أنه نسبة مجموع (عمليات التسليم التي تم إسقاطها، وإخفاقات الوصلة اللاسلكية أثناء إجراءات التسليم، وعمليات تسليم ping–pong) إلى إجمالي عدد عمليات التسليم الكلية، مع العلم أن إجمالي عدد عمليات التسليم هو مجموع كل عمليات التسليم التي تم تشغيلها أو قدحها إلى الخلية الهدف، ويبين الشكل (12) معدل فشل التسليم مع زيادة سرعة مستخدمD2D ، فمن أجل السرعات المنخفضة مثلا" عند السرعة 10 m/s تحقق بنية SDN–based LTE بالاعتماد على DMM مع وجود متحكمين نسبة فشل 0.08%، وهي أقل من حالة وجود متحكم واحد حيث تحقق نسبة فشل 0.1%، حيث عند نفس السرعة سجل حل DMM المقترح من قبل IETF نسبة فشل 0.13% وتبقى من أجل السرعات الأخرى بنية DMM مع وجود متحكمينSDN Controller 2 تحقق أقل نسبة فشل مقارنة بالبنى الأخرى، بسبب تخفيض تأخير التسليم لمستخدمي d2d ووجود متحكمين يوفر وقت استرداد أسرع ومرونة عالية في توجيه تدفقات الشبكة.



الشكل(12) معدل فشل التسليم مع زيادة سرعة المستخدم.

السيناريو الرابع : دراسة تأثير البنى المختلفة لـ DMM على الإنتاجية مع تغيير موقع SDN Controller :

مع العلم أن موقع وحدة تحكم (OpenFlow SDN Controller) DMM في الشبكة أمرًا بالغ الأهمية [10]، لذلك تم اختيار موقعين: الموقع الأول: في منتصف الشبكة الأساسية Core Network=EPC كما يبينه الشكل(9)، والموقع الثاني: موقع مشترك مع Mobility Management Entity (MME) ، وذلك بغرض دراسة تأثير موقع المتحكم في الشبكة على الإنتاجية، مع تثبيت عدد المستخدمين الخلويين على العدد 50 مستخدم وزيادة عدد مستخدمي d2d بمقدار10 في كل مرة (من 10 إلى 50)، نلاحظ من الشكل(13) أن الإنتاجية تزداد مع زيادة عدد مستخدمي d2d في حالة وضع المتحكم في منتصف الشبكة مع تثبيت عدد المستخدمين الخلويين، وجود المتحكم في منتصف الشبكة الأساسية EPC يقلل من التأخير ويخفض زمن الاستجابة مما يرفع من انتاجية الشبكة بسبب قرار وحدة التحكم السريع في تكوين قواعد اعادة توجيه الحزم عبر x2 وارسالها الى جداول التدفق في مبدلات OFs ليتم تطبيقها مما يحسن من نسبة تسليم الحزم لعملية التسليم لمستخدمي d2d، بينما خارج الشبكة الاساسية في موقع مشترك مع MME تكون وحدة التحكم بحاجة لزمن إضافي لحساب المسارات وارسال القواعد الى المبدلات ليتم تحديثها.



الشكل (13) تأثير موقع المتحكم مع زيادة عدد مستخدمي d2d على إنتاجية الشبكة

الاستنتاجات والتوصيات:

قمنا في هذا البحث بدراسة أداء إدارة التنقل الموزع DMM لاتصالات d2d من خلال التحقق في عملية x2– handover في شبكات SDN–Based LTE، وتم تقييم وتحليل الأداء اعتمادا" على عدة بارامترات ومن خلال عدة سيناريوهات مع زيادة نصف قطر الخلية وزيادة عدد المتحكمات ووضعها في مواقع مختلفة، وملاحظة تحسين أداء الشبكة المدروسة في حالة وضع وحدة التحكم في منتصف الشبكة الأساسية مع زيادة عدد مستخدميd2d وتثبيت عدد المستخدمين الخلويين، حيث أظهرت النتائج أن بنية SDN–based LTE بالاعتماد على DMM مع وجود متحكمين تحقق أعلى إنتاجية وأقل قيمة لمعدل فقدان الحزم، وتحقق نسبة فشل التسليم 0.08%، أما في حالة وجود متحكم واحد تكون نسبة الفشل 0.1%، بينما حل DMM المقترح من قبل IETF حقق نسبة فشل 0.13%، كما لايمكننا أن أن نغفل عن ذكر أهمية وجود المرحلات(relays) لاتصالات d2d، لذلك نوصي بدراستها كونها تزيد من معدل نقل المعطيات وتحسن من إنتاجية الشبكة عن طريق اختيار المرحل المناسب الذي يختار المسار الأمثل ليتم توجيه بيانات التسليم لمستخدمي d2d.

References:

[1] Ho-Yuan Chen, Mei-Ju Shih, and Hung-Yu Wei, "Handover mechanism for device to-device communication". In Standards for Communications and Networking (CSCN), Conference on, IEEE, 2015.

[2] K. Ouali, M. Kassar, and K. Sethom, "Handover performance analysis for managing d2d mobility in 5g cellular networks," IET Communications, vol. 12, no. 15, 2018.

[3] Nguyen, T.T., Bonnet, C. and Harri, J., "SDN-based distributed mobility management for 5G networks". IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1-7, IEEE, 2016.

[4] Sanchez, M. Isabel, Antonio De la Oliva, and Vincenzo Mancuso, "Experimental evaluation of an SDN-based distributed mobility management solution." Proceedings of the Workshop on Mobility in the Evolving Internet Architecture, ACM, 2016.

[5] Jiajia Liu, Shangwei Zhang, Nei Kato, Hirotaka Ujikawa, and Kenichi Suzuki, "Device-to-device communications for enhancing quality of experience in software defined multi-tier lte-a networks". IEEE Network, 29(4):46–52, 2015.

[6] Tewelde Degefa Assefa, Rashedul Hoque, Elias Tragos, and Xenofontas Dimitropoulos, "Sdn-based local mobility management with x2-interface in femtocell

networks". In Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), IEEE 22nd International Workshop on, pages 1–6, 2017.

[7] Ko, H., Jang, I., Lee, J., Pack, S. and Lee, G., "SDN-based distributed mobility management for 5G". In IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (pp. 116-117). IEEE, 2017.

[8] Orsino, A., Araniti, G., Wang, L. and Iera, A., "Enhanced C-RAN architecture supporting SDN and NFV functionalities for D2D communications". In Distributed Computer and Communication Networks: 19th International Conference, DCCN, Moscow, Russia, November 21-25, 2016.

[9] Internet Engineering Task Force (IETF), a distributed mobility management (DMM). https://datatracker.ietf.org/wg/dmm/about/, visited December 2016.

[10] Morteza Karimzadeh, Luca Valtulina, and Georgios Karagiannis, "Applying sdn/openflow in virtualized lte to support distributed mobility management (dmm)". 2014.

[11] X. Lin, J. G. Andrews, A. Ghosh and R. Ratasuk, "An overview of 3GPP device-to-device proximity services", in IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 4, pp. 40-48, 2014.

[12] S. -Y. Lien, C. -C. Chien, F. -M. Tseng and T. -C. Ho, "3GPP device-to-device communications for beyond 4G cellular networks", in IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 3, pp. 29-35, March 2016.

[13] Lu, J., Zhang, Z., Hu, T., Yi, P., & Lan , J, " A Survey of Controller Placement Problem in Software-defined Networking". IEEE Access, 2019.

[14] Battulga, D., Ankhzaya, J., Ankhbayar, B., Ganbayar, U., "Handover management for distributed mobility management in SDN-based mobile networks". In 27th International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC) (pp. 1-6). IEEE, 2017.

[15] Ouali, K., Kassar, M., Nguyen, T.M.T., Sethom, K. and Kervella, B., "An efficient D2D handover management scheme for SDN-based 5G networks". In IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC) (pp. 1-6). IEEE, 2020.

[16] Khan, F. and Portmann, M., "Backhaul, QoS, and channel-aware load balancing optimization in SDN-based LTE networks". In 11th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS), pp. 1-10, IEEE, 2017.

[17] Saleh, H.H., Mishkal, I.A. and Ibrahim, D.S., "Controller placement problem in software defined networks". Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 27(3), pp.1704-1711, 2022.

[18] Islam, M. T., Taha, A. E. M., & Akl, S, "A minimum knapsack-based resource allocation for underlaying device-to-device communication". International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems, 11(3), 232, 2018.

[19] Singh, Ashutosh Kumar, and Shashank Srivastava,"A survey and classification of controller placement problem in SDN", International Journal of Network Management 28, no. 3, 2018.

[20] S. Sahoo, D. Puthal, M. S. Obaidat, A. Sarkar, S. K. Mishra, and B. Sahoo, " On the placement of controllers in softwaredefined-WAN using meta-heuristic approach," Journal of Systems and Software, vol. 145, pp. 180–194, Nov. 2018.

[21] Busari, S.A., Mumtaz, S., Huq, K. and Rodriguez, J., "X2-Based Handover Performance in LTE Ultra-Dense Networks using NS-3". In The Seventh COCORA-2017.

[22] Lee, Y.L., Loo, J. and Chuah, T.C., "Modeling and performance evaluation of resource allocation for LTE femtocell networks". In Modeling and simulation of computer networks and systems, pp. 683-716, 2015.

[23] Asadi, Arash, Qing Wang, and Vincenzo Mancuso. "A survey on device-to-device communication in cellular networks." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 16, 2014.

[24] Della Penda, Demia. "Device-to-Device Communication in Future Cellular Networks: Resource allocation and mode selection." PhD diss., Kungliga Tekniska högskolan, 2018.