Performance Evaluation of Handover Process in 5G-based Vehicular Networks

Dr. Ahmad Mahmoud Ahmad*

(Received 5 / 1 / 2025. Accepted 11 / 6 / 2025)

□ ABSTRACT □

Device-to-device (D2D) communication plays a vital role due to the deployment of 5G networks in enabling real-time communication between vehicles to avoid collisions and manage traffic flow on roads, as well as the ability to use VoIP, video streaming, and gaming applications, as data traffic is directed between devices directly, reducing the load on the base station, which in turn leads to improving system capacity and end-user satisfaction. Given that millions of users are using their mobile phone operating systems in their cars, whether by displaying their phones on the main unit of their car (Dashboard) or using the integrated operating system in the main unit (Automotive OS) enables VoIP calls in cars in hands-free mode, which contributes to reducing traffic accidents. This research provides an evaluation of the Handover process in 5G vehicle networks, as nodes in vehicle-to-vehicle communication systems experience more frequent handovers due to the high mobility of vehicles. Therefore, maintaining link quality poses an important challenge. The results have shown that handover decision-making based on the A3 event gives better performance in terms of Packet Loss Rate and average Ping-Pong probability, while RSS-based handover decision gives better performance in terms of End-to-End latency.

Keywords: 5G, vehicle networks, V2V communication, D2D communication, Handover.

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

*Associate Professor, Department of Computer Systems and Networks – Faculty of Informatics Engineering – Latakia University – Latakia - Syria. Email: ahmad.m.ahmad@tishreen.edu.sy

تقييم أداء عملية التسليم في شبكات المركبات المعتمدة على شبكات الجيل الخامس

د. أحمد محمود أحمد*

(تاريخ الإيداع 5 / 1 / 2025. قُبِل للنشر في 11/ 6 / 2025)

□ ملخّص □

يلعب اتصال (جهاز إلى جهاز) دوراً حيوياً بفضل نشر شبكات الجيل الخامس في تمكين الاتصال في الزمن الحقيقي بين المركبات لتجنب التصادم وإدارة حركة المرور في الطرق، علاوة عن إمكانية استخدام تطبيقات الصوت و بث الفيديو والألعاب كون حركة البيانات يتم توجيهها بين الأجهزة مباشرة، لذا يتم تقليل تحميل المحطة القاعدية الأساسية مما يؤدي إلى تحسين قدرة النظام ورضى المستخدم النهائي، وانطلاقاً من استخدام ملايين المستخدمين لأنظمة تشغيل هواتفهم النقالة في سياراتهم، سواء عبر عرض هواتفهم على الوحدة الرئيسية لسيارتهم Dashboard أو استخدام نظام التشغيل المدمج في الوحدة الرئيسية (Automotive OS) فإن إمكانية تمكين مكالمات الصوت عبر الانترنت في السيارات دون الاعتماد على الأيدي يساهم في تقليل حوادث السير، يقدم هذا البحث تقييماً لعملية التسليم في شبكات المركبات المعتمدة على شبكات الجيل الخامس كون العقد في أنظمة الاتصالات من النوع (مركبة إلى مركبة) تشهد تسليماً أكثر تكراراً كون المركبات تتنقل بحركية عالية. لذا، فإن الحفاظ على جودة الاتصال يشكل تحدياً مهماً. أظهرت النتائج أن عملية اتخاذ قرار التسليم المعتمد على الحدث المعياري في الجيل الخامس A3 تعطي أداء أفضل من حيث معدل فقدان الرزم ومتوسط احتمال أحداث Ping-Pong، بينما أعطى الاعتماد على قوة الإشارة في اتخاذ قرار التسليم أداء أفضل من حيث زمن التأخير e2e latency.

الكلمات المفتاحية: شبكات الجيل الخامس، شبكات المركبات، اتصال مركبة إلى مركبة، اتصال جهاز إلى جهاز، التسليم.

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

* **أستاذ مساعد- قسم النظم و الشبكات الحاسوبية – كلية الهندسة المعلوماتية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سوريا.**

Email: ahmad.m.ahmad@tishreen.edu.sy

مقدمة:

بدأت تقنيات الجيل الخامس في الانتشار وعلى الرغم من عدم تنفيذها بالكامل بعد، لكن يمكننا أن نتوقع تنفيذ تطبيقات الجيل الخامس المختلفة لتحسين الخدمات الحالية وتوفير خدمات جديدة وأكثر ابتكاراً في السنوات القادمة لاسيما في ضوء النماذج الأربعة الرئيسية التي يتم الترويج لها مع تقنيات الجيل الخامس وهي مفاهيم إنترنت الأشياء والمدن الذكية وأنظمة النقل الذكية والثورة الصناعية الرابعة Industry 4.0 [1]. سيؤثر الجيل الخامس بشكل عميق على الاقتصادات والمجتمعات لأنه سيوفر البنية التحتية للاتصالات اللازمة التي تتطلبها تطبيقات نظام النقل الذكي (ITS) Intelligent Transporting System والذي يعدّ أحد تطبيقات المدن الذكية العديدة التي يمكن تحقيقها عبر تقنية الجيل الخامس. إذ تعد شبكات المركبات Vehicular Networks واحدة من التقنيات الأساسية لنظام النقل الذي يتميز بالكفاءة والأمان [2] كونه يربط بين المركبات وعناصر الطرق والمشاة . صُمّمت الاتصالات بين المركبات من خلال بنية شبكات المركبات (vehicular adhoc network) VANET التي وظفت اتصال (مركبة إلى مركبة)(vehicle-to-vehicle)(V2V) [2] إذ تعدّ اتصالات الجهاز إلى الجهاز (D2D) Device-to-Device المُنسَّقة من قبل المحطة القاعدية الأساسية مناسبة للإرسال اللاسلكي لمسافات قصيرة لاتصالات (V2V) [3] وذلك اعتماداً على هوائي صغير إلى جانب مجموعة من الحساسات في المركبات المتصلة للتواصل مع بعضها البعض[2]. ونظراً للحركية العالية والسرعة العالية للمركبات نتجت مشكلة زيادة معدل عمليات التسليم(Handover(HO في المركبات مقارنةً مع مستخدمي الهواتف النقالة المشاة لذا لابد من مراعاة عملية التسليم للحفاظ على الاتصال بين الأجهزة أثناء ابتعادها عن بعضها [4] لذا يركّز هذا البحث على عملية التسليم في شبكات المركبات المعتمدة على الجيل الخامس.

أهمية البحث وأهدافه:

تعدّ إدارة التنقل من التحديات التي تحظى باهتمام الباحثين في حقل شبكات المركبات المعتمدة على شبكات الجيل الخامس ولاسيما عملية التسليم كون زيادة معدل عمليات التسليم وفشله نتيجة زيادة السرعة يصبح ذو تأثير أوضح على جودة الخدمة، تأتي أهمية البحث من كونه يسلط الضوء على تأثير التسليم في شبكات المركبات على خدمة الصوت عبر الانترنت VoIP في شبكة المركبات المعتمدة على شبكات الجيل الخامس لتحقيق هدف البحث المتمثل بتحسين جودة الخدمة للمستخدم الذي يمكّن خدمة نقل الصوت ضمن مركبته ، وذلك من خلال استخدام عملية التسليم الأنسب لهذا النوع من الشبكات.

منهجية البحث:

يسلط البحث الضوء على شبكات المركبات المعتمدة على الجيل الخامس من الاتصالات، إضافة إلى توضيح مرحلة اتخاذ القرار في عملية التسليم في هذا النوع من الشبكات، نتبع بعد ذلك التنفيذ العملي الذي يتضمن اختيار الأداة الأنسب لمحاكاة الشبكة المطلوبة OMNET++ ومن ثم بناء الشبكة وتحديد البارامترات وتنفيذ المحاكاة وتحليل النتائج، وننهي البحث بالتوصيات التي تحدد الاتجاه المستقبلي للبحث.

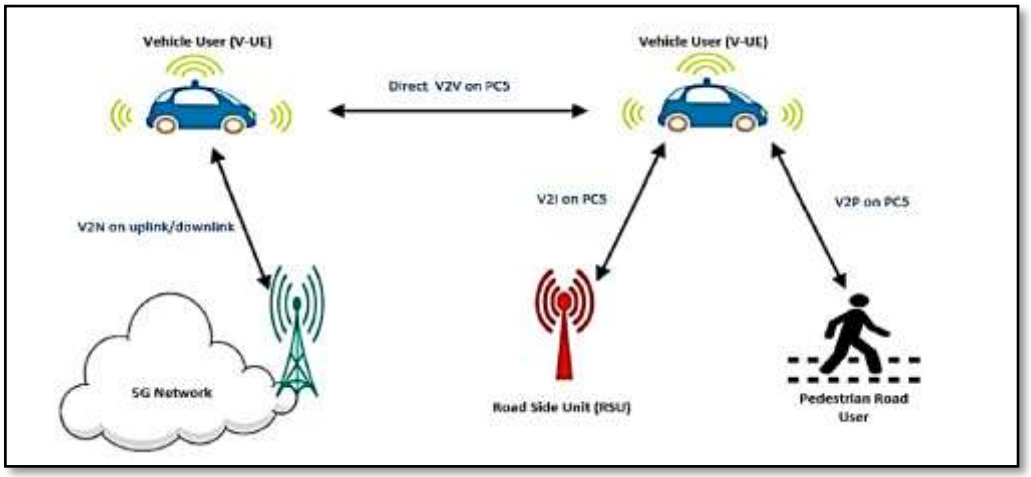
1- شبكات المركبات المعتمدة على شبكات الجيل الخامس:

تهدف أنظمة اتصالات المركبات إلى تحسين سلامة الطرق وتقليل استهلاك الوقود وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتوفير الوقت وتقديم تجربة قيادة جديدة[4].إن توظيف شبكات الجيل الخامس سيجعل شبكات المركبات تتفوق على شبكات المركبات المعتمدة على معيار IEEE 802.11p المستخدمة حالياً وذلك من حيث عدة خصائص[5]:

- مسافة الاتصال، تبلغ المسافة القصوى لاتصالات شبكات مركبات الجيل الخامس تقريباً حتى 800 متر، وهو ما يمكن أن يحل مشاكل اتصال IEEE 802.11p المتقطع قصير الأمد في شبكات vehicle ad hoc.
- حركية mobility عالية السرعة، حيث تدعم شبكات المركبات التي تعمل بتقنية الجيل الخامس سرعة تنقل تصل حتى 350 كم/ساعة.
- معدل نقل بياناتٍ عالٍ يصل حتى 1 Gbps.

تُصنف أنظمة اتصالات المركبات إلى أربعة أنماط [6][7] كما يبين الشكل(1) :

- Vehicle-to-Vehicle (V2V): ويقصد به الاتصال من مركبة إلى مركبة ويتضمن تطبيقات السلامة safety وتطبيقات غير متعلقة بالسلامة non-safety كخدمات الترفيه ونقل الصوت. وصمم هذا النمط لإمكانية الاتصال المباشر بين المركبات حتى في حال عدم وجود بنية تحتية جانبية مثل وحدة جانب الطريق (Road Side Unit) (RSU).
- Vehicle-to-Network (V2N): ويقصد به إمكانية الاتصال بمخدمات عن طريق بنية الجيل الخامس (الشبكة الراديوية والشبكة المركزية).
- Vehicle-to-Infrastructure (V2I): ويقصد به الاتصال مع عناصر البنية التحتية على جانبي الطريق مثل إشارات المرور أو RSU.
- Vehicle-to-Pedestrian (V2P): الاتصال مع المشاة لإرسال التنبيهات من السيارات أثناء القيادة لتجنب الحوادث.



الشكل(1): أنماط الاتصال في شبكات المركبات المعتمدة على الجيل الخامس[6]

في أنظمة اتصالات المركبات المعتمدة على شبكات الجيل الخامس سيتم الاعتماد على الوصلة الصاعدة uplink والهابطة downlink في الاتصال من نوع V2N مع المخدمات عن طريق بنية الشبكة الخليوية ، إضافة الى الاعتماد على الاتصال المباشر d2d link عن طريق الواجهة PC5 لتمكين V2V & V2P & V2I [6]، تم تحديد

خصائص V2V من قبل مشروع شراكة الجيل الثالث The 3rd Generation Partnership Project (3gpp) حيث من المتوقع أن تستخدم الاتصال المباشر بتقنية الربط الجانبي sidelink اعتماداً على الواجهة PC5[7]، في هذه الحالة من الاتصال تقوم المركبات القريبة من بعضها بتعيين موارد راديوية من مجموعة موارد محددة مسبقاً وتجدول الاتصال فيما بينها بشكل مستقل دون أي مساعدة من الشبكة [6] ، للاتصالات المباشرة القائمة على PC5 زمن انتظار latency أقل من الاتصالات الصاعدة/الهابطة عبر البنية الأساسية للشبكة الخلوية وقد تم اقتراحها في الأصل لدعم الخدمات المعتمدة على القرب device-to-device proximity services كالخدمات غير المتعلقة بالسلامة مثل كفاءة المرور، والتطبيقات الترفيهية للمستخدم التي لا تفرض متطلبات صارمة فيما يتعلق بالتأخير والذي قد يصل حتى 500 ms [6]، أما فيما يخص تطبيقات السلامة التي تتطلب اتصالات طويلة المدى وتأخير لا يتجاوز 100ms فمن المتوقع أن يتم الاعتماد على الاتصال القائم على الواجهة Uu [8][6]، ووفقًا للخصائص الزمنية للبيانات، يمكن تقسيم بيانات شبكات المركبات المعتمدة على الجيل الخامس إلى ثلاث فئات[4]:

- Complex real-time data: هذا النوع من البيانات له معايير زمن انتظار latency محددة (على سبيل المثال، الألعاب، وبث الفيديو، والرعاية الصحية).
- Soft real-time data: قد يقبل هذا النوع من البيانات تأخيراً محدداً مسبقاً ولكنه محدود (على سبيل المثال، نظام التحكم في إشارات المرور).
- Non-real-time data: ليست حساسة للزمن ولا تتأثر بالتأخير.

كما حدد مشروع 3GPP في سبيل تحسين وثوقية تقنية V2V (SL) من خلال تنفيذ طلب التكرار التلقائي الهجين Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) في إستراتيجية إرسال تتألف من البث العام broadcast، والبث الأحادي unicast والبث الجماعي groupcast [8] حيث ترسل طريقة HARQ إشارة تأكيد (ACK) acknowledgement إلى المركبة المرسلة عندما يكون نقل الرزمة packet ناجحاً، مما يسمح بنقل الرزمة الجديدة، وترسل إشارة إقرار سلبية negative acknowledgment(NACK) عندما يفشل النقل، مما يدفع إلى إرسال الرزم الفاشلة مرة أخرى. وبالتالي، فإن استخدام HARQ لإعادة النقل يزيد من زمن التأخير، مما جعل هذه الشبكات أمام تحديات جديدة أمام شبكات المركبات لتحقيق توازن trade-off بين زمن التأخير والوثوقية والإنتاجية[8].

2- التسليم في شبكات المركبات المعتمدة على الجيل الخامس:

تعرف شبكات المركبات على أنها شبكات ديناميكية، مما يجعل من الممكن مواجهة مجموعة واسعة من التحديات في التنفيذ والنشر كون العقد لديها قدرة عالية على الحركة لذا فإن الحفاظ على جودة الاتصال يشكل تحديًا مهمًا [9] تحدث عملية التسليم في نمط اتصالات V2V عندما يتحرك كل من المركبتين (طرفي الاتصال) أو إحداهما إلى الخلية المجاورة، وقد تحدث عندما يتحرك أحد طرفي الاتصال فقط إلى الخلية المجاورة، يشار إلى ذلك باسم نصف نقل أو نقل جزئي half-transfer [4] . تتكون عملية التسليم بشكل عام في حالة اتصال V2V من ثلاث مراحل[4]:

1. تخطيط التسليم Ho Planning: في هذه المرحلة، ترسل الطرفية terminal البيانات المتعلقة بالقناة إلى gNB المحطة القاعدية المخدمة ، والتي تقرر ما إذا كانت ستبدأ التسليم بناءً على عوامل مثل متوسط طول التلاشي the average fade length ومعدل انتقال المستوى المتوسطthe average level transition rate أو متطلبات جودة الخدمة للأجهزة وتوافر الموارد في الخلية الجديدة.
2. تنفيذ التسليم HO Execution: يتم نقل المعلومات وإجراءات الطرفية إلى الخلية الهدف أثناء عملية التنفيذ بالكامل.

3. استكمال التسليم HO Completion: وفي هذه المرحلة ، يتم نقل الإقرارات acknowledgments بين الخلايا، ويتم تغيير حالة التجهيز في الخلية الجديدة.

تتسبب الحركة العالية في تغيير المركبات للاتصال من بنية تحتية إلى أخرى بشكل متكرر. بعبارة أخرى، يُفرض على المركبة أن تنفذ إجراءات تسليم أكثر تكراراً. وهذا يسبب تدهوراً بجودة الاتصال. يمكن أن يؤدي التسليم المتكرر إلى تعطيل نقل البيانات مما يؤدي إلى العديد من المشكلات مثل التأخير وفقدان الرزم. تصبح المشاكل أكثر خطورة إذا تم اتخاذ قرار التسليم بشكل غير مناسب، على سبيل المثال، يتم التسليم متأخراً جداً أو مبكراً جداً. يعتبر الباحثون في مجال شبكات المركبات عموماً أن الاعتماد على قيمة قوة الإشارة المستقبلة Received Signal Strength (RSS) لتحديد فيما إذا كان هنالك حاجة لتحريض عملية التسليم خياراً ناجحاً، كون هذا البارامتر سهل القياس من قبل المركبة بشكل دوري كما أنه يعبر عن جودة القناة. لكن في نفس الوقت في نمط اتصالV2V قد يكون قرار التسليم أكثر تعقيدًا نظرًا لأن قيمة RSS ديناميكية وتتغير ليس فقط بالبعد بين المركبات بل بسرعة المركبة التي تتغير بتغير نوع المركبة(حافلة، سيارة) وسلوك السائق [9] . نوه الباحثون أنه إذا تم تطبيق قرار التسليم الشائع في اتصال V2Vبالاعتماد على RSS، فقد تعاني المركبة من التسليم المتكرر لاسيما لوجود اختلاف سمة فقدان المسار في كل بيئة مثل المناطق الحضرية والضواحي والريفية والطرق السريعة مما يجعل من الصعب تخمين قيمة RSS.

لا توجد دراسات كافية لتحديد فيما إذا كان الاعتماد على شبكات الجيل الخامس يتطلب أخذ خصائص عملية التسليم في الجيل الخامس بالحسبان ولاسيما بارامترات التسليم التكيفية، حيث يعدّ الحدث A3 هو الحدث المعياري لاتخاذ قرار التسليم اعتماداً على قيمة طاقة الإشارة المرجعية المستقبلة (RSRP) Reference Signal Received Power، أم سيتم التوجه للاعتماد على بارامتر RSS وبالتالي كان لابد من إجراء تقييم في القسم العملي لدراسة تأثير النموذجين على خدمة نقل الصوت عبر الانترنت .

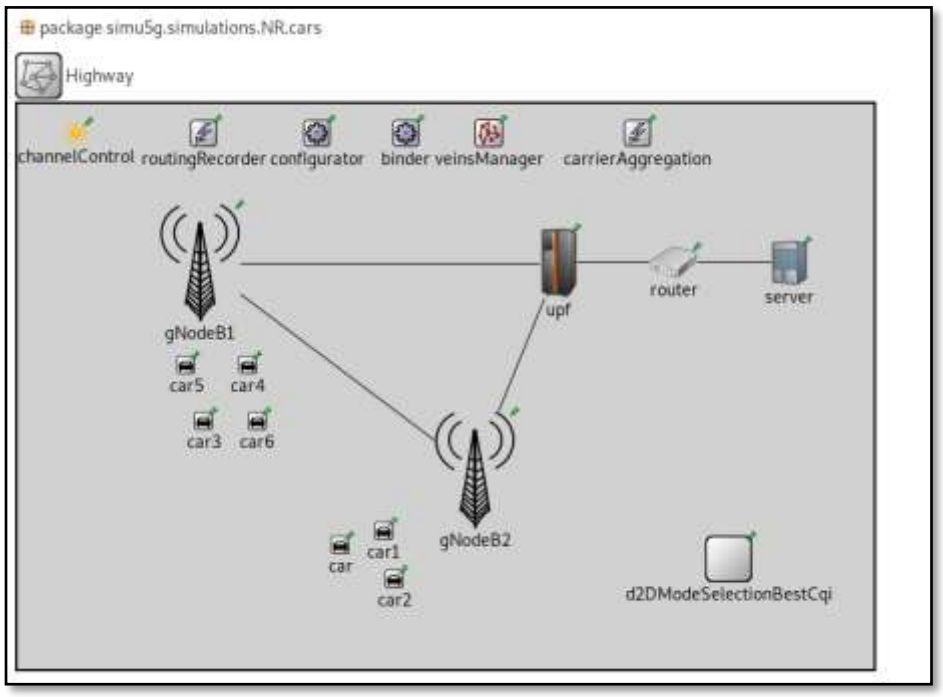
3- التنفيذ العملي:

تم إعداد بيئة العمل اعتماداً على الطريقة Plug-and-Play ، لتنفيذ المحاكاة نحتاج إلى ++OMNET وكل من أُطر العمل (Frameworks) INET وSimu5G وSUMO وVEINS ، لذلك قمنا بالاعتماد على Instant VEINS [9] كملف ova بالإصدار 5.2-i1 يتضمن حزمة من الملفات المضمنة والجاهزة للتنفيذ و يتم تشغيلها اعتماداً على Oracle Virtualbox بالإصدار 6.1.24 [10] وتم الاعتماد في إنجاز المحاكاة على الملفات الموجودة ضمن Instant veins وهي: نظام التشغيل Debian 11 وOMNET++ v5.7 و INET v4.2.8و VEINS v5.2 وSUMO v1.11.0 أما SIMU5G v1.1.0 [11] يتم استيراده لاحقاً بعد تشغيل ++OMNET.

تم اختيار هذه البيئة كون ++OMNET يعدّ من المحاكيات الفعالة لشبكات الجيل الخامس وشبكات المركبات وكون VEINS مكتبة نماذج مكنت الباحثين من تنفيذ المحاكاة على ++OMNET لنظم اتصالات المركبات، وقد تم توصيفها في الدراسة [13]، في حين SUMO يأخذ بالحسبان سلوك المركبات متضمناً السرعة والتسارع والموقع بالنسبة للطريق وتوصيف الطرقات على الخرائط [13].

يوضح الشكل (2) بنية الشبكة المدروسة والتي تم بناؤها بالاعتماد على module "car" الموجود ضمن SIMU5G وهي تتضمن محطتين قاعديتين gNBs على طريق سريع Highway و7 سيارات تستخدم خدمة VoIP أثناء التنقل اعتماداً على الوصلة الصاعدة والهابطة وتنفذ عملية التسليم خلال فترة المحاكاة عدة مرات، وفي اللحظة التي يكون

فيها طرفي الإرسال (السيارتين المرسلة والمستقبلة) تابعة للمحطة القاعدية نفسها فإنها تستخدم نمط اتصال D2D اعتماداً على sidelink.



الشكل(2) : بنية الشبكة المدروسة

تم تنفيذ سيناريوهين للعمل، الأول ويسمى Conventional HO: اتخاذ قرار التسليم يكون حسب الحدث A3 المعياري في شبكات الجيل الخامس والذي يعتمد على قيمة طاقة الإشارة المرجعية المستقبلة RSRP إذ يُتّخذ قرار التسليم عندما تصبح طاقة المحطة الهدف أكبر من طاقة المحطة الحالية المخدمة مضافاً إليها هامش تباطؤ Handover Margin (HOM) وذلك لفاصل زمني Time To Trigger(TTT).

والسيناريو الثاني ويسمى V2V HO :وفيه يتم اتخاذ القرار اعتماداً على قيمة قوة الإشارة المستقبلة RSS وفق اقتراح الدراسة [9] التي تنص على اتخاذ قرار التسليم عند انخفاض قيمة RSS عن عتبة محددة مسبقاً والانتقال إلى الخلية ذات أعلى قيمة RSS وذلك لضمان أفضل قيمة لنسبة الإشارة إلى الضجيج Signal to Noise Ratio(SNR) ، ويبين الجدول(1) أبرز بارامترات المحاكاة .

الجدول (1) : أبرز بارامترات المحاكاة

البارامتر	قيمة البارامتر
نمط معمارية الجيل الخامس	Standalone
عدد المحطات القاعدية	2
طاقة إرسال المحطة القاعدية	46 dbm
طاقة إرسال الهاتف النقال	26 dbm
عرض حزمة القناة	400 MHZ

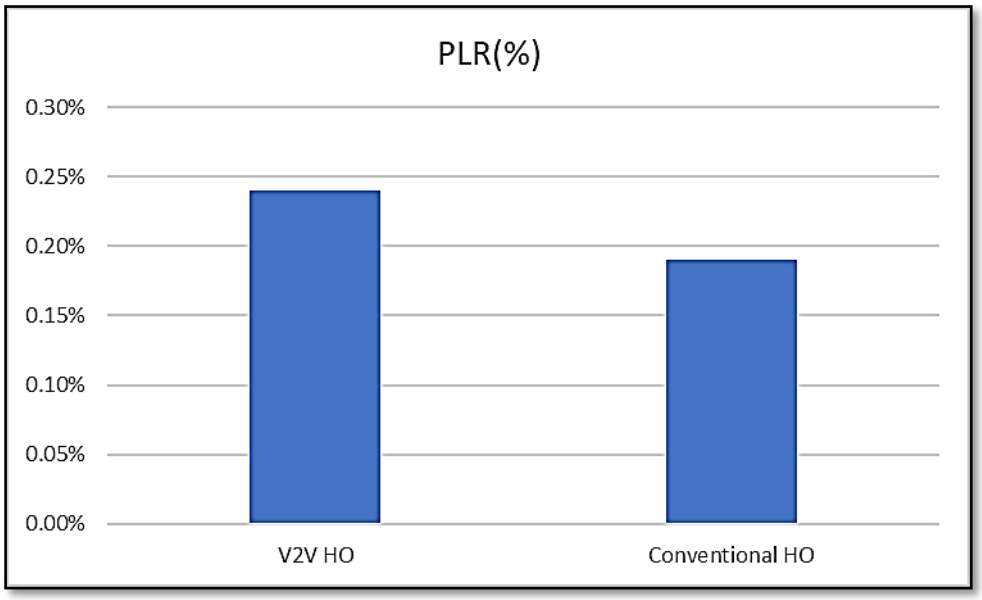
زمن المحاكاة	70 s
التطبيق المستخدم	VOIP
سرعة السيارات	13.89 m/s
نمط الحركة	Linear mobility
تردد الحامل (fc) Carrier Frequency	26 GHZ
نصف قطر الخلية	50 m
نصف قطر اتصال جهاز إلى جهاز	10m
نموذج فقدان المسار path loss model (base station –terminal)	128.1 + 37.6 log10 (d)
path loss model (D2D)	148 + 40 log10 (d)
عدد كتل الموارد الراديوية Physical Resource Block(PRB)	2500
عدد المستخدمين المشمولين بالقياس	7 cars
مجال TTT	تكيفي من 0 ms إلى 640 ms
مجال HOM	تكيفي من 0 db إلى 1 db

النتائج والمناقشة:

تم تكرار تجربة كل سيناريو خمس مرات وحساب المتوسط الحسابي لقيم الإحصائيات، حيث تم تقييم الأداء من حيث :

أولاً: من حيث معدل فقدان الرزم (Packet Loss Ratio(PLR:

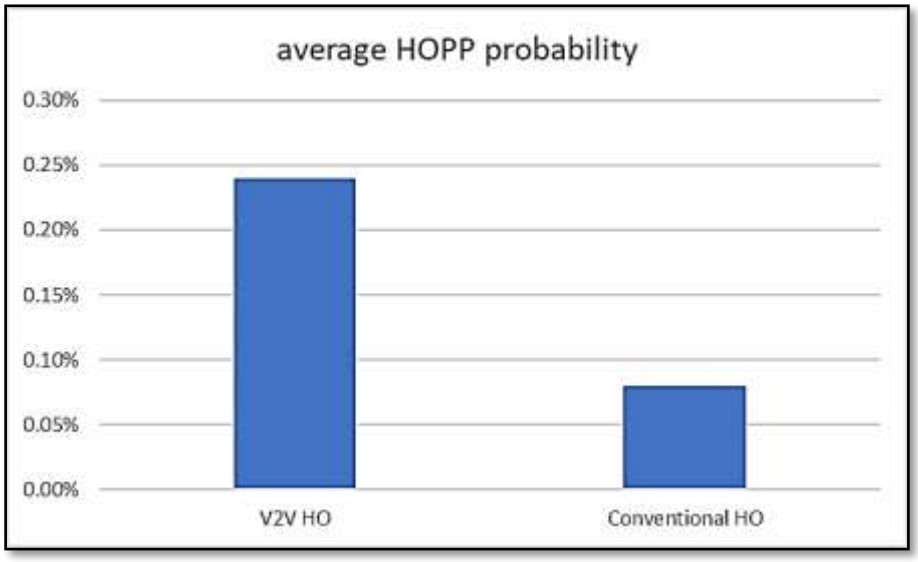
يبين الشكل (3) نتائج المحاكاة من حيث معدل فقدان الرزم كنسبة مئوية، حيث نلاحظ أن اتخاذ القرار بالاعتماد على RSS (V2V HO) تسبب بفقدان رزم أعلى من النموذج المعتمد على الحدث A3(Conventional HO) ، ويمكن تفسير ذلك نتيجة حدوث عمليات تسليم متكررة وبالتالي انقطاع الاتصال كون اتخاذ القرار يكون بناء على قوة الإشارة التي تتغير بسرعة في شبكات المركبات أو عند انخفاض قيمة SNR حتى لو لم تكن قيمة RSS منخفضة .



الشكل(3) : معدل فقدان الرزم PLR

ثانياً من حيث متوسط احتمال أحداث Ping–Pong:

يظهر الشكل(4) نتائج المحاكاة من حيث متوسط احتمال أحداث Ping–Pong حيث نلاحظ أن الاعتماد على الحدث A3 في اتخاذ القرار أعطى احتمال أقل للأحداث بالمقارنة مع التسليم المعتمد على RSS ويمكن تفسير ذلك كون النموذج المعتمد على حدث A3 يشترط ارتباط التجهيز مع المحطة المخدمة بعد تنفيذ عملية التسليم إليها لمدة لا تقل عن فاصل زمني TTT قبل تنفيذ عملية تسليم جديدة حتى لو كانت الإشارة المستقبلة من محطة أُخرى أفضل .

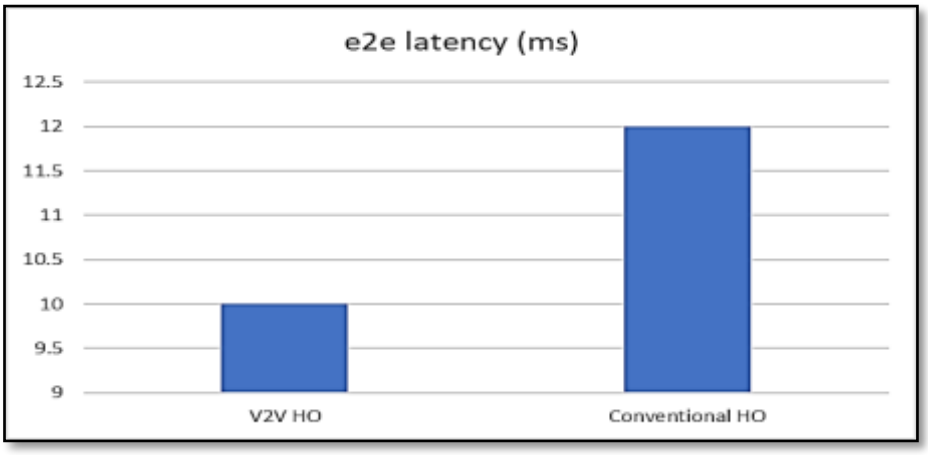


الشكل(4): متوسط احتمال أحداث Ping–Pong

ثالثاً: من حيث End–to–End latency:

يظهر الشكل(5) نتائج المحاكاة من حيث e2e latency وهو الفاصل الزمني منذ إرسال رزمة البيانات packet من الطرف المرسل إلى وقت استلامها في المستقبل، وقد أعطت الخوارزمية المعتمدة على RSS زمن أقل بمقدار 2 ms ويمكن تعليل ذلك كون e2e latency يتضمن التأخير في الشبكة إضافة إلى تأخير عملية التسليم وهو في الحدث

A3 أكبر بسبب الزمن الإضافي اللازم لاختيار قيم البارامترات HOM & TTT بينما في التسليم المعتمد على RSS تتم مقارنة قيمة RSS مع قيمة عتبة محددة مسبقاً .



الشكل(5): e2e latency

الاستنتاجات والتوصيات:

قدم هذا البحث مقارنة بين النموذج التقليدي في الجيل الخامس لاتخاذ قرار التسليمConventional HO المعتمد على الحدث المعياري A3 وبين النموذج V2V HO المعتمد على قيمة RSS لتحديد الآلية الأنسب لاتخاذ قرار التسليم في شبكات المركبات المعتمدة على الجيل الخامس، وذلك من حيث معدل فقدان الرزم ومتوسط احتمال أحداث Ping−Pong و قيمة التأخير e2e latency ، وقد تبين من خلال النتائج أن عملية التسليم المعتمدة على الحدث A3 أعطت نتائج أفضل من حيث معدل فقدان الرزم ومتوسط احتمال أحداث Ping−Pong بينما أعطت عملية التسليم المعتمدة على قيمة RSS أداء أفضل من حيث e2e latency وهذا يشكل تحدياً لضرورة تحقيق الموازنة بين وثوقية الاتصال من جهة وضرورة انخفاض زمن التنفيذ لخوارزمية التسليم المعتمدة، حيث يمكن اعتبار هذا البحث ممهّداً الطريق مستقبلاً لإمكانية تطوير خوارزمية تعتمد على قوة الإشارة RSS لكن مع الأخذ بالحسبان خصائص عملية التسليم في الجيل الخامس لاسيما الاعتماد على بارامترات التسليم التكيفية والنماذج الذكية في اتخاذ القرار التي تعتمد على تعلم الآلة أو التعلم العميق أو المنطق الضبابي .

References:

[1] A. Gohar, and G. Nencioni, The Role of 5G Technologies in a Smart City: The Case for Intelligent Transportation System, *Sustainability*, vol. 13, no. 9, p. 5188, (2021).

[2] N. Mahi , C. Sudipto, S. Ahmed, M. Biswas, et al , A Review on VANET Research: Perspective of Recent Emerging Technologies, *IEEE Access*, vol. 10, pp. 65760–65783, (2022).

[3] L. Wang, J. Yan, K. Yu ,and D. Deng, Research of D2D Communications Mode for 5G Vehicular Networks, *2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, Shanghai, China, pp. 1-6,(2019).

[4] M. M. Elsayed, K. M. Hosny, M. M. Fouda, and M. M. Khashaba, Vehicles communications handover in 5G: A survey, *ICT Express*, Jan. 2022, vol. 9, Pages 366-378 , (2023).

[5] R. Ali, R. Liu, A. Nayyar, I. Waris, L. Li, and M. A. Shah, Intelligent Driver Model-Based Vehicular Ad Hoc Network Communication in Real-Time Using 5G New Radio Wireless Networks, *IEEE Access*, vol. 11, pp. 4956–4971, (2023).
[6] M. Muhammad and G. A. Safdar, 5G-based V2V broadcast communications: A security perspective, *Array*, vol. 11, p. 100084, (2021).
[7] A. Alalewi, I. Dayoub, and S. Cherkaoui, On 5G-V2X Use Cases and Enabling Technologies: A Comprehensive Survey, *IEEE Access*, pp. 1–1, (2021).
[8] S. An , and K. Chang, Enhancing Reliability in 5G NR V2V Communications Through Priority-Based Group casting and IR-HARQ, *IEEE Access*, vol. 11, pp. 72717–72731,(2023).
[9] S. Alam, S. Sulistyo, I. W. Mustika, and R. Adrian, Handover Decision for V2V Communication in VANET Based on Moving Average Slope of RSS, *Journal of Communications*, pp. 284–293, (2021).
[10] VEINS instant, available at: https://veins.car2x.org/download .
[11] Oracle VirtualBox, available at: https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads.
[12] Simu5G Website. Available at: http://simu5g.org.
[13] M. A. Al-Shareeda ,and S. Manickam, A Systematic Literature Review on Security of Vehicular Ad-Hoc Network (VANET) Based on VEINS Framework, *IEEE Access*, vol. 11, pp. 46218–46228, (2023).