

A Hybrid Approach for Congestion Control in Vehicular Ad-Hoc Networks

Hasan Mousa*

(Received 18 / 12 / 2023. Accepted 7 / 2 / 2024)

□ ABSTRACT □

In this research, mobile vehicle networks and congestion in this type of networks were identified, and a group of congestion control algorithms was reviewed. A hybrid algorithm that works to adapt the data transmission rate and the transmission power capacity for vehicles in Ad-Hoc networks is proposed. The proposed hybrid algorithm is based on data rate control together with transmission power adaptation to improve the network performance. Simulation results show that the proposed hybrid algorithm achieves better performance, compared to the reference studies, in terms of four parameters. Higher network throughput, higher PDR (Packet Delivery Ratio), lower PLR (Packet Loss Ratio), and lower CBR (Channel Busy Ratio) were obtained, compared to the reference algorithms that deal separately with data transmission rate or power transmission capacity.

Keywords: Vehicular networks, hybrid algorithm, transmission power adaptation, data rate adaptation, network throughput.

Copyright



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

* Researcher, Master – Department of Communications Engineering, Communications Engineering, University of Aleppo, Aleppo, Syria. hasan.mousa@tishreen.edu

طريقة هجينة للتحكم بالازدحام في شبكات المركبات المتنقلة

حسن موسى*

(تاريخ الإيداع 18 / 12 / 2023. قُبِلَ للنشر في 7 / 2 / 2024)

□ ملخص □

في هذا البحث تم التعرف على شبكات المركبات المتنقلة، والازدحام في هذا النوع من الشبكات، كما تم استعراض مجموعة من خوارزميات التحكم بالازدحام، بعد ذلك تم العمل على اقتراح خوارزمية هجينة تعمل على تكييف استطاعة الإرسال للمركبات بالإضافة إلى تكييف معدل إرسال البيانات لهذه المركبات، وذلك عن طريق الدمج بين خوارزمتين من الدراسات المرجعية، بحيث تم الحصول على خوارزمية هجينة تعمل على تحسين أداء الشبكة عن طريق تكييف استطاعة الإرسال ومعدل إرسال البيانات معاً، بعد ذلك تم إجراء المحاكاة لأربعة بارامترات هي CBR (Channel Busy Ratio) و Throughput و PDR (Packet Delivery Ratio) و PLR (Packet Loss Ratio). حيث تم الحصول على إنتاجية أعلى للشبكة ونسبة تسليم حزم أعلى ومعدل فقدان حزم أخفض ونسبة انشغال قناة أخفض، وذلك بالمقارنة مع الدراسات المرجعية، أي أنه في نهاية البحث تم الحصول على خوارزمية هجينة لتحسين أداء شبكات المركبات المتنقلة عن طريق تحسين أربعة بارامترات.

الكلمات المفتاحية: شبكات المركبات المتنقلة، خوارزمية هجينة، تكييف استطاعة الإرسال، تكييف معدل إرسال البيانات، إنتاجية الشبكة.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

*باحث، ماجستير، قسم هندسة الاتصالات ، هندسة الاتصالات ، جامعة حلب، حلب، سورية. hasan.mousa@tishreen.edu

مقدمة:

لطالما شكل الاتصال اللاسلكي على مر الزمن نقطة تحول في شبكة الاتصالات، مما جعل العديد من المهام أكثر بساطة حيث نجد أنه بسبب الاتصال اللاسلكي، يمكن للمستخدمين توصيل بياناتهم ونقلها دون الحاجة إلى وسائط مادية مثل الأسلاك والألياف الضوئية، مما يجعل الاتصال أكثر سهولة، حيث تستخدم الاتصالات اللاسلكية إشارات مختلفة مثل الأمواج الراديوية والأمواج الميكروية والأمواج فوق الصوتية وأمواج الأشعة تحت الحمراء، وبالنظر إلى الشبكات اللاسلكية المخصصة Wireless Ad-hoc Networks نجد أنه تم العمل بنوع جديد من هذه الشبكات وهو الشبكات المخصصة للمركبات (VANET (Vehicular Ad-hoc Network) حيث يدعم هذا النوع من الشبكات ميزة التنقل Mobility التي تمكن العقد من التحرك في الشبكات بسرعات مختلفة وإجراء اتصال مع العقد الأخرى، لذلك اجتذبت شبكات المركبات VANET اهتماماً بحثياً متزايداً نظراً لتطبيقاتها المحتملة الهائلة. ومع ذلك، فإن الميزات الخاصة لهذه الشبكات تجلب الكثير من التحديات لتطوير خوارزميات وبروتوكولات موثوقة وفعالة.

1-1 - شبكة Ad-hoc Network:

شبكة Ad-hoc Network [1] هي شبكة مؤقتة، تتكون من مجموعة من العقد التي تتصل مع بعضها لاسلكياً، تكون هذه الشبكات لا مركزية ولا تعتمد على بنية تحتية موجودة سلفاً لإنشاء هيكلية الشبكة عليها، يتم إنشاؤها لحالات الطوارئ عند الطلب عندما لا توجد بنية تحتية ولا يوجد وقت كافٍ لبناء شبكة. تلعب هذه الشبكة دوراً مهماً في مواقف مثل الكوارث، الزلزال. حيث يصبح من السهل إنشاء اتصال باستخدام شبكة مخصصة. وتتميز شبكة Ad-hoc Network بالعديد من الميزات [2] أهمها أنها شبكة بدون بنية تحتية وتعمل كل عقدة كجهاز توجيه وتتخذ قرار إعادة توجيه الحزم، بالإضافة لإمكانية إجراء الاتصال السريع (Hop-to-hop communication) كما أن هيكل الشبكة (Network topology) يتغير من وقت لآخر بتحريك العقد في الشبكة.

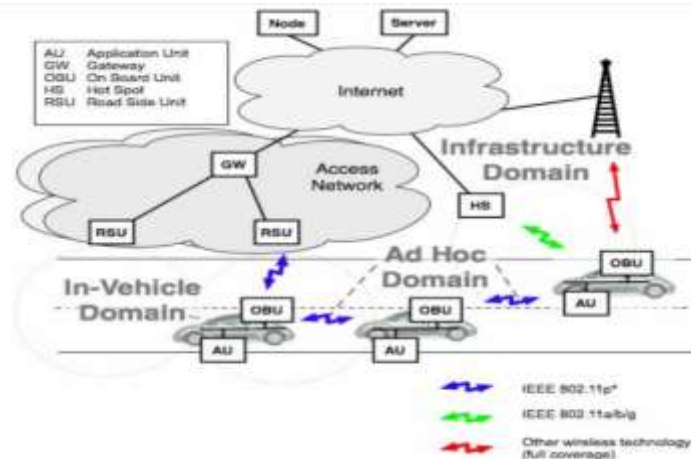
2-1 - شبكة VANET (Vehicular Ad-Hoc Network):

هي التكنولوجيا التي تستخدم سيارات متحركة في الشوارع (مدن أو خطوط سريعة) كالعقد في شبكة لاسلكية لإنشاء شبكة لاسلكية متنقلة. تقوم شبكة (Vehicular Ad-hoc) [3] بتحويل كل سيارة مشاركة في الشبكة إلى موجه لاسلكي (Router) أو عقدة لاسلكية (node)، مما يسمح للسيارات التي تبعد عن بعضها البعض ما يقرب من 100 حتى 3000 متر للتواصل، وبالتالي إنشاء شبكة اتصال مع مجموعة واسعة النطاق. تصبح بعض السيارات ونتيجة التنقل (mobility) خارج نطاق منطقة التغطية وبالتالي يتسبب هذا بالانقطاع عن الشبكة، ولكن من الممكن أن تأتي سيارات أخرى تنضم للشبكة وتقوم بربط المركبات مع بعضها البعض بحيث يتم إنشاء اتصال إنترنت عبر هذه الشبكة المتنقلة. تتألف شبكات VANETs من وحدتين أساسيتين هما وحدة الإرسال الخاصة بالطرق Road-Side Unit (RSU)، ووحدة الإرسال الخاصة بالمركبات (OBU) On Board Unit. كما تصنف بنية شبكة VANET [4] كالتالي:

- In-vehicle domain: يتألف من واحد أو مجموعة من application units (AUs) بالإضافة إلى On Board Unit (OBU) حيث AU هو جهاز مخصص، والذي يمكن أن تكون جزءاً لا يتجزأ من السيارة أو جهاز محمول منفصل مثل الهاتف الذكي، كمبيوتر محمول، وما إلى ذلك، فهو يشغل تطبيقاً واحداً أو العديد من التطبيقات التي تعمل على استغلال قدرات الاتصال بـ OBU.
- Ad-hoc domain: تتكون من مركبات مجهزة بـ OBUs ومحطات ثابتة (RSUs) Road-Side Units حيث يتم نشر هذه الوحدات في مواقع محددة على طول الطريق. حيث إن الـ RSU هو جهاز ثابت يمكنه أن تكون

متصلاً بشبكة البنية التحتية أو بالإنترنت، كما يمكنه إرسال البيانات أو تلقيها أو إعادة توجيهها في المجال المخصص (أي المركبات المجهزة بـ OBU و RSUs). أما الـ OBU يمكنه الوصول إلى الإنترنت عبر الاتصال بالبنية التحتية RSU.

- Infrastructure domain: يتكون الوصول إلى مجال البنية التحتية من Hot Spots (HSs) و RSUs، وفي حال عدم توفر RSU و HS يمكن لوحدة OBU استغلال شبكات الراديو الخلوية مثل HSDPA، 4G. كما يتم تصنيف اتصالات VANET على النحو التالي:
- ❖ In-vehicle communication: يتم هذا الاتصال بين OBU و AU.
- ❖ Vehicle-to-vehicle (V2V): اتصال من مركبة إلى أخرى (V2V) هو اتصال لاسلكي بين المركبات عبر OBU الخاصة بهم.
- ❖ Vehicle-to-infrastructure (V2I): اتصالات لاسلكية ثنائية الاتجاه بين المركبات ووحدات RSU المتصلة بالبنية التحتية.
- ❖ Infrastructure-to-Infrastructure (I2I): اتصالات بين RSUs تمكن الشبكة من زيادة تغطيتها. الشكل (1) يوضح بنية شبكة VANET والاتصالات التي تتم بين مكونات الشبكة.



الشكل (1): بنية شبكة VANET والاتصالات التي تتم بين مكونات الشبكة

أهمية البحث وأهدافه:

تتم أهمية البحث في تطوير خوارزمية هجينة لتحسين الأداء في شبكات المركبات، بهدف تحسين نسبة انشغال قناة اتصال (Channel Busy Ratio) CBR و معدل فقدان الحزمة (Packet Loss Ratio) PLR و نسبة تسليم الحزم (Packet Delivery Ratio) PDR والإنتاجية Throughput.

2-1- الازدحام في شبكة VANET:

تتعاين شبكات VANET بسبب حركة العقد (المركبات) من الازدحام [5] بشكل كبير مقارنة مع أنواع أخرى من الشبكات حيث تشكل هذه المشكلة موضوعاً للعديد من الأبحاث، بالإضافة إلى كونها تعد من شبكات إنترنت الأشياء (IoT) [6] التي تعد الشغل الشاغل للباحثين. حيث تصنف تقنيات التحكم في الازدحام الموجودة إلى مجموعتين رئيسيتين وهما: Rate adaptation (تكيف المعدل) و Media access control حيث في تقنيات Rate

adaptation، يتم تنظيم معدل التدفق حسب حالة الشبكة من أجل توليد معدل تدفق جديد بعيداً عن منطقة الازدحام. أما في تقنيات Media access control تطبق خوارزميات تحدد عدة مستويات من الأولويات حسب نوع الحزم بحيث تكون الأولويات عالية المستوى مخصصة لرسائل الأمان والسلامة. كما أنها تنفذ عملية ماركوف متعددة الأولويات لاستخدام قناة الإرسال بشكل أكثر كفاءة وفقاً لحالة الشبكة.

2-2- خطوات تنفيذ خوارزمية التحكم بالازدحام:

- عادة يتم تنفيذ خوارزمية التحكم بالازدحام في كل العقد في الشبكة على عدة مراحل كالتالي:
- المرحلة الأولى هي مرحلة مراقبة قناة الإرسال لتحديد بارامترات الشبكة مثل: نسبة انشغال قناة اتصال CBR (Channel Busy Ratio) ونسبة تسليم الحزم PDR (Packet Delivery Ratio) و معدل فقدان الحزم PLR (Packet Loss Rate) وإنتاجية الشبكة Throughput.
 - المرحلة الثانية هي مرحلة تخمين معدل الإرسال المستقبلي، حيث تحدد الخوارزمية معدل الإرسال التي يجب استخدامها للإرسال التالي.
 - المرحلة الثالثة هي مرحلة الإجراء، حيث تقرر الخوارزمية ما إذا كانت سترسل أم لا الرسائل الدورية مع معدل التدفق المحدد في المرحلة السابقة أو الانتظار فترة قبل الإرسال. يوضح الشكل (2) مراحل تنفيذ خوارزمية التحكم بالازدحام.



الشكل (2): مراحل تنفيذ خوارزمية التحكم بالازدحام

طرائق البحث ومواده:

تم الاعتماد في هذا البحث على دمج آلية تكيف المعدل (Rate adaptation) المستخدمة في [7] مع آلية تكيف طاقة الإرسال المستخدمة في [8] بالاعتماد على كثافة المركبات في الشبكة، حيث تم الحصول على خوارزمية هجينة تعمل على تحسين أداء شبكات المركبات، عن طريق تحسين نسبة انشغال قناة الاتصال CBR (Channel Busy Ratio) ونسبة تسليم الحزم PDR (Packet Delivery Ratio) ومعدل فقدان الحزم PLR (Packet Loss Ratio) وإنتاجية الشبكة Throughput.

1- الدراسات المرجعية:

تقدم المقالة [9] خوارزمية مدمجة للتحكم بالازدحام في شبكات المركبات حيث تدمج بين خوارزمية LIMERIC وخوارزمية للتحكم بمعدل نقل البيانات DRC (Data Rate Control) التي تعتمد على تكيف معدل نقل البيانات ضمن عدة مستويات هي 24Mbps و 18Mbps و 12Mbps و 9Mbps و 6Mbps، وذلك تبعاً لنسبة انشغال القناة CBR التي يتم حسابها عن طريق معادلات رياضية بالاعتماد على قيمة نسبة تسليم الحزم PDR (Packet Delivery Ratio)، حيث تبعاً لقيمة العتبة CBR يتم تحديد معدل نقل البيانات حيث تهدف الخوارزمية [8] للحصول على نسبة تسليم حزم مرتفعة PDR مع تحسين نسبة انشغال القناة CBR.

كما تقدم المقالة [8] طريقة جديدة لتكيف طاقة الإرسال بالاعتماد على كثافة المركبات في الشبكة بهدف تقليل الازدحام على قناة الشبكة وتحسين أداء الشبكة الكلي. حيث أشارت نتائج المحاكاة إلى تحسين الأداء من حيث تقليل فقدان

الحزمة وتأخير الحزمة. حيث يمكن تلخيص الخوارزمية في هذه الدراسة المرجعية بالخطوات التالية: الخطوة الأولى في هذه الخوارزمية هي تعيين أقصى نطاق نقل Tmax، استناداً إلى شبكة الطرق الحالية وشروط حركة المرور العادية. الخطوة الثانية هي حساب مستوى استطاعة الإرسال الأعظمي Pmax اللازم للوصول إلى أقصى نطاق نقل Tmax، وذلك بناءً على البيئة والظروف الجوية. الخطوة الأخيرة في الخوارزمية هي تحديد القيم المناسبة لعنات الكثافة لحركة المرور، على سبيل المثال ما هي مستويات حركة المرور التي سيتم النظر فيها لتقييم حركة المرور "العالية" أو حركة المرور "المنخفضة".

فيما تعتمد آلية التحكم في الازدحام في [10] على استبدال بروتوكول MAC القياسي الحال (CSMA/CA) [11] ببروتوكول تقسيم الوصول المتعدد TDMA والتحكم في الازدحام اللامركزي (DCC)، حيث أن الفكرة الأساسية لتقليل الازدحام هي عن طريق تصنيف رتل DCC إلى رتل لرسائل الأمان queue safety ورتل للرسائل الأخرى queue othermsg بحيث يأخذ بعين الاعتبار رتل رسائل الأمان ويتم إهمال الرتل الآخر وبعدها يتم أولاً جدولته ال beacon مع الأخذ بعين الاعتبار تكيف الأولويات ومعدل الإرسال، ومن ثم يتم زيادة معدل الإرسال لل beacon التي لها أولوية تبعاً باستخدام خوارزمية LIMERIC [12].

كما تقدم المقالة [7] طريقة للتحكم بالازدحام عن طريق التحكم في معدل إرسال البيانات النشط المتعدد الحالات، حيث يتكيف معدل بيانات النظام حسب حمل القناة. يتم حساب حمل القناة من حيث نسبة انشغال القناة channel busy ratio (CBR) وبمجرد حساب CBR ووفقاً للقيمة الحالية من CBR، يتم تكيف معدل بيانات النظام. حيث يتم في هذه الخوارزمية استخدام معدلات البيانات فقط في نطاق من 3 إلى 12 ميغابت في الثانية لتجنب الفيضانات (مع العلم أن المعيار يدعم معدل نقل بيانات من 3 إلى 24 ميغابت في الثانية)، ثم يتم اعتبار حالة نشطة أولى عندما تكون CBR بين 0.2 إلى 0.43، وحالة نشطة ثانية عندما CBR بين 0.43 إلى 0.6. حيث عندما تكون CBR أقل من 0.2 تكون قناة الاتصال في حالة راحة ويكون معدل نقل البيانات 12 ميغابت في الثانية، وعندما $0.2 < CBR \leq 0.43$ تكون قناة الاتصال في الحالة النشطة الأولى ويتم تحديد معدل نقل البيانات 9 ميغابت في الثانية، وعندما $0.43 < CBR \leq 0.6$ تكون قناة الاتصال في الحالة النشطة الثانية ويتم تحديد معدل نقل البيانات 6 ميغابت في الثانية، أما عندما تكون $0.6 < CBR$ عندها تكون قناة الاتصال مقيدة يكون عندها معدل نقل البيانات 3 ميغابت في الثانية.

2- الخوارزمية المقترحة:

تهدف الخوارزمية المقترحة الهجينة Proposed Hybrid Algorithm (PHA) إلى الحصول على طريقة هجينة لتحسين الأداء في شبكات المركبات، وذلك عن طريق القيام بدمج خوارزمية تكيف طاقة الإرسال [8] مع خوارزمية تكيف معدل نقل البيانات [7] بدلاً من تكيف معدل نقل البيانات أو تكيف استطاعة الإرسال كل على حدة، حيث تعمل الخوارزمية المقترحة في البداية في طور البدء Initialize phase على حساب نسبة انشغال القناة CBR ثم تحديد مدى الإرسال الأعظمي Tmax (الذي يحدد في الخوارزمية [8] بأنه 1000m)، ثم ضبط استطاعة الإرسال الأعظمية $P_{max} = 26 \text{ dBm}$ ثم حساب عدد المركبات المجاورة (n) للمركبة المرسل، بعد ذلك في طور ال Power control يتم حساب عدد المركبات في الشبكة (N) ثم يتم حساب معامل انخفاض استطاعة الإرسال r الذي يحدد نسبة انخفاض استطاعة الإرسال من العلاقة (1) $r = 1 - \frac{n}{N}$ (حيث إن قيمة معامل الانخفاض هي بين الصفر والواحد $0 < r \leq 1$ حيث في حالة كثافة المركبات المنخفضة تكون $r = 1$ أي أن المركبات ترسل بأقصى استطاعة ممكنة، وبازدياد كثافة المركبات في الشبكة تقل قيمة معامل انخفاض الاستطاعة r أكثر فأكثر مما

يقل استطاعة الإرسال للمركبات كما في [8]، ثم يتم حساب استطاعة الإرسال الجديدة التي سيتم الإرسال بها، بعد ذلك في طور الـ Data Rate Control يتم تكيف معدل نقل البيانات تبعاً لنسبة انشغال القناة Channel Busy Ratio (CBR)، عندما تكون $CBR < 0.2$ تكون قناة الاتصال في مرحلة الراحة (Relaxed) حيث تكون معدلات الإرسال الموجودة ضمن قناة الاتصال ليست كبيرة لانشغال القناة وتقتصر الخوارزمية معدل نقل بيانات 12 Mbps، وحالما تصبح $CBR = 0.2$ تبدأ الخوارزمية المقترحة بالعمل ضمن المجال الذي تكون فيه $0.2 \leq CBR < 0.6$ ، الذي يعتبر مرحلة نشاط (Active) حيث بالاعتماد على قيمة CBR يوجد مستويين لتكيف معدل إرسال البيانات النشط، المستوى الأول يكون عندما $0.2 \leq CBR < 0.43$ عندها تقوم الخوارزمية بتكيف معدل نقل البيانات بحيث يصبح 9 Mbps، المستوى الثاني يكون عندما $0.43 \leq CBR < 0.6$ عندها تقوم الخوارزمية بتكيف معدل نقل البيانات بحيث يصبح 6 Mbps، أما عندما تصبح نسبة انشغال القناة $0.6 \leq CBR$ عندها تنتقل القناة لحالة التقييد (Restrictive) بحيث يصبح معدل نقل البيانات يساوي 3 Mbps لتجنب الفيضان (Flooding) في قناة الاتصال.

حيث إن العتبتين السابقتين $0.2 < CBR \leq 0.43$ و $0.43 < CBR \leq 0.6$ في [7]، هما عتبتان مقترحتان من معهد معايير الاتصالات الأوروبية (ETSI) European Telecommunications Standards Institute، كما يتم تنفيذ خطوات الخوارزمية المقترحة من 1 حتى 12 في كل من وحدات الإرسال الخاصة بالطرق RSUs ووحدات الإرسال الخاصة بالمركبات OBUs.

الجدول 1 يلخص خطوات تنفيذ الخوارزمية المقترحة الهجينة PHA.

الجدول 1: خطوات تنفيذ الخوارزمية المقترحة الهجينة PHA

Algorithm: The Proposed Hybrid Algorithm (PHA)

Initialize:

1. Calculate CBR
2. $T_{max} = \text{setMaxTransmitRange}()$
3. $P_{max} = \text{setMaxTransmitPower}(T_{max})$
4. $n = \text{calcNearbyVehicles}()$

Power Control:

5. $N = \text{calcTrafficDensity}()$
6. $r = \text{setReductionFactor}(N, n)$
7. $TXpower = r * P_{max}$

Data Rate Control:

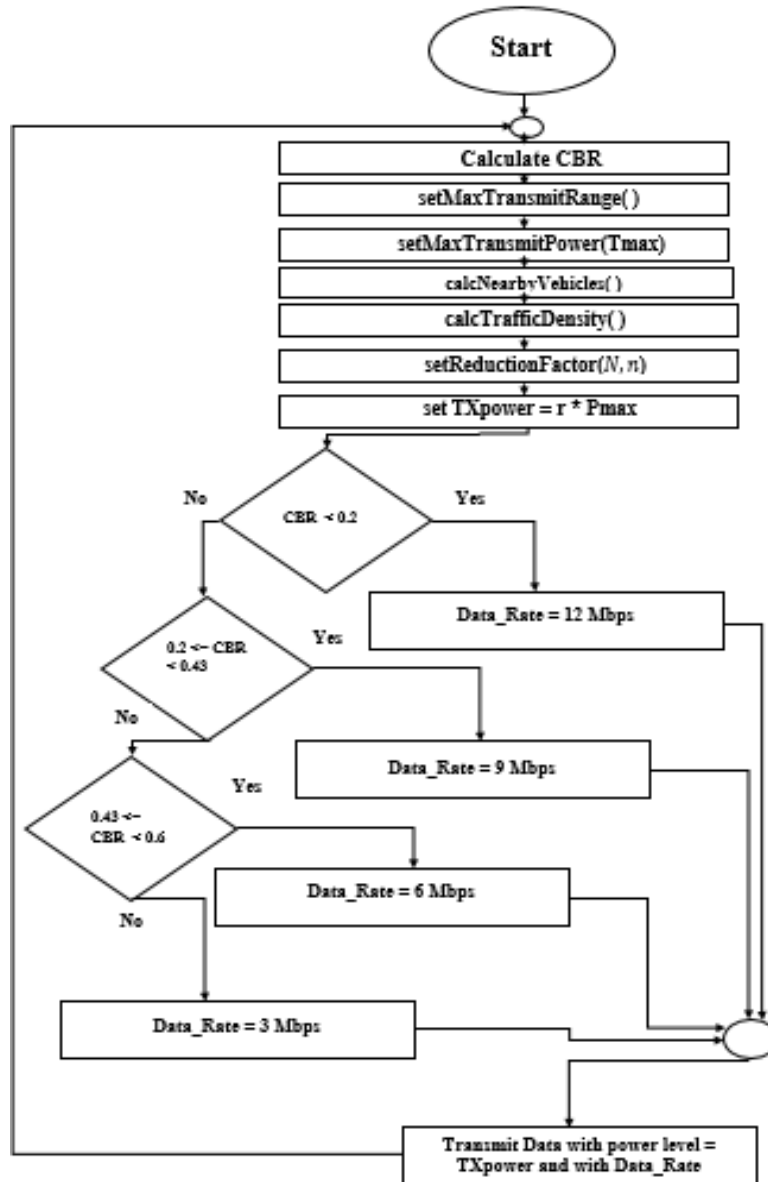
8. **if** $CBR < 0.2$ **then**
Data_Rate = 12 Mbps
9. **Else if** $0.2 \leq CBR < 0.43$ **then**
Data_Rate = 9 Mbps
10. **Else if** $0.43 \leq CBR < 0.6$ **then**
Data_Rate = 6 Mbps
11. **Else**
Data_Rate = 3 Mbps

End if

12. Transmit Data with power level = TXpower and with Data_Rate

Loop

حيث إن فكرة الاقتراح تعتمد على الحصول على أخفض نسبة لانشغال قناة الاتصال CBR بمقابل عدم تخفيض معدل إرسال البيانات بشكل كبير وذلك عن طريق تخفيض استطاعة الإرسال، أي أنه عند تكييف استطاعة الإرسال وتكييف معدل نقل البيانات نحصل على نسبة انشغال قناة اتصال أخفض مما يسهم في عدم تخفيض معدل إرسال البيانات بشكل كبير. يوضح الشكل(3) المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة الهجينة PHA.



الشكل(3): المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة الهجينة PHA

3- البرامج والمحاكاة:

تم انجاز العمل بواسطة حاسب مكتبي نوع Fujitsu جيل ثامن Corei5 و 8GB RAM وقرص صلب 1TB ونظام تشغيل Windows 10 bit-64، كما تمت عملية المحاكاة باستخدام برنامجي محاكاة حيث تم استخدام بيئة برنامج OMNeT++ [13]، مستخدماً لغة برمجة C++ [14].

كما تم استخدام قاعدة بيانات مولدة بواسطة محاكي حركة المرور في المناطق الحضرية Simulation of Urban Mobility (SUMO) [15]، حيث يوضح الجدول 2 بارامترات المحاكاة للشبكة.

الجدول 2: بارامترات المحاكاة للشبكة

Parameters	Values
Area	3000 m _ 3000 m
Number of RSUs	10
Number of lanes	4-6-8-12
Velocity of vehicles	20 kmph _ 90 kmph
Max Transmission range	1000 m
Size of packets	512 bytes
Sensitivity	-89 dBm
Thermal Noise	-110 dBm

الجدول 3: عدد المركبات في الشبكة

Lanes	Number of vehicles
4 Lanes	86
6 Lanes	137
8 Lanes	196
12 Lanes	272

تم الاعتماد على أربعة بارامترات لتقييم أداء الشبكة من أجل المقارنة بين الخوارزمية في الدراسات المرجعية والخوارزمية المقترحة حيث تم الاعتماد على البارامترات الموضحة في العلاقات الرياضية التالية:

- نسبة انشغال القناة (Channel Busy Ratio (CBR) التي تمثل مجموع طول الرسائل المستقبلية من كل عقدة (مركبة) مجاورة إلى سعة القناة

$$CBR = \frac{\sum_{i=1}^N \text{length of message received from each neighbor (bytes/sec)}}{\text{channel capacity (bytes/sec)}} \quad (2)$$

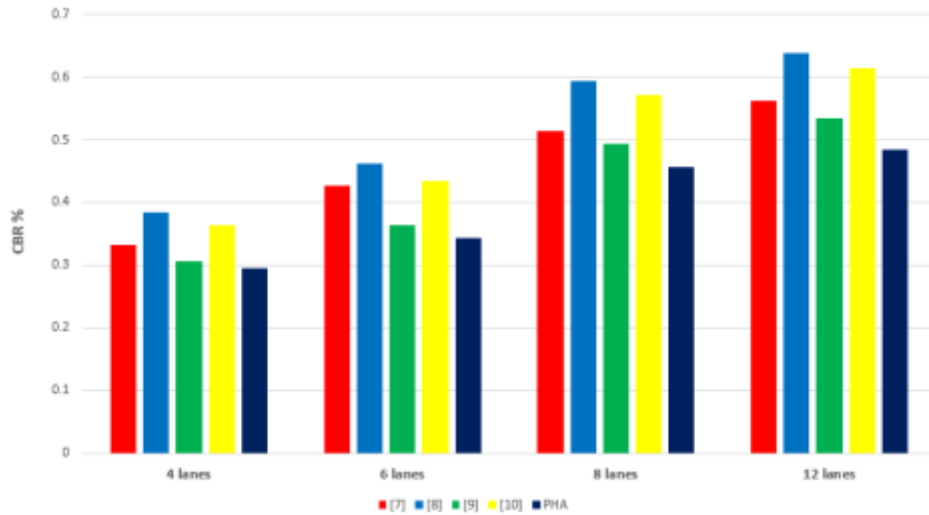
حيث N: عدد العقد (المركبات) في الشبكة

- معدل فقدان الحزمة (Packet Loss Ratio (PLR): يقيس النسبة المئوية للحزم المفقودة نتيجة التصادمات والخبوء، وانتهاء وقت صلاحية القناة إلى إجمالي الحزم التي تم إرسالها.
- نسبة تسليم الحزم (Packet Delivery Ratio (PDR): هي نسبة الحزم التي تم استلامها بنجاح إلى إجمالي الحزم المرسل.
- الإنتاجية (Throughput): هي معدل تسليم البيانات (الحزم) الناجح عبر قناة الاتصال وتحسب بوحدة بت/ثانية.

النتائج والمناقشة:

في بداية المحاكاة تم إجراء المحاكاة على الخوارزمية الهجينة المقترحة من أجل عدة حالات وذلك تبعاً لعدد الممرات والمركبات ضمن الشبكة حيث تمت المحاكاة من أجل أربعة ممرات 4 Lanes وستة ممرات 6 Lanes وثمانية ممرات 8 Lanes واثنا عشر ممرات 12 Lanes بعدد مركبات 86 و137 و196 و272 على التوالي، وتمت مقارنتها مع

الدراسات المرجعية [7] و[8] و[9] و[10] ، حيث عند مقارنة نتائج المحاكاة بالنسبة لبارامتر نسبة انشغال القناة CBR وجد أن الخوارزمية الهجينة المقترحة تحقق نسبة انشغال قناة أخفض من الدراسات المرجعية [7] و[8] و[9] و[10]، كما موضح في الشكل(4)، حيث يبين الجدول 4 قيم نتائج المحاكاة بالنسبة لبارامتر نسبة انشغال القناة CBR.

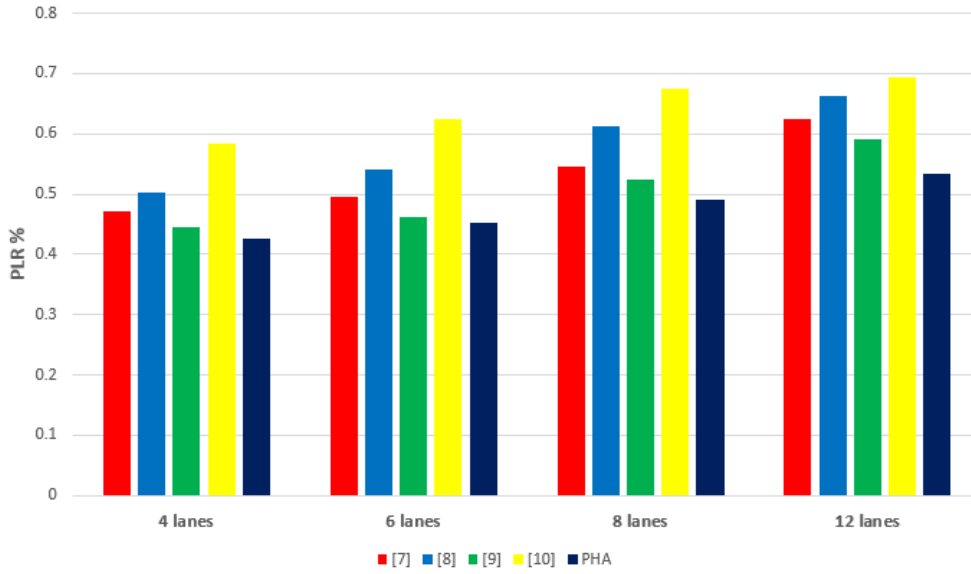


الشكل(4): نسبة انشغال القناة CBR

الجدول 4: قيم نتائج المحاكاة لنسبة انشغال القناة CBR

CBR	[7]	[8]	[9]	[10]	PHA
4 lanes	0.332	0.384	0.306	0.364	0.295
6 lanes	0.427	0.462	0.364	0.435	0.343
8 lanes	0.514	0.594	0.493	0.572	0.456
12 lanes	0.563	0.638	0.534	0.614	0.484

أما بالنسبة لبارامتر معدل فقدان الحزمة Packet Loss Ratio (PLR) وجد أن الخوارزمية الهجينة المقترحة تحقق معدل فقدان حزمة أقل من الدراسات المرجعية [7] و[8] و[9] و[10]، كما موضح في الشكل(5)، حيث يظهر الجدول 5 قيم نتائج المحاكاة بالنسبة لبارامتر معدل فقدان الحزمة Packet Loss Ratio (PLR).

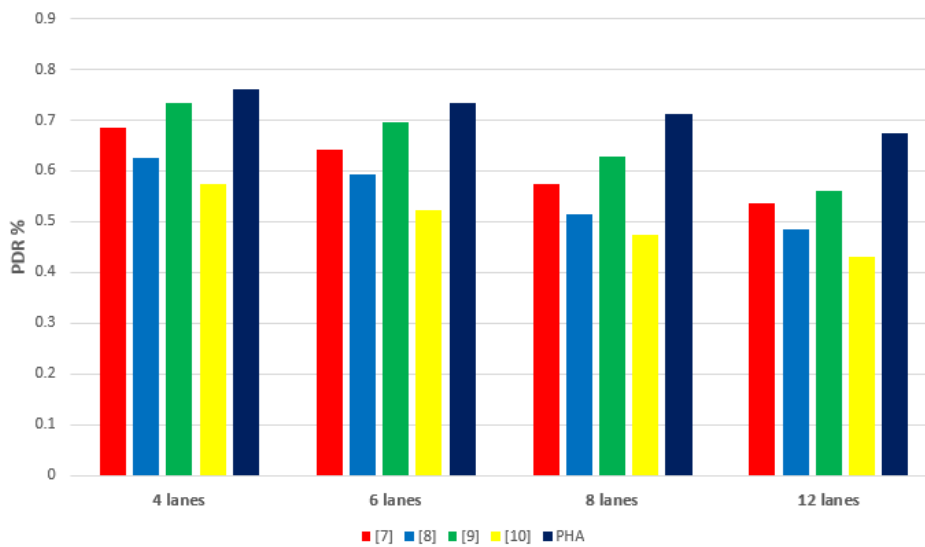


الشكل(5): معدل فقدان الحزمة PLR

الجدول 5: قيم نتائج المحاكاة لمعدل فقدان الحزمة PLR

PLR	[7]	[8]	[9]	[10]	PHA
4 lanes	0.472	0.502	0.445	0.584	0.427
6 lanes	0.495	0.542	0.463	0.624	0.453
8 lanes	0.546	0.613	0.524	0.675	0.491
12 lanes	0.625	0.664	0.592	0.693	0.533

وبمقارنة نتائج المحاكاة بالنسبة لبارامتر نسبة تسليم الحزم (PDR (Packet Delivery Ratio) وجد أن الخوارزمية الهجينة المقترحة تحقق نسبة تسليم حزم أفضل من الدراسات المرجعية [7] و [8] و [9] و [10]، كما موضح في الشكل(6)، حيث يبين الجدول 6 قيم نتائج المحاكاة بالنسبة لبارامتر نسبة تسليم الحزم PDR.

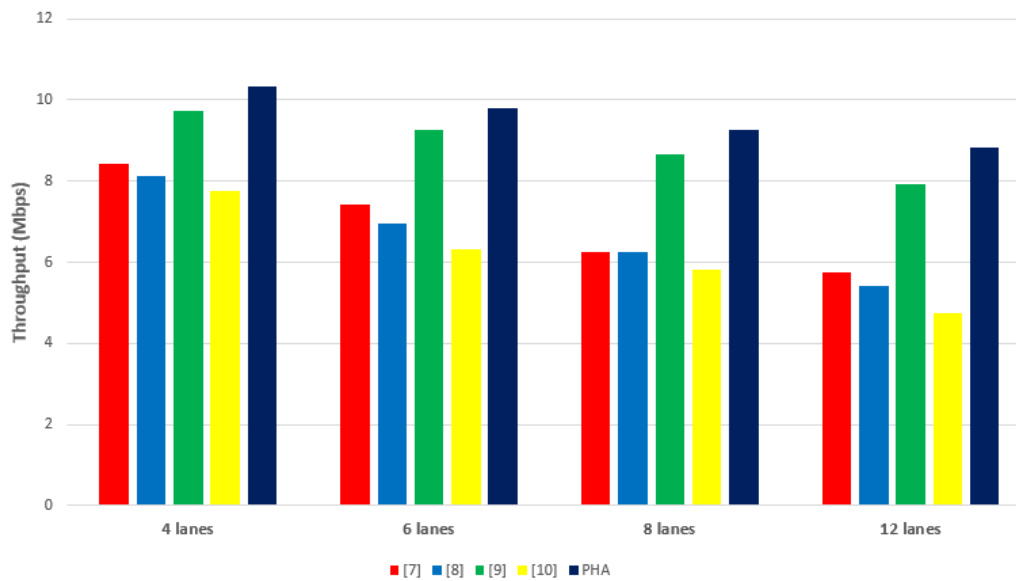


الشكل(6): نسبة تسليم الحزم PDR

الجدول 6: قيم نتائج المحاكاة لنسبة تسليم الحزم PDR

PDR	[7]	[8]	[9]	[10]	PHA
4 lanes	0.684	0.626	0.735	0.574	0.762
6 lanes	0.642	0.593	0.695	0.524	0.734
8 lanes	0.573	0.514	0.628	0.474	0.713
12 lanes	0.536	0.486	0.562	0.432	0.674

وبالانتقال إلى بارامتر إنتاجية الشبكة Throughput وجد أن الخوارزمية الهجينة المقترحة تحقق إنتاجية شبكة أفضل من الدراسات المرجعية [7] و [8] و [9] و [10]، كما موضح في الشكل (7)، حيث يبين الجدول 7 قيم نتائج المحاكاة بالنسبة لبارامتر إنتاجية الشبكة Throughput.



الشكل (7): إنتاجية الشبكة Throughput

الجدول 7: قيم نتائج المحاكاة لإنتاجية الشبكة Throughput

Throughput	[7]	[8]	[9]	[10]	PHA
4 lanes	8.42	8.13	9.74	7.75	10.34
6 lanes	7.43	6.94	9.25	6.33	9.81
8 lanes	6.24	6.24	8.66	5.83	9.27
12 lanes	5.75	5.41	7.93	4.76	8.84

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد إجراء المحاكاة وجدنا أن الخوارزمية الهجينة المقترحة تحقق أداء أفضل بالنسبة للبارامترات: نسبة اشغال القناة CBR (Channel Busy Ratio) ونسبة تسليم الحزم PDR (Packet Delivery Ratio) ومعدل فقدان الحزم PLR (Packet Loss Ratio) وإنتاجية الشبكة Throughput.

حيث إنّه كانت نسبة انشغال القناة CBR في الخوارزمية الهجينة المقترحة أخفض مما هي في الدراسات المرجعية [7] و [8] و [9] و [10]، كما أن نسبة تسليم الحزم (PDR (Packet Delivery Ratio في الخوارزمية المقترحة كان أيضاً أعلى مما هو في الدراسات المرجعية، كما أن معدل فقدان الحزم (PLR (Packet Loss Ratio في الخوارزمية المقترحة كان أفضل مما هو في الدراسات المرجعية، أما بالنسبة لإنتاجية الشبكة Throughput كان هناك ازدياد في إنتاجية الشبكة في الخوارزمية المقترحة بالمقارنة مع الدراسات المرجعية. أي أنه في المحصلة تم الحصول على خوارزمية هجينة لتحسين الأداء في شبكات المركبات تعمل على تكييف استطاعة الإرسال للمركبات بالإضافة إلى تكييف معدل إرسال البيانات، عن طريق تحسين أربعة بارامترات هي نسبة انشغال القناة CBR (Channel Busy Ratio) ونسبة تسليم الحزم (PDR (Packet Delivery Ratio ومعدل فقدان الحزم (PLR (Packet Loss Ratio وإنتاجية الشبكة Throughput، وهو الأمر المتوقع تبعاً لآلية العمل التي تم الاعتماد عليها.

References:

- [1] Puttamadappa C., Basavaraju T.G, Subir Kumar Sarkar, “Ad Hoc Mobile Wireless Networks”, 2nd ed, (2016) 350.
- [2] RadhaKrishna Karne, Dr. T.K.Sreeja, “REVIEW ON VANET ARCHITECTURE AND APPLICATIONS,” *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*-No.04, (2021) pp.1745 – 1749.
- [3] Liang W., Li Z., Bie R., “Vehicular Ad Hoc Networks: Architectures, Research Issues, Methodologies, Challenges, and Trends”, *International Journal of Distributed Sensor Networks*-No.07, (2015) pp. 13-25.
- [4] Karagiannis G., Altintas O., Ekici E., Heijenk G., Jarupan B., Lin K., Weil T. , “Vehicular networking: a survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions”, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*,(2011) pp. 584-616.
- [5] Tarandeep B., Ramkumar R., Robin D., Lei P., “Data congestion in VANETs: research directions and new trends through a bibliometric analysis”, *The Journal of Supercomputing volume 77*, (2021) pp. 6586–6628.
- [6] Nilanjan D., Aboul E., Chintan B., Amira A., Suresh , “Internet of things and big data analytics toward next-generation intelligence”, Cham, Springer, 1st ed, Switzerland. (2018) 440.
- [7] Ashish Patil, Deeksha M., N. Shekar V. Shet, Muralidhar Kulkarni , “Transmit Data Rate Control based Decentralized Congestion Control Mechanism for VANETs”, *March 2019 International Conference on Data Science and Communication (IconDSC)*, (2019) pp. 116–123.
- [8] Mouna Karoui, Gerard Chalhoub, Antonio Freitas, “A study of congestion control approaches for vehicular communications using ITS-G5”, *IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications: Track 2: Networking and MAC*, (2020) pp.1-7.
- [9] Oluwaseyi A., Ikjot S., Xiaofeng L., Arunita J., 2019-“Traffic Density Based Distributed Congestion Control Strategy for Vehicular Communication”, *15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, pp. 2325-2944.
- [10] Swati S., Manisha C., Sandeep H., “ Transmission Rate-based Congestion Control in Vehicular Ad Hoc Networks”, *Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI)*, (2019) 303-307.

- [11] Hadded M., Muhlethaler P., Laouit A., Zagrouba R., and Saidane A., “TDMA-Based MAC Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks : A Survey , Qualitative Analysis , and Open Research Issues”, *IEEE Commun. Surv. TUTORIALS*, vol. 17, no. 4, (2015) pp. 2461–2492.
- [12] Kenney J. B., Rohrs, C. E., LIMERIC : “A Linear Message Rate Control Algorithm for Vehicular DSRC Systems”, no.78, (2014) pp.21-30.
- [13] Chamberlain T., “Learning Omnet++”, London, (2013) pp.102.
- [14] Stroustrup B., “The C++ Programming Language”, 4th ed, Addison-Wesley Professional, (2013) 1376.
- [15] Behrisch M., Krajzewicz D., Weber M., “Simulation of Urban Mobility”, 1st ed, Berlin, (2013) 175.