Sharwes Scientific Journal (SSJ)
Volume 6, Issue 2, 2025, pp 519-537, ISSN 3079-6040

Performance Analysis of AODV Routing Protocol in MANET Using NS2 Simulator

Wisam Elwalda

The Higher Institute of Science and Technology – Misurata, Misurata, Libya.

* Corresponding author: Wisam Elwalda | w_elwalda@yahoo.com

Received: 23-08-2025 | Accepted: 01-12-2025 | Available online: 15-12-2025 | DOI:10.26629/ssj.2025.31

ABSTRACT

Mobile Ad-Hoc Networks (MANETs) are decentralized wireless systems composed of mobile nodes or routers that dynamically establish communication without relying on pre-existing infrastructure or centralized control. The performance of these networks is heavily influenced by the efficiency of the routing protocols employed and their ability to maintain secure and reliable data transmission. Ensuring robust security within such dynamic environments remains a significant challenge.

This paper investigates the routing protocols commonly utilized in MANETs, aiming to understand their operational mechanisms and identify the most suitable protocol for designing efficient and secure mobile networks. To achieve this, the Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) protocol was simulated using the NS2 network simulator to gain a clear understanding of its behavior and the manner in which data is transmitted across the network nodes.

The study focuses on evaluating the performance of AODV by analyzing key metrics such as Packet Delivery Ratio (PDR), average latency, and throughput. It also outlines the configuration of the simulation environment and the methodology for data collection and analysis using AWK scripting and Xgraph visualization tools. The results are presented through graphical representations that illustrate the protocol's performance under various network conditions, providing valuable insights into its strengths and limitations.

Keywords: MANETs, proactive protocol, node, routing, data path**.**

تحليل مؤشرات أداء بروتوكول AODV في الشبكات اللاسلكية المتنقلة باستخدام محاكي الشبكات NS

وسام الولده

قسم تقنيات الحاسوب، المعهد العالي للعلوم والتقنية – مصراته، مصراته، ليبيا.

* المؤلف المراسل: وسام الولده | w_elwalda@yahoo.com

استقبلت: 23-08-2025م | قبلت:01-12-2025م | متوفرة على الانترنت | 15-12-2025م | DOI:10.26629/ssj.2025.31

ملخـــــص البحـــــث

الشبكة اللاسلكية المتنقلة Mobile Ad-Hoc Network (MANETs) هي عبارة عن مجموعة من العقد المتنقلة اللاسلكية (أو أجهزة التوجيه) التي تشكل شبكة مؤقتة بشكل ديناميكي دون استخدام أي بنية تحتية موجودة للشبكة أو إدارة مركزية. يعتمد هذا النوع من الشبكات على البروتوكولات

"Articles published in *Sharwes Sci J* are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License."

المستخدمة ومدى فاعليتها في توفير أمان للشبكة، حيث أن توفير الأمان لهذه الشبكات يمثل مشكلة كبيرة، من هنا تم في هذه الورقة دراسة البروتوكولات المستخدمة في هذه الشبكات ومحاولة فهم طريقة عملها من ثم تحديد البروتوكول المناسب عند تصميم شبكة من هذا النوع.

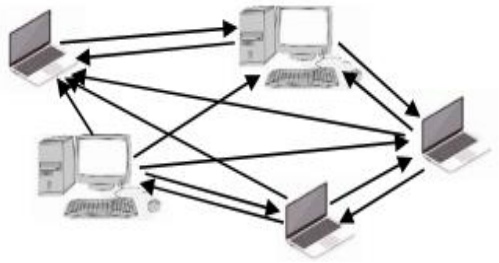
أُستُخدم برنامج المحاكاة NS2 لمحاكاة عمل بروتوكول AODV لمعرفة طريقة عمله بشكل واضح وكيفية انتقال البيانات عبر العقد المكونة للشبكة، تهدف هذه الورقة إلى محاكاة أداء بروتوكول AODV باستخدام محاكي NS2، مع تحليل مؤشرات الأداء الأساسية مثل نسبة تسليم الحزم (PDR)، وزمن التأخير المتوسط، والإنتاجية. وتستعرض الدراسة إعداد بيئة المحاكاة، آلية جمع البيانات وتحليلها باستخدام أدوات AWK وXgraph، بالإضافة إلى عرض النتائج بصريًا عبر رسوم بيانية توضح سلوك البروتوكول في سيناريوهات مختلفة.

الكلمات المفتاحية: شبكات الــ MANETs ، بروتوكول استباقي، عقدة، توجيه، مسار البيانات.

1. مقدمة

شبكات الــMANETS هي في الأساس مجموعة من العقد المتنقلة المختلفة التي لا تتطلب عقدًا مركزية أو سلطة لإدارتها، كما أن هذه العقد لا تتطلب أي محطة رئيسية باهظة الثمن نظرًا لأنها تعمل بشكل مناسب لعدد كبير من التطبيقات وكذلك قابلة للتوسع بسهولة وديناميكية بطبيعتها. هناك العديد من الطرق للاتصال لاسلكيًا والتي توفر وسائل اتصال عبر مساحات واسعة ولكن بمساعدة شبكات الـMANETs يمكن التواصل على مسافات قصيرة وطويلة، وبما أن العقد متنقلة وتتواصل عبر قناة لاسلكية، فإن أمان الرسائل وانتقال الخطر بينها يشكلان تحديا كبيرا. يمكن للعقد الموجودة ضمن نطاق الراديو الخاص ببعضها البعض الاتصال مباشرة عبر الروابط اللاسلكية بينما تعتمد العقد البعيدة كليًا على العقد الوسيطة لإعادة توجيه حزمها إلى العقدة الوجهة. يمكن أن تعمل كل عقدة كمضيف وكذلك كجهاز توجيه أو توفر وظائف كليهما في نفس الوقت كما في الشكل 1.

تعتبر الحركية mobility أحد أهم الخصائص لشبكات الــ MANETs والتي تعطي للعقد إمكانية التحرك بكل الاتجاهات وبمختلف السرعات بدون انقطاع طالما أن العقد لا تزال ضمن مدى الارسال. نتيجة لحركة العقد تصبح بنية (طبولوجيا) الشبكة سريعة التغير (ديناميكية) مما يسبب انقطاع المسار بين العقد المرسلة والعقد المستقبلة [1][2][3][4].



شكل 1: بنية شبكات **MANET**.

العقدة في هذا النوع من الشبكات لا تعتمد على وظائف الدعم المركزي في التوجيه حيث يتم تصميم جميع وظائف الدعم لتعمل في العقدة بشكل مستقل بدون تلقي أي دعم مركزي، إن هذه الطبيعة الموزعة لشبكات الـ MANETs تكسبها متانة ضد حالات single point of failure (SPOF) فشل المركزية.

تعتمد العقد على البطاريات كمصدر للطاقة، مما يجعلها ذات طاقة محدودة غير دائمة بالتالي، يتوجب تصميم بروتوكولات هذه الشبكات بشكل يحقق استهلاك منخفض للطاقة.

تتميز هذه الشبكات بوجود اتصال متعدد القفزات Multi-hop communication أي عندما تحتاج إحدى العقد لإرسال بيانات إلى عقدة أخرى خارج مجال الارسال الخاص بها، يتم إرسال هذه البيانات عبر العقد الوسيطة، تسمى هذه العملية بالاتصال متعدد القفزات، بذلك تستطيع كل عقدة القيام بوظائف الموجه routerلتوجيه كتل البيانات مما يساهم في تحقيق الاتصال متعددة القفزات، بالإضافة إلى امتلاكها إمكانيات المعالجة الأساسية لتعملَ كمضيف host.

تعد شبكات الـ MANETs خيارا مناسباً للنشر في حالات الطوارئ وعمليات البحث والإنقاذ. فمثلا في حالات الكوارث الطبيعية كالفيضانات أو الزلازل التي قد تؤدي إلى تدمير وسائل الاتصال، يمكن استعادة الاتصالات في المنطقة بسرعة عن طريق نشر هذا الشبكة حيث تتصل سيارات الإسعاف والإطفاء والشرطة مع بعضها مكونة شبكة MANETs لتبادل المعلومات[1] .

تشهد الشبكات اللاسلكية المتنقلة (MANETs) تطورًا ملحوظًا في التطبيقات التي تتطلب اتصالًا ديناميكيًا دون الحاجة إلى بنية تحتية ثابتة. وتتميز هذه الشبكات بمرونتها العالية، وقدرتها على التكيف مع تغيّر الطوبولوجيا الناتج عن حركة العقد المستمرة. ومن أبرز التحديات التي تواجهها: تحديد مسارات التوجيه بكفاءة مع الحفاظ على جودة الخدمة وتقليل التأخير وفقدان الحزم.

في هذا السياق، يبرز بروتوكول AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) بوصفه أحد بروتوكولات التوجيه التفاعلية، إذ يعتمد على مبدأ التوجيه "عند الطلب"، مما يسمح له بالتكيف مع البيئة

المتغيرة للشبكات اللاسلكية المتنقلة. يوفر AODV آلية ديناميكية لاكتشاف المسارات والمحافظة عليها دون تحميل الشبكة برسائل تحكم زائدة، مما يجعله خيارًا جذابًا للعديد من التطبيقات الحديثة.

تهدف هذه الورقة إلى محاكاة أداء بروتوكول AODV باستخدام محاكي NS2، مع تحليل مؤشرات الأداء الأساسية مثل نسبة تسليم الحزم (PDR)، وزمن التأخير المتوسط، والإنتاجية. وتستعرض الدراسة إعداد بيئة المحاكاة، آلية جمع البيانات وتحليلها باستخدام أدوات AWK وXgraph، بالإضافة إلى عرض النتائج بصريًا عبر رسوم بيانية توضح سلوك البروتوكول في سيناريوهات مختلفة.

2. منهجية البحث

يعتمد هذا البحث على محاكاة سلوك بروتوكول AODV ضمن شبكة لاسلكية متنقلة باستخدام أداة المحاكاة الشهيرة Network Simulator 2 (NS2) الإصدار 2.35، والتي توفر بيئة مرنة لتوليد سيناريوهات واقعية وتحليل أداء البروتوكولات بشكل دقيق. وتهدف المنهجية إلى تقييم مؤشرات الأداء وفقًا لمعايير القياس المعتمدة، من خلال تنفيذ مراحل محددة تشمل إعداد السيناريو، جمع البيانات، وتحليلها. حيث تم تحليل أداء بروتوكول AODV من حيث نسبة تسليم الحزم (PDR)، التأخير (Delay)، والإنتاجية (Throughput). و مقارنة الأداء ضمن شبكة تحتوي على 10 عقد.

3. الخطوات المتبعة في بناء البحث

1.3 البرمجيات

البرنامج المستخدم هو برنامج المحاكاة NS2 -35 وهو برنامج يعمل على نظام التشغيل LINUX ولتشغيله على أنظمة تشغيل WINDOWS يحتاج العديد من البرمجيات لتشغيله.

2.3 الجزء العملي

تم استخدام برنامج المحاكاة NS2 لمحاكاة بروتوكول AODV كمثال للبروتوكولات المستخدمة في هذا النوع من الشبكات.

3.3 أسلوب البحث والعمليات التي تمت فيه

يعتمد هذا النوع من الشبكات على البروتوكولات المستخدمة ومدى فاعليتها في توفير أمان للشبكة وضمان التوصيل وجودة التوصيل وزمن الاستجابة ، حيث أن توفير الأمان يمثل تحد كبير لهذا تم في هذه الورقة دراسة البروتوكولات المستخدمة في هذه الشبكات ومحاولة فهم طريقة عملها ومن ثم تحليل أداء أحد البروتوكولات المستخدمة في مثل هذه الشبكات.

4. برتوكولات التوجيه في شبكات MANET

الهدف الأساسي لبروتوكولات التوجيه هو إنشاء المسار الصحيح والفعال وصيانته بين زوج من العقد بحيث يمكن تسليم الرسائل بشكل موثوق وفي الوقت المناسب .

خصائص شبكات الـMANETs تجعل الاستخدام المباشر لهذه البروتوكولات غير ممكن، لهذا يجب أن تعمل بروتوكولات التوجيه لهذه الشبكات بشكل ديناميكي للغاية، ذلك لأن خوارزميات التوجيه تعمل على أجهزة محدودة الموارد .

تنقسم بروتوكولات التوجيه إلى قسمين رئيسيين: بروتوكولات التوجيه الاستباقية والبروتوكولات التفاعلية، البروتوكولات الاستباقية يتم اشتقاق بروتوكولات التوجيه لها اعتمادا على عامل المسافة وحالة الناقل. هذا النوع يحافظ على معلومات توجيه متسقة ومحدثة لـ كل زوج من عقد الشبكة عن طريق نشر تحديثات المسار بشكل استباقي على فترات زمنية محددة .نظرًا لأن معلومات التوجيه عادةً ما تكون مضمنة بشكل رئيسي في الجداول، يُشار إلى هذه البروتوكولات أيضًا باسم "البروتوكولات المستندة إلى الجدول[4] .

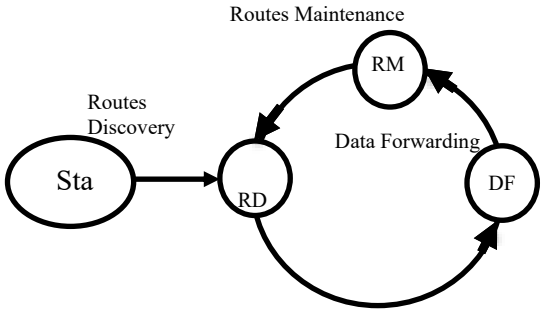
1.4 مراحل التوجيه

تتم عملية التوجيه في شبكات الـ MANETs على ثلاث مراحل هي:

مرحلة استكشاف المسار Route Discovery.

مرحلة تسيير البيانات Data Forwarding.

مرحلة صيانة المسار Route Maintenance.

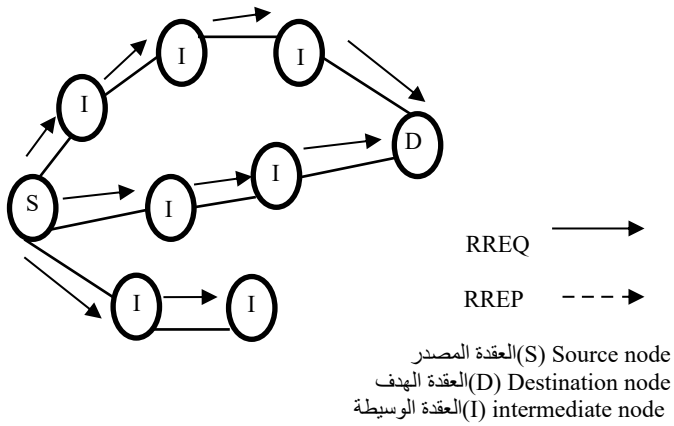


شكل 2: مراحل عملية التوجيه.

تبدأ عملية التوجيه بمرحلة استكشاف المسار (بين المرسل والمستقبل)، عندما تحتاج العقدة لإنشاء اتصال مع عقدة أخرى تبدأ بالبحث عن مسار يتم من خلاله الاتصال. يبدأ الاتصال عندما يتم إيجاد مسار نحو الهدف، وهنا تبدأ مرحلة نقل البيانات. Forwarding data، إذا انقطعت إحدى الوصلات أثناء إرسال

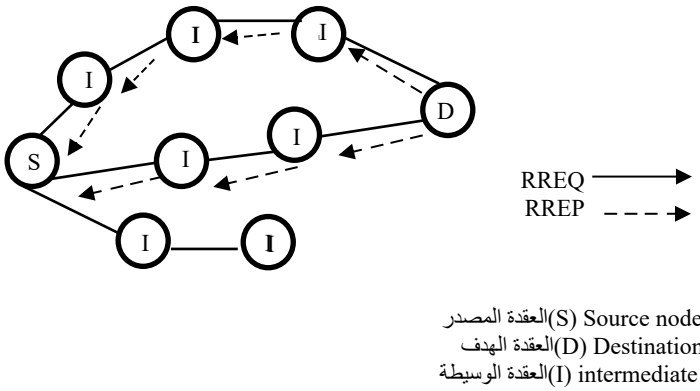
البيانات (نتيجة لحركة العقد أو نفاذ الطاقة) ، هنا تأتي مرحلة الصيانة حيث لابد من تأمين مسار بديل يضمن استمرار الاتصال. تتعامل مرحلة صيانة المسار مع حالات انقطاع الاتصال. ففي هذه المرحلة، عندما تكتشف العقدة انقطاعاً للمسار تحاول البحث عن مسار بديل في الذاكرة المحلية local cache في حال تعذر إيجاد مسار بديل في الذاكرة، تبدأ العقدة هنا مجددا بمرحلة استكشاف مسار لإيجاد مسار جديد لنفس الوجهة كما هو موضح في الشكل رقم2. [1]

مرحلة استكشاف المسار تكون في حالتين: إما انضمام عقدة ما إلى الشبكة أو أن احدى العقد تكون هي المرسل (مصدر البيانات). في هذه الحالة تقوم عقدة المصدر بالبحث في العقد المجاورة لها عن مسار إلى العقدة الهدف وذلك بإرسال طلب توجيه في الشبكة broadcasts route request packet RREQ كما هو موضح في الشكل رقم 3.



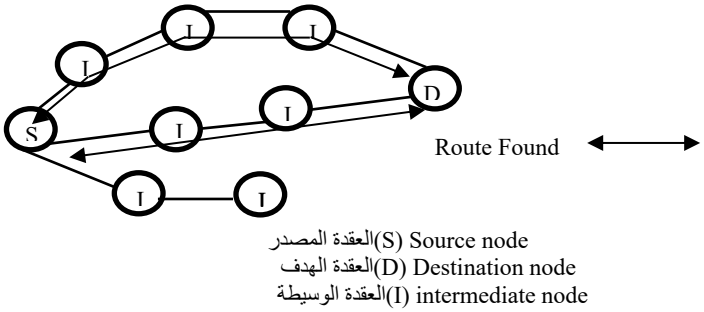
شكل 3: عملية نشر طلب التوجيه.

تتلقى العقد المجاورة هذا الطلب وتقوم بإعادة ارساله حتى يصل إلى الهدف، ترد العقدة الهدف برسالة انهاء الاستكشاف RREP route replay packet كما في الشكل رقم 4.



شكل 4: عملية الرد على الطلب.

عند انتهاء مرحلة الاستكشاف قد يكون هناك أكثر من مسار للهدف، هنا تختار عقدة المصدر المسار الأفضل وفقا لخوارزمية التوجيه المستخدمة. بعد تحديد المسار الأفضل تبدأ عملية ارسال البيانات بين المصدر والهدف كما في الشكل رقم 5. [1]



شكل 5: المسارات المكتشفة من المصدر.

2.4 تصنيف بروتوكولات التوجيه

هناك العديد من المعايير لتصنيف بروتوكولات التوجيه للشبكات المتنقلة المخصصة منها ما يعتمد على كيفية الحصول على معلومات التوجيه والحفاظ عليها بواسطة العقد، والمقاييس المستخدمة لإنشاء مسار التوجيه، وكيفية توجيه المعلومات.

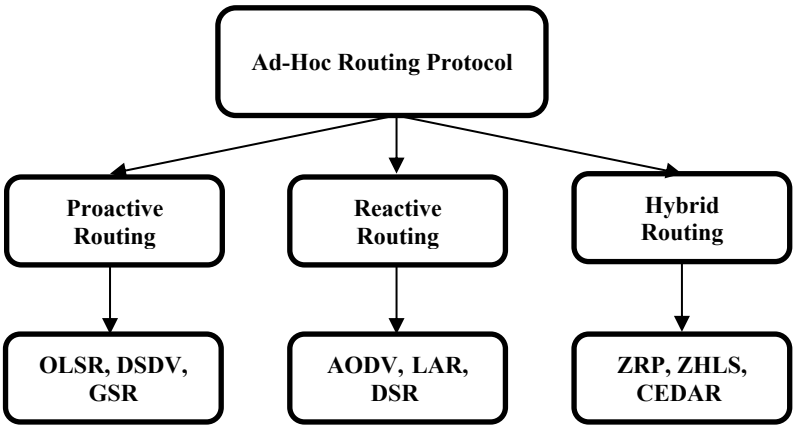
يعد تصميم بروتوكولات التوجيه الفعالة والموثوقة مشكلة صعبة للغاية، وذلك بسبب خصائص شبكات الـ MANETsالتي منها مواردها المحدودة، حيث أنه في هذه الشبكات مطلوب استراتيجية توجيه ذكية لاستخدام الموارد المحدودة بكفاءة وفي نفس الوقت القدرة على التكيف مع ظروف الشبكة المتغيرة مثل حجم الشبكة وكثافة حركة المرور وتقسيم الشبكة. ومع هذا، فإنه ينبغي توفير مستويات مختلفة من جودة الخدمة لأنواع مختلفة من التطبيقات والمستخدمين.

بروتوكولات التوجيه المستخدمة من قبل الشبكات السلكية والمتنقلة تصنف إلى أربعة أنواع اعتمادا على سماتها: مركزية وموزعة، ثابتة وديناميكية، مسطحة وهرمية، استباقية ورد الفعل والهجينة والذي سيتم التكلم عنه في هذه الورقة هو التصنيف الرابع والذي يختص بالشبكات اللاسلكية.

يمكن تصنيف البروتوكولات المستخدمة في شبكات الـ MANETs إلى ثلاث مجموعات مختلفة: عالمية global، أو استباقية proactive ؛ عند الطلب on demand، أو رد الفعل reactive؛ والهجين , Hybridفي بروتوكولات التوجيه الاستباقية، تكون المسارات المؤدية إلى جميع الوجهات (أو أجزاء من الشبكة) يتم تحديدها عند بدء التشغيل والحفاظ عليها باستخدام عملية تحديث المسار الدوري

أما في البروتوكولات التفاعلية، يتم تحديد المسارات عندما يطلبها المصدر باستخدام عملية اكتشاف المسار. في حين تجمع بروتوكولات التوجيه الهجين بين الخصائص الأساسية لفئتين من البروتوكولات في فئة واحدة .أي أن كلاهما ذو طبيعة تفاعلية واستباقية.

كل نوع من البروتوكولات لديه عدد من استراتيجيات التوجيه المختلفة، والتي تستخدم بنية توجيه مختلفة، تعد طرق التصنيف مهمة كونها تساعد الباحثين والمصممين على دراسة ومقارنة وتحليل بروتوكولات التوجيه المخصصة للأجهزة المحمولة. [4][5]



شكل 6: تقسيمات بروتوكولات التوجيه.

تعتمد إحدى الطرق الأكثر شيوعًا للتمييز بين بروتوكولات التوجيه في شبكات الـMANETs على كيفية الحصول على معلومات التوجيه والحفاظ عليها بواسطة العقد المتنقلة. باستخدام هذه الطريقة، يمكن تقسيم بروتوكولات توجيه شبكة الهاتف المحمول المخصصة إلى توجيه استباقي، وتوجيه تفاعلي، وتوجيه هجين (مختلط) كما هو موضح في الشكل رقم 6.

1.2.4 بروتوكول التوجيه الاستباقي Proactive Routing protocol :

في هذا النوع تحسب العقد الموجودة في الشبكة المسارات المؤدية إلى جميع العقد التي يمكن الوصول إليها مسبقًا وتحاول الحفاظ على معلومات التوجيه بشكل متسق وتحت التحديث بشكل مستمر. بروتوكول التوجيه الاستباقي يسمى بروتوكول "يعتمد على الجدول." لهذا يمكن لعقدة المصدر الحصول على مسار التوجيه فورا عند حاجتها لذلك.

في بروتوكولات التوجيه الاستباقية، يجب على كافة العقد الحفاظ على معلومات حول طوبولوجيا(بنية) الشبكة من حيث أي تغيير يحدث في هيكل الشبكة، يجب نشر التحديثات عبر الشبكة لتوصيل التغيير.

توفر بروتوكولات التوجيه الاستباقي بساطة في التنفيذ من خلال تقليل مخاطر الحلقات والتأخير في البحث عن المسار في الشبكة، على الرغم من أنها تحافظ على الكثير من المعلومات العامة والتوجيه وبالتالي تزيد الحمل على العقد وأحيانا يقل احتمال استخدام المسارات المخزنة. [6][7]

2.2.4 بروتوكولات التوجيه التفاعلية: Reactive routing protocols

تسمى بروتوكولات " التوجيه "حسب الطلب"، في هذا النوع يتم البحث عن مسارات التوجيه فقط عند الحاجة، عملية اكتشاف المسار تستدعي عملية إجراء تحديد المسار وعملية الاكتشاف تنتهي عند العثور على طريق أو عدم وجود طريق متاح بعد الفحص لجميع المسارات.

بروتوكولات التوجيه التفاعلية لا يكون فيها حساب للمسارات مسبقا، لهذا سيكون هناك قدر أقل من التحكم، تتمتع البروتوكولات التفاعلية بقابلية توسع أفضل من بروتوكولات التوجيه الاستباقية حيث يتم حساب المسار عند تقديم الطلب.

في الشبكة المخصصة للهواتف المحمولة(Mobile Ad-Hoc Network (MANETs، قد يتم قطع المسارات النشطة بسبب تنقل (تغيير مكان) العقدة .لذلك، تعد صيانة (تحديث) المسار عملية مهمة لبروتوكولات التوجيه التفاعلية . ومع ذلك، عند استخدام بروتوكولات التوجيه التفاعلية، قد تعاني العقد المصدر من وجود زمن تأخير في البحث عن المسار قبل أن تتمكن من إعادة توجيه حزم البيانات.

يعد توجيه المصدر الديناميكي Dynamic source routing (DSR)، و متجه المسافة المخصص حسب الطلب ad hoc on-demand distance vector routing (AODV) أمثلة على بروتوكولات التوجيه التفاعلية لشبكات المحمول المخصصة.

3.2.4 بروتوكولات التوجيه الهجين Hybrid routing protocols:

يتم الجمع فيها بين مزايا بروتوكولات التوجيه الاستباقية والتفاعلية، حيث أن في بروتوكولات التوجيه الهجينة للشبكات المتنقلة المخصصة، يتم استغلال أساليب التوجيه الاستباقي في بنيات الشبكات الهرمية ويتم استغلال أساليب التوجيه التفاعلية في مستويات هرمية أخرى ،من الأمثلة على هذا النوع بروتوكول توجيه المنطقة zone routing protocol (ZRP)، وبروتوكول توجيه حالة الارتباط الهرمي zone-based hierarchical link state (ZHLS) القائم على المنطقة، وبروتوكول التوجيه المختلط المخصص hybrid ad hoc routing protocol (HARP).[4][7][8][9].

في هذه الورقة سوف نستعرض بالشرح مثالاً لكل من أنواع البروتوكولات المستخدمة في شبكات الـ MANETs ونجري مقارنة بينهما في عدة محاور:

أ- بروتوكول التوجيه Destination-Sequence Distance Vector : (DSDV)

عبارة عن نموذج للبروتوكولات استباقية التوجيه لشبكة الهاتف المحمول المخصصة ، في هذا البروتوكول تم تحسين آليات التوجيه حيث أنه في جداول التوجيه ، يقوم بتخزين الخطوة التالية نحو الوجهة، ومقياس التكلفة لمسار التوجيه إلى الوجهة، ورقم تسلسل الوجهة الذي يتم إنشاؤه بواسطة الوجهة، لتمييز المسارات القديمة عن المسارات الجديدة، يتم استخدام الأرقام التسلسلية؛ هذه الأرقام التسلسلية تجنب حلقات البحث. يعتمد بروتوكول DSDV على تحديثات التوجيه لديه بناءً على الوقت أو الحدث time or event حيث تقوم كل عقدة بإرسال التحديثات التي تقوم بها بشكل دوري بما في ذلك معلومات التوجيه الخاصة بها إلى العقد المجاورة لها بشكل مباشر، تحديث جداول التوجيه يمكن أن يتم بطريقتين هما:

- التفريغ الكامل: في هذه الطريقة يتم تضمين جدول التوجيه بالكامل داخل ملف التحديث.
- تحديث تزايدي: في هذه الطريقة يحتوي الجدول على تلك الإدخالات فقط التي تم تغييرها منذ إرسال آخر تحديث.

معلومات التوجيه يتم اعلام باقي العقد بها عن طريق بث حزم البيانات بشكل دوري ومتزايد مع اكتشاف التغيرات التي تطرأ على بنية الشبكة (على سبيل المثال، عندما تتحرك المحطات داخل الشبكة)، يتم أيضًا الاحتفاظ بالبيانات حول المدة الزمنية بين الوصول الأول ووصول أفضل طريق لكل وجهة معينة .وبناء على هذه المعطيات قد يتم اتخاذ قرار بتأخير الإعلان عن الطرق التي على وشك أن تتغير قريبًا، وبالتالي التخفيف من تقلبات المسار، وبهذا أيضا تقل عدد عمليات إعادة البث للمسارات.

يتطلب بروتوكول DSDV من كل محطة (عقدة) متنقلة الإعلان عن جدول التوجيه الخاص بها لكل عقدة جارة لها، قد تتغير الإدخالات في هذه القائمة إلى حد ما بشكل ديناميكي مع مرور الوقت، لذلك يجب أن يتم الإعلان بشكل متكرر يكفي للتأكد من أن كل جهاز محمول يمكنه تحديد موقع كل جهاز محمول آخر في المجموعة.

يوافق كل جهاز محمول على ترحيل حزم البيانات إلى أجهزة محمولة أخرى عند الطلب، لهذه الاتفاقية أهمية كبيرة في القدرة على تحديد أقصر عدد من القفزات للطريق المؤدي إلى الوجهة؛ إذا كانت العقد في وضع السكون، فلا يتم إزعاجها، وبهذه الطريقة، قد يتبادل أي جهاز محمول البيانات مع أي جهاز محمول آخر في المجموعة، حتى لو لم يكن هدف البيانات ضمن نطاق الاتصال المباشر.[4][7] [13].

البيانات التي يبثها كل جهاز محمول تحتوي على الرقم التسلسلي والمعلومات التالية لكل مسار جديد كما هو موضح في الجدول رقم1.

- عنوان الوجهة.
- عدد القفزات المطلوبة للوصول إلى الوجهة.

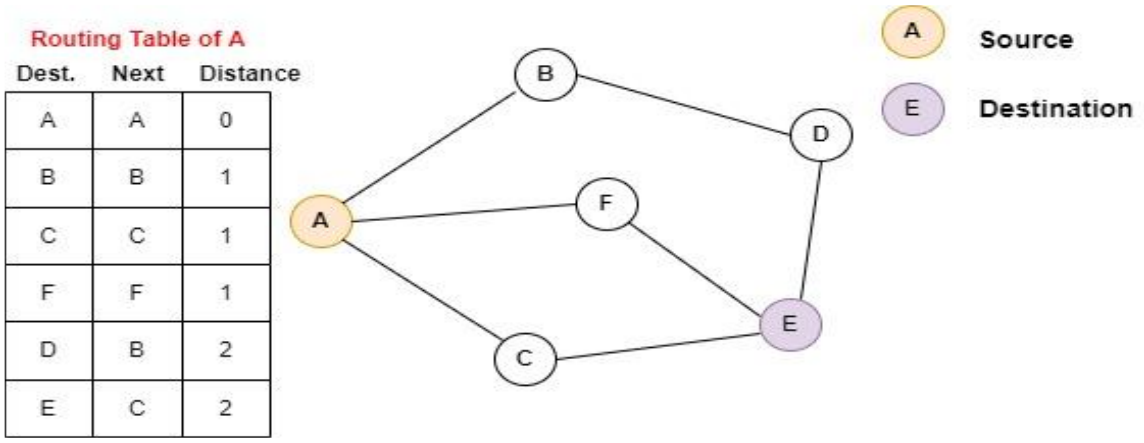
الرقم التسلسلي للمعلومات الواردة بخصوص تلك الوجهة، كما تم ختمها في الأصل بواسطة الوجهة.

الجدول 1. محتويات جدول التوجيه.

الرقم التسلسلي لكل عقدة	عدد القفزات	كل العقد الممكن الوصول إليها

يحتوي جدول التوجيه أيضًا على عنوان الشبكة وعنوان الجهاز الخاص بالعقدة التي ترسل جداول التوجيه، كما يتضمن جدول التوجيه أيضًا رقمًا تسلسليًا تم إنشاؤه بواسطة جهاز الإرسال، التفضيل يتم للمسارات ذات الأرقام التسلسلية الأحدث لاتخاذ قرارات إعادة التوجيه.

وكمثال على جدول التوجيه الخاص بكل عقدة من العقد في الشبكة يوضحه الشكل رقم 7.[8]



شكل 7 : جدول التوجيه في بروتوكول DSDV.

الشكل رقم 7 يوضح جدول التوجيه الخاص بالعقدة A و المسارات والقفزات التي تحتاجها للوصول إلى جميع العقد في الشبكة. فمثلا عند رغبة العقدة A في ارسال بيانات إلى العقدة D سوف تمر عبر العقدة B والمسافة التي تحتاجها للوصول هي 2 ، وهذا ينطبق على كامل العقد المكونة للشبكة. مميزات بروتوكول DSDV: هو بروتوكول فعال لاكتشاف الطريق لهذا يكون زمن الوصول لاكتشاف الطريق منخفض جدًا، مساراته خالية من الحلقات.

عيوب بروتوكول DSDV : يحتاج إلى الكثير من رسائل التحكم للحفاظ على بنية الشبكة في كل عقدة، كما أنه ينتج حجما كبيرا من حركة المرور بسبب الكثافة العالية للرسائل.

ب- بروتوكول التوجيه Ad Hoc On-Demand Distance Vector :(AODV)

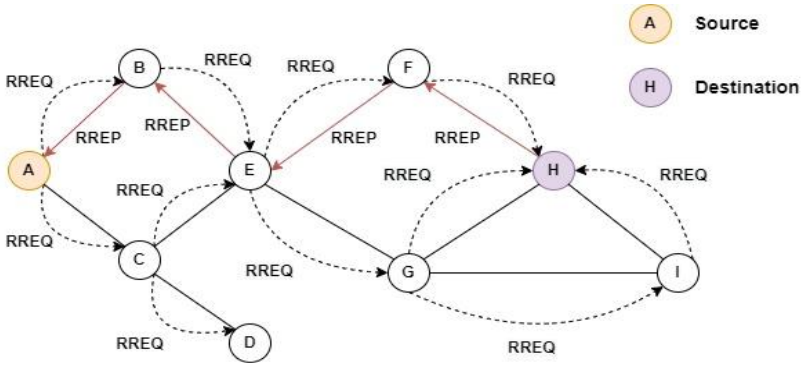
هو بروتوكول توجيه تفاعلي يشكل مسارًا من العقدة المصدر إلى العقدة المستهدفة بناءً على طلب العقدة المصدر. يعمل على أحدث معلومات التوجيه باستخدام اكتشافات التوجيه المحدثة .[9]

يعتبر هذا البروتوكول نظام موزع دون وجود أي مركزية، حيث أن كل جهاز مضيف يعمل كجهاز توجيه ويتم الحصول على المسارات حسب الحاجة.

يوفر بروتوكول AODV مسارات خالية من الحلقات حتى أثناء اصلاح المسارات القديمة، ولأن البروتوكول لا يتطلب التوجيه الدوري العام للإعلان عن المسارات، لهذا فإن الطلب أقل مما هو عليه في تلك البروتوكولات التي تتطلب مثل هذه الإعلانات.

يقوم هذا البروتوكول بتحديد المسار المطلوب عند الحاجة فقط، يعتمد في عمله على الجمع بين عدة خوارزميات، حيث أنه يعتمد على مبدأ التوجيه من عقدة إلى عقدة وكذلك آلية الترقيم التسلسلية بشكل مشابه لعمل بروتوكول DSDV. لا يمكن للعقد التي لا تتحرك على المسار المحدد أن تساهم في الحفاظ على معلومات التوجيه أو المشاركة في تبادلات جدول التوجيه، تقدم العقدة المصدر عملية اكتشاف المسار لتحديد العقد الوسيطة الأخرى (والوجهة)، عن طريق بث حزمة RREQ إلى جيرانها. كلما تم البحث فإن الرقم التسلسلي يسمح باختيار المسار الأحدث. الشكل 8 يوضح نموذجا لعمل بروتوكول AODV. لمسار بيانات من العقدة A وحتى العقدة H.[8]

من مميزات بروتوكول AODV قله رسائل التحكم المرسلة في الشبكة حيث أن المسار ينشأ عند الحاجة فقط على عكس البروتوكولات الاستباقية والتي تعيبها كثرة الرسائل للمحافظة على جدول كامل لكل وجهة في الشبكة.[10][4]



شكل 8: طريقة عمل بروتوكول AODV.

ج- بروتوكول التوجيه Zone-based Hierarchical Link State :(ZHLS)

هو بروتوكول توجيه هرمي قائم على المنطقة، يستخدم هذا البروتوكول معلومات الموقع، تقسم الشبكة إلى مناطق لا تتداخل دون وجود قادة للمناطق، يؤدي تجميع العقد في مناطق إلى إخفاء بنية الشبكة بحيث أن كل منطقة تضم مجموعة من العقد.

طريقة عمل هذا البروتوكول: تعطى كل عقدة محددان يحسبان بواسطة نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) أحدهما للعقدة (ID node) والآخر للمنطقة (ID zone)، بعد انشاء الشبكة تعرف كل عقدة بنية الشبكة على مستويين (منخفضة المستوى) مستوى العقدة وليست مستوى المنطقة، وكذلك بنية الشبكة (عالية المستوى) والتي تمثل مستوى المنطقة.

في هذا البروتوكول عند توجيه أي حزمة بيانات يتم تحديد العنوان (بشكل هرمي) حيث تبدأ بمعرف المنطقة ثم معرف العقدة للعقدة الوجهة.[4]

يمكن اعتبار بروتوكول ZHLS بروتوكول استباقي أو تفاعلي، استباقي اذا كانت الوجهة داخل نفس منطقة المصدر، وتفاعلي خلاف ذلك حيث أن عليه البحث للعثور على المنطقة الوجهة.

التوجيه هنا يتم عن طريق تحديد معرف المنطقة ومعرف العقدة الوجهة بدلا من تحديد قائمة مرتبة بجميع العقد الوسيطة.[4]

5. المقارنة بين البروتوكولات:

بعد دراسة أنواع البروتوكولات المستخدمة في شبكات الـــMANETs وعرض مثال على كل نوع نلاحظ أنه لكل منها عيوبا ومزايا، وبالتالي لكل منها مكانها الأنسب في الاستخدام على حسب طبيعة الشبكة والغرض منها.

عند مقارنة هذه الأنواع الثلاثة من البروتوكولات من حيث المميزات والعيوب يمكن تلخيصها في الجدول رقم 2 [10][11][12][13].

الجدول 2. يوضح العيوب والمميزات للبروتوكولات AODV،DSDS، ZHLS.

البروتوكول	المميزات	العيوب
AODV	عملية اكتشاف المسار بين العقدة المصدر والهدف تكون حسب الطلب وهي أكثر كفاءة في بالنسبة لطبيعة شبكات MANET الديناميكية. خالي من التكرارات.	نظرا لآن هذا البروتوكول يعمل بأسلوب عند الطلب، فلن يقوم بالتحقق من المسار بشكل دوري. لهذا ارسال البيانات بعد اكتشاف أو تحديد المسار سوف يزيد من عملية التأخير. قابلية التوسع ضعيفة.
DSDV	يعتبر من أوائل الخوارزميات المستخدمة في شبكات MANETs. هذا البروتوكول يعتبر مناسب جدا للشبكات ذات العدد القليل من العقد وذات السرعة الضعيفة.	هذا البروتوكول يحتاج إلى تحديث مستمر لجدول المسارات بين العقد، الأمر الذي يزيد من استلاك طاقة الجهاز وقدر قليل من النطاق الترددي. زيادة حجم جدول التوجيه.
ZHLS	تأسيس المسارات يتم عن طريق معرف العقدة والمنطقة. مناسب للبنية المتغيرة للشبكات.	الحمل الإضافي على الشبكة.

6. منهجية المحاكاة

تساعد المحاكاة على تحليل أداء وسلوك الشبكات المعقدة قبل تنفيذها. هناك العديد من برامج محاكاة الشبكات مثل OPNET,NS2,OMNET,NS3 والتي تعطي نتائج قريبة جدا إلى التطبيق الحقيقي للشبكة. استخدمنا هنا محاكي الشبكة لملاحظة ومرقبة طريقة عمل بروتوكول التوجيه AODV .

لمحاكاة بروتوكول AODV يجب وضع بعض المحددات وتعريف بعض الخيارات داخل ملف خاص ضمن برنامج المحاكاة NS2-35 ، هذا الملف يكون بامتداد (.tcl) ، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أداء بروتوكول التوجيه AODV في شبكات الموبايل اللاسلكية (MANET) من خلال التركيز على ثلاثة مؤشرات رئيسية للأداء:هي: نسبة تسليم الحزم(PDR) ، متوسط التأخير(Delay) ، والإنتاجية (Throughput).

1.6 بيئة المحاكاة

تم تنفيذ المحاكاة ضمن بيئة Ubuntu 20.04 باستخدام NS2 مع الأدوات المرتبطة مثل Xgraph لعرض الرسوم البيانية، وAWK scripting لمعالجة ملفات التتبع. تم تفعيل الواجهة الرسومية عبر Xming وتهيئة العرض باستخدام X11 Forwarding لضمان التكامل بين الطرفية والواجهة المرئية.

2.6 سيناريو المحاكاة

- عدد العقد :10 عقد.
- نموذج الحركة Random Waypoint : حيث تتحرك العقد بشكل عشوائي داخل مساحة محددة.
- مساحة المحاكاة 500 م × 500 م.
- مدة المحاكاة 30 ثانية.
- بروتوكول التوجيهAODV .
- نموذج.MAC IEEE 802.11 .
- طبقة التوجيه Agent/AODV .
- نوع البيانات TCP مع تطبيق FTP .

3.6 ملفات المحاكاة

- **ملف تتبع الأحداث** aodv.tr :يحتوي على كافة الأحداث المتعلقة بإرسال واستقبال الحزم.
- **ملف العرض الرسومي** aodv.nam :يُستخدم مع NAM لمراقبة حركة العقد.
- **ملفات تحليل البيانات** :تم إنشاء ملفات AWK مخصصة لاستخراج مؤشرات الأداء.

4.6 أدوات التحليل

الأداة AWK : لمعالجة ملف aodv.tr وحساب:

- نسبة تسليم الحزم (PDR) .
- متوسط زمن التأخير.
- الإنتاجية.

الأداة Xgraph : لتمثيل المؤشرات بصريًا واحتساب تغيرها مع الزمن.

5.6 عرض وتحليل النتائج

من خلال ملف التتبع .aodv.tr تم حساب قيم المؤشرات والموضحة في الجدول رقم 3:

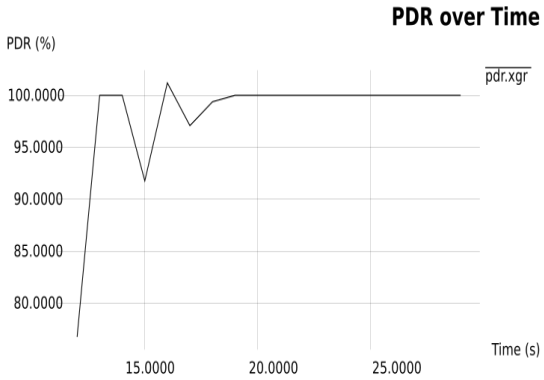
- نسبة تسليم الحزم Packet Delivery Ratio = 98.84%
- متوسط زمن التأخير Average Delay = 0.01001 seconds
- الإنتاجية Throughput = 565.28 kbps

الجدول 3. مؤشرات الأداء.

المؤشر	القيمة	التحليل
PDR	98.84%	نجاح عالي في توجيه الحزم
Delay	10.01ms	تأخير منخفض.
Throughput	565.28 kbps	معدل نقل بيانات جيد.

- توليد الرسوم البيانية باستخدام الأداة Xgraph :

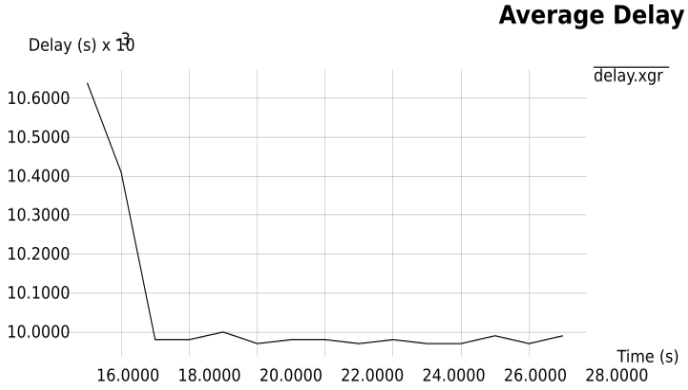
أ- نسبة تسليم الحزم مقابل الزمن :



شكل 9: نسبة تسليم الحزم مقابل الزمن.

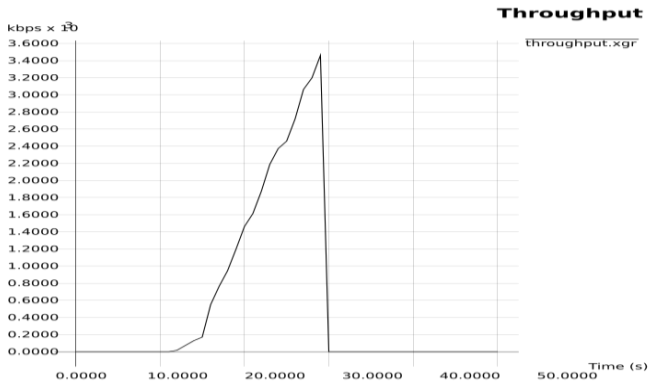
تُظهر نتائج المحاكاة باستخدام بروتوكول AODV عدم استقرار (تذبذب) في نسبة تسليم الحزم (PDR) عبر الزمن كما في الشكل 9، حيث سجلت الشبكة ذروة في أدائها عند الثانية 13 تليها انخفاض حاد في الثانية 14، مما يدل على احتمالية حدوث إعادة اكتشاف للمسار أو انقطاع مؤقت. عند الثانية 15 يُلاحظ وجود تحسن نسبي ، مما يُبرز قدرة البروتوكول على التكيف السريع مع تغيّر طوبولوجيا الشبكة. خلال بقية زمن المحاكاة، تستقر القيم نسبيًا حول معدل ثابت، مما يعكس توازنًا جزئيًا في أداء الشبكة. هذا التغير اللحظي في قيمة PDR يُعد مؤشرًا حيويًا لفهم مدى استجابة AODV للتنقلات وتغيرات البيئة الشبكية، ويُبرز أهمية دراسة الأداء الزمني لتحديد نقاط القوة والضعف في البروتوكول.

ب- متوسط زمن التأخير :



شكل 10: متوسط زمن التأخير.

متوسط التأخير الزمني باستخدام بروتوكول AODV يبدأ بقيمة مرتفعة نسبيًا في بداية زمن المحاكاة، نتيجة لعملية اكتشاف المسارات وإنشاء البنية الشبكية. بعدها ينخفض التأخير بشكل حاد كما هو موضح في الشكل 10، مما يدل على تحسّن كفاءة التوجيه واستقرار المسارات. استقرار قيم التأخير حول معدل ثابت يُظهر أداء مقبولًا للبروتوكول ضمن شبكة ذات بنية متغيرة، مما يدل على قدرة بروتوكول AODV على التكيف مع ديناميكية الشبكة وتقليل زمن الاستجابة مع مرور الوقت.



ج- الإنتاجية مقابل الزمن:

شكل 11: الإنتاجية مقابل الزمن.

الإنتاجية مع بداية المحاكاة كانت بشكل تصاعدي كما هو موضح في شكل 11، حيث استمرت في الارتفاع حتى تبلغ الذروة عند حوالي 30,000 ثانية. هذا يدل على قدرة البروتوكول على تحقيق كفاءة في نقل البيانات بمجرد استقرار المسارات. أما الانخفاض الذي حصل يُشير إلى إما انتهاء حركة المرور أو انقطاع مؤقت في المسارات، مما يُبرز التأثير المباشر لتغير أو انتهاء فترة التوليد المروري على الأداء الشبكي.

6.6 نتائج المحاكاة ومناقشتها

نسبة تسليم الحزم في سيناريو المحاكاة التي تمت بلغت 98.84%، وتعد هذه النسبة عالية تعكس إمكانية البروتوكول على الحفاظ على فعالية التوجيه، مع وجود الحركة وكثرة الاتصالات داخل الشبكة. هذه النتيجة تشير إلى أن البروتوكول يتميز بكفاءة عالية في معالجة حالات فقدان الحزم، نتيجة لاستخدامه أسلوب التوجيه عند الطلب.وارتفاع هذا المؤشر يعطي موثوقية للشبكة.

تم تسُجيل متوسط تأخير 10.01 ملي ثانية، وهذا المؤشر يعد جيدا في مثل هذا النوع من الشبكات المتنقلة وبحجم متوسط . هذا التأخير يدل على قدرة البروتوكول على تأمين مسارات سريعة وفعالة لنقل البيانات، دون تأخير كبير في إنشاء المسار أو استجابته للأحداث الديناميكية في الشبكة.

التأخير المنخفض يعتبر أساسيًا لتطبيقات الزمن الحقيقي مثل الاتصالات الصوتية أو التحكم عن بعد.

الإنتاجية في هذا السيناريو بلغت 565.28 كيلوبايت في الثانية، وهذا يؤشر على قدرة الشبكة في المحافظة على معدلات نقل بيانات مستقرة نسبيًا. يرتبط هذا المؤشر بعدد الحزم المستلمة وحجمها بالإضافة إلى زمن المحاكاة الكلي.كلما كانت الإنتاجية أعلى، كانت الشبكة أكثر قدرة على التعامل مع أحمال بيانات أكبر دون تأثير سلبي على الأداء.

7.الخلاصة

النتائج التي توصلنا لها من خلال محاكاة بروتوكول AODV يحتوي على 10 عقد تفيد بأنه يقدم أداءً موثوقًا ، مع معدلات عالية في تسليم الحزم وتأخير منخفض، مما يجعله مناسبًا لبيئات متنقلة ذات حركة محدودة..

لهذا يعتبر بروتوكول AODV له قدرة جيدة على التعامل مع التغيرات في بنية (طوبولوجيا) الشبكات اللاسلكية المتنقل<(MANET) .

من التوصيات التي نود تقديمها في هذا المجال هي محاولة تحليل أداء هذا البروتوكول تحت ظروف مختلفة مثل عدد عقد أكثر (كثافة في الشبكة) وسرعة حركة . كذلك عمل مقارنة بين بروتوكول AODV مع بروتوكولات أخرى مثل DSDV وDSR ودراسة مؤشرات الأداء بين هذه البروتوكولات وتحديد أيهم الأفضل و الأنسب لكل بيئة عمل.

لضمان تحسين عملية المحاكاة والحصول على نتائج أفضل استخدام أدوات و برامج محاكاة أحدث من المستخدمة في هذا البحث منها على سبيل المثال NS3. كذلك يمكن توسيع بيئة المحاكاة لتشمل سيناريوهات واقعية مثل المدن الذكية أو شبكات المركبات (VANETs) و دمج آليات هجينة للتوجيه تجمع بين التوجيه الاستباقي وحسب الطلب لتحسين سرعة الاستجابة وتقليل التأخير.

المراجع

[1]. علي حكمت عبدو. دراسة أثر رسائل التعارف على خوارزميات التوجيه في شبكات النظم المسيرة. المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، قسم الاتصالات؛ 2018.

[2]. Gambhir S, Sharma S. PPN: Prime product number based malicious node detection scheme for MANETs. In: 2013 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC). IEEE; 2013. p. 335–40.

[3]. Teli TA, Yousuf R, Khan DA. MANET Routing Protocols Attacks and Mitigation Techniques: A Review. *Int J Mech Eng*. 2022;7(2):1468–78.

[4]. Sarkar SK, Basavaraju TG, Puttamadappa C. Ad hoc mobile wireless networks: principles, protocols and applications. *CRC Press*; 2007.

[5]. Divya V, Gobinath R. Routing Protocol and Security Threats in MANET. Int J Sci Technol Res. 2020.

[6]. Kaur G, Thakur P. Routing protocols in MANET: An overview. In: 2019 2nd International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT). IEEE; 2019. Vol. 1. p. 935–41.

[7]. Chandra P, Soni S. Performance Variations of AODV, DSDV and DSR Protocols in MANET under CBR Traffic using NS-2.35. IJCSNS. 2022;22(7):13.
[8]. Kurniawan A, Kristalina P, Hadi MZS. Performance analysis of routing protocols AODV, OLSR and DSDV on MANET using NS3. In: 2020 International Electronics Symposium (IES). IEEE; 2020. p. 199–206.
[9]. Mishra A, Singh S, Tripathi AK. Comparison of MANET routing protocols. Int J Comput Sci Mob Comput. 2019;8:67–74.
[10]. AL-Dhief FT, Sabri N, Salim MS, Fouad S, Aljunid SA. MANET routing protocols evaluation: AODV, DSR and DSDV perspective. MATEC Web Conf. 2018;150.
[11]. Mhmood A, Zengin A. Performance evaluation of MANET Routing Protocols AODV and DSDV using NS2 Simulator. Sakarya Univ J Comput Inf Sci. 2021;4(1):1–10. doi:10.35377/saucis.04.01.780465
[12]. Mishra S, Tiwari GK. Analysis Performance of Different Routing Protocols for MANETs using NS2 Simulator. Int J Res Appl Sci Eng Technol. 2022;10(12):607–13. doi:10.22214/ijraset.2022.47951
[13]. Dak AY, Ruslan R, Taib AM, Radzi NaM. Performance Analysis of Non-Realistic Routing Protocol using Random Waypoint Model in MANET. AIUB J Sci Eng (AJSE). 2024;23(1):79–83. doi:10.53799/ajse.v23i1.1025