

دراسة تجريبية وتحليلية لأثر معاملات رسائل التعرف على معدل ضياع الرزم في شبكة طائرات مسيرة UAANET

علي عبدو^{1*} سليمان ابراهيم الغنا² محمد الحسين³

^{1*} مهندس، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، قسم الاتصالات، سوريا.

AliAbdo@damascusuniversity.edu.sy

² مهندس، جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، سوريا.

SoulimanAlghanam@damascusuniversity.edu.sy

³ أستاذ، دكتور، جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، سوريا.

MohammedAlhousen@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

يتزايد الاهتمام عالمياً بتكنولوجيا الطائرات المسيّرة بدون طيار في العديد من التطبيقات المدنية والعسكرية على حد سواء، وخاصةً في عمليات الاستطلاع والبحث في الزمن الحقيقي. تمتلك هذه الطائرات القدرة على إنشاء شبكة اتصالات فيما بينها في السماء يطلق عليها مصطلح (UAANET) Unmanned Aeronautical Ad-hoc Network، والتي تندرج تحت نطاق الشبكات المخصصة النقالة (MANET) Mobile Ad hoc Network. من أهم المحددات التي تحكم أداء هذه الشبكات هو بروتوكول التوجيه المُستخدم، والذي غالباً ما يكون أحد البروتوكولات المصممة سابقاً لشبكات MANET. يُعد بروتوكول التوجيه Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) أحد أكثر البروتوكولات شيوعاً للاستخدام في نطاق هذه الشبكات. يستخدم هذا البروتوكول رسائل تحكم دورية تُدعى رسائل التعرف للحصول على معلومات الجوار واكتشاف حالات انقطاع الوصلات اللاسلكية عند حدوثها. لقد بينت العديد من الدراسات السابقة أثر هذه الرسائل على الأداء في الشبكات المخصصة النقالة MANET، وأن هذا الأثر يتعلق بشروط الشبكة ومعاملات إعداد هذه الرسائل. لذلك اعتنى هذا البحث بدراسة أداء بروتوكول التوجيه AODV في شبكات الطائرات المسيّرة، حيث قام الباحثون بدراسة أثر تغيير إعدادات رسائل التعرف (العدد المسموح لرسائل التعرف المفقودة AHL تحديداً) على معدل ضياع الرزم في الشبكة. اشتمل البحث على دراسة تجريبية باستخدام المحاكاة الحاسوبية، ودراسة تحليلية بالاعتماد على دراسات سابقة. قام الباحثون بإجراء محاكاة لسيناريوهات شبكة UAANET وتحصيل نتائج الأداء باستخدام محاكي الشبكات OPNET.

الكلمات المفتاحية: شبكة الاتصال في الطائرات المسيّرة، الشبكات المخصصة النقالة، بروتوكول التوجيه (AODV)، رسائل التعرف.

تاريخ الإيداع: 2023/6/8
تاريخ القبول: 2023/8/1



حقوق النشر: جامعة دمشق –

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب CC BY-NC-SA

An Empirical and Analytical Study of the Impact of Hello Messages Parameters on the Packet Drop Ratio in UAANET

Ali Abdo^{*1} Souliman Ibrahim Alghanam² Mohammed Alhousen³

^{*1.} Eng, Higher Institute for Applied Sciences and Technology, Telecommunication Department, Syria, AliAbdo@damascusuniversity.edu.sy

^{2.} Eng, Damascus University, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Syria. SoulimanAlghanam@damascusuniversity.edu.sy

^{3.} Prof, Damascus University, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Syria, MohammedAlhousen@damascusuniversity.edu.sy

Abstract:

Recently there has been an increasing interest in employing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in a wide range of applications, mainly in real-time surveillance and reconnaissance operations. UAVs have the ability of creating an ad hoc communication network in the air which is known as Unmanned Aeronautical Ad-hoc Network (UAANET). One of the most aspects that has a significant impact on the performance of these systems is the routing protocol. Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) is a very popular reactive protocol that has been widely used in UAANETs. One distinct aspect of this protocol is its ability to provide connectivity information via the use of Hello messages. However, using Hello messages also affects performance. Many previous studies have shown the impact of these messages on performance in MANET mobile networks, and that this effect is related to network conditions and parameters for preparing these messages. Therefore, this research focused on studying the performance of the AODV routing protocol in UAVs networks, where the nature of performance was determined in term of the rate of packet loss in all possible cases of a drone network. Then, the impact of changing the handshake settings (the allowed number of missing AHL handshakes in particular) on the recorded performance measures was studied. This research involves an empirical study using computer simulation as well as an analytical study based on other previous researches. The authors used OPNET network simulator for simulation purposes.

Keywords: UAV, UAANET, AODV, Hello messages, Allowed-hell.

Received: 8/6/2023
Accepted: 1/8/2023



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

المقدمة:

إلى رسائل التعارف مفضلة بسبب التعقيد والتبعية لطبقة

الارتباط التي تفرضها الطريقة الأخرى

(Bellur et al.,2003) (Jacquet (Chakeres et al.,2002) et al.,2001) (Gomez et al.,2005)

عملياً، يجب ألا تستخدم العقدة رسائل التعارف إلا إذا كانت جزءاً من مسار نشط. حيث يتم تشغيل عملية الحفاظ على اتصال الشبكة على النحو التالي: كل HELLO_INTERVAL ميلي ثانية، تقوم العقدة بالتحقق مما إذا كانت قد أرسلت رزماً خلال آخر مدة زمنية مساوية لـ HELLO_INTERVAL. إذا لم يكن كذلك، تقوم العقدة بإرسال رزم التعارف للجوار. عندما تتلقى إحدى العقد رسالة تعارف من جاريتها، فإنها تقوم بإنشاء أو تحديث معلومات جدول التوجيه الخاصة لهذا الجار. تقتض العقدة أن أحد الجيران لم يعد ضمن نطاق الإرسال، وفقد الاتصال معه في حالة عدم تلقي أي رزم (رسائل تعارف Hello Messages أو غير ذلك) من هذا الجار لمدة زمنية تتجاوز HELLO_INTERVAL)

ALLOWED_HELLO_LOSS (ميلي ثانية).

ومن الواضح أن أداء الاتصال المحلي في الشبكة يتحدد بواسطة المتغيرين: HELLO_INTERVAL و ALLOWED_HELLO_LOSS حيث أن:

HELLO_INTERVAL يحدد الفاصل الزمني الأقصى بين عمليات إرسال رسائل التعارف. القيمة الافتراضية لـ HELLO_INTERVAL في بروتوكول AODV هي ثانية واحدة (Perkins et al.,2003). عند استخدام قيم أقل من القيمة الافتراضية لهذا المعامل، يتم اكتشاف الجيران الجدد والوصلات المنقطعة بشكل أسرع، بالتالي المحافظة على معلومات دقيقة لجدول الجوار. ومع ذلك، فإن فترات التعارف القصيرة جداً تسبب عبء وحمل زائد للبروتوكول. وهذا يزيد من الاختناق في الشبكة ويقلل من إنتاجية الشبكة ويزيد من

تعتبر شبكات النظم المسيرة حالة خاصة من الشبكات المخصصة Ad hoc networks التي نالت اهتماماً واسعاً في العقود الأخيرة وتمت دراستها بشكل فعال سواء في مجال التطبيقات العسكرية أو المدنية. ولكن البحث في مجال شبكات النظم المسيرة يتطلب أخذ الميزات الخاصة لهذه الأنظمة بعين الاعتبار مثل عدد العقد القليل نسبياً، والحركية المرتفعة لهذه العقد وطبولوجيا الشبكة سريعة التغير، وغيرها من العوامل. بالتالي فإن هذه الميزات الفريدة لشبكات النظم المسيرة تمثل تحدياً حقيقياً عند تطبيق بروتوكولات التوجيه التقليدية للعمل ضمنها، والتي هي مصممة أساساً لتخديم الشبكات المخصصة الأرضية. لقد بدأ العمل منذ بضع سنوات على إيجاد بروتوكولات توجيه خاصة بشبكات النظم المسيرة كما في الأبحاث

(Shirani et al.,2011), (Forsmann et al.,2007), (Nemati, Mahyar, et al. 2022)

في حالة الشبكات الديناميكية حيث تتغير الطبولوجيا بشكل متكرر بسبب حركة العقد، يصبح الحفاظ على معلومات الاتصال المحلية عاملاً رئيسياً في أداء الشبكة. يوفر بروتوكول AODV معلومات الاتصال بشكل رئيسي عن طريق استخدام رسائل التعارف Hello Messages، التي هي عبارة عن رسائل Broadcast دورية. يتم ضبط آلية عمل هذه الرسائل في بروتوكول التوجيه بمعاملين هما دور الرسائل HELLO_INTERVAL والعدد المسموح لرسائل التعارف المفقودة ALLOWED_HELLO_LOSS ويكون لهما عادةً قيم افتراضية ثابتة. يتأثر أداء الشبكة بشكل كبير تبعاً لعمل هذه الآلية ومدى ملائمتها لشروط وحالة الشبكة كما بين الباحثون بالمحاكاة في (KHORZOM et al., 2019). وعلى الرغم من ابتكار آليات أخرى لكشف فشل الارتباط في الشبكة مثل طريقة التغذية الراجعة لطبقة الارتباط link layer feedback (Perkins et al.,2003)، إلا أن الطريقة المستندة

دراسة تجريبية وتحليلية لأثر معاملات رسائل التعارف على معدل ضياع عبدو، الغنا والحسين

التعارف (العدد المسموح لرسائل التعارف المفقودة AHL تحديداً) على معدل ضياع الرزم في كل سيناريو من سيناريوهات الشبكة. بالإضافة إلى إيجاد علاقة تحليلية تحدد معدل ضياع الرزم تبعاً لمعاملات رسائل التعارف وضمن شروط شبكة الطائرات مسيرة UAANETs اعتماداً على الدراسات المرجعية في هذا المجال.

3- الدراسة المرجعية:

ليس بالضرورة أن يحقق اختيار القيم الافتراضية لمعاملات رسائل التعارف الأداء الأمثل لبروتوكول التوجيه، بل علاوةً على ذلك فقد لاحظ العديد من الباحثين أن السلوك التقليدي بتثبيت قيم المعاملين (HI, AHL) قد لا يكون الخيار الصحيح. لذلك ظهرت العديد من الأعمال التي اهتمت بدراسة أثر رسائل التعارف على الأداء في شبكات MANETs سواءً بالطرق التجريبية عبر المحاكاة أو الطرق التحليلية. من ناحية أخرى، توجد العديد من الأعمال التي اقترحت آليات متكيفة لتبادل رسائل التعارف بدلاً من الطريقة التقليدية، لكنها اقتصرت على اختيار قيمة متكيفة لدورية رسائل التعارف HI، وأغفلت أثر المعامل AHL.

نستعرض فيما يلي بعضاً من أهم هذه الدراسات:

قدم (Azzuhri et al.,2018) دراسةً لأداء بروتوكول التوجيه AODV في شبكات MANETs وفق إعدادات مختلفة لكل من المعاملين HI, AHL، بهدف تحديد أثر القيم المختلفة لهذين المعاملين على آلية كشف الانقطاعات في الشبكة وبالتالي على أداء الشبكة بشكل عام. اعتمدت الدراسة على تعريف معامل زمني $L_{rb} = HI * AHL$ ، حيث تم استخدام قيم مختلفة لهذا المعامل (بأخذ قيم مختلفة لكل من HI, AHL) في تنفيذ محاكاة لشبكات MANETs وفق عدة سيناريوهات. أظهرت نتائج المحاكاة أن الإعدادات الافتراضية المعتمدة لرسائل التعارف في البروتوكول AODV لا تحقق الأداء الأمثل في

استهلاك الطاقة للعقد. من ناحية أخرى، يساعد استخدام قيم أعلى من القيمة الافتراضية لهذا المعامل في تخفيف الاختناقات في الشبكة. إلا أنه يمكن أن يتسبب في بطئ الاستجابة لتغيرات الشبكة وبالتالي الحصول على معلومات أقل دقة في جداول الجوار.

ALLOWED_HELLO_LOSS عبارة عن عدد طبيعي يحدد الحد الأقصى لعدد فترات HELLO_INTERVAL للانتظار دون تلقي أي رسالة ترحيب من الجوار قبل اكتشاف فقدان اتصال الجيران. القيمة الافتراضية لـ ALLOWED_HELLO_LOSS في بروتوكول AODV هي اثنتان (Perkins et al.,2003). قد يؤدي تعيين هذا المتغير على القيمة المنخفضة الوحيدة المتاحة إلى تدهور الأداء لأن الجيران الذين فقدوا الاتصال بسبب ظروف القناة اللاسلكية السيئة المؤقتة سيعتبرون غير متصلين. من ناحية أخرى، فإن ضبط هذا المتغير على القيمة الأعلى التالية وهي ثلاثة، يقلل من الأداء بسبب تدني سرعة الاستجابة لتغيرات الطبولوجيا (Chakeres et al.,2002) (Gomez et al.,2005).

1- أهمية البحث:

تتبع أهمية هذا البحث من حاجتين أساسيتين: الأولى هي الحاجة لمعرفة مدى ملائمة بروتوكول التوجيه AODV المصمم أصلاً لشبكات MANET الأرضية عند استخدامه بصيغته الافتراضية في حالة شبكات الطائرات المسيرة UAANET. أما الحاجة الثانية فهي القدرة على إعداد آلية رسائل التعارف في البروتوكول بالقيم المناسبة لتحقيق معايير الأداء المطلوبة.

2- الهدف من البحث:

دراسة أداء بروتوكول التوجيه (AODV بصيغته الافتراضية) في شبكات الطائرات المسيرة، حيث تم تحديد طبيعة الأداء من حيث معدل ضياع الرزم في كل الحالات الممكنة لشبكة طائرات مسيرة صغيرة. ثم دراسة أثر تغيير إعدادات رسائل

ونجد دراسة رياضية تحليلية لآلية كشف الانقطاعات باستخدام رسائل التعارف، حيث قَدَمَ (Valera et al.,2012) توصيفاً لفقد الرزم في الشبكة الناجم عن انقطاع الوصلات. توصل الباحثون لاستنتاج نموذج رياضي للحد الأدنى لمعدل توصيل الرزم PDR في الشبكة بدلالة معاملات رسائل التعارف HI, AHL، كما أظهروا إمكانية تحقيق PDR أعظمي باختيارات مناسبة لكل من AHL, HI وفقاً لشروط الشبكة مثل معدل حدوث الانقطاعات link failure rate ومعدل توصيل رسائل التعارف hello delivery rate. أخيراً تم التحقق من صحة هذا النموذج من خلال تنفيذ تجارب باستخدام البروتوكول AODV. من المهم هنا التنويه إلى أن العمل اللاحق في هذا البحث لإيجاد نموذج رياضي لمعدل فقد الرزم في شبكات UAANETs يعتمد بشكل أساسي على النموذج الذي تم التوصل إليه في هذه المقالة العلمية.

تجدر الإشارة هنا إلى أن جميع الدراسات السابقة قد تمت في إطار شبكات MANETs ولم يتطرق أي منها إلى دراسة أثر رسائل التعارف في حالة سيناريوهات شبكات النظم المسيرة UAANETs.

4- مواد البحث وطرائقه:

سيكون محور البحث هو دراسة أثر رسائل التعارف على أداء شبكة طائرات مسيرة ضمن منطقة عمل صغيرة المساحة. تشتمل هذه الدراسة على مرحلتين يتم عرضهما كما يلي: في المرحلة الأولى، قام الباحثون بتنفيذ سيناريوهات محاكاة لشبكة طائرات مسيرة باستخدام بيئة OPNET مع تغيير إعدادات رسائل التعارف في ضبط البروتوكول AODV، حيث تم تثبيت قيمة دورية الرسائل HI للقيمة الافتراضية المعتمدة في بيئة OPNET وتغيير قيمة العدد المسموح به للرسائل المفقودة AHL ومراقبة أداء الشبكة من حيث معدل ضياع الرزم PDR. في المرحلة الثانية، قام الباحثون بتحليل مصادر ضياعات الرزم في الشبكة ومقدار الضياعات الناجمة عن كل مصدر بالاعتماد على دراسات سابقة مشابهة على الشبكات

جميع الحالات، وخاصة في السيناريوهات ذات الحركية المرتفعة.

كما أظهرت وجود صلة بين معدل توصيل الرزم Packet Delivery Ratio (PDR) وقيمة المعامل L_{lb} ، حيث يتناقص PDR بازدياد قيمة L_{lb} . بالإضافة لذلك، فقد بينت النتائج أن قيم PDR لا تتعلق بقيمة المعامل L_{lb} فحسب وإنما أيضاً بالقيم المأخوذة لكل من المحددين (AHL, HI). على سبيل المثال، حالة ($L_{lb} = 0.5 * 2 = 1$) تحقق أداءً أفضل من حالة ($L_{lb} = 1 * 1 = 1$).

قدم (Gomez et al.,2005) تحليلاً رياضياً وتجريبياً لأثر دورية رسائل التعارف HI على أداء الشبكة من حيث (E2E delay, E2E throughput, route change latency, route change losses) وذلك عند استخدام البروتوكول AODV في سيناريوهات MANET واقعية. توصلت هذه الدراسة إلى أن تغيير قيمة دور رسائل التعارف HI وفقاً لحالة الشبكة يؤدي إلى تحسن كبير في الاستجابة لتغيرات الطوبولوجيا دون التأثير (بشكل واضح) على استهلاك الطاقة أو عرض المجال المتاح.

قدم (Park et al.,2016) دراسةً لأثر سرعة العقد ومدى الإرسال على قيمة دور رسائل التعارف HI اللازمة لتحقيق أفضل throughput. حيث اعتمد الباحثون على تنفيذ محاكاة لشبكات MANETs بحالات مختلفة كما يلي: أولاً باعتبار مدى الإرسال ثابت وتغيير سرعة العقد في كل سيناريو، وثانياً بأخذ سرعة ثابتة للعقد وتغيير مدى الإرسال لأجل كل سيناريو. بينت نتائج المحاكاة أن قيمة HI التي تحقق أفضل throughput تتناسب طردياً مع مدى الإرسال وعكساً مع سرعة العقد. بناءً على ذلك وباستخدام مبادئ Linear regression analysis، توصل الباحثون إلى تعريف علاقة خطية بين HI ومعامل الحركية μ (نسبة مدى الإرسال إلى سرعة العقد ($\mu = R(m)/V(m.s^{-1})$).

الجدول (1) معاملات الحركة لسيناريو البحث

Parameter	Value
Mobility Model	Random Waypoint
Low Speed Scenario	Uniform (10,20) m/s
Medium Speed Scenario	Uniform (30,40) m/s
High Speed Scenario	Uniform (50,60) m/s
Size	4 km ²
Number of UAVs	10
Pause Time	0
Start Time	0
Stop Time	End of Simulation
Simulation Time	10 hours

يبين الجدول 2 مواصفات طبقة MAC. يفترض أن تكون القيم لمثل هذا الإعداد قيمًا نموذجية للطائرات بدون طيار متوسطة الحجم استنادًا إلى (Shirani et al.,2011).

الجدول (2) مواصفات MAC Layer

Parameter	Value
Protocol	IEEE 802.11
Data Rate	1 Mbps
Transmission Range	1000 m

تم تنفيذ المحاكاة بحيث تكون مدة كل تجربة 10 ساعات، وهو ما كان كافياً للحصول على قيمة وسطية مستقرة للنتائج المطلوبة. كما تم إعادة كل تجربة باستخدام بدايات مختلفة (6 seeds) لمولد الأعداد العشوائية في بيئة OPNET للتحقق من استقرار النتائج التي يتم الحصول عليها، بحيث تكون القيمة المسجلة النهائية لمعدل ضياع الرزم المسجل هي متوسط القيم الستة لنفس التجربة.

يبين الجدول 3 معاملات AODV لرسائل التعارف التي تم اعتمادها في عمليات المحاكاة. تم الاحتفاظ ببقية إعدادات AODV كقيمها الافتراضية في محاكي OPNET (Shirani et al.,2011) (Perkins et al.,2003).

اللاسلكية المخصصة النقالة MANETs، بهدف التوصل إلى علاقة رياضية تحليلية لمعدل ضياع الرزم بدلالة معاملات رسائل التعارف AHL, HI, وضمن شروط شبكة الطائرات مسيرة UAANETs.

1-4 الدراسة التجريبية لأثر AHL على معدل ضياع الرزم يحدد المعامل (AHL) ALLOWED_HELLO_LOSS العدد الأعظمي المسموح به من رسائل التعارف المفقودة قبل أن يتم تحديد عقدة الجوار كغير متاحة (أي حالة انقطاع وصلة). يأخذ هذا المعامل القيمة 2 كقيمة افتراضية في البروتوكول AODV.

لدراسة أثر هذا المعامل على أداء شبكة الطائرات المسيرة قام الباحثون بإجراء تجارب لسيناريوهات الشبكة المختلفة ضمن منطقة صغيرة المساحة الموصفة في الجدول 1، حيث تم إجراء 11 تجربة لكل سيناريو بتغيير قيمة المعامل AHL في كل تجربة ضمن مجموعة القيم الصحيحة {1,2,3,...,11}، أي لدينا بالمجمل 33 تجربة مختلفة.

حدد الباحثون (Shirani et al.,2011) ثلاثة سيناريوهات مختلفة للطائرات بدون طيار وفقاً لنطاق السرعة كما هو موضح في الجدول 1. هذه النطاقات من السرعة هي قيم نموذجية لـ UAANET بما في ذلك الطائرات بدون طيار متوسطة الحجم. يوضح الجدول 1 معاملات حركية العقد في مهمات البحث لشبكة طائرات مسيرة (Shirani et al.,2011).

دراسة تجريبية وتحليلية لأثر معاملات رسائل التعارف على معدل ضياع عبدو، الغنا والحسين

وضمن الشروط الخاصة لشبكة الطائرات المسيرة UAANETs.

يتم تمثيل شبكة الطائرات بمخطط غير موجه undirected graph $G = (V, E)$ حيث V و E تمثل مجموعة العقد والوصلات، على الترتيب. تكون الوصلة فعالة بين عقدتين (I, j) إذا كانت هاتين العقدتين قادرتين على الاتصال مباشرة.

- نفترض أن معدل انقطاع الوصلة r_{LF} (معدل الانقطاع في الثانية) متساوٍ لأجل جميع الوصلات في المجموعة E .
- ينصب كامل اهتمامنا في هذا البحث على متطلبات جودة الخدمة QoS تبعاً لأداء التوجيه، لذلك لا نأخذ بعين الاعتبار فرضيات معاملات الطبقة الفيزيائية، أو التعديل، أو مواصفات القناة.

يُمثل الحد الأعلى لمعدل ضياع الرزم PDR بالعلاقة التالية (Valera et al., 2012):

$$PDR < \frac{L_{max}}{2} \{r_{LF}(2K - 1)T_B + (r_{LF} - r_{MD} + r_{FD})(L_{max} - 1)\tau\} \quad (1)$$

حيث:

PDR: معدل ضياع الرزم الكلي في الشبكة.

L_{max} : طول المسار الأعظمي من المصدر إلى الوجهة.

r_{LF} : معدل انقطاع الوصلة.

K : العدد المسموح لرسائل التعارف المفقودة AHL.

T_B : دور رسائل التعارف HI.

r_{MD} : معدل الانقطاعات غير المكتشفة.

r_{FD} : معدل الكشف الخاطئ للانقطاعات.

τ : التأخير الزمني للرزم عند كل عقدة في طريقها من المصدر إلى الوجهة.

وبناءً على التحليل الوارد في (Valera et al., 2012) لحالة

الشبكات اللاسلكية المخصصة النقالة MANETs يمكننا

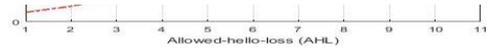
كتابة العلاقة التالية لمعدل ضياع الرزم:

الجدول (3) معاملات AODV

Parameter	Value
Hello Interval	Uniform (1, 1.1)
Allowed Hello Loss	1,2,3,4,...,11 (hello messages lost)

5-2 نتائج المحاكاة في بيئة Opnet

يبين الشكل (1) تغيرات معدل ضياع الرزم عند القيم المختلفة للمعامل AHL في شبكة طائرات مسيرة مؤلفة من 10 عقد بمختلف سيناريوهات السرعة. يبدو واضحاً من الشكل أن القيمة الدنيا لمعدل ضياع الرزم تتحقق عند $AHL = 1$ في جميع سيناريوهات السرعة، وبعدها يزداد معدل ضياع الرزم مع زيادة العدد المسموح لرسائل التعارف المفقودة. كما نلاحظ أن السلوك بازياد PDR مع زيادة سرعة العقد يصبح أكثر وضوحاً مع زيادة AHL.



الشكل (1) تغيرات معدل ضياع الرزم تبعاً لقيمة المعامل AHL بحالة شبكة مؤلفة من 10 عقد.

يمكننا القول أنه بعد النقطة $AHL = 4$ (على الأكثر) فإن أي زيادة للعدد المسموح لرسائل التعارف المفقودة ستؤدي إلى تدهور الأداء.

4-3 الدراسة التحليلية لأثر AHL على معدل ضياع الرزم

اعتمد الباحثون بشكل أساسي على التحليل الوارد في Valera (et al., 2012) لحالة الشبكات اللاسلكية المخصصة النقالة MANETs (الصف الذي تنتمي له شبكات الطائرات المسيرة)، بهدف التوصل إلى علاقة رياضية تحليلية لمعدل ضياع الرزم بدلالة معاملات رسائل التعارف AHL, HI,

بحيث يزداد احتمال انقطاع الوصلات في الشبكة بزيادة سرعة العقد، بينما يرتبط بشكل معاكس مع مدى الإرسال بحيث تزداد استقرارية الوصلات مع زيادة مدى إرسال العقد.

ضمن نموذج حركية RWP تتحرك فيه جميع العقد بشكل عشوائي وبنفس السرعة v_0 في منطقة واسعة بدون وجود عوائق، وبشكل مستمر (أي أن زمن التوقف معدوم)، وبحيث تمتلك جميع العقد نفس مجال الإرسال الدائري بنصف قطر R ، يكون معدل انقطاع الوصلة بين عقدتين بتوزيع منتزح

(Shu et al.,2007) (Agarwal.,2022):

$$failure\ rate = \frac{8v_0}{\pi^2 R} \quad (7)$$

ولأجل شبكة مؤلفة من N عقدة تتحرك بسرعة وسطية \bar{v} ضمن منطقة مربعة أبعادها $a * a$ يكون المعدل الوسطي لانقطاع الوصلات (Shu et al.,2007) (Agarwal.,2022):

$$(r_{LF})^- = (4N(N-1)R\bar{v})/$$

$$(\pi a^2) \quad (8)$$

لحساب القيمة الوسطية للسرعة في حالة نموذج RWP حيث يتم اختيار قيمة سرعة العقدة بتوزيع منتظم على مجال محدود $[V_{min}, V_{max}]$ ، وباعتبار زمن توقف معدوم، فإن تابع الكثافة الاحتمالية PDF للسرعة يُعطى بالعلاقة Oliveira, et

(Saini., 2023) (al.,2007):

$$f_{wp}(v) = \begin{cases} 0, & v < V_{min} \\ \frac{1}{v \log\left(\frac{V_{max}}{V_{min}}\right)}, & V_{min} \leq v \leq V_{max} \\ 0, & v > V_{max} \end{cases} \quad (9)$$

ومنه تُحسب القيمة المتوقعة للسرعة بالعلاقة التالية:

$$\bar{v} = E_{wp}(v) = \int_{-\infty}^{+\infty} v f_{wp}(v) dv = \frac{V_{max} - V_{min}}{\log\left(\frac{V_{max}}{V_{min}}\right)} \quad (10)$$

4-4 النتائج والمناقشة:

تم تمثيل العلاقة التحليلية المستنتجة لمعدل ضياع الرزم بيانياً في حالة شبكة طائرات مسيرة مؤلفة من 10 عقد ضمن منطقة عمل صغيرة وبمختلف حالات السرعة (منخفضة، متوسطة،

$$PDR < \frac{L}{2} \{r_{LF}(2K-1)T_B + (r_{LF} - r_{MD} + r_{FD})(L-1)\tau\} \quad (2)$$

نبين في الفقرات اللاحقة كيفية استنتاج قيم المعاملات الحاكمة للعلاقة السابقة ضمن شروط شبكة الطائرات المسيرة بهدف الوصول إلى صيغة نهائية يمكن حسابها برمجياً في MATLAB وتمثيلها بيانياً تبعاً للعدد المسموح لرسائل التعارف المفقودة K .

5-3-1 تابع التوزيع لعدد القفزات بين المصدر والوجهة

ليكن لدينا مسار متعدد القفزات مؤلف من عقد متحركة بنموذج RWP في شبكة لاسلكية مخصصة Ad-hoc. وبافتراض أن هذه العقد تتحرك ضمن نطاق شبكة مربعة بمساحة $a * a$ (m^2). عندئذٍ يُعطى تابع التوزيع التراكمي CDF للمسافة L بين عقدتين بالعلاقة التالية (An, Beongku et al.,2012):

$$P(L \leq l) = \frac{1}{\pi a^2} \int_0^l \int_0^{\sqrt{a^2 - x^2}} \int_0^{\sqrt{a^2 - y^2}} \frac{1}{\sqrt{a^2 - x^2 - y^2}} dx dy dz$$

حيث l_x, l_y هي المسافات بين العقدتين بالمحورين x, y على الترتيب.

وبما أن عدد القفزات لمسار ما هو عدد صحيح، بالتالي يمكن التعبير عنه كمتحول عشوائي متقطع K . ويكون تابع الكتلة الاحتمالية PMF لهذا المتحول (An, Beongku et al.,2012):

$$P(K = k) = \frac{1}{\pi a^2} \int_0^{\sqrt{2a}} \int_0^{\sqrt{2a-x}} \int_0^{\sqrt{2a-x-y}} \frac{1}{\sqrt{2a-x-y-z}} dx dy dz \quad (5)$$

حيث L المتحول العشوائي الممثل للمسافة بين عقدتين بتوزيع منتظم، R مدى الإرسال، a قياس الشبكة.

من خصائص تابع الكتلة الاحتمالية PMF يمكن صياغة العلاقة (4) بالشكل التالي (An, Beongku et al.,2012):

$$P(L < \sqrt{2a}) - P(L < \left[\frac{\sqrt{2a}}{R} - 1\right]R), \kappa = \left|\frac{\sqrt{2a}}{R}\right|$$

4-3-2 معدل انقطاع الوصلة:

يرتبط معدل انقطاع الوصلة link failure rate في شبكة لاسلكية بسرعة العقد الوسطية ونموذج حركية العقد في الشبكة

مرتفعة). حيث تم تمثيل العلاقة (1) بيانياً بكتابة رماز MATLAB مناسب.

قبل البدء باستعراض النتائج يجدر التنويه إلى أن بعض معاملات العلاقة (1) تم حسابها ضمن المحاكاة لأجل كل سيناريو كما يلي:

- مقدار التأخير الزمني τ : يعبر عن التأخير الذي تتعرض له رسالة الخطأ عند كل عقدة في طريقها إلى الوجهة. نقوم بتسجيل قيمة المقياس processing delay الذي تتيحه بيئة OPNET لكل عقدة في الشبكة ثم حساب القيمة الوسطية لهذه القيم على مستوى كامل الشبكة.

- الحد $(r_{LF} - r_{MD} + r_{FD})$: يعبر عن معدل انقطاع الوصلة سواء كان حقيقياً أو خاطئاً، حيث يتم في كلتا الحالتين توليد رسالة خطأ وإرسالها إلى عقدة المصدر. بالتالي يمكن تقدير هذا المعدل من خلال حساب العدد الكلي لرسائل الخطأ (RERR) المرسل على مستوى كامل الشبكة خلال كامل زمن المحاكاة.

تبين الأشكال (2)، (3)، (4) معدل ضياع الرزم بالعلاقة التحليلية في شبكة مؤلفة من 10 عقد بحالات السرعة المنخفضة، المتوسطة، والمرتفعة على الترتيب. يظهر في كل شكل من هذه الأشكال ثلاثة منحنيات هي: معدل ضياع الرزم العملي، الحد الأعلى لمعدل ضياع الرزم المُعطى بالعلاقة (1)، معدل ضياع الرزم النظري وفق العلاقة (2).



الشكل (3) معدل ضياع الرزم في شبكة مؤلفة من 10 عقد بسرعة متوسطة.



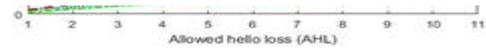
الشكل (4) معدل ضياع الرزم في شبكة مؤلفة من 10 عقد بسرعة مرتفعة.

6- الاستنتاجات والتوصيات:

من المنحنيات البيانية السابقة نستنتج أن ضياعات الرزم الناجمة عن انقطاع الوصلات هي المساهم الأكبر في الضياعات العامة في شبكة النظم المسيرة. يتعلق مقدار هذه الضياعات بشكل وثيق بمعاملات رسائل التعارف المستخدمة في كشف الانقطاعات، وبالتالي يمكن تقليل ضياعات الرزم في الشبكة باختيار قيم منخفضة لكل من K, T_B . نلاحظ من الأشكال السابقة أن معدل ضياع الرزم العملي دائماً أقل من الحد الأعظمي النظري الممثل للعلاقة (1) وأقرب إلى المنحني الممثل للعلاقة (2) في جميع سيناريوهات السرعة.

تتطابق النتائج العملية لمعدل ضياع الرزم (بشكل تقريبي) مع نتائج العلاقة التحليلية (2) في سيناريو السرعة المنخفضة لأجل القيم المختلفة للمعامل K . بينما يكون التطابق حتى $K = 5$ في سيناريو السرعة المتوسطة (أي يتحقق التطابق ضمن مجال القيم العملية الممكنة للمعامل K (Hayajna et al., 2017)).

في سيناريو السرعات المرتفعة، يقترب معدل ضياع الرزم العملي نحو الحد الأعظمي بشكل أكبر، يمكن تفسير هذه



الشكل (2) معدل ضياع الرزم في شبكة مؤلفة من 10 عقد بسرعة منخفضة.

		ضياح الرزق
Quality of Service	QoS	جودة الخدمة
Random Waypoint	RWP	نموذج الحركة العشوائي
Probability Density Function	PDF	تابع الكثافة الاحتمالية
Probability Mas Function	PMF	تابع الكتلة الاحتمالية
Route Error	RERR	خطأ المسار

الحالة بأثر تقدير قيمة معدل انقطاع الوصلات عند السرعات المرتفعة كما أُشير إليه في (Shu et al.,2007).
بناءً على الملاحظات والاستنتاجات السابقة يمكن التوصية باعتماد القيم الافتراضية المعتمدة في بروتوكول AODV لكل من K, T_B فقط في سيناريوهات السرعة المنخفضة لشبكات الطائرات المسيرة.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

المصطلحات والاختصارات

المصطلح باللغة العربية	الاختصار	المصطلح باللغة الانكليزية
شبكة الطائرات غير المأهولة (المسيرة)	UAANET	Unmanned Aeronautical Ad-hoc Network
شبكة مخصصة نقالة	MANET	Mobile Ad hoc Network
العدد المسموح لرسائل التعارف المفقودة	AHL	ALLOWED_HELLO_LOSS
دور رسائل التعارف	HI	HELLO_INTERVAL
معدل	PDR	Packet Drop Ratio

Technology Convergence (ICTC), 2016 International Conference on. IEEE, 2016.

[7]. Valera, Alvin, and Hwee-Pink Tan. "Analysis of hello-based link failure detection in wireless ad hoc networks." Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2012 IEEE 23rd International Symposium on. IEEE, 2012.

[8]. Perkins, Charles, Elizabeth Belding-Royer, and Samir Das. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing. No. RFC 3561. 2003.

[9]. Chakeres, Ian D. "AODV-UCSB Implementation from University of California Santa Barbara." Santa Barbara, URL: <http://moment.cs.ucsb.edu/AODV/aodv.html> (2007).

[10]. Jacquet, Philippe, et al. "Optimized link state routing protocol for ad hoc networks." Multi Topic Conference, 2001. IEEE INMIC 2001. Technology for the 21st Century. Proceedings. IEEE International. IEEE, 2001.

[11]. Bellur, B., R. G. Ogier, and F. L. Templin. "Topology broadcast based on reverse-path forwarding routing protocol (tbrpf)." Internet Draft (2003).

[12]. Hayajna, Tareq. Link failure detection, network recovery, and network reliability in multi-hop wireless networks. Diss. École de technologie supérieure, 2017.

References:

[1]. Shirani, Rostam. Reactive-greedy-reactive in unmanned aeronautical ad-hoc networks: A combinational routing mechanism. Diss. Carleton University, 2011.

[2]. Forsmann, J. Hope, Robert E. Hiromoto, and John Svoboda. "A time-slotted on-demand routing protocol for mobile ad hoc unmanned vehicle systems." Unmanned Systems Technology IX. Vol. 6561. International Society for Optics and Photonics, 2007.

[3]. Azzuhri, Saaidal Razalli, et al. "Towards a Better Approach for Link Breaks Detection and Route Repairs Strategy in AODV Protocol." Wireless Communications and Mobile Computing 2018 (2018).

[4]. Chakeres, Ian D., and Elizabeth M. Belding-Royer. "The utility of hello messages for determining link connectivity." Wireless Personal Multimedia Communications, 2002. The 5th International Symposium on. Vol. 2. IEEE, 2002.

[5]. Gomez, Carles, et al. "Evaluating performance of real ad-hoc networks using AODV with hello message mechanism for maintaining local connectivity." Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005. PIMRC 2005. IEEE 16th International Symposium on. Vol. 2. IEEE, 2005.

[6]. Park, Neung-Um, Jae-Choong Nam, and You-Ze Cho. "Impact of node speed and transmission range on the hello interval of MANET routing protocols." Information and Communication

Factors." 2022 IEEE 19th India Council International Conference (INDICON). IEEE, 2022.

[20]. Saini, Hemant Kumar, and Kusumlata Jain. "A Novel Deep Energy Efficient Hello Packet Scheduling for Ad Hoc Networks in Unmanned Aerial Vehicles." *Engineered Science* 22 (2023): 843.

[13]. "OPNET Modeler Documentation" OPNET Corporation; 2009.

[14]. An, Beongku, Nam-Soo Kim, and Do-Hyeon Kim. "An analytical model for performance evaluation of multi-hop paths in mobile ad-hoc wireless networks." *Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2012 Fourth International Conference on.* IEEE, 2012.

[15]. Shu, Xiao, and Xining Li. "Link failure rate and speed of nodes in wireless network." *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007. International Conference on.* IEEE, 2007.

[16]. Oliveira, Rodolfo, et al. "The impact of node's mobility on link-detection based on routing hello messages." *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2010 IEEE.* IEEE, 2010.

[17]. KHORZOM, Khaldoun I., ALJUNEIDI, Wassim Y., and ABDO, Ali H. "INVESTIGATING THE IMPACT OF HELLO MESSAGES ON AODV PERFORMANCE IN UAANET ".*U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 81, Iss. 3, 2019.*

[18]. Nemati, Mahyar, et al. "Non-Terrestrial Networks with UAVs: A Projection on Flying Ad-Hoc Networks." *Drones* 6.11 (2022): 334.

[19]. Agarwal, Shyamal Krishna, Somesh Banerjee, and Rajarshi Mahapatra. "Prediction and Recovery of Radio Link Failure Caused by Environmental