

تحسين بنية شبكة البيانات المُسمّاة القائمة على نموذج الدفع (Push Mode) في بيئة انترنت الأشياء

د. ناجي ابراهيم محمد*

رهام زغبى**

(تاريخ الإيداع ٢٠/٧/٢٠٢٣ - تاريخ النشر ٣/١٢/٢٠٢٣)

□ ملخص □

يعالج جزء كبير من أنظمة إنترنت الأشياء (IoT) القائمة على بروتوكول الإنترنت الكوارث مثل الحرائق والزلازل والفيضانات. أظهرت بنية شبكات البيانات المُسمّاة (NDN) المقترحة مؤخرًا نتائج واعدة لإنترنت الأشياء مقارنة بالشبكات القائمة على بروتوكول الإنترنت IP. لذلك لمعالجة نظام إدارة الكوارث Disaster Management System (DMS)، من الضروري استكشافه من خلال بنية شبكات البيانات المُسمّاة. في هذه الدراسة، تم اقتراح بنية نظام من أجل إدارة الكوارث في بيئة انترنت الأشياء قائم على شبكات البيانات المُسمّاة (NDN) بدفع محتوى الطوارئ نحو المستهلكين القريبين. لتوفير دعم نموذج الدفع (Push mode)، يتم إنشاء رسالة تنبيه Beacon Alert Message باستخدام رقم تسلسل ثابت من خلال تعديل وظائف المستهلك والمنتج التقليدية في (NDN) بإضافة وحدات مراقبة مستشعر الحريق (Sensor) (Fire) وحد العتبة (Threshold Limit). أجرينا المحاكاة باستخدام ndnSIM، وتمت مقارنة التأخير والإنتاجية بين مخططنا، والمخططات السابقة المعتمدة على نموذج الدفع، وشبكة (NDN) التقليدية المعتمدة على نموذج السحب (Pull mode). وحصلنا على تأخير أقل، ولاحظنا أيضاً زيادة الإنتاجية العامة للشبكة في حالة الكوارث.

الكلمات المفتاحية: IoT، شبكة البيانات المُسمّاة، نظام إدارة الكوارث، نموذج الدفع، Beacon Alert Message، نموذج السحب.

*أستاذ مساعد-قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات-كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات-جامعة طرطوس
**طالبة دراسات عليا(ماجستير)-قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات-كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات-جامعة طرطوس

Optimization of the Push Mode-named data networking architecture in the IoT environment

Dr.Naji Ibrahim Mohamad*
Reham Zoghbi**

(Received 30/7/2023.Accepted 3/12/2023)

□ABSTRACT □

A large part of Internet Protocol-based Internet of Things (IoT) systems handle disasters such as fires, earthquakes, and floods. The recently proposed Named Data Networking (NDN) architecture has shown promising results for the Internet of Things compared to IP-based networks. So, to address the Disaster Management System (DMS), it is necessary to explore it through the named data network architecture. In this study, a system architecture for disaster management in an IoT environment based on data networks named NDN-DISCA is proposed, in which the NDN producer pushes emergency content towards nearby consumers. To provide push mode support, a Beacon Alert Message (BAM), using a fixed sequence number, is generated by modifying the traditional consumer and producer functions in NDN by adding Fire Sensor and Threshold Limit monitoring modules. We ran the simulation using ndnSIM, and the delay and throughput were compared between our scheme and the previous schemes based on the push model, and the traditional NDN based on the pull mode. We got a lower delay, and we also noticed an increase in the overall throughput of disaster mode.

Keywords: IoT, Named Data Network, Disaster Management System, Payment mode, Beacon Alert Message, Pull mode.

*Assistant Professor-Department of Telecommunications Engineering-Faculty of Information Technology and Communications Engineering-Tartous University.

**Graduate Student (Master) - Department of Communications Technology Engineering - Faculty of Information and Communications Technology Engineering - Tartous University.

١-مقدمة

أصبح من الصعب توصيل ملايين الأجهزة ومراقبتها بسبب التقدم الكبير في مجالات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الناشئة مثل شبكات الاستشعار اللاسلكية وقدرات الاتصال اللاسلكي من الجيل الخامس، ، حيث أهم ميزة هي أمان المحتوى. تتكون شبكة إنترنت الأشياء من هذه الأجهزة اللاسلكية التي تتفاعل مع البيئة الفيزيائية لجمع المعلومات المحيطة وتقديم العديد من الخدمات بمساعدة الإنترنت. الدافع نحو إنترنت الأشياء هو استخدام الأجهزة الذكية لتمكين وأتمتة الخدمات المختلفة [1]. تستخدم غالبية أنظمة (DMSS) الحالية بنى الشبكات القائمة على بروتوكول الإنترنت (IP) الذي يركز على الاتصالات المعتمدة على الموقع [2]. ولكن نظرًا لأسباب عديدة، فإن بنية (IP) المتاحة غير مناسبة لنظام إدارة الكوارث (DMS) القائم على إنترنت الأشياء، والتي تعاني من مشاكل كالنقصان في تدابير الخصوصية والطاقة، واستهلاك الذاكرة على أجهزة إنترنت الأشياء الصغيرة، الاستخدام المفرط لموارد النطاق الترددي، عدم توفر عنوان مناسبة لأجهزة إنترنت الأشياء، ونقص دعم أجزاء الشبكة، وأمن المحتوى [4] [2]. لمعالجة هذه المشكلات تم اقتراح بنية جديدة، تُسمى شبكة البيانات المُسمّاة [6] [5]. في البنية القائمة على (NDN)، يتم إجراء الاتصال بين الأجهزة عن طريق المحتوى المعتمد على الاسم بدلاً من العناوين القائمة على (IP). ونظرًا لظهور (NDN)، يمكن لتطبيقات إنترنت الأشياء استخدام التسمية للأجهزة الذكية [4]. تلعب بنية (NDN) دورًا مهمًا في كل من مستشعرات ومشغلات إنترنت الأشياء كمحتوى مُسمى (named content) بدلاً من تعيين عناوين (IP) [2]. تُعد البنية التحتية لإنترنت الأشياء غامضة إذا تمت إدارتها من خلال بنية (IP) بدلاً من (NDN) التي تتركز على المحتوى أي يتوفر الأمان للمحتوى ولذلك تُعد الخيار الأفضل لبيئات إنترنت الأشياء [3].

2-هدف البحث وأهميته

يهدف البحث إلى ضمان وجود آلية اتصال موثوقة وفعالة بين أجهزة إنترنت الأشياء لتنفيذ نظام (DMS) فعال قائم على إنترنت الأشياء لحرم جامعي ذكي smart campus. بالإضافة إلى إيجاد آلية لتحسين التأخير والإنتاجية في حوادث الكوارث بالاعتماد على نموذج الدفع push mode المُحسّن. يقلل استخدام نموذج الدفع للاتصالات بين المستهلكين والمنتجين في حالات الكوارث من التأخير لأن عقدة المنتج ترسل رسالة فورية إلى عقدة المستهلك دون أي تدخل من عقدة المستهلك، ويتم إرسال الاهتمام بناءً على مستشعرات مراقبة الكوارث. يتم تخزين حزمة الاهتمام في جدول الاهتمام المُعلّق Pending Interest Table (PIT) بالنسبة إلى أرقام تسلسل متعددة في خوارزمية (NDN) الأصلية، مما يزيد من التأخير العام بسبب البحث عن رقم تسلسل محدد للاهتمام في جدول الاهتمام المُعلّق وفقًا لطلب المستهلك. فقمنا بتخصيص رقم تسلسل ثابت واحد فقط وهو "0" في جدول الاهتمام المُعلّق وذلك من أجل إدارة حالات الكوارث، أي أن الرقم "0" مُخصص فقط لحالة الكارثة، فكانت النتيجة أننا حصلنا على تأخير أقل مقارنةً ب (NDN) الأصلية والخوارزميات الحالية المستندة إلى نموذج الدفع (أي غير المطلوبة وطويلة الأمد) في بيئة الكوارث.

3-طرق البحث ومواده

يعمل المخطط المُقترح والذي تمّ تقييمه في شبكة البيانات المُسمّاة ضمن حرم جامعي ذكي في وضعين، هما الوضع العادي ووضع الكارثة. لذلك لا بدّ من توضيح آلية العمل في هذين الوضعين.

3-1 آليّة عمل المخطط المقترح في الوضع العادي

يتميّز اتصال (NDN) بنموذج السحب pull mode الذي يقوم بتسليم المحتوى للزبون بناءً على طلب واضح منه [1].

كيانات (NDN) وهي المستهلك الذي يصدر طلباً للمحتوى، والمنتج الذي يقدّم وينشر المحتوى، الموجه الذي يقوم بتوجيه حزم الطلب والمحتوى المناسب لها. هناك نوعين من الحزم في شبكات (NDN) هما [6]:

1- حزمة الاهتمام (Interest Packet): يضع المستهلك اسم المادة في حزمة الاهتمام ويرسلها على الشبكة. يقوم الموجه بإعادة توجيه حزمة الاهتمام الى مُنتج البيانات استناداً الى هذا الاسم.
2- حزمة البيانات (Data Packet): عندما تصل حزمة الاهتمام إلى عقدة ما، وعندما يكون لدى العقدة بيانات مُطابقة، ستعيد العقدة حزمة البيانات الخاصة بها إلى المستهلك في المسار المعاكس، بالإضافة الى الاسم والمحتوى في الحزمة، يُضاف مفتاح مُنتج البيانات الى الاسم والمحتوى كمعلومات التوقيع.

وكلّ من هذه الكيانات يحوي ما يلي [10]:

1- مخزن المحتوى (CS: Content Store): ذاكرة تُستخدم لتخزين واسترجاع المحتوى بشكلٍ

مؤقت.

2- قاعدة توجيه طلبات الاهتمام (FIB: Forwarding Interest Table): جدول بأسماء

المحتويات المقدمة و تُستخدم لتوجيه طلبات الاهتمام.

3- جدول الاهتمامات المعلقة (PIT: Pending Interest Table): جدول يحتوي طلبات الاهتمام

المعلقة للزبائن والمحتوى المناسب لها، يسجل (PIT) المسار المُعاد توجيهه لمصلحة البيانات ليتم إعادة توجيهها في المسار المعاكس، حيث تقوم (NDN) بتتبع المسار الدقيق للمحتوى المطلوب و المُطابق بشكل عكسي على طول الطريق الى الزبون [9].

عند وصول حزمة الاهتمام، سيقوم جهاز التوجيه (NDN) أولاً بالتحقق مما إذا كان هناك مطابقة للبيانات في مخزن المحتوى. إذا كان هناك مطابقة للبيانات، فسيقوم الموجه بإرجاع حزمة بيانات مباشرة من خلال الواجهة المرسله بواسطة حزمة الاهتمام، أي أنه سيتم الرد على حزمة الاهتمام على الفور؛ وإلا سوف يقوم الموجه في جدول الاهتمامات المعلقة بالاستعلام عن اسم حزمة الاهتمام بحيث:

إذا كان هناك إدخال متطابقة في جدول الاهتمامات المعلقة، فسيقوم جهاز التوجيه ببساطة بتسجيل الواجهة المصدر لحزمة الاهتمام في إدخال جدول الاهتمامات المعلقة [7]. ولكن إذا لم يكن هناك إدخال مماثل في جدول الاهتمامات المعلقة، فسيتم توجيه جهاز التوجيه على قاعدة توجيه طلبات الاهتمام أي أنه سيتم إعادة توجيه حزمة الاهتمام بناءً على نتيجة بحث قاعدة توجيه طلبات الاهتمام إذا لم يتم العثور على اسم المحتوى في جدول الاهتمامات المعلقة. عند وصول حزمة البيانات، سيقوم جهاز التوجيه (NDN) أولاً بالاستعلام إدخال جدول الاهتمامات المعلقة المطابق وإعادة توجيه البيانات الى جميع واجهات المصدر

المدرجة في إدخال جدول الاهتمامات المعلقة، ثم يتم إزالة الإدخال في جدول الاهتمامات المعلقة وتخزين هذه البيانات مؤقتاً في ذاكرة التخزين المؤقت [8].

3-2 آلية عمل المخطط المقترح في وضع الكارثة

عندما يصل المنتج إلى حد الحساسية، يتم إنشاء رسالة تنبيه على رقم تسلسلي مخصص "0" في حالتها. يتم تثبيت الرقم التسلسلي "0" لإدارة حالات الكوارث الناجمة عن الحريق، وهو غير قابل للاستخدام في الاتصال العادي القائم على (NDN) بين المستهلك والمنتج. يبث المنتج رسالة تنبيه إلى جميع المستهلكين الذين يقعون على مسافة قفزة واحدة في الشبكة. ينشئ المنتج إدخال (PIT) في موقع الرقم التسلسلي "0" المخصص في (PIT) عند استقبال رسالة تنبيه. تتلقى عقد المستهلك رسالة تنبيه في موضع الرقم التسلسلي "0" في (PIT) التي تم إنشاؤها بواسطة المنتج. عندما يكون عدد القفزات بين عقد المستهلكين في الشبكة أكبر من "1"، يتم بث حزمة الاهتمام التي تم استلامها للقفزة التالية. تستمر هذه العملية حتى يتم بث رسالة تنبيه للوصول إلى جميع العقد. يتم إزالة الإدخال المؤقت في (PIT) في الرقم التسلسلي "0" تلقائياً بعد بث رسالة تنبيه من المستهلك إلى عقد (NDN) المستهلك القريبة الأخرى. تُبث رسالة التنبيه عبر بروتوكول Wi-Fi IEEE-802.11a الذي تم تثبيته على جميع عقد المستهلك وذلك بهدف الوصول إلى مسافات طويلة وبسرعة عالية. وتستخدم نظام إعادة الإرسال متعدد القفزات لتصل في النهاية إلى جميع عقد المستهلكين في الحرم الجامعي الذكي. بعد استلام رسالة تنبيه، تتحرك عقد المستهلكين المحمولة نحو المخرج النهائي Fire Exist (FE-1) اعتماداً على موقعها الحالي من أجل الانتقال إلى مكان آمن.

3-3 تحليل مقاييس الأداء

نستخدم معيار Average Delay (AD) (معيار الوقت) الذي يحسب التأخير الإجمالي بين عقدتين (كل من الإرسال والانتشار). ولحساب فعالية النظام، نستخدم Average Throughput (ATH) (معيار معدل البت) الذي يحسب معدل البت الإجمالي داخل بنية البيانات في عقدة (NDN) على أساس ضربة التخزين المؤقت أو عدم التخزين المؤقت.

-متوسط التأخير (AD):

هو نسبة مجموع التأخير الإجمالي، بما في ذلك التأخير في الانتشار (t1) والإرسال (t2)، إلى الوقت الإجمالي المستغرق في محاكاة السيناريو (T). يمكن حسابه باستخدام المعادلة التالية [5]:

$$AD = \frac{\sum_{1}^N (t_1 + t_2)}{T} \dots \dots \dots (1)$$

حيث أن "N" يمثل إجمالي عدد عقد المستهلكين.

-متوسط الإنتاجية (ATH):

هو نسبة مجموع ضربات التخزين المؤقت بالكيلوبت في الثانية إلى إجمالي البت المرسل. يتم حسابها باستخدام المعادلة التالية [5]:

$$ATH = \frac{\sum_{1}^N (hits * const)}{Total \ bits \ transmitted} \dots \dots \dots (2)$$

حيث يمثل "N" إجمالي عدد عقد المستهلكين، و "الثابت" يساوي 0.5 (عامل الضرب للوصول إلى موقع واحد في جدول CS)، أي $const = \frac{512}{1024}$.

4- النتائج والمناقشة

يوضح هذا الجزء تأثير مخططنا المُقترح على تأخير الإرسال بين العقد وكذلك على الإنتاجية في شبكة سيناريو الحرم الجامعي الذكي، حيث تفوق مخططنا القائم على نموذج الدفع بتخصيص رقم تسلسلي ثابت "0" من أجل إدارة حالات الطوارئ على كل من شبكة البيانات التقليدية القائمة على نموذج السحب pull mode، وكذلك على المخططات التي تدعم نموذج الدفع الحاليّة. فنلاحظ أنّ التأخير انخفض بشكل واضح وذلك بسبب النظر في رقم تسلسلي ثابت "0" فقط، بدلاً من عدة أرقام تسلسلية مما يقلل من مدة البحث عن هذه الأرقام. بالإضافة إلى ذلك، الإنتاجية تزداد بشكل واضح في مخططنا المقترح. تمّ تقييم الأداء من خلال المحاكاة ضمن بيئة ndnSIM، والتي تمّ تصميمها ضمن محاكي NS3 على نظام Ubuntu. ويتمّ تلخيص بارامترات المحاكاة في الجدول (1).

الجدول (1): بارامترات المحاكاة

| البارامتر | قيّمته |
|---------------------------------|--|
| نموذج خسارة الانتشار | نموذج Nakagami |
| التكنولوجيا المُستخدمة | 1-WIFI_STANDARD_IEEE 802.11a 2-ZIG_BEE_STANDARD_IEEE 802.15.4 |
| سرعة الحركة | 0.2s |
| حجم مخزن المحتوى CS | 1024 موقع |
| حجم كل إدخال في مخزن المحتوى CS | 512 bytes |
| عدد العقد | 100 عقدة (67 عقدة ثابتة، 33 عقدة متحركة) |
| مساحة المنطقة m×m | 50×100 |
| زمن المحاكاة | 200s |

4-1 السيناريوهات المُقترحة

السيناريو الأول افترضنا حدوث الحريق في المختبر الذكي 1 (Smart Lab-1) الذي يتكوّن من عقد متحرّكة فقط، وفي السيناريو الثاني افترضنا حدوث الحريق في المختبر الذكي 2 (Smart Lab-2) الذي يتكوّن من عقد هجينة (ثابتة ومتحركة).

-السيناريو الأول:

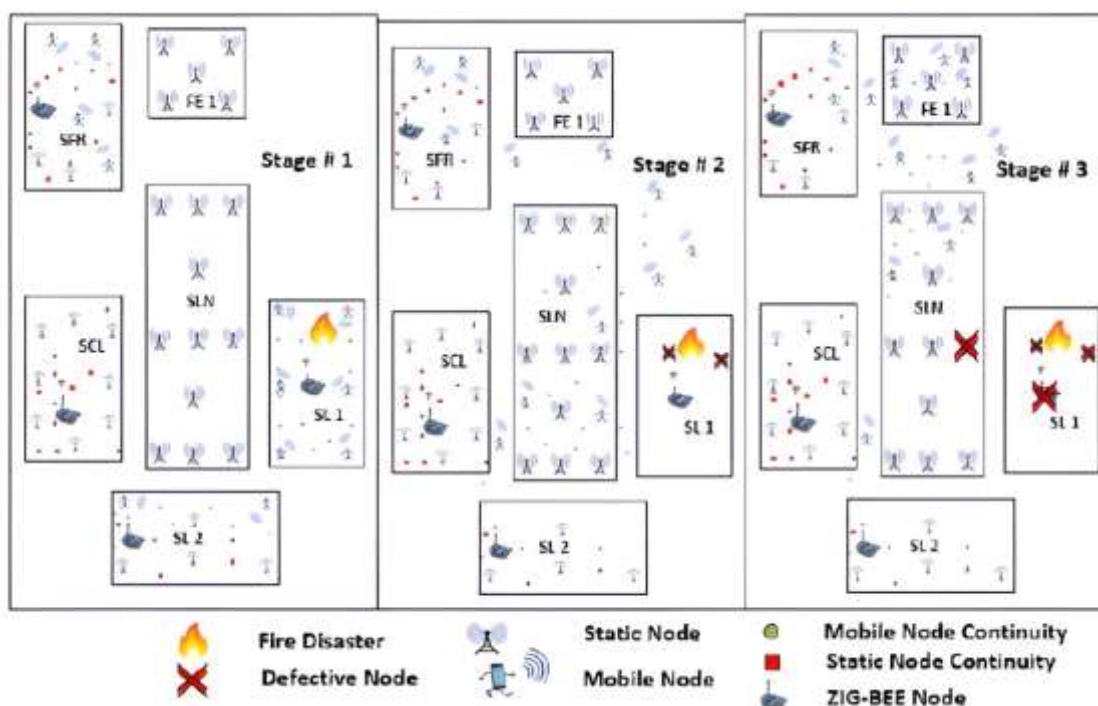
يتم عرض السيناريو في ثلاث مراحل مختلفة بناءً على حركة العقد في فترات زمنية منتظمة. تتكون كل مرحلة من خمس بلوكات تمثل المختبر الذكي 1 (SL-1)، والمختبر الذكي 2 (SL-2)، والصّف الذكي (SCL) Smart Class، والمعمل الذكي (SFR) Smart Faculty Room، والحديقة الذكية (SLN) Smart Lawn، والمكان الآمن (FE-1) Fire Exist-1. تمتلك كل منها ميزات فريدة بالنسبة لنوع وتوزيع وموقع العقد. في المرحلة رقم 1 (stage #1) : يحدث الحريق في المختبر الذكي 1 ويتم تثبيت كل عقدة في موضعها الأصلي ولا يتم عرض حركة العقد في هذه المرحلة. المرحلة رقم 2 (stage #2) : تُظهر الحالة المتوسطة عندما يتحرك

العقد المتنقل نحو FE-1. يتكوّن SL-1 من العقد المتحركة فقط. بسبب حركة العقد، يتم تأثير عدد أقل من العقد بحريق الكارثة لأنّ هذه العقد تتحرك بشكل عشوائي من موضعها الأولي بسرعة ثابتة وفترة زمنية منتظمة. في حالة الكارثة وعند استلام رسالة تنبيه، تتحرك كل هذه العقد المتحركة نحو المكان الآمن 1. في المرحلة الأخيرة (stage #3) : تصل تقريباً كل العقد المتحركة إلى وجهتها النهائية، أي المكان الآمن 1 باستثناء بعضها الذي تعرض للتلف بسبب الكارثة، تختلف هذه النسب وذلك حسب بارامتر تأثير الكارثة؛ فمثلاً عند حدوث كارثة بتأثير 10% في المخبر الذكي-1 الذي يضم ٢٠ عقدة فإنه سيتعرض للتلف عقدتين، وسيصبح العدد الكلي للعقد السليمة ١٠٠=٢٠-٩٨ عقدة.

أما عند حدوث كارثة بتأثير 20% في المخبر الذكي-1، فإنه سيتعرض للتلف ٤ عقد، وسيصبح العدد الكلي للعقد السليمة ٩٦ عقدة.

وعند حدوث كارثة بتأثير 30% في المخبر الذكي-1، فإنه سيتعرض للتلف 6 عقد، وسيصبح العدد الكلي للعقد السليمة ٩٤ عقدة.

وعند حدوث كارثة بتأثير 40% في المخبر الذكي-1، فإنه سيتعرض للتلف 8 عقد، وسيصبح العدد الكلي للعقد السليمة ٩٢ عقدة.



الشكل (1): السيناريو الأول: تأثر المختبر الذكي 1 بكارثة الحريق في حرم جامعي ذكي smart campus

-السيناريو الثاني:

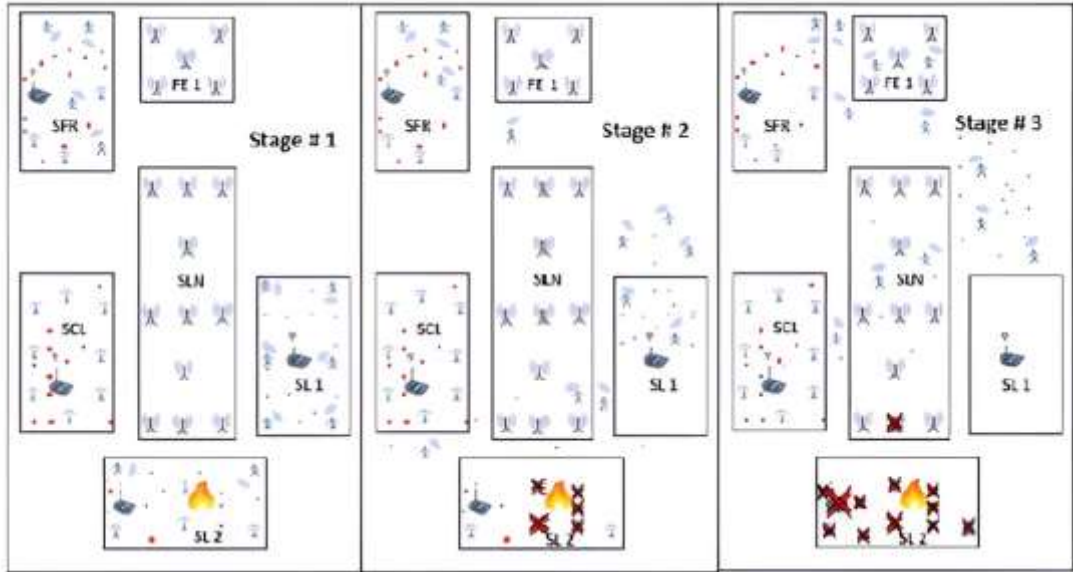
أيضاً يتم عرض هذا السيناريو في ثلاث مراحل مختلفة بناءً على حركة العقد في فترات زمنية منتظمة. تتكون كل مرحلة من خمس بلوكات تمثل SL-1 و SL-2 و SCL و SFR و SLN و FE-1. في المرحلة رقم 1 يحدث الحريق في المختبر الذكي 2. في هذه المرحلة، يتم تثبيت كل عقدة في موضعها الأصلي ولا يتم عرض حركة العقد في هذه المرحلة. تُظهر المرحلة رقم 2 الحالة المتوسطة عندما تنتقل العقد المتحركة نحو المكان الآمن 1

بينما العقد الثابتة تبقى بموضعها الأصلي. بفضل الطبيعة الهجينة للعقد في المختبر الذكي 2، تتأثر عدد قليل من العقد المتحركة بكارثة الحريق لأنّ هذه العقد تتحرك بشكل عشوائي بسرعة ثابتة وفترة زمنية منتظمة. على العكس من ذلك، تلتزم العقد الثابتة بموضعها الأصلي حتى في حالة الكارثة. تقع تقريباً كل العقد الثابتة في مجال كارثة المختبر الذكي 2 وتتأثر بسبب عدم وجود ميزة الحركية فيها. في حالة الكارثة وعند استلام رسالة تنبيه، تتحرك العقد المتحركة نحو المكان الآمن 1 في حين تعمل العقد الثابتة كموجة لرسالة التنبيه للعقد المستهلكة الأخرى. في المرحلة الأخيرة تصل تقريباً كل العقد المتحركة إلى وجهتها النهائية، أي المكان الآمن 1 في حين تعرض العقد الثابت للتلّف بسبب الكارثة، تختلف هذه النسب وذلك حسب بارامتر تأثير الكارثة؛ فمثلاً عند حدوث كارثة بتأثير 10% في المختبر الذكي 2- الذي يضم 20 عقدة فإنّه سيتعرض للتلّف عقدتين، وسيصبح العدد الكلي للعقد السليمة 100-20=98 عقدة.

أما عند حدوث كارثة بتأثير 20% في المختبر الذكي 2-، فإنّه سيتعرض للتلّف 4 عقد، وسيصبح العدد الكلي للعقد السليمة 96 عقدة.

وعند حدوث كارثة بتأثير 30% في المختبر الذكي 2-، فإنّه سيتعرض للتلّف 6 عقد، وسيصبح العدد الكلي للعقد السليمة 94 عقدة.

وعند حدوث كارثة بتأثير 40% في المختبر الذكي 2-، فإنّه سيتعرض للتلّف 8 عقد، وسيصبح العدد الكلي للعقد السليمة 92 عقدة.



الشكل (2): السيناريو الثاني: تأثر المختبر الذكي 2 بكارثة الحريق في حرم جامعي ذكي smart campus

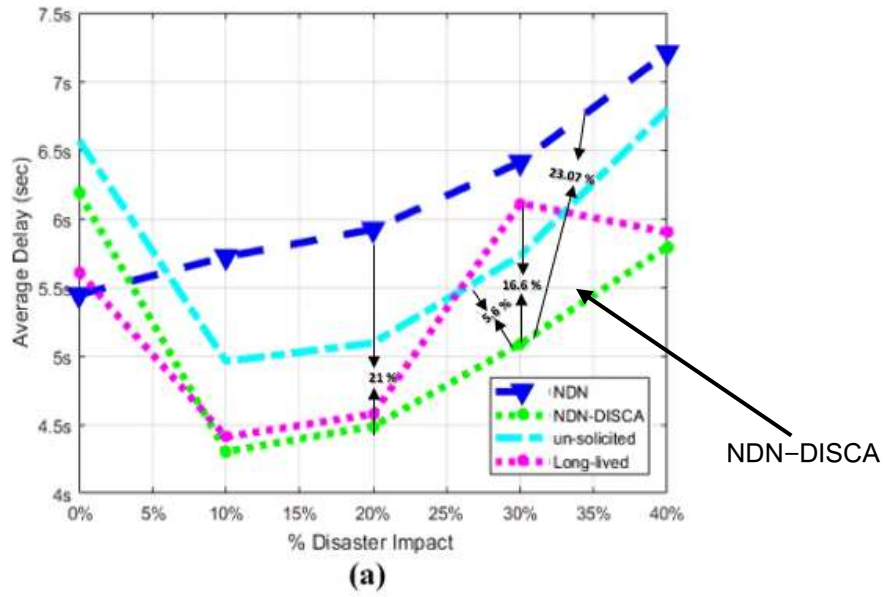
2-4 متوسط التأخير

يتم تقييم متوسط التأخير في السيناريوهين السابقين بشكلٍ منفصل. السيناريو الأول يتكون فقط من عقد متحركة في حين يتكون السيناريو الثاني من عقد هجينة ثابتة ومتحركة بنسب متساوية. يقوم المستهلك والمنتج ببث رسالة تنبيه وفقاً لبروتوكول Wi-Fi، ويتضح أن عامل التأخير العام قد انخفض. وذلك بسبب النظر في رقم تسلسل ثابت واحد فقط وهو "0" في (PIT) مقارنة بـ (NDN) التقليدية الأصلية والخوارزميات الحالية المستندة

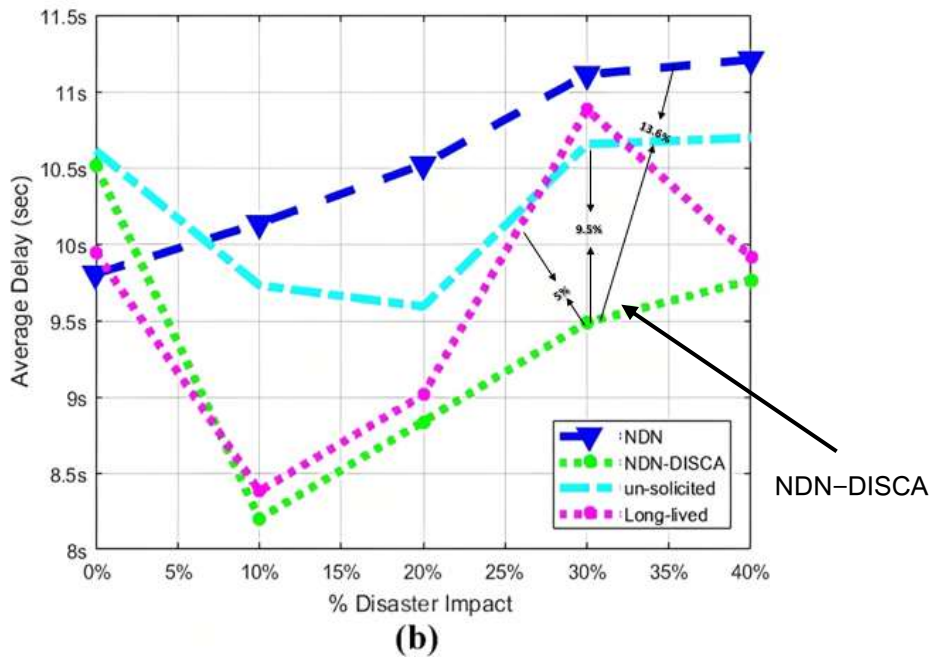
إلى الدفع (أي غير المطلوبة وطويلة الأمد) في بيئة الكوارث. تخلق الخوارزميات المستندة إلى الدفع الحالية تأثيرًا إضافيًا للحمولة في حالة الكوارث. كذلك، تؤثر حركة العقد المتحركة والثابتة على عامل التأخير. يتم عرض تأخير نقل واستلام رسالة تنبيه بين عقد (SL-1) المتأثرة بالكارثة وعقد (SL-2) وعقد (SFR) في ثلاثة مقاطع مختلفة. يتكون كل مقطع من خمسة بارامترات مستقلة على محور x ، أي تأثير الكارثة (Disaster Impact): 0%، 10%، 20%، 30% و 40%، حيث تم أخذ هذه النسب بشكل عشوائي وذلك بهدف معرفة وتقدير عدد العقد السليمة والتالفة عند كل نسبة. يمثل المقطع الأول منطقة نقل واستلام منحنى متوسط التأخير لرسالة التنبيه بين عقد SL-1 وعقد SL-2. يمثل المقطع الثاني منطقة نقل واستلام منحنى متوسط التأخير لرسالة التنبيه بين عقد SL-1 وعقد SCL. يمثل المقطع الأخير منطقة نقل واستلام منحنى متوسط التأخير لرسالة التنبيه بين عقد SL-1 وعقد SFR. لا تؤثر كارثة الحريق على النظام بأكمله يصبح غير فعال في أي وقت. يعني تأثير الكارثة بنسبة 10% أن عددًا قليلًا من العقد (عقدتين فقط) يتأثران بسبب حريق الكارثة في النظام بأكمله. يتمتع بارامتر تأثير الكارثة بنسبة 0% (أي الوضع العادي) بتأخير أكبر من (NDN) الأصلية. يتم عرض وجود تأخير إضافي في المخطط المقترح ونظم الدفع الحالية عند تأثير الكارثة بنسبة 0%. بعد تأكيد الكارثة مثل بارامتر تأثير الكارثة بنسبة 10%، يتم عرض منحنيات الانخفاض الفوري بالنسبة لكل من النظامين. ويعود ذلك إلى تأثير نظامنا ونماذج الدفع الحالية في حالة الكوارث. بعد ذلك، يزداد متوسط التأخير تدريجياً بالنسبة لبارامتر تأثير الكارثة. كلما تم رفض مزيد من العقد بسبب الكارثة، زاد التأخير الذي نحصل عليه للوصول إلى رسالة التنبيه في كل عقدة. في بارامتر تأثير الكارثة بنسبة 30%، يوجد تغيير فوري في نظام الدفع بسبب تأثير انتهاء صلاحية مؤقت الاستجابة (RTO) Request time out، الذي يؤدي في النهاية إلى زيادة متوسط التأخير الإجمالي في الحرم الجامعي الذكي.

وبالمثل، في السيناريو الثاني يتم تقييم نفس طبيعة النتائج بعد التحليل مقارنةً بـ (NDN) التقليدية ونظم الدفع الحالية. توضح النتائج أيضًا أنّ العقد المتحركة تحتاج إلى وقت أقل لنشر رسالة التنبيه وتصبح أكثر موثوقية بسبب ميزتها في الحركة مقارنة بالعقد الثابتة بشكلٍ بسيط.

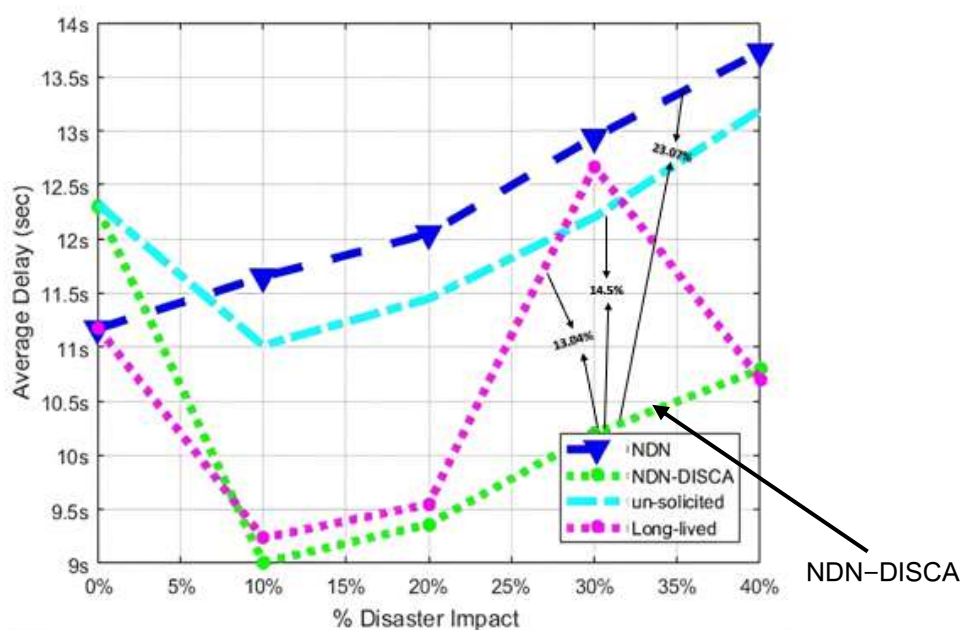
4-2-1 نتائج متوسط التأخير في السيناريو الأول



الشكل (3): تأخير الرسالة الإجمالي في حرم جامعي ذكي عند حدوث كارثة الحريق في المختبر الذكي I بالنسبة للمختبر الذكي 2



الشكل (4): تأخير الرسالة الإجمالي في حرم جامعي ذكي عند حدوث كارثة الحريق في المختبر الذكي I بالنسبة للصف الذكي



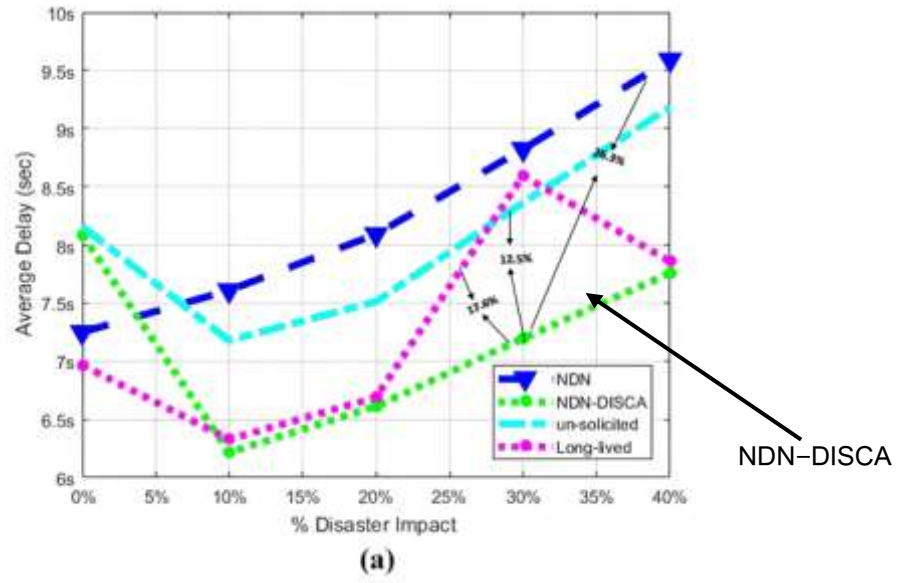
(c)

الشكل (5): تأخير الرسالة الإجمالي في حرم جامعي ذكي عند حدوث كارثة الحريق في المختبر الذكي 1 بالنسبة للمعمل الذكي

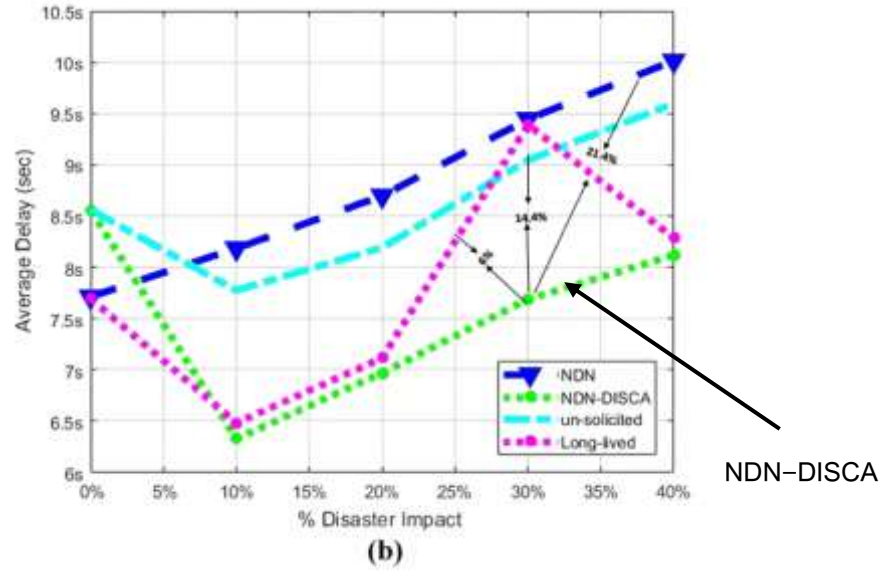
إذا قمنا بالمقارنة عند حدوث الحريق (بارامتر تأثير الكارثة 30%) نلاحظ ما يلي عند دراسة بارامتر متوسط التأخير:

- يتمتع المخطط المقترح بتأخير أقل بالمقارنة مع مخطط (NDN) التقليدية بنسب تتراوح بين [13.06~23.07%] في السيناريو الأول، وذلك بسبب اعتماد مخططات شبكة البيانات المُسمّاة التقليدية على نموذج السحب، حيث لا يتم تسليم أي محتوى في الشبكة دون طلب واضح وصريح من قبل المستهلك وهذا أمر غير مقبول في سيناريو الكارثة الحقيقي.
- يتمتع المخطط المقترح بتأخير أقل بالمقارنة مع مخططات الدفع الحالية بنسب تتراوح بين [5~16.6%] في السيناريو الأول، حيث يوجد تغيير فوري في مخططات الدفع بسبب تأثير انتهاء صلاحية مؤقت الاستجابة، الذي يؤدي في النهاية إلى زيادة متوسط التأخير الإجمالي في الحرم الجامعي الذكي.
- توضح النتائج أيضًا أنّ العقد المتحركة تحتاج إلى وقت أقل لنشر رسالة التنبيه وتصبح أكثر موثوقية بسبب ميزتها في الحركة مقارنة بالعقد الثابتة بشكل بسيط.

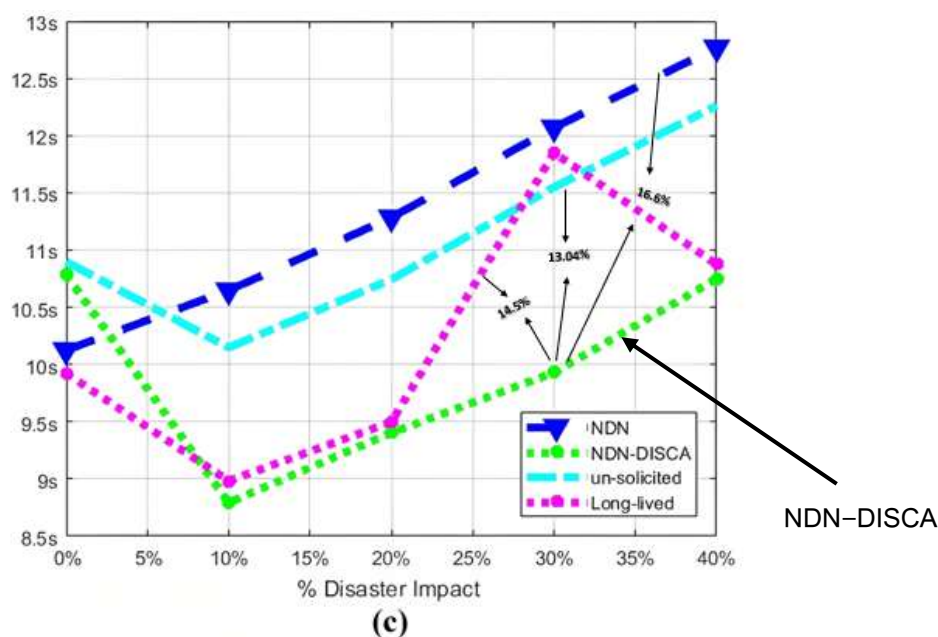
4-2-2 نتائج متوسط التأخير في السيناريو الثاني



الشكل (6): تأخير الرسالة الإجمالي في حرم جامعي نكي عند حدوث كارثة الحريق في للمختبر الذكي 2 بالنسبة للمختبر الذكي 1



الشكل (7): تأخير الرسالة الإجمالي في حرم جامعي نكي عند حدوث كارثة الحريق في للمختبر الذكي 2 بالنسبة للصف الذكي



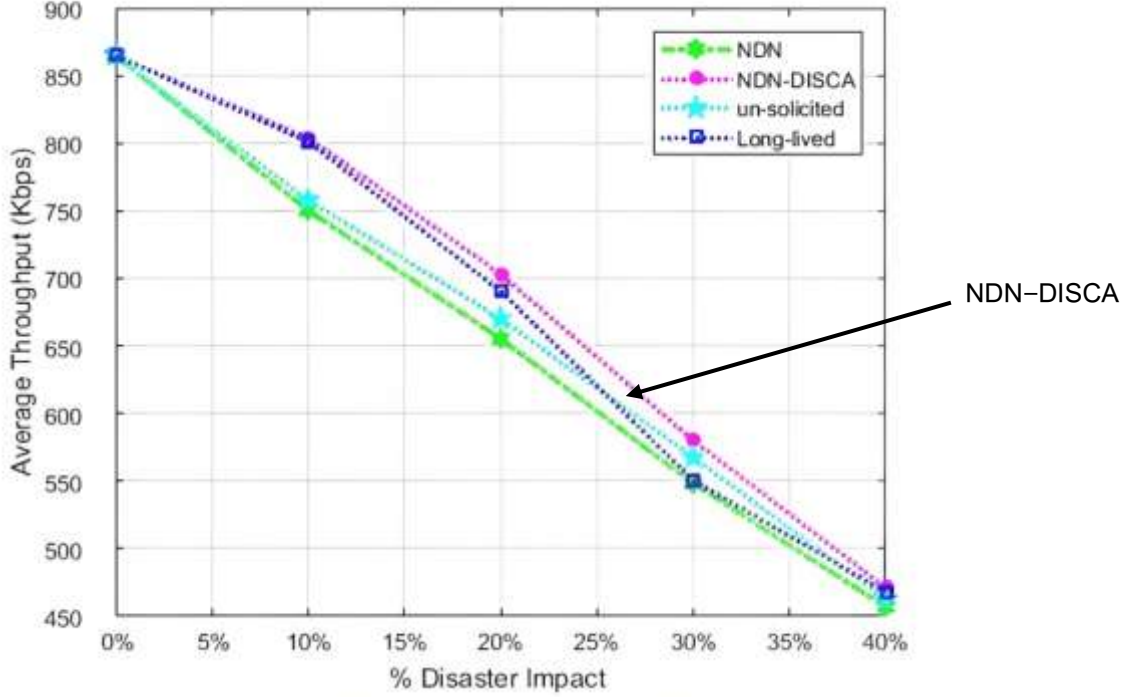
الشكل (8): تأخير الرسالة الإجمالي في حرم جامعي ذكي عند حدوث كارثة الحريق في المختبر الذكي 2 بالنسبة للمعمل الذكي إذا قمنا بالمقارنة عند حدوث الحريق (بارامتر تأثير الكارثة 30%) نلاحظ ما يلي عند دراسة بارامتر متوسط التأخير:

- يتمتع المخطط المقترح بتأخير أقل بالمقارنة مع مخطط (NDN) التقليدية بنسب تتراوح بين [16.6~26.3%] في السيناريو الثاني، وذلك بسبب اعتماد مخططات شبكة البيانات المُسماة التقليدية على نموذج السحب، حيث لا يتم تسليم أي محتوى في الشبكة دون طلب واضح وصريح من قبل المستهلك وهذا أمر غير مقبول في سيناريو الكارثة الحقيقي.
- يتمتع المخطط المقترح بتأخير أقل بالمقارنة مع مخططات الدفع الحالية بنسب تتراوح بين [6~17.6%] في السيناريو الثاني، حيث يوجد تغيير فوري في مخططات الدفع بسبب تأثير انتهاء صلاحية مؤقت الاستجابة، الذي يؤدي في النهاية إلى زيادة متوسط التأخير الإجمالي في الحرم الجامعي الذكي.
- توضح النتائج أيضًا أنّ العقد المتحركة تحتاج إلى وقت أقل لنشر رسالة التنبيه وتصبح أكثر موثوقية بسبب ميزتها في الحركة مقارنة بالعقد الثابتة بشكل بسيط.

3-4 متوسط الإنتاجية

يتم تحليل أن الإنتاجية تزداد بشكل طفيف في نظامنا مقارنة ب (NDN) ونظم الدفع الموجودة في السيناريو الأول. في حالة عدم تأثير الكارثة بنسبة 0%، يتمتع نظامنا ونظام (NDN) الأساسي ونظم الدفع الموجودة بنفس معدل الإنتاجية الإجمالي. بمجرد اكتشاف الكارثة، تظهر ذروات حادة لنظامنا ونماذج الإرسال الموجودة لفترات طويلة عند 10% من تأثير الكارثة في كلا السيناريوهين. وهو أكثر وضوحًا في السيناريو الثاني. يرجع ذلك إلى النقل السريع للمعلومات الحرجة في شكل رسالة تنبيه بين مجموعات مختلفة. علاوة على ذلك، عند 30% من تأثير الكارثة، يحدث انخفاض حاد في منحنى الإنتاجية بالنسبة لنظام الدفع الطويل الأمد الذي يبرز تأثير مؤقت الاستجابة على الحرم الجامعي الذكي. بمجرد استئناف مؤقت الاستجابة، يزيد معامل الإنتاجية مرة أخرى ويعود إلى المسار السلس. مع زيادة

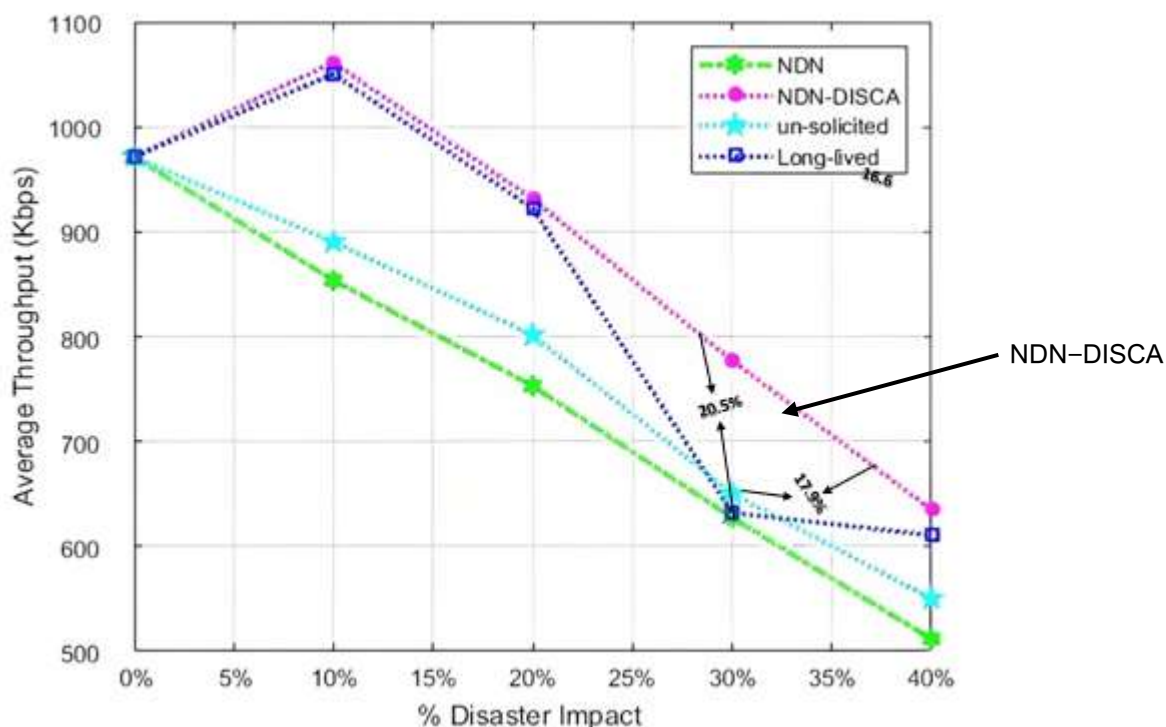
بارامتر تأثير الكارثة، يتم تجاهل عدد أكبر من العقد بسبب الكارثة. يتم إنشاء حزمة الاهتمام في نظامنا وفقاً لموقع الرقم التسلسلي "0" فقط. ومن ناحية أخرى، في نظام (NDN) الأساسي، يتم إنشاء حزمة الاهتمام وفقاً لطلب المستهلك بأرقام تسلسلية مختلفة. كذلك، يقلل عامل مؤقت الاستجابة في مخططات الدفع الموجودة من معدل الانتاجية الإجمالي في بيئة IoT لاكتشاف الكوارث كما هو موضح في الشكلين 9 و 10. كما يظهر معدل الانتاجية في السيناريو الثاني نتائج مماثلة للسيناريو الأول. ويوضح ذلك بشكل أكبر تأثير توزيع العقد الهجينة في السيناريو الثاني.



الشكل (9): متوسط الإنتاجية عند حدوث كارثة حريق في المختبر الذكي 1 ضمن حرم جامعي ذكي

نلاحظ تفوق المخطط المقترح على مخطط (NDN) التقليدية بنسبة 6.7% في السيناريو الأول، وذلك لأنه يتم إنشاء حزمة الاهتمام في نظامنا وفقاً لموقع الرقم التسلسلي "0" فقط. أما في نظام (NDN) الأساسي، يتم إنشاء حزمة الاهتمام وفقاً لطلب المستهلك بأرقام تسلسلية مختلفة.

نلاحظ أيضاً تفوق المخطط المقترح على مخططات الدفع الحالية بنسبة 6.8% في السيناريو الأول، حيث يحدث انخفاض حاد في منحنى الإنتاجية بالنسبة لمخططات الطويل الأمد بسبب تأثير مؤقت الاستجابة على الحرم الجامعي الذكي. بمجرد استئناف مؤقت الاستجابة، يزيد معامل الإنتاجية مرة أخرى ويعود إلى المسار السلس. مع زيادة بارامتر تأثير الكارثة، يتم تجاهل عدد أكبر من العقد بسبب الكارثة.



الشكل (10): متوسط الإنتاجية عند حدوث كارثة حريق في المختبر الذكي 2 ضمن حرم جامعي ذكي

نلاحظ تفوق المخطط المقترح على مخطط (NDN) التقليدية بنسبة 20.5% في السيناريو الثاني، وذلك لأنه يتم إنشاء حزمة الاهتمام في نظامنا وفقاً لموقع الرقم التسلسلي "0" فقط. أما في نظام (NDN) الأساسي، يتم إنشاء حزمة الاهتمام وفقاً لطلب المستهلك بأرقام تسلسلية مختلفة.

كما نلاحظ تفوق المخطط المقترح على مخططات الدفع الحالية بنسب تتراوح بين [17.9~20.5%] في السيناريو الثاني، حيث يحدث انخفاض حاد في منحنى الإنتاجية بالنسبة لمخططات الطويل الأمد بسبب تأثير مؤقت الاستجابة على الحرم الجامعي الذكي. بمجرد استئناف مؤقت الاستجابة، يزيد معامل الإنتاجية مرة أخرى ويعود إلى المسار السلس. مع زيادة بارامتر تأثير الكارثة، يتم تجاهل عدد أكبر من العقد بسبب الكارثة.

5- الاستنتاجات والتوصيات

إنّ IoT-NDN هي تقنية تفاعلية جديدة ونظام معياري تعتمد على استخدام شبكات البيانات المُسمّاة مع شبكات إنترنت الأشياء IoT، حيث يتم تبادل البيانات باستخدام أسماء الحزم بدلاً من عناوين (IP)، لتوفير طريقة آمنة وفعالة لتحقيق الاتصال بين الأجهزة في عالم إنترنت الأشياء. يقوم مبدأ IoT-NDN على تعيين أسماء محددة لكل مجموعة من الأجهزة التي تؤدي وظيفة محددة، مما يصنع إنترنت الأشياء أكثر مرونة وفعالية، مع نظام تحكم لكل شيء باستخدام اسم الحزمة والبيانات الموافقة. فبدلاً من الاعتماد على عناوين الحساسات والمتحكمات والأجهزة لجلب المعلومات، سيتم الاعتماد على اسم المعلومات المطلوبة لجلبها من الحساسات والتحكم بالأجهزة.

1- في هذه الدراسة، اقترحنا نظام من أجل إدارة الكوارث قائم على شبكة البيانات المُسمّاة من خلال تمكين دعم نموذج الدفع على رقم تسلسل ثابت "0". ولتنفيذ الخطة المقترحة، تعيّن علينا تعديل وظائف المستهلك والمنتج التقليدية

في (NDN) مع إضافة وحدات مراقبة، وهي مستشعر الحريق وحد العتبة. تعد هذه الخطة أيضًا تعديلًا على البنية البيانية لشبكة (NDN) الحالية، أي جدول الاهتمام المعلق وقاعدة توجيه طلبات الاهتمام بشكل خاص في وضع الكوارث لتحسين الكفاءة.

2- في الآلية المقترحة، ينشئ المنتج رسالة تنبيه لتوعية الكوارث لجميع أجهزة المستهلك القريبة للتحرك نحو الخروج الآمن في سيناريو الحرم الجامعي الذكي. خطتنا المقترحة تفوق (NDN) التقليدية والبُنى المعتمدة على الدفع الحالية، من حيث تأخير حزمة الاهتمام الأفضل (انتشار ونقل) وزيادة الإنتاجية العامة لوضع الكوارث. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تنفيذها أيضًا في سيناريوهات ذكية أخرى مثل المدينة الذكية والمنزل الذكي والمستشفى الذكي.

3- من التوصيات المُستقبلية هو العمل على تحسين كفاءة المخطط المقترح بشكل أكبر عن طريق النظر في البارامترات الأخرى مثل الذاكرة واستراتيجية البث.

6- المراجع

- [1] Gubbi, J.; Buyya, R.; Marusic, S.; Palaniswami, M. *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. FGCS 2013, 29, 1645–1660.
- [2] Evans, D. *The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything*; CISCO: San Jose, CA, USA, 2011.
- [3] Saxena, D.; Raychoudhury, V. *Design and Verification of an NDN-Based Safety-Critical Application: A Case Study With Smart Healthcare*. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. B Cybern. 2017.
- [4] Ahmed, S.H.; Kim, D. *Named data networking-based smart home*. KICS 2016, 2, 130–134.
- [5] Marica, A.; Campolo, C. *Information Centric Networking in IoT scenarios: The case of a smart home*. In *Proceedings of the Communications (ICC), London, UK, 8–10 June 2015*.
- [6] Arshad, S.; Shahzaad, B.; Azam, M.A. *Hierarchical and Flat based Hybrid Naming Scheme in Content-Centric Networks of Things*. IEEE Internet Things J. 2017, 5, 1070–1080.
- [7] Arshad, S.; Azam, M.A.; Ahmed, S.H. *Towards Information-Centric Networking (ICN) Naming for Internet of Things (IoT): The Case of Smart Campus*. In *Proceedings of the ICFNDS, Cambridge, UK, 19–20 July 2017*.
- [8] Alghamdi, A.; Shetty, S. *Survey: Toward A Smart Campus Using the Internet of Things*. In *Proceedings of the International Conference on Future Internet of Things and Cloud, Vienna, Austria, 22–24 August 2016*.
- [9] Shang, W.; Ding, Q.; Marianantoni, A.; Burke, J.; Zhang, L. *Securing Building Management Systems Using Named Data Networking*. IEEE Netw. 2014, 28.
- [10] Piro, G.; Cianci, I.; Grieco, L.A.; Boggia, G.; Camarda, P. *Information Centric Services in Smart Cities*. J. Syst. Softw. 2013, 88, 169–188.