

تقييم أداء شبكات إنترنت الأشياء في المباني الذكية باستخدام قائمة الطوابير للحوسبة السحابية

مواهب عمر أمحمد¹، غزلان مسكين²

¹ قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية (شعبة الاتصالات)، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ

² قسم الهندسة الطبية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ

1- ma.emhemad@wau.edu.ly, 2- guz.miskeen@wau.edu.ly

الملخص

يتم تجهيز أنظمة المباني الذكية في المدن الكبرى بأجهزة إنترنت الأشياء لمراقبة بعض المؤشرات المختلفة بهذه المباني، ولغرض تجنب انخفاض جودة الخدمة لهذه الأنظمة يجب تحديد مؤشرات الأداء المتعلقة بأدائها قبل تنفيذ المبنى وبواسطة هذه المؤشرات يمكن فهم سلوك النظام وتحليله لتقدير أدائه بشكل كمي، في هذه الدراسة تم استخدام نموذج شبكة الطوابير لنمذجة ومحاكاة مبنى ذكي مكون من طابقين وخمس غرف، حيث إن الغرفة الرئيسية مجهزة بخمس حساسات (Sensors)، تم محاكاة النظام باستخدام برنامج Java modeling Tool الذي يتيح محاكاة نموذج الطوابير وبواسطته يمكن تقدير مؤشرات الأداء ودراسة عدة سيناريوهات من خلال التقدير الدقيق لبارامترات كل سيناريو بناء على دراسات سابقة و من هذه السيناريوهات تغيير عدد الخوادم، تم تبني المؤشرات التالية في هذه الدراسة لدراسة سلوك النظام كمتوسط وقت الاستجابة، عدد الرسائل النظام، نسبة استخدام الموارد، معدل التدفق، معدل فقد الرسائل، أظهرت نتائج المحاكاة انه باستخدام 8 Cores فأن سرعة التنفيذ والتكلفة والطاقة عالية جدا ومؤشرات الأداء تكون أفضل كمتوسط وقت الاستجابة الذي يكون منخفض بمقدار 73 ms لعدد الخوادم، وأشارت التحليلات التي أجريت على ثلاثة مستويات أن عنق الزجاجة يحدث في مستوى حوسبة الحافة، حيث تكون نسبة الاستخدام 100%، وأظهرت النتائج أيضاً أن نموذج شبكة الطوابير المقترح هو أداة جيدة لدراسة متطلبات جودة الخدمة لنظام

انترنت الأشياء، كما يمكن أن تساعد التحليلات الناتجة من المحاكاة مصممي نظم المباني الذكية على تحسين أداء هذه الأنظمة قبل تنفيذها.
الكلمات المفتاحية: إنترنت الأشياء، مبني ذكي، مؤشرات الأداء، نموذج الطوابير.

Performance Evaluation of Internet of Things Networks in Smart Buildings Using Queuing models of Cloud Computing

Mwahib Omer Imhimed¹, Guzlan Miskeen²

¹Dep. Of Electrical and Electronic Engineering(communication), Faculty of Engineering, Wadi Ashatti University

²Dep. Of Medical Engineering, Faculty of Engineering, Wadi Ashatti University

1- ma.emhemad@wau.edu.ly, 2- guz.miskeen@wau.edu.ly

Abstract

Smart building systems in major cities are equipped with Internet of Things (IoTs) devices to monitor various indicators within these buildings. To avoid service quality degradation, performance indicators related to these systems must be identified before building implementation. Through these indicators, the system's behavior can be understood and analyzed quantitatively performance estimation. In this study, a queue network model was used to model and simulate a smart building consisting of two floors and five rooms. The main room is equipped with five sensors. The system was simulated using the Java Modeling Tool, enabling the estimation of performance indicators and the examination of various scenarios. These scenarios involved the precise estimation of parameters for each scenario based on previous studies, including scenarios that explored changes in the number of servers. The following indicators were adopted in this study to analyze the system's behavior such as average response time, system message count, resource utilization ratio, flow rate, and message loss rate. Simulation results indicated that using 8 cores resulted in very high execution speed, cost, and energy, with optimal performance

indicators such as a significantly reduced average response time by 73 ms for the number of servers. Analyses conducted at three levels revealed that the bottleneck occurs at the edge computing level, where the utilization rate is 100%. The results also demonstrated that the proposed queue network model is a valuable tool for studying quality of service requirements for Internet of Things systems. Additionally, the analyses derived from the simulation can assist designers of smart building systems in enhancing the performance of these systems before implementation.

Keywords: Internet of Things, smart building, performance indicators, queuing model.

1. المقدمة

برز إنترنت الأشياء (Internet of Things) كنموذج حوسبي مهم لتمكينه ربط أي عنصر بالإنترنت بواسطة أجهزة الحساسات الموزعة لتحديد المواقع والمراقبة والإدارة [1][2]، فمن المتوقع أن يتضاعف عدد أجهزة إنترنت الأشياء في جميع أنحاء العالم تقريبًا من 8.74 مليار في عام 2020 إلى أكثر من 16.44 مليارًا في عام 2025 [3]. تتطلب إدارة المباني الذكية (Smart Building) بنية تحتية أكثر تعقيدًا للحوسبة والاستعداد لتلبية الطلب الكبير على توليد البيانات لفترة طويلة فيتم استخدام الحوسبة السحابية (Cloud computing) لمعالجة مثل هذه الطلب، حيث تجمع بنية النظام بين حساسات إنترنت الأشياء ومستوى الحوسبة الضبابية (Fog Computing) ومستوى الحوسبة السحابية، توفر الحوسبة السحابية خدمات ومرافق جديدة، حيث تم تسميتها على هذا النحو لأن المعلومات التي يتم الوصول إليها توجد عن بعد في السحابة فمن ثم يكون وقت استجابة الشبكة عالي فيقلل حتمًا من جودة خدمة المستخدم (QoS)، ولحل هذه المشكلة تم اقتراح نموذج جديد يسمى الحوسبة السحابية، حيث أصبحت تقنية رئيسية لإنترنت الأشياء [4]. إن نماذج شبكة الطوابير (Queueing networks) تُعد طريقة رياضية شائعة وفعالة لتحليل الأنظمة المختلفة ومراقبة سلوكها فيما يتعلق بأداء النظام، كما إن تطبيقات نماذج شبكة الطوابير لها هدفان: التنبؤ بأداء النظام، وإيجاد تصميم نظام لتحسين الأداء في مرحلة التخطيط [5].

في هذه الورقة تم اقتراح نموذج تقييم أداء شبكات IoT في المبنى الذكي باستخدام قائمة طوابير للحوسبة السحابية، حيث يستخدم هذا النموذج لتمثيل أي نوع من أجهزة الحساسات اختيرا منها حساس درجة الحرارة، حساس إنذار الحريق، حساس الحركة، حساس التحكم في الإنارة المنزلية، حساس فتح وإغلاق الأبواب والنوافذ، حيث تجمع البيانات من شبكة حساسات إنترنت الأشياء لأجل تحليل وتقدير مختلف مؤشرات الأداء كمتوسط وقت الاستجابة (Response Time)، معدل فقد الرسائل (Packet Loss)، ودراسة عدة سيناريوهات من خلال التقدير الدقيق لبارامترات كل سيناريو بناء على دراسات سابقة [6][7][4]، مثل تغيير عدد الخوادم (Number of Cores) ودراسة تأثيرها في مراقبة كفاءة المبنى، بالإضافة إلى تحليل عنق الزجاجة (Bottleneck) على مستوى حوسبة الحافة والحوسبة الضبابية والسحابية، حيث تم محاكاة النظام باستخدام برنامج (JMT) Java modeling Tool لأن التجارب العملية مكلفة وتستهلك الكثير من الوقت والجهد، من المتوقع أن يكون النموذج المقترح أداة مفيدة لمصممي النظم لتقييم أداء نظم المباني الذكية قبل تنفيذها.

2. مشكلة البحث

تتمثل مشكلة البحث بشكل عام فيما يلي: تتطلب بنية أنظمة إنترنت الأشياء بالمجمل تقييم الأداء منذ المراحل الأولى للتطوير، وتعتبر التجارب الحقيقية مكلفة للغاية وتستهلك الكثير من الوقت والجهد لوجود العديد من السيناريوهات التي ينبغي اختبارها، بالإضافة إلى صعوبة التنبؤ بأداء أنظمة إنترنت الأشياء في المراحل المستقبلية عند الرغبة في التطوير وتوسيع النظام، ولغرض تسهيل الدراسة تم اقتراح استخدام نماذج الطوابير لتقييم أداء أنظمة إنترنت الأشياء بدقة عالية وبكلفة وجهد أقل مما يسمح بعمل النظام وفقاً لاحتياجات المستخدم.

ونظراً لأن الأجهزة الطرفية ليست قادرة على التعامل مع عبء العمل (workload) لمعالجة البيانات فيعمل دمج العبء في السحابة (Cloud) على إصلاح هذه المشكلة ولكنها ليست الحل الأمثل مما أدى إلى تبني مرحلة وسيطة من بيئة الحوسبة يسمى مستوى الحوسبة الضبابية لتحسين أداء النظام بشكل كبير عن طريق تقليل كمية الرسائل

التي يجب نقلها إلى السحابة ومعالجتها، ولأن المعلومات التي يتم الوصول إليها توجد عن بعد في السحابة يكون وقت استجابة الشبكة عالي وهذا يقلل حتما من جودة خدمة المستخدم.

3. الدراسات السابقة

يبين جدول (1) مقارنة بين الدراسة الحالية والدراسات السابقة، حيث تشير هذه المقارنة إلى نقاط القوة والتميز بين الدراسة الحالية والدراسات السابقة بالإضافة إلى مستويات النمذجة.

جدول (1): المقارنة بين الدراسة الحالية والدراسات السابقة

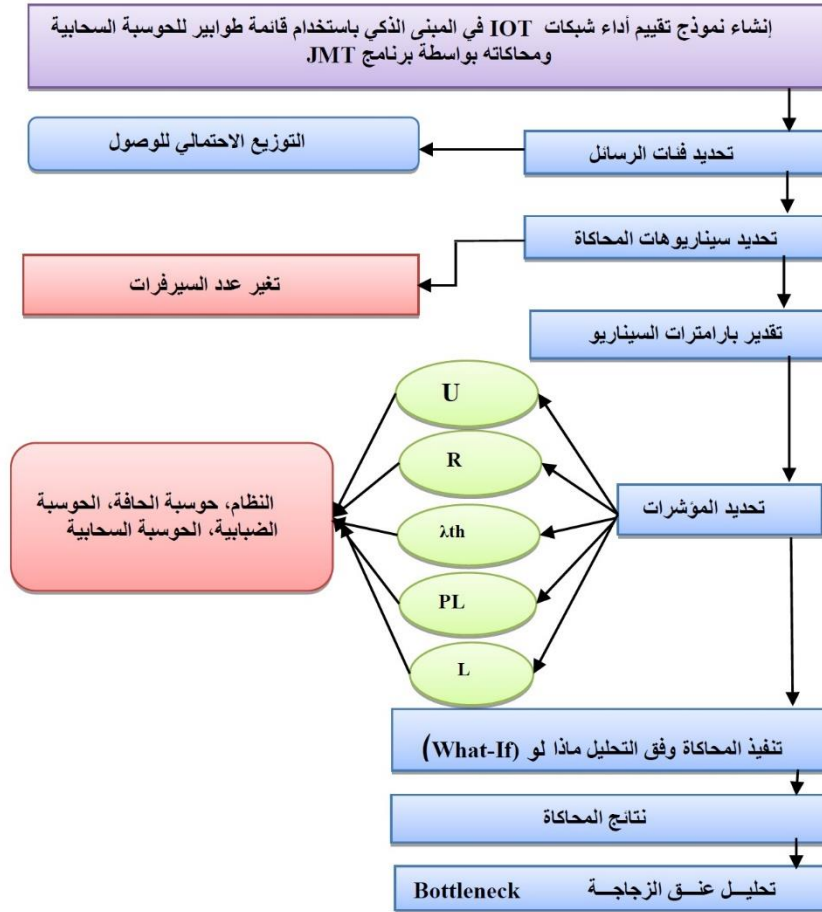
رقم المرجع	بنية النظام (وعدد المستويات)	أداة المحاكاة	مؤشرات الأداء	عق الزجاجة	أهم النتائج	التوصيات
[8]	تصميم بنية ضبابية ذات مستويين	iFogSim	U, R, λ th	-	النموذج المقترح ملائم لتصميم الهياكل الضبابية المثلى لدراسة (QoS)	إجراء المزيد من الاختبارات للتحقق من صحة النموذج المستخدم وتطوير خوارزمية التحسين للتعويض على أفضل بارامترات لضمان الاستخدام الأمثل للمعدة تلقائياً بدلاً من ضبط بارامترات يدوياً.
[6]	مستويين وهما FC, CC	أداة JMT	U, λ th, N, R, PL	-	عدد العقد له التأثير الأكبر على أداء النظام.	توسيع النموذج المقترح ليشمل مستوى الحوسبة السحابية
الدراسة الحالية	3 مستويات وهما CC, FC, EC	أداة JMT	U, λ th, N, R, PL	مستوى حوسبة EC، حيث $U=100\%$ حتى عند أقصى معدل وصول	أظهرت النتائج المحاكاة أن النموذج المقترح هو أداة جيدة لدراسة متطلبات جودة الخدمة (QoS)	تنفيذ نظام حقيقي لمقارنة أدائه مع النتائج التي تم الحصول عليها من خلال نموذج الطوابير

تقدم دراسة [8] نموذج الحوسبة الضبابية على أساس نظرية الطابور تم استخدام نموذج عام لتصميم هياكل ضباب فعالة تم محاكاة سيناريو معين يسمح بإمكانية ضبط البارامترات يدوياً من قبل المستخدم، اقترحت نموذج قادر على تقييم أداء متوسط وقت الاستجابة، حيث الحصول على وقت تنفيذ يبلغ 737 s، وتقدم الدراسة [6] تقييم أداء شبكات إنترنت الأشياء في المباني الذكية، حيث اقتصرت بنية النموذج على مستوى حوسبة الحافة ومستوى الحوسبة الضبابية فقط ولم يشمل مستوى السحابية ومكوناتها، أي اقترحت نموذج قادر على تقدير مختلف مؤشرات الأداء، وفيما يتعلق بمتوسط وقت الاستجابة تم الحصول على وقت تنفيذ يبلغ (47 ملي ثانية) باستخدام 8 Cores، وتقدم الدراسة الحالية تقييم أداء شبكات إنترنت الأشياء في المباني الذكية باستخدام قائمة الطوابير للحوسبة السحابية، حيث تكونت بنية النظام من مستوى حوسبة الحافة والحوسبة الضبابية والسحابية، وقدمت

تحليل عنق الزجاجة (Bottleneck)، تعتبر هذه الدراسة تقدماً وتطوراً كبيراً مقارنة بالعمل [6]، اقترحت هذه الدراسة نموذج قادر على تقدير مختلف مؤشرات الأداء، وفيما يتعلق بوقت الاستجابة تم الحصول على وقت تنفيذ يبلغ (16.8 ملي ثانية) باستخدام 8 Cores.

4. مخطط انسيابي يلخص إستراتيجية الدراسة

يوضح الشكل (1) مخطط انسيابي يلخص استراتيجية الدراسة.

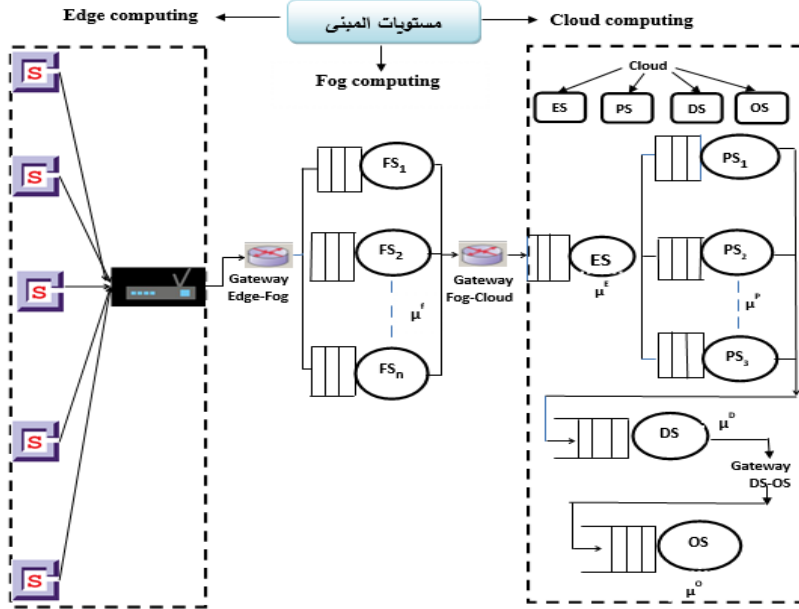


الشكل 1: مخطط انسيابي يلخص استراتيجية الدراسة

5. هندسة النظام

لمحاكاة المبنى الذكي من خلال أداة برنامج (JMT) والذي هو عبارة عن مجموعة من برامج (Java) المجانية مفتوحة المصدر تدعم مجموعة واسعة من الأنشطة المشتركة في تقييم الأداء [10]، تم الأخذ في الاعتبار لمحاكاة المبنى الذكي ثلاثة جوانب وهي: (النظام العام للمبنى، حركة مرور الرسائل في الشبكة، الفرضيات)، حيث يتكون المبنى من مستوى حوسبة الحافة (Edge Computing) كما هو مبين بالشكل (2)، حيث يتيح هذا المستوى المراقبة في الوقت الفعلي وتجميع ومعالجة الرسائل بشكل دوري في كل غرفة و طابق من طوابق المبنى باستخدام أجهزة الحساسات التي تراقب درجة حرارة الغرف بالمبنى بالإضافة إلى اكتشاف وجود دخان غاز أول أكسيد الكربون في حالة اندلاع الحرائق وكذلك التحكم في الإنارة وفي فتح وإغلاق الأبواب والنوافذ، عندما يتم توجيه الرسائل من مستوى حوسبة الحافة عبر بوابة Gateway Edge-Fog إلى النظام الأساسي السحابي تدار هذه البيانات خلال مرحلة وسيطة من بيئة الحوسبة تسمى مستوى الحوسبة الضبابية وهي مسؤولة عن جمع الرسائل ومعالجتها وفي حالة ليس لديه قوة حوسبة كافية لمعالجة الرسائل ترسل إلى السحابة، حيث يتكون مستوى السحابة من 4 مكونات:

1. سيرفر الإدخال Entry server هو نقطة الدخول إلى السحابة وهو مسئول عن توزيع الرسائل نحو سيرفرات المعالجة Processing servers.
2. سيرفرات المعالجة Processing servers يصل كل سيرفر معالجة P إلى قاعدة البيانات Data base.
3. قاعدة البيانات Data base وهي مسؤولة عن خدمة الرسائل (مستودع الرسائل).
4. سيرفرات الإخراج Output server



الشكل 2: نظرة عامة على بنية تسمح بمراقبة أجهزة حساسات متعددة في مبني ذكي

يحتوي النموذج المقترح على خمس حساسات منها: حساس درجة الحرارة يعمل هذا الحساس على قياس الحرارة بصورة منتظمة ثم توجه الرسائل دوريًا إلى جهاز الحافة، وتمت معايرة هذا الحساس لفترة ثابتة أي أن التوزيع الاحتمالي للوصول يكون محددًا (Deterministic) وهو التوزيع الحتمي حيث يصف هذا التوزيع دفعًا حتميًا (ثابتًا) للرسائل أي وقت الخدمة محدد أو ثابت ويكون معدل وصول الرسائل إلى النظام (λ) كل 0.04 msg / ms ، أما نوع الخدمة الرسائل تكون (FCFS) كما هو مبين بالجدول (2)، ويعطى أعلى أولوية حيث يشير الرقم الأعلى إلى الأولوية الأكبر والرقم الأصغر إلى أولوية أقل، ويعمل كل من حساس إنذار الحريق وحساس الحركة وحساس التحكم في الإنارة المنزلية وحساس فتح وإغلاق الأبواب والنوافذ بالمقاطعة إي في حالة حدوث حدث معين (Random)، ويتم معايرة هذه الحساسات أسيا أي إن التوزيع الاحتمالي للوصول يكون (Exponential) كما هو مبين بالجدول (2) وتكون معدلات وصول الرسائل إلى النظام (λ) كل 0.04 msg / ms ، أما نوع الخدمة الرسائل تكون (FCFS).

جدول 2: نمذجة الحساسات في QN

نوع الخدمة Service type	الأولوية Priority	التوزيع الاحتمالي للوصول (λ) Interarrival Time Distribution	الحساسات Sensors
FCFS	5	Deterministic	حساس درجة الحرارة
FCFS	4	Exponential	حساس إنذار الحريق
FCFS	3	Exponential	حساس الحركة
FCFS	2	Exponential	حساس التحكم في الإنارة المنزلية
FCFS	1	Exponential	حساس فتح وإغلاق الأبواب والنوافذ

وتتبع معدلات خدمة العقد (Service Time Distribution) التوزيع الأسّي (Exponential)، ($M/M/C/K/FCFS$) لحساس إنذار الحريق والحركة والتحكم في الإنارة المنزلية ولفتح وغلغ الأبواب والنوافذ، وتتبع معدلات خدمة العقد لحساس درجة الحرارة التوزيع الثابت (Deterministic)، ($D/M/C/K/FCFS$) في قسم المحاكاة يأخذ في الاعتبار استراتيجيات التوزيع بواسطة تدوين (Kendall) كما هو مبين بالجدول (3).

جدول (3): تعريف رموز استراتيجيات توزيع تدوين (Kendall)

Deterministic (D)	التوزيع الاحتمالي للوصول أو وقت الخدمة محدد أو ثابت
Exponential / (Memory less (M)) for arrival time	التوزيع الاحتمالي الأسّي لزمن الوصول زمن الخدمة
Exponential / (Memory less (M)) for service time	التوزيع الاحتمالي الأسّي لزمن الخدمة
Number of server (C)	عدد سيرفرات الخدمة
Capacity (K)	سعة حجم الطابور
first to come, first service (FCFS)	نوع خدمة تنفيذ الأوامر

وتتم نمذجة نموذج الطابور (Edge Device) في مستوى حوسبة الحافة بـ ($M/M/1/K$) وتتم نمذجة نماذج الطوابير في الحوسبة الضبابية (Fog nodes)

وسيرفرات المعالجة في مستوى الحوسبة السحابية بـ $(M/M/1/K)$ كما هو مبين بالجدول (4).

جدول 4: نمذجة مستوى الحافة ومستوى الحوسبة الضبابية ومكونات مستوى الحوسبة السحابية في QN

النموذج Model	Service Time Distribution	نمذجة مستوى الحافة ومستوى الحوسبة الضبابية
M/M/1/K	Exponential	جهاز الحافة Edge Device
M / M / c / K	Exponential	عقد الضباب Fog nodes
نمذجة مكونات مستوى الحوسبة السحابية		
M/M/1/K	Exponential	سيرفر الإدخال Entry server
M / M / c / K	Exponential	سيرفرات المعالجة Server Processing
M/M/1/K	Exponential	قاعدة البيانات Data base
M/M/1/K	Exponential	سيرفر الإخراج Output server

6. سيناريو المحاكاة

يبين جدول (5) بارامترات سيناريو تغيير عدد الخوادم في كل من مستوى الحوسبة الضبابية والسحابية بينما ظل عدد العقد ثابتاً، حيث كان عدد الخوادم متفاوتاً بين (2،4،8) خوادم في مستوى الحوسبة الضبابية والسحابية بينما ظل عدد الخوادم في Entry Server (ES) ومستوى حوسبة الحافة ثابتاً عند (ED) Edge Device.

جدول 5: بارامترات السيناريو

عدد الخوادم	عدد الخوادم	عدد الخوادم	عدد الخوادم
8	4	2	عدد الخوادم
150	100	50	حجم الطابور
$\mu_{Ed}, \mu_i, \mu_p, \mu_D,$ $\mu_O=0.4$ $\mu_E=0.9$	$\mu_{Ed}, \mu_i, \mu_p, \mu_D,$ $\mu_O=0.044$ $\mu_E=0.6$	$\mu_{Ed}, \mu_i, \mu_p, \mu_D,$ $\mu_O=0.033$ $\mu_E=0.3$	معدلات الخدمة
, DS, FN, OS.PS	, DS, FN, OS.PS	, DS, FN, OS.PS	مستويات الحوسبة
1	1	1	عدد الخوادم
ED, ES	ED, ES	ED, ES	عدد العقد
1	1	1	عدد العقد

Db, OS, ES	Db, OS, ES	Db, OS, ES	عدد العقد
5	5	5	
FN.PS,	FN.PS,	FN.PS,	عدد العقد
6	6	6	
ED	ED	ED	

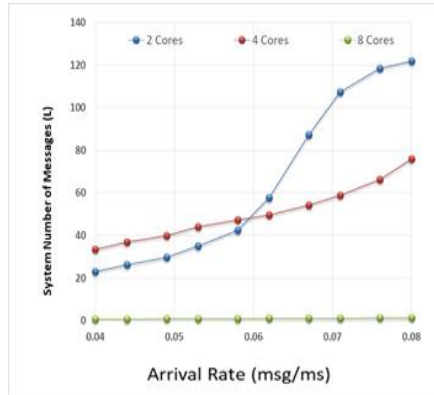
تم محاكاة السيناريو على ثلاثة مراحل، حيث تم ضبط معدل الخدمة لكل من جهاز حافة (μ_{Ed})، خادم ضباب (μ_f)، خادم معالجة (μ_p)، خادم قاعدة البيانات (μ_D)، خادم إخراج (μ_O) على (0.033, 0.044, 0.4)، وضبط معدل الخدمة لخادم الدخول μ_E على (0.3, 0.6, 0.9).

7. نتائج المحاكاة

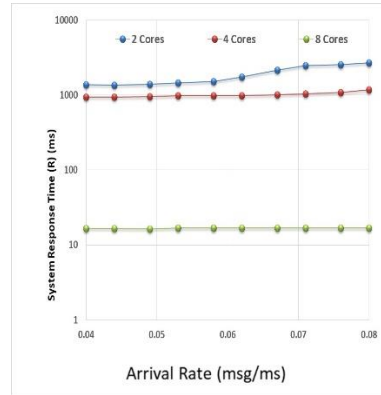
النتائج التي تم الحصول عليها من نوع المحاكاة التي تم إجراؤها: ماذا لو (what if)

7.1 نتائج محاكاة تغيير عدد الخوادم

يعرض الشكل (3) النتائج التي تدرس أعداد مختلفة من عدد الخوادم موضحة في كل من متوسط استجابة النظام (System R)، عدد رسائل النظام (System L)، معدل تدفق النظام (System λ th)، معدل فقد رسائل النظام (System PL).

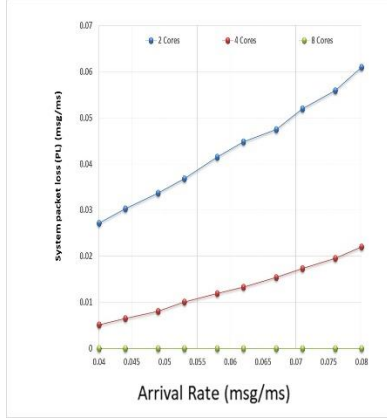


(a)

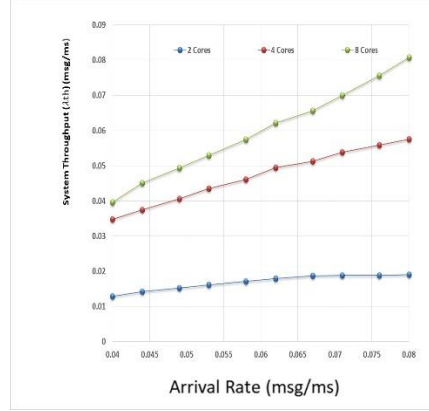


(b)

الشكل 3: (a) متوسط استجابة النظام (System R)، (b) عدد رسائل النظام (System L)



(c)

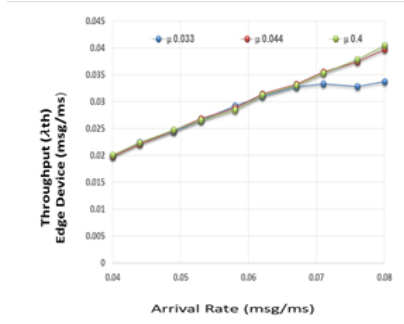


(d)

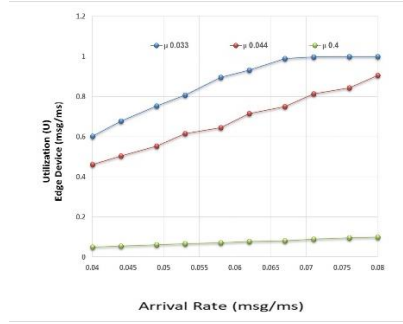
الشكل 3: (c) معدل تدفق النظام (λ th System)، (d) معدل فقد رسائل النظام (System PL).

8. تحليل عنق الزجاجة Bottleneck

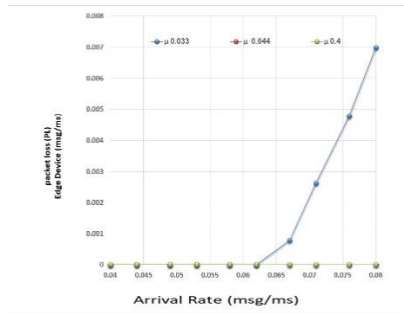
يعرف مفهوم عنق الزجاجة على أنه مجموعة من الأدوات والعمليات المستخدمة لتحديد مكان حدوث الاختناقات في بيئة الإنتاج [9]، تم في هذه الورقة تحليل عنق الزجاجة في مستويات النمذجة من خلال نسبة الاستخدام (U) وبدلالة الانخفاض في معدل التدفق λ th والزيادة في معدل فقد الرسائل (PL) وبمتوسط وقت الاستجابة العالي، حيث أظهرت نتائج المحاكاة أن عنق الزجاجة يحدث في مستوى حوسبة الحافة أي عند Edge Device، يعرض الشكل (4) نتائج تحليل عنق الزجاجة موضحة في كل من نسبة استخدام (U) Utilization، معدل تدفق (λ th) Throughput، متوسط وقت استجابة Response Time (R)، معدل فقد رسائل (PL) Packet loss.



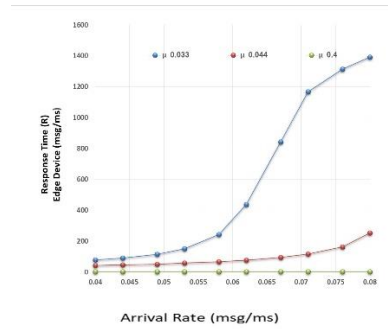
(a)



(b)



(c)



(d)

الشكل 4: نتائج تحليل عنق الزجاجة (a) نسبة استخدام (U) Utilization، (b) معدل التدفق (λ_{th})، (c) متوسط وقت استجابة (R) Response Time، (d) معدل فقد رسائل (PL) Packet loss

9. مناقشة نتائج

يعرض الشكل (a3) نتائج متوسط استجابة النظام (System R) باستخدام 2 Cores كان متوسط وقت الاستجابة للنظام عالي أي حوالي 2678.52 ms بسبب الاستخدام العالي للموارد مع القليل من قوة المعالجة، ومع 4 Cores كان متوسط استجابة النظام حوالي 1174.48ms عند أقصى معدل وصول ($AR = 0.08 \text{ msg / ms}$)، أما مع 8 Cores كانت استجابة النظام قريبة جدا أي أقل بمقدار 73 ms يشير هذا القرب إلى

أن النظام يكون أكثر فائدة وفعالية، بافتراض فرضية مستوى الخدمة (SLA) يجب أن يكون متوسط وقت الاستجابة النظام أقل من 100 ms حيث يتم تلبية هذا الطلب بـ 8 خوادم.

يعرض الشكل (b3) نتائج عدد رسائل النظام (System L) عند بداية المحاكاة وباستخدام 2 Cores كانت عدد رسائل النظام 23.1 رسالة عند معدل وصول $AR = 0.04 \text{ msg}$ / ms وعند أقصى معدل وصول ($AR = 0.08 \text{ msg} / \text{ms}$)، كانت عدد رسائل النظام حوالي 121.90 رسالة أي ضمن نظام التكوين، ويقل عدد الرسائل النظام مع 4 Cores و 8 سيرفرات بمقدار 56.3 رسالة، في التكوين الأساسي الأول يحتوي النظام دائماً على ما يقرب من 250 رسالة بغض النظر من معدل الوصول.

يعرض الشكل (c3) نتائج معدل تدفق النظام (System λ th) باستخدام 2 Cores و 4 Cores يكون معدل التدفق في النظام حوالي 0.019 msg/ms و 0.058 msg/ms على التوالي، أما مع 8 Cores يزيد معدل تدفق الرسائل بمقدار 0.72 msg/ms ، بافتراض فرضية مستوى الخدمة (SLA) يكون معدل التدفق أكبر من 0.2ms من الممكن تلبية هذا القيد مع 8 خوادم أو أكثر.

يعرض الشكل (d3) نتائج معدل فقد رسائل النظام (System PL) يلاحظ باستخدام 2 Cores أن النظام لديه معدل فقد لا يقل عن 0.03 ms/msg ويزداد المعدل مع نمو معدل الوصول (AR) وباستخدام 4 Cores يكون في تجاهل للرسائل بمعدل 0.005 ms/msg عند معدل وصول $AR = 0.04 \text{ msg} / \text{ms}$ ، أما مع 8 Cores لا يحدث فقد للرسائل بمقدار 0%، بسبب كثر الخوادم المعالجة.

يعرض الشكل (a4) نتائج تحليل عنق الزجاجة من خلال نسبة الاستخدام (U)، عندما يكون معدل الخدمة عند $\mu = 0.033$ كانت نسبة استخدام حوسبة الحافة EC عند Edge Device 100%، يعرض الشكل (b4) نتائج تحليل عنق الزجاجة (λ th)، حيث يكون معدل تدفق البيانات منخفض بمقدار 1.20 ms/msg عندما يكون معدل الخدمة $\mu = 0.033$ عند أقصى معدل وصول، ويعرض الشكل (c4) نتائج تحليل عنق الزجاجة

(R)، حيث يكون متوسط وقت الاستجابة عالي جدا يصل إلى 1392.39 ms عندما يكون معدل الخدمة $\mu = 0.033$ عند أقصى معدل وصول. يعرض الشكل (d4) نتائج تحليل عنق الزجاجة (PL)، حيث يكون معدل فقد الرسائل حوالي 0.007msg/ms عندما يكون معدل الخدمة $\mu = 0.033$ عند أقصى معدل وصول، بينت نتائج نسبة الاستخدام العالية والانخفاض في معدل التدفق والزيادة في متوسط وقت الاستجابة ومعدل فقد الرسائل أن عنق الزجاجة يكون في مستوى حوسبة الحافة عند Edge Device 1. تساعد هذه التحليلات مصممي النظام والمستفيد من النظام اختيار الأداء، حيث مع 2 Cores تكون مؤشرات الأداء أسوأ سيناريو، حيث لا يمكن لمصممي النظام العمل ضمن هذا السيناريو، ومع 4 Cores و 8 Cores تكون مؤشرات الأداء أفضل.

10. الاستنتاجات

قدم هذا العمل تصميم ومحاكاة لنموذج الحوسبة السحابية لبنية تبادل الرسائل على أساس شبكة قائمة الطوابير بالمبنى الذكي المكون من طابقين وخمس غرف، حيث تجهز الغرفة الرئيسية بأجهزة الحساسات تم تقييم أداء نظام المراقبة عبر الحوسبة السحابية للمبنى الذكي، بحيث تم محاكاة النظام باستخدام برنامج (JMT). نستنتج من خلال محاكاة السيناريو باستخدام 8 Cores أن سرعة التنفيذ عالية جدا ومؤشرات الأداء أفضل ما يمكن ولكن النظام مكلف ويستهلك طاقة أكبر لذا يفضل استخدام 4 Cores بدلاً من 8 Cores. ونستنتج أيضاً أن متوسط استجابة النظام يميل إلى الانخفاض بزيادة عدد الخوادم، وأن عدد الرسائل النظام يزداد بزيادة معدل الوصول، كما أنه من المتوقع أن يزداد معدل التدفق بزيادة عدد الخوادم، وأنه كلما زادت عدد الخوادم قل معدل فقد الرسائل، بينت هذه النتائج أن النموذج المقترح هو أداة جيدة لدراسة متطلبات جودة الخدمة (QoS).

نستنج من خلال التحليلات التي أجريت على مستويات النمذجة أن عنق الزجاجة يكون في مستوى حوسبة الحافة (EC) أي عند (ED) وهذا يعني أن اختيار (ED) ذو مواصفات عالية له دور كبير في تحسين أداء النظام بشكل كبير.

11. الشكر

أحمد الله تعالى وأشكره على نعمه وعونه، وأصلي على خاتم الأنبياء والمرسلين سيدنا محمد عليه أفضل الصلاة والتسليم، أتقدم بجزيل الشكر والامتنان لجامعة وادي الشاطئ ولمن قدم مجهودا خاصا لإنجاز هذه الورقة.

12. المراجع

- [1] D. Mendez Mena, I. Papapanagiotou, and B. J. I. S. J. A. G. P. Yang, "Internet of things: Survey on security," vol. 27, pp. 162-182, 2018
- [2] X. Fu and Y. J. I. S. Yang, "Modeling and analyzing cascading failures for Internet of Things," vol. 545, pp. 770-753, 2021.
- [3] Analytics, "Number of internet of things (IoT) connected devices worldwide in 2018, 2025 and 2030 (in billions)," 2020.
- [4] L. Mas, J. Vilaplana, J. Mateo, and F. J. T. J. o. S. Solsona, "A queuing theory model for fog computing," vol. 78, pp. 11138-11155, 2022.
- [5] E. Jafarnejad Ghomi, A. M. Rahmani, N. N. J. C. Qader, C. Practice, and Experience, "Applying queue theory for modeling of cloud computing: A systematic review," vol. 31, p. e5186, 2019.
- [6] B. Santos, A. Soares, T.-A. Nguyen, D.-K. Min, J.-W. Lee, and F.-A. J. S. Silva, "IoT sensor networks in smart buildings: A performance assessment using queuing models," vol. 21, p. 5660, 2021.
- [7] C. Girish, , " Scalability of M/M/c Queue based Cloud-Fog Distributed Internet of Things Middleware," 2019.
- [8] L. Mas, J. Vilaplana, J. Mateo, and F. J. T. J. o. S. Solsona, "A queuing theory model for fog computing," vol. 78, pp. 11138-11155, 2022.

- [9] M. Leporis and Z. Králová, "A simulation approach to production line bottleneck analysis," in *International conference cybernetics and informatics*, 2010, pp. 13-22.
- [10] M. Bertoli, G. Casale, G. Serazzi " JMT-Performance Engineering Tools for System Modeling", 2013.