

تحسين عملية موازنة الحمل لخدمات انترنت الأشياء باستخدام حوسبة الحافة

م. حاتم نمر ميهوب *

(تاريخ الإيداع 2023 /8/1 - تاريخ النشر 2023 /12/3)

□ ملخص □

يحتاج انترنت الأشياء إلى نموذج معالجة حديث يسمح بقابلية التوسع في السحابة مع تقليل التأخير الزمني الناجم عن نقل البيانات داخل الشبكة باستخدام موارد أقرب إلى المستخدم. من ناحية أخرى، من الصعب بناء مثل هذا النموذج المرن داخل مناخ غير متجانس من حيث الموارد المخصصة لكل عقدة. بالإضافة إلى أن الطلب المتزايد على خدمات إنترنت الأشياء استلزم العمل على تقليل التأخير الزمني ووقت الاستجابة من خلال تحقيق موازنة فعالة للأحمال. في هذا البحث، سنعمل على تحسين عملية موازنة الحمل وتوزيع الموارد بشكل عادل على المهام، والتي بدورها ستعمل على تحسين جودة الخدمة في السحابة وتقليل زمن الاستجابة. يقدم النموذج المقترح نظاماً لا مركزياً متعدد الوكلاء يستخدم العقد في الحافة والسحابة من أجل موازنة عبء العمل الناجم عن مهام انترنت الأشياء الواردة إلى السحابة. عند وصول طلبات الخدمات إلى عقد الحافة يتم اتباع نموذج تعاوني يهدف إلى تخصيص المهام الواردة إلى أقرب عقدة ضمن بنية متعددة المستويات بطريقة تحقق أقصى استخدامية ممكنة للموارد المتاحة دون الحاجة لإضافة معدات جديدة بكلفة باهظة.

الكلمات المفتاحية: الحوسبة السحابية، حوسبة الحافة، موازنة الحمل، جدولة المهام، تخصيص الموارد.

* مهندس معلوماتية في الشركة العامة لمرافق طرطوس حاصل على شهادة ماجستير في هندسة تكنولوجيا المعلومات . كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات . جامعة طرطوس . سوريا

Optimizing load balancing for IoT services using edge computing

Eng. Hatem Maihoob*

(Received 1/8/2023.Accepted 3/12/2023)

□ABSTRACT □

The Internet of Things requires a modern processing model that allows scalability in the cloud while reducing the time delay caused by moving data within the network using resources closer to the user. On the other hand, it is difficult to build such a flexible model in a climate that is heterogeneous in terms of the resources allocated to each node. In addition, the increasing demand for IoT services necessitated the reduction of latency and response time by achieving effective load balancing. In this paper, we will improve the process of load balancing and fairly distributing resources to tasks, which in turn will improve the quality of service in the cloud and reduce response time. The proposed model presents a decentralized multi-agent system that uses nodes at the edge and the cloud in order to balance the workload generated by IoT tasks coming into the cloud. When service requests reach the edge nodes, a collaborative model is followed that aims to allocate incoming tasks to the nearest node within a multi-tiered architecture in a way that maximizes the use of available resources without the need to add new equipment at an exorbitant cost.

Keywords: cloud computing, edge computing, load balancing, task scheduling, resources allocation.

* Informatics engineer at the General Company for Tartous Port, holds a master's degree in information technology engineering - Faculty of Information and Communication Technology Engineering - University of Tartous - Syria

١ - مقدمة:

انترنت الأشياء له تأثير غير مسبوق على كيفية مشاركة البيانات ومعالجتها. يقدر أن عدد الأجهزة التي ستكون متصلة بإنترنت الأشياء سيصل إلى ١٢٥ مليار في عام ٢٠٣٠. تولد هذه الأجهزة حجم هائل من البيانات التي سيتم إرسالها إلى مراكز البيانات السحابية لتتم معالجتها، مما يؤدي إلى زيادة الحمل على مراكز البيانات السحابية وعلى الشبكات بشكل عام. بالرغم من المزايا المتعددة للحوسبة السحابية فإن العديد من تطبيقات إنترنت الأشياء لا يمكنها العمل بكفاءة على السحابة [1]. يؤدي تشغيل التطبيقات ضمن مراكز سحابية بعيدة عن المستخدم إلى زمن انتقال كبير عبر الشبكة وغير متوقع، بالإضافة إلى مخاوف الأمن وخصوصية انتقال البيانات عبر الشبكة العامة إلى مراكز سحابية بعيدة. مع ذلك هنالك العديد من العقد الطرفية الموزعة ذات الموارد غير المستغلة التي يمكن استخدامها لتحقيق زمن انتقال منخفض وعرض نطاق ترددي منخفض لشبكات إنترنت الأشياء. تم اقتراح نموذج حوسبة الحافة لمواجهة التحديات المذكورة أعلاه من خلال تقريب مراكز المعالجة والتخزين إلى حافة الشبكة [2]. حوسبة الحافة هي عبارة عن بنية تستخدم التسلسل الهرمي من الحافة إلى السحابة لتقليل حركة مرور البيانات ضمن الشبكة وتحسين جودة الخدمة للتطبيقات الحساسة للتأخير [1]. يعتبر توزيع خدمات إنترنت الأشياء على الموارد المتاحة الموجودة ضمن هذه التسلسل الهرمي من أهم التحديات التي تواجه حوسبة الحافة، حيث أنه نتيجة الطبيعة الديناميكية لخدمات إنترنت الأشياء وأماكن تواجدها المنتشرة على نطاق جغرافي واسع فإن موازنة الحمل غير الفعالة ستؤدي إلى تدهور جودة الخدمة (QOS) [3]. موازنة الحمل الفعالة تحقق استخدامية (Utilization) عالية للموارد مما يقلل من حالات التأخير في الاستجابة خصوصاً للمهام الحساسة والطائرة [4]. كذلك فإن اعتماد الإدارة المركزية في عملية موازنة الحمل قد تسبب تأخير في تنفيذ المهام بسبب زيادة زمن انتظار المهام حتى يتم تخصيصها بالتالي سيتم العمل في هذا البحث على نموذج إدارة لا مركزي بحيث تتعاون العقد مع بعضها البعض من أجل تخصيص المهام إلى الموارد المتاحة ضمن التسلسل الهرمي لحوسبة الحافة. يقدم هذا البحث نموذج لامركزي لموازنة الحمل (حيث يتم تحديد العقدة التي سيتم تخصيص المهمة إليها بشكل تعاوني بعيداً عن استخدام موازن حمل مركزي) لخدمات إنترنت الأشياء لتحقيق موازنة حمل فعالة وبالتالي تخفيض زمن الاستجابة وتحسين جودة الخدمة.

٢ - أهمية البحث وأهدافه:

تستمد أهمية البحث من أهمية الحوسبة السحابية وإنترنت الأشياء الذين يشكلان قطاع المستقبل وحجم البيانات الهائل الذي يتم إرساله إلى مراكز البيانات السحابية لتتم معالجتها. كذلك فإن الاستثمار الأمثل للمعدات الحاسوبية وموازنة الحمل السليمة تؤدي للاستخدام الأمثل لموارد الحوسبة بالتالي زيادة الاستخدامية Utilization والذي يؤدي بدوره إلى استثمار الموارد المتاحة بالشكل الأمثل بعيداً عن الحاجة لإضافة معدات جديدة بكلفة باهظة.

يهدف البحث إلى تطوير نموذج تعاوني لموازنة الحمل يعتمد على حوسبة الحافة Edge Computing من خلال تقريب مراكز المعالجة والتخزين من أماكن توضع أجهزة إنترنت الأشياء لتقليل زمن الانتشار وتخفيض عرض النطاق الترددي وبالتالي تحسين جودة الخدمة.

٣- طرق البحث ومواده:

٣-١ حوسبة الحافة:

تعتبر حوسبة الحافة نموذجاً يوسع خدمات الحوسبة السحابية إلى حافة الشبكة. يهدف هذا النموذج إلى نقل عمليات اتخاذ القرار إلى أقرب مكان ممكن من مصادر البيانات نظراً لأنه يعمل كطبقة وسيطة تربط مراكز البيانات السحابية مع الأجهزة الطرفية للخدمات السحابية. قد يؤدي نقل جميع البيانات من الأجهزة الطرفية للخدمة إلى مراكز البيانات السحابية للمعالجة إلى حدوث مشكلة زمن وصول وتجاوز سعة النطاق الترددي للشبكة. لحل هذه المشكلة سيكون من الأفضل معالجة البيانات واتخاذ القرار ضمن مواقع جغرافية قريبة من أماكن توزع الأجهزة الطرفية للخدمات السحابية [5] [6].

٣-٣ عملية موازنة الحمل:

موازنة الحمل هي عملية توزيع الأحمال الكبيرة على عقد المعالجة الصغيرة للحصول على أفضل زمن استجابة والاستثمار الأمثل للموارد الفيزيائية والبرمجية بالتالي تحسين الأداء الكلي للنظام [7]. تساعد موازنة الحمل على التوزيع العادل لموارد الحوسبة بهدف تحقيق مستوى عالي من رضى الزبون وبالتالي فإن الاستخدام الصحيح للموارد وموازنة الحمل السليمة تؤدي إلى استثمار الموارد المتاحة بالشكل الأمثل بعيداً عن الحاجة لإضافة معدات جديدة بكلفة باهظة.

تستخدم موازنة الحمل لتوزيع الحمل على عقد المعالجة بالشكل الذي يحقق أقصى قدر من الإنتاجية وزمن الاستجابة صغير مع مراعاة تجنب الحمل الزائد للعقد [8]. من الضروري تنفيذ موازنة الحمل بالشكل الصحيح لأن فشل عقدة من العقد يمكن أن يؤدي إلى عدم توفر البيانات. يجب أن تتجنب خوارزمية موازنة الحمل الجيدة الحمل الزائد والحمل المنخفض على عقدة معينة بحيث لا يكون هنالك عقد محملة بحمل عالي وعقد أخرى في حالة خمول.

٣-٤ النموذج المقترح:

يتم نمذجة الشبكة الفيزيائية على شكل رسم بياني غير موجه (Undirected graph) يرمز له بالرمز $G=(V;E)$ والموضح في الشكل (١).

حيث:

V : مجموعة العقد الموجودة في الشبكة و $V = C \cup F$.

C : مجموعة العقد الموجودة في مركز السحابة (المستوى الثالث).

F : مجموعة العقد الموجودة في حافة السحابة (المستوى الأول) ومجموعة عقد المستوى الثاني .

E : مجموعة من الحواف (الوصلات) التي تربط بين العقد.

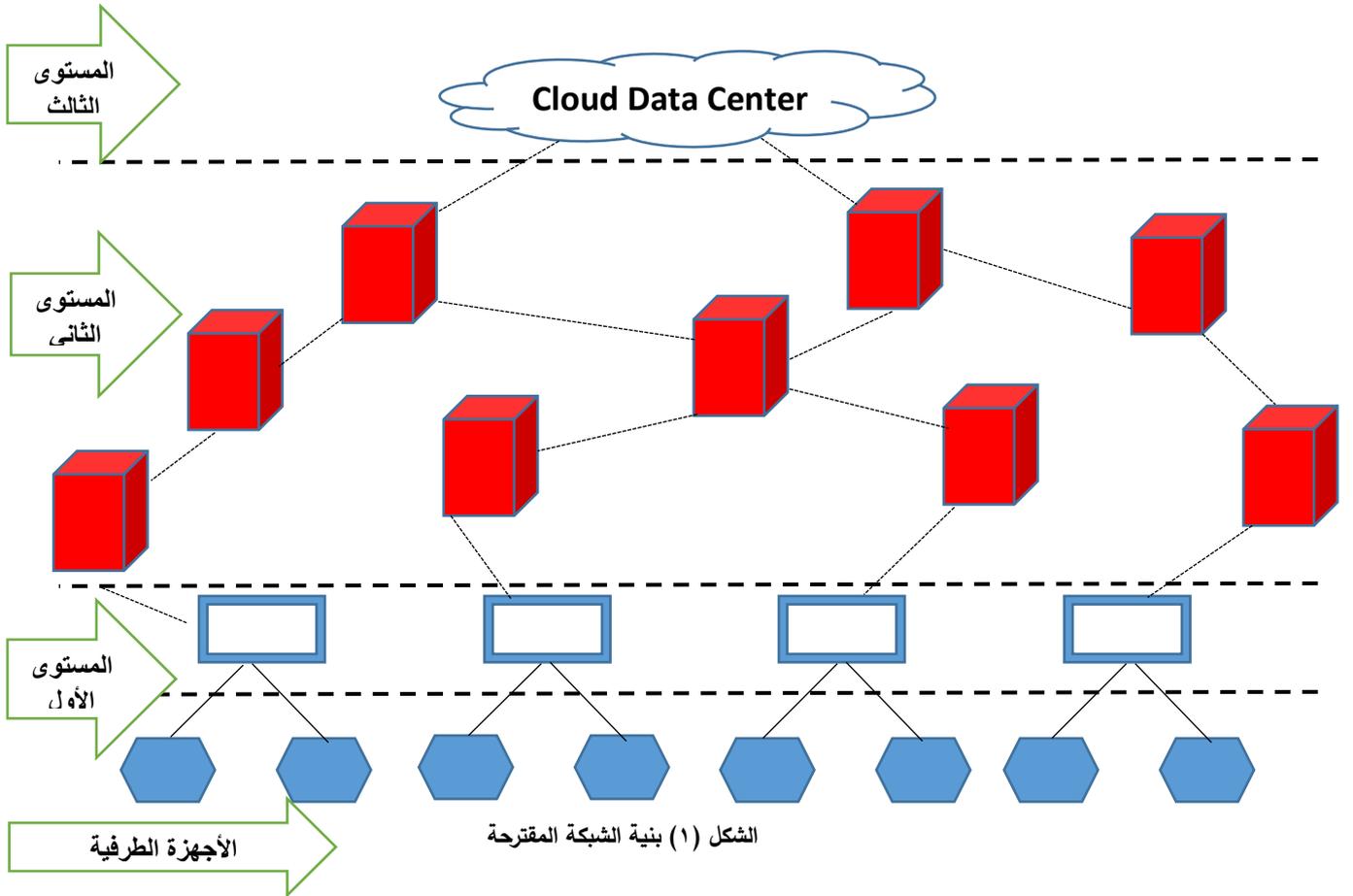
بفرض المجموعة A تمثل مجموعة من خدمات الانترنت الأشياء المراد تنفيذها، كل خدمة يجب أن يتم تخصيصها إلى أحد العقد الموجودة في السحابة وذلك بحسب متطلبات المهمة المراد تنفيذها مثل الزمن الحدي للتنفيذ Deadline وهو يمثل الموعد النهائي (الزمن) الذي يجب قبله الانتهاء من تنفيذ المهمة، وسعة المعالجة وتمثل طاقة المعالجة التي تحتاجها المهمة المراد تنفيذها والتخزين ويمثل حجم الذاكرة اللازم لتخزين المهمة. عندما تصل خدمات

انترنت الأشياء المراد تنفيذها إلى حافة السحابة فإن العقد الموجودة في الحافة تعتبر مسؤولة عن اتخاذ القرار بتحديد المكان الذي سيتم تخصيص المهمة إليه. يعتمد النموذج المقترح على تسلسل هرمي لحوسبة الحافة وهو عبارة عن بنية مكونة من ثلاث مستويات وهي:

يمثل المستوى الأول حافة الشبكة وهو مجموعة من العقد القريبة من أماكن توضع أجهزة إنترنت الأشياء. يمثل المستوى الثاني مجموعة العقد الأبعد عن أماكن توضع أجهزة إنترنت الأشياء وذات موارد أعلى من المستوى الأول.

يمثل المستوى الثالث مركز السحابة Cloud Center وهو أبعد من المستويين السابقين عن أماكن توضع أجهزة إنترنت الأشياء الذي يحتوي عدد عقد وموارد أعلى من المستويين السابقين.

يمثل الشكل (١) بنية الشبكة المقترحة:



الموارد المخصصة لكل آلة افتراضية مختلفة وعادة ما تتغير بشكل ديناميكي، وتستخدم هذه الموارد من أجل تقييم قدرة كل آلة افتراضية [10].

من أجل تسهيل الحسابات يتم تحديد عتبة عليا لاستهلاك الموارد، عندما تتجاوز قيمة البارامتر هذه العتبة يتم اختيار قيمة العتبة بدلاً من القيمة الفعلية [10] وذلك منعا لاستنزاف موارد العقدة بشكل كامل.

$$\tau_{CPU} = \frac{P_{CPU}}{P_{Max}} \times 100\% \quad CPU$$

$$\tau_{mi} = \frac{mi}{mi_{Max}} \times 100\% \quad \text{Internal Storage} \quad [2]$$

$$\tau_{me} = \frac{me}{me_{Max}} \times 100\% \quad \text{External Storage}$$

$$\tau_j = (\phi_1 \times \tau_{CPU}) + (\phi_2 \times \tau_{mi}) + (\phi_3 \times \tau_{me}) \quad : \sum \phi = 1$$

حيث:

τ_{CPU} : طاقة المعالجة المتوفرة لدى العقدة بالنسبة إلى العتبة العليا المسموحة لطاقة المعالجة المستهلكة.

τ_{mi} : حجم ذاكرة التخزين الداخلية المتوفرة لدى العقدة بالنسبة إلى العتبة العليا المسموحة لذاكرة التخزين الداخلي المستهلكة.

τ_{me} : حجم ذاكرة التخزين الخارجية المتوفرة لدى العقدة بالنسبة إلى العتبة العليا المسموحة لذاكرة التخزين الخارجية المستهلكة.

τ_i : القدرة الكلية المتوفرة للعقدة.

p_{cpu} : طاقة المعالجة المتوفرة لدى العقدة.

mi : حجم ذاكرة التخزين الداخلية المتوفرة لدى العقدة.

me : حجم ذاكرة التخزين الخارجية المتوفرة لدى العقدة.

P_{max} : العتبة العليا المسموحة لطاقة المعالجة المستهلكة.

Mi_{max} : العتبة العليا المسموحة لذاكرة التخزين الداخلي المستهلكة.

Me_{max} : العتبة العليا المسموحة لذاكرة التخزين الخارجية المستهلكة.

ϕ معامل وزن لضبط تأثير الموارد الفيزيائية في الحوسبة السحابية.

تقييم كل آلة افتراضية يتغير بشكل مستمر وذلك يتبع لعدة عوامل:

• ينقص تقييم الآلة الافتراضية τ_j عندما يتم تخصيص مهمة جديدة إليها ومقدار النقص $(1-\mu)$

في التقييم يكون بناءً على نسبة الموارد المستهلكة بالنسبة للموارد الكلية المخصصة لهذه العقدة [10]:

$$\tau_j(t+1) = (1-\mu) \times \tau_j(t) \quad (1)$$

حيث: μ معامل لتحديد درجة استهلاك الموارد.

• يزداد تقييم قدرة الآلة الافتراضية τ_j عند الانتهاء من تنفيذ مهمة معينة ومقدار الزيادة في التقييم

يكون بناءً على نسبة الموارد المحررة والتي كانت مخصصة لتلك المهمة.

$$\tau_j(t+1) = (1+\lambda) \times \tau_j(t) \quad (2)$$

حيث: λ معامل متعلق بنسبة الموارد المحررة.

يمكن توضيح المعادلتين (١) و (٢) بأنه في لحظة معينة (t) تكون قدرة العقدة J هي $\tau_j(t)$ ، بالتالي في اللحظة (t+1) إذا تم تخصيص مهمة جديدة للعقدة J يتم تطبيق المعادلة (١)، وإذا انتهت العقدة J من تنفيذ مهمة ما يتم تطبيق المعادلة (٢).

تتبع عقد المستوى الأول نهج تعاوني من أجل تخصيص المهمة الواردة إلى عقدة أخرى موجودة ضمن المستوى الثاني أو الثالث.

الهدف الأساسي من موازنة الحمل هو تخفيض الانحراف المعياري σ للحمل بين الآلات الافتراضية بحيث تكون قيمته قريبة جداً من الصفر. حيث يستخدم الانحراف المعياري σ لقياس مدى تبعثر (تشتت) البيانات عن قيمة المتوسط الحسابي Average [11][12].

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{V} \times \sum_{j=1}^V (Load(f_j) - Average(Load))^2} \quad (8)$$

حيث :

V: عدد العقد.

Load(f_j): الحمل الحالي الموجود على العقدة f_j .

Average(Load): المتوسط الحسابي للحمل على العقد.

تنشئ أجهزة انترنت الأشياء طلبات خدمة يتم إرسالها إلى العقد الموجودة في حافة الشبكة (عقد المستوى الأول) ليتم اتخاذ القرار بالعقدة التي سيتم تخصيص المهام إليها. العقد المستقبلية للمهام تعرف متطلبات المهمة والموارد المتاحة لعقد المستوى الثاني القريبة منها. تشارك جميع العقد التي تستقبل مهام في إنشاء مخطط لتخصيص المهام واختيار الخطة الأفضل.

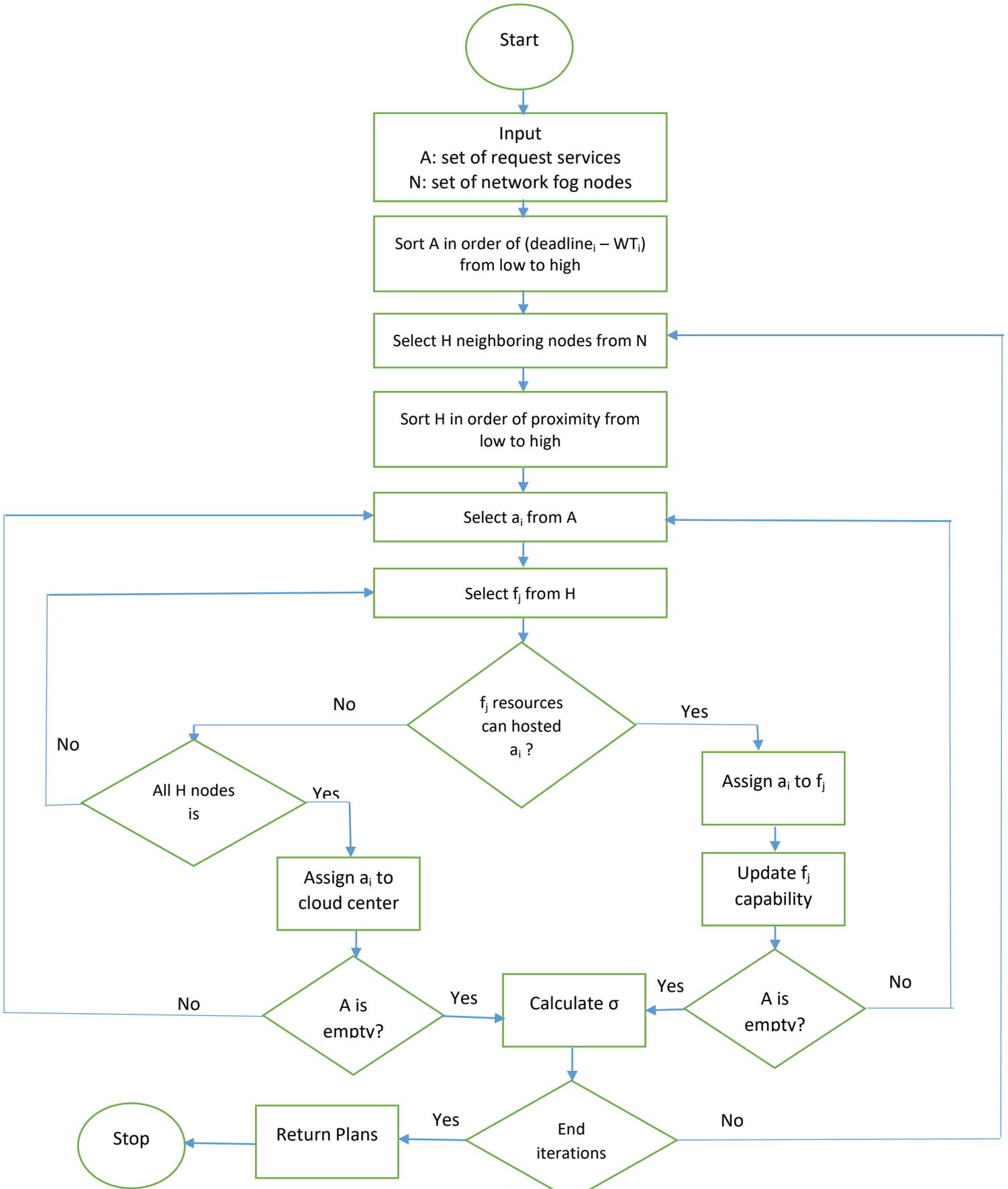
تقوم كل عقدة في الحافة عند استقبال مهمة بإنشاء مجموعة من المخططات لتخصيص المهام وحساب قيمة الانحراف المعياري للحمل بين العقد لكل مخطط.

تهدف كل عقدة إلى إيجاد المخطط الذي يحقق أصغر قيمة انحراف معياري تكون قريبة جداً من الصفر بالتالي إذا كانت العقد الطرفية الأقرب قادرة على تنفيذ المهام الواردة فسيتم تخصيص المهام إليها لتقليل انتهاكات ال Deadline وتقليل حركة المرور في الشبكة.

من أجل عملية توليد مخطط تخصيص مهام واحد (تكرار واحد للخطوات الموضحة في الشكل (٢)):

- تقوم كل عقدة حافة بترتيب المهام الواردة من الأقل إلى الأعلى من حيث الاختلاف بين ال Deadline وزمن الانتظار الذي انتظرته المهمة وذلك من أجل تخصيص المهام التي اقتربت من نهاية زمن التنفيذ الحدي Deadline أولاً منعاً لحصول إسقاط للمهمة بسبب نهاية زمن التنفيذ الحدي الخاص بها.
- تختار العقدة بشكل عشوائي مجموعة من عقد المستوى الثاني المجاورة (H) المتاحة لاستقبال المهمة.
- تقوم عقدة الحافة بترتيب عقد المستوى الثاني المختارة (H) في الخطوة السابقة بحسب البعد من الأقرب إلى الأبعد وذلك لتقليل زمن الانتشار قدر الإمكان.
- تقوم العقدة بتخصيص المهام المرتبة في الخطوة الأولى الواحدة تلو الأخرى ثم حساب قيمة الانحراف المعياري ومن ثم توليد المخطط.
- يتم تصدير المخططات المولدة إلى جميع عقد الحافة من أجل إيجاد أفضل مخطط لتخصيص المهام والذي يحقق أقل قيمة للانحراف المعياري.

يوضح الشكل (٢) مخطط تدفق للنموذج المقترح.

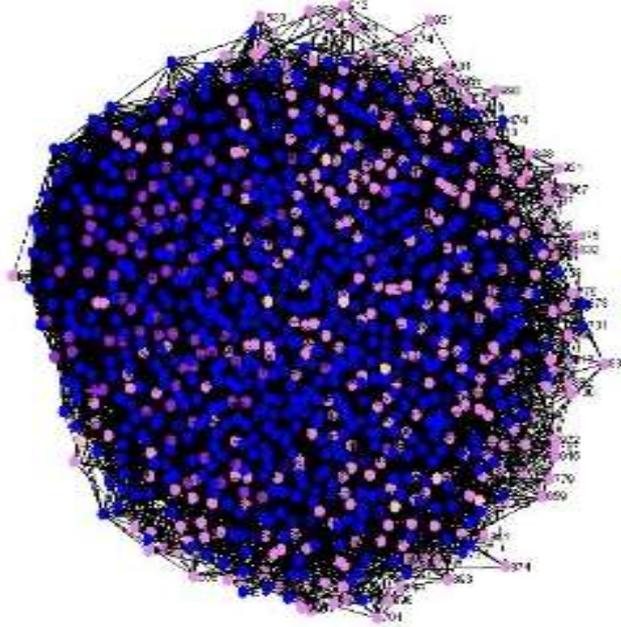


كل عقدة حافة تقوم بتوليد عدد معين من مخططات تخصيص المهام الممكنة وحساب قيمة الانحراف المعياري لكل مخطط. في الخطوة التالية تتعاون جميع عقد الحافة لاختيار أفضل مخطط من بين المخططات المولدة.

معياري الانتهاء من التكرار يحدده مدير النظام بعدد محدد من التكرارات، بعد الانتهاء منها كل عقدة حافة تقوم بتخصيص المهام الواردة إليه إلى عقد المستوى الثاني أو عقد المستوى الثالث (مركز السحابة) بحسب المخطط الذي تم اختياره.

٤ - النتائج والمناقشة:

بسبب كلفة وتعقيد تنفيذ نموذج واقعي لهذا النظام سيتم الاعتماد على النمذجة الرياضية والرسوم البيانية لنمذجة العلاقات ضمن بنية الشبكة المقترحة [14] [13]. سيتم الاعتماد على نمذجة الرسوم البيانية باستخدام طوبولوجيا (ER) Erdos Renyi [17].
يوضح الشكل (٣) طوبولوجيا ER المولدة من أجل ١٠٠٠ عقدة.



الشكل (٣) طوبولوجيا ER من أجل ١٠٠٠ عقدة

تم إجراء المحاكاة باستخدام برنامج NetBeans باستخدام لغة Java لمحاكاة شبكة العقد من الحافة إلى السحابة [16] [15]. تم استخدام عبء عمل الإدخال بالاعتماد على مجموعة بيانات Google Cluster Trace [18] والذي يحتوي على بيانات تم جمعها من مجموعة متنوعة من أعباء عمل الإدخال على ١٢٥٠٠ جهاز لمدة ٣٠ يوم.

يتم تعيين عدد المخططات لكل وكيل بـ ٢٠ مخطط من أجل زيادة احتمالية الحصول على أفضل مخطط تخصيص مهام ممكن، ويمكن جعل عدد المخططات المولدة من قبل كل عقدة حافة أقل أو أعلى بحسب عبء العمل الوارد، فإذا كان عبء العمل كبير يمكن تخفيض عدد المخططات المولدة لتجنب التأخير الزمني الناتج عن

عملية توليد المخططات، وإذا كان عبء العمل منخفض يمكن زيادة عدد المخططات لزيادة احتمالية الحصول على أفضل عملية تخصيص مهام.

يتم إجراء التقييم على خمس فترات خلال كل فترة يتدفق عدد كبير من مهام الانترنت الأشياء إلى حافة الشبكة ويتم توزيع المهام الواردة خلال كل فترة على عقد الحافة بشكل عشوائي. سيتم إجراء المحاكاة باستخدام الطوبولوجيا ER_200 وذلك باستخدام ٢٠٠ عقدة فقط وذلك لزيادة الحمل على العقد وإثبات كفاءة النهج المقترح وقدرته على تقديم أفضل أداء في ظروف الحمل العالي وعدد العقد القليل.

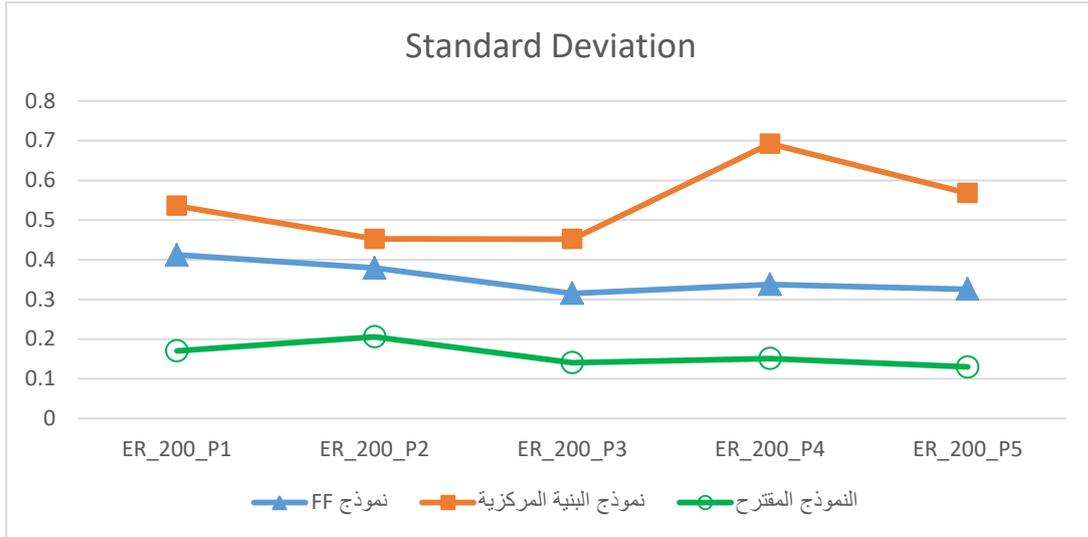
تم اعتماد التقييم والمقارنة مع نموذج First Fit وهو نموذج مستخدم في توزيع المهام ضمن بنية شبكة متعددة المستويات ويعتمد على تقليل تأخير الانتقال بين العقد، حيث تتعقب كل عقدة تأخير الانتقال بينها وبين باقي العقد (عدد القفزات) وتقوم بإعداد قائمة بالعقد المجاورة لها ليكون لها أولوية في تخصيص المهام إليها إذا كانت تملك موارد كافية لتنفيذ المهمة [19]. كما سيتم مقارنة النموذج المقترح مع البنية المركزية والتي تمثل وجود عقدة تسمى موازن حمل (Load Balancer) تقوم باستقبال جميع المهام الواردة وتخصيصها إلى العقد السحابية. يتم التقييم من خلال حساب قيمة الانحراف المعياري للحمل بين جميع العقد والتي يجب أن تكون أقل ما يمكن.

يوضح الجدول (١) نتائج المحاكاة التي تم الوصول إليها لكل من النموذج المقترح ونموذج FF ونموذج البنية المركزية من حيث قيمة الانحراف المعياري للموارد المستهلكة (الحمل) في كل مرحلة من المراحل الخمسة المذكورة أعلاه.

النموذج المقترح	نموذج البنية المركزية	نموذج FF	
0.170341	0.535751	0.412272	ER_200_P1
0.205679	0.452516	0.37904	ER_200_P2
0.140558	0.452141	0.315266	ER_200_P3
0.151118	0.692056	0.337764	ER_200_P4
0.129582	0.567842	0.325448	ER_200_P5

الجدول 1 قيم الانحراف المعياري للحمل الناتجة عن المحاكاة

يمكن تلخيص الجدول (١) وبيان الفرق بين النموذج المقترح وكل من نموذج FF ونموذج البنية المركزية من خلال الشكل (٤).



الشكل (٤) الفرق بين النموذج المقترح وكل من نموذج FF ونموذج البنية المركزية من حيث قيمة الانحراف المعياري تظهر النتائج أن النهج التعاوني اللامركزي المقترح يتفوق على خوارزمية FF ونهج موازنة الحمل المركزي. يشير هذا إلى أن النهج اللامركزي أكثر فعالية في موازنة الحمل داخل بيئات حوسبة الحافة. يتضمن النهج المقترح توزيع صنع القرار والتنسيق بين العقد الطرفية، مما يسمح لها بالعمل معًا لتحسين توزيع الأحمال. تؤدي هذه المرونة إلى موازنة أفضل للحمل في بيئات الحواف الديناميكية وغير المتجانسة. تظهر النتائج أن خوارزمية FF قد توفر نتائج معقولة في بعض الحالات، فقد لا يكون بنفس كفاءة النهج اللامركزي في التعامل مع السيناريوهات المعقدة. من ناحية أخرى، يعتمد نهج موازنة الحمل المركزية على سلطة مركزية لاتخاذ القرار، والتي يمكن أن تؤدي للوقوع في مشكلة عنق الزجاجة خاصة في شبكات الحافة واسعة النطاق. هذا يمكن أن يفسر أدائها المتدني مقارنة بالمناهج الأخرى. بشكل عام، يوضح نجاح النهج التعاوني اللامركزي المقترح الفوائد المحتملة لزيادة التعاون واللامركزية لموازنة الأحمال في بيئات الحوسبة السحابية مما يمهد الطريق لحلول أكثر كفاءة وقابلة للتطوير في المستقبل.

٥ - الاستنتاجات والتوصيات:

يعد توفير الموارد في إطار تطوير إنترنت الأشياء أمرًا محوريًا للتعامل مع العوائق في التطورات المستندة إلى السحابة مع تلبية النطاق الواسع لضروريات إدارات إنترنت الأشياء. في هذا البحث، عززنا طريقة أخرى للتعامل مع موازنة الحمل في الحوسبة السحابية باستخدام بنية متعددة المستويات، داخل بيئة غير متجانسة فيما يتعلق بالموارد. أظهرت النتائج أن النموذج المقترح يعطي حملًا ناجحًا ومثاليًا حيث حقق النموذج المقترح قيم انحراف معياري للحمل تساوي (0.170341) (0.205679) (0.140558) (0.151118) (0.129582) لكل فترة من فترات المحاكاة على التوالي متفوقا على نموذج FF الذي حقق قيم انحراف معياري للحمل (0.412272) (0.37904) (0.315266) (0.337764) (0.325448) لكل فترة من فترات المحاكاة على التوالي، ومتفوقا أيضا على نموذج البنية المركزية الذي حقق قيم انحراف معياري للحمل (0.535751) (0.452516) (0.452141) (0.692056) (0.567842) لكل فترة من فترات المحاكاة على التوالي.

يركز هذا البحث على كيفية عمل تحسين عملية تخصيص الموارد لخدمات إنترنت الأشياء والحصول على توزيع عادل للحمل أثناء استخدام الموارد على حافة الشبكة. يقدم النموذج المقترح طريقة لإنشاء مخططات لتخصيص المهام ويكون اختيار المخطط على المستوى الكلي تعاونياً. في الأعمال المستقبلية يمكن تطوير النموذج المقترح بحث يأخذ بعين الاعتبار قيمة الانحراف المعياري للمخططات المولدة بالإضافة لكلفة التنفيذ وانتهاكات زمن التنفيذ الحدي (Deadline).

٦ - المراجع:

- [1] Buyya, R., & Srirama, S. N. (Eds.). (2019). Fog and edge computing: principles and paradigms. John Wiley & Sons.
- [2] Kong, L., Tan, J., Huang, J., Chen, G., Wang, S., Jin, X., ... & Das, S. K. (2022). Edge-computing-driven internet of things: A survey. *ACM Computing Surveys*, 55(8), 1-41.
- [3] Yousefpour, A., Fung, C., Nguyen, T., Kadiyala, K., Jalali, F., Niakanlahiji, A., ... & Jue, J. P. (2019). All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey. *Journal of Systems Architecture*, 98, 289-330.
- [4] Kanellopoulos, D., & Sharma, V. K. (2022). Dynamic load balancing techniques in the IoT: A review. *Symmetry*, 14(12), 2554.
- [5] Shen, S., Ren, Y., Ju, Y., Wang, X., Wang, W., & Leung, V. C. (2022). Edgematrix: A resource-redefined scheduling framework for sla-guaranteed multi-tier edge-cloud computing systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 41(3), 820-834.
- [6] Chalack, V. A., Razavi, S. N., & Gudakahriz, S. J. (2017). Resource allocation in cloud environment using approaches based particle swarm optimization. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 6(2), 87-90.
- [7] Shafiq, D. A., Jhanjhi, N. Z., & Abdullah, A. (2022). Load balancing techniques in cloud computing environment: A review. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 34(7), 3910-3933.
- [8] Dhari, A., & Arif, K. I. (2017). An efficient load balancing scheme for cloud computing. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(11), 1-8.
- [9] Phi, N. X., Tin, C. T., Thu, L. N. K., & Hung, T. C. (2018). Proposed load balancing algorithm to reduce response time and processing time on cloud computing. *Int. J. Comput. Netw. Commun*, 10(3), 87-98.
- [10] Stephen, A., Shanthan, B. H., & Ravindran, D. (2018). Enhanced round Robin algorithm for cloud computing. *Int J Sci Res Comput Sci Appl Manag Stud*, 7(4), 1-5.
- [11] Fadahunsi, O., & Maheswaran, M. (2019). Locality sensitive request distribution for fog and cloud servers. *Service Oriented Computing and Applications*, 13, 127-140.
- [12] Jena, U. K., Das, P. K., & Kabat, M. R. (2022). Hybridization of meta-heuristic algorithm for load balancing in cloud computing environment. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 34(6), 2332-2342.
- [13] N.S. Raghava and Deepti Singh, "Comparative study on Load balancing techniques in cloud computing", *Open Journal of Mobile Computing and Cloud Computing*. Vol. 1, Num. 1 . August 2014. PP 18-25.

[14] Ruhi Gupta, “Review on Existing Load Balancing Techniques of Cloud Computing”, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engg. Vol.4 Iss. 2, Feb. 2014. Pp: 168-171.

[15] Gao, R., & Wu, J. (2015). Dynamic load balancing strategy for cloud computing with ant colony optimization. *Future Internet*, 7(4), 465-483.

[16] Chien, N. K., Son, N. H., & Loc, H. D. (2016, January). Load balancing algorithm based on estimating finish time of services in cloud computing. In 2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) (pp. 228-233). IEEE.

[17] Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764-766.

[18] Albert, R., & Barabási, A. L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of modern physics*, 74(1), 47.

[19] Kashani, M. H., & Mahdipour, E. (2022). Load Balancing Algorithms in Fog Computing. *IEEE Transactions on Services Computing*, 16(2), 1505-1521.