

A Comparative Study of Services Placement Algorithms in Future Networks

Manar Yacoub Al-Jabr

Ali Diab

Jomana diab

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering || Al-Baath university || Syria

Abstract: The study aimed to analyze and compare several algorithms in the context of networks services placement, and then proposed a self-organized dynamic heuristic algorithm adaptable to continually changing network conditions in order to achieve the ideal placement of services replicas in future networks. It is known that future networks demand a high degree of self-organization to keep pace with ongoing changes while maintaining performance optimized. One of the important challenges in this context is the services placement problem. Service placement issue refers to the selection of the most appropriate network node for hosting a service. The ideal placement of services replicas reduces the cost of serving customers, improves connectivity between clients and servers as well as the use of available resources. The study summarized the results of qualitative comparison between several placement algorithms and refers to the most important requirements to be taken into account when implementing the placement algorithm. Generally, each service has its own placement technique, and the action taken by a specific service may affect other services decisions and force them to adapt. There is an urgent need to a management service for managing services replicas to make the optimal placement decision. This service should work in a distributed manner and does not require comprehensive knowledge about the network. It is also characterized by its ability to adapt to changing network conditions in terms of load and topology. Other services coordinate with the management service about replicating or migrating actions, thus services will be offered at a minimized cost.

Keywords: Self-Organizing Networks (SON), Services placement, Facility Location Theory, Heuristic algorithm.

دراسة مقارنة لخوارزميات توضع الخدمات في الشبكات المستقبلية

منار يعقوب الجبر

علي ذياب

جمانة الدياب

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية || جامعة البعث || سورية

المستخلص: هدفت الدراسة إلى تحليل ومقارنة العديد من الخوارزميات ضمن مجال توضع الخدمات في الشبكات، ومن ثم اقتراح خوارزمية استدلالية ديناميكية ذاتية التأقلم متكيفة مع التغيرات المستمرة في شروط الشبكة من أجل إنجاز التوزيع المثالي لنسخ الخدمات في الشبكات المستقبلية. من المعلوم أن الشبكات المستقبلية تتطلب درجة عالية من التأقلم الذاتي من أجل مواكبة التغيرات المستمرة مع المحافظة على مستوى أداء مثالي. إحدى التحديات العلمية الهامة ضمن هذا السياق هي مسألة توضع الخدمات. تشير مسألة توضع الخدمات (Service Placement) إلى اختيار العقدة الأنسب ضمن الشبكة من أجل استضافة الخدمة، إذ يقلل التوزيع المثالي لنسخ الخدمات من كلفة تخديم الزبائن، ويحسن الاتصال بين الزبائن والخوادم وكذلك استخدام الموارد المتوفرة.

لخصت الدراسة نتائج المقارنة بين العديد من خوارزميات التوزيع وأشارت إلى أهم المتطلبات الواجب أخذها بالحسبان عند تنفيذ خوارزمية التوزيع. تمتلك كل خدمة على العموم تقنية توزيع خاصة بها، وقد يؤثر الفعل المتخذ من قبل خدمة محددة على قرارات توزيع بعض الخدمات الأخرى وإجبارهم على التكيف. توجد حاجة ملحة لوجود خدمة مديرة لإدارة نسخ الخدمات الأخرى من أجل اتخاذ قرار التوزيع المثالي. يجب أن تعمل هذه الخدمة بطريقة موزعة ولا تتطلب معرفة شاملة عن الشبكة. تمتاز أيضاً بقدرتها على التأقلم مع شروط الشبكة المتغيرة من ناحية الحمل والبنية. تقوم الخدمات الأخرى بالتنسيق مع الخدمة المديرة حول عمليات النسخ أو الترحيل، وبالتالي يتم توفير الخدمات بكلفة مثالية صغرى.

الكلمات المفتاحية: الشبكات ذاتية التأقلم، توزيع الخدمات، نظرية مواقع الخدمات، خوارزمية استدلالية.

1- المقدمة.

تمتاز الشبكات الخلوية المستقبلية بمرونة عالية تجاه التغيرات المستمرة (تغير مستمر في البنية، الحمل، الخدمات، المصادر وغيرها)، وبالتالي تتطلب درجة عالية من التأقلم الذاتي من أجل مواكبة هذه التغيرات المستمرة مع المحافظة على مستوى أمثل في الأداء.

إنّ التقنيات المستخدمة من أجل نسخ وتوزيع المحتوى ضمن شبكات توزيع المحتوى التقليدية Content (Distribution Networks) من حيث نسخ المحتوى إلى مكان قريب من الزبون، غير كافية ضمن شبكات الاتصالات اللاسلكية الحديثة، لاسيما في ظروف عرض الحزمة الكبير المطلوب لتبئته في هذه الشبكات، نتيجة الطلب المتزايد من قبل الزبائن على الخدمات، وخاصة خدمات الميديا والفيديو [8]، إذ إنّ انتشار خدمات الهاتف المحمول المبتكرة تحتاج إلى تقنيات وصول من أجل استخدام المصادر المتاحة بزمن استجابة صغير جداً، وهذا لا يمكن تحقيقه من خلال الأنظمة المركزية الحالية، ومن المتوقع أن يستمر هذا الاتجاه دون هوادة وأن يلعب دوراً مهماً في شبكات الجيل الخامس 5G من أجل دعم كل من الخدمات ذات العمليات المعقدة حسابياً والخدمات الحساسة للزمن [16]. ومن أجل التأقلم مع هذا النمو المتسارع في حجم حركة البيانات ضمن الشبكات الخلوية المستقبلية، لا بد من تحقيق متطلبات أكثر تعقيداً في البنى التحتية لهذه الشبكات مع الحفاظ على جودة الخدمات المقدمة.

يتم تحقيق الشبكات ذاتية التأقلم (Self-Organizing Networks (SON)) من خلال تفعيل مجموعة من الوظائف الخاصة بالتنظيم الذاتي التلقائي، والحد من التدخل البشري في التخطيط، النشر، وتحسين الأداء والصيانة [17].

يُعتبر توزيع الخدمات ذاتية التأقلم (Self-organized Service Placement) جزءاً من عمليات التنظيم والتأقلم الذاتي في الشبكات المستقبلية، ويمثل إحدى التحديات العلمية الهامة ضمنها. تُشكل بنية الخوارزمية التي تنجز التوزيع المحور الأساس في بناء نظام توزيع الخدمات، وقد تكون مركزية تعمل ضمن عقدة واحدة أو موزعة على مجموعة من العقد المتشاركة فيما بينها قرار التوزيع.

2- مشكلة الدراسة

تُعدّ مسألة توزيع الخدمات إحدى التحديات العلمية الهامة ضمن الشبكات المستقبلية ذاتية التأقلم، إذ يمكن صياغة مشكلة الدراسة في التساؤلات التالية:

- 1- ما هو الفعل المتخذ من قبل العقد الخوادم في حالات الحمل الزائد أو نقصانه؟
- 2- متى يجب اتخاذ القرار بنسخ أو ترحيل الخدمة إلى عقدة جديدة؟
- 3- أين يجب وضع الخدمات ومثيلاتها من نسخ الخدمات (Replicas) في الشبكة؟
- 4- كم هو العدد المناسب المطلوب من نسخ الخدمة؟

- 5- كيف تتم إدارة والتنسيق بين نسخ الخدمات المتعددة (Disjoined Services)؟
 6- كيف تتم عملية خلق نسخة من الخدمة ضمن عقد بديلة؟
 7- كيف يتم التأقلم والاستجابة للتغيرات الآنية في شروط الشبكة (طلبات الزبائن، مواقع العقد، الحمل وغيرها.....)؟

3- فرضيات الدراسة

تفترض الدراسة:

- 1- على فرض أنه لدينا البيان الآتي الممثل للشبكة، والمعرف بالشكل $G = (V, E)$ ، حيث تمثل V مجموعة الرؤوس وتقابل العقد في الشبكات المستقبلية، بينما تمثل E الحواف للبيان الممثلة للوصلات بين العقد، فيكون بالتالي $E \subseteq V * V$ [4].
 2- على فرض أن متحول القرار X_{ij} يمثل عملية التوزيع أو الإسناد (Allocation Variable) فتكون قيمته:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & ; \text{ إذا أسند الرأس } V_j \text{ إلى الرأس } V_i \\ 0 & ; \text{ في الحالات الأخرى} \end{cases}$$

- 3- نفرض أن العقد المضيفة للخدمة h ، وأن العقد الزبون c ، فتكون كلفة توفير الخدمة لزبون معطاة بالعلاقة: $d_{h,c} \delta(s, c)$ حيث تمثل $d_{h,c}$ المسافة بين الزبون والعقد المضيفة (عدد القفزات)، بينما تمثل $\delta(s, c)$ عرض الحزمة المطلوب مقدراً بالبايت من أجل توفير الخدمة للزبون [22]. يتم في حال وجود أكثر من نسخة للخدمة، اختيار العقد الأقرب للزبون من أجل الحصول على الخدمة، حيث تمثل عملية انتخاب العقد المزودة للخدمة بالمعادلة:

$$\eta(s, c) = \arg \min_{h \in H} d_{h,c}$$

- 4- يمكن مما سبق تمثيل تابع الكلفة للزبائن ضمن عقد محددة على النحو الآتي:

$$C_{clients}(s, h) = \sum_{c \in C_{s,h}} d_{\eta(s,c)} \delta(s, c)$$

- والهدف هو إيجاد التوزيع المثالي للخدمات بحيث تكون الكلفة أصغر ما يمكن.
 5- لا توجد معرفة عامة عن الشبكة لدى العقد، وهذه المسألة من النوع (NP-Hard).

4- أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى:

- دراسة مسألة توزيع الخدمات ذاتية التأقلم في الشبكات المستقبلية.
- دراسة الخوارزميات المستخدمة ضمن مجال توزيع الخدمات في الشبكات.
- تحليل بنية خوارزميات توزيع الخدمات وتقييمها، ثم المقارنة بينها وفقاً لمجموعة من المعايير، ودراسة مدى ملاءمتها للتطبيق ضمن الشبكات المستقبلية وقدرتها على التأقلم الذاتي.

- اقتراح خوارزمية حيوية ذاتية التأقلم قادرة على التعلّم من معطيات الشبكة واتخاذ قرار توضع نسخ الخدمة ضمن عقد قريبة من الزبائن، ممّا يحقق وفرةً في عرض الحزمة المستخدم وإنقاص زمن تلبية هذه الخدمة، وبالتالي الكلفة الناتجة عن تقديم الخدمات للزبائن.
- توسيع فكرة الخوارزمية المقترحة لتشمل حالة وجود خدمات مختلفة (Disjoined Services) ضمن الشبكة تتنافس على المصادر الموجودة وشرح آلية التنفيذ.

5- أهمية البحث:

تنبع الأهمية العلمية للدراسة من دورها في إنقاص الكلفة الاقتصادية الناتجة عن توفير الخدمات المختلفة ضمن الشبكات المستقبلية، وتحقيق التأقلم الذاتي من خلال اختيار العقد المناسبة لاستضافة الخدمات ونسخها، كما سيتم ضمان عمل الشبكة بشكل موثوق، وتحسين جودة الخدمات، والتوفير في عرض الخدمة المستخدم وإنقاص زمن الاستجابة.

6- تعريف المصطلحات والمفاهيم:

- الخدمة (Service): سوف نقدّم تعريف الخدمة كما ورد ضمن Service Oriented Architectures (SOAs) على أنّها آلية تمكّن من الوصول إلى مجموعة من الإمكانيات المتاحة عبر واجهة موصوفة بشكل مسبق، مع تقييد الوصول من خلال قواعد وأذونات محددة [12]. يتم منح الخدمة من خلال مكّون برمجيّ تنفذه عقدة واحدة أو أكثر ضمن الشبكة، دون توفر معلومات مسبقاً لديها عن المستفيدين من هذه الخدمة.
- نسخة (مثيل) الخدمة (Service Replica): هي عبارة عن نسخة من المكوّن البرمجيّ للخدمة، تعمل ضمن عقد مختلفة في الشبكة. يجب أن تتبادل النسخ المعلومات فيما بينها من أجل المحافظة على مزامنة الحالة العامة للخدمة، فيما يتعلّق بطلبات الزبائن وترابط المعطيات بينها [22].
- نظام توضع الخدمة (Service Placement System): هو عبارة عن مجموعة المكونات البرمجية التي تقوم بإنجاز التشكيل المطلوب للخدمة بناءً على التغيرات الآتية الحاصلة في الشبكة، من خلال مجموعة من الوظائف، منها قياس جودة الخدمة، وبالتالي اتخاذ قرار إعادة التوزيع وإجراء التغييرات اللازمة [22].

7- منهجية الدراسة.

- أ- منهجية التحليل: اعتمدت منهجية التحليل ضمن الدراسة على الاستنباط والتركيب، حيث تناولت الدراسة مجموعة من الخوارزميات المرجعية في مجال توضع الخدمات في الشبكات، وأجريت المقارنة بينها وفقاً لمجموعة من المعايير الهامة وفي النهاية تم اقتراح خوارزمية استدلالية موزعة تحقّق التوزيع المثالي للخدمات بأصغر كلفة ممكنة، مع مراعاة تنوع الخدمات وتنافسها على المصادر وإدارة تواجدتها مع بعضها البعض من خلال اقتراح تقنية موزعة لإدارة توضع نسخ عديدة من الخدمات، ممّا يحقق وفرةً في استخدام المصادر المتاحة وتحسين جودة الخدمات المقدّمة وتوفير عرض الحزمة المستخدم.
- ب- مصادر البيانات: تمّ اعتماد عدد من الدراسات المرجعية والأبحاث السابقة ضمن مجال توضع الخدمات في الشبكات كمصادر للبيانات، وتطبيق بعض الاختبارات ضمن بيئة المحاكى (ns-3) من خلال تنفيذ محاكاة سيناريوهات متنوعة لشبكات بأحجام مختلفة وأحمال متنوعة من أجل تقييم أداء الخوارزميات والمقارنة بينها [15].

ج- حدود الدراسة: نُفِذَت الدراسة على حاسبٍ بنظامِ تشغيلٍ لينكس نسخة أوبنتو، وبرنامج المحاكاة ns-3 بالإصدار 29.

8- هيكلية الدراسة

تمّ تقسيم هذه الدراسة إلى مبحثين، يتناول المبحث الأول منها الإطار النظري للدراسة والدراسات السابقة، بينما يتطرق المبحث الثاني إلى استعراضٍ عددٍ من الخوارزميات المستخدمة ضمن مجالٍ توضع الخدمات والمقارنة بينها، ثمّ عرض فكرة الخوارزمية الاستدلالية الديناميكية المقترحة من أجل توضع الخدمات في الشبكات المستقبلية، والإشارة إلى أهمّ المتطلبات الواجب تحقيقها عند إنجاز خوارزمية التّوضع لإدارة الخدمات المتنوعة، وفي الخاتمة عرضٌ موجزٌ لخلاصة الدراسة.

1-8- المبحث الأول- الإطار النظري والدراسات السابقة.

1-1-8- الإطار النظري لمسألة توضع الخدمات في الشبكات

يُمكنُ اعتبارُ مسألة توضع الخدمات كتطبيقٍ لنظرية مواقع الخدمات (Facility Location Theory) ضمن شبكات الاتصالات اللاسلكية [11]. تقدّم المفاهيم التي تعتمد على هذه النظرية حلاً لمشكلة إيجاد مواقع الخدمات غير محدودة المصادر (Un Capacitated Facility Location Problem) (UFLP)، من خلال إيجاد العدد المطلوب من نسخ الخدمات تبعاً لبنية الشبكة والطلب على هذه الخدمات، ولا تهتم كثيراً بالحمل الزائد الناتج عن المزامنة بين النسخ. تتعلّق نظرية مواقع الخدمات بشكلٍ أساسيٍّ بمعرفة الإعدادات الثابتة (Static Settings) المتعلقة بتوصيف المشكلة الثابت غير المتغيّر مع الزمن.

1-1-1-8- نظرية مواقع الخدمات (Facility Location Theory)

تمثّل هذه النظرية أحد فروع العلم ضمن مجال بحوث العمليات، وتستخدم نماذج رياضية من أجل حلّ المشاكل المتعلقة بالتوزيع أو التوزيع المثالي للخدمات المتاحة كالمصانع، مراكز التوزيع، أو مراكز التبديل (Switching Centers) ضمن الشبكات.

تمت دراسة العديد من المسائل ضمن هذا المجال، وتبين أنّه توجد مسألتان منها قابلتان للتطبيق على مسألة توضع الخدمات في الشبكات، هما مسألة الموقع الأمثل (p-median) ومسألة مواقع الخدمات غير محدودة المصادر (Un-capacitated Facility Location).

أ- مسألة الموقع الأمثل (p-median)

يمكن تعريف هذه المسألة بالاستناد إلى التعريف المقدم من قبل الباحث (Reese) على النحو الآتي [18]:
على فرض لدينا البيان الآتي الممثل للشبكة، والمعروف بالشكل: $G = (V, E)$. تهدف المسألة إلى إيجاد مجموعة الرؤوس $V_p \subseteq V$ بحيث أنّ $|V_p| = P$ ، علماً أنّ P إما ثابت أو متغيّر، وبحيث يكون مجموع المسافات الأقصر من الرؤوس V/V_p إلى الرؤوس المجاورة ضمن V_p أصغر ما يمكن.

تكون العقدة ضمن مجال الشبكات اللاسلكية ممثلة برؤوس البيان، بينما تمثّل الحواف قنوات الاتصال اللاسلكية بين العقد. وقد قام الباحث (Hakimi) بشكلٍ أساسيٍّ بتعريف (p-median) لبيان ما G ، على أنّه مجموعة الرؤوس \hat{V}_p التي تحقّق العلاقة [22]:

$$\forall_{V_p \subseteq V} \sum_{i=1}^n w_i \cdot d(v_i, \hat{v}_p) \leq \sum_{i=1}^n w_i \cdot d(v_i, v_p)$$

تُمثّل $V_i \in V$ رؤوس البيان، بينما تُمثّل w_i وزن الرأس V_i ، أمّا $d(v_i, v_j)$ فهي وزن الحافة التي تصل

بين الرأسين V_i و V_j ، بينما تمثّل $d(v_i, v_p)$ المسافة الأقصر بين الرأس V_i والعنصر الأقرب المجاور ضمن V_p .
يُمكن صياغة المسألة السابقة رياضياً (Integer Program) على النحو الآتي [18]:
على فرض أنّ المتحول X_{ij} يمثل عملية التوزيع أو الإسناد (variable allocation):

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & ; \text{ إذا أسند الرأس } V_j \text{ إلى الرأس } V_i \\ 0 & ; \text{ في الحالات الأخرى} \end{cases}$$

والهدف هو:

$$\min w = \sum_{ij} w_{ij} \cdot x_{ij}$$

ضمن القيود:

$$\sum_{j=1}^{|V|} x_{ij} = 1 \quad ; j=1,2,\dots,|V|$$

$$\sum_{i=1}^{|V|} x_{ij} = 1 \quad ; i=1,2,\dots,|V|$$

$$\forall_{i,j=1,\dots,n} x_{ij} \leq x_{ii}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

$$\sum_{i=1}^{|V|} x_{ii} = P \quad ; i=1,2,\dots,|V|$$

ب- مسألة مواقع الخدمات غير محدودة المصادر (The Un-capacitated Facility Location Problem (UFLP))

تمت مناقشة هذه المسألة من قبل Cornuejols، Nemhauser، وWolsey، وذلك من أجل إنقاص الكلفة أو زيادة الدخل الناتج عن تلبية الطلبات على سلعة معينة من قبل الزبائن. توجد في الواقع كلفة ثابتة من أجل توزيع الخدمات (Facilities)، وكلفة نقل ناتجة عن توزيع السلع بين الزبائن ومواقع التخديم [3].

على فرض أن مجموعة من الزبائن I تطلب سلعة معينة من مجموعة من الخدمات الموزعة ضمن مواقع J . يُسبب توظيف الخدمة ضمن موقع $j \in J$ كلفة ثابتة f_j ، بينما يسبب تخدم الزبون $i \in I$ بالخدمة $j \in J$ كلفة d_{ij} .

يكون الحل لمسألة (UFLP) هو فتح مجال الخدمات ضمن مجموعة جزئية من مجموعة الخدمات $\hat{J} \subseteq J$ بحيث تكون كلفة التّخديم أصغر ما يمكن. يتم تلبية طلب كل زبون $i \in I$ من الخدمة $j \in J$ بقيمة صغرى للكلفة d_{ij} ، وتكون بالتالي الكلفة الإجمالية للمواقع المختارة للخدمات \hat{J} معطاة بالعلاقة:

$$\sum_{i \in I} \min_{j \in \hat{J}} d_{ij} + \sum_{j \in \hat{J}} f_j$$

يمكن صياغة مسألة (UFLP) رياضياً على النحو الآتي:

بفرض φ_j و ψ_j هي متحولات الإسناد فيكون:

$$\varphi_j = \begin{cases} 1 & ; \text{ إذا كانت الخدمة } j \in J \\ 0 & ; \text{ في الحالات الأخرى} \end{cases}$$

$$\phi_{ij} = \begin{cases} 1 & ; \text{ إذا تم تحقيق طلب الزبون } i \in I \text{ من قبل الخدمة } j \in J \\ 0 & ; \text{ في الحالات الأخرى} \end{cases}$$

ويكون تابع الهدف معطى بالعلاقة:

$$\min w = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} \cdot \phi_{ij} + \sum_{j \in J} f_j \cdot \varphi_j$$

ضمن القيود:

$$\forall i \in I \sum_{j \in J} \phi_{ij} = 1$$

$$\forall i \in I, j \in J \rightarrow \phi_{ij} \leq \varphi_j$$

$$\forall i \in I, j \in J \rightarrow \phi_{ij}, \varphi_j \in \{0,1\}$$

يتضمن القيد الأول أنه يتم تخدم جميع الزبائن، ويعبر القيد الثاني عن أنه يتم تخدم الزبائن من خلال الخدمات المفتوحة أو المتاحة فقط، أما القيد الثالث فيتضمن مجال القيم الممكنة لكل من ϕ_{ij}, φ_j . يكون الحل لهذه المسألة هو $\{j \in J \mid \varphi_j = 1\}$. بفرض أننا قمنا بإضافة الشرط $\sum_{j \in J} \varphi_j = p$ ، تتحول عندها ومن أجل كلفة $f_i = 0$ لجميع الخدمات $j \in J$ مسألة (UFLP) إلى المسألة (p-median). إن تعقيد المسألة (UFLP) من النوع NP-hard، وتوجد حلول عديدة لهذه المسألة.

2-1-8- الدراسات السابقة

- 1- دراسة Gramoli، Kermarrec وAtlantique (2008) قاموا فيها بتطوير خوارزمية (SONDe) من أجل إيجاد العدد المثالي للمخدّمات ومواقعها ضمن الشبكة، وذلك من خلال الكشف والتحرّي الدوري ضمن الجوار عن وجود عقد مخدّمات وتحوّل العقدة الزبون إلى مخدّم في حال عدم وجوده ضمن جوارها. أثبتت نتائجهم أنّ عدد المخدّمات يصل إلى حالة الاستقرار بعد فترة قصيرة من الزمن ممّا يحقّق وفرة في الخدمات المتاحة وتلبيتها بزمن أقصر، وتوفير عرض الحزمة المستخدم [7].
- 2- دراسة Sahoo، Salahuddin وآخرون (2016) تناولت مسألة توزيع المخدّمات (Server Placement) في كلّ من شبكات توزيع المحتوى التقليدية (Traditional CDN) والحديثة المعتمدة على السحابة (Cloud based CDN)، وكذلك المعتمدة على وظائف الشبكة الافتراضية (NFV). أشار الباحثون إلى تعدد الأهداف من الخوارزميات المقترحة وفقاً للمعايير الآتية «زمن الاستجابة (Round Trip Time) (RTT)، التأخير (Latency)، عدد القفزات (Hop-count)، جودة الوصلة (Link Quality)، الكلفة (Cost)، عدد المخدّمات (Number of Servers)، عدد مرّات إعادة التشكيل (Number of Reconfigurations)، عرض الحزمة في الشبكة (Network Traffic)». وبرهنوا أنّ النموذج الأكثر ملاءمة لحلّ المسألة هو نموذج البرمجة الخطية (Integer Programming)، وقد اعتمدت معظم الخوارزميات بمعدّل 42% في فكرتها الأساس على الخوارزمية الجشعة (Greedy)، والبعض منها اعتمد على الطرق الاسترشادية بمعدّل 6%. لخصّت المقالة في نتيجتها السبل المحتملة من أجل الأبحاث المستقبلية في مجال توزيع نسخ الخدمات [19].
- 3- وقدم Skarlat، Nardelli، Schulte وآخرون (2017) منصّة عمل للحوسبة الضبابية في الشبكات المستقبلية. قاموا بنمذجة مسألة توزيع الخدمات لتطبيقات إنترنت الأشياء كمسألة تحسين وإيجاد الحل الأمثل، وقدموا حلاً إرشادياً بواسطة الخوارزمية الجينية. أثبتت النتائج التي توصّلوا إليها أنّ زمن التأخير للاتصال قد تمّ تقليبه وتحسّن استخدام الموارد. تمّ حلّ مشكلة التحسين من خلال طرق مختلفة، سمّيت طريقة التحسين الدقيقة (Exact Optimization Method) وتقريبها من خلال خوارزمية (Greedy First Fit) الجشعة أولاً والخوارزمية الجينية [21].
- 4- وقام Martin وزملاؤه (2019) بتطوير طريقة حيوية تعتمد على البحث الهجين (Effective Hybrid Search Heuristic) بالاستفادة من القدرة الحسابية العالية التي تقدّمها طريقة البحث المحليّة الجشعة (Greedy Local Search) من أجل إيجاد المواقع المثالية لعقد المراقبة ضمن شبكات الاتصالات، وتوزيع العدد المناسب منها في الشبكة بحيث يتمّ تحقيق وفرة المصادر مع التآقلم مع التغييرات التي تطرأ على بنية الشبكة [13]. بيّنت النتائج أنّ هذه الطريقة تعمل بشكل جيد في حالات التغيّر في البنية في الزمن الحقيقي ومن أجل أعداد عقد كبيرة تصل إلى الملايين مقارنةً مع العديد من الخوارزميات التطورية (Evolutionary Algorithm (EA)).
- 5- دراسة Donassolo وآخرون (2019) تناولت نمذجة مسألة توزيع الخدمات كمسألة إيجاد حلّ أمثل (Optimization Problem)، إذ قاموا بنمذجة مسألة توزيع الخدمات المكروية في إنترنت الأشياء (IoT)، واقتراح استراتيجية توفير خدمة السحابة المحسّنة (Optimized Fog Service Provisioning strategy) المسماة (O-FSP)، وقد أثبتوا أنّ الحلّ المقترح مقبول من ناحية الكلفة واستهلاك المصادر مقارنةً ببعض المفاهيم التقليدية مثل خوارزمية (Best-Fit) [5].
- 6- دراسة Mueller-Bady، Kappes وMedina-Bulo (2019) إذ طوّرا تقنيةً استدلاليةً تعتمد على البحث الهجين الفعال باستخدام القدرة الحسابية العالية لطريقة البحث المحليّة الجشعة (Greedy Local Search) من

أجل إيجاد أفضل المواقع وأرقام عقد المراقبة ضمن شبكات الاتصالات، وبالتالي تحقيق الأداء الأمثل مع التكيف مع التغييرات في طوبولوجيا الشبكة. وذكروا أنّ هذه الطريقة تعمل بشكل جيد عند الاستجابة لظروف تغير الشبكة وعند نشر ملايين العقد مقارنةً بالخوارزميات التطويرية المختلفة (EA) [14].

2-8- المبحث الثاني- خوارزميات توزيع الخدمات في الشبكات

1-2-8- لمحة عن خوارزميات توزيع الخدمات في الشبكات

تهدف خوارزمية توزيع الخدمة إلى إيجاد العقد المناسبة ضمن الشبكة من أجل استضافة الخدمة. تكون العقدة مناسبة في حال توقرت فيها المصادر الكافية المطلوبة من أجل تلبية الخدمة. يتم انتخاب العقدة المناسبة للتوزيع بحيث تكون عقدة قريبة من مواقع الحمل الزائد من أجل إنقاص زمن الاستجابة وتحسين جودة الخدمات المقدمة وإنقاص عرض الحزمة المطلوب والكلفة الناتجة عن تقديم الخدمات للزبائن.

1-1-2-8- مقارنة مجموعة من الخوارزميات المستخدمة ضمن مجال توزيع الخدمات في الشبكات

1- خوارزمية التوزيع الدوري للحمل (Round Robin Load Distribution Algorithm):

تركز خوارزمية التوزيع الدوري على مسألة توزيع الحمل بالاعتماد على الجدولة الدورية. الميزة الأساس لهذه الخوارزمية هي البساطة [1].

تجبر الخوارزمية المذكورة، عندما يصبح لدى المخدم حمل زائد، الحمل أو الخدمة على الانتقال بشكل دوري بالتناوب إلى المخدم الذي تم اختياره في الجوار والقادر على استيعاب هذا الحمل الزائد أو يقوم بدفع الحمل بعيداً إلى مخدم جديد تم اختياره بنفس الطريقة. تمر هذه الخوارزمية بالتناوب على جميع عقد الخوادم من أجل توزيع نسخة من الخدمة فيها، وحالما يكون لدى المخدم المقدرة على استضافة الحمل، تبدأ فعلياً عملية نقل الحمل أو الخدمة إليه. تمتاز هذه الخوارزمية بالبساطة ومحاولة موازنة الحمل بين العقد الخوادم، أما السلبية لهذه الخوارزمية هي عدم القدرة على التنبؤ (Unpredictability).

لا تصل الخوارزمية المذكورة إلى الحل المثالي تماماً لكتّنها بسيطة وسريعة، وتعتبر فاشلة في حال تكرار محاولات إيجاد عقدة مناسبة لاستضافة الخدمة عدد من الدورات ولم نحصل على نتيجة جيدة.

2- خوارزمية التوزيع العشوائي (Random Algorithm):

يتم توزيع الخدمات بهذه الطريقة من خلال اختيار العقد بشكل عشوائي، ومن ثم اختبار تابع الكلفة (قد يتعلق بالمصادر المتاحة ضمن العقدة الهدف)، فإذا كانت العقدة غير مناسبة لاستضافة الخدمة، تكون قيمة تابع الكلفة فيها لا نهاية، ويكون قرار التوزيع هذا غير مناسب كحلٍ للمسألة [10].

3- الخوارزمية الجشعة (Simple Greedy Algorithm):

هي خوارزمية تستخدم منهج اختيار الحلّ المحلي الأمثل بهدف الوصول إلى الحلّ العام الأمثل، مع العلم أنّه ليس من الضروري أن يقودنا هذا المنهج إلى إيجاد الحلّ العام الأمثل. وبكل الأحوال لا تهتم الخوارزميات الجشعة بالتأثير الاستراتيجي للحلّ المحلي على النتيجة.

وهي خوارزمية مركّبة تمتاز بالبساطة وعدم التعقيد. يعتمد المبدأ الأساس لهذه الخوارزمية على إجبار الحمل الزائد أو نسخة الخدمة على الانتقال إلى أول عقدة مجاورة تمتاز بوفرة المصادر المطلوبة من أجل الخدمة وذات الحمل الأقل، ويستمر توزيع الحمل ونسخ الخدمات إلى العقدة نفسها طالما لديها القدر الكافي من المصادر من

أجل استيعاب هذا الحمل (Minimum Loaded Neighbor). يعني هذا أنّ هذه الخوارزمية تستنزف مصادر العقدة قبل الانتقال إلى العقدة التالية. الاستقامة (الصّراحة) (Straight Forwardness) هي الميزة الأساس لهذه الخوارزمية [20].

تعتمد الخوارزمية الجشعة على المعلومات المحلية المتوقّرة بخلاف خوارزمية (Random) التي لا تأخذ بالحسبان أية معلومات، (على سبيل المثال حالة الحمل لدى المخدمات المجاورة). يتطلّب هذا الأمر تبادل المعطيات بين المخدمات من أجل الاطلاع بشكلٍ دائمٍ على التغييرات الجديدة الحاصلة. تجرّب هذه الخوارزمية كما ذكرنا سابقاً الحمل على الانتقال إلى المخدمات غير المشغولة بالحمل فقط، فتصبح بالتالي حالة هذه المخدمات ضمن الخدمة ويزداد احتمالاً خطورة انتقال هذه المخدمات إلى حالة الحمل الزائد. السلبية في هذه الخوارزمية أنّه لا يوجد عدالة بين استخدام الموارد المتاحة، بالإضافة إلى عدم تلبية متطلبات جودة الخدمة في بعض الأحيان بسبب دمج أنواع من الخدمات ضمن نفس العقدة.

4- الخوارزمية الجينية (Genetic Algorithm):

تعتبر الخوارزمية الجينية إحدى الخوارزميات المطبّقة ضمن مجال الذكاء الصّناعي، تستخدم في حلّ المسائل ذات التعقيد الحسابي الكبير. تمتلك هذه الخوارزمية عدداً كبيراً من الحلول البديلة. وتنتج في النهاية حلّاً نهائياً قريباً من الحل الأمثل. تعتمد هذه الخوارزمية على الانتقاء الطبيعي ونظام الجينات الطبيعية [6]. تنتقي الخوارزمية الجينية كما في الوراثة الطبيعية أفضل الحلول من بين عددٍ كبير من الحلول البديلة من أجل تكوين الحلّ العام الأمثل عن طريق العديد من التبديلات والتداخلات.

يتمّ في مسألة توزيع الخدمات باستخدام الخوارزمية الجينية، نشر الموارد وترتيبها لكل عقدة. تقدّم الخوارزمية الجينية متوسط المسافة المتعلقة بالحمل من أجل قياس تأثير موازنة الحمل الكلي للخوارزمية وتركز على موازنة الحمل بين العقد. تحاول بناءً على معلومات سابقة والحالة الحالية للشبكة إيجاد التوزيع الأمثل الذي يحقق أفضل استخدام للمصادر ضمن العقد المستضيفة لخدمات.

5- خوارزمية التوافق الأول (First Fit Algorithm):

تعدّ خوارزمية التوافق الأول واحدة من أقدم الخوارزميات في إدارة الذاكرة. يتمّ وفق هذه الخوارزمية توزيع نسخ الخدمات ضمن أول عقدة ملائمة من ناحية المصادر المطلوبة من أجل الخدمة. يتمّ ومن أجل استخدام هذه الخوارزمية بالشكل الفعال ترتيب الخدمات وفق الأولوية (حاجتها من المصادر)، والبدء باختيار العقد المناسبة لاستضافة نسخ الخدمات وفق الترتيب الحاصل وبنهج الخوارزمية [2].

6- خوارزمية الأفضل توافقاً أولاً (Best Fit Algorithm):

تحافظ هذه الطريقة على قائمة التوفر / الانشغال بالترتيب حسب الحجم - من الأصغر إلى الأكبر. في هذه الطريقة، يقوم نظام التشغيل أولاً بالبحث في الذاكرة بأكملها وفقاً لحجم الوظيفة المحددة وتخصيصها للقسم الأقرب بالحجم الذاكرة، مما يجعله قادراً على استخدام الذاكرة بكفاءة. هنا يتم ترتيب الوظائف من أصغر وظيفة إلى أكبر وظيفة. وبنفس الآلية يتمّ ترتيب الخدمات وفق حاجتها من المصادر بشكل تصاعدي وإعطائها أرقاماً تعبر عن أولويتها، ومن ثمّ يتمّ البحث بين العقد المحتملة القادرة على استضافة الخدمات بحيث يتمّ الإسناد إلى العقدة الأقرب في سعة مصادرها المتوفرة (الأفضل) إلى الخدمة المطلوب توزيعها [2].

7- الخوارزمية المركزية المعتمدة على تابع الكلفة (Centralized Algorithm based on Cost Function):

تعتبر هذه الخوارزمية (CACF) من التقنيات المركزية البسيطة لتوزيع الخدمات، وتعتمد على حساب تابع الكلفة الخاص بكل عقدة ضمن الشبكة بالاعتماد على معايير خاصة مثل المعالج، الذاكرة وغيرها [9].

تضمن هذه الخوارزمية وفرة الخدمة بطريقة مركزية، وبعدد ثابت من الخدمات نسبة إلى عدد العقد الكلي في الشبكة، إذ يتم توزيع الخدمات ضمن العقد التي تملك أفضل قيمة محسوبة لتابع الكلفة. تتم مقارنة قيمة تابع الكلفة مع قيمة مرجعية ثابتة من أجل كل العقد في الشبكة. تصبغ العقدة مخدماً لبقية العقد في الشبكة إذا كانت قيمة تابع الكلفة للعقدة أقل من القيمة المرجعية.

يقوم كل زبون بالبحث عن المخدّم المناسب واختياره بالاعتماد على حساب تابع كلفة النقل (Transport Cost) بينه وبين جميع مزودات الخدمة المتصلة معه. ويتم اختيار المخدّم الذي يملك أقل قيمة لتابع كلفة النقل.

8- خوارزمية التآقلم الذاتي لكثافة الشبكة (SONDe)(Self-Organizing Network Density Algorithm):

تعتبر هذه الخوارزمية حلّ لمسألة توزيع الخدمات من خلال التآقلم الذاتي مع الشروط المتغيرة باستمرار للشبكة، واختيار عقديّ محدّد لتكون مزودات للخدمة (Server) وعقد أخرى زبائن (Client) بالاعتماد على مراقبة الجوار لكل عقدة ضمن مجال محدّد من القفزات h. تهدف خوارزمية (SONDe) إلى إيجاد أصغر عدد من مزودات الخدمة ضمن الشبكة بشكل تلقائيّ من أجل الحفاظ على وفرة الخدمات المتاحة، مع ضمان تخديم كل العقد في الشبكة (Availability)، نتيجة توزيع نسخ مزودات الخدمة بالقرب من الزبائن بحيث يكون مخدّم واحد ضمن الجوار الواحد (Invisibility). قد تعاني المخدّمات على الرغم من تحقيق وفرتها ضمن جوار (h) من خلال الخوارزمية السابقة، من مشكلة الحمل الزائد (Overload). يتم حلّ هذه المشكلة من خلال عملية بحث أعمق يقوم بها المخدّم ضمن المنطقة التي فيها حمل زائد (Overloaded Zone)، فيزداد عدد المخدّمات بشكل تلقائيّ، كما يتم إنقاص هذا العدد في حالات نقصان الحمل (Underload). تمتاز خوارزمية (SONDe) بتحقيق الاستقرار ذاتياً، أي يصل عدد مزودات الخدمة المتوفرة بعد فترة محدّدة من الزمن إلى حالة الاستقرار [7].

يعتمد تحديد أفضل خوارزمية توزيع للخدمة ضمن الشبكات المستقبلية على عوامل مختلفة وحسب الهدف من الخوارزمية ممّا يحقّق أصغر كلفة ممكنة وفق توصيف تابع الكلفة. لقد قمنا بمقارنة هذه الخوارزميات بناءً على مجموعة من المعايير مثل أصغر زمن استجابة (LRT) Least Response Time، وتحقيق موازنة الحمل Load Balancing (LB) بين الخوادم، والاستخدام المعقول للموارد (RU) Resource Utilization، القدرة على التآقلم الذاتي (SO) Self-Organization، وقابلية التطبيق في الشبكات المستقبلية (Scalability)، ومعدّل الانتاجية (Throughput). يبيّن الجدول (1) نتائج المقارنة بين الخوارزميات السابقة.

جدول (1) نتائج المقارنة بين خوارزميات توزيع الخدمات المدروسة

Algorithm	Comparison Factors					
	LRT	LB	RU	SO	Scalability	Higher Throughput
Round Robin	Yes	Yes	-	No	Limited	-
Random	Yes	Limited	-	No	Limited	-
Greedy	Yes	Limited	Yes	No	Limited	Yes
Genetic	-	-	Yes	No	Yes	Yes
First fit	Yes	-	No	-	-	Yes
Best fit	Yes	-	Yes	-	-	Yes
CACF	-	-	Yes	-	-	Yes
SONDe	Yes	Yes	-	Yes	Yes	Yes

9- مناقشة النتائج

تشير دراسة خوارزميات توزيع الخدمات إلى النتائج التالية:

- معظم الخوارزميات المدروسة تحقق استخداماً معقولاً للمصادر.
 - يمكن تحقيق موازنة الحمل في خوارزمية التوزيع العشوائي عند توزيع الزبائن بشكل منتظم في الشبكة حيث يتم توجيه الطلب إلى العقدة الأقرب.
 - تم تحقيق أصغر زمن استجابة للخوارزميات من أجل كل الخوارزميات باستثناء خوارزمية التوزيع المعتمدة على تابع الكلفة (CACF) والخوارزمية الجينية (Genetic).
 - تحقق كل من الخوارزميتين (Round Robin) و (SONDe) موازنة في الحمل.
 - تحقق خوارزمية (SONDe) التأقلم الذاتي، فيمكن تطبيق هذه الخوارزمية في الشبكات المستقبلية.
- تمتاز الشبكات المستقبلية بطبيعتها الديناميكية والشروط المتغيرة باستمرار من ناحية الطلبات الواردة من الزبائن وحركتهم، وبالتالي الأحمال وبنية الشبكة. تعمل الخوارزميات المختلفة جيداً وتفي ببعض العوامل التي تمت مناقشتها أعلاه، ولكن مزودي الخدمات يحتاجون إلى خوارزمية ديناميكية تنجز التوزيع المثالي وتتأقلم ذاتياً مع التغيرات الحاصلة.
- تم اقتراح خوارزمية حيوية لتوزيع نسخ الخدمات في الشبكة بالاعتماد على المعلومات المستوحاة من الحمل الذي تولده العقد الزبائن، وبنية الشبكة المتغيرة باستمرار وفقاً لتغير مواقع العقد وحركتها، والهدف هو إيجاد التوزيع المثالي للخدمات بحيث تكون الكلفة أصغر ما يمكن. هذه الخوارزمية مستوحاة من خوارزميات النمل لإيجاد الحل الأمثل باعتمادها على المعلومات المتعلقة ببنية الشبكة والحمل ضمنها من أجل اتخاذ قرار نسخ الخدمة وتوزيعها، إذ يتم الاتصال بين العقد من خلال تتبع الأثر الذي تتركه حركة الرزم (Packets) المتبادلة بين الزبائن والخدمات بدلاً من تبادل الرسائل وهذا يساهم في توفير عرض الحزمة المستخدم. تنجز الخوارزمية المقترحة التوزيع المثالي لنسخ الخدمات من خلال مراقبة الحمل ضمن العقدة المخدم وجوارها، واختيار العقدة التي يرد منها أكبر حمل ونسخ الخدمة أو ترحيلها إليها، بحيث تصبح المسافة التي تعبرها الطلبات القادمة من العقد الزبائن أصغر ما يمكن نتيجة توزيع الخدمات في مواقع قريبة منهم.
- يتم ومع الأخذ بالحسبان حالة وجود أكثر من خدمة ضمن الشبكة تتنافس على المصادر المتوفرة في العقد، تقسيم الشبكة إلى بنى فرعية وتوفير خدمة مديرة ضمن كل جوارٍ تنسق بين الخدمات والعقد محلياً.
- تحقق الخدمة المديرة المتطلبات الآتية:
- قدرة على التنظيم والتأقلم الذاتي، مهمتها إدارة الخدمات المتنوعة (Disjoined Services) في الشبكة.
 - يجب أن تعمل الخدمة المديرة بشكل موزع.
 - عبارة عن طبقة (Management Layer) لإدارة الخدمات الأخرى الموجودة في الشبكة.
 - تساعد على تحقيق الوصول إلى التوزيع الأمثل (Optimal Placement) ونسخ وتهجير هذه الخدمات عبر الشبكة.
 - المحافظة على جودة الخدمة (QoS) وموازنة الحمل على الشبكة.
 - القدرة على ملاءمة التغيرات الديناميكية للشبكة (تغير البنية، تغير الحمل، ...).
 - تعمل بطريقة موزعة، ولا تتطلب معرفةً شاملة عن الشبكة كلها.

10- خلاصة البحث:

قدّم هذا البحث في قسمه الأول دراسةً لمسألة توزيع الخدمات من الناحية النظرية، ثمّ عرض في قسمه الثاني دراسةً لأهمّ الخوارزميات المستخدمة ضمن مجال توزيع الخدمات، وتمتّ المقارنة بين هذه الخوارزميات وفق مجموعة من المعايير الهامة. بيّنت النتائج أنّ معظم الخوارزميات المدروسة تحقّق موازنةً في الحمل، وأنّ خوارزمية (SONDe) هي الأكثر ملاءمةً للتطبيق ضمن الشبكات المستقبلية من حيث قدرتها على التآقلم الذاتي. قدّم القسم الثالث من البحث فكرة الخوارزمية المقترحة من أجل توزيع الخدمات ضمن الشبكات المستقبلية مع الأخذ بالحسبان حالة وجود أكثر من خدمة ضمن الشبكة تتنافس على المصادر المتوفرة، بحيث يتمّ تقسيم الشبكة إلى بنى فرعية وتوفير خدمة مديرة قادرة على التآقلم الذاتي والاستجابة للتغيرات المستمرة في الحمل والبنية.

11- التوصيات والمقترحات

بناءً على النتائج التي تمّ التوصل إليها يوصي الباحثون ويقترحون ما يلي:

- 1- تنفيذ بنية الخوارزمية المقترحة ضمن محاكي الشبكات NS-3، وتقييم أدائها من أجل بنى شبكات مختلفة بأعداد عقد مختلفة وأحمال متنوعة، ودراسة مدى مساهمتها في تحسين الأداء ضمن توزيع الخدمات في الشبكات المستقبلية مقارنة بالخوارزميات المرجعية من ناحية التوفير في عرض الحزمة المستخدم، وزمن الاستجابة (Round Trip time (RTT)) وبالتالي الكلفة الناتجة عن تقديم الخدمات للزبائن.
- 2- دراسة إمكانية الاستفادة من نتائج الدراسة والخوارزمية المقترحة في وضع التوصيف المناسب لمعايير خوارزمية توزيع الخدمات ذاتية التآقلم في الشبكات المستقبلية، وتمكين المشاركة والمنافسة بينها على المصادر بما يضمن موازنة الحمل وتحسين استخدام المصادر المتوفرة والمحافظة على جودة الخدمات المقدمة.

12- قائمة المراجع.

- 1- Andrzejak A, Graupner S, Kotov V, Trinks H (2002)- Algorithms for Self-Organization and Adaptive Service Placement in Dynamic Distributed Systems, Internet Systems and Storage Laboratory, HP Laboratories Palo Alto.
- 2- Atchukatla M (2018)- Efficient algorithms for VM placement in cloud data centers. PDCAT. Proceedings, 2017-December(January), 75–80. <https://doi.org/10.1109/PDCAT.2017.00021>
- 3- Corneújols G & Nemhauser, G. L & Wolsey, L. A. (1990)-The Uncapacitated Facility Location Problem in Pitu B. Mirchandani and Richard L. Francis, editors, Discrete Location Theory, chapter 3. Wiley-Interscience.
- 4- Diestel, R (2017)- Graph Theory, Graduate Texts in Mathematics, vol. 173, Springer, Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53622-3>
- 5- Donassolo, B, Fajjari, I, Legrand, A, & Mertikopoulos, P (2019)- Fog Based Framework for IoT Service Provisioning. 2019 16th IEEE Annual (CCNC), 1–6.
- 6- Goldberg D.E (1989)- Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison-Wesly.

- 7- Gramoli, V & Kermarrec, A & Atlantique, I. B. (2008)- SONDe, a Self-Organizing Object Deployment Algorithm in Large-Scale Dynamic Systems. 163–172p.
- 8- Hachem, J & Karamchandani, N & Diggavi, S (2015)- Content Caching and Delivery over Heterogeneous Wireless Networks, IEEE INFOCOM 2015-IEEE Conference on Computer Communications, (3), 756–764p.
- 9- Kailouh, I. (2011)- Evaluation and Comparison of Service Placement Algorithms in Communication Networks, Ilmenau University of Technology, 97p.
- 10- Karp R. M. (1991)- An introduction to randomized algorithms. Discrete Applied Mathematics, vol. 34, no. 1-3, pp. 165–201.
- 11- Laoutaris N, Smaragdakis G, Oikonomou K, Stavrakakis I, Bestavros A (2007)- Distributed Placement of Service Facilities in Large-Scale Networks. Proc IEEE INFOCOM Online. pp. 2144-2152, DOI: 10.1109/INFCOM.248.
- 12- Mackenzie, C. M & Laskey, K McCabe, F & Brown, P & Metz, R & Hamilton, B (2006)- Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0. OASIS Standard, 31p.
- 13- Martin, R. M, Inmaculada, K & Palomo-lozano, F (2019)- An evolutionary hybrid search heuristic for monitor placement in communication networks. Journal of Heuristics. <https://doi.org/10.1007/s10732-019-09414-z>
- 14- Mueller-Bady R, Kappes M, Medina-Bulo I, Palomo-lozano F (2019)- An evolutionary hybrid search heuristic for monitor placement in communication networks. Springer Link: J Heuristics; 25(6): 861-899pp. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10732-019-09414-z>.NS-3 web site available on: <https://www.nsnam.org/>.
- 15- Poularakis, K & Llorca, J & Tulino, A. M & Taylor, I & Tassiulas, L (2019)- Joint Service Placement and Request Routing in Multi-cell Mobile Edge Computing Networks. IEEE INFOCOM 2019-IEEE Conference on Computer Communications, 10–18p.
- 16- Ramiro, J & Hamied, K (2012)-self-organizing networks, self-planning, self-optimization, and self-healing for gsm, umts and lte. John Wiley, J & Sons, Ltd., Publication, 309p.
- 17- Reese, J (2006)-Solution Methods for the p-Median Problem: An Annotated Bibliography. Wiley Periodicals, Inc. Networks, 48(3):125–142p.
- 18- Sahoo, J, Salahuddin, M. A, Glitho, R, Elbiaze, H, & Ajib, W (2016)- A Survey on Replica Server Placement Algorithms for Content Delivery Networks.
- 19- Shanmugam K, Golrezaei N, Dimakis A, Molisch A & Caire G (2013)-FemtoCaching: Wireless Content Delivery Through Distributed Caching Helpers. IEEE Transactions on Information Theory, vol. 59, no. 12.
- 20- Skarlat O, Nardelli M, Schulte S, Borkowski M, Leitner P (2017)-Optimized IoT service placement in the fog. Springer Link: SOCA 11. pp427–443.DOI: <https://doi.org/10.1007/s11761-017-0219-8>
- 21- Wittenburg, G (2010)- Service Placement in Ad Hoc Networks, Doctoral Dissertation, freie Universität Berlin, 219p.