مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (36) العدد (5) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (36) No. (5) 2014

خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة لحل مسألة توجيه المركبة

وسيم حبيب بلال *

(تاريخ الإيداع 31 / 8 / 2014. قُبِل للنشر في 14 / 10 /2014)

□ ملخّص □

ندرس في هذا البحث إمكانية المساهمة في حلّ مسألة توجيه المركبة Vehicle Routing Problem (VRP) باستخدام خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة Improved Ant Colony System (IACS) ، وهي واحدة من مشاكل الأمثلية ، التي أخذت الكثير من الاهتمام في الوقت الحاضر بسبب تطبيقاتها ذات الطابع اليومي ، و هي مشكلة تعقيدها الخوارزمي من النوع **NP–hard** ، ولا توجد حتى الآن خوارزمية تقدم لنا الحل الأمثل لهذه المشكلة بسبب تعقيد الزمن متعدد الحدود ، فكل الخوارزميات المستخدمة تعطي حلولاً قريبة من الحل الأمثل .

إن خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة المقترحة تعتمد على خوارزمية نظام مستعمرة النمل التي تمتلك قاعدة انتقال جديدة ، وقاعدة تحديث فورمون جديدة ، ونهج بحث محلي متنوع .

تمت مقارنة النتائج التطبيقية للخوارزمية المقترحة مع نتائج اختبارات قياسية معروفة وموثقة ، إذ تظهر النتائج بأنّ الخوارزمية المحسنة المقترحة تنتج حلولاً أفضل من خوارزميات مستعمرات النمل الأخرى و خوارزميات ما وراء الإرشادية الأخرى ، من حيث الجودة (زمن التنفيذ وعدد الحلول الجيدة) .

الكلمات المفتاحية: مسألة توجيه المركبة– خوارزمية البحث المحلي 2–opt – خوارزمية مستعمرة النمل – خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة .

*ماجستير– قسم الرياضيات – كلية العلوم – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (36) العدد (5) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (36) No. (5) 2014

Improved Ant Colony System Algorithm To Solve The Vehicle Routing Problem

Waseem Habib Bilal *

(Received 31 / 8 / 2014. Accepted 14 / 10 /2014)

□ ABSTRACT □

We study in this paper the possibility of contribution in solving the vehicle routing problem (VRP) by using the improved ant colony system (IACS) , which is one of the optimization problems that, because of its Real Life applications, has attracted a lot of attention at the present time. It is a problem of the NP-hard type. However, because of the complication of polynomial time there is still no algorithm providing us with the optimal solution of this problem. All the used algorithms give solutions that are close to the optimal one .

We present the improved ant colony system algorithm that, based on ant colony system algorithm, possesses a new state transition rule, a new pheromone updating rule and diverse local search approaches .

The experimental results of the proposed (IACS) algorithm compared with the results of well-known standard tests show that our IACS yields better solutions than the other ant algorithms in the literature and is competitive with other meta-heuristic approaches in terms of quality(run time and number of good solutions).

Keywords: Vehicle Routing Problem , 2-opt Local Search Algorithm, Ant Colony System Algorithm, Improved Ant Colony System Algorithm.

*** Master, Department of Mathematics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria .**

مقدمة:

يمكن وصف مسألة توجيه المركبة بأنّها من أكثر مسائل الأمثلية صعوبة ، وهي تعميم لمسألة البائع المتجول TSP ، وبالتالي فهي من النوع NP–hard ، لكن في التطبيق العملي فإن مسألة توجيه المركبة صعبة الحل بالمقارنة مع مسألة البائع المتجول TSP من القياس نفسه .

وقد درس العالمان (G.B. Dantzig[2] & D.R. Fulkerson[1] , 1954) تعقيد مسألة توجيه المركبة ، إذ لا توجد خوارزميات فعّالة لحل مسألة توجيه المركبة حتى الآن ، و إنّ أي زيادة بعدد العقد سيزيد بشكل أسي زمن حسابها ، وبالتالي تزداد صعوبة حل المسألة .[2,1].

يمكن تعريف المسألة المطروحة كما يلي: إذا أعطيت عدداً من المركبات m ، متماثلة في الشكل ولها استطاعات محددة وتقع في مركز توزيع واحد، ومهمتها خدمة مجموعة من الزبائن n لديهم طلب على سلع متنوعة محددة ومعروفة، على أن يزار كل زبون مرة واحدة في كل جولة ومن مركبة واحدة ، علماً بأن كل زبون يبعد مسافة محددة عن مركز التوزيع ، بهدف إيجاد الجولات ذات التكلفة الأقل ، مع مراعاة كافة قيود المسألة .[3,2].

ويعبر عن تابع الهدف بالعلاقة التالية :

$$\min z = \sum_{k \in V} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij}^{k}$$

حيث :

C_{ij} كلفة الانتقال من العقدة i إلى العقدة j .

V تمثل مجموعة العقد $V = \{i,\dots,n\}$.

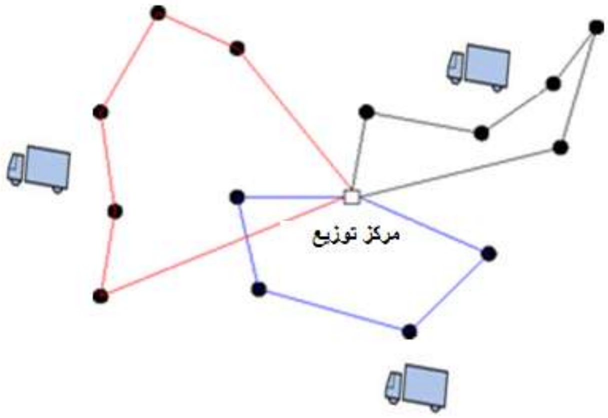
E مجموعة الأضلاع التي تصل بين العقد بالكامل .

$$x_{ij}^{k} \in \{0,1\} \ \ \forall\, i,j \in \{1,\dots,n\}, k \in \{1,\dots,K\}$$

والشكل (1) يظهر حل مسألة توجيه المركبة لعدد بسيط من العقد .

1عالم رياضيات ، ولد 14 اب 1924 وتوفي 10 كانون الثاني 1976 ، ساهم في وضع النموذج الرياضي لمشكلة البائع المتجول .

2عالم رياضيات امريكي ، ولد 1914 وتوفي 2005 ، قدم خوارزميات بسيطة.



الشكل (1) حل مسألة توجيه المركبة

سوف نعالج المسألة من خلال اقتراح خوارزمية مستعمرة النمل المحسنة IACO ، وتطبيق خوارزمية البحث المحلي 2-opt لتحسين الحلول ومقارنة هذه الخوارزمية المحسنة مع نتائج قياسية معروفة .

أهمية البحث وأهدافه :

تعود أهمية البحث إلى أن المسألة المطروحة صعبة وتعقيدها الخوارزمي من النوع NP-hard ، و حلّها هو المفتاح الأساس لحل الكثير من مسائل الأمثلية في المجال الاقتصادي ، كما أنّها تشكل حافزاً للشركات ومراكز الأبحاث لإيجاد أفضل الطرق لحل مسألة توجيه المركبة VRP ، وتحسين كفاءة وسائط النقل والتوزيع المتعددة وتدفق المعلومات في الشبكات والطاقة وخدمات الطوارئ والخدمات الأمنية ، وتلعب دوراً هاماً في عملية اتخاذ القرارات الإستراتيجية .

ويهدف هذا البحث إلى المساهمة في حل مسألة توجيه المركبة باستخدام خوارزمية مستعمرة النمل المحسنة IACO .

طرائق البحث ومواده :

اعتمدت طرائق البحث على تطوير خوارزميات وجدناها في العديد من المراجع العلمية والبحوث النظرية المنشورة والمحكمة، بالإضافة إلى نشرات الأبحاث والكتب العلمية والمصادر البرمجية المفتوحة من الإنترنت [12-1] .

النتائج والمناقشة :

1- المدخلات :

تمثل مسألة توجيه المركبة ببيان تام موزون موجه أو غير موجه $G = (V, E)$ ، حيث $n = |V|$ عدد العقد، و $V = \{0.1, 2, \dots\dots, n\}$ مجموعة العقد و $E = \{(i,j): i, j \in V . i \neq j\}$ مجموعة الاضلاع التي تصل بين العقد بالكامل ، و $D = (d_{ij})$ مصفوفة المسافة بين كل العقد وبين المستودع ، و تحسب المسافة بين كل عقدتين i و j في الفضاء الاقليدي كما في العلاقة $d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ ، علماً بأن كل ضلع $(i,j) \in E$ مرتبط بكلفة d_{ij}، والمسافات بين العقد في البيان هي مسافات اقليديه متماثلة ، و$C = (c_{ij})$ مصفوفة الكلفة والمصفوفتان (الكلفة ، المسافات) مرتبطان بـ E ، وبفرض أن الكلفة $c_{ij} = c_{ji}$ عندما تكون مسألة توجيه المركبة متناظرة ، وعندما تكون غير متناظرة فإن $c_{ij} \neq c_{ji}$ و $c_{ij} = \infty$ ، وتابع الكلفة هو $C: E \to Z^+$ والعقدة 0 تمثل المركز الرئيس ، و مطلب مركز التوزيع الرئيسي $d_0 = 0$ ، و العقد المتبقية تمثل طلبات الزبائن و كل زبون i لديه طلب ذو وزن غير سالب ، ويمثل بتابع الطلب $d: V \to Z^+$ وm مجموعة المركبات المتماثلة والموجودة في مركز التوزيع .[3].

2- الفرضيات :

1- تستعمل مركبات متماثلة .

2- طلب الزبون q_i معروف مسبقاً .

3- استطاعة المركبات محددة . [3,2].

3- القيود :

1- زيارة كل زبون v_i مرة واحدة فقط من قبل مركبة واحدة .

2- المطلب الكلي لأي طريق لا يتجاوز قيد استطاعة المركبة Q .

3- بداية الجولة ونهايتها في مركز التوزيع الرئيس v_0 .[3,2].

4- المتغيرات و البارومترات :

مركز التوزيع الرئيس v_0 : وهو العقدة التي تبدأ الجولة منها وتنتهي إليها .

الزبائن V : وعددهم n ممثلين بـ $V = \{v_0, v_1, v_2 \dots\dots, v_n\}$.

m_i : مطلب الزبون في العقدة i .

K : العدد الكلي للمركبات المتماثلة مقرها في مركز التوزيع الرئيس v_0 .

C_{ij} : كلفة الانتقال من العقدة i إلى العقدة j .

طول الطريق D : يجب أن لا يتجاوز حدّاً معيّناً .

q_k : استطاعة المركبة k .

Q : الاستطاعة الكلية للمركبة .[3,2].

تم وضع النموذج الرياضي لمسألة توجيه المركبة لأول مرة من قبل العالمين G.B. Dantzig[3] , J. H. Ramser في عام 1959. [1] كما يلي :

$$x_{ij}^{k} \triangleq \begin{cases} 1 & \text{إذا سافرت المركبة من العقدة } i \text{ إلى العقدة } j \\ & i,j \in \{1,2,\dots,n\} | i \neq j, \\ & k \in \{1,2,\dots,K\} \text{ حيث} \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \quad (1)$$

$$\min z = \sum_{i=0}^{n} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n} \sum_{k=1}^{n} c_{ij} x_{ij}^{k} \quad (2)$$

خاضع للقيود الآتية :

$$(3) \quad \sum_{i=0}^{n} \sum_{k=1}^{n} x_{ij}^{k} = 1 \ \forall j \in \{1,\dots,n\}$$

$$\sum_{j=0}^{n} \sum_{k=1}^{n} x_{ij}^{k} = 1 \ \forall i \in \{1,\dots,n\} \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^{n} x_{ip}^{k} - \sum_{j=0}^{n} x_{pj}^{k} = 0 \ \forall p \in \{1,\dots,n\}, k \in \{1,\dots,K\} \quad (5)$$

$$(6) \sum_{j=0}^{n} q_j \left(\sum_{i=0}^{n} x_{ij}^{k}\right) \le Q \quad \forall k \in \{1,\dots,K\}$$

$$(7) \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} t_{ij} x_{ij}^{k} \le D \quad \forall k \in \{1,\dots,K\}$$

$$(8) \sum_{j=1}^{n} x_{0j}^{k} \le 1 \ \forall k \in \{1,\dots,K\}$$

$$(9) \sum_{i=1}^{n} x_{i0}^{k} \le 1 \ \forall k \in \{1,\dots,K\}$$

$$(10) x_{ij}^{k} \in \{0,1\} \ \forall i,j \in \{1,\dots,n\}, k \in \{1,\dots,K\}$$

حيث :

المعادلة (2) تعبر عن تابع الهدف الذي يقلل المسافة الإجمالية المقطوعة .

وتمثل المعادلتين (3) و (4) درجة القيود .

بينما تعبر المعادلة (5) عن الاستمرار في توجيه المركبات نحو طرق مفروضة، على أن تزور وتغادر كل مركبة كل العقد مرة واحدة شريطة أن يكون عدد المركبات القادمة من المستودع مساوياً لعدد المركبات المغادرة منه .

ويشير القيد (6) إلى عدم تجاوز طلبات الزبائن لاستطاعة المركبة .

والقيد (7) يعبر عن الطول الأقصى للطريق .

القيدان (9,8) يضمنان خدمة كل زبون مرة واحدة ومن خلال مركبة واحدة تغادر وتعود إلى مركز التوزيع .

القيد (10) هو قيد ثنائي ، بحيث إنّ $x_{ij} = 1$ و $x_{ij} = 0$ خلاف ذلك .

3عالم رياضيات امريكي ، ولد 1914 وتوفي 2005 ، قدم خوارزميات بسيطة.

5 – الأنواع المختلفة لمسألة توجيه المركبة :

إن تنوع مسألة توجيه المركبة يهدف إلى دراسة حالات أكثر واقعية من خلال إدخال قيود مختلفة لحل المسائل ذات الطابع اليومي . [5,4,3]. وسنعرض أكثرها أهمية وهي :

5–1 مسألة استطاعة المركبة الموجّهة :

إنّ مجموعة المركبات المتماثلة التي تملك استطاعات محددة والموجودة في مركز التوزيع ، لا بد من توجيهها على النحو الأمثل لتقديم خدمة محددة لمجموعة من الزبائن الموزعين جغرافياً بين عدة عقد ، مع العلم أن مطلب الزبون ذو وزن غير سالب ، ويجب أن لا يتجاوز استطاعة المركبة .

5–2 مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية :

يجب أن تغادر المركبات مركز التوزيع وتعود إليه، بحيث تزور المركبة زبوناً معيّناً ضمن إطار زمني محدد، وحل هذه المسألة مهم جداً للشركات التي تعمل في مجال النقل والتوزيع وجمع النفايات الصناعية والخدمات اللوجستية والخدمات الأمنية وخدمات البنوك و تسليم الطرود البريدية .

5–3 مسألة توجيه المركبة متعدّدة المستودعات :

في هذا النوع يخدم الزبون من خلال عدة مراكز توزيع ، و كل مركبة يجب أن تسافر وتعود إلى نفس مركز التوزيع الذي انطلقت منه ، وعددها في كل مركز توزيع يجب أن يتراوح بين حد أدنى وحد أعلى .

5–4 مسألة توجيه المركبة مع التوزيع والتجميع :

يتم توزيع البضائع من مراكز التوزيع إلى مجموعة من الزبائن وجمع بقايا المواد المقدمة لهم إلى مراكز التوزيع بنفس المركبات ذات الاستطاعة المحدودة و بشكل أمثلي ، أي يجب أن يكون تدفق السلع إلى الزبائن ذهاباً يرافقه جمع البقايا إياباً .

5–5 مسألة توجيه المركبة الحرة :

في هذا النوع لا تعود المركبات بالضرورة إلى مركز التوزيع بعد خدمة الزبون الأخير ، (أي البداية من مركز التوزيع والنهاية في إحدى العقد). ....الخ

6– طرائق حل مسألة توجيه المركبة VRP :

يستخدم لحل مسألة توجيه المركبة ثلاثة أنواع من الخوارزميات هي :

6–1 الخوارزميات المضبوطة :

وهي خوارزميات ملائمة لحالات ذات قياس صغير نسبياً ، و لا يمكن أن تحل حالات المسألة لأكثر من 100 زبون في فترة زمنية معقولة ، لأنها من الصنف NP–hard صعبة الحل حتى باستعمال الحاسبات، وبالتالي يجب أن تلجأ إلى أساليب تقريبية لتخفضّ الزمن اللازم لإيجاد الحلول المثلى ، أو من أجل الحصول على حل جيد ضمن الزمن المعقول ، ومن الأمثلة على الخوارزميات المضبوطة . [2] .

6–1–1 خوارزمية التفريع والقطع Branch and Cut .

6–1–2 خوارزمية التفريع والحد والسعر Branch and Cut and Price.

6–2 الخوارزميات التقريبية :

تعتبر من الخوارزميات الفعالة من أجل حل المسائل ذات المقاييس الكبيرة وتقسم إلى مجموعتين رئيستين هما:

6-2-1 الخوارزميات الإرشادية الكلاسيكية :

هي خوارزميات تستخدم أساليب إرشادية لتسريع إيجاد حل مقنع لمسألة ما ، لأن البحث الشامل غير عملي، ولكنها غير فعالة للهروب من الوقوع في الأمثلية المحلية Local Optimum ، وتوجد فجوة كبيرة للحلول الناتجة منها بالمقارنة مع أفضل الحلول المعروفة ، ومنها على سبيل المثال خوارزمية البحث المحلي . [7,6,5] .

6-2-2 الخوارزميات ما وراء الإرشادية :

هي صنف من الخوارزميات والتقنيات التي تستخدم قدراً من العشوائية لإيجاد أفضل حلول للمسائل الصعبة ، وهي الأكثر عمومية من أنواع الخوارزميات الأخرى ، وتعد طريقة حسابية تحسّن حلاً مرشحاً للمسألة بشكل تكراري ، علماً بأن الحل يتعلق بمقياس معين من الجودة الأمثلية ، بوصفها إحدى الطرق المناسبة ، ويتم تطبيقها على مجموعة واسعة جدا من المسائل ، وكذلك لا تضمن مثل هذه الخوارزميات الحل الأمثل ، وهذا النهج فعال جداً للهروب من الأمثلية المحلية ، فهي واحدة من أفضل مجموعة خوارزميات لحل مسائل الأمثليّة [9,7] . ومن أمثلتها .

أ- خوارزمية مستعمرة النمل .

ب- الخوارزمية الجينية .

جـ - خوارزمية مستعمرة النحل .

د- البحث المحظور .

6-3 الخوارزميات الهجينة :

وجد العديد من الباحثين في الآونة الأخيرة أن توظيف التهجين في مسائل الأمثلية يمكن أن يحسن نوعية الحلول ؛ وعلى الرغم من الاختلافات الكبيرة والهامة بين هذه الخوارزميات ، فإنّها تشترك ببعض العناصر التي تم تجاهلها وتركت غير مستغلة . [7] .

7- معالجة المسألة :

بما أن مسألة توجيه المركبة VRP من صنف المسائل الصعبة NP-hard ، سنستخدم خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة من نفس الصنف لحل مسألة توجيه المركبة التي تشكل إطار عمل مختلف لمعالجة مسألة توجيه المركبة VRP .

وسوف نعرض خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة التقريبية المقدمة و المستخدمة لمعالجة مسألة توجيه المركبة من خلال تطبيق خوارزمية البحث المحلي 2-opt .

7-1 خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة : Improved Ant Colony System Algorithm

إن خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة المقدمة تعتمد على خوارزمية نظام مستعمرة النمل **(ACSA)** التي اقترحت من قبل العالمين **(M. Dorigo & L M Gambardella[4], 1997)** ، وهي خوارزمية بحث عشوائية ، تستند إلى سلوك النمل الطبيعي . [9] .

في خوارزمية نظام مستعمرة النمل **ACS** يتم وضع **m** نملة مبدئياً في **n** عقدة مختارة عشوائياً ، و كل نملة تبني جولة بشكل تكراري بتطبيق الجار الإرشادي المحتمل ، و تعدّل النملة مستوى الفورمون على الأضلاع المزارة

[4]ولد في 4 كانون الثاني 1962 ، عالم سويسري له مساهمات عديدة لأمثلية مستعمرة النمل الأحادية الهدف والمتعددة الأهداف ، مدير مشارك منذ 1995 مع العالم M. Dorigo لمختبر الأبحاث IDSIA والمسؤول العلمي لها .

بتطبيق قاعدة التحديث المحلية ، وعندما يكمل كل النمل جولاته ، فإن مستوى الفورمون يعدل على كل ضلع مرة ثانية من خلال تطبيق قاعدة التحديث الكلية التي تفضل الأضلاع المرتبطة بأفضل جولة وجدت منذ البداية .

إن خوارزمية مستعمرة النمل المحسنة المقدمة **IACS** تعمل على تعديل قواعد تحديث الفورمون المحلية والكلية وتطبيق البحث المحلي من خلال نملة واحدة .

تتكون خوارزمية مستعمرة النمل المحسنة IACS بشكل أساسي من الخطوات التكرارية الثلاث التالية :

الخطوة 1: تبني كل نملة الحلّ بشكل مستقلّ وينفّذ تحديث الفورمون المحلي .

الخطوة 2: تطبيق البحث المحلي لتحسين الحل .

الخطوة 3: تحديث معلومات الفورمون الكليّة .

2-7 بناء جولة :

في خوارزمية نظام مستعمرة النمل **ACS** الأساسية ، النملة **k** تنتقل من العقدة **i** الحالية إلى العقدة التالية **v** وفق القاعدة الآتية :

$$v = \begin{cases} \arg \quad max_{j\in U_k}\left\{[\,\tau_{ij}][\eta_{ij}]^{\beta}\right\} & if\ q \le q_0 \\ P_{ij} & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (1)$$

$$P_{ij} = \frac{[\,\tau_{ij}][\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{j\in U_k(i)}[\,\tau_{ij}][\eta_{ij}]^{\beta}} \qquad (2)$$

حيث :

U_k هي مجموعة العقد التي لم تزرها النملة k الموجودة في العقدة i . و τ_{ij} تمثل مستوى الفورمون المودع على الطريق الممتد بين العقدتين i و j من قبل النملة k .

$\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ متغير يدل على القيمة التي اختيرت بشكل متناسب عكساً مع المسافة بين العقدتين i و j .

d_{ij} يدل على المسافة بين العقد i و j ، وعقدة مركز التوزيع الرئيس، حيث تعرف η_{ij} باسم مدخرات الجمع بين العقدتين i و j في جولة واحدة في مقابل خدمتهم على جولتين مختلفتين، وبالتالي يتم حساب η_{ij} على النحو الآتي :

$$\eta_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij} \qquad (3)$$

و β مؤشر موجب قابل للتعديل ويتحكم في الوزن النسبي لأثر الفورمون .

q عدد عشوائي ، بحيث $0 \le q \le 1$ ، و q_0 مؤشر ، بحيث $0 \le q_0 \le 1$.

يتم الانتقال لأفضل عقدة قادمة v وفقاً لقاعدة الانتقال الاحتمالية المطبقة لنظام نملة (1) التي تفضل الطرق الأقصر، حيث مستوى الفورمون فيها عالٍ، وبالتالي فإن $q \le q_0$ ، خلاف ذلك يتم اختيار عقدة وفقا للمعادلة (2) .

إذا تم تحقيق قيد الاستطاعة للمركبة، فإن النمل يعود إلى مركز التوزيع الرئيس قبل اختيار العقدة التالية ، وتستمر هذه العملية حتى يتم زيارة كل العقد ، بحيث تكون الجولة كاملة .

نعتمد مفهوم مماثل لنخبوية الخوارزمية الجينية للحفاظ على أفضل حلول النمل من الجيل الحالي إلى الجيل القادم ، واختيار أفضل الطرق التي تعود لأفضل جولة كلية لنملة ، وسيتم تعزيز الفورمون على الأضلاع التي تنتمي

إلى أفضل حلّ كلي مرتين على الأقل لتسريع عملية البحث نحو أفضل حل ، وبالتالي فإننا نعيد فقط بناء $m-1$ من الحلول ، حيث m هو عدد النمل في كل جيل .

7-3 البحث المحلي :

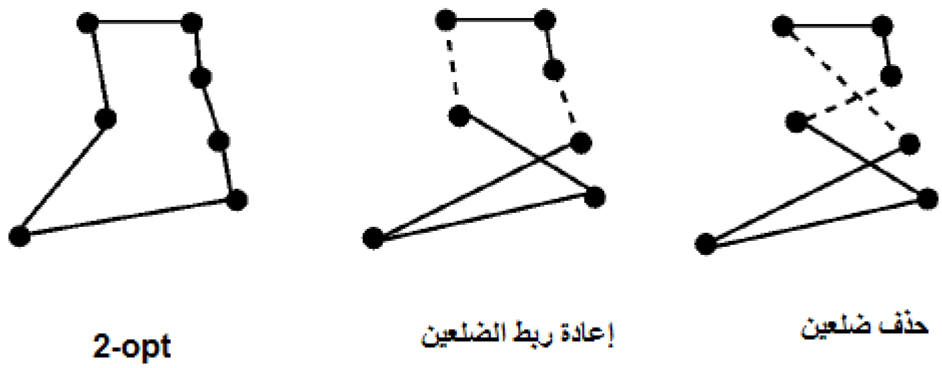
في خوارزمية نظام مستعمرة النمل الأساسية ACS ، بعد أن يبني كل النمل حلوله يتم تحسين هذه الحلول من خلال تطبيق البحث المحلي الذي يأخذ زمناً حسابياً كبيراً ويضّيع زمن خوارزمية نظام مستعمرة النمل الأساسية ACS ، ولتوفير زمن الحساب سنطبق خوارزمية البحث المحلي 2-opt فقط بالنسبة لأفضل نملة s حيث (s=1) في هذه المقالة ، من بين m-1 من حلول النمل الذي تم بناؤه في هذا التكرار . [12,8] .

والفكرة الرئيسة هي أن الحل الأفضل لربما له فرصة أكبر لإيجاد أفضل حلّ أمثلي محلي ، عن طريق تطبيق البحث المحلي 2-opt .

7-4 خوارزمية البحث المحلي 2-opt :

هي خوارزمية بحث محلية إرشادية بسيطة قدمها لأول مرة العالم (Croes , 1958) ، واستخدمت لحلّ مسألة البائع المتجول (TSP) ، بالإضافة للعديد من المسائل ذات العلاقة مثل مسألة توجيه المركبة ، وهو إجراء تبادل يولد 2-opt ويعمل على تحسين الحل ضمن الجولة .[12,8] .

إنَّ مبدأ الخوارزمية يقوم على حذف ضلعين من أضلاع نفس الجولة ويحل محلهما ضلعان آخران ، للحصول على جولة فعالة و حذف التقاطعات من أضلاع الجولة إن وجدت ، وإعادة ترتيبها لتشكيل جولة عملية. وأي جولة ناتجة تدعى 2-opt إذا لم يكن هناك إمكانية لتحسين الجولة بتبادل ضلعين ، كما في الشكل (2) .



الشكل (2) : مثال بسيط لخوارزمية 2-opt

7-5 تحديث الفورمون :

في خوارزميات النملة سيتم تحديث فورمون جميع الأضلاع التي تنتمي إلى الجولة التي حصل عليها النمل، علماً بأن تحديث الفورمون في خوارزمية نظام مستعمرة النمل ACS يتضمن قواعد تحديث محلية و كلية . إنَ قاعدة التحديث المحلية لخوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسن IACS تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\tau_{ij}^{new} = \tau_{ij}^{old} + \rho\tau_0 \qquad (4)$$

حيث :

$0 \leq \rho \leq 1$ بارامتر معروف من قبل المستخدم يسمى معامل التبخر .

و $\tau_0 = (n.L_{nn})^{-1}$ هو مستوى الفورمون الأولي على الأضلاع ، حيث إن n هو عدد العقد ، و L_{nn} هو طول الجولة التي أنتجت من خلال أقرب جار إرشادي ، فإذا كان الحل الأفضل حتى الآن لم يتحسن في غضون عدد معين من الأجيال (20 جيلاً في هذه المقالة) ، ويتم إعادة تعيين مستوى الفورمون من كل ضلع إلى المستوى الأولي τ_0 .

إن العالمين (Bullnheimer,1999 & Dorigo ,1996) استخدما الإستراتيجية النخبوية لتحديث الفورمون في نظام النملة ، من خلال إعطاء تأكيد إضافي لأفضل طريق وجد حتى الآن بعد كل تكرار ، مثل هذه الإستراتيجية ستوجه بحث كل النمل الآخر في احتمال نحو حل أُعدّ لبعض أضلاع أفضل جولة .[10,8].

في خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة المقدمة IACS ، إنّ أفضل النمل النخبوي لتكرار يتضمن الأفضل كلياً ، وتكرار أفضل النمل يسمح له بوضع الفورمون على الأضلاع التي تم اجتيازها ، والفكرة هنا أن نوازن بين استغلال أفضل نملة كلياً ، وكذلك الاستكشاف من خلال التأكيد على أفضل تكرار لنملة ، و إن قاعدة التحديث الكلية تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\tau_{ij}^{new} = (1-\gamma)\tau_{ij}^{old} + \gamma\Delta\tau_{ij} \qquad (5)$$

حيث إن $0 \le \gamma \le 1$ بارومتر معرف من قبل المستخدم .

و

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{(L_3 - L_g) + (L_3 - L_l)}{L_3} \qquad (6)$$

حيث L_g و L_l للدلالة على طول جولة أفضل حل كلي ، و تكرار أفضل حلّ على التوالي ، و L_3 تشير لأفضل حلّ في التكرار الحالي .

والأضلاع التي لا تعود إلى أفضل حلّ كلي و تكرار أفضل حلّ ، تفقد الفورمون بنسبة γ ، ليشكل تبخر أثر الفورمون على الطريق .

ويهدف هذا الاختيار لجعل بحث النمل في جوار اثنين من أفضل الجولات ، لتجنب وقوع أفضل جولة كلية في الأمثلية المحلية ، من دون إيجاد حلول جيدة للغاية .

7-6 خطوات خوارزمية مستعمرة النمل المحسنة المقدمة :

1-تعين البارومترات .

2-توليد حل أولي باستخدام خوارزمية أقرب جار الإرشادية .

3-تطبيق خوارزمية البحث المحلي 2-opt على الحل الأولي وتركه ليكون الحل1 من بين الحلول ، g=1 ، h=2 .

4-بناء الحلول استناداً إلى قاعدة بناء الطريق واستمرار تحديث الفورمون المحلي من خلال العلاقة (4) و إجراء الزيادة . $h = h + 1$.

5- إذا كان $h>m$ عندئذ $h = 2$ ، ثم انتقل الى الخطوة (6) ، وإلا انتقل إلى الخطوة (4) .

6-ترتيب الحلول ترتيباً تصاعدياً و تطبيق خوارزمية البحث المحلي 2- opt .

7-تطبيق قاعدة تحديث الفورمون الكلية من خلال العلاقة (5).

8-تسجيل أفضل حلّ حتى الآن، والسماح له أن يكون الحل 1 في الجيل القادم $g = g + 1$.

9- إذا كان معيار التوقف محقق(أي وصل عدد الأجيال G للحد الأقصى) يتم التوقف ،وبالتالي أنتج أفضل حل ، ماعدا ذلك اذهب إلى الخطوة (4) .

الاستنتاجات والتوصيات :

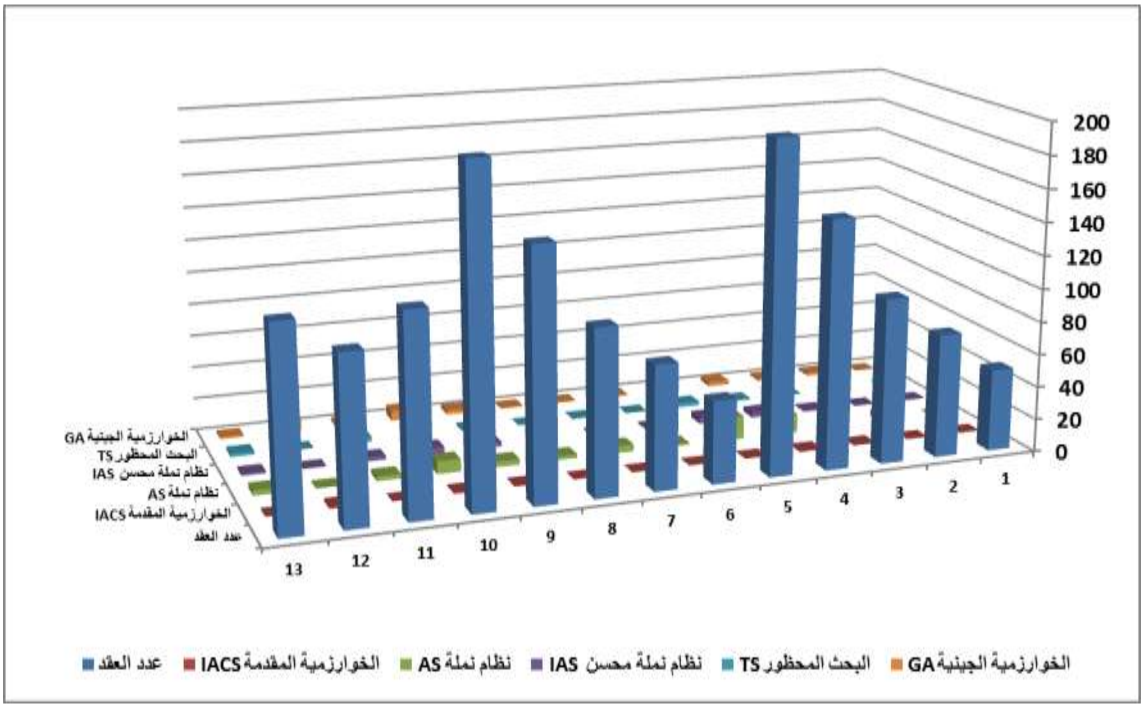
الاستنتاجات :

أجريت النتائج التطبيقية لخوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة IACS المقترحة ، وتم استخدام C ++ لتنفيذ الخوارزمية ، ونفذت التجارب الحاسوبية في PC باستخدام معالج corei3 و GB 2 من ذاكرة الوصول العشوائي . وتمّت مقارنة نتائجنا بنتائج خوارزميات ما وراء إرشادية أخرى ، واستخدام مدخلات نتائج قياسية معروفة في الأبحاث العلمّية VRPLIB .[11] .

الجدول (1) يلخص النتائج التطبيقية للنسبة المئوية لخوارزمية مستعمرة النمل المحسنة المقدمة ، ومقارنتها مع نتائج قياسية معروفة لأربع خوارزميات ما وراء إرشادية . [11] .

الجدول (1) :

عدد العقد	خوارزمية مستعمرة النمل المحسنة المقترحة	نظام نملة [11]	نظام نملة محسن [11]	البحث المحظور [11]	الخوارزمية الجينية [11]
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
75	0.01	4.23	0.08	0.06	1.74
100	0.61	6.45	0.75	0.40	1.76
150	0.84	11.57	3.22	0.75	2.67
199	0.25	14.09	4.03	2.42	6.76
50	0.00	1.35	0.87	0.00	0.87
75	0.00	4.23	0.72	0.39	0.49
100	0.00	2.34	0.09	0.00	0.79
150	0.61	3.39	2.88	1.31	2.62
199	0.99	7.80	4.00	1.62	6.25
120	0.00	2.91	2.22	3.01	1.74
100	1.50	0.05	0.00	0.00	7.11
120	0.29	3.20	1.22	2.12	1.37
100	0.00	0.40	0.08	0.00	0.69

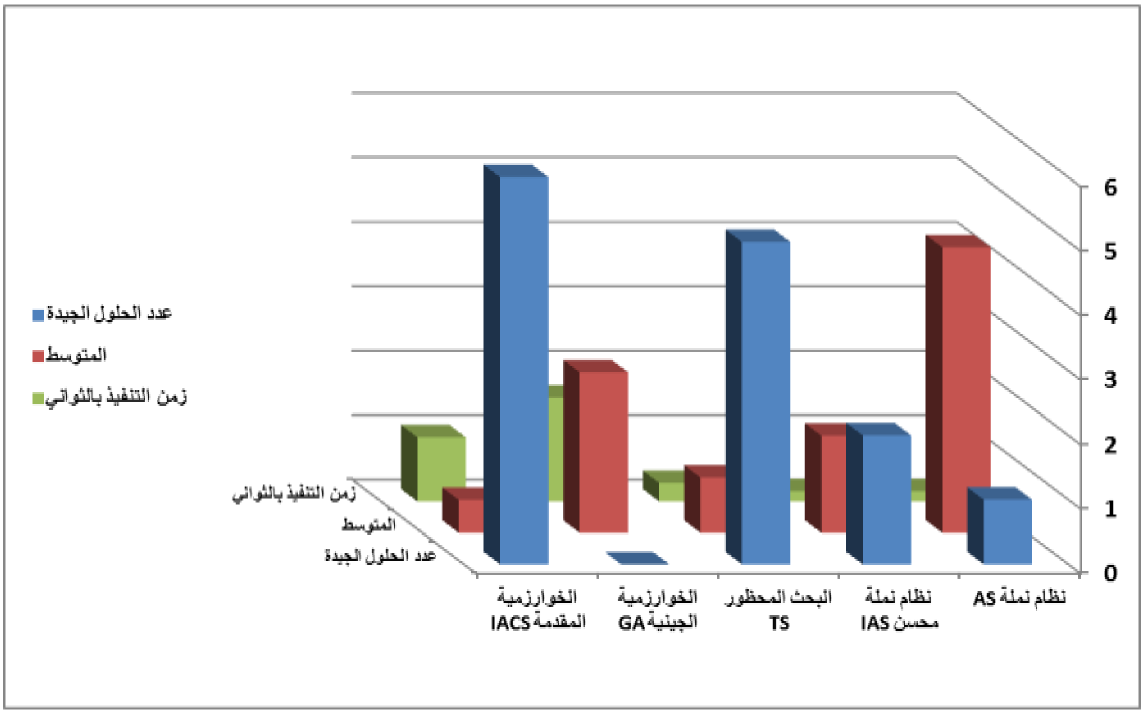


الشكل (5) : مخطط لنتائج خوارزمية مستعمرة النمل المحسنة بالمقارنة مع نتائج قياسية لأربع خوارزميات [11] .

الجدول (2) يقارن عدد الحلول الجيدة والمتوسط وزمن التنفيذ لخوارزمية مستعمرة النمل المحسنة المقدمة ، مع الخوارزميات ما وراء الإرشادية المستخدمة [11] .

الجدول (2) :

الخوارزمية	عدد الحلول الجيدة	عدد الحلول المتوسطة	زمن التنفيذ بالثواني
نظام نملة AS	1	4.43	0.16
نظام نملة محسن	2	1.51	0.16
البحث المحظور	5	0.86	0.29
الخوارزمية الجينية	0	2.49	1.61
الخوارزمية المقدمة	6	0.51	1



الشكل (6) : مخطط يقارن عدد الحلول الجيدة والمتوسط ، وزمن التنفيذ لخوارزمية مستعمرة النمل المحسنة المقدمة مع الخوارزميات ما وراء الإرشادية المعروفة .

تظهر النتائج التطبيقية لأربع مسائل قياسية أن خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسن IACS أكثر كفاءة من خوارزميات أنظمة النمل الأخرى المعروفة في المؤلفات ، مثل خوارزمية نظام نملة AS وخوارزمية نظام النملة المحسنة IAS ، وهي قادرة على منافسة غيرها من الخوارزميات ما وراء الإرشادية ، مثل خوارزمية البحث المحظور TS والخوارزمية الجينية GA ، وخصوصاً للمسائل VRP ذات القياس الكبير . وهي تعطي نتائج أفضل ضمن زمن معقول ، ويمكن إيجاد عدد أكبر من الحلول الجيدة ضمن زمن معقول وتعطي أدنى متوسط مقارنة مع جميع الخوارزميات المعروفة التي تمت المقارنة معها في هذه المقالة ،إذ حسّنت الأداء لحل مسألة توجيه المركبة .

التوصيات :

عالجنا في هذا البحث مسألة توجيه المركبة ، بالاعتماد على خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة IACS التي تعطي تأكيداً إضافياً لأفضل حلّ كلي و لأفضل تكرار ، وأكدت النتائج التجريبية أنها أداة فعالة لتحسين الحل كما أنّ لديها إمكانية تحقيق أداء أفضل ، من حيث سرعة التقارب ، والقدرة على إيجاد حلول أفضل من خوارزميات النمل التقليدية ، وما وراء الإرشادية التي تمت المقارنة معها .

وعلى الرغم من الدراسات العديدة في هذا المجال ، فإنه لا يزال هناك مساحة واسعة للبحث وعليه نوصي بما يلي :

1-تطبيق خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة المقترحة على الأنواع الأخرى من مسائل توجيه المركبة (مثل: مسألة استطاعة المركبة الموجهة ، مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية ، مسألة توجيه المركبة مع التوزيع والتجميع) .

2- اقتراح طرق وأساليب محسنة أخرى وتوظيفها للمساهمة في حل مسائل الأمثلية .

3-دعوة مراكز البحوث والدراسات التطبيقية للتوسع في دراسة الأساليب المحسنة على أساس الخوارزميات ما وراء الإرشادية .

المراجع :

[1] DANTZIG, G.B.; RAMSER, J. H., "The Truck Dispatching Problem," *Management Science,* Vol. 6, No. 1, 1959, pp. 79-89.

[2] LAPORTE, G., "The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms," European Journal of Operational Research, Vol. 59, No. 3, 1992, pp. 345-358.

[3] FISHER .M., "Vehicle Routing. , editors. Network routing, Vol. 8, Handbooks of Operations Research and Management Science, Amsterdam: Elsevier, " chap.1, 1995, pp:1-31.

[4] GILLETT, B.E.; L.R. MILLER, "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem," Oper Res 22, 1974, pp :341–347 .

[5] GOLEN, B.L; ASSAD,A.A., "Vehicle Routing: Methods and Studies," eds. North Holland, Amsterdam,1988.

[6] LENSTRA,J.; RININNOOY KAN, A., "Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems," Networks 11, 1981, pp.225-227.

[7] LIN, S.W.; LEE, Z.J.; YING, K.C.; LEE, C.Y., "Applying Hybrid Meta-Heuristics for Capacitated Vehicle Routing Problem," Expert Syst Appl, 2009, pp.36:1505–1512.

[8] BULLNHEIMER.B ;HARTL.R.F ;STRAUSS.C, "An improved ant System For The Vehicle Routing Problem," Annals of Operations Research, 89, 319-328 (1999a).

[9] DORIGO, M.; BIRATTARI, M.; STUZLE, T., "Ant Colony Optimization, Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique," IEEE Computational Intelligence Magazine, 2006, pp.140-147.

[10] BULLNHEIMER,B. ;HARTL,R.F . ;STRAUSS,C , "A New Rank Based Version of the Ant System - A Computational Study," Central European Journal of Operations Research, 7, pp. 31-38 (1999).

[11] DEIS - Operations Research Group (2012) Library of Instances. *<http://www.or.deis.unibo.it/research_Pages/ORinstances/VRPLIB.html>*

[12] *http://en.wikipedia.org/wiki/2-opt* .