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

استخدام الطرق الهجينة للمساهمة في حل مسألة توجيه المركبة

وسيم حبيب بلال *

(تاريخ الإيداع 22 / 6 / 2014. قُبِل للنشر في 31 / 8 /2014)

□ ملخّص □

في هذا البحث ندرس إمكانية المساهمة في حلّ مسألة توجيه المركبة Vehicle Routing Problem (VRP)، وهي واحدة من مشاكل الأمثلية التي أخذت الكثير من الاهتمام في الوقت الحاضر بسبب تطبيقاتها ذات الطابع اليومي ، والتي هي مشكلة من النوع NP–hard . ولا توجد حتى الآن خوارزمية تقدم لنا الحلّ الأمثل لهذه المشكلة بسبب تعقيد الزمن متعدد الحدود ، فكل الخوارزميات المستخدمة تعطي حلولاً قريبة من الحلّ الأمثل .

سنعرض في بحثنا الخوارزمية الهجينة (HA) Hybrid Algorithm على مرحلتين : في المرحلة الأولى يتم تطبيق خوارزمية المسح (SW) Sweep Algorithm ، وفي المرحلة الثانية يتم تطبيق خوارزمية نظام مستعمرة النمل (AC) Ant Colony Algorithm ، مع خوارزمية البحث المحلي 3–opt local search ، ثم مقارنة الحلّ الناتج من هذا النهج الهجين مع نتائج تجارب قياسية معروفة لتحديد فعالية النهج المقدم .

الكلمات المفتاحية: مسألة توجيه المركبة– خوارزمية المسح– خوارزمية البحث المحلي 3–opt – خوارزمية مستعمرة النمل .

* ماجستير – الرياضيات (اختصاص معلوماتية) – 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

Use of hybrid methods to contribute in solving the Vehicle Routing Problem

Waseem Habib Bilal *

(Received 22 / 6 / 2014. Accepted 31 / 8 /2014)

□ ABSTRACT □

In this research, we are studying the possibility of contribution in solving the Vehicle Routing Problem (VRP), 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 .

In this research, we will present the Hybrid Algorithm (HA) in two phases .In the first phase the Sweep Algorithm (SW) is applied, and in the second one the Ant Colony Algorithm and the local search 3-opt are applied. we will then compare the quality of the solution resulted from this hybrid approach with the results of well-known standard tests to determine the effectiveness of the presented approach .

Keywords : Vehicle Routing Problem**,** Sweep Algorithm, 3-opt local search, Ant Colony Algorithm**.**

***Master degree, Mathematics (Informatics), Department of Mathematics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria .**

مقدمة :

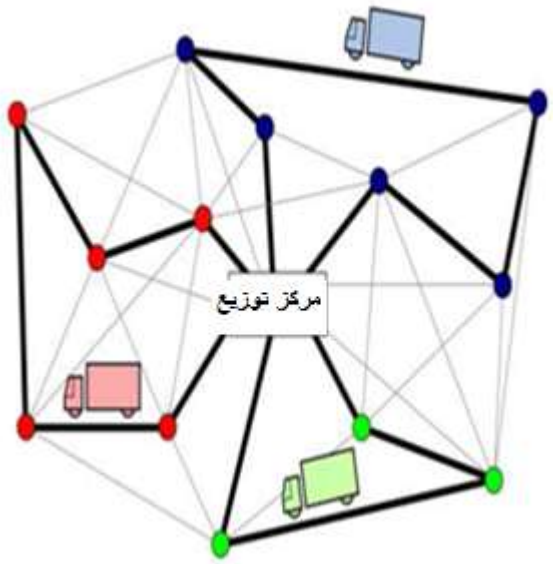
يمكن وصف مسألة توجيه المركبة بأنّها من أكثر مسائل الأمثلية صعوبة ، وهي تعميم لمسألة البائع المتجول TSP، وبالتالي فهي NP–hard ، وأول من وضع النموذج الرياضي لها العالمان (Dantzig & Ramser ,1959)، وحلّها هو المفتاح الأساس لحل الكثير من مسائل الأمثلية ، وخصوصاً في النقل والتوزيع، ويمكن تعريفها كما يلي : إذا أعطيت عدداً من المركبات m المتماثلة في الشكل ولها استطاعات محددة وتقع في مركز توزيع واحد، و مهمتها 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 من مركز التوزيع ، بهدف إيجاد الجولات ذات التكلفة الأقل ، مع احترام كافة القيود التالية : [1].

1- جميع الجولات يجب أن تبدأ وتنتهي في مركز التوزيع .
2- كل زبون يخدم مرة واحدة من خلال مركبة واحدة .
3- إجمالي طلبات الزبائن في كل جولة يجب أن لا يتجاوز استطاعة المركبة Q ..

ويمكن تمثيل مسألة توجيه المركبة ببيان تام موزون موجه أو غير موجه $G = (V, E)$ ، حيث $n = |V|$ مجموعة عقد و $V = \{0.1,2, \dots\dots, n\}$ مجموعة العقد و $E = \{(i,j): i,j \in V \ . i \neq j\}$ مجموعة الأضلاع 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 $(i,j) \in E$ ضلع مرتبطة بكلفة d_{ij} ، والمسافات بين العقد في البيان هي مسافات إقليدية متماثلة ، و $C = (c_{ij})$ مصفوفة كلفة ، والمصفوفتان مرتبطتان 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، ومطلب مركز التوزيع الرئيس $d_0 = 0$ ، والعقد المتبقية تمثل طلبات الزبائن، وكل زبون i لديه طلب ذو وزن غير سالب ويمثل بتابع الطلب $d: V \to Z^+$ ، و m مجموعة المركبات المتماثلة والموجودة في مركز التوزيع . ويعبر عن تابع الهدف بالعلاقة الآتية . [1] .

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

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



الشكل (1) حل مسألة توجيه المركبة

إن مسألة توجيه المركبة التي نعالجها في هذا البحث هي من المشاكل NP–hard ، فكل الخوارزميات المستخدمة تعطي حلولاً قريبة من الحل الأمثل ، ولا توجد حتى الآن خوارزمية تقدم لنا الحل الأمثل لهذه المسألة [3,2] .

وسنعالج المسألة من خلال اقتراح خوارزمية هجينة تدمج خوارزمية المسح SW ، و خوارزمية مستعمرة النمل ACO مع خوارزمية البحث المحلي 3–opt ، ومقارنة هذه الخوارزمية الهجينة مع نتائج قياسية .

أهمية البحث وأهدافه :

ترجع أهمية البحث لكثرة التطبيقات المباشرة وغير المباشرة للمسائل المختلفة ، وبخاصة في المجال الاقتصادي لأنه حافز لكل من الشركات ومراكز الأبحاث لإيجاد أفضل الطرق لحل مسألة توجيه المركبة وتحسين كفاءة وسائط النقل المتعددة وتدفق المعلومات في الشبكات والطاقة وخدمات الطوارئ والخدمات الأمنية ، أي تربط البحث العلمي بالمجتمع كما تلعب دوراً هاماً في عملية اتخاذ القرارات الإستراتيجية .

يهدف هذا البحث للمساهمة في حل مسألة توجيه المركبة باستخدام الخوارزميات الهجينة .

طرائق البحث ومواده :

اعتمدت طرائق البحث على الاطلاع على العديد من المراجع العلمية والبحوث النظرية المنشورة ، والاستفادة من نشرات الأبحاث والكتب العلمية والمصادر البرمجية المفتوحة من الإنترنت [10] .

النتائج والمناقشة :

1- تصنيف مسألة توجيه المركبة VRP :

إن مسالة توجيه المركبة هي NP–hard ، إذ تتضمن مسألة البائع المتجول TSP ، بوصفه حالة خاصة عندما $m = 1$، $Q = +\infty$ ، أما في التطبيق العملي فإن مسألة توجيه المركبة صعبة الحل بالمقارنة مع مسألة البائع المتجول TSP من القياس نفسه .

وإن تعقيد مسألة توجيه المركبة درس من قبل العالمين (G.B. & D.R. Fulkerson[1] , 1954 Dantzig[2]) ، وقد اثبت العالمان (Bodin.L & Golden.B.L ,1981) أن مسألة توجيه المركبة VRP غير قابلة للحل في زمن متعدد الحدود ، وهذا يعني أن زمن الحل لمسألة توجيه المركبة VRP ينمو باطراد مع زيادة عدد العقد ، وبرهن العالمان (Rinnooy Kan ,A. &Lenstra,J,1981) أن كل أنواع VRP بما فيها الشكل الأسهل من الصنف NP–hard ، [10,6,5,3,1] .

وبالتالي لا توجد خوارزميات فعّالة لحل مسألة توجيه المركبة حتى الآن ، و أن أي زيادة بعدد العقد سيزيد بشكل أسي زمن حسابها ، وعندئذ تزداد صعوبة حل المسألة حتى في الحواسيب ذوات الإمكانات العالية ، و قد لا تكون قادرة على حلها بسبب العدد الهائل من العمليات الحسابية اللازمة لحلها .

2- صياغة مسألة توجيه المركبة :

ليكن لدينا $G = (V; E)$ بيان موجه أو غير موجه ، حيث إن $\mathbf{V}$ مجموعة عقد ، $\mathbf{E}$ مجموعة الأضلاع التي تصل بين العقد بالكامل و $c = (c_{ij})$ مصفوفة كلفة ، وكلاهما مرتبط بـ $\mathbf{E}$.

و x_{ij} متغير يقابل الضلع التي توصل العقدة $\mathbf{i}$ مع العقدة $\mathbf{j}$ ، و c_{ij} الوزن الذي يمثل طول هذا الضلع ، وقد_تم وضع النموذج الرياضي لمسألة توجيه المركبة من قبل العالمين G.B. Dantzig[3] , J. H. Ramser في عام 1959. [1] كما يلي :

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

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

خاضع للقيود الآتية :

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

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) على عدم تجاوز طلبات الزبائن استطاعة المركبة .

والقيد (7) على الطول الأقصى للطريق .

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

القيد (10) فهو قيد ثنائي بحيث $\mathbf{x_{ij} = 1}$ و $\mathbf{x_{ij} = 0}$ خلاف ذلك .

3 – الخيارات 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 :

3–1 مسألة استطاعة المركبة الموجهة :

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

3–2 مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية :

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

3–3 مسألة توجيه المركبة متعددة المستودعات :

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

3–4 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 في أثناء العودة .

3-5 مسألة توجيه المركبة الحرة :

في هذا النوع لا تعود المركبات بالضرورة إلى مركز التوزيع بعد خدمة الزبون الأخير .

4- طرائق حل مسألة توجيه المركبة VRP :

يستخدم لحل مسألة توجيه المركبة ثلاثة أنواع من الخوارزميات هي :

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 ، ومن الأمثلة على الخوارزميات المضبوطة [2] :

1-1 خوارزمية التفريع والقطع Branch and Cut .

2-1 خوارزمية التفريع والحد والسعر Branch and Cut and Price.

2- الخوارزميات التقريبية :

هي خوارزميات تستعمل طرقاً إرشادية وما وراء إرشادية مع تحسينات تكرارية من أجل مشكلات ذات قياسٍ كبيرٍ و تقسم إلى مجموعتين رئيستين [6,5] :

2-1 الخوارزميات الإرشادية الكلاسيكية :

هي خوارزميات تستخدم أساليب إرشادية لتسريع إيجاد حل مقنع لمسألة ما ، لأن البحث الشامل غير عملي، و لكنها ليست 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] .

2-2 الخوارزميات ما وراء الإرشادية

هي صنف من الخوارزميات والتقنيات التي تستخدم قدراً من العشوائية لإيجاد أفضل الحلول للمسائل الصعبة ، وهي أكثر عمومية من أنواع الخوارزميات الأخرى ، وتعد طريقة حسابية تحَّسن 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 ، وبالتالي لا تضمن مثل هذه الخوارزميات الحل الأمثل. وهذا النهج فعال جداً للهروب من الأمثلية المحلية ، فهي واحدة من أفضل مجموعة خوارزميات لحل مسائل الأمثلية ، ومن أمثلتها خوارزمية مستعمرة النمل ACO ، والخوارزمية الجينية (GA) Genetic Algorithm . [8,7] .

3- الخوارزميات الهجينة

وجد العديد من الباحثين في الآونة الأخيرة أن توظيف التهجين في مسائل الأمثلية يمكن أن يحسن نوعية الحلول التي يمكن إيجادها مقارنة بالنهج الإرشادي ، وما وراء الإرشادي . [9,8,7] .

وعلى الرغم من الاختلافات الكبيرة والهامة بين هذه الخوارزميات ، لكنها تشترك ببعض العناصر التي تم تجاهلها وتركت غير مستغلة .

سنستخدم الخوارزميات الهجينة للتركيز على نقاط القوة وتعويض نقاط الضعف في الخوارزميات التقريبية السابقة ، و الهدف هو الجمع بذكاء بين العناصر الرئيسة للمنهجيات المتنافسة لإيجاد حل متفوق . [8,7].

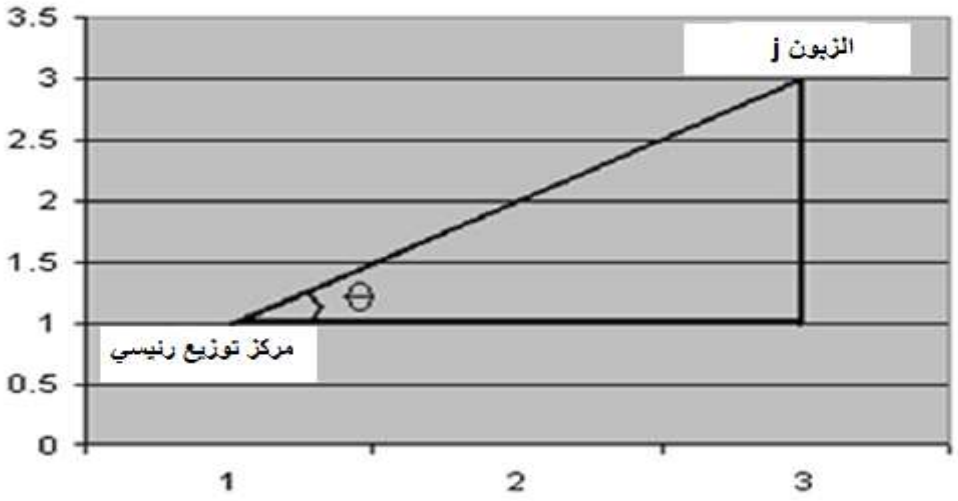
4- معالجة المسألة :

بما أن مسألة توجيه المركبة VRP من صنف المسائل NP-hard . سنستخدم الخوارزميات الهجينة من نفس الصنف NP-hard التي تشكل إطار عمل مختلف لمعالجة مسألة توجيه المركبة VRP .

وسنستعرض الخوارزميات التقريبية المستخدمة لمعالجة المشكلة ، والخوارزمية الهجينة المقدمة .

4-1 خوارزمية المسح (sw):

اقترح العالمان (Gillett & Miller, 1974) خوارزمية المسح Sweep Algorithm(SW) للشبكات الإقليدية التي تصنف وتربط عقد المطلب بزاويتهم القطبية كما في الشكل (2) .



الشكل (2) يظهر ربط عقد المطلب بالزاوية القطبية .

ويتم حساب الزاوية القطبية النظيرة على النحو التالي :

$$An(i) = \arctan\left\{\left(y(i)\right) - y(0)\right)/(x(i) - x(0))\}$$

ويلاحظ أنه إذا كان $y(i) - y(0) < 0$ و $y(i) - y(0) \geq 0$

فإنّ $-\pi < An(i) < 0$ و $0 \leq An(i) \leq \pi$ على التوالي ، و هذه الخوارزمية الإرشادية تعد واحدة من أشهر الخوارزميات الإرشادية القوية . [6].

في البداية يتم حساب الإحداثيات القطبية لكل الزبائن ، إذ إن المستودع هو العقدة بحيث $An(1) = 0$ ، بعد ذلك تتحرك (في اتجاه عقارب الساعة ،أو عكس عقارب الساعة) وتبد أ من الزبون i الذي لم يزر من الزاوية الأصغر إلى الزاوية الأكبر حتى يتم تضمين كافة الزبائن في الجولة .

$$0 = An(1) \leq An(2) \leq \cdots \leq An(n).$$

4-1-1 خطوات خوارزمية المسح (SW) :

خوارزمية المسح هي وسيلة لتجميع الزبائن في مجموعات بحيث يمكن للزبائن في المجموعة الواحدة التي تكون قريبة بعضها من بعض جغرافياً أن تخدم من قبل المركبة نفسها. [8,7]. و تستخدم لذلك الخطوات التالية :

1- تحديد موقع المركز الرئيس بوصفه مركزاً لمستو ثنائي الأبعاد .

2- حساب الإحداثيات القطبية (r_i, θ_i) لكل زبون فيما يتعلق بمركز التوزيع الرئيس .

3- بدء مسح لجميع الزبائن عن طريق زيادة الزاوية القطبية θ لهم .

4- تحديد جميع الزبائن التي يشملها المسح في المجموعة الحالية .

5- وقف عملية المسح عند إضافة الزبون ، إذا كان يتجاوز استطاعة المركبة القصوى .

6- توليد مجموعة جديدة من خلال استئناف المسح.

7- تكرار الخطوات من 4-6 حتى يكون كل الزبائن متضمنين في المجموعة .

4-2 خوارزمية أمثلية مستعمرة النمل:

إن خوارزمية أمثلية مستعمرة النمل هي خوارزمية بحث عشوائية ، مستندة إلى سلوك النمل الطبيعي وتبحث في سلوك النمل، وهذا جزء مما يسمى ذكاء السرب، الذي اقترح من قبل العلماء الايطاليين (M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colorni , 1992) [9] .

يتم وضع كل نملة في العقد المختارة عشوائياً ، إن النملة K في العقدة i تختار للانتقال إلى العقدة j وفق القاعدة التالية :

$$j = \begin{cases} argmax\ u \in allowed_k(i)\{[\tau_{iu}]^{\alpha}[\eta_{iu}]^{\beta}\} & if\ q < q_0 \\ J & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (1)$$

حيث $\tau_{iu}(t)$ كمية الفورمون (pheromone) على الضلع (i,u) ، و η_{iu} متغير يدل على القيمة التي اختيرت بشكل متناسب عكساً مع المسافة بين العقد i، u و β مؤشر يزن الأهمية النسبية لأثر الفورمون ، و q_0 مؤشر ، بحيث $0 \le q_0 \le 1$ ، و q عدد عشوائي ، بحيث $0 \le q \le 1$. $u \in allowed_k(i)$ مجموعة العقد التي لم تزورها النملة K ، و J المتغير العشوائي المحدد وفقاً لقاعدة الانتقال الاحتمالية المطبقة لنظام نملة (2) التي تفضل الطرق التي تكون أقصر و مستوى الفورمون فيها عالٍ ، و في كل خطوة بناء تحدث قيم الفورمون من قبل كل النمل الذي يبني الحل ، ومن الواضح أن هذه الإستراتيجية تزيد من إمكانية تنوع البحث وبالتالي نتفادى الوقوع في الأمثلية المحلية [9,8] .

$$p_{ij}^{k}(t) = \begin{cases} \dfrac{[\tau_{ij}(t)]^{\alpha}[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{l \in J_k(i)}[\tau_{il}(t)]^{\alpha}[\eta_{il}]^{\beta}} & if\ j \in J_k(i) \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (2)$$

4-2-1 قانون التحديث المحلي :

يتم تحديث الفورمون بعد أن يكمل النمل جولتَهُ وفق القانون :

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho).\tau_{ij}(t) + \rho\tau_0 \qquad (3)$$

حيث ρ هو **بارامتر**(مؤشر) التبخّر ، بحيث $0 < \rho < 1$ ، $\tau_0 = \frac{1}{nl_{nn}}$ و $\tau_0 > 0$ يمثل **بارامتر**(مؤشر) القيمة الأولية لأثار الفورمون ، و n تمثل عدد العقد ، و l_{nn} هي التكلفة التي ينتجها أقرب جار إرشادي . [9,8] .

و قاعدة تحديث الفورمون المحلي التي تحد من تركيزه تساعد في استكشاف الطرق غير المستخدمة بهدف إنتاج حلول مختلفة وكذلك تساعد في تجنب الوقوع في الأمثلية المحلية وهذا هو الهدف الرئيس من أداء تحديث الفورمون المحلي الذي يجعل الطريق أقل رغبة للنمل التالي .

4-2-2 قانون التحديث الكلي :

يتم تحديث مستوى الفورمون بعد أن يبني كل النمل جولته ، واختيار أفضل الطرق التي تعود لأفضل جولة كلية لنملة وفق القاعدة التالية :

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho).\tau_{ij}(t) + \rho\Delta\tau_{ij}(t) \qquad (4)$$

وتعطى $\Delta\tau_{ij}(t)$ بالعلاقة التالية :

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^{m} \Delta\tau_{ij}^{k}(t) \qquad (5)$$

حيث m عدد النمل ، $\Delta\tau_{ij}^{k}(t)$ مجموع الفورمون المتروك من قبل النملة K بين العقدة i والعقدة j ، في الزمن t .

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{1}{L_{gb}}, & \text{إذا كانت } (i,j) \ni \text{ أفضل جولة كلية} \\ 0, & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (6)$$

$\frac{1}{L_{gb}}$: أفضل جولة كلية تم العثور عليها حتى الآن . [9,8] .

4-2-3 خطوات خوارزمية أمثلية مستعمرة النمل .

الخطوة الأولى : تعين البارمترات α, β, ρ, Q بوضع قيم أولية لها.

الخطوة الثانية : تهيئة مسارات الفورمون بوضع كمية أولية من الفورمون على الطريق (i,j) ، $\tau_{ij}(0) = c$ ، $\Delta\tau_{ij}^{k} = 0$.

الخطوة الثالثة: يتم وضع m نملة في N عقدة بشكل عشوائي .

الخطوة الرابعة: طالما شرط الإنهاء غير محقق ، يبني النمل الحلول بتطبق قاعدة الانتقال وفق العلاقتين (1) ، (2) .

الخطوة الخامسة: تطبيق البحث المحلي . % اختياري .

الخطوة السادسة : تطبيق قاعدة تحديث الفورمون المحلية (3).

الخطوة السابعة : بعد أن يبني جميع النمل كل الحلول يتم تطبيق قاعدة التحديث الكلية (4) .

الخطوة الثامنة : نهاية شرط الحلقة .

4-3 خوارزمية البحث المحلي 3-opt :

هي خوارزمية بحث محلية بسيطة استخدمت لحل مسألة البائع المتجول (TSP) ومشاكل الشبكات ، و تشمل حذف ثلاثة أضلاع في شبكة أو جولة ، وإعادة ربطها مع ثلاثة أضلاع بديلة لتكوين شبكة بجميع الأضلاع المحتملة الأخرى من أجل العثور على جولات مثلى ، ثم تكرار هذه العملية لمجموعة مختلفة من ثلاثة أضلاع أخرى ، ويمكن الإشارة إلى وجود العديد من الطرق لربط العقد وإنتاج الجولة مرة أخرى على أن تحترم قيود المسألة . [7,4].

4-4 الخوارزمية الهجينة المقدمة

إن خوارزميات البناء تنتج حلاً أولياً عملياً بنفسها ، وخوارزميات التحسين يمكن أن تحسن الحلول من خلال وجود حل عملي .

علماً بأن خوارزمية البناء هي خوارزمية المسح (SW) ، و خوارزميات التحسين هما خوارزمية مستعمرة النمل ACO وخوارزمية البحث المحلي 3-opt .

في هذه الخوارزمية الهجينة التي سنقدمها يتم تطبيق خوارزمية مستعمرة النمل ACO لتحسين طريق كل مركبة ، على أن تبقى عقد كل مركبة بدون تغيير ، ومن ناحية أخرى يتم استخدام خوارزمية البحث المحلي 3-opt لتغيير العقد وتحسين طريق كل مركبة ، و الخوارزمية الهجينة مقسمة إلى قسمين :

القسم الأول : لتحسين طريق المركبة بدون تغيير للعقد .

القسم الثاني : لعملية تحسين طريق المركبة بتغيير العقد .

حيث تعمل خوارزمية مستعمرة النمل لتحسين طريق المركبة ، من دون تغيير للعقد وخوارزمية البحث المحلي 3-opt لتحسين طريق المركبة ، من خلال تغيير العقد التي تمر من خلالها كما في الشكل (3) .

الشكل (3) : (أ، ب) يمثل تطبيق خوارزمية المسح (SW) و (ت) يمثل تطبيق خوارزمية مستعمرة النمل بخصوص قيود المركبة

و من خلال هذا النهج :

أولا : يتم ترتيب العقد التي ينبغي زيارتها من المركبات الموجودة في مركز التوزيع ، من خلال خوارزمية المسح SW ، وبعد ذلك يتم تعينيها في متجهة .

ثانياً : الحالات التي تم الحصول عليها تكون محفوظة بالرغم من تغيير عقدهم المكتسبة ، و لكل متجهة تبدأ المركبة بالانتقال من مركز التوزيع وتزور العقد في المصفوفات الأخرى ، وهذا يعني أنه إذا كانت حمولة مركبة هي أكبر من استطاعتها ، تعود إلى المستودع وتكرر الخطوات حتى لا توجد عقد لم تزار .

و تطبق خوارزمية مستعمرة النمل لكل طريق حتى نحصل على أفضل طريق ، وعند تطبيق خوارزمية البحث المحلي 3-opt ، نحصل على المزيد من التحسين في أداء الخوارزمية .

يبّين الشكل (4) كيفية الحصول على الحل المحسن منه بتطبيق خوارزمية البحث المحلي 3-opt .

الشكل (4) : (أ) يمثل الحل غير محسن. (ب) يمثل حذف ثلاثة اضلاع .(ت) يمثل الحل المحّسن

4-4-1 خطوات الخوارزمية الهجينة المقترحة :

1- m تمثل عدد المركبات .

2- s^* حل عشوائي . // يمثل أفضل حل موجود حتى الآن//

3- $f^* = \infty$. // f^* تمثل أفضل قيمة لحل يمكن الحصول عليه //

4- تهيئة أثار الفور مون .

5- استخدام خوارزمية المسح SW لمطلب العقد التي يجب أن تزار بالمركبات انطلاقاً من المستودع المركزي وتسمى R .

6- وضع الحالات من أجل R التي تم الحصول عليها في المصفوفة T .

7- حلقة تكرارية رئيسة $i=1$ إلى $length(T)$.

8- استخدام خوارزمية المسح SW من أجل $T(i,:)$ لإنتاج حل يدعي بـ $T^*(i,:)$.

9- من أجل طريق كل مركبة نطبق خوارزمية مستعمرة النمل ACS .

10- إذا كان الحل الجديد أفضل من $T^*(i,:)$ ، يستبدل بالحل الجديد الأفضل .

11- تطبيق خوارزمية البحث المحلي 3-opt من اجل $T^*(i,:)$.

12- إذا كان $f(T^*(i,:)) < f^*$ عندئذ

13- $f^* := f(T^*(i,:));$

14- $s^* := T^*(i,:);$

15 - الاحتفاظ بأفضل الحلول حتى نهاية الحلقة الشرطية .

16- نهاية الحلقة التكرارية الرئيسة .

17- إعادة أفضل الحلول s^* و f^* .

18- نهاية الإجراء .

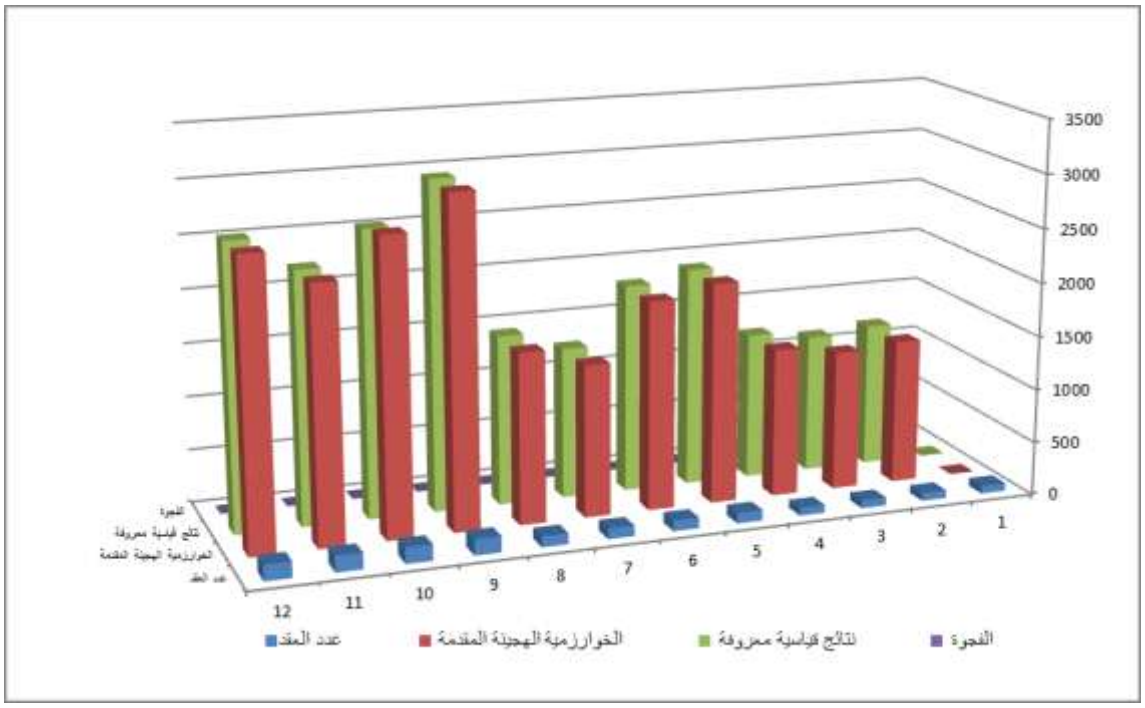
الاستنتاجات والتوصيات :

الاستنتاجات :

قمنا بإجراء النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقترحة التي تدمج خوارزمية المسح SW ، و خوارزمية مستعمرة النمل ACO مع خوارزمية البحث المحلي 3-opt ، و تم استخدام C++ لتنفيذ الخوارزمية ،و نفذنا التجارب الحاسوبية في PC باستخدام معالج corei3 و 2 GB من ذاكرة الوصول العشوائي . وتمت مقارنة نتائجنا مع المدخلات والنتائج القياسية المعروفة في الأبحاث العلمّية VRPLIB [11] .

الجدول (1) النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة بالمقارنة مع نتائج قياسية معروفة وحساب الفجوة بينهما .

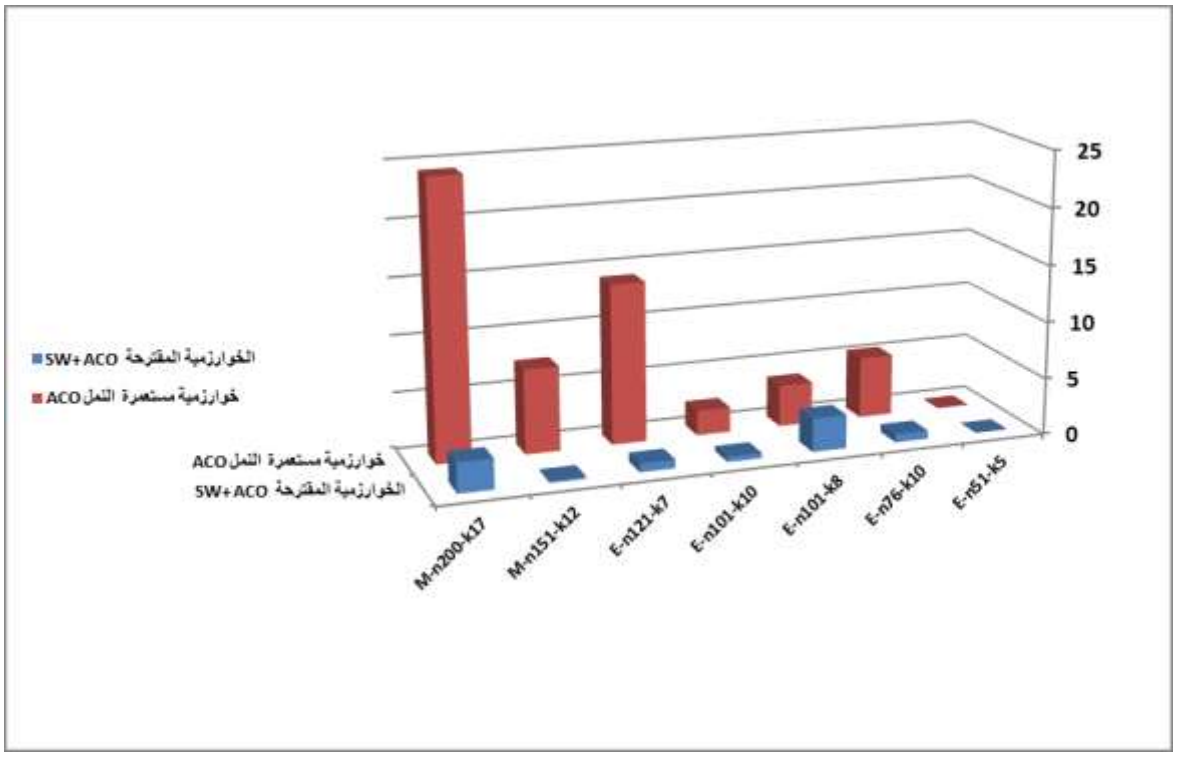
عدد العقد	الخوارزمية الهجينة المقدمة	نتائج قياسية معروفة [11]	الفجوة (GAP) %
75	1.618	1.618	0
75	1,344	1,344	0
75	1,295	1,291	0.31
75	1,380	1,365	1.10
100	2,050	2,041	0.44
100	1,940	1,939	0.052
100	1,411	1,406	0.36
100	1,585	1,581	0.25
150	3,055	3,055	0
150	2,732	2,656	2.86
150	2,364	2,341	0.98
150	2,660	2,645	0.57



الشكل (5) : مخطط للمقارنة بين الخوارزمية الهجينة المقدمة ونتائج قياسية [11].

الجدول (2) النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة ، بالمقارنة مع نتائج خوارزمية مستعمرة النمل ، باستخدام مدخلات قياسية [11] .

مثال قياسي	الخوارزمية المقترحة (SW+ACO)	خوارزمية مستعمرة النمل (ACO) [11]
E-n51-k5	0	0
E-n76-k10	0.72	5.41
E-n101-k8	2.97	3.68
E-n101-k10	0.46	2.20
E-n121-k7	0.76	14.10
M-n151-k12	0.20	7.45
M-n200-k17	2.65	24.36



الشكل (6) : مخطط للمقارنة بين الخوارزمية الهجينة المقدمة وخوارزمية مستعمرة النمل [11].

تبين النتائج التجريبية في الجدول (1) و (2) أن الخوارزمية الهجينة المقترحة التي تدمج خوارزمية المسح SW وخوارزمية مستعمرة النمل ACO مع خوارزمية البحث المحلي 3-opt ، تكون أكثر كفاءة من خوارزمية مستعمرة النمل بمفردها، وخصوصاُ للمسائل VRP ذات القياس الكبير، وتعطي نتائج أفضل ضمن زمن معقول ، وذلك لأن الخوارزميات الإرشادية وما وراء الإرشادية يتطلب عملها الكثير من الوقت، وأظهرت النتائج أن كفاءة الخوارزمية الهجينة المقترحة أفضل من الخوارزميات التي تمت المقارنة معها ، إذ زادت الأداء وخفضت الكلفة لحل مشكلة توجيه المركبة ، وكانت الفجوة صغيرة بين هذه الخوارزمية ونتائج قياسية معروفة .

التوصيات :

عالجنا في هذا البحث مسألة توجيه المركبة ، بالاعتماد على الخوارزميات الهجينة وتأثيرها في نوعية الحل ، وأكدت النتائج التجريبية أن الخوارزمية المقترحة أداة فعالة لتحسين الحل ، وتتميز بقدرتها على تحقيق أداء أفضل من حيث سرعة التقارب والقدرة على إيجاد حلول أفضل من الخوارزمية الإرشادية وما وراء الإرشادية .

لكن تطوير الخوارزميات الهجينة يقدم مساحة غير مستغلة بشكل جيد من قبل البحوث التجريبية ولاستغلالها بشكل جيد يمكن التوصية بما يلي :

1- تطبيق الخوارزمية الهجينة المقترحة على أنواع أخرى من مسألة توجيه المركبة (مثل مسألة استطاعة المركبة الموجهة ، مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية ، مسألة توجيه المركبة مع التوزيع والتجميع) .

2- اقتراح طرق وأساليب هجينة أخرى وتوظيفها لمسائل الأمثلية .

3- دعوة البحوث والدراسات التطبيقية لتحديد أفضل الطرق فعالية لدمج هذه الأساليب .

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 of Operational Research," Vol. 59, No. 3, 1992, pp. 345-358.

[3] FISHER .M., "Vehicle Routing. Handbooks of Operations Research and Management Science," chap.1, 1995, pp.8:1-31**.**

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

[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, Vol.11, 1981, pp.221-227.

[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] ZHANG, X.; TANG, L., "A new Hybrid Ant Colony Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem," Pattern Recognit Lett, 2009, pp.30:850–855.

[9] DORIGO, M.; BIRATTARI, M.; STUZLE, T., "Ant Colony Optimization, Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique," IEEE Computational Intelligence Magazine, 2006, pp.139-147.

[10] BODIN.L ; GOLDEN .B.L,(1981).Classification in vehicle routing and scheduling . Networks 11,98-105.

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