

Using Ant Algorithm to Find the Optimal Critical Path of a Projects Network

Ziyad A. Mohammed

ziyadahmedmz1983@gmail.com

Sama T. Al_Obaidy

samatalee843@gmail.com

College of Computer Science and Mathematics

University of Mosul, Mosul, Iraq

Received on: 08/12/2020

Accepted on: 10/01/2021

ABSTRACT

Intelligent techniques to solve the problem of decision-making in project management, apart from the methods of operations research, the choice was made on one of the algorithms of crowd intelligence represented by the Ant Colony Optimization algorithm (ACO) to solve the matter of finding the optimal critical path for the enterprise business network because the business network is more Networks tradition the behavior of the ant colony system to find the optimal critical path for the Critical Path Network (CPN) as. You own a project beginning contract (the first event) equivalent to an ant hill. The project end contract (the last event) is equivalent to the food site. The matter of finding the optimal critical path for the project is equivalent to the search process to find an optimal (the shortest) path between the nest and the food site.

The program ANTOCPN, written in Matlab language on a virtual business network. The program is featuring by its efficiency, accuracy of results, and the possibility of applying it to any business network, regard of the degree of complexity in terms of the number of paths (activities), whether real or imaginary, smoothly and easily. Also, the results of the ANTOCPN algorithm program were compared with the results of the genetic algorithm program for the same question GAOCPN for previous research, and the ant algorithm proved its worth in terms of speed in obtaining the optimal solution.

Keywords: Ant Colony Optimization (ACO), Critical Path Method (CPM), projects networks.

استخدام خوارزمية نمل لإيجاد المسار الحرج الأمثل لشبكة المشاريع

سما طليح العبيدي

زياد أحمد الجبوري

كلية علوم الحاسوب والرياضيات

جامعة الموصل، الموصل، العراق

تاريخ قبول البحث: ٢٠٢١/٠١/١٠

تاريخ استلام البحث: ٢٠٢٠/١٢/٠٨

المخلص

التقانات الذكائية لحل مسألة اتخاذ القرار في إدارة المشاريع بعيداً عن الطرائق التقليدية كبحوث العمليات، وقد وقع الاختيار على إحدى خوارزميات ذكاء السرب والمتمثلة بخوارزمية أمثلية مستعمرة النمل Ant Colony Optimization (ACO) لحل مسألة إيجاد المسار الحرج الأمثل لشبكة أعمال المشاريع، لكون شبكة الأعمال هي أكثر الشبكات تقليداً لسلوك (طبيعة) نظام مستعمرات النمل لإيجاد المسار الحرج الأمثل لشبكة المشاريع

Critical Path Network (CPN) لكونها تمتلك عقدة بداية المشروع (الحدث الأول) تعادل مسكن النمل، وعقدة نهاية المشروع (الحدث الأخير) تعادل مصدر الطعام. مسألة إيجاد المسار الحرج الأمثل للمشروع يعادل عملية البحث لإيجاد أمثل (أقصر) مسار بين العش وموقع الطعام.

طبّق البرنامج ANTOCPN الذي كتب بلغة ماتلاب (Matlab) على شبكة أعمال افتراضية، ويتميز البرنامج بكفاءته ودقة نتائجه وبإمكانية تطبيقه على أية شبكة أعمال مهما كانت درجة التعقيد من ناحية عدد المسارات (الأنشطة) سواء الواقعية والوهمية بسلاسة وسهولة. وقورنت نتائج برنامج خوارزميه النمل ANTOCPN مع نتائج برنامج الخوارزمية الجينية للمسألة نفسها GAOCPN في بحث منشور سابقاً وأثبتت خوارزمية النمل جدارتها من سرعة الحصول على الحل الأمثل.

الكلمات المفتاحية: أمثلية مستعمرة النمل، المسار الحرج الأمثل، شبكات المشاريع.

1- مقدمة

تعدّ خوارزمية مستعمرة النمل **Ant Colony Optimization (ACO)** من خوارزميات البحث الحديسية (الاستكشافية) للوصول الى أمثل حل؛ فخوارزمية مستعمرة النمل هي نوع من الخوارزميات الحيوية المستمدة من محاكاة أداء النمل الطبيعي باستكشاف المسار وعثور النمل على الغذاء وإيجاد أقصر طريق بين المسكن ومصدر الغذاء في الطبيعة، ويمكن للنمل ترك مادة عطرية كيميائية (Pheromone) على المسار الذي يمر به، وبإمكان بقية النمل أن يدرك هذه المادة أثناء الحركة، ويستخدمها لتحديد اتجاه سيره.

إنّ خوارزميات الأمثلية المعتمدة على الحديسيات القوية metaheuristic يفتح آفاقاً جديدة من التطبيقات في الحياة الحقيقية، وقد أدخل العالم ماركو دورينغو نظام مستعمرة النمل في أوائل التسعينيات من القرن الماضي 1990.

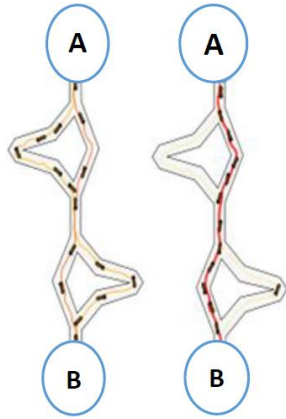
وجدولة الأعمال هي عملية صياغة خطة (شبكة) تتضمن توقيت إتمام المهام لمشروع معين وفق تسلسل محدد يتيح للمؤسسة تحقيق أهدافها في وقت مثالي، وبالنسبة لمشاريع الأعمال تعد وتمثل رسوماً بشكل عقد تمثل مراحل المشروع موصولة مع بعضها بمسارات تمثل معيار انجاز كل مرحلة، ويعتمد المخطط الشبكي للمشروع لرصد المعيار الإجمالي للمشروع ونسبة انجاز المشروع [9] واستخدمت فكرة التمثيل الرسومي لشبكة أعمال المشاريع التي ظهرت في أواخر الخمسينيات من القرن الماضي.

2- نظرة عامة عن مستعمرة النمل الطبيعية

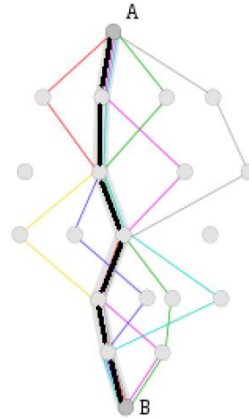
النمل كائنات شبه عمياء وعديمة الذاكرة وذات دورة حياة قصيرة الأمد ومع ذلك تتمتع بقدرة هائلة على تشكيل شبكة أنموذجية من المسالك بين مسكنها وأماكن وجود الغذاء، وفي العالم الطبيعي يتجول النمل (مبدئياً) بشكل عشوائي، وعند العثور على الطعام يعود إلى مستعمرته بعد ترك مادة عطرية (أثر) على المسارات التي سلكها؛ ليعتمد المسار ذو الأثر الأقوى للوصول إلى الغذاء، ومع مرور الوقت يبدأ الفرمون الملقى على المسار بالتطاير (التبخّر) مما يقلل من تركيز الأثر، وهذا يقلل من احتمالية اختيار المسارات ذات التراكيز القليلة، وبالنتيجة إيجاد أقصر مسار بين المستعمرة ومصدر الغذاء.

وفكرة خوارزمية مستعمرة النمل الاصطناعي هي تقليد ومحاكاة سلوك النمل بحيث يتيح الوصول إلى الحلول المثلى للمسائل الواقعية، وفكرة خوارزمية النمل من محاكاة عملية البحث عن الطعام كما نلاحظ الشكل (1)، [1]. وخطوات سلوك النمل تتمثل بالآتي:

- 1- بدايةً مجموعة من النمل المستكشف ينطلق من المسكن في عدة اتجاهات بمسارات عشوائية للبحث عن مصادر للغذاء.
- 2- تتواصل النملة مع أفراد مجموعتها بواسطة فرز مادة كيميائية عطرية Pheromone على المسار الذي تسلكه، لإرشاد المجموعة على مسارها (موقعها).
- 3- عندما تجد النملة مصدر الطعام تأخذ كمية منه وتسلك المسار الذي يحوي أكبر كمية فيرمون للعودة إلى المسكن، وأيضاً أثناء عودتها تفرز كمية منه.
- 4- تتحسس بقية أفراد مستعمرة النمل مسار النملة التي اكتشفت المصدر الغذائي أولاً، وعليه ستزداد حركة النمل على هذا المسار، ومع زيادة تركيز المادة العطرية المفترزة عليه سيزداد انجذاب النمل إليه؛ كونه المسار المثالي (الأقصر والأسهل) بين المسكن ومصدر الغذاء.
- 5- من الممكن أن تتوصل المستعمرة إلى مسار دون المستوى الأمثل كما في الشكل (1-A)، [8]؛ لذا يجب أن يُرسل النمل الباحث لاستكشاف المسار الأمثل (الأقصر) بين المسكن ومصدر الغذاء عن طريق جمع مسارات عدة واختيار الأفضل بينهم وبشكل دوري. كما في الشكل (1-B)



الشكل (1-A): استكشاف المسار الأمثل

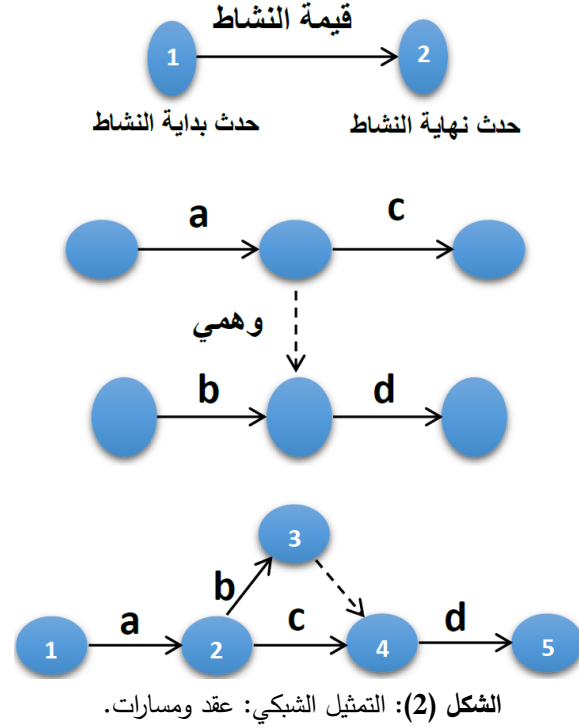


الشكل (1-B): اختيار المسار الأمثل

الشكل (1): آلية البحث لدى النمل لاستكشاف مسارات لمصدر الطعام

3- المفاهيم الأساسية لتمثيل وإعداد المخطط الشبكي للمشروع

الشبكة هي تمثيل رسومي للمشروع؛ إذ إن تحليل الشبكات يوفر طريقة عملية لرصد التقدم المحرز في انجاز المشروع بأقل وقت ممكن، كما يمكن استخدامها للمساعدة في تخصيص الموارد وتقليل التكلفة الإجمالية؛ فيوضع أحد المعايير (الوقت، الكلفة، الربح) على النشاط، وقد نستعين بنشاط وهمي أو أكثر. توصف شبكة الأعمال كشجرة Tree لها عقدة بداية Root Node التي تمثل بداية المشروع (أول نشاط)، وتتجز الأنشطة Child Node بالتسلسل وعلى وفق مسارات الشبكة لحين الوصول إلى النشاط النهائي Leaf Node. لا تخلو شبكة الأعمال من نشاط وهمي لإتمام مسار كامل وكلفة هذا المسار هي صفر؛ إذ يرمز لبداية الشبكة بالعقدة الأولى ويستمر ترميز العقد تصاعدياً وباتجاه اليمين لغاية آخر عقدة بالشبكة، وكما موضح في الشكل (2)، [2].



- أ - **النشاط Activity**: مجموعة من المهام يتطلب أداؤها مجموعة من الموارد المادية: البشرية، الوقت، المواد، المعدات، الكلف أو الأرباح، [7, 6, 8].
- **النشاط الفعلي**: هي الأنشطة التي تستغرق وقت وتستهلك موارد مادية وبشرية ويعبر عنها بخط متصل.
- **النشاط الوهمي**: هي الأنشطة التي لا تستغرق وقتاً ولا تستلزم أي موارد مادية وبشرية ويعبر عنها بخط منقطع وتكون قيمته = 0.
- ب- **الحدث Event**: يعبر عنه بعقدة، توضع العقد بين الأنشطة لتبين نهاية نشاط وبداية نشاط آخر، والعقدة الأخيرة في الشبكة تمثل نهاية المشروع ككل.
- ج- **المسار Path**: يمثل سلسلة من الأسهم المتعاقبة تبدأ بحدث البداية وتنتهي بحدث النهاية.

4- أسلوب المسار الحرج (CPM) Critical Path Method

يُعد أسلوب المسار الحرج (CPM) أسلوباً تقديرياً اعتمد في التخطيط والتحليل والتحكم في تقدم وإنجاز المشاريع الكبيرة والمعقدة؛ فالمسار الحرج هو أطول مسار في الشبكة، أو إنه المسار الذي يستغرق أقصى وقت لإنجاز المشروع من حدث البداية إلى حدث النهاية، وأظهر هذا الأسلوب المهندس J.E. Keely في عام 1957م في شركة emington-Rand والمهندس W.R. Walker في شركة Dupont، [10]. وذلك لغرض جدولة عمليات التعطل بسبب الصيانة في مصنع المواد الكيميائية، وبدأت شركة فورد للسيارات وجنرال موتورز وأبل للتلفونات باستخدام أسلوب المسار الحرج، واستخدمته عام 1973 القوات المسلحة المصرية في عبور قناة السويس واستخدام لأول مرة في العراق عام 1975 في بناء سد حميرين. إن الغرض الرئيس من هذا الأسلوب التأكد التام من وقت الإنجاز؛ إذ يفترض أسلوب المسار الحرج أن الوقت المتوقع لأداء العمليات المختلفة لإتمام المشروع معروف والعلاقة بين الموارد المستخدمة والوقت المطلوب لأداء العمليات المختلفة معلومة أيضاً [3].

5- دراسات سابقة:

تم العمل على خوارزميات عدة لتحسين مستعمرة النمل (ACO) في حل العديد من مشكلات التحسين الاندماجي المعقدة، مثل مشكلة: البائع المتجول، توجيه السيارات، وتلوين الرسم البياني، والتخصيص التربيعي، وتحسين حركة المرور، ومشكلة جدولة المتاجر وأثبت البحث قدرة نظام Ant على إنتاج مسار حرج جيد ومسارات دون الحرجة (N. Ravi Shankar, P. Phani Bushan Rao, S. Siresha and K. Usha Madhuri 2011,[11].

كذلك قام كل من (سماء ظليع عزيز، نعم عبدالمنعم عبدالمجيد، لمياء جاسم محمد) بعمل بحث على شبكات أعمال عدة ومنها شبكة أعمال جسر الصرافية، وأثبت GAOCPN دقة النتائج وبوقت قياسي، وفي بعض الأحيان أعطى نتائج مثلى أفضل من الطرائق التقليدية (البرمجة الديناميكية) ونتائج مطابقة للبرنامج الجاهز Win_QSB لكن بوقت قياسي، [12].

وقد قام (خالد ضاري الطائي، ابتهاج هاشم رحيم) باستخدام خوارزمية مستعمرة النمل في إيجاد الحل الأمثل لجدولة الأعمال Business scheduling المتعلقة بمسألة جدولة (توزيع) المرضى على أجهزة التشخيص الطبي في مستشفى العلوم العصبية وبشكل يضمن إتمام تشخيصهم بوقت مثالي (أقل وقت)، وقورنت بالخوارزمية الجينية GA وتبين أن خوارزمية ACO هي الأفضل وتوصل البحث إلى أفضل متسلسلة بالأعمال واحتساب الوقت التكميلي الأمثل، [13].

6- خطوات خوارزمية مستعمرة النمل الاصطناعي (ACO)

تمثل خوارزمية مستعمرة النمل الذكائية محاكاة لسلوك النمل في الطبيعة؛ إذ إن كل نملة تبني حلاً للمسألة المطروحة: [4,3]

أولاً/ تهيئة معاملات خوارزمية ACO:

1- α, β : وهي معاملات ثابتة بين (0 و 1) لكل منهما وتحدد نسبة أهمية كل من المادة العطرية والمعلومات الحديسية على التوالي ويصفان مدى قوة جذب المادة العطرية للنمل.

2- m : هو عدد النملات Ants .

3- n : هو عدد العقد Node لشبكة المشاريع.

4- $tour$: معيار لتوقف رحلة النمل أو عدد الجولات الكلية للنمل للبحث عن الحل (كل جولة تبدأ من أول عقدة (نشاط) لشبكة المشروع وتنتهي الجولة الواحدة حينما النملات جميعها تصل إلى آخر عقدة (نشاط) لشبكة المشروع .

3- Q : قيمة ثابتة ضمن المدى (0,1) لتحديد مقدار الزيادة في كمية الأثر وبالتالي فهي تحدد نسبة كثافة المادة العطرية التي تفرزها النملة.

4- E : معامل تبخر المادة العطرية المترسبة على المسار وقيمتها ثابتة محصورة بين (0,1)

5- مصفوفة الأثر τ بحجم $n-1*n$ ؛ إذ تعطى قيمة أولية للأثر $\tau = 1$ على حافات العقد جميعها وللجولة الأولى فقط وتتحدث مصفوفة الأثر عند كل جولة جديدة للنمل. أي بعدد $tour$ من المرات

6- تحديد الجولة الأولى $current_tour = 1$

ثانياً/ قراءة ملف شبكة الأعمال:

قراءة ملف الشبكة وخزن الحافات (الأنشطة) في مصفوفة (D) ذات حجم $n-1*n$ ؛ إذ إن القيمة $D(i,j)$ تمثل قيمة النشاط بين العقدة i (الصف) والعقدة j (العمود) وعلى النحو الآتي:

$$D(i,j)=\begin{cases} \text{وجود قيمة للنشاط بين العقدة } i \text{ و العقدة } j \text{ بقيمة } d & \dots equ(1) \\ 0 & \text{عدم وجود نشاط بين العقدة } i \text{ و العقدة } j \end{cases}$$

ثالثاً: احتساب الدالة الحدسية η_{ij} :

هذا المعامل يتعلق بكتافة المادة العطرية، وتمثل قدرة النمل في استشعار المادة العطرية. فالدالة الحدسية تحسب لمرة واحدة وعلى النحو الآتي: [15,14].

$$\eta_{ij} = \frac{1}{D_{ij}} \dots equ(2)$$

رابعاً: مرحلة تهيئة النمل لابتداء الجولة:

إنشاء مصفوفة المسارات للنملات جميعها $tabu_{m*n}$ فيوضع النمل في العقدة الأولى (بداية المشروع) لتتعلق النملات جميعها ابتداءً منها، ففي كل انطلاقة جديدة تحدد القيمة 1 في العمود الأول و 0 لبقية أعمدة المصفوفة $tabu$ إيداناً بانطلاقة جديدة للنملات كافة وعدد هذه الانطلاقات بعدد الجولات $tour$.

خامساً: قاعده الانتقال (عملية بناء الحلول):

اختيار النملة للعقدة التالية على وفق المعلومات الحدسية وتركيز الفيرمون؛ إذ تقوم النملة بالتنقل من العقدة الحالية إلى العقدة المجاورة لها وفق احتمالية التنقل المقيدة بشبكة الأعمال؛ إذ تتخذ قراراً احتمالياً لتحديد الخطوة (العقدة) التالية لمسارها. عندما تكون النملة k في العقدة i فإنها تستخدم الفيرمون τ_{ij} والدالة الحدسية η_{ij} للتنقل الاحتمالي، فاحتمالية انتقال النملة k من موقعها الحالي (العقدة الحالية) i إلى العقد المجاورة j وحساب احتمالية اختيار العقدة التالية j على النحو الآتي:

$$p(j) = \tau_{ij}^{\alpha} * \eta_{ij}^{\beta} \dots equ(3)$$

اختيار العقدة التالية تتم بالاعتماد على طريقة عجلة الروليت (roulette – wheel) وعلى النحو الآتي:

1- احتساب احتمالية المسارات:

$$(4) \dots equ \quad p = p(j)/sum(p)$$

حيث تمثل p احتمالات انتقال النملة k إلى العقد التالية j .

2- احتساب المجموع التراكمي لتلك الاحتمالات:

3- اختيار أول عقدة التي مجموعها التراكمي أكبر من رقم عشوائي بين (0,1) والمتولد من الدالة الجاهزة $rand$ لتكون تلك العقدة المختارة هي الخطوة التالية المقررة للنملة k وتضاف تلك الخطوة إلى مصفوفة $tabu$

وتستمر النملة بهذا السياق لحين أن تصل إلى هدفها (آخر عقدة بالمشروع) ويطبق هذا على النملات كافة وبالتالي فالمصفوفة tabu ستحوي على مسارات كاملة وللنملات جميعها.

سادساً: احتساب دالة الهدف لكل حل (نملة):

والمتمثل بمجموع أنشطة مسار رحلة كاملة للنملة k وكالاتي:

$$L(k) = \sum_{j=1}^{path_length(k)-1} D(tabu(k,j), tabu(k,j+1)) \text{ for } k = 1 \text{ to } m \quad \dots equ (5)$$
 path-length (k) يمثل طول رحلة النملة k.

سابعاً: احتساب أفضل رحلة للجولة الحالية current_tour:

والمتمثلة بأفضل مسار حرج والاحتفاظ بمساره.

$$L_{best} (current_tour) = \max(L(k)) \text{ for } k=1 \text{ to } m \quad \dots equ(6)$$

ثامناً: عملية تحديث المادة العطرية بعد كل جولة:

تبدأ بعد أن يكمل النمل كافة جولاتهم (مسارهم) ففي كل مرة تتحرك فيها النملة تترك وراءها بعضاً من المادة العطرية. والهدف من تحديث المادة العطرية هو زيادة الأثر على أفضل المسارات المرتبطة بالحلول الجيدة، وتقليلها على المسارات التي ترتبط بحلول غير جيدة، فالنمل ينجذب (يفضل) نحو المسارات التي تمتلك كمية عالية من المادة العطرية، وعملية تحديث الأثر تتمثل بالآتي:

1- تصفير مصفوفة نسبة تغيير المادة العطرية (الأثر) $\Delta\tau = 0$ ذات حجم $n-1*n$
 2- قاعدة تحديث المادة العطرية: الغرض من التحديث هو لتتبع عملية البحث الذي يقوم به النمل أثناء التجوال، ومن ثم إنتاج حلول مختلفة، وتحديث الأثر تتم عند نهاية تجوال النملات جميعها وبعدد tour من المرات يحدث:

- زيادة كمية المادة العطرية: يعزز النمل المادة العطرية بواسطة وضع كمية معينة على الحواف التي يمر بها؛ فزيادة هذه الكمية ستزداد احتمالية السير على هذا المسار من قبل بقية النمل، إن معادلة تحديث المادة العطرية تطبق فقط على الحواف التي زارها النمل أما الحواف غير المزارة من قبل أي نملة فالمادة العطرية المترسبة عليها تبقى صفراً. وإن كمية المادة العطرية التي تتركها النملات على كامل مسارها والموضوعة على الحافة بين العقدة (i, j) تحسب على النحو الآتي:

$$\Delta\tau_{ij}^{(k)} = \begin{cases} \Delta\tau_{ij}^{(k)} + \frac{q}{l_k} & \text{for } k=1 \text{ to } m \text{ (i, j) على الحافة} \\ 0 & \text{في حالة عدم مرور النملة } k \text{ على الحافة (i, j)} \end{cases} \quad \dots equ (7)$$

- نسبة تبخر (تناقص) للمادة العطرية: ينخفض مستوى (كمية) المادة العطرية التي خلفها النمل وراءه أثناء عملية البحث في الجولات السابقة، فينخفض مستوى (كمية) المادة العطرية على الحافات جميعها (i,j) بمعامل تبخر E. يسهم تبخر المادة العطرية في زيادة قدرة الخوارزمية على استكشاف مسارات جديدة في فضاء البحث، وبالنسبة للحواف التي لا يمر بها (لا تسلكها) النمل في مسارها فلا يوضع أي مادة عطرية عليها ويمرور الوقت ستتبخر (يقل تركيز) المادة العطرية سيشرح النمل لاختيار حواف أخرى مؤدية بذلك إلى نسيان ذلك المسار.

$$\tau_{i,j} = \begin{cases} (1 - E) * \tau_{i,j} + \Delta\tau_{ij} & \text{في حالة مرور النمل على الحافة (i , j) للجولة الحالية} \\ (1 - E) * \tau_{i,j} & \text{في حالة عدم مرور النمل على الحافة (i , j) للجولة} \end{cases} \dots equ(8)$$

تاسعاً: ابتداء الجولة التالية:

current_tour=current_tour+1 (عدم اتمام الجولات جميعها) tour > current_tour يتم

التوجه إلى خطوة رابعاً.

عاشراً: المسار الحرج الأمثل:

بعد إتمام الجولات جميعها يتم إيجاد $\max(L_{best})$ الذي يمثل أمثل رحلة (حل) للمسألة. وتبين المسار الذي حقق الحل الأمثل مع اظهار رسم بياني يوضح الحلول المثلى المحلية عند كل جولة فضلاً عن معدلات الحلول المحلية عند كل جولة.

7- خطوات خوارزمية النمل لشبكة مشروع افتراضية عامة:

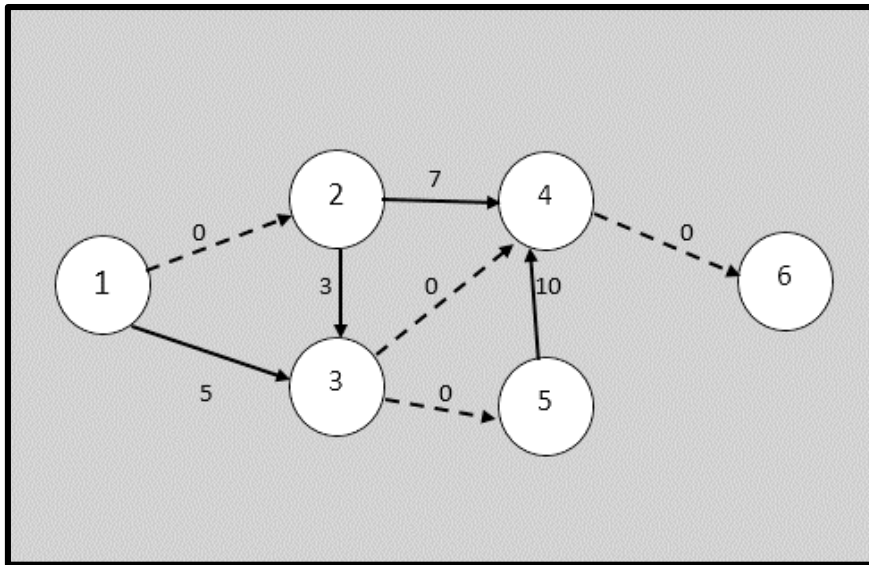
خصصت هذه الفقرة للشرح التفصيلي لخطوات خوارزمية النمل لإيجاد المسار الحرج الأمثل لشبكة أعمال افتراضية وضعت بها الحالات العامة لجميعها للأنشطة: حواف واقعية فقط، حواف افتراضية فقط، حواف واقعية وافتراضية معاً.

1- خطوات خوارزمية النمل لإيجاد المسار الحرج الأمثل:

استعين بشبكة افتراضية كما في الشكل (3). كمثال مبسط لتطبيق خوارزمية النمل وعلى النحو الآتي:

2- تهيئة ملف شبكة الاعمال:

تحول الشبكة إلى ملف نوع (.dat). يتضمن السطر الأول عدد العقد التابعة للعقدة الأولى وأسماء تلك العقد وبالسطر التالي قيم الأنشطة التابعة لكل عقدة وهكذا لبقية أسطر الملف؛ إذ إنّ العقدة الأخيرة التي تمثل نهاية المشروع لا تخزن في الملف، لكونها عقدة ورقية leaf node والجدول (1) يوضح الملف grid6.dat الخاص بالشبكة في الشكل (3).



الشكل (3): شبكة أعمال افتراضية.

الجدول رقم (1): ملف شبكة الأعمال الافتراضية grid6.dat

عدد العقد المرتبطة بها	العقدة التالية للعقدة i	
	قيمة النشاط	
2	2 3	0 5
2	3 4	3 7
2	4 5	0 0
1	6	0
1	4	10

3- قراءة ملف الشبكة الافتراضية (grid6.dat)

يقراً الملف وتخزن محتوياته في متجه هيكلي array of structure باسم grid وهو متجه يمثل عناصر وكل عنصر يحوي على ثلاثة حقول، هي:

1- no : عدد العقد المرتبطة بالعقدة الحالية .

2- node : متجه بطول no يحوي على أسماء العقد المربوطة بالعقدة الحالية.

3- cost : متجه بطول no يحوي على الكلف لتلك الأنشطة، بالنسبة لأنشطة العقد المربوطة بالعقدة الأولى وهكذا بالنسبة لبقية العقد وتتمثل على النحو الآتي:

grid(1).no = 2

grid (1).nodes (1:no) = [2 3]

grid (1). cost (1:no) = [0 5]

i. المصفوفة (D) توضح الحافات (الأنشطة) بين العقدة i المتمثلة بالصفوف والعقدة j والمتمثلة بالأعمدة، فقيمة الحافة المربوطة بين العقدة الأولى (الصف الأول) والعقدة الثالثة (العمود الثالث) قيمتها = 5، وينطبق الحال على قيم المصفوفة d جميعها، والقيمة -1 تشير إلى عدم وجود الحافة والقيمة، تشير إلى وجود نشاط وهمي (إذ إنَّ قيمة النشاط الوهمي = صفر).

$$D(n-1,n) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 5 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 3 & 7 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 10 & -1 & -1 \end{bmatrix}_{5*6}$$

ii. الدالة الحدية لاختيار الأنشطة (الحافات) من قبل النملة وتحسب لمرة واحدة وعلى النحو الآتي:

$$\eta=1/D = \begin{bmatrix} -1.0000 & 0 & 0.2000 & -1.0000 & -1.0000 & -1.0000 \\ -1.0000 & -1.0000 & -1.0000 & 0.1429 & -1.0000 & -1.0000 \\ -1.0000 & -1.0000 & -1.0000 & 0 & 0 & -1.0000 \\ -1.0000 & -1.0000 & -1.0000 & -1.0000 & -1.0000 & 0 \\ -1.0000 & -1.0000 & -1.0000 & -1.0000 & -1.0000 & -1.0000 \end{bmatrix}_{5*6}$$

iii. القيمة الأولية للمادة العطرية الموضوعة على الحافات جميعها $T(n-1, n) = [1]_{5*6}$ ؛ إذ تحدث هذه المصفوفة عند كل جولة.

iv. القيمة الأولية للمادة العطرية المفروزة من قبل النمل في كل جولة.

$$\Delta T(n-1, n) = [0]_{5*6}$$

v. جولات النمل:

تبتدأ كل جولة بوضع النملات في العقدة الأولى والخطوات التالية تبين تفاصيل بعض الجولات وعلى النحو الآتي:

أولاً- الجولة الأولى

1- توضع النملات الست جميعها على عقدة بداية المشروع كما في مصفوفة Tabu لإيجاد مساراتها لاحقاً.

$$\text{Tabu}(m, n) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{6*6}$$

2- اختيار الخطوة الأولى للنملة الأولى عن طريق الدالة الحدسية الموضحة في المعادلة (3)؛ إذ إنَّ العقدة الأولى لها حافتين عند العقدة (2 و3) كما بالشكل (4) وبالاعتماد على الدالة الحدسية كما في المعادلة (3) equ وحساب المجموع التراكمي:

$$\begin{aligned} P &= [0 \quad 0.2] \\ P &= P / \text{sum}(P) = [0 \quad 1] \\ P_{\text{cum}} &= [0 \quad 1] \\ \text{Select} &= 2 \end{aligned}$$

3- ستتجه النملة الأولى إلى الحافة الثانية لكونها اختبرت عشوائياً والمتمثلة بالعقدة الثالثة، التي قيمة نشاطها = 5 وبالتالي سوف يحسب مجموع أنشطة المسار للنملة الأولى في (1) L.

$$\text{Tabu} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} 5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

4- وكذلك بالنسبة للخطوة الثانية للنملة الأولى؛ لأنَّ العقدة 3 مربوطة بعقدة 4 و5 بمسارين وهميين وبالتالي يختار أحد هذين المسارين عشوائياً دون اللجوء إلى عجلة الروليت فيتم التحرك إلى العقدة 5.

$$\begin{aligned} P &= [0 \quad 0] \\ P_{\text{cum}} &= [0 \quad 0] \\ \text{Select} &= 2 \end{aligned}$$

$$\text{Tabu} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} 5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

5- بنفس الخطوات السابقة يحدد مسار النملات جميعها باستخدام الدالة الحدسية وعجلة الروليت وحساب مجموع أنشطة مسار كل منها في متجه L وكما مبين أدناه:

Tabu =	[1	3	5	4	6	0	L =	[5
	1	3	4	6	0	0		5
	1	3	5	4	6	0		15
	1	3	5	4	6	0		15
	1	3	4	6	0	0		5
	1	3	5	4	6	0]		15]

6- في هذه الخطوة نجد أكبر مجموع max(L) لمسارات النمل للجولة الحالية ووضعها في L_best
 $L_best(current_tour) = [15 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$

هناك 4 نملات حققت أكبر مجموع لأنشطة مساراتها والنملات هي [1 3 4 6] Pos فيتم أخذ إحدى

المسارات كحل أمثل محلي والمتمثل بمسار النملة الأولى ووضعها في R_best وعلى النحو الآتي:

R_best(current_tour) =	[1	3	5	4	6	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0]

7 - تحديد معدل مسارات النمل للجولة الحالية:

$$L_ave = [11.6667 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

8- احتساب المادة العطرية المفرزة ΔT من قبل النمل في الجولة الأولى:

يصفر (Delta_Tau) في نهاية كل جولة إيداناً بابتداء الجولة التالية وتحدد قيم ΔT باعتماد معادلة (7) equ

في الفصل الثاني وعلى وفق مسارات النمل؛ إذ إن مسار النملة الأولى من مصفوفة المسارات $tabu(1,:) = [1$

6 5 4 6] فتوضع المادة العطرية على أربع حافات $\Delta T(1,3), \Delta T(3,5), \Delta T(5,4), \Delta T(4,6)$ والمشار

لها بالخط المائل وعلى النحو الآتي:

$\Delta T =$	[0	0	0.0267	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0.0267	0
	0	0	0	0	0	0.0267
	0	0	0	0.0267	0	0]

ثم تضيف النملة الثانية مادة عطرية التي مسارها $tabu(2,:) = [1 \ 3 \ 4 \ 6]$ والمكون من ثلاث حافات

$\Delta T(1,3), \Delta T(3,4), \Delta T(4,6)$ ؛ إذ تزداد كثافة المادة العطرية الملقاة على الحافة $\Delta T(1,3)$ لكونها مسار

كل من النملة الأولى والثانية؛ فالقيم الغامقة تمثل كثافة المادة العطرية التي تركتها النملة الثانية على مسارها،

والقيم المائلة الغامقة تمثل كثافة تركيز المادة العطرية على الحافة من قبل النملتين الأولى والثانية وعلى النحو

الآتي:

$\Delta T =$	[0	0	0.1067	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0.0800	0.0267	0
	0	0	0	0	0	0.1067
	0	0	0	0.0267	0	0]

إذ نلاحظ أنَّ $\Delta T(1,3), \Delta T(4,6)$ تمثل أعلى تركيز عطري على الحافة بين العقدة (1 و 3) والعقدة (4 و 6) الموضوع في الشكل (3). بسبب كون 6 نمولات مرت بهاتين الحافتين، والقيمة 0 تشير إلى عدم وجود مادة عطرية ملقاة على تلك الحافات.

9- احتساب المادة العطرية على المسارات T : فتحسب باعتماد المادة العطرية المترسبة من الجولات السابقة T بعد أن قلَّ تركيزها بسبب معامل التبخير E مضافاً لها المادة العطرية المفزة في الجولة الحالية ΔT والمصفوفة وعلى النحو الآتي:

$$(n-1,n) = T \begin{bmatrix} 0.9000 & 0.9000 & 1.1667 & 0.9000 & 0.9000 & 0.9000 \\ 0.9000 & 0.9000 & 0.9000 & 0.9000 & 0.9000 & 0.9000 \\ 0.9000 & 0.9000 & 0.9000 & 1.0600 & 1.0067 & 0.9000 \\ 0.9000 & 0.9000 & 0.9000 & 0.9000 & 0.9000 & 1.1667 \\ 0.9000 & 0.9000 & 0.9000 & 1.0067 & 0.9000 & 0.9000 \end{bmatrix}_{5 \times 6}$$

وفي نهاية الجولة الأولى زاد التركيز العطري (أكبر من 1) على بعض حافات T في حين أن هناك حافات أخرى حصل لها تبخر فقط والمتمثلة بالقيمة 0.9 وبهذه النتيجة تكون قد انتهت الجولة الأولى.

ثانياً: الجولة الثانية

A. تبدأ الجولة بانطلاق النمولات الست جميعها من العقدة الأولى والموضحة مساراتها على النحو الآتي:

Tabu =	[1	2	3	4	6	0	L =	[3
	1	3	4	6	0	0		5
	1	2	3	5	4	6		13
	1	3	5	4	6	0		15
	1	2	3	4	6	0		3
	1	3	4	6	0	0		5]

B. الاحتفاظ بأمثل حل محلي ومساره ومعدل حلول الجولة الثانية على التوالي:

$$L_best = [15 \ 15 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$R_best (current_tour) = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 4 & 6 & 0 \\ 1 & 3 & 5 & 4 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$L_ave = [11.6667 \ 7.3333 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

C. احتساب المادة العطرية المفزة ΔT للجولة الثانية:

$$\Delta T = \begin{bmatrix} 0 & 1.1949 & 0.1333 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 5 & 4 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1949 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2133 & 0.1149 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3282 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1149 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

فلاحظ أنَّ الحافة $\Delta T(1,2)$ بين العقدة 1 والعقدة 2 كانت مسار لثلاث نملا (1,3,5). أمَّا الحافة $\Delta T(1,3)$ فكانت مسار بقية النملا (2,4,6).

ثالثاً: ملخص الجولات الست المتبقية

وكما موضح في الجولتين الأولى والثانية سيرفد R_best , L_ave , L_best بالحل المثالي المحلي ومساره ومعدل الحل على التوالي والجدول (2) يوضح القيم النهائية لها بعد انتهاء الجولات الثمان.

الجدول (2): ملخص لنتائج الجولات الثمان لمسألة الشبكة الافتراضية.

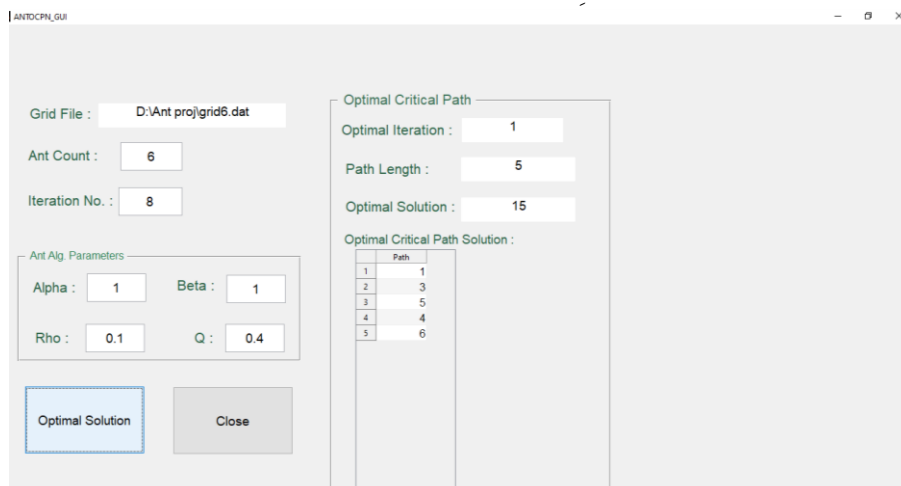
المسارات الحرجة المحلية لكل جولة	القيم المثلى المحلية للمسارات الحرجة	معدل حلول كل جولة
$R_best = [1 \ 3 \ 5 \ 4 \ 6 \ 0$ 1 3 5 4 6 0 1 2 3 5 4 6 1 3 5 4 6 0 1 3 5 4 6 0 1 3 5 4 6 0 1 3 5 4 6 0 1 2 3 5 4 6]	$L_best = [15$ 15 13 15 15 15 15 13]	$L_ave = [11.6667$ 7.333 8.0 9.0 6.3333 11.0 5.6667]

ومصفوفة الأثر النهائية بعد انتهاء الجولات الثمان على النحو الآتي:

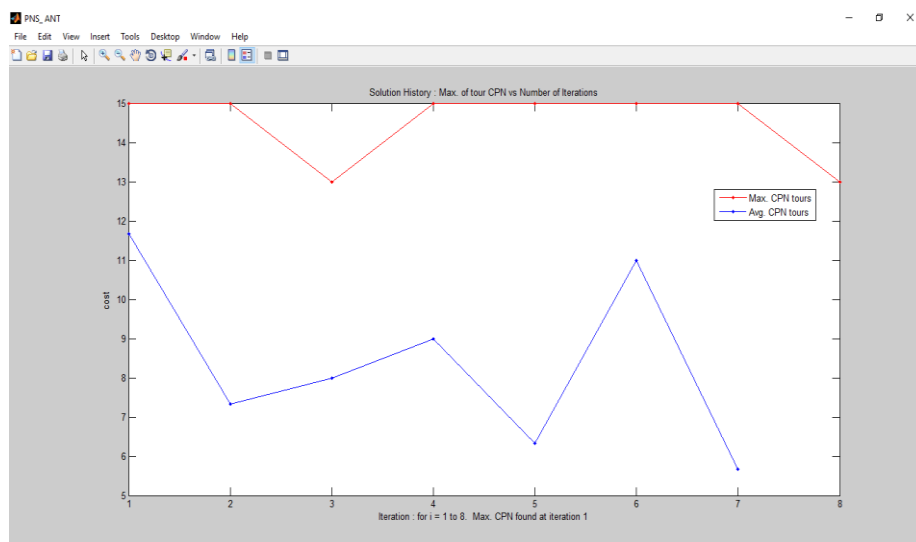
$$T = \begin{bmatrix} 0.4305 & 1.8394 & 1.3918 & 0.4305 & 0.4305 & 0.4305 \\ 0.4305 & 0.4305 & 1.6640 & 0.6059 & 0.4305 & 0.4305 \\ 0.4305 & 0.4305 & 0.4305 & 2.2320 & 0.8238 & 0.4305 \\ 0.4305 & 0.4305 & 0.4305 & 0.4305 & 0.4305 & 2.8008 \\ 0.4305 & 0.4305 & 0.4305 & 0.8238 & 0.4305 & 0.4305 \end{bmatrix}$$

رابعاً: النتائج النهائية لمسألة الشبكة الافتراضية

كما موضح في الشكل (4) للواجهة الرئيسية لبرنامج ANTOGPN حددت 6 نملا و8 جولات وغيرها من المعاملات (على يسار النافذة) وبالنقر على زر Optimal Solution يتضح أنَّ أمثل مسار حرج بطول 5 حافات [1 3 5 4 6] الذي حقق أعلى دالة هدف = 15 الذي وجد عند الجولة الأولى. أما الشكل (5) فيوضح الحل المثلى المحلية لكل جولة من الجولات الثمان للنمل فضلاً عن معدل حلول كل جولة.



الشكل (4): واجهة برنامج ANTOGPN بعد الحصول على أمثل حل للمسألة.



الشكل (5): مخطط بياني يوضح الحلول المثلى ومعدلاتها لثمان جولات.

8- الاستنتاجات:

- i. بالإمكان التعامل مع عقد مربوطة بنشاط وهمي واحد أو أكثر، وعقد مربوطة بنشاط حقيقي واحد أو أكثر، وعقد مربوطة بواحدة أو أكثر من الأنشطة الوهمية والحقيقية معاً.
- ii. بتحليل النتائج التجريبية لبرنامج ANTOCPN الذي اعتمد على عجلة الروليت والدالة العشوائية الجاهزة (rand) كقاعدة لانتقال النمل بين العقد، واتضح أنها تصلح للأنشطة (الحافات) الواقعية، أما في حالة كون أحد الحافات أو جميعها وهمية (قيمتها = 0) ستفشل عجلة الروليت في اختيار تلك الحواف (فرصة اختيارها تكاد تكون معدومة) أثناء انتقال النملة وبالتالي لا بد من حل هذه المشكلة بطريقة تدعم عجلة الروليت وذلك باعتماد الدالة العشوائية (randi) لإعطاء فرص (احتمالات) متساوية لاختيار الحواف بنوعها (الواقعية والوهمية) ضمن قاعدة الانتقال لخوارزمية النمل الخاصة بمسألة شبكات الأعمال.
- iii. يمتاز ANTOCPN بسهولة تطبيقه، لكونه مدعم بواجهات GUI.
- iv. إمكانية تغيير معاملات خوارزمية النمل من أجل تحسين الحل بواسطة واجهة GUI لبرنامج ANTOCPN.
- v. أسفرت نتائج تطبيق ANTOCPN بالحصول على أمثل حل للمسار الحرج الذي تحققه مسارات عدة، مما يعطي حرية لمدير المشروع (متخذ القرار) باتخاذ القرار الأنسب في اختيار إحداها وعلى وفق متطلبات بيئة المشروع.
- vi. التقانات الذكائية لإيجاد المسار الحرج الأمثل لشبكة المشاريع تعمل على نحو مختلف ومستقل عن نظيرتها من الطرائق التقليدية (كبحوث العمليات) لإيجاد المسار الحرج الأمثل.
- vii. أسفر تطبيق في برنامج ANTOCPN بالحصول على المسار الحرج الأمثل نفسه لبرنامج GAOCPN (في دراسة سابقة) لكن بعدد خطوات أقل وبالتالي فإن ANTOCPN هو أسرع بالوصول إلى الحل الأمثل من نظيره GAOCPN.

المصادر

- [1] Youmei Li, Zongben Xu1, (2003) " An Ant Colony Optimization Heuristic for Solving Maximum Independent Set Problems" Proceedings of the Fifth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA'03). 0-7695-1957-1/03 IEEE.
- [2] Zhao, T. and Tseng, C-L, (2003), "**A note on activity flouts in activity-on-arrow networks**", Journal of the Operational Research Society, Vol. (54), PP.1296 -1299.
- [3] Blum, C., and Dorigo, M. (2004), "**The hyper-cube framework for Ant Colony Optimization**" Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B: Cybernetics, Vol. 34 Issus 2.
- [4] Dorigo, M. and Gambardella, L.M., (1997), "**Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem**", IEEE Transactions, Evolutionary Computation, Vol. (1), PP. 53-66.
- [5] الحكيم، لطيف عبد رجب والمنصوري، عبد الجليل آدم، (1987)، "مدخل الى بحوث العمليات"، دار دمشق، دمشق، سوريا.
- [6] الشمري، حامد سعد نور والزبيدي، علي خليل، (2007)، "مدخل الى بحوث العمليات"، دار مجدلاوي للنشر والتوزيع، عمان، الأردن.
- [7] نجم، نجيب عبد المجيد، (2012)، "استراتيجية استخدام أساليب جدولة المشروع، بيرت والمسار الحرج في المفاضلة بين الوقت والتكلفة لإنجاز المشاريع"، مجلة الأستاذ، العدد 202، ص 93-106.
- [8] العبيدي، أسيل إسماعيل علي، د. مهى عبد الرحمن حسو، (2011) تقنية مستعمرة نمل مقترحة لتشخيص الأورام في الصور الطبية. جامعة الموصل، كلية علوم الحاسوب والرياضيات.
- [9] J. Jaya , K. Thanushkodi, (2010) "Segmentation of MR Brain Tumor using Parallel ACO" International Journal of Computer and Network Security, Vol 2, No. 6, June 2010. IEEE.
- [10] Dorigo, M. and Stützle, Thomas, (2004), "**Ant Colony Optimization**", MIT Press, London, England.
- [11] Critical Path Method in a Project Network using Ant Colony Optimization,(N. Ravi Shankar, P. Phani Bushan Rao , S. Siresha and K. Usha Madhuri Department of Applied Mathematics, GIS, GITAM University, Visakhapatnam, INDIA) 2011.
- [12] **Designing a genetic algorithm to find the optimum critical solution for the enterprise business network.**

تصميم خوارزمية جينية لإيجاد المسار الحرج الأمثل لشبكة أعمال المشاريع (GAOCPN)، (د. سماء طليح عزيز، د. نعم عبدالمنعم عبدالمجيد، د. لمياء جاسم محمد : جامعة الموصل، كلية علوم الحاسبات والرياضيات ، 2011).

[13] The use of the ant colony algorithm to find the optimal business scheduling solution

(د. خالد ضاري الطائي (اشراف)، الباحث / ابتهاج هاشم رحيم، كلية المنصور الجامعة، الجامعة المستنصرية (2017).

[14] Abdullah, Hazem, et. Al., (2009), “Using **Ant Colony Optimization algorithm for solving project management problems**”, Expert Systems with Applications, Vol. (36), PP. 10004–10015.

[15] Sim, K. M. and Sun, W. H. (2003), "**Ant Colony Optimization for routing and load balancing: Survey and new directions**", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans, Vol. 33 Issus 5.