

الفصل الثالث

خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتصميم الشبكات الجيومكانية

1.3 مقدمة

يتضمن هذا الفصل تعريف المفهوم العام للبرمجة التقريبية (Heuristic Programming) والطرق التقريبية منه) لمسائل تصنيفها، ومزاياها، وعيوبها وضرورتها. فقد تمّ اقتراح عرض الإطار العام للطرق التقريبية للجبي بي اس، وتبني المفاهيم الأساسية لمركبات هذه الطرق. وذلك من خلال توصيف الشكل الإنشائي لآلية إنتاج مجموعة الحلول المجاورة (Neighbourhood Search Structure) الأكثر مناسبة لمتطلبات كل من شبكات الجبي بي اس المساحية والطرق التقريبية في قبول الحلول التي يتمّ الحصول عليها. وبهذا فقد تمّ شرح الاستراتيجية الأساسية لطريقة البحث المتقارب المحلي (LSD) التي تشكل قاعدة لعمليات البحث الطرق التقريبية للجبي بي اس كطريقة التلدين التجريبي (GPS-SA) وطريقة البحث المحظور (GPS-TS). وأيضاً عرض ووصف وشرح الصيغة المعتمدة لقياس وتقييم أداء البرمجيات التقريبية (Heuristic Programs) مع تقديم أمثلة على تطبيق هذه الطرق التقريبية في الفصل 4 والفصل 5.

2.3 خوارزميات الذكاء الاصطناعي والبرمجة الهيروستيكية

يمكن وصف الطرق الهيروستيكية (التقريبية) بأنها أحدث الأساليب المطوّرة في مجال بحوث العمليات لتحديد الحل المثالي (أو القريب منه) لمسائل التحسين المعقدة (Complex Optimization Problems). عادة تعرف مسائل التحسين التجميعية التوافقية (COPs) بأنها سهلة التوصيف ولكن من الصعب حلها. ولهذا فقد عرض البحث أمثلة نموذجية عن هذه المسائل التجميعية التوافقية منها: مسألة تنظيم ترتيب العمليات على الآلات (Machine-Scheduling Problem) (Osman and Kelly, 1997)، مسألة تجزئة المجموعة إلى أجزاء فرعية (Set-Partitioning Problem) (Glover, 1977)، مسألة تموضع المحتويات في المستودعات أو أماكن التجميع (Warehouse Location) (Charalambous and Elimam, 1990)، مسألة البائع المتجول (Travelling Salesman Problem) (Lin, 1975)، مسألة تخصيص الوظائف (Assignment Problem) (Martello and Toth, 1981)، ومسألة تحديد مسارات العربة (Vehicle Routing Problem) (Golden, 1977b). فقد تنشأ هذه المسائل في مجال الأعمال التجارية، والهندسة والصناعة والعديد من المجالات الأخرى. لقد تطورت الطرق التقريبية بشكل كبير مع بدايات ثمانينات القرن الماضي، وحققت نجاحات على نطاق واسع في حل مجموعة متنوعة من المشكلات العملية والصعبة في علوم الحاسب الآلي (Computer Science, CS)، والذكاء الاصطناعي (AI)، وبحوث العمليات (OR).

تمّ تعريف المفهوم التقريبي وشرحه بشكل جيد في الدراسات المرجعية. إن أصل كلمة هيروستيك هو (Heuriskein) مشتقة من اليونانية وتعني اكتشاف (To Discover). وهذا المعنى له استخدامان:

- توصيف نهج أو طريقة للتعلم بالمحاولة، دون الحاجة بالضرورة لوجود فرضيات منتظمة (Organized Hypothesis) أو طريقة لإظهار بأن النتائج قد أثبتت أو أدحضت الفرضيات. وهذا هو، التعلم بالتجربة والخطأ (Trial-And-Error).
- تتعلق باستخدام المعرفة العامة المكتسبة بالخبرة، وأحياناً يعبر عنها

بقاعدة الإبهام (Rule-Of-Thumb).

في هذا الكتاب تمَّ إجراء محاولة للتعامل مع اثنين من المفاهيم المختلفة لمضمون وفكرة الطرق التقريبية. في المعنى الاول، إن الفكرة الأساسية من عمليات البحث التقريبي هو أنه بدلاً من محاولة كل مسارات البحث الممكنة، فإنه يتمَّ المحاولة والتركيز على المسارات التي يبدو أنها على مقربة أكثر للحصول على الهدف. إن التعريف الجيد لهذا الشرح معطى من قبل الباحث Tonge (1961) وهو أن الطرق التقريبية (هي مبادئ أو أدوات تساهم، بمعدل وسطي إلى تخفيض عمليات بحث إيجاد حل لمسألة ما)، أما البرمجة التقريبية فهي (بناء برمجيات لحل المسألة باستخدام مثل هذه المبادئ والأدوات). أما في المعنى الآخر، فقد اقترح الباحث Lin (1975) شرحاً آخر للطرق التقريبية، وهي أن الطرق التقريبية عبارة عن (الخوارزميات التي تساعد على اكتشاف حل مقبول ضمن حدود الوقت الحسابي).

إن الفرق بين المفاهيم المذكورة أعلاه، هي أن Tonge يعتبر الطرق التقريبية قواعد لتحسين فعالية خوارزمية ما والتي تنتهي فعلياً في نهاية المطاف بإيجاد الحل المثالي. في حين أن Lin يعتبر الطريقة التقريبية خوارزمية لتحسين حل ما مختار وهذا يعني بأن الخوارزمية لن تنتهي بالضرورة عند القيمة العظمى.

البرمجة الهيروستيكية (Heuristic Programming)

عرف نيشولسون (Nicholson 1971) الهيروستيك أو الطريقة التقريبية كما يلي:

«الهيروستيك هو إجراء لحل المسائل بطريقة منهجية تُمكن من تفسير المسألة واستغلالها بذكاء للحصول على حل مناسب».

إن المعنى الجوهرى لهذا التعريف ينبثق من عاملين مهمين، الضرورة باستغلال التصميم الهيكلي للمسألة والحل المناسب لها. إن البرمجة التقريبية والتي هي أداة مفيدة في علوم الإدارة، تتضمن بناء نماذج لاتخاذ القرار ويمكن تسميتها برمجيات حاسوبية لحل المسألة (Problem-Solving Computer Programs). في هذه الدراسة، تمَّ تنظيم برمجيات تقريبية لمسائل مبنية على

استخدام نظام الجي بي اس لتقوم بالاستفادة الفعالة للمعلومات المكوّنة لشبكة الجي بي اس من خلال البحث عن أفضل برنامج ممكن لتنظيم مركبات العمل الحقلية لتصميم شبكة الجي بي اس المساحية وذلك بالتركيز على مبدأ الانتقائية (Selectivity) بدلاً من السرعة الحسابية الخالصة (Pure Computational Speed) (Michie, et, al., 1968). يعتمد تطبيق طرق البرمجة التقريبية في حل مسألة ما على بناء منهجية مبنية على أساس التقدم والتطور في مجال برمجة الكمبيوتر والأجهزة. ويجب على كل من المستخدم (User) والنظام المتبع لحل المسائل (Problem-Solving System) التوقع وقبول قاعدة مشتركة من المعرفة. حيث إنه من الممكن وجوب البناء والعمل بمضمون ذي معنى باستخدام المعلومات الخاصة بالمسألة المراد حلها. ينبغي على ميزات وخصائص أجهزة الكمبيوتر أن تلبي التطورات في عمليات التنظيم الآلي تمشياً مع ما هو عليه بالتزايد الفعلي في السرعة والحجم.

ضرورة الحاجة للطرق الهيروستيكية

إن البحث العملياتي هو علم حل المسائل، وإن ما يميز الباحثين العاملين في البحث العملياتي والمهندسين الصناعيين عن غيرهم هو القدرة الفريدة على استخدام كافة الميادين العلمية لخلق أساليب جديدة لحل المسائل المبنية على اتخاذ القرار. وتتجلى هذه القدرة جيداً في تصميم وتطوير الطرق التقريبية لحل مسائل التحسين المعقدة. وهكذا، يمكن تعريف الطريقة التقريبية بأنها مجموعة التصميم التي غالباً ما توجه بالحس السليم (Common Sense) لتأمين حلول جيدة للمسائل الصعبة بسرعة وبسهولة (Evans and Cullen, 1977).

بالنسبة للطرق الدقيقة (Exact Methods)، فإن الخبرة الحسابية لم تكن مشجعة تماماً حيث إنه غالباً ما يتطلب حل المسائل الحقيقية تحقيق شروط تفوق عن الحد المسموح به بالنسبة لمتطلبات ذاكرة التخزين (Excessive Storage Requirements) والزمن الحسابي (Computing Time). فقد توفر الطرق التقريبية المقدرة لتحل مكان الطريقة الدقيقة ذات التزايد الزمني الأسّي (Exponential Time Growth) واستبدالها بطريقة تقريبية ذات تزايد زمني متعدد الحدود (Growth Time Polynomial) (Martello and Toth, 1990).

إن متطلبات حل المسائل الأكثر تعقيداً ينتج عدداً كبيراً من الخيارات أو البدائل لإيجاد الحل الدقيق. فقد لعبت الطرق التقريبية دوراً فعالاً في مسائل التحسين التوافقي من خلال تقديم طريقة موجهة لتخفيض العدد الكبير للحلول التجميعية الناتجة. بشكل عام، تُعدُّ هذه الطرق مفيدة لإنتاج حلول قريبة من المثالية خلال زمن حسابي مقبول للمسائل المراد معالجتها حيث إنه لا توجد دراسات نظرية وموارد عملية كافية يمكن استخدامها في تطوير خوارزميات مثالية خاصة لحل كل مسألة محددة. وتُعدُّ الطرق التقريبية الأكثر مناسبةً لحل المسائل غير المعرفة بوضوح (Vaguely Defined Problems) والتي لم تنجح الطرق الدقيقة في حلها ومعالجتها بشكل فعال. وهكذا، تكمن أهمية هذه الطرق بضرورتها بالنسبة لصناع القرار والباحثين في البحث العملياتي.

إن التقدم السريع في تكنولوجيا الحاسوب ومعالجة المعلومات قد زوّد صناع القرار بكل من البيانات والحافز لحل المسائل المعقدة والكبيرة الحجم. للأسف، فإن تطوير برمجيات جيدة ومتطورة للتطبيقات الخاصة والمحددة الغرض يتطلب الوقت والمال. من ناحية أخرى، فإن الطرق التقريبية عادة ما تكون مرنة بالبرمجة والتطبيق، فصانع القرار يريد حلاً عملياً يُحسّن من الطريقة التي يستخدمها حالياً. وعادة، يمكن لطريقة تقريبية جيدة أن تؤمن الحلول المثلى أو القريبة منها بكلفة مناسبة. لقد أثبتت الطرق التقريبية بأنها تقنيات ناجحة لحل العديد من المسائل المهمة في الحياة العملية وخاصة التي ليس لها حل تقني يلبي الحدود الزمنية، إلخ. فالطرق التقريبية هي خيار طبيعي لهذه الحالات حيث إن العديد من هذه الطرق تتمتع بالذكاء الفائق من خلال الاستفادة بشكل كبير من التركيبة المعينة للمسألة المراد حلها.

3.3 خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تصميم الشبكة الجيوماتيكية

إن المكونات الأساسية للطريقة التقريبية للجزي بي اس: البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة (Initial Schedule) ومجال الفضاء البحثي المحيط بهذا البرنامج (Search Space)، طريقة تشكيل مجموعة الحلول المجاورة والبديلة والمشتقة من البرنامج الأولي، وآلية البحث عن الحلول في مجال الفضاء البحثي (Search Mechanism). إن المراحل

الرئيسية، والتي تشمل المكونات أعلاه، يمكن وصفها في الأجزاء التالية. تبدأ المرحلة الأولى بتشكيل البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة (Initial Schedule Formation) باستخدام خبرة وحس المهندس المساحي. لتوسيع مجال عمليات البحث الشاملة، فإنه يمكن استخدام عدة طرق لإنتاج مجموعة من البرامج الأولية لتنظيم عمليات التصميم. في المرحلة الثانية يتم إجراء عمليات البحث بتشكيل الانتقال ("Search by Move Formation")، باستخدام جميع طرق البحث المحلي مثلاً طريقة البحث المحظور، وطريقة التلدين التجريبي التي تعتمد على آلية الإنتاج بالانتقال (Move-Generation Mechanism) لإيجاد برامج مجاورة لتنظيم العمل الحقلي من برنامج وحيد للحصول على البرنامج الأقل كلفةً لتنظيم العمل الحقلي. في المرحلة الثالثة يتم إجراء عمليات البحث بتشكيل برنامج تنظيم العمل الحقلي (Search by Schedule Formation)، المبنية على آلية تشكيل برنامج باستخدام الخوارزمية الجينية والبرمجة التطورية (Evolutionary Programming).

في المرحلة النهائية، يتم إنهاء عمليات البحث (Termination of the "Search")، حيث تستمر عمليات البحث إما بالرجوع إلى المرحلة الثانية (إذا تم استخدام عمليات البحث المحلي بعد كل تشكيل) أو بإنشاء دورة أخرى باستخدام عمليات بحث التقييم (Search Evaluation) وعندها تستمر عمليات البحث حتى تحقيق صيغة إيقاف العمل (Termination Criterion). تشير الخطوط المنقطعة إلى الخيارات التي يمكن تجاوزها أو استخدامها. هناك الكثير من الحالات الممكنة غير التي يمكن الحصول عليها من خلال تغيير ترتيب المراحل المذكورة أعلاه، وإدخال أفكار أخرى والتي هي خارج نطاق الدراسة الحالية.

إن تنظيم وترتيب الأشعة في شبكة الجي بي اس المساحية مشابه لما هو معروف في البحث العملياتي بترتيب مركبات العمل التجارية (Job Shop Scheduling JSS) (Nowicki and Smutnicki, 1996). يمكن تعريف مسألة (JSS) كما يلي: كل مجموعة من الوظائف (n jobs) تتم معالجتها بمجموعة من الآلات ($1, \dots, m$ machines) وفق ترتيب معين (Order). ويُعرف (T_{ij}) بزمان معالجة (Processing Time) الوظيفة (i job) بالآلة (j machine). في أي وقت، يمكن لكل آلة معالجة وظيفة واحدة على الأكثر وكل وظيفة يمكن معالجتها بآلة

واحدة على الأكثر (أي لا يسمح بالاستباق أو التجاوز) (preemption is not allowed). إن التسلسل المتبع (Sequence) لمعالجة الوظائف هو ذاته بالنسبة لكل آلة. والهدف هو إيجاد برنامج لتنظيم الوظائف ويحتوي على جميع سلاسل هذه الوظائف لتصغير الحد الأقصى للوقت اللازم لإتمام العمل (Maximum Completion Time). إن وضع عملية رصد الأشعة باستخدام أجهزة الاستقبال للجبي بي اس مشابه إلى عملية معالجة الوظائف من قبل الآلات في مسألة جدولة وظائف الآلة (JSS).

المسألة المراد دراستها هي عملية البحث عن أفضل ترتيب لتنظيم عملية رصد هذه الأشعة بحيث تعطي أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي وبأقل كلفة ممكنة (Minimal Cost of Best Schedule). وبالتالي، يمكن تعريف برنامج تنظيم العمل الحقلي بأنه سلسلة من الأشعة التي يجب رصدها بشكل متعاقب (Consecutively). ولتجنب التعميم في مسائل جدولة وترتيب الوظائف المعقدة، تمّ إيجاد بعض التعديلات التبسيطية التي تسمح باعتماد مسألة جدولة تنظيم العمل الحقلي للجبي بي اس. هذه التعديلات كما يلي:

الانتقال

يُعرف الانتقال (Move) بأنه التحول من برنامج تنظيم العمل الحقلي إلى برنامج آخر ويتميز بمجموعة من السمات (Attributes). وفي هذا السياق تُعرف السمة بالتغيير الحاصل خلال الانتقال. فمثلاً في شبكة الجبي بي اس، يُعبر عن الانتقال بالتبادل الثنائي المتجاور (Neighbouring Pair Exchange)، أي التبادل (Swapping) بين شعاعين في سلسلة معطاة. وتسمى السلسلة (Reachable Sequence) الناتجة بانتقال وحيد ببرنامج مجاور لتنظيم العمل الحقلي وذلك عن طريق التبادل بين الشعاعين.

دالة الهدف أو تابع الكلفة ((Cost Function (makespan))

تُعرف الكلفة (Cost) في هذه الدراسة بأنها الزمن المستغرق للانتقال من برنامج واحد لتنظيم العمل الحقلي إلى آخر ونرغب بتصغير هذا المقدار (Silverman, 1985) (Makespan). وهذا المصطلح (Makespan) هو الزمن الإجمالي ($\sum C_{ij}$) لإتمام رصد جميع الأشعة المطلوبة في الشبكة، أي الزمن

المستغرق الذي يتم به الانتهاء من رصد الشعاع الأخير.

تقييم كلفة الانتقال (Evaluation of the Cost of a Move)

تُعرف كلفة الانتقال (Δ) بأنها الفرق بين قيم تابع الكلفة للبرنامج (V) والبرنامج (V') وتُعطى بالعلاقة التالية:

$$(3.1) \quad C(V) - C(V') = \Delta$$

تم إنتاج البرنامج (V') بتطبيق آلية التبادل الداخلي بين أشعة البرنامج (V).
تمثل القيمة (Cbc) كلفة الانتقال من رصد الشعاع (ab) إلى رصد الشعاع (ac).

السلسلة (Sequence)

في المصطلح العام، تُعرف السلسلة (Sequence) بالترتيب الذي يتم فيه تنفيذ كافة الأنشطة الخاصة بالمسألة المراد معالجتها. في المساحة الفضائية، تُعرف السلسلة بالترتيب الذي يتم فيه رصد الأشعة باستخدام أجهزة الاستقبال. قد تأخذ عملية التسلسل بالحسبان التكاليف المتعلقة برصد شعاع مُعين تمت متابعته برصد شعاع آخر. يُعرف تسلسل الأشعة في هذه الوضعيات كمسألة تدفق العمليات في المتجر (Flow Shop Problem).

برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة

يمكن أن ينظر إلى عمليات ترتيب وتنظيم الأشياء في برنامج بأنها ترتيب هذه الأشياء في نمط معين (Pattern) وفقاً للزمن (Time) أو للفضاء (Space) لتحقيق بعض الأهداف أو تحقيقها بشكل تقريبي، وإن القيود المفروضة (Constraints) على الطريقة التي يمكن ترتيب هذه الأشياء قد تم تحقيقها كلياً أو تقريباً. عادةً في المساحة الفضائية يحتوي برنامج ما لتنظيم العمل الحقلي على المركبات التي تمثل كل المعلومات الضرورية لتنفيذ رصد كامل الشبكة. وهذا يمكن أن يشمل الأزمنة التي يتم فيها تنفيذ عمليات رصد هذه الأشعة، وخطط العمل الخاصة بفريق العمل وأجهزة الاستقبال.

البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة

يمكن إنتاج برنامج تنظيم العمل الحقلي الأولي (V) بأي منهجية

أو طريقة عشوائية اختيارية (Random) أو إنشائي (Constructive) (Procedure) أو بالحدس والخبرة (Intuition). في المساحة الفضائية، يمكن إنشاء البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي يدوياً بالاعتماد على خبرة و حدس المهندس المساحي.

تمثيل برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة

إن عمل أي خوارزمية تقريبية مبني على استراتيجية طريقة البحث المحلي المتقارب. تبدأ هذه الطريقة عملها ببرنامج أولي (V)، وتنتقل إلى برنامج مجاور (V') في مجموعة البرامج المجاورة ((I (V) للبرنامج الأولي، ثم تقوم بتحديد (V'=V) وتكرر هذا النهج حتى يتم تحقيق صيغة إيقاف عمل الطريقة والمحدد مسبقاً. عموماً، تختلف الطرق التقريبية فيما بينها وفقاً لأسلوب اختيار مجموعة البرامج المجاورة، كيفية تمثيل البرنامج، والاستراتيجية المستخدمة لانتقاء البرنامج التالي. إن تمثيل برنامج ممكن لشبكة الجي بي اس يكون بالشكل (V=(V1,V2,...,Vn)) بحيث يتألف كل برنامج في هذه المجموعة من الأشعة ذاتها ولكن بترتيب مختلف.

الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة

إن فضاء البحث لبرنامج تنظيم ما لتنظيم العمل الحقلي يُمثل بالمجال البحثي (Domain) ويتكون من كافة البدائل (برامج تنظيم العمل الحقلي الممكنة). والهدف من ذلك تصغير قيمة تابع الكلفة (الوقت المستغرق لرصد الشبكة) من خلال فحص ودراسة فضاء البحث لبرنامج تنظيم العمل الحقلي باستخدام الانتقالات للتغيير من برنامج إلى آخر، إذا كانت (U) عدد الأشعة، إن حجم الفضاء البحثي لبرنامج يُعطى كما يلي:

$$Q=(U-1)! \quad (3.2)$$

إن المعادلة المبينة أعلاه يتم تقسيمها على (2) في حال أن مصفوفة الكلفة الفعلية متماثلة (symmetric).

مجموعة برامج تنظيم العمليات المجاورة

إن مجموعة برامج التنظيم المجاورة لحل ما تُمثل منطقة (Region) من

الفضاء المحيط بهذا الحل. إن إحدى مشكلات تصميم خوارزمية مبنية على طريقة البحث المحلي المتقارب تكمن بتحقيق التوازن القسري بين عدد البرامج الناتجة والزمن الحسابي اللازم لاختبار هذه البرامج بغية الحصول على البرنامج الأكثر مناسبة. كلما كان عدد البرامج كبيراً كلما أصبحت عملية البحث شاملة وتطلبت زمناً حسابياً أكبر والعكس صحيح. لهذا فإن تصميم خوارزمية تقريبية جيدة يتطلب اختيار مجموعة برامج بديلة تهدف إلى تحقيق التوازن الصحيح المذكور أعلاه ((Wyman, 1973)، (Zadeh, 1973)، (Zanakis and Evans, 1981)). إن الطريقة الأكثر تطوراً ونجاحاً لتشكيل مجموعة البرامج المجاورة والتي استخدمت في هذه الدراسة) تعتمد على خوارزمية لين-كيرنيغان المطبقة على مسألة البائع المتجول (TSP) (Kernighan and Lin, 1970).

في المساحة الفضائية، يتم عادة تحديد مجموعة برامج تنظيم العمليات المجاورة لبرنامج ما لتنظيم العمل الحقلي كمجموعة بديلة (Alternative) ومنفصلة (Discrete) مكونة من مجموعة البرامج التي يمكن الحصول عليها بتطبيق انتقال وحيد (Single Move) على البرنامج الأساسي (Original Schedule). بشكل عام، تحتوي مجموعة برامج تنظيم العمليات المجاورة لبرنامج ما لتنظيم العمل الحقلي على بعض برامج تنظيم العمل الحقلي التي يمكن أن تكون غير جيدة والبعض الآخر منها أفضل من البرنامج الأساسي.

4.3 استراتيجيات خوارزميات الذكاء الاصطناعي في اختيار وقبول الحلول المثالية

يقوم معظم الباحثين العاملين في مجال الطرق التقريبية بتحديد الشكل الإنشائي لمجموعة برامج تنظيم العمليات المجاورة لمسألة معينة ما ويختارون (عشوائياً أو إنشائياً) الحل الجيد التالي (Next Potential Solution) من مجموعة الحلول المجاورة للحل الحالي (Hasan and Osman, 1995). على أي حال، في هذه الكتاب تم تطوير الإنشاء الأكثر مناسبة الذي يلبي متطلبات كل من الجي بي اس والطرق التقريبية، وتم تطبيقه واختباره وتعميمه لكل من الطريقتين التقريبتين للجبي بي اس التلدين التجريبي والبحث المحظور.

إن الإنشاء المبني على البحث المتتابع لمجموعة البرامج المجاورة لتنظيم

العمل الحقلي لتصميم الشبكة (Sequential Neighbourhood Search) يناسب كلاً من الطريقتين المذكورتين آنفاً. في هذا الإنشاء، تم اختبار التبادلات الثنائية الجيدة وفقاً للترتيب $((1, 2), (1, 3), (1, 4), \dots, (1, n), (2, 3), \dots, (1-n))$. ولهذا يتم حساب التغيير في الكلفة ومن ثم يتم قبول أو رفض هذا التبادل وفقاً لاستراتيجية القبول الخاصة بالطرق التقريبية للجبي بي اس المطبقة. تمتحن هذه الاستراتيجية كل برامج تنظيم العمل الحقلي في مجموعة البرامج المجاورة والمشتقة من البرنامج الحالي وقبول أفضل برنامج وفقاً لصيغة القبول المعطاة. تم صياغة الشكل الإنشائي لعمليات البحث المتتابة لمجموعة البرامج المجاورة وفقاً لمتطلبات شبكة الجبي بي اس وقد أعطت نتائج جيدة. لإجراء عمليات المقارنة، تم تنفيذ اختبارات على شبكتين مختلفين في مالطا وسيشيلز،

استراتيجية طريقة البحث المحلي المتقارب

تم عرض طريقة البحث المحلي المتقارب لفهم استراتيجية عمليات البحث التقريبي. تُشكل هذه الطريقة الصنف العام للطرق التقريبية المعروفة جيداً والمبنية على مفهوم تطبيق البحث على مجموعة البرامج المحلية لتنظيم العمل الحقلي المجاورة للبرنامج الحالي (Schaffer and Yannakakis, 1991)، تحاول هذه الطريقة تحسين قيمة برنامج أولي ما تم اختياره كفيلاً لتصميم شبكة الجبي بي اس بتطبيق سلسلة من تغييرات التحسين المحلية (المبادلة بين الأشعة) (Sessions Swapping) (Lin, 1965). تقوم طريقة البحث المتقارب المحلي والمعروفة بطريقة الانتقال تلو الانتقال (Move-By-Move Method) بخلط وتغيير (Perturbates) عناصر البرنامج الأولي (V) لإنتاج مجموعات متنوعة للبرامج المجاورة. يتم إنتاج مجموعة برامج التنظيم المجاورة بتطبيق آلية الإنتاج بالانتقال (A Move Generation Mechanism) والتي هي عبارة عن التحول من برنامج ما (V) إلى برنامج آخر $(V)I \rightarrow V$ بخطوة واحدة (أو عملية تكرارية) (Iteration). يتم اختيار وقبول هذه البرامج وفقاً لبعض الصيغ والمعايير المحددة مسبقاً (Reeves, 1993). من الممكن أن يكون برنامج تنظيم العمل الحقلي الناتج (V) ليس مثالياً، ولكنه أفضل برنامج في مجموعة البرامج المحلية والمجاورة $(I(V))$ لهذا البرنامج. إن البرنامج ذات المثالية المحلية

(Local Optimal Schedule) هو برنامج بكلفة ممكنة ذات قيمة التحسين الصغرى (Local Minimum Possible Cost) وتسمى بالمثالية المحلية (Yannakakis، 1990). يعرض الشكل 2.3 الخطوات الأساسية لطريقة البحث المحلي المتقارب التي تنتج برنامج تنظيم العمل (V).

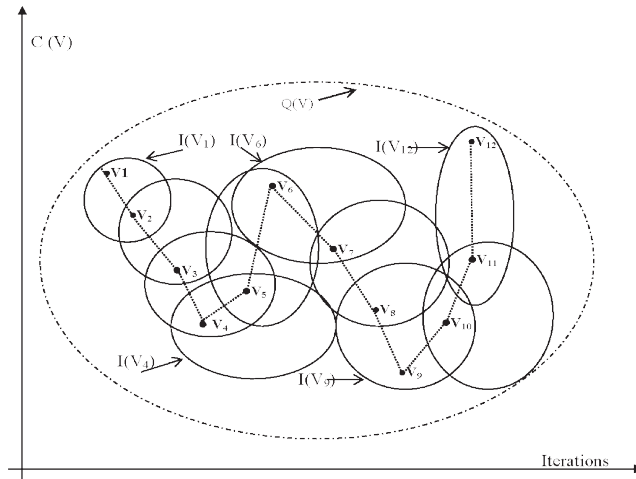
في الشكل 3.3، تُمثّل (V1) البرنامج الأولي، و(V4) البرنامج ذات قيمة التحسين الصغرى (Local Optimum)، و(V9) البرنامج ذات قيمة التحسين العظمى (Global Optimum)، بينما تُمثّل (Q (V)) الفضاء البحثي و(I(V)) مجموعة البرامج المجاورة والمشتقة من البرنامج (V). أيضاً يُظهر هذا الشكل التمثيل التخطيطي لأساليب البحث الحسابية للطرق التقريبية: البحث المحلي المتقارب (LSD)، والتلدين التجريبي (SA)، والبحث المحظور (TS). كما مبين في هذا الشكل، إن أساليب البحث تبدأ ببرنامج أولي (V1) ذات كلفة (C (V1)). يتم إنتاج برنامج عمل مجاور آخر (V2) من ضمن المجموعة (V2 ∈ I(V1)) وتشكيل مجموعة برامج مجاورة (I (V1)) بتطبيق آلية مناسبة (Suitable Neighbourhood Mechanism) ويتم حساب التحسين الحاصل في الكلفة (Δ=C(V2)-C(V1)).

- انتقاء برنامج معطى لتنظيم العمل الحقلي (V ∈ I(V)) وحساب قيمة كلفته C (V)
- إنتاج برنامج ما لتنظيم العمل الحقلي (V' ∈ I(V)) وحساب قيمة كلفته C (V')
- إذا كانت (C(V') < C(V)) فيتمّ تبديل البرنامج الحالي (V) بالبرنامج الجديد (V') أي (V' - V)
- خلافاً لذلك، يتمّ الاحتفاظ بالبرنامج (V) وإنتاج انتقالات أخرى حتى تحقيق (C(V') < C(V)) بالنسبة لكل (V' ∈ I(V)).
- إيقاف عمليات البحث والعودة الى البرنامج (V) كبرنامج ذات مثالية محلية (local optimal schedule).

الشكل 2.3 الخطوات الأساسية لعمل طريقة البحث المحلي المتقارب (LSD).

إذا كانت الكلفة أصغر من الصفر ($\Delta < 0$) يتم قبول البرنامج المجاور (V_2) من قبل جميع الطرق التقريبية كبرنامج حالي جديد (New Current Schedule). خلافاً لذلك، إذا كان الفرق في القيمة أكبر أو مساوياً للصفر ($\Delta \geq 0$)، يتم الاحتفاظ بالبرنامج (V_1) كبرنامج حالي بالنسبة لطريقة البحث المتقارب، ويتم متابعة البحث لإيجاد برامج أخرى مجاورة. بالنسبة لكل متحول (i)، إذا كان البرنامج (V_i) الأفضل في مجموعة البرامج المجاورة التابعة له ($I(V_i)$). فإن طريقة البحث المتقارب تتوقف عن العمل وتعلن أن البرنامج (V_i) هو البرنامج ذات قيمة التحسين الصغرى.

يمكن للطريقتين التلدين التجريبي والبحث المحظور الحصول على البرنامج الأقل كلفة (V_9 في الشكل 3.3) بتطبيق سلسلة انتقالات ذات الاتجاه صعوداً (Uphill) والاتجاه نزولاً (Downhill) وتستمران في عملهما حتى تحقيق صيغة الإيقاف. على أي حال، كلتا الطريقتين تعالجان الحالة ($\Delta > 0$) بشكل مختلف وتسمحان لأساليب البحث بالاستمرار لما بعد المثالية المحلية (Local Optimality) لطريقة البحث المتقارب المحلي. وهذا يعني أن كلتا الطريقتين تقبلان الانتقالات غير الجيدة (Worsening Moves)، أي برامج تزيد من قيمة الكلفة بدلاً من تخفيضها. على أي حال، كل طريقة تعتمد استراتيجيات مختلفة لإنتاج نتائج جيدة بالابتعاد عن المثالية المحلية.



الشكل 3.3 دالة الكلفة الافتراضية مع الاساليب البحثية لاستراتيجية البحث المحلي للحصول على برنامج تنظيم العمل الحفلي لنقل جهاز الاستقبال في الجي بي اس.

إن معرفة الفضاء البحثي لبرنامج عمل ما هو المفتاح الرئيسي لاستراتيجيات البحث الفعّالة للطرق التقريبية. تمّ تصميم هذه الطرق بحيث تستخدم المعرفة المحددة مسبقاً لتتغلب على أسلوب البحث الشامل المعقد وذلك بتنظيم أسلوب بحث عبر البدائل التي يوفرها تمثيل خاص لبرنامج تنظيم العمل الحقلي. إن هدف هذه الطرق التقريبية المطوّرة للجبي بي اس تخفيض حجم الفضاء البحثي وإيجاد برنامج عمل ما أقرب إلى البرنامج المثالي قدر الإمكان. ليست كل الطرق التقريبية على قدم المساواة، وإن تصميم طريقة تقريبية مسألة تجريبية وعملية. إن هذه الطرق مكوّنة من إجراءات تقريبية مقرونة بطرق البحث المحلي. في هذا الكتاب، تمّ تطوير وتطبيق طريقتي التلدين التجريبي والبحث المحظور على شبكات الجبي بي اس. ويلخص الجزء التالي هذه الطرق، ولكن سيتمّ إعطاء مزيد من التفاصيل حول هاتين الطريقتين في الفصول التالية.

خوارزميات الذكاء الاصطناعي

يهدف هذا الجزء إلى تقديم ملخص موجز عن الطرق التقريبية: التلدين التجريبي، والبحث المحظور، والخوارزميات الجينية. تعتمد الطريقة الأولى على نظريات العلوم الفيزيائية (Physical Science Theories) وبشكل خاص الميكانيك الاحصائي (Mechanics Statistical) (Derwent, 1988)، أما الثانية فتنبثق من المبادئ العامة للذكاء في حل المسائل (Intelligent Problem Solving) (Hu, 1992). وتعتمد الطريقة الأخيرة على مفاهيم العلوم البيولوجية (Biological Science Concepts) (Hopfield, 1982). إن تفاصيل تطبيق كل من طريقتي التلدين التجريبي والبحث المحظور لتصميم شبكة الجبي بي اس موجودة في الفصل 4 والفصل 5، بينما تمّ اقتراح طريقة الخوارزميات الجينية للعمل المستقبلي في الفصل 9.

التلدين التجريبي

إن هذه الطريقة مرنة وقوية وقادرة على إنتاج أفضل حل لمسائل الحياة الحقيقية المعقدة. تبدأ طريقة التلدين التجريبي (Simulated Annealing SA) بإنتاج مجموعة الحلول المجاورة وتقييم التغير الحاصل في كلفة الحل الأولي. عند الحصول على تخفيض في الكلفة يتمّ استبدال الحل الحالي بالمجموعة

النتيجة للحلول المجاورة، وإلا يتم الاحتفاظ بالحل الصحيح. يتم تكرار هذه العملية حتى لم يعد بالإمكان الحصول على أي مزيد من التحسين في مجموعة الحلول المجاورة للحل الحالي (Vanderbilt and Louie, 1984). من أجل تطبيق طريقة التلدين التجريبي على مسألة تحسين خاصة، يجب إنجاز عدد من القرارات أو الخيارات التي يمكن تصنيفها عموماً بصنفين. أولاً، خيارات خاصة بالمسألة (Specific Choices Problem) تحدد الأسلوب الذي يتم به نمذجة هذه المسألة بحيث تنسجم مع الإطار العام لعمل طريقة التلدين التجريبي. بعبارة أخرى، تتضمن هذه الخيارات تعريف الفضاء البحثي المحيط والشكل الإنشائي لإنتاج مجموعة الحلول المجاورة، شكل دالة الكلفة والإجراء المتبع للحصول على الحل الأولي. ثانياً، خيارات عامة (Generic Choices) تحكم عمل طريقة التلدين التجريبي ذاتها وتتعلق أساساً بمكونات مقياس التبريد (Cooling Scale)؛ عامل التحكم (Control Parameter) وقيمتها البدائية (درجة الحرارة)، تابع تحديث الحرارة (معدل التبريد)، وعدد العمليات التكرارية بين التخفيضات (سلسلة ماركوف) والشروط التي بموجبها سيتم إنهاء عمل الطريقة. باستخدام مقياس تبريد مناسب، فإنه يمكن الحصول على الحل القريب من المثالي لكثير من مسائل التحسين التجميعي. يحتاج كلا النوعين من الخيارات إلى قرارات تُعمل بعناية وحذر. يمكن تلخيص ميزات طريقة التلدين التجريبي بما يلي: دائماً تقبل انتقالات جيدة، تقبل انتقالات غير جيدة بالاعتماد على الحرارة، تخفض ببطء درجة الحرارة ويمكن الاعتماد عليها لإيجاد الحدود الدنيا المحلية الجيدة.

البحث المحظور

إن الشكل الأساسي لطريقة البحث المحظور (TABU SEARCH TS)، والتي هي منهجية بدلاً من كونها خوارزمية أساسية، بناء قائمة من الانتقالات المحظورة (Prohibited Moves) لتساعد بتوجيه الحل نحو المثالية ذات الحدود العظمى (Global Optimum) بتطبيق الحظر على انتقالات معينة (Porto and Ribeiro, 1995). في بداية البحث، تكون هذه القائمة في معظم الأحيان فارغة ولكن تبدأ بالتشكل في أثناء الحصول على الحل من خلال حفظ وتجميع الانتقالات التي يمكن أن تُرجع هذا الحل إلى حل سابق بمثالية ذات حدود دنيا (Local Optimum). تسمى عملية التحول من حل إلى حل آخر

بالانتقال. يسمى انتقال ما بأنه محظور إذا كان يؤدي إلى الحل الذي تكون فيه قيم السمات (Attribute) موجودة في القائمة المحظورة ويلبي شروط الحظر (Tabu Restrictions). لكي تعمل هذه الطريقة بشكل جيد، ينبغي إدراج العديد من الإجراءات الرئيسية في إجراءات البحث:

- إجراء الحظر الذي ينظم ما يذهب إلى القائمة المحظورة (TL)؛
- إجراءات التحرير التي تنظم ما يخرج من القائمة المحظورة، ومتى؛
- الإجراءات ذات المدى القصير الذي ينظم التفاعل بين الإجراءات المذكورة أعلاه لاختيار الحلول المجربة؛
- الإجراء التعليمي (Learning Procedure) الذي يجمع المعلومات في أثناء تنفيذ طريقة البحث المحظور ومن ثم يستخدم هذه المعلومات المُجمعة لتوجيه الطريقة في العمليات التكرارية اللاحقة؛

الخوارزميات الجينية

تنبثق الفكرة الأساسية لطريقة الخوارزميات الجينية (GENETIC ALGORITHMS GAs) من علم الوراثة السكانية (Genetics Population). خلافاً لطريقتي التلدين التجريبي والبحث المحظور، إن الخوارزمية الجينية عبارة عن إجراءات تكرارية تعمل على مجموعة محدودة (Pool) من الحلول (تسمى الكروموسومات) (Chromosomes) والتي هي عبارة عن سلاسل ثابتة (Fixed Strings) بقيم ثنائية (Binary Values) عند كل وضعية. إن الفكرة الأساسية لهذه الخوارزمية الحفاظ على هذه المجموعة من الحلول المختارة التي تتطور تحت الضغط الانتقائي (Selective Pressure) والتي تختار أفضل الحلول. تمّ استخدام مجموعة من المعامل الجينية (Genetic Operators) لتسهيل إنتاج هذه الحلول بشكل أفضل والتجنب بالوقوع في المثالية المحلية. تتكون هذه المعامل في الخوارزمية الجينية من التبادل الخارجي (Cross-Over)، والتبادل الداخلي (Mutation)، والانقلاب (Inversion). يتمّ في عملية التبادل الخارجي اختيار كيفي (Cut-Points) لنقاط التقاطع (عناصر من مجموعة الحلول) ويتمّ تبادل المعلومات بين هذه العناصر، تقوم معاملة التبادل الداخلي بمنع وقوع الخوارزمية الجينية في مطب المثالية المحلية من خلال اختيار موضع ما (نقطة تقاطع في الحل) كيفياً وتغير قيمته. في معاملة الانقلاب، يتمّ اختيار نقاط

التقاطع كيفياً وتغير ترتيب المكونات بشكل عكسي. يمكن تلخيص ميزات هذه الخوارزمية بما يلي: المحافظة على مجموعة من الحلول الممكنة، إعادة إنتاج الحلول يعتمد على مبدأ التطابق (Fitness)، التبادل الخارجي بين أجزاء الحلول، التبادل الداخلي للمعلومات المفيدة للبحث على كامل المجال والحصول على حل جديد أفضل من سابقه. إن أنجح التطبيقات للخوارزمية الجينية يتمّ بتهجين الخوارزمية الجينية مع التلدين التجريبي أو البحث المحظور.

5.3 المبادئ العامة لمبدأ عمل خوارزميات الذكاء الاصطناعي

يعتمد اختيار تصميم الخوارزميات التقريبية (Approximate Algorithms) كلياً على عدة عوامل كخبرة وإبداع المستخدم، هدف التحسين، بناء وحجم المسألة (خصائص الفضاء البحثي). إن تصميم طريقة تقريبية جيدة ليس إلا عملاً فنياً من أعمال اتخاذ القرارات في أثناء عملية الاختيار بين البدائل. وفقاً لأعمال بعض الباحثين وإدخال بعض التعديلات على المسألة المراد معالجتها (شبكة الجي بي اس المساحية)، فإن الأجزاء التالية تُمثّل تصنيف الطرق التقريبية المستخدمة في هذا الكتاب والمقترحة للعمل المستقبلي.

تقنيات تخفيض حجم الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي

تشير هذه التقنيات إلى عملية تخفيض عدد برامج تنظيم العمل الحقلي المحتملة التي سيتم اختبارها خلال عمل الطرق التقريبية للجي بي اس. إن البرمجيات التقريبية المتقدمة للجي بي اس، كما هو الحال مع عدد كبير من خوارزميات التحسين، مبنية على إجراء أساليب بحث على الفضاء البحثي للبرنامج الذي هو إما لانهائي في الحجم، أو محدود ولكنه كبير للغاية. يمكن مشاهدة أمثلة عن الأحجام الخاصة بالفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمليات في الفصول 4 و 5 للشبكات الصغيرة وفي الفصلين 6 و 7 للشبكات ذات الأبعاد الكبيرة جداً. هناك عدة طرق لبحث هذا الفضاء كتقسيمه إلى مجموعات فرعية صغيرة وإجراء أساليب البحث عليها بشكل فردي كما هو الحال في خوارزميات البرمجة الرياضية. تستخدم هذه الخوارزميات نموذج التحسين الرياضي وبرنامج مناسب لتنظيم العمل الحقلي لتعديل هذا البرنامج والحصول على برنامج تقريبي فعال لتصميم الشبكة كما في طرق التلدين التجريبي والبحث المحظور للجي بي اس.

تقنيات تبسيط المسألة

تعتمد هذه الفئات من التقنيات التقريبية (والتي يُنظر إليها أيضاً وكأنها تقنيات لتخفيض حجم الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي) على تبسيط الشكل البنيوي للشبكة ذات الأبعاد الكبيرة من خلال إيجاد شبكة واحدة أو أكثر من الشبكات المقيدة والتي هي أسهل للحل (Klastorin, 1979). تمّ استخدام هذه التقنيات في هذه الدراسة وهي كما يلي:

التقسيم إلى أجزاء مختلفة (Decomposition): تقوم تقنية التقسيم إلى أجزاء مختلفة بتقسيم الشبكة إلى شبكات فرعية مستقلة متباينة بحيث يمكن حلها بسهولة. يتمّ الحصول على برنامج ما لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة الأساسية عن طريق حل هذه الشبكات الفرعية (بحيث تكون المخرجات من شبكة فرعية هي مدخلات لشبكة فرعية متتالية وهكذا دواليك) ومن ثم يتم بالبحث لتجميع هذه البرامج الفرعية لتنظيم عمليات التصميم. بالنسبة لشبكات الجي بي اس المساحية، إن تطوير خوارزمية التقسيم إلى أجزاء يمكن تحقيقها من خلال تحديد شبكات فرعية غير مثالية وإزالتها من الشبكة الأساسية، وبعد ذلك يتم حل هذه الشبكة الأساسية باستخدام الشبكات الفرعية المتبقية.

التقسيم إلى أجزاء متشابهة (Partitioning): تقوم تقنيات التقسيم إلى أجزاء متشابهة بتجزئة شبكة ما إلى شبكات فرعية صغيرة ومتماثلة. يتمّ حل هذه الشبكات الفرعية بشكل مستقل ويتمّ دمج برامج تنظيم العمل الحقلي التابعة لهذه الشبكات في برنامج عام لكامل الشبكة. إنه ليس من المحتمل أن تجمع طريقة تقريبية بين مفاهيم التقسيم إلى أجزاء متشابهة والتقسيم إلى أجزاء مختلفة. في المساحة الفضائية، يمكن تطبيق التقسيم إلى أجزاء متشابهة (ووفقاً لمتطلبات الجي بي اس) في حالة برنامج تنظيم العمل الحقلي الذي يحتوي على مجموعة من الأشعة المرصودة باستخدام عدد مختلف من أجهزة الاستقبال. مثلاً، تمّ تحسين البرنامج الرئيسي لشبكة الجي بي اس المساحية لمالطا عن طريق التفريق بين الأشعة المرصودة باستخدام جهازين استقبال والأشعة المرصودة بثلاثة أجهزة ومن ثم ترتيب هذه الأشعة المختلفة في برامج فرعية لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة. ثم تمّ دمج البرامج الفرعية النهائية في برنامج تنظيم رئيسي نهائي يُمثل الحل لكامل لتصميم الشبكة.

تقييد الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي (Restriction of Schedule Space)

إن الفكرة من التقييد هو السماح فقط بإجراء أساليب البحث على مجموعة من الحلول ذات خصائص محددة. في شبكة الجي بي اس المساحية، يقتصر تطبيق التقييد على مجموعة من برامج تنظيم عمليات تصميم الشبكة ولهذا يصبح من السهولة حل الشبكة باستخدام خوارزمية فعّالة. على أي حال، إن برنامج مثالي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة مقيدة لا يكون بالضرورة هو البرنامج المثالي ذات الحدود العظمى بالنسبة للشبكة الأساسية. جميع الطرق التقريبية، والتي تسمح فقط بقبول حلول ممكنة في أثناء عمليات البحث، هي خوارزميات تحسين مبنية على مبادئ التقييد (Restrictive) والتكرارية (Iterative). مثلاً، إن طريقة البحث المحظور للجبي بي اس والتي تعتمد على مبادئ التحرير والتقييد لأساليب البحث على برامج تنظيم العمليات ذات الميزات الخاصة هي عبارة عن منهج تقييدي حيث إنه دائماً يمكن الحصول على برنامج مقبول لتنظيم العمل الحقلي ولكن من خلال تطبيق التقييد. في هذه الفئة، على أي حال، هناك العديد من الطرق التي تحد وتُقيّد من حدود الفضاء البحثي المحيط للحل المراد معالجته،

استرخاء الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي (Relaxation of Schedule Space)

إن مفهوم مبدأ الاسترخاء في هذه الفئة هو عكس مبدأ تقييد الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة. والفكرة هنا أنه بالإمكان الحصول على برنامج ممكن من خلال توسيع حدود المجال البحثي الخاص بالبرنامج (Klincewicz and Luss, 1986). مع ذلك، فقد اعتمدت العديد من الخوارزميات مبدأ الاسترخاء في أثناء تطبيق أساليب البحث عن الحلول مثلاً استرخاء لاغرانج (Barcelo and Casanovas, Lagrangian Relaxation) والقيود البديلة (Glover, 1977) (Surrogate Constraints).

الخوارزميات المركبة (Algorithms Composite)

إن الصيغة المعتمدة في الخوارزميات المركبة (عادة ما تسمى بالخوارزميات الهجينة) هي الجمع بين اثنين أو أكثر من الطرق التقريبية من أجل الحصول على

أفضل أداء عام. في هذه الخوارزمية المُجمَّعة، يتم استخدام الخوارزمية الأولى للحصول على برنامج أولي لتنظيم العمل الحقلية، ومن ثم تطبيق الخوارزمية الثانية لتحسين هذا البرنامج (Rayward-Smith, 1995)، (Osman, 1993). مثلاً، يمكن استخدام طريقة البحث المحظور في البداية للحصول على برنامج أولي ومن ثم يتم تطبيق طريقة التلدين التجريبي لتحسين هذا البرنامج.

6.3 تقييم البرمجيات المبنية على خوارزميات الذكاء الاصطناعي وقياس الأداء

إن جودة طريقة تقريبية ما يمكن تقييمها بحيث تساعد في إجراء المقارنات بين الطرق التقريبية. يتم عادة تحديد الجودة من خلال معايير تقييم معينة (Nielsen and Molich, 1989, 1990). يمكن تقسيم معايير التقييم في أي عملية تواجه مباشر مع المستخدم (User Interface) إلى أربع طرق أساسية:

1. تقييم رسمي باستخدام بعض طرق التحليل.
2. تقييم آلي باستخدام إجراء حاسوبي.
3. تقييم عملي بواسطة التجارب مع حالات الاختبار عندما يكون هناك حاجة إلى إجراء تقييم شامل.
4. يركز التقييم التقريبي (Heuristical Evaluation) على تقييم التواجه المباشر مع المستخدم في مسائل الحياة الحقيقية خصوصاً تلك التي يكون فيها الحل المثالي لمسألة ما غير ضروري في بعض الأحيان. يُعدُّ التقييم التقريبي الأكثر ملاءمة للمسائل التي تتضمن نموذج ذات طبيعة استراتيجية وتكتيكية (A Model Of A Strategic And Tactical Nature) حيث ستفشل الطرق الدقيقة بأن تكون فعالة في حل مثل هذه المسائل. وهكذا، فإن الحاجة للطرق التقريبية أصبحت ذات أهمية متزايدة للباحثين والعاملين المهنيين في ميدان البحث العملياتي والقائمين على تحليل القرار والمدراء.

توجد تسعة مبادئ عملية للتقييم التقريبي للتحقق من استخدام برمجية ما (Molich and Nielsen, 1989). في الحقيقة، هذه المبادئ ستكون صالحة بالنسبة لمعظم البرمجيات المكتوبة. تستند هذه المبادئ على اثنين من الطرق

المركبة الرئيسية في تقييم الطرق التقريبية. أولاً، توظيف فريق من المقيمين بدلاً من الاعتماد على الأفراد لإجراء التقييم. ثانياً، استخدام مجموعة من برمجيات التصميم التقريبية لتوجيه التقييم. تمّ اتخاذ هذه المبادئ بالحسبان عند كتابة برمجيات الجي بي اس التقريبية وهي على النحو التالي:

- الرؤية وحالة البرمجية (Visibility and Program Status): يجب أن تكون البرمجية بسيطة وطبيعية التصميم لتستطيع تأمين جميع المعلومات بأسلوب منطقي وإنشائي من خلال التغذية الراجعة المناسبة (Appropriate Feedback) وبفترة زمنية معقولة.
- التطابق بين البرمجية والمساحة الفضائية (Match between GPS Surveying and Program): ينبغي كتابة البرمجية وفقاً لمصطلحات نظام الجي بي اس المألوفة للمهندس المساحي والتي تجعل المعلومات تظهر في ترتيب طبيعي ومنطقي، بدلاً من مصطلحات البرمجية الموجهة لأهداف خاصة (terms oriented program).
- الحرية وتحكم المستخدم (Freedom and Control User): يجب أن تزود البرمجية بشكل واضح “مخارج الطوارئ” (Emergency Exits)، في حالة اختيار تابع عن طريق الخطأ فإنه يمكن مغادرة الحالات غير المرغوب بها والتي ليس لها أفق منظور.
- الوقاية من الخطأ (Error Prevention): يجب أن تكون البرمجية مصممة بعناية لمنع حدوث الأخطاء التي تسبب مشكلة دوران البحث غير المجدي (cycling).
- تصغير ذاكرة تحميل المستخدم (Minimizing the User's Memory Load): ليس مطلوب من المهندس المساحي أن يتذكر المعلومات من جزء إلى آخر. يمكن تحقيق ذلك من خلال تبسيط وجعل التعليمات الخاصة باستخدام البرمجية مرئية وسهلة الاسترجاع كلما كان ذلك مناسباً.
- المرونة والكفاءة في الاستخدام (Flexibility and Efficiency of Use): يجب أن تزود البرمجية اختصارات ذكية (Clever Shortcuts) تجعل من السهولة بمكان التعلم وتلبية احتياجات كل من المساحين

ذوي الخبرة وغير ذوي الخبرة.

- التصميم الأنيق والبسيط (Elegant and Minimalist Design): يجب أن تتجنب البرمجية استخدام المعلومات نادرة الطلب وإنما تحتوي فقط على المعلومات ذات الصلة بالموضوع الخاص المراد دراسته والتي تُسرّع تفاعل المهندسين المساحين وتُبسّط العمليات الحسابية.
 - مساعدة المستخدمين بالتمييز والتشخيص، والتعافي من الأخطاء: يجب التعبير عن رسائل الخطأ (Error Messages) بشكل دفاعي يبين أوجه القصور (Deficiencies) في المسألة، ومشيراً بدقة إلى المشكلة والاقتراح البناء لحل ما لهذه المسألة،
 - المساعدة والوثائق (Help and Documentation): إن تزود المثالية، فمن الأفضل إذا كان بالإمكان استخدام البرمجية بدون توثيق. على كل حال، قد يكون من الضروري تقديم التوثيق التي ينبغي أن تكون سهلة البحث، وتركز على مهمة المهندس المساحي والقائمة الحالية للإجراءات المطلوب تنفيذها.
 - توفير التغذية الرجعية (Provide Feedback): يجب أن تزود البرمجية بشكل دائم المهندس المساحي بالتغذية الرجعية المناسبة لرصد التقدم المحرز نحو الحل في فترة زمنية معقولة.
- إن الاعتماد على سهولة وقابلية استخدام الطرق التقريبية (Heuristic Usability) يزداد طردياً مع عدد من المقيمين المستقلين للقيام بهذا التقييم. لقد أوصى الباحث نيلسون (Nielsen, 1992) بأن يتم التقييم التقريبي من قبل ثلاثة إلى خمسة مقيمين وإن أي موارد إضافية فهي مستهلكة على طرق بديلة للتقييم.
- في هذا الكتاب، تُعد عملية تصميم شبكة الجي بي اس المحاولة الأولى التي تمّ تنفيذها في إطار الدراسات المرجعية للمساحة الفضائية والبحث العمليّاتي. خلافاً لما عليه في دراسة المسائل الأخرى مثلاً، كمسألة التجمعات المكتسبة (Capacitated Clustering Problem CCP)، ومسألة المهمات المعممة (Generalised Assignment Problem GAP) التي درست بنطاق واسع وبأفكار واستراتيجيات مختلفة، وتمّ تقييم نتائجها ومقارنتها مع بعضها

البعض. يدعو هذا الكتاب الباحثين لدراسة تصميم شبكة الجي بي اس بوجهات نظر وأفكار مختلفة لتقييم نتائجها وقابلية استخدام الطرق التقريبية في حلها.

قياس أداء الطرق التقريبية

إن العامل والاهتمام الأساسي باستخدام الطرق التقريبية هو جودة الحل الناتج. مع قلة المعرفة الواضحة عن المثالية الحقيقية (True Optimum)، إن الطريقة الفعالة لتقييم جودة برنامج تنظيم العمل الحقلي الناتج بالطرق التقريبية بمقارنته مع برنامج معروف ومثالي (Known Optimal Schedule) (انظر الجزأين 4.5 و 5.5). إن تقييم أداء الطرق التقريبية قد يكون صعباً للغاية بالنسبة للشبكات ذات الأبعاد الكبيرة التي تكون فيها البرامج المثالية لتنظيم عمليات تصميم هذه الشبكات غير معروفة. إن الإجراء البديل الذي تمّ اعتماده في هذه الدراسة هو تطبيق عدة طرق تقريبية على دراسة شبكة كبيرة ومن ثم تأمين المقارنات للبرنامج الناتج. يمكن مشاهدة أمثلة عن هذه المقارنات بالنسبة للشبكات الكبيرة في الفصل 6 لشبكة مالطا وفي الفصل 7 لشبكة سيشيلز. لمزيد من التفاصيل حول إجراءات تقييم الأداء الأخرى. عندما يتمّ الحصول على نتائج أي طريقة تقريبية، يجب التحقق من عدة أهداف كما يلي:

- تقدير جودة برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة الأقل كلفة والوقت المستغرق لإنجازه.
 - سرعة الطريقة التقريبية للجي بي اس في إيجاد برنامج تنظيم العمل الحقلي الأقل كلفة، وإلى أي مدى الفرق في القيمة بين هذا البرنامج الناتج ومجموعة البرامج المجاورة الأخرى.
 - المفاضلة القسرية بين جودة البرنامج الناتج وجدوى هذا البرنامج (Feasibility).
- لتحقيق النقاط المذكورة أعلاه في قياس أداء الطرق التقريبية، يجب مناقشة عدة نواحي كما يلي:

المرونة (Flexibility): لإنتاج أفضل برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة باستخدام الطرق التقريبية، من الأهمية بمكان أن تكون هذه الطرق مرنة في التعامل مع التغيرات في النموذج.

المتانة (Robustness): تُمثّل هذه الصيغة قدرة البرمجيات التقريبية للجي

بي اس، بشكل أوتوماتيكي أو تلقائي، إنتاج برامج تنظيم عمليات تصميم ممكنة وعالية الجودة وتطبيق التحليل العددي لمعامل الطريقة (Parametric Analysis) (Stewart et al., 1995).

جودة البرنامج (Quality of Schedule): بعد الحصول على البرنامج الأقل كلفة، فإن الموضوع المهم هو الانحراف النسبي (Percent Deviation) عن المثالية (Optimality). لمزيد من التفاصيل حول المقارنة بين أداء الطرق التقريبية (Gendreau et al., 1994).

الزمن الحسابي (Computation Time): إن الجزء المهم من استخدام الطرق التقريبية في المساحة الفضائية السرعة في الحصول على برنامج تنظيم العمل الحقلي الأقل كلفة عن طريق قياس الزمن اللازم لتنفيذه والاعلان عن هذا البرنامج الأقل كلفة والزمن الحسابي الكلي.

إعلان الزمن الحسابي للبرنامج الجيد (Reporting Good Schedule Time): يجب أن يشمل هذا الزمن كل أساليب وإجراءات البحث المنفذة (Processing-Pre and Process) لإنتاج أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي (schedule found-best the).

زمن التنفيذ الكلي (Total Execution Time): الزمن الفعلي لعمل الطرق التقريبية للجبي بي اس قبل إنهاء عملها وفقاً لصيغة الإيقاف.

التعميم (Generability): قدرة الطرق التقريبية للجبي بي اس المطورة للتعامل مع مجموعة واسعة من شبكات الجبي بي اس ذات الأشكال المختلفة.

7.3 الاستنتاج

بالخلاصة، يمكن تبيان عدد من مزايا التقييم التقريبي: بديهية وتؤمن بنجاح الحلول القريبة من المثالية لمسائل الحياة الواقعية المعقدة بزمن حسابي مقبول وبمتطلبات سعة تخزين مقبولة (Reasonable Storage Space). ومع ذلك، فإن تصميم طريقة تقريبية جيدة يعتمد على خبرة ومهارة المصمم وطبيعة المسألة المراد تحسينها. في المساحة الفضائية، تزداد صعوبة وتعقيد عملية رصد شبكات الجبي بي اس مع ازدياد حجمها ويصبح من الصعب جداً أن تُحل بشكل فعال.

إن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة إيجاد البرنامج الفعلي لتنظيم العمل الحقلية بأقصر مدة زمنية وبأقل كلفة ممكنة بتطبيق طرق التلدين التجريبي والبحث المحظور التقريبية على مسألة المساحة الفضائية. سيتم في الفصلين 4 و5 عرض برامج مثالية لتنظيم العمل الحقلية لتصميم شبكات افتراضية وحقيقية صغيرة مع إجراء المقارنات من حيث جودة هذا البرنامج والزمن الحسابي للحصول على برامج تنظيم العمل الحقلية بتطبيق الطرق التقريبية المطورة للجوي بي اس.



منظمة المجتمع العلمي العربي
Arab Scientific Community Organization