

خوارزمية مستقلة لتخطيط الحجز المسبق المرن للتطبيقات التدفقية في بيئات "الشبكات" و"السحابات"

م. سيرا أستور**

د. جعفر الخير****

أ.د. فيصل العباس***

المخلص

تستخدم تقنية الحجز المسبق لضمان تزويد الموارد عند الطلب للأنواع المختلفة من التطبيقات ومنها دقق الأعمال. ما زالت هذه التقنية مثار جدل واسع في المجتمع البحثي والأعمال لإمكانيتها تخفيض استغلالية الموارد. قُدمت عدة حلول لتحسين استغلالية الموارد تحت الحجز المسبق عن طريق توليد حجوزات مرنة وقابلة للتعديل من قبل الإدارة المحلية للموارد، مما يمكنها من تحسين استغلالية مواردها وخفض التجزئة الداخلية فيها. تعمل مولات مخططات الحجز المرن على تحويل المهمات ذات الحجز المسبق القاسي، التي تعدّ من أصعب أنواع الحجز، إلى مهمات ذات حجز مسبق مرتخ، أو مرن؛ ولكن تعتمد معظم الأعمال المقدمة في هذا المجال على إضافة زمن محدد إلى طول الجدول الناتج، ومن ثم توزيع هذا الزمن على المهمات المشكّلة للدقق. تقدم هذه الورقة خوارزمية جديدة مستقلة لتوليد مخطط حجز مسبق مرن لمهمات دقق الأعمال دون أية إضافات زمنية؛ بل تعتمد على الاستغلال الأمثل للفجوات الزمنية الموجودة في مجدولات دقق الأعمال. تستخدم هذه الخوارزمية تقنية استطلاع الفجوات الزمنية في الجدول الناتج، ولكنها تضيف إليها وتعديلها لتستعمل مع تخطيط الحجز المرن. أظهرت نتائج اختبار هذه الخوارزمية تقدّمها على الخوارزميات الأخرى الموجودة في هذا المجال بمقدار حد أدنى يقارب 25%؛ وهي تقدم بذلك حلاً كفاءة وعملية لجدولة تطبيقات دقق الأعمال المتطلبية لقيود جودة الخدمة.

الكلمات المفتاحية: الحوسبة "الشبكية"، الجدولة، تطبيقات دقق الأعمال، متاحة الموارد عند الطلب، الحجز المسبق للموارد، جودة الخدمة، الحجز المرن.

*أعدّ هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندسة سيرا أستور بإشراف الأستاذ الدكتور فيصل العباس والدكتور المشرف المشارك جعفر الخير.

**طالبة دكتوراه في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

***مدرس في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

****مدرس في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين

1 - المقدمة:

طُوِّرَ مفهوم "الشبكات" (Grids) في العقدتين الأخيرين كمنصة شبكية موزعة واسعة النطاق، تسمح بمشاركة الموارد الحسابية، والخزنية، والأدوات العلمية التابعة لعدة منظمات أو مؤسسات مستقلة واختيارها وتجميعها. هذا ما أدى إلى ظهور الخدمات المتطورة عالية الكفاءة التي تسمح بدعم التطبيقات الضخمة كثيفة الحساب أو كثيفة المعطيات مثل التطبيقات العلمية الالكترونية (e-science)، وتطبيقات محاكاة الزلازل، ونمذجة المناخ والجو، والنمذجة الاقتصادية المالية. تتمتع المؤسسات المشاركة في مثل هذه المنصات التحكم الكامل بمواردها الخاصة وتطبق سياساتها المحلية المختلفة عليها [1]، مما يعقد من مسألة تجميعها وتزويد مواردها بطريقة كفوءة للمستهلكين البعيدين.

تعدُّ جدولة الأعمال أحد أهم عناصر إدارة "الشبكة" وأعطدها؛ وهي جدول الأعمال المطلوبة من قبل المستهلكين والزبائن على الموارد المتاحة المتعددة والبعيدة، تدير عملية التنفيذ ومن ثم تعيد النتائج؛ وذلك بعد اكتشاف المتوافر من هذه الموارد باستخدام خدمات أنظمة المعلومات في "الشبكة". هناك كثير من الدراسات [2,3]، التي تظهر أن التطبيقات التدفقية (Workflows) تشكل حيزاً مهماً من التطبيقات "الشبكية" الحالية والمستقبلية. مازالت جدولة هذا النوع من الأعمال تشكل تحدياً حتى الآن لأنها تتطلب تنفيذ سلسلة من المهمات المترابطة بترابعية محددة.

تتمدج الأعمال التدفقية على شكل بيان غير حلقي موجّه (Directed Acyclic Graph-DAG) [4]، وتعدُّ جدولة بيان (DAG)، مسألة استمثال رياضية درست في كثير من أدبيات الأنظمة الموزعة المتجانسة والمتغايرة الخواص والمتوازنة. ولكن طرح البيئة التنفيذية عالية الديناميكية وغير الموثوق بها للشبكة" تحديات ومتطلبات تختلف عما سبق؛ فضلاً عن عدم

التجانس وأزمنة الاتصال العالية فيها، تنتمي مواردها الموزعة إلى عدة منظمات ذات مجالات إدارية مستقلة. ومن ثم فالنموذج الشائع المعتمد على وجود جدول وحيد محلي هو المسؤول عن استقبال الأعمال وتنفيذها لا يصلح لحالة "الشبكة". هذا يعني أنه لا يمكن ضمان إمكانية استغلال التوازي الموجود في بيان (DAG) الذي يمكن أن يحسن من أداء هذه التطبيقات؛ فلا يمكن ضمان التنفيذ المتوازي لعدة مهمات متوازية على موارد تنتمي إلى مجالات إدارية مختلفة بسبب اختلاف سياسات الجدولة المحلية المطبقة من قبل كل جدول محلي على أرض انتظاره. تعتمد هذه السياسات المحلية بالغالب على مقاربات الجهد الأفضل (Best-Effort) مثل سياسات (First Come First Serve-FCFS) أو (Shortest Job First-SJF) أو (Earliest Deadline First-EDF) التي تقرر بدء تنفيذ المهمات الموجودة في أرض انتظارها اعتماداً على بارومتريات مختلفة مثل زمن التسليم، أو عدد الموارد المطلوبة وحجمها، أو مدة التنفيذ المقدرة. لا تأخذ الجدولة المحلية بالحسبان القرارات الناتجة عن المستوى الأعلى للجدولة في النظام؛ أي قرارات الجدولة المترفعة (Meta-Scheduling)، مما يعقد من إمكانية تحقيق أهداف النظام ككل من توازن حمل واستغلال عالٍ للموارد المتنوعة الموجودة فيه.

طُرِحَ مفهوم الحجز المسبق بوصفه وسيلة تمكّن من حجز الموارد المشتركة أو طلبها؛ مثل عقد الحساب، أو عقد التخزين، أو عرض نطاق الشبكات الواصلة، أو أية تشكيلة منهم مما يضمن وجودهم اللحظي عند التنفيذ [5]. يمكن للحجز المسبق أن يكون فورياً (Immediate) أو مسبقاً (Advanced) بحسب زمن بداية الحجز المطلوب؛ وهو مفيد لعدد من التطبيقات منها التطبيقات المتوازية، أو تطبيقات

2- شرح المسألة والأعمال المتعلقة:

يقدم نموذج البيان غير الحلقي الموجّه طريقة سهلة لإنتاج عملية التخصيص وجدولة مهمات الدفق على الموارد المتوافرة في النظام؛ بحيث يحقق الهدف أو الأهداف المحددة لتابع الجدولة مثل تصغير زمن التنفيذ النهائي للبيان. تعبّر العقد في البيان عن العمليات الحسابية أمّا الأسهم فتعبّر عن المعلومات المتبادلة بين العمليات الحسابية أو دفق المعلومات في البيان (Dataflow). نعدّ أن للبيان دخلاً وحيداً وخرجاً وحيداً؛ إذ يمكن تحويل أي بيان غير حلقي موجّه متعدد المدخل و/أو المخرج إلى النوع وحيد الدخل/ المخرج [7]. كذلك نفترض تقديم نظام المعلومات في "الشبكة" للائحة بالموارد المتوافرة عند طلبها مع بارومترياتها الأساسية من سرعة المعالجة وسعة التخزين وأية معلومات أخرى مطلوبة. تقوم عملية الجدولة بتعيين المهمات لكل مورد من أجل تنفيذها وتحديد تسلسل التنفيذ، ويسمى ناتج الجدولة بالمجدول. يمكن النظر إلى المجدول على أنه مخطط ثنائي البعد يعبّر أحد الأبعاد فيه عن الزمن، أمّا البعد الثاني فيعبّر عن عدد المعالجات المحجوزة على كل مورد. كذلك يحدّد مخطط المجدول زمن بداية تنفيذ كل من مهمات الدفق وترتيبها ونهايتها على كل من الموارد.

هناك عدة خوارزميات جدولة بيان غير حلقي موجّه على مجموعة من الموارد متغايرة الخواص [8]. ويمكن لعملية الجدولة أن تجري بطريقتين؛ إمّا ساكنة بحيث تنتج المجدول بالاعتماد على المعلومات المسبقة المتوافرة عن الدفق والموارد، أو ديناميكية بحيث تلاحظ تغيّرات أي من خواص الدفق، أو الموارد، أو كليهما خلال زمن الجدولة.

تقدم الجدولة تحت ضوابط الجودة (QoS) مستوى آخر من التعقيد على عملية الجدولة؛ فيمكن للزبون تحديد زمن نهائي مطلوب (Deadline) لتنفيذ عمله. ويعدّ أصعب أنواع هذا

الوسائط الفائقة، أو تطبيقات الزمن الحقيقي الناعم، وتطبيقات دفق الأعمال.

ما زال الحجز المسبق في مجال "الشبكة" مثار جدل في المجتمع البحثي ومجتمع الأعمال حتى الآن؛ وعلى الرغم من طرح مفهوم التخصيص المتعدد (Co-Allocation) وتزويد الموارد (Resource Provisioning) مبكراً من قبل فوستر وشركائه [6]، ولكنه لم يحظ بكثير من الدراسات والبحوث، لأنّ "الشبكة" بيئة عالية الديناميكية تميل الموارد الموجودة فيها إلى المشاركة أو ترك النظام بطريقة تلقائية وبحسب الأعطال والمشكلات المختلفة. يحسّن الحجز المسبق من التنبؤ بالنظام عبر تحسين تخمينات زمن انتهاء التنفيذ الكلي لدفق الأعمال المنفذة على "الشبكة"؛ فمن غير الحجز المسبق تقوم المجدولات بجدولة الأعمال دون أي ضمانات لزمن بداية تنفيذها ومن ثمّ انتهائها. وهذا يحسّن الحجز المسبق من إمكانية تخطيط استرجار القدرة (Capacity Planning) المستقبلية في النظام. من جهة أخرى، يمكن للحجز المسبق أن يخفّض نسبة استخدام الموارد واستغلاليتها في حال تطبيقه بشكل غير متوازن.

أظهرت بحوث عدة قدرة مخططات الحجز المرخسي (Relaxed) أو الحجز المرن (Elastic) التي تكون فيها المدة المحجوزة للأعمال هي أكبر بالضرورة من زمن التنفيذ الحقيقي للعمل؛ من تحسين استغلالية الموارد. إذ يستطيع المجدول المحلي استقبال أعمال مستقبلية وتنفيذها بطريقة مباشرة (دون حجز مسبق) أو قبول حجوزات أخرى قد تتراكم زمنياً مع الحجوزات المقبولة عن طريق إزاحة أزمنة ابتداء الحجوزات المرنة أو نهايتها؛ فضلاً عن إمكانية المجدول المحلي إعادة ترتيب الأعمال الموجودة في رتل انتظاره لاستئصال المساحات المستغلة.

القيد هو تنفيذ العمل بأسرع ما يمكن، عبر عدم إعطاء أي زمن إضافي على زمن التنفيذ النهائي الناتج عن الجدول (**Extra 0**)؛ أي إنَّ الزمن النهائي المطلوب من قبل المستهلك هو نفسه طول الجدول الناتج عن خوارزمية الجدولة. إن طلب المستخدم لزمن نهاية تنفيذ أقل من الزمن الناتج عن الجدول هو غير واقعي ولن يُناقش في هذه الورقة.

هناك عدة أعمال حديثة [9-12] تعالج موضوع تخطيط الحجز المسبق المرتخي (**Relaxed**)، والمرن (**Elastic**) وأظهرت النتائج المقدمة بالأخص في [9] و [12]، قدرة الحجز المرتخي والمرن على تحسين استغلالية الموارد بشكل عام. معظم التطبيقات المستخدمة في هذه البحوث هي التطبيقات التي تتألف من مجموعة من الأعمال المستقلة، أو من مجموعة من الأعمال المتوازية التي تتطلب بداية زمن تنفيذ متساوٍ للمهام كلها المشكّلة للعمل. يعدُّ تخطيط الحجز المسبق للأعمال التدفقية أعدد أنواع الأعمال من ناحية إدارة الجدولة وتخطيط الحجز، بسبب ترانئية المهام والارتباطات الداخلية بينها. تقوم الخوارزمية المقدمة في [13]، بإعادة ترتيب مهام دق الأعمال الجدولة على الموارد المختلفة لتحسين استغلاليتها، عبر تخصيص بعض المهام المختارة لتنفيذها ضمن الزمن غير المستخدم في الموارد. تعدُّ هذه الخوارزمية أن المهام كلها هي ذات زمن تنفيذ قياسي موحد، مما يسهل من إعادة ترتيبها ضمن فراغات الموارد. أظهر التحليل الواسع المقدم في تحسن أداء تطبيقات دق الأعمال فضلاً عن تحسين استغلالية الموارد عبر استخدام مخططات الحجز المرتخي أو المرن.

أظهرت بحوث عدة أن أقل أنواع الجدولة كفاءة هي جدولة المهام ذات الحجز القاسي [12]. فهي لا تسمح للمجولات المحلية بترتيب حجوزاتها الأنية الديناميكية والمتغيرة بحسب الأعمال المختلفة المنفّذة. هذا يؤدي إلى توليد تجزئة داخلية

(**Internal Fragmentation**) في مخططات الحجز، وتخفّض من استغلالية الموارد الكلية. اقترحت عدة تقنيات لتحسين التجزئة الداخلية وتقليلها في المجولات المحلية عبر تأمين حجوزات غير قاسية؛ إمّا عبر حجوزات متراخية (**Relaxed**)، يكون فيها الزمن النهائي المحجوز هو أكبر من زمن نهاية التنفيذ الفعلي، أو حجوزات مرنة (**Elastic**)، يكون الزمن المحجوز هو أكبر من زمن التنفيذ الفعلي؛ ويمكن تعديل زمن البداية أو النهاية أو كليهما عند بداية التنفيذ الفعلي للمهام على الموارد. أظهرت النتائج التحليلية في [12]، أن توليد حمل (**Workload**) هو مزيج من الأعمال ذات مخطط الحجز المتراخي أو المرن، مع الأعمال ذات الحجز القاسي يحسّن من أداء النظام ويزيد من معدل استغلالية الموارد فيه. تكمن المشكلة الرئيسة في أن معظم الأعمال المتعلقة بتوليد مخططات حجز مرتخية أو مرنة واستخدامها تعتمد على إضافة أزمنة (**Extra > 0**) إلى طول الجدول الناتج. ومن ثم يُورّع الزمن المضاف إلى مهام الدفق بحسب عدة استراتيجيات تتعلق إمّا بألوية مهام المسار الحرج في الدفق، أو بالتناسب مع القدرة الحسابية للمهام أو بالتساوي بين المهام كلها [14].

قدمت الورقتان [14, 15] خوارزميات تخطيط حجز للأعمال التدفقية باستخدام تقنية الزمن الإضافي (**Spare Time**)، التي تستطلع الفجوات الزمنية الإضافية غير المستخدمة والموجودة في المجولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة تهدف الخوارزمية المقدمة إلى توليد مخطط حجز مسبق غايته تقليل نسبة إعادة الجدولة الناتجة عن التقدير الخطأ لأزمنة تنفيذ المهام في التدفق.

تستخدم الخوارزمية الجديدة المقترحة في هذه الورقة تقنية الزمن الإضافي أيضاً، ولكن تستخدم الفجوات الزمنية هذه من أجل توليد مخطط جديد مرن للحجز المسبق للمهام دون

يمكن لخوارزمية (EWARP) أن تستخدم أي مجداول ناتجة عن أية خوارزميات جدولة للتطبيقات التندقية، وبغض النظر عن نوعها أو طريقة عملها. ولتوضيح هذه النقطة سنستخدم ثلاث خوارزميات جدولة؛ الأولى هي (Heterogeneous Earliest Finish Time - HEFT) [16] التي تعدُّ الأكثر مرجعية في هذا المجال. تعتمد هذه الخوارزمية على بارومتر المستوى الأدنى للعقد في البيان (Below Level - BL) لتحديد تسلسل تنفيذ المهمات؛ أي إنها تعتمد على تقليص المسار الحرج للبيان واختيار المورد الذي يقدم زمن نهاية التنفيذ الأصغري.

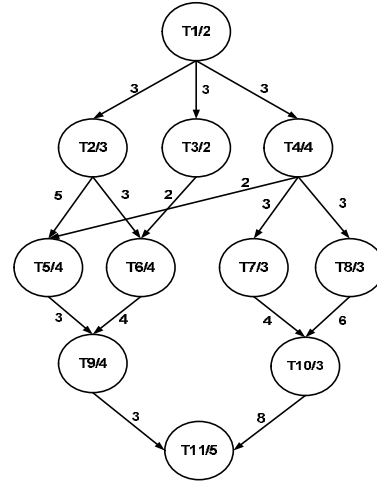
الخوارزمية الثانية المستخدمة هي (Performance Effective Time Scheduling - PETS) [17]، وهي تستخدم مقارنة مختلفة للجدولة تعتمد على تقسيم البيان إلى مستويات أفقية ومن ثم جدولة المهمات اعتماداً على مستوى وجودها ضمن البيان؛ ومن ثمَّ تعتمد على تقنية الجدولة بالمستويات (Levelized Scheduling). تعتمد كلتا الخوارزميتين السابقتين على الجدولة الساكنة. أمّا الخوارزمية الثالثة المختارة فهي من النوع الديناميكي وهي (Dynamic Critical Path for Grids - DCP-G) [18]. هذه الخوارزمية هي النسخة المعدلة عن خوارزمية المسار الحرج الديناميكي (DCP) المعروفة لتصبح قابلة للاستخدام في بيئة "الشبكة" المتغايرة الخواص.

إضافة أية أزمنة إلى المجداول الناتجة. تختلف الفجوات الزمنية الموجودة في المجداول من خوارزمية جدولة إلى أخرى وتعتمد على تحليل الدفق وعلى آلية اختيار المهمات وجدولتها فيه.

يمكن عدُّ المجداول الناتجة عن خوارزميات الجدولة المختلفة بأنها مخطط حجز ولكن من النوع القاسي (Rigid)؛ أي إنَّ الحجز يتم بناءً على زمن بداية ونهاية محددين غير قابلين للتعديل؛ وعلى مزودي الموارد تأمين هذا الزمن عند حلول زمن الحجز. يمكن طلب الحجز المسبق للمجدول الناتج لكامل الدفق وكمثلة واحدة؛ فيقوم بالحجز على الموارد المتوافرة كلها وبكامل زمن طول المجدول - من زمن بداية المهمة الدخلى إلى زمن نهاية المهمة الخارج. هذا النمط من الحجز هو الأكثر شيوعاً في المجداول المترفعة المحققة الموجودة في السوق، التي تطلب الحجز المسبق لدفق الأعمال على مجداول مزودي الموارد المحليين. تضمن هذه الطريقة تنفيذ كامل الدفق وتخفيض من الأخطاء التي تتطلب إعادة جدولة ليس للمهمات التي يخفق تنفيذها فقط، وإنما للمهمات الأبناء المتعلقة بها كلها أيضاً. ولكنها تخفض بشكل عالٍ استغلالية الموارد؛ مما يؤثر سلباً في عوائد مزودي الموارد. الطريقة الأخرى المقترحة حديثاً [13, 15]، هي عبر حجز مسبق لمهمات الدفق المحددة على المجداول المحلية بدلاً من كامل الدفق؛ ولكن مع ضمان الأسبقيات للتنفيذ وتأمين المعلومات المتداولة بين المهمات المختلفة لها على الموارد المستخدمة قبل تنفيذها.

تطرح الخوارزمية المقدمة في هذه الورقة (EWARP) - آلية مستقلة ذاتياً (Autonomic) لتوليد مخطط للحجز هو مزيج من الحجوزات المرنة والقاسية لمهمات دفق أعمال؛ دون إعطاء أية إضافات زمنية لطول المجدول الناتج؛ وذلك عبر استغلال الفجوات الزمنية الموجودة فقط في المجدول الناتج.

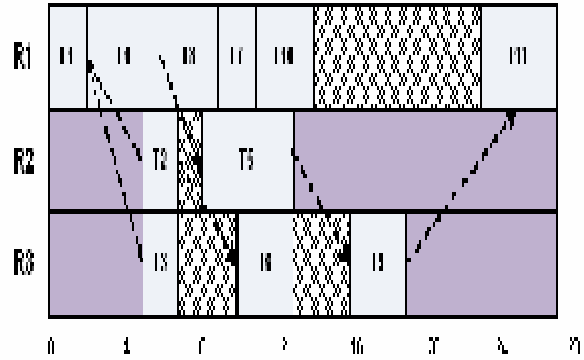
| Task | R1 | R2 | R3 |
|------|----|----|----|
| T1 | 2 | 2 | 2 |
| T2 | 3 | 2 | 3 |
| T3 | 2 | 3 | 2 |
| T4 | 4 | 2 | 4 |
| T5 | 3 | 5 | 3 |
| T6 | 3 | 6 | 3 |
| T7 | 2 | 4 | 4 |
| T8 | 3 | 3 | 3 |
| T9 | 4 | 4 | 4 |
| T10 | 3 | 4 | 4 |
| T11 | 4 | 5 | 7 |



(b) - أزمنة تنفيذ مهمات الدفع على الموارد المتوافرة

(a) - بيان غير حلقي موجّه (DAG)

| Task | Start Time | End Time |
|------|------------|----------|
| T1 | 0.0 | 2.0 |
| T2 | 5.0 | 7.0 |
| T3 | 5.0 | 7.0 |
| T4 | 2.0 | 6.0 |
| T5 | 8.0 | 13.0 |
| T6 | 10.0 | 13.0 |
| T7 | 9.0 | 11.0 |
| T8 | 6.0 | 9.0 |
| T9 | 16.0 | 20.0 |
| T10 | 11.0 | 14.0 |
| T11 | 23.0 | 27.0 |



(c) - المجدول الناتج عن استخدام خوارزمية HEFT.

(d) - زمن بداية تنفيذ كل مهمة ونهايته

بحسب المجدول الناتج في (c).

الشكل (1) مثال عن المجدول الناتج عن استخدام الخوارزمية HEFT [16] لدفق أعمال محدد.

تعتمد هذه الخوارزمية على إعادة حساب المسار الحرج للبيان ديناميكياً في كل خطوة، واختيار المهمة التي تقلص هذا المسار أكثر من غيرها لجداولتها.

3 - مثال تطبيقي

ليكن لدينا دفق الأعمال الممثل بالبيان غير الحلقي الموجّه المبين بالشكل (a-1)؛ والمطلوب تنفيذه بأسرع ما يمكن على بيئة ديناميكية مثل "الشبكة".

تمثل القيم المحددة ضمن عقد البيان سرعات تنفيذ المهمات المخطمة باستعمال أي من أدوات تقدير أزمنة العمل [7]، أمّا القيم المحددة على أسهم هذا البيان فتتمثل حجم المعلومات المتبادلة بين المهمات المشكّلة للبيان. يمثل الشكل (b-1) الموارد المكتشفة المتوافرة والمعاد من نظام معلومات "الشبكة" (GIS) بعد طلبها؛ وهو يحدد السرعات المختلفة للمهمات نفسها على هذه الموارد.

نفترض أن كلف الاتصال الشبكية بين الموارد المختلفة هي متماثلة في هذا المثال، لتبسيط التعريفات الأساسية وعمل الخوارزمية المقترحة وتوضيحها.

يبين الشكل (c-1) الجدول الناتج عن استخدام خوارزمية (HEFT) [16]. تبين المناطق المهيّرة فيه الفجوات الزمنية الإضافية غير المستخدمة في الجدول الناتج.

تعتمد تقنية استقصاء الفجوات الزمنية في الجدول [14, 15]، على تحديد إمكانية استغلالها من قبل المهمات المجاورة لها دون أن تؤثر في ترتيب تنفيذ هذه المهمات، ودون أن تتغير من زمن الجدول النهائي الناتج.

تعتمد هذه التقنية على معالجة أسبقيات التجاور في حالتين: حالة أسبقيات البيان نفسه وتجاور المهمات فيه، وحالة أسبقيات جدولة المهمات على المورد نفسه، أي تجاور مهمتين مجدولتين على المورد نفسه. استخدمت هذه التقنية في [15] من أجل تخفيض معدل إعادة الجدولة عن طريق إطالة زمن نهاية المهمات؛ ففي المثال المبين في الشكل (1) تطيل الخوارزمية [15] من زمن كل من المهمات t_{10} ، t_3 ، و t_6 ، وبالمقادير 9، 3، 3 على الترتيب. أمّا المهمة t_2 فلا يمكنها استخدام الفجوة الزمنية المجاورة لها لأنها

تمرر معلومات إلى المهمة t_6 وبزمن قدره 3، ومن ثمّ فأى تغيير على زمن نهاية تنفيذ t_2 سيغير من زمن بداية تنفيذ t_6 ، ومن ثمّ يزيد من طول الجدول الكلي. يتبين ممّا سبق أن العدد الكلي للمهمات القابلة لتعديل زمن نهاية تنفيذها في هذا المثال وبحسب خوارزمية [15]، هو 3 وبنسبة 27.27% من عدد المهمات الكلي في البيان.

تستخدم الخوارزمية الجديدة المقترحة (EWARP)، تقنية استقصاء الفجوات الزمنية لتوليد مخطط حجز مسبق قابل للتفاوض عليه من قبل مزودي الموارد عبر اتفاقيات مستوى الخدمة (Service Level Agreement-SLA). ولكنها تتغير ليس فقط من زمن نهاية بعض المهمات وإنما تسمح بتغيير (إزاحة) زمن بدايتها أيضاً دون أن تؤثر في تراتبية المهمات أو في طول الجدول النهائي. إن إزاحة زمن بداية بعض المهمات يسمح لمهمات أخرى أن تقيد من الفجوات الزمنية الموجودة في الجدول التي كانت غير قابلة للاستخدام؛ فمثلاً تعديل زمن بداية المهمة t_6 يسمح للمهمة t_2 بالإفادة من الفجوة المجاورة لها، كذلك إزاحة زمن بداية المهمة t_{10} يسمح للمهمات t_7 ، و t_8 بتعديل (إطالة) زمن نهاية تنفيذها أو بدايته. ومن ثمّ يصبح عدد المهمات التي أطيل زمن تنفيذها الكلي هو 6 مهمات، وبنسبة 54.54% من عدد المهمات الكلية في الدفق، أي بزيادة قدرها الضعف عن الخوارزمية المقترحة في [15]. هذا يعني أن هناك 54.54% من المهمات أصبحت ذات حجز مسبق مرّن، أمّا الباقي من المهمات فيبقى ذا حجز مسبق قاس. كذلك فإن نسبة استغلال الفجوات الزمنية الموجودة في الجدول قد زاد أيضاً وبنسبة 3% من زمن الجدول الكلي في هذا المثال. إن زيادة عدد المهمات ذات الحجز المرّن بمعدلات عالية يسمح لمديري الجدولة المحليين إمكانية استخدام ترتيب أكثر كفاءة وفعالية للمهمات على أنظمتهم، مما يقلص من التجزئة الداخلية لمخططات الحجز فيها، ومن ثمّ يعظم من استغلاليتها.

Autonomic Elastic Workflow Advanced Reservation Planning Algorithm–EWARP

notations

- Cij - Communication time from Task i to Task j.
 n_tag[i] – identify if changing Task i modifies any of its predecessors or tasks on sameprocessors
 Relax[i] –Additional time of Task i could be distributed to all related tasks.

Algorithm Relaxing ()

for all scheduled tasks Ti starting from the last scheduled do
 Start from last scheduled tasks on all Resources
 Identify location of task on Resources
 Calculate minimum value-min of both all outgoing edges and task on same processor:

$$\text{spare}(Ti) = \min_{j \in \text{succ}} \{ \text{start_time}(Tj) - C_{ij} \};$$
 Where Cij = 0 if Ti, Tj on same processor;

$$\text{Relax}[i] = \min \{ \text{spare}(Ti), \text{Start_time}(Tk) \}$$
 Where Tk is the predecessor of Ti on same processor
 Get the Task that gave the minimum value min, Tn_min;
 if (min == (Ti) and its related Task Tn_min is tagged) then
 set the n_tag[i] =Tn_min;
 else if min > (Ti) check .
 if Tn_min is tagged then n_tag[i] = Tn_min;
 else } set Ti as tagged;
 relax[i] = min - (Ti) ;{
 EndIf.
EndIf.
 Calculate total number of tagged Tasks t_num;
 Calculate total relax time of all Tasks total_r;

End for.

End Relaxing.

Algorithm EWARP(The Schedule, Task Dependencies, Order of Scheduling)

}

While(total_r != 0) do

Calculate partial_r = total_r/ t_num;

(Changing start and end times for all tasks that could move on the schedule and are the leading tasks of change)

For all resulted tasks that are tagged but have no related other tasks do

}

Set new (Ti) = (Ti) + relax(Ti);

If Ti is in n_tag for any other tasks

(So changing its start time will have effect on other tasks in the schedule)

Set new (Ti) + relax[i] – partial_r;

{

End For

Realxing();

{

End EWARP;

الشكل (2) الخوارزمية المستقلة لتخطيط الحجز المسبق المرن للتطبيقات التدفقية.

و t_3 . تستمر الخوارزمية بالتكرار حتى تنهي تعديل المهمات القابلة للتعديل كلها، وتخرج من عملية التكرار عندما يصبح مجموع الفجوات الزمنية القابلة للاستغلال والموجودة في الجدول الناتج المعدل صفراً. يبيّن الشكل (3) نتائج تطبيق خوارزمية EWARP على المثال المبين في الشكل (1).

يبين الشكل (a-3) الجدول الناتج بعد الاستغلال الأمثل للفجوات الزمنية كلها التي كانت موجودة في الجدول الأصلي، ونلاحظ اختفاء المناطق المهشّرة نتيجة استخدامها. ويبين الشكل (b-3) أزمنة البداية والنهاية المرنة الناتجة عن تطبيق الخوارزمية. أمّا المهمات التي لم تُعدّل وبقيت ذات حجز قاسٍ فهي t_5 ، و t_9 ، و t_{11} .

تعتمد الخوارزمية المقدمة على استقصاء تأثير إزاحة زمن بداية المهمات في المهمات الباقية في الجدول من غير تغيير زمن الجدول النهائي. تبدأ عملية الاستقصاء من المهمات المجدولة في نهاية الجدول؛ فإذا كان لإزاحة زمن البداية تأثير إيجابي في أي من المهمات الأخرى المجاورة في كل من البيان أو الجدول فتقوم بإزاحته، أمّا إذا لم يكن يؤثر في أي من المهمات الأخرى فلا يغيّر لضمان الاستغلال الأمثل للفجوات الزمنية.

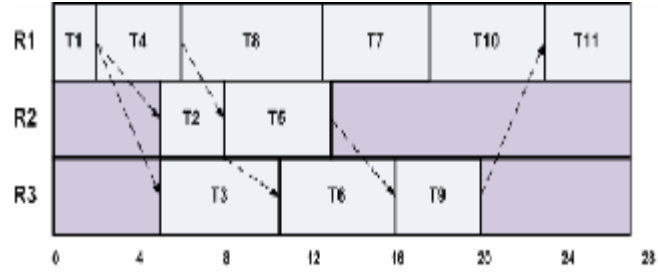
دخل الخوارزمية المقترحة هو البيان غير الحلقي الموجه الذي يُمزج التطبيق الدقيق، والجدول الناتج عن أية خوارزمية جدولة للبيانات واسعة النطاق مثل "الشبكيّات" أو "السحابات"، وترتيب جدولة مهمات البيان.

أمّا ناتج هذه الخوارزمية فهو مخطط حجز مسبق يضم مزيجاً من المهمات ذات الحجز المرن والمهمات ذات الحجز القاسي، عبر استغلال أمثل للفجوات الزمنية ودون أية إضافات زمنية إلى طول الجدول الناتج.

تعتمد الخوارزمية على تنفيذ تكراري يُولد في كل تكرار منه مخططاً للحجز المسبق، يعاد تعديله في التكرار التالي حتى لا يعود هناك أية فجوات زمنية قابلة للاستغلال في المخطط الناتج، أي إنّ قيمة الفجوات الزمنية في الجدول تصبح معدومة ($total_r = 0$).

تقوم الخوارزمية المطبّقة على المثال المبين في الشكل (1) بعدد من الدورات؛ فتحسب في الدورة الأولى مجموع الفجوات الزمنية الموجودة في الجدول، ومن ثمّ تحدد المهمات القابلة للتعديل وهي في مثالنا المهمتان t_{10} ، و t_6 . بعد تعديلها تتكرر الخوارزمية وتعيد حساب الفجوات الزمنية الجديدة الناتجة بعد تعديل المهمتين السابقتين وتعيد تحديد المهمات التي أصبحت قابلة للتعديل وهي t_7 ، و t_2 ،

| End Time | Start Time | Task |
|----------|------------|------|
| 2.0 | 0.0 | T1 |
| 8.0 | 5.0 | T2 |
| 10.5 | 5.0 | T3 |
| 6.0 | 2.0 | T4 |
| 13.0 | 8.0 | T5 |
| 16.0 | 10.5 | T6 |
| 17.5 | 12.87 | T7 |
| 12.87 | 6.0 | T8 |
| 20.0 | 16.0 | T9 |
| 23.0 | 17.5 | T10 |
| 27.0 | 23.0 | T11 |



(a) - مخطط الحجز المسبق الناتج عن خوارزمية EWARP

(b) - جدول أزمنة البداية والنهاية للمهام في

مخطط الحجز الناتج عن EWARP.

الشكل (3) نتائج خوارزمية EWARP.

أزمنة الحساب للعقد وأزمنة الاتصال بينها. استخدمنا بارومتراً شكل البيان (a) والمعروف في البحث [16]، لقولية البيان المولد؛ إذ تولد القيم الصغيرة لـ a بياناً يميل إلى الطول - أي يظهر توازياً قليلاً بين المهمات المشكّلة له، أمّا قيم a الكبيرة فتولد بياناً يميل إلى العرض - أي يظهر توازياً عالياً بين مهماته.

طوّر الجزء الثاني من المحاكاة لتوليد عدد عشوائي من الموارد المتوافرة في النظام، بالاعتماد على تابع توزيع احتمالي منتظم (Uniform). كذلك تولد السرعات المختلفة لمهام الدفق على هذه الموارد عبر استخدام تابع توزيع احتمالي أسي وبطريقتين؛ تقترح الأولى بيئة موزعة ذات تغاير خواص ضئيل؛ أي تكون القيم المولدة متقاربة بالقيمة من قيم المهمات المخمّنة. أمّا الطريقة الثانية فنقترح بيئة تنفيذ موزعة ذات تغاير خواص عالٍ؛ أي

4- بناء المحاكاة:

لاختبار الخوارزمية المقترحة قمنا بتطوير أجزاء برنامج المحاكاة المطلوب كلّهُ. طور الجزء الأول ليولد بياناً غير حلقي موجّهاً عشوائياً يخضع لعدة بارومتريات مختلفة لتوليدهِ. استُخدمت علاقات الجذر التربيعي واللوغاريتم الثنائي لتحديد ارتفاع البيان وعدد المستويات من العدد الكلي للعقد المطلوبة فيه؛ ومن ثم حُدّد عدد المهمات في كل مستوى. البارومتر الأول المستخدم هو عدد المهمات في البيان وهو من المجال (40،30،10،50،130،80) مهمة. يحدد البارومتر الثاني متوسط قيم الحساب للبيان وهي من المجال (1، 2، 5، 10، 15، 25، 50) وتستخدم مع البارومتر الثالث، وهو نسبة الاتصال إلى الحساب في البيان (Communication to Computation Ratio - CCR) المحدد من المجال (0.5، 1، 5، 10، 20)، لتوليد

فهي 3780 مجدول مختلف، التي هي بدورها دخل لكل من خوارزمية الزمن الإضافي (Spare) [15]، والخوارزمية (EWARP). عدد نتائج المحاكاة الواحدة هو 7560 خرج مختلف. كررت المحاكاة ثلاث مرات لتوليد النتائج المقدمة في المقطع التالي.

5- النتائج والتحليل

قُسمت عملية الاختبار والتحليل إلى قسمين رئيسيين، إذ نُفذت المحاكاة في القسم الأول لمقارنة نتائج الخوارزمية المقدمة بخوارزمية (Spare) [15] التي تستخدم تقنية استطلاع الفجوات الزمنية، بالخوارزمية المقدمة في هذه الورقة (EWARP).

تظهر المنحنيات المبينة في الشكل (4) نتائج هذا القسم من المحاكاة، وهي نتاج المقارنة بين الخوارزميتين سابقتي الذكر بعد تطبيقهما على كل من المجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث كل على حدة.

يظهر الشكل (4-a) المعدلات المئوية لعدد المهمات المتراخية والمرنة الناتجة عن تطبيق الخوارزميتين (Spare) [15]، و (EWARP) على الترتيب، باستخدام مجدولات خوارزمية (HEFT). تظهر النتائج تفوق خوارزمية (EWARP) بحد أدنى قدره 26%، و بحد وسطي قدره 41.5%.

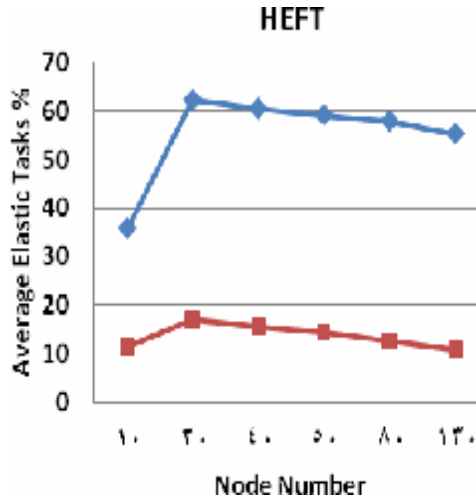
تكون القيم المولدة لسرعات هذه الموارد متباعدة بين بعضها بعضاً، وعن سرعة تنفيذ المهمات المخمّنة.

حُقِّقَتْ وَجُرِّبَتْ خوارزميات جدولة بيان غير حلقي موجّه في بيئة متغايرة الخواص في الأجزاء الثالثة والرابعة والخامسة من المحاكاة المطوّرة. يعتمد تحقيق هذه الخوارزميات على البحوث التي قدمت فيها؛ وهي على الترتيب (HEFT) [16]، و (PETS) [17]، و (DCP-G) [18]. تستخدم هذه الخوارزميات خرج الجزئيين الأوليين لتوليد مجدولات على الموارد المتوافرة والمقدمة في الجزء الثاني.

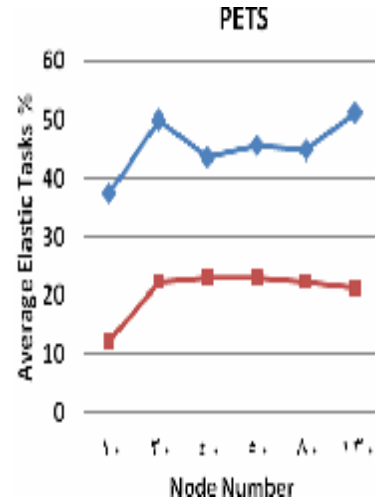
طوّر الجزء السادس من المحاكاة لتحقيق للخوارزمية المقدمة في [14، 15] بهدف مقارنة أدائها بأداء الخوارزمية المقدمة في هذه الورقة؛ فهي تعدُّ أقرب البحوث إلى عملنا فتقوم بتوليد حجوزات متراخية وتستخدم أيضاً تقنية استطلاع الفجوات الزمنية في المجدول؛ وإن كانت تستخدم المخططات المولدة من أجل تقليل نسبة إعادة الجدولة عند خطأ تقدير أزمنة تنفيذ المهمات في البيان. يكون دخل هذه الخوارزمية المجدولات الناتجة عن الأجزاء الثالثة والرابعة والخامسة.

أمّا الجزء السابع فهو تحقيق لخوارزمية (EWAEP) المقدمة في هذه الورقة. قُورِنَتْ نتائجها بخوارزمية [15] المحققة في الجزء السادس من جهة، وكذلك إختبِرَتْ هذه الخوارزمية وحُلِّتْ نتائجها تبعاً للمجدولات المختلفة التي تكون دخلاً لها.

عدد البيانات المولدة من الجزء الأول هو 630 بياناً غير حلقي موجّهاً، أمّا عدد الموارد المولدة لكل بيان فهي 2 بحسب بارومتر مجال تغاير خواص البيئة الموزعة. ومن ثَمَّ هناك 1260 دخل مختلف لكل خوارزمية جدولة. أمّا عدد المجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث



(b)- خوارزمية PETS.

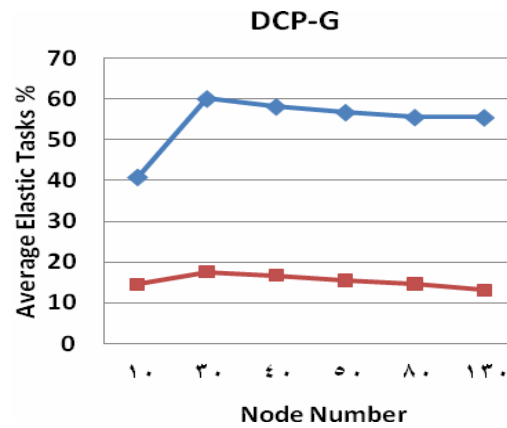


(a)- خوارزمية HEFT.

◆ EWARP Alg.

■ Spare Alg.

(d)- الرمز المستخدم.

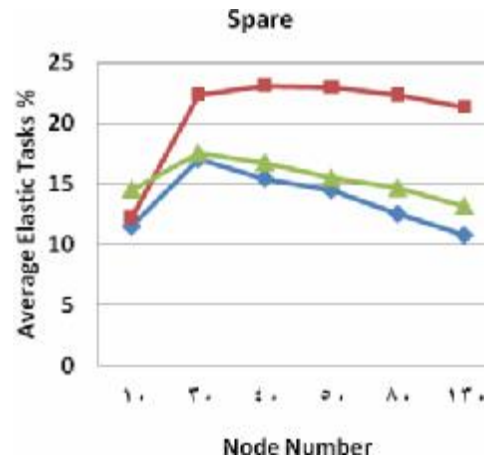
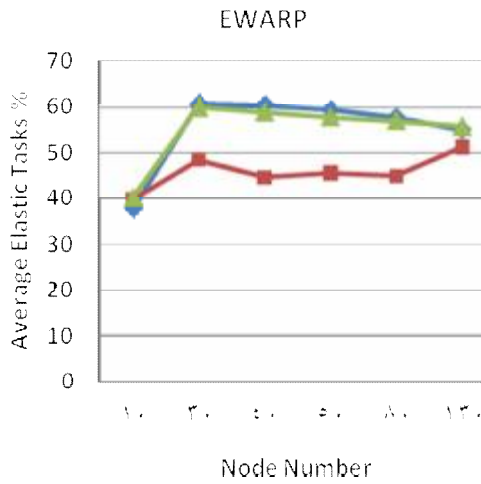


(c)- خوارزمية GDGP.

الشكل (4) النسبة المئوية لمتوسط عدد المهام المرنة من عدد المهام الكلي للتدفق في كل من الخوارزمية المقدمة في [15] وخوارزمية (EWARP).

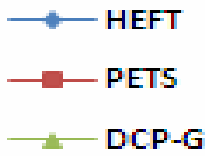
(DCP-G) الديناميكية، وهي أيضاً تظهر تفوق خوارزمية (EWARP) بحد أدنى قدره 25.5% وبمتوسط قدره 39.5%.

أما الشكل (b-4) فيظهر النتائج السابقة نفسها ولكن على مجدولات خوارزمية (PETS)، وهي تظهر تفوق خوارزمية (EWARP) بحد أدنى قدره 21.5% وبمتوسط قدره 25%. يظهر الشكل (c-4) نتائج التطبيق على مجدولات خوارزمية

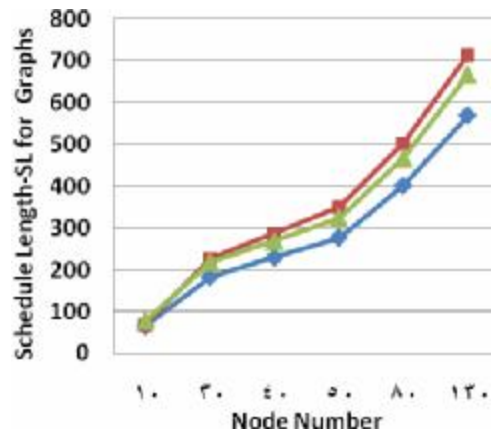


(a) - نتائج خوارزمية (EWARP) على مجدولات الخوارزميات الثلاث.

(b) - نتائج خوارزمية (Spare) على مجدولات الخوارزميات الثلاث.



(d) - الرمز المستخدم

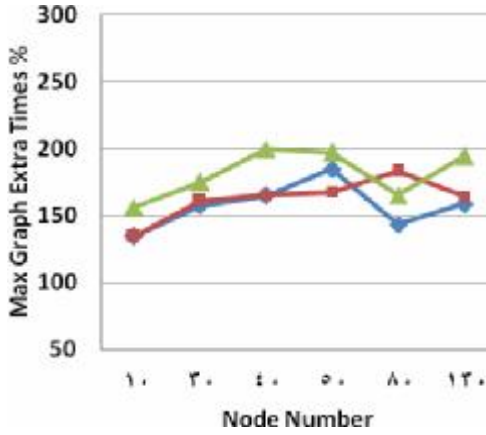


(c) - طول المجدولات الناتجة (Makespan) عن الخوارزميات الثلاث

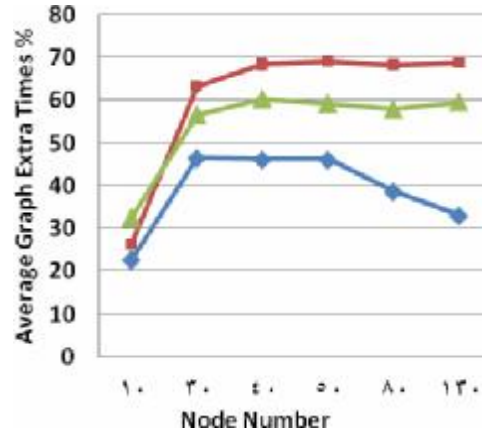
الشكل (5) مقارنة نتائج تطبيق كل من (EWARP) و (Spare) على مجدولات الخوارزميات الثلاث وطول المجدولات الناتجة عنها.

وبالبارومتريات التي تحدد سير التخصيص والجدولة لها. لذلك نرى أن النتائج تختلف من خوارزمية إلى أخرى وللبيان نفسه.

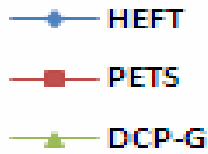
تعتمد كلتا الخوارزمتين قيد المقارنة على المجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث. هذه الخوارزميات هي بطبيعتها تتعلق بشكل البيان



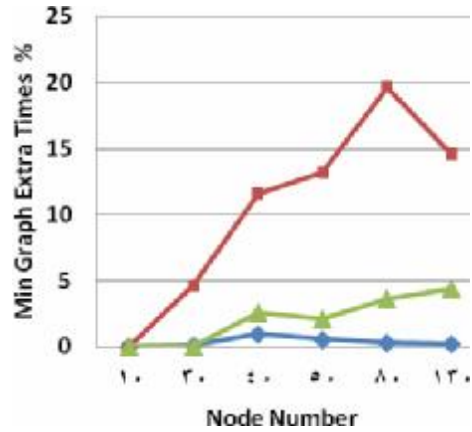
(b) - معدل النسبة المئوية للقيمة العظمى للزمن الفائض المستخدم من طول المجدول.



(a) - معدل النسبة المئوية لمتوسط الزمن الفائض المستخدم من طول المجدول.



(d) - الرمز المستخدم



(c) - معدل النسبة المئوية للقيمة الصغرى للزمن الفائض المستخدم من طول المجدول.

الشكل (6) مقارنة الزمن الفائض المستخدم من قبل خوارزمية (EWARP) على كل من مجدولات خوارزميات الجدولة الثلاث.

مجدولاتها الناتجة. أمّا خوارزمية (EWARP) فتميل إلى أداء أمثلي كلما كانت المجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة هي أكثر مثالية، ولكن في العموم، نلاحظ أن أسوأ أداء لها هو أفضل من أحسن أداء لخوارزمية (Spare).

يبين الشكل (c-5) طول المجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث المستخدمة، إذ تظهر المنحنيات أن خوارزمية (PETS) لديها زمن تنفيذ كلي هو أكبر من الخوارزميتين الأخريين، اللتين تقدمان طول جدول (Makespan) أفضل.

تجدر الإشارة أن زمن تنفيذ خوارزميتي (HEFT) و (PETS) هو متقارب وهو من مرتبة $O(v^2 \times p)$ لخوارزمية (HEFT)، ومن مرتبة $O(e \times p)$ $\log v$ لخوارزمية (PETS) إذ تعبر (v) عن عدد العقد في البيان، و (e) عن عدد الأسهم في البيان، أمّا (p) فتعبر عن عدد الموارد المتوافرة المستخدمة في التحصيل. أمّا خوارزمية (DCP-G) فهي ذات زمن تنفيذ يقارب $O(v^4)$ لأنها تعيد حساب المسار الحرج الكامل عند كل خطوة جدولة، ومن تمّ هي أعلى بكثير من زمن تنفيذ الخوارزميتين السابقتين.

في القسم الثاني من المحاكاة حُلّ تأثير تطبيق خوارزمية (EWARP) المقدمة هنا، على المجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة الثلاث لتحليل العلاقة بين الخوارزمية المقدمة والأنواع المختلفة من الدخول المطبق عليها.

يظهر الشكل (6) النسبة المئوية للزمن الفائض المستخدم في عمليات تشكيل الحجز المرن من طول الجدول الناتج (SL)، ولكل من مجداولات خوارزميات الجدولة الثلاث.

نلاحظ من الشكل (a-6) أن خوارزمية (PETS) هي أفضل خوارزميات الجدولة الثلاث من ناحية تمكّن

النتائج المبيّنة في الأعلى تظهر تفوق خوارزمية (HEFT) على الخوارزميتين الأخريين من ناحية نسبة عدد المهمات المرنة من عدد المهمات الكلي في الدفق، مقارنة بنتائج خوارزمية (Spare).

أمّا الشكل (5) فيظهر نتائج مقارنة أداء كل من خوارزميتي (Spare) و (EWARP) بالنسبة إلى المجدولات الناتجة عن الخوارزميات الثلاث المعتمدة في هذه الورقة. تظهر النتائج المبيّنة في الشكل (a-5) أن خوارزمية (EWARP) تنتج أفضل النتائج من حيث النسبة المئوية لعدد المهمات المرنة من العدد الكلي للمهام في البيان لمجدولات خوارزمية (HEFT) والمتقاربة جداً مع نتائج تطبيق الخوارزمية على مجداولات (DCP-G).

على عكس ذلك، فإن خوارزمية (Spare) تقدّم أفضل النتائج عند تطبيقها على مجداولات خوارزمية (PETS). كذلك نلاحظ أن أداءها على الخوارزميتين الأخريين هو متقارب جداً كما هي حال نتائج (EWARP).

بتحليل طريقة عمل خوارزميتي (HEFT) و (DCP-G) يمكننا أن نرى أن كليهما تعتمد على مقارنة تقليص المسار الحرج للبيان وإن كانت الخوارزمية (HEFT) هي ساكنة، وخوارزمية (DCP-G) هي ديناميكية. هذا ما يفسّر النتائج المتقاربة لتطبيق خوارزميتي تخطيط الحجز المسبق عليهما.

أمّا تحليل عمل خوارزمية (PETS) فيظهر أنها تميل إلى تجزئة أكبر لأزمنة الجدول الناتج؛ مما يتيح لخوارزمية (Spare) أن تستغل عدد الفجوات الأكبر الناتج عن هذه التجزئة؛ وهذا ما يعلّل تقدم نتائج مجداولات خوارزمية (PETS) على خوارزميتي (HEFT) و (DCP-G) اللتين تعملان على تخصيص شبه أمثلي مما يقلّل من التجزئة في

المقدمة على إنتاج أكبر عدد ممكن من المهمات ذات الحجز المرن للمجدولات الناتجة عن الخوارزميات الاستمثالية؛ تظهر النتائج المقدمة تفوقها بعدد الحجوزات المرنة على الأعمال المعروفة.

لا تولي هذه الخوارزمية اهتماماً كافياً بسياسات التوزيع الأمثلتي للفجوات الزمنية وطرائقه بين المهمات المختلفة؛ فتظهر الخوارزمية المعروضة في الشكل (2) اعتمادها على تقسيم متساوٍ للزمن الفائض الكلي بين المهمات القابلة للتعديل في كل دورة منها. هذا لا ينتج توزيعاً عادلاً للزمن الفائض بين المهمات لاختلاف مقداره، وعدد المهمات القابلة للتعديل في كل دورة من الخوارزمية. يمكن العمل على إيجاد توزيع شبه أمثلتي للزمن بين المهمات في البحوث القادمة عبر استخدام عدد من السياسات المختلفة والمقارنة بين أدائها لمعرفة السياسة ذات الأداء الأفضل.

من ناحية أخرى تعتمد خوارزمية (EWARP) على وجود قيد وحيد مطلوب من قبل المستهلك هو الزمن النهائي للتنفيذ (Deadline) وبحدده الأدنى؛ يمكن استطلاع تأثير وجود إضافات متفاوتة على طول الجدول النهائي (Extra>0) ومقارنة الأداء بالخوارزميات الموجودة في هذا المجال، وكذلك إمكانية وجود قيود أخرى من قبل المستهلك وفي القيد نفسه مثل قيد الكلفة (Budget).

خوارزمية (EWARP) من استغلال متوسطي أعلى فائض زمني في المجدولات الناتجة عن الخوارزميتين الأخريين؛ وتقارب مقدار الزيادة 10% أعلى من خوارزمية (DCP-G) و23% أعلى من خوارزمية (HEFT). أيضاً يظهر هذا الشكل أن خوارزميتي (PETS) و (DCP-G) لديهما مقاومة أعلى لزيادة عدد العقد في البيان عن خوارزمية (HEFT)؛ ومن ثمَّ فهما يحققان نسباً مئوية مستقرة من الزمن الفائض المستخدم، ولكن هذه القيم تنخفض لخوارزمية (HEFT) عن عدد العقد الأعلى من 130 عقدة. أمَّا الشكل (b-6) فيظهر النسبة المئوية العظمى للزمن الفائض القابل للاستخدام ويظهر تقارباً بين أداء خوارزمية (EWARP) على كل من المجدولات الثلاث. يظهر الشكل (c-6) التفوق الكبير لأداء (EWARP) على مجدولات خوارزمية (PETS)، من ناحية الزمن الفائض الأدنى المستخدم في عملية تشكيل مخطط الحجز المرن.

الشكل الأخير هو ذو أهمية خاصة لأنه يمكن أن يستعمل من قبل المجدولات المترفعة في النظام ليحدد أية خوارزميات جدولة التي يمكنها أن تنتج مجدولات لديها قدرة لتحقيق استغلال أعلى للزمن الفائض الأدنى، ومن ثمَّ تعظم من فوائد طرفي النظام؛ الزبائن من جهة الذين لا يضطرون لحمل أعباء مادية أعلى لتنفيذ أعمالهم ضمن القيود الزمنية المطلوبة، ومزود الموارد الذي يمكنهم الحجز المرن من الحصول على استغلالية أعلى لمواردهم ومن ثمَّ الحصول على عوائد مالية أعلى.

6- الخلاصة والعمل المستقبلي

قدمت هذه الورقة خوارزمية مستقلة (EWARP) لإنتاج مخطط هو مزيج من الحجز المرن والقاسي لتدفقات الأعمال في البيئات الموزعة "واسعة النطاق، دون استخدام أية إضافات زمنية على طول الجدول. تعتمد الخوارزمية

المراجع

- (Eds); Meta-heuristics for scheduling in distributed environments, Springer, Berlin, 2008.
- [9] N. R. Kaushik, S. M. Figueira, S. A. Chiappari. Flexible Time-Windows for Advance Reservation Scheduling. Proc. of Int. l. Symp. on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Tele. Systems, 2006:218-225.
- [10] L. Wu, C. Wu, J. Cui, J. Xing. An Adaptive Advance Reservation Mechanism for Grid Computing. Proceedings of International Conf. on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 2005:400-403.
- [11] P. Xiao, Z. Hu, Two-Dimension Relaxed Reservation Policy for Independent Tasks in Grid Computing, Journal of Software, Vol. 6, No. 8, August 2011.
- [12] M. A. S. Netto, K. Budendorfer, R. Buyya; SLA-Based Advanced Reservations with Flexible and Adaptive Time QoS Parameters. ICSOC '07 Proceedings of the 5th international conference on Service-Oriented Computing; 2007:119 - 131 Springer-Verlag Berlin, Heidelberg©2007.
- [13] A. Sulistio, W. Schiffmann, R. Buyya. Advanced Reservation-based Scheduling of Task Graphs on Cluster. Proceedings of International Conf. on High Performance Computing, 2006:60-71.
- [14] R. Sakellariou and H. Zhao, A low-cost rescheduling policy for efficient mapping of workflows on grid systems. Scientific Programming 12(4): . 253-262, Dec. (2004); IOS Press.
- [15] H. Zhao, R. Sakellariou. Advance Reservation Policies for Workflows. Proceedings of the 12th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, 2006.
- [1] I. Foster, C. Kesselman; The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure, 2nd edn. Morgan Kaufmann, San Francisco (2004).
- [2] J. Blythe, S. Jain, E. Deelman, Y. Gil, K. Vahi, A. Mandal and K. Kennedy. Resource Allocation Strategies for Workflows in Grids. In IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid 2005).
- [3] A. Mandal, K. Kennedy, C. Koelbel, G. Marin, J. Mellor-Gremmey, B. Liu and L. Johnsson. Scheduling Strategies for Mapping Application Workflows onto Grids. In IEEE international Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC 2005), 2005.
- [4] H. Topcuoglu, S. Hariri and M. Wu, Performance-effective and low-complexity task scheduling for heterogeneous Computing. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 13(3):260-274, March 2002.
- [5] J. MarcLaren. Advanced Reservations: State of the Art. In Global Grid Forum 9 (GGF9), Scheduling and Resource Management Workshop, Chicago, USA, October (2003).
- [6] K. Czajkowski, I. Foster, C. Kesselman: Resource co-allocation in computational grids. In: Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC-8), pp. 219-228, 1999.
- [7] J. Yu and R. Buyya; A taxonomy of workflow managementsystems for grid computing. Technical Report GRIDS-TR-2005-1, University of Melbourne, Grid Computing and Distributed Systems Laboratory, Australia, March 2005.
- [8] J. Yu and R. Buyya; Workflow Scheduling Algorithms for Grid Computing; in F. Xhafa, A. Abraham

- [16] H. Topcuoglu, S. Hariri and M.Y. Wu, Performance-Effective and Low-Complexity Task Scheduling for Heterogeneous Computing, IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems, vol. 13, no. 3, pages: 260-274, (2002).
- [17] **E. Ilavarasan and P. Thambidurai ; Low Complexity Performance Effective Task Scheduling Algorithm for Heterogeneous Computing Environments, Journal of Computer Sciences 3 (2): 94-103, 2007 ; ISSN 1549-3636 ; © 2007 Science Publications.**
- [18] **M. Rahman, S.Venugopal and R.Buyya; A Dynamic Critical Path Algorithm for Scheduling Scientific Workflow Applications on Global Grids, Third IEEE International Conference on e-Science and Grid ***