تحسين أداء تدفقات الأعمال ذات قيود جودة الخدمة باستخدام الحجز المسبق المتعدد المرن*

م. سيرا أستور**

أ.د. فيصل العباس* د. جعفر الخير*****

الملخص

أظهرت كثير من البحوث قدرة الحجز المسبق على تحسين تخمينات النظام، مما يمكّنه من تأمين القيود الزمنية المطلوبة للتطبيقات. تتطلب التطبيقات متعددة المهمات تأمين حجوزات مسبقة متعددة على موارد مختلفة في النظام؛ التي عادة ما تجري عبر التفاوض متعدد المراحل ممَّا يضيف عبئاً زمنياً جديداً إلى زمن الاستجابة الكلي للتطبيق. يتعلق مقدار هذا الزمن الإضافي بعدد من البارومترات؛ منها حمل النظام، ومقدار التنافسية فيه. تقدم تطبيقات تدفقات الأعمال تعقيداً إضافياً بسبب وجود الارتباطات بين مهماتها؛ فأي رفض أو تأخير لأحد حجوزات مهام الدفق غالباً ما يزيد من زمن انتهاء التطبيق.

تقترح هذه الورقة استخدام الحجوزات المسبقة المرنة المعتمدة على الفجوات الزمنية الناتجة في مجدولات تدفقات الأعمال الاستمثالية من أجل تحسين معدل قبول الحجوزات، وتقدم وكيل الحجز المتعدد المرن الذي يؤمن الحجوزات المطلوبة باستخدام إستراتيجية الموقع الملائم الأول. بيّنت النتائج المقدمة أن وجود الوكيل المعتمد على الحجوزات المرنة يحسّن دوماً من معدل قبول الحجوزات وبمعدّل وسطي قدره (22.25%). أمَّا النتائج الأكثر أهمية هنا فهي استطاعة الوكيل المقترح على تحسين معدلات قبول الحجوزات في البيئات التنافسية؛ وأظهرت أنه بازدياد التنافسية يزداد معدّل قبول الحجوزات المرنة وصولاً إلى نسبة (48.4 %) عند وجود 90 مستخدماً متزامناً في النظام.

الكلمات المفتاحية: الحوسبة النفعية، تدفقات الأعمال، الجدولة، التحصيص المتعدد، الحجز المسبق، الحجز المرن.

*أُعِدَّ 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.

***. د. فيصل العباس – مدرس في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

****د. جعفر الخير – مدرس في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين.

1. المقدمة:

يمكن تصنيف التطبيقات الأكثر شيوعاً في البيئات التشاركية الموزعة إلى ثلاثة أصناف رئيسة: سلة الأعمال (**Bag-of-Tasks**) لمجموعة من المهمات المستقلة بين بعضها بعضاً، والأعمال المتوازية (**Parallel Jobs**) لمجموعة من المهمات التي تتطلب بداية زمن تنفيذ متزامن واحد، وتدفقات الأعمال (**Workflows**) المؤلفة من مجموعة من المهمات المترابطة مع بعضها بعضاً التي تتضمن أسبقيات في التنفيذ. تحتل تدفقات الأعمال مساحة واسعة من التطبيقات "الشبكية" والسحابية لأنَّها تعدُّ اليوم وسيلة شائعة الاستخدام لتوصيف تسلسل تنفيذ مجموعة من الإجرائيات المتلاحقة والمترابطة مع بعضها بعضاً مؤلفة بذلك عملاً مركّباً. يمكن لهذا العمل المركّب أن ينفذ على مجموعة موارد محلية، أو على مجموعة من الموارد متغايرة الخواص والموزعة جغرافياً في النظام. توصِّف تدفقات الأعمال بشكل رئيسي كلّاً من تطبيقات الأعمال (**Business Applications**)، والتطبيقات العلمية (**Scientific Workflows**).

يحتاج تنفيذ تدفقات الأعمال في الأنظمة الموزعة إلى أكثر من مورد لعدة أسباب؛ من أهمها كون القدرة الحسابية المطلوبة للتنفيذ ليست متاحة في موقع واحد، أو لكون المستخدمين/الزبائن يرغبون بتقليص زمن الاستجابة الكلي لأعمالهم. يعقّد تعدد الموارد من عملية إدارة تطبيقات تدفقات الأعمال ويجعلها من أصعب عمليات الإدارة؛ ليس لأنها فقط تتطلب مجموعة من الموارد المنتمية إلى مجالات إدارة مستقلة، بل أيضاً لأنها تتطلب نفاذاً متزامناً ومتلاحقاً في بعض مراحل الدفق بين هذه الموارد – وهذا ما يتطلب تحصيصاً لعدد من الموارد الموزعة، وفي المدة الزمنية نفسها وهو ما يعرف بالتحصيص المتعدد (**Co-Allocation**). من جهة أخرى، يجب على التحصيص المتعدد أن يؤمن بشكل مسبق من أجل تنفيذ موثوق به وفعّال لهذه التطبيقات؛ أي على الموارد المختارة للتنفيذ أن تضمن توافر الأطر الزمنية اللازمة عند الطلب، وبحسب الضوابط الزمنية لزمن البداية والنهاية المطلوب من قبل المهمات الجزئية المكونة للدفق. لهذا تعتمد أغلبية حلول مسألة التحصيص المتعدد على آلية الحجز المسبق (**Advance Reservation – AR**) لقدرته على تحسين تخمينات النظام**[1]**، ومن ثَمَّ ضمان متاحية الموارد عند الزمن المتوقع من قبل المستخدم. هناك العديد من الأعمال **[3, 2]** التي بيّنت إمكانية الحجز المسبق في تحسين أداء دفق الأعمال.

يحتاج الحجز المسبق في الحالة العامة إلى تفاوض مع مزودي الخدمة المتوافرين في النظام لضمان جودة الخدمة (**QoS**) المطلوبة. ويمكن لمستوى جودة الخدمة أن تكون ممثلة بزمن تنفيذ أقصى للدفق (**Deadline**)؛ الذي يفرض بدوره قيوداً زمنية محددة على مهمات الدفق الجزئية لضمان انتهائها عند الزمن الأقصى المطلوب.

من جهة أخرى، يعتمد نموذج الحوسبة النفعية على تزويد/تقديم الخدمات الحوسبية كلّها للمستهلكين والزبائن عند الطلب الذين يقومون بدفع المقابل المادي لهذه الخدمات وبحسب الاستخدام (**Pay-as you-go**). تؤمن الأنظمة النفعية الخدمات للزبائن على مبدأ الاشتراك في هذه الخدمات، وتأمين البيئة التحتية اللازمة للتفاوض على جودة الخدمة المطلوبة وتأسيس العقود وإدارتها، وكذلك على تحصيص الموارد التي تستوفي متطلبات المستخدمين؛

كذلك عليها أن تؤمن الطلبات المتعددة المتنافسة والمقدمة من قبل عدة مستخدمين وتطبيقات في النظام **[4]**.

تكمن المشكلة الرئيسة لاستراتيجيات الحجز المسبق عند تطبيقها في البيئات الموزعة النفعية مثل "الشبكة النفعية" (**Utility Grid**) أو السحابة (**Cloud**). فعلى الرغم من أن الحجز المسبق يمكّن مهمات دفق الأعمال من التنفيذ دون أية تنافسية مع التطبيقات الأخرى في النظام، ولكنه يخفّض من معدل استغلالية الموارد؛ ومن ثَمَّ يخفّض من أداء النظام العام ومن العائدية المادية لمزودي الموارد **[5]**. يستخدم الحجز المسبق القابل للتكيّف (**Flexible Advanced Reservation**) للتغلب على هذه المشكلة **[6]**؛ هناك عدة أنواع من هذا الحجز مثل الحجز المرتخي (**Relaxed**) الذي يمكن فيه تمديد زمن النهاية أو تعديله، أو الحجز المرن (**Elastic**) الذي يمكن فيه تعديل زمن بداية الحجز أو نهايته. من جهة أخرى، تتطلب تدفقات الأعمال ضوابط إضافية على الحجوزات المطلوبة بسبب بنية دفق العمل ووجود الارتباطات الداخلية بين مهماته الجزئية. يتطلب ذلك ضمان حجز كامل الدفق وعلى كامل الموارد في حال عَدِّهِ عملاً وحيداً، مما يمكّن النظام من إلغاء أزمنة الانتظار غير المعروفة لمهمات الدفق في أرتل الموارد المحلية؛ ولكن هذا، مرة أخرى، يخفّض من نسبة استخدام الموارد بسبب وجود الفجوات الزمنية بين المهمات المجدولة على المورد الواحد، ويحمّل المستخدم كلفة عالية. أظهرت النتائج المقدمة في **[7]**، أن معدل استغلالية الموارد تتناقص من **100**% في حالة استخدام مورد وحيد، إلى **62.5**% في حالة استخدام موردين، وإلى **55**% في حالة استخدام ثلاثة موارد. لهذا تعدُّ الطريقة الأخرى الأكثر شيوعاً للحجز هي عبر الحجز الفردي (**Individual**) لمهمات الدفق الجزئية، وذلك **عبر توليد مخطط حجز مسبق** يحدد أزمنة حجوزات المهمات بطريقة تضمن التزامن والتوازي والتتابع الموجود في الدفق. تحتاج هذه الطريقة إلى ضمان الحجوزات الفردية كلّها بطريقة سكونية (**Static**)؛ أي قبل البدء بالتنفيذ، وذلك بسبب كون كلفة عدم توافر الحجز أو رفض الحجز لإحدى المهام وترتيب إعادة حجزها لاحقاً خلال التنفيذ، يمكن أن يتسبب بإعادة حجز أو تعديل حجوزات المهمات الأبناء المتعلقة بهذه المهمة كلّها التي تشكل دفقاً جزئياً لها. يسبب تكرار هذه الحالة لعدد من المهمات الجزئية زيادة كبيرة جداً في زمن انتهاء الدفق الكلي أو في زمن استجابته، ويخفّض من ثَمَّ من أدائه. إن تأمين كافة الحجوزات للدفق مسبقاً لا يجري دون كلفة على النظام أن يقدمها؛ وهي المدة الزمنية التي ينتظر بها المستخدم لضمان الحجوزات المطلوبة على الموارد المتاحة. لذلك من أهم أهداف النظام النفعي واسع الانتشار أن يضمن قبولاً سريعاً للحجوزات المطلوبة من تطبيق دفق الأعمال؛ أي أن يقلّل من معدل رفض الحجوزات (**Rejection Rate**) فيه، وهو مجال بحث هذه الورقة. من ناحية أخرى، ومن أجل ضمان عدم تخفيض الحجز المسبق لاستغلالية الموارد، تولّد مخططات الحجز المسبق لتدفقات الأعمال بطريقة قابلة للتكيف.

تعتمد الفكرة الأساسية هنا على عبثية استخدام مجدولات شبه أمثلية لإنتاج مجدولات أقصر ما يمكن زمنياً، نحتاج فيما بعد إلى مدد زمنية كبيرة لضمان قبول حجوزاتها في النظام. تستطلع هذه الورقة مسألة تأمين القبول السريع للحجوزات المسبقة الفردية لتدفقات الأعمال ذات قيود جودة

خدمة في البيئات النفعية الموزعة واسعة النطاق، ومسألة تخفيض معدل الرفض. يمكن تحديد معدل الرفض لدفق العمل بنسبة عدد مهماته المرفوضة على عدد مهماته الكلية. تقترح هذه الورقة آلية مستقلة تعمل كوكيل للحجز المسبق المتعدد المرن (**Elastic Co-Reservation**)، الذي تعتمد فيه مخططات الحجز المرن على استغلال الفجوات الزمنية الموجودة في المجدولات الناتجة عن خوارزميات الجدولة شبه الأمثلية. يعمل هذا الوكيل على **تخفيض معدل رفض الحجوزات** للمهمات الجزئية لتدفقات أعمال ذات قيود جودة خدمة (**QoS**) متعددة في بيئات نفعية خدمية عالية التنافسية. نستخدم في التحقيق العملي لهذا الوكيل نموذج تدفقات الأعمال ذات بارومترين لمستوى الجودة المطلوبة لتنفيذ التطبيق؛ عدد المعالجات محدد، وزمن نهائي أقصى للتنفيذ. تستخدم آلية الوكيل الحجز المتعدد المرن المقترحة في هذه الورقة كدخل لها **مخططات الحجز المسبق المرنة** المنتجة من قبل الخوارزمية (**EWARP**) المقدمة في **[8]**، التي تنتج مخططَ حجزٍ مرناً عبر استغلال شبه أمثلي للفجوات الزمنية في المجدولات.

يقدم القسم الثاني من هذه الورقة الأعمال المتعلقة بهذا الشأن، أمَّا القسم الثالث فيشرح الوكيل وكيفية عمله، ويقدم القسم الرابع نتائج الأداء المولّدة عن تطبيق الوكيل في بيئة موزعة نفعية وتنافسية باستخدام برنامج المحاكاة (**GridSim**) **[15, 14]**، أمَّا القسم الخامس والأخير فيلخص العمل المقدم في هذه الورقة ويناقش الآفاق المستقبلية.

2. الأعمال المتعلقة:

يمكن عَدَّ العمل المقدم في **[9]** هو أقرب الأعمال المنشورة من العمل المقترح في هذه الورقة. إذْ يقدم خوارزمية هي امتداد لخوارزمية تحصيص البيان اللاحلقي الموجه على مجموعة من الموارد متغايرة الخواص (**Heterogeneous Earliest Finish Time-HEFT**)؛ فيقدم مفهوم المهمات المتزامنة لتعريف المهمات المتوازية في الدفق التي تتطلب **حجزاً متطابقاً بالزمن** على عدد من الموارد الموزعة، ومن ثم تعمل الخوارزمية على إيجاد مثل هذه النافذة الزمنية بين الموارد المختارة. تكّمن المشكلة الرئيسة لهذه الخوارزمية في عملية إيجاد الأطر الزمنية المتطابقة خصوصاً في بيئات نفعية عالية التنافسية.

العمل المقدم في **[10]** هو لمحرك دفق عمل (**Workflow Engine**)، المعرّف ب (**DWARFS**) الذي يعمل على تأمين حجوزات مسبقة لتدفقات الأعمال العلمية (**Scientific Workflows**)، المتميّزة بحساباتها بالغة التعقيد وكميات المعطيات الضخمة التي تعالجها بطريقة غير مركزية ومتزامنة، وذلك عبر توليد مستنسخات محركات دفق عمل متعددة للعمل الواحد. وعلى الرغم من تقديمها خدمات ذات قيود جودة خدمة مثل القيد الزمني (تنفيذ الدفق بأسرع ما يمكن) ولكنها لا تعتمد في الجدولة والتحصيص على أي من الخوارزميات الاستمثالية في مجال جدولة المبيانات اللاحلقية الموجّهة (**Direct Acyclic Graphs-DAGs**)، وتستخدم طريقة بسيطة غير استمثالية لإيجاد الحجوزات. يقدم لاحقاً العمل **[11]** خوارزمية تحصيص وجدولة لمحرك الدفق المقدم في **[10]**؛ وهي تعتمد على الخوارزميات الجينية (**Genetic Algorithms-GAs**) لتقديم تحصيص وحجز مسبق شبه أمثلي للموارد المتوافرة بحيث تحقق متطلبات التطبيقات من قيود وضوابط جودة الخدمة.

عادة ما تتطلب الخوارزميات التجريبية المترفّعة (**Meta-heuristics**) زمن تنفيذ أعلى بكثير من زمن تنفيذ الخوارزميات التجريبية غير المترفعة.

أمَّا القسم الثاني من الأعمال المتعلقة بالحجز المسبق لتدفقات الأعمال في البيئات النفعية، فيعتمد على تعديل المجدولات المحلية للموارد أو تقديم مجدولات جديدة تتميّز برتل انتظار خاص للحجوزات المسبقة؛ فتقدم الورقة **[12]**، فضلاً عن اعتماد رتل خاص بالحجز المسبق في داخل المجدول المحلي، خوارزميات تقوم على إعادة ترتيب المجدولات الناتجة وتعديلها لتحسين استغلالية الموارد. تقدم الورقة **[13]** مجدولاً خاصاً للتعامل مع الحجوزات المرنة بحيث يستطيع المجدول المحلي تعديل زمن بداية الحجز للحجوزات الموجودة ضمن رتل انتظاره، وضمن المدة الزمنية المرنة المقدمة من قبل مخطط الحجز؛ وذلك مادامت لم تبدأ مدة الحجز بعد. تُعَدَّلُ الحجوزات المرنة بناء على الحجوزات والأعمال اللاحقة التي تتطلب إطارات زمنية متراكبة أو متقاطعة مع الموجودة مسبقاً. وُلِّدَتْ أحمال في النظام هي مزيج بين الحجوزات القاسية (**Rigid Reservations**) والحجوزات القابلة للتكيّف؛ **تبرهن هذه الورقة على تفوق الحجوزات المرنة على الحجوزات القاسية، في تحقيق أداء أفضل لكل من الزبائن ومزودي الخدمة معاً، كذلك تبيّن أنه كلما زادت نسبة عدد الحجوزات المرنة في مزيج حمل النظام تحسّن أداء النظام.**

على عكس الأعمال المتعلقة والمقدمة في الفقرة السابقة، يعتمد وكيل الحجز المتعدد المرن المقدم في هذه الورقة على **تقسيم مسألة استمثال زمن الاستجابة الكلي للدفق؛** فيعتمد على خوارزميات استمثالية لإنتاج مجدولات تحصيص شبه أمثلية لزمن انتهاء التنفيذ لمبيانات (**DAGs**)، ومن ثم يعمل على استمثال زمن الحجز المسبق لهذه المجدولات شبه الأمثلية؛ هذا ما يساعد في **تبسيط مسألة** إيجاد حلول شبه أمثلية لزمن استجابة النظام الكلية لتنفيذ تدفقات الأعمال باستخدام الحجز المسبق. من جهة أخرى، يسمح استخدام مخططات الحجز المرنة لوكيل الحجز المتعدد المرن من إيجاد حل عملي للحجوزات كلّها المتراكبة والمتوازية المطلوبة بطريقة أسرع من الحجوزات القاسية المستخدمة في الأعمال المقدمة؛ وذلك عبر تقديم بدائل حجز من داخل المخطط الحجز المرن. بالإضافة، يستخدم الوكيل المقدم هنا مخططات الحجز المرنة المعتمدة في إنتاجها على المعتمدة الفجوات الزمنية للمجدول **وليس على زيادة طول مجدول التحصيص الناتج عن خوارزمية التحصيص شبه الأمثلية**، مما يزيد من تقليص زمن الاستجابة ويسهم في استمثاله. يولّد الوكيل المقترح بدائل الحجز **بشكل آني عند رفض مزودي الموارد للحجز المطلوب** نتيجة تنافسية وجود حجوزات أخرى من زبائن آخرين. تزداد أهمية وجود مخططات الحجز المرن في البيئات شديدة التنافسية مثل البيئات الحوسبية النفعية التي تقدم معدلات رفض أعلى للحجوزات القاسية نتيجة التنافسية العالية على الفواصل الزمنية المقدمة من قبل مزودي الموارد.

إضافة، تتميّز الآلية المقدمة في هذه الورقة بأنها **تحقيق مستقل يقع ضمن المستوى الأعلى من البرمجيات الوسيطة (Middleware)**؛ إذْ إنَّ لا تتطلب تعديلات على أي من المكونات الموجودة قيد الاستخدام حالياً والمحققة

عملياً؛ إن كان في العقد الطرفية للنظام (في المجدولات المحلية للموارد) أو في محركات دفق الأعمال، وعليه يمكن تصنيفها ضمن مكونات المجدولات المترفعة (**Meta-Scheduler**)، أو في مكونات السمسار (**Broker**).

3. وكيل الحجز المتعدد المرن: Elastic Co-Reservation Agent

صُمِّمَ وكيل برمجي (**Agent**) بطريقة مستقلة عن كل من الزبائن ومزودي الخدمات في النظام النفعي الموزع؛ فهو لا يدخل ضمن تحقيق المجدولات على مستوى المستخدم (**User Level Schedulers**) التي تقدم الأعمال نيابة عن الزبائن؛ وكذلك هو ليس من ضمن تحقيقات مجدولات مزودي الخدمة التي تعمل على تحقيق أهداف المزودين فقط من ناحية استمثال استغلالية الموارد أو/و زيادة أرباحها في البيئات الاقتصادية النفعية للنظام الموزع. يمكن تصنيف الوكيل المقترح ضمن مكونات المجدول المترفع أو السمسار الذي يتلقى الأعمال من المستخدمين (أو من مجدولات المستخدمين) ويؤمن لها الحجوزات على الموارد المتوافرة في النظام بحسب كل من متطلبات المستخدمين والضوابط المفروضة من قبل مزودي الخدمة على استخدام هذه الموارد.

كذلك صمّم وكيل الحجز المتعدد ليتمكن من طلب **المهام الفردية التابعة لدفق أعمال** ما وحجزها، ولكنه يستطيع التعامل مع حجوزات كامل الدفق على مورد وحيد (حالة عَدِّ كامل الدفق عملاً وحيداً)، أو عدة موارد بوصفها حالات خاصة من الأولى، وذلك عبر إضافة بارومترات تحدد شكل الحجز وتمكّن الوكيل من تحديد نهاية عملية الحجز.

يجب على مولّد مخطط الحجز الفردي لمهمات الدفق، في الحالات التي تجري فيها عمليات حجز فردية لمهمات دفق أعمال ذي قيود جودة خدمة، أخذ قيود جودة الخدمة الفردية أيضاً بالحسبان؛ استخدمنا خرج خوارزمية (**EWARP**)، المقدمة من قبلنا في **[8]**، التي تنتج مخطط حجوزات مسبقة مرنة للمهمات الفردية المكونة لدفق الأعمال عبر استغلال الفجوات الزمنية الموجودة في المجدول الناتج عن استعمال خوارزميات جدولة استمثالية لتدفقات الأعمال في البيئات الموزعة والمتغايرة الخواص.

من المهم التنويه إلى أن الوكيل المقترح يمكنه تأمين الحجوزات الفردية المطلوبة عن طريق استخدام **أي مخطط حجز مرن كدخل له** وليس بالضرورة الناتج عن خوارزمية (**Elastic Workflow Advanced Reservation Planning - EWARP**)؛ ولكن اِستُخْدِمَ الخرج الناتج عن الأخيرة بغرض تقييم هدفين الرئيسين: تحسين الحجز المسبق المرن لمعدل قبول الحجوزات عن الحجز القاسي بشكل عام، وتحسين معدل قبول الحجوزات دون أية زيادة إضافية على المجدولات الاستمثالية وهذا ما تقدمه (**EWARP**).

عُدِّلَ خرج خوارزمية (**EWARP**) لتكون قادرة على التعبير عن قيود جودة الخدمة الفردية للمهمات المستخلصة من القيود الكلية لدفق الأعمال. ولتسهيل عملية الدراسة والتحليل اكتفينا بتضمين قيدين في هذه الحالة، وهما عدد المعالجات المطلوب لتنفيذ المهمات المختلفة، وزمن التنفيذ النهائي الأقصى. يقدم الشكل (1) المراحل الرئيسة لعمل الوكيل المقدم وتوليه بدائل الحجز آنيّ عند التفاوض متعدد المراحل. يقوم الوكيل باستلام مخططات الحجز المسبق المرنة ذات ضوابط جودة الخدمة؛ ويحاول تأمين الحجز مباشرة دون تفاوض في المرحلة الأولى لتقليص زمن

الاستجابة الكلي للعمل؛ وفي حالة رفض الحجز المسبق من قبل المورد/الخدمة المحددة يعمل الوكيل على تأمين بدائل عبر التفاوض متعدد المراحل ويقوم باتخاذ قرار الحجز باستخدام إستراتيجية التحصيص بحسب الموقع الملائم الأول (**First Fit Allocation – FF**).

استخدمنا هذه الإستراتيجية ليتمكن النظام من ضمان إمكانية الحصول **على زمن قبول أصغري للتطبيق** قيد الحجز.

الهدف الرئيسي لهذا الوكيل هو عدم تغيير/تمديد زمن المجدول الدخل إلا في الحالات التي يتعذر فيها تأمين البديل؛ عندها يعمل على توليد زمن بداية حجوزات أصغري لدفق الأعمال.

تقّيم هذه الورقة نسبة تحسين أداء دفق الأعمال المتمثل هنا بزمن التنفيذ النهائي في حالة استخدام الحجوزات المرنة الناتجة عن استطلاع الفجوات الزمنية في المجدول وليس عن أية إضافات زمنية إلى المجدول الناتج.

```
Notations:
St = Start time of a Reservation
Ft = Finish time of a Reservation
Dur = Duration of a Reservation – for a rigid reservation Dur = (Ft – St)

Elastic Co-Reservation (input: Elastic Reservation Plan)

for all required resources R do
    for all task reservations for a Resource Ri do
        If ( reservation is rigid )
            Send reservation as it is ( St, Dur )
        else
        /* the Reservation is Elastic */
            Send reservation with the earliest start time
                If ( reservation is rejected )
                    Ask for avail = availability in the domain [St – Ft]
                    while avail is not empty do
                        Check all QoS parameters for a free period
                        if (all parameters are satisfied)
                            update St with this period start time
                            Re-Send new reservation with the new start
                        End if
                    End while
```

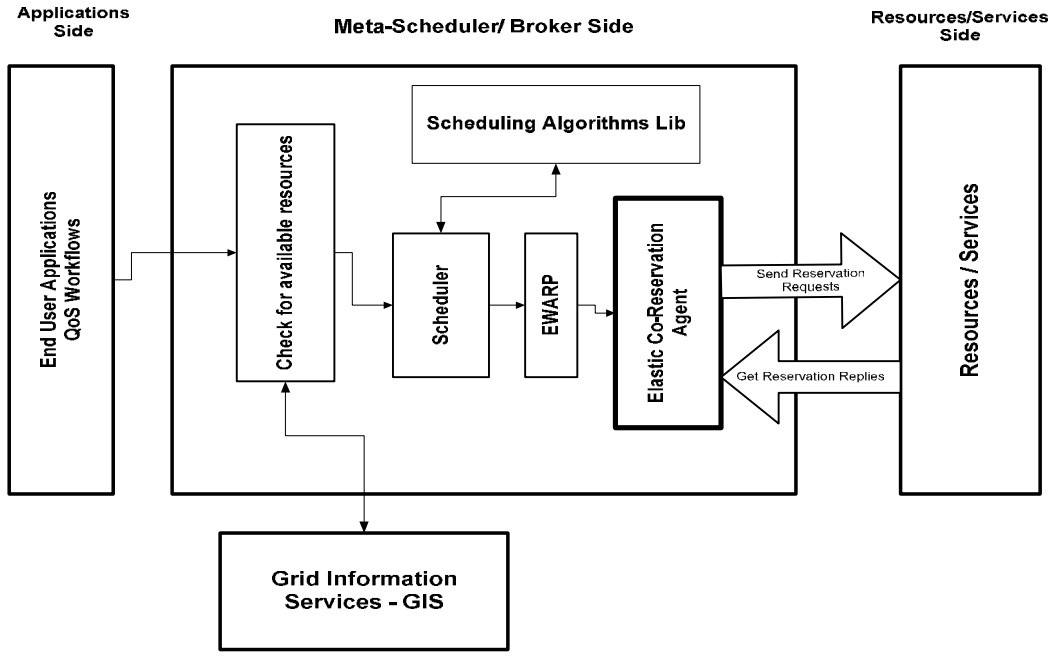
الشكل (1) مراحل عمل وكيل الحجز المتعدد المرن

4. بناء المحاكاة:

لتقييم عمل الوكيل المقترح نحتاج إلى محاكاة بيئة نفعية تنافسية مع أحمال (**Workloads**) تنمذج سيناريوهات عمل حقيقية. استخدمنا الأداة البرمجية **GridSim [14, 15]**، لمحاكاة بيئة اختبارية للتجارب المقدمة في هذه الورقة. تعدُّ هذه الأداة من أكثر الأدوات الموجودة استخداماً لمحاكاة

البيئات "الشبكية" البحثية والعلمية. تستخدم هذه الأداة لتقييم أداء عناصر النظام المختلفة؛ فهي رزمة برمجية مفتوحة المصدر، تقدم التسهيلات اللازمة لنمذجة المواقع "الشبكية" والموارد متغايرة الخواص المكونة لها، ونمذجة شبكات الاتصال متعددة القدرات والنطاقات. كذلك تقدم الدعم الأساسي لتركيب التطبيقات بأنواعها المختلفة، وتوفير خدمة المعلومات "الشبكية" (**GIS**) اللازمة لاكتشاف الموارد المتاحة في النظام. بالإضافة، تمكّن هذه الأداة من تعريف مجدولات أو سماسرة لتقييم أداء خوارزميات تحصيص وفعاليتها وجدولة جديدة مقترحة.

تقدم النسخ الجديدة من هذه الأداة إمكانيات الحجز المسبق، واستجرار وتطبيق حمولات عمل تشغيلية واقعية على الموارد، ومواربة الأخطاء



الشكل (2) أقسام المحاكاة المصممة باستخدام GridSim

يظهر الشكل (2) الأقسام الرئيسة التي تَحَقَّقَتْ ضمن المحاكاة المصمّمة من أجل اختبار وكيل الحجز المتعدد المرن المقترح وتقييمه، تتألف هذه الأقسام من طرفية الزبائن وهي تقوم بتوليد عشوائي لتدفقات الأعمال منمذجة كبنيان موجه غير حلقي. ترسل طلبات الأعمال من طرفية المستخدم إلى المجدول المترفع الذي يعمل على اكتشاف الموارد المتاحة عبر استخدام خدمة معلومات "الشبكة" (**GIS**) ويقوم بتوليد مجدول التحصيص على هذه الموارد باستخدام إحدى خوارزميات الجدولة التجريبية الاستمثالية. يمرر مجدول التحصيص الناتج كدخل إلى خوارزمية (**EWARP**) لتنتج

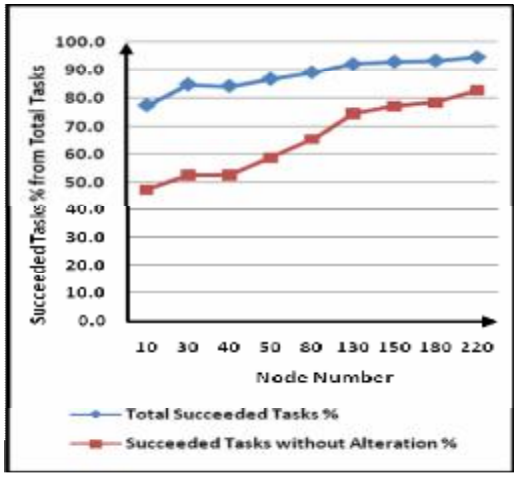
مخططَ حجوزاتٍ مرناً في خرجها الذي يمرر بدوره إلى وكيل الحجز المرن. يبدأ الوكيل بطلب الحجوزات الفردية لكامل مهمات دفق الأعمال وعلى الموارد المحددة كلّها. أضيف إلى أقسام المحاكاة مكتبة تقدم عدداً من الخوارزميات التجريبية لإنتاج مجدولات استمثالية لتدفقات الأعمال، بحيث يمكن للمجدول المترفع، وتحت الطلب، اختيار الأنسب منها بحسب المواصفات والطلبات المقدمة من الزبائن.

5. المحاكاة والنتائج:

أُجْرِيَتِ المحاكاة باستخدام بارومترات متعددة منها شكل الدفق وبيئة التنفيذ؛ استخدم بارومتر يحدد مقدار التوازي بين المهمات المكونة للدفق، وقيم القدرات الحسابية المطلوبة من قبل المهمات، ونسبة الاتصال إلى الحساب في الدفق **(CCR)**، أمَّا من أجل بيئة التنفيذ فَوُلِّدَتْ أعداد عشوائية من الموارد تراوح بين 2 إلى 5 موارد ذات سرعات تنفيذ عشوائية.

جرى التركيز في هذه الورقة على تقييم الأداء نسبة إلى بارومترين أساسيين: الأول هو بارومتر عدد المهمات المكونة لدفق العمل **(Node Number)** لما له من تأثير في **تعقيد الدفق** فيزداد التعقيد بزيادة عدد المهمات المكونة للدفق، وقد اِسْتُخْدِمَتْ قيم عدد مهمات الدفق من ضمن المجال الآتي **{10, 30, 40, 50, 80, 130, 150, 180, 220}**. أمَّا البارومتر الثاني فهو لمعدل الاتصالات المتبادلة بين مهمات الدفق إلى القدرات الحسابية لها **(CCR)**؛ فاختبرت هذه المحاكاة علاقة أداء تدفقات الأعمال نسبة إلى عدد من القيم المختلفة ل **(CCR)**، وذلك لتأثيرها الكبير في نسبة الفجوات الزمنية الموجودة في المجدولات الناتجة؛ فراوحت ضمن المجال **{0.5, 1.0, 5.0, 10.0, 20.0}**. كررت المحاكاة ثلاث مرات للبارومترات المقترحة كلّها، واِعْتُمِدَتِ القيم الوسطية لنتائج التكرار الثلاث.

تظهر النتائج المبينة في الشكل (3) منحنى النسبة المئوية عدد الحجوزات الناجحة عند طلبها مباشرة في النظام ودون أية تعديلات (المنحنى الأدنى)، ومنحنى عدد الحجوزات الناجحة الكلي في النظام الذي يضم الحجوزات الناجحة بشكل مباشر مع الحجوزات البديلة التي قام الوكيل بتأمينها عند الرفض من قبل مزودي الموارد وحُجِزَتْ بنجاح (المنحنى الأعلى). **الفرق الظاهر بين المنحنيين هو معدل نجاح الحجوزات لمهمات تدفقات الأعمال التي أُمِّنَتْ عبر الوكيل المقترح.**



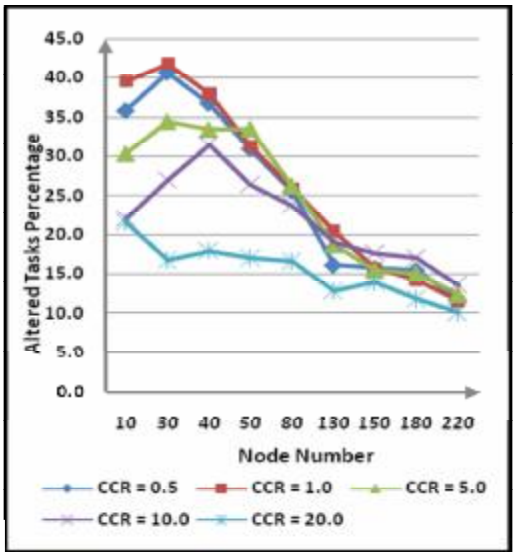
الشكل (3) النسب المئوية لنجاح عمليات الحجز لمهمات تدفقات الأعمال دون استخدام وكيل الحجز المتعدد المرن ومع استخدامه.

نلاحظ أن نسبة تحسن عدد الحجوزات الناجحة عند استخدام الوكيل هي ذات قيمة وسطية مقدارها **(22.25%)**. **هذا التحسين قام به الوكيل عن طريق تأمين بدائل آنية للحجوزات المرفوضة** عبر استعمال الفائض الزمني المقدم في الحجوزات المرنة. من الجدير بالاهتمام إعادة التركيز على أن الفائض الزمني المستخدم هو ناتج عن الفجوات

الزمنية الموجودة غير المستخدمة مسبقاً، وليس عن أية إضافات إلى زمن المجدول النهائي.

تظهر كذلك النتائج المقدمة في الشكل ذاته، أن نسبة التحسين للوكيل المستخدم **تتناقص مع زيادة عدد المهمات في الدفق** على الرغم من الازدياد المطلق للعدد الكلي للحجوزات الناجحة المبين بالمنحى الأعلى من الشكل. يمكن نسبة هذه النتيجة إلى واقع أن المجدولات التحصيص الناتجة عن التدفقات ذات عدد المهمات الأكبر هي أطول من تلك ذات الأعداد القليلة؛ ومن ثَمَّ مدد الحجز المطلوبة للدفق (وليس للمهمات) تكون أطول مما يزيد من نسب احتمال نجاح الحجز المباشر القاسي. وهذا يظهر بوضوح على المنحى الأدنى من الشكل (3) الذي يزداد بقيمة وسطية تقريبية قدرها (35%). **في حين يقدم الوكيل المقترح تناقصاً لعدد نجاح الحجوزات مع ازدياد عدد المهمات المشكّلة للدفق.** وعلى الرغم من هذا التناقص فإن معدل النجاح الكلي للحجوزات القاسية والمرنة معاً يزداد مع ازدياد عدد المهمات الكلي في الدفق بمعدل وسطي قدره (17%).

بالنسبة إلى تقييم أداء وكيل الحجز المتعدد المرن بالنسبة إلى بارومتر (CCR)، يقدم الشكل (4) مقارنة بين نسب زيادة معدلات نجاح الحجوزات المعدّلة باستخدام الحجوزات المرنة مع قيم (CCR)، إذْ بيّنت النتائج أن الوكيل المقترح **يزيد دوماً** من معدل قبول الحجوزات للمهمات الدفق (القيم في الشكل (4) هي دوماً أكبر من الصفر)، ولكن بنسب متغايرة بحسب (CCR). فهو يقدم **أفضل النتائج في تدفقات الأعمال ذات الأعداد الصغيرة ونسب (CCR) الصغيرة.** ونلاحظ أن أعلى نسبة مئوية لعدد نجاح الحجوزات المعدّلة من عدد حجوزات المهمات الكلي لتدفقات الأعمال تصل إلى (**41.54**%) في التدفقات ذات عدد المهمات المساوي إلى **30**، ومعدلات (**CCR**) المساوية إلى **0.5** و **1.0**. أمَّا الأداء الأضعف للوكيل المقترح فهو عند قيمة (**CCR = 20.0**)، فهو يقدم معدل تحسين عن الحجز القاسي ولكنه الأضعف نسبة إلى باقي قيم **CCR**.

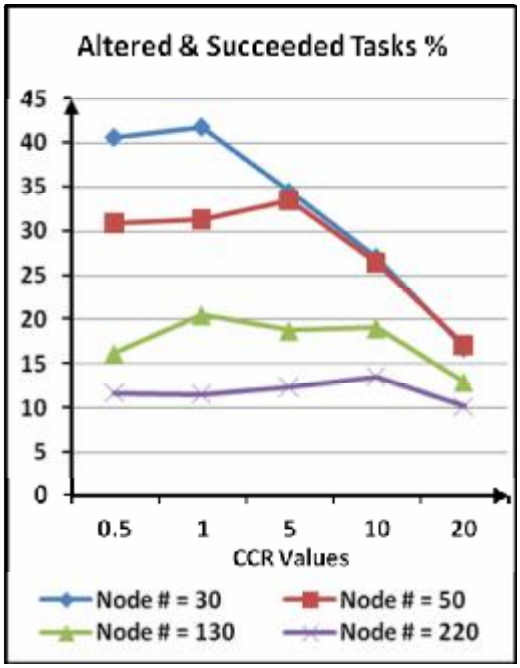


الشكل (4) نسبة المهمات المعدّلة باستخدام وكيل الحجز المرن إلى عدد مهمات تدفقات الأعمال من أجل قيم (CCR) مختلفة

أمَّا الشكل (5) فيبيّن علاقة معدل نجاح الحجوزات المعدّلة نسبة إلى قيم (**CCR**) المختلفة من أجل قيمٍ متعددة لعدد العقد في تدفقات الأعمال المستلمة من قبل النظام. نسبة التحسن الأقل هي بالنسبة إلى تدفقات الأعمال ذات عدد المهمات الأعلى؛ من جهة أخرى، يوضح الشكل أن معدل التحسين يتناقص للمبيانات كلّها ذات أعداد المهمات المختلفة عند قيم (**CCR**) العالية لتصل إلى قيم متقاربة جداً. هذا يعني أن عدد المهمات يصبح ذا تأثير ضئيل عند

قيم (**CCR**) العالية لجهة معدل التحسين المقدم من قبل وكيل الحجز المتعدد المرن المقترح في هذه الورقة.

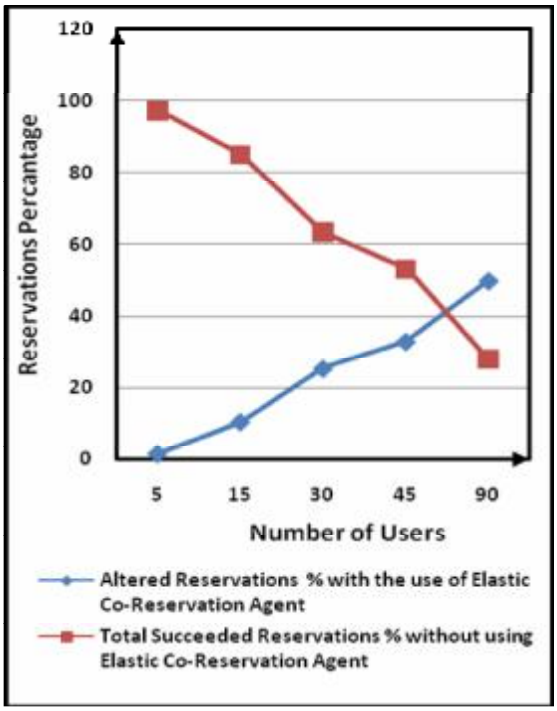
تتيح هذه النتائج للمجدول المترفع تقدير نسبة نجاح الحجوزات وتخمينها عبر فحص البارومترين الرئيسين لدفق الأعمال المستقبل للتنفيذ؛ عدد المهمات فيه ونسبة (**CCR**) له، ويمكنه عبر ذلك تحسين التوقعات لزمن استجابة الدفق في النظام.



الشكل (5) نسبة المهمات المعدّلة باستخدام وكيل الحجز المرن إلى نسب (CCR) من أجل عدد مهمات مختلفة

يدرس الجزء الأخير من هذه المحاكاة تأثير مقدار التنافسية في أداء الوكيل المقترح. اِسْتُخْدِمَتْ قيم مختلفة لعدد مستخدمي النظام الذين يقدمون طلباتهم من تدفقات الأعمال المختلفة في عدد مهماتها الكلي أو في نسب (**CCR**) لها، في التجربة الواحدة.

كذلك اختيرت موارد ذات عدد واحد من الآلات الحسابية في كل عقدة "شبكية" لتوضيح التنافسية لعدد غير كبير من الأعمال المتزامنة. اختير عدد المستخدمين المتزامنين في النظام من ضمن المجال المحدد **{5, 15, 30, 45, 90}**.



الشكل (6) النسبة المئوية لعدد الحجوزات الناجحة من عدد الحجوزات الكلية لكل من حالتي استخدام وكيل الحجز المتعدد المرن وعدم استخدامه مقارنة بعدد المستخدمين الكلي في النظام.

يظهر الشكل (6) النسبة المئوية لعدد الحجوزات التي استفادت من وكيل الحجز المتعدد المرن، والنسبة المئوية لعدد الحجوزات الناجحة بالنسبة إلى عدد المستخدمين المتنافسين في النظام. تظهر النتائج في هذا الشكل **أهمية وجود وكيل الحجز المتعدد المرن في بيئة نفعية عالية**

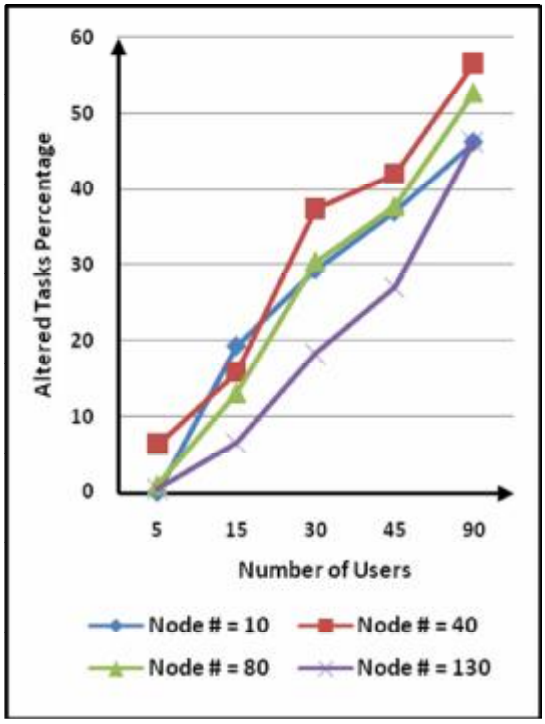
تنافسية؛ فبازدياد التنافسية يزداد احتمال حجز المتنافسين المختلفين للأطر الزمنية نفسها في الموارد المتاحة، ومن ثَمَّ يتناقص وبحدة عدد الحجوزات المباشرة الناجحة.

يتمكّن وكيل الحجز المرن المقترح في هذه الحالة من زيادة النسبة المئوية للحجوزات الناجحة بمقدار (**48.37%**) **أي بمقدار النصف تقريباً**، عندما يزداد عدد المتنافسين في النظام من **5** إلى **90** مستخدماً متزامناً.

يمكن عَدُّ هذه النتائج شديدة الأهمية لجهة تحسين معدلات نجاح الحجوزات في البيئات التنافسية أو شديدة التنافسية التي تتطلب تدفقات الأعمال فيها جودة خدمة محددة بالنسبة إلى زمن الاستجابة أو بالنسبة إلى القيد الزمني المطلوب لانتهاء التنفيذ. تظهر النتائج بوضوح أن زمن استجابة النظام يزداد بازدياد التنافسية فيه، مما يستوجب وجود أدوات تساعد على تخفيض هذا الزمن كالوكيل المقترح في هذه الورقة.

يقارن الشكل (7) النسبة المئوية لنجاح الحجوزات مع استخدام وكيل الحجز المتعدد المرن ولكن بالنسبة إلى تعقيد تدفقات الأعمال المقدمة إلى النظام، مقارنة بمقدار التنافسية في النظام.

تظهر النتائج المبينة في هذا الشكل أن الوكيل المقترح يظهر نتائج متقاربة نسبة إلى تدفقات الأعمال ذات عدد المهمات **10**، **40**، و**80**. ولكن يبدأ معدل النجاح بالتناقص في التدفقات ذات عدد المهمات **130**؛ ويمكن إرجاع ذلك إلى ازدياد طول المجدول النهائي في هذه التدفقات ومن ثَمَّ ازدياد احتمالات تغاير الأطر الزمنية المطلوبة من قبل هذه المهمات.



الشكل (7) النسبة المئوية لعدد نجاح حجوزات المهمات المرنة من العدد الكلي لمهمات تدفقات الأعمال بالمقارنة تنافسية النظام (عدد الأعمال الكلية المتزامنة).

هذه النتائج هي متوافقة تماماً مع النتائج المبينة في الشكل(4) الذي يظهر تناقص معدل نجاح الحجوزات المرنة مع ازدياد عدد مهمات الدفق؛ بمقابل زيادة مطلقة في معدل نجاح الحجوزات الكلية (كل من القاسية والمرنة معاً) للتدفقات كما هو مبيّن في الشكل (3)

6. الخاتمة والآفاق المستقبلية:

بيّنت النتائج المقدمة في هذه الورقة أهمية استخدام مخططات الحجز المرن من أجل زيادة معدلات نجاح حجوزات مهمات تدفقات الأعمال في الأنظمة الموزعة متغايرة الخواص، وبالأخص تلك التي تتطلب بارومترات جودة خدمية تفرض

قيوداً زمنية على زمن انتهاء التطبيق الكلي أو زمن الاستجابة الكلي للنظام لتنفيذ تدفقات الأعمال.

كذلك أظهرت النتائج الإمكانية الكبيرة لوكيل الحجز المتعـــدد المرن لجهة زيادة معدلات نجاح الحجوزات في البيئات النفعية شديدة التنافسية. يمكن بناءً على النجاحات المقدمة في هـــذه الورقة تطوير عمل الوكيل المقترح عبر استخدام بنى تنظيمية أخرى غير البنية المركزية المستخدمة في تصميم هذا الوكيل؛ سنعمل لاحقاً على مقاربة بنى تنظيمية غير مركزيـــة لأنَّهـــا الأكثر ملاءمة للأنظمة الموزعة واسعة النطاق، وهي تعمـــل على تحسين فعّالية الوكيل المقترح. من جهة أخرى، يمكـــن تطوير عمل الوكيل المقترح عبر تقييم استخدام اســـتراتيجيات تحصيص أو حجز متعددة أخرى عدا الموقـــع الملائـــم الأول المستخدمة هنا، مثل تحصيص الحجوزات القاسية كلّهـــا أولاً، ومن ثم الحجوزات المرنة وعبر تطبيق إســـتراتيجية (**Least Elastic First - LEF**)، أو إســـتراتيجية (**Earliest Deadline First – EDF**) أو إستراتيجية الحجز الأكثر ملاءمـــة (**Best Fit – BF**) وتقييم الإستراتيجية الأكثر ملاءمة لتنفيذ تطبيقـــات تدفقات الأعمال في البيئات الموزعة النفعية التنافسية.

مسرد المصطلحات:

Acceptance Rate	**معدل القبول**
Advance Reservation – AR	**الحجز المسبق**
Agent	**وكيل**
Bag-of-Tasks	**سلة المهمات**
Broker	**السمسار**
Cloud	**السحابة**
Co-Allocation	**التحصيص المتعدد**
Communication to Computation Rate – CCR	**نسبة حجم الاتصال إلى حجم الحساب**
Co-Reservation	**الحجز المتعدد**
Deadline	**القيد الزمني**
Direct Acyclic Graph – DAG	**بيان موجه لا حلقي**
Distributed Systems – DS	**الأنظمة الموزعة**
Elastic Reservation	**الحجز المرن**
First Fit Allocation – FF	**التحصيص الأول ملائمة**
Genetic Algorithms	**الخوارزميات الجينية**
Grid	**"الشبكة"**
Grid Information Service – GIS	**خدمة معلومات "الشبكة"**
Makespan	**طول المجدول**
Meta-Heuristics	**الكسبيات المترفعة**
Meta-Scheduler	**المجدول المترفع**
Middleware	**البرمجيات الوسطي**
Parallel Tasks	**المهمات المتوازية**
Quality-of-Service – QoS	**جودة الخدمة**
Rejection Rate	**معدل الرفض**
Rigid Reservation	**الحجز القاسي**
Utility	**نفعي**
Workflow Engine	**محرك دفق العمل**

المراجع*

[1] M. Wieczorek, M. Siddiqui, A. Villazon, R. Prodan, T. Fahringer; Applying advance reservation to increase predi-ctability of workflow execution on the grid. In E-SCIENCE '06, Proceedings of the Second IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing, Washington, DC, USA, p. 82. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos (2006).

[2] P. Wieder, R. Yahyapour, O. W¨aldrich, Wolfgang Ziegler; Improving Workflow Execution through SLA-based Advance Reservation. CoreGRID Technical Report Number TR-0053, December 29, 2006.

[3] S. Stein, T. R. Payne, and N. R. Jennings; Robust Execution of Service Workflows Using Redundancy and Advance Reservations. IEEE Transactions on Services and Computing, Vol. 4, No. 2, June 2011 .

[4] C. S. Yeo, R. Buyya, M.D.de Assunção, J. Yu, A. Sulistio, S. Venugopal, and M. Placek; Utility Computing on Global Grids, in Handbook of Computer Networks: Distributed Networks, Network Planning, Control, Management, and New Trends and Applications, Volume 3 (ed H. Bidgoli), John Wiley & Sons, Inc., (2007), Hoboken, NJ, USA.

[5] Q. Snell, M. Clement, D. Jackson, C. Gregory; The performance impact of advance reservation meta-scheduling. In: JSSPP '00: Proceedings of the 6th Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, 14th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, Cancun, Mexico, Lecture Notes Computer Science Vol. 1911, pp 137-153 (2000)

[6] N. Kaushik, S. Figueira, and S. A. Chiappari. Resource co-allocation using advance reservations with flexible time- windows. SIGMETRICS Performance Evaluation Revue, 35(3):46–48, 2007.

[7] G. Singh, C. Kesselman, and E. Deelman; Performance Impact of Resource Provisioning on Workflows. in CS Tech report 05-850. 2005, University of Southern California.

[8] S. Astour, F. AlAbbas, J. AlKheir; Elastic Workflow Advanced Reservation Planning Algorithm (EWARP); to be published 2013, Engineering Science Magazine, Damascus University.

[9] J. Decker, J. Schneider; Heuristic Scheduling of Grid Workflows Supporting Co-Allocation and Advance Reservation. Seventh IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid; 2007 May 14-17; Rio De Janeiro. CCGRID; 2007. Pages 335-342.

[10] C. Langguth, P. Ranaldi and H. Schuldt; Towards Quality of Service in Scientific Workflows by using Advance Resource Reservations. Proceeding of the Third IEEE International Workshop on Scientific Workflows - SWF2009 Los Angeles, US, 2009.

[11] C. Langguth and H. Schuldt; Optimizing Resource Allocation for Scientific Work-flows using Advance Reservations. SSDBM'10 Proceedings of the 22nd international conference on Scientific and statistical database management Pages 434-451. Springer - Verlag Berlin, Heidelberg © 2010.

[12] A. Sulistio, W. Schiffmann and R. Buyya; Advanced Reservation-based Scheduling of Task Graphs on Clusters, Proceedings of the 13th International Conference on High Performance Computing (HiPC'06), pages 60-71, Dec. 18-21, 2006, Bangalore, India.

[13] M. A. S. Netto, K. Bubendorfer, R. Buyya; SLA-based advance reservations with flexible and adaptive time QoS parameters. ICSOC '07 Proceedings of the 5th international conference on Service - Oriented Computing; Pages 119 – 131.
Springer - Verlag Berlin, Heidelberg ©2007.

[14] R. Buyya and M. Murshed; GridSim: A Toolkit for the Modeling and Simulation of Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing. The Journal of Concurrency and Computation: Practice and Experience (CCPE), Volume 14, Issue 13-15, Wiley Press, Nov.-Dec., 2002.

[15] A. Sulistio and R. Buyya; A Grid Simulation Infrastructure Supporting Advance Reservation. In 16th International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2004), November 9-11, 2004, MIT Cambridge, Boston, USA.

* تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2013/12/9