الفضاء المتوازي المتخيّل على أساس تقنية منظومات التحكّم الرجعية المتوازية واللامتزامنة

د. علي محمد محمد بن رمضان
جامعة السابع من أكتوبر

المـــقدمـــة.

منذ بزغ علم الحاسبات الآلية إلى الوجود والعلماء يبذلون جهدهم سعياً لجعل الحاسبات تحل المسائل بشكل أفضل وأسرع، وقد أثمرت التقنية تحسناً في الدوائر الكهربية وأصبح بالإمكان وضع العديد منها على شريحة واحدة، كذلك ازدادت سرعة نبضات الساعة للجهاز مما أدى إلى وصول سرعة المعالجات إلى حدود سرعات عالية تقاس بالجيجا هيرتز!...

ومع ذلك فهناك قيود طبيعية تتحكم بالمدى الذي يمكن فيه تحسين الأداء لمعالج واحد فالحرارة مثلاً أو التشويش الكهرومغناطيسي تقللان من كثافة الترانزستورات على الشريحة، وحتى لو توصل الصناع لحل هذه المشكلة فإن سرعة المعالج لا يمكن أبداً أن تتجاوز سرعة الضوء. وعلاوة على هذه القيود الطبيعية فثمة قيود اقتصادية.

ففي وقت ما ستتزايد كلفة إنتاج المعالج السريع جداً بشكل كبير مما قد يؤدي إلى عدم الرغبة بتحمل هذه الكلفة الزائدة، كل هذه الأسباب التي ذكرناها ستؤدي في النهاية إلى ترك جميع الطرق غير المجدية وتركيز الاهتمام على طريقة واحدة وهي توزيع حمل أداء العمليات الحسابية بين عدة معالجات أو ما يعرف بـــ"التوازي".

وللدلالة على أهمية التوازي المتزايدة يوماً بعد يوم فإن الحاسبات الشخصية الحديثة بدأت مؤخراً بالاستفادة من التوازي بشكل عملي، فمثلاً يمكن في الوقت الحالي

لأي شخص أن يمتلك حاسباً شخصياً ذا معالجين يعملان بالتوازي، فالشركات المصنعة قد طورت لوحات رئيسية يمكن أن يوضع عليها معالجان من المعالجات الحديثة.

لعدة سنوات خلت كانت الحاسبات المتوازية لا توجد إلا في معامل الأبحاث، أما اليوم فهذه الحاسبات متوفرة على نطاق واسع في المجالات التجارية، وتجدر الإشارة إلى أن التوازي يغطي طيفاً واسعاً من الأشياء بدايةً من تصميم أبسط مكونات العتاد كالجامع (adder) مثلاً وحتى تحليل النماذج النظرية للحساب المتوازي.

مـــفهـــوم التـــوازي.

عندما يتحدث خبراء الحاسب الآلي عن المعالجة المتوازي، فإنهم لا يعنون معالجة المقولة "الخطان المتوازيات اللذان لا يلتقيان" ولكنهم يناقشون عدداً من الأنشطة الحاسبة التي تحدث في وقت واحد.

التوازي parallelism هو مجموعة من الأنشطة التي تحدث في نفس الوقت.

إن مفهوم التوازي بشكل عام ليس حكراً على علم الحساب، بل إننا ربما إننا نمارس التوازي في حياتنا اليومية، فعلى سبيل المثال كتابة الملاحظات أثناء الاستماع إلى محاضرة تعتبر أنشطة متوازية.

والحساب المتوازي يبدو وكأنه تصور معقول فالعديد من المفاهيم الموجودة في الحساب المتوازي لها ما يماثلها من المفاهيم في الحياة الاجتماعية، مثلا إدارة الإعمال ففكرة أن العديد من الناس يعملون سوياً لتحقيق هدف واحد هي مشابهة لعدد من المعالجات تعمل سوياً لتحقيق هدف واحد، وفكرة الحاجة إلى تقسيم العمل لكي تعمل جميع المعالجات ولا يكون هناك واحد متوقف عن العمل في فكرة شبيهة للحاجة إلى جعل فريق يعمل دون أن ينتظر أحد الحصول على معلومات من شخص آخر.

ومن هذا التمثيل نرى كيف أن الحساب المتوازي هو نتيجة طبيعية لمفهوم فرق تسد (divide and conquer) .

فنبدأ أولاً مع المسألة التي نريد حلها، ثم نحصل على الموارد المتاحة التي يمكن أن نستخدمها لحل المسألة (وفي حالة الحوسبة ستكون هذه الموارد عبارة على

عدد من المعالجات) بعد ذلك نحاول تقسيم المسألة إلى أجزاء أصغر يمكن أن تؤدي بشكل متزامن بواسطة عدة أشخاص في الفريق.

ومع ذلك يجب أن نكون على حذر لأن العبارة "في نفس الوقت" غير دقيقة على سبيل المثال الحاسبات السريعة، مثل الحاسب (VAX)، قد يبدو وكأنها تقوم بعمل حساب للعديد من المستخدمين في نفس الوقت وذلك لأن المعالج ينقل المعلومات بسرعة كبيرة وهنا يصبح لدينا "وهم" أو "انخداع" بأن التعليمات تنفذ بشكل آني وهو ما يطلق عليه " التوازي الوهمي" و بما أن المعالج يقوم بتنفيذ التعليمات لمهمة واحدة فإنه ليس تواز حقيقي.

ويجب التفريق بين مفهوم التزامن (Concurrency) ومفهوم التوازي الذي عرضناه آنفاً.

التزامن (Concurrency) هو القدرة على التشغيل في نفس الوقت.

إن هذا يظهر وكأن التزامن لفظان مترادفان لمعنى واحد ولكن هناك فرق خفي بينهما، فنحن نستخدم التوازي للإشارة إلى الحالات التي تحدث فيها العمليات في نفس الوقت، مثل أربع مهام يتم تنفيذها على أربع معالجات (CPUs) في نفس الوقت أما التزامن فيشير إلى كلا الحالتين الأولى التي تعتبر متوازية حقاً والأخرى التي فيها "توازي وهمي" و كمثال للتزامن: أربع مهام يقسم بينهما الوقت وتنفذ على معالج واحد.

الحاجة إلى استخدام التوازي

إن من المفيد الإجابة على السؤال الملح والهام: لماذا نستخدم التوازي؟

إن السبب الرئيسي لاستعمال التوازي في تصميم (البرمجيات أو العتاد) هو من أجل الحصول على الأداء الأعلى أو السرعة العالية، وكل أنواع الحاسبات الضخمة اليوم (Supercomputers) تستخدم التوازي على نطاق واسع لزيادة الأداء، فأسرع حاسب في العالم 2003 هو الحاسب الياباني "محاكي الأرض" الذي يستخدم أكثر من خمسة آلاف معالج تعمل بالتوازي ولقد زادت سرعة الحاسبات إلى الحد الذي وصلت فيه الذارات الحاسوبية حدوداً فيزيائية مثل سرعة الضوء لذلك فمن أجل تحسين الأداء فلا بد أن نستخدم التوازي.

إن السرعة ليست هي السبب الوحيد في استعمال التوازي، فمصمم الحاسب يمكنه أن يضاعف من المكونات ليزيد من إمكانية الاعتماد على الجهاز (الوثوقية) على سبيل المثال نظام توجيه مركبات الفضاء يتكون من ثلاثة أجهزة الحواسيب والتي تقارن نتائج كل منهم مع الأخر، ويمكن للمركبة أن تسير بجهاز واحد فقط بينما الجهازين الآخرين يكونان في وضع احتياطي ويمكن كذلك استخدام التوازي لجعل السيطرة لا مركزية، فالبنك مثلاً يمكنه أن يستخدم شبكة من الحاسبات الصغيرة في المقر الرئيسي والفروع بدلا من استخدام حاسب واحد كبير، هذه المعالجة التقسيمية للحاسبات تتميز بوجود التحكم الداخلي عن طريق مديري البنك.

يعتبر التوازي نموذجاً مهما لحل المسائل الطبيعية، فبينما تتحدث مع أصدقائك فإن القلب يضخ الدم والرئتين تتنفس الهواء، والعينان تتحرك، واللسان يتحرك، كل ذلك يحدث بالتوازي والكثير من الأشياء متوازية بطبيعتها، مثلاً لاحظ أفعال حشد من الناس ينتظرون المصعد للصعود إلى أعلى (أنشطة) وأفراد من الخارج يقومون بضغط الزر في الطابق الذي هم متواجدون فيه (حدث) في نفس الوقت الذي يقوم أفراد من داخل المصعد بالضغط على الزر ولكي نجعل الأداء أمثل (باستخدام برنامج حاسوبي مثلاً) يجب التعامل مع هذه الأنشطة والأحداث المتوازية.

فـــوائد تعـــدد المعـــالجـــات.

لتعدد المعالجات فوائد عدة منها:-

- تنفيذ المهام المستقلة بمعالجات متوازية وبذلك تزداد نسبة العمل وعدد المستخدمين.
- الإقلال من تكامل المعالجات في نظام وحيد الكلفة المادية لاشتراكه في نظام لموارد مثل الذاكرة والأقراص ووحدات الربط مع الشبكات.
- يقدم سرعة عالية في التوصيل بين المعالجات المتعددة وينفذ تناسق وأسرع وصل بين المهام المرتبطة.
- يجزئ العمل الوحيد الكبير إلى عدة مهام متشابهة تنفذ في وقت واحد من أجل السرعة في التطبيق.

دراجـــة المعـــالجـــة المتـــوازيـــة.

في السنوات الأخيرة أحدثت المعالجة المتوازية ثورة علمية كبيرة في مجال الحاسبات وبدأت تدخل العالم كل يوم عن طريق معالجة البيانات في شكل قواعد بيانات موزعة والمبرمجون العلميون بحاجة لأن يفهموا مبادئ المعالجة المتوازية ليقوموا ببرمجة حاسبات المستقبل.

وجميع الحاسبات العملاقة (Supercomputers) هذه الأيام تعتمد بشكل كبير على التوازي وهي تستخدم في مستوى البرمجيات وكذلك التصميم الهندسي للعتاد (Hardware) وأشتد السياق بين دول العالم ولكي تتنافس في مجال الاقتصاد فالبلدان تتطلب اكتشافات علمية ومهندسين وعلماء حاسب ليقوموا بتوظيف الحاسبات العملاقة بشكل سليم.

لقد استخدمنا عبارة "المعالجة المتوازية" مرات عديدة في هذا السياق وحان الوقت للتمييز بين هذه العبارة وغيرها وخاصة "البرمجة المتوازية" ولأن مجال علوم الحاسب تعتريه مشكلة المصطلحات، ولا يوجد هناك تعريف موحد للمعالجة، ولذلك سوف نوضح كيف نستخدم هذا اللفظ.

المعالجات المتوازية (Parallel Processing)

معالجة الحاسب الآلي لعدة برامج في آن واحد (سوياً) وباستعمال عدة وحدات معالجة حسابية ومنطقية.

وتعتبر المعالجة المتوازية حقلاً جزئياً من علم الحاسب والتي تتضمن مفاهيم وأفكاراً من علوم الحاسب النظرية وهندسة الحاسب ولغات البرمجة والخوارزميات ومجالات التطبيق مثل الذكاء الاصطناعي والرسوم.

شهدت الآونة الأخيرة انتشاراً لم يسبق له مثيل لتكنولوجيا البرامج الحاسوبية في مختلف جوانب النشاط الإنساني استدعى بدوره متطلبات جديدة في سرعة ونوعية التنفيذ للارتقاء بمستوى أداء تلك البرامج للمهام المناطة بها وقد تمخض ذلك عن نشوء جملة من المسائل العملية ذات متطلبات عالية في سرعة وسعة الذاكرة.

إن غالبية تلك المسائل لا يمكن حلها في الزمن الحقيقي بمساعدة الحواسيب الشخصية المنتشرة في أيامنا هذه والحواسيب القادرة على حل ذلك النوع من المسائل في الزمن الحقيقي هي قليلة الانتشار وباهظة التكاليف.

إن السعي الدائب للحصول على معدلات نوعية أعلى في أداء المنظومات الحاسوبية المتوفرة يتجسد في تقنيات برمجية ترتقي بمستوى أداء المنظومات من جهة، ومن جهة أخرى في استحداث منظومات حاسوبية يتم بناؤها من ذات العناصر التي تبنى منها المنظومات الحالية.

ومثال ذلك أن جزءاً معيناً من منظومة حاسوبية يمكن اختصاره في حاسوب واحد متعدد المعالجات يتمتع بذات القدرات الحسابية لمجمل العقد الموجود في هذا الجزء.

إن الأفكار السائدة حالياً في صدد هذا النوع من المعضلات يتمثل في بناء الفضاء المتوازي المتخيل وذلك على قاعدة المنظومات المتعددة المعالجات، إضافة إلى الطرفيات ذات الاستطاعة غير العالية، وتتمثل بنية الفضاء المتوازي المتخيل في شبكات حاسوبية قد تكون من ذات النطاق الواسع أو الضيق، ويعتبر تصميم البرمجيات المتوازية والفعّالة أهم مراحل بناء الفضاء المتوازي المتخيل.

إن منظومات التحكم الرجعية المتوازية وغير المتوازية (3،2،1) هي تقنية برمجية تعتمد البنى البرمجية البرمجية الفوقية كأساس لها، وهي بالإضافة إلى بناء الفضاءات المتوازية المتخيلة تستخدم في تصميم البرامج المتوازية وشبه المتوازية.

وتتمثل هذه المنظومات في عناصر هي عبارة عن قواعد من البيانات والعمليات تتم صياغتها بلغة معينة وتسمح ببناء فضاء قيادي لتوجيه وتنفيذ العمليات المتوازية وشبه المتوازية وتغير مواصفات ذلك الفضاء والتحكم به أثناء فترة عمله.

إن المصطلحات الأساسية المستخدمة في تقنية منظومات التحكم الرجعية المتوازية وغير المتزامنة تتمثل في التالي:-

أ. النقطة (وهي تقترن بالمعالج المنطقي).

ب. القناة البرمجية.

ت. المعاير الخوارزمي.

إن الفضاء القيادي هو عبارة عن مخطط بنيوي موجّه رؤوسه هي نقاط الفضاء وأضلاعه هي القنوات البرمجية التي تصل بين نقاط الفضاء، ويجدر بالذكر هنا أن ذات النقطتين من الفضاء يمكن أن تتصل أحداهما بالأخرى ليس عبر قناة واحدة فحسب، بل عبر عدد من القنوات تختلف كل منها عن البقية الأخرى.

تقترن كل نقطة من نقاط الفضاء بمعاير خوارزمي يمثل عملية من عمليات منظومة التحكم الرجعية المتوازية وغير المتزامنة وامتداداً للّغة القاعدية، وقد يؤدي تشغيل المعيار الخوارزمي إلى أحداث تغييرات في بنية الفضاء القيادي، ويتجلى ذلك في اختفاء بعض النقاط الموجودة أو ظهور نقاط جديدة، وكذلك الأمر بالنسبة للقنوات البرمجية، أو قد يتجلى في تعطيل بعض العمليات أو كل هذه معاً، ويمكن للمعايرات الخوارزمية أن تعمل بصورة متوازية سوى أن المعاير قد يمكن تعطيله عن العمل إلى حين ظهور أمر معين ويسمى هذا تعطيلاً مطلقاً.

ويمكن لنقاط الفضاء القيادي أن تتضمن فضاءات جزئية ذات أبعاد مختلفة، أي أن الفضاء القيادي قد يتمتع بأي درجة من درجات الرجعية، ويمكن لنقاط الفضاء المتصلة ببعضها عبر القنوات البرمجية إرسال واستقبال البيانات، ويمكن للقنوات أن تكون نموذجية النوع أي تسمح بتقسيم البيانات إلى طبقات مختلفة دون الحاجة إلى فك ترميزها، وبالنسبة للأخصائيين المتمرسين في التعامل مع الشبكات الحاسوبية، فإن بوسعهم التعرف على أسس عمل الشبكات الحاسوبية.

تُعرّف الشبكات الحاسوبية بأنها منظومات حاسوبية لا متجانسة في تركيبها وخواصها وابتعاداً عن الإسهاب والتعقيد، يمكننا القول بأن وليد عدم تجانس من البرمجيات المتوازية يتسم بجملة من الميزات الجوهرية تجعله يتفوق على قرينه مما لدى المنظومات الحاسوبية الاعتيادية.

ومن أبرز تلك الميزات:-

1. يمكن تخفيض تكلفة العمليات الحسابية من المحافظة على استخدام الأجهزة والمعدات المتوفرة.

2. يمكن الارتقاء بمستوى أداء البرامج إلى الحد الأمثل عبر التوزيع للموارد بصورة تلائم حل مسألة معينة بحد ذاتها.
3. يمكن تنمية وتوزيع موارد الفضاء المتوازي المتخيل لمضاهاة التقنيات الحاسوبية والشبكية المعاصرة.
4. من الممكن تبسيط تصميم البرمجيات اللازمة باستخدام بيئة التشغيل الشائعة.
5. الحواسيب الشخصية ومحطات العمل معروفة وشائعة الاستخدام.
6. يمكن تنحية الأعطال الناجمة عن البرمجيات بأدنى التكاليف سواء على مستوى البرامج المستخدمة أو على مستوى بيئة التشغيل.

هذه وغيرها من العوامل تساهم مساهمة جادة في تأمين مستوى عال من أداء البرامج وسرعة تنفيذها وتخفيض تكلفة تصميم البرامج والتقليل من احتمال نشوب نزاع بين الموارد المختلفة.

إن التقنية البرمجية لمنظومات التحكم الرجعية المتوازية وغير المتزامنة يمكن أن تحظى باستخدام واسع في مجال تصميم البرمجيات المتوازية المخصصة للمنظومات الحاسوبية غير المتجانسة، وقد تم استخدام وتجربة هذه التقنية على منظومات حاسوبية ذات تركيبات مختلفة، بما في ذلك المنظومات الحاسوبية الاتصالية المتعددة المعالجات، وفي حقيقة الأمر يمكن اعتبار هذه التقنية لغة تنسيقية يوصف بها التوازي والتأثيرات المتبادلة لمختلف العمليات، وتعتبر مجموعة معاملات الامتداد اللغوي لهذه التقنية صالحة الاستخدام لأي كان من الأدوات والمعدات الحاسوبية.

إن من المنظومات الحاسوبية غير المتجانسة السائدة في أيامنا هذه هي تلك التي تعمل وفق بروتوكول (TCP/IP)، وذلك نظراً للنمو والاتساع الهائل الذي شهدته شبكة الانترنت العالمية واتساع نطاق استخدام تقنياتها الشبكية، إن استخدام الشبكات العاملة وفق بروتوكول (TCP/IP) هي البيئة الأكثر ملاءمة لاستخدام نظام البرمجة اللازمة للفضاء المتوازي المتخيل، ودليل ظهور بعض أنظمة البرمجة التوزيعية في الآونة الأخيرة مثل (PVM , MPT) والمشاريع الدولية الرامية إلى دمج الشبكات الحاسوبية بغية حل المسائل الحسابية والعلمية والهندسية ومثال مشروع (Beowulf).

وتعتبر تقنية (UUCP) واحدة من التطبيقات الممكنة لاستخدام الأنظمة العاملة وفق برتوكول (TCP/IP) وهي تمثل أساساً لتجسيد الفضاء المتوازي المتخيّل وذلك باستخدام أي حاسوب مجهز بمحلول شبكي أو مربوط بالإنترنت دون إعادة تجهيزه، ويكفي لذلك الإعلان عن ظهور مستخدم جديد فيتم تشغيل برنامج يخدم هذا المستخدم وحده، وبعد الانتهاء من معالجة بريد ذلك المستخدم يتم الإعلان عن وجود رسالة وإرسالها على العنوان المطلوب، ويتم توجيه عملية معالجة مسائل الفضاء المتوازي المتخيل بمعالج من نوع خاص يضطلع بإيصال النتائج إلى الجهة المطلوبة.

إن الهدف الرئيسي من وراء هذا العمل يتلخص في دراسة إمكانيات وخصائص الفضاء المتوازي المتخيل المبني على قاعدة شبكة الإنترنت باستخدام تقنية منظومات التحكم الرجعية المتوازية وغير المتزامنة.

المراجع

1. أ.ف أنيسيموف، ي.إ. بوريشا، ب.ب. كوليكابكو (نظام برمجة منظومات التحكم لرجعية المتوازية واللامتزامنة). مجلة (البرمجة) 1991 العدد 9، ص 91-102.
2. أ.ف. أنيسيموف، ب.ب. كوليابكو (خصائص تقنية منظومات التحكم المتوازية واللامتزامنة). مجلة (السيبرنتيك وتحليل النظم) 1993، العدد3 ص128-137.
3. أ.ف. أنيسيموف، ب.ب. كوليابكو (نمذجة شبكة تبري باستخدام وسائل تقنية منظومات التحكم الرجعية المتوازية واللامتزامنة). مجلة (قضايا البرمجة) 1997 الإصدار 2، ص45-56.