



البرمجة التفرعية

Parallel Programming

Dr.-Eng. Samer Sulaiman

2023-2024

• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• التصنيف الأكثر انتشاراً هو ذلك التصنيف الذي اقترحه "ميشيل فلاين" (Flynn) في عام 1966

• يأخذ تصنيف فلاين بعين الاعتبار عاملين اثنين وهما:

• كمية السريان (أو التدفق) للتعليمات

• و كمية السريان للبيانات التي تتدفق للمعالج.

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:

• يعتمد أساساً على كمية تدفق البيانات والتعليمات الموجودة في الآلة.

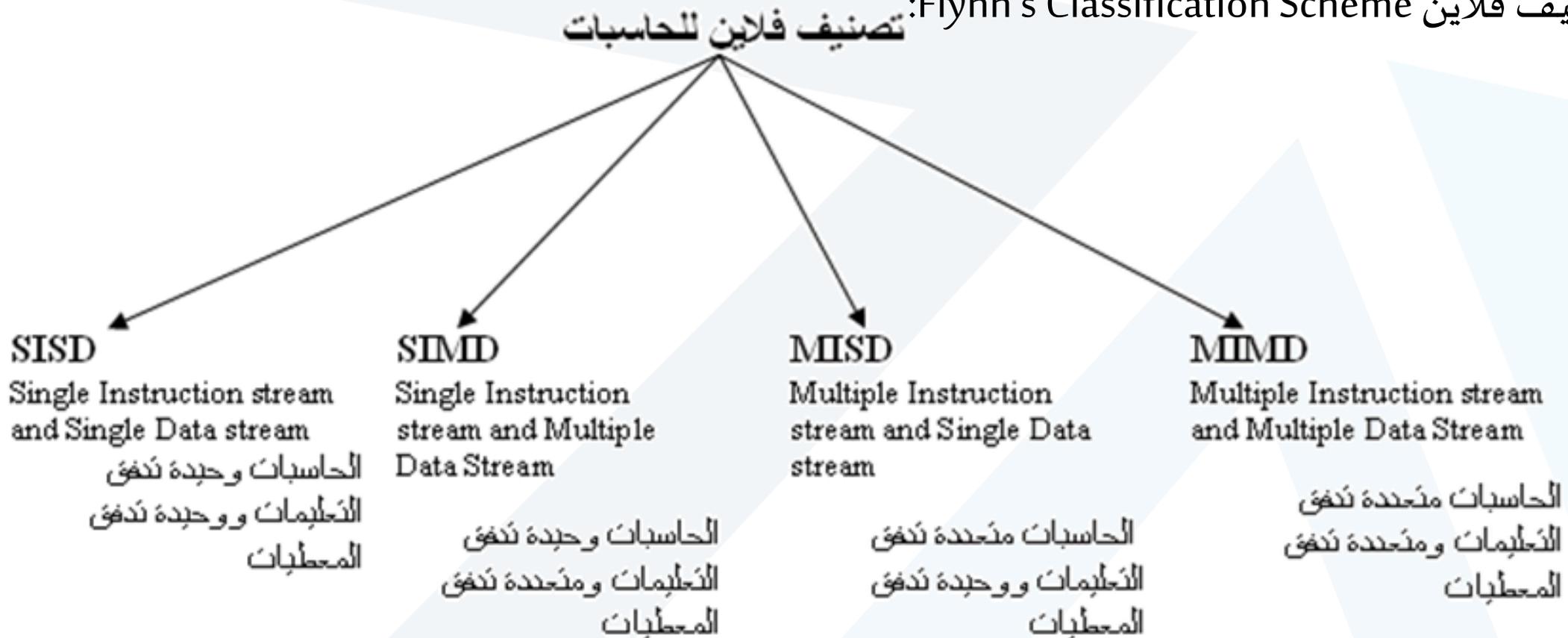
• يقصد بالتدفق هنا على أنه تتابع أو تسلسل لعناصر (التعليمات أو المعطيات) كما نفذت بواسطة المعالج.

• مثال، تقوم بعض الآلات بتنفيذ تدفق واحد من التعليمات، بينما يتم تنفيذ عدة تدفقات في آلات أخرى. وبنفس الطريقة فبعض الآلات ترجع تدفقاً واحداً من المعطيات، وآلات أخرى ترجع تدفقات متعددة.

• وعليه فإن فلاين يضع الآلة في تصنيف واحد من بين أربعة وذلك اعتماداً على وجود تدفق واحد أو تدفقات متعددة.

• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:



• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:

• الحاسبات وحيدة تدفق التعليمات ووحيدة تدفق المعطيات SISD:

- يندرج تحت هذا الصنف جميع الحاسبات التسلسلية المعتادة، مثل Apple Macintosh و DEC VAX
- تقوم بجلب التعليمات من الذاكرة ثم تقوم بتنفيذها باستخدام قيم المعطيات المشار إليها من الذاكرة وذلك بشكل تسلسلي
- يعرف بتصميم "فون نيومان" Von Neumann
- في البداية تم اعتماد هذا النوع من الحاسبات وعليه فالكثير من لغات البرمجة والمترجمات، ونظم التشغيل، وطرق البرمجة، كلها تعتمد أساساً على هذا التصنيف

وحدة التحكم=CU
دفع التعليمات=IS
وحدة معالجة=PU
دفع بيانات=DS
وحدة ذاكرة=MU



- تصنف كل أنواع الحاسبات التسلسلية بالإضافة إلى بعض الحاسبات التفرعية التي تعتمد على المعالجات الشعاعية

مثل: Cray-1 على الرغم من أن تعليمات التشغيل تعمل على قيم بيانات شعاعية إلا أن لديها دَفْقٌ واحد من التعليمات

• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:

• الحاسبات وحيدة تدفق التعليمات ومتعددة تدفق المعطيات SIMD:

- تعتمد على وحدة تعليمات واحدة تصدر أوامر إلى عدة وحدات معالجة وعليه نحتاج الى تدفق متعدد للمعطيات
- عادة تصدر وحدة التعليمات نفس الأمر إلى جميع وحدات المعالجة .
- مثال: جميع وحدات المعالجة تنفذ تعليمة الجمع ADD ثم يتم تنفيذ تعليمة التخزين STORE وهكذا
- يتميز هذا النوع من الحاسبات بوجود وحدة تحكم مركزية .
- تنفذ وحدات المعالجة المختلفة تعليمة واحدة من وحدة التحكم وتقوم بتنفيذ هذه التعليمة بشكل متزامن على معاملات مختلفة.
- تكون هذه الحاسبات متزامنة، وغالبًا ما تملك ذاكرة مشتركة بين الوحدات.
- لتسهيل عملية الولوج المتوازي إلى الذاكرة
- يُلجأُ إلى تقسيمها إلى بنوك مما يسمح باستخلاص عدة معاملات في نفس الوقت
- يتم الاتصال بين وحدات المعالجة المختلفة وبنوك الذاكرة عبر شبكة الربط.

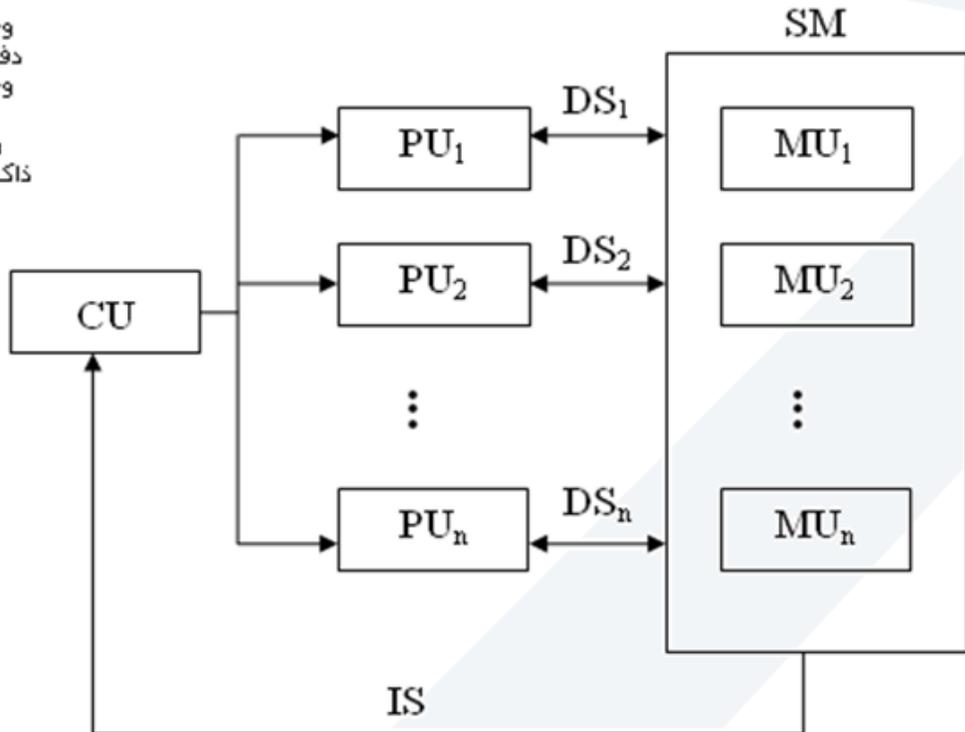
• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:

• الحاسبات وحيدة تدفق التعليمات ومتعددة تدفق المعطيات SIMD:

- ونظرًا لتنفيذ نفس العملية على الوحدات المختلفة فمن الممكن اعتبار الحاسبات SIMD كحاسوب وحيد المعالج الذي يقوم بتنفيذ التعليمات على أجزاء مختلفة من المعطيات
- يلائم هذا النوع العمليات على الأشعة وعلى المصفوفات وغالبًا ما يستخدم من أجل عمليات الحساب العلمي حيث تؤخذ المعطيات من الذاكرة وينفذ عليها أمر واحد
- مثال: عملية ضرب العدد B بالشعاع (مصفوفة) A(I) والنتائج يوضع في C(I)
- تحصل عملية ضرب العدد بجميع عناصر الشعاع بعملية واحدة على كل المعاملات
- تستخدم في هذه الحاسبات آلاف المعالجات ، وتكون عادة متوسطة الأداء أو بسيطة جدًا، وجودتها وأدائها العالي ناتج عن العدد الكبير للمعالجات المستخدمة

وحدة التحكم CU
دفع التعليمات IS
وحدة معالجة PU
دفع بيانات DS
وحدة ذاكرة MU
ذاكرة مشتركة SM

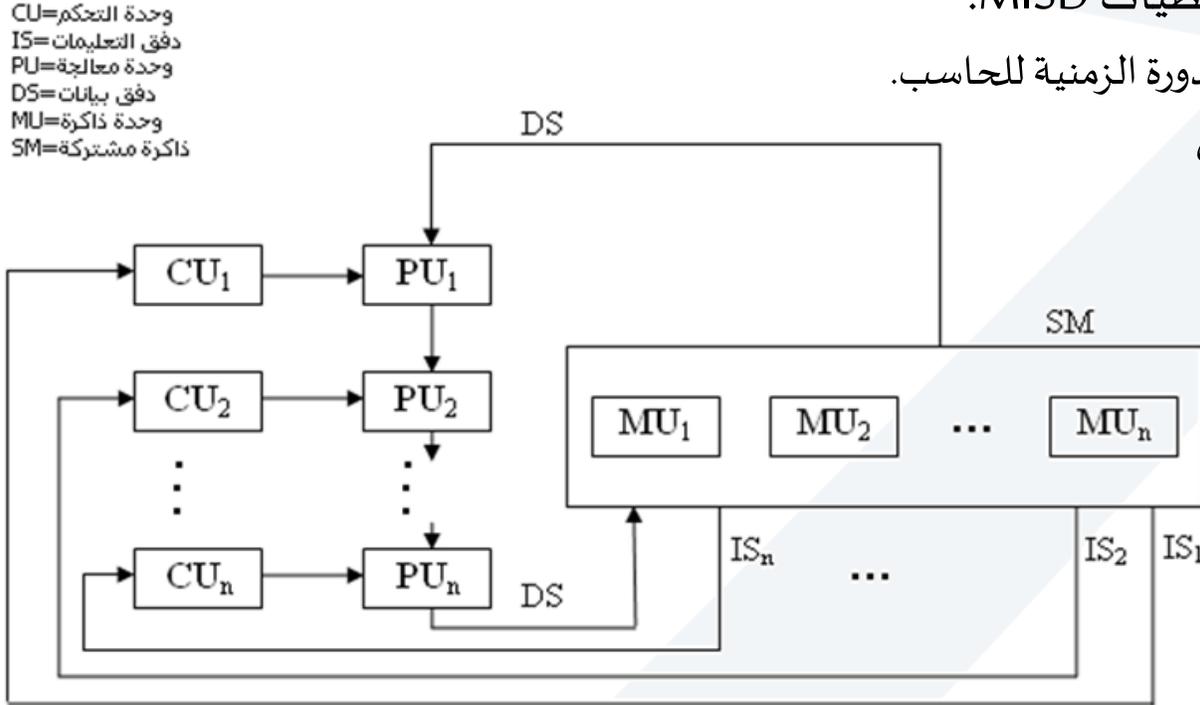


• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:

• الحاسبات متعددة تدفق التعليمات ووحيدة تدفق المعطيات MISD:

- يتم تنفيذ عدة تعليمات مختلفة على معامِل واحد خلال الدورة الزمنية للحاسب.
- يتميز هذا النوع بوجود عدد من المعالجات التي تعمل بشكل مستقل عن بعضها البعض.
- يتضمن كل معالج وحدة تحكم خاصة به تساعده على تنفيذ المهام الجزئية الموكلة إليه.
- يوجد القليل من الحاسبات المتوازية من هذا نوع حيث تعتبر قليلة الاستعمال فهي تعتمد مبدأ العمل التسلسلي



• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:

• الحاسبات متعددة تدفق التعليمات ومتعددة تدفق المعطيات MIMD:

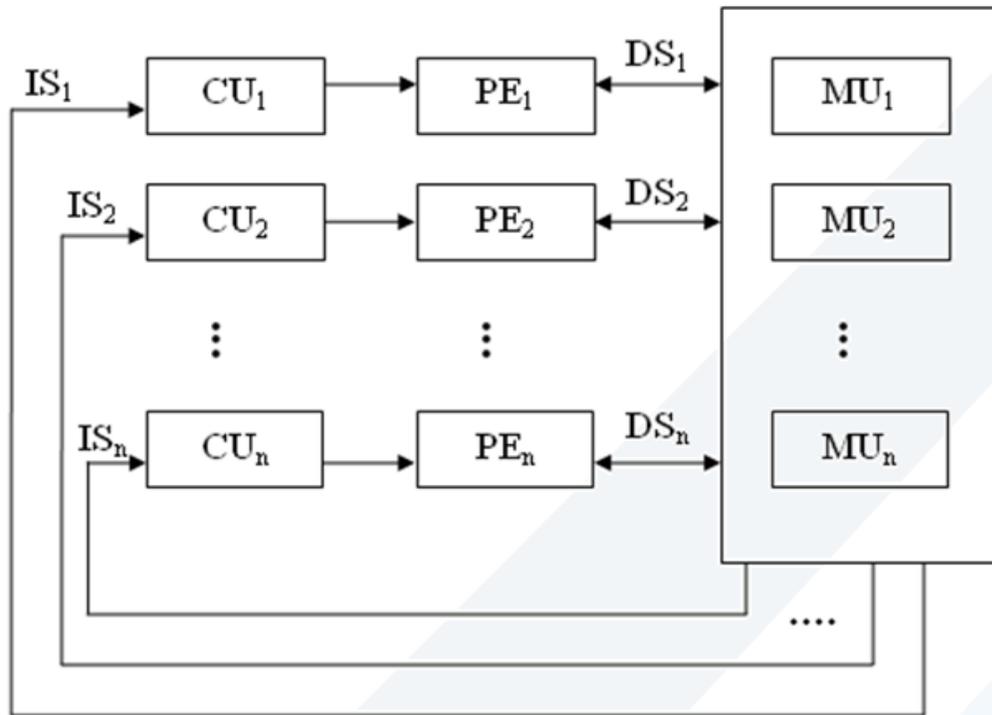
- يتم تنفيذ عدة تعليمات على معاملات مختلفة خلال الدورة الزمنية للحاسب .
- يتميز بوجود عدد من المعالجات التي تعمل بشكل مستقل عن بعضها البعض.
- يتضمن كل معالج وحدة تحكم خاصة به تساعد على تنفيذ المهام الجزئية الموكلة إليه.
- هذا النوع غير متزامنة وبالتالي فالحوادث التي تجري على معالج ما لا ترتبط بالحوادث التي تجري على المعالجات الأخرى .
- يمكن فرض نوع من التزامن بين هذه المعالجات عند الضرورات البرمجية لذلك
 - باستخدام بعض التعليمات الأولية المخصصة للترزامن
 - أو عن طريق العتاد
 - ويمكن أن يتم أيضاً عن طريق البرمجيات ونظم التشغيل
- أن كل معامل يعالج من قبل معالج ما بأمر ما، وفي الوقت ذاته تعالج جميع المعاملات حسب كافة الأوامر ونتيجة هذه المعالجة تخزن في الذاكرة.
- عند المعالجة لا ينتظر أي معالج نتيجة من معالج آخر لأن جميع المعالجات تعمل بشكل غير متزامن وعلى التوازي

• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:

• الحاسبات متعددة تدفق التعليمات ومتعددة تدفق المعطيات MIMD:

وحدة التحكم=CU
دفق التعليمات=IS
عنصر معالجة=PE
دفق بيانات=DS
وحدة ذاكرة=MU
ذاكرة مشتركة=SM



• تعتمد المعالجة التفرعية على مستوى الخوارزميات حيث يقسم البرنامج إلى مهمات جزئية مستقلة جزئياً فيما بينها ، وتنفذ كل مهمة على معالج من معالجات الحاسب

• الأكثر استخداماً في الوقت الحالي وتعتمد عليها الحاسبات الحديثة

• يوجد لهذا التصنيف فئتين فرعيتين هامتين وهما:

• الذاكرة المشتركة (Shared memory).

• تمرير الرسائل (message passing).

• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:

• الحاسبات متعددة تدفق التعليمات ومتعددة تدفق المعطيات MIMD:

• الذاكرة المشتركة MIMD Shared Memory:

• أي معالج يتضمن وحدة تعليمات و وحدة حسابية تمكنه من أن يقرأ من أو يكتب في ذاكرة مشتركة.

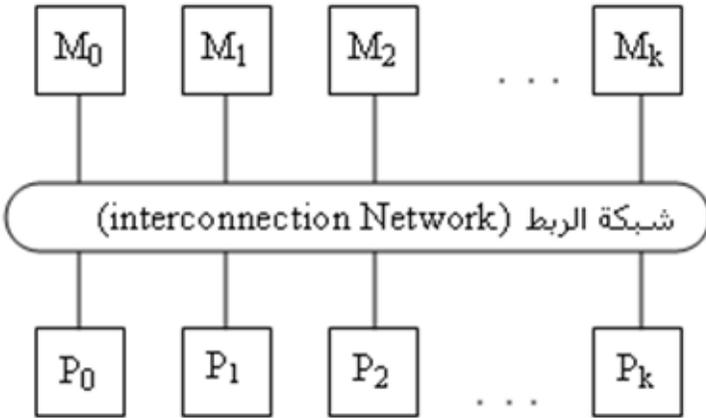
• ترتبط المعالجات مع وحدات الذاكرة بواسطة شبكة الربط، والتي يمكن أن تتخذ عدة أشكال تبعاً لنوع الآلة.

• شبكة الربط يمكن أن تثبت على شكل حلقة أو شبكة Mesh

• يمكن أن يحصل تعارض أو تضارب في الذاكرة عندما يحاول معالجان الكتابة في نفس الجزء من الذاكرة في نفس الوقت،

• وأيضاً ربما تتداخل المعالجات مع بعضها عند الكتابة في نفس خلية الذاكرة المشتركة مما يتسبب في إيقاف وفشل العملية الحسابية.

• كي لا يصبح التداخل مشكلة يجب أن تزود الآلة بأقفال أو أي آلية للتزامن وذلك لضمان وجود معالج واحد فقط يتعامل مع خلية الذاكرة المشتركة في الوقت الواحد



• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:

- الحاسبات متعددة تدفق التعليمات ومتعددة تدفق المعطيات MIMD:
- الذاكرة المشتركة MIMD Shared Memory:
- لكل آلات الذاكرة المشتركة MIMD سمات مشتركة.
- يزود نموذج الذاكرة المشتركة مخزن (Buffer) للمبرمج .
- وعليه استخدام نموذج الذاكرة المشتركة أسهل للبرنامج من نموذج تمرير الرسالة
- العيب الواضح المشترك هو النقاط الساخنة (hot spot)
- تحاول المعالجات أن تكتب على نفس خلية الذاكرة . ولأن المعالجات يجب أن تنتظر حتى تكون خلية الذاكرة جاهزة فإن ذلك يمكن أن يعيق أداء النقاط الساخنة
- العيب الآخر هو أن المبرمج والمترجم compiler ونظام التشغيل يجب أن تقرر كيف يُقسّم البرنامج على عدة معالجات

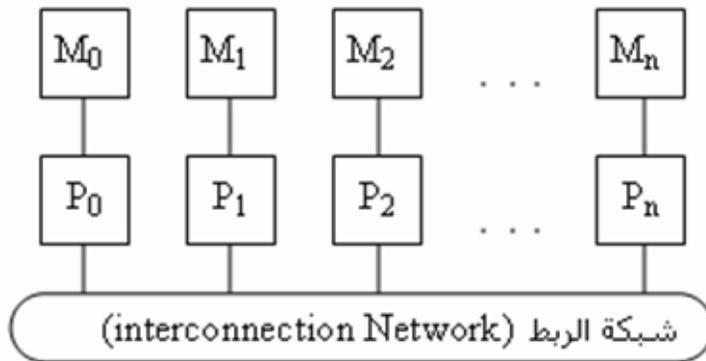
• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:

• الحاسبات متعددة تدفق التعليمات ومتعددة تدفق المعطيات MIMD:

• تمرير الرسائل MIMD Message Passing:

- كل معالج له ذاكرة داخلية خاصة به، ولكي تتواصل المعالجات فيما بينها فإنها ترسل رسائل إلى كل معالج عن طريق شبكة الربط
- بشكل مشابه لنموذج الذاكرة المشتركة، شبكة الربط يمكن أن تأخذ عدة أشكال مختلفة والأكثر استخداماً هي شبكة المكعب متعدد الأبعاد حيث تتوضع المعالجات في زوايا المكعب
- يتميز أسلوب توجيه الرسالة بسرعتها مما يشكل أمراً هاماً لأداء الآلات من هذا النوع
- الحسنات:



- لا يوجد ذاكرة مشتركة، وهذا يعني اختفاء المشاكل الناتجة عن التداخل والتضارب في الذاكرة والتي يعاني منها نموذج الذاكرة المشتركة.
- النفاذ أو الوصول إلى الذاكرة سريع
- الأهداف:
- يعمل كأداة اتصال لعبور قيم المعطيات بين المعالجات
- يعمل كآلية تزامن للخوارزميات المتوازية

• تصنيف الحاسبات المتوازية:

• تصنيف فلاين Flynn's Classification Scheme:

• الحاسبات متعددة تدفق التعليمات ومتعددة تدفق المعطيات MIMD:

• تمرير الرسائل MIMD Message Passing:

- بما أن المعالجات لا تشترك في ذاكرة واحدة فإن نموذج تمرير الرسائل يمكن أن يحتوي على عدد كبير جدًا من المعالجات، بخلاف نموذج الذاكرة المشتركة
- العيب الرئيسي هو الحمل الزائد الملقى على المبرمج،
- ليس كافيًا أن يقوم المبرمج بتقسيم البرنامج على المعالجات، بل عليه أيضًا أن يوزع المعطيات.
- برمجة الأجهزة من نوع تمرير الرسائل تتطلب من المبرمجين أن يعيدوا النظر في الخوارزميات كي يكون استخدام الآلة أكثر كفاءة

مبادئ تصميم الخوارزميات المتوازية



• مقدمة:

- يوجد نوعان من الخوارزميات
 - خوارزميات تسلسلية
 - هي وصف (أو تسلسل من الخطوات الأولية) لحل مسألة معطاة على حاسب تسلسلي
 - خوارزميات متوازية
 - تصف كيفية الحل لمسألة معطاة باستخدام عدة معالجات
 - هنا يتطلب أكثر من مجرد تحديد خطوات الحل،
 - على أقل تقدير، للخوارزميات المتوازية بعد إضافي للترامن،
 - على مصمم الخوارزمية أن يحدد مجموعة من الخطوات يمكن أن يتم تنفيذها سويًا بنفس الوقت.
 - هذا التحديد ضروري للحصول على أي زيادة في الأداء من استعمال الحاسب المتوازي.
- الميزات التي تتصف بها الخوارزميات المتوازية :
 - تحديد أجزاء العمل الذي يمكن أن ينفذ بشكل متزامن.
 - توزيع (أي إسناد) الأجزاء المترامنة من العمل في عدة إجراءات (أو معالجات) تعمل بالتوازي.
 - توزيع المعطيات المدخلة والمخرجة والمعطيات الوسيطة المرتبطة بالبرنامج.
 - إدارة عملية الوصول إلى المعطيات المشتركة بين عدة إجراءات.
 - مزامنة المعالجات في المراحل المختلفة لتشغيل البرنامج المتوازي

مبادئ تصميم الخوارزميات المتوازية



- مفاهيم أساسية:
- تصميم الخوارزميات المتوازية:
- هناك خطوتان رئيسيتان مستخدمتان في تصميم الخوارزميات المتوازية:
 - الأولى: تقسيم العملية الحسابية إلى عدة عمليات حسابية صغيرة،
 - والثانية: وضع هذه العمليات المقسمة في عدة معالجات لكي تنفذ بشكل متوازٍ.
 - مثال: ضرب مصفوفة بشعاع، وعملية استعلام في قواعد البيانات
- التقسيم Decomposition:
- هو عملية تفكيك العملية الحسابية إلى أجزاء أصغر.
- المهام (Tasks):
- هي وحدات من العملية الحسابية معرفة بواسطة المبرمج والتي تمثل أجزاء العملية الحسابية الرئيسية التي تم الحصول عليها بواسطة التقسيم.
- التنفيذ المتزامن (Concurrency) للمهام المتعددة هو المفتاح الأساسي لإقلال الزمن اللازم لحل المسألة بكاملها.
- قد تكون المهام -للمسألة المقسمة- ليست كلها من نفس الحجم
- مخططات التبعية (Dependency Graph):
- هي الرسم التجريدي الذي يستخدم للتعبير عن الاعتمادية أو التبعية فيما بين المهام و الترتيب/النظام النسبي للتنفيذ

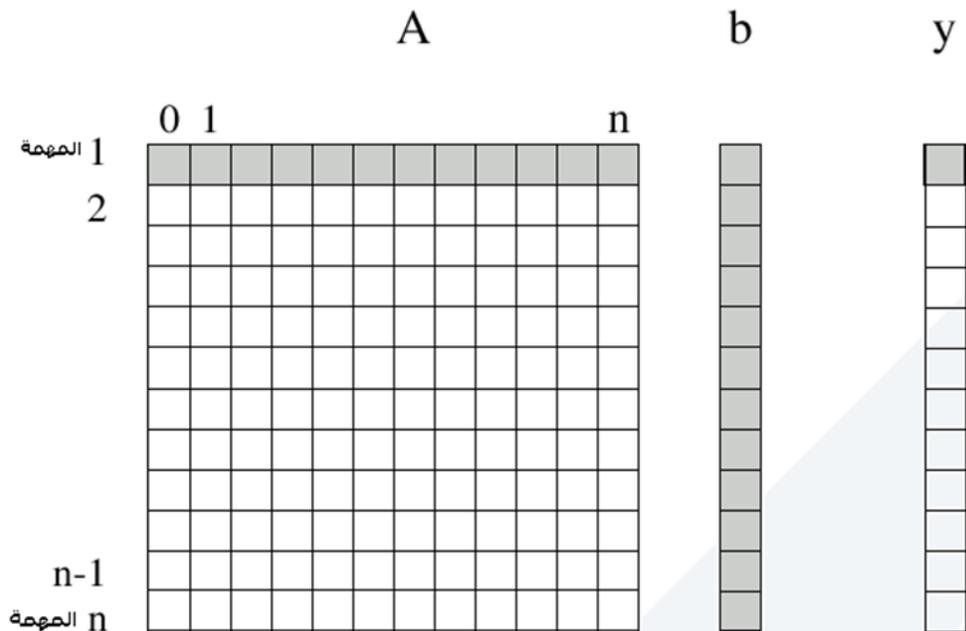
مبادئ تصميم الخوارزميات المتوازية



• مفاهيم أساسية:

• مثال: ضرب مصفوفة بشعاع

- المطلوب إجراء عملية الضرب على المصفوفة A بحجم $n \times n$ مع الشعاع b
- إن حاصل عملية الضرب $y[i]$ يكون ناتجاً عن ضرب السطر i من A مع الشعاع b
- يمكن التعبير عن عملية حساب كل قيمة $y[i]$ بالشكل:



- يمكن تقسيم هذه المسألة إلى عدة مهام
- جميع المهام المحددة هي مهام مستقلة ويمكن تنفيذها بشكل متزامن
- في بعض المسائل قد تكون بعض المهام فيها بحاجة إلى بيانات ناتجة عن مهام أخرى ولذا فإن عليها الانتظار إلى أن تُنهي هذه المهام أعمالها
- في مخطط التبعية تعتبر العقد كمهام، أما الخطوط التي تصل بين العقد (يطلق عليها أضلاع) فتدل على الاعتمادية بين المهام.
- فالمهمة التي تتطابق مع أحد العقد لا يمكن تنفيذها إلا حين انتهاء تنفيذ جميع المهام التي تدخل إليها

مبادئ تصميم الخوارزميات المتوازية



• مفاهيم أساسية:

• الحبوبية أو التدرج (granularity):

- يطلق على حجم وعدد المهام في المسألة المجزأة التقسيم الحبوبية
- التقسيم إلى عدد كبير من المهام الصغيرة يطلق عليه الحبوبية الناعمة.
- أما التقسيم إلى عدد صغير من المهام الكبيرة فيطلق عليه الحبوبية الخشنة.

• مثال: التقسيم لمسألة عملية ضرب مصفوفة بشعاع تعتبر تقسيمًا حبوبيًا ناعمًا وذلك لأن كل مهمة من المهام الكثيرة تقوم بتنفيذ عملية الضرب

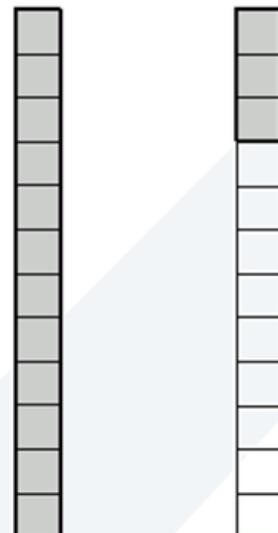
• يمكن جعل التقسيم السابق من نوع الحبوبية الخشنة عن طريق التقسيم إلى 4 مهام، بحيث تقوم كل مهمة بتنفيذ $n/4$ من العمل لكامل الشعاع الناتج

• يتعلق مفهوم التقسيم الحبوبية بدرجة التزامن.

- فالحد الأقصى لعدد المهام التي يمكن تنفيذها بشكل آني في برنامج متوازي في أي وقت معطى يطلق عليه "الدرجة العظمى للترزامن".
- في أغلب الحالات، تكون الدرجة العظمى للترزامن أقل من عدد المهام الكلي وذلك بسبب العلاقة فيما بين المهام.

A b

	0	1	...	n
المهمة 1				
المهمة 2				
المهمة 3				
المهمة 4				



مبادئ تصميم الخوارزميات المتوازية



• مفاهيم أساسية:

• الحبوبية أو التدرج (granularity):

- بشكل عام، درجة التزامن العظمى لمخططات التبعية الشجرية يساوي دائما لعدد التفرعات في الشجرة.
- يعتبر "متوسط درجة التزامن" مؤشر هام للدلالة على أداء البرامج المتوازية،
 - يتم حسابه بأخذ المتوسط لعدد المهام التي يمكن تنفيذها تزامنيا خلال كامل مدة تشغيل البرنامج.
 - يمكن أن يزداد كل من المعدل والحد الأقصى لدرجة التوازي كلما كان التقسيم الحبوبي للمهام أصغر (أنعم).
- مثال التقسيم لمسألة ضرب مصفوفة بشعاع له تقسيم حبوبي ناعم ودرجة تزامن عالية، أما التقسيم لنفس المسألة في حال $n/4$ له تقسيم حبوبي خشن ودرجة تزامن منخفضة
- تعتمد درجة التزامن أيضا على شكل مخطط التبعية والتقسيم الحبوبي ذاته.
- بشكل عام، ليس هناك ضمان لتماثلهما في درجة التزامن

مبادئ تصميم الخوارزميات المتوازية

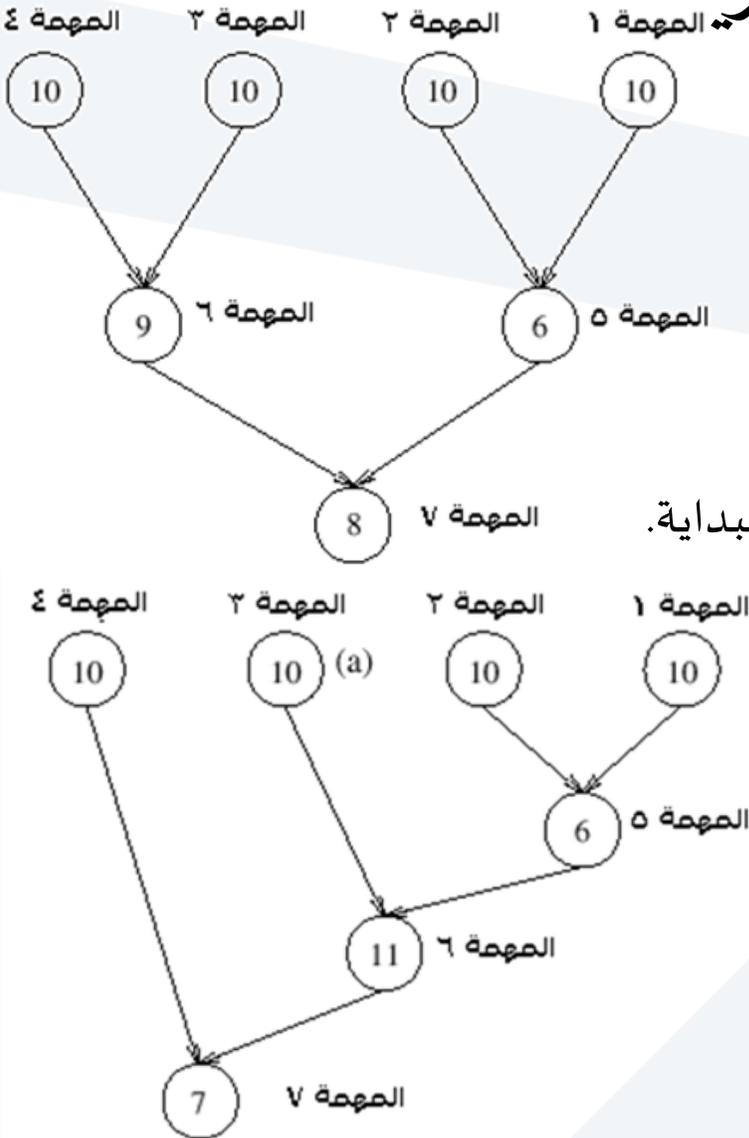
• مفاهيم أساسية:

• الحبوبية أو التدرج (granularity):

- يحسب معدل درجة التزامن لأي تقسيم حبوبي معطى عن طريق المسار الحرج،
- نشير للعقد التي ليس لها أضلاع داخلية إليها بعقد البداية، أما العقد التي لا يخرج منها أضلاع فسنشير لها بعقد النهاية.
- وعليه يكون المسار الحرج هو أطول خط يصل بين أي زوجين من عقد البداية والنهاية.
- طول المسار الحرج: مجموع كمية العمل للعقد الواقعة على المسار الحرج
- حيث أن كمية العقدة هي كمية العمل للمهمة المطابقة لهذه العقدة.
- معدل درجة التزامن: نسبة إجمالي كمية العمل للمسار الحرج
- لذلك المسار الحرج الأقصر يؤدي إلى درجة تزامن أعلى.

• مثال:

- ليكن لدينا مخطط التبعية التاليين حيث يمثل والعدد المكتوب بداخل كل عقدة كمية العمل المطلوب لإكمال المهمة المقابلة لهذه العقدة
- إن معدل درجة التزامن لمخطط التبعية الموضح في الشكل الأول هو 2.33، وفي الشكل الثاني هو 1.88، علماً أن كلا المخططان يعتمدان نفس التقسيم



مبادئ تصميم الخوارزميات المتوازية



- مفاهيم أساسية:
- الحبوبية أو التدرج (granularity):
- ليس بالضرورة استخدام تقسيم ذو حبوبية عالية أن ينتج إنقاص الزمن اللازم لحل المسألة
- يوجد حد أعلى لكمية التقسيم الحبوبي الناعم التي تسمح بها المسألة
- مثال: هناك N^2 عملية ضرب ومثلها للجمع في مسألة ضرب مصفوفة بشعاع
- لا يمكن تقسيم هذه المسألة لأكثر من $O(N^2)$ مهمة حتى ولو تم استخدام أكثر أنواع التقسيم نعومة في التحبيب

مبادئ تصميم الخوارزميات المتوازية



• مفاهيم أساسية:

• تفاعل المهمة (Task-Interaction):

- يعتبر التفاعل بين المهام التي تعمل على معالجات مختلفة عامل عملي آخر هام يقلل من قدرتنا على تحقيق التسريع غير المحدود (نسبة زمن التنفيذ التسلسلي إلى المتوازي) من جراء استعمال التوازي.
- المهام المقسمة في المسألة تتشارك فيما بينها مدخلات ومخرجات وبيانات وسيطة.
- التبعية في مخطط التبعية تنتج غالباً من حقيقة مخرجات إحدى المهام لتكون مدخلات لمهام أخرى.
- مثال:
- في مثال استعمال قاعدة البيانات، تتشارك المهام فيما بينها بالبيانات الوسيطة؛ فالجدول المنشأ بواسطة إحدى المهام يستخدم من قِبَل مهمة أخرى كمدخلات.
- يمكن أن يحصل هناك تفاعل فيما بين المهام التي تظهر مستقلة في مخطط التبعية.
- فمثلاً.. في التقسيم لمسألة ضرب مصفوفة بشعاع، وعلى الرغم من أن جميع المهام مستقلة عن بعضها البعض، فإن جميع هذه المهام تتطلب الوصول إلى كامل الشعاع b
- ونظراً لأن هناك نسخة واحدة من الشعاع b فعلى المهام أن تُرسل وتستقبل الرسائل من الجميع لكي تصل إلى الشعاع b في نموذج الذاكرة المشتركة