

أساسيات ذاكرة التخزين المؤقت و معالجة بعض أخطائها

دانه حبيب مهدي المزعل

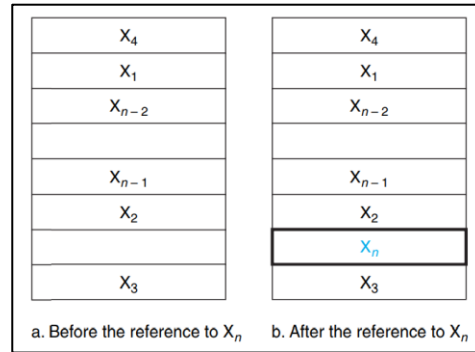
معمارية الحاسب الآلي , السنه الرابعه

الفصل الدراسي الأول 1442 / 1443

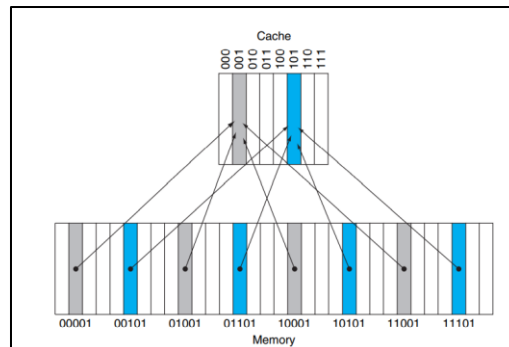
20 ربيع ثاني 1443 هـ

• أساسيات ذاكرة التخزين المؤقت "Cache"

ذاكرة التخزين المؤقت هي مكان آمن لتخزين الأشياء (الكتب و الملفات) التي نحتاج إلى فحصها. ذاكرة التخزين هو الاسم الذي تم اختياره لتمثيل مستوى التسلسل الهرمي للذاكرة بين المعالج والذاكرة الرئيسية في أول كمبيوتر تجاري يحتوي على هذا المستوى الإضافي. اليوم ، على الرغم من أن هذا لا يزال هو الاستخدام الغالب لمسمى ذاكرة التخزين المؤقت يتم استخدام هذا المصطلح أيضًا للإشارة إلى أي مساحة تخزين استطاعت الاستفادة من "locality of access" أي الوصول إلى نفس مجموعة مواقع الذاكرة بشكل متكرر خلال فترة زمنية قصيرة. ظهرت ذاكرات التخزين المؤقت الأولى لأول مرة في أجهزة الكمبيوتر البحثية في أوائل الستينيات وفي إنتاج أجهزة الكمبيوتر في نهاية نفس العقد ؛ جميع أجهزة الكمبيوتر التي تم إنشاؤها حديثاً من الخوادم إلى المعالجات المضمنة منخفضة الطاقة ، تتضمن ذاكرة التخزين المؤقت. لنبدأ بالنظر في ذاكرة تخزين مؤقت بسيطة للغاية حيث أن المعالج يُقدم الطلبات من كلمة واحدة وتتكون " الكتلة او المجموعات " أيضًا تتكون من كلمة واحدة. الصورة أدناه توضح ذاكرة تخزين مؤقت بسيطة قبل وبعد طلب طلب عنصر بيانات يتكون من كلمه واحده غير موجود مسبقاً في ذاكرة التخزين. حيثُ قبل الطلب تحتوي ذاكرة التخزين المؤقت على مجموعة من المراجع الحديثة. كنتيجة لطلب المعالج يتم احضار الكلمه الواحده من الذاكره الى ذاكرة التخزين المؤقت.



في حالة أخرى كيف نعرف ما إذا كان عنصر البيانات متواجد في ذاكرة التخزين المؤقت؟ علاوة على ذلك ، إذا كان متواجداً ، فكيف نجده؟



الإجابات مرتبطة. بحيث ان إذا كان من الممكن إدخال كل كلمة في مكان واحد بالضبط في ذاكرة التخزين المؤقت ، فعندئذٍ من السهل العثور على الكلمة إذا كانت في ذاكرة التخزين المؤقت. أبسط طريقة لتعيين موقع في ذاكرة التخزين المؤقت لكل كلمة بناء على عنوان الكلمة في الذاكرة ويطلق على هذه الطريقة مسمى التعيين المباشر نظرًا لأن كل موقع ذاكرة يتم تعيينه مباشرةً إلى موقع واحد بالضبط في ذاكرة التخزين المؤقت. عادة ما يكون التعيين العادي بين العناوين ومواقع التخزين المؤقت لذاكرة في عملية التعيين المباشر سهلاً حيث انها تستخدم هذه المعادلة غالباً:

$$(\text{Block address}) \bmod (\text{Number of blocks in the cache})$$

يتم حسابها ببساطة عن طريق استخدام modulo إذا كان عدد الإدخالات في ذاكرة التخزين المؤقت هو 2 ، فيمكن أن يكون

وبالتالي ، فإن ذاكرة التخزين المؤقت المكونة من 8 $\text{low-order } \log_2 (\text{cache size in blocks}) \text{ bits}$ مجموعات تستخدم أقل ثلاث بتات $2^3=8$.

و لأن كل موقع ذاكرة تخزين مؤقت يمكن أن يحتوي على مجموعات أرقام مختلفه من مواقع الذاكرة ، كيف نعرف ما إذا كانت البيانات الموجودة في ذاكرة التخزين المؤقت تتوافق مع الكلمة المطلوبة ؟ بمعنى آخر كيف نعرف ما إذا كانت الكلمة المطلوبة موجودة في ملف ذاكرة التخزين المؤقت أم لا؟ نجيب على هذا السؤال بإضافة مجموعة من العلامات "Tags" إلى ذاكرة التخزين المؤقت تحتوي العلامات على معلومات العنوان المطلوبة لتحديد ما إذا كانت هناك كلمة في ملف ذاكرة التخزين المؤقت تتوافق مع الكلمة المطلوبة. يجب أن تحتوي العلامة الإلكترونية فقط على الجزء العلوي من العنوان ، يتوافق مع البتات "Bits" التي لم يتم استخدامها كمؤشر في ذاكرة التخزين المؤقت. يتجاهل المهندسون المعماريون بتات "Bits" الفهرس لأنها زائدة عن الحاجة ، نظرًا لأن يجب أن يكون حقل الفهرس لأي عنوان من كتلة او مجموعة "Block" ذاكرة التخزين المؤقت هو رقم المجموعه هذا. نحتاج أيضًا إلى طريقة للتعرف على أن كانت كتلة "Block" ذاكرة التخزين المؤقت ليست صالحة. على سبيل المثال ، عندما يبدأ المعالج ، لا تكون ذاكرة التخزين المؤقت تحتوي على بيانات جيدة وستكون حقول العلامات "Tags" بلا معنى. حتى بعد تنفيذ العديد من التعليمات. قد تبقى بعض إدخالات ذاكرة التخزين المؤقت فارغة ، كما في الصورة الأولى لذلك نحن بحاجة الى تجاهل العلامة. الطريقة الأكثر شيوعًا لإضافة بت "Bit" صالح للإشارة إلى ما إذا كان الإدخال يحتوي على عنوان صالح في حال كانت قيمة البت "Bit" غير مضبوطة مسبقاً فلا يمكن أن يكون هناك تطابق لهذه المجموعه "Block".

كيف تتعامل ذاكرة التخزين المؤقت طلبات قراءة البيانات؟ بشكل عام ، يعتبر التعامل مع القراءات أبسط قليلاً من التعامل مع عمليات الكتابة نظراً الى أن القراءات لا تضطر إلى تغيير محتويات ذاكرة التخزين المؤقت.

• معالجة أخطاء ذاكرة التخزين المؤقت

من أخطاء ذاكرة التخزين المؤقت هي طلب بيانات من ذاكرة تخزين مؤقت لا يمكن ملؤها لأن البيانات غير موجودة في ذاكرة التخزين المؤقت . يجب أن تكتشف وحدة التحكم الخطأ وتعالج الخطأ عن طريق جلب البيانات المطلوبة من الذاكرة أو إذا أبلغت ذاكرة التخزين المؤقت عن إصابة ، فسيستمر الكمبيوتر في استخدام البيانات كما لو لم يحدث شيء. هذه العملية تتطلب بعض العمل الإضافي . تتم معالجة أخطاء ذاكرة التخزين المؤقت بالتعاون مع وحدة التحكم في المعالج وباستخدام وحدة تحكم منفصلة تبدأ الوصول إلى الذاكرة وتعيد ملء ذاكرة التخزين المؤقت . تؤدي معالجة خطأ ذاكرة التخزين المؤقت إلى حدوث توقف في خط التوصيلات "Pipeline" بدلاً من المقاطعة ، الأمر الذي قد يتطلب حفظ حالة جميع السجلات . في حالة فقدان ذاكرة التخزين المؤقت ، يمكننا إيقاف المعالج بالكامل ، وتجميد محتويات السجلات المؤقتة والممرئية للمبرمج ، بينما ننتظر للذاكرة . يمكن أن تسمح المعالجات الأكثر تعقيداً التي تعمل خارج الترتيب بتنفيذ التعليمات أثناء انتظار أخطاء ذاكرة التخزين المؤقت . يمكن توسيع نفس النهج بسهولة للتعامل مع البيانات المفقودة . إذا أدى الوصول إلى بعض التعليمات إلى خطأ ، فإن محتوى سجل التعليمات يصبح غير صالح . للحصول على التعليمات الصحيحة في ذاكرة التخزين المؤقت ، يجب أن نكون قادرين على توجيه المستوى الأدنى في التسلسل الهرمي للذاكرة لإجراء قراءة. نظراً لأن عداد البرنامج يزداد في الدورة الأولى للتنفيذ ، فإن عنوان التعليمات التي تنشئ خطأ في ذاكرة التخزين المؤقت للتعليمات يساوي قيمة عداد البرنامج ناقص 4 . بمجرد حصولنا على العنوان ، نحتاج إلى توجيه الذاكرة الرئيسية لإجراء القراءة . ننتظر استجابة الذاكرة (لأن الوصول سيستغرق عدة دورات على مدار الساعة) ، ثم اكتب الكلمات التي تحتوي على التعليمات المطلوبة في ذاكرة التخزين المؤقت . يمكننا الآن تحديد الخطوات التي يجب اتخاذها في حالة فقدان ذاكرة التخزين المؤقت للتعليمات كالتالي :

1. أرسل القيمة الأصلية لجهاز الكمبيوتر (الكمبيوتر الحالي - 4) إلى الذاكرة.
 2. قم بتوجيه الذاكرة الرئيسية لإجراء قراءة وانتظر حتى تكتمل الذاكرة وصولها.
 3. اكتب قيمة الإدخال الخاصه بذاكرة التخزين المؤقت ، وضع البيانات من الذاكرة في جزء البيانات من الإدخال ، وقم بكتابة البتات العلوية من العنوان من (ALU) في حقل العلامة "Tag" ، ثم قم بتشغيل البت الصالح.
 4. أعد تشغيل تنفيذ التعليمات في الخطوة الأولى ، والتي ستعيد جلب التعليمات ، وهذه المرة ابحث عنها في ذاكرة التخزين المؤقت.
- يعد التحكم في ذاكرة التخزين المؤقت في الوصول إلى البيانات متطابقاً بشكل أساسي: في حالة الخطأ ، نقوم ببساطة بإيقاف تشغيل المعالج حتى تستجيب الذاكرة للبيانات.

المرجع:

Patterson, D. A., & Hennessy, J. L. (2016). Computer organization and design ARM edition: the hardware software interface. Morgan kaufmann.