



9

10

1200 sp

نظري

كلية الهندسة المعلوماتية

السنة الثالثة

الآلات الافتراضية

Virtual Machines



RB Informatics

د. خولة العلي

محتوى مجاني غير مخصص للبيع التجاري

02/12/2024

بنیان الحواسيب 2

1- Virtual Memory

- كثير من الأحيان مع البرمجيات الحديثة ذات الحجم الكبيرة لا تكون ذاكرة الـ RAM كافية لتحميل البرنامج الذي يتم تنفيذه دفعة واحدة لذلك وجدت تقنية استخدام جزء من القرص الصلب كذاكرة افتراضية بحيث تتم عنونته و جعله امتداد للـ RAM.
- إذاً الذاكرة الافتراضية هي جزء من القرص الصلب تستخدم كامتداد للذاكرة RAM عندما تكون مساحة الـ RAM غير كافية لاحتواء البرنامج الذي يتم تنفيذه.

تطور الـ Hardware و الـ Software يجب أن يكون على التوازي فإذا كان أحدهما متطور أكثر من الآخر لا يتم الاستفادة من هذا التطور.

البرمجيات الحديثة حجومها كبيرة لذلك تحتاج ذواكر أكبر.

أي برنامج قيد التنفيذ يجب أن يحمل في الذاكرة، الذاكرة لا تحمل البرامج التي هي قيد التنفيذ فقط فهي تخزن برامج مقيمة بالذاكرة مثلاً: البرامج التي تشغل في الخلفية أو الملفات الخاصة بتشغيل النظام.

البرنامج لا يُنفذ دفعة واحدة لذلك القسم الذي لا يحمل يكون محفوظ على القرص الصلب يتم تحميله تبعاً و القسم الذي يُنفذ يخزن في الذاكرة RAM.



2- Virtual Machines

- مصادر الحاسوب = العتاد الصلب للحاسوب مثل وحدات الإدخال و الإخراج، وحدة المعالجة المركزية و الذاكر.
- الحاسوب ليس آلة افتراضية و إنما هو آلة حقيقية لكن إذا كان الحاسوب ذو إمكانيات عالية يمكن تقسيمه إلى حواسيب عن طريق ما يسمى بالآلة الافتراضية.
- الغاية من الآلة الافتراضية تقسيم الحاسوب لعدة حواسيب بحيث كل حاسوب يتم تحميل نظام تشغيل عليه و يأخذ جزء من موارد الحاسوب و يستخدمها إذا تقسم الامكانيات الحاسوبية بين أكثر من مستثمر و تحدد لكل حاسوب افتراضي حجم الذاكرة و الامكانيات المحجوزة له من مصادر الحاسوب.
- يمكن تنزيل نظام تشغيل مختلف على كل حاسوب افتراضي.

الأجهزة الافتراضية:

هي تقنية تمكن الحاسوب المضيف من محاكاة نظام تشغيل و آلة (موارد مادية منفصلة تعمل و كأنها حاسوب مستقل).
أهم المزايا:

1. عزل أفضل بين الحواسيب الافتراضية:
عند تشغيل أكثر من نظام تشغيل على الحواسيب الافتراضية، يتم فصل كل نظام عن الآخر لضمان عدم تأثير أي نظام على الآخر.

2. تجنب مشاكل الأمان و الوثوقية:
الأنظمة الافتراضية تساعد في حماية النظام الأساسي (Host) من المشاكل الأمنية أو الأعطال.

3. توفير مشاركة الموارد:
يمكن مشاركة نفس الموارد المادية (المعالج أو الذاكرة) بين عدة أنظمة في نفس الوقت.
بعض التحديات:

1. التأثير على الأداء:
الأجهزة الافتراضية قد تكون أبطأ من الأجهزة الحقيقية بسبب الاعتماد على موارد الحاسوب المضيف ومع ذلك هذا التأثير يمكن تقليله باستخدام أجهزة الحاسوب الحديثة عالية الأداء.

أمثلة على التقنيات:

1. IBM vm./ 370 (1970's technology):
نظام قديم يعود إلى السبعينات و يعتبر من أوائل الأنظمة التي دعمت فكرة الأجهزة الافتراضية.

2. vm ware:
برنامج حديث و شائع لإنشاء و إدارة الأجهزة الافتراضية.

3. Microsoft virtual pc:
أداة تستخدم لتشغيل أنظمة تشغيل متعددة على نفس الجهاز.

2- Virtual Machine Monitor (VMM)

و هو المسؤول عن إدارة الأجهزة الافتراضية.

بعض المهام:

1 ربط الموارد الافتراضية بالموارد الفعلية:

يقوم ال VMM بربط الموارد الافتراضية مثل الذاكرة Memory أو أجهزة الإدخال و الإخراج I/O devices أو المعالجات CPUs بالموارد المادية الحقيقية للجهاز أي إذا احتاجت الآلة الافتراضية إلى ذاكرة مثلاً فإن ال VMM يخصص جزءاً من الذاكرة الحقيقية لها.

يختلف نظام التشغيل الضيف عن نظام التشغيل المضيف مثلاً: يمكن تشغيل Linux كمضيف على نظام تشغيل windows و بالعكس.

2 يدير ال VMM أجهزة الادخال و الاخراج الفعلية:

يقوم ال VMM بمحاكاة أجهزة الادخال و الاخراج الافتراضية مما يعني أنه يقدم نسخة افتراضية من أجهزة الإدخال و الاخراج مثل (الطابعات و محركات الاقراص) للضيف.

Timer Virtualization:

الافتراضية الزمنية فيما يتعلق بآلية عمل المؤقتات (Time/s) في أنظمة الحواسيب الافتراضية أو الأصلية.

1. في النظام الأصلي Native machine

عندما يحدث مقاطعة المؤقت (timer interrupt)

(1) نظام التشغيل (os) يوقف العملية الحالية.

(2) يتعامل مع المقاطعة.

(3) يحدد العملية التالية لاستئناف التنفيذ.

2. مع وجود مراقب الآلة الافتراضية ال VMM عندما يعمل النظام الافتراضي

(1) VMM يوقف تشغيل الآلة الافتراضية الحالية VM.

(2) يتعامل مع المقاطعة و يحدد الآلة الافتراضية التالية لاستئناف التشغيل.

3. عندما تحتاج آلة افتراضية (VM) إلى مقاطعة مؤقت (timer interrupt)

- (1) VMM يقوم بمحاكاة مؤقت افتراضي داخل البيئة الافتراضية، إذا حدثت مقاطعة زمنية فعلية physical timer interrupt.
- (2) VMM يحاكي نفس المقاطعة الزمنية للآلة الافتراضية التي تحتاجها مما يوفر وهماً بأن الآلة الافتراضية تعمل كما لو كانت في نظام حقيقي.
- (3) في النظام الافتراضي يتحكم الـ VMM في مقاطعات الآلات الافتراضية مما يجعل كل آلة افتراضية تعتمد أنها تعمل بشكل منفصل.
- (4) إذا احتاجت الآلة الافتراضية إلى توقيت أو مقاطعة يحاكي الـ VMM ذلك دون التأثير على البيئة الأساسية.

Instruction set support

دعم مجموعة التعليمات المتعلقة بأنظمة التشغيل الافتراضية.

■ وضع المستخدم و وضع النظام:

أنظمة التشغيل تعمل في أحد الوضعين:

وضع المستخدم User mode	وضع النظام System mode
حيث تكون العمليات محدودة و لا يمكنها الوصول إلى الموارد المادية مباشرة.	يمكن للعمليات استخدام التعليمات ذات الامتياز و الوصول إلى الموارد المادية للنظام.

■ التعليمات ذات الامتياز privileged instruction:

- يمكن تنفيذها فقط في وضع النظام.
- إذا حاول برنامج في وضع المستخدم تنفيذ تعليمات ذات امتياز يتم عمل "Trap" (انتقال إلى نظام التشغيل) لمعالجة الطلب و هو آلية لحماية النظام من الاستخدام غير المصرح به.

■ الوصول إلى الموارد المادية:

موارد مثل:

- (1) جدول الصفحات page Table
- (2) التحكم في المقاطعات interrupt controls
- (3) سجلات إدخال و إخراج I/O Registers

لا يمكن الوصول لها إلا من خلال تعليمات ذات امتياز لضمان أمان النظام.

■ نهضة دعم الافتراضية:

مع تطور المعالجات الحديثة مثل 86 × أصبح دعم الافتراضية جزءاً من التصميم الأساسي لمجموعة التعليمات مما يسمح بتشغيل أنظمة تشغيل افتراضية بفعالية أكبر.

■ استخدام الذاكرة الرئيسية كذاكرة تخزين مؤقتة للقرص الثانوي (secondary disk):

- الذاكرة الافتراضية تستخدم جزءاً من القرص الصلب كمخزن مؤقت عندما تكون الذاكرة الرئيسية ممتلئة.
- تتم إدارة هذه العملية بشكل مشترك بين عتاد وحدة المعالجة المركزية cpu و نظام التشغيل (os).

■ مشاركة البرامج للذاكرة الرئيسية:

- كل برنامج يحصل على مساحة ذاكرة افتراضية خاصة به تحتوي على البيانات و التعليمات الأكثر استخداماً.
- يتم عزل كل برنامج بحيث يكون محمياً من البرامج الأخرى.

■ ترجمة العناوين الافتراضية إلى عناوين مادية:

تقوم الـ cpu و الـ os بترجمة العناوين الافتراضية التي يستخدمها البرنامج إلى عناوين مادية في الذاكرة.

- الكتلة الافتراضية vm block تسمى صفحة page
- خطأ الترجمة vm translation miss يسمى بـ page fault و يحدث عندما يحاول البرنامج الوصول إلى صفحة غير موجودة في الذاكرة الرئيسية.
- مثال على ترجمة العناوين في نظام الذاكرة الافتراضية باستخدام صفحات ذات حجم ثابت مثل 4 كيلوبايت.
- أولاً هذه العملية تهدف إلى تحويل العناوين الافتراضية التي يستخدمها البرنامج إلى عناوين فعلية على الجهاز.



"Success occurs when
your dreams get bigger
than your excuses"

العناوين الافتراضية Virtual addresses:

ينقسم العنوان الافتراضي إلى قسمين:

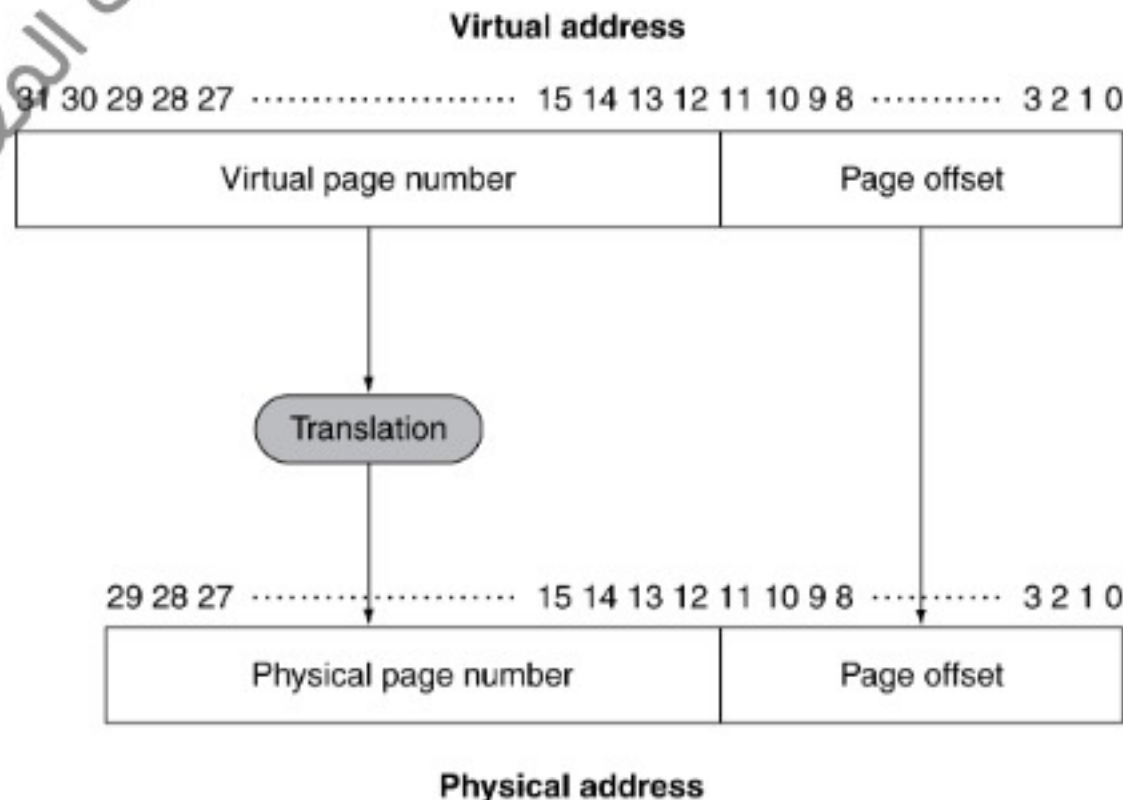
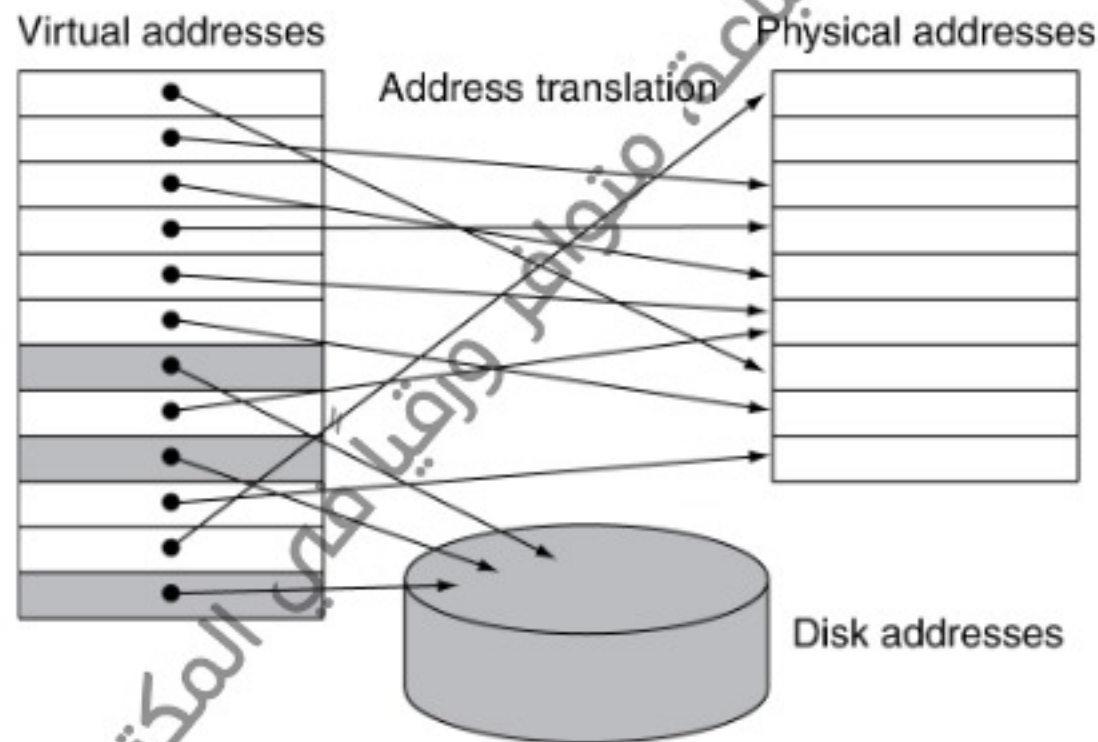
- (1) رقم الصفحة الافتراضية virtual page number الجزء الذي يشير إلى الصفحة في الذاكرة الافتراضية.
- (2) إزاحة الصفحة page offset الجزء الذي يحدد موقع الصفحة.

عملية الترجمة Translation:

- (1) يقوم النظام بتحويل رقم الصفحة الافتراضية إلى رقم الصفحة الفعلية physical page number باستخدام جدول الترجمة.
- (2) الإزاحة تبقى كما هي ولا تتغير أثناء عملية الترجمة.

العناوين الفعلية Physical addresses:

بعد الترجمة يتم استخدام رقم الصفحة الفعلية مع الإزاحة لتكوين العنوان الفعلي الذي يشير إلى موقع البيانات في الذاكرة الفعلية.



عقوبات خطأ الصفحة Page fault penalty

Page fault هي حالة تحدث عند محاولة الوصول إلى صفحة غير موجودة في ذاكرة الوصول العشوائي RAM لأنه تم تخزينها في القرص الثانوي.

عندما يحدث خطأ الصفحة يجب جلب الصفحة من القرص disk و تحميلها في ذاكرة RAM.

تستغرق العملية ملايين الدورات الزمنية:
الوصول إلى القرص الصلب أبطأ بكثير من الوصول إلى الذاكرة.

تتم المعالجة بواسطة نظام التشغيل:
من خلال إدارة الذاكرة الافتراضية و استدعاء الصفحات.

محاولة تقليل معدل أخطاء الصفحة:

الاستبدال الكامل الترابطي:
السماح للصفحات بأن تخزن في أي مكان في الذاكرة بدلاً من
تقييدها في مواقع معينة مما يقلل من احتمال الخطأ.

خوارزميات الاستبدال ذكية



"The only way to do
great work is to love
what you do"

جداول الصفحات Page tables

هي عنصر أساسي في إدارة الذاكرة الافتراضية في أنظمة التشغيل تقوم جداول الصفحات بربط العناوين الافتراضية التي يستخدمها البرنامج مع العناوين الفعلية في ذاكرة النظام.

المهام:

تخزين معلومات التخصيص:

- مجموعة من إدخال جدول الصفحات: جدول الصفحات يتكون من عدد من الإدخالات (entries) يتم فهرستها باستخدام الأرقام الافتراضية للصفحات.
- سجل جدول الصفحات في المعالج: المعالج يحتوي على سجل يشير إلى موقع جدول الصفحات المخزن في الذاكرة الفعلية هذا السجل يتيح الوصول إلى الجدول بسرعة.

في حال كانت الصفحة موجودة في الذاكرة RAM:

فإن إدخال جدول الصفحات يحتوي على الرقم الفعلي للصفحة في الذاكرة و يحتوي على حالات إضافية مثال: صفحة تم استخدامها مؤخراً Referenced أو بيانات في الصفحة قد تم تعديلها و تحتاج إلى الكتابة إلى القرص قبل استبدالها dirty.

إذا كانت الصفحة غير موجودة في الذاكرة RAM:

فإن إدخال جدول الصفحات يشير إلى موقعها في قسم التبدل (swap space) على القرص الصلب.

عملية ربط الصفحات بين الذاكرة الافتراضية (virtual memory) و التخزين المادي (physical memory):

1 رقم الصفحة الافتراضية virtual page number:

يمثل الصفحة المطلوبة في الذاكرة الافتراضية.

2 جدول الصفحات page table:

يحتوي على معلومات تربط بين الصفحة الافتراضية و الموقع الفعلي لها، لكل إدخال في الجدول:

- بت الصلاحية valid bit:
 - إذا كانت قيمته 1: يعني أن الصفحة موجودة في الذاكرة الفعلية.
 - إذا كانت قيمته 0: يعني أن الصفحة غير موجودة في الذاكرة الفعلية.
 و توجد في التخزين على القرص
- العنوان physical page or disk address:
 - إذا كانت الصفحة صالحة، يشير إلى الموقع في الذاكرة الفعلية.
 - إذا كانت الصفحة غير صالحة، يشير إلى الموقع في التخزين على القرص.

3 الذاكرة الفعلية Physical memory:

إذا كانت الصفحة موجودة يتم الوصول إليها من الذاكرة الفعلية مباشرة.

4 التخزين على القرص disk storage:

إذا كانت الصفحة غير موجودة في الذاكرة الفعلية يتم جلبها من القرص إلى الذاكرة الفعلية.

لدينا آليتين مهمتين في إدارة الذاكرة:

الكتابة على القرص disk write

استبدال الصفحات page replacement

1- استبدال الصفحات و التقليل من معدلات الأخطاء في الصفحات:

الهدف هنا هو تقليل حدوث أخطاء الصفحات عن طريق استخدام خوارزمية استبدال الأقل استخداماً مؤخراً (LRU).
آلية العمل كالتالي:

1. يوجد في جدول الصفحات (PTE) بت يسمى Reference bit أو use bit.
2. يتم تعيين هذا البت بـ 1 عندما يتم الوصول إلى الصفحة.
3. نظام التشغيل يقوم بشكل دوري بإعادة ضبط هذا البت إلى 0.
4. الصفحات التي يكون فيها البت يساوي الصفر تعتبر صفحات لم تستخدم مؤخراً مما يجعلها مرشحة للاستبدال.

2- الكتابة على القرص (disk write):

أولاً الكتابة على القرص تعتبر عملية بطيئة للغاية تستهلك ملايين الدورات، تتم الكتابة على مستوى الـ blocks و ليس المواقع الفردية.

⇐ هناك طريقتين للتعامل مع الكتابة:

1. الكتابة المباشرة write_through: غير عملية لأنها بطيئة جداً.
2. الكتابة write_back: يتم فيها تأخير الكتابة إلى حين الضرورة مما يقلل عدد عمليات الكتابة على القرص.



مفهوم ال Dirty bit:

عندما يتم تعديل الصفحة يتم ضبط بت يسمى dirty bit في جدول الصفحات يشير إلى أن الصفحة تحتاج إلى كتابة على القرص قبل استبدالها ((بالتحديد على الذاكرة الافتراضية)).

Fast translation using a TLB

TLB: Translation Look-aside Buffer

لدينا مشكلة في عملية ترجمة العناوين حيث تتطلب عمليتي وصول:

1) الوصول إلى جدول الصفحات PTE

2) الوصول إلى البيانات الفعلية

لحل تلك المشكلة نلجأ لاستخدام ذاكرة تخزين مؤقتة سريعة تسمى TLB.

TLB تخزن نسخاً صغيرة من مدخلات جدول الصفحات داخل المعالج CPU بالتالي تقلل عدد العمليات البطيئة على جدول الصفحات و تحسن الأداء بشكل كبير.

⇐ المواصفات النموذجية لـ TLB:

1. تتسع إلى 16-512 مدخلاً.

2. وقت الوصول (Hit): 0.5-1 دورة.

3. وقت الفشل (Miss): 10-100 دورة.

4. معدل الفشل 0.01% - 1%

يمكن التعامل مع الفشل في ال TLB بواسطة hardware أو software.

آلية التعامل مع حالات ال TLB Misses أي عندما لا يتم العثور على عنوان افتراضي في ذاكرة ترجمة العناوين (TLB):

1. إذا كانت الصفحة موجودة في الذاكرة:

▪ يتم تحميل إدخال جدول الصفحة (PTE) من الذاكرة.

▪ تعاد المحاولة (إعادة تنفيذ العملية باستخدام الإدخال المُحمل).

▪ يمكن التعامل مع هذه الحالة إما عبر الأجهزة (Hardware) أو البرمجيات (Software).

في ال Hardware:

يصبح النظام معقداً إذا كانت جداول الصفحات معقدة.

في ال software:

يرفع استثناء خاص ليتم التعامل معه من خلال معالج استثنائي محسن.

2. إذا كانت الصفحة غير موجودة في الذاكرة (page fault):

يسند للنظام (OS) دور جلب الصفحة من القرص (disk) و تحديث جدول الصفحة، بعد ذلك يتم إعادة تنفيذ التعليمات التي تسببت في الخطأ.