Sistemas Operativos

Curso 2013

Virtualización

Agenda

- Introducción
- Requerimientos para la virtualización
- Virtualización de CPU
- Vritualización de la memoria
- Virtualización de la E/S

Sistemas Operativos Modernos, 3a edición, cap 8.3, Andrew S. Tanenbaum

Operating System Concepts, 9th edition, cap 16, Silverschatz, Galvin

Introducción

- A efectos de aumentar la confiabilidad de un centro de cómputos es usual mantener varios servidores independientes (ej: correo, FTP, web, DBMS, etc).
- Permite mantener estabilidad en el centro
- Si un servidor cae, no falla todo el sistema
- Altos costos de mantenimiento (hardware duplicado)
- Baja eficiencia en uso de recursos (CPU, discos, memoria, etc)
- El hardware evoluciona rápidamente y muchas veces se desea mantener en funcionamiento software diseñado sobre arquitecturas actualmente obsoletas
- En un equipo de desarrollo se desea testear software sobre un conjunto importante de sistemas operativos (y sus diferentes versiones)

Introducción

- Solución: **Virtualización**
- Permite que un único equipo (hardware) soporte N máquinas virtuales (VM, Virtual Machine)
- Cada máquina virtual es independiente
- Ejecuta su propio SO
- Maneja los recursos del sistema como si fuera una máquina independiente
- Permite migrar datos fácilmente de un equipo a otro (ej: balanceo de carga)
- Permite ejecutar aplicaciones heredadas (legacy) en sistemas operativos que no funcionan en el hardware actual.

Introducción

- Virtualización
- Introducida en 1972 por IBM en el sistema VM/370

<table>
<tr><th>App</th><th>App</th><th>App</th><th rowspan="2">Modo usuario</th></tr>
<tr><td>CMS</td><td>CMS</td><td>CMS</td></tr>
<tr><td colspan="3">VM/370 (VMM, Virtual Machine Monitor)</td><td>Modo protegido</td></tr>
<tr><td colspan="3">Hardware 370</td><td></td></tr>
</table>

- SO: CMS (Conversational Monitor System)
- Cada CMS/App ejecuta sobre una máquina 370 virtual
- Cuando CMS intenta utilizar una instrucción privilegiada, ésta es atrapada por el VMM (VM/370)

Introducción

<table>
<tr><th>App</th><th>App</th><th>App</th><th rowspan="2">Modo usuario</th></tr>
<tr><td>CMS</td><td>CMS</td><td>CMS</td></tr>
<tr><td colspan="3">VM/370 (VMM, Virtual Machine Monitor)</td><td>Modo protegido</td></tr>
<tr><td colspan="3">Hardware 370</td><td></td></tr>
</table>

- Hipervisor: ejecuta en modo kernel y da soporte a las máquinas virtuales
- El sistema operativo que ejecuta en la máquina virtual se denomina Sistema operativo invitado (Guest OS)
- El hipervisor realiza las operaciones que requieren privilegios en nombre del SO invitado

Requerimientos para la virtualización

- Una máquina virtualizada debe comportarse igual que una máquina real
- Debe tener dos modos: kernel y usuario
- Instrucciones sensibles (*Popek, Goldberg*):
  - Operaciones E/S
  - Configuración de MMU
  - Administración de interrupciones
- Las instrucciones sensibles *deben* ejecutarse en modo kernel
- Instrucciones privilegiadas: disparan una trap si son ejecutadas en modo usuario

- Para que un sistema pueda soportar virtualización las instrucciones sensibles deben ser un subconjunto de las instrucciones privilegiadas

Requerimientos para la virtualización

- Para que un sistema pueda soportar virtualización las instrucciones sensibles deben ser un subconjunto de las instrucciones privilegiadas

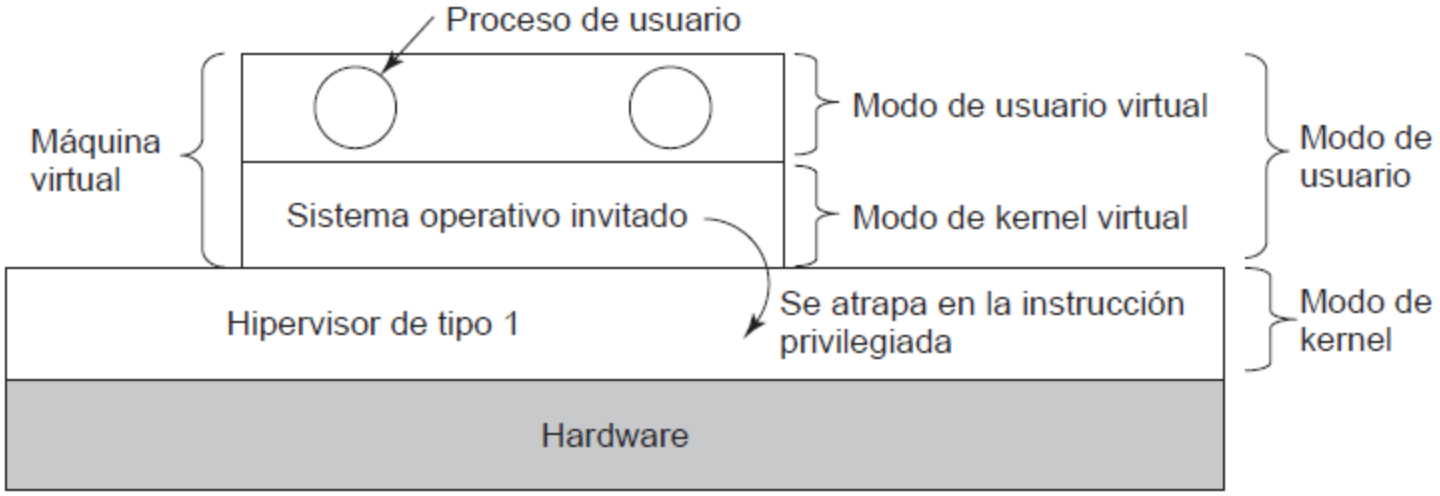
- Intel 386 (486, Pentium, etc hasta 2005) NO cumple dicha propiedad
  - Se ignoran instrucciones sensibles en modo usuario (POPF no modifica bit de habilitación de interrupciones)
  - Hay instrucciones que pueden leer el estado sensible en modo usuario sin producir una trap.
  - Ej: El SO virtualizado puede detectar que está en realidad en modo usuario
- Intel con tecnología VT (Virtualization Technology) agrega soporte para generar trap al ejecutar instrucciones sensibles.

Virtualización de CPU

- Se definen varios mecanismos de virtualización
  - Hipervisores de tipo 1
  - Hipervisores de tipo 2
  - Paravirtualización
  - Emulación de plataforma
  - Virtualización de aplicaciones
  - Referencias a hipervisores de tipo 0
    - Implementados en firmware (ej: IBM LPAR, Logical PARtitions)

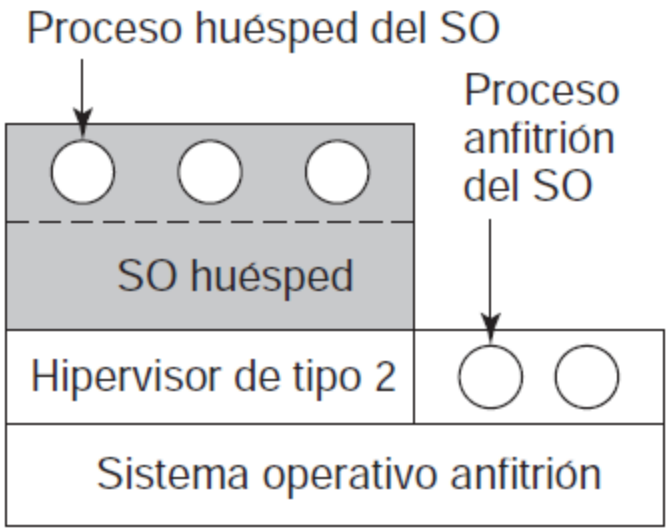
Virtualización de CPU - Hipervisores de tipo 1

- El hipervisor de tipo 1 ejecuta en modo kernel
- Cada VM se ejecuta como un proceso de usuario en modo usuario
  - Modo kernel virtual
  - Modo usuario virtual
- Cuando la VM ejecuta una instrucción sensible, se produce una trap que procesa el hipervisor.
  - Instrucción sensible ejecutada por SO invitado, se ejecuta a través del hipervisor
  - Instrucción sensible ejecutada por programa de usuario en VM, emula funcionamiento del hardware real



Virtualización de CPU - Hipervisores de tipo 2

- El hipervisor de tipo 2 ejecuta en modo usuario como un proceso más del SO anfitrión
- Permite la virtualización en arquitecturas que no cumplen con las hipótesis de Popek & Goldberg
- Aplican **traducción binaria**
  - El hipervisor analiza el flujo de ejecución (bloques de código) y “traduce” las instrucciones sensibles por llamadas al hipervisor.
  - Los bloques traducidos son ejecutados por la CPU directamente.

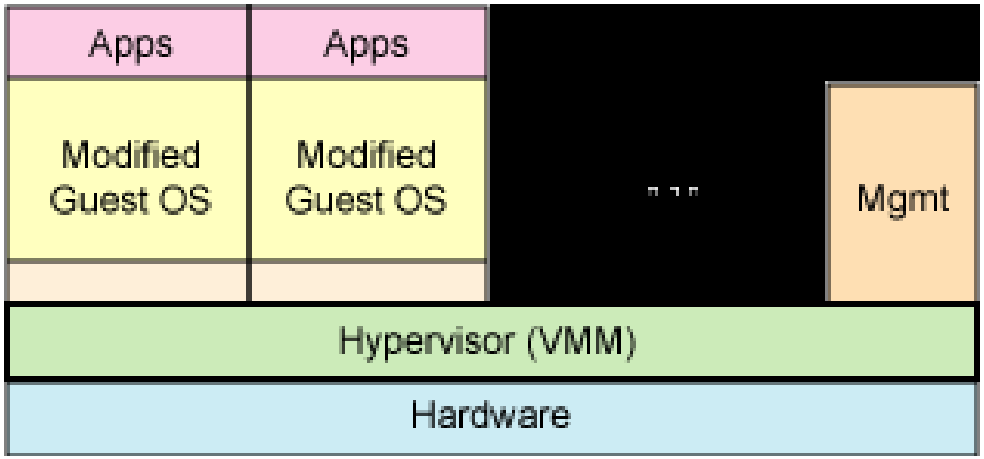


Virtualización de CPU - Hipervisores de tipo 2

- Todas las instrucciones sensibles se sustituyen mediante llamadas a procedimientos que emulan estas instrucciones.
- Cada bloque de código es traducido y almacenado en un cache
  - Un único punto de entrada por bloque
  - Sin saltos ni llamadas ni interrupciones
  - Cada bloque termina en un salto, llamada o interrupción
  - Se inspecciona el bloque y se traducen las instrucciones sensibles por llamadas al hipervisor, y la instrucción final (salto, llamada o interrupción) por llamada al hipervisor
- Comparación de performance de hipervisores de tipo 1 vs tipo 2
  - Tipo 1: todas las instrucciones sensibles generan una trap que debe atender el hipervisor (arruina “localidad”, caché de CPU, TLBs, predicción de bifurcación, etc)
  - Tipo 2: todo el flujo de instrucciones debe ser traducido (costo inicial alto) pero luego quedan en cache y no se produce cambio de contexto al ejecutar instrucción sensible
- Hipervisores de tipo 1 también pueden realizar traducción binaria

Virtualización de CPU - Paravirtualización

- Hipervisores de tipo 1 y tipo 2 funcionan con SO invitados sin modificar
- Si permitimos que se modifique el SO invitado para evitar las instrucciones sensibles (llamando, en cambio, al hipervisor) obtenemos **paravirtualización**.
- El SO invitado realiza llamadas al hipervisor en vez de ejecutar instrucciones sensibles a través de una API, ej VMI (Virtual Machine Interface)
- Ejemplo: VMI Linux
- Si el hipervisor solo soporta SO invitados paravirtualizados estamos ante un microkernel



Virtualización de la memoria

- Manejo de memoria virtual
  - Tabla de páginas (multinivel) en VM
  - Debe mapearse a tablas de páginas del hardware real

- Ej: SO invitado A crea tabla de páginas con la siguiente asignación
  - 5 -> 10, 8 -> 11, 2->12
- SO invitado B ahora crea tabla de páginas con la siguiente asignación
  - 4 -> 10, 5 -> 11, 6->12
- El VMM (hipervisor) debe mantener una tabla **de páginas oculta** (shadow) porque no puede darle los mismos marcos a dos VMs.
- La creación de la tabla de páginas es una acción “sensible” (modifica MMU que genera trap), pero la posterior actualización de la tabla no es sensible. Posible solución: marcar las paginas de tabla como de solo lectura

Virtualización de la memoria

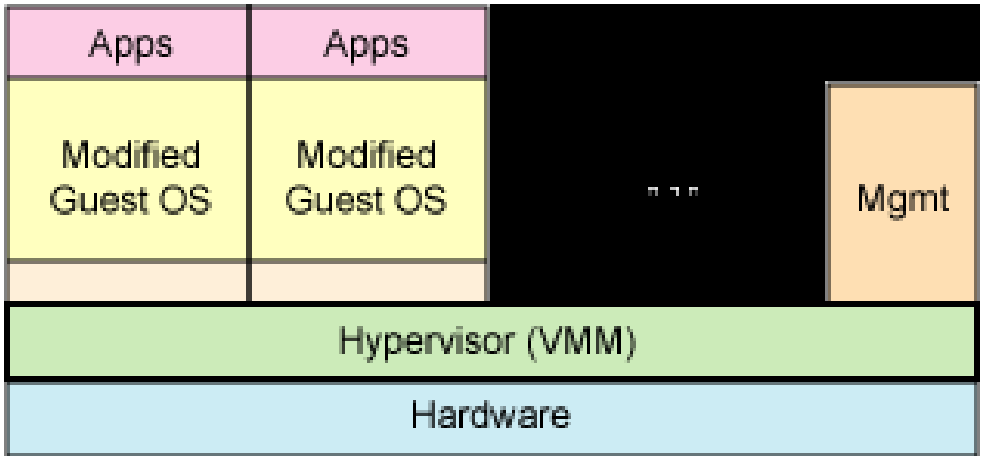
- Caso SO paravirtualizado:
- Se cambian las instrucciones de manejo de MMU por llamadas al hipervisor
- Las actualizaciones sobre la tabla de páginas se puede hacer en modo batch, llamando al hipervisor luego que el SO invitado ha realizado todos los cambios.

Virtualización de la E/S

- Cada VM piensa que tiene todo el hardware disponible para si
  - Ej: discos, impresoras etc
- Las operaciones de E/S son sensibles por lo que son tratadas por el hipervisor
- Para algunos recursos es preferible virtualizar el dispositivo
  - Discos representados como un archivo en el FS del SO anfitrión
  - Permite utilizar nuevo hardware sobre SO que no saben manejarlo
- DMA utiliza direcciones absolutas (físicas), por lo que deben ser traducidas por el hipervisor antes de efectivisarse el DMA.
  - **MMU de E/S** virtualizada

Virtualización de la E/S

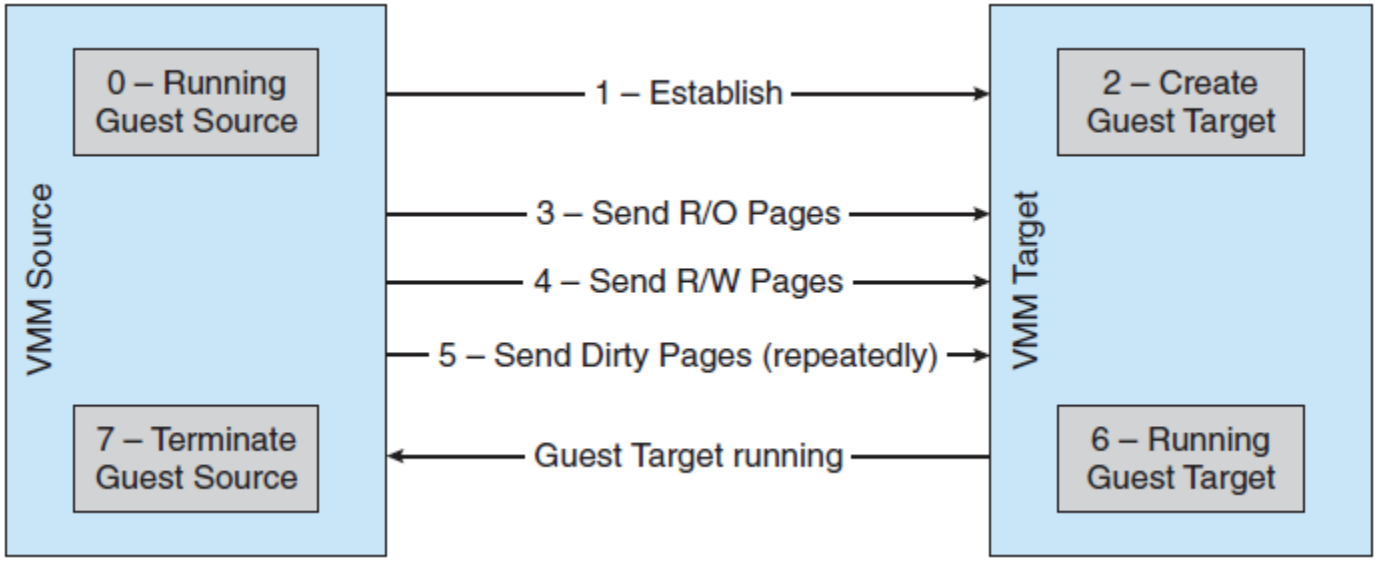
- Otro método es utilizar una de las máquinas virtuales para que refleje la E/S de todas las VM
- A esta VM a veces se le llama **dominio 0**



- Mayor facilidad para este esquema en sistemas paravirtualizados
- Hipervisores de tipo 2 pueden utilizar los drivers del SO anfitrión
- Hipervisores de tipo 1 pueden utilizar los drivers del dominio 0

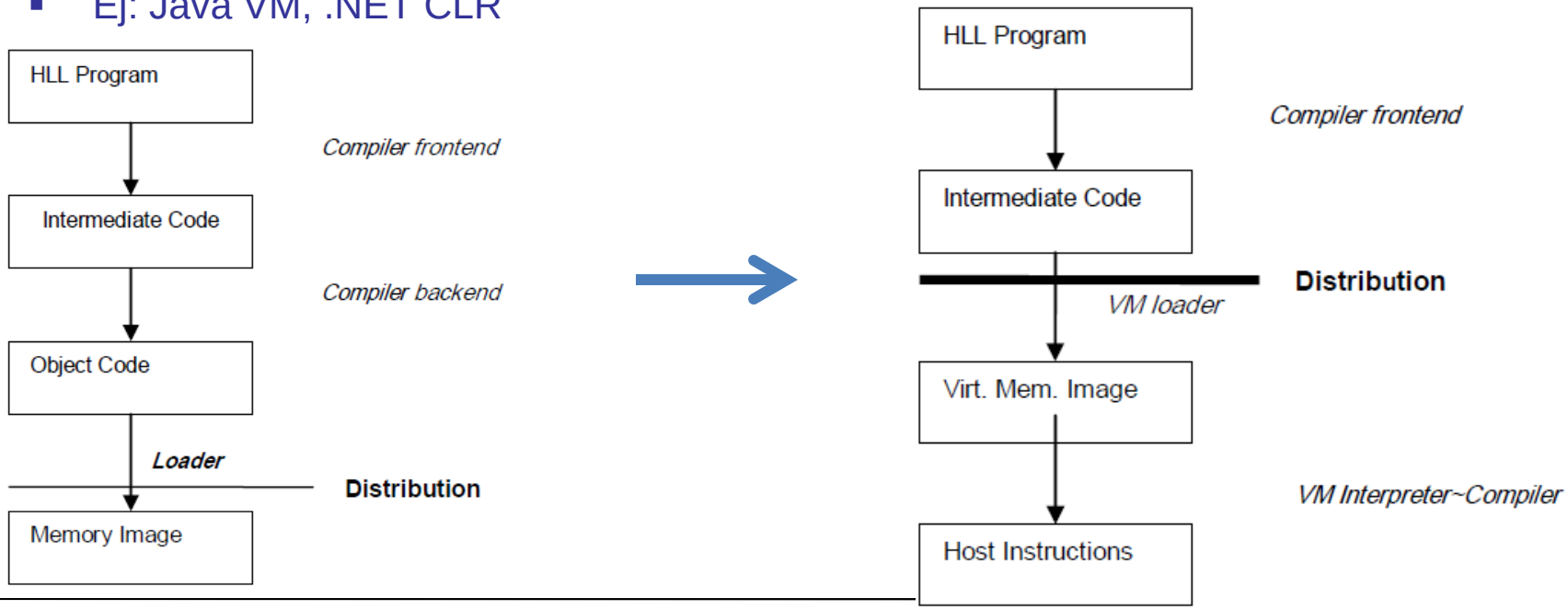
Migración en vivo (Live Migration)

- Permite “mover” una VM de un host a otro de forma transparente para los usuarios de la VM
  - Debe permitir mover el estado (memoria) de la VM, sus conexiones IP, etc
  - No mueve estado del disco (se utilizan discos accesibles remotamente)
  - Implementado en hipervisores de tipo 1
- Procedimiento:
  - Se crea VM en host destino
  - Se envían páginas de solo lectura
  - Se envían páginas de lectura-escritura
  - Mientras haya páginas modificadas, éstas se envían al host destino
  - Comienza a operar VM en nuevo host y termina de operar en host de origen



Virtualización de CPU – Emulación de plataforma – Virtualización de aplicaciones

- Emulación de plataforma
  - Permite crear máquinas virtuales con un hardware distinto del nativo
  - Lento, debe traducir todas las instrucciones del hardware destino al nativo, emular periféricos, etc
  - Ejemplo: QEMU
- Virtualización de aplicaciones
  - Aumento de portabilidad (diferentes SO y arquitecturas de hardware)
  - Ej: Java VM, .NET CLR



Otros escenarios de uso para virtualización

- Dispositivos virtuales (virtual appliances)
  - Empaquetan un software junto con sus dependencias dentro de una VM
  - El usuario final solamente debe ejecutar la VM y con ella el programa que desea

- Máquinas virtuales en CPUs multinúcleo
  - Permiten definir multiprocesadores virtuales
  - El programador puede determinar cuantas CPUs necesita para su software y armar una configuración de VMs para dar soporte a dicha configuración