

Universidad Católica
“Nuestra Señora de la Asunción”

Facultad de Ciencias y Tecnología

Departamento de Ingeniería Electrónica e Informática



Teoría y aplicaciones de la informática 2
Virtualización de alta performance con Xen

Victor Gonzalez Chamorro

2006

Indice

Introducción	Pág. 3
Que es Xen?	Pág. 4
Que es un hypervisor?	Pág. 4
Que es la Paravirtualizacion.....	Pág. 4
Usos de las maquinas virtuales	Pág. 4, 5
Arquitectura de Xen	Pág. 5
Administración de Memoria	Pág. 6
CPU.....	Pág. 6
Dispositivos de I/O.....	Pág. 7
La Paravirtualizacion con Xen	Pág. 7, 8
Virtualizacion asistida por hardware, Intel VT-x con Xen.....	Pág. 8, 9, 10, 11
Migración en tiempo real de Maquinas Virtuales	Pág. 11
Comparación de Xen con otros VMM's	Pág. 11, 12, 13
Conclusión	Pág. 14
Bibliografía	Pág. 15

Introducción

Hoy en día la virtualización es un requerimiento clave en las empresas, ya que estas necesitan urgentemente reducir costos en su estructura computacional. Esto hizo que estas adquieran computadoras relativamente baratas, servidores basados en arquitectura x86. A pesar de eso las empresas siguieron viendo un incremento en los gastos y también la complejidad de sus estructuras, a esto también se le debe sumar el costo de operación de cada uno de sus servidores que según estudios asciende a 10000 US\$ por años, estos incluyen aprovisionamiento, mantenimiento, administración, energía eléctrica, instalaciones, hardware y licencias de software (Fuente estudio de IBM). La mayoría de los servidores de hoy en día se utilizan solo en el 15% del tiempo, un desperdicio de recursos.

Si pudiésemos hacer que cada servidor físico pueda alojar múltiples servidores virtuales, lograríamos reducir el número de servidores (físicos) con incremento de la utilización, reducimos la complejidad estructural, y bajamos los costos de mantenimiento general.

Es ahí donde entra en juego la virtualización del SO (Sistema Operativo) ya que aumenta la utilización de recursos permitiendo a múltiples SO's y aplicaciones compartir cada servidor, cortando el costo de capital que tendría cada uno de los servidores físicos y los costos de los tiempos operacionales de cada uno también.

La virtualización también ofrece ventajas en otros aspectos como el desarrollo, testeo, aprovisionamiento dinámico^[1], parcheo reducido, mantenimiento sin tiempo fuera de servicio, alta disponibilidad y balanceo de carga.

La virtualización ha existido por más de 40 años, desde los 60's cuando IBM desarrollo soporte para virtualización en un mainframe, a partir de esto existieron muchos proyectos de virtualización para plataformas Unix, Linux y otros sistemas operativos, citando algunos como el VMware, FreeBSD Jail, coLinux, Microsoft Virtual PC y Solaris Containers and Zones.

La mayor cantidad de estas tecnologías disponibles en el mercado hoy en día ofrecen virtualización de baja performance, falta de seguridad y escalabilidad, y la inhabilidad de ofrecer recursos garantizados que se requieren para cumplir con SLA (Service Level Agreement) y alta disponibilidad de los mismos.

Para obtener alta performance, la virtualización en el hardware moderno de hoy día utiliza un nuevo tipo de software: de bajo nivel, mínimo, seguro y una capa de software de virtualización de alta performance llamado Hypervisor o Hipervisor.

El **Xen open source hypervisor**, creado por XenSource y ahora desarrollado en colaboración con más de 20 empresas trabajando en el proyecto denominado, The Xen Project, esta liderando la industria ofreciendo virtualización de alta performance. Más aun el Xen Hypervisor es el primero en la industria del software de virtualización que tiene soporte total para Intel VT-x hardware virtualization support, y AMD Pacifica.

[1] Aprovisionamiento Dinámico es la habilidad de los proveedores de servicio de ajustar las prestaciones y servicios para que cumplan las necesidades de los clientes que cambian rápida y constantemente

Que es Xen?

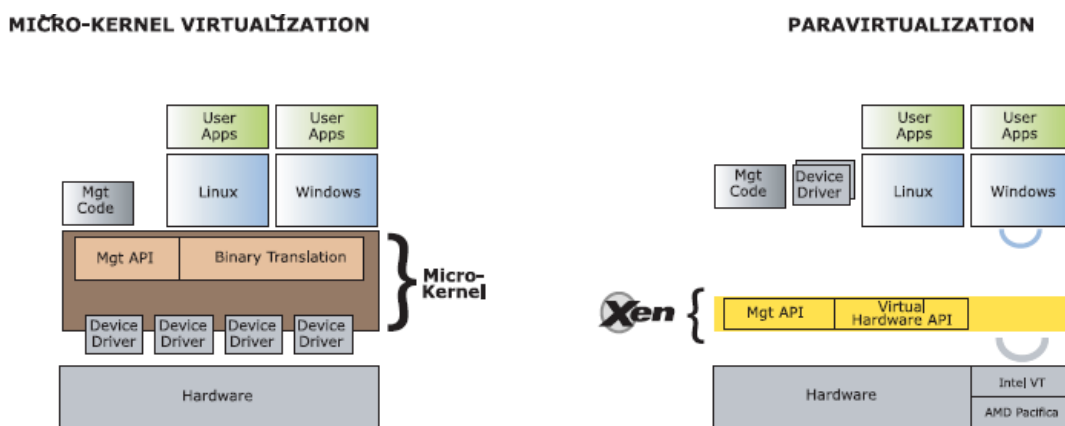
Xen es un paravirtualizador VMM (virtual machine monitor) o hypervisor, open source, para la arquitectura de procesadores x86. Xen puede de manera segura ejecutar múltiples maquinas virtuales en una sola maquina física alcanzando una alta performance casi tanto como si cada una de las maquinas virtuales se estuviese ejecutando en su hardware propio. Xen soporta *Live Migration* o migración en tiempo real de maquinas virtuales entre anfitriones físicos. Entre las arquitecturas x86 que se soportan están X86/32 bits, x86/32 bits con PAE (Physical Address Extension), x86/64 bits, Intel Virtualization Technology (VT-x) y AMD Pacifica que pueden correr sistemas operativos sin modificar.

Que es un hypervisor?

Cada SO que es virtualizado cree que tiene todos los recursos de una maquina bajo su control, pero en realidad debajo de esto esta la capa de virtualizacion o hypervisor, quien se encarga, de forma transparente para el SO, de asegurar que los recursos sean distribuidos entre los distintos SO y sus aplicaciones de manera apropiada. En la virtualizacion del SO, el hypervisor debe manejar todas las estructuras de hardware, como el MMU, los dispositivos I/O, controladores DMA, etc., para asegurar que cada SO, cuando este corriendo, tenga una vista consistente del hardware subyacente.

Que es la paravirtualizacion?

La paravirtualizacion es una técnica de virtualizacion que presenta una interfaz de software a la maquinas virtuales que es similar pero no idéntica al hardware subyacente. Esta técnica requiere que el sistema operativo sea explícitamente portado para poder correr encima del VMM. Generalmente esto se logra haciendo un parche al kernel del sistema operativo.



Contraste entre una virtualizacion de micro-kernel y la virtualizacion de Xen

Usos de las Maquinas Virtuales

La maquinas virtuales, generalmente son usadas por IBM, HP y otras compañías en mainframes y servers. Ahora se ve un incremento en el uso de servicios de hosting de Internet, las compañías proveen servidores virtuales dedicados.

Los beneficios de utilizar la virtualización de servidores son que reducen el tiempo de ocio incrementando la utilización, la habilidad de rápido aprovisionamiento e inicio de la maquina virtual, otra habilidad es que pueden responder dinámicamente a las fallas como por ejemplo falla del servidor simplemente reiniciando o migrando la maquina virtual. Otra habilidad es la de separar de manera segura los sistemas operativos virtuales y poder también soportar software legados como también nuevas instancias del SO en la misma computadora.

La habilidad de Xen de soportar la migración en vivo de la maquina virtual permite balanceo de carga y evita que el servidor este apagado por un tiempo prolongado Xen también es usado en maquinas clientes donde los casos de uso tienden a estar relacionados a la administración y seguridad, el uso de la virtualización puede permitir seguridad adicional en la ejecución de aplicaciones y soporte de servicios al usuario sin la intervención o conocimiento del sistema operativo principal corriendo.

Xen también esta siendo usado para combinar software legados con distintos software más nuevos en una misma plataforma, para ofrecer así un sistema unificado.

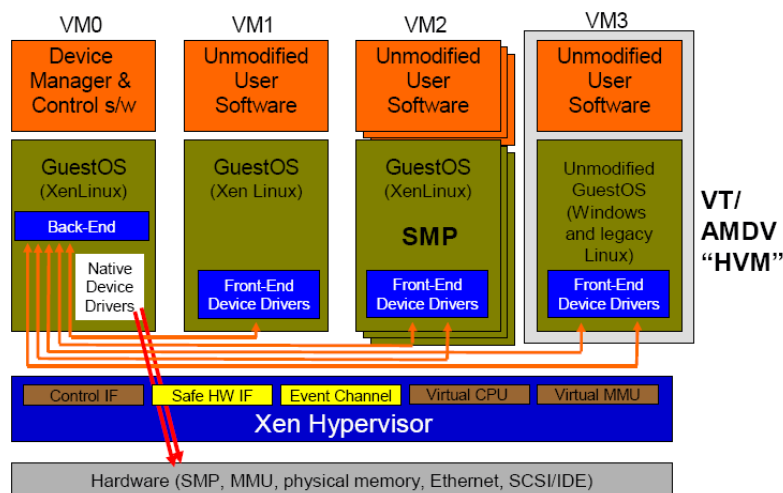
La plataforma Xen puede operar de 2 formas distintas: como una plataforma de virtualización como XenEnterprise o embebido en un sistema operativo un ejemplo seria la inclusión de Xen en SLES10, RHEL 5 o Solaris 10. Microsoft también soporta la arquitectura de paravirtualización del Xen, sin embargo a través de una reimplementación del Xen, es un proyecto de Microsoft llamado Viridian que va a estar embebido como un componente del Longhorn Server.

Como resultado de la arquitectura liviana del Xen, la mayoría de los sistemas para x86 van a soportar paravirtualización en su lanzamientos futuros. Inclusive uno de los lideres de la industria de la virtualización, VMware, también anuncio que va a empezar a soportar Linux paravirtualizado, por cuestiones de seguridad y performance.

Arquitectura de Xen

Existen tres partes fundamentales que deben ser virtualizadas y que determinan finalmente la performance de los SO virtualizados.

La administración de memoria, la CPU y los dispositivos de I/O, son estas tres partes, por medio de la arquitectura paravirtualizada se puede lograr mejorar la performance notablemente, en comparación a la emulación o la virtualización tradicional. Esto es lo que define la arquitectura básica de Xen y como se desarrollo para que la performance alcance niveles casi como los de una plataforma nativa.



Arquitectura de Xen con varios SO's virtualizados

- **Administración de Memoria:** La parte más difícil de paravirtualizar una arquitectura, en términos de mecanismos en el hypervisor y las modificaciones requeridas para portar el OS virtualizado. Si la arquitectura provee de TLB manejada por software la tarea es mucho más sencilla y puede ser virtualizado de una manera simple. Si tenemos un TLB con etiquetas como los que soportan las arquitecturas de servidores RISC, también podemos portar sin muchos inconvenientes, ya que se puede asociar una etiqueta identificadora de un espacio de direcciones con cada entrada de la TLB, esto permite que el hypervisor y cada SO invitado coexistan en un espacio de direcciones separados. La arquitectura x86 no posee ninguna de estas 2 tecnologías, lo que ocurre cuando hay una falla en el TLB es que el procesador automáticamente se encarga de traer la página solicitada.

Entonces lo que hace Xen para lograr una alta performance es:

1) los SO virtualizados son responsables de alojar y administrar las tablas de páginas con la mínima intervención de Xen para asegurar seguridad y el aislamiento.

2) Xen reside en parte alta de la memoria de cada SO para evitar así una limpieza total de la tabla TLB, cada vez que el SO entra o sale del hypervisor. Cada vez que un SO virtualizado requiere una nueva tabla de páginas, por ejemplo si se creó un nuevo proceso, aloja e inicializa la página de su propia memoria y la registra con Xen. Cuando el SO quiere actualizar su tabla de páginas la debe validar con Xen.

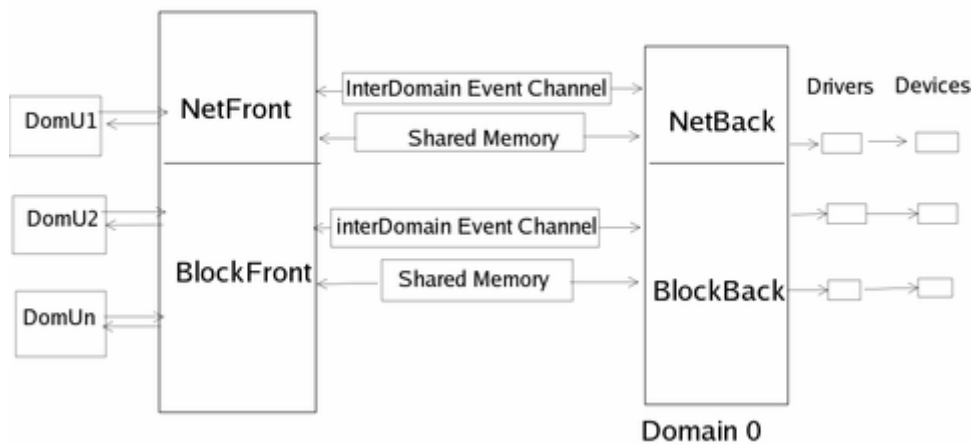
Una mejora que se aplica también es que las actualizaciones se hacen por lotes para amortizar las llamadas al hypervisor.

- **CPU:** La virtualización de CPU en OS virtualizados tiene severas implicancias. Primero la inserción del hypervisor por debajo del sistema operativo viola la regla general que supone que el SO es la entidad más privilegiada del sistema. Para proteger al hypervisor de los SO's estos deben ser modificados para correr a un nivel más bajo de privilegio. La arquitectura x86 permite esto ya que posee 4 niveles de privilegios, estos se describen como anillos y que van desde el anillo 0 hasta el 3. Generalmente en el anillo 0 va el SO y en el anillo 3 corren las aplicaciones, los anillos 1 y 2 no se utilizan. Cualquier SO que cumpla con estas condiciones puede ser portado a Xen, modificándolo para que se ejecute en el anillo 1. Esto permite que el SO virtualizado permanezca aislado de las aplicaciones y previene que ejecute directamente instrucciones privilegiadas que pasa a ser la tarea de Xen. Las instrucciones privilegiadas son paravirtualizadas requiriendo que estas sean validadas y ejecutadas por Xen. Xen mantiene una tabla de descripción de cada manejo de excepción, esto es posible por que la pila de excepciones del x86 se mantiene sin modificaciones en esta arquitectura de paravirtualización. Hay 2 excepciones que ocurren más a menudo, una es la llamada al sistema y otra fallo de páginas. Se mejora la performance permitiendo que el SO registre un manejador de excepción rápida, que es accedida directamente por el procesador, este manejador es validado antes de insertarlo en la tabla de excepciones.

En contraste los fallos de pagina deben ser entregados por medio de Xen para que este retorne el resultado y lo guarde en el contexto del SO virtualizado, anillo 1.

- **Dispositivos de I/O:** utilizando una interfaz segura de hardware se logra un aislamiento de los drivers de dispositivos, restringiendo los recursos de hardware a los que se pueden acceder. Para lograr esto se restringen los privilegios de acceso a los registros de dispositivos de I/O y las líneas de interrupción. También, si las restricciones del hardware permiten, se puede proteger al sistema del mal funcionamiento de dispositivos, aislando las interacciones entre el anfitrión y el dispositivo.

Split Drivers Diagram



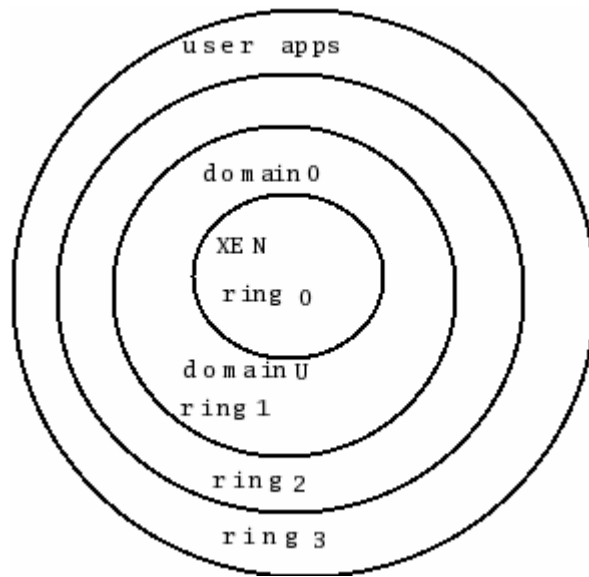
Los SO's virtualizados con menos privilegios que el hypervisor tienen acceso a una capa llamada frontend, que consiste en un netfront y un blockfront, que son drivers virtuales. Las solicitudes de I/O de los SO's se efectúan de manera ordinaria como si lo estuviesen haciendo en su propio hardware. Estas solicitudes en realidad son delegadas al backend y de ahí enviadas a los dispositivos reales.

La Paravirtualización con Xen

Xen utiliza la técnica de paravirtualización para alcanzar una alta performance. A través de la paravirtualización puede alcanzar alta performance inclusive en la arquitectura x86 que no tiene tradicionalmente soporte para técnicas de virtualización. A diferencia de las VMM tradicionales, que proveen un ambiente de ejecución basado en software, exactamente igual al hardware simulado, Xen antes de la versión 3.0 y la tecnología Intel VT, requería que el sistema operativo virtualizado sea portado, parcheando el kernel, para que soporte el API de Xen. Algunos sistemas portados fueron el Plan 9 de Bell Labs, NetBSD, OpenBSD, Linux, FreeBSD, OpenSolaris.

La idea detrás de esto es correr el sistema virtualizado en el anillo 0, sino en uno más alto y menos privilegiado. Esta técnica de correr un sistema en un anillo más alto que el anillo 0 se llama ring deprivileging. La instalación por defecto de Xen en x86 corre los

SO virtualizados en el anillo 1(CPL1) del procesador y el hypervisor en el anillo 0 (CPL 0). Las aplicaciones corren en el anillo 4 sin modificaciones.

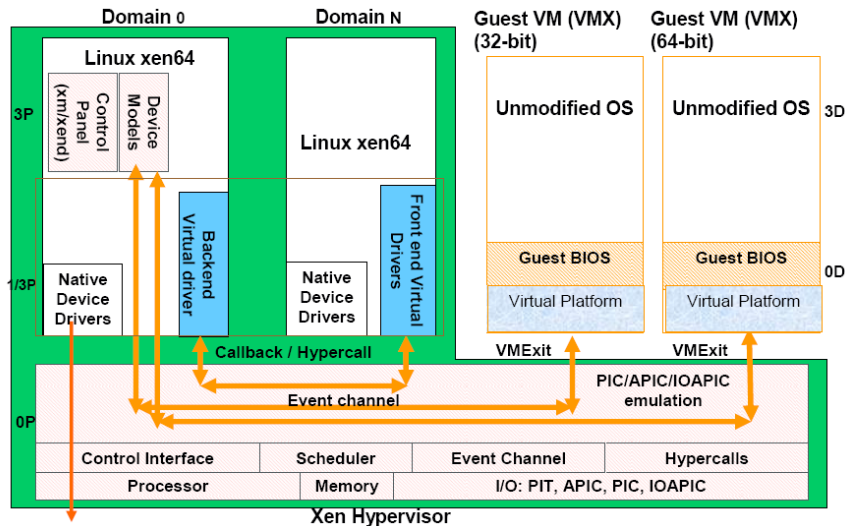


Representación de la Paravirtualización en x86

Existen 250 instrucciones en la arquitectura x86, de las cuales 17 tienen problemas al correrlas en anillo 1, causando fallos de protección general, lo que se hace para solucionar esto es se cambia la llamada producida en el anillo 1 por una hypercall (hyperllamada), esto sería análogo a una llamada al sistema en Linux, lo que se hace entonces es pasar el control del anillo 1 al anillo 0, para que Xen se encargue.

Virtualización asistida por hardware, Intel VT-x con Xen

Intel contribuyó en algunas modificaciones de Xen para soportar las extensiones de la arquitectura VT. Igualmente AMD contribuyó para que Xen soporte las extensiones del AMD-V. Estas tecnologías, a pesar de ser substancialmente diferentes en su implementación y conjunto de instrucciones, se manejan por una capa común de abstracción en Xen y permite que los sistemas operativos invitados corran sin modificaciones en Xen. La virtualización asistida por hardware ofrece un nuevo conjunto de instrucciones como beneficios, estas soportan llamadas directas por el sistema virtualizado al hypervisor, típicamente llamadas de I/O u otras llamadas consideradas hypercalls (hyperllamadas), de las que se encarga el hypervisor. Permite a los sistemas operativos correr sin modificaciones a través del soporte de un modo de ejecución privilegiado adicional para el hypervisor que permite a los SO invitados a ejecutar código en lo que sería el anillo 0 del procesador. Se crearon 2 modos de operación nuevos que son el root operation mode donde corre Xen y el non-root operation mode donde corren los SO sin tener que modificarlos, al correr en este modo los SO están más restringidos significando esto que algunas acciones generan una llamada al o entrada al hypervisor y una salida del SO virtualizador.



Arquitectura de Xen utilizando la tecnología VT-x de Intel

Acá se presenta una breve descripción de las partes fundamentales de Xen funcionando con la tecnología VT-x.

- **Virtualización de Memoria**

La parte de Xen que se encarga de efectuar esta tarea es el modulo de Virtual MMU que se encuentra en el hypervisor de Xen que presenta una abstracción de hardware al SO virtualizado y resumiendo lo ya mencionado anteriormente en la arquitectura de Xen, los SO's virtualizados ven la direcciones virtualizadas y este modulo se encarga de convertirlas a direcciones físicas de la maquina.

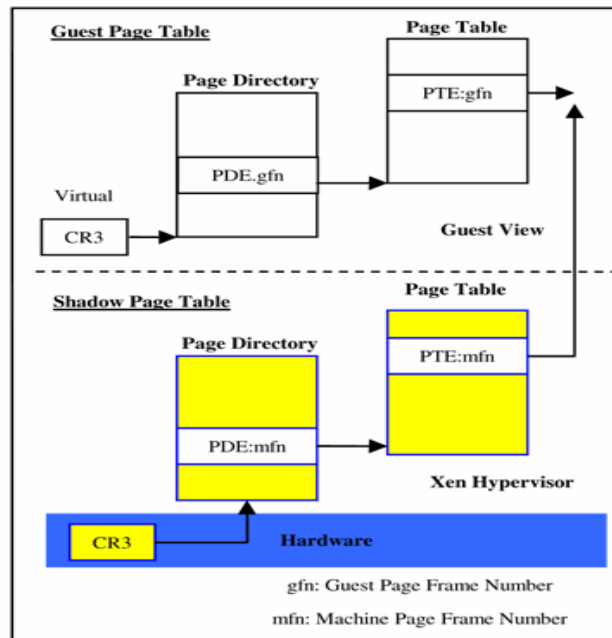


Tabla de páginas sombra para la arquitectura x86

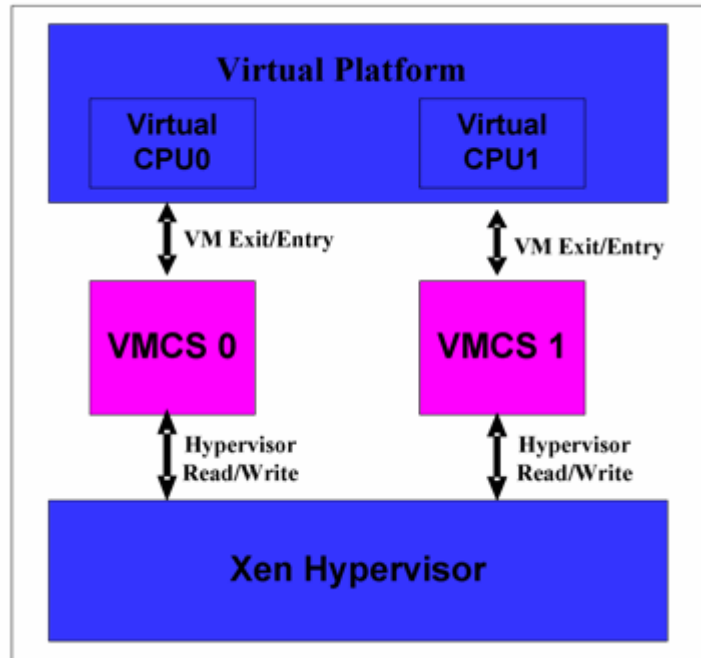
- **Virtualización de CPU**

El modulo que se encarga de hacer esto es Virtual CPU, que se encuentra en el hypervisor, básicamente este provee abstracción del procesador al SO virtualizado. Maneja el procesador virtual y la virtualización asociada a los

eventos cuando el SO se esta ejecutando. Guarda el estado del procesador físico cuando el SO entrega la CPU física y restaura el estado del SO cuando es recalendarizado para volver a usar la CPU física.

Para la arquitectura x86 se crea una VMCS para cada SO virtualizado, el control de la ejecución de cada SO virtualizado es la siguiente:

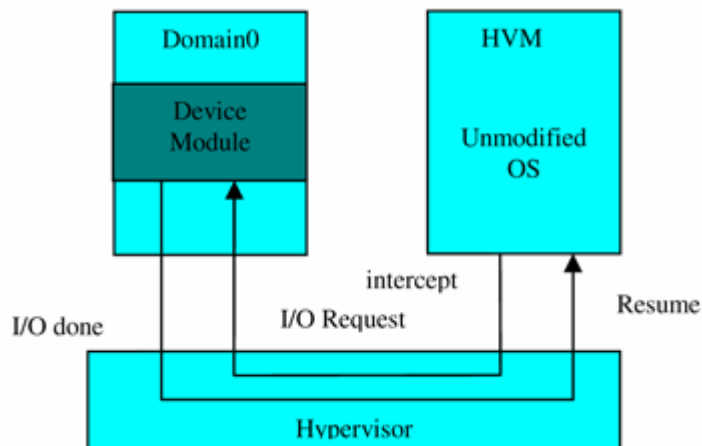
- Las instrucciones restringidas al anillo 0 son interceptadas como un cambio de contexto de la VM a Xen
- La excepciones o fallos, también son interceptados como cambios de contexto y las excepciones virtualizadas se manejan por el propio SO virtualizado
- Las interrupciones externas son interceptadas como cambio de contexto y las virtualizadas atendidas por el SO virtualizado
- Se crean paginas sombra para los SO virtualizados, accesos de lectura a estas paginas no generan cambio de contexto el VMCS simplemente devuelve el valor de la pagina.



VMCS (virtual-machine control structure) pieza clave de Xen para la virtualizacion de CPU

- **Virtualizacion de Dispositivos de I/O**

El modulo de dispositivos, Virtual I/O, que corre en el anillo 0 provee abstracción de un plataforma de hardware a un SO virtualizado. Cada SO en su dominio ve un mouse, un teclado, un reloj de tiempo real, interrupciones programables, temporizadores programables, CMOS, disco duro, floppy, CDROM y tarjeta de gráficos VGA.



Lógica de virtualización de dispositivos

Migración en tiempo real de Maquinas Virtuales

Las maquinas virtuales de Xen pueden migrar en tiempo real entre distintos anfitriones físicos sin pararlos, esta es una de las prestaciones mas interesantes, Esta tecnologia se puede utilizar como solucion para balanceo de carga y mantenimiento de servidores. El procedimiento tiene 2 etapas:

- 1) La primera etapa se llama pre-copiado, en la cual la memoria física es copiada al destino utilizando el protocolo TCP para transferencia a través de la red, mientras tanto la maquina que migra se sigue ejecutando. Después de algunas iteraciones, durante las cuales solo las paginas que están sucias de la ultima iteración se copian, el sistema migrante para.
- 2) En la segunda etapa las paginas restantes se copian y se resume el trabajo en la maquina destino

Una pequeña parada de alrededor de 60-300 ms se requiere para realizar una sincronización final antes de que la maquina virtual empiece a ejecutarse en su destino final, esto provee una ilusión de migración sin interrupción. Esta tecnología es similar a la utilizada para suspender las maquinas virtuales corriendo al disco duro y levantar otra maquina virtual en su lugar, pudiendo resumir la primera maquina virtual en un tiempo futuro.

Comparación de Xen con otros VMM's

Adeos: es básicamente un capa de abstracción de hardware que se puede cargar en el kernel de Linux como un modulo. Fue desarrollado para permitir cargarlo en tiempo real en el kernel como modulo, al mismo tiempo que Linux pero con una mayor prioridad que el propio sistema y no se utilizo para otras cosas aparte de esto

Denali: usa paravirtualización para proveer maquinas virtuales de alta performance en maquinas con arquitectura x86. Soporta el sistema operativo con mínimas prestaciones para servicios de Internet. A diferencia de Xen, Denali no preserva la interfaz binaria de aplicación y por eso las aplicación deben ser recompiladas para correr. La diferencia fundamental entre Denali y Xen es que en el primero lo que se quiere conseguir es correr un numero moderado de SO's con todas las prestaciones y el segundo un numero grande, de hasta miles, de sistemas livianos especializados.

QEMU: (Quick Emulator) puede ser un emulador o un VMM. En modo de virtualización puede correr sistemas operativos sin modificaciones incluyendo Windows, a una velocidad similar al VMWare. Xen utiliza QEMU para emular drivers legados y soportar QCOW un formato de disco duro virtual

Virtuozzo: reemplaza la capa de abstracción de hardware con una versión modificada permitiendo correr así con una mejor performance el SO, pero fuerza a las VM a correr todos en la misma instancia de SO, con alguna flexibilidad para soportar varias distribuciones de Linux en el mismo servidor. Lo que hace es crear ambientes virtuales cada uno con su usuario root propio, conjunto de usuarios, direcciones IP, procesos, archivos, aplicaciones, librerías del sistema y archivos de configuración. Estos pueden ser accedidos a través de la red. Este sistema es ampliamente utilizado en la industria del hosting donde todas las aplicaciones corren sobre el mismo SO.

Microsoft Virtual PC 2004: originalmente Connectix Virtual PC, es el producto de Microsoft gratis para virtualización. Corren en todas las versiones de Windows y en la mayoría de los Linux. Se planea un relanzamiento mejorado para el 2007

Microsoft Virtual Server 2005: Este es el producto comercial de Microsoft, se obtuvo después de que Microsoft compro la empresa Connectix. En junio del 2006 empezó a ofrecer este producto con todas la prestación de forma gratuita, ya que no era competencia para las demas VMM's. Corre en todos los binarios de Windows sin modificación.

VMware: provee virtualización para la arquitectura x86, puede correr sistemas operativos sin modificación. La tecnología involucrada para lograr esto es compleja, tanto que se deteriora la performance notablemente. En contra partida con Xen que utiliza paravirtualización del SO, VMware usa traducción binaria del SO corriendo para parchar el código y que pueda ocurrir la virtualización. Esto incurre notablemente en la performance debido a la cantidad de computación utilizada para la traducción. Su éxito esta en que el VMware ESX Server es por lejos el sistema mas utilizado para virtualización de Windows.

Bochs: es un emulador de PC x86 open source, escrito en C++, de alta portabilidad, que corre en la mayoría de las plataformas mas populares. Incluye emulación de la CPU Intel x86, dispositivos de I/O comunes y algunos BIOS comunes. Actualmente Bochs puede ser compilado para emular 386, 486, Pentium, Pentium Pro o AMD 64, incluyendo el conjunto de instrucciones MMX, SSE, SSE2, 3Dnow!.

Linux- VServer: Permite crear servidores virtuales privados y contextos de seguridad que permite operar como un servidor de Linux normal, muchos servidores independientes pueden ser corridos en simultaneo un una sola computadora. Todos los servicios tipo ssh, mail, Web y base de datos pueden ser levantados en cada una de la VM como si fueran cada uno un servidor real. Cada servidor virtual tiene su propia cuentas de usuarios, root y no interfiere con lo demás servidores.

Solaris Zones: sigue el concepto de VM's livianas, que sigue en desarrollo, originalmente copiando la idea de las celdas de BSD, que se agregaron al FreeBSD en 1999. Sun mejoro el sistema de BSD agregando seguridad mejorada y mayor

integración con los SO. Sun va a soportar la paravirtualización de Xen en Solaris 10 a partir del 2006

Cooperative Linux: es el primer sistema funcional, open source, que permite correr de manera óptima Linux en una plataforma Windows. coLinux es una portación del kernel de Linux que permite que funcione de manera cooperativa en otro sistema operativo en una misma máquina.

Microsoft Viridian: es una reimplementación de la arquitectura de Xen hecha por Microsoft. Va a ser un componente de Windows Vista Server, va a soportar Windows y Linux. El último a través de la cooperación de XenSource, Inc.

Conclusion

Como se había citado en la introducción, la tecnología de virtualización puede ser una solución de bajo costo para las empresas que quieren ahorrar dinero en recursos computacionales pero sin que esto signifique un empobrecimiento de la performance de sus sistemas.

Gracias a los avances en la tecnología de virtualización tanto en el sistema Xen como en el soporte de hardware de empresas como Intel, la virtualización hoy en día es cada vez más posible a un bajo costo y con una alta performance.

Esto se da debido a que la plataforma Xen posee un arquitectura enfocada en el aspecto de obtener alta performance, es open source y se puede obtener gratuitamente, esto crea oportunidades para las organizaciones de reducir su costo total de adquisición y mantenimiento, permitiéndoles inclusive adquirir tecnologías nuevas como Intel VT-x con soporte total para que se aprovechen al máximo los recursos.

También pudimos ver que el trabajo en conjunto entre las empresas Intel y Xen permitieron un avance extraordinario en lo que es la virtualización pasando primero a portar los sistemas para que funcionen a tener un soporte de hardware que permite virtualizar sistemas sin modificación y ofrecer así mayor performance y seguridad en la ejecución de sistemas virtualizados.

Este tipo de tecnología esta en auge nuevamente, ya que tiene en realidad mas de 30 años de historia, pero solo que esta vez a un bajo costo permitiendo que cualquier empresa con medianos recursos puede tener algo que hasta hace poco era solo posible realizando una fuerte inversión y altos costos de mantenimiento.

Gracias al sistema Xen Open Source y de empresas como Intel la tecnología de virtualización junto con las tecnologías hyperthreading y multicore, pueden pasar ser la próxima alternativa en soluciones de servidores para empresas de costo bajo y alta performance.

Bibliografía

- <http://wiki.xensource.com>
- <http://www.linuxjournal.com/article/8540> Introduction to the Xen Virtual Machine
- <http://www.linuxjournal.com/article/8909> Virtualization in Xen 3.0
- <http://www.cl.cam.ac.uk/Research/SRG/netos/xen/> University of Cambridge, UK
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Xen>
- <http://www.computer.org/computer> Keyword: virtulizacion technology.
- <http://www.intel.com/technology/itj/2006/v10i3/3-xen/4-extending-with-intel-vt.htm> Intel® Virtualization Technology
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Xen_\(virtual_machine_monitor\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Xen_(virtual_machine_monitor))