Virtualización de Recursos por un Hypervisor Tipo 2

Un hipervisor Tipo 2 funciona como una capa de software que se ejecuta sobre un sistema operativo anfitrión. Utiliza las APIs, controladores y servicios del sistema anfitrión para gestionar recursos y proporcionar un entorno virtualizado a las máquinas virtuales (VMs). A continuación, exploramos cómo virtualiza cada recurso con ejemplos detallados.

1. Virtualización de la CPU

La CPU es el núcleo de cualquier sistema computacional. La virtualización permite que múltiples sistemas operativos compartan la misma CPU sin interferir entre sí. Los hipervisores Tipo 2 utilizan dos técnicas principales:

1. **Traducción Binaria:**
   - **¿Qué es?** Es un proceso donde el hipervisor intercepta instrucciones privilegiadas del sistema operativo invitado (Guest OS) y las traduce a instrucciones seguras.
   - **Ejemplo:**
     - Registro **CR3**: Es un registro en procesadores x86 que almacena la dirección base de la tabla de páginas de memoria. Si una VM intenta modificar este registro para cambiar su contexto de memoria (algo crítico en sistemas multitarea), el hipervisor intercepta esta acción y la redirige al sistema anfitrión para evitar accesos indebidos al hardware físico.
   - **Implicación:** Esto asegura que el Guest OS nunca acceda directamente a los registros de hardware del procesador, preservando la estabilidad del sistema anfitrión y de otras VMs.
2. **Soporte de Virtualización por Hardware (Intel VT-x y AMD-V):**
   - **¿Qué es?** Son tecnologías que dividen el procesador en contextos separados para cada VM, permitiendo que estas ejecuten instrucciones sensibles sin necesidad de traducción.
   - **Ejemplo:**
     - Al habilitar Intel VT-x, el procesador crea un modo "VMX root" donde cada máquina virtual tiene su propio contexto aislado. Esto significa que las instrucciones sensibles, como accesos a registros o interrupciones de hardware, se ejecutan directamente en hardware, mejorando el rendimiento.

2. Virtualización de la Memoria

La memoria es un recurso esencial que debe estar aislado entre VMs para evitar conflictos. El hipervisor utiliza los siguientes mecanismos:

1. **Tablas de Páginas Sombreadas (Shadow Page Tables):**

- **¿Qué son?** Son estructuras de datos mantenidas por el hypervisor que mapean las direcciones virtuales utilizadas por una VM a las direcciones físicas reales del anfitrión.
- **Ejemplo técnico:**
  - Una VM accede a la dirección virtual 0x1000, pensando que es su espacio de memoria dedicado. El hypervisor consulta su tabla de páginas sombreada y traduce esta dirección a la física real del anfitrión, como 0x2000.
- **Implicación:**
  - "Sombreada" significa que la tabla es una copia gestionada por el hipervisor para mantener el aislamiento. Este mecanismo garantiza que las VMs nunca accedan directamente a la memoria de otras VMs ni del anfitrión.

2. **Second Level Address Translation (SLAT):**
   - **¿Qué es?** Es una extensión de hardware que delega las traducciones de memoria al procesador, reduciendo la carga del hipervisor.
   - **Ejemplo:**
     - Intel Extended Page Tables (EPT) permite que el procesador realice automáticamente la conversión de direcciones virtuales del invitado a físicas del anfitrión, eliminando la necesidad de traducción manual por el hipervisor.
   - **Implicación:** Esto mejora significativamente el rendimiento, permitiendo que se ejecuten más VMs simultáneamente.

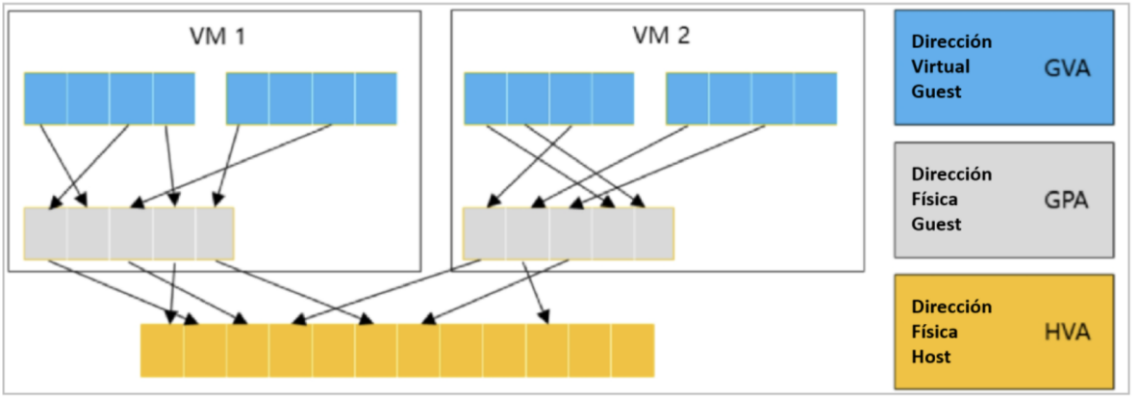

Figura 1. Virtualización de memoria

3. Virtualización del Almacenamiento

El almacenamiento virtualizado permite que cada VM tenga discos independientes sin interferir entre sí:

1. **Discos Virtuales:**
   - **¿Qué son?** Archivos contenedores creados en el sistema anfitrión que actúan como discos duros para las VMs.
   - **Ejemplo:**

        - Un archivo .vdi de VirtualBox contiene toda la estructura de un disco virtual, incluyendo particiones y datos de una VM. Cuando una VM lee o escribe en este disco, realmente está accediendo a este archivo.
    - **Implicación:** Permite gestionar discos fácilmente: clonar, redimensionar o crear snapshots sin modificar el hardware físico.
2. **Controladores Emulados:**
    - **¿Qué son?** Software que simula dispositivos estándar como IDE o SATA, facilitando la compatibilidad con cualquier sistema operativo invitado.

4. Virtualización de la Red

El hipervisor crea una red virtual que conecta VMs entre sí y con el exterior:

1. **Adaptadores de Red Virtuales:**
    - **Modos de conexión:**
        - **NAT:** Las VMs comparten la IP del anfitrión, lo que simplifica el acceso a internet.
        - **Bridged Networking:** Cada VM recibe su propia IP en la red física, ideal para entornos de prueba avanzados.
        - **Red Interna:** Exclusiva para comunicación entre VMs dentro del mismo hypervisor.
    - **Ejemplo:** Un adaptador virtual asignado a una VM aparece como una tarjeta de red en su sistema operativo, aunque no esté conectado físicamente.
2. **Intercambio de Paquetes:**
    - **¿Qué es?** Los paquetes enviados desde una VM son interceptados por el hipervisor, procesados y redirigidos según las reglas de la red virtual.

5. Virtualización de Dispositivos

Los dispositivos virtualizados permiten que las VMs interactúen con hardware real o emulado:

1. **Dispositivos Emulados:**
    - **Ejemplo:** Una tarjeta gráfica virtual permite renderizado básico, como mostrar el escritorio de una VM. Sin embargo, su rendimiento es limitado.
2. **Passthrough de Dispositivos:**
    - **¿Qué es?** Proporciona acceso directo a dispositivos físicos, como una GPU o un controlador de red, a una VM específica.
    - **Ejemplo:** Un GPU passthrough permite a una VM ejecutar aplicaciones de alto rendimiento, como renderizado 3D, con acceso directo al hardware.

Desafíos Técnicos del Hypervisor Tipo 2

1. **Latencia Adicional:** Introducida por la capa anfitriona, afecta operaciones sensibles al tiempo real.
2. **Competencia por Recursos:** Las VMs comparten recursos con el anfitrión, lo que puede degradar el rendimiento.
3. **Overhead de Traducción:** Algunas operaciones, como accesos a dispositivos, aún requieren emulación.

Conclusión

Un hipervisor Tipo 2 utiliza técnicas avanzadas como tablas de páginas sombreadas, SLAT y passthrough de dispositivos para ofrecer entornos virtualizados flexibles y eficientes. Aunque presenta desafíos, su facilidad de uso y compatibilidad lo convierten en una herramienta fundamental para desarrollo, pruebas y aprendizaje.