

Administración de E/S

Fernando Schapachnik

Departamento de Computación, FCEyN,
Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

Sistemas Operativos, primer cuatrimestre de 2025

(2) Hasta ahora...

- Hablamos varias veces sobre hacer E/S.
- Los dispositivos de E/S pueden ser categorizados como de almacenamiento, comunicaciones, interface de usuario y otros.
- Nos vamos a concentrar principalmente en los dispositivos de almacenamiento.

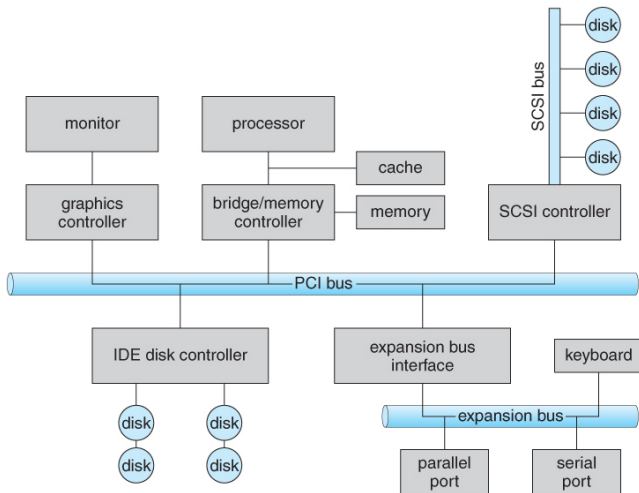
(3) Con qué lidiamos

- Tradicionalmente, con respecto al almacenamiento, los SO se tenían que preocupar de:
 - Discos rígidos. Siguen siendo la preocupación primaria.
 - Unidades de cinta. Actualmente se usan más que nada para hacer copias de seguridad.
 - Discos removibles: disquettes, CDs, DVDs.
- También hay discos virtuales, que están en otro punto de la red y a los que se accede mediante ella.
 - NFS, CIFS, DFS, AFS, Coda por nombrar algunos.
 - De manera genérica se los llama *NAS: Network Attached Storage*.
- Existen también otras alternativas :
 - *Storage Area Network (SAN)*: se trata de tener el almacenamiento en la red, pero una red especial, donde los protocolos son específicos para este tipo de datos (son de más bajo nivel).

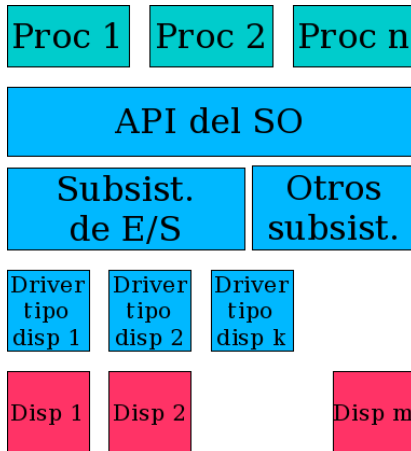
(4) Esquema de E/S

- Para nosotros, un dispositivo de E/S va a tener, conceptualmente, dos partes:
 - El dispositivo *físico*.
 - Un *controlador del dispositivo*: interactúa con el SO mediante algún tipo de bus o registro.

(5) Estructura típica de BUS de PC



(6) Administrador de E/S




(7) Los drivers

- Los drivers son componentes de software muy específicos.
- Conocen las particularidades del HW contra el que hablan.
- Incluso distintos modelos de un mismo fabricante pueden requerir distintos drivers.
- Ejemplo: ¿para indicar fin de la operación hay que leer el segundo o el cuarto bit? Esa información sólo la conoce el driver.
- Los drivers son clave.
 - Corren con máximo privilegio: pueden hacer colgarse a todo el sistema.
 - De ellos depende el rendimiento de E/S, que es fundamental para el rendimiento combinado del sistema.

(8) Interacción con los dispositivos

- Polling
 - El driver periódicamente verifica si el dispositivo se comunicó.
 - Ventajas: sencillo, cambios de contexto controlados.
 - Desventajas: Consume CPU.
- Interrupciones (o push)
 - El dispositivo avisa (genera una interrupción).
 - Ventajas: eventos asincrónicos poco frecuentes.
 - Desventajas: cambios de contexto impredecibles.
- DMA (acceso directo a memoria)
 - Para transferir grandes volúmenes (la CPU no interviene).
 - Requiere de un componente de HW, el controlador de DMA.
 - Cuando el controlador de DMA finaliza, interrumpe a la CPU.

(9) Subsistema de E/S

- Se ocupa de proveerle al programador una API sencilla:
 - `open()` / `close()`
 - `read()` / `write()`
 - `seek()`
- Sin embargo, hay cosas que no se pueden (o deben) ocultar.
Ejemplo: algunas aplicaciones necesitan enterarse si no lograron acceso exclusivo a un dispositivo.
- La misión del SO es hacer esto de manera correcta y eficiente.
- Esa responsabilidad está compartida entre el *manejador de E/S* y los *drivers*. 

(10) Subsistema de E/S

- Los dispositivos pueden separarse en dos grupos:
 - Char device
 - Block device

Char device

Dispositivos en los cuales se transmite la información byte a byte. Ejemplos: mouse, teclado, terminales o puerto serie. Debido a su acceso secuencial (byte a byte) no soportan acceso aleatorio y no utilizan *cache*.


Block device

Dispositivos en los cuales se transmite la información en bloque. Ejemplos: disco rígido, flash memory o CD-ROM. Permite el acceso aleatorio y por lo general utilizan un buffer (*cache*).


(11) Linux /dev

crw-rw-rw-	1	root	wheel	17, 1 Apr 27 07:41	cu.Bluetooth
b rw-r---	1	root	operator	1, 0 Apr 27 07:41	disk0
crw-rw-rw-	1	root	wheel	24, 2 Apr 27 07:41	dtrace
c rw-r---	1	root	operator	1, 0 Apr 27 07:41	rdisk0


(12) Subsistema de E/S

- El diálogo con estos dispositivos tiene las siguientes características:
 - Son de lectura, escritura o lecto-escritura.
 - Brindan acceso secuencial o aleatorio (sería mejor decir arbitrario).
 - Son compartidos o dedicados.
 - Permiten una comunicación de a caracteres o de a bloques.
 - La comunicación con ellos es sincrónica o asincrónica.
 - Tienen distinta velocidad de respuesta.
- Una de las funciones del SO, en tanto API de programación, es brindar un acceso consistente a toda la fauna de dispositivos ocultando las particularidades de cada uno de ellos tanto como sea posible. 

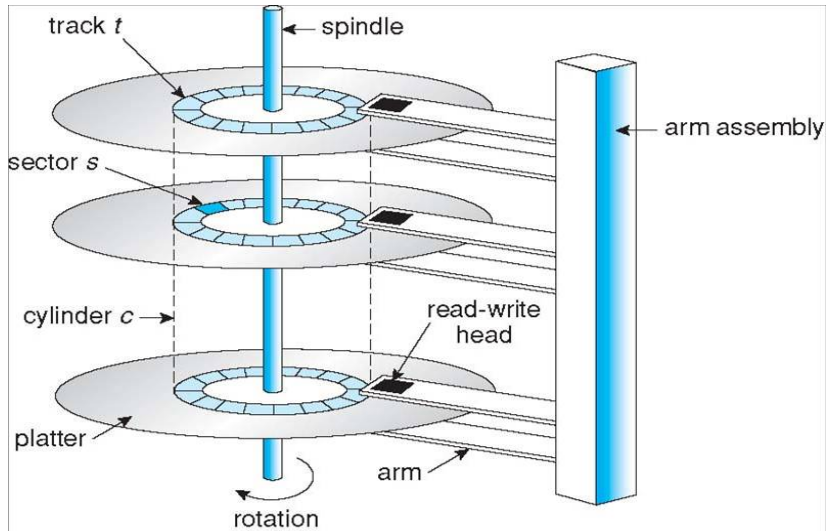
(13) API del Subsistema de E/S

- Todo es un archivo 
- Se proveen funciones de *alto* nivel para acceso a archivos:
 - `fopen`, `fclose`
 - `fread`, `fwrite`: Leer/escribir archivos en modo bloque.
 - `fgetc`, `fputc`: Leer/escribir archivos en modo char.
 - `fgets`, `fputs`: Leer/escribir archivos en modo char stream.
 - `fscanf`, `fprintf`: Leer/escribir archivos en modo char con formato.

(14) Planificación de E/S

- Una de las claves para obtener un buen rendimiento de E/S es manejar apropiadamente el disco.
- Recordemos: hay una cabeza que se mueve. Moverla toma tiempo.
- Queremos minimizar esos movimientos.
- Pero los pedidos de E/S a disco llegan constantemente, incluso antes de que terminemos con uno.
- Por eso, la planificación de disco se trata de cómo manejar la cola de pedidos de E/S para lograr el mejor rendimiento posible. 
- Es decir, no sólo hay que manejar el *ancho de banda*, que es la cantidad de bytes que se pueden transferir a la vez, y la *latencia rotacional*, que es el tiempo necesario para que el disco rote y la cabeza quede sobre el sector deseado.
- Lo más importante es el *tiempo de búsqueda* o *seek time*, que es el tiempo necesario para que la cabeza se ubique sobre el cilindro que tiene el sector buscado.

(15) Mecanismo de movimiento de cabezas de disco



(16) Políticas de scheduling de E/S a disco

- El esquema más simple es *FIFO* o *FCFS* (*First Come, First Served*).
- Imaginemos que la cola tiene pedidos para los cilindros: 20, 200, 10.
- Problema, la cabeza va de acá para allá, como bola sin manija.
- Otro esquema posible es *SSTF*: *Shortest Seek Time First*.
- La idea es atender como próximo pedido al más cercano a donde está la cabeza en el momento.
- Si bien mejora los tiempos de respuesta, puede producir inanición.
- Notar que es un algoritmo goloso, pero no es óptimo.

(17) Políticas de scheduling de E/S a disco

- Otra posibilidad es el algoritmo *scan* o *del ascensor* (*elevator*).
Idea: ir primero en un sentido, atendiendo los pedidos que encuentro en el camino, luego en el otro.
- Podría suceder que llegue una solicitud para el cilindro inmediato anterior, pero tenga que esperar a que cambie de dirección.
- Además, el tiempo de espera no es tan uniforme.
- En la práctica, ninguno de estos algoritmos se utiliza de manera pura: hay prioridades (por ejemplo, bajar páginas de cachés, o swapping de procesos), etc.

(18) Primer HD de IBM, circa 1956

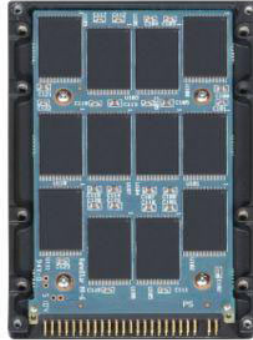


5M (7 bit) caracteres - tiempo de acceso = < 1 segundo

(19) La tecnología evoluciona



Traditional hard disk drive



Solid state hard drive

(20) SSD - Solid State Drive

- Los “discos” de estado sólido han mejorado sus prestaciones y disminuido su precio.
- Son más livianos, resistentes y silenciosos. Consumen menos energía.
- Tienen mejor performance en la lectura que los HDD, al no tener componentes mecánicos. La escritura es más compleja.
- Problema de durabilidad y *write amplification*.

(21) Gestión del disco

- Formateo:

- Se trata de poner en cada sector unos códigos que luego sirven a la controladora de disco para efectuar detección y corrección de errores.
- Funcionan como un prefijo y un postfijo a la parte donde efectivamente van los datos en cada sector.
- Si al leer un sector, el prefijo y postfijo no tienen el valor que deberían, el sector está dañado.

- Booteo:

- Las computadoras suelen tener un minúsculo programa en ROM que carga a memoria ciertos sectores del comienzo del disco, y los comienza a ejecutar.
- El programa cargado es muy pequeño. No llega a ser el SO, sino más bien un cargador del SO.

(22) Gestión del disco (cont.)

- Bloques dañados:
 - A veces se manejan por software, y el sistema de archivo es responsable de anotar los inválidos. Ejemplo: FAT.
 - Los discos SCSI vienen con sectores extra para reemplazar a los defectuosos.
 - Cuando la controladora detecta un bloque dañado actualiza una tabla interna de remapeo y utiliza otro sector.
 - Para no interferir con las optimizaciones del scheduler de E/S, los discos a veces traen sectores extra en todos los cilindros.


(23) Spooling

- *Spooling* es una forma de manejar a los dispositivos que requieren acceso dedicado en sistemas multiprogramados. ⚠
- El caso típico es la impresora.
- Cuando un usuario manda a imprimir no queremos que se bloquee hasta que terminen de imprimir los demás.
- La idea es poner el trabajo en una cola, y designar un proceso que los desencole a medida que el dispositivo se libere.
- Notar:
 - El kernel no se entera de que se está haciendo spooling.
 - El usuario sí. ⚠
- El nombre viene de *Simultaneous Peripheral Operation On-Line*.


(24) Otros usos de E/S: locking

- POSIX garantiza que `open(..., O_CREAT | O_EXCL)` es atómico y crea el archivo si no existe o falla si ya existe.
- Eso brinda un mecanismo sencillo, aunque no extremadamente eficiente, de exclusión mutua.
- Suele ser usado para implementar locks.

(25) Protección de la información

- ¿Tiene sentido proteger la información? 
- La pregunta que debe responderse es cuál es el valor de la información que estoy protegiendo:
 - Cuánto vale para mí.
 - Qué pasa si se pierde.
 - Qué cosas no puedo hacer sin ella.
- En base a eso debo asignarle un valor a la información y tomar una política de resguardo.
- En general esta política va a tener un costo (económico y/o en términos de esfuerzo) proporcional al valor de la información.
- Algunas estrategias de protección:
 - MSSVR: “¡Mirá si se va romper!”
 - Estudios recientes demostraron que no suele ser muy efectiva.
 - La estrategia del medioevo: organizar una cadena de oración en la oficina para que el disco no reviente.
 - Hay métodos más sofisticados...


(26) Copias de seguridad

- Hacer una copia de seguridad (*backup*) consiste en resguardar todo lo importante en otro lado. 
- Cosas que hay que hacer todos los días sí o sí (en orden de importancia):
 - 1) *Hacer backup.*
 - 2) Respirar.
 - 3) Otras actividades de menor importancia.
- Se suele hacer en cinta, incluso en bibliotecas de cintas robotizadas.
- Toma tiempo, y por eso se suele programar a los sistemas para que lo hagan por la noche.
- Otra estrategia consiste en copiar los datos a otro disco. Si es removible mejor.

(27) Copias de seguridad (cont.)

- Copiar *todos* los datos puede ser muy costoso.
- Una estrategia muy común consiste en:
 - Una vez al {mes|semana|etc.} hacer una copia *total*.
 - Todas las noches realizar una copia *incremental*: sólo los archivos modificados desde la última copia incremental.
 - Alternativamente, realizar una copia *diferencial*: sólo los archivos modificados desde la última copia total.
- Para restaurar:
 - Si hago sólo copias totales, tomo la del día correspondiente y listo.
 - Si hago copias diferenciales, necesito la última copia total más la última diferencial.
 - Si lo que tengo son incrementales, necesito la última copia total y todas las incrementales entre ésa copia total y la fecha requerida.
- Es decir:
 - Hoy = Último total + último diferencial
 - Hoy = Último total + $\sum_i \text{Incremental}_i$

(28) Redundancia

- A veces una copia de seguridad no alcanza.
- El costo de que el sistema salga de línea es muy alto.
- Entonces, conviene implementar redundancia.
- Un método muy común es *RAID: Redundant Array of Inexpensive Disks*. 
- La idea, en su forma más elemental es usar dos discos: cada escritura se hace en los dos. Si uno se rompe, tengo el otro.
- Esta alternativa se llama *espejo* o *mirror* y si bien es conveniente, puede ser muy costosa.
- Sin embargo, aporta una ventaja adicional. Puedo hacer dos lecturas a la vez, una en cada disco.
- En realidad, hay varios niveles de RAID, que tienen diferentes ventajas/desventajas en cuanto a rendimiento y redundancia.

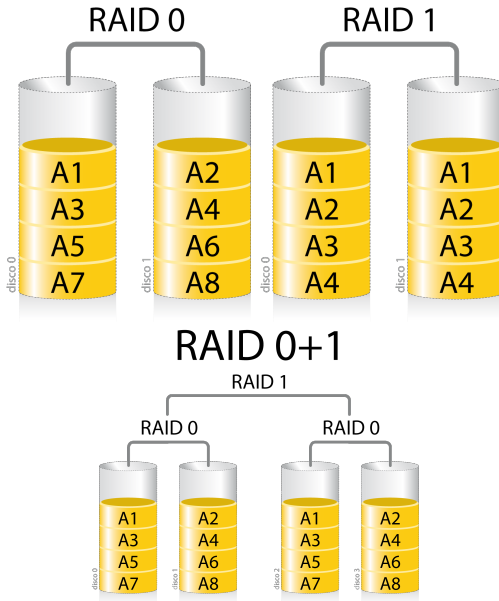
(29) Niveles de RAID

- RAID 0 (*stripping*):
 - No aporta redundancia.
 - Pero mejora el rendimiento: los bloques de un mismo archivo se distribuyen en dos (o más) discos.
 - Mejora el ancho de banda, permite escrituras en paralelo (si los discos están en diferentes controladoras).
- RAID 1 (*mirroring*):
 - Espejado de los discos.
 - Mejora el rendimiento de las lecturas.
 - Las escrituras, en mejor caso, tardan lo mismo, en peor, el doble.
 - Es muy caro.

(30) Niveles de RAID (cont.)

- RAID 0+1:
 - Combina los dos anteriores: espejado y stripping.
 - Es decir: cada archivo está espejado, pero al leerlo leo un bloque de cada disco.
 - Lo leo más rápido que en mirroring simple. Como si fuera stripping.
 - Pero al escribir, tengo que escribir cada bloque en ambos, como en mirroring.

(31) Niveles de RAID



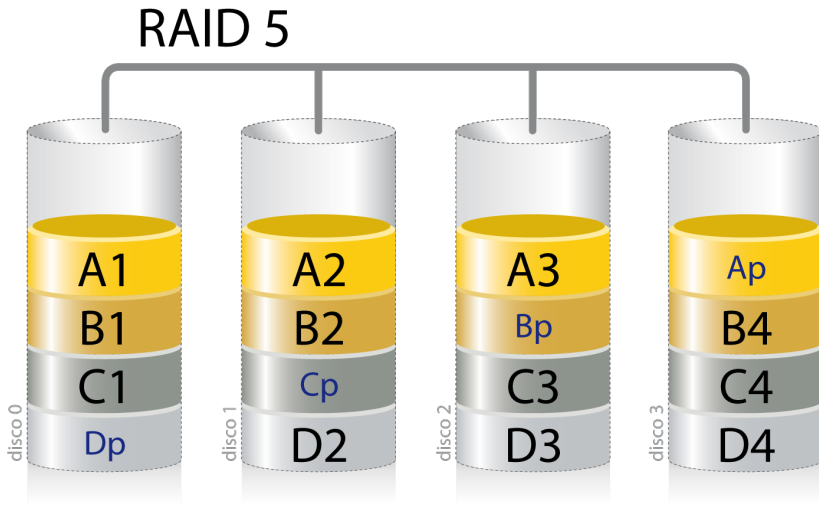
(32) Niveles de RAID (cont.)

- RAID 2 y 3:
 - La idea es tener, por cada bloque, guardada información adicional que permita determinar si se dañó o no.
 - Además, cierto tipo de errores se pueden corregir automáticamente, recomputando el bloque dañado a partir de la información redundante.
 - Adicionalmente, cada bloque lógico se distribuye entre todos los discos participantes.
 - RAID 2 requiere 3 discos de paridad por cada 4 de datos mientras que RAID 3 requiere sólo 1.
 - Sin embargo, todos los discos participan de todas las E/S, lo cual lo hace más lento que RAID 1.
 - Puede requerir mucho procesamiento para computar las redundancias.
 - Por eso se suele implementar por HW en una controladora dedicada, al igual que todos los niveles siguientes.

(33) Niveles de RAID (cont.)

- RAID 4:
 - Es cómo RAID 3, excepto que hace el stripping a nivel de bloque (ie, cada bloque en un solo disco).
 - El disco dedicado a paridad sigue siendo un cuello de botella para el rendimiento, porque todas las escrituras lo necesitan.
- RAID 5:
 - Junto con 0, 1, y 0+1 es de los más usados en la práctica.
 - También usa datos redundantes, pero los distribuye en $N+1$ discos.
 - Es decir, no hay un disco que sólo contenga redundancia.
 - Cada bloque de cada archivo va a un disco distinto.
 - Para cada bloque, uno de los discos tiene los datos y otro tiene la información de paridad.
 - Si bien ya no hay cuello de botellas para las escrituras hay que mantener la paridad distribuida, lo que no es sencillo.
 - Puede soportar la pérdida de un disco cualquiera.
 - Cuando se reemplaza y comienza la reconstrucción, el rendimiento se degrada notablemente.


(34) RAID 5



- RAID 6

- Es como RAID 5, pero agrega un segundo bloque de paridad, también distribuido entre todos los discos.
- Las implementaciones varían, pero el objetivo principal es soportar la rotura de hasta dos discos.
- Considerando que RAID 5 se suele usar con un *hot spare*, no hay diferencia sustancial en el espacio “desperdiciado” (a grandes rasgos).

(36) Sin embargo...

- RAID no protege contra borrar (o modificar) un archivo accidentalmente.
- Por eso se combina con copias de seguridad (no son excluyentes). 
- Si la aplicación corrompe los datos, ningún mecanismo sirve.
- Si se corrompe la estructura interna de los archivos, RAID tampoco ayuda.
- Para eso hay sistemas de archivos que brindan algo de protección.