Sistemas de archivos: Archivos y directorios

Gunnar Wolf

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Índice

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Sistemas de archivos

- Gestión del espacio de almacenamiento
- Probablemente el rol con más visibilidad de los que cubren los sistemas operativos
  - Comprendido casi universalmente por los usuarios

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Abstracción primaria

- El modelo primario, con el cual todos estaremos familiarizados, es el del *directorio jerárquico*
- Unidad de almacenamiento visible al usuario: *Archivo*
  - No podemos grabar información como no sea en un archivo
  - Se ubica por un *nombre* (o por una *ruta*) en el *directorio*
- Una de las abstracciones más longevas en la historia de la computación

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Tipo de datos abstracto

- Cuando hablamos de *manejo de archivos*, necesariamente lo hacemos a través de un *tipo de datos abstracto*
  - Esto es, en el lenguaje y bajo el paradigma que sea, un tipo de programación *orientada a objetos*
  - Una estructura de datos (*archivo*) es *opaca* (no se puede accesar a sus contenidos más que a través de operaciones que trabajan *en su interior*)
  - Hay una serie de *operaciones definidas*
- Cada sistema operativo nos presenta un *conjunto de operaciones* que define la *semántica de archivos* que maneja

Operaciones con archivos

Hay algunas diferencias entre sistemas operativos, pero en general tendremos las siguientes operaciones disponibles:

- Crear
- Borrar
- Abrir
- Cerrar
- Leer
- Escribir
- Reposicionar (*seek*)

Operaciones con archivos: *Crear*

- Asigna una entrada en el *directorio* para un nuevo archivo
- Posiblemente, también asigna espacio en el dispositivo para sus contenidos.

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Operaciones con archivos: *Borrar*

- Elimina al archivo del directorio
- Si corresponde, libera el espacio del dispositivo que el archivo emplea

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Operaciones con archivos: *Abrir*

- Verificar si tenemos acceso para el *modo de acceso* indicado
- Verificar si el medio soporta el *modo de acceso*
  - Por ejemplo, no podemos abrir para escritura un archivo en un disco de sólo lectura
  - Aunque tengamos permisos
- Asigna un *descriptor de archivos* a la relación entre el proceso y el archivo en cuestión
- Es necesario abrir un archivo para todas las operaciones que realizaremos con sus datos

Operaciones con archivos: *Cerrar*

- Indica al sistema que el proceso terminó de usar al archivo
- El sistema vacía los buffers a disco
- El sistema elimina la relación archivo-proceso de las *tablas* activas
- Se invalida al *descriptor de archivo*
- Si un proceso cierra un archivo y quiere emplearlo *de cualquier manera*, tiene que volverlo a abrir explíticamente.

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Operaciones con archivos: *Leer*

- Indicamos al sistema un buffer donde poner el resultado
- El sistema copia el siguiente *pedazo* de información en el archivo hacia el buffer
  - ¿Qué es *siguiente*?

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Operaciones con archivos: *Leer*

- Indicamos al sistema un buffer donde poner el resultado
- El sistema copia el siguiente *pedazo* de información en el archivo hacia el buffer
  - ¿Qué es *siguiente*? Lo que indique el *apuntador de última posición*
  - ¿Qué es *pedazo*?

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Operaciones con archivos: *Leer*

- Indicamos al sistema un buffer donde poner el resultado
- El sistema copia el siguiente *pedazo* de información en el archivo hacia el buffer
  - ¿Qué es *siguiente*? Lo que indique el *apuntador de última posición*
  - ¿Qué es *pedazo*? Un bloque de longitud fija, una línea de texto — dependiendo del modo en que esté abierto el archivo / solicitada la lectura

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Operaciones con archivos: *Escribir*

- Indicamos un buffer al sistema
- El sistema copia de dicho buffer al archivo
- ¿A qué parte del archivo?

Truncar Descartar al contenido actual del archivo (pero no su entrada en el directorio) y reemplazar por lo que indique el buffer

Agregar (*append*) Se guarda la información al final del archivo ya existente

Escribir tras la última posición Se puede seguir un apuntador análogo al que presentamos en la lectura

Operaciones con archivos: *Reposicionar* (*seek*)

- Lectura y escritura se hacen siguiendo a un apuntador
- El apuntador puede ser *reposicionado* arbitrariamente dentro del archivo
  - O, si está abierto en modo de escritura, a veces fuera del mismo
  - No todos los sistemas lo soportan, pero puede emplearse para crear un archivo muy grande empleando *archivos dispersos*:
    - Se crea un archivo vacío
    - Reposicionamos a cierta posición lejana (digamos, +50MB)
    - Grabamos un sólo bloque

Semántica de unidad de cinta

- La forma en que opera este conjunto de funciones presenta una semántica en que cada archivo se comporta como si fuera una unidad de cinta
  - Apuntador $\rightarrow$ Cabeza lectora
  - Posición actual, mas rebobinado/adelantado
  - Lectura/escritura secuencial

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Tablas de archivos abiertos

- Cuando se abre un archivo, se crean entradas para representarlo en dos diferentes tablas

  Global Todos los archivos abiertos en el sistema
  - La referencia debe seguirse manejando por un descriptor global: Probablemente, por *i-nodo* (lo veremos a detalle posteriormente)

  Por proceso Los archivos empleados por cada uno de los procesos
  - La referencia a cada archivo se hace por *descriptor de archivo*

Tablas de archivos abiertos

- *Semántica* (¿cuál es el comportamiento?) de al haber múltiples procesos abriendo un archivo:
  - Depende del sistema operativo
- Estas tablas no deben caer en *redundancia*
  - Cada una tiene información distinta y específica

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Tabla global de archivos abiertos (1)

Conteo de usuarios del archivo El sistema debe saber cuántos procesos *dependen* del archivo y de qué manera. Se emplea, por ejemplo, para determinar si una unidad puede ser *desmontada*, para saber si un archivo puede ser abierto para escritura, etc.

Modos de acceso Aunque un usuario tenga los *permisos* necesarios para determinado acceso al archivo, el sistema puede negarlo si esto lleva a *inconsistencias* (p.ej. dos procesos abriendo un mismo archivo para escritura)

Tabla global de archivos abiertos (2)

Ubicación en disco El o los bloques físicos en disco donde se ubica cada fragmento del archivo, evitando que cada proceso tenga que consultar el directorio (y estructuras relacionadas) para cada acceso

Información de bloqueo Si el modo de acceso requiere sincronización explícita (manejo de *bloqueo*), puede representarse en la tabla global.

Tabla por proceso de archivos abiertos

Descriptor de archivo Relación entre el archivo abierto (típicamente especificado por *nombre*) y un identificador numérico con que lo manejamos *dentro del proceso*.
Un mismo archivo tendrá diferente *descriptor de archivo* en cada proceso.

Permisos Modos válidos de acceso para un archivo. *No es igual* a los permisos del archivo *en disco* — Es la intersección de dichos permisos con el *modo* en el que fue abierto el archivo.

Bloqueos

- Los archivos pueden emplearse como mecanismo de comunicación entre procesos
- Incluso a lo largo del tiempo
- Pero también pueden causar problemas de sincronización
  - Pueden ser abiertos por procesos no relacionados
  - Al ser manipulados de forma concurrente, pueden llevar a corrupción o pérdida de datos
- Podemos manejar diferentes tipos de bloqueo (o *candado*) sobre los archivos
  - En algunos sistemas, incluso sobre *rangos* dentro de cada uno de ellos
  - Compartido vs. exclusivo
  - Mandatorio vs. consultivo

Compartido vs. exclusivo

Compartido (*shared lock*)

- Típicamente empleado para asegurar la lectura concurrente
- Varios procesos pueden adquirir el bloqueo compartido a la vez
  - Esto indica, varios procesos están *leyendo* del archivo
- Tienen la *expectativa* de que el archivo no sufrirá modificaciones

Exclusivo (*exclusive lock*)

- Un sólo proceso puede adquirirlo a la vez
- Indica que el archivo va a ser modificado

Candados *mandatorio* vs. *consultivo*

Mandatorio u obligatorio (*mandatory locking*)

- Una vez que un proceso adquiere este candado, el sistema operativo impone las restricciones a todos los demás procesos
- Independientemente de si estos conocen o no de la posibilidad de que este bloqueo se presente

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Candados *mandatorio* vs. *consultivo*

Asesor o consultivo (*advisory locking*)

- Es manejado exclusivamente entre los procesos involucrados
- Un proceso que no sepa del bloqueo *consultivo* puede brincárselo
- Pero es mucho más *ligero* al sistema operativo

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

¿Recuerdan las *primitivas de sincronización*?

- Los archivos son *recursos* gestionados por el sistema operativo, como los casos que vimos en la unidad de *administración de procesos*
- Compartido / exclusivo: Muy parecida al *patrón lectores/escritores*
- Mandatorio / consultivo: Podríamos manejar a los *monitores* como mandatorios, y a los *mutexes* y *semáforos* como consultivos
- Corolario: ¡Administrando archivos y bloqueos también podemos caer en bloqueos mutuos!

Matriz incompleta, explicativa

- De estos 2×2 candados, esperaríamos que hubiera 4 tipos de candado
- No todos los sistemas implementan todas las posibilidades
- Como regla general, en Windows se maneja *bloqueo obligatorio* y en Unix *bloqueo consultivo*

Índice

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

¿Qué es el *tipo* de un archivo?

- Según el tratamiento que deba dársele para que tenga sentido, un archivo puede ser de distintos *tipos*
  - Un *documento de texto* puede ser abierto por un editor, un *ejecutable* por el *módulo cargador* del sistema operativo, una imagen por un visor de fotografías, etc.
- No debemos intentar abrir un archivo como el tipo equivocado
  - Puede ir llevar al desconcierto del usuario
  - Puede llevar a pérdidas económicas (p.ej. imprimir un archivo binario, o ejecutar un virus *disfrazado* de algo inocuo)

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Mecanismos para identificar el tipo de un archivo

Los principales mecanismos para distinguir el tipo de un archivo son a través de:

- Extensión
- Metadatos externos
- Números mágicos

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Identificación de tipo por *extensión*

- Empleado en los sistemas derivados de CP/M (incluye MS-DOS, VMS, Windows)
- El nombre de un archivo se divide en dos porciones: El *nombre* y la *extensión*
- La extensión identifica al tipo de archivo; cuando el SO lo identifica, lo maneja acorde
- El esquema original identificaba principalmente a los *ejecutables*: `.COM`, `.EXE` (y en CP/M, `.CMD`, o en MS-DOS `.BAT`), y...
  - Al pasar a una interfaz gráfica, dar *doble click* sobre cualquier archivo causa lanzar al programa que lo sepa manejar
  - Registro de aplicaciones por tipo de archivo

Identificando por extensión: Seguridad

- Uno de los criterios de diseño de Windows es presentar una interfaz *amable* al usuario, ocultando detalles técnicos
- Por ejemplo, muestra un icono en vez del tipo de archivo
  - Y oculta a la extensión, que resulta *redundante*
  - . . . Pero las extensiones forman ya parte del *inconsciente colectivo*
- Un virus/troyano se autoenvía por e-mail a toda la *lista de contactos* de mi amigo, como archivo adjunto
  - Emplea el nombre `inocente.png.exe`
  - El lector de correo, *amigablemente*, esconde la extensión `.exe`
  - Yo veo a un archivo `inocente.png`, y lo abro confiado
  - ¡Bum! Estoy infectado.

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Identificación de tipo por *metadatos externos*

- El sistema empleado por la Macintosh desde 1984
- Separa a todos los archivos en dos *divisiones* (*forks*):

  División de datos (*Data fork*) Los datos que *propiamente* constituyen al archivo

  División de recursos (*Resource fork*) Información *acerca del archivo* de utilidad para el sistema
- Incluye datos fundamentales para el entorno gráfico *amigable*
  - Icono
  - Posición de la ventana al ser abierta
  - Cadenas de traducción
  - *Creador* → El *programa* que creó al archivo (y será usado para abrirlo si el usuario le da *doble click*)

Identificación de tipo por *números mágicos*

- Mecanismo empleado por sistemas Unix
- El sistema mantiene una lista compilada de las *huellas digitales* que le permiten identificar a los archivos que maneja
  - El administrador local puede *ampliar* la lista como lo requiera

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Ejemplos de *números mágicos*

- Los archivos tipo *Formato de Intercambio Gráfico* (GIF) comienzan con la cadena `GIF87a` o `GIF89a` (dependiendo de la versión)
- Los archivos de descripción de páginas *PostScript* comienzan por `%!`, y los del *Formato de Documentos Portátiles* (*PDF*) por `%PDF`
- Un documento XML inicia frecuentemente con `<!DOCTYPE`
- Pueden no estar *anclados* al principio, sino en un punto específico del primer bloque

Números mágicos: El *hashbang*

- La identificación por números mágicos incluye al mecanismo *hashbang* (`#!`)
- Cuando un archivo inicia por `#!`, el sistema sabe que debe ejecutar *el comando indicado* en la primer línea, y *alimentarlo con el archivo entero*
  - De ese modo, al ejecutar, por ejemplo, un archivo que inicia por `#!/usr/bin/perl` hace que sea ejecutado por el intérprete del lenguaje Perl

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Índice

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Estructura de los archivos

- Prácticamente todos los archivos que manejemos responden a determinado *formato*
  - Esto es, tienen determinada estructura
  - Los datos pueden *analizarse significativamente* cuando están estructurados
- ¿No puede el sistema operativo asistir ofreciendo formatos de archivo estructurados preestablecidos?
  - Lo hicieron en algún momento
  - Hoy en día, es ya muy raro

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Ventajas de un archivo estructurado por el OS

- El usuario no puede corromper un archivo
  - Sea por error de programación en la aplicación, por acceso no sincronizado, ...
  - El OS ofrece acceso al archivo por medio de un API
  - Puede ofrecer garantías de atomicidad, estructura, ordenamiento, ...
- Empleado en muchos sistemas operativos de mainframe en los 1960, 1970
  - IBM CICS (1968), IBM MVS (1974), DEC VMS (1977)

¿Y por qué decayó su uso?

- Los formatos pueden resultar demasiado rígidos
  - Dificultad para representar nuevos tipos de datos
  - *No portables*: Su correcta interpretación resulta dependiente del OS en cuestión
    - En algunos casos, de la versión
- Son tareas que pueden ya delegarse a programas dedicados (*gestores de bases de datos*)
  - Ejecutando en *espacio de usuario* — Requieren menos privilegios
  - Pueden responder a solicitudes locales o por red

Remanentes de los archivos estructurados

En CP/M y sus derivados (incl. MS-DOS, Windows), un archivo puede ser abierto en modo *de texto* o en modo *binario*

Modo de texto Un cambio de línea es indicado por dos caracteres: `CR+LF` (ASCII 13+10)

- Se *espera* que el contenido de cada línea sea ASCII *imprimible* (caracteres 32-127)
  - Actualizado: Mas *extensiones nacionales* (p.ej. caracteres acentuados)
- Dice la leyenda, para evitar demandas de patentes por interoperar con AT&T

Modo binario *«Todo vale»*

- *Todo archivo* puede ser abierto en modo binario

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Métodos de acceso

- El SO ya no ofrece / impone estructura a los archivos
- Sin embargo, sí ofrece diferentes *mecanismos de acceso*
  - Acordes a diferentes aplicaciones / formas de uso

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Acceso secuencial

Según las operaciones que permite la semántica de archivos, vimos ya que el método *secuencial* presenta una simulación de unidad de cinta

- Avanzamos consecutivamente por los bloques del archivo, de incio a final
- Podemos *reposicionar* al apuntador (*cabeza lectora*)

Figura: Archivo de acceso secuencial

Usos para el acceso secuencial

- El acceso secuencial es la forma *más natural* de manipular archivos
  - *Más natural* en el sentido de que es la semántica ofrecida directamente
- Usos esperables:
  - Lectura/ejecución de binarios, bibliotecas
  - Documentos (p.ej. texto)
  - Estructuras anidadas (p.ej. XML, JSON, YAML)
- Es terriblemente ineficiente para datos *estructurados*
  - No conocemos de antemano el punto de inicio o finalización de cada registro
  - En bases de datos: Un *barrido secuencial* lleva al peor de los rendimientos posibles

Acceso aleatorio

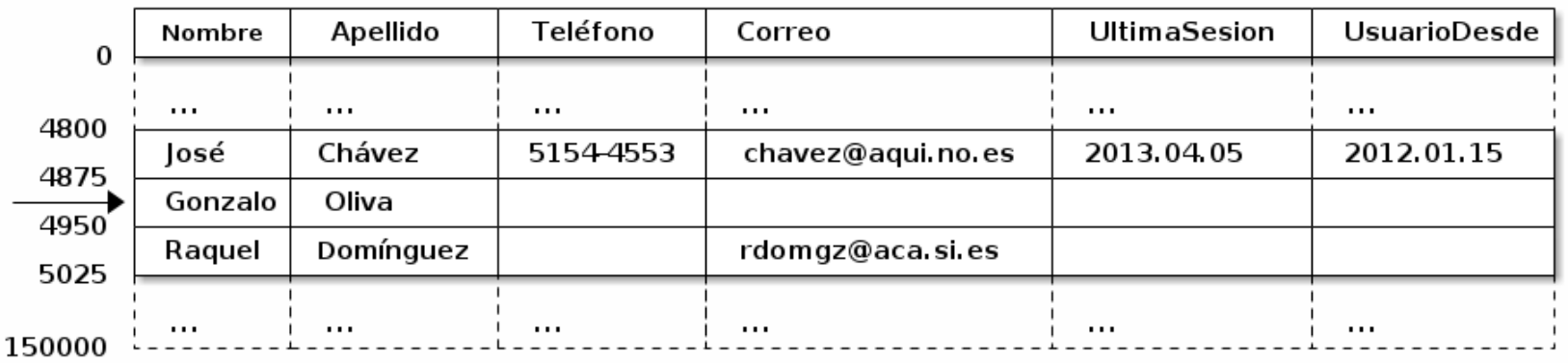
- Puede programarse directo en la aplicación, o emplear *gestores*
  - Ya sea en biblioteca embebida (SQLite) o como un proceso independiente
- La semántica que nos ofrece el sistema operativo permite *brincar* a puntos arbitrarios del archivo
  - Y, a diferencia de una unidad de cinta *real*, no incurrimos en demora

Acceso aleatorio: Ejemplo

- El *descriptor de archivo* `FD` apunta a un archivo con 2000 registros de 75 bytes cada uno
- Tenemos la variable `registro`, un buffer de 75 bytes
- Queremos el registro 65
- *Reposicionamos* el apuntador a 65×75:
  `seek(FD, 4875)`
- Leemos los siguientes 75 bytes a nuestra variable:
  `read(FD, *registro, 75)`

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Archivo de acceso aleatorio



	Nombre	Apellido	Teléfono	Correo	UltimaSesion	UsuarioDesde
0						
	...	...	...	...	...	...
4800	José	Chávez	5154-4553	chavez@aqui.no.es	2013.04.05	2012.01.15
4875	Gonzalo	Oliva				
4950	Raquel	Domínguez		rdomgz@aca.si.es		
5025						
	...	...	...	...	...	...
150000						

Figura: Archivo de acceso aleatorio

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Acceso *relativo a índice*

- A últimos años se han popularizado los *gestores de base de datos no estructurados*, *orientados a texto* u *orientados a documentos*
  - Han adoptado el nombre genérico *NoSQL*
- Pueden guardar registros de *tamaño variable* y sin una estructura interna predefinida
  - Cada registro puede tener conjuntos de datos distintos
- En general, operan con un archivo *corto*, que mantiene únicamente una tabla pequeña
  - Identificador de registro
  - Dirección de inicio
  - Dirección de fin
- Y un archivo *largo*, que contiene los datos propiamente

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Acceso *relativo a índice*

Apellido	Inicio	Tamaño
Chávez	0	132
Domínguez	163	200
Godoy	428	62
Oliva	132	31
Vázquez	408	20
Zapata	363	45

Figura: Acceso relativo a índice: Un índice apuntando al punto justo de un archivo sin estructura

Acerca del acceso *relativo a índice*

- El índice entero puede típicamente mantenerse en memoria, el tiempo de acceso es muy bajo (igual al de *acceso directo*)
  - Pero con mayor flexibilidad en el *esquema de datos*
- Optimizado para operaciones *mayormente de lectura* (o de agregación al final)
  - Las modificaciones y remociones crean *hoyos* (fragmentación)
- Es necesario *asegurar la sincronía* entre ambos archivos
  - Si se pierde la sincronía, se corrompe la información

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Transferencias *orientadas a bloques*

- En los tres modos de acceso, las solicitudes parecen ser del *rango de bytes* solicitados, sean cuantos sean
- En realidad, es una abstracción que nos da el sistema operativo — Las transferencias son siempre hechas en *bloques* de tamaño definido por el hardware
  - Típicamente, 512 bytes

Las transferencias en bloques y el rendimiento

- Lecturas de registros contiguos en el mismo bloque → Servidas de caché
- Lectura aleatoria, o escritura: Deben transferirse bloques enteros
- Escritura a un punto no en *caché*:
  - Una lectura (para obtener el *contexto*, el resto del bloque)
  - Una escritura (del bloque entero modificado)

Las transferencias en bloques y el rendimiento

- Conviene diseñar estructuras de datos *alineadas al tamaño del bloque*
  - Un registro de 400 bytes *casi siempre* (>75 %) requerirá la transferencia de dos bloques
  - Incluso un registro pequeño (p.ej. 7 bytes) puede caer en la frontera entre bloques (aunque sea sólo 1.3 % de las veces)

Índice

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Pero hablamos de *muchos* archivos. . .

- Hasta ahora hemos visto cómo se trabaja dentro de *un* archivo
- Sin embargo, esta unidad se refiere a *sistemas* de archivos
- Tenemos que considerar cómo se organizan *numerosos archivos* dentro de *un mismo medio*

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Pero hablamos de *muchos* archivos...

- Hasta ahora hemos visto cómo se trabaja dentro de *un* archivo
- Sin embargo, esta unidad se refiere a *sistemas* de archivos
- Tenemos que considerar cómo se organizan *numerosos archivos* dentro de *un mismo medio*

- Hoy en día, eso significa hablar de *directorios*
  - Aunque veremos otras formas de organización

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Conveniciones de nomenclatura

- En diferentes sistemas cambia la cantidad y conjunto de caracteres válidos para un nombre de archivo
- Cambia también el *caracter separador* — Indica el fin de un elemento de directorio e inicio de otro

Unix	diagonal (/) (incl. MacOS X, Android)
Windows	Diagonal invertida (\)
MacOS histórico	Dos puntos (:)

- Las interfaces usuario muchas veces los *ocultan* al usuario
  - Aunque el programador *siempre* debe estar consciente de ellos
  - APIs *inteligentes* → Diseñados pensando un sistema, convierten a la nomenclatura de otro cuando son compilados para éste
    - Pueden ser de gran ayuda, o pueden ser la perdición

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Sistema de archivos plano

- Primer acercamiento: Permitir que varios archivos existan en el mismo disco, *en el mismo espacio organizacional*
- Sin *jerarquía de directorios*
- Requisito de unicidad global de *nombres*
- Uso de discos (en mainframes): A corto / mediano plazo (no para almacenamiento *permanente*)

Primeros sistemas en computadoras personales

- Computadoras personales: Sistemas de archivos basados en *discos flexibles*
  - En un principio, entre 80 y 160KB
- Si un usuario requería mantener una división temática, podía separar su trabajo en *discos flexibles* distintos
- IBM PC: El concepto de directorios aparece con la IBM XT (1983)
  - Al llegar el soporte para discos duros (10MB)

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Distintas abstracciones

- El sistema MFS, en la primer versión de la Apple Macintosh, presentaba la *ilusión* de directorios
  - Comparables a *etiquetas* (pero únicamente uno por archivo)
  - Mantenía el requisito de unicidad de nombre de archivo por disco
  - Algunos componentes del sistema *modelaban* los directorios, otros (p.ej. los diálogos) no

Sistemas de archivos planos hoy

- No han desaparecido, ni son sólo para bajos volúmenes de información
- Por ejemplo, el sistema de *almacenamiento en la nube* Amazon S3 (Simple Storage Service)
  - Maneja únicamente *objetos* y *cubetas* (similar a *archivos* y *unidades*)
  - Permite referirse a un objeto o conjunto de objetos empleando *filtros* sobre una cubeta

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Directorios de *profundidad fija*

- Primeras implementaciones: Separación funcional únicamente
- Un sólo nivel
- Nombres de (lo que ahora conocemos como) directorios:
  - MFD *Master File Directory* (directorio raiz)
  - UFD *User File Directory* (directorios de usuarios del sistema)
- Resuelve el problema del *nombre global único*
- Permite almacenar *mejor* los proyectos a largo plazo
  - Pero sigue siendo relativamente limitado (¿ante las costumbres actuales?)
- Dificulta la colaboración entre usuarios
  - ¿Cómo pueden dos usuarios trabajar en un mismo proyecto?

Directorios de *profundidad fija*

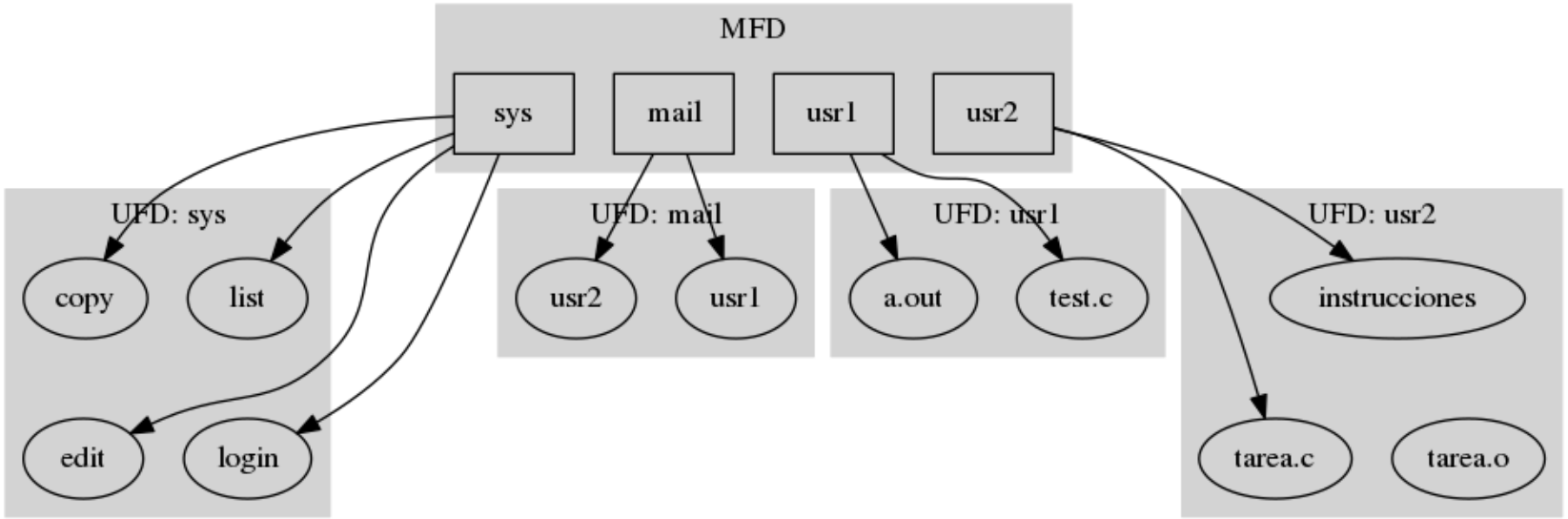


Figura: Directorio simple, limitado a un sólo nivel de profundidad

Directorios estructurados en *árbol*

- Podemos verlo como paso natural obvio
- Puede permitir múltiples niveles jerárquicos, o incluso una *jerarquía ilimitada*
  - Algunos OSs limitan a cierto número (alto) de niveles *preventivamente*, presentando una *ilusión* de ser ilimitados

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Directorios estructurados en *árbol*

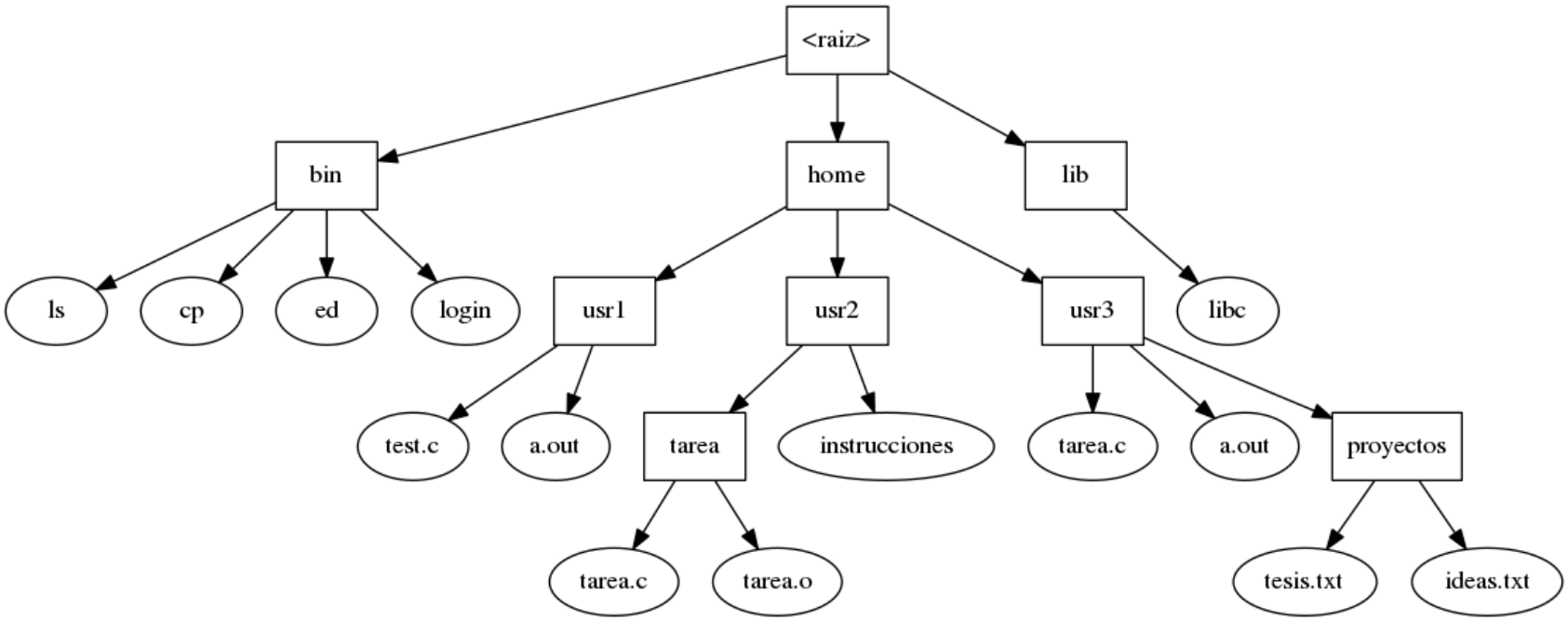


Figura: Directorio estucturado en árbol

Consecuencias del directorio como un árbol

- Cada usuario, y el sistema entero, estructura su información siguiendo *criterios lógicos propios*
  - Almacenamiento definitivamente visto para el largo plazo
- Nacen las *rutas de búsqueda*
  - Programas y bibliotecas del sistema pueden estar en diferentes lugares
  - El usuario puede tener programas propios
  - El sistema emplea una *ruta de búsqueda* para encontrarlos *por su nombre*
  - Ejemplo Unix:
    `/usr/local/bin:/usr/bin:/bin:~/bin`
  - Ejemplo Windows:
    `c:\WINDOWS\system32;c:\WINDOWS;`
    `c:\WINDOWS\System32\Wbem`

El directorio como un *grafo dirigido*

- Muchas veces vemos al directorio como un árbol
- En muchos de nuestros sistemas, estrictamente hablando, es un *grafo dirigido*
  - *Superconjunto* de un árbol
  - Un mismo nodo puede tener varios *directorios padre*

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

El directorio como un *grafo dirigido*

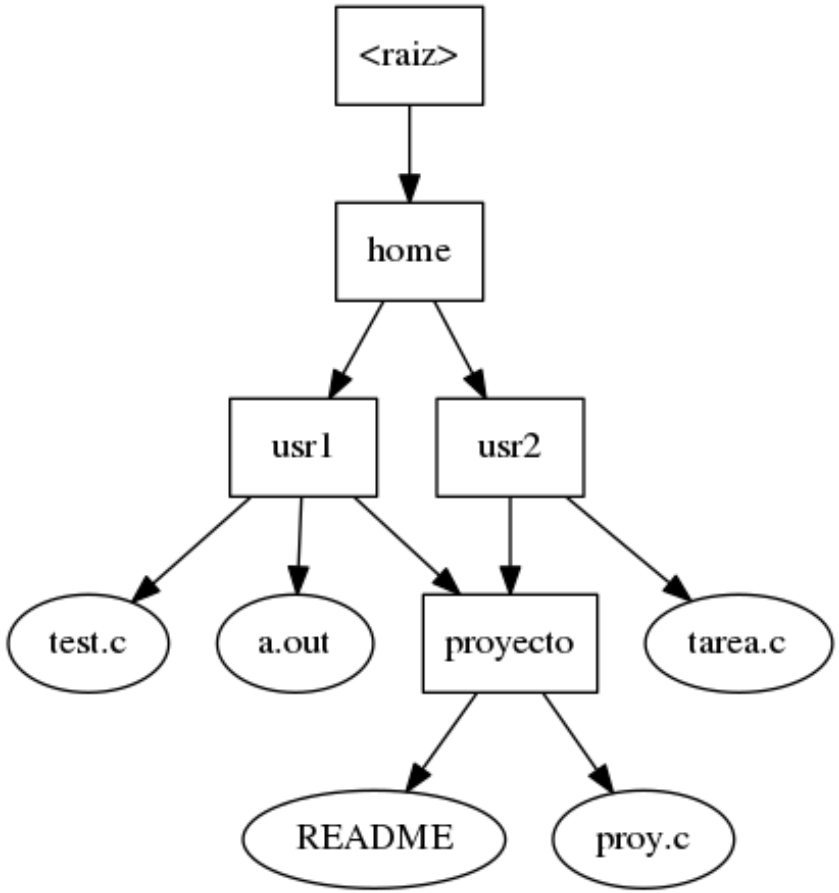


Figura: Directorio como un *grafo dirigido acíclico*: El directorio `proyecto` está tanto en el directorio `/home/usr1` como en el

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

El directorio como un *grafo dirigido*: detallando...

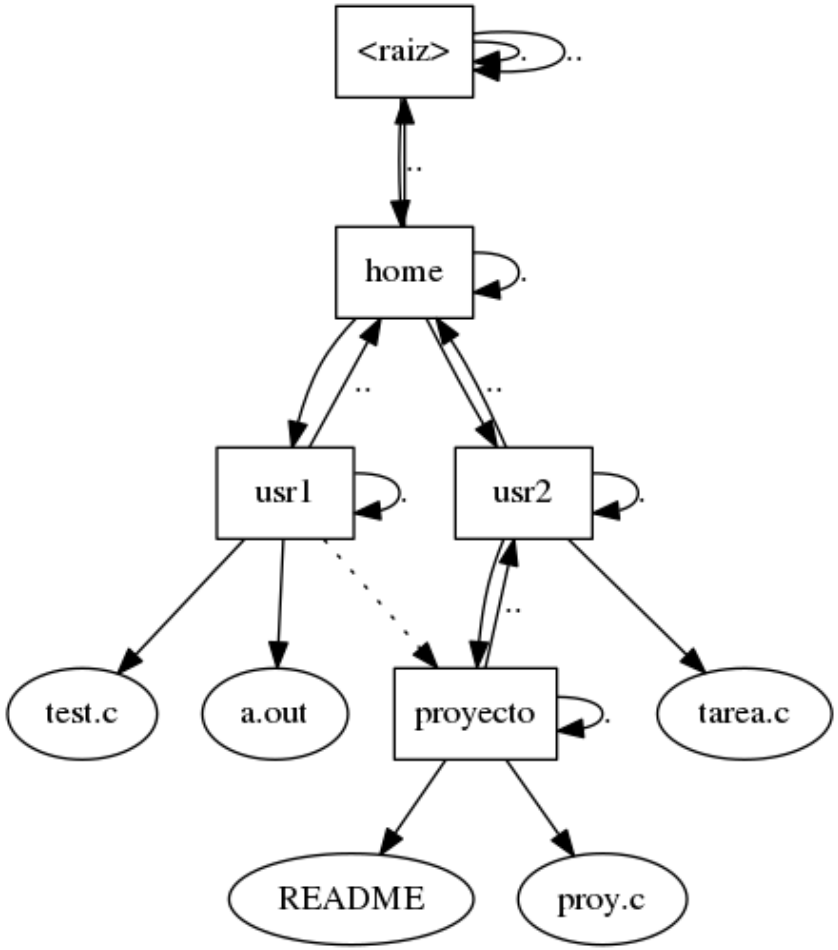


Figura: Directorio como un *grafo dirigido* (ya no *acíclico*), mostrando los

Detalles extra en los grafos dirigidos

- En la gráfica anterior, aparecen dos entradas *curiosas* en cada directorio: `.` y `..`
- Encontramos esta semántica tanto en sistemas tipo Unix como tipo Windows
- Son directorios, pero no apuntan a una estructura nueva
  - Apuntan a directorios *ya existentes*
  - `.` apunta *al mismo directorio que lo contiene*
  - `..` apunta al *directorio padre* de donde está contenido
- ¿Y qué pasa con `proyecto`?
  - `..` sólo puede apuntar a *un* lugar (es una sola entrada)

Ligas duras y ligas simbólicas

- Un archivo puede estar en *más de un lugar* en el directorio
  - Pero un directorio es una entidad un tanto particular
- Esto se expresa empleando las *ligas duras* y *ligas simbólicas*
  - En Windows: Los *accesos directos* son el *pariente pobre* de las ligas simbólicas

Las ligas duras

- Una entrada en el directorio es meramente la relación entre una *ruta y nombre* de archivo y un *i-nodo*
  - Por ahora, basta decir que un *i-nodo* es un número único, que *apunta* a los *datos* de cada archivo
- Llamamos *liga dura* a que haya más de una entrada en el directorio apuntando al mismo archivo
  - No hay *indirección*, no se refieren unos a otros — Es el mismo objeto, el mismo archivo
  - Si borramos uno, el otro sigue funcionando
  - Si modificamos uno, el otro también se modifica

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Ligas duras: Restricciones

Las ligas duras presentan dos restricciones principales:

1. No pueden hacerse ligas duras *fuera del sistema de archivos* (del disco o partición actual)
   - De otro modo, no podría ser el mismo objeto
2. No pueden hacerse ligas duras a directorios
   - Formalmente puede haberlas (de hecho, `.` y `..` lo son)
   - Sólo el administrador puede crearlas
   - Pueden causar problemas (veremos en un momento: *Recorrer los directorios*)

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Ligas simbólicas (sistemas Unix)

- Otro mecanismo para que un objeto *aparezca* en más de un punto del directorio
- Es un archivo *especial* que incluye el nombre de otro objeto (¿archivo?) destino
  - Cuando es abierto, *el SO* sigue la indirección
- Son más flexibles, pero menos robustas, que las ligas duras
  - *Pueden* hacerse ligas simbólicas a objetos en otros sistemas de archivos y a directorios
  - Pero el archivo *referido* es el único *real*
    - Si el archivo referido se elimina o renombra, las ligas simbólicas *se rompen*

El *pariente pobre*: Accesos directos

- Las *ligas duras* existen tanto en Unix como en Windows
  - Aunque en Windows *casi* nunca son empleadas
- Las ligas simbólicas sólo existen en Unix
- Son una herramienta muy útil y poderosa — En Windows 95 se introdujo el *acceso directo* buscando implementar parte de su funcionalidad
  - Son archivos *estándar*
  - Extensión `.lnk`
  - Pensados principalmente para el escritorio y el menú de inicio
- ¿Principal diferencia? No se *siguen* automáticamente
  - Tiene que hacerlo la aplicación — Y pocas lo hacen

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Volviendo a nuestro grafo dirigido

- No podemos ya decir *formalmente* que sea un grafo dirigido *acíclico*
  - `.` y `..` crean ciclos
  - Aunque con esa excepción hecha, podría ser visto como uno
- `proyecto` está en realidad *sólo* en `/home/usr2`
  - `/home/usr1/proyecto` es una liga simbólica hacia él
    - Pero es transparente a las aplicaciones
  - *Podría* haber ligas duras, con un archivo en varios directorios, o incluso con distintos nombres en el mismo

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Operaciones con directorios

- Para trabajar con los directorios, tenemos una semántica básica similar a la que manejamos para los archivos
  - Varias de las operaciones son análogas cercanas
- Operaciones básicas: (C)
  - Abrir (`dirstream = opendir(dirname)`) y cerrar (`closedir(dirstream)`)
    - El *flujo de directorio* (*directory stream*) es equivalente al *descriptor de archivo*
    - Podemos *rebobinar* con `rewinddir(dirstream)`
  - Listado de objetos en el directorio: Iterar sobre sus objetos (`dirent = readdir(dirstream)`)
  - Buscar un objeto en particular: Filtrar sobre del listado
  - Crear, eliminar o renombrar un objeto: Si bien son *escrituras al directorio*, se implementan a través de funciones de manejo de archivos

Ejemplo de operaciones con directorios

```
#include <stdio.h>
#include <dirent.h>
#include <sys/types.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
  struct dirent *archivo;
  DIR *dir;
  if (argc != 2) {
    printf("Indique el directorio a mostrar\n");
    return 1;
  }
  dir = opendir(argv[1]);
  while ((archivo = readdir(dir)) != 0) {
    printf(" %s\t", archivo->d_name);
  }
  printf("\n");
  closedir(dir);
}
```


Recorriendo los directorios (*directory traversal*) (1)

- Una operación muy frecuente es el *recorrido* (*traversal*) de directorios
  - Para agrupar una estructura completa en un archivo comprimido
  - Para copiar el contenido completo de un directorio a otro medio
  - ...
- Sistema de archivos plano: Trivial
  - El programa recién visto ilustra cómo

Recorriendo los directorios (*directory traversal*) (1)

- Una operación muy frecuente es el *recorrido* (*traversal*) de directorios
  - Para agrupar una estructura completa en un archivo comprimido
  - Para copiar el contenido completo de un directorio a otro medio
  - ...
- Sistema de archivos plano: Trivial
  - El programa recién visto ilustra cómo
- Sistemas de profundidad fija o árbol: Sencillo
  - Verificación de tipo de archivo, separación en una función, recursión

Recorriendo los directorios (*directory traversal*) (2)

- Sistemas de grafos dirigidos: . . . Se complica

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Recorriendo los directorios (*directory traversal*) (2)

- Sistemas de grafos dirigidos: . . . Se complica
- Requerimos mantener una tabla de *archivos visitados* en memoria
  - Para evitar caer en un ciclo sin fin
  - La tabla debe registrarse *por i-nodo*, no por nombre de archivo
    $\rightarrow$ Los nombres de archivo no serán iguales
- Pueden ser decenas o cientos de miles de archivos en un uso típico

Montaje de sistemas de archivos

- Un sistema puede trabajar con *un sólo* sistema de archivos
- Pero muchas veces trabaja con varios
  - Distintos medios físicos → sistemas de archivos independientes
  - Diferentes objetivos → sistemas de archivos especializados para cada uno
  - Abstracciones de sistemas de archivos no físicos
  - Razones administrativas (p.ej. confinar espacio máximo ocupado)
- ¿Cómo presenta el sistema operativo a los diferentes sistemas de archivos presentes?

Unix: Un *árbol* con *puntos de montaje*

- El sistema *completo* está estructurado en torno a *un sólo árbol*
- Cada sistema de archivos se *monta* en el lugar que el administrador determina
  - El *punto de montaje* es un directorio en el sistema de archivos superior
  - Si ese directorio no está vacío, su contenido *queda oculto* mientras el nuevo sistema de archivos esté montado
    - Salvo implementaciones como UnionFS
- Algunos entornos usuario *abstraen* esta representación, y presentan las unidades *como si fueran una nueva raiz*

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Un árbol con distintos sistemas de archivo *montados*

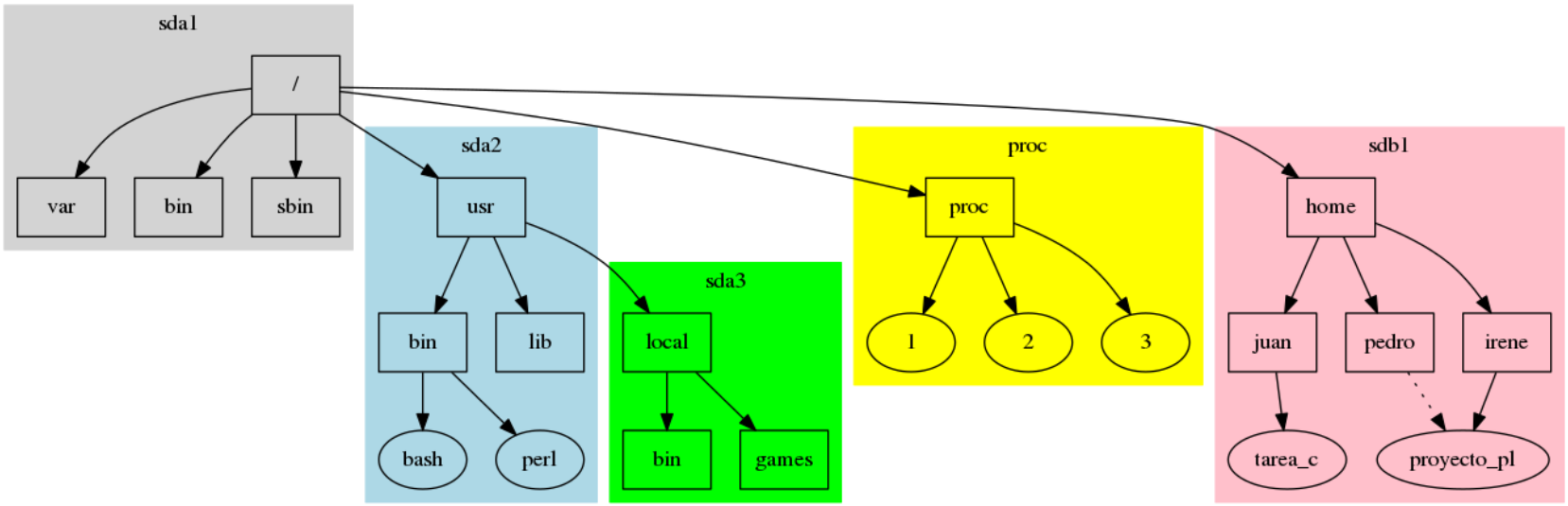


Figura: Árbol formado del montaje de `sda1` en la raiz, `sda2` como `/usr`, `sdb1` como `/home`, y el directorio virtual `proc`

Windows: sistema de archivos virtual de dos niveles

- La estrategia empleada por Windows es muy distinta
- Cada uno de los sistemas de archivo *detectados* recibe un *identificador de volumen* y es montado automáticamente
- Los usuarios pueden ver a todos los volúmenes montados
  - Nomenclatura `VOL:\Dir 1\Dir 2\Archivo.ext`
- Dentro de cada uno de los volúmenes encuentran directorios estructurados como árbol
- Algunos volúmenes están preasignados por herencia
  - `A` y `B` para unidades de disco flexible
  - `C` para el disco de inicio del sistema
  - Siguientes particiones, medios removibles o conexiones sobre red: `D`, `E`, `F`, etc.

Visión del árbol en un sistema Windows

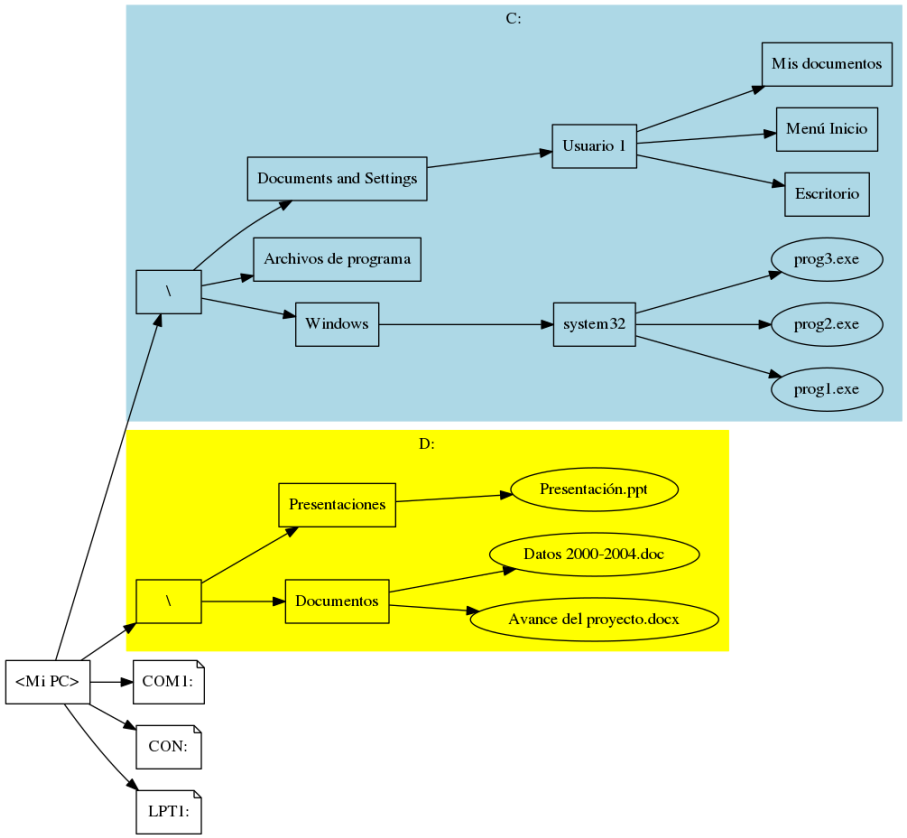


Figura: Vista de un sistema de archivos Windows

Tarea / evaluación de unidad (1)

Va como tarea, pero reemplaza al examen parcial de la unidad *Sistemas de Archivos*:

- Desarrollar un micro-sistema de archivos
  - Medio para almacenarlo: Un archivo cualquiera
- Requisitos mínimos:
  - Entorno interactivo
  - Un directorio maestro que soporte un *mínimo* de cuatro archivos
  - Operaciones del directorio *simplificadas* respecto a un `dirstream`: `listar()` (no hace falta *recorrer* entrada por entrada), `crear_archivo(nombre)`, `eliminar_archivo(nombre)`

Tarea / evaluación de unidad (2)

- Requisitos mínimos:
  - Cada uno de los archivos debe soportar también operaciones simplificadas: `escribir(archivo, datos)`, `leer(archivo)`, `rebobinar(archivo, pos)`
  - *Pueden* hacer refinamientos adicionales.
- El código debe:
  - Ser compilable/ejecutable legal, en el lenguaje que prefieran
- El trabajo puede entregarse de forma individual o en parejas
  - Fecha límite: 22 de mayo
    - Recomiendo 20 de mayo

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Índice

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

La red y los sistemas de archivos

- *Modelo cliente-servidor*
  - Un equipo que tiene algún recurso que puede ofrecer a otros es un *servidor*
  - Todo equipo que use sus recursos es *cliente*
  - Dos computadoras pueden ser *clientes* y *servidores* mutuos al mismo tiempo
- Uno de los primeros usos de las redes fue compartir archivos
  - De forma *explícita*: Transferencia manual con programas especializados (p.ej. FTP)
  - De forma *implícita* y *automática*: Sistema de archivos sobre la red

Llamadas a procedimientos remotos (*RPC*)

- Mecanismo de mensajes (y manejo básico de sesión) que causen que una computadora remota ejecute determinada acción
- Pero al mismo tiempo, es un *protocolo específico* de *descubrimiento de recursos* y *abstracción* desarrollado en los 1980s por Sun Microsystems
  - Hay muchos protocolos comparables → `DCE/RPC` (OSF), `DCOM` (Microsoft)
  - Hoy en día, `SOAP` y `XML-RPC`
    - Con mayor independencia de proveedor, pero con mayor complejidad
- Permite al programador delegar en un *servicio* el manejo de las conexiones en red
  - Y limitarse a atender la conexión *ya establecida*

Network File System (NFS)

- *Network File System* NFS (Unix), construido sobre Sun-RPC (1984)
- Diseñado para aprovechar el hardware existente
  - Un sólo servidor de archivos
  - Todas las estaciones de trabajo *montan* los directorios `/home`
  - Incluso pueden montar otras partes del sistema
  - Estaciones *diskless*

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Semántica básica de NFS

- Implementa la semántica de un sistema local Unix sobre la red
  - Se integra transparentemente en cualquier sistema Unix
- Los sistemas remotos se montan con el mismo comando y lógica que los locales
  - `# mount archivos.unam.mx:/home /home`

Ventajas de NFS

- Implementación muy sencilla
- Integración semántica directa (para sistemas tipo Unix)
- Protocolo muy ligero
  - Al no hacer verificaciones por operación ni implementar cifrado, es muy conveniente para manejar archivos muy grandes

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Desventajas de NFS

- *Escrituras síncronas* → Seguras, pero lentas
  - Implementaciones posteriores incluyen manejo de caché de escritura
- Manejo de seguridad / credenciales trivial / ingenuo
  - Acceso controlado por dirección IP
  - Requiere correspondencia de nombre-UID de usuarios

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Server Message Block (SMB)

- *Familia* de protocolos de compartición de archivos empleado en sistemas Microsoft (desde ~1990)
- Primeras implementaciones, sobre un protocolo de red propio (NBF, frecuentemente conocido como NetBEUI); migrado gradualmente para operar sobre TCP/IP
  - 100 % sobre TCP/IP desde el 2000
  - También conocido como CIFS (*Common Internet File System*)

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Server Message Block (SMB)

- Se ajusta más cercanamente a la semántica de MS-DOS/Windows
  - *Tiende* a emplearse montando el directorio compartido como una unidad en *Mi PC*:

    ```
    > NET USE W: \\servidor\directorio
    ```
  - En Windows, puede referirse a un archivo directamente por su ruta (aunque varios programas no lo implementan)

Ventajas de SMB

- Hoy en día, implementaciones bastante universales, para cualquier sistema operativo
  - *Samba* $\rightarrow$ Implementación hecha (originalmente) por *ingeniería inversa*
- Fácil de integrar en entornos basados en Windows
- Si bien las versiones viejas presentan problemas de seguridad, las implementaciones actuales son bastante confiables
  - Particularmente en relación al cifrado de credenciales
- Mecanismo de *bloqueo oportunista* (explicamos pronto)

Desventajas de SMB

- Protocolo pensado para una red *pequeña*
  - Demasiado *platicador*, puede llevar a congestiones de red
- Resolución de direcciones poco confiable
  - Originalmente basada 100 % en *broadcast*
  - Posteriormente, empleando un servidor *WINS*
  - Actualmente, sobre DNS dinámico
- Semántica de autenticación poco clara
  - Esquemas de autenticación *por recurso*, *por usuario*, basados en directorio
  - Imposibilidad de establecer sesiones múltiples

Bloqueo oportunista (*OpLock*)

- Bloqueo orientado al *renidmiento*, no a la sincronización
- Busca mejorar el manejo del caché e ignorar (un poco) la semántica de abrir/cerrar archivos

  Para lotes Si un archivo es abierto y cerrado muchas veces (comportamiento común con los archivos `.BAT` de MS-DOS), este bloqueo *demora* al `close()`, esperando que pronto haya un `open()` al mismo.

  Exclusivos Una vez otorgado, el cliente asume que es el único manipulando al archivo, y mantener en caché local todos los cambios; el servidor puede *romper* o *revocar* este bloqueo, obligando a una sincronización.

Sistemas de archivos distribuidos

- Los dos esquemas presentados trabajan con una visión clara cliente/servidor
- Un sistema de archivos *distribuído* busca crear recursos *compartidos*, en que diversos equipos *se repartan* la carga y *compartan* sus recursos
  - Buscando una *fácil escalabilidad*
- Problema complejo: Operar sin la certeza de que todos los nodos estén siempre conectados
- Implementación ejemplo: *Andrew File System* (Carnegie Mellon University, 1989)

Lógica básica de Andrew File System

- Uso típico en organizaciones grandes (>25,000 estaciones)
- Empleo agresivo de caché
- *Ocultamiento / agnosticismo* a ubicación
  - Un *volumen* puede migrarse a través de una red mientras está siendo empleado
  - Credenciales y ubicación provistos por un servicio *Kerberos*

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Modelo de Consistencia Débil (*Weak Consistency Model*)

- Al abrir un archivo, se copia completo al cliente
  - Lecturas y escrituras se dirigen a la copia local
- Al cerrar el archivo, se copia de vuelta al *servidor de origen*
  - El *servidor de origen* se *compromete* a notificar a los clientes si un archivo abierto fue modificado (*callback*)
- Los cambios a un archivo abierto por un usuario no son visibles de inmediato
- Una vez que se cierra un archivo, los cambios hechos a éste son sólo visibles a sesiones abiertas posteriormente

Gunnar Wolf • sistop@gwolf.org • http://sistop.gwolf.org
Sistemas Operativos (1554) • Facultad de Ingeniería UNAM

Para qué sí es, para qué no

- AFS está pensado para *ciertos* tipos de uso, no para *otros*
- Asume modificaciones a *archivos completos*
  - Es muy *caro* mantener una base de datos compartida
  - No hay bloqueos por rango
- A diferencia de NFS, *no* busca ser universal
  - Necesariamente hay un *espacio local* y un *espacio compartido*
  - No maneja *diskless*