

Operační systémy 2

Souborové systémy a jejich implementace

Petr Krajča



Katedra informatiky
Univerzita Palackého v Olomouci

Souborové systémy: Motivace

- potřeba uchovávat větší množství dat (primární paměť nemusí dostačovat)
- data musí být perzistentí (musí přežít ukončení procesu)
- k datům musí být umožněn souběžný přístup
- \implies řešení v podobě ukládání dat na vnější paměť (např. disk)
- \implies data ukládána do souborů tvořících souborový systém (File System/FS)
- soubor jako proud bytů (doprovázen doplňujícími informacemi)
- souborový systém jako abstrakce (odstínění od implementačních detailů)
- \implies Unix (dotaženo v Plan 9 from Bell Labs)
- zajímavý problém: pojmenovávání objektů (souborů) & jejich organizace

Operace se soubory (1/2)

- `create` – vytvoření souboru
- `write/append` – zápis do souboru (na konec, popř. přepis); souvislý bloky vs. postupný zápis
- `read` – čtení ze souboru (do přichystaného bufferu)
- `seek` – změna pozice
- `erase` – odstranění souboru (uvolnění místa); (`link` & `unlink`)
- `truncate` – zkrátí daný soubor na požadovanou velikost
- ne všechny souborové systémy a zařízení podporují všechny operace; např. CD+ISO 9660
- operace dostatečně obecné \implies přístup k zařízením (disk, klávesnice, terminál); ovládání systému
- \implies lze používat existující nástroje pro práci se soubory
- např. využití při práci `procfs`, `devfs`, `sysfs`
- roury, FIFO

Operace se soubory (2/2)

- `open` – otevře soubor, aby s ním šlo manipulovat přes popisovač (file descriptor, file handle)
- ukazatel na strukturu v jádře
- přístup přes jméno neefektivní
- „soubory“ nemusí mít jméno
- jeden soubor může být otevřen vícekrát (více ukazatelů na pozici v souboru)
- `close` – uzavře soubor
- `get/set attribute` – práce s atributy (metadaty)

Typy souborů

- běžné soubory, adresáře, (unix: speciální soubory pro blokové a znakové zařízení)
- binární vs. ASCII soubory (ukončení řádků `\n`, `\r\n`, `\r`)

Organizace souborů (1/3)

- soubory jsou rozlišované podle názvů (často specifické pro daný OS nebo FS)
- rozlišování velkých a malých písmen (Unix vs. MS-DOS a Windows)
- MS-DOS: požadavek na jméno souboru ve tvaru 8+3, i.e., jméno + přípona
- rozlišení obsahu souboru
 - podle přípony (Windows–asociace s konkrétní aplikací)
 - magická čísla (Unix–podle úvodních bytů je možné identifikovat typ)
 - podle metadat (informace o souboru jsou uloženy vedle souboru, jako součást FS)
- typicky se soubory organizují do adresářů (složek)
- každý adresář může obsahovat běžné (popř. speciální) soubory i další adresáře \implies stromová struktura (používaly se i omezenější systémy – žádné, jedna, dvě úrovně)
- v zápisu cesty ve stromě se používá lomítek
 - Unix: `/usr/local/bin`
 - Windows: `\usr\local\bin`

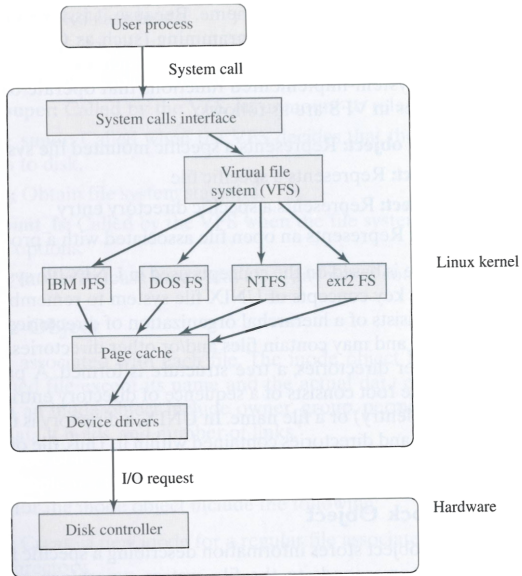
Organizace souborů (2/3)

- k přístupu k souboru se používají
 - absolutní cesty /foo/bar/baz.dat
 - relativní cesty foo/bar.dat \implies každý proces má aktuální adresář
- speciální adresáře v každém adresáři „.” a „..” (aktuální adresář, nadřazený adresář)
 \implies nutné pro navigaci v hierarchii adresářů
- operace s adresáři: Create, Delete, OpenDir, CloseDir, ReadDir, Rename
- struktura nemusí být hierarchická \implies obecný graf (acyklický, cyklický)
 - hardlink – ukazatel na soubor (jeho tělo/obsah)
 - symlink – soubor obsahuje cestu (odkaz) k jinému souboru
- v Unixech běžné, ve Windows delší dobu (ale chybělo rozhraní)

Organizace svazků

- každý fyzický disk se obvykle skládá z jedné nebo více logických částí (partition; oddíl); popsané pomocí partition table daného disku
- v každém oddílu může existovat souborový systém (označovaný jako svazek)
- v Unixech je každý svazek připojen (mounted) jako adresář (samostatný svazek pro /, /home, /usr)
- \implies Virtual File System (VFS)
 - využití abstrakce \implies umožňuje kombinovat různé FS do jednoho VFS
 - specializované FS pro správu systému (procfs, sysfs) \implies API OS
 - možnost připojit běžný soubor jako svazek (i svazek je soubor)
 - síťové disky (NFS, CIFS)
 - (jako důsledek lze snadno portovat jednotlivé FS)
- ve Windows jednotlivé svazky označeny (a:, b:, c:, ...); ale funguje i mountování (preferovaný jeden svazek pro vše)

Virtuální souborový systém (VFS)



Struktura souborů

- často je soubor chápán jako proud bytů (jiná řešení: více proudů bytů, sekvence záznamů, dvojice klíč-hodnota)
- sekvenční vs. náhodný přístup
- někdy může být výhodná jiná struktura
- rozdělení jednoho souboru na více proudů (např. multimediální soubor – video/audio stopy)
- potřebná podpora ze strany FS i OS \implies streamy v NT
- společně s daty jsou k souboru připojena metadata (atributy)
 - vlastník souboru
 - přístupová práva
 - velikost souboru
 - příznaky (skrytý, archivace, spustitelný, systémový)
 - čas vytvoření, čas posledního přístupu

Přístup k souborům

Zamykání

- sdílený přístup
- omezení přístupu – současné čtení (zabránění zápisu)

Sémantika konzistence

- chování systému při současné přístupu
- v unixech změny okamžitě viditelné
- immutable-shared-file – pokud je soubor sdílený, nejde jej měnit (jednoduchá implementace)

Práva přístupu

- ACL (access control list)
 - seznam uživatelů a jejich přístupových práv (jeden bit pro každý přístup)
 - udržovat seznam může být netriviální (možnost doplnit role)
 - Denied ACL

Oprávnění na platformě Windows

Základní skupiny oprávnění

oprávnění	soubor	adresář
read	čtení souboru	čtení souborů a podadresářů
write	zápis do souboru	přidání souboru nebo podadresáře
read and execute	čtení a spouštění souborů	čtení a spouštění souborů v adresáři
list folder contents	N/A	vylistování adresáře
modify	jako write + smazání	jako write + smazání adresáře a souborů v něm
full control	veškerá oprávnění	veškerá oprávnění

- ve skutečnosti jen logické pojmenování pro skupinu přesnějších oprávnění
- např. Traverse Folder/Execute File, List Folder/Read Data, Read Attributes, Read Extended Attributes, Create Files/Write Data, Create Folders/Append Data, Write Attributes, . . .

Oprávnění na platformě unix

- „ACL” – pro vlastníka, skupinu, zbytek
- novější unixy i plnohodnotné ACL

oprávnění	soubor	adresář
read	čtení souboru	čtení obsahu adresáře
write	zápis do souboru	změna obsahu adresáře
execute	spuštění souboru	vstup do adresáře (včetně zpracování cesty)

Příklad

```
rw-rw-r-- 1 joe admin 4096 Nov 20 foo.txt
```

Další příznaky

- setuid a setgid u souboru – spuštění souboru s právy vlastníka nebo skupiny
- setgid u adresáře – vytvořený soubor v adresáři zdědí skupinu
- sticky bit u adresáře – pouze root nebo vlastník souboru/adresáře jej může přejmenovat nebo smazat v daném adresáři (typicky /tmp)

Implementace souborových systémů: očekávané vlastnosti

- budeme předpokládat souborové systémy pro práci s disky s rotujícími částmi
- schopnost pracovat se soubory a disky adekvátní velikosti
- efektivní práce s místem (evidence volného místa, nízká fragmentace)
- rychlý přístup k datům
- eliminace roztroušení dat na disku
- odolnost proti poškození při pádu systému (výpadku napájení) \implies rychlé zotavení

Další vlastnosti

- snapshoty
- komprese dat
- možnost zvětšovat/zmenšovat FS za běhu
- kontrolní součty
- defragmentace za běhu
- správa oprávnění
- atd.

Struktura disku

- pro jednoduchost předpokládáme, že struktura disku je lineární
- informace o rozdělení disku na oddíly + zavaděč (dříve: MBR – master boot record, nověji: GPT – GUID Partition Table)
- *sektor disku* – obvykle velikost 4 kB (starší disky 512 B)
- \implies pracuje se s většími bloky 1-32 kB (často 4 nebo 8 kB)
- \implies optimální velikost bloku? (rychlost vs. úspora místa)
- jednotlivé oddíly obsahují souborový systém (vlastní organizace dat)
- je potřeba si udržovat informace o jednotlivých souborech (FCB, inody), volné místo, apod.

Evidence volného místa

- je potřeba udržovat informace o volném místě
- použití spojového seznamu volných bloků (možné použít volné bloky); jako u souborů
- vylepšení \implies rozsahy volných bloků (problém při fragmentaci)
- bitmapy – každý bit udává, jestli je daný blok volný (nutné místo – obvykle méně než promile kapacity)

Přidělování volného místa

- je žádoucí zapisovat data do souvislých volných bloků \implies eliminace přesunů hlavičky
- heuristické algoritmy (složitě na testování); problematické zaplnění disku na 95 % + současné zapisování více velkých souborů
- např. algoritmus v ext2+
 - zvolí se cíl zápisu (první volný blok, příp. první volný blok za souborem)
 - hledá se v bitmapě první volných 8 bitů (8 bloků) ležících za cílem; pokud takové nejsou, hledá se po bitech
 - (prealokace) alokátor se snaží zabrat 8 bloků za sebou
- clusterování – souvislý zápis více bloků (možnost je přeskládat); FreeBSD

Adresáře

- organizace adresářů \implies vliv na výkon
- různé struktury
 - spojový seznam – jednoduchá implementace; větší složitost
 - hash tabulka (komplikace s implementací)
 - varianty B-stromů (časté u moderních FS)
- umístění informací o souborech (metadat)
 - součást adresáře
 - součást souboru (UNIX) \implies problém: listování adresáře; jednoduché mít soubor ve více nebo žádném adresáři

Cache a selhání systému

- kvůli rychlejšímu přístupu nejsou často data zapisována přímo na disk \implies nejdřív do cache
- při výpadku (pád systému, výpadek napájení) nemusí být data ve write-back cache zapsána \implies poškození FS
- potřeba opravit FS (`fsck`, `chkdsk`) \implies časově náročné
- případné narušení systému
 - jeden uživatel запиše data na disk a smaže je
 - druhý uživatel vytvoří velký soubor a po zapsání metadat vyvolá výpadek
 - po restartu čte data prvního uživatele

Řešení

- synchronní zápis \implies zpomalení, konzistence nemusí být zaručena
- soft updates – uspořádání zápisů podle určitých pravidel (*BSD)
- žurnálování (používá se i v databázích)
- COW (aktuální data se nepřepisují)

Žurnálování

- data se zapisují v transakcích (přesun FS z jednoho konzistentního stavu do druhého)

Algoritmus

- 1 nejdřív se změna (transakce) zapíše do žurnálu (logu)
 - 2 po zapsání do žurnálu je **záznam označen spec. značkou**, indikující úplnost transakce
 - 3 data se zapíše na cílové místo na disku
 - 4 po zapsání na disk je záznam z žurnálu odstraněn
 - 5 při připojení FS se kontroluje stav žurnálu
 - zápis záznamu do žurnálu nebyl dokončen (chybí značka) \implies transakce se neprovede
 - jinak: transakce se zopakuje podle informací ze žurnálu
- často se žurnálují jen metadata
 - žurnál je cyklický; při zaplnění se zapíše/uvolní ty na začátku
 - je potřeba atomických zápisů na disk
 - cache & buffery komplikují implementaci