Sisteme de Operare

Administrarea informațiilor : Sisteme de fișiere

Cristian Vidrașcu

https://profs.info.uaic.ro/~vidrascu

Cuprins

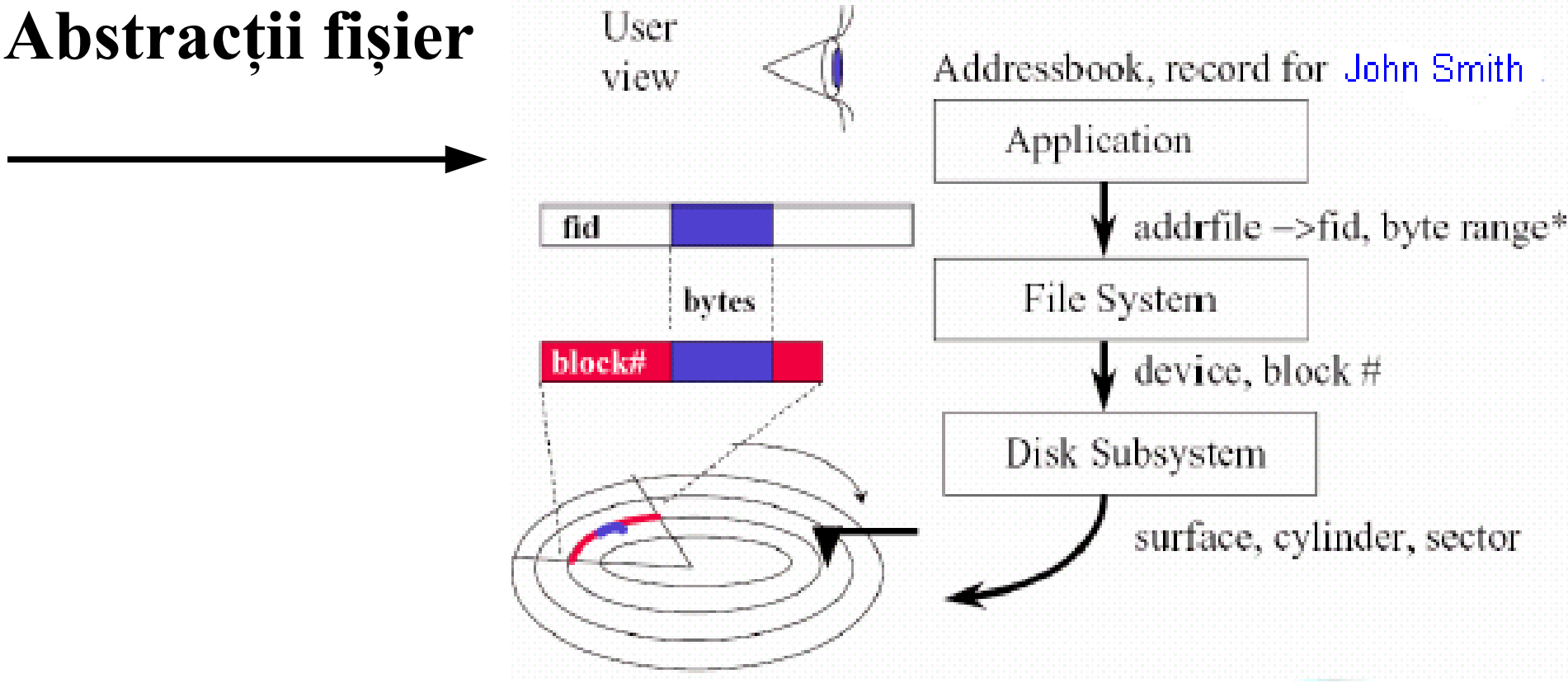
- Conceptul de fișier
- Interfața sistemului de fișiere
- Implementarea sistemului de fișiere

Conceptul de fișier /1

- **Fișier:** zonă de stocare contiguă d.p.d.v. logic (nu neapărăt contiguă și d.p.d.v. fizic)
- **Conținutul unui fișier:**
  - date (numerice, de tip caracter, binare)
  - program
- **Structura unui fișier:**
  - nestructurat (secvență de octeți)
  - structură simplă de tip înregistrare (linii/înregistrări, de lungime fixă sau variabilă)
  - structură complexă (e.g. document formatat, fișier executabil cu încărcare relocabilă)
  - Cine decide structura (i.e. modul de interpretare a conţinutului) ? sistemul de operare (Windows, OS/2) vs. programul (UNIX)

Conceptul de fișier /2

- **Rolul fișierelor:**
  - Persistență – date cu viață lungă, pentru posteritate
    - medii de stocare nevolatile
    - nume cu înțeles semantic (d.p.d.v. al utilizatorului)
- **Abstracții fișier**



Atributele fişierului (metadate)

- Nume – singura informație păstrată în formă inteligibilă uman
- Tip – necesar pentru sistemele ce suportă diverse tipuri
- Locație – pointer la locația fișierului pe perifericul de stocare
- Dimensiune – dimensiunea curentă a fișierului
- Protecție – controlează cine poate citi, scrie, executa, ... fișierul
- Timp, dată și identificatorul de utilizator – informații pentru protecție, securitate și monitorizarea utilizării

- Informațiile despre fișiere sunt păstrate în structura de directoare, ce este menținută pe disc

Operații asupra fișierelor

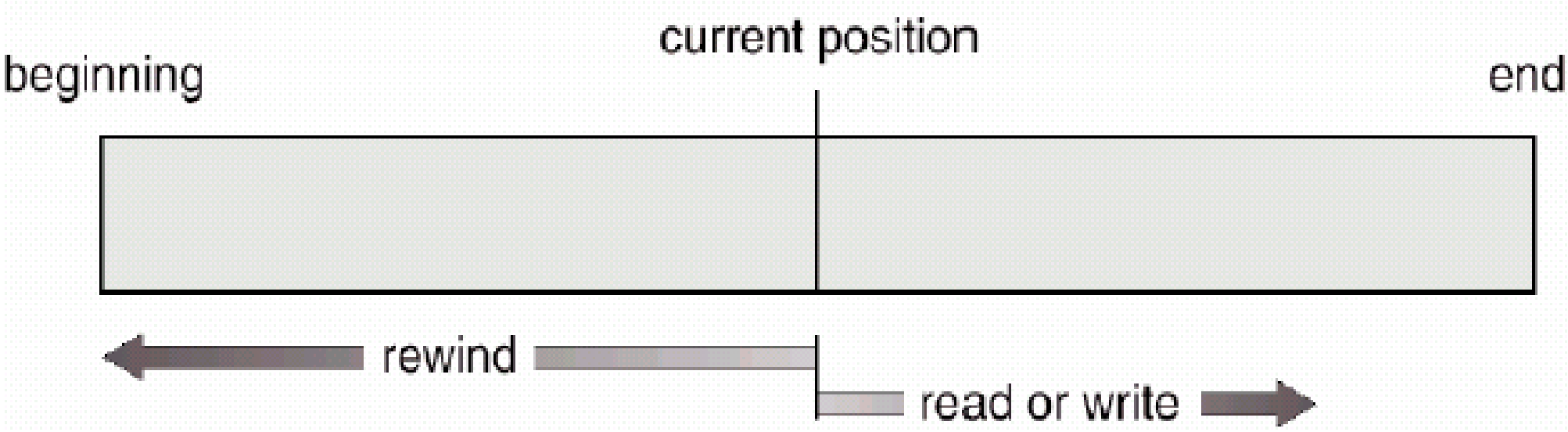
- Creare – creat()
- Citire – read()
- Scriere – write()
- Repoziționare în fișier (căutare în fișier) – lseek()
- Ștergere – unlink()
- Trunchiere – trunc()
- Deschidere (căutarea în structura de directoare de pe disc a intrării fișierului și copierea conținutului intrării în memorie) – open()
- Închidere (mutarea conținutului intrării fișierului din memorie în structura de directoare de pe disc) – close()

Accesul la fișiere /1

- Acces secvențial – acces de la început spre sfârșit, posibilitate de întoarcere la început (rewind) pentru reluarea parcurgerii secvențiale, se pot face citiri și scrieri, dar nu ambele simultan în timpul aceleași deschideri – *metafora benzii magnetice*
- Acces direct (acces aleatoriu) – acces după numărul (adresa) înregistrării, se pot face citiri și scrieri în orice combinații dorite – *metafora discului de vinyl*
- Acces indexat – acces direct prin conținut, folosind diverse tehnici (fișiere de index, fișiere multilistă, *hashing*, B-arbori, ș.a.)

Accesul la fișiere /2

- Acces secvențial



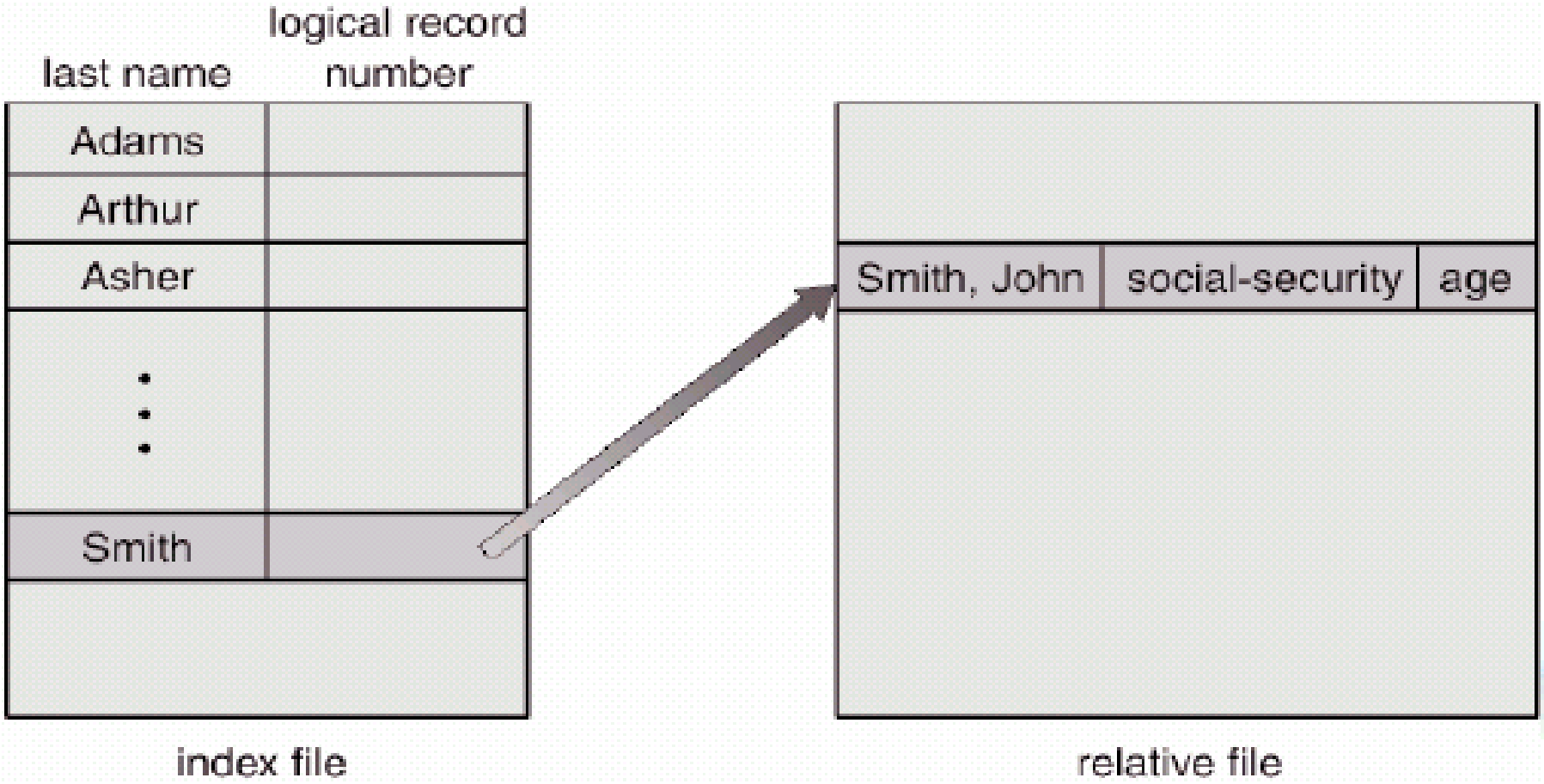
Accesul la fișiere /3

- Simularea accesului secvențial pe un fișier cu acces direct

acces secvențial	implementarea cu acces direct
reset	cp = 0;
read next	read cp; cp = cp + 1;
write next	write cp; cp = cp + 1;

Accesul la fișiere /4

- Exemplu de acces indexat – fișiere index și relative



Clasificări ale fișierelor

- Clasificarea după posibilitatea de tipărire (afișare) ASCII:
  – fișiere text
  – fișiere binare
- Clasificarea după suportul pe care sunt rezidente:
  – fișiere pe disc magnetic (HD, FD, ZIP, ...) sau tambur magnetic
  – fișiere pe bandă magnetică sau casetă magnetică
  – fișiere pe suport optic (CD, DVD) sau memorii NAND (stick USB, SD card, ...)
  – fișiere pe imprimantă sau plotter
  – fișiere pe cartele perforate sau bandă de hârtie perforată
  – fișiere pe ecran
  – fișiere tastatură
- Suportul influențează operațiile și modurile de acces posibile
  e.g. doar suportul disc/tambur acceptă accesul direct, celelalte suporturi acceptă doar accesul secvențial; fișierele pe cartele sau tastatură acceptă doar citiri, iar cele pe imprimantă, plotter sau

Interfața sistemului de fișiere

- Structura de directoare
- Funcții
- Organizare
- Partajare
- Montare
- Protecție

Structura de directoare /1

- **Director** – colecție de noduri ce conțin informații despre toate fișierele
- Atât fișierele, cât și structura de directoare sunt păstrate pe disc
- Copiile de siguranță ale acestora sunt păstrate (de obicei) pe benzi, CD-ROM-uri, ș.a.
- La început: director unic (e.g. CP/M, SIRIS – '60), iar apoi director pe 2 nivele (e.g. RSX – '70-'80, un S.O. în timp real pentru DEC PDP-11)
- În prezent: directoare cu structura arborescentă sau cu structură de graf aciclic

Structura de directoare /2

- Cum este organizată structura de directoare?
  - Listă înlănţuită
  - Vector sortat
  - Tabelă hash

(a se vedea la Implementarea sistemului de fișiere)

Sisteme de fișiere/1

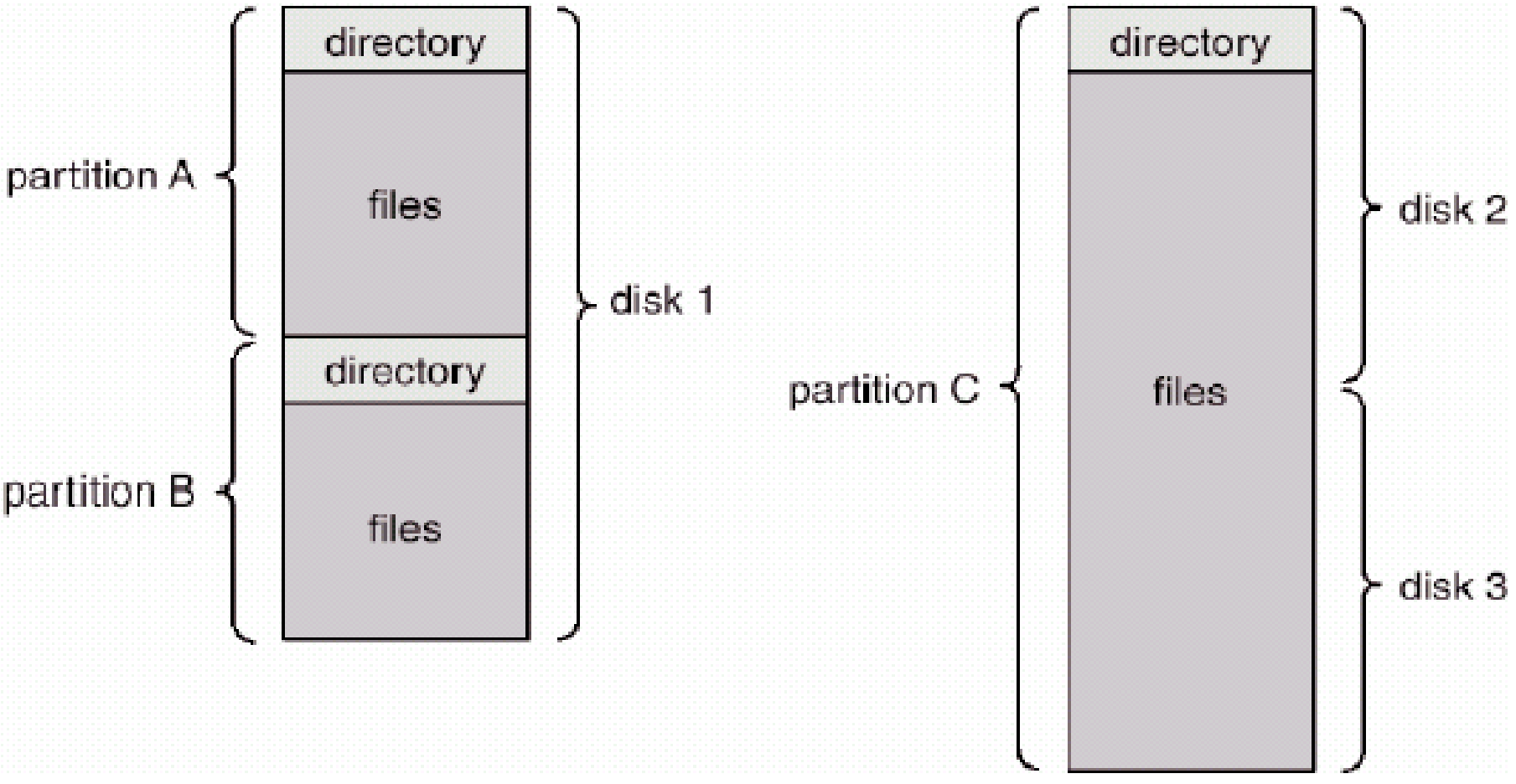
- Definiție: un **sistem de fișiere** este o colecție oarecare de fișiere, împreună cu structura de directoare în care sunt acestea organizate
- Există mai multe **tipuri** de sisteme de fișiere, e.g. *NTFS* (specific Windows) sau *ext2fs/ext3fs/ext4fs*, *btrfs*, *zfs*, ș.a. (specifice Linux / UNIX), ce diferă prin structurile de date folosite pentru stocarea lor și prin modul de implementare a operațiilor asupra fișierelor și directoarelor
- Structurile de date utilizate pentru stocarea unui sistem de fișiere folosesc conceptul de **cluster**, drept unitate de măsură pentru alocarea spațiului necesar memorării unui fișier, la nivelul *file-system*-ului
  Cu alte cuvinte, dimensiunea unui fișier (i.e. informația utilă stocată în el) este un atribut exprimat în octeți, însă spațiul ocupat de conținutul fișierului pe disc este un multiplu de clustere.
- *Dimensiunea unui cluster*: o putere de forma 2^n, cu $n=0,1,2,\ldots$, în termeni de **sectoare** (sau *blocuri-disc*, i.e. unitatea de stocare la nivelul *discului*)

Sisteme de fișiere/2

- Pentru persistență, sistemele de fișiere se păstrează pe ***dispozitive de stocare nevolatilă*** (e.g. disc, stick USB, CD, etc.), în entități numite **volume**.
- Un volum poate fi (mai multe detalii – în cursul următor):
  – o ***partiție*** *a unui disc* (schema clasică, MBR/GPT, ce permite stocarea mai multor volume /disc)
  – un *disc* ***întreg*** (e.g. stick USB, CD/DVD, etc.)
  – un ***ansamblu*** *de mai multe discuri* (ansamblu ce stochează un singur sistem de fișiere, prin tehnici precum RAID)
- Formatarea logică a unui volum = "crearea sistemului de fișiere" rezident pe acel volum, prin inițializarea (pe disc) a structurilor de date specifice tipului acelui sistem de fișiere; operația are ca parametri: tipul sistemului de fișiere, numele volumului (i.e., o etichetă) și dimensiunea clusterului (în termeni de sectoare)

Sisteme de fișiere/3

- Un exemplu de organizare a sistemului de fișiere



Funcțiile sistemului de fișiere

- (Subsistemul de directoare) Mapează numele de fișiere în identificatori de fișiere prin primitiva open (sau creat). Creează structurile de date din nucleu
- Menține structura de nume (unlink, mkdir, rmdir)
- Determină plasarea fișierelor (și a metadatelor) pe disc, în termeni de clustere. Gestionează alocarea clusterelor (1 cluster = 2^n sectoare consecutive). Gestionează clusterele eronate (i.e., cele ce conțin *bad sectors*)
- Gestionează apelurile de sistem read și write
- Inițiază operațiile I/O pentru transferul blocurilor dinspre disc spre RAM, respectiv dinspre RAM spre disc
- Gestionează tampoanele *cache* pentru disc

Informații într-un director de periferice

- Nume
- Tip
- Adresă
- Lungimea curentă
- Lungimea maximă
- Data ultimului acces (pentru arhivare)
- Data ultimei actualizări (pentru *dump*)
- Identificatorul proprietarului
- Informații pentru protecție

Operații asupra directoarelor

- Căutarea unui fișier
- Crearea unui fișier
- Ștergerea unui fișier
- Redenumirea unui fișier
- Listarea unui director
- Traversarea sistemului de fișiere
- Salvarea/restaurarea unui sistem de fișiere

Organizarea directoarelor

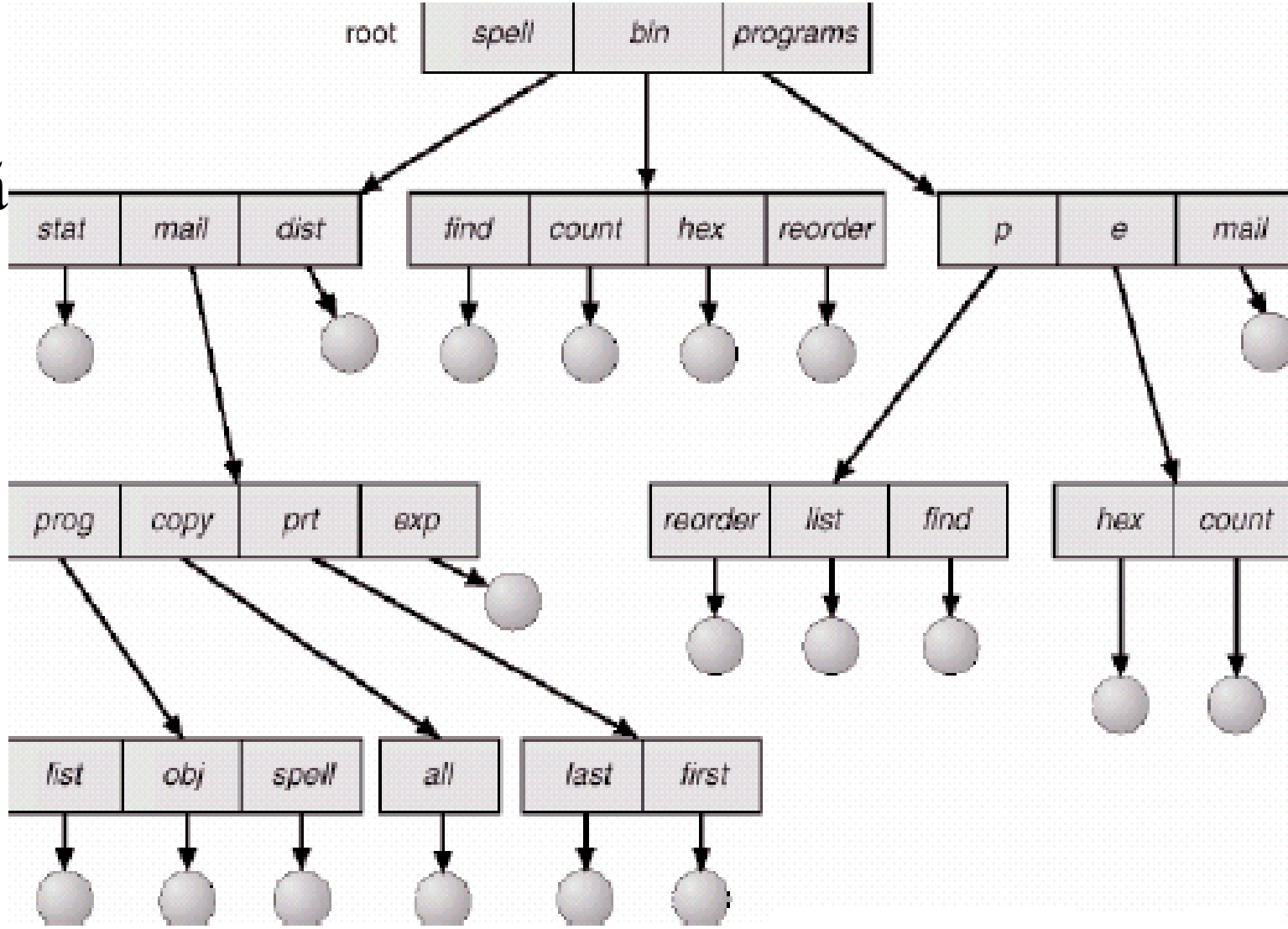
- Organizarea (logică a) directoarelor, pentru a obține:
  - **Eficiență** – localizarea rapidă a unui fișier
  - **Nume** – numele sunt utile pentru utilizatori
    - Doi utilizatori pot avea același nume pentru fișiere diferite
    - Același fișier poate avea mai multe nume diferite
  - **Grupare** – gruparea logică a fișierelor după proprietăți (e.g. toate programele C, toate jocurile, etc.)

Numirea fișierelor

- Scopuri:
  - Pentru a identifica fișierele (la deschidere, SO-ul mapează numele de fișiere în obiecte de tip fișier utilizate intern pentru accesul la fișiere)
  - Pentru a permite utilizatorilor să-și aleagă propriile nume de fișiere fără probleme de conflict de nume
  - Ușurința de utilizare: nume scurte, grupări

Sisteme de fișiere /1

- Directoare cu structură arborescentă

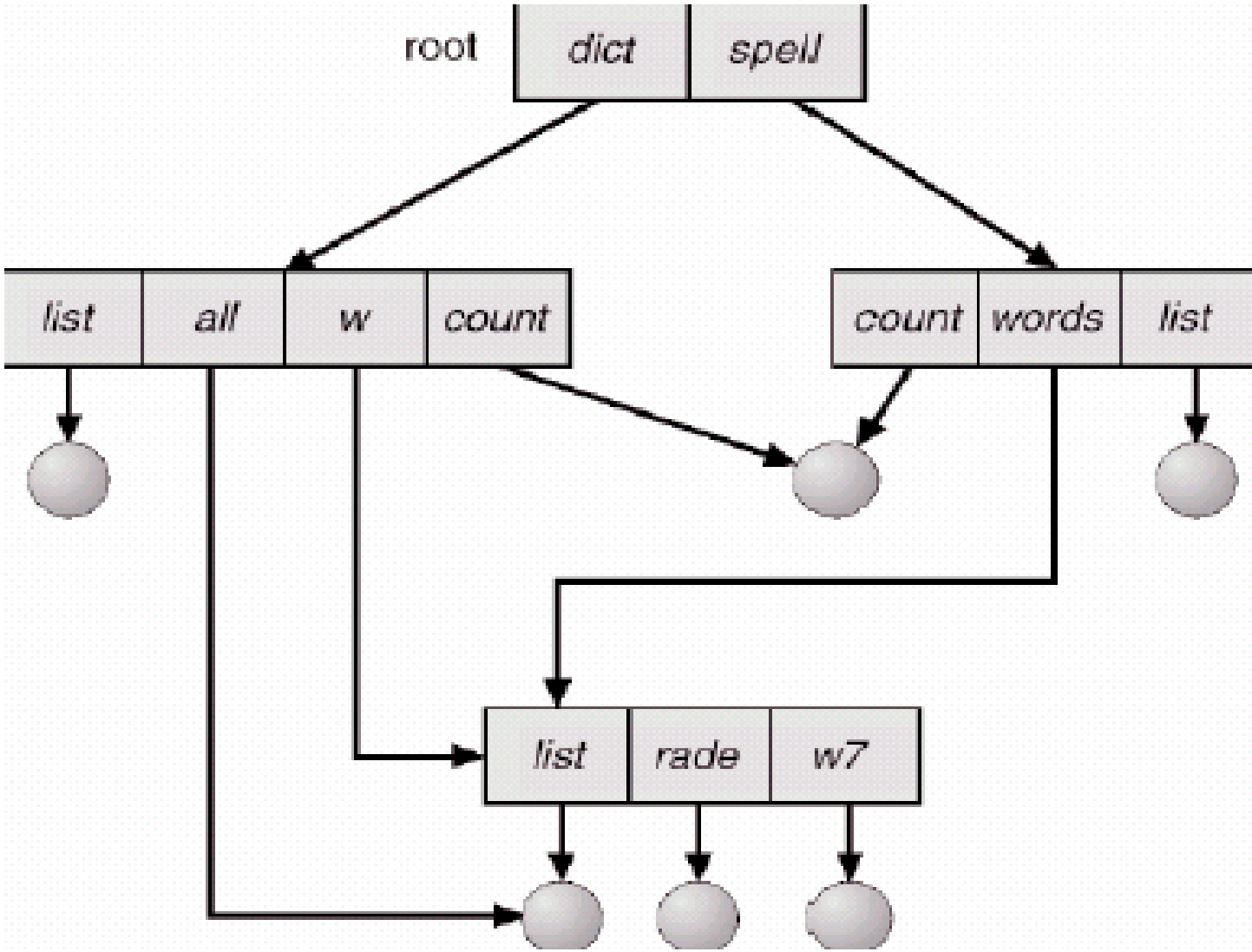


Sisteme de fișiere /2

- Directoare cu structură arborescentă
  - Căutare eficientă
  - Posibilități de grupare a fișierelor
  - Căi de nume **absolute** și **relative**
  - Crearea unui fișier nou se face în directorul curent
  - Crearea unui subdirector nou se face în directorul curent

Sisteme de fișiere /3

- Directoare cu structură de graf aciclic



Sisteme de fișiere /4

- Directoare cu structură de graf aciclic
  - Pot exista subdirectoare și fișiere partajate
  - Pot avea două nume diferite
  - *linking* hard/soft – link(), symlink()
  - **Problemă:** ștergerea unui fișier partajat
  - **Soluții:**
    - Back-pointers, pentru a putea șterge toate referințele
      Problemă: înregistrări cu lungime variabilă
    - Soluția cu contor de referințe păstrat în intrarea fișierului

Sisteme de fișiere /5

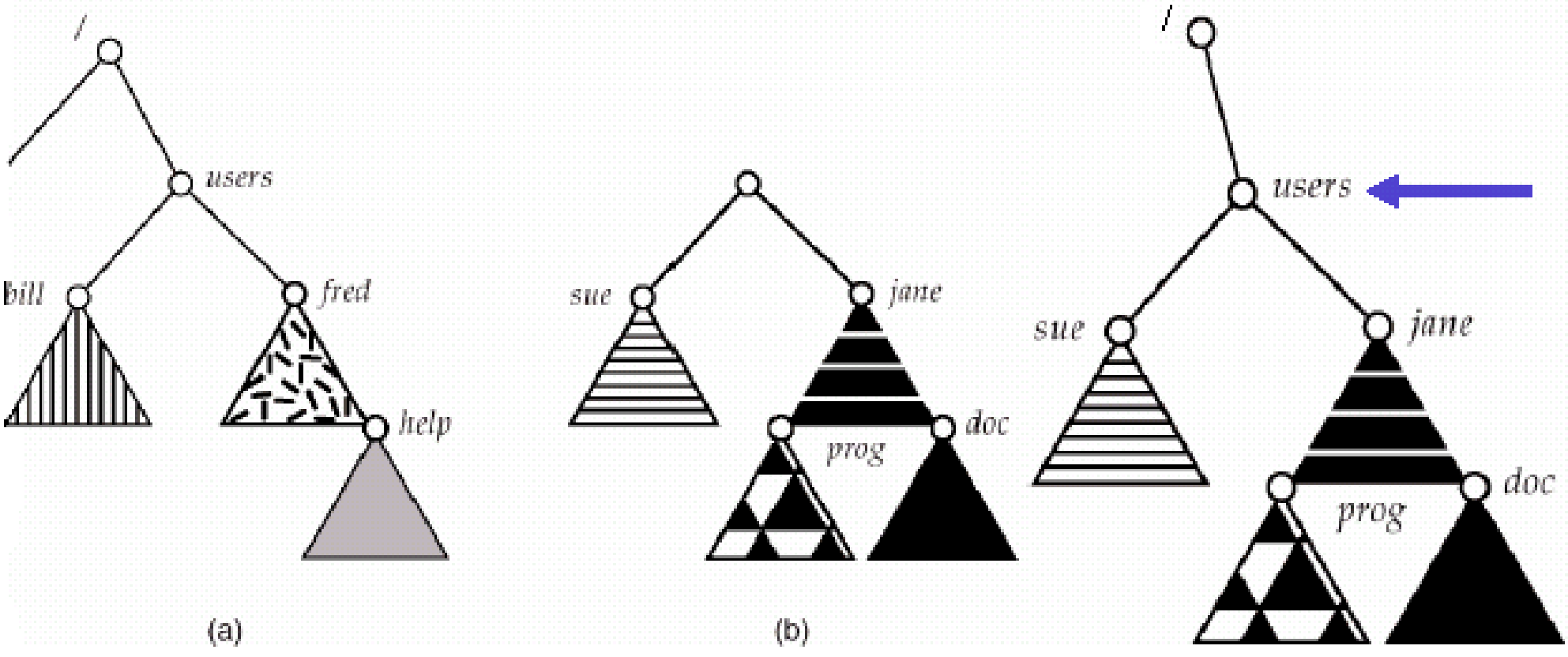
- Directoare cu structură de graf general
  - **Problemă:** cum garantăm inexistența circuitelor?
  - **Soluții:**
    - Permitem *link*-uri doar către fișiere, nu și către subdirectoare
    - Garbage collection
    - De fiecare dată când se adaugă un nou *link*, să se utilizeze un algoritm de detecție a circuitelor pentru a decide dacă să se permită acea adăugare sau nu

Montarea /1

- Un sistem de fișiere trebuie să fie **montat** înainte de a putea fi accesat
- Un sistem de fișiere nemontat se montează la un **punct de montare** (un director de montare)
- Auto-montarea (la introducerea unei dischete, CD, stick USB, ș.a.)
- În UNIX/Linux: mount(), umount()

Montarea /2

- Exemplu:



(a) Sistemul existent (b) Partiție nemontată Punctul de montare

Partajarea fișierelor

- Partajarea fișierelor în sisteme multi-utilizator este o facilitate de dorit
- Partajarea se poate face printr-o schemă de protecție
- În sisteme distribuite, fișierele pot fi partajate prin intermediul rețelei
- Metode:
  - NFS (Networked File System), ce utilizează RPC – SUN
  - Partajarea fișierelor din Windows 9x
  - Active Directory-ul din Windows Server 200x
  - NIS+ (fostul Yellow Pages), folosit de UNIX/Linux

Protecția fișierelor

- Proprietarul/creatorul unui fișier trebuie să poată controla:
  – ce operații pot fi făcute asupra fișierului
  – și de către cine
- Drepturi de acces:
  – Read
  – Write
  – Execute
  – Append (adăugare de articole noi la sfârșitul fișierului)
  – Delete
  – List

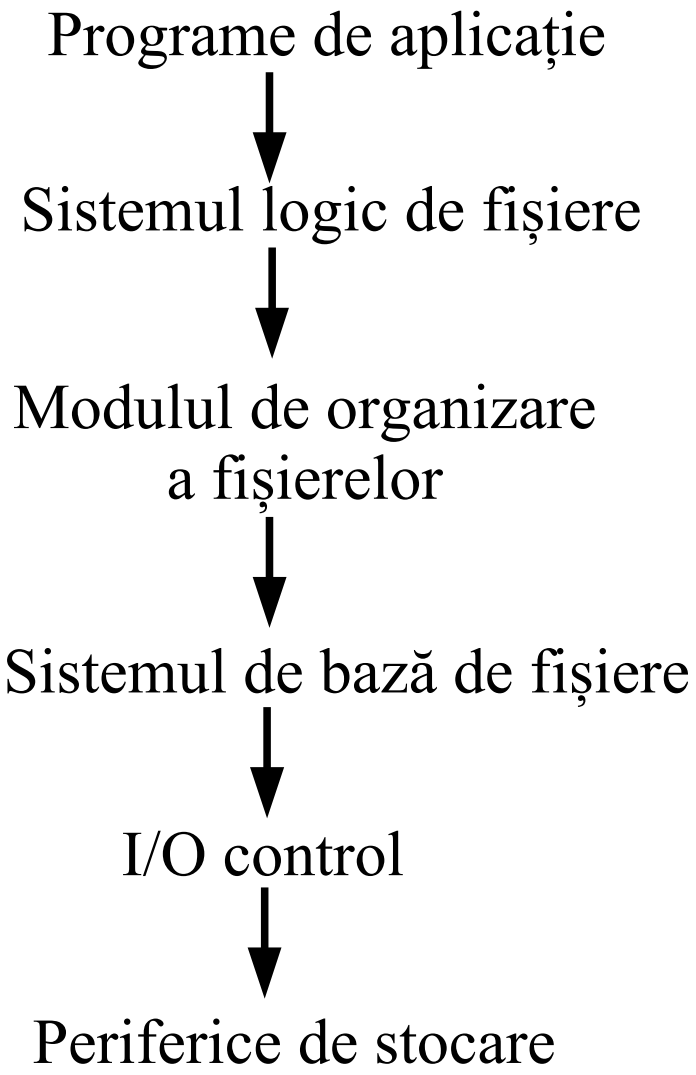
Implementarea sistemului de fișiere

- Structura sistemului de fișiere
- Implementarea fișierelor și directoarelor
- Metode de alocare
- Gestiunea spațiului liber
- Eficiența și performanța
- Recuperare
- Sisteme de fișiere jurnalizate
- Networked File System (NFS)
- Sisteme de fișiere "*next-generation*"

Structura sistemului de fişiere

- Structura fișierului
  – Unitatea logică de stocare
  – Colecție de informații înrudite
- Sistemul de fișiere se păstrează pe memoria secundară (perifericele de stocare – discuri: HD, FD, CD, ș.a.)
- Sistem de fișiere organizat pe nivele
- Blocul de control al fișierului – **FCB** (*File Control Block*) – structura de stocare pe disc ce conține anumite informații despre un fișier
- Deschiderea unui fișier pune la dispoziție un *handle* de referință la FCB, utilizat pentru accesele la fișier

Sistem de fişiere pe nivele

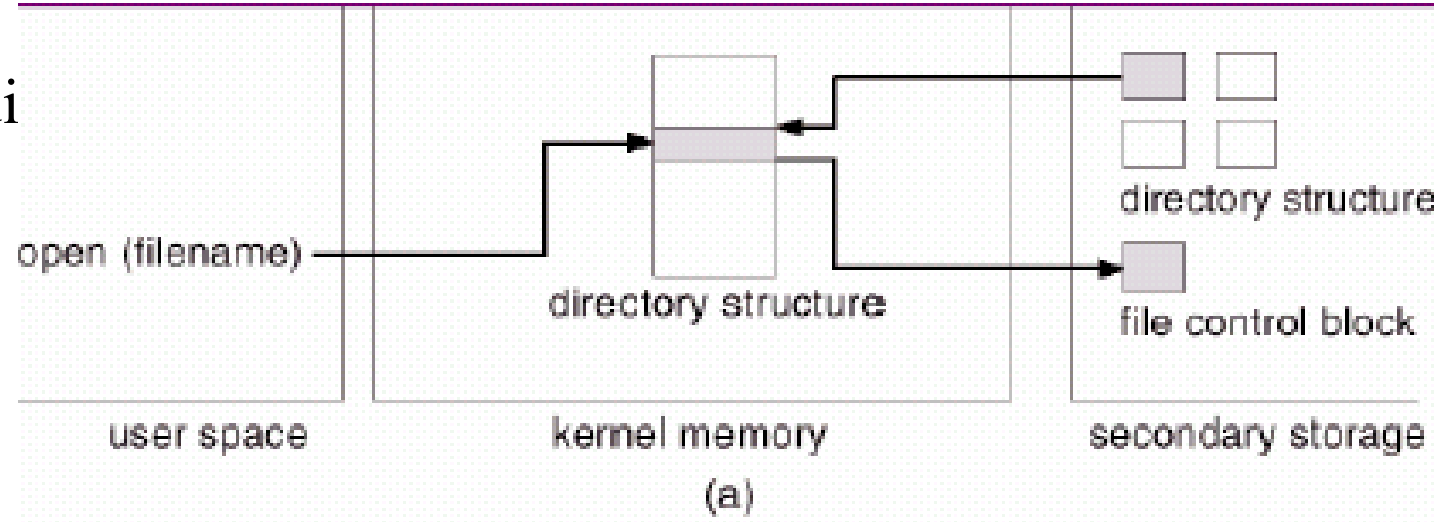


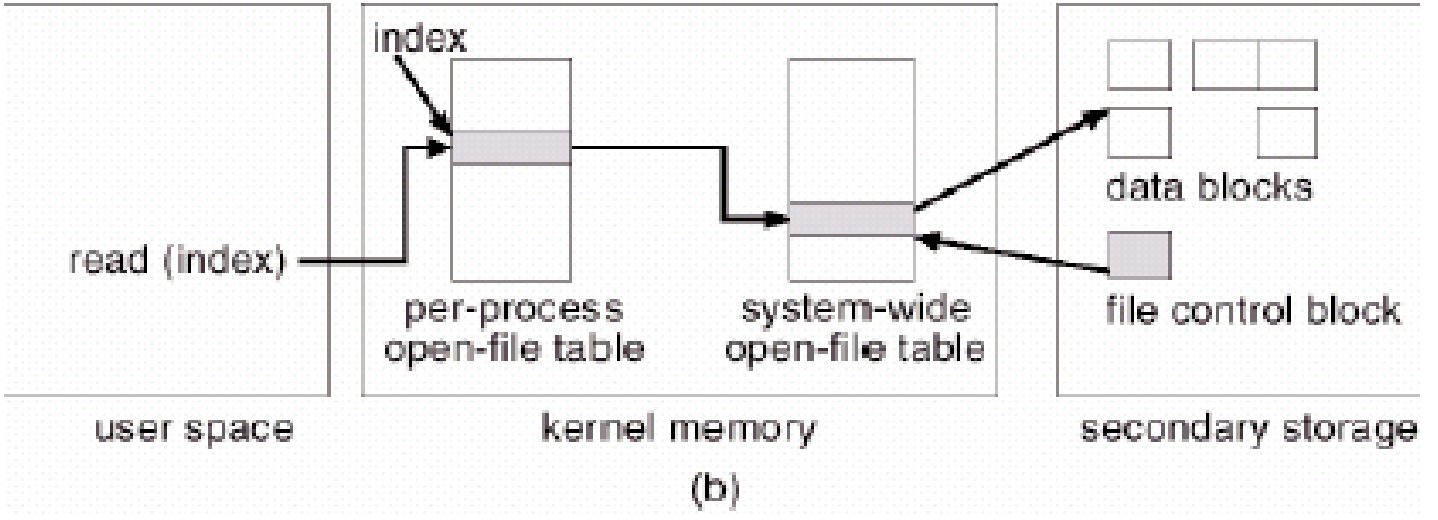
permisiuni de acces la fișier
data (creării, actualizării, accesării)
proprietar, grup, ACL
dimensiunea fișierului
blocurile de date

FCB-ul unui fișier

Structuri interne

Structurile sistemului de fișiere necesare, furnizate de S.O.-uri
(a) deschiderea
(b) citirea



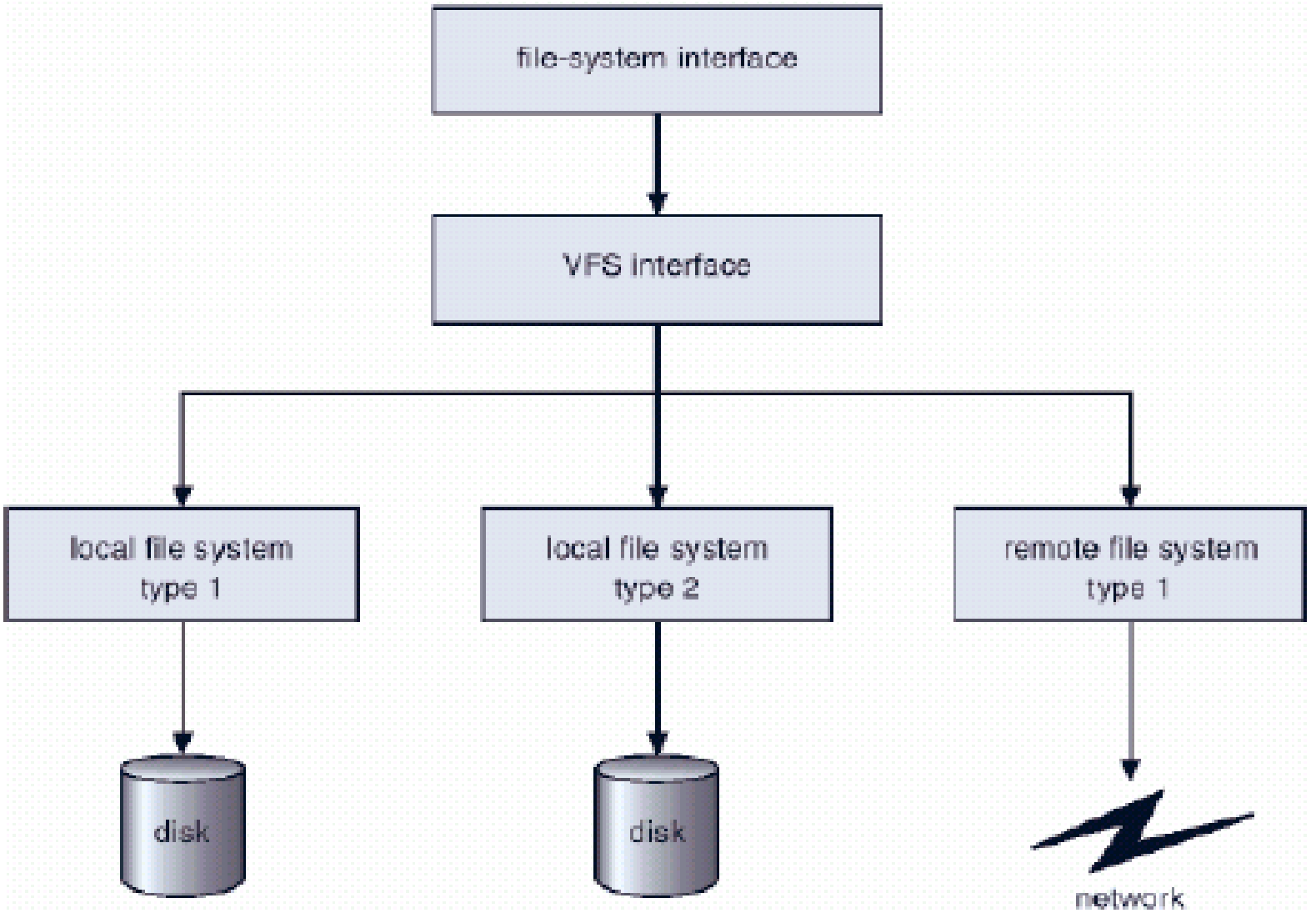


Sisteme de fișiere virtuale /1

- VFS furnizează o modalitate orientată-obiect de implementare a sistemelor de fișiere
- VFS permite utilizarea aceleași interfețe a apelurilor de sistem (API-ul) pentru diferite tipuri de sisteme de fișiere
  (e.g. ext2fs, ext3fs, vfat, fat16, hpfs, ntfs, nfs, ...)
- Utilizat în nucleul Linux

Sisteme de fișiere virtuale /2

- Schema unui VFS:



Implementarea directoarelor

- Listă liniară de nume de fișiere cu pointeri către blocurile de date
  - simplu de programat
  - consumator de timp la execuție
- Tabelă hash – listă liniară cu structură de date hash
  - micșorează timpul de căutare în director
  - coliziuni – situații în care două nume de fișiere au prin funcția hash aceeași locație
  - dimensiune fixată

Metode de alocare /1

- Metoda de alocare se referă la modul în care blocurile disc sunt alocate pentru fișiere
  - **Alocare contiguă**
  - **Alocare înlănțuită**
  - **Alocare indexată**

Metode de alocare /2

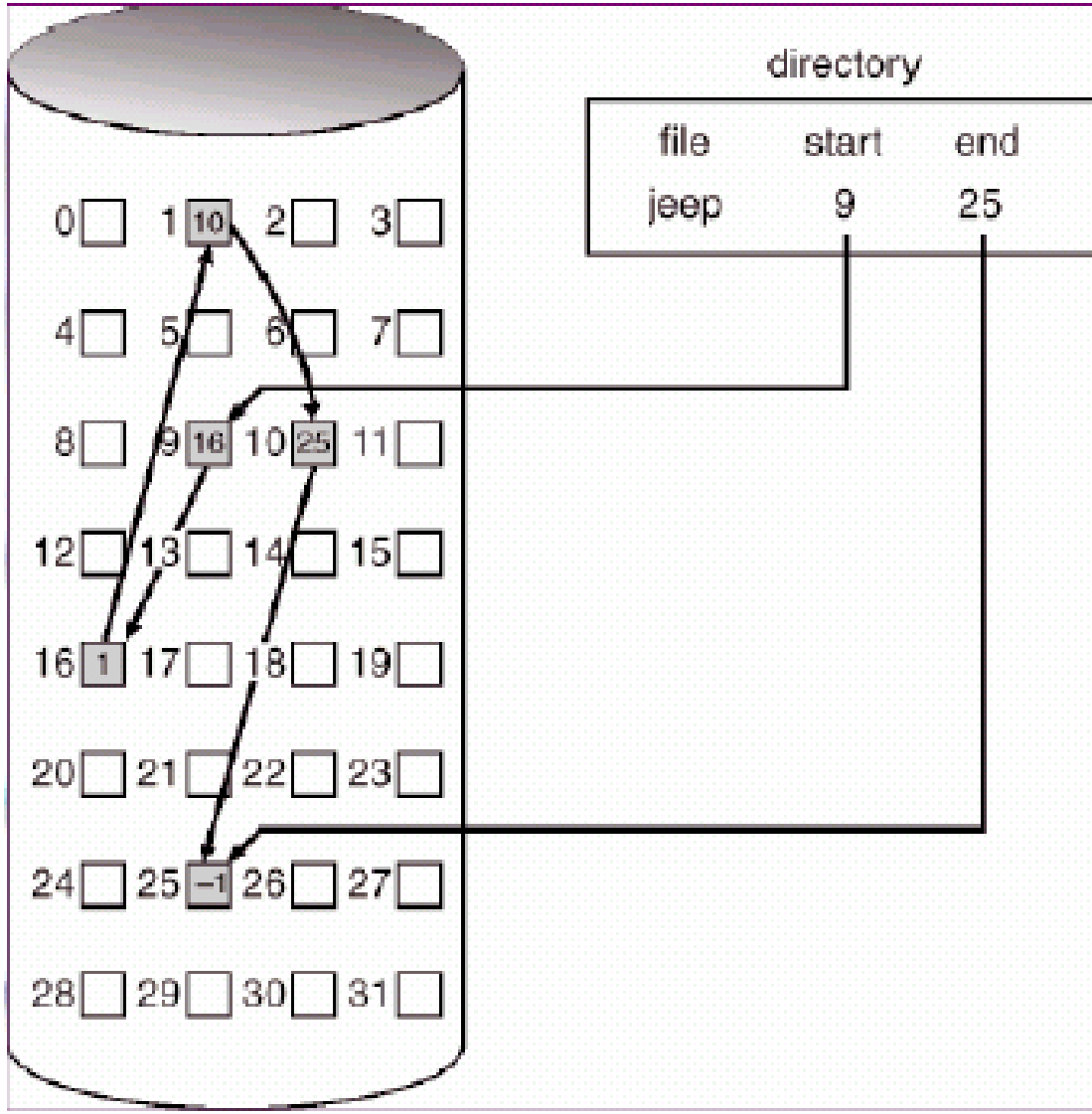
- **Alocarea contiguă**
  - Fiecare fișier ocupă o mulțime contiguă de blocuri pe disc
  - Simplă – sunt necesare doar locația de start (numărul blocului de început) și lungimea (numărul de blocuri ocupate)
  - Acces aleatoriu (direct)
  - Risipă de spațiu (problema alocării dinamice a spațiului de stocare)
  - Fișierele nu pot crește în dimensiune
  - Alocarea bazată pe extindere – Veritas File System

Metode de alocare /3

- **Alocarea înlănțuită**
  - Fiecare fișier este o listă liniară simplu înlănțuită de blocuri disc; fiecare bloc conține o parte din datele fișierului și o referință (un pointer) către următorul bloc
  - Blocurile pot fi "împrăștiate" oriunde pe disc (nu mai sunt într-o zonă contiguă)
  - Blocuri adiționale sunt alocate pe măsură ce fișierul crește în dimensiune
  - Accesul secvențial nu ridică nici o problemă, în schimb accesul direct nu se poate face eficient
  - Coruperea lanțului de pointeri provoacă probleme majore
  - Tabela de alocare a fișierelor (FAT) – alocare utilizată de MS-DOS, Windows 9x și OS/2 <3.0

Metode de alocare /4

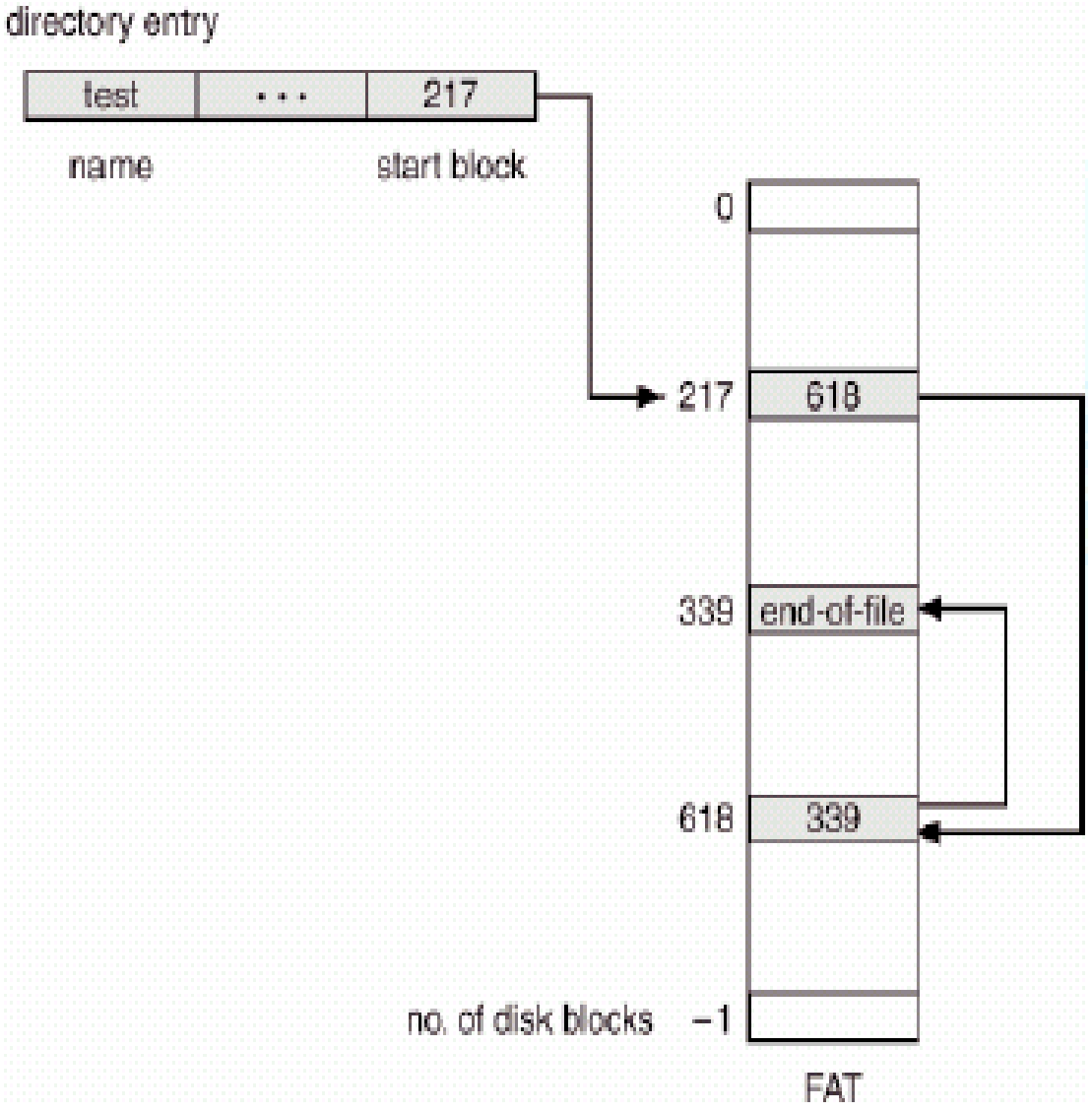
- **Alocarea înlănțuită**



Metode de alocare /5

- **Alocarea înlănțuită**

File Allocation Table (FAT)



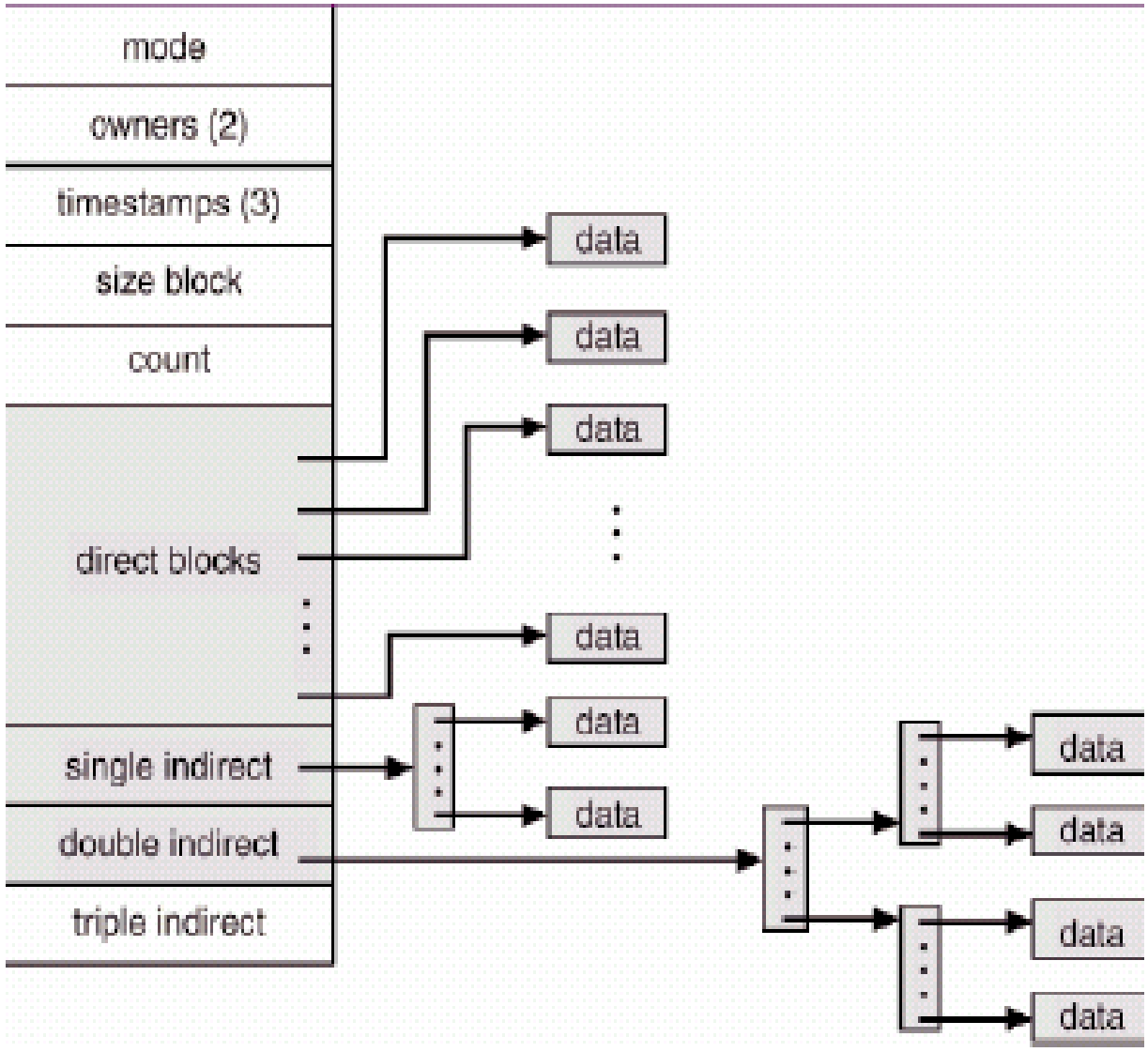
Metode de alocare /6

- **Alocarea indexată**
  - Pune laolaltă toți pointerii într-un bloc de index (alocarea indexată grupează referințele împreună și le asociază cu un fișier particular)
  - Se utilizează o tabelă de indecși
  - Acces aleatoriu (direct)
  - Acces dinamic fără fragmentare externă (optimizat pentru situația în care în sistemul de fișiere sunt multe fișiere mici), dar prezintă *overhead*-ul implicat de accesul suplimentar la blocul de index
  - i-noduri – alocare utilizată de UNIX/Linux, Mac OS X

Metode de alocare /7

- **Alocarea indexată**

  i-noduri UNIX

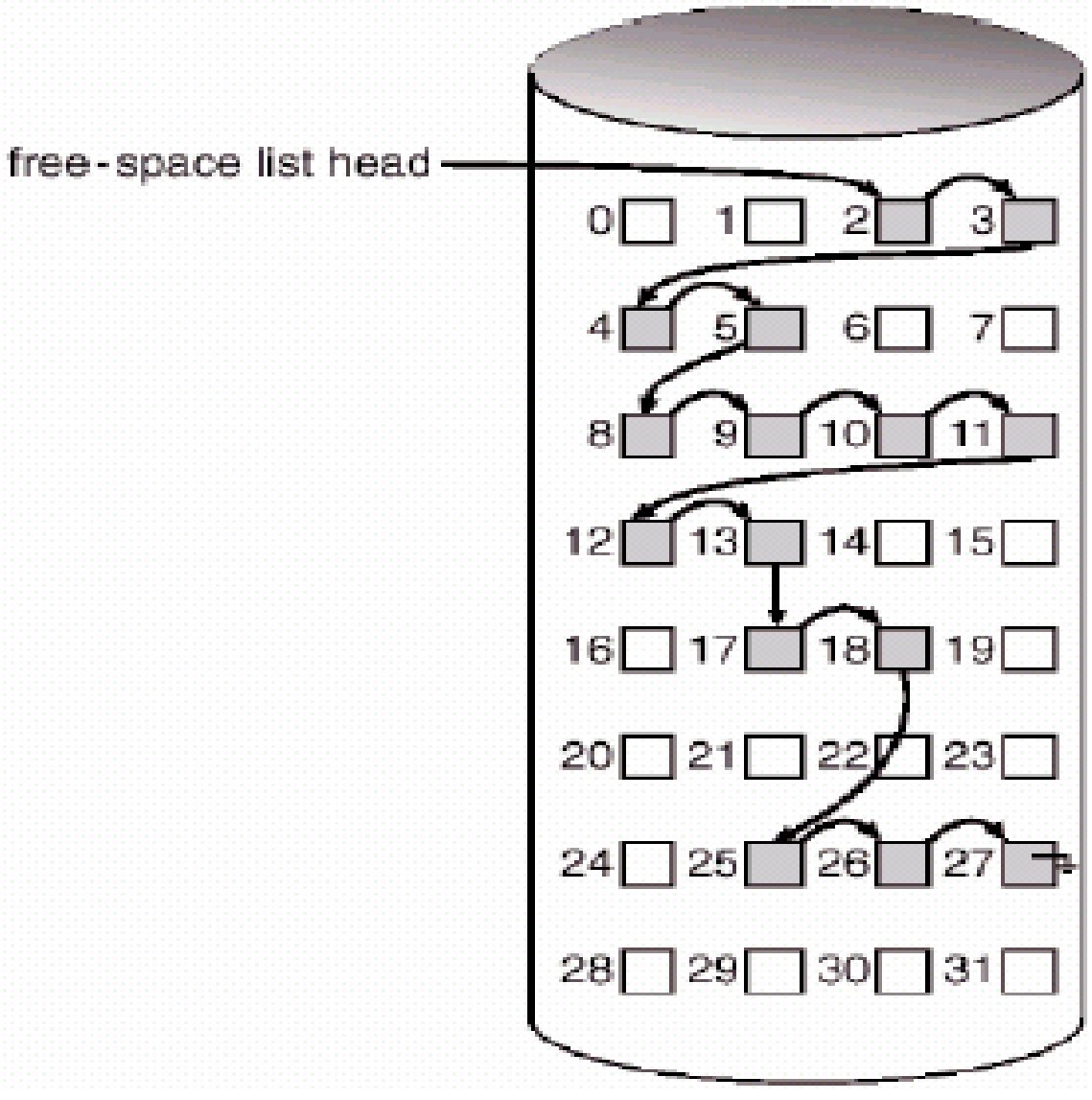


Gestiunea spațiului liber /1

- **Metode folosite pentru evidența blocurilor libere:**
  - Vectorul de biți
    - Instrucțiuni mașină pentru găsirea primului bit setat
    - Pentru eficiență, este nevoie de păstrarea vectorului de biți în memorie, nu pe disc
    - Exemplu: Mac OS
  - Lista înlănțuită : exemplu pe următorul slide
  - Gruparea : exemplu peste două slide-uri
  - Păstrarea unei liste cu zonele libere contigue – perechi de forma (numărul blocului liber de început, dimensiune)

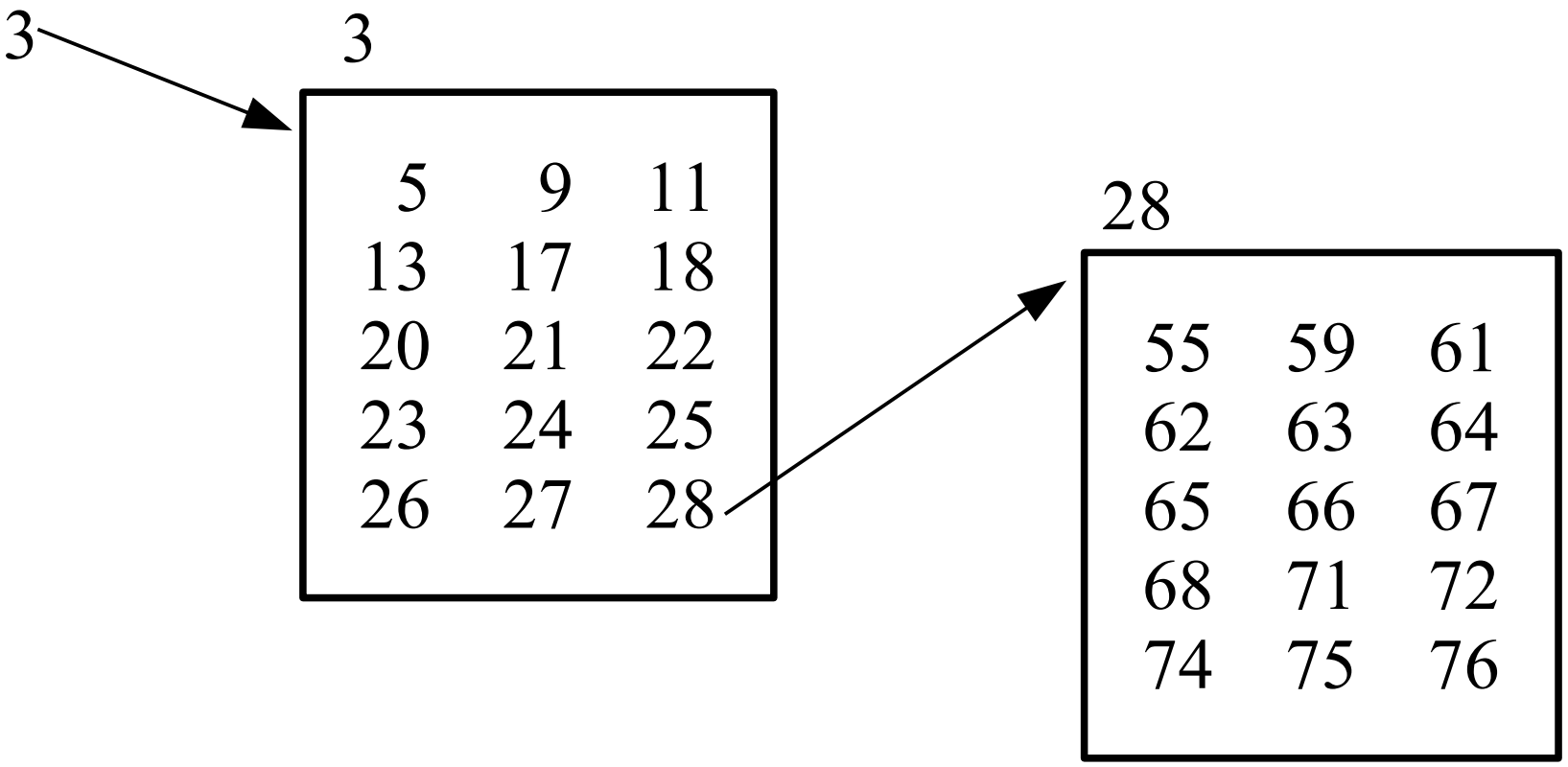
Gestiunea spațiului liber /2

- Lista înlănțuită a spațiului liber pe disc



Gestiunea spațiului liber /3

- Gruparea spațiului liber pe disc

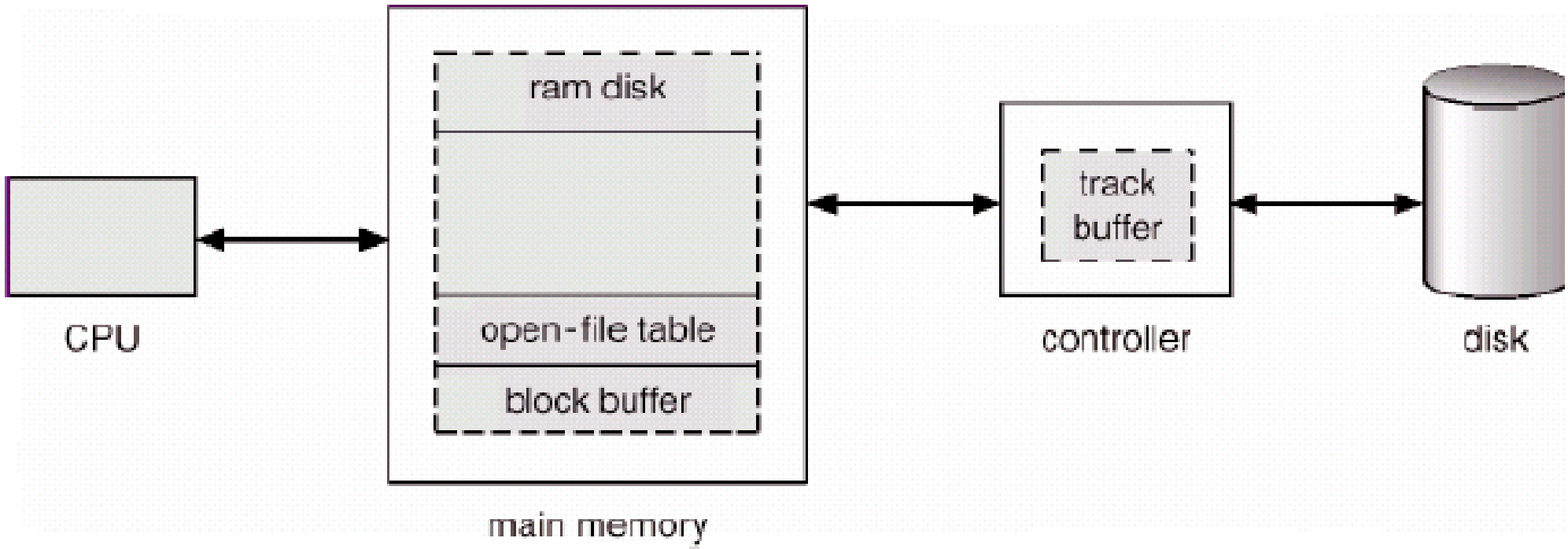


Eficiența și performanța /1

- **Eficiența depinde de:**
  - Algoritmii de alocare a discului și pentru directoare
  - Tipurile de date păstrate în intrarea fișierului din director
- **Performanța**
  - Disk cache – o secțiune separată a memoriei principale utilizată ca memorie *cache* a blocurilor de disc utilizate frecvent
  - Free-behind și read-ahead – tehnici de optimizare a accesului secvențial
  - Dedicarea unei secțiuni a memoriei principale drept disk virtual (numit uneori și RAM disk)

Eficiența și performanța /2

- Localizarea *cache*-ului de disc



Recuperare

- Verificări de consistență – compară datele din structura de directoare cu blocurile de date de pe disc și încearcă să remedieze inconsistențele găsite; dezavantaj: poate dura mult timp. Unealta *consistency checker*: fsck (în UNIX) sau chkdsk (în Windows)
- Folosirea unor utilitare de sistem pentru **backup**-ul datelor de pe disc pe un alt periferic de stocare (disc extern, CD/DVD, bandă magnetică, ș.a.), operație ce trebuie realizată periodic!
  + Recuperarea unor fișiere "pierdute" / unui disc "pierdut" prin **restaurarea** datelor de pe un backup realizat anterior!
- O altă soluție interesantă este furnizată de sistemele de fișiere **jurnalizate**, respectiv, mai nou, de sistemele de fișiere "*next-generation*"

Sisteme de fişiere jurnalizate

- Sistemele de fișiere **jurnalizate** înregistrează fiecare actualizare a sistemului de fișiere ca pe o **tranzacție**
- Toate tranzacțiile sunt scrise într-un **jurnal** (*log*). O tranzacție este considerată **comisă** atunci când este scrisă în jurnal. Totuși, se poate ca sistemul de fișiere să nu fi fost încă actualizat
- Tranzacțiile din jurnal sunt operate asincron în sistemul de fișiere. După ce sistemul de fișiere este modificat, tranzacția este ștearsă din jurnal
- Dacă sistemul "crapă", toate tranzacțiile rămase în jurnal trebuie să fie operate după repornirea sistemului
- Exemple: NTFS (Windows) sau *ext3fs*/*ext4fs* (Linux)

Networked File System

- NFS = o implementare a firmei Sun Microsystems (în S.O.-urile Solaris, SunOS) și o specificație a unui sistem software pentru accesarea fișierelor de la distanță în rețele LAN (sau WAN)
- Stațiile de lucru interconectate prin intermediul rețelei sunt privite ca o mulțime de mașini independente, cu sisteme de fișiere independente, ce permit partajarea fișierelor între aceste sisteme de fișiere, într-o manieră transparentă pentru utilizator (folosind protocoalele de montare, RPC, UDP/IP, modelul client-server)
- Specificațiile NFS sunt independente de hardware, sistem de operare și tehnologia de rețea

Sisteme de fişiere "*next-generation*"

- Sistemele de fișiere "*next-generation*" încearcă să ofere *toleranță la tipuri de erori* ce nu sunt prevenite de tehnologiile anterioare: sistemele de fișiere jurnalizate (ce oferă protecție doar la nivelul structurii *file-system*-ului, nu și pentru conținutul fișierelor) sau tehnicile RAID (ce oferă protecție doar în anumite situații, dar nu și contra "bit rot")
- "Bit-rot" = "the silent corruption of data on disk; one at a time, from time to time, a random bit here or there gets flipped."
  Referință: https://arstechnica.com/information-technology/2014/01/bitrot-and-atomic-cows-inside-next-gen-filesystems/
- Exemple: ZFS (Solaris), btrfs (Linux) sau, mai nou, ReFS (Windows)
- Protecția contra "bit-rot": ZFS stochează *checksums* pentru toate datele și metadatele unui volum, și astfel poate detecta (și corecta) coruperea acestora
- Alte facilități: operații *COW* atomice, *snapshots*, *built-in handling of disk failures and redundancy*, *integration of RAID functionality*, etc.

Bibliografie

- **Bibliografie obligatorie**

  capitolele despre *sisteme de fișiere* din

  – Silberschatz : "*Operating System Concepts*"
  (cap.11 și cap.12 din [OSC9])

  sau

  – Tanenbaum : "*Modern Operating Systems*"
  (cap.4 din [MOS3])

Sumar

- Conceptul de fișier
- Interfața sistemului de fișiere
- Implementarea sistemului de fișiere

Întrebări ?