

LUENTO 17

TIEDOSTOJEN HALLINTA

Käytännön esimerkit


Ch 12.8-9 [Stal 05]
Ch 10.6.4, 11.6-7 [Tane 01]
Ch 20.7 [DDC 04]

1

Sisältöä

- Linux
 - Virtual File System (Ch. 12.8 [Stal 05])
 - ext2fs (Ch 6, Ch 11.6 [Tane 01], Ch 2.7 [DDS 04])
 - NFS, Network File System (Ch 10.6 [Tane 01])
- Windows
 - Journaling File System
 - NTFS - W2K File System (Ch 12.9 [Stal 05], Ch 11.7 [Tane 01])

2



LINUX

Tiedostojärjestelmät


3

Linux

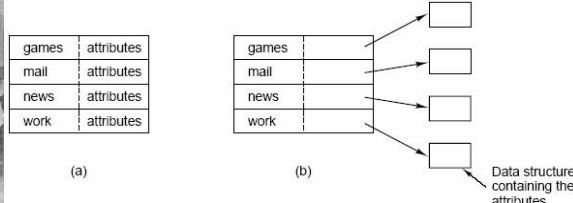
- Tiedosto = tavujono
 - ei tietueita, ei jaksoja
 - organisointi sovelluksissa
- Tiedostonimi ja attribuutit erillään
 - attribuutit = i-solmu (i-node, index node)
- Hakemisto
 - tiedosto, jossa pareja (tiedostonimi, i-solmunumero)
- Symbolinen linkki (soft)
 - tiedosto, jossa sisältönä tiedoston polkunimi

Fig. 6-16 [Tane 01]

Bovet D.P., Cesati M.:
Understanding the LINUX KERNEL. O'Reilly, 2001.



4



(a) (b)

Data structure containing the attributes

Fig. 6-16. (a) A simple directory containing fixed-size entries with the disk addresses and attributes in the directory entry. (b) A directory in which each entry just refers to an i-node.

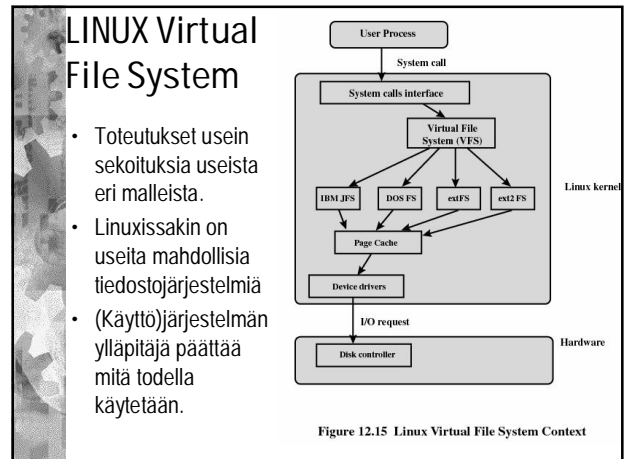
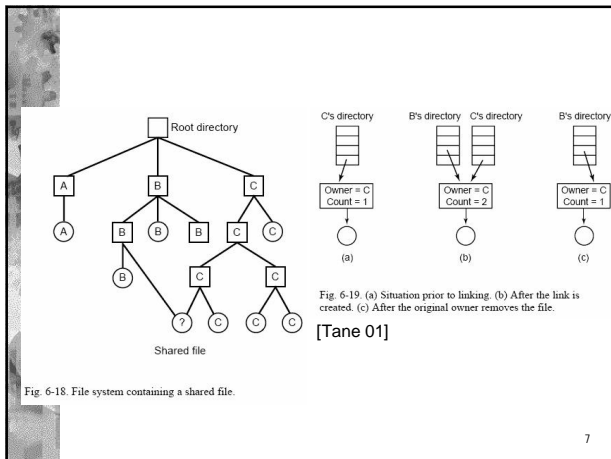
[Tane01]

5

Tiedostojen yhteiskäyttö

- Sama tiedosto käytössä monta kertaa
- Hard link
 - monta omistajaa (vai monella omistajan oikeudet?)
 - kaikilla samat oikeudet
 - omistaja poistaa → muilla silti käytössä normaalisti
- Soft link eli symbolinen linkki
 - tiedoston tyyppi: symbolinen linkki
 - tiedoston sisältö: merkkijono, joka indikoi varsinaisen tiedoston
 - vain yksi omistaja
 - omistaja poistaa → muiden linkit epäkelpoja

6



Linux VFS (virtual file system)

- Tuki useille tiedostojärjestelmille
 - register_filesystem(), unregister_filesystem()
 - ext2fs, procfs, FAT, NTFS, minix, NFS, smb, ...
 - superlohko
 - maäritlee tiedostojärjestelmän
 - oma paikka levyllä
- Tarjoaa sovelluksille yhtenäisen rajapinnan
 - open(), read(), write(), seek(), close(), ...
 - kaikki VFS'n kautta viitattu tieto ei ole levyllä talletettuja tiedostoja
 - i-node
 - KJ-oliot, laitteet, yhteiset muistialueet
 - tiedon suojaus silti tiedostojen tapaan

9

Linux VFS rakenne

Ch. 20.7 [DDC 04]

- VFS fd – file descriptor (file object)
 - aukiolevalle tiedostolle, missä kohtaa lukemassa/kirjoittamassa
 - oikeudet (user ID, group ID)
 - linkki tiedoston dentryyn
 - sallitut operaatiot
- VFS dentry – directory entry
 - osoittaa hakemistopuussa kaikkiin lähisukulaisiin (niiden dentry)
 - isa-hakemisto, lapsi-hakemistot tai -tiedostot
 - sisarus-hakemistot tai -tiedostot
 - linkki tiedoston i-node:en
- VFS i-node (varsinainen tiedoston metatieto)
 - tiedostojärjestelmän tunniste ja superlohko (superblock)
 - tiedostojärjestelmän sisäinen i-node

10

VFS metatiedon välimuistit

- VFS ja hakemistohierarkia hidastavat käyttöä
 - tiedot pitää yleensä hakea levyllä hakemisto kerrallaan
 - tiedostojärjestelmäkohtainen lookuop()
- dcache (dentry cache)
 - viimeksi viitattujen tiedostojen dentry
 - nopea kuvaus filename → i-node
 - tiedoston X dentry välimuistissa → myös kaikki tiedoston X esivanhempien dentry välimuistissa
- i-node cache
 - viimeksi käytössä olleiden tiedostojen VFS i-nodet
 - näistä löytyy tiedostojärjestelmän i-node

11

Linux tiedostojärjestelmät

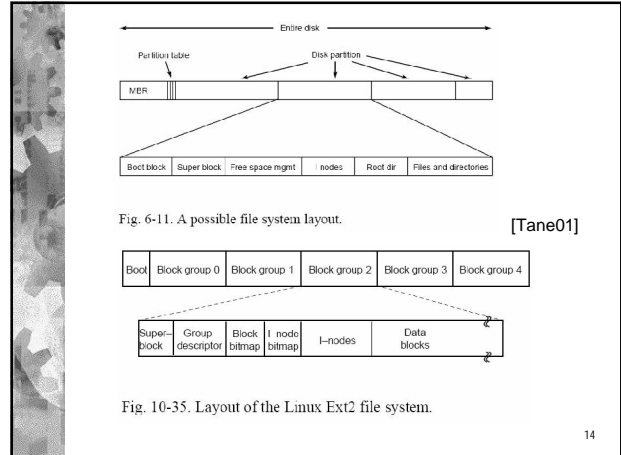
- ext2fs (second extended file system)
 - Linuxia varten kehitetty tiedostojärjestelmä
 - esikuvana BSD Fast File System (FFS)
 - lohkoryhmit
 - tehokkuus, luotettavuus
- /proc
 - erikoistiedostot, luodaan 'lennosta'
 - esim. ytimen parametrien kysely/asettaminen
 - KJ-palvelut piilotettu tiedostojärjestelmän käyttöä
 - käytön valvonta tiedostojärjestelmän suojauksen avulla
- ext3fs
 - journaling file system, log-structured file system (LFS)
 - Red Hat Linux'issa

12

Looginen levy – yleinen tapaus

- MBR (master boot record)
 - fyysinen sektori 0, jonka BIOS lukee **Flash BIOS**
 - Basic Input Output System
 - mitä tehdään ennen alustusta tai miten alustetaan
- partitiotaulu
 - kunkin partitiion alku ja loppu
 - tiedostojärjestelmän tyyppi
 - yksi partitioista aktiivinen → bootii
 - sisältää KJ:n
 - voidaan valita alustuksen yhteydessä?

13



14

Linux ext2fs levy General: Fig. 6-11 [Tane 01]

Linux: Fig. 10-35 [Tane 01]

- Lohkoryhmät (block groups)
 - yhtenäisesti levyllä allokoitu alue
 - datalohkot ja i-nodet fyysisesti lähellä toisiaan
 - säästää hakuvarren siirroissa
- Kaikki lohkot samankokoisia (1 KB)
- Kaikki i-nodet 128B (tavallinen UNIX 64B)

15

ext2fs superlohko (superblock)

- 1 lohko
- Kuvaava koko ext2fs-partition rakenteen
- Kopio jokaisen lohkoryhmän alussa
 - luotettavuus, virheestä toipuminen
- Ydin operoi vain lohkoryhmän 0 superblokilla ja ryhmäkuvaajilla
 - muille käyttöä, jos superblok 0 'rikki'
 - `/sbin/e2fsck` kopioi aika-ajoin muualle



16

ext2fs superlohko (superblock)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	Number of i-nodes		Number of blocks					
8	Number of reserved blocks		Number of free blocks					
16	Number of free i-nodes		First data block					
24	Block size		Fragment size					
32	Blocks per group		Fragments per group					
40	i-nodes per group		Time of mounting					
48	Time of last write		Status	Max. mnt cnt				
56	Ext2signat	Status	Error behav.	Pad word				
64	Time of last test		Max test interval					
72	Operating system		File system revision					
80	RESUID	RESGID	Pad word					
blocksiz	Pad words							

ext2fs ryhmäkuvaaja (group descriptor)

- n lohkoa
 - käyttöä valittaessa ryhmää varaukselle
 - ei perustu sylintereihin
- jokaisen lohkoryhmän alussa ryhmäkuvaajataulu
 - kaikkien ryhmien kuvaajat
 - redundanssisuutta - milloin päivitetään?
 - vain lohkon 0 ryhmäkuvaajataulu ajan tasalla

yksi kuvaaja 24 B

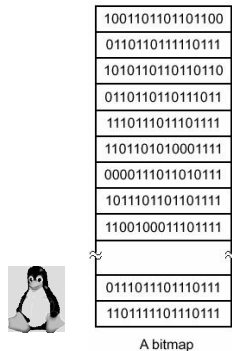
- `bg_block_bitmap` lohkokorttikartan lohkonro (4 B)
- `bg_inode_bitmap` i-solmubittikartan lohkonro (4 B)
- `bg_inode_table` i-solmutaulun lohkonro (4 B)
- `bg_free_blocks_count` vapaiden lohkojen lkm (2 B)
- `bg_free_inodes_count` vapaiden i-solmujen lkm (2 B)
- `bg_used_dirs_count` hakemistojen lkm ryhmässä (2 B)
- `bg_pad, bg_reserved` tyhjää (6 B)



18

ext2fs lohkokryhmän bittikartat

- 2 bittikarttaa
 - vapaat lohkot
 - vapaat i-nodet
- Molemmissa 8192 bittia (1 KB lohko)
- 0 = vapaa, 1 = varattu



ext2fs lohkokryhmän i-node taulu

- n lohkoa
- *i-nodet* á 128 B
 - tiedoston attribuutit
 - tiedoston lohkojen numerot
 - 12 suoraa viitettä lohkoihin, viite 4B
 - 3 epäsuoraa viitettä lohkoihin
- Esimerkki
 - 1 KB bittikartta → ryhmässä 8192 lohkoa tai i-nodea
 - i-noden lohkoviihte 13225
 - lohkokryhmä 1, siirtymä 5033 (=13225-8192)
 - root-hakemiston i-node = *i-node* #2



20

ext2fs i-node

0	Mode	Uid	File size
8	Access time		Time of creation
16	Time of modification		Time of deletion
24	Gid	Link counter	No. of blocks
32	File attributes		Reserved (OS-dependent)
40	Access Control List		
48	12 direct blocks		
88	One-stage indirect block	Two-stage indirect block	
96	Three-stage indirect block		File version
104	File ACL		Directory ACL
112	Fragment address		Reserved (OS-dependent)
120	Reserved (OS-dependent)		



21

ext2fs datalohkot (data blocks)

- Lohkon koko 1 KB
 - 2 KB, 4 KB tai 8 KB?? ei.
- Suurin tiedostokoko 2 GB
 - kenttä "file size" rajoittaa (ylin bitti ei käytössä)
 - jos 64-b kone, max 4TB
- Tiedosto voi jakautua useamman ryhmän alueelle



22

ext2fs hakemistoalkio

4 B 2 B 1 B 1 B 1 - 255 B
(1 - EXT2_NAME_LEN)

i-node number	entry len	name len	type	file name
---------------	-----------	----------	------	-----------

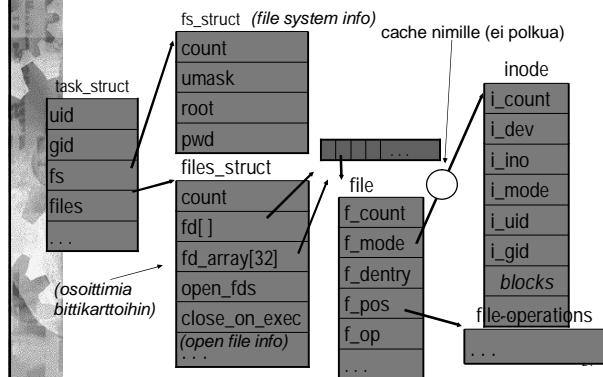
- Hakemisto on tiedosto, joka kuvaa tiedostonimet *i-node*iksi
 - peräkkäinen lista hakemistoalkioita (directory entry)
- Hakemistoalkio on vaihtelevanpituisen
 - pituus aina 4:n monikerta (lopussa /0-merkkejä)
- Tyypit
 - 0 = tuntematon, 1 = tavallinen tiedosto, 2 = hakemisto
 - 3 = merkkilaite, 4 = lohkolaitte, 5 = nimetty putki
 - 6 = pisteke, 7 = symbolinen linkki

Esim: TKTL mail server

Polku tässä tiedostossa tai hakemistoalkiossa (fast symbolic link)

23

Linux: tiedoston käyttö (vfs)



Linux: tiedostojen käyttö (vfs)



file_operations
llseek(file, offset, whence)
read(file, buf, count, offset)
write(file, buf, count, offset)
readdir(dir, dirent, filldir)
poll(file, poll_table)
ioctl(inode, file, cmd, arg)
map(file, vma)
open(inode, file)
flush(file)
release(inode, file)
fsync(file, dentry)
fsync(file, on)
check_media_change(dev)
revalidate(dev)
lock(file, cmd, file_lock)

- Jokaisella tiedostojärjestelmällä omat funktiot
- File_operations rakenteessa funktion osoite
- Jos ei toteuta kyseistä operaatiota, osoitin NULL

Fig. 6-5 [Tane 01]

25

Linux procfs tiedostojärjestelmä

- Process file system
- Ei todellinen (fyysinen) tiedostojärjestelmä
 - kaikki keskusmuistissa, levyllä ei tiedostoja
- Käyttöliittymä prosessikuvaajiin
 - hakemistossa /proc
 - jokainen /proc'in alihakemisto määrittelee omat read() ja write() operaationsa
 - /proc/4321 on prosessin 4321 hakemisto
 - KJ-tietojen lukeminen ja kirjoittaminen
 - read() ja write() toteuttavat suojatun tietorakenteen
 - käytön valvonta tiedostojärjestelmän avulla
 - samanaikaisuuden hallinta

26

Linux sysfs

- hakemisto /sys
- käyttöliittymä laitekuvaajiin
 - unified device model
- väylät hakemistossa /sys/bus
 - pci laitekuvaaja hakemistossa /sys/bus/pci
- I/O laitteet laitetyyppiin mukaan
 - /sys/class/input
 - laitetyyppi nimi, numero, laitteet, ajurit
- pidetään kirjaa kaikista laitteista, jotka käytössä ja missä ne ovat
- pollataan aika ajoin väyliä, jos uusia laitteita tulisi tai vanhoja poistuisi
 - hot swappable devices

27

NFS Network File System

Ks. esim. Ch 10.6.4 [Tane 01]

28

NFS

- Etäkoneiden hakemistojen liittäminen omaan hakemistopuuhun
 - kehittäjä Sun Microsystems
- NFS-protokolla
 - pyyntö-vastaus protokolla
 - ei ota kantaa siihen kuinka toteutetaan
 - NFS-palvelija, NFS-asiakas
- Windowsin vastine tälle on SMB-protokolla
 - Server Message Block

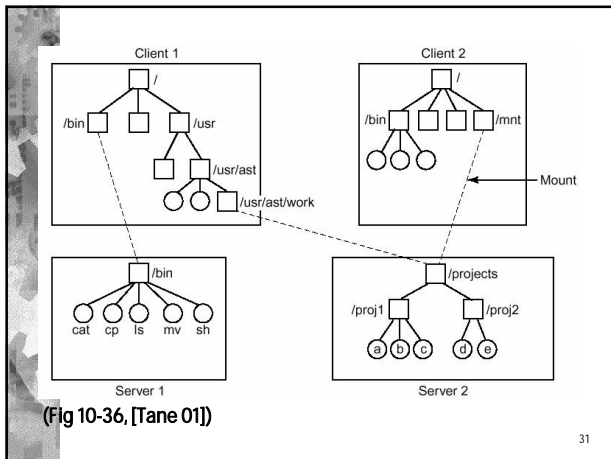
29

NFS-arkkitehtuuri

Fig. 10-36 [Tane 01]

- Etäkone (Palvelija)
 - suorittaa NFS-palvelijaa
 - määrittelee hakemiston julkiseksi hakemistossa **/etc/exports**
 - mm. käyttöoikeuksien rajaaminen
- Asiakas
 - suorittaa NFS-asiakasprosessia
 - asemoi ("mounttaa") hakemiston omaan hakemistopuuhun
 - mount-point määritelty tiedostossa **/etc/fstab**
- VFS huomaa milloin viitataan toisessa koneessa olevaan (mountattuun) tiedostoon
 - välitä pyyntö palvelijalle
 - palvelijan tiedostojärjestelmä ei ole tärkeä

30

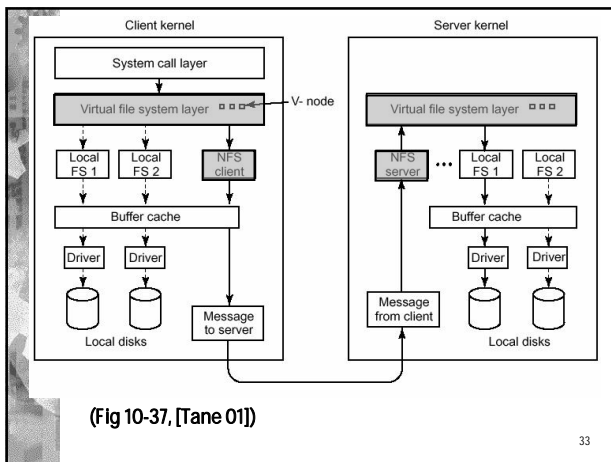


NFS-protokolla

Fig. 10-37 [Tane 01]

- mount
 - asiakas lähettää polkunimen palvelijalle
 - palvelija palauttaa kahvan (file handle)
 - tiedostojärj. tyyppi, laite#, inode#, oikeudet
 - käytetään jatkossa kaikissa pyynnöissä
 - voidaan tehdä alustuskripteissä (boot)
- automounting
 - mountataan, kun viitataan ens. kertaa
- pyynnöt
 - normaalit palvelupyynnöt sanomina
 - read(), write(), ...
- tilaton protokolla
 - kaikki tarvittava tieto mukana pyynnössä
 - kahva, lukupositiio, paljonko, ...

32



Kirjaava tiedostojärjestelmä loki (log) tai päiväkirja (journal)

"Uusi, parempi, fiksumpi, luotettavampi" – ihan totta!

34

Kirjaava tiedostojärjestelmä

- Kirjataan kaikki muutokset (journalointi?)
- Pitää tiedostojärjestelmän eheänä
- Kirjataan
 - Vain metatieto muutoksista – journal
 - Sekä metatieto että itse data – loki
- Tarve:
 - Tiedostojärjestelmän tarkistus (check) kestää liian kauan, jos epänormaali 'kaatuminen'
 - Valtaosa levyoperaatioista on kirjoituksia, lukuoperaatiot tehdään puskureista
 - Useimmat kirjoitukset pieniä päivityksiä
 - levyn hakuvarsi liikkuu paljon, vähän dataa siirtyy

35

Perusidea

- Ongelma tavallisen tiedostojärjestelmän uuden tiedoston X luomisessa:
 - kirjoita hakemiston i-node, hakemisto, tiedoston i-node ja lopulta tiedosto
 - virta poikki (tms vika) kesken kaiken? Ooohs.
- Ratkaisu: tapahtumaloki, joka takaa tiedostojärjestelmän eheyden - vrt tietokantojen loki
- Esim: Microsoft NTFS, Red Hat Linux ext3fs

36

LFS – Log-Structured File System

(Ch 6.3.8 [Tane 01])

- Koko levy on loki tapahtumista
 - uudet tapahtumat kirjoitetaan "loppuun" vapaaseen tilaan, peräkkäisiin lohkoihin
 - nopeata, levyn täysi kapasiteetti hyödynnettävissä
- Uusi tiedosto X hakemistoon D
 - kirjoita X:n data-tapahtuma
 - kirjoita X:n metadata (i-node?) -tapahtuma
 - kirjoita X:n hakemistoalkio D:ssä -tapahtuma
- systeemi koko ajan konsistenssissa tilassa
- tiedon haku hidasta
 - ei niin paha, kun (jos) useimmat levytapahtumat kirjoittavat
 - metadata (i-node) välimuistit: i-node map, superblock
 - cleaner säie etsii tyhjää tilaa ja tiivistää lokeja

37

Linux ext3fs

38

Linux ext3fs [Tweedie talk, 20.7.2000]

(<http://olstrans.sourceforge.net/release/OLS2000-ext3/OLS2000-ext3.html>)

- ext3fs = kirjaava (journaloiva) ext2fs
 - Muutostietojen kirjanpito erityisessä tiedostossa tai osiossa
- Tavoite: Lyhennetään toipumisaikaa
 - fsck (e2fsck) vie tunteja isossa tiedostojärjestelmässä
 - Tarvitaan parempaa saatavuutta (availability)
- Yhteensopiva ext2fs:n kanssa (ext2fs ↔ ext3fs)
 - Puhtaassa, oikein suljetussa (unmounted) ext3fs tiedostojärjestelmässä ei ole muutostietoja (journal), sen voi ottaa käyttöön (mount) myös ext2fs tiedostojärjestelmänä

TKTL: ext3fs kaikissa tiedostopalvelimissa

39

Linux ext3fs

- Kirjaus (journaling) on vain lisäkerros ext2fs:n päällä
 - Riippumaton allaolevasta, todellisesta tiedostojärj. (ext2fs)
 - ext2fs:n ei tarvitse tietää mitään kirjaamisesta!
 - Operaatiot transaktioita semanttisesti
 - "do all these 5 updates, or none of them"
 - Ohjelmointirajapinta (API) transaktioiden kirjaamiseksi lohkoina levyllä

40

Linux ext3fs

- Tiedoston päivitys
 - Ensin transaktion sitoutuminen (transaction commit), vasta sen jälkeen varsinainen levyoperaatio
 - ei takeita kirjoitusajankohdasta (write behind)
 - varsinaiset levykirjoitukset tehdään JFS:n (Journaling File System) puskuroimien operaatioiden (transaktioiden) mukaisesti
 - Kirjoita loki ensin, sitoudu, sitten vasta tiedoston päivitys
 - Yleensä levyt voivat taata yhden sektorin kirjoittamisen kokonaan (tai ei ollenkaan) myös sähkökatkoksisissa.

41

Windows 2000 Tiedostojärjestelmä (NTFS)



42

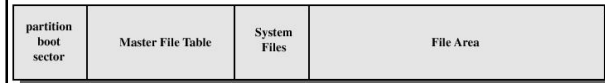
NTFS: Piirteitä

- Kaatumisista ja levyvirheistä toipuminen
 - LFS lokitiedoston avulla
- Käyttöoikeudet
 - pääsytistat (security descriptor)
- Sallii suuret levyt ja tiedostot
 - FAT32:ssa vain 2³² lohkoa, suuri allokointitaulu
- Tiedosto-oliot ovat (*arvo, attribuutti*)-pareja
- Mahdollisuus indeksointiin tiedoston käsittelyn nopeuttamiseksi
- Lohko, cluster
 - yksi tai useampi peräkkäinen sektori (esim. 512 B - 4 KB)
 - 32 GB levyllä 128 sektorialohko (→ lohko 64-512 KB)
 - varauksen ja kirjanpidon perusyksikkö
- Partitio, volume
 - fyysinen levyn looginen osa, jolla oma tiedostojärjestelmä

43

NTFS-partitio

(Fig. 12.17 [Stal 05])



- Boottilohko
 - partitio ja tiedostojärj. rakenne, bootitietue ja -koodi
 - MFT:n sijainti
- MFT
 - tietoa tiedostoista, hakemistoista (folders) ja vapaasta tilasta
- System Files (~ 1MB)
 - kopio MFT:n alkuosasta
 - virheistätoipumisloki, bittikartta vapaat/varatut lohkot, attribuuttien kuvaustaulu
- File Area - tiedostojen lohkoille

44

NTFS – MFT (Master File Table)

Fig. 11-36 [Tane 01]

- 1 KB:n kokoisia MFT-tietueita
 - jokainen kuvaa yhden taltiolla olevan tiedoston
 - myös hakemisto on tiedosto
 - vaihtelevanmittainen osa käytössä
 - (attribuutti, arvo) pareja (ei paikkasidonnainen!)
 - data attribuutti, 'arvo' = lohkojen sijainti
- 16 ensimmäistä tietuetta varattu ns. metadatalle
 - 16 \$-alkuista tiedostoa
- Jos pieni tiedosto, tietue sisältää myös datan
- Jos iso tiedosto, data erillisellä tallealueella
 - MFT-tietueessa lohkonumeroita
 - kuvaus voi jatkua useampaan MFT-tietueeseen

45

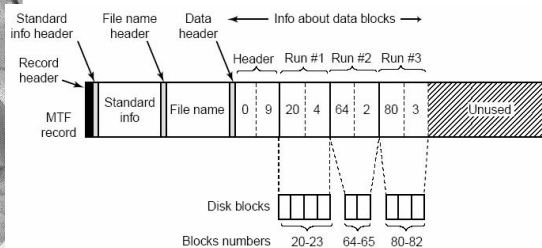


Fig. 11-36. An MFT record for a three-run, nine-block file.

[Tane 01]

46

Attribute	Description
Standard information	Flag bits, timestamps, etc.
File name	File name in Unicode; may be repeated for MS-DOS name
Security descriptor	Obsolete. Security information is now in \$Extend\$Secure
Attribute list	Location of additional MFT records, if needed
Object ID	64-bit file identifier unique to this volume
Reparse point	Used for mounting and symbolic links
Volume name	Name of this volume (used only in \$Volume)
Volume information	Volume version (used only in \$Volume)
Index root	Used for directories
Index allocation	Used for very large directories
Bitmap	Used for very large directories
Logged utility stream	Controls logging to \$LogFile
Data	Stream data, may be repeated

Fig. 11-35. The attributes used in MFT records.

[Tane 01]

47

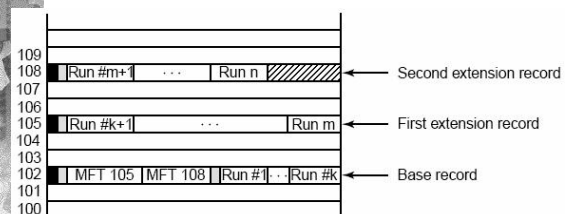
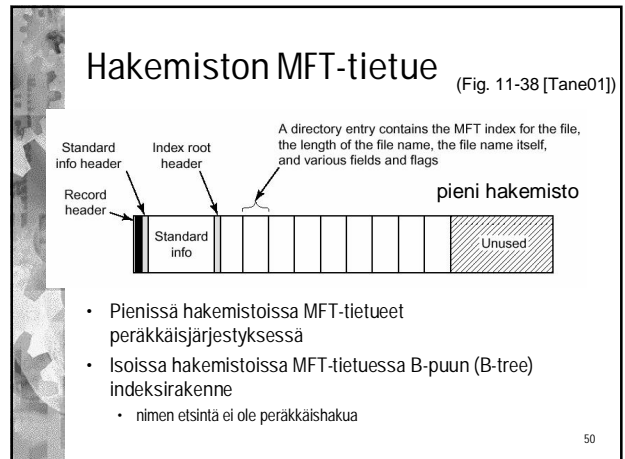
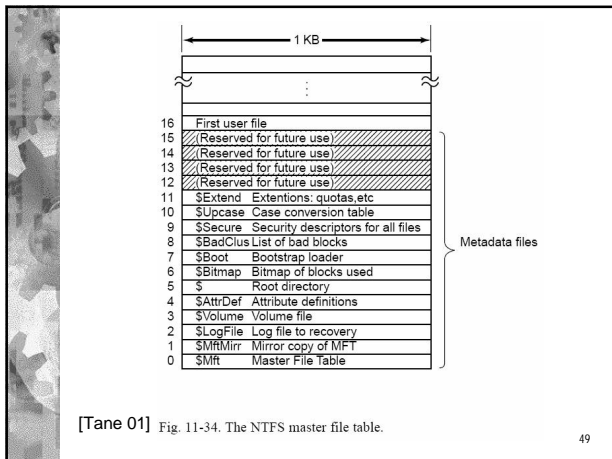


Fig. 11-37. A file that requires three MFT records to store all its runs.

[Tane 01]

48

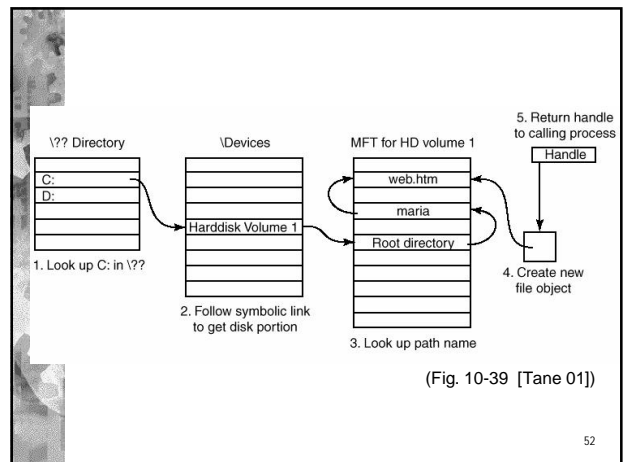


Tiedoston käyttö

Fig. 11-39 [Tane 01]

- CreateFile("C:\maria\web.htm", ...)
- etsi ensin oikea taltio
- juurihakemiston tietue on MFT:ssä, etsi juurihakemistosta alihakemiston tietue
- oliomanageri: luo uusi tiedosto-olio ja palauta kahva siihen
- prosessi käyttää kahvaa seuraavissa kutsuissa

51



NTFS API

- NTFS WIN32 API vs Unix API

Fig 11-31 [Tane 01]

Fig 11-32 [Tane 01]

- Tiedoston kopiointi Win32 APIn avulla
- vrt. Linux

Fig 6.5 [Tane 01]

53

Win32 API function	UNIX	Description
CreateFile	open	Create a file or open an existing file; return a handle
DeleteFile	unlink	Destroy an existing file
CloseHandle	close	Close a file
ReadFile	read	Read data from a file
WriteFile	write	Write data to a file
SetFilePointer	lseek	Set the file pointer to a specific place in the file
GetFileAttributes	stat	Return the file properties
LockFile	fcntl	Lock a region of the file to provide mutual exclusion
UnlockFile	fcntl	Unlock a previously locked region of the file

Fig. 11-31. The principal Win32 API functions for file I/O. The second column gives the nearest UNIX equivalent.

[Tane 01] 54

```

/* Open files for input and output. */
inhandle = CreateFile("data", GENERIC_READ, 0, NULL, OPEN_EXISTING, 0, NULL);
outhandle = CreateFile("newf", GENERIC_WRITE, 0, NULL, CREATE_ALWAYS,
FILE_ATTRIBUTE_NORMAL, NULL);

/* Copy the file. */
do {
s = ReadFile(inhandle, buffer, BUF_SIZE, &count, NULL);
if (s && count > 0) WriteFile(outhandle, buffer, count, &ocnt, NULL);
} while (s > 0 && count > 0);

/* Close the files. */
CloseHandle(inhandle);
CloseHandle(outhandle);
    
```

Fig. 11-32. A program fragment for copying a file using the Windows 2000 API functions.

[Tane 01]

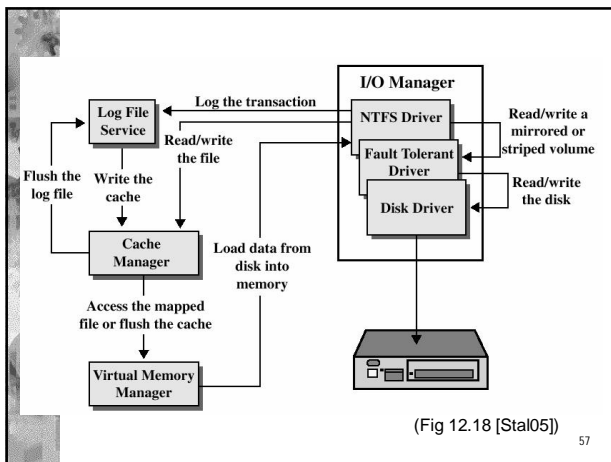
55

NTFS: Virheistä toipuminen

Fig 12.18 [Stal 05]

- Log FS
 - kirjaa lokiin kaikki taltiota muuttavat transaktiot
 - loki aluksi välimuistissa (vain kirjanpidon rakenteista)
- Muuta taltiota
 - talleta lokitapahtuma tiedostovälimuistiin (file cache)
 - tiedostomuutos välimuistiin
 - talleta lokitapahtuma levyille välimuistista } "tapahtuma"
 - talleta muutokset levyille välimuistista } "tapahtuma"
 - kommitoidu (commit)
- Jos **köllähtää** ennenkuin muutokset levyllä, bootti voi palauttaa edeltävän tilanteen lokin avulla (rollback)
 - ei takaa etteikö tiedostojen tietoa katoaisi
 - järjestelmä säilyy eheänä (koherentina)

56



NTFS virheistä toipuminen

- Huono levysektori?
 - kirjoittamassa? kirjoita muualle OK
 - lukemassa? *too bad*, data menetetty
 - lukemassa master boot recordia tai boot sector'ia
 - really too bad*, tallio ehkä menetetty ...
 - ... ellei ehjää kopiota löydy
 - NTFS Log FS pitää tiedostojärjestelmän muuten eheänä
- Yleinen lääke: Cluster Remapping
 - sektori otetaan pois käytöstä ja kyseinen looginen sektori mapataan muualle levyille
 - voi hidastaa peräkkäiskäyttöä jatkossa
 - loogiset sektorit
 - levyn sylintereillä ei enää paljon merkitystä?

58