LUENTO 2

Käyttöjärjestelmän rakenne

Keskeiset käyttöjärjestelmien osa-alueet
Käyttöjärjestelmien kehittyminen
Nykyaikaisen käyttöjärjestelmän piirteitä

Keskeiset KJ:n osa-alueet

Käyttäjä

Sovellukset **Komentotulkki** **Varusohjelmat**

Palvelupyynnöt

PROSESSIEN HALLINTA

RESURSSIEN HALLINTA
(laitekuvaajat)

suojaus

TIEDOSTOJÄRJESTELMÄ

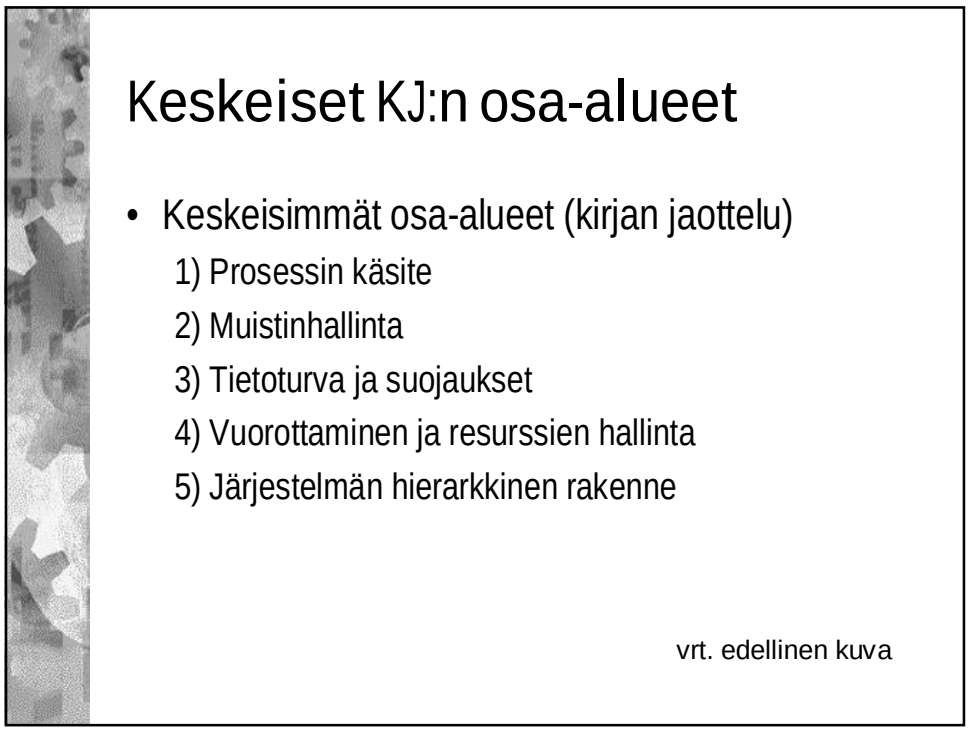
MUISTINHALLINTA

lohkot

SIIRRÄNTÄJÄRJESTELMÄ

Laiteajurit **Keskeytyskäsittely**

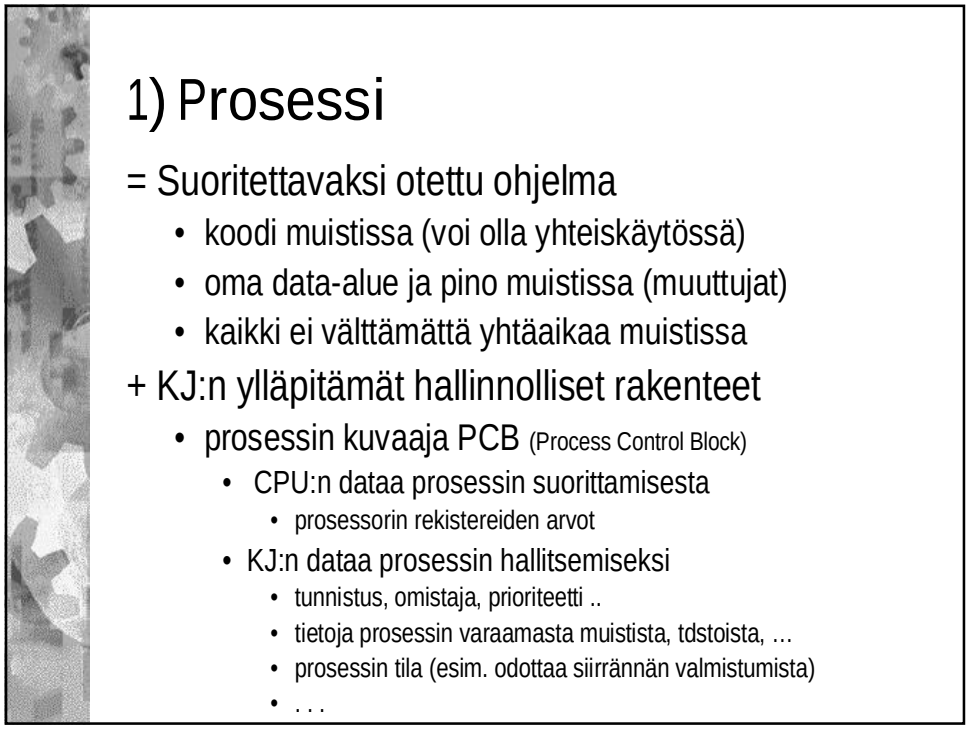
Laiteohjaimet ja laitteet



Keskeiset KJ:n osa-alueet

- Keskeisimmät osa-alueet (kirjan jaottelu)
  1) Prosessin käsite
  2) Muistinhallinta
  3) Tietoturva ja suojaukset
  4) Vuorottaminen ja resurssien hallinta
  5) Järjestelmän hierarkkinen rakenne

vrt. edellinen kuva



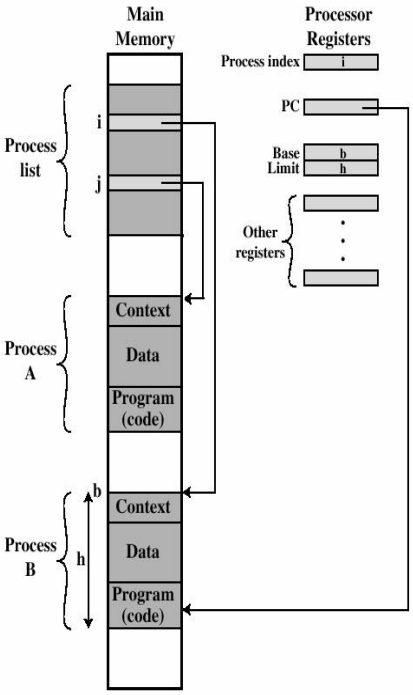
1) Prosessi

= Suoritettavaksi otettu ohjelma
- koodi muistissa (voi olla yhteiskäytössä)
- oma data-alue ja pino muistissa (muuttujat)
- kaikki ei välttämättä yhtäaikaa muistissa

+ KJ:n ylläpitämät hallinnolliset rakenteet
- prosessin kuvaaja PCB (Process Control Block)
  - CPU:n dataa prosessin suorittamisesta
    - prosessorin rekistereiden arvot
  - KJ:n dataa prosessin hallitsemiseksi
    - tunnistus, omistaja, prioriteetti ..
    - tietoja prosessin varaamasta muistista, tdstoista, …
    - prosessin tila (esim. odottaa siirrännän valmistumista)
    - . . .

Eräs toteutus

- KJ:llä prosessilista,
  jossa viitteet prosessin kuvaajiin (context)
- CPU:ssa rekisteri,
  jossa suoritettavan prosessin numero
- Prosessinvaihto:
  CPU A:lta B:lle
  - KJ talletti rekistereiden arvot A:n kuvaajaan
  - KJ latasi B:n kuvaajasta arvot rekistereihin



2) Muistinhallinta

- Suoritusaikainen tallennus
  - prosessit (ohjelmat+data) keskusmuistissa (primary memory)
- Pysyvä tallennus
  - tiedostot (ohjelmat+data) 'tukimuistissa' (secondary memory)
- Tilan varaaminen
  - KJ huolehtii automaattisesti
  - kirjanpito vapaista muistialueista / levylohkoista
  - kirjanpito varatuista muistialueista / levylohkoista
  - tarvittaessa KJ käyttää levyä muistin jatkeena (virtuaalimuisti)
- Suojaus ja käyttöoikeudet
  - prosessien eristäminen toisistaan
  - silti tuettava modulaarista ohjelmointia
    - koodin / datan yhteiskäyttö sallittua
  - muistinsuojaus, tdstojen käyttöoikeudet

Muistinhallinta

Avainkäsite virtuaalimuisti

- Ei ota kantaa todellisen muistin määrään tai minne ohjelma muistissa sijoitetaan
- Suoritusaikana tarvittava osa koodista/datasta muistissa, loput levyllä
  - MMU huomaa puuttumisen
  - KJ lataa muistiin
- Ei näy sovelluksen ohjelmoijalle

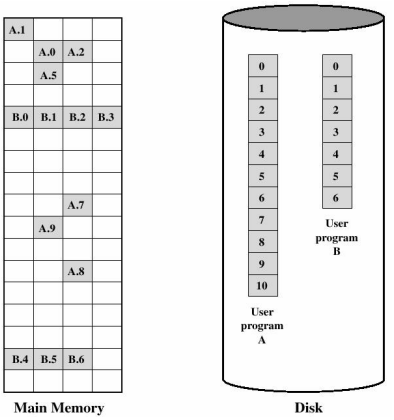
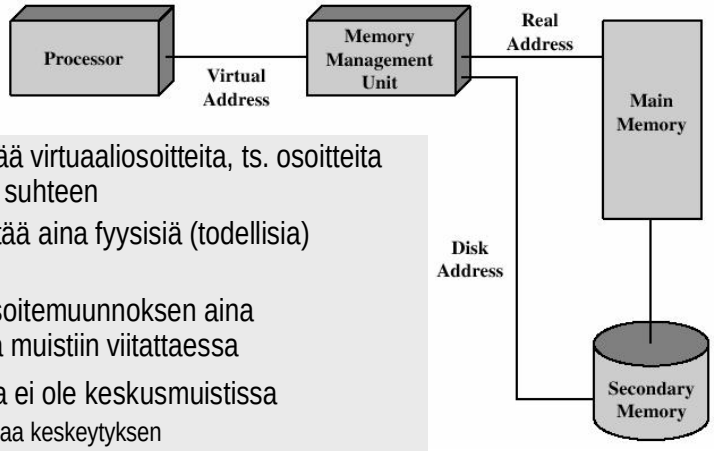


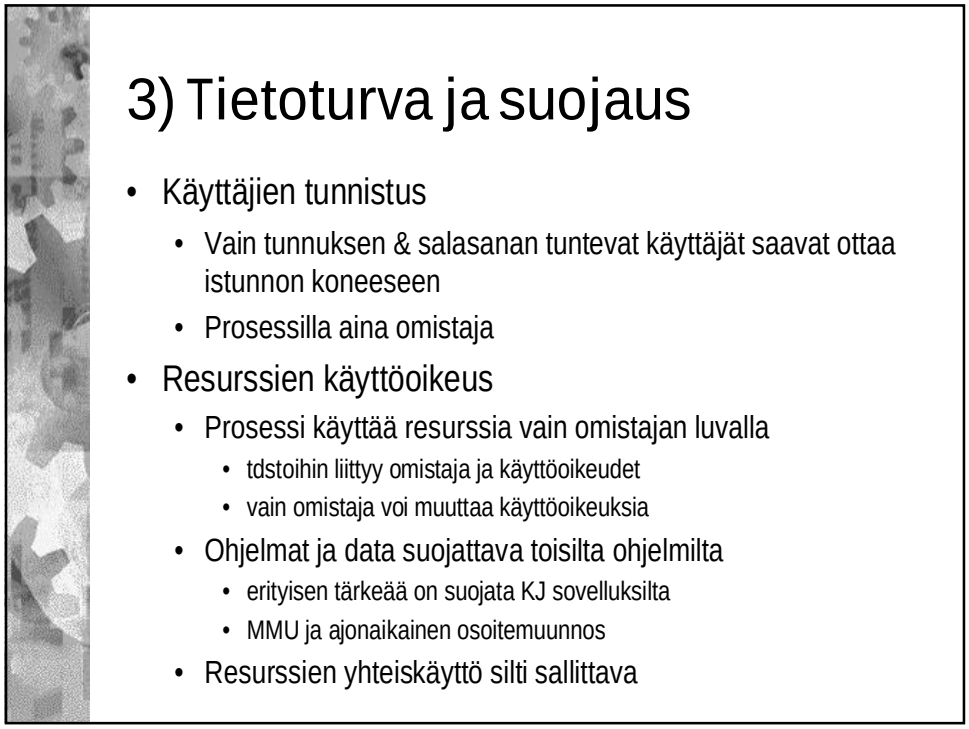
Fig 2.9 [Stal05]

Virtuaalimuisti



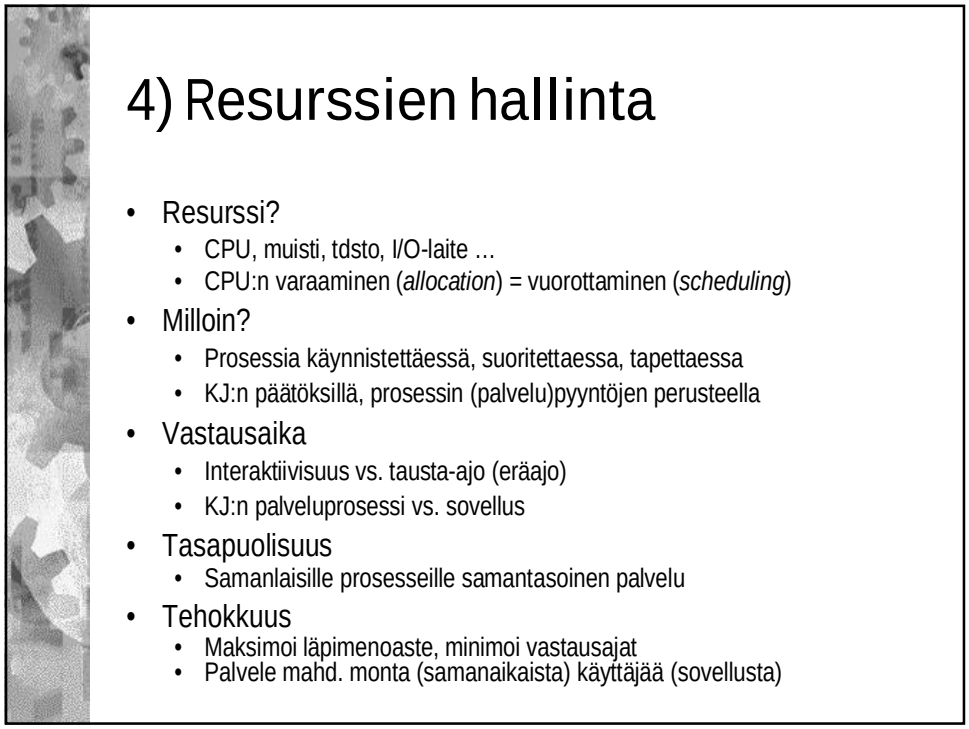
- Ohjelma käyttää virtuaaliosoitteita, ts. osoitteita ohjelman alun suhteen
- Laitteisto käyttää aina fyysisiä (todellisia) osoitteita
- MMU tekee osoitemuunnoksen aina suoritusaikana muistiin viitattaessa
- Jos viitattu osa ei ole keskusmuistissa
  - MMU aiheuttaa keskeytyksen
  - jos muistissa ei ole vapaata tilaa, KJ vapauttaa jonkin alueen
  - KJ hakee levyltä puuttuvan osan muistiin

Fig 2.10 [Stal05]



3) Tietoturva ja suojaus

- Käyttäjien tunnistus
  - Vain tunnuksen & salasanan tuntevat käyttäjät saavat ottaa istunnon koneeseen
  - Prosessilla aina omistaja
- Resurssien käyttöoikeus
  - Prosessi käyttää resurssia vain omistajan luvalla
    - tdstoihin liittyy omistaja ja käyttöoikeudet
    - vain omistaja voi muuttaa käyttöoikeuksia
  - Ohjelmat ja data suojattava toisilta ohjelmilta
    - erityisen tärkeää on suojata KJ sovelluksilta
    - MMU ja ajonaikainen osoitemuunnos
  - Resurssien yhteiskäyttö silti sallittava



4) Resurssien hallinta

- Resurssi?
  - CPU, muisti, tdsto, I/O-laite …
  - CPU:n varaaminen (*allocation*) = vuorottaminen (*scheduling*)
- Milloin?
  - Prosessia käynnistettäessä, suoritettaessa, tapettaessa
  - KJ:n päätöksillä, prosessin (palvelu)pyyntöjen perusteella
- Vastausaika
  - Interaktiivisuus vs. tausta-ajo (eräajo)
  - KJ:n palveluprosessi vs. sovellus
- Tasapuolisuus
  - Samanlaisille prosesseille samantasoinen palvelu
- Tehokkuus
  - Maksimoi läpimenoaste, minimoi vastausajat
  - Palvele mahd. monta (samanaikaista) käyttäjää (sovellusta)

Vuorottamisen perusideoita

- Suoritukseen otetuille prosesseille
  READY-jono **(short term queue)**
  - *vuorottaja* valitsee seuraavaksi suoritettavan prosessin (jonon ensimmäinen)
  - Round-Robin: uusi työ jonon loppuun ja CPU:lta pois tuleva työ jonon loppuun
- Suoritettavaksi ottamista odottaville prosesseille oma jono (long term queue)
  - ei liian monta prosessia yhtäaikaa READY-jonoon (moniajoaste)
- Kullakin tapahtumalla omat odotusjononsa
  - I/O-laitteet, semaforit, ajastimet, …

Milloin?

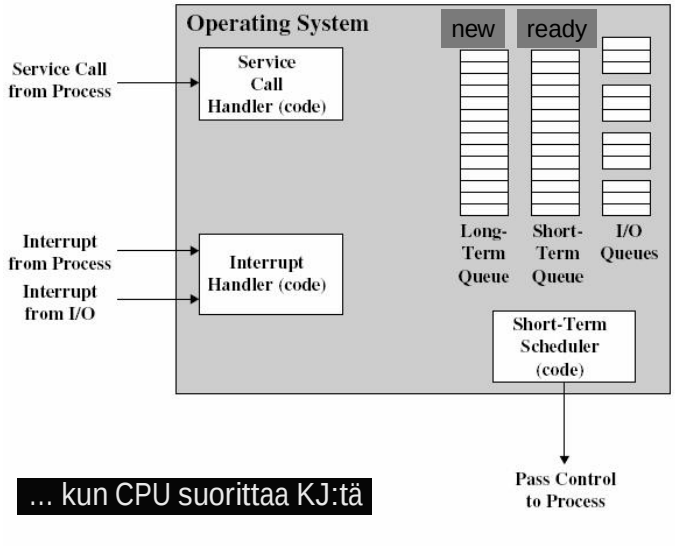


Figure 2.11 Key Elements of an Operating System for Multiprogramming

5) Hierarkkinen rakenne

- KJ muodostuu useista erillisistä tasoista
- Hierarkian ansiosta kokonaisuus jakaantuu helpommin hallittaviin osiin
  - suunnittelu, toteutus, testaus
- Kullakin tasolla oma osajoukko tehtävistä
  - ylemmillä tasoilla kehittyneimmät KJ:n palvelut
  - alemmilla tasoilla laiteläheisimmät toiminnot
- Taso tarjoaa palvelunsa ylemmälle tasolle, käyttää alemman/alempien tasojen palveluja
- Rajapinnat hyvin määriteltyjä
  - tason toteutusta voi muuttaa koskematta muihin tasoihin

KJ:n laiteriippumattomat palvelut

Level	Name	Objects	Example Operations
13	Shell	User programming environment	Statements in shell language
12	User processes	User processes	Quit, kill, suspend, resume
11	Directories	Directories	Create, destroy, attach, detach, search, list
10	Devices	External devices, such as printer, displays and keyboards	Create, destroy, open, close, read, write
9	File system	Files	Create, destroy, open, close read, write
8	Communications	Pipes	Create, destroy, open. close, read, write

KJ:n laiteriippuvat tasot

Level	Name	Objects	Example Operations
7	Virtual Memory	Segments, pages	Read, write, fetch
6	Local secondary store	Blocks of data, device channels	Read, write, allocate, free
5	Primitive processes	Primitive process, semaphores, ready list	Suspend, resume, wait, signal P / V

Muistinhallinta: MMU:n rakenteen huomiointi
Laiteajurit: ohjaimien ja esim. levyn rakenteen huomiointi
Vuorottaja: rekistereiden talletus/palautus, synkronointiprimitiivit

Laitetasot

Brown, Denning 1984

Level	Name	Objects	Example Operations
4	Interrupts	Interrupt-handling programs	Invoke, mask, unmask, retry
3	Procedures	Procedures, call stack	Mark stack, call, return
2	Instruction Set	Evaluation stack, micro-program interpreter, scalar and array data	Load, store, add, subtract, branch
1	Electronic circuits	Registers, gates, buses, etc.	Clear, transfer, activate, complement

Mitä laitteistopiirteitä tarvitaan KJ:n toteutuksessa?

KJ-toteutuksen vaikeat kohdat

- Toimintojen synkronointi / ajoitus
  - joskus odotettava että jotain muuta tapahtuu ennenkuin voi jatkaa
  - keskeytysten oikea priorisointi
  - laitteistosignaalit tai ohjelmien toisilleen välittämät tiedot eivät saa kadota tai kahdentua
- Poissulkeminen (Mutual exclusion)
  - eräitä resursseja voi käyttää vain yksi kerrallaan
    - esim. kirjoitin tai yhteinen tdsto / data
- Lukkiutuminen / Nälkiintyminen (Deadlock, Starvation)
  - vaikeaa havaita
  - odotettava resursseja, jotka ovat toisten hallussa
  - huono prioriteetti, ei saada ensinkään palvelua

Samanaikaisuuden hallinta
Ch 5, 6.1-6 [Stal05]

kertaa RiO

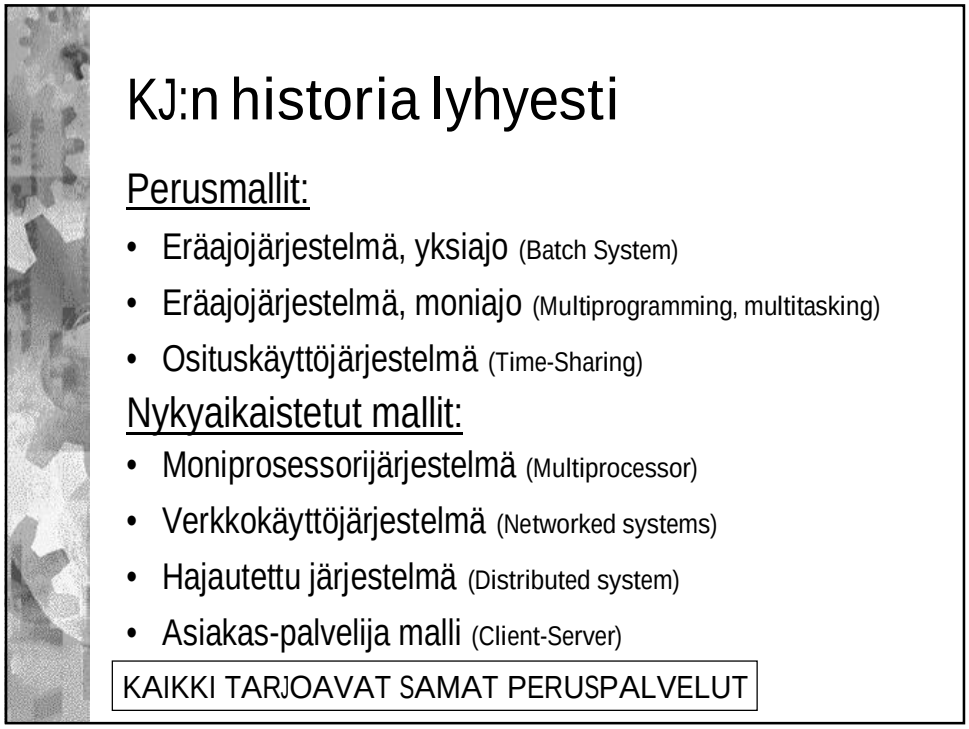
Käyttöjärjestelmien kehittyminen, kehittäminen ja ylläpito

KJ:n kehittäminen ja ylläpito

- Laitteistot muuttuvat / uusia kehitetään
  - kytkimet, kortit, nauhat, levyt
  - merkkipohjaiset / graafiset päätteet
  - tuki virtuaalimuistille
  - muistin määrä kasvanut, väylät parantuneet, moniprosessorijärjestelmät, jne.
- Tietojenkäsittelytavat muuttuvat
  - interaktiiviset reaaliaikaiset järjestelmät
  - ikkunointiympäristöt
  - paikallisverkot ja Internet
  - kuvankäsittely
  - . . .

KJ:n kehittäminen ja ylläpito

- Jatkuvan kehitystarpeen vuoksi
  - modulaarinen rakenne
  - selkeät liittymät eri osien välillä
  - mahd. oliopohjainen toteutus
    - private vs. public data
- Myös KJ:ssä puutteita ja virheitä
  - paikkopaketit (patches, service packages)
  - uudet KJ-versiot
- Milloin aika tehdä KJ uudelleen alusta?


KJ:n historia lyhyesti
Perusmallit:
• Eräajojärjestelmä, yksiajo (Batch System)
• Eräajojärjestelmä, moniajo (Multiprogramming, multitasking)
• Osituskäyttöjärjestelmä (Time-Sharing)
Nykyaikaistetut mallit:
• Moniprosessorijärjestelmä (Multiprocessor)
• Verkkokäyttöjärjestelmä (Networked systems)
• Hajautettu järjestelmä (Distributed system)
• Asiakas-palvelija malli (Client-Server)
KAIKKI TARJOAVAT SAMAT PERUSPALVELUT


Eräajo
Yksiajojärjestelmä

Eräajo & yksiajo

- Ensimmäiset KJ:t 50-luvun puolivälissä
- Koneen muistissa yksink. monitoriohjelma
- Käyttäjä määritteli työnsä reikäkorteilla
  tai nauhalla (ns. kortinkuvat)
  erätyö = ohjauskortit + ohjelma + data
- Operaattori työnsi kortit lukijaan ja käänsi vipua
- Ohjauskortit kertoivat milloin monitorin piti ladata muita palveluohjelmia (esim. kääntäjä)
- Vain yksi työ kerrallaan suoritettavana,
  uusi työ ajoon vasta kun edellinen valmis

Työnohjauskieli (Job Control Language, JCL)

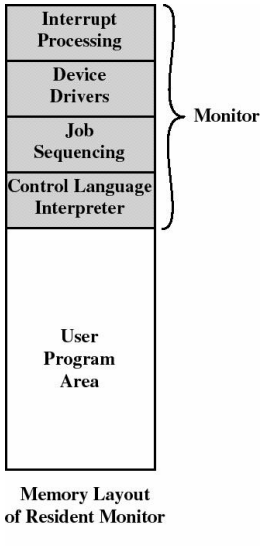
- Monitorille tarkoitettuja kortinkuvia
  - mikä ohjelma käynnistettiin
  - mitä tdstoja se käytti
  - minne tulosteet ohjattiin
- Esimerkkejä:
  - `$JOB` uuden työn alkukortti
  - `$FTN` lataa Fortran-kääntäjä ja anna kontrolli sille
  - `$LOAD` lataa käännös muistiin
  - `$RUN` aja juuri ladattu ohjelma

```
$JOB parametrit
$FTN
Ohjelmakortit
...
$LOAD
$RUN
Datakortit
...
$END
...
Seuraava erätyö
...
```

Monitori

- Jatkuvasti muistissa
- Luki kortinkuvan kerrallaan erätyötä suoritettavakseen
- Kun sovellus ladattu muistiin, suoritus hyppäsi sen alkuun
- Sovellusta suoritettiin kunnes
  - valmistui tai virhe
  - aika loppui
- Kontrolli jälleen monitorille
- Monitori luki seuraavan kortinkuvan

Kuva 2.3



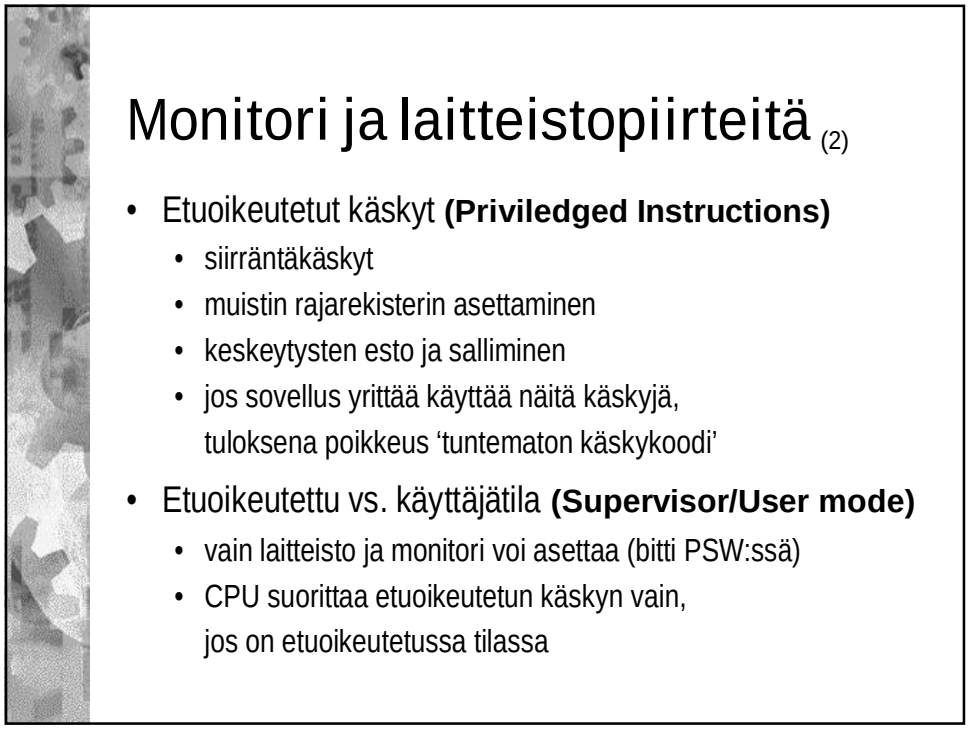
Memory Layout of Resident Monitor

Monitori ja siirräntä

- Monitori huolehti siirrännästä
  - siirrännän yksityiskohdat ei sovelluksen murheena
- I/O-käsky oli itseasiassa aliohjelmakutsu monitorin alueella olevaan koodiin
  - oma käsky, 'palvelupyyntö'
- Monitorin tarjoama palvelu
  - tarkasti, että sovellus ei vahingossa lukenut ohjauskorttia datakseen (-> liian vähän dataa?)
  - ohitti tarvittaessa kortteja,
    kunnes taas järkevä ohjauskortti (-> liikaa dataa?)

Monitori ja laitteistopiirteitä (1)

- Muistinsuojaus
  - Monitori suojattava sovellukselta
  - CPU:n tarkistettava muistiosoitteet
    - laitteistossa kantarekisteri BASE
- Keskeytysmekanismi
  - hallittu kontrollin siirto monitorin ja sovelluksen välillä
  - bitti PSW:ssä, keskeytyskäsittelyn alku laitetoiminto
- Kellokeskeytys
  - ettei yksi sovellus valloittanut koko laitteistoa
  - viimeistään kello aiheutti keskeytyksen
    - kontrolli taas monitorille



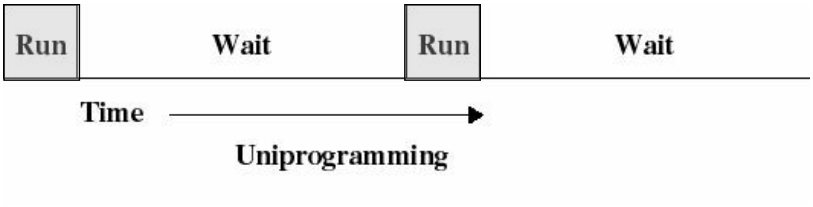
Monitori ja laitteistopiirteitä (2)

- Etuoikeutetut käskyt **(Priviledged Instructions)**
  - siirräntäkäskyt
  - muistin rajarekisterin asettaminen
  - keskeytysten esto ja salliminen
  - jos sovellus yrittää käyttää näitä käskyjä, tuloksena poikkeus ‘tuntematon käskykoodi’
- Etuoikeutettu vs. käyttäjätila **(Supervisor/User mode)**
  - vain laitteisto ja monitori voi asettaa (bitti PSW:ssä)
  - CPU suorittaa etuoikeutetun käskyn vain, jos on etuoikeutetussa tilassa

Yksiajojärjestelmän heikkous

- Siirräntä erittäin hidasta
  verrattuna CPU:n nopeuteen
- CPU odottelee usein siirron valmistumista ennenkuin voi jatkaa sovelluksessa eteenpäin

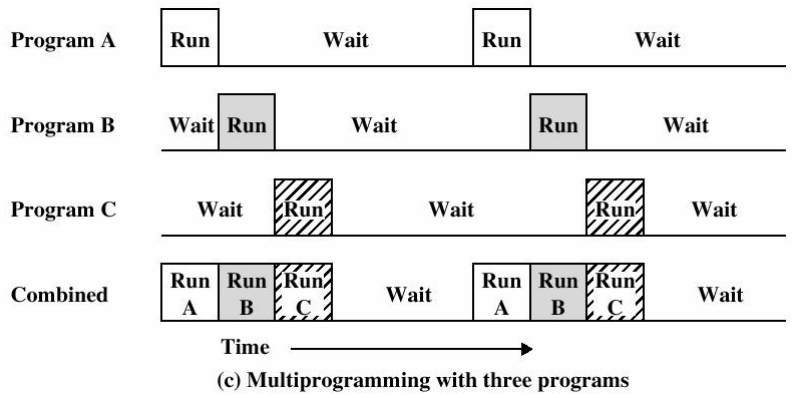
è Huono CPU:n käyttöaste



Moniajojärjestelmä

Moniajojärjestelmä

- Suoritettavaksi useita sovelluksia
  - kun yksi odottaa esim. siirrännän valmistumista, CPU suorittaa toista



(c) Multiprogramming with three programs

Lisää laitteistovaatimuksia

- I/O-ohjain keskeyttää, kun siirräntä valmis
  - CPU voi suorittaa muuta siirron aikana
- MMU: suojaus ja ajonaik. osoitemuunnos
  - muistissa yhtäaikaa useita sovelluksia ja sovelluksen sijainti vaihtelee eri suor.kerroilla
  - Jos ei virtuaalimuistia
    - rajarekisteri LIMIT, kantarekisteri BASE
  - Jos virtuaalimuisti
    - sivutaulurekisteri PTR
    - osoitemuunnospuskuri TLB
    - sivunpuutoskeskeytys (page fault)

Lisävaatimuksia KJ:lle

- Prosessien hallinta
  - kirjanpitoa prosesseista = PCB:t
- Vuorottaminen
  - CPU toiselle prosessille, jos yksi jää odottamaan
  - tapahtumaohjattu tai aikaviipaletekniikka
  - prosessin tila: READY vs. BLOCKED
- Muistinhallinta
  - sovelluksille löydettävä tilaa muistista
  - kirjanpito vapaista ja varatuista alueista

Yksiajon ja moniajon vertailu

	JOB1	JOB2	JOB3
Type of job	Heavy compute	Heavy I/O	Heavy I/O
Duration	5 min	15 min	10 min
Memory required	50 K	100 K	80 K
Need disk?	No	No	Yes
Need terminal?	No	Yes	No
Need printer?	No	No	Yes

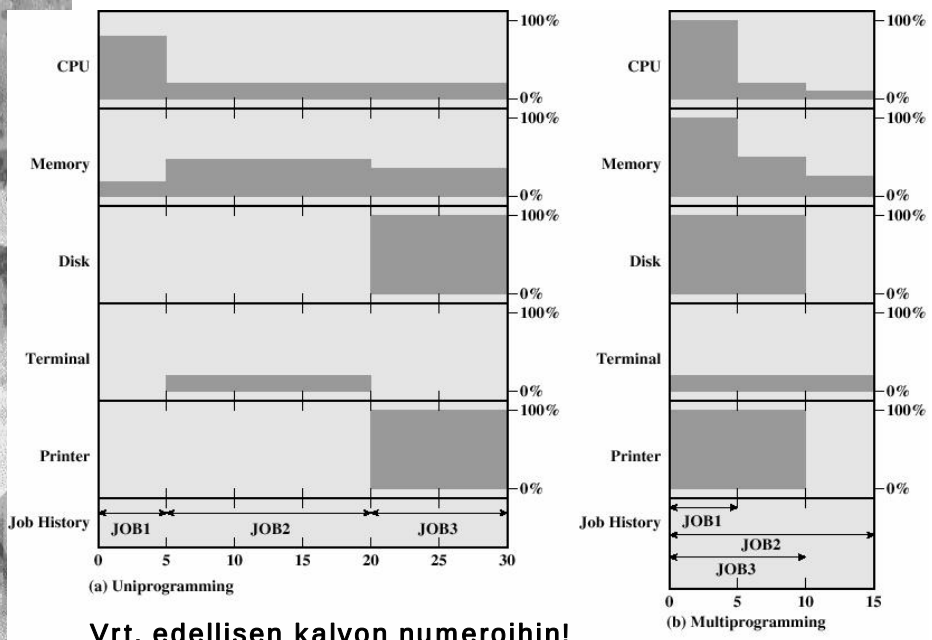
Taulukko 2.1.

- Muistia 256 K
- Tässä ei kilpailua oheislaitteistosta

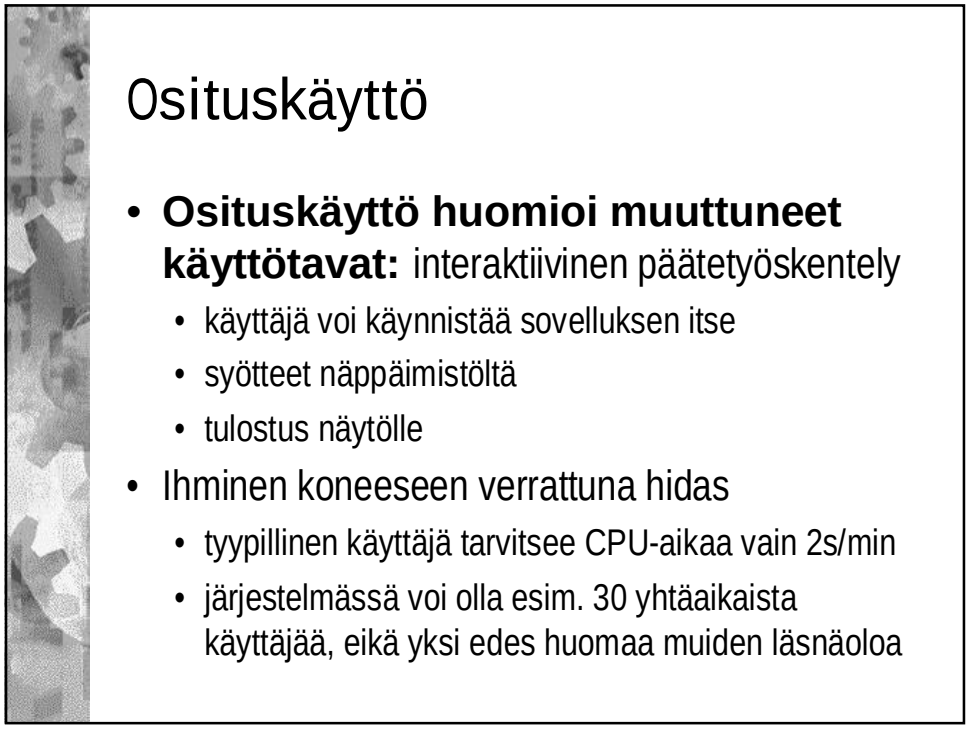
Yksiajon ja moniajon vertailu

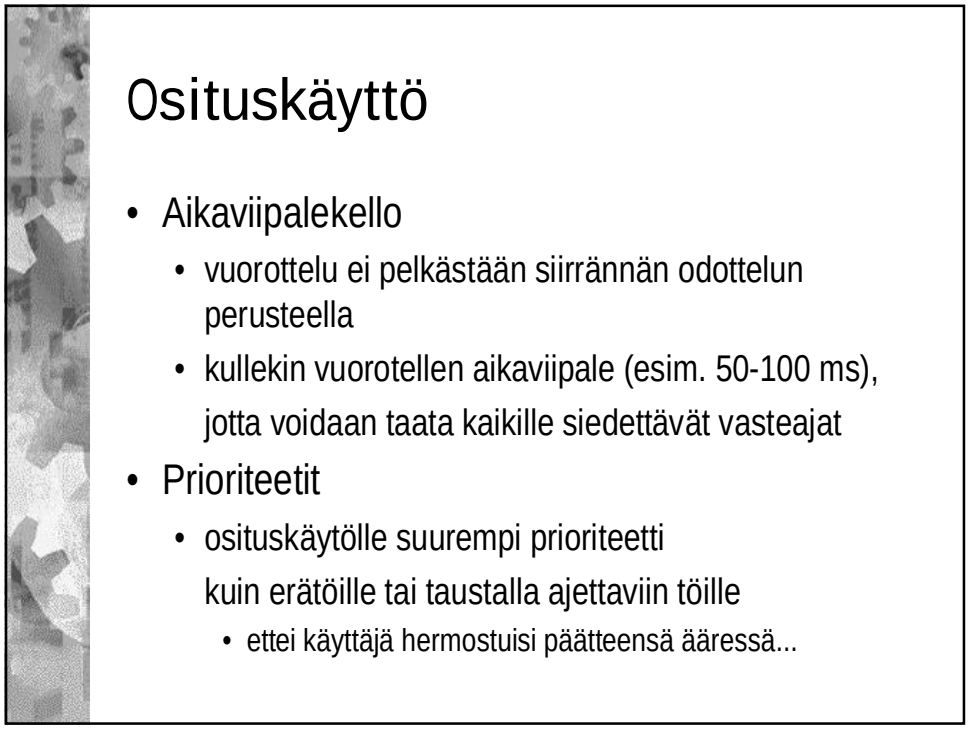
	Uniprogramming	Multiprogramming
Processor use	22%	43%
Memory use	30%	67%
Disk use	33%	67%
Printer use	33%	67%
Elapsed time	30 min	15 min
Throughput rate	6 jobs/hr	12 jobs/hr
Mean response time	18 min	10 min

Taulukko 2.2.



Vrt. edellisen kalvon numeroihin!


Osituskäyttö
• Osituskäyttö huomioi muuttuneet käyttötavat: interaktiivinen päätetyöskentely
• käyttäjä voi käynnistää sovelluksen itse
• syötteet näppäimistöltä
• tulostus näytölle
• Ihminen koneeseen verrattuna hidas
• tyypillinen käyttäjä tarvitsee CPU-aikaa vain 2s/min
• järjestelmässä voi olla esim. 30 yhtäaikaista käyttäjää, eikä yksi edes huomaa muiden läsnäoloa


Osituskäyttö
• Aikaviipalekello
• vuorottelu ei pelkästään siirrännän odottelun perusteella
• kullekin vuorotellen aikaviipale (esim. 50-100 ms), jotta voidaan taata kaikille siedettävät vasteajat
• Prioriteetit
• osituskäytölle suurempi prioriteetti kuin erätöille tai taustalla ajettaviin töille
• ettei käyttäjä hermostuisi päätteensä ääressä...

Uutuuksia

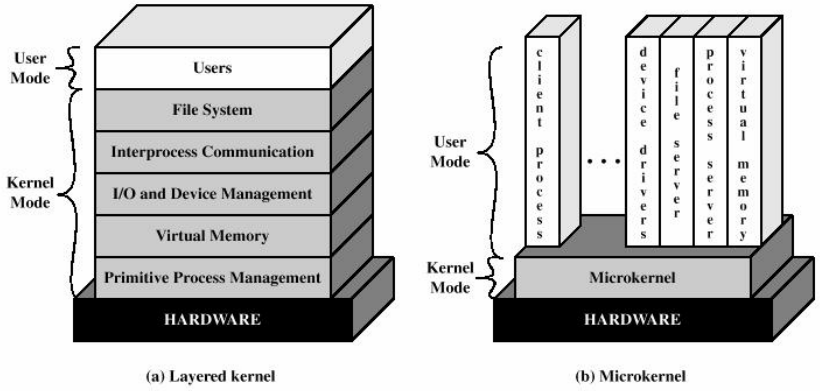
- Laitteistokehitys
  - moniprosessorijärjestelmät
  - nopeat verkot
  - nopeammat prosessorit
  - suurempi muisti, uudet talletusmediat
- Ohjelmistojen / käyttötapojen muutos
  - Asiakas/palvelija -malli
  - Internet ja WWW
  - Multimedia


Mikrokernel
• Vain välttämättömät laitetoiminnot ytimeen, joka suoritetaan etuoikeutetussa tilassa
• keskeytyskäsittelyn alkutoimet
• mikä / kuka aiheutti?
• vuorottamisen laitetoiminnot
• rekistereiden kopiointia
• muistinhallinnan laitetoiminnot
• MMU:n asetukset, suojaus
• siirrännän laitetoiminnot
• ohjaimien käyttö, suojaus
• prosessien välinen sanomanvälitys
• pyyntöjen välitys, kopiointia prosessien muistialueille


Mikrokernel
• Muut KJ:n palvelut ‘tavallisina’ prosesseina, jotka suoritetaan käyttäjätilassa
• laiteajurit, tiedostojärjestelmä, virtuaalimuisti…
• odottavat vuorottamista Ready-jonossa
• eivät pääse suoraan käsiksi laitteistoon
• Toteutus perustuu sanomanvälitykseen
• IPC, inter process communication
• Joustavuus, laajennettavuus, siirrettävyys ...
• Vrt. Monoliittinen ydin
• KJ:n keskeiset toiminnot yhdessä ajomoduulissa
• yleisempää, nopeampaa

KJ:n ydin

Kuva 4.10



Monoliittinen ydin

Moniprosessorijärjestelmä

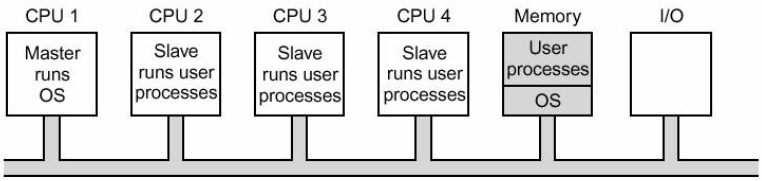


Fig. 8-8. A master-slave multiprocessor model.

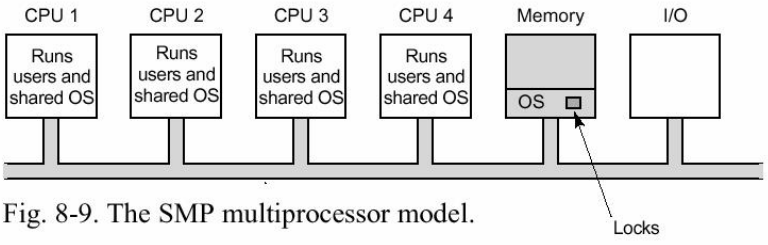
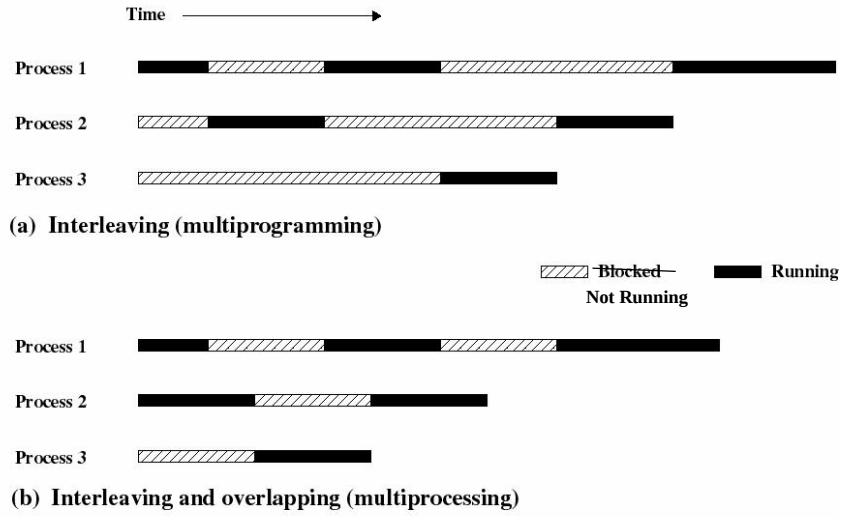


Fig. 8-9. The SMP multiprocessor model.

SMP – symmetric multiprocessing

- Koneessa useita CPU:ita
  - kaikki rakenteeltaan ja tehtäviltään samanlaisia
    - SMP, Symmetric Multiprocessing
  - aidosti rinnakkainen suoritus
  - kukin voi suorittaa KJ:tä tai sovellusta
- Muu laitteisto yhteiskäytössä
  - muisti, väylät, I/O-laitteet
- Useamman CPU:n mukanaolo ei vaikuta normaaliin ohjelmointiin
  - KJ:ssä sensijaan paljonkin uutta mietittävää
- Tehokkuus, vikasietoisuus, laajennettavuus

3 prosessia ja SMP (2 CPU:ta)



Verkkojärjestelmä

- Useita erillisiä (mahd. erilaisia) solmukoneita
- Kullakin koneella oma KJ ja omat prosessit
- Mahd. yhteiskäytössä oleva tdstojärjestelmä
- Globaali käyttäjien tunnistus

Verkkojärjestelmä
- Käyttäjä tuntee ja käyttää koneita nimeltä
- Toisella koneella olevien tiedostojen käyttö
- KJ:t voivat olla erilaisia eri koneissa

Hajautettu järjestelmä

- Useita erillisiä koneita
- Kullakin koneella oma KJ ja omat prosessit
- Mahd. yhteiskäytössä oleva tdstojärjestelmä
- Globaali käyttäjien tunnistus

Hajautettu järjestelmä
- Käyttäjän ei tarvitse tuntea koneita nimeltä
- KJ hoitaa mm. kuormantasauksen
- Globaali KJ (kaikissa samanlainen)

Asiakas-palvelija malli

- Sovellus jaettu useampaan osaan
  - esim. WWW-palvelija ja selain (käyttöliittymä)
- Asiakas ja palvelija voivat sijaita eri koneissa
  - WWW-palvelija konehuoneen palvelimella, selainohjelma työhuoneen koneella
- tai samassa koneessa
  - ikkunamanageri ja sovellusohjelma
- Palvelija palvelee useita asiakkaita
- Sanomanvälitys
  - TCP/IP-protokolla, etäproseduurikutsu

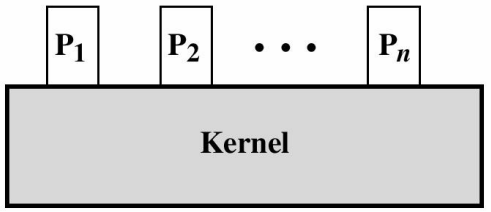
Reaaliaikajärjestelmä

- Tarve reagoida ulkopuolisiin tapahtumiin
  - Ohjausjärjestelmät: laboratoriokokeet, teollisuus, lentoliikenne, teleliikenne, robotiikka
- Tapahtumat tulevat reaaliajassa
  - Ehdittävä käsitellä ennen uutta
- Hard Real-time vs. Soft Real-time
  - Ei saa ylittää aikarajoja (hard deadline) vs. yrittää parhaansa, saa joskus myöhästyäkin (soft deadline)
- Periodinen vs. aperiodinen (jaksollinen, epäsäännöllinen)
  - Ajallinen tai määrällinen säännöllisyys
  - Alku- ja/tai päättymisajalle aikaraja

KJ:n suorittamisesta

- Myös KJ eräs CPU:n suorittamista käskykokoelmista
- Käyttäjätilassa / etuoikeutetussa tilassa
- KJ:n osat käsittelevät yhteisiä data-alueita
  - melkein kaikki käyttävät PCB:tä (prosessin kuvaaja)
- Onko KJ myös prosessi?

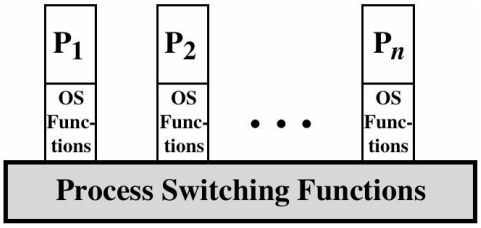
j KJ etuoikeutetussa tilassa



- Prosessi vain käyttäjätilan käsite
  - KJ:n osat eivät jonota
- KJ:llä omat muistialueensa: koodi, data, pino
- KJ:n osat suoritetaan omillaan etuoik. tilassa
  - oikeus tehdä kaikkia KJ:n toimintoja kaikissa osissa

~ vanha monoliittinen KJ

k KJ prosessin ympäristössä

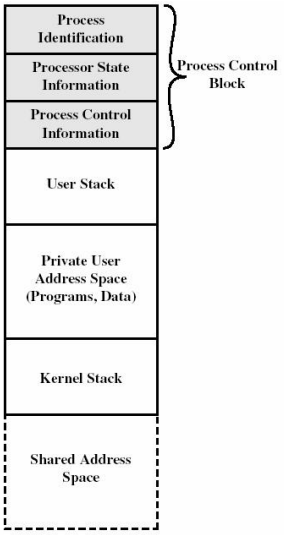


- KJ yhteiskäyttöisellä muistialueella
  - kaikkien prosessien osoiteavaruudessa
- Prosessi itse suorittaa KJ:n rutiineja
  - hallittu siirtyminen keskeytyksellä, etuoikeutettu tila
- Kontrolli prosesseilta poissa vain, kun synkronointi tai vuorottaminen vaatii

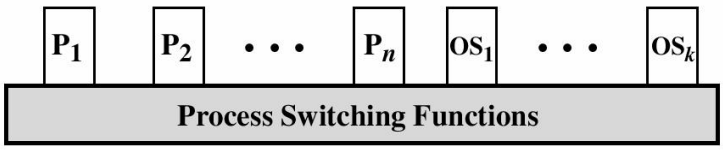
~ uudempi monoliittinen KJ

KJ prosessin ympäristössä

- KJ:n koodi ja data yhteisellä muistialueella
- Prosessi käyttää kernel-pinoa, kun suorittaa KJ:n koodia, muulloin normaalia pinoaan
- Prosessi voi odottaa KJ:n koodissa
- Useita KJ:n osia voi olla yhtäaikaa kesken eri prosessien ympäristöissä
  - suoritukseen vuorottajan kautta



KJ = joukko palveluprosesseja



- Monet KJ:n palveluista erillisiä prosesseja
  - odottavat Blocked/Ready-jonossa
  - kullakin oma osoiteavaruus
  - tarvittaessa etuoikeutetussa tilassa, erilaisia oikeuksia
- Vuorottaminen prosessien ulkopuolella
- Sanomanvälitys: pyyntö-vastaus mekanismi
  - palvelupyyntö: lähetä / vastaanota sanoma
  - sopii myös moniprosessori / hajautettuihin järjestelmiin
- Jos ytimessä vain laiteriippuvat toiminnot
  = mikrokernel