

LUENTO 4

PROSESSIT JA NIIDEN HALLINTA

Stallings, Luku 3

1

Sisältöä

- Prosessi, prosessin kuvaaja
- Prosessien hallinta
- Prosessin tilat
- KJ:n perustietorakenteita
- KJ:n suorittamisesta

2

Prosessi

- Moniajo perustuu prosessikäsitteeseen
- Prosessi = ohjelman suoritus prosessorissa
 - koodi, data, pino, prosessin kuvaaja PCB
 - voi koostua useasta säikeestä
- Prosessit voivat suorittaa yhtäaikaan samaa ohjelmakoodia
 - vapaakäyntisyys (reentrancy)
 - Yhteinen koodialue
 - kullakin oma data-alue, pino, PCB
- Tasmallinen määrittely riippuu jossain määrin järjestelmästä ja ohjelmointikielestä

3

Prosessi virtuaalimuistissa

Kuva 3.12

4

Prosessi virtuaalimuistissa

- Kukin prosessi käyttää virtuaaliosoitteita
 - osoitteet suhteellisia prosessin alun suhteen
 - MMU tekee osoitemuunnoksen ajoaikana
 - prosessin alueiden ei tarvitse sijaita fyysisesti peräkkäin muistissa tai olla jatkuvasti muistissa
 - MMU ja KJ huolehtivat alueiden muistissaolosta
 - prosessit voivat käyttää myös yhteisiä muistialueita
- Prosessin alueet kirjattu PCB:hen
 - base ja limit (fyys. alkuosoite ja pituus) tai
 - sivutaulu (missä sivutilloissa sivut sijaitsevat) tai
 - segmenttitaulu (alkuosoitteet ja pituudet)

5

Prosessi

- Koodi = suoritettavat käskyt
- Data = muuttujat
- Pino = työtillat
 - Aliohjelman/systeemikutsun parametrinvälitys
- Prosessin kuvaaja, PCB = hallinnolliset rakenteet
 - tunnistus
 - vuorottajan tarvitsemaa tietoa
 - mm. prosessorin tila (tallealue rekistereille)
 - tietoja varatusta muistista
 - tietoja avatuista tidoista
 - ym.

6

PCB: tunnistus

- Yksikäsitteinen numero
 - pid = process identification
- Omistajan tiedot
 - käyttäjän ja ryhmän tunniste
uid = user id, gid = group id
 - yleensä sama kuin prosessin käynnistäjällä
 - saatu kun käyttäjä ottaa istunnon koneeseen
- Mammaproessin tunniste
 - mikä prosessi loi tämän prosessin
 - kopioitu mammaproessin kuvaajasta

7

PCB: tallealue rekistereille

Keskeytys:

- Keskeytyskäsitteilyn jälkeen
tav. sama prosessi saa jatkaa
 - laitteisto tallettaa PC:n ja PSW:n pinoon
 - käsittelijä tallettaa käyttämänsä rekisterit pinoon
 - kun keskeytys käsitelty, palautetaan takaisin CPU:hun

Prosessin vaihto:

- CPU toiselle prosessille
 - keskeytyskäsitteilyn lopuksi vuorottajaan
 - vuorottaja tallettaa rekistereiden arvot PCB:hen
 - prosessin tila saattaa vaihtua
 - päivitettävä myös aika- ja viitelaskureita

8

PCB: vuorottaminen

- Prosessin tila: Running, Ready, Blocked...
- Prioriteetti
 - oletus, maksimi, minimi
 - määrää sijainnin jonoissa
 - suuri prioriteetti $\bar{\theta}$ saa useammin CPU-aikaa
 - voi vaihdella dynaamisesti
- Aikalaskureita
 - paljonko käyttänyt aikaa CPU:ssa, odotuksessa
 - voi vaikuttaa prioriteettiin
- Mitä tapahtumaa odotetaan

9

PCB: muistinhallinta

- Muistialueen alkuosoite ja pituus
 - Base ja Limit
- tai Sivu / segmenttitaulun fyys. osoite
 - taulu erillisellä muistialueella
 - prosessin vaihdossa alkuosoite MMU:hun
- Yhteiskäyttö
 - sama sivu / segmentti esiintyy eri prosessien muistivaraustauluissa
 - käyttöoikeudet: esim. R / W / RW

10

PCB: tiedostojärjestelmä

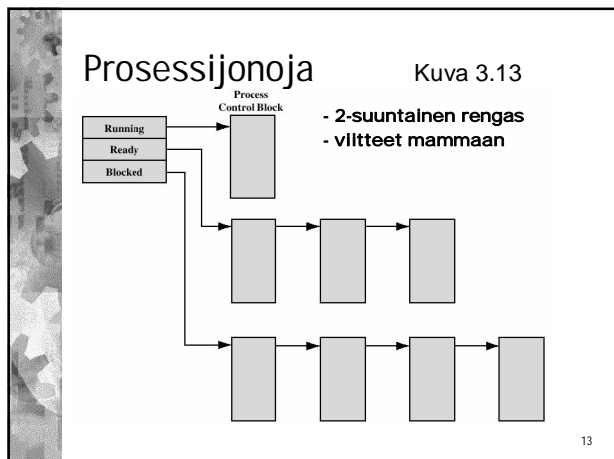
- Tiedostokuvaajataulu (file descriptor)
 - alkio per avattu tdsto
 - pääsy muihin tdstoon liittyviin rakenteisiin
 - kaikille yhteistä tietoa!
 - missä tdstoon kuuluvat lohkot
 - käyttöoikeudet
 - tdstolokot
 - kullakin oma luku/kirjoituspositio
- Työhakemiston polkunimi
 - suhteellisen tdstonimen käyttö
- Luotavien tiedostojen (oletus)käyttöoikeudet

11

PCB: muuta

- Viitteitä muihin prosessin kuvaajiin
 - ks. kuva 3.13
 - jonossa edeltävä ja seuraava
 - viite mammaproessin kuvaajaan
 - ...
- Prosessien välinen kommunikointi
 - lipukkeita, semaforeja
 - käsiteltäviä odottavat signaalit
 - yhteiskäytössä oleva muisti
- Ym.

12



PROSESSINHALLINTA

14

- ### KJ:n prosessien hallinta
- Allokoi resursseja niitä pyytävälle prosesseille
 - välttää lukkiutuminen (deadlock) ja nälkiintyminen (starvation)
 - Suoritetaan prosesseja lomittamalla (vuorottamalla) niitä CPU:lle vuorotellen
 - takaa kelpo vasteaika
 - maksimoi CPU:n käyttö
 - Sallii käyttäjien omien ohjelmien käynnistystä
 - palvelupyynnöt
 - Mekanismit prosessien kommunikointiin
 - IPC, inter process communication
 - palvelupyynnöt
 - yhteiskäyttöisen muistin allokointi
- 15

- ### Prosessi syntyy, kun ...
- Prosessi suorittaa käskyt, joilla käynnistetään uusi prosessi
 - parametrit pinon ja palvelupyynnötkeskeytyks
 - Prosessi pyytää muita KJ:n palveluja
 - Käynnistää prosessin palvelemaan
 - esim. tulostus kirjoittimelle
 - taustaprosessi
 - palvelija keskustelelee asiakkaiden kanssa
 - yksi prosessi per yhteys
 - Esim: Käyttäjä avaa istunnon koneeseen
 - Käyttäjä käynnistää sovelluksen
 - Erätyö käynnistyy
- 16

Taulukko 3.1

Table 3.1 Reasons for Process Creation

New batch job	The operating system is provided with a batch job control stream, usually on tape or disk. When the operating system is prepared to take on new work, it will read the next sequence of job control commands.
Interactive logon	A user at a terminal logs on to the system.
Created by OS to provide a service	The operating system can create a process to perform a function on behalf of a user program, without the user having to wait (e.g., a process to control printing).
Spawned by existing process	For purposes of modularity or to exploit parallelism, a user program can dictate the creation of a number of processes.

17

- ### Prosessin luonti - toimenpiteet
- Luo prosessin kuvaaja (PCB)
 - KJ valitsee yksikäsitteisen prosessinumeron
 - Varaa tilaa muistista (tarvittaessa)
 - koodi, data, pino
 - koko: oletusarvot / annetut arvot
 - alusta yhteiskäytön rakenteet
 - Alusta PCB:n
 - nollaa kenttiä, aseta alkuarvoja, kopioi mammalta
 - tila=Ready (tai Ready-Suspended)
 - ei avoimia tiedostoja, ei varattuja resursseja ... tai peri mammalta
 - Liitä kuvaaja muihin rakenteisiin
 - viite mammaprosessiin, liitä Ready-jonoon
- 18

Milloin prosessinvaihto?

- Vain keskeytyksen jälkeen
 - ei kuitenkaan aina!
- Kun CPU siirtynyt suorittamaan KJ:tä
 - Palvelupyynnö
 - prosessi pyytää esim. siirrantää, jonka seurauksena joutuu odottamaan
 - Poikkeus
 - prosessin suorituksessa virhe
 - prosessi joutuu exit-tilaan ja tapetaan
 - Keskeytys
 - prosessin aikaviipale täynnä
- Vuorottaja valitsee
 - tav. Round-Robin periaate

19

Tilanvaihto (Mode switch)

- Keskeytys
 - laitetoimintona etuoikeutettuun tilaan
 - sitten suorittamaan KJ:tä
- CPU usein takaisin keskeytyneelle prosessille
 - paljonko kello on?
 - I/O valmis:
 - siirrä I/O:ta odottanut Ready-jonoon, jatka keskeytynyttä
 - prosessien välinen kommunikointi:
 - herätä tapahtumaa odottanut Ready-jonoon, jatka keskeytynyttä

20

Tilanvaihto (mode switch)

- Kaikkia rekistereitä ei tarvitse tallettaa muistiin
 - PC ja PSW aina laitetoimintona pinnoon
 - keskeytyskäsitteijä tallettaa pinnoon vain ne, joita käyttää koodissaan
- PCB:hen ei tarvitse koskea
 - vähän yleisrasitetta
- Paluu:
 - **kopioi rekisterit pinosta takaisin CPU:hun**
- Vuorottajaan, jos tarve vaihtaa prosessia

21

Vuorottaja (short-term scheduler)

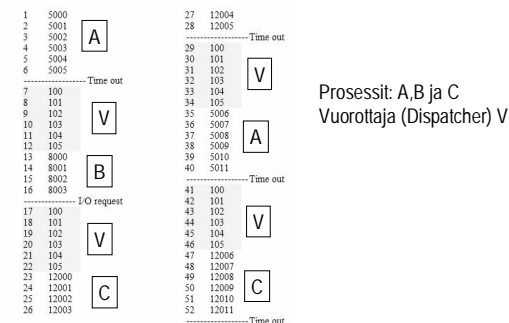
- Valitsee seuraavaksi suoritettavan prosessin ja antaa CPU:n sille
 - edellinen Blocked-tilaan
 - aikaviipale täyttyi
- Prosessin vaihdossa CPU suorittaa vuorottajan käskyjä
- CPU-aikaa tasapuolisesti prosesseille
 - aikaviipaleet
 - tarvittaessa KJ nostaa / laskee prosessin prioriteettia
 - käyttänyt paljon CPU:ta Ø prioriteetti laskee
 - odotellut paljon I/O:ta Ø prioriteetti nousee
 - KJ:n prosesseilla suurin prioriteetti

22

Prosessin vaihto

- Rekisteriarvot pinosta+CPU:sta PCB:hen
- Päivitä aikalaskureita ym.
- Päivitä prosessin tila (Ready/Blocked/Exit...)
- Liitä tilan mukaiseen jonoon
- Valitse seuraava prosessi suoritettavaksi
 - Ready-jonon ensimmäinen
 - Ready Ø Running
- Alusta MMU
 - ei-virtuaalimuisti: aseta Base ja Limit
 - virtuaalimuisti: nollaa TLB:n validibiitit, aseta PTR
- Palauta rekistereiden arvot CPU:hun

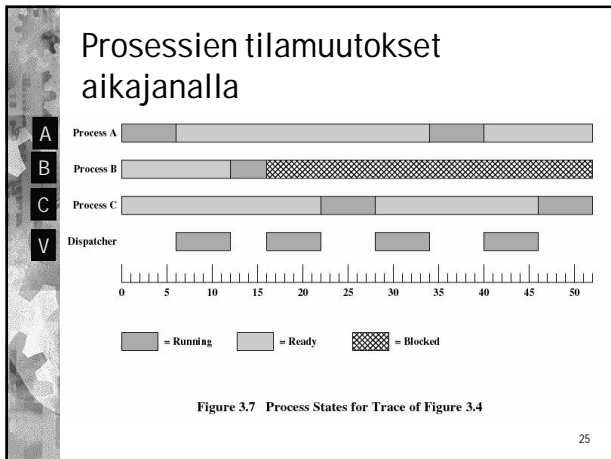
23



100 = Starting address of dispatcher program
 shaded areas indicate execution of dispatcher process;
 first and third columns show instruction cycles;
 second and fourth columns show address of instruction being executed

Figure 3.4 Combined Trace of Processes of Figure 3.2

24



- ### Prosessi päättyy, kun ...
- Prosessi itse sitä pyytää
 - KJ:n tarjoama palvelu, palvelupyyntö
 - esim. TITO-kurssilla SVC SP,=HALT
 - Virhetilanne koodissa tai laitteistossa
 - poikkeukset
 - parempi lopettaa kuin nilkuttaa virhetuloksia
 - Esim: Käyttäjä lopettaa istuntonsa
Käyttäjä lopettaa sovelluksen
Erätyö loppuu
- 26

- ### Prosessi päättyy, kun ...
- KJ niin päättää
 - puutteelliset oikeudet esim. tiedoston käyttöön
 - huomattuaan lukkiutumisen
 - odotukseen liitetty ajastin laukeaa
 - Mammaprosessi pyytää lapsiprosessin päättymistä
 - Mammaprosessi päättyy
 - saattaa myös lapsiprosessi päättyä
- 27

Taulukko 3.2 (1/2)

Table 3.2 Reasons for Process Termination

Normal completion	The process executes an OS service call to indicate that it has completed running.
Time limit exceeded	The process has run longer than the specified total time limit. There are a number of possibilities for the type of time that is measured. These include total elapsed time ("wall clock time"), amount of time spent executing, and, in the case of an interactive process, the amount of time since the user last provided any input.
Memory unavailable	The process requires more memory than the system can provide.
Bounds violation	The process tries to access a memory location that it is not allowed to access.
Protection error	The process attempts to use a resource such as a file that it is not allowed to use, or it tries to use it in an improper fashion, such as writing to a read-only file.
Arithmetic error	The process tries a prohibited computation, such as division by zero, or tries to store numbers larger than the hardware can accommodate.

28

Taulukko 3.2 (2/2)

Table 3.2 Reasons for Process Termination

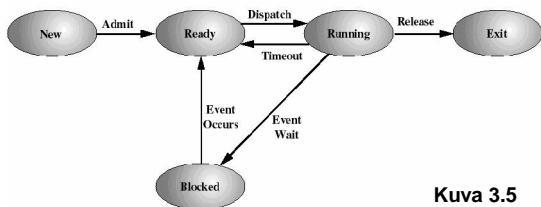
Time overrun	The process has waited longer than a specified maximum for a certain event to occur.
I/O failure	An error occurs during input or output, such as inability to find a file, failure to read or write after a specified maximum number of tries (when, for example, a defective area is encountered on a tape), or invalid operation (such as reading from the line printer).
Invalid instruction	The process attempts to execute a nonexistent instruction (often a result of branching into a data area and attempting to execute the data).
Privileged instruction	The process attempts to use an instruction reserved for the operating system.
Data misuse	A piece of data is of the wrong type or is not initialized.
Operator or OS intervention	For some reason, the operator or the operating system has terminated the process (for example, if a deadlock exists).
Parent termination	When a parent terminates, the operating system may automatically terminate all of the offspring of that parent.
Parent request	A parent process typically has the authority to terminate any of its offspring.

29

PROSESSIN TILAT

30

Prosessin tilakaavio (5 tilaa)



Kuva 3.5

31

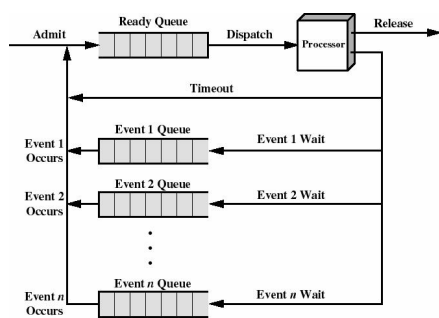
Prosessin tilat

- Ready
 - prosessi voisi edetä, jos saisi CPU:n käyttöönsä
 - odottaa Ready-jonossa esim. prioriteetin mukaan
- Running
 - prosessi käyttää parhaillaan prosessoria
 - yksi prosessi per prosessori
- Blocked
 - prosessi odottaa tapahtuman valmistumista (esim I/O, synkronointi, ajastus)
 - kullakin laitteella / tapahtumalla oma jono

32

Prosessijonot

Kuva 3.7



33

Prosessin tilat

- New
 - KJ luonut lapsiprosessin,
 - prosessille annettu tunnistie
 - prosessille luotu hallinnolliset tietorakenteet
 - mutta ei kelpuuta sitä vielä suoritettavaksi
 - esim. vapaata muistia ei riittävästi
 - liian suuri moniajoaste, liikaa heittovaihtoa ...
- Exit
 - suoritus päättynyt,
 - ei kelpaa enää suoritettavaksi
 - mutta 'saattohoito' tekemättä
 - hallinnolliset rakenteet (lähinnä PCB) olemassa muita sovelluksia varten
 - esim: laskutus, tilastot

34

Prosessin tilasiirtymät

- New \leftrightarrow Ready
 - resursseja riittävästi käytettävänä
 - esim. prosessorin käyttöaste laskenut alle sopivan rajan
 - muistissa riittävästi vapaata tilaa
- Ready \leftrightarrow Running
 - vuorottaja valitsee suoritukseen Ready-jonon ensimmäisen prosessin
- Running \leftrightarrow Ready
 - prosessin aikaviipale täynnä
 - suuremman prioriteetin prosessi Ready-tilassa

35

Prosessin tilasiirtymät

- Running \leftrightarrow Blocked
 - prosessi pyytää KJ:ltä palvelua, jonka valmistumista joutuu odottamaan
 - tarvittava resurssi varattu
 - odottaa siirännän valmistumista
 - odottaa toisen prosessin etenemistä sopivaan vaiheeseen (prosessin välinen kommunikointi)
 - sivunpuutoskeskeytys
- Blocked \leftrightarrow Ready
 - prosessin odotus päättyy
 - tarvittu resurssi vapautui
 - siirräntä valmistui
 - toinen prosessi saavutti synkronointikohdan

36

Prosessin tilasiirtymät

- Running \leftrightarrow Exit
 - prosessin suoritus päättyy
 - normaali / virhetilanne
 - KJ vapauttaa resurssit PCB:tä lukuunottamatta
 - odotettava, että joku toinen prosessi kokoaa kirjanpidolliset tiedot PCB:stä
- Mikä tahansa tila \leftrightarrow Exit
 - KJ tai omistaja voi tappaa
 - mammaprosessi päättyy
- Exit \leftrightarrow
 - kun 'saattohoito' tehty, KJ vapauttaa PCB:n

37

Heittovaihto (swapping)

- Prosessi odottaa siirron valmistumista kauan
 - paljon prosesseja Blocked-tilassa
 - KJ voi ottaa suoritettavaksi lisää prosesseja
 - riittäkö muistia?
- Jos muistitilasta puutetta, KJ voi siirtää kokonaisia prosesseja levyille
 - liian suuri moniajoaste aiheuttaa ruuhkautumista
- PCB jää aina muistiin!
- Kun tilaa jälleen riittävästi, KJ tuo takaisin
 - ennaltanouto / tarvenouto
- Myös virtuaalimuistin yhteydessä voi olla tarvetta heittovaihtoon³⁸

38

Heittovaihto

Heittovaihdon lisätilat tilakaavioon:

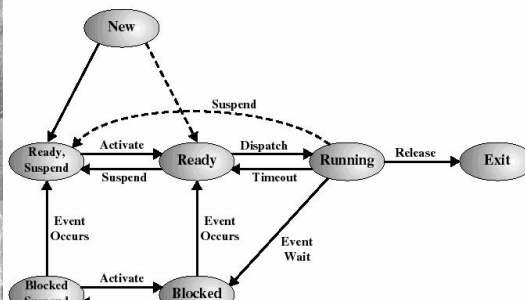
- Blocked Suspend
 - Blocked-prosessi heittovaihdettu muistista levyille
- Ready Suspend
 - Ready-prosessi heittovaihdettu muistista levyille

Blocked ~ estynyt

Suspend ~ erotettu määräajaksi, hyllytetty, lykätty toistaiseksi
Monissa kirjoissa tilan nimenä kuvaavampi Swapped Out

39

Prosessin tilakaavio (7 tilaa)



Kuva 3.8

40

Uudet tilasiirtymät

- New \leftrightarrow Ready Suspend
 - KJ ottanut prosessin suoritettavaksi (=PCB luotu), mutta muistissa ei vielä tilaa uudelle prosessille
- Blocked \leftrightarrow Blocked Suspend
 - KJ tarvitsee lisätilaa Ready-prosesseille
 - KJ tarvitsee tilaa uusille prosesseille
- Blocked Suspend \leftrightarrow Ready Suspend
 - Tapahtuman odotus päättyy, prosessi voisi jatkaa
- Blocked Suspend \leftrightarrow Blocked
 - Muistissa taas tilaa, odotettavissa että odotus päättyy
 - Suuri prioriteetti

41

Uudet tilasiirtymät

- Ready \leftrightarrow Ready Suspend
 - Running \leftrightarrow Ready Suspend
 - KJ haluaa lisää muistitilaa, eikä yhtään Blocked-prosessia heittovaihdettavaksi
 - Ready Suspend \leftrightarrow Ready
 - CPU:n käyttöaste laskenut riittävän alas
 - ei prosesseja Ready-jonossa
 - muistissa jälleen reilusti tilaa (ennakointi)
 - Yl. siirtymän Blocked \rightarrow Blocked Suspend seurausta
- Huomaus: Suspend-tilat eivät välttämättömiä, jos virtuaalimuisti (MMU huomaa puutoksen)*

42

Hyllytyksen syitä

Table 3.3 Reasons for Process Suspension

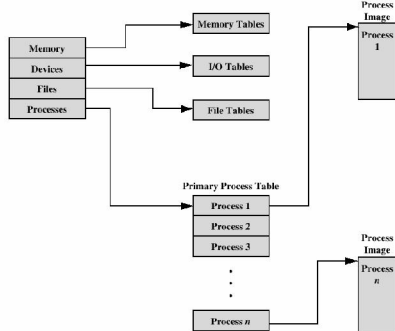
Swapping	The operating system needs to release sufficient main memory to bring in a process that is ready to execute.
Other OS reason	The operating system may suspend a background or utility process or a process that is suspected of causing a problem.
Interactive user request	A user may wish to suspend execution of a program for purposes of debugging or in connection with the use of a resource.
Timing	A process may be executed periodically (e.g., an accounting or system monitoring process) and may be suspended while waiting for the next time interval.
Parent process request	A parent process may wish to suspend execution of a descendant to examine or modify the suspended process, or to coordinate the activity of various descendants.

43

KJ:N PERUSTIETORAKENTEITA

44

KJ:n perustietorakenteita Kuva 3.10



45

KJ:n perustietorakenteita

- Prosessitaulu
 - tietoa kaikista järjestelmän prosesseista
 - kullekin oma alkio = prosessin kuvaaja **PCB**
 - alkiot linkitetty Ready ja Blocked-jonoihin

46

KJ:n perustietorakenteita

- Muistivaraustaulu / -listat
 - missä vapaata / varattua muistitilaa
 - esim. yksi globaali sivutitaulu
 - mitkä alueet kuuluvat millekin prosessille
 - prosessikohtaiset sivutaulut
 - PCB:ssä esim. sivutaulun fyysinen osoite
 - kenellä käyttöoikeuksia muistialueisiin
 - yhteiskäyttö joskus sallittua
 - virtuaalimuistin ja heittovaihdon toteutus
 - heittovaihtoalue levyllä
 - sivutaulun alkioiden läsnäolobiitit

47

KJ:n perustietorakenteita

- Tiedostokuvaajat (+levypartitionit)
 - kirjanpito vapaista / varatuista levylohkoista
 - pysyvä kirjanpito levyllä, KJ tuo muistiin käsittelyä varten
 - hakemistoalkio per tdsto (myös hsto on tdsto!)
 - mitkä lohkot kuuluvat tdstoon
 - muut tdston attribuutit (mm. omistaja, käyttöoikeudet)
 - kirjanpito avatuista tiedostoista
 - prosessikohtaista PCB:ssä + yhteistä tietoa
 - käyttöoikeuksien tarkastaminen
 - luku / kirjoituspositio
 - yhteiskäyttö: poissulkeminen / synkronointi

48

KJ:n perustietorakenteita

- Laitekuvaajat
 - laitteiden käytössä tarvittavaa tietoa
 - laitteen tunnistus, device id
 - kenelle laite varattu
 - laitteen tila
 - mitä ajuria käyttää
 - mitä ajurin funktiota kutsuttava missäkin tilanteessa
 - open(), read(), write(), close() ...
 - odottavat pyynnöt parametreineen
 - laite palvelee yhtä kerrallaan
- Keskeytys \bar{O} mikä ajuri suoritukseen?
- PCB laitteen (ajurin) Blocked-jonossa

49

KJ:n perustietorakenteita

Yleisesti:

- Vapaista ja varatuista resursseista globaalit rakenteet
 - KJ allokoii tilaa / vapauttaa tilaa niiden perusteella
 - yhteiskäytössä tarvittavaa tietoa
- Prosessin varaamista resursseista kirjanpito prosessin kuvaajassa
 - mitä varattu juuri tälle prosessille
 - PCB:stä helppo pääsy globaaleihin tietorakenteisiin
- Kaikki palvelu prosessin pyynnöstä, joten luonnollinen eteneminen PCB:stä globaaleihin tietoihin

50

UNIX prosessit

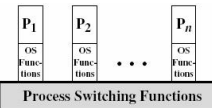
Ch 3 [Stal 05]

51

UNIX SVR4 Prosessit

(Fig. 3.15 (b) [Stal05])

- Pääosa KJ-työstä tapahtuu käyttäjätason prosessien sisällä
 - etuoikeutetussa tilassa (SVC, keskeytys)
- Osa KJ-työstä tapahtuu KJ-prosesseissa
 - etuoikeutetussa tilassa
- Yhdeksän eri prosessin tilaa



- Etuoikeutettu prosessi ei voi menettää suoritinta
 - ellei se itse pyydä jotain resurssia, joka ei ole vapaana
- Prosessi 0 – boot
- Prosessi 1 – init (mother of all)

ks. Fig. 3.17 [Stal05]

52

UNIX: Prosessin tilasiirtymät

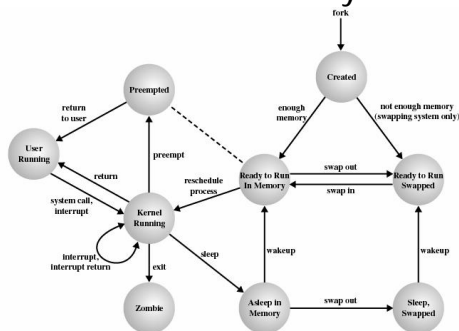


Figure 3.17 UNIX Process State Transition Diagram

53

UNIX prosessin kuvaaja

Tbl 3.10 [Stal05]

- Kääntäjän tiedoista: User Level Context
- Suoritinympäristö: Register Context
- KJ:n tiedot: System Level Context
 - staattinen
 - prosessin tilatiedot (Process Table Entry)
 - prosessin hallintotiedot (U Area)
- dynaaminen
 - muistialueet (Region Table)
 - oma pino etuoik. tilan koodille (Kernel Stack)

Tbl 3.11 [Stal05]

Tbl 3.12 [Stal05]

54

UNIX prosessin luonti

- Ytimen systeemiokutsu `pid=fork()`
 - varaa paikka prosessitaulusta Process Table
 - anna uniikki ID (nelinumeroinen)
 - kopioi vanhemman koko prosessinkuvaaja uudelle prosessille (tai luo ihan uudet rakenteet!)
 - vain linkki yhteiseen muistialueeseen
 - lisää auki olevien tiedostojen käyttäjien määrää yhdellä (jos tavallinen "sibling")
 - siirrä uusi prosessi RR-jonoon
 - palauttaa lapsen pid:n vanhemmalle ja pid=0 lapselle (tämä on ainoa ero koodinäkökulmasta)
 - esimerkki seuraavalla kalvolla

55

UNIX fork-esimerkki

```
while (TRUE) { /* repeat forever */
    type_prompt(); /* display prompt on the screen */
    read_command(command, params); /* read input line */
    pid = fork(); /* fork off a child process */

    if (pid < 0) {
        printf("Unable to fork"); /* error condition */
        continue; /* repeat the loop */
    }

    if (pid != 0) { /* parent waits for child */
        waitpid(-1, &status, 0);
    } else { /* child does the work */
        execve(command, params, 0);
    }
}
```

Fig. 10-7 [Tane01]. A highly simplified shell.

56

Table 3.10 UNIX Process Image

User-Level Context	
Process Text	Executable machine instructions of the program
Process Data	Data accessible by the program of this process
User Stack	Contains the arguments, local variables, and pointers for functions executing in user mode
Shared Memory	Memory shared with other processes, used for interprocess communication
Register Context	
Program Counter	Address of next instruction to be executed; may be in kernel or user memory space of this process
Processor Status Register	Contains the hardware status at the time of preemption; contents and format are hardware dependent
Stack Pointer	Points to the top of the kernel or user stack, depending on the mode of operation at the time or preemption
General-Purpose Registers	Hardware dependent
System-Level Context	
Process Table Entry	Defines state of a process; this information is always accessible to the operating system
U (user) Area	Process control information that needs to be accessed only in the context of the process
Per Process Region Table	Defines the mapping from virtual to physical addresses; also contains a permission field that indicates the type of access allowed the process: read-only, read-write, or read-execute
Kernel Stack	Contains the stack frame of kernel procedures as the process executes in kernel mode

57