LUENTO 5

SÄIKEET, SMP

Stallings, Luku 4

1

Sisältöä

- Prosessi vs. säie
- Miksi säikeitä?
- ULT: Käyttäjätason säikeet
- KLT: Säikeiden toteutus ytimessä

- SMP
- Solaris säikeet

2

Säikeet (multithreading)

- Prosessi voi jakautua yhteen tai useampaan säikeeseen, jotka yhtäaikaa Ready-jonossa
- *Yhden* prosessin säikeet käyttävät *yhteistä koodia, data-aluetta ja resursseja* sekä pääosaa prosessin kuvaajasta
- Säikeen *luonti ja lopettaminen nopeampaa* kuin prosessin
- Saman prosessin säikeiden *vuorottaminen nopeampaa* kuin eri prosessien vuorottaminen

3

PROSESSI vs SÄIE

4

Prosessi perinteisesti

- Resurssien omistaja, jolle allokoitu
  - virtuaaliosoiteavaruus, eli suoritusympäristö
    - prosessin kuva (image): PCB, koodi, data, pino
  - resursseja
    - muistia, tiedostoja, I/O-laitteita ...
- Vuorottajan hallinnoima kokonaisuus - prosessi on ohjelman suoritus koneessa
  - suoritus limittäin muiden prosessien kanssa
  - prosessiin liittyy tila (Running, …) sekä prioriteetti

Process, task 5

Prosessi nykyaikaisesti

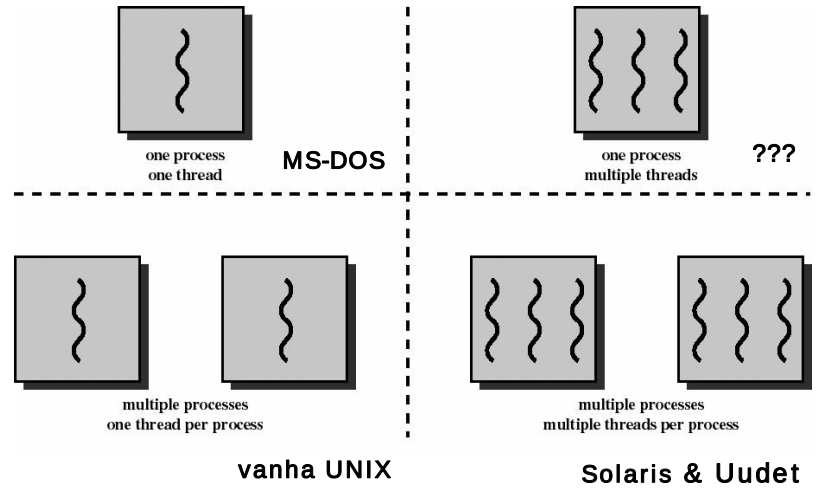
- Resurssien kirjanpidon yksikkö, omistaja
  - virtuaaliosoiteavaruus, jossa prosessin kuva
  - laitteiden varaus
- Suojauksen yksikkö
  - muistinsuojaus
  - prosessien välinen kommunikointi
  - tdstot ja niiden pääsyoikeudet

<u>mutta</u> Vuorottamisen yksikkö = Säie

- CPU suorittaa säikeitä, ei prosesseja
- Yksi koodi + resurssit, monta suoritusta

Thread, Lightweight process 6

Prosessi ja säie



7

Säie

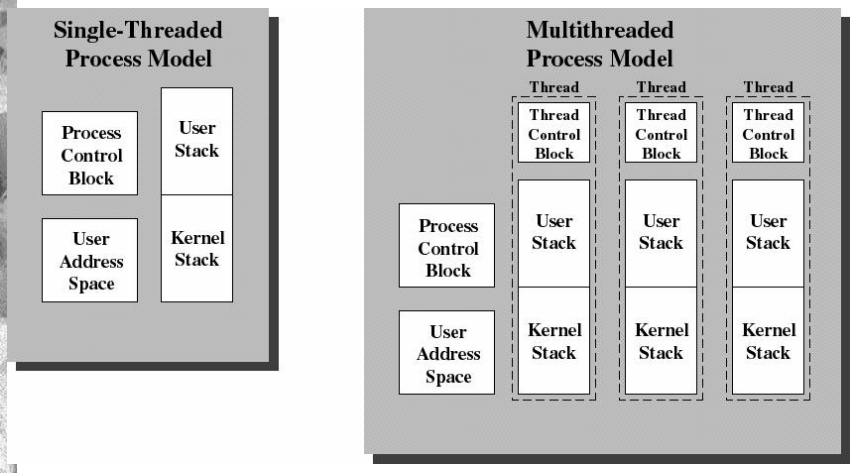
- Säikeellä oma *tila* (Running, Ready...)
- Säikeellä oma *tallealue rekistereille*
  - mm. omat PC:n ja PSW:n arvot
- Säikeellä oma *pino*
  - aliohjelmakutsuja ja paikallisia muuttujia varten

è Säikeellä oma *kuvaaja*

- TCB, Thread Control Block

8

Yksi säie vs. Monta säiettä



Säikeen kuvaaja TCB
tallealue rekistereille, prioriteetti, tila, …

9

Säikeen tilat

- Perustilat: Running, Ready, Blocked
  - kuten prosessilla
- Suspend-tila koskee aina koko prosessia
  - liittyy heittovaihtoon
  - osoiteavaruus prosessitason käsite
  - mm. koodialue + globaali data yhteiskäytössä
- Kun prosessi joutuu Suspend-tilaan, joutuvat kaikki sen säikeet odottamaan
- Kun prosessi lopetetaan, poistetaan samalla kaikki sen säikeet

10

Yhteiskäyttöiset resurssit

- Prosessin säikeet käyttävät yhteistä koodi- ja data-aluetta
  - viite sivutauluun vain PCB:ssä
  - mutta jokaisella oma suoritusaikainen pino
- Kun säie muuttaa data-aluetta (muuttujia), muutos näkyy kaikille prosessin säikeille
- Säikeen avaama tdsto avoinna myös muille prosessin säikeille
  - tiedostokuvaajataulu vain PCB:ssä
  - yhteinen luku/kirjoituspositio?

11

Miksi säikeitä?

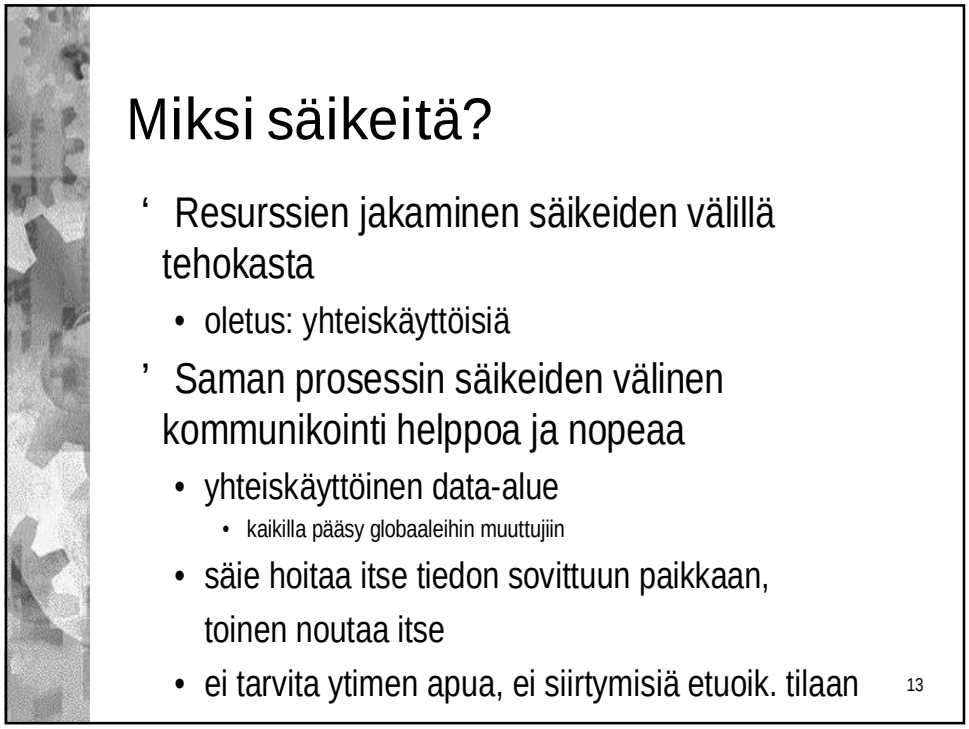
Œ Säikeen luonti (> 10 x) nopeampaa kuin kokonaan uuden prosessin luonti

- Prosessin säikeiden vuorottaminen nopeampaa kuin prosessien vuorottaminen

Ž Kun säie odottaa, voidaan suorittaa jotain muuta saman prosessin säiettä

- Säikeen lopettaminen nopeampaa kuin prosessin lopettaminen
- Voi helpottaa ohjelmointityötä

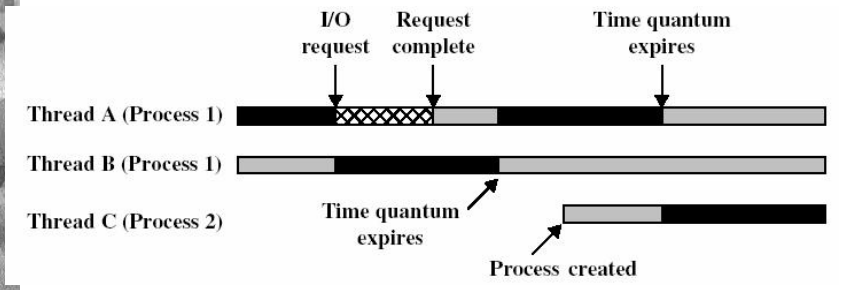
12


Miksi säikeitä?
‘ Resurssien jakaminen säikeiden välillä tehokasta
• oletus: yhteiskäyttöisiä
’ Saman prosessin säikeiden välinen kommunikointi helppoa ja nopeaa
• yhteiskäyttöinen data-alue
• kaikilla pääsy globaaleihin muuttujiin
• säie hoitaa itse tiedon sovittuun paikkaan, toinen noutaa itse
• ei tarvita ytimen apua, ei siirtymisiä etuoik. tilaan
13


Miksi säikeitä?
Mutta
• synkronointi ja poissulkeminen kokonaan ohjelmoijan vastuulla
• esim. Yhteisen tietorakenteen muuttaminen
• jos yksi muuttamassa, muut eivät saa käyttää
• jos väh. yksi käyttää, kukaan ei saa muuttaa
• esim. Tuottaja ja kuluttaja
• kuluttaja ei saa edetä ennenkuin tuottaja edennyt tiettyyn vaiheeseen
ð RIO-kurssi
14

Kuka hyötyy?

Kuva 4.4



Sovellus, jossa selkeästi riippumattomia kokonaisuuksia

- ts. suoritusjärjestyksellä ei väliä
- ts. säikeillä ei synkronointitarvetta
- kukin osa toteutettavissa omana säikeenä

15

Kuka hyötyy?

Esim: lähiverkon tdstopalvelija

- Käsiteltävä useita pyyntöjä lyhyessä ajassa
- Halvempaa luoda/tappaa kutakin pyyntöä kohden oma säie kuin oma prosessi
- SMP: prosessin säikeet voidaan suorittaa aidosti yhtäaikaa eri prosessoreilla

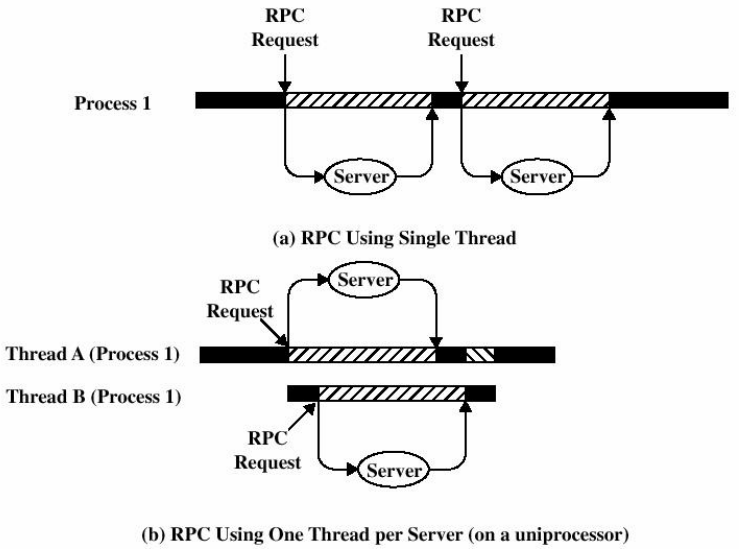
Esim: komennot valikoista

- Yksi säie näyttää valikon ja lukee syötteen
- Toinen säie suorittaa edellistä komentoa
- Helpompi ohjelmoida

16

Esimerkki: etäkutsu

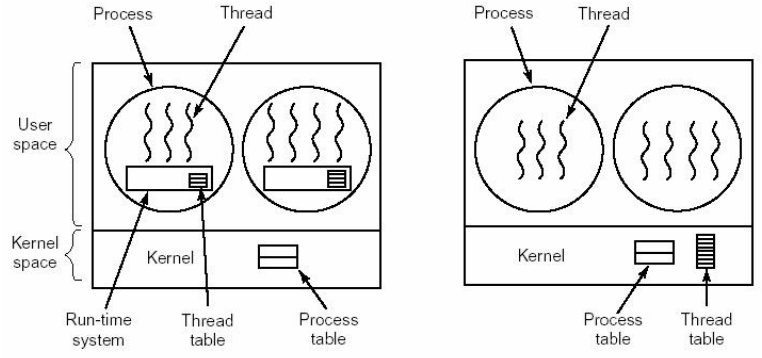
Kuva 4.3



17

Prosessi voi jakautua säikeisiin

- ... jos KJ:ssä toteutettu säikeet tai = KLT
- ... jos käytetään säiekirjastoa = ULT



(a) A user-level threads package.

(b) A threads package managed by the kernel.

Tan01 kuva 2-13

18

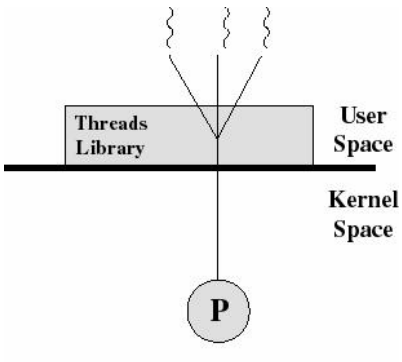
KÄYTTÄJÄTASON SÄIKEET

ULT, User Level Threads

19

Käyttäjätason säikeet

- Ydin ei tiedä säikeistä
  - vuorottaa vain prosesseja
- Sovellus käyttää säikeiden hallintaan säiekirjastoa
  - kirjanpito, TCB:t
- Sovellus huolehtii itse säikeidensä vuorottamisen
  - ohjelmoijan vastuulla
  - ei käytä ytimen koodia
  - ei keskeytysohjattua



20

Säiekirjaston perusrutiinit

Karkea jako:

- Säikeen luominen
  - kirjanpito säikeestä ja sen tilasta
- Säikeen etenemisen estäminen
  - rekistereiden tallettaminen
- Säikeen etenemisen salliminen
  - rekistereiden palauttaminen
- Säikeen lopettaminen

} synkronointi

21

POSIX threads (pthreads)

- pthread-kirjastossa yli 60 funktiota
- pthread_create()
  - parametrina funktio, josta suoritus alkaa
- pthread_exit()
  - lopeta säikeen suoritus
- pthread_join()
  - odota parametrina annetun säikeen loppumista
- Synkronointi, poissulkeminen (semaforit)
  - pthread_mutex_init() / _destroy()
  - pthread_mutex_lock() / _trylock() / _unlock()
- Ynnä muita funktioita
  - sched_yield(): luovu vapaaehtoisesti CPU:sta

22

Esimerkki

```
void main() {
   pthread_t thr1, thr2;
   char *msg1 = "Hello";
   char *msg2 = "World";
   pthread_create(&thr1, pthread_attr_default,
  (void*)&print_message_function,(void*)msg1);

   pthread_create(&thr2, pthread_attr_default,
  (void*)&print_message_function,(void*)msg2);
   exit(0);
}
void print_message_function(void *ptr){
   char *message;
   message = (char *) ptr;
   printf("%s ", message);
}
```

23

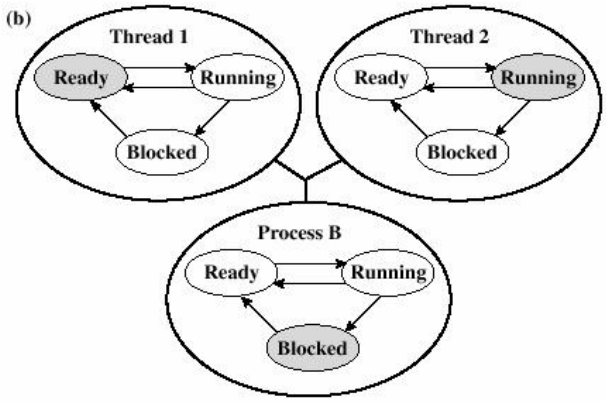
ULT-säikeen vs Prosessin tila

- KJ:n ydin ei tiedä ULT-säikeistä
  - KJ vuorottaa prosessitasolla
    - Ready-jonossa prosesseja
  - aikaviipale prosessille
  - säiekirjasto huolehtii säikeiden vuorottamisesta prosessin aikaviipaleen sisällä
- Jos ULT-säie odottaa palvelupyynnössä, prosessi joutuu Blocked-tilaan
- mutta säiekirjaston kirjanpidossa säie edelleen Running-tilassa

ð ULT- säikeen ja prosessin tila erillisiä

24

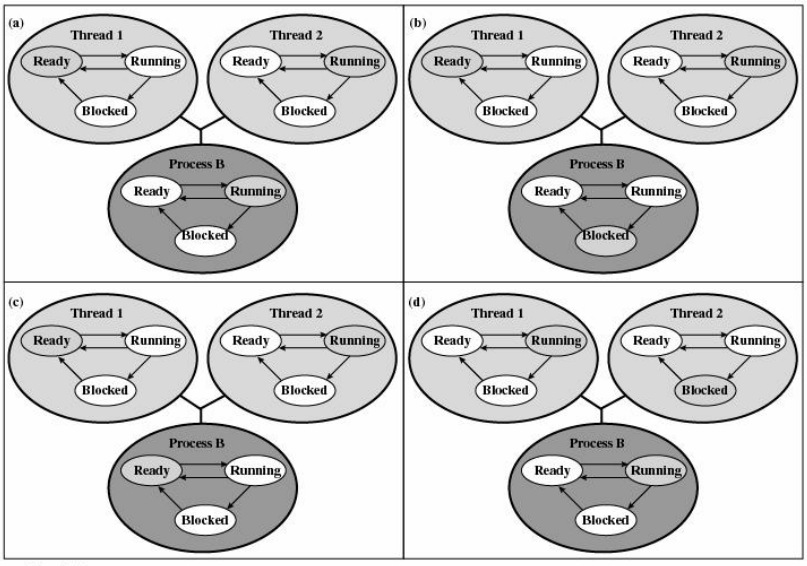
ULT-säikeen vs Prosessin tila



Kuva 4.7

25

Mahdollisia tilan vaihtoja



Colored state
is current state

Figure 4.7 Examples of the Relationships Between User-Level Thread States and Process States

Käyttäjätason säikeet

Hyötyjä

- Vuorottaminen nopeaa
  - ei KJ:n apua
  - ei keskeytystä
  - ei prosessinvaihtoa!
- Ohjelmoija voi valita sopivan vuorottamistavan
  - KJ ei tunne sovelluksen tarpeita
- Sovellus siirrettävissä helposti ympäristöihin, joissa sama säiekirjasto

Haittoja

- Kun säikeen palvelupyyntö aiheuttaa odotusta, kaikki muut saman prosessin säikeet odottavat
- Saman prosessin säikeet eivät voi olla suorituksessa usealla prosessorilla yhtäaikaa
  - Ydin vuorottaa vain prosesseja!

27

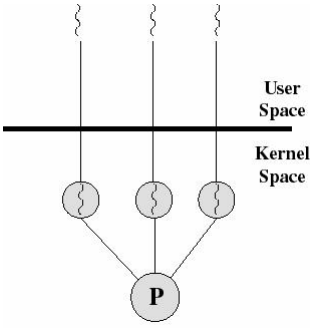
YTIMEN SÄIKEET

KLT, Kernel Level Threads

28

Säikeiden toteutus ytimessä

- Säikeiden hallinta kokonaan KJ:n ytimessä
- Toteutus ei käytä kirjastoa
  - ohjelmoijalle näkyvä rajapinta voi olla silti sama kuin edellä
  - palvelupyynnöt
- Ydin tietää säikeistä
  - prosesseista PCB:t
  - niiden säikeistä TCB:t
- Vuorottaminen KJ:n heiniä
  - aikaviipale säikeelle



29

Säikeiden toteutus ytimessä

Hyötyjä

- Prosessin säikeitä voi olla yhtäaikaa suorituksessa eri prosessoreilla
- Jos säie Blocked- tilaan, muut prosessin säikeet voivat silti jatkaa
- Myös KJ-ytimen toteutus voi käyttää säikeitä

Haittoja

- Säikeen vaihto vaatii aina 2 vaihetta:
  - keskeytys + siirtyminen KJ:hin (-> etuoik. tila)
  - vuorottaminen (->kjätila)
- Vaihto hitaampaa kuin kirjastoa käytettäessä
  - ks. taulukko 4.1

Operation	User-Level Threads	Kernel-Level Threads	Processes
Null Fork	34	948	11,300
Signal Wait	37	441	1,840

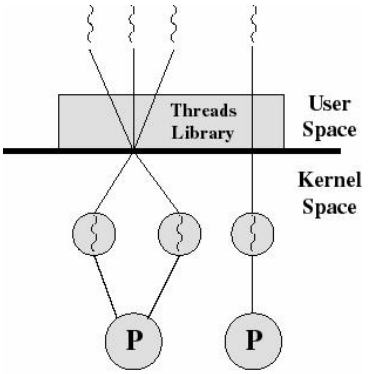
30


KLT-säikeen vs Prosessin tila
• KJ tietää säikeiden olemassaolosta
• KJ ylläpitää säiekuvaajia
• KJ vuorottaa säietasolla
• jos prosessin aikaviipaletta jäljellä, vuorota saman prosessin säikeitä tai
• koko aikaviipale säikeelle
• Jos KLT-säie odottaa palvelupyynnössä, prosessin muut säikeet voivat silti jatkaa
31


KULTAINEN KESKITIE ?
32

Solaris

- Yhdistää molempien parhaat piirteet
- Luonti käyttäjätilassa
- Synkronointi käyttäjätilassa
- Pääosa vuorottamisesta käyttäjätilassa
- Ohjelmoija voi *liittää* käyttäjätason säikeet ytimen säikeiksi haluamallaan tavalla



33

Solaris: säikeet

Fig 4.15 [Stal05]

- Prosessi
  - PCB, prosessin osoiteavaruus (koodi, data), pino
- ULT (User Level Thread) - käyttäjätason säikeet
  - säiekirjasto (pthreads, Solariksen oma)
  - eivät näy KJ:lle, ohjelmoija hoitaa vuorottamisen
- LWP (Light Weight Processes) - kevytprosessit
  - kokoelma ULT säikeitä, jotka näkyy ytimelle yhtenä nippuna (yksi tai useampi LWP säie)
- KLT: Kernel Level Thread – ytimen säie
  - vuorottaminen KJ:n heiniä
  - KLT = LWP? (ei ihan, koska myös muita KLT säikeitä)

34

Solaris

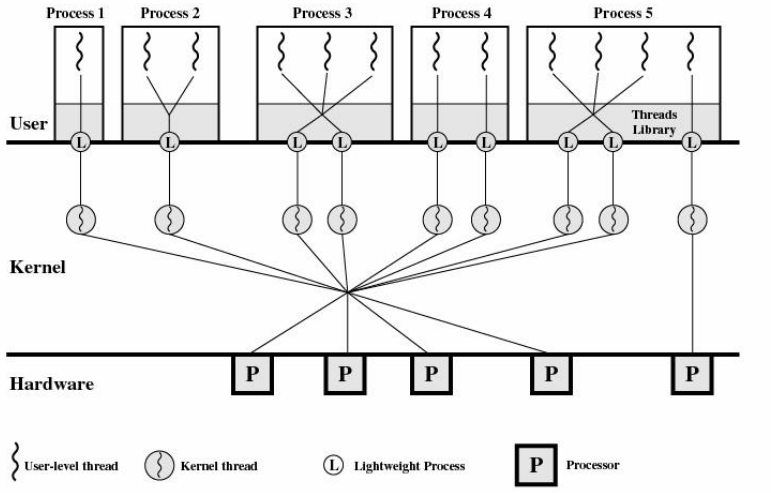


Figure 4.15 Solaris Multithreaded Architecture Example

35

Solaris: ULT / LWP / KLT

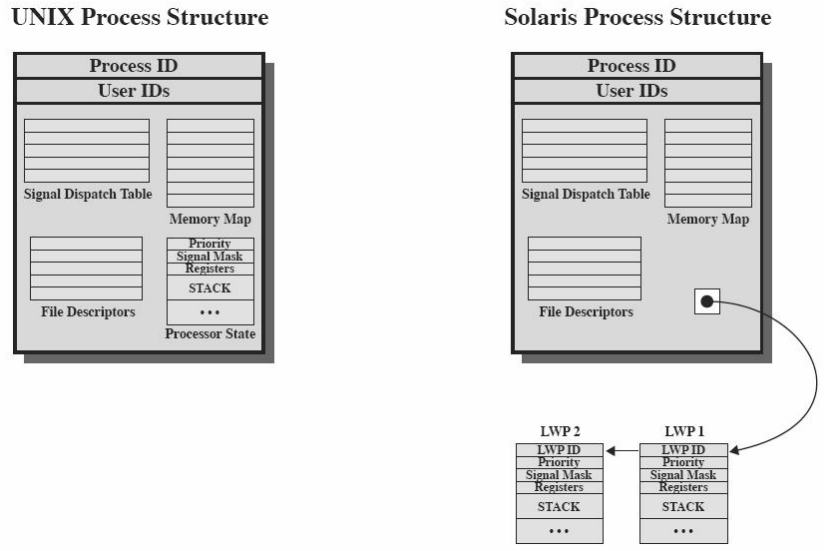
- Joustavuus

Fig 4.15 [Stal05]

  - ohjelmoi 'by-best-possible-taste'
  - laitetason rinnakkaisuus vs. looginen rinnakkaisuus
    - esim. ikkunointi
  - säiekirjaston ei tarvitse aina huolehtia prosessin säikeiden vuorottamisesta
- Tehokkuus
  - LWP: ei tarvitse kuormittaa KJ:tä ylim. säikeillä
  - ULT: vuorottaminen nopeaa (kirjasto)
  - KLT: Jos säie blokkaa, muut saman prosessin (tai KJ'n ytimen) KLT-säikeet voivat silti jatkaa

36

Solaris: prosessi

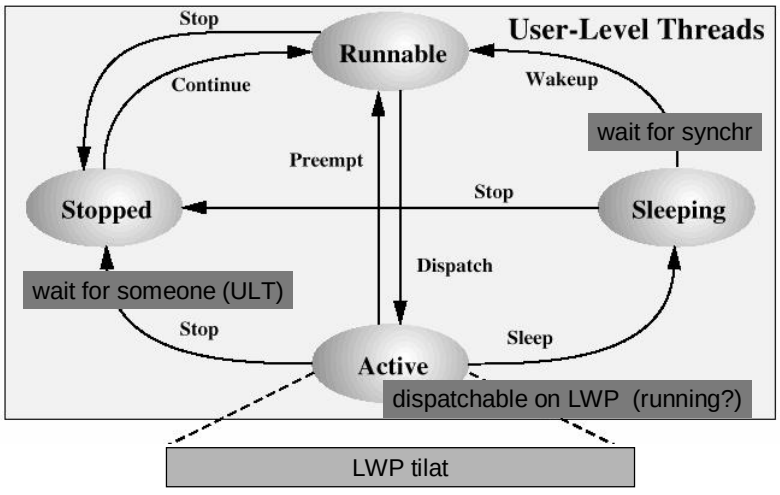


(Fig 4.16 [Stal05])

37

Solaris: ULT tilat

Fig 4.17 upper [Stal05]



- Onko ULT sidottu LWP:hen vai ei? (bound vs. unbound)
  - ULT → sleep => LWP odottaa vai valitsee toisen ULT:n?

38

Solaris: LWP tilat

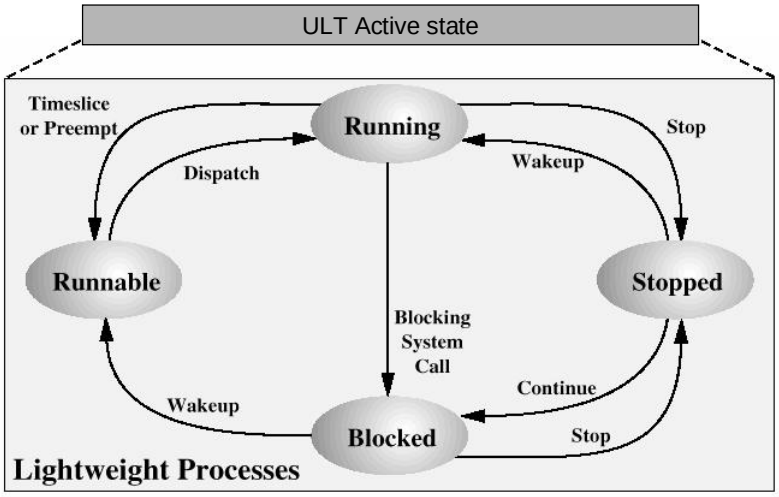


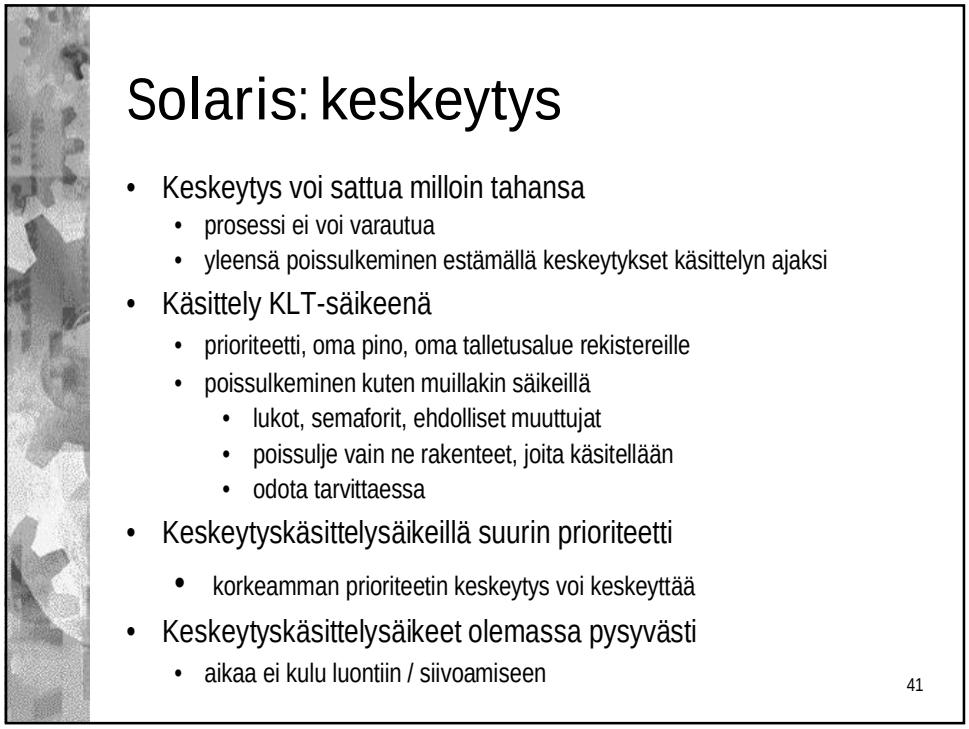
Fig 4.17 lower [Stal05]

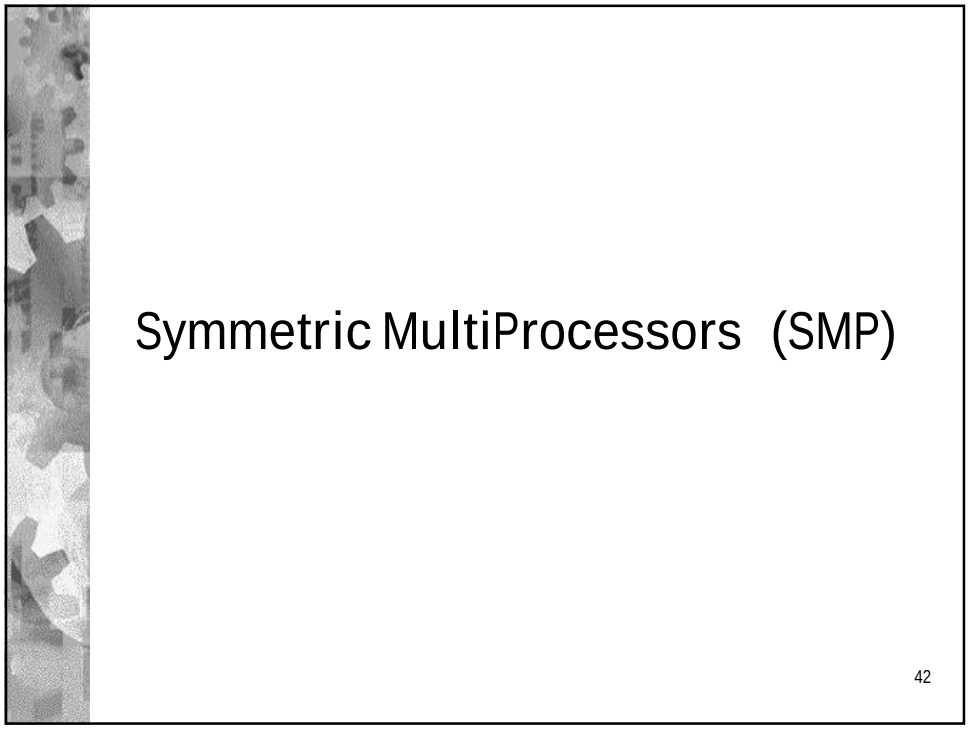
39

Solaris: SMP

- Normaalit SMP:n käyttötavat
  - KJ vapaakäyntinen
  - poissulkeminen hoidettu
- LWP:n voi sitoa (bind) tiettyyn CPU:hun
  - vrt. W2K “hard affinity”
  - välimuistin hyödyntäminen
    - vanhat tiedot juuri tämän CPU:n välimuistissa
    - vähemmän välimuistihuteja

40


Solaris: keskeytys
• Keskeytys voi sattua milloin tahansa
• prosessi ei voi varautua
• yleensä poissulkeminen estämällä keskeytykset käsittelyn ajaksi
• Käsittely KLT-säikeenä
• prioriteetti, oma pino, oma talletusalue rekistereille
• poissulkeminen kuten muillakin säikeillä
• lukot, semaforit, ehdolliset muuttujat
• poissulje vain ne rakenteet, joita käsitellään
• odota tarvittaessa
• Keskeytyskäsittelysäikeillä suurin prioriteetti
• korkeamman prioriteetin keskeytys voi keskeyttää
• Keskeytyskäsittelysäikeet olemassa pysyvästi
• aikaa ei kulu luontiin / siivoamiseen
41


Symmetric MultiProcessors (SMP)
42

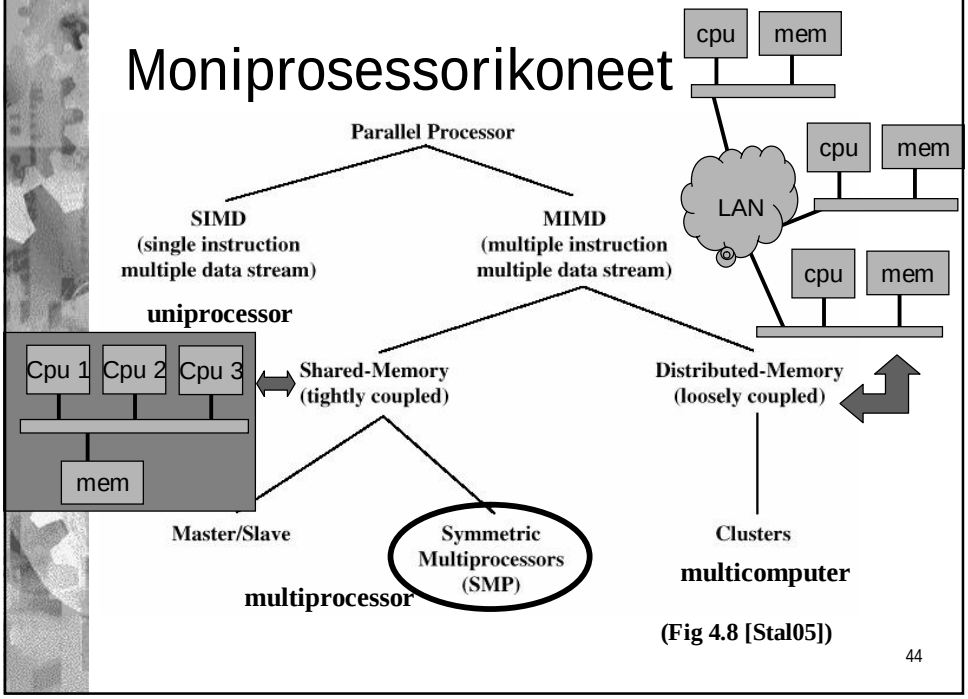
Flynnin jaottelu moniprosessorikoneille

Michael J. Flynn, 1966

- SISD: Single Instruction - Single Data
  - yksi käsky, yksi data
  - normaali CPU: yksi ALU, yksi CU, yksi MEM
- SIMD: Single Instruction - Multiple Data
  - yksi käsky, monta data-alkiota
  - taulukkoprosessori: monta erikoistunutta ALUa
  - vektorisuoritin: vektorikonekäskyt, vektorirekisterit
- MISD: Multiple Instruction - Single Data
  - Ei mielekäs
- MIMD: Multiple Instruction - Multiple Data
  - monta käskyä ja monta dataa
  - tiukasti kytketty: monta CPU:ta, yhteinen MEM
  - löyhästi kytketty: monta CPU:ta, kullakin oma MEM

43

Moniprosessorikoneet



(Fig 4.8 [Stal05])

44

Master-slave vs. SMP

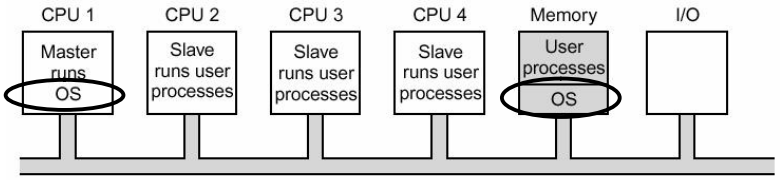


Fig. 8-8. A master-slave multiprocessor model. [Tane 01]

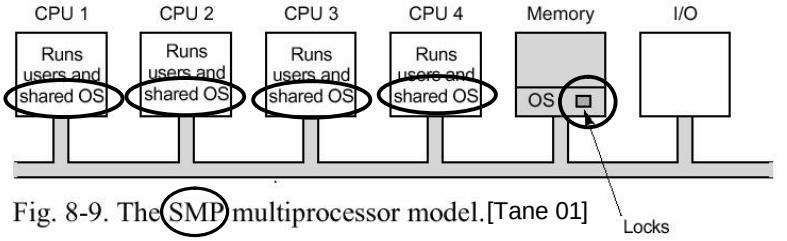
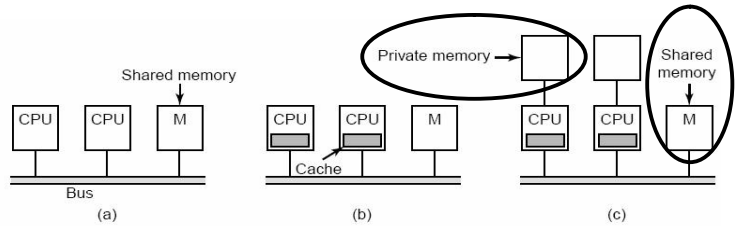


Fig. 8-9. The SMP multiprocessor model.[Tane 01]

45

Toinen jaottelu yhteisen muistin moniprosessorikoneille



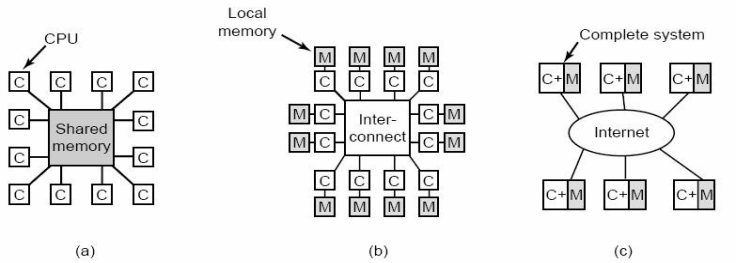
(NUMA)
(non-uniform memory arch)

Fig. 8-2. Three bus-based multiprocessors. (a) Without caching. (b) With caching. (c) With caching and private memories.

[Tane 01]

46

Kolmas jaottelu yhteisen muistin moniprosessorikoneille



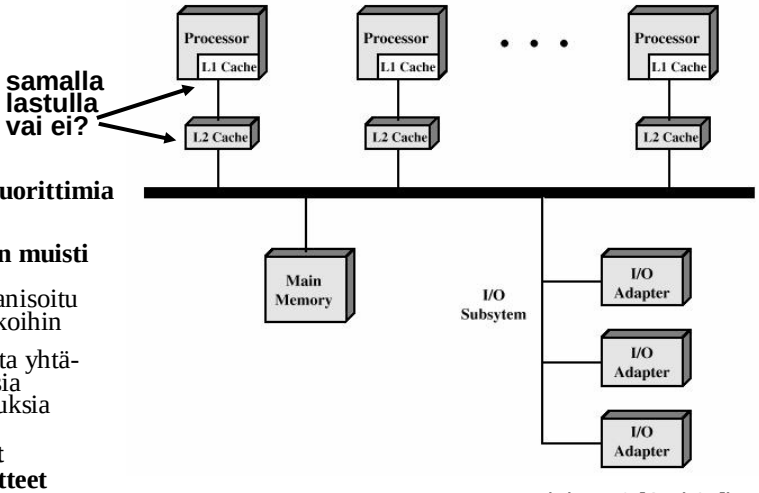
(NUMA) **(NUMA)**

Fig. 8-1. (a) A shared-memory multiprocessor. (b) A message-passing multicomputer. (c) A wide area distributed system.

[Tane 01]

47

SMP: Symmetric Multiprocessing



- **Useita suorittimia (CPU)**
- **Yhteinen muisti**
  - organisoitu lohkoihin
  - useita yhtä-aikaisia viittauksia
- **Yhteiset oheislaitteet**
- **Välimuistien yhteneväisyys (coherency)?**

(Fig. 4.9 [Stal 05])

48

Huomioitava SMP KJ:ssä 1/2

- Samanaikaisuuden hallinta (Ch 5-6, RIO)
  - KJ voi olla suoritettavana usealla CPU:lla
  - KJ:n oltava vapaakäyntinen (re-entrant)
  - KJ:n tietorakenteiden käsittelyssä tarvitaan poissulkemista
- Vuorotettavana useita CPU:ita (Ch 10)
  - KJ:kin voi olla suorituksessa yhtäaikaa eri CPU:illa
  - saman prosessin säikeiden vuorottaminen
- Synkronointi, lukot (Ch 5-6, RIO)
  - poissulkeminen ja tapahtumien järjestys

49

Huomioitava SMP KJ:ssä 2/2

- Muistinhallinta (Ch 7-8)
- Ulkoisten keskeytysten käsittely
- Vikasietoisuus: joku CPU voi pudota pois
  - tästä ei tarvinnut murehtia yhden CPU:n kanssa!
  - ollaanko vikasietoisia vai ei? miten?

50