LUENTO 20

Hajautettu prosessien hallinta

Stallings, Luku 15

1

Sisältöä luento 20

- Prosessien siirto (Process Migration)
- Globaali tila (hajautetussa järjestelmässä)
  - Tila ja snapshot
  - Ota kantaa toipumiseen (ja peruutuksiin)
- Hajautettu poissulkeminen
  - Lamportin kellot – tapahtuminen järjestys
- Hajautettu lukkiuma (ja sen havaitseminen)

Tarkemmin hajautettujen järjestelmien kurssilla

2

Prosessin siirto

- Prosessi vaihtaa konetta kesken suorituksen:
  - Suoritus keskeytetään siirron ajaksi
  - Siirretään uuteen paikkaan riittävästi tietoa nykyisestä tilasta.
  - Suoritus jatkuu uudessa paikassa
- Mikä on riittävästi tietoa?
  - Prosessin tila (prosessin kuvaaja, PCB)
  - Osoiteavaruus (muistin sisältö)
  - Avoimet tiedostot
  - Muut tiedot
- Siirretäänkö kaikki vai vain tarvittava osa?

3

Syitä siirtoon

- Kuorman tasaus (Load sharing)
- Toiminnan tehostaminen
  - Keskenään kommunikoivat prosessit samaan paikkaan
  - Siirretään prosessi sinne missä käsiteltävä data on
- Saatavuus
  - Prosessi on siirrettävä, jotta laskenta voi jatkua vaikka solmu ei olekaan (enää) käytettävissä
- Erikoistarpeet (poikkeuksellisia resursseja)
  - Prosessi siirretään sinne, missä on sen tarvitsemia erikoislaitteistoja tai -ohjelmistoja

4

Kuka/mikä päättää siirrosta?

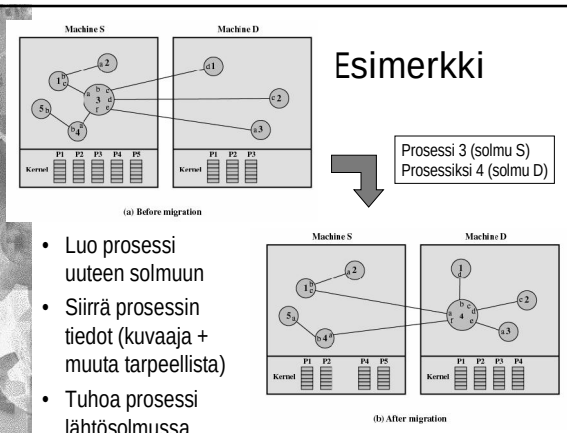
- Käyttöjärjestelmä
  - Esimerkiksi kuorman tasaus

tai

- Prosessi itse
  - Tarvitaan erikoisresursseja tai tiettyä dataa

5

Esimerkki



Prosessi 3 (solmu S)
Prosessiksi 4 (solmu D)

- Luo prosessi uuteen solmuun
- Siirrä prosessin tiedot (kuvaaja + muuta tarpeellista)
- Tuhoa prosessi lähtösolmussa

6

Siirtopolitiikkoja

- Eager (all): Siirrä kaikki (muistialueet+muut)
  - Mitä ei jätetä lähtöpaikkaan
  - Kallis, jos kaikkea ei tarvita
- Precopy: Prosessia vielä suoritetaan, kun muistialueita jo kopioidaan
  - Muutetut sivut täytyy kopioida toistamiseen lopuksi
  - Lyhentää prosessin 'jäädytyksen' kestoa, eli aikaa, jolloin prosessia ei voida suorittaa

7

Neuvottelu siirrosta: Charlotte

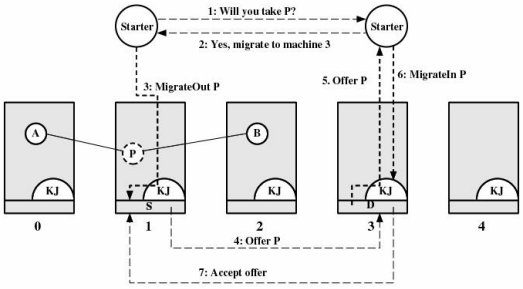


Figure 15.2 Negotiation of Process Migration

Siirtopolitiikkoja

- Eager (dirty): Siirrä vain se osa muistiavaruutta, joka on keskusmuistissa ja jota on muutettu
  - Loput sivut haettava sivunpuutoksen kautta
  - Jos ei jaettua levyä, niin lähdekone toimittaa puuttuvia sivuja aina pyynnöstä
- Copy-on-reference: Siirrä sivua vain viittattaessa
  - Ei juurikaan viivettä prosessin siirtovaiheessa
- Flushing: Kopioi prosessin muuttuneet sivut levylle
  - Lähdekoneen ei tarvitse säilyttää sivuja keskusmuistissaan

8

Häätö (Eviction)

- Jos siirtoja tehdään kuorman tasaamiseksi, niin
- Joutilaaseen työasemaan (idle workstation) voidaan siirtää prosesseja
- Kun työasemalle tulee paikallista kuormaa, voi olla tarpeen häätää siirrettyjä prosesseja vaikkapa takaisin lähtöpisteeseen (kotiin) tai jonnekin muualle
  - Tarvitaan esim. vasteaikojen pitämiseksi hyväksyttävinä

11

Siirron aloitus: Neuvottelu

- Esimerkkinä Charlotte (kts. IEEE Compute,r, syysk. 1989)
- Siirtopolitiikasta vastaa ja neuvottelun aloittaa lähdekoneen Starter-palvelu
- Starter-palvelun tehtäviin kuuluu myös muistinhallinta ja prosessin hyväksyminen järjestelmään (long-term scheduling)
- Siirto toteutuu vasta kun sekä lähde- että kohdekoneen Starter-palvelut hyväksyvät siirron
- Vastaanottajalla on oikeus kieltäytyä

9

Globaali tila

12

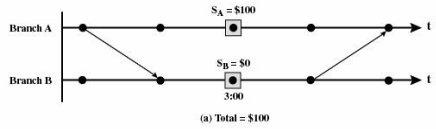
Tilatieto

- Keskitetyssä järjestelmässä tilatieto on saatavilla
- Hajautettussa järjestelmässä ei ole mahdollista täsmällisesti tietää koko järjestelmän tilaa
  - Käyttöjärjestelmä tai yksittäinen prosessi ei voi tietää kaikkien prosessien sen hetkistä tilaa
  - Prosessi voi tietää vain muiden paikallisten prosessien tilan
  - Kauempana olevien tila voidaan päätellä vain saapuvista viesteistä, jotka kertovat tilasta jonkin aika sitten

13

Esimerkki

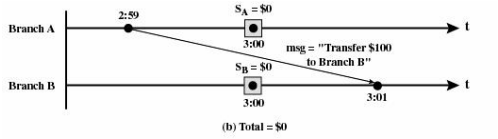
- Pankkitili on jaettu kahden toimipisteen kesken
- Tilin kokonaissaldo on näiden osatilien summa
- Tilin saldo päätellään täsmälleen ajanhetkellä 3:00 PM
- Osasaldojen kyselyt perustuvat sanomiin



14

Esimerkki: liikkuvat viestit

- Jos juuri saldokyselyn aikaan, rahaa siirretään tililtä toiselle, niin tulos voi olla virheellinen



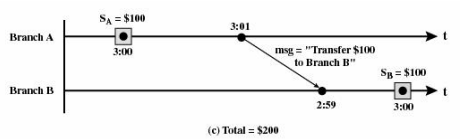
Korjaus:

- Kaikki siirrettävänä olevat viestit täytyy myös tarkistaa
- Kokonaissaldoon vaikuttavat osatilien lisäksi, myös viesteissä olevat summat

15

Esimerkki: kellovirhe

- Jos kellot eivät ole synkronissa ja kysely tehdään tasan klo 3:00, niin voi käydä seuraavasti
- Siirretään rahaa paikasta A klo 3:01
- Tieto saapuu paikkaan B klo 2:59 (siis etuajassa!)
- Siirretty summa lasketaan kokonaissaldoon kahdesti



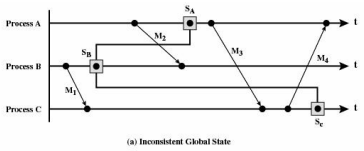
16

Termejä

- Kanava (Channel)
  - Kahden kommunikoivan prosessin välillä viestien vaihtoon
- Tila (State)
  - Prosessin kanaviaan pitkin lähettämien ja vastaanottamien viestin jono
- Globaali tila (Global state)
  - Prosessien yhdistetty tila
- Snapshot - tilannevedos
  - Prosessin tilan 'tietyllä hetkellä'
- Distributed Snapshot
  - Kooste prosessien tiloista 'tietyllä hetkellä'

17

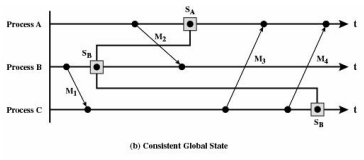
Inconsistent Global State



- Globaalissa tilassa on ristiriitoja, se ei ole eheä
- Tässä tapauksessa viesti M3 ylittää globaalia tilaa kuvaavan rajan väärään suuntaan. (Se näyttäisi saapuneen tulevaisuudesta)

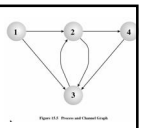
18

Consistent Global State



19

Distributed Snapshot Algorithm



Process 1 Outgoing channels 2 sent 1, 2, 3, 4, 5, 6 3 sent 1, 2, 3, 4, 5, 6 Incoming channels	**Process 3** Outgoing channels 2 sent 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 Incoming channels 1 received 1, 2, 3 stored 4, 5, 6 2 received 1, 2, 3 stored 4 4 received 1, 2, 3
Process 2 Outgoing channels 3 sent 1, 2, 3, 4 4 sent 1, 2, 3, 4 Incoming channels 1 received 1, 2, 3, 4 stored 5, 6 3 received 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	**Process 4** Outgoing channels 3 sent 1, 2, 3 Incoming channels 2 received 1, 2 stored 3, 4

22

Distributed Snapshot Algorithm

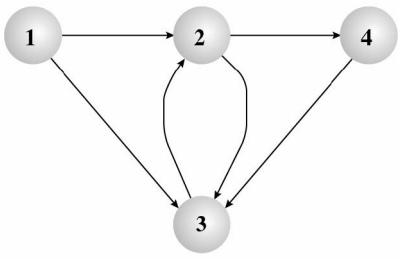


Figure 15.5 Process and Channel Graph

20

Poissulkeminen hajautetussa järjestelmässä

Perusominaisuuksia

- Poissulkeminen on välttämätöntä ja onnistuttava: vain yksi prosessi kerrallaan saa olla kriittisellä alueella
- Prosessi, joka suoritus päättyy (ei-kriittisellä alueella), ei saa häiritä muiden toimintaa
- Kriittiselle alueelle pääsyä ei saa joutua odottamaan äärettömän kauan: ei siis sallita nälkiintymistä tai lukkoja

23

Algoritmi

- Aloittaja:
  - Tallenna oma tila
  - Lähetä marker-viesti muille
- Marker-viestin vastaanottaja:
  - Ensimmäinen kerta (atominen toimenpidesarja)
    - Tallenna oma tila ja tilaan kirjataan tämän viestin saapumiskanava tyhjäksi
    - Lähetä oma tila kaikille muille
  - Muut viestit (muista kanavista, yksi per kanava)
    - Kanavan tilaksi kootaan kaikki viestit, jotka ovat tulleet oman lähetyksen ja tämän viestin välissä
- Algoritmi päättyy äärellisessä ajassa, kunhan viestejä ei voi kadota ja viestien kulkuaika on äärellinen
- Globaali tila saadaan näistä prosessi- ja kanavakohtaisista tiloista
  - Esimerkiksi aloittaja voi koota ne pyytämällä tai prosessit lähettävät ne automaattisesti

21

Poissulkeminen hajautetussa järjestelmässä

Lisää: RiO ja Hajautetut järjestelmät

- Oletukset:
  - Ei jaettua muistia
  - Ei jaettua (synkronoitua) kelloa
  - Kaikki tieto kulkee vain viesteissä
  - Varattavaa asiaa kutsutaan kriittiseksi alueeksi
    - Vain yksi kerrallaan, varauksen kesto on äärellinen
- Ongelma:
  - Poissulkeminen ilman nälkiintymistä tai lukkiumaa

24

Malli

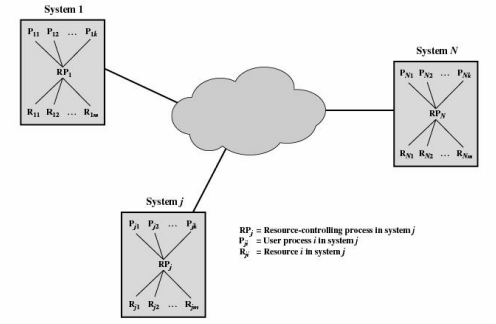


Figure 15.7 Model for Mutual Exclusion Problem in Distributed Process Management

25

Keskitetty algoritmi

- Nimitetään yksi solmu vastuulliseksi kontrollisolmuksi
- Se myöntää luvat ja pitää kirjaa varauksista
- Vain sillä on tieto varauksista, mutta
- Jos se kaatuu, niin varaukset katoavat eikä kukaan enää tiedä ketkä voivat käyttää resursseja ja ketkä eivät
- Ongelmia:
  - Single point of failure
  - Saattaa muodostua pullonkaulaksi

26

Hajautettu algoritmi

- Kaikilla solmuilla suurin piirtein saman verran tietoa globaalista tilasta
- Kullakin on vain osittainen kuva tilasta ja se joutuu tekemään päätökset tämän puutteellisen tiedon varassa
- Kaikilla solmuilla on samanlainen päätösvalta ja ne tekevät suurin piirtein saman verran töitä päätöksen eteen
- Yksittäisen solmun kaatuminen ei yleensä kadota liikaa tietoa, kokonaisuus voi edelleen toimia
- Ongelma:
  - Ei synkronoitua kelloa
  - sanomien kulkuajat vaihtelevat
  - niiden saapumisjärjestys eri solmuihin voi vaihdella

27

Tapahtumien järjestäminen

- Sanomien järjestyksellä on merkitystä prosessien käsitykselle globaalista tilasta
  - Tilan määritelmähän oli prosessien lähettämät ja vastaanottamat sanomat
- Jotta hajautettujen prosessien tilakäsitykset vastaisivat toisiaan, on sanomat saatava jollain tavalla järjestykseen.
- Käsitellään tapahtumina vain sanomien lähettämiset
- Lamport: Time, clocks and the orrdering of events, CACM, July 1978 - esittää yhden mahdollisuuden

28

Tapahtumien järjestäminen

- Tapahtumat (sanomien lähettämiset) on järjestettävä, jotta vältetään lukkiumat ja taataan poissulkeminen
  - Varaamiset ja vapauttamiset tehdään sanomien avulla
- Ongelmia: kellojen vaihtelu, kommunikointiviipeet
- Voidaan käyttää loogisia aikaleimoja (Time-stamping)
  - Näiden avulla saadaan tapahtumat järjestettyä
  - Eivät siis kellonaikoja vaan sanomien numerointeja

29

Aikaleimat

- Jokaisessa solmussa on oma laskuri (virtuaalikello), josta saadaan aikaleimat
  - Näillä saadaan osittaisjärjestys
- Lisäksi solmut on numeroitu
  - Näistä saadulla lisätiedolla saadaan täydellinen järjestys
- Viestien lähetys: liitä viestiin oma tunniste ja oma aikaleima (kasvata aikaleimaa aina ennen lähetystä)
- Kaikki viestit lähetetään kaikille
- Viestien vastaanotto: päivitä oma aikaleima: Uusi arvo on 1+ max(oma aikaleima, saapunut aikaleima)

30

Esimerkki 1

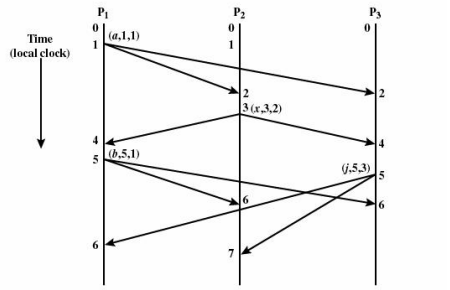


Figure 15.8 Example of Operation of Timestamping Algorithm

31

Esimerkki 2

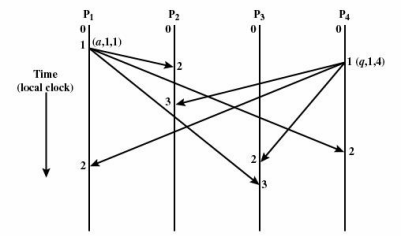


Figure 15.9 Another Example of Operation of Timestamping Algorithm

32

Yhden prosessin tilasiirtymät

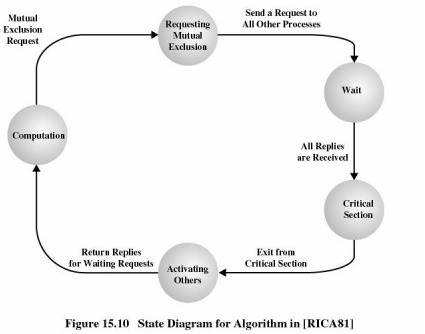


Figure 15.10 State Diagram for Algorithm in [RICA81]

33

Poissulkeminen käyttäen vuoromerkkiä (Token)

- Jos yksi ja sama kriittinen alue kaikilla (yksi resurssi)
- Siirrä vuoromerkkiä prosessilta toiselle
- Vuoromerkin haltijalla on oikeus suorittaa kriittinen alue, muut joutuvat odottamaan vuoroaan
- Kun prosessi poistuu kriittiseltä alueelta, se siirtää vuoromerkin eteenpäin jollekin toiselle prosessille
- Ongelma: vuoromerkin katoaminen

34

Lukkiumat (Deadlocks)

35

Lukkiumat

- Hajautetuissa järjestelmissä lukkiuman syynä voi olla resurssit tai viestit
- Resurssien osalta lukkiuma voi syntyä vain, jos
  - Poissulkeminen (Mutual exclusion)
  - Seuraavaa resurssia voi odottaa ja pitää lukkoa aiemmasta edelleen (Hold and wait)
  - Ei irroittamista (No preemption)
  - Odotuksista muodostuu rengas (Circular wait)
- Lukkiumia voidaan
  - Estää – prevention
  - Välttää – avoidance
  - Havaita – detection

36

Phantom Deadlock

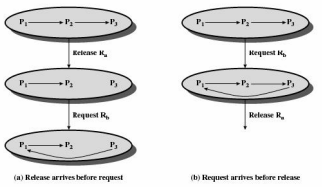


Figure 15.12 Phantom Deadlock

Hajautetuissa järjestelmissä on lukkiumaa etsittäessä syytä huomioida myös jo lähetetyt (uudet) viestit. b) näyttäisi lukkiumalta, mutta ei sitä ole.

37

Lukkiuman estäminen (Deadlock Prevention)

- Ketjuuntunut odotus voidaan estää, esimerkiksi sallimalla resurssin varaus vain tietyssä järjestyksessä.
- Hold-and-wait voidaan estää vaatimalla kaikkien resurssien varaamista kerralla. Prosessi odottaa kunnes se saa ne kaikki.

Ongelma:

- Nämä ratkaisut toimivat vain kun tiedetään resurssitarpeet etukäteen (viimeistään suorituksen alussa)
- Tietokannoissa käytetään yleensä wait-die tai wound-wait -menetelmiä, joissa ei tarvita ennakkotietoa

38

Lukkiuman välttäminen (Deadlock Avoidance)

- Jokaisen solmun pitäisi tietää järjestelmän globaali tila kokoajan
- Globaalin tilan turvallisuuden tarkistus pitää tehdä poissulkevasti, jotta tila varmasti on edelleen turvallinen
- Tilan turvallisuuden tarkistus on raskasta, kun järjestelmässä on paljon prosesseja ja resursseja

⇨ Hajautettu lukkiuman välttäminen on epäkäytännöllistä

39

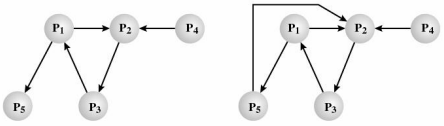
Hajautettu lukkiuman havaitseminen (Distributed Deadlock Detection)

- Jokainen solmu tuntee vain omat resurssinsa
  - Lukkiuma voi liittyä hajautettuja resursseja
- Keskitetty – yksi solmu vastuussa lukkiuman havaitsemisesta
- Hierarkkinen – havaintovastuu sillä (alimmalla tasolla), jonka alipuussa lukkiutuneet solmut ovat
- Hajautettu – kaikki solmut osallistuvat lukkiuman havaitsemiseen

40

Lukkiuma sanomanvälityksessä

- Mutual Waiting (odotetaan viestiä toisilta, jotka odottavat)
  - Kaikki lukkiutuneet solmut odottavat viestiä vain muilta samassa odotustilassa olevilta solmuilta ja yhtään sanomaa ei ole liikkeellä.



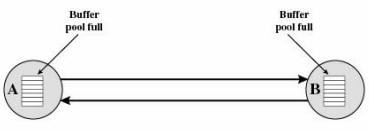
P1 odottaa joko P2 tai P5

Figure 15.16 Deadlock in Message Communication

41

Lukkiuma sanomanvälityksessä

- Viestipuskurit täynnä
  - Havaittu mm. pakettikytkentäisissä verkoissa
  - Kuvan esimerkki: A:n puskuri on täynnä B:lle meneviä viestejä, joten sinne ei voi vastaanottaa uusi viestejä. B:n tilanne on päinvastainen.

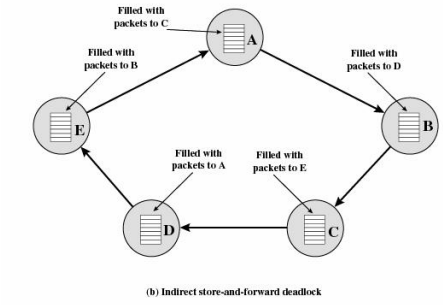


42

Lukkiuma sanomanvälityksessä

- Viestipuskurit täynnä
  - Tilanne voi olla myös ketju ja monimutkainen.
  - Kuvan esimerkissä kunkin solmun puskurit ovat täynnä parin solmun päähän meneviä viestejä.

43



(b) Indirect store-and-forward deadlock

44