



## Transaktionhallinta - elvytys

- Jokaisella lokikirjauksella on yksikäsitteinen tunnus (log sequence number, LSN)
- Lokin muutoskirjauksessa esiintyvä tietoalkio x voi olla periaatteessa mitä tahansa yksittäisestä merkistä koko sivuun. Tyypillisiä:
  - Sivu
    - loki kasvaa suureksi
  - Relaation rivi
    - lokitedosto vie vähemmän tilaa kuin kokonaisten muutettujen sivujen kirjaus
  - Rivin tunnustiedot + tietoalkion tunnustiedot + tietoalkion arvo
    - vielä vähemmän tilaa, mutta käsittely työläämpää

1



## Transaktionhallinta - elvytys

- Lokitiedostoa käsitellään kuten muitakin tiedostoja, ts. lokitietue viedään ensin puskurisivulle, sitten aikanaan esim. puskurisivun täyttytessä tai viimeistään transaktion sitoutuessa levyille.
  - lokietuet voidaan myös 'pakkokirjoittaa' levyille (kirjoitetaan välittömästi)
- Häiriön sattuessa vain levyllä oleva lokin osa on varmuudella käytettävissä.
  - Yleensä lokin käytettävyyttä varmistetaan vielä levyvirheiden varalta esimerkiksi useamman tiedoston vuorottelulla, ja varmistamalla levyllä oleva loki ajoittain nauhalle (tai toiselle levy-yksikölle).

2



## Transaktionhallinta - elvytys

Loki sitoutumisessa:

- transaktio T on sitoutunut silloin ja vain silloin, kun lokista löytyy sitoutumismerkintä (commit, T)
- levyllä olevien lokitietueiden perusteella selviää,
  - mitkä transaktiot olivat häiriön sattumishetkellä sitoutuneita ja mitkä kesken: commit, abort (+ start)
  - mitä on kirjoitettu (+ vanha arvo): write-tietue

3



## Transaktionhallinta - elvytys

- Commit-pyyntöön toteuttaminen aiheuttaa tkhj:ssa joukon samanaikaisiin transaktioihin liittyviä tarkistuksia.
- Sitoutuminen tehdään ns. sitoutumiskäytännön (commit protocol) mukaisesti:
  - kirjoitetaan lokiin sitoutumismerkintä (commit, T)
  - pakkokirjoitetaan loki levyille (kirjoitetaan kaikki lokin sivut, jotka ovat toistaiseksi vasta puskureissa)
  - vapautetaan transaktion T mahdollisesti varaamat resurssit (mm. samanaikaisia toimintoja säätelevät lukot transaktion käsittelemiin tietoalkioihin).
  - kuitataan sitoutuminen tehdyksi
- Huom. Päivitettyjä datasisivuja ei pakoteta levyille, ts. lokia viedään levyille aina 'ennen dataa'. Tätä sanotaan WAL-käytännöksi (write-ahead-logging), ja sitä noudatetaan myös kirjoitettaessa tietosisivuja levyille välittömien päivitysten yhteydessä.

4



## Transaktionhallinta - elvytys

- Rollback-pyyntöön toteutus aiheuttaa tapahtuman tekemien muutosten peruutuksen
  - Käydään läpi lokista löytyvät peruttavaan transaktioon liittyvät kirjoitusmerkinnät lopusta alkuun ja korvataan kukin tietoalkio alkuvuolellaan.
  - Kirjoitetaan lokiin keskeytysmerkintä (abort)
- Jos jokin toinen transaktio olisi lukenut sellaisen tietoalkion arvon, joka peruutuksessa korvautuu vanhalla arvolla, pitäisi myös tämä toinen transaktio perua (ns. cascading rollback, vyöryvä peruutus)
  - käytännössä näin ei kuitenkaan käy, sillä tapahtumille hyväksytään vain sellaisia suoritustärjestyksiä, joissa tämä välitetään.

5



## Transaktionhallinta - elvytys

Tarkistuspiste (checkpoint)

- Tarkistuspisteessä viedään levyille asti kaikki puskureissa olevat tietokantasivujen päivitykset
  - seuraavien häiriöiden yhteydessä tarvittavat elvytystoimenpiteet vähenevät

Tarkistuspiste sisältää seuraavat toiminnot:

- estetään väliaikaisesti transaktioiden suoritus
- pakkokirjoitetaan kaikki transaktioiden päivittämät sivut puskurista levyille
- kirjoitetaan lokiin tarkistuspistekirjaus ja pakkokirjoitetaan loki levyille
- sallitaan transaktioiden jatkaa suoritustaan

6



## Transaktionhallinta - elvytys

- Transaktioiden estäminen ja pakkokirjoituksen kesto voivat hidastaa normaalitoimintaa.
- Vaiheiden 2 ja (3, 4) järjestys voidaan vaihtaa, kun säilytetään edellinen loppuun suoritettu tarkistuspiste (viimeisenä virallisena), kunnes kaikki sivut ovat levyllä.
- Tarkistuspisteiden taajuus on tietokannan hoitajan päätettävissä.
  - Järkevä taajuus riippuu tietokannan päivitystiheydestä ja häiriöalttiudesta:
    - esim. 4 kertaa tunnissa tai
    - kun tietty määrä transaktioita on sitoutunut edellisen tarkistuspisteen jälkeen.

7



## Transaktionhallinta - elvytys

### Yleinen lokiin perustuva elvytysalgoritmi:

1. Luetaan lokia levyllä ja muodostetaan kaksi transaktioista:
  - Keskenäiset = transaktiot, joille on lokissa aloituskirjaus (start), mutta ei sitoutumiskirjausta (commit) eikä viimeistä tarkistuspistettä edeltävää keskeytyskirjausta (abort)
    - keskeytyskirjaus ennen tarkistuspistettä:
      - muutosten peruutukset on merkitty puskuriiin ja huomattu tarkistuspisteessä
  - Sitoutuneet = transaktiot, joille on lokissa sitoutumiskirjaus viimeisen tarkistuspisteen jälkeen

8



## Transaktionhallinta - elvytys

2. perutaan (undo) keskenäiset-listan transaktioiden kirjoitusoperaatiot selaamalla lokia lopusta alkuun päin:
  - jokaista löytyvää muutoskirjausta (write,T,x,vanha,uusi) kohti suoritetaan operaatio write(x, vanha) (palautetaan tietoalkion x alkukuva voimaan)
3. uusitaan (redo) sitoutuneet listan transaktioiden kirjoitusoperaatiot selaamalla lokia alusta loppuun päin:
  - jokaista löytyvää muutoskirjausta (write,T,x,vanha,uusi) kohti suoritetaan operaatio write(x, uusi) (saatetaan siis tietoalkion jälkikuva uudelleen voimaan)

9



## Transaktionhallinta - elvytys

- Esimerkki. Olkoon levyllä oleva lokin sisältö häiriötilanteessa seuraava :

|   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1: (start, T1)</li> <li>2: (start, T2)</li> <li>3: (write, T1, x1, 'AAA', 'BBB')</li> <li>4: (commit, T1)</li> <li>5: (write, T2, X1, 'BBB', 'CCC')</li> <li>6: (checkpoint)</li> <li>7: (write, T2, x2, '0000', '1111')</li> <li>8: (start, T3)</li> <li>9: (commit, T2)</li> <li>10: (write, T3, x1, 'CCC', 'DDD')</li> <li>11: (write, T3, x2, '1111', '2222')</li> </ol> | <p>Elvytysjärjestelmä lukee lokia levyllä ja muodostaa listat<br/> <math>L1 = \langle T3 \rangle</math>, <math>L2 = \langle T2 \rangle</math><br/>       peruu transaktion T3 operaatiot suorittamalla:</p> <p>write(x2, '1111') (11)<br/>       write(x1, 'CCC') (10)</p> <p>suorittaa uudelleen transaktion T2 operaatiot</p> <p>write(x1, 'CCC') (5)<br/>       write(x2, '1111') (7)</p> |
|---|--|

10



## Transaktionhallinta - elvytys

- Edellä kuvatussa algoritmossa tehdään uusinnan yhteydessä turhia kirjoituksia:
  - ennen tarkistuspistettä suoritettua kirjoitusoperaatiota ei tarvitse uusia (esimerkissä rivi 5), sillä se on tarkistuspisteessä hoidettu levyllä.
  - tarkistuspisteen jälkeen tehtyä kirjoitusoperaatiota, jonka tulos on ehtinyt levyllä ennen häiriötilannetta, ei tarvitse uusia
    - Tilanne saadaan selville tallentamalla datasisivun tunnustietueeseen viimeisen sivulle tehtyä päivitystä vastaavan lokitietueen tunnus (kenttä pageLSN)
  - Myös perumiskirjoitus (undo) voi olla turha, sillä sellaisia kirjoituksia, joiden tulos ei ole ehtinyt levyllä, ei tarvitse perua
- uusimis-/perumiskirjoituksen tarve selvää vertaamalla lokitietueen tunnusta (LSN) ja datasisivun pageLSN –kenttää:
  - undo tarvitaan, jos  $LSN \leq pageLSN$
  - redo tarvitaan, jos  $LSN > pageLSN$

11



## Transaktionhallinta - elvytys

- Jos  $pageLSN(x1) = 10$ ,  $pageLSN(x2) = 7$ , niin vain write(x1,'CCC') tarvitaan

|   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1: (start, T1)</li> <li>2: (start, T2)</li> <li>3: (write, T1, x1, 'AAA', 'BBB')</li> <li>4: (commit, T1)</li> <li>5: (write, T2, X1, 'BBB', 'CCC')</li> <li>6: (checkpoint)</li> <li>7: (write, T2, x2, '0000', '1111')</li> <li>8: (start, T3)</li> <li>9: (commit, T2)</li> <li>10: (write, T3, x1, 'CCC', 'DDD')</li> <li>11: (write, T3, x2, '1111', '2222')</li> </ol> | <p>Elvytysjärjestelmä lukee lokia levyllä ja muodostaa listat<br/> <math>L1 = \langle T3 \rangle</math>, <math>L2 = \langle T2 \rangle</math><br/>       peruu transaktion T3 operaatiot suorittamalla:</p> <p>write(x2, '1111') (11)<br/>       write(x1, 'CCC') (10)</p> <p>suorittaa uudelleen transaktion T2 operaatiot</p> <p>write(x1, 'CCC') (5)<br/>       write(x2, '1111') (7)</p> |
|---|--|

12



## Transaktionhallinta - elvytys

- Häiriö voi sattua myös kesken elvytyksen
  - Tällöin oleellista on, että elvytysprosessin peräkkäiset suoritukset tuottavat saman tuloksen
- Edellä kuvattu elvytys ei kirjaa lokiin mitään, joten siinä lähdetään uudelleen liikkeelle samasta lähtötilanteesta, pageLSN kentät sivuilla ovat voineet muuttua, jos sivu on viety levyille mutta lopputulos on sama.
- Käytännössä kirjataan peruutusten yhteydessä lokiin yleensä myös kompensoimerkintöjä, joista näkee mitä peruutuksia on tehty. Näitä ei kuitenkaan tarvita elvytyksessä.
- Elvytyksestä on erilaisia muunnelmia riippuen siitä minkälaista puskurien levykirjoituspolitiikkaa käytetään.