

Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Računarstvo:

Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi

Računarska znanost

Ak.g. 2009./2010.

Raspodijeljeni sustavi

8.

Replikacija i konzistentnost podataka

Sadržaj predavanja



- Replikacija i konzistentnost podataka
- Svrha replikacije podataka
- Dijeljeni spremnički prostor
- Modeli održavanja konzistentnosti podataka
- Uspostava replikacije podataka

Replikacija i konzistentnost podataka

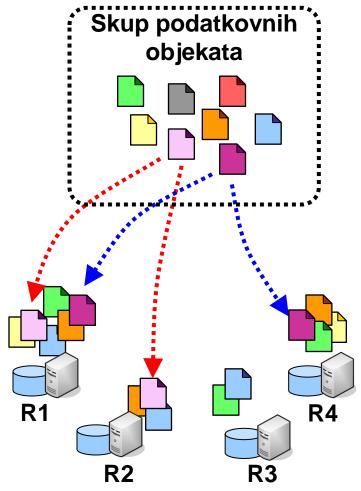


Što je replikacija podataka u raspodijeljenim

sustavima?

 Raspodijeljeni sustavi koriste podatkovne objekte postavljene na skupu računala

- Podatkovni objekti su spremljeni u obliku nekoliko kopija (replika) na različitim računalima
- Replikacija je postupak stvaranja i upravljanja kopijama podatkovnih objekata



Replikacija i konzistentnost podataka

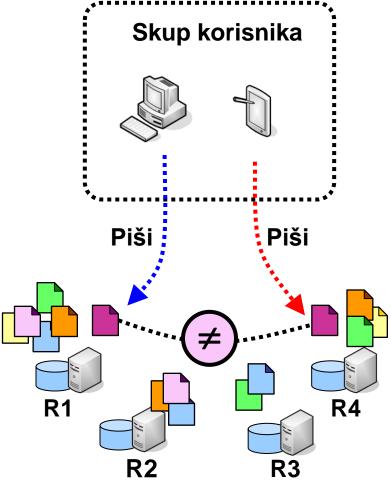


🔷 Što je konzistentnost podataka u raspodijeljenim

sustavima?

Replike istog objekta mogu istodobno i nezavisno koristiti različiti korisnici

- Korisnici mogu stanje replika istog objekta mijenjati na različite načine u vremenu
- Konzistentnost je narušena kada postoje replike nekog objekta koje nemaju istovjetno stanje



Svrha replikacije



Pouzdanost podataka

- U slučaju da neka od replika postane nedostupna, sustav prosljeđuje zahtjeve preostalim dostupnim replikama
- U slučaju da neka od replika ima pogrešne zapise, usporedbom zapisa više replika ostvaruje se otpornost na pogreške u zapisima

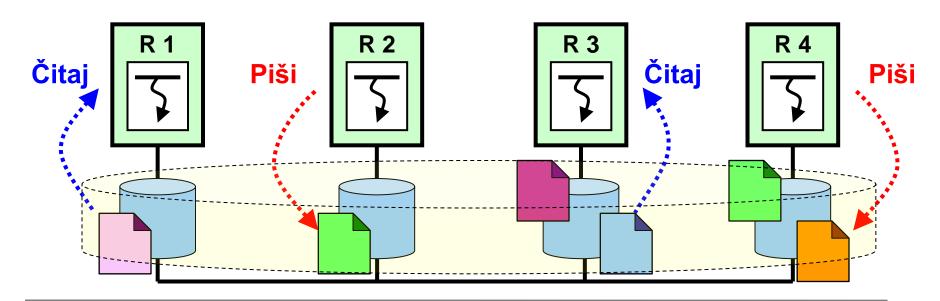
Učinkovito posluživanje podataka

- U slučaju da neka od replika je preopterećena, pristigli zahtjevi prosljeđuju se ostalim replikama
- Replike je moguće predodrediti za posluživanje različitih razreda zahtjeva

Model dijeljenog spremničkog prostora



- Skup spremničkih prostora na računalima u raspodijeljenoj okolini
- Osnovne operacije
 - ◆ Čitanje podataka (R)
 - ♦ Pisanje podataka (W)



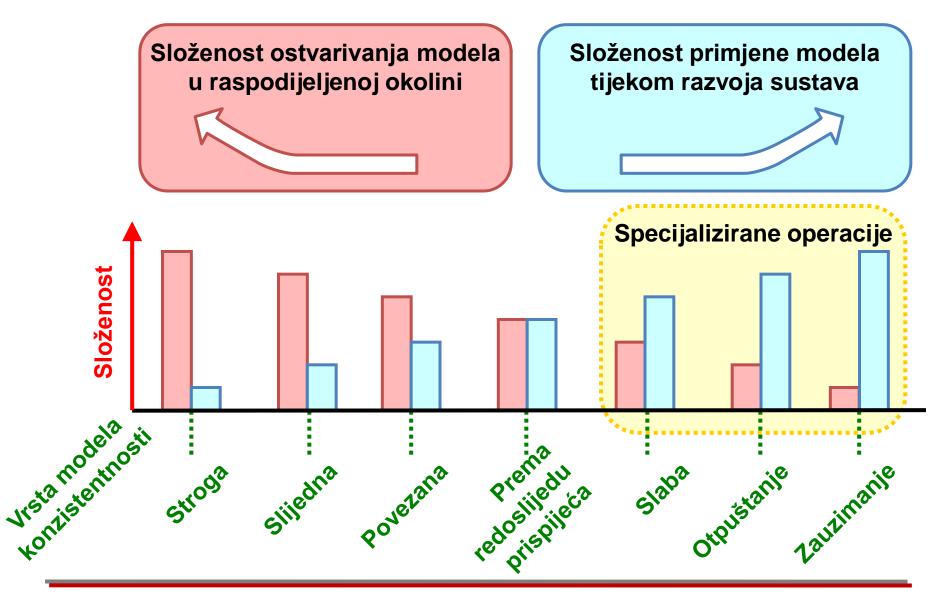
Sadržaj predavanja



- Replikacija i konzistentnost podataka
- Svrha replikacije podataka
- Dijeljeni spremnički prostor
- Modeli održavanja konzistentnosti podataka
- Uspostava replikacije podataka

Razredba modela konzistentnosti





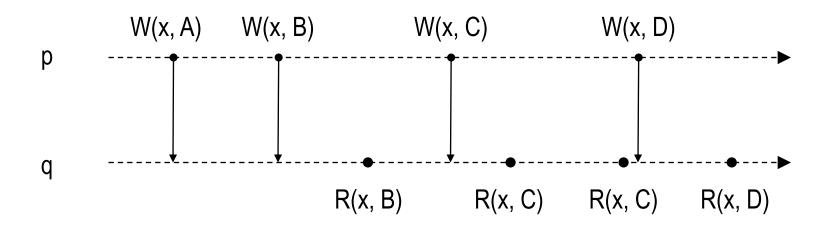
Stroga konzistentnost



Čitanje podatka na lokaciji X daje vrijednost koja je posljednja bila zapisana na lokaciju X

Značajke modela

- Primjena globalnog vremena
- Ostvaren po uzoru na jednoprocesorske sustave



Slijedna konzistentnost



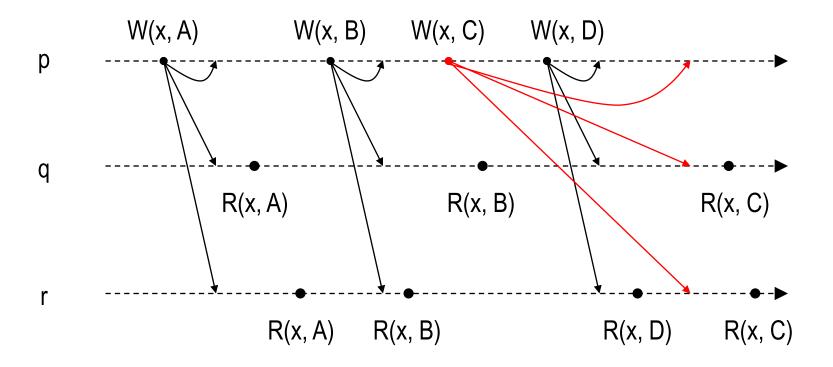
Redoslijed izvođenja operacija može biti proizvoljan ali svi procesi moraju konačni slijed izvođenja akcija u vremenu vidjeti na jednak način

Značajke modela

- Nije potrebno održavati globalni tijek vremena
- Procesi se moraju dogovoriti o globalnom redoslijedu izvođenja akcija u vremenu

Primjer slijedne konzistentnosti



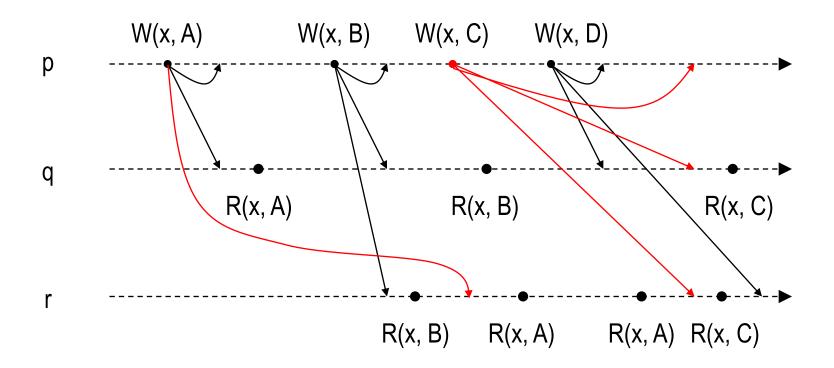


Čitanje q: $A \Rightarrow B \Rightarrow D \Rightarrow C$

Čitanje r: $A \Rightarrow B \Rightarrow D \Rightarrow C$

Primjer slijedne nekonzistentnosti





Čitanje q: $A \Rightarrow B \Rightarrow D \Rightarrow C$

Čitanje r: $\mathbf{B} \Rightarrow \mathbf{A} \Rightarrow \mathbf{C}$

Povezana konzistentnost



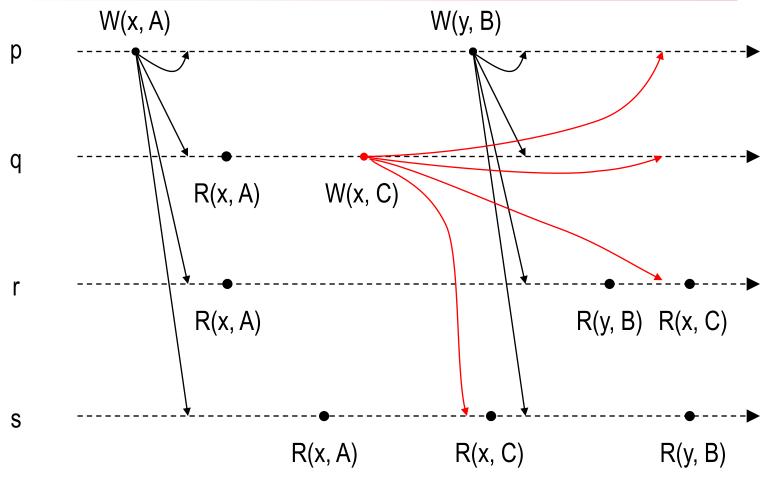
Redoslijed izvođenja povezanih operacija pisanja vidljiv je svim procesima na jednak način, dok redoslijed izvođenja operacija pisanja koje nisu povezane svakom procesu može biti prikazan na drugačiji način

Povezanost operacija

- Operacija pisanja W sadržaja u lokaciju X odvija se u vremenu prije operacije čitanja sadržaja R iz lokacije X čime je operacija R povezana s operacijom W
- Dvije operacije pisanja nisu povezane ako ostvaruju istodobno zapisivanje sadržaja u različite lokacije dijeljenog spremnika

Primjer povezane konzistentnosti



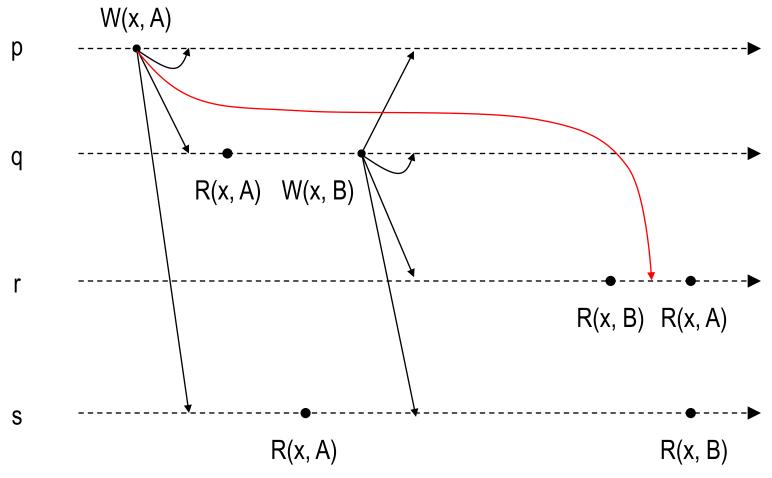


Čitanje r: $A \Rightarrow B \Rightarrow C$

Čitanje s: $A \Rightarrow C \Rightarrow B$

Primjer nepovezane konzistentnosti





Čitanje r:

 $\mathbf{B} \Rightarrow \mathbf{A}$

Čitanje s:

 $\mathbf{A}\Rightarrow\mathbf{B}$

Konzistentnost redoslijeda



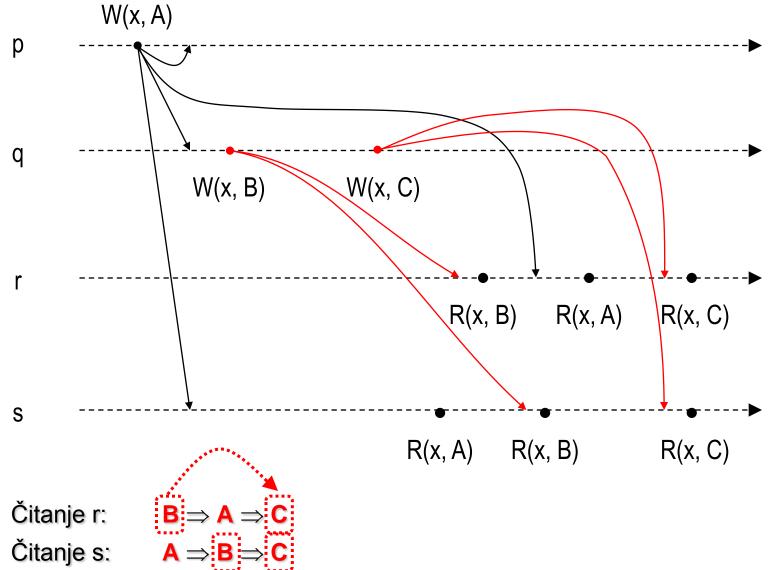
Redoslijed izvođenja operacija pisanja provedenih od strane jednog procesa vidljiv je na jednak način svim ostalim procesima, ali redoslijed izvođenja operacija pisanja različitih procesa može biti vidljiv na proizvoljan način ostalim procesima

Značajke modela

- Jednostavno ostvarenje zasnovano na pridruživanju jedinstvenih oznaka svakom zahtjevu za pisanje
- Jedinstvena oznaka uključuje identifikator procesa i redni broj izvođenja operacije

Primjer konzistentnosti redoslijeda





Slaba konzistentnost



- Ostvaruje se primjenom sinkronizacijskih varijabli koje ostvaruju upravljanje trenutcima sinkronizacije replika u raspodijeljenoj okolini
- ♦ Operacija sinkronizacije Sync (S)
- Primjena sinkronizacijskih varijabli
 - Usklađivanje svih replika zadanog skupa podataka
 - Slijed akcija nad sinkronizacijskom varijablama vidljiv je na jednak način svim procesima

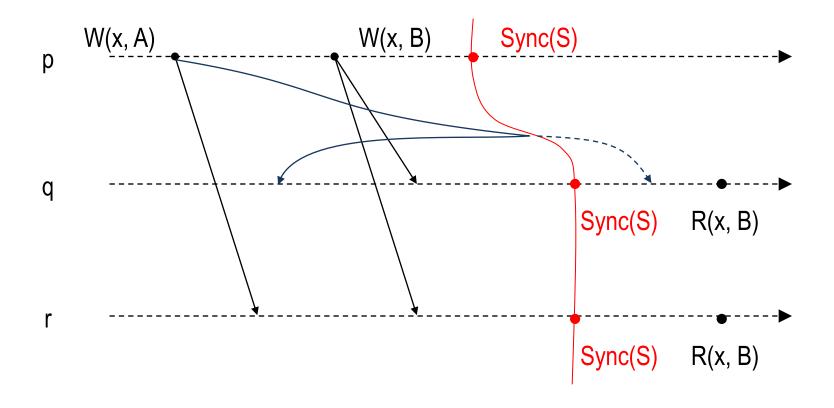
Slaba konzistentnost



- Uvjeti primjene i ostvarenja operacije Sync
 - Operacija nad sinkronizacijskom varijablom dovršava se tek nakon što su završene sve prethodno započete operacija pisanja
 - Operacije pisanja i čitanja mogu se izvoditi tek nakon završetka izvođenja operacije nad sinkronizacijskom varijablom

Primjer slabe konzistentnosti





Čitanje q: B

Čitanje r: B

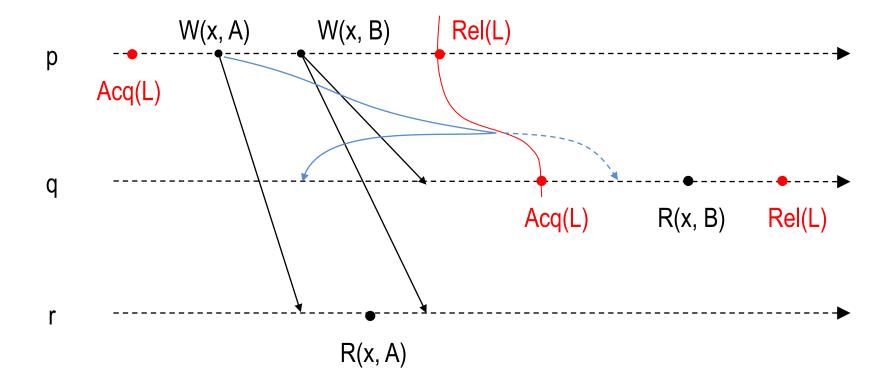
Konzistentnost otpuštanja



- Vrsta konzistentnosti zasnovana na primjeni kritičnih odsječaka
 - Konzistentnost se održava nakon izlaska iz kritičnog odsječaka
 - Izgradnja kritičnih odsječaka ostvarena je primjenom operacija Zauzmi i Otpusti
- Operacija Zauzmi
 - Ulazak u kritični odsječak
- Operacija Otpusti
 - Izlazak iz kritičnog odsječaka, prije izlaska sve lokalne promjene prosljeđuju se svim replikama podataka

Primjer konzistentnosti otpuštanja





Čitanje q: B

Čitanje r: A

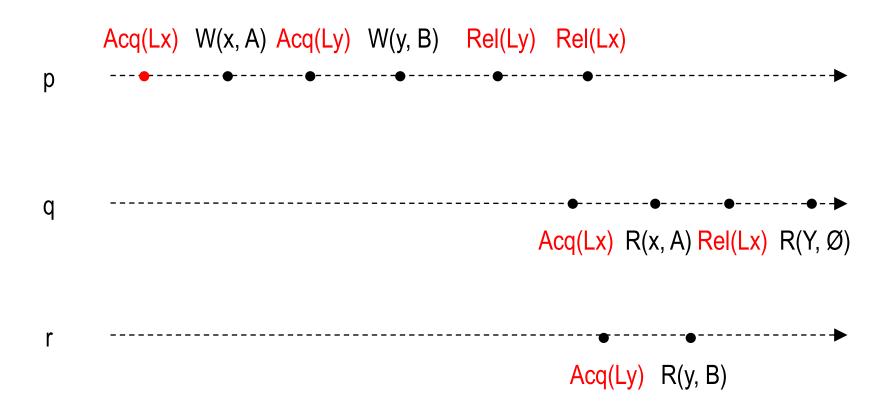
Konzistentnost zauzimanja



- Konzistentnost zasnovana primjeni sinkronizacijskih varijabli
 - Konzistentnost se održava u trenutku ulaska u kritični odsječak
 - Izgradnja kritičnih odsječaka ostvarenih primjenom operacija Zauzmi i Otpusti
- ♦ Operacija Zauzmi
 - Ulazak u kritični odsječak, početak izvođenja odsječka tek nakon što su usklađene sve vrijednosti replika s posljednjom promjenom
- ♦ Operacija Otpusti
 - ♦ Izlazak iz kritičnog odsječaka

Primjer konzistentnosti zauzimanja





Čitanje q: $\mathbf{A} \Rightarrow \emptyset$

Čitanje r: B

Sadržaj predavanja



- Replikacija i konzistentnost podataka
- Svrha replikacije podataka
- Dijeljeni spremnički prostor
- Modeli održavanja konzistentnosti podataka
- Uspostava replikacije podataka

Uspostava replikacije podataka



- Organizacija sustava replika
 - Poslužiteljska računala, korisnička računala i spremnici replika
- Razredba vrsta replika
 - Trajne replike, poslužiteljske replike, korisničke replike
- Održavanje konzistentnosti replika
 - Dohvaćanje promjena stanja replika
 - Prosljeđivanje promjena stanja replika
- Ostvarivanje operacija
 - Operacije pisanja sadržaja
 - Operacije čitanja sadržaja

Organizacija sustava replika



Elementi sustava

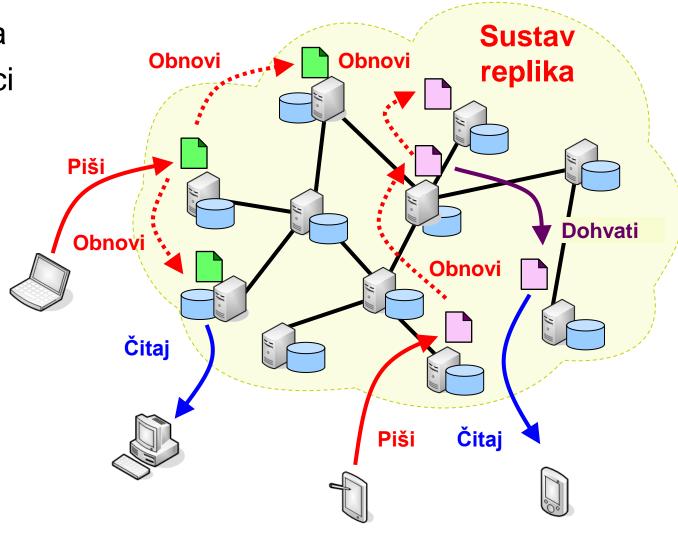
♦ Računala

Spremnici

Replike

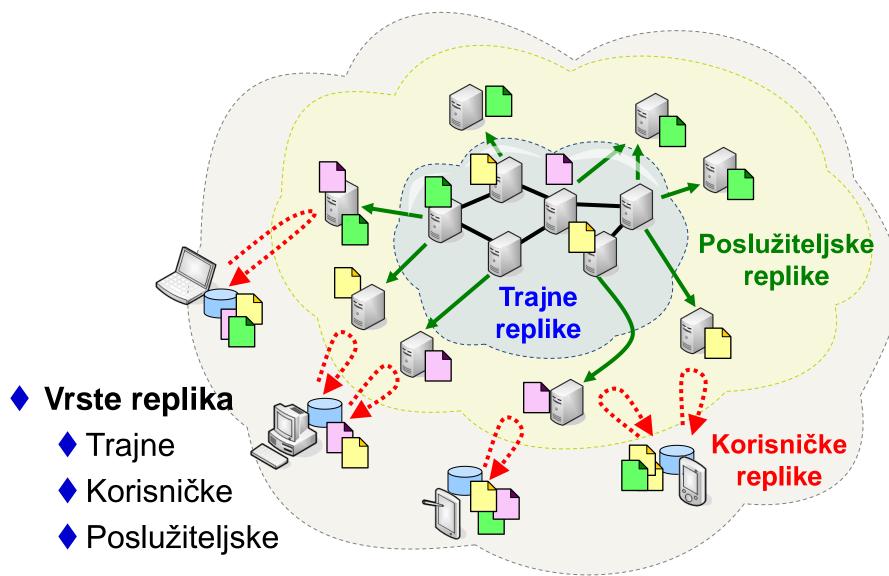
Operacije

- ♦ Čitaj
- Piši
- Dohvati
- Obnovi



Razredba vrsti replika





Trajne replike



- Početni skup replika postavljen na skupu računala povezanih lokalnom mrežom
 - Grozdovi poslužitelja
 - Replike poslužitelja
- Osnovne značajke
 - Statička organizacija i postavke sustava
 - Većina zahtjeva je čitanje podataka
 - Raspoređivanje zahtjeva na dostupne replike

Trajne replike

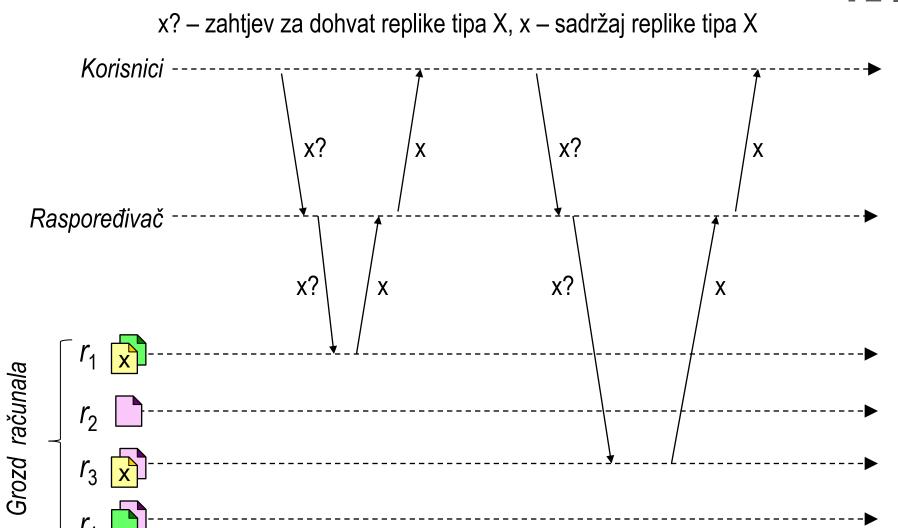


Organizacija grozda poslužitelja

- Raspoređivač je pristupna točka sustava koja sadrži informacije koje opisuju poslužitelje unutar grozda
- Raspoređivač prihvaća i prosljeđuje zahtjeve poslužiteljima
- Odabir poslužitelja ostvaruje se tako da se ostvari optimalno raspoređivanje opterećenja po replikama koje se nalaze na poslužiteljima
- Poslužitelji prihvaćaju zahtjev te prosljeđuju rezultate obrade

Primjer upodabe trajnih replika





Poslužiteljske replike



Poslužitelj sadrži trajne replike koje su dostupne korisnicima

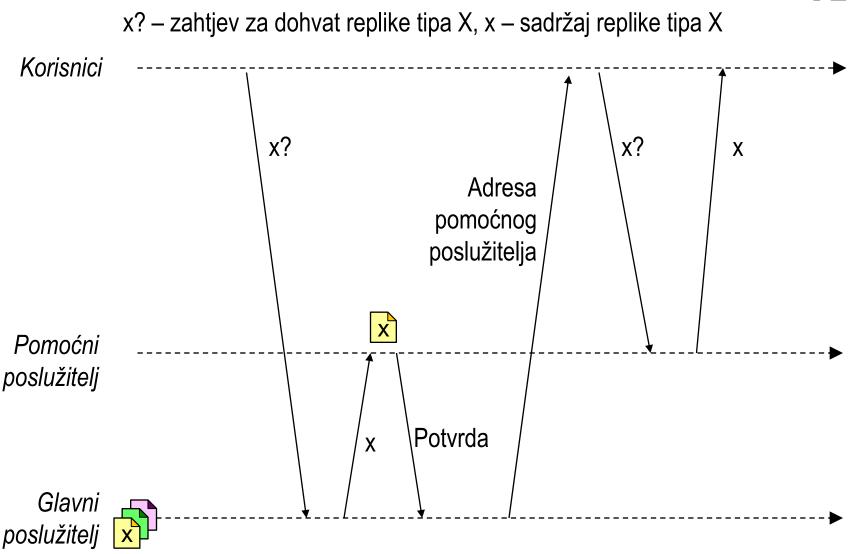
- U slučaju povećanja potražnje podataka, poslužitelj započinje postupak repliciranja podataka
- Poslužitelj prosljeđuje replike traženih podataka privremenim poslužiteljima

Osnovne značajke

- Poslužitelj prati vlastito opterećenje
- Odabir i raspoređivanje replika ostvaruje se tijekom rada sustava

Primjer uporabe poslužiteljskih replika





Korisničke replike



Korisnički programi koriste lokalni spremnik

- Dohvaćeni podaci spremaju se u lokalni spremnik
- U slučaju potrebe za istim podacima, podaci se dohvaćaju iz lokalnog spremnika
- Potrebno je održavati konzistentnost lokalnog spremnika s poslužiteljem s kojeg su podaci dohvaćeni
- Lokalni spremnik može biti na istom računalu kao i korisnički programi ili na dijeljenom računalu u lokalnoj mreži

Osnovne značajke

- Najpovoljnije je koristiti u slučajevima kada se najčešće provode operacije čitanja
- Smanjuje se vrijeme dohvata podataka
- U slučaju kada nekoliko korisnika dijeli lokalni spremnik povećava se učinkovitost primjene korisničkih replika

Korisničke replike

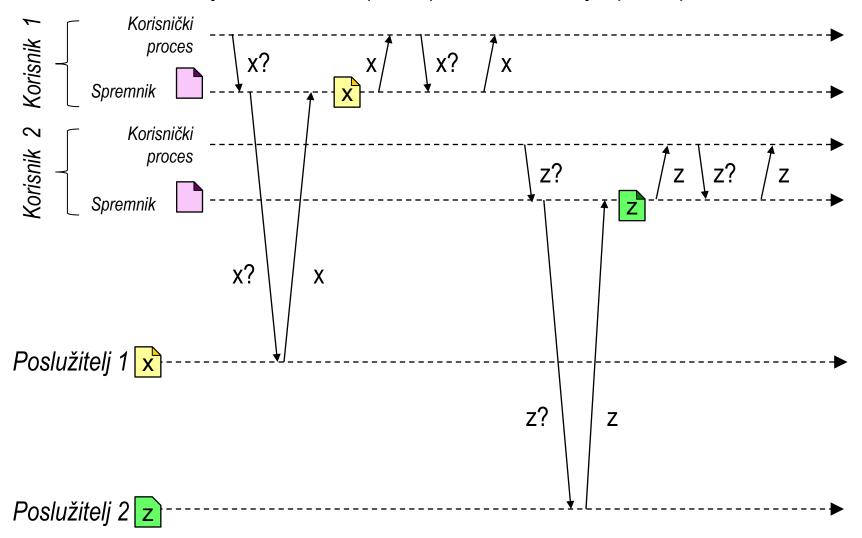


- Korisnici ostvaruju replikaciju podataka u lokalnom spremniku
 - Svaki podatak koji korisnik želi dohvatiti s udaljenog poslužitelja prvo traži u lokalnom spremniku
 - Ako se traženi podatak ne nalazi u lokalnom spremniku dokument se dohvaća s udaljenog poslužitelja
 - Ako se podatak već nalazi u lokalnom spremniku, dokument se dohvaća iz lokalnog spremnika

Primjer uporabe korisničkih replika



x? – zahtjev za dohvat replike tipa X, x – sadržaj replike tipa X



Modeli uspostave replikacije podataka



Organizacija sustava replika

 Poslužiteljska računala, korisnička računala i spremnici replika

Razredba vrsta replika

Trajne replike, poslužiteljske replike, korisničke replike

Održavanje konzistentnosti replika

- Dohvaćanje promjena stanja replika
- Prosljeđivanje promjena stanja replika

Ostvarivanje operacija

- Operacije pisanja sadržaja
- Operacije čitanja sadržaja

Održavanje konzistentnosti replika

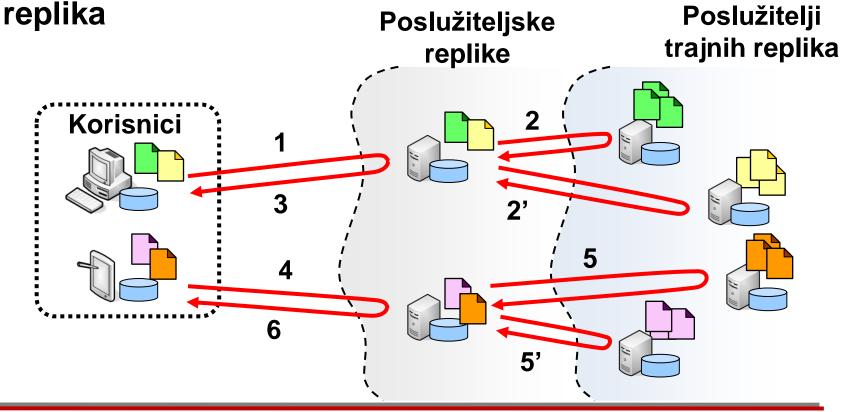


- Obnavljanje stanja replika
 - Replike je potrebno usklađivati s promjenama stanja trajnih replika
 - Obnavljanje sadržaja replika može biti ostvareno u trenutku promjene sadržaja ili u trenutak prije ostvarivanja pristupa replici
- Osnovne metode održavanja konzistentnosti sadržaja replika
 - Dohvaćanje promjena sadržaja (pull)
 - Prosljeđivanje promjena sadržaja (push)

Dohvaćanje promjena sadržaja



- Korisnici dohvaćaju promjene sadržaja trenutak prije pristupa replikama
- Primjenjuju se od strane korisnika prema poslužiteljskim replikama i poslužiteljima trajnih



Dohvaćanje promjena sadržaja



Značajke dohvaćanja promjena sadržaja

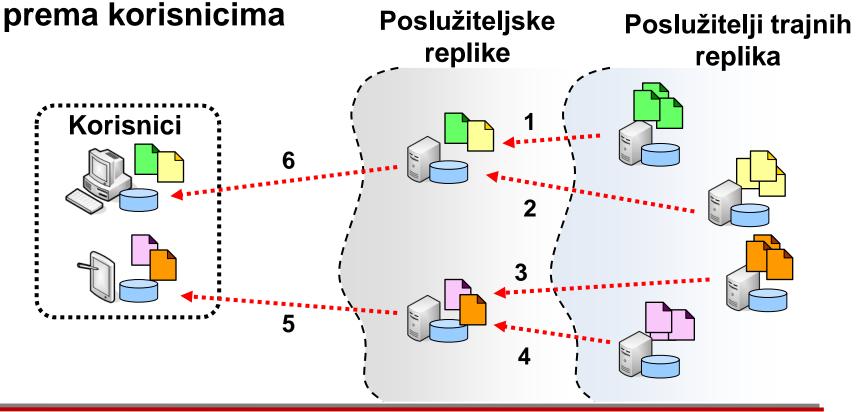
- Pogodno za korištenje u slučajevima rijetkih izmjena sadržaja replika
- Poslužitelji trajnih replika ne moraju znati broj i identitet korisnika
- Smanjuje se mrežno opterećenje i rasterećuje poslužitelj replika
- U slučajevima da lokalno stanje replike nije obnovljeno povećava se vrijeme dohvata novog stanja replika

Prosljeđivanje promjena sadržaja



Poslužitelji sadržaja prosljeđuju svim replikama promjene stanja sadržaja u trenutku nastanka promjene

Primjenjuju se od strane poslužitelja trajnih replika



Prosljeđivanje promjena sadržaja



- Značajke primjene prosljeđivanja sadržaja
 - Ostvarivanje velikog stupnja konzistentnosti
 - Stvaranje dodatnog mrežnog prometa
 - Poslužitelji trajnih replika moraju imati zabilježene adrese svih replika koje obnavljaju i opis njihova stanja
 - U slučaju da neka od replika ukloni dio svojeg stanja, replika obavještava o promjenama stanja poslužitelja trajnih replika
 - Najčešće se koristi u slučajevima kada veliki broj korisnika koristi dijeljenu repliku kada je vjerojatno da će uvijek neki od klijenata imati potrebu koristiti obnovljene podatke

Modeli uspostave replikacije podataka



Organizacija sustava replika

 Poslužiteljska računala, korisnička računala i spremnici replika

Razredba vrsta replika

Trajne replike, poslužiteljske replike, korisničke replike

Održavanje konzistentnosti replika

- Dohvaćanje promjena stanja replika
- Prosljeđivanje promjena stanja replika

Ostvarivanje operacija

- Operacije pisanja sadržaja
- Operacije čitanja sadržaja

Ostvarivanje operacija



- Održavanje konzistentnosti sadržaja replika tijekom provođenja operacija
 - Operacije čitanja i pisanja
 - Učinkovitost ostvarenja operacija
- Obnavljanje stanja udaljenih replika
 - Zahtjev za obnavljanje stanja prosljeđuje se udaljenim replikama koje zajednički ostvaruju
- Lokalno obnavljanje stanja replika
 - Replike se dohvaćaju na računalo domaćin te se operacije provode lokalno

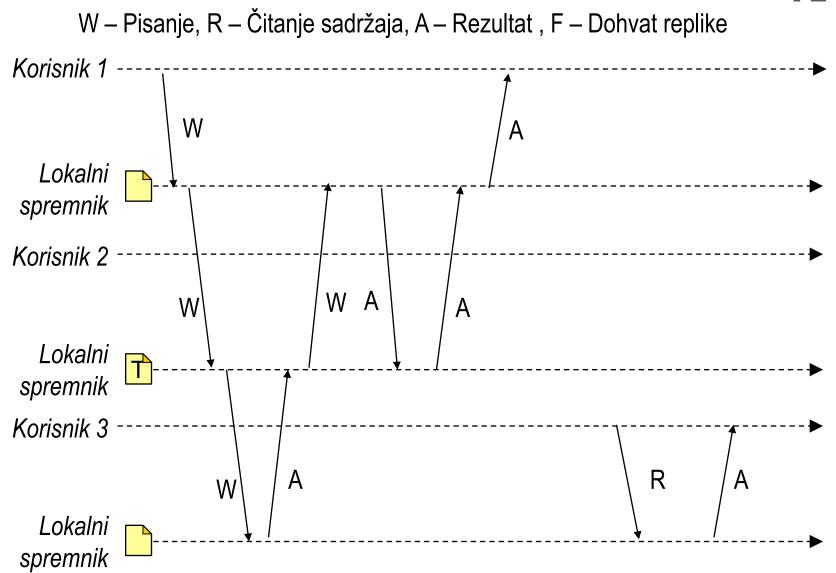
Obnavljanje stanja udaljenih replika



- Model ostvarivanja operacija čitanja i pisanja
 - Zahtjevi za obnavljanje stanja prosljeđuju se udaljenoj trajnoj replici za zadani sadržaj
 - Udaljena trajna replika ostvaruje lokalnu promjenu sadržaja i prosljeđuje zahtjev za pisanje svim ostalim replikama u sustavu
 - Ostale replike nakon promjene sadržaja šalju potvrde te zatim trajna replika prosljeđuje potvrdu korisniku
 - Operacije čitanja se provode na lokalnoj replici ili bilo kojoj drugoj replici u sustavu replika

Obnavljanje stanja udaljenih replika





Obnavljanje stanja udaljenih replika



- Značajke modela obnavljanja stanja udaljenih replika
 - Omogućava uspostavu slijedne konzistentnosti obzirom da samo glavna replika provodi operacije pisanja
 - Svi korisnici doživljavaju jednak redoslijed izvođenja operacija pisanja u vremenu bez obzira putem koje replike dohvaćaju sadržaj
 - U slučaju velikog broj pomoćnih replika, izvođenje operacije pisanja može zahtijevati značajnu količinu vremena potrebu za provođenje operacije pisanja na svim pomoćnim replikama

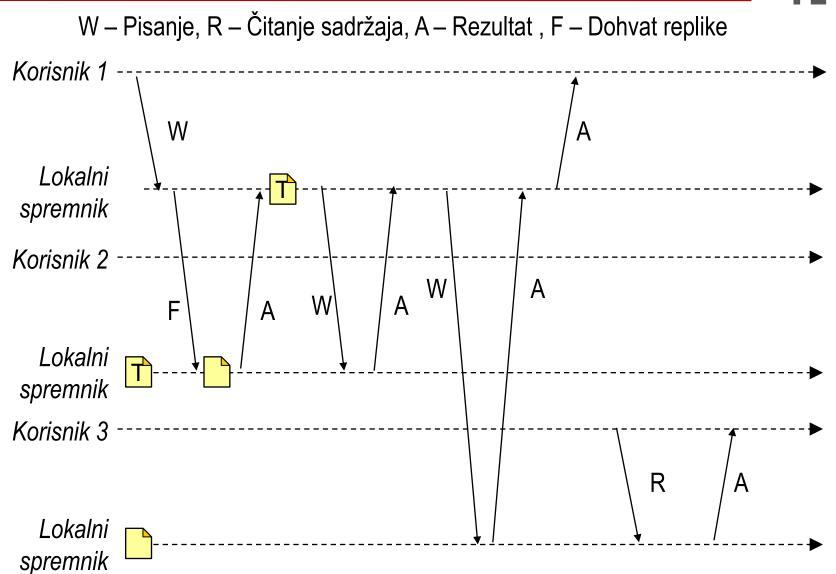
Lokalno obnavljanje stanja replika



- Model ostvarivanja operacija čitanja i pisanja
 - Trajna replika se dohvaća na računalo domaćin
 - Provodi se operacija pisanja
 - Promjene ostvarene na trajnoj replici u lokalnom spremniku prosljeđuju se svim ostalim replikama u sustavu
 - Operacije čitanja se provode na lokalnoj replici ili bilo kojoj drugoj replici u sustavu replika

Lokalno obnavljanje stanja replika





Lokalno obnavljanje stanja replika



- Značajke modela lokalnog obnavljanja stanja replika
 - Uzastopne operacije pisanja mogu biti provedene u kratkom vremenu na računalu domaćinu
 - Rezultati provođenja uzastopnih operacija mogu biti agregirani u jednu operaciju pisanja koja se provodi na pomoćnim replikama u raspodijeljenoj okolini
 - Korisnici koji čitaju sadržaj mogu pristupiti vlastitim lokalnim replikama neovisno o trajnoj replici

Usporedba modela replikacije u sustavima



	DB	P2P	WWW
Upravljanje	Centralizirano	Raspodijeljeno	Centralizirano
Povezanost	Čvrsta	Labava	Čvrsta
Raspoređivanje	Centralizirano	Raspodijeljeno	Centralizirano
Vrsta većine operacija	Pisanje i čitanje	Čitanje	Čitanje
Pouzdanost	Predvidiva	Nepredvidiva	Predvidiva
Raznorodnost sredstava	Ne	Da	Ne

Primjer: Java Caching System



🔷 Raspodijeljeni sustava za upravljanje replikama

- Predviđen za aplikacije koje većinom provode operacije čitanja, dok su operacije pisanja rijetke
- Ostvaren primjenom programskog jezika Java
- http://jakarta.apache.org/jcs

Značajke

- Upravljanje spremničkim prostorom
- Upravljanje trajnosti podataka
- Sinkronizacija operacija procesa
- ◆ Transakcije
- Pouzdanost i dostupnost

Dodatne informacije



Knjige

- S. Tanenbaum, M. van Steen: "Distributed Systems: Principles and Paradigms", Pretence Hall, 2002. (Poglavlje: Consistency and Replication)
- H. Attya, J. Welch: "Distributed Computing: Fundamentals, Simulations, and Advanced Topics", Wiley, 2004. (Poglavlje: Distributed Shared Memory)

Dodatne informacije



Znanstveni radovi

- S. Goel, S. Buyya: "Data Replication Strategies in Wide-Area Distributed Systems", Enterprise Service Computing http://www.buyya.com/papers/DataReplicationInDSChapter 2006.pdf
- P. Padmanabhan, L. Gruenwald, A. Vallur, M. Atiquzzaman: "A Survey of Dana Replication Techniques for Mobile and Ad-Hoc Network Databases", Journal of Very Large Data Bases http://www.cs.ou.edu/~database/documents/VLDB08.pdf