17. Osztott rendszerek

1. Folyamatok, szálak

Szál: A szál (thread) a processzor egyfajta szoftveres megfelelője, minimális kontextussal. Ha a szálat megállítjuk, a kontextus elmenthető és továbbfuttatáshoz visszatölthető.

Folyamat: A folyamat (process vagy task) egy vagy több szálat összefogó nagyobb egység. Egy folyamat szálai közös memóriaterületen (címtartományon) dolgoznak, azonban különböző folyamatok nem látják egymás memóriaterületét.

Kontextusváltás: A másik folyamatnak/szálnak történő vezérlésátadás, így egy processzor több szálat/ folyamatot is végre tud hajtani.

Szál vs. folyamat: A szálak közötti váltáshoz nem kell igénybe venni az oprendszer szolgáltatásait, míg a folyamatok közötti váltásnál ahhoz, hogy a régi és új folyamat memóriaterülete elkülönüljön a memóriavezérlő (MMU) tartalmának jó részét át kell írni, amihez csak a kernel szintnek van joga. A folyamatok létrehozása, törlése és a kontextusváltás közöttük sokkal költségesebb a szálakénál.

2. Elosztott rendszerek tulajdonságai és felépítése

Elosztott rendszer fogalma: Az elosztott rendszer önálló számítógépek olyan összessége, amely kezelői számára egyetlen koherens rendszernek tűnik.

2.1. Az elosztott rendszer céljai, tulajdonságai

Az elosztott rendszer céljai a következők:

- Távoli erőforrások elérhetővé tétele
- Átlátszóság (transparency)
- Nyitottság (openness)
- Skálázhatóság

2.1.1. Átlátszóság

Az átlátszóság nem más, mint az erőforrásokkal kapcsolatos különböző információk elrejtése a felhasználó elől. Az alapján, hogy mit rejtünk el, többféle fajtája létezik:

Fajta	Angolul	Mit rejt el az erőforrással kapcsolatban?
Hozzáférési/elérési	Access	Adatábrázolás; elérés technikai részletei
Elhelyezési	Location	Fizikai elhelyezkedés
Áthelyezési	Migration	Elhelyezési + a hely meg is változhat
Mozgatási	Relocation	Áthelyezési + használat közben is történhet az áthelyezés
Többszörözési	Replication	Az erőforrásnak több másolata is lehet a rendszerben
Egyidejűségi	Concurrency	Több versenyhelyzetű felhasználó is elérheti egyszerre
Meghibásodási	Failure	Meghibásodhat és újra üzembe állhat

1. ábra. Az átlátszóság különböző típusai.

2.1.2. Nyitottság

A rendszer képes más nyitott rendszerek számára szolgáltatásokat nyújtani, és azok szolgáltatásait igénybe venni:

- A rendszerek jól definiált interfészekkel rendelkeznek.
- Az alkalmazások hordozhatóságát (portability) minél inkább támogatják.
- Könnyen elérhető a rendszerek együttműködése.

A nyitott elosztott rendszer legyen könnyen alkalmazható heterogén környezetben, azaz különböző hardvereken, platformokon, programozási nyelveken.

Implementálása:

- Fontos, hogy a rendszer könnyen cserélhető elemekből álljon.
- Belső interfészek használata, nem egyetlen monolitikus rendszer.
- A rendszernek minél jobban paraméterezhetőnek kell lennie.
- Egyetlen komponens megváltoztatása/cseréje lehetőleg minél kevésbé hasson a rendszer más részeire.

2.1.3. Skálázhatóság

Többféle jelentése van, 3 fontos dimenzió:

1. méret szerinti skálázhatóság: a felhasználók és/vagy folyamatok száma
2. földrajzi skálázhatóság: a csúcsok közötti legnagyobb távolság
3. adminisztrációs skálázhatóság: az adminisztrációs tartományok száma

Ezek közül a legtöbb rendszer a méret szerinti skálázhatóságot kezeli, ennek egy lehetséges megvalósítási módja erősebb szerverek használata. A másik kettőt nehezebb kezelni.

Technikák a skálázhatóság megvalósítására:

- A kommunikációs késleltetés elfedése azzal, hogy a válaszra várás közben más tevékenységet végzünk. Ehhez aszinkron kommunikáció szükséges.
- Elosztás: az adatokat és számításokat több számítógép tárolja/végzi (pl. amit lehet, a klienssel számoltatunk ki, elosztott elnevezési rendszerek használata, stb.)
- Replikáció/cache-elés: Több számítógép tárolja egy adat másolatait

A skálázhatóságnak ára van. Több másolat fenntartása inkonzisztenciához vezethet (ha módosítjuk az egyiket, az eltérhet a többitől). Ez globális szinkronizációval kikerülhető (minden egyes változtatás után az összes másolatot frissítjük), viszont a globális szinkronizáció rosszul skálázódik. Emiatt sok esetben fel kell hagynunk a globális szinkronizációval, ez viszont bizonyos mértékű inkonzisztenciát eredményez. Rendszerfüggő, hogy ez milyen mértékben megengedett. A cél az, hogy az inkonzisztencia mértéke a megengedett szint alatt maradjon.

2.2. Elosztott rendszerek típusai

Főbb típusok:

- Elosztott számítási rendszerek:
- Elosztott információs rendszerek
- Elosztott átható rendszerek

2.2.1. Elosztott számítási rendszerek

Célja számítások végzése nagy teljesítménnyel.

Cluster (fürt): Lokális hálózatra kapcsolt számítógépek összessége. Homogén rendszer (ugyanaz az oprendszer, hardveresen hasonlóak), központosított vezérléssel (általában egy gépre).

Grid (rács) Nagyméretű hálózatokra is kiterjedhet, akár több szervezeti egységen is átívelhet. Heterogén architektúra jellemzi.

Cloud(felhő): Többrétegű architektúra: hardver, infrastruktúra, platform, alkalmazás.

2.2.2. Elosztott információs rendszerek

Az elsődleges cél általában adatok kezelése, illetve más információs rendszerek elérése. Például tranzakciókezelő rendszerek.

A tranzakció adatok összességén (pl. egy adatbázison, adatbázis objektumon, stb.) végzett művelet (lehetnek részműveletei).

A tranzakciókkal szemben az alábbi követelményeket szokás támasztani (ACID):

- Oszthatatlan, elemi (atomicity): Vagy a teljes tranzakció végbemegy minden részműveletével, vagy az adattárház egyáltalán nem változik.

- Konzisztens (consistency): Az adattárra akkor mondjuk, hogy érvényes, ha bizonyos, az adott adattárra megfogalmazott feltételek teljesülnek. Egy tranzakció konzisztens, ha érvényes állapotot állít elő a tranzakció végén.
- Elkülöníthető, sorosítható (isolation): Egyszerre zajló tranzakciók olyan eredményt adnak, mintha egymás után hajtódtak volna végre.
- Tartósság (durability): Végrehajtás után az eredményt tartós adattárolóra mentjük, így az összeomlás esetén visszaállítható.

2.3. Elosztott rendszerek felépítése

Alapötlet: A rendszer elemeit szervezzük logikai szerepük szerint különböző komponensekbe, és ezeket osszuk el a rendszer gépein.

2.3.1. Központosított architektúrák

Kliens-szerver modell: Egyes folyamatok (szerverek) szolgáltatásokat ajánlanak, míg más folyamatok (kliensek) ezeket a szolgáltatásokat szeretnék használni. A kliens kérést küld a szervernek, amire a szerver válaszol, így veszi igénybe a szolgáltatást. A kliens és szerver folyamatok különböző gépeken lehetnek.

2.3.2. Többrétegű architektúrák

Az elosztott információs rendszerek gyakran három logikai rétegre (layer vagy tier) vannak tagolva:

- Megjelenítés: az alkalmazás felhasználói felületét alkotó komponensekből áll.
- Üzleti logika: az alkalmazás működését írja le konkrét adatok nélkül
- Perzisztencia: az adatok tartós tárolása

2.3.3. Decentralizált architektúrák

Peer-to-peer (P2P): A csúcsok (peer-ek) között többnyire nincsenek kitüntetett szerepűek.

Overlay hálózat: A gráfban szomszédos csúcsok fizikailag lehetnek távol egymástól, a rendszer elfedi, hogy a köztük lévő kommunikáció több gépen keresztül zajlik. A legtöbb P2P rendszer overlay hálózatra épül.

P2P rendszerek fajtái:

- Strukturált P2P: A csúcsok által kiadott gráfszerkezet rögzített. A csúcsokat valamilyen struktúra szerint overlay hálózatba szervezzük és a csúcsoktól az azonosítójuk alapján lehet szolgáltatásokat igénybe venni. Pl.: elosztott hasítótábla (DHT).
- Struktúrálatlan P2P: Az ilyen rendszerek igyekeznek véletlen gráfstruktúrát fenntartani. Mindegyik csúcsnak csak részleges nézete van a gráfról. Minden P csúcs időnként véletlenszerűen kiválaszt egy Q szomszédot. P és Q információt cserélnek és elküldik egymásnak az általuk ismert csúcsokat.
- Hibrid P2P: néhány csúcsnak speciális szerepe van

Superpeer: Olyan csúcs, aminek külön feladata van, pl. kereséshez index fenntartása, a hálózat állapotának felügyelete, csúcsok közötti kapcsolatok létrehozása.

3. Elnevezési rendszerek

Az elosztott rendszerek entitásai a kapcsolódási pontjaikon (access point) keresztül érhetőek el. Ezeket távolról a címük azonosítja, amely megnevezi az adott pontot.

Célszerű lehet az entitást a kapcsolódási pontjaitól függetlenül is elnevezni. Az ilyen nevek helyfüggetlenek (location independent).

Egyszerű név: Nincs szerkezete, tartalmaz véletlen szöveg. Csak összehasonlításra használható.

Azonosító: Egy név azonosító, ha egy-egy kapcsolatban áll a megnevezett entitással, és ez a hozzárendelés maradandó, azaz a név később nem hivatkozhat más egyedre.

3.1. Strukturálatlan nevek

3.1.1. Egyszerű megoldások

Broadcasting: Kihirdetjük az azonosítót a hálózaton. Az egyed visszaküldi jelenlegi címét. Hátrányai:

- Lokális hálózatokon túl nem skálázódik.
- A hálózaton minden gépnek figyelnie kell a beérkező kérésre.

Továbbítómutató: Amikor az egyed elköltözik, egy mutató marad utána az új helyére.

- A kliens elől el van fedve, hogy a szoftver továbbítómutató-láncot old fel.
- A megtalált címet vissza lehet küldeni a klienshez, így a további feloldások gyorsabban mennek.
- Földrajzi skálázási problémák:
  - A hosszú láncok nem hibatűrőek.
  - A feloldás hosszú időbe telik.
  - Külön mechanizmus szükséges a láncok rövidítésére.

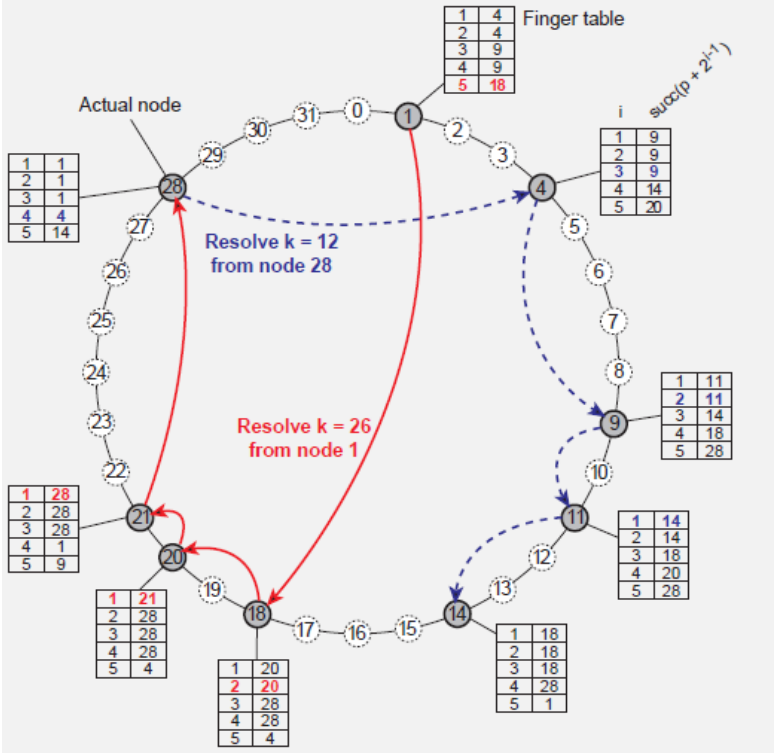
3.1.2. Otthon alapú megoldások

Egyrétegű rendszer: Az egyedhez tartozik egy otthon, ez tartja számon az egyed jelenlegi címét. Az egyed otthoni címe (home address - HA) be van jegyezve egy névszolgáltatásba. Az otthon számon tartja a jelenlegi címet (foreign address - FA). A kliens az otthonhoz kapcsolódik, onnan kapja meg a címet.

Kétrétegű rendszer: Az egyes környékeken feljegyezzük, hogy mely egyedek tartózkodnak a közelben. A névfeloldás először ezt a jegyzéket vizsgálja meg és ha az egyed nincs a környéken, akkor kell az otthonhoz fordulni.

3.1.3. Elosztott hasítótábla

Elosztott hasítótáblát (DHT) készítünk, ebben csúcsok tárolnak egyedeket. Az N csúcs gyűrű overlay szerkezetbe van szervezve. Minden csúcshoz hozzárendelünk egy m bites azonosítót, és mindegyik entitáshoz egy m bites kulcsot ($N \leq 2^m$). A k kulcsú egyed felelőse az az id azonosítójú csúcs, amelyre $k \leq id$, és nincs köztük másik csúcs. Ezt a csúcsot a kulcs rákövetkezőjének is szokás nevezni: $succ(k)$. Mindegyik p csúcs egy FT_p finger table-t tárol m bejegyzéssel: $FT_p[i] = succ(p + 2^{i-1})$. Bináris (jellegű) keresést szeretnénk elérni, ezért minden lépés felezi a keresési tartományt. A k kulcsú egyed kikereséséhez (ha nem a jelenlegi csúcs tartalmazza) a kérést továbbítjuk ahhoz a j indexű csúcshoz, melyre $FT_p[j] \leq k < FT_p[j+1]$, illetve, ha $p < k < FT_p[1]$, akkor is $FT_p[1]$-hez irányítjuk a kérést.



2. ábra. Példa DHT-re finger table-el.

3.1.4. Hierarchikus módszerek

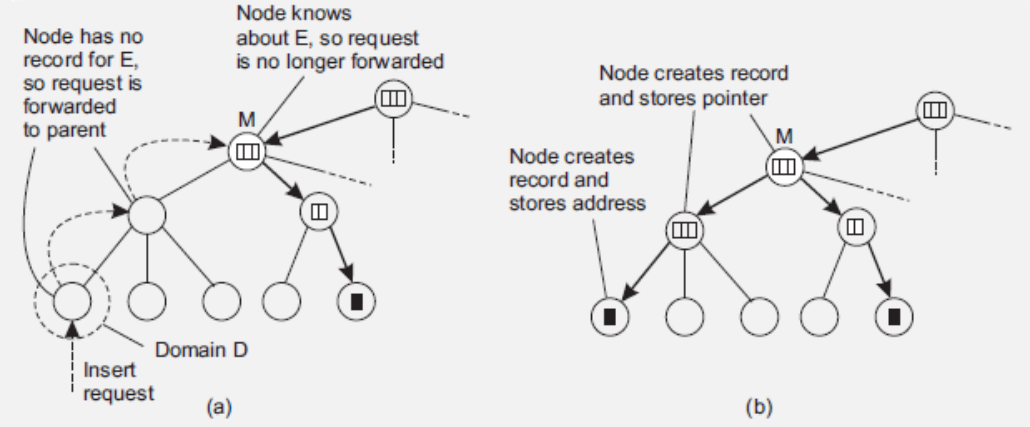
Hierarchical Location Services(HLS): A hálózatot osszuk fel tartományokra, és mindegyik tartományhoz tartozzon katalógus. Építsünk hierarchiát a katalógusokból.

A csúcsokban tárolt adatok:

- Az E egyed címe egy levélben található.
- A gyökértől az E leveléig vezető úton minden belső csúcsban van egy mutató a lefelé következő csúcsra az úton.
- Mivel a gyökér minden út kiindulópontja, minden egyedről van információja.

Keresés a fában: A kliens tartományából indul a keresés. Felmegyünk addig a fában, amíg olyan csúcshoz nem érünk, amelyik tud E-ről, majd követjük a mutatókat a levélig, amely tudja E címét. Mivel a gyökér minden egyedet ismer, a terminálás garantált.

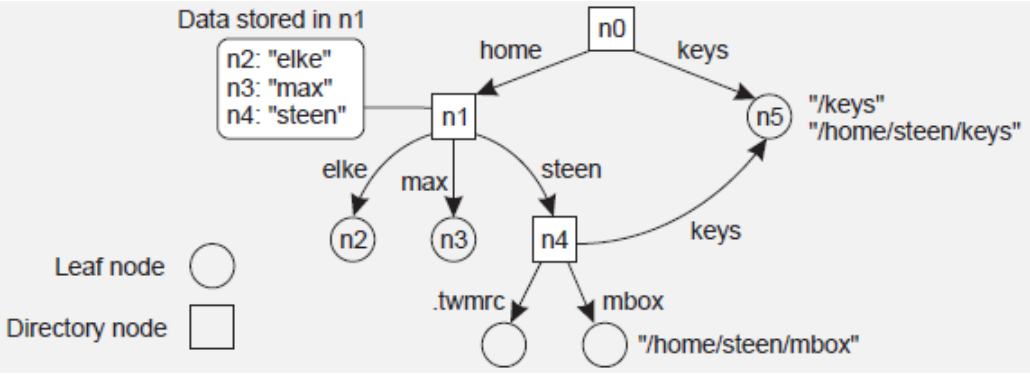
Beszúrás a fában: Ugyanaddig megyünk felfelé a fában, mint keresésnél, majd a belső csúcsokban mutatókat helyezünk el.



3. ábra. Beszúrás a fában HLS-nél.

3.2. Strukturált nevek

Névtér: Gyökeres, irányított, élcímkézett gráf, a levelek tartalmazzák a megnevezett egyedeket, a belső csúcsokat katalógusoknak vagy könyvtáraknak nevezzük. Az egyedhez vezető út címkéit összeolvasva kapjuk az egyed egy nevét. A bejárt út, ha a gyökértől indul, abszolút útvonalnév, ha belső csúcsból indul, relatív útvonalnév. Mivel egy egyedhez több út is vezethet, több neve is lehet.



4. ábra. Példa névtérre.

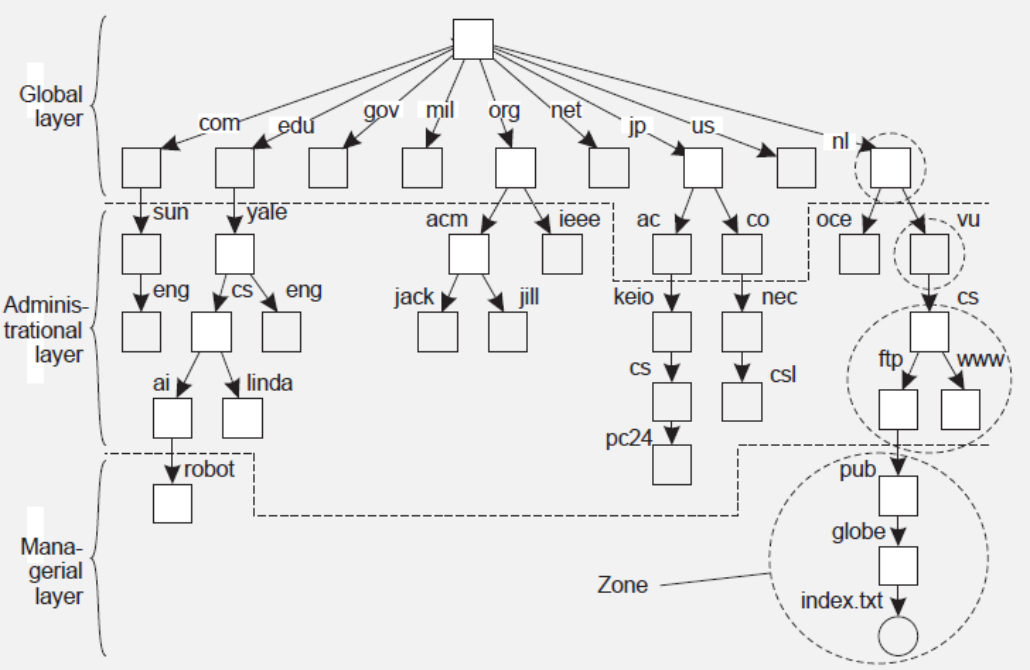
A névtér csúcsaiban (akár levélben, akár belső csúcsban) különféle attribútumokat is eltárolhatunk, pl. az egyed típusát, azonosítóját, helyét/címét, más neveit, stb.

Névfeloldás: Kiinduló csúcsra van szükség a névfeloldás megkezdéséhez. A gyökér elérhetőségét a név jellegétől függő környezet biztosítja, pl.:

- www.inf.elte.hu : egy DNS névszerver
- /home/steen/mbox : a lokális NFS fájlszerver
- 0031204447784 : a telefonos hálózat
- 157.181.161.79 : a www.inf.elte.hu webszerverhez vezető út

Névtér implementációja - DNS: Ha nagy névterünk van, el kell osztani a gráfot a gépek között, hogy hatékonnyá tegyük a névfeloldást és a névtér kezelését. Ilyen nagy névtér a DNS (Domain Name System).
A DNS névtérnek alapvetően 3 szintjét különböztetjük meg:

- Globális szint: Ide tartozik a gyökér és a felsőbb csúcsok (TLD-k, pl. országokhoz tartozó csúcsok - .hu, .uk, stb.). A szervezetek ezt közösen kezelik.
- Szervezeti szint: Egy-egy szervezet által kezelt csúcsok szintje (pl. elte.hu, stb.).
- Kezelői szint: Egy adott szervezeten belül kezelt csúcsok (pl. elte.hu-n belüli csúcsok)



5. ábra. A DNS névtér egy része.

A névfeloldás különöző megközelítései: DNS névtér esetén alapvetően két különböző névfeloldási megközelítést alkalmazunk:

- Rekurzív névfeloldás: A rekurzív névfeloldás során a névszerverek egymás között kommunikálva oldják fel a neveket, a kliensoldali névfeloldóhoz rögtön a válasz érkezik.
- Iteratív névfeloldás: A névfeloldást a gyökér névszerverek egyikétől indítjuk. Az iteratív névfeloldás során a névnek mindig csak egy komponensét oldjuk fel, a megszólított névszerver az ehhez tartozó névszerver címét adja vissza (ha a kliensoldali névfeloldó megkapja ezt a címet, a következő komponens feloldását ettől a névszervertől kéri - ez addig megy, míg teljesen fel nem oldjuk a nevet).

Skálázhatóság: Mivel sok kérést kell kezelni rövid idő alatt, ezért a globális szint névszerverei nagy terhelést kapnának. Mivel a felső szinteken a gráf ritkán változik, ezért az ezeken a szinteken található csúcsok adatairól több szerveren is tarthatunk másolatot, így a keresést közelebbről indíthatjuk (pl. van több gyökér névszerver, a hozzánk legközelebbihez fordulunk).

3.2.1. Attribútumalapú nevek

Az egyedeket sokszor kényelmes lehet tulajdonságaik (attribútumaik) alapján keresni, viszont ha bármilyen kombinációban megadhatunk attribútumértékeket, akkor a kereséshez az összes egyedet érintenünk kell, ami nem hatékony.

X.500, LDAP: A katalógusszolgáltatásokban az attribútumokra megkötések érvényesek (X.500 szabvány), amelyet az LDAP protokollon keresztül szokás elérni. Az elnevezési rendszer fastruktúrájú, élei attribútum-érték párokkal címzettek. Az egyedekre az útjuk jellemzői vonatkoznak, és további párokat is tartalmazhatnak.

4. Kommunikáció

4.1. Köztesréteg

A köztesrétegbe (middleware) olyan szolgáltatásokat és protokollokat szokás sorolni, amelyek sokfajta alkalmazáshoz lehetnek hasznosak és alapvetően a rendszer egyedei közötti összekötő kapocsként szolgálnak.

- Kommunikációs protokollok
- Sorosítás (szerializáció, marshalling), adatok reprezentációjának átalakítása
- Elnevezési protokollok az erőforrások megosztásának könnyítésére
- Biztonsági protokollok a kommunikáció biztonságosabbá tételére
- Skálázási mechanizmusok adatok replikációjára és gyorsítótárazására

4.2. A kommunikáció fajtái

A kommunikáció lehet:

- időleges (transient) vagy megtartó (persistent):
  - időleges: a kommunikációs rendszer elveti az üzenetet, ha az nem kézbesíthető
  - megtartó: a kommunikációs rendszer hajlandó huzamosabb ideig tárolni az üzenetet
- szinkron vagy aszinkron
  - szinkron: a küldő vár a válaszra, addig blokkolódik
  - aszinkron: a küldő nem vár a válaszra, hanem más tevékenységet folytat

4.2.1. Kliens-szerver modell

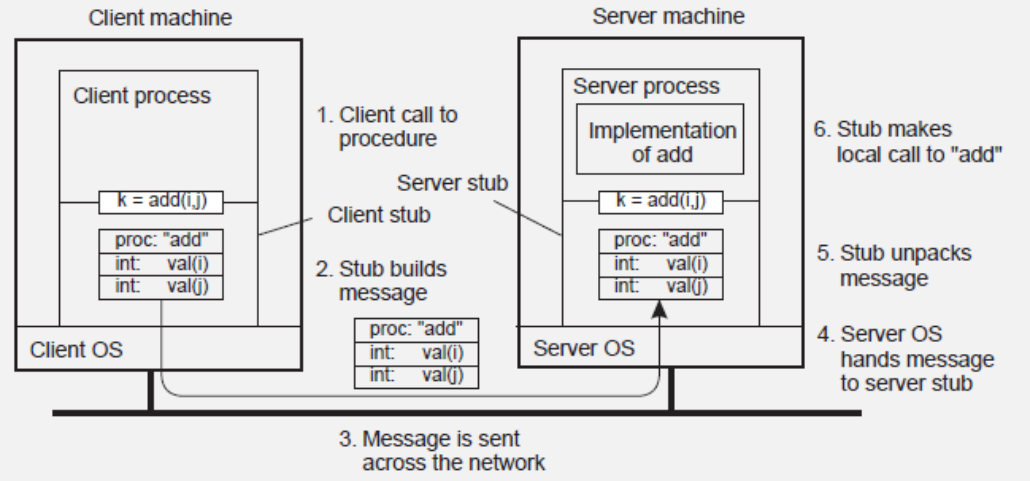
A kliens-szerver modell jellemzően időleges, szinkron kommunikációt végez, ahol a kliensnek és a szervernek egyidejűleg kell aktívnak lenni. A kliens a kérés küldése után blokkolódik, vár a szerver válaszára. A szerver csak a kliensek fogadásával és a kérések feldolgozásával foglalkozik.

4.2.2. Távoli eljáráshívás (RPC)

A távoli eljáráshívásnál egy távoli gépen szeretnénk futtatni egy alprogramot. Ehhez hálózati kommunikáció szükséges, amit elfedünk egy eljáráshívással.

A hívás lépései:

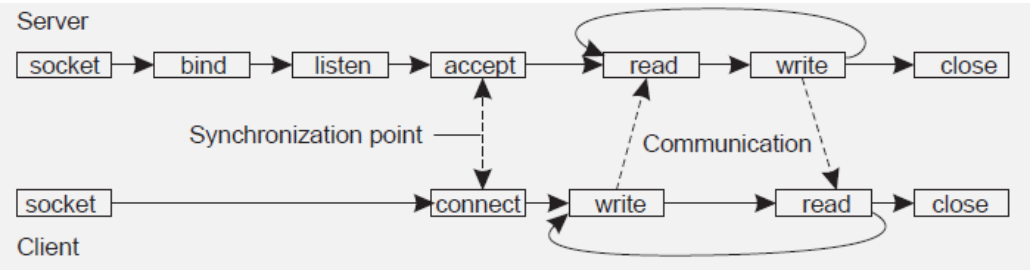
1. A kliensfolyamat lokálisan meghívja a klienscsonkot (client stub).
2. A klienscsonk becsomagolja az eljárás azonosítóját és paramétereit. Meghívja az oprendszert.
3. A lokális gép oprendszere elküldi a csomagot a távoli gép oprendszerének.
4. Az átadja az üzenetet a szervercsonknak (server stub).
5. A szervercsonk kicsomagolja az azonosítót és a paramétereket, amiket átad a szerverfolyamatnak.
6. A szerverfolyamat lokálisan meghívja az eljárást, megkapja a visszatérési értéket.
7. A visszatérési érték visszaküldése a kliensfolyamatnak hasonlóan történik, fordított irányban.



6. ábra. A távoli eljáráshívás lépései.

4.2.3. Socket

Az időleges kommunikáció egy módja.



7. ábra. Kommunikáció socket-el.

4.2.4. Üzenetorientált köztesréteg (MOM)

Az üzenetorientált köztesréteg (MOM - message-oriented middleware) egy megtartó, aszinkron kommunikációs architektúra. Segítségével a folyamatok üzeneteket küldhetnek egymásnak. A küldő félnek nem kell a válaszra várnia, addig foglalkozhat mással.

A MOM várakozási sorokat tart fenn a rendszer gépein. A kliensek az alábbi műveleteket használhatják a várakozási sorokra:

- PUT: Üzenetet tesz a sor végére.
- GET: Blokkol, amíg a sor üres, majd kiveszi az első üzenetet
- POLL: Lekérdezi, hogy van-e üzenet. Ha van, leveszi az elsőt. Ha nincs, nem blokkol, folytatja a tevékenységét.
- NOTIFY: Kezelőrutint telepít a várakozási sorhoz, amely minden beérkező üzenetre meghívódik.

Az üzenetsorkezelő rendszerek feltételezik, hogy a rendszer minden eleme közös protokollt használ, azaz az üzenetek szerkezete és adatábrázolása megegyezik. A kérdés: mi van akkor, ha heterogén a rendszerünk? Erre szolgál az üzenetközvetítő (message broker), amely heterogén rendszerben gondoskodik a megfelelő konverziókról, azaz átalakítja az üzenetet a fogadó által használt formátumra. Általában proxy-ként is működik, azaz a közvetítés mellett más funkciókat is nyújt, pl. biztonsági funkciókat.

4.2.5. Folyam (stream)

Az eddig tárgyalt kommunikációfajtákban közös, hogy az adategységek közötti időbeli kapcsolat nem befolyásolja azok jelentését, folyamatos médiánál (pl. audio, videó, szenzoradatok) viszont az adatok időfüggőek, ezért a kommunikáció időbeliségével kapcsolatban izokrón megkötést teszünk, ami felső és alsó korlátot is ad a csomagok átvitelének idejére.

Folyam: Ilyen izokrón adatátvitelt lehetővé tevő kommunikációs forma a folyam.
Főbb jellemzői:

- Egyirányú
- Legtöbbször egy forrástól irányul egy vagy több nyelő felé
- A forrás és/vagy nyelő gyakran közvetlenül kapcsolódik olyan hardverelemekhez, mint pl. egy kamera, képernyő, mikrofon, stb.

Főbb típusai:

- Egyszerű folyam: egyfajta adatot továbbít, pl. egyetlen audiocsatornát, vagy csak videót.
- Összetett folyam: Többfajta adatot továbbít egyszerre, pl. videót többcsatornájú audióval (sztereó, 5.1, stb.). Az összetett folyam esetében biztosítani kell, hogy az alfolyamok a nyelőnél időben ne csússzanak el egymáshoz képest. Ennek egyik módja a szinkronizáció. Egy másik lehetséges módszer a multiplexálás és demultiplexálás. Ekkor a forrás egyetlen folyamot készít (multiplexálás). Itt az alfolyamok garantáltan szinkronban vannak egymással. A nyelőnél kell szétbontani a folyamot alfolyamokra (demultiplexálás).

QoS: A folyamokkal kapcsolatban sokfajta követelmény írható elő, ezeket összefoglaló néven a szolgáltás minőségének (QoS - Quality of Service) nevezzük. Ilyen jellemzők például a következők:

- Az átviteli sebesség, azaz a bitráta.
- A folyam elindításának legnagyobb megengedett késleltetése.
- A folyam adategységeinek megadott idő alatt el kell jutniuk a forrástól a nyelőig.
- Remegés (jitter): az adategységek beérkezési idejének egyenetlensége. Ennek csökkentésének egy módja a pufferelés.

5. Szinkronizáció

5.1. Órák szinkronizálása

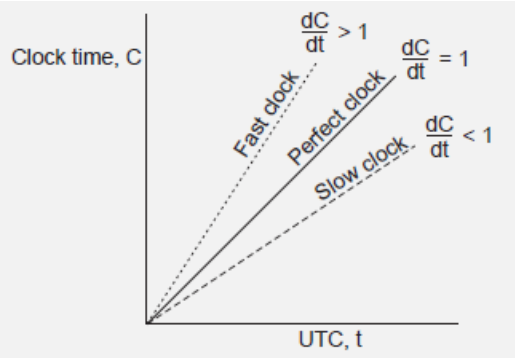
Néha a pontos időt szeretnénk megtudni, néha elég, hogy ha két időpont közül megállapítható, hogy melyik volt korábban. A világidő: UTC.

5.1.1. Fizikai órák

A fizikai idő elterjesztése: Ha a rendszerünkben van UTC-vevő, az megkapja a pontos időt. Ezt a következők figyelembevételével terjeszthetjük el a rendszeren belül.

- A p gép saját órája szerint az idő a t UTC-időpillanatban $C_p(t)$
- Ideális esetben az óra mindig pontos, azaz $C_p(t) = t$ minden t UTC-időpillanatra. Másképpen fogalmazva az óra sebessége mindig 1, azaz $dC/dt = 1$.
- A valóságban p órája vagy túl gyors, vagy túl lassú, de viszonylag pontos:

$$1 - \rho \leq \frac{dC}{dt} \leq 1 + \rho$$



8. ábra. Az óra sebessége.

Cristian algoritmusa: Csak megadott δ eltérést akarunk megengedni az óra sebességében. Mindegyik gép egy központi időszerverről kéri le a pontos időt legfeljebb $\frac{\delta}{2\rho}$ másodpercenként (ekkor tudunk δ eltérésen belül maradni). Az órát nem a megkapott időpontra kell állítani: bele kell számolni, hogy a szerver kezelte a kérést és a válasznak vissza kellett érkeznie a hálózaton.

Berkeley algoritmusa: Nem a pontos idő beállítása a cél, csak az, hogy a rendszeren belül minden gép ideje azonos legyen. Az időszerver időnként minden gép idejét bekéri, amiből átlagot von, majd mindenkit értesít, hogy a saját óráját mennyivel kell átállítania. Az idő egyik gépnél sem folyhat visszafelé, ezért ha valamelyik órát vissza kellene állítani, akkor ehelyett lelassítja az óráját addig, amíg a kívánt idő be nem áll.

5.1.2. Logikai órák

Az előbb-történt reláció: Az előbb-történt (happened-before) reláció az alábbi tulajdonságokkal bíró reláció. Annak jelölése, hogy a előbb történt, mint b: $a \to b$.

- Ha ugyanabban a folyamatban a előbb következett be, mint b, akkor $a \to b$.
- Ha a esemény egy üzenet küldése, b pedig ennek az üzenetnek a fogadása, akkor $a \to b$.
- Tranzitív: Ha $a \to b$ és $b \to c$, akkor $a \to c$.

Az idő és az előbb-történt reláció: Minden e eseményhez időbélyeget rendelünk, ami egy egész szám. Jelölése: $C(e)$, és megköveteljük az alábbi tulajdonságokat:

- Ha $a \to b$ egy folyamat eseményeire, akkor $C(a) < C(b)$
- Ha a esemény egy üzenet küldése, b pedig ennek az üzenetnek a fogadása, akkor $C(a) < C(b)$.

Ha van globális óra, akkor az időbélyeg elkészíthető. A továbbiakban azzal foglalkozunk, hogy mi van akkor, ha nincs globális óra.

Lampert-féle időbélyeg: Minden P_i folyamat egy C_i számlálót tart nyilván az alábbiak szerint:

- P_i minden eseménye eggyel növeli C_i-t.
- Az elküldött m üzenetre ráírjuk az időbélyeget: $ts(m) = C_i$.
- Ha az m üzenet beérkezik P_j folyamathoz, ott a számláló új értéke $C_j = \max\{C_j, ts(m)\} + 1$ lesz
- P_i és P_j egybeeső időbélyegjei közül tekintsük a P_i-belit elsőnek, ha $i < j$.

Pontosan sorbarendezett csoportcímzés: A P_i folyamat minden műveletet időbélyeggel ellátott üzenetben küld el. P_i egyúttal beteszi a küldött üzenetet a saját $queue_i$ prioritásos sorába. A P_j folyamat a beérkező üzeneteket az ő $queue_j$ prioritásos sorába teszi be az időbélyegnek megfelelő prioritással. Az üzenet érkezéséről mindegyik folyamatot értesíti. P_j akkor adja át a msg_i üzenet feldolgozásra, ha:

- msg_i a $queue_j$ elején található, azaz az ő időbélyege a legkisebb
- a $queue_j$ sorban minden $P_k, k \neq i$ folyamatnak megtalálható legalább egy üzenete, amelynek msg_i-nél későbbi az időbélyege

Időbélyeg-vektor:

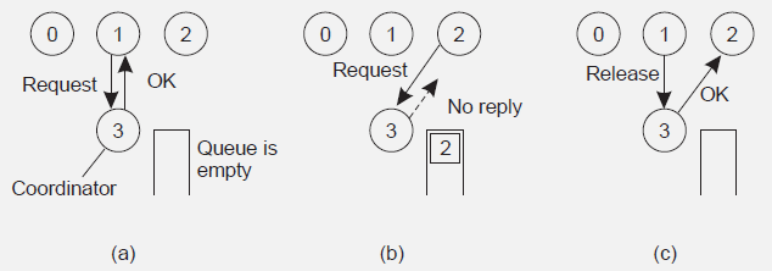
- P_i most már az összes folyamat idejét is számon tartja egy $VC_i[1..n]$ tömbben, ahol $VC_i[j]$ azon P_j-ben bekövetkezett események száma, amiről P_i tud.
- Az m üzenet elküldése során P_i megnöveli eggyel $VC_i[i]$ értékét és a teljes VC_i időbélyeg-vektort ráírja az üzenetre.
- Amikor az m üzenet megérkezik P_j-hez, amelyen a $ts(m)$ időbélyeg van, akkor
  1. $VC_j[k] := \max\{VC_j[k], ts_m[k]\}$
  2. $VC_j[j]$ megnő eggyel

5.2. Kölcsönös kizárás

Több folyamat egyszerre szeretne hozzáférni egy adott erőforráshoz. Ezt egyszerre csak egynek engedhetjük meg közülük, különben az erőforrás helytelen állapotba kerülhet.

5.2.1. Kölcsönös kizárás központi szerver használatával

Egy központi szerver a koordinátor, ő szabályozza az erőforráshoz való hozzáférést. Van egy várakozási sora. Ha az erőforrás szabad, akkor ha kérés érkezik rá, a szerver megadja a hozzáférést és foglalttá teszi. Ezután ha valaki más hozzá akar férni az erőforráshoz, akkor bekerül a várakozási sorba. Miután az első kliens elengedte az erőforrást, az ahhoz kerül, aki a sor elején van. Ha kiürült a sor és az utolsó kliens is elengedte az erőforrást, az újra szabaddá válik.



9. ábra. Példa központosított kölcsönös kizárásra.

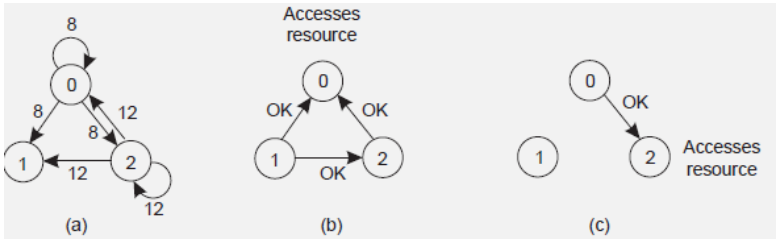
5.2.2. Decentralizált kölcsönös kizárás

Tegyük fel, hogy az erőforrás n-szeresen többszörözött, és minden replikátumhoz tartozik egy azt kezelő koordinátor. A hozzáférésről többségi szavazás dönt: legalább m koordinátor szükséges, ahol $m > \frac{n}{2}$. Feltesszük, hogy egy esetleges összeomlás után a koordinátor felépül, de a kiadott engedélyeket elfelejti.

5.2.3. Elosztott kölcsönös kizárás

Többszörözött az erőforrás. Amikor a kliens hozzá szeretne férni az erőforráshoz, kérést küld a koordinátornak időbélyeggel ellátva. Választ (hozzáférési engedélyt) akkor kap, ha:

- A koordinátor nem igényli az erőforrást, vagy
- a koordinátor is igényli az erőforrást, de kisebb az időbélyege.
- Különben a koordinátor átmenetileg nem válaszol.



10. ábra. Példa elosztott kölcsönös kizárásra.

5.2.4. Kölcsönös kizárás token ring-gel

A folyamatokat egy logikai gyűrűbe szervezzük. Egy tokent küldünk körbe. Amelyik folyamat birtokolja a tokent, az férhet hozzá az erőforráshoz.

5.3. Vezetőválasztás

Sok algoritmusnak szüksége van arra, hogy kijelöljön egy folyamatot, amely a további lépéseket koordinálja.

5.3.1. Zsarnok-algoritmus

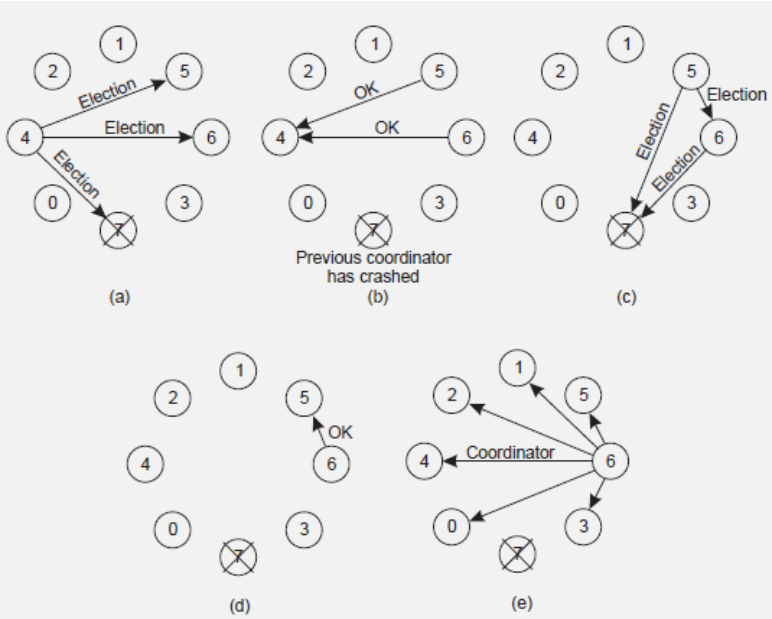
A folyamatoknak sorszámot adunk, melyek közül a legnagyobb sorszámút szeretnénk vezetőnek választani.

A zsarnok-algoritmus lépései:

1. A vezetőválasztás kezdeményezése. Bármelyik folyamat kezdeményezheti. Mindegyik olyan folyamatnak, amelyről nem tudja, hogy kisebb lenne az övénél a sorszáma, elküld egy üzenetet.

2. Ha a nagyobb sorszámú folyamat üzenetet kap egy kisebb sorszámútól, akkor visszaküld neki egy olyan üzenetet, amivel kiveszi a kisebb sorszámút a választásból.

3. Amelyik folyamat nem kap letiltó üzenet egy bizonyos időn belül, akkor ő lesz a vezető. Erről értesíti a többi folyamatot egy-egy üzenettel.



11. ábra. Példa a zsarnok-algoritmus működésére.

5.3.2. Vezetőválasztás gyűrűben

Logikai gyűrűnk van, a folyamatoknak vannak sorszámai. A legnagyobb sorszámú folyamatot szeretnénk vezetőnek választani. Bármelyik folyamat kezdeményezhet vezetőválasztást: elindít egy üzenetet a gyűrűn körbe, amelyre mindenki ráírja a a sorszámát. Ha egy folyamat összeomlott, az kimarad az üzenetküldésből. Amikor az üzenet visszajut a kezdeményezőhöz, minden aktív folyamat sorszáma szerepel rajta. Ezek közül a legnagyobb sorszámú lesz a vezető. Ezt egy másik üzenet körbeküldése tudatja mindenkivel.

Ha több folyamat kezdeményez egyszerre választást, az nem probléma, ugyanaz az eredmény adódik. Ha az üzenetek elvesznének, akkor újra lehet kezdeni a választást.

5.3.3. Superpeer-választás

A superpeer-eket úgy szeretnénk megválasztani, hogy teljesüljön rájuk:

- A többi csúcs alacsony késleltetéssel éri el őket.
- Egyenletesen vannak elosztva a hálózaton.
- A csúcsok megadott hányadát választjuk superpeer-nek.
- Egy superpeer korlátozott számú peer-t szolgál ki.

Megvalósítás DHT esetén: Ha m-bites azonosítókat használunk, és S superpeer-re van szükség, akkor a $k = \lceil \log_2 S \rceil$ felső bitet foglaljuk le a superpeer-ek számára. Így N csúcs esetén kb. $2^{k-m}N$ superpeer lesz.

A p kulcshoz tartozó superpeer a p AND $\underbrace{11...11}_{k}\underbrace{00..00}_{m-k}$ kulcs felelőse lesz.

6. Konzisztencia

Konfliktusos műveletek: A replikátumok konzisztensen tartásához biztosítani kell, hogy az egymással konfliktusba kerülhető műveletek minden replikátumon egyforma sorrendben futnak le. Írás-olvasás és írás-írás konfliktusok fordulhatnak elő.

Konzisztenciamodell: A konzisztenciamodell megszabja, milyen módokon használhatják a folyamatok az adatbázist. Ha a feltételek teljesülnek, az adattárat érvényesnek tekintjük.

Konzisztencia mértéke: A konzisztencia többféle módon is sérülhet: eltérhet a replikátumok számértéke, frissessége, meg nem történt frissítési műveletek száma.

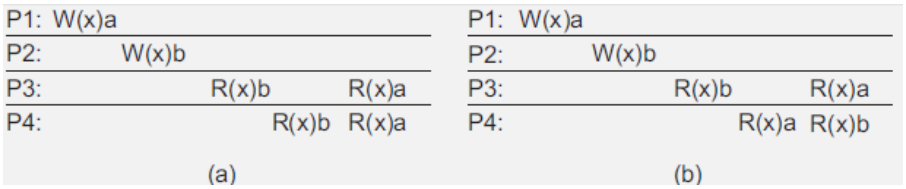
Conit: Az olyan adategység, amelyre közös feltételrendszer vonatkozik, a conit (consistency unit).

6.1. Soros konzisztencia

A feltételeket nem számértékekre, hanem írások/olvasások tényére alapozzuk. Jelölések:

- W(x) : x változót írta a folyamat
- R(x) : x változót olvasta a folyamat

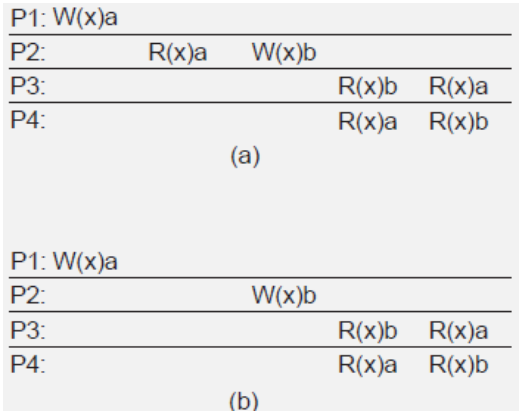
Soros konzisztencia esetén azt várjuk el, hogy a végrehajtás eredménye olyan legyen, mintha az összes folyamat összes művelete egy meghatározott sorrendben történt volna meg, megőrizve bármely adott folyamat saját műveletinek sorrendjét.



12. ábra. Példa: az (a) teljesíti, (b) nem a soros konzisztencia követelményeit.

6.2. Okozati konzisztencia

A potenciálisan okozati összefüggésben álló műveleteket kell mindegyik folyamatnak azonos sorrendben látnia. A konkurens írásokat a különböző folyamatok különböző sorrendben láthatják.



13. ábra. Példa: a (b) teljesíti, (a) nem az okozati konzisztencia követelményeit.

6.3. Kliensközpontú konzisztencia

Azt helyezzük most előtérbe, hogy a szervereken tárolt adatok hogyan látszanak egy adott kliens számára. A kliens mozog: különböző szerverekhez csatlakozik, és írási/olvasási műveleteket hajt végre.

Az A szerver után a B szerverhez csatlakozva különböző problémák léphetnek fel:

- Az A-ra feltöltött frissítések lehet, hogy nem jutottak még el B-hez.
- B-n lehet, hogy újabb adatok találhatóak, mint A-n.
- A B-re feltöltött frissítések ütközhetnek az A-ra feltöltöttekkel.

A cél az, hogy a kliens azokat az adatokat, amiket az A szerveren kezelt, ugyanolyan állapotban lássa B-n is. Ekkor az adatbázis konzisztensnek látszik a kliens számára.

Monoton olvasás

Ha egyszer a kliens kiolvasott egy értéket x-ből, minden ezután következő olvasás ezt adja, vagy ennél frissebb értéket.

Például levelezőkliens esetén minden korábban letöltött levelünknek meg kell lennie az új szerveren is.

Monoton írás

A kliens akkor írhatja x-et, ha kliens korábbi írásai x-re már befejeződtek.

Például verziókezelésnél minden korábbi verziónak meg kell lennie a szerveren, ha új verziót akarunk feltölteni.

Olvasd az írásodat

Ha kliens olvassa x-et, a saját legutolsó írásának eredményét kapja, vagy frissebbet.

Például a kliens a honlapját szerkeszti, majd megnézi az eredményt. Ahelyett, hogy a böngésző gyorsítótárából egy régebbi változat kerülne elő, a legfrissebbet szeretné látni.

Írás olvasás után

Ha a kliens kiolvasott egy értéket x-ből, minden ezután kiadott frissítési művelete x-nek legalább ennyire friss értékét módosítja.

Például egy fórumon a kliens csak olyan hozzászólásra tud válaszolni, amit már látott.

Tartalom replikálása

Különböző jellegű folyamatok tárolhatják a másolatokat:

- Tartós másolat: eredetszerver (origin server)
- Szerver által kezdeményezett másolat: replikátum kihelyezése egy szerverre, amikor az igényli az adatot
- Kliens által kezdeményezett másolat: kliensoldali gyorsítótár

Frissítés terjesztése

Megváltozott tartalmat több különféle módon lehet kliens-szerver architektúrában átadni:

- Kizárólag a frissítésről szóló értesítés/érvénytelenítés elterjesztése.
- Passzív replikáció: adatok átvitele egyik másolatról a másikra
- Aktív replikáció: frissítési művelet átvitele

A frissítést kezdeményezheti a szerver (küldésalapú frissítés), ekkor a szerver a kliens kérése nélkül elküldi a frissítést a kliensnek, vagy kezdeményezheti a kliens, aki kérvényezi a frissítést a szervertől (rendelésalapú frissítés).

Haszonbérlet (lease): A szerver ígéretet tesz a kliensnek, hogy átküldi a frissítést, amíg a haszonbérlet aktív.