

Adatbázisok elmélete

Elosztott adatbázisok

Gajdos Sándor

2025. május.

Elosztott homogén adatbázisok

- Jellegzetességek:
 - Adatok multiplikált tárolása
 - Többszörös elérési utak
 - Nagy megbízhatóságú komponensek
- Főbb kihívások/tárgyalandó témakörök:
 - Elosztott zárkezelés
 - Elosztott tranzakciókezelés
 - Elosztott időbélyegek

Lokális-globális adatok

- Lokális (fizikai): amin a műveleteket ténylegesen **végrehajtjuk**.
- Globális (logikai): egyetlen adategység a teljes rendszer szempontjából, amin a műveleteket **megfogalmazzuk**. Valójában részekből állhat. A részek lehetnek
 - Azonos másolatok (tudjuk, hol vannak)
 - Egy adatelem részei (tudjuk, mi-hol van)
 - Kombinációjuk.
- Alapkérdések:
 - $\text{LOCK } A \rightarrow \rightarrow \rightarrow \text{LOCK } \{A_i\} \quad ???$
(Logikai (globális) lokális (fizikai)) mindkettő atomi!
 - Logikai (ACID) tranzakció $\rightarrow \rightarrow \rightarrow$ fizikai tranzakciók ???

Elosztott záruk

Megvalósítás: lokális záarakkal úgy, hogy (pl.)

- T_i (globális tr.) WLOCK A esetén egyetlen lok. tr. sem helyezhet el semmilyen zárat A egyetlen lokális A_k példányára sem
- Ha A -nak egyetlen lokális példánya van:
globális zárkezelés korrekt $\leftrightarrow$ a lokális zárkezelés korrekt
Ehhez: Ha pl. az N_i -beli T zárolni akarja A -t, amelynek egyetlen A_1 példánya az N_k -ban van, akkor N_i -ből egy üzenet megy N_k -ba, és az eredményről egy visszaüzenet N_i -be.
- Ha A -nak több lokális példánya van:
Számos megoldás (*lokális záruk + protokollok*) (*WALL, többségi, k az n -ből, elsődleges példányok, centrális csúcs, tokenes*)
Záruk költsége $\sim$ üzenetek költsége
 - Kontroll üzenet: rövid, olcsó
 - Adat üzenet: hosszú, drágább

WALL protokoll I.

Write locks ALL

- Lokális zárszemantika: mint a R/W modellnél
- Globális zárszemantika:
 - RLOCK A: RLOCK A_i érvényes A-nak legalább egy példányán
 - WLOCK A: WLOCK A_i érvényes A-nak az összes példányán

Tétel: Globális zárkompatibilitási mátrix

	RLOCK	WLOCK
RLOCK	I	N
WLOCK	N	N

WALL protokoll II.

Kb. elemzése, ha n csomópontban van A_i példány

- Globális WLOCK (kb.):
 - n db. kérés (kontroll)
 - n db. válasz (kontroll)
 - Ha zárolhat, akkor A_i új értéke n db. üzenet (adat)
 - (n db. zárfelszabadítás (kontroll), de ez a commit-tal megspórolható (ld. később))
 - Összesen $2n$ kontroll + n adat
- Globális RLOCK:
 - Összesen 1 kontroll + 1 adat

Többségi zárolás

- Lokális zárszemantika: mint a R/W modellnél
- Globális zárszemantika:
 - RLOCK A: RLOCK A_i érvényes A példányainak többségén
 - WLOCK A: WLOCK A_i érvényes A példányainak többségén

Tétel: Globális zárkompatibilitási mátrix: mint WALL-nál

- Kb. elemzése:
 - WLOCK A-hoz az n példány többségének ($\lceil (n + 1)/2 \rceil$) kontroll üzenet, ugyanennyi válasz vissza, majd az íráshoz n adat üzenet.
Összesen n kontroll + n adat
 - RLOCK A-hoz az n példány többségének ($\lceil (n + 1)/2 \rceil$) kontroll üzenet, a válaszokból (legalább) az egyik adat üzenet, ez tartalmazza a kért adataegység értékét.
Összesen n kontroll + 1 adat

WALL és többségi összehasonlítása

- Üzenetek száma szerint:
 - sok olvasás: WALL hatékonyabb,
 - sok írás: többségi hatékonyabb.

- Patt valószínűsége szerint:

Ha két tranzakció közel egyidőben akarja A-t zárolni:

- WALL: valószínűleg patt lesz (aminek a feloldása költséges),
- többségi zárolás: az egyik sikeres lesz, a másik pedig nem.

k az n -ből protokoll

Az előző kettő általánosítása, ahol

$$\lceil (n + 1)/2 \rceil \leq k \leq n$$

- Lokális zárszemantika: mint a R/W modellnél
- Globális zárszemantika:
 - WLOCK A: WLOCK A_i érvényes A-nak k db. példányán
 - RLOCK A: RLOCK A_i érvényes A-nak $n+1-k$ példányán
- $k=n$ megfelel a WALL-nak, $k = \lceil (n + 1)/2 \rceil$ a többségi zárolásnak.

Elsődleges példányok módszere

- Az A adategység zárkéréseit az X_A csúcs ítéli meg (célszerűen, ahol van A-nak példánya, vö: „elsődleges példány”)
- Ha ez minden adategységre ugyanaz a node: *centrális csúcs módszere*
- Elemzése
 - WLOCK A-hoz egy kérés X_A -ba, erre egy válasz, majd (jó esetben) az íráshoz n adatüzenet.
 - RLOCK A-hoz egy kérés X_A -ba, erre egy válasz, majd az olvasáshoz 1 adatüzenet.
 - Összegezve: sokkal hatékonyabb, de sebezhetőbb, ha X_A kiesik

Tokenes protokoll I.

Elsődleges példányok módszerének adaptív továbbfejlesztése

- Elemei:
 - írási token: $WT(A)$
 - olvasási token: $RT(A)$.
- $WT(A)$ szemantika:
 - Ha az X csomópontban van, akkor az X csomópont jogosult az $RLOCK\ A$ -t vagy $WLOCK\ A$ -t megítélni **az X csomópontban futó** (globális) tranzakciók számára
- $RT(A)$ szemantika:
 - Ha az X csomópontban van, akkor az X csomópont jogosult az $RLOCK\ A$ -t megítélni **az X csomópontban futó** (globális) tranzakciók számára

Ha létezik $WT(A)$, akkor nem létezhet $RT(A)$, ha nincs $WT(A)$, akkor viszont akárhány $RT(A)$ létezhet.

Tokenes protokoll II.

A tokenek mozgatása

- **Írás:** Y csomópontban B adataegység írásához $WT(B)$ -t az Y csomópontba kell juttatni (ha nincs ott).
 - Y-ból $WT(B)$ -t kérő üzenetek *mindegyik* csomópontba (m db kontroll), erre a válasz
 - $a)$, ha nincs náluk sem $RT(B)$ sem $WT(B)$, vagy náluk van, de lemondanak róla,
 - $b)$, ha nála van $RT(B)$ vagy $WT(B)$, és kell is neki. Ekkor a csúcs megjegyzi a kérést.
 - Az Y csomópont
 - a token megszerezheti, ha mindenki $a)$ -t üzen (ehhez üzenetek minden csomópontba, hogy semmisítsék meg a B-re vonatkozó tokenjüket)
 - $b)$ esetén visszavonja a kérését azoktól, akik $a)$ -t válaszoltak

Tokenes protokoll III.

- **Olvasás:** Y csomópontban B adataegység olvasásához $RT(B)$ -t az Y csomópontba kell juttatni (ha nincs ott).
 - Y-ból $RT(B)$ -t kérő üzenetek *mindegyik* csomópontba (m db kontroll), erre a válasz
 - Semmi, ha van nála $RT(B)$
 - a), ha nincs nála $WT(B)$, vagy nála van, de lemond róla,
 - b), ha nála van $WT(B)$, és kell is neki. Ekkor a csúcs megjegyzi a kérést.
 - Az Y csomópont
 - a token megszerezheti, ha mindenki a)-t üzen (ehhez üzeneteket küld, hogy semmisítsék meg a $WT(B)$ -t
 - b) esetén nem tudja megszerezni $RT(B)$ -t.
- A token mozgatása költséges, de utána már kb. csak az elsődleges példányok módszerének költsége jelentkezik.

Tranzakciókezelés DDBMS-ekben

Ismétlés:

- A: pl. ?
- C: pl. ?
- I: pl. ?
- D: pl. ?

Tranzakciókezelés DDBMS-ekben

Ismétlés

- A: pl. commit pont
- C: pl. szigorú protokollok
- I: pl. sorosítás, 2PL
- D: pl. naplózás/többszörös diszkre írás (RAID, távoli másolatok)

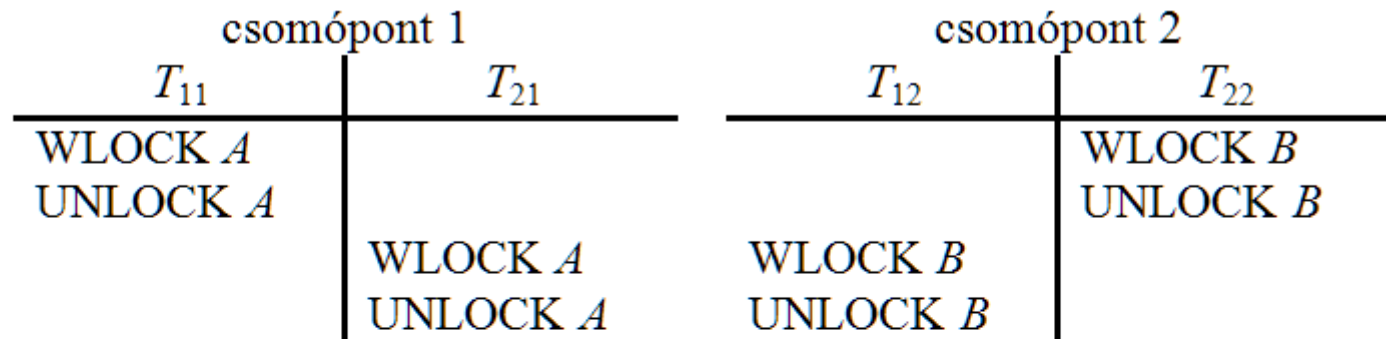
Elosztott tranzakciók problémái

Egy csomóponton elindított (logikai) tr. hatására számos további csomóponton indulhatnak el fizikai tr.-k a lokális adatpéldányok helye alapján.

- Cél (itt és most): ACI biztosítása
- Eszközök: (pl.) elosztott zárac és protokollok
- **Def.:** tranzakciók egy ütemezése egy elosztott adatbázison **sorosítható**, ha hatása a *logikai adategységeken* ugyanaz, mintha a tranzakciók valamely soros ütemezésben futottak volna le.

Elosztott sorosíthatóság I.

- 2PL elégséges nem elosztott esetben...
- Elosztott példa: $T_1 = \{T_{11}, T_{12}\}$, $T_2 = \{T_{21}, T_{22}\}$



A lokális sorosítási gráfok:

$$T_1 \rightarrow T_2$$

$$T_1 \leftarrow T_2$$

A globális sorosítási gráf:

$$T_1 \rightleftarrows T_2$$

Elosztott sorosíthatóság II.

- A lokális kétfázisúság nem elégséges a (globális) sorosíthatósághoz
- Globális sorosíthatóság elégséges feltétele: *globális kétfázisúság*
- **Def.:** egy T_i (globális/logikai) tranzakció egyetlen T_{ij} lokális tranzakciója sem engedhet el egyetlen (lokális) zárat sem, ameddig bármelyik T_{ij} még kérhet új zárat.

Elosztott sorosíthatóság II.

- A lokális kétfázisúság nem elégséges a (globális) sorosíthatósághoz
- Globális sorosíthatóság elégséges feltétele: *globális kétfázisúság*
- **Def.:** egy T_i (globális/logikai) tranzakció egyetlen T_{ij} lokális tranzakciója sem engedhet el egyetlen (lokális) zárat sem, ameddig bármelyik T_{ij} még kérhet új zárat
- Honnan tudják T_i résztr.-i, hogy már elengedhetik a zárait? -> Elosztott megegyezés (“distributed agreement”) T_i résztranzakciói között
- Megvalósítás: **közös zárponttal**

Elosztott sorosíthatóság III.

- Mi a helyzet a lavinákkal?

Elosztott sorosíthatóság III.

- Mi a helyzet a lavinákkal? A probléma megmaradt.
- Megoldás: elosztott szigorúság (nincs írás az adatbázisba, ameddig mindegyik lokális tr. el nem érte a commit/kész pontját).

Elosztott sorosíthatóság III.

- Mi a helyzet a lavinákkal? A probléma megmaradt.
- Megoldás: elosztott szigorúság (nincs írás az adatbázisba, ameddig mindegyik lokális tr. el nem érte a commit/kész pontját).
- Elosztott megegyezés T_i résztr.-i között 😊
- Megvalósítás: **közös commit (kész) pont**
- Tr. begin,... közös zárpont,... közös készpont,...Tr. end

Elosztott sorosíthatóság III.

- Mi a helyzet a lavinákkal? A probléma megmaradt.
- Megoldás: elosztott szigorúság (nincs írás az adatbázisba, ameddig mindegyik lokális tr. el nem érte a commit/kész pontját).
- Elosztott megegyezés T_i résztr.-i között 😊
- Megvalósítás: **közös commit (kész) pont**
- Tr. begin,... közös zárpont,... közös készpont,...Tr. end
- Működik, de költséges
- Közös commit pont → közös zárpont
- Közös commit pont = közös zárpont képzése

Elosztott készpont képzése I.

Alapeset: nincsenek sem csomópont-, sem hálózati hibák

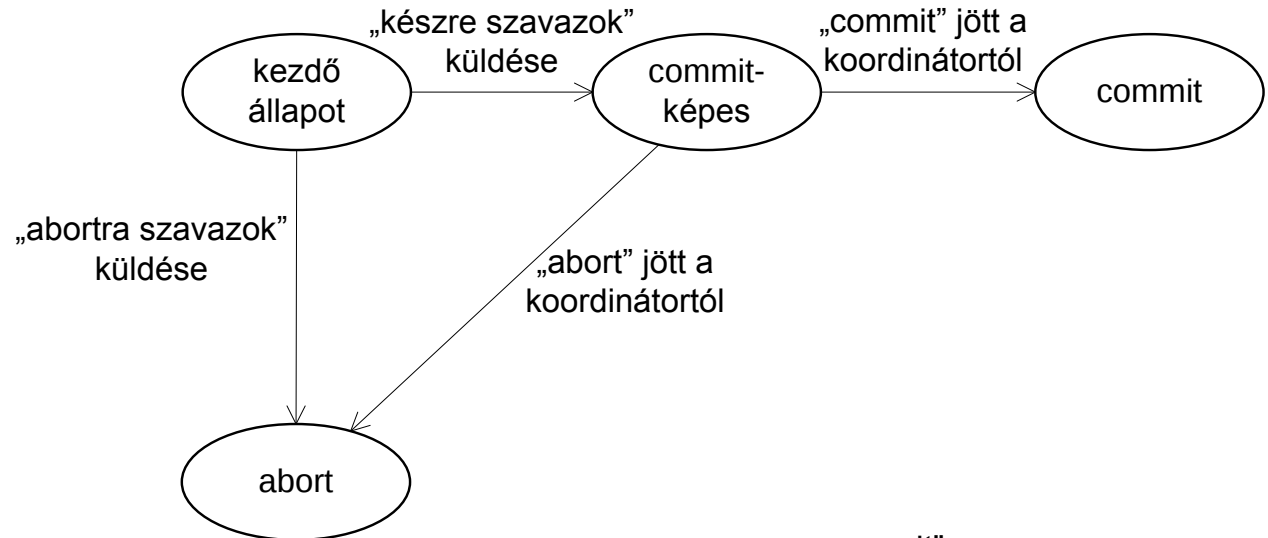
- T logikai/globális tranzakció, T_i lokális tranzakciók az N_i csomópontokban.
- Ahol a tranzakciót kezdeményezték: *Koordinátor (főnök)*
- többi csomópont: *résztevő*
- Cél a közös döntés:
 - vagy minden résztranzakció abortáljon
 - vagy minden résztranzakció commitáljon (= közös commit/kész pont).
- Megoldás: üzenetváltások a főnök és a résztvevők között
 1. A csomópontok a lokális eseményekről üzennek a főnöknek
 2. Főnök döntést hoz (commit v. abort)
 3. Főnök a döntését megüzeni a lokális tranzakcióknak
 4. A lokális tr.-k egységesen abortálnak vagy commitálnak.

Elosztott készpont II. - az üzenetek

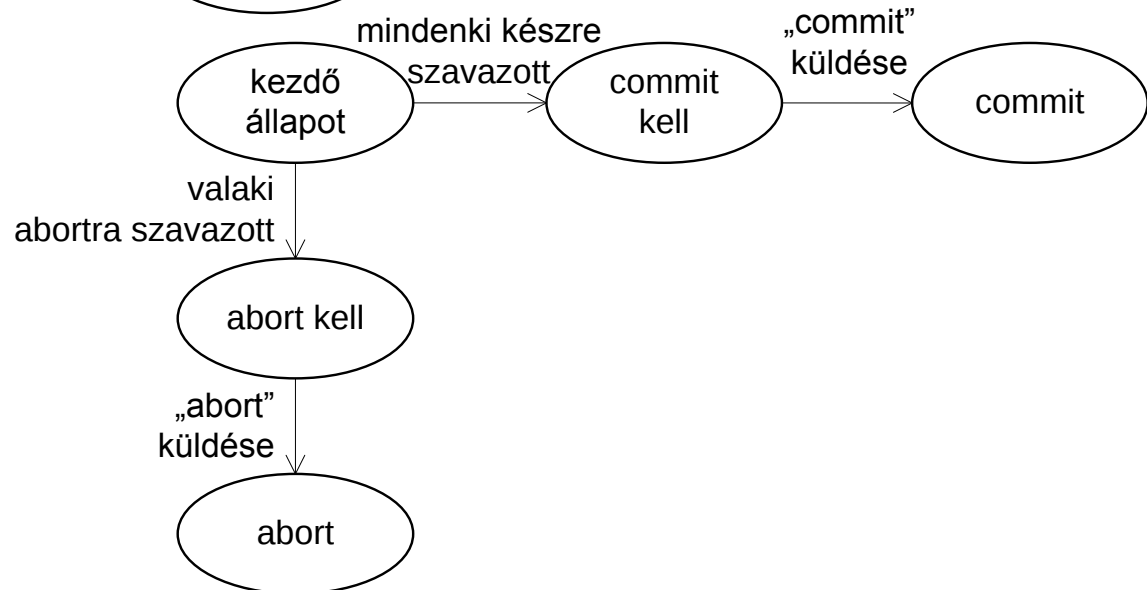
- Üzenet a csomópontoktól:
 - a csomópont (globális) készre szavaz, ha a lokális tranzakció elérte a készpontját
 - a csomópont (globális) abortra szavaz, ha a lokális tranzakció abortálni kényszerült.
- Üzenet a főnöktől:
 - Ha minden résztvevőtől „készre szavazok” üzenetet kapott, akkor mindenkinek „kész/commit” üzenetet küld. Ez alapján a résztvevők egységesen tudják commitálni a lokális tranzakciókat.
 - Ha bárhonnán is „abortra szavazok” üzenetet kap, akkor mindenkinek „abort” üzenetet küld. Ez alapján a résztvevők egységesen abortálják a lokális tranzakciókat.

Elosztott készpont - Hibamentes eset I.

résztevő



főnök



Elosztott készpont - Hibamentes eset II.

- A főnök is résztvevő
- Főnök nélkül az üzenetszám n^2 -tel arányos
- Commit akkor kell, ha **mindenki** commitra szavazott, és akkor, miután ezt a résztvevő megtudja
- Hibák esetén hibásan/egyáltalán nem működik
 - Pl. commit képes állapotban nem kap üzenetet
 - commit nem lehet, mert jöhet „abort”,
 - abort sem lehet, mert jöhet „commit”,
 - zárait sem engedheti el.
 - „blokkolás”, a fő cél ennek megakadályozása ->2PC

Kétfázisú commit protokoll (2PC) I.

- Időmérés, ehhez a
- Főnök felszólítja a résztvevőket szavazásra
- Hiba esetén
 - Segítségkérés a többi résztvevőtől
 - Stabil tár alapján emlékszik a korábbi döntésére (naplózás)

2PC II.

részrtvevő



főnök



2PC III.

- Commit akkor van, ha/amikor a résztvevő megtudja, hogy mindenki commitra szavazott
- Helyreállítás
 - Segítségkérés küldése, más résztvevő
 - ha commit állapotban van, akkor commitot küld,
 - ha abort állapotban van, akkor abortot küld,
 - ha commit képes állapotban van, akkor nem küld semmit.
 - nem kaphat commit és abort választ is a segítségkérésre,
 - nem kaphat abortot, ha a koordinátor már globális commitot küldött,
 - nem kaphat commitot, ha a koordinátor már globális abortot küldött.

2PC IV.

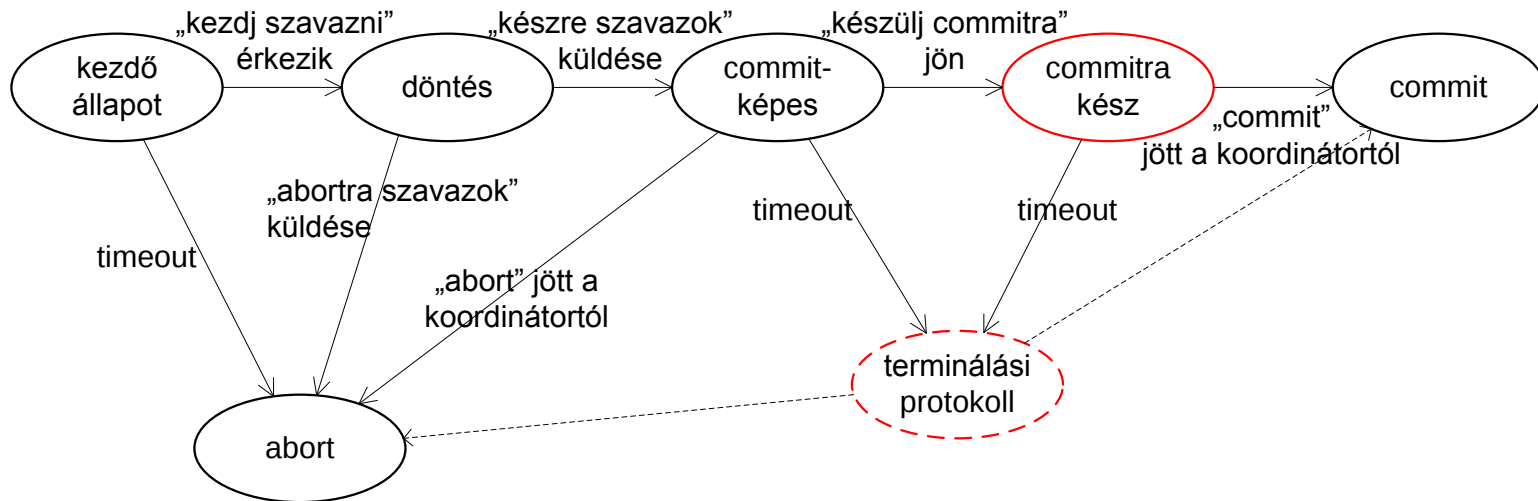
- Kezelni tudja:
 - Hálózati hiba miatt elvesző üzenetek
 - Kieső csomópont, amely később újra is indulhat
- Nem tudja kezelni pl.:
 - Üzenetsorrend felcserélődés
 - valótlan/hibás üzenetek
- Blokkolás lehet, ha
 - a résztvevő semmilyen segítséget nem kap
 - Kiesik a főnök, miután begyűjtötte a szavazatokat
 - ...

A háromfázisú kész protokoll (3PC) I.

- 2PC-nél commit akkor, ha a résztvevő megtudja, hogy mindenki commitra szavazott.
- Ha a résztvevő nem tudja meg, hogy mindenki commitra szavazott, akkor blokkolódik (pl. mert a főnök kiesik)
- Megoldás: biztosítsuk, hogy **mindenki meg is tudja azt**, hogy mindenki commitra szavazott.
- Erről informálni is kell a résztvevőket egy harmadik üzenetkörben/fázisban: 3PC

3PC II.

részrtvevő



főnök



3PC III.

1. 2PC-ből ismert, szavazásra felszólítás majd szavazás
2. Egységes commit esetén a főnök „commitra készülj” üzenetet küld, majd nyugtára vár. Egy nyugta = „a résztvevő már tudja, hogy mindenki commitra szavazott”. Összes nyugta = „*a főnök már tudja, hogy minden résztvevő tudja, hogy mindenki commitra szavazott*”.
3. a főnök „commit” üzenetet küld a résztvevőknek, amiből *minden résztvevő is megtudja*, hogy már mindenki megtudta, hogy mindenki commitra szavazott. 😊

A háromfázisú kész protokoll (3PC) IV.

- blokkolás megoldására terminálási protokoll:
- Ha „commit képes” vagy „commitra kész” állapotban timeout, akkor
 - a működő csomópontok új főnököt választanak
 - új főnök bekéri a résztvevők állapotait.
 - döntést hoz az új főnök és ezt közli a résztvevőkkel:
 - Ha van „abortált” vagy még nem szavazott, akkor globális abort.
 - Ha van „commitált” résztvevő, akkor globális commit.
 - ...

Elosztott időbélyeges tranzakciókezelés

Ismétlés (nem elosztott környezetben):

- $t(\text{Tranzakció})$ szigorúan egyedi, rendszeridővel arányos
- Egyértelmű sorrendet határoz meg
- T_r -k a kezdőidejükben „zérus idő alatt lefutnak”
- A soros ekvivalens a $t(T_{i1}) < t(T_{i2}) < \dots < t(T_{in})$ -nek megfelelő $T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{in}$
- Minden írás-olvasás előtt adategységek időbélyegeinek vizsgálata, döntés, időbélyegek frissítése (atomian)

Elosztott időbélyeges tranzakciókezelés II.

- Korábbi elvek jórészt alkalmazhatók
 - Írni minden példányt kell, olvasni elég egyet
 - A lokális/fizikai tr.-k időbélyegét is az a csp. adja, ahol a globális tr. elindult.
 - Ha egy globális/logikai tranzakció valamely lokális/fizikai tr.-ja egy N csp.-ban írja/olvassa valamely A_i példányt, akkor rajta hagyja az időbélyegét
- Időbélyeg egyértelműséghez: csp. azonosító hozzáadása az időbélyeg LSB-hez
- A csp.-ok órái különbözőképpen járhatnak

Elosztott időbélyeges tranzakciókezelés III.

- Globális műveletek sikeressége: lokális időbélyegek vizsgálata alapján
- Hasonló, mint elosztott zárkezelésnél, pl.
 - READ A esetén egyetlen $R(A_i)$, $W(A_i)$ vizsgálata
 - WRITE A esetén az összes $R(A_i)$, $W(A_i)$ vizsgálata
 - ...
- Óraeltérések problémája
 - Egzakt szinkronizmus nem létezik
 - Következményei

Egyéb tranzakciókezelési kérdések

- Csúcsok helyreállítása rendszerhibák után
- Elosztott pattok keletkezése és kezelése
- ...