

Adatbázisrendszerek

9. előadás: Tranzakciók és konkurencia

Tranzakció kezelés és konkurencia kontroll

2025. április 25.



**DEBRECENI EGYETEM
INFORMATIKAI KAR**





- **Egyfelhasználós rendszer.** Egyidőben legfeljebb egy felhasználó használhatja a rendszert.
- **Többfelhasználós rendszer.** Egyidejűleg (konkurens módon) több felhasználó érheti el a rendszert.
- **Konkurencia típusa**
 - **Összefésült egyszálú feldolgozás.** A folyamatok (processzek) konkurens végrehajtása egy CPU-n fésülődik össze.
 - **Párhuzamos feldolgozás.** A folyamatok (processzek) egyidejűleg (konkurens módon) több CPU-n hajtódnak végre.



Tranzakció (heurisztikus)

Adatbázis folyamatok egy olyan logikai egysége, amely egy vagy több adatbázis-hozzáférési műveletet (olvasás - kinyerés, írás - beszúrás, frissítés, törlés) tartalmaz.

- Egy tranzakció (műveletek egy halmaza) lehet önálló, melyet egy magas szintű nyelv specifikál (SQL) és interaktív módon hajtunk végre, illetve lehet beágyazva egy programon belül.
- A tranzakció határai: `Begin transaction` és `End transaction`
- Egy alkalmazói program több, egymástól elkülönülő tranzakciót tartalmazhat, melyeket a fenti határok közé foglalunk be.



A tranzakció kezelés szempontjából az adatbázis egy egyszerű modelljét használjuk.

- Az **adatbázis** nevesített adatelemek egy összessége.
- Az adatok **szemcsézettsége (granularitása)**: az adatok különböző méretű egységei - mező, rekord, egy teljes lemez blokk. (Az ismertetett fogalmak függetlenek a konkrét finomságtól.)
- Az alapl műveletek az **olvasás** és az **írás**:
 - `read_item(X)`: beolvassa az X nevű adatbázis elemet egy program változóba. A jelölések egyszerűsítése kedvéért ezt a program változót szintén X-szel jelöljük.
 - `write_item(X)`: kiírja az X program változó értékét az adatbázis X nevű elemébe.



9. előadás: Tranzakciók és konkurencia

Bevezetés a
tranzak-
ciókba

Tranzakció
kezelési
problémák

Helyreállítás

A tranzakció
fogalma

A rendszer
log

ACID tulaj-
donságok

Ütemezés

Konkurencia
kontroll

- Írasi és olvasási műveletek jellemzői: az adatátvitel alapegysége a lemezről a számítógép fő memóriájába illetve vissza a blokk. Általában egy beolvasandó vagy kiírandó adategység ettől kisebb, egy rekord egy mezője az adatbázisban, bár lehetnek olyan nagyobb egységek is, mint egy rekord vagy akár egy teljes blokk is.



- A `read_item(X)` utasítás az alábbi lépéseket tartalmazza:
 - Megkeresi az `X` elemet tartalmazó lemezblokk címét.
 - Átmásolja ezt a lemezblokkot a fő memória pufferébe, (amennyiben ez a blokk nincs már benne valamelyik fő memória pufferben).
 - Átmásolja az `X` elemet a pufferből az `X` nevű program változóba.
- A `write_item(X)` utasítás az alábbi lépéseket tartalmazza:
 - Megkeresi az `X` elemet tartalmazó lemezblokk címét.
 - Átmásolja ezt a lemezblokkot a fő memória pufferébe, (amennyiben ez a blokk nincs már benne valamelyik fő memória pufferben).
 - Átmásolja az `X` elemet az `X` nevű program változóból a puffer megfelelő területére.
 - Visszamásolja a frissített blokkot a pufferből a lemezre (rögtön vagy egy későbbi időpontban).



T_1 tranzakció

```
read_item(X);  
X:=X-N;  
write_item(X);  
read_item(Y);  
Y:=Y+N;  
write_item(Y);
```

T_2 tranzakció

```
read_item(X);  
X:=X+M;  
write_item(X);
```



- **Az elveszett frissítés problémája.** Akkor fordul elő, amikor két tranzakció, amely ugyanazokat az adatbázis elemeket éri el, úgy fészülődik össze, hogy egyes adatbázis elemek hibásakká válnak.
- **Az időleges frissítés (dirty read) problémája.** Akkor fordul elő, amikor egy tranzakció frissít egy adatbázis elemet, ami után valamilyen oknál fogva a tranzakció hibásan fejeződik be. Ezt a frissített elemet más tranzakció is eléri mielőtt az még visszaállna az eredeti értékére.
- **A helytelen összegzés problémája.** Amikor egy tranzakció rekordok egy összegző függvényét számolja, amíg egy másik tranzakció ezen rekordok közül néhányat frissít. Ekkor az összegző függvény olyan értékekkel számolhat, amelyek még a frissítés előtt vannak, míg mások már a frissítés után.



Tegyük fel, hogy az alábbi módon fészülődnek össze a T_1 és T_2 tranzakciók.

T_1 tranzakció

```
read_item(X);
```

```
X:=X-N;
```

```
write_item(X);
```

```
read_item(Y);
```

```
Y:=Y+N;
```

```
write_item(Y);
```

T_2 tranzakció

```
read_item(X);
```

```
X:=X+M;
```

```
write_item(X);
```



9. előadás: Tranzakciók és konkurencia

Bevezetés a
tranzak-
ciókba

Tranzakció
kezelési
problémák

Helyreállítás

A tranzakció
fogalma

A rendszer
log

ACID tulaj-
donságok

Ütemezés

Konkurencia
kontroll

Ha a két tranzakciót egymás után hajtjuk végre, akármilyen sorrendben, akkor az X adatbázis elem új értéke $X - N + M$ lesz, az Y -é pedig $Y + N$. Ezzel szemben a fenti összefésülés esetén $X + M$ -t fogja X tartalmazni hiszen T_2 , a T_1 módosítása után de még mentés előtt, újra beolvassa X -t a régi értékkel. Így X T_1 általi frissítése ($-N$) elveszik. (Foglalt helyek száma)



Tegyük fel, hogy az alábbi módon fészülődnek össze a T_1 és T_2 tranzakciók.

T_1 tranzakció

```
read_item(X);  
X:=X-N;  
write_item(X);
```

```
read_item(Y);  
Y:=Y+N;  
write_item(Y);
```

T_2 tranzakció

```
read_item(X);  
X:=X+M;  
write_item(X);
```



9. előadás: Tranzakciók és konkurencia

Bevezetés a
tranzak-
ciókba

Tranzakció
kezelési
problémák

Helyreállítás

A tranzakció
fogalma

A rendszer
log

ACID tulaj-
donságok

Ütemezés

Konkurencia
kontroll

Tegyük fel, hogy a fenti módon fészülődtek össze a T_1 és T_2 tranzakciók. Ha a rendszerben hiba történik a T_1 tranzakció teljes véglegesítése előtt de még az X adatbázis elem értékét sikerül elmenteni, akkor a T_2 tranzakció hibásan ezzel az értékkel fog dolgozni és nem az eredetivel. Ezért a végeredmény a rossz $X - N + M$ érték lesz a jó $X + M$ helyett, amit akkor kapnánk ha visszaállítanánk a T_1 tranzakció előtti állapotot. A T_2 végrehajtásánál az X adatbázis elem beolvasásakor ún. piszkos olvasás történik.



T_1 tranzakció

```
read_item(X);  
X:=X-N;  
write_item(X);
```

```
read_item(Y);  
Y:=Y+N;  
write_item(Y);
```

T_2 tranzakció

```
sum:=0;  
read_item(A);  
sum:=sum+A;
```

```
read_item(X);  
sum:=sum+X;  
read_item(Y);  
sum:=sum+Y;
```



9. előadás: Tranzakciók és konkurencia

Bevezetés a
tranzak-
ciókba

Tranzakció
kezelési
problémák

Helyreállítás

A tranzakció
fogalma

A rendszer
log

ACID tulaj-
donságok

Ütemezés

Konkurencia
kontroll

A T_2 tranzakció azután olvassa be X -et, hogy N -et már levontunk belőle, míg az előtt olvassa be Y -t, hogy N -et hozzáadtunk volna, az eredmény hibás összegzés lesz.



A **helyreállítás (recovery)** lehetséges okai:

- **Számítógép hiba (rendszerösszeomlás).** Hardver vagy szoftver hiba fordul elő a tranzakció végrehajtásakor. Amennyiben a hardver sérül, úgy a számítógép memóriájában lévő információ elveszhet.
- **Tranzakció vagy rendszer hiba.** Bizonyos műveletek a tranzakcióban hibát eredményezhetnek, pl. nullával való osztás vagy egész túlcsordulás. Tranzakció hiba fordulhat még elő hibás paraméter értéknél programozói hiba esetén. Emellett a felhasználó is megszakíthatja a tranzakciót.
- **Lokális hibát vagy kivételt észlel a tranzakció.** Bizonyos esetekben szükség lehet a tranzakció törlésére, pl. az adatok nem állnak rendelkezésre, vagy nincs elégséges fedezet egy adott összeg lehívására egy banki rendszerben.



A **helyreállítás (recovery)** lehetséges okai:

- **Konkurencia kontrol kikényszerítés.** A konkurencia kontrol dönthet a tranzakció megszakítása mellett és később újraindíthatja azt. Ennek oka lehet a szerializálhatóság követelménye (ld. később), vagy mert több tranzakció deadlock (holtpont) állapotban van.
- **Lemezhiba.** A lemez egyes blokkjai elvesztették az adataikat. Ennek oka lehet pl. az író-olvasó fej megsérülése, ami a tranzakció írása vagy olvasása kapcsán egyaránt előfordulhat.
- **Fizikai problémák, katasztrófák.** Végtelen listája olyan problémáknak, mint a légkondicionáló hibája, tűz, szabotázs, a lemez túlírása, vagy rossz lemez felmountolása az operátor által.



Definíció

A **tranzakció** egy végrehajtás alatt álló program, amely az adatbázis-feldolgozás egy logikai egységét alkotja. Egy tranzakció egy vagy több adatbázis-hozzáférési műveletből (beszúrás, törlés, módosítás és lekérdezés) áll.

A tranzakciót alkotó adatbázis-műveletek vagy egy alkalmazói programba vannak beágyazva, vagy interaktívan is megadhatók egy magas szintű lekérdező nyelv (például SQL) segítségével. A tranzakció határait megadhatjuk az explicit **begin transaction** és **end transaction** utasításokkal egy alkalmazói programban, ebben az esetben a két utasítás között elhelyezkedő összes adatbázis-hozzáférési művelet egy tranzakciót alkot.



9. előadás: Tranzakciók és konkurencia

Bevezetés a
tranzak-
ciókba

Tranzakció
kezelési
problémák

Helyreállítás

A tranzakció
fogalma

A rendszer
log

ACID tulaj-
donságok

Ütemezés

Konkurencia
kontroll

Egy alkalmazói program egynél több tranzakciót is tartalmazhat, ha több tranzakcióelhatároló utasítás szerepel benne.

Ha a tranzakciót alkotó adatbázis-műveletek nem módosítják az adatbázist, csak lekérdezik azt, akkor a tranzakciót **read-only tranzakciónak** nevezzük.



Állapotok:

- aktív állapot
- részlegesen véglegesített állapot
- véglegesített (commit) állapot
- hibás állapot
- megszakított állapot

Műveletek:

- `begin_transaction`
- `read` vagy `write`
- `end_transaction`
- `commit_transaction`
- `rollback` vagy `abort`



9. előadás: Tranzakciók és konkurencia

Bevezetés a
tranzak-
ciókba

Tranzakció
kezelési
problémák

Helyreállítás

A tranzakció
fogalma

A rendszer
log

ACID tulaj-
donságok

Ütemezés

Konkurencia
kontroll

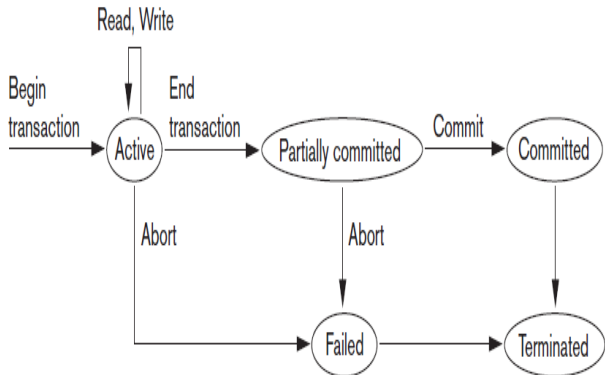
A visszaállítás során az alábbi műveletek használhatóak

- undo hasonló a rollback-hez azt kivéve, hogy elemibb művelet minthogy egy egész tranzakcióra vonatkozna
- redo bizonyos tranzakció műveleteket újra végrehajt a biztonság kedvéért



Figure 21.4

State transition diagram illustrating the states for transaction execution.





- **A log vagy napló-fájl.** A log nyomon követi az összes olyan tranzakció műveletet, amely hatással van az adatbázis elemeire.
- Ez az információ szükséges lehet a visszaállítás engedélyezésére hibás tranzakció esetén.
- A log a lemezen van, ezért immunis minden hibatípusra kivéve a lemezhibákat és katasztrófákat.
- A log-ot periódikusan archiválni kell (pl. szalagon) a fenti katasztrófák kijavítására.



- A log-rekordok típusai: `[start_transaction,T]`, `[write_item, T,old_value,new_value]`, `[read_item,T,X]`, `[commit,T]`, `[abort,T]`, ahol T egy egyértelmű tranzakció azonosító.
- Azok a helyreállító protokollok, amelyek elkerülik a kaszkádolt (lépcsős) rollback-et, nem igénylik a read műveletet a log-ban, míg mások igen. Erős protokollok egyszerűbb write bejegyzéseket igényelnek, amelyek nem tartalmazzák a `new_value`-t.



Ha a rendszer összeomlik, akkor helyreállíthatjuk konzisztens adatbázis állapotba a log vizsgálatával megfelelő módszerek révén.

- Mivel a log minden olyan írási műveletről tartalmaz egy rekordot, amely megváltoztatja valamelyik adatbázis elem értékét, az undo segítségével lehetséges egy tranzakció írási műveletei hatásának visszaállítása úgy, hogy az összes érintett adatbázis elem értékét az írási művelet log-bejegyzésébeli `old_value` értékére állítjuk vissza.
- Szintén használhatjuk a redo-t arra, hogy kikényszerítsük az írási műveletek hatását minden a tranzakcióban érintett adatbázis elem értékének a log-bejegyzésbeli megfelelő `new_value`-re való állításával.



Definíció

Egy tranzakció akkor éri el a **véglegesítési (commit) pontját**, ha az összes adatbázis-hozzáférési művelete sikeresen végrehajtódott és ezen műveletek hatása kiírásra került a log-fájlba.

A véglegesítési pontja után a tranzakciót véglegesítettnek nevezzük és feltételezzük, hogy összes hatása állandó bejegyzésre került az adatbázisban. A tranzakció ezután egy $[\text{commit}, T]$ bejegyzést tesz a log-ba.

Tranzakciók **visszavonása (rollback)**: azon tranzakcióknál szükséges, amelyeknél van $[\text{start_transaction}, T]$ bejegyzés a log-ban, azonban nincs $[\text{commit}, T]$ bejegyzés.



Atomosság (atomicity): A tranzakció a feldolgozás atomi egysége; vagy teljes egészében végrehajtódik, vagy egyáltalán nem.

Konzisztenciamegőrzés (consistency preservation): Egy tranzakció konzisztenciamegőrző, ha teljes és önálló végrehajtása az adatbázist konzisztens állapotból konzisztens állapotba viszi át.

Elkülönítés (isolation): Egy tranzakciónak látszólag más tranzakcióktól elkülönítve kell végrehajtódnia. Ez azt jelenti, hogy a tranzakció végrehajtása nem állhat kölcsönhatásban semelyik másik konkurensen végrehajtott tranzakcióval sem.

Tartósság vagy **állandóság** (durability vagy permanency): Egy véglegesített tranzakció által az adatbázison véghezvitt módosításoknak meg kell őrződniük az adatbázisban. Ezeknek a módosításoknak semmilyen hiba miatt nem szabad elveszniük.



9. előadás: Tranzakciók és konkurencia

Bevezetés a
tranzak-
ciókba

Tranzakció
kezelési
problémák

Helyreállítás

A tranzakció
fogalma

A rendszer
log

ACID tulaj-
donságok

Ütemezés

Konkurencia
kontroll

Az ACID tulajdonságok biztosításáért a DBMS konkurenciavezérlő és naplózó/helyreállító alrendszerei a felelősek.



9. előadás: Tranzakciók és konkurencia

Bevezetés a
tranzak-
ciókba

Tranzakció
kezelési
problémák

Helyreállítás

A tranzakció
fogalma

A rendszer
log

ACID tulaj-
donságok

Ütemezés

Konkurencia
kontroll

Tranzakció ütemezés (schedule vagy history)

A különböző tranzakciókban lévő műveletek sorrendje, amikor a tranzakciókat összefésülve egy szálon hajtjuk végre.

Az ütemezés a tranzakció műveletek egy olyan sorrendje, amely megfelel az egyenkénti tranzakcióbeli sorrendnek, azaz ha két, egyazon tranzakcióbeli műveletnél az egyik megelőzi a másikat, úgy ez a sorrend megmarad az összefésülés után is.



Típusok:

- **Visszaállítható** ütemezés. Amikor egyetlen egy olyan T tranzakció sem véglegesítődik addig, amíg nem véglegesítődik minden olyan T' tranzakció, amely olyan elemet ír ki, amelyet T beolvas. Ekkor egyetlen tranzakciót sem szükséges visszaállítani.
- **Kaszkádmentes** ütemezés. Amikor minden tranzakció csak olyan adatbázis elemet olvas be, amelyet egy már elfogadott tranzakció írt ki.



Szeriális ütemezés

Egy S ütemezést szeriálisnak nevezünk, ha minden ütemezésbeli T tranzakcióra fennáll, hogy az összes T -beli művelet közvetlenül egymás után hajtódik végre az ütemezésben.

Serializálható ütemezés

Egy S ütemezés serializálható, ha ekvivalens ugyanazon tranzakciók egy szeriális ütemezésével.



Fajtái:

- **Eredmény ekvivalens** ütemezés. Amikor a két ütemezés ugyanazt a végső adatbázis állapotot eredményezi.
- **Konfliktus ekvivalens** ütemezés. Amikor a két ütemezésben bármely két konfliktusos művelet (pl. ugyanazt az adatbázis elemet akarja felülírni két tranzakció) sorrendje ugyanaz.
- **Konfliktus serializálható** ütemezés. Amikor az ütemezés konfliktus ekvivalens egy szeriális ütemezéssel.



- 1 A szerializálhatóság nem jelenti azt, hogy az ütemezés maga szeriális.
- 2 A szerializálhatóságból következik, hogy az ütemezés **helyes**. Ez azt jelenti, hogy az adatbázis konzisztens állapotban marad a tranzakciók végrehajtása után.
- 3 A szerializálhatóságot nehéz ellenőrizni, mivel nem könnyű előre meghatározni, hogy egy ütemező hogyan fésüli össze a műveleteket.
- 4 A gyakorlatban protokollokat használnak a szerializálhatóság biztosítására.
- 5 Egy ütemezés kezdete és vége nem meghatározható, ezért a teljes ütemezés ellenőrzését a véglegesített tranzakciókbeli műveletek ellenőrzésére redukálják.



9. előadás: Tranzakciók és konkurencia

Bevezetés a
tranzak-
ciókba

Tranzakció
kezelési
problémák

Helyreállítás

A tranzakció
fogalma

A rendszer
log

ACID tulaj-
donságok

Ütemezés

Konkurencia
kontroll

- 6 A gyakorlatban a legtöbb DBMS-ben a **kétfázisú zárolást (two phase locking)** használják.
- 7 Egy gyengébb ekvivalencia ütemezések között az ún. **nézet (view)** ekvivalencia, melyet itt nem tárgyalunk.
- 8 Van algoritmus a konfliktus szerializálhatóság ellenőrzésére, amely a precedencia gráfon alapszik.



Célja

- Az elkülönítés kikényszerítése (pl. teljes kizárással) a konfliktusos tranzakciók között.
- Az adatbázis konzisztenciájának megőrzése a tranzakciók konzisztencia megőrző végrehajtása révén.
- Az olvasás-írás és írás-írás konfliktusok feloldása.

Példa

Ha egy konkurens végrehajtási környezetben a T_1 konfliktusba kerül a T_2 -vel az A adatalem miatt, akkor a létező konkurencia kontroll dönt arról, ha T_1 -nek vagy T_2 -nek szüksége van A -ra, illetve ha más tranzakciókat vissza kell állítani vagy várakoztatni kell.



- Két művelet: $\text{Lock}(X)$ és $\text{Unlock}(X)$ az X adatbázis elemén.
- A **zárolás** (Lock) művelet biztosítja az engedélyt (a) olvasásra, (b) egy adatelem írására egy tranzakció által.
- A **feloldás** (Unlock) művelet törli ezeket az engedélyeket az adatelemtől.
- A két művelet atomi művelet.
- Két zárolási mód: (a) **megosztás** (shared lock) és (b) **kizárás** (write lock). Megosztás esetén egynél több ilyen jegyezhetünk be egy adatbázis elemre olvasás céljából, azonban ekkor kizárást már nem jegyezhetünk be semmilyen tranzakció által. Csak egy kizárás jegyezhető be egy adatbázis elemre egy időben és ekkor egyetlen tranzakció sem jegyezhet be megosztást erre az adatbázis elemre.



9. előadás: Tranzakciók és konkurencia

Bevezetés a
tranzak-
ciókba

Tranzakció
kezelési
problémák

Helyreállítás

A tranzakció
fogalma

A rendszer
log

ACID tulaj-
donságok

Ütemezés

Konkurencia
kontroll

- A **Lock Manager** menedzseli a zárolásokat az adatelemeken egy **zárolási tábla (lock table)** segítségével tartva ezeket nyilván.