

S4-03 Többszálú programok, a Java nyelv szinkronizációs eszközei

Tartalom

1. Többszálú programok ütemezése
2. A Java nyelv szinkronizációs eszközei
3. Jól szinkronizált programok, a happens-before reláció
4. Data race és race condition fogalma
5. Konkurens használatra tervezett adatszerkezetek
6. Szinkronizáló osztályok
7. Szálak és feladatok
8. Félbeszakíthatóság
9. Haladási problémák (holtpont, kiéheztetés, livelock, priority inversion)
10. További források

1. Többszálú programok ütemezése

Konkurens programok

- Programok, melyekben több végrehajtási stream hajtódik végre konkurensen. Ezeket az utasítás szekvenciákat hívjuk *szálaknak*.
- Minden ilyen szál ugyanúgy hajtódik végre, mint egy szekvenciális program
 - azzal a különbséggel, hogy a szálak képesek egymással kommunikálni
 - rosszul szervezett esetben akár *interferálni* is.
- Többszálú program esetén átfedések lehetségesek a folyamatok életciklusában, a különböző számítások nem kell, hogy ugyanabban az időben történjenek, bár előfordulhat, hogy párhuzamosan futnak le.
- **Nem determinisztikus** végrehajtás
- Problémát a megosztott, közösen használt adatokhoz való hozzáférés okozhatja \implies indokolt a megfelelő memória kezelés megoldása

Párhuzamos programok

- Programok, melyeknél minden számítás a szó legszorosabb értelmében egyszerre történik
 - egy másik processzoron, vagy másik magon, esetleg egy másik gépen.
- Párhuzamos programokat lehetetlen egyszálú környezetben futtatni.
- Végrehajtásuk **determinisztikus** és eredményük megegyezik a soros végrehajtással.

Ütemezés

Run-to-Completion

Egy folyamatot addig futtatunk,

- amíg kész nem lesz,
- vagy explicit vissza nem adja a vezérlést az ütemezőnek (`yield()`).

Pre-emption

Az aktuális szálát az ütemező megszakíthatja, és kontextusváltással egy másik szálát futtathat.

JVM implementációtól függő időosztás

Ekkor a szálak adott időszleteket kapnak a végrehajtásra és kontextus váltásokat hajt végre köztük a JVM az idő lejártakor, ha a szálak még mindig futtatható állapotban maradtak.

- Minden szálnak kioszt egy minimális időszletet (quantum), amit az kihasználhat
- ha ez túl kicsi, sok lesz a kontextusváltás, így nagy az ütemező overhead-je
- ha ez túl nagy, az egyes szálak “válaszideje” megnövekszik
- egy szál lemondhat az időszletének további részéről `yield()` hívásával

2.A Java nyelv szinkronizációs eszközei

Folyamatok (Process)

- Egy folyamat önálló futtatási környezettel rendelkezik.
- Több folyamat felépíthet egy alkalmazást
- Legtöbb JVM implementáció egy folyamatként fut
- Általában privát, teljes erőforrás halmazzal rendelkezik.
- A folyamatok izoláltak futnak egymástól, és nincs lehetőség közvetlenül egymás erőforrásaihoz hozzáférni.

Szálak (Thread)

- Amolyan “pehelysúlyú folyamatok”.
- Létrehozásuk kevesebb erőforrást igényel, mint a folyamatoké.
- A folyamatokon belül léteznek és minden folyamat rendelkezik legalább egy szállal (*main thread*).
- A szálak megosztják az erőforrásaikat, beleértve a memóriát is ami a kommunikáció alapját képezi.

- Működhetnek több CPU magon vagy egy magon időosztással (*time slicing*)

java.lang.Thread

- Szinkronizációhoz alapul szolgáló eszközüink Java esetén maga a `java.lang.Thread` osztály.

Kétféle módszerrel definiálhatunk szálakat Java-ban:

1. **Thread osztályból származtatjuk az osztályunkat.** Ekkor felüldefiniáljuk a `Thread` osztály `run()` metódusát. Az osztályunknak lesz egy `start()` metódusa, amit meghívva elindíthatjuk a `run()` végrehajtását egy külön szálban.

```
new HelloThread().start()
```

2. **Megvalósítjuk a Runnable interfészt.** Adhatunk `Thread` konstruktorának egy `Runnable` interfészt megvalósító osztályt

```
new Thread(new HelloRunnable()).start()
```

- Mindkét esetben a `run()` metódust kell felüldefiniálni
- Elindítani a `start()` metódussal lehet.
- Lehet prioritást rendelni hozzá,
- Futhat háttérszálként (daemon thread),
- Adhatunk neki nevet,
- JVM generál hozzá azonosítót (újrahasznosítható).

Szálak életciklusa

Lehetséges ciklusok:

1. Létrejött (created)
 2. Futtatható (runnable)
 3. Futó (running)
 4. Blokkolt (blocked)
 5. Végetért (terminated)
- `start()`-al elindított szál futtatható (runnable) állapotba kerül, de ütemező még nem választotta ki.
 - Ha az ütemező kiválasztja, futó (running) állapotba kerül, ekkor indul el a végrehajtása.
 - Ha egy szál elkezdett futni, akkor addig fut, amíg az alábbiak valamelyike be nem következik:
 - `Thread.sleep()` (blokkolt)

- Lock-ra kezd várni, hogy egy `synchronized` metódust futtasson (blokkolt)
- I/O-n blokkolódik (blokkolt)
- Explicit visszaadja a vezérleést a `yield()`-el (futtathatóba kerül)
- terminál, `run()` elfogy (véget ért)

Életciklus

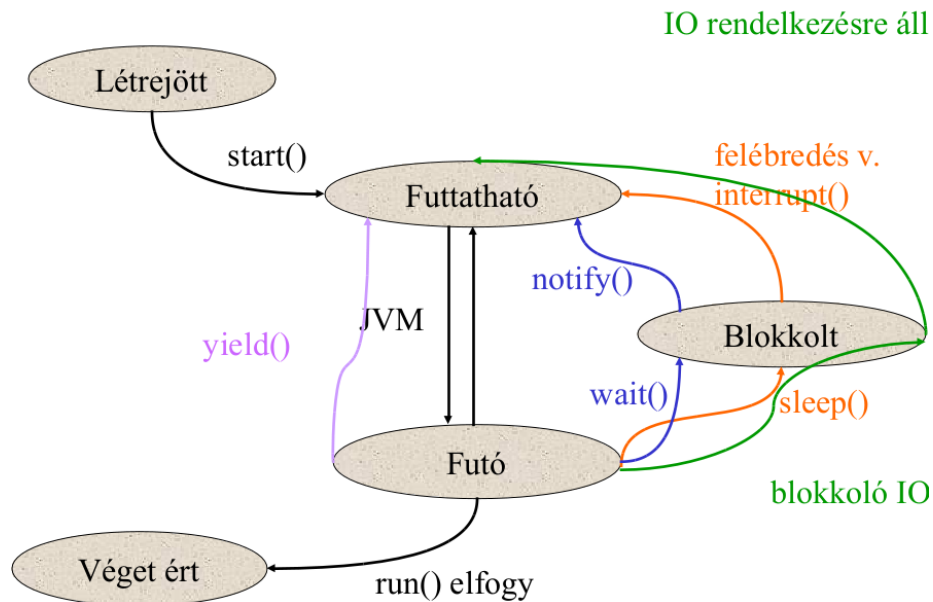


Figure 1: Egy szál életciklusa

Életciklus változása

- `start()`: Létrejött \Rightarrow Futtatható
- ütemező: Futtatható \Rightarrow Futó
- `run()`: Futó \Rightarrow Véget ért
- `yield()`: Futó \Rightarrow Futtatható
- `sleep()`: Futó \Rightarrow Blokkolt
- `sleep()` vége: Blokkolt \Rightarrow Futtatható
- `interrupt()`: Blokkolt \Rightarrow Futtatható
- `wait()`: Futó \Rightarrow Blokkolt
- `notify()`: Blokkolt \Rightarrow Futtatható
- blokkoló IO: Futó \Rightarrow Blokkolt

Szinkronizációs eszközök

Synchronized

- Kulcsszó, amivel nem csak metódusok és blokkok kölcsönös kizárását valósíthatjuk meg
 - hanem a kölcsönös kizárás közben többi szál blokkolását is

Intrinsic lock-olás (Monitor pattern)

- Java-ban minden objektum rendelkezik egy lock-al (hívják monitornak is), melyet szálak lefoglalhatnak és elengedhetnek
- Egy időben csak egy szál foglalhatja az objektum lock-ját
- Addig a többi szál egy várakozási sorban vár amíg a lock fel nem szabadul
 - Vezérlésük addig blokkolódik
- A lock reentráns: a lock-ot birtokló szál többször egymás után foglalhatja \Rightarrow nem fogja saját magát blokkolni
- Java-ban egyetlen mód intrinsic lock megszerzésére:
 - `synchronized` metódus végrehajtása
 - `synchronized` blokkba lépés

Synchronized metódus

- Szál annak az objektum lock-ján zárol, akié maga a `synchronized` metódus.

Synchronized blokk

- Természetesen nem csak metódusokra implikálható, szinkronizációs blokkot is hozhatunk létre, melynek belsejében adhatjuk meg azokat az utasításokat melyekre kizárólagos hozzáférést szeretnénk biztosítani.
 - Ebben az esetben meg kell adni, hogy melyik objektum lock-ján akarunk szinkronizálni: `synchronized(obj) { ... }`.
 - Létjogosultsága leginkább akkor van, ha nem egy objektumban vannak azok az utasítások amelyeken szinkronizálni akarunk vagy ha nem a `this`-en akarunk lock-olni.

Volatile

- Gyenge szinkronizációt biztosító eszköz (gyors, szálbiztos, lock-free hozzáférés).
- Explicit lock nélküli szinkronizációt biztosít, rákényszerítve a fordítót, hogy mindig olvassa ki a volatile változó értékét s így nem fordulhat elő az, hogy elavult (cache-elt) értéket kapjunk.
- Szálak között megosztott volatile változónak mindig az aktuális értékét látjuk minden szálban.
- A `volatile` változó olvasása/írása szinkronizációs akciót vált ki.
- Azért csak gyenge szinkronizációs eszköz, mert nincs kölcsönös kizárás a változó használatán, csak a láthatóságot biztosítja, atomiságot nem (a `synchronized` azt is).

- A fordító és runtime nem optimalizálhat rajta, azaz például nem rendezheti át az utasításokat rajtuk.
- Értékét nem szabad kizárólagosan egy szála cache-elni.
- Nem menthetőek regiszterekbe.
- Használatuk leginkább az állapotjelzőkre, megszakítókra, kiegészítő feladatokra korlátozódik.
- Bármely *volatile* változó írása *happens-before* relációban kell legyen az utána következő olvasásaival.

Immutable (módosíthatatlan) objektumok

- A módosíthatatlan objektumok szinkronizáció nélkül megoszthatóak a szálak között.
 - Funkcionális stílusú programozás
- Az ilyen objektumok mindig szálbiztosak, mert létrejöttük után nem változik az állapotuk.
- Invariánsaikat a konstruktor határozza meg.
- Egy objektum immutable, ha:
 - az állapota létrehozás után nem változtatható meg
 - minden mezője **final** (igazából technikailag nem feltétel)
 - biztonságosan jött létre, azaz nem szökött ki a **this** referencia a konstruálódása során
 - opcionálisan maga az osztály is lehet **final**
- Gyors allokációja és szinkronizációmentessége lévén gyors teljesítményt nyújt.
- Best practice: ha egy objektum nem immutable, a módosíthatatlan adattagokat akkor is érdemes megjelölni, ezáltal kevesebb lehetséges állapotba lesz az objektumnak.
- Java memória modell kimondja: konstruktor befejezésekor a **final** mezők garantáltan inicializálva lesznek

3. Jól szinkronizált programok, a happens-before reláció

Atomicitás

A és B művelet akkor atomi egymáshoz képest, ha az A műveletet végrehajtó szál szempontjából a B műveletet végrehajtó szál

- vagy teljes egészében végrehajtotta a műveletet
- vagy egyáltalán nem.

Egy művelet akkor atomi, ha ugyanazon az állapoton végrehajtott művelethez képest atomi, beleértve önmagát is.

Happens-before reláció

“Laikus” magyarázat

- Kulcs memóriakonzisztencia hibák elkerülésére
- Ha egy esemény happens-before relációban áll a másikkal \implies az első esemény hatása látható a második számára

Definíció

Ha van x és y műveletünk $\implies hb(x, y)$ -al jelöljük hogy x végrehajtása megelőzi y végrehajtását (“ x az y előtt történik”, “ x happens before y ”)

Mit garantál?

Garantálja, hogy ha két akció, x és y ilyen relációban áll, akkor x eredménye látható y számára.

Formálisabb definíció

A *program order* (po) és a *synchronizes-with* (sw) relációk uniójának tranzitív lezártja

$$hb = (po \cup sw)^+$$

Ebből tranzitív: ha $hb(a, b)$ és $hb(b, c)$ akkor $hb(a, c)$

hb -re vonatkozó szabályok:

- Minden esemény egy szálon belül hb relációban áll a többivel ha azok később következnek a program order szerint.
- Minden objektum konstruktorának vége relációban áll az objektum finalizerének első utasításával.
- Unlock monitor hb relációban áll ugyanazon monitor lock-jával, amely utána következik
- `volatile` változó írása is hb relációban áll az azt követő olvasásaival
- A szál `start()` metódusa hb relációban áll minden más eseményével
- Minden esemény egy szálon belül hb relációban áll a többi szál `join()` általi visszatérésével

Happens-before konzisztencia

- Legyen
 - A : műveletek halmaza

- r : olvasások A -ban
- w : írási műveletek A -ban
- v : változó amit r olvas és w ír
- $W(r)$: írási műveletek, amiket r lát
- Happens-before konzisztens A műveletek halmazában minden egyes r olvasás olyan w írást lát \implies ami olvasásnak megengedett, hogy happens-before sorrendben lássa

Nem létezik olyan, hogy

- $hb(r, W(r)) \implies$ olvasások happens-before relációban vannak az írásokkal amiket az olvasások látnak
- van w írás A -ban, amiben
 - $w.v = r.v$ (w által írt és r által olvasott v változó értéke megegyezik)
 - $hb(W(r), w)$ (r által látott $W(r)$ írások w előtt vannak)
 - $hb(w, r)$ (w írás r olvasás előtt történik)

Magyarul:

1. Minden olvasás látja az azt megelőző írásokat
2. Ha írunk egy v változót, azt az olvasó folyamatnak mindenképp látnia kell

Miről biztosít a happens-before konzisztencia?

- Minden olvasás mely egy írás előtt ment végbe, nem láthatja annak az írásnak az eredményét
- Az olvasás akkor sem láthatja az írás eredményét ha épp egy másik írás van folyamatban

Szekvenciális konzisztencia

- Minden változó olvasás \implies az előző írás eredményét látja egy megadott sorrend alapján, függetlenül attól, hogy melyik processzoron történtek a műveletek.
- Tehát minden akció atomi és eredménye minden szál számára azonnal látható.

Ha az egyes akciók teljes rendezésben vannak, amik konzisztensek a program order-el \implies akkor v változó r olvasása esetén, v változó a w által írt értéket tartalmazza, ha:

- w írás az r olvasás előtt áll
- nincs más w' írás a w írás és r olvasás között.

Jól szinkronizált program

- A program akkor és csak akkor jól szinkronizált, ha minden szekvenciálisan konzisztens végrehajtása data race-mentes.
- A jól szinkronizált programok minden végrehajtása szekvenciálisan konzisztensnek tűnik.

4.Data race és race condition fogalma

Interferencia

- Két művelet különböző szálon fut, de ugyanazon az adaton dolgoznak \implies "összefésülődnek"
- Egy-egy művelet több lépésből áll, ezek a lépések pedig összefolynak

Read-modify-write

- Egy értéket változóból kiolvas (*read*), módosítja az értéket (*modify*), majd visszaírja a változóba (*write*)
- Nem atomi művelet: a három esemény közötti időben megváltozhat a változó amiből az érték lett kiolvasva.
- Tipikus példája ennek a post-increment (*i++*)
 1. *i* értékének kiolvasása, másolat készítése az értékből (*read*)
 2. magának az érték növelése eggyel (*modify*)
 3. érték visszaírása *i*-be (*write*)

Check-then-act

- Egy állapotot megvizsgál (*check*), majd azalapján cselekszik egy szál (*act*)
- Nem atomi művelet: a két esemény közötti időben megváltozhat az eredetileg megvizsgált állapot.
- Másik megfogalmazás: Teendő elvégzéséhez (*act*) olyan megfigyelést (*check*) vesz alapul, ami valószínűleg elavult adatra épül

Data race

- Akkor következik be, mikor egy változót több szál olvas és legalább egy szál ír, viszont az írásk és olvasások között nincs happens-before reláció.
- A jól szinkronizált program data race nélküli.
- Ha nincs data race, minden végrehajtás szekvenciálisan konzisztensnek tűnik

Race condition:

Akkor következik be, mikor a számítás helyessége

1. a relatív időzítésen
2. vagy több szál futásidőben történő összesorolásán múlik.

Magyarul race condition esetén a helyes válasz a szerencsés időzítésen múlik (“szerencsén múlik”).

- Megoldás: például szinkronizálás monitorral.

Mitől szálbiztos (thread safe) egy program?

- *Read-modify-write* és *Check-then-act* utasítások atomikusan hajtódnak végre
- Nincs data race

5.Konkurrens használatra tervezett adatszerkezetek

Vector, Hashtable

- Alapból szinkronizált (saját intrinsic lockjával).
- Szinkronizációs burkoló objektumot készítő, intrinsic lock-ot bevezető factory metódusok: `Collections.synchronized*`

Egy hibaforrás:

- Az iterálás során szintén zárolni kell az adatszerkezetet (atomi legyen, hogy közben ne változzon az elemszám), mert a szinkronizált kollekciók iterátorait nem kötelező lock-olni a bejárás közben.
- Így megfelelő zárolás hiányában egyszerű `for-each` bejárásnál vagy rejtett iterációnál (pl: `toString()`) nem lesz szálbiztos.

`java.util.concurrent.*`

- A szinkronizált kollekciók (`Vector`, `Hashtable`) nem eléggé jó teljesítményűek, mivel a műveleteik az egész kollekciót zárolják.
- Ezzel szemben a konkurens kollekciók egyszerre írhatók és olvashatók több szálból.
- Nincs szükség lock-olásra az egész gyűjteményen (nem is ajánlott, mert elveszíti hatékonyságát), elég egy részén (lock striping).
- Atomi `putIfAbsent()`, `remove()` és `replace()` check-then-act típusú műveleteket biztosít.
- A `size()` illetve `isEmpty()` eredménye viszont csak approximális.

CopyOnWriteArrayList és CopyOnWriteArraySet

- a `synchronizedList` párhuzamos megfelelője.
- Kiküszöböli a gyűjtemény zárolásának vagy lemásolásának szükségességét bejárás közben.
- A `CopyOnWrite` gyűjtemények ereje abban rejlik \implies hogy a gyűjtemény minden módosításakor másolatot készítenek és tesznek közzé.
- Másolat készítése drága \implies akkor hatékony, ha több az olvasás mint az írás

BlockingQueue

- Blokkol, ha
 - nincs benne kivehető elem (kivételnél),
 - vagy tele van (berakásnál).
- Van felső határ nélküli változat is, itt a berakás soha nem blokkol.
- `poll()` és `offer()`: időhöz kötött várakozással blokkoló elem kivétel és berakás.

Fajtai:

- `LinkedBlockingQueue`
- `ArrayBlockingQueue`: igazából tömb típusú
- `PriorityBlockingQueue`: nem FIFO típusú, prioritás számít
- `SynchronousQueue`: igazából nincs eleme, de nem null az átadott érték
- `BlockingDeque`: kétvégű változata

6.Szinkronizáló osztályok

Ezek közé bármi olyan objektum tartozik, ami a szálak vezérlését koordinálja saját állapota alapján.

Latch

- Feltartja a folyamatokat, amíg eléri egy megadott termináló pontot.
- Feltart minden szálát míg el nem éri végállapotát, ezután mindet tovább engedi. A továbbiakban nem változik az állapota.
- Implementáció: például `CountdownLatch`, mely egy nem negatív értéktől számol vissza (`countDown()` csökkenti egyel) 0-ig.

Semaphore

- Klasszikus számláló szemafor (lehet bináris is), mely korlátozott számú erőforráshoz vagy korlátozott méretű adatszerkezethez való hozzáférést

szabályozhat.

- Konstruktorában adható meg a szálak max. száma, melyek egyidőben bent tartózkodhatnak, \implies ez az érték fix egy szemaforra nézve.

Barrier

- Egy bizonyos pont elérése után engedi tovább a szálakat (barrier pont).
- Alap implemetációja a **CyclicBarrier**, mely a konstruktorában megadott számú szálát vár be.
- Nincs végleges termináló állapota, újraindul.

Future

- Interfész, egy aszinkron számítás eredményét reprezentálja.
- Eredményt `get()`-el kaphatjuk meg, mely addig blokkolódik, míg meg nem kapja az eredményt.
- Állapota lekérdezhető, félbeszakítható.
- **FutureTask** az alap implementációja, egy aszinkron számítást végez.
- Konstruktorába **Callable** vagy **Runnable** objektumot kell adni
- Csak a számítás módját adjuk meg vele, a számítás elvégzését legtöbbször egy **Executor**-ra bízunk.

7.Szálak és feladatok

Feladatok (task)

- A feladat az elvégzendő munka egy egysége.
- Ezeket konkurrensen hajtjuk végre szálakban.
- Ideális esetben egymástól független az
 - állapotuk
 - eredményük
 - és mellékhatásaik is.
- Ha a feladatokat függetlenítjük a szálaktól (nincs explicit összekapcsolás) \implies jobb skálázódási tulajdonságot kapunk.

A feladatok méretének meghatározása kritikus:

- Feladat/szál költséges lehet
- Túl kicsi feladatok: versengés, ütemezési overhead
- Túl nagy feladatok: kismértékű párhuzamosíthatóság

4 folyamat / 4 feladat esetén a legnagyobb folyamat lesz a mérvadó sebesség terén.

Executor

- Feladatok beküldése végrehajtásra.
- **Executor** egy szálát több **Runnable** objektum végrehajtására tud felhasználni. Elosztja a beérkező feladatokat a szálak között.
- **ExecutorService** egy kiterjesztése az **Executor**-nak. A taszkok beküldésekor (**submit()**) nem csak **Runnable**-t, hanem **Callable**-t is elfogad, ez **Future**-t tud visszaadni.

8.Félbeszakíthatóság

Szál félbeszakítása (**interrupt()**)

- Egyfajta üzenetküldés a szál megállításához, melyben közreműködik a kezdeményező, illetve az interruptot kapó szál is.
- Nem állíthat le egy szál egy másik még futásban lévő szálát, de megszakító kérést küldhet neki, amire a futásban lévő szál megáll és átadja a vezérlést.
- Ezt egy kontextusváltás keretében teszi, mely magába foglalja a szál
 - stack-jének ürítését,
 - processzor regisztereinek ürítését,
 - cache ürítését
 - és a program counter elmentését. Ezután tölti be a másikat.
- Interrupt hívásakor beállítódik egy interrupt flag a szálban, ami lekérdezhető **interrupted()** és **isInterrupted()** segítségével.
 - Szál ekkor **InterruptedException**-t dob
 - Használható alvó (**sleep()**) szál felébresztésére is
 - **isInterrupted()**: tagmetódus, csak megvizsgálja az interrupt flag-et
 - **interrupted()**: statikus metódus, törli az interrupt flag-et lekérdezés után, azaz második lekérdezéskor már **false** lesz

Feladat félbeszakítása (**cancel()**)

- Egy feladatot egy **Future** objektum reprezentál
- **cancel()** metódusában megadható, hogy megszakítható legyen-e

Executor félbeszakítása (**shutdown()** vagy **shutdownNow()**)

- Minden szálnak van egyfajta implicit “tulajdonosa” (legtöbbször aki létrehozta) és a szál leállítását a tulajdonosa kell, hogy elvégezze,
- Ezért minden szálakat kezelő szolgáltatásnak kell legyen valamilyen shutdown mechanizmusa
- **shutdown()** megvárja míg az éppen futó szál befejezi feladatát és ezután állítja le, **shutdownNow()** meg is szakítja a jelenleg futó szálakat.

9. Haladási problémák (holtpont, kiéheztetés, livelock, priority inversion)

Holtpont

- Folyamatok egy nem üres halmazát holtpontosnak nevezzük, ha a benne szereplő minden folyamat egy olyan feltétel bekövetkeztére vár (feltétlenül, időkorlát nélkül),
 - amely feltétel csak a halmazban lévő más folyamatok továbbhaladása esetén következhet be.
- Ha a halmaz minden folyamata arra vár, hogy sikerüljön lekötnie egy erőforrást,
 - amit egy, a halmazban lévő folyamat már lekötve tart,
 - akkor holtpont alakulhat ki.

Holtpont formális definíciója

1. Tekintsünk egy páros gráfot, amelynek csúcsai a folyamatokat, illetve az erőforrásokat reprezentálják.
2. Ha a folyamat zárolta azt az erőforrást \rightarrow húzzunk be egy élt egy erőforrásból egy folyamatba
3. Ha a folyamat épp vár az erőforrás megszerzésére \rightarrow húzzunk be egy élt egy folyamatból egy erőforrásba
4. Ha az így készített gráfban kör van \implies a körön lévő folyamatok holtpontba került folyamathalmazt adnak.

Étkező filozófusok példa

Ha minden filozófus felveszi a bal villáját \rightarrow majd elkezd várni arra, hogy felvehesse a jobb villát is \implies holtpont alakult ki.

Kiéheztetés

- Egy száltól huzamosabb ideig megtagadják azt az erőforrást, ami a továbbhaladásához szükséges.
- Sok esetben ez maga a végrehajtó egység, tehát egyszerűen nem kerül beütemezésre.
- Ez lehet például
 - a nem megfelelő szálprioritások megválasztásának eredménye
 - vagy ha egy szál úgy tart egy mások számára szükséges zárat, hogy közben végtelen ciklusba kerül.

Livelock

- Szálak nem blokkolódnak, de valódi “haladás” nem történik.
- Olyan műveletet próbálnak végrehajtani, ami mindig sikertelen eredménnyel zárul.
- Például tranzakcionális üzenetsoroknál léphet fel ilyen, ha az üzenetek feldolgozása nem sikerül, és a sikertelen tranzakció esetén az üzenet visszakérül a sor elejére (poison message).
- Esetleg a szálak egymástól függően váltanak állapotot, de pont úgy, hogy nem tudnak haladni.

Priority inversion

- A fontosabb feladatok elvégzése érdekében prioritást rendelhetünk a szálakhoz.
- Ha egy magasabb prioritású folyamat futtathatóvá válik, akkor a rendszer késlelteti az alacsonyabb prioritású folyamatok futását.
- Priority inversion: ha egy alacsonyabb prioritású folyamat implicit megelőz egy magasabb prioritású folyamatot

Priority inversion formális definíciója

Legyen

- Két folyamat H és L , amik magas és alacsony prioritásuak
 - M közepes prioritású folyamat
 - Ezek egy megosztott erőforrást akarnak megszerezni kizárólagos használatra, ami legyen R .
1. Ha H próbálja megszerezni R -t miután L megszerezte
→ H nem futtatható amíg L el nem ereszti.
 2. Mivel H nem futtatható
→ ezért M a legnagyobb prioritású folyamat
→ ami miatt L késleltetődik és ezért L nem tudja feloldani az erőforrást.
 3. Ebben az esetben \implies a közepes prioritású M folyamat megakadályozza hogy a magas prioritású H folyamat futhasson.

10.További források

- Előző kidolgozott záróvizsga tételek
- <http://kto.web.elte.hu/hu/oktatas/eak2/>
- <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/concurrency/index.html>

- <https://docs.oracle.com/javase/specs/jls/se8/html/jls-17.html>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Java_memory_model
- https://en.wikipedia.org/wiki/Thread_safety
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Monitor_\(synchronization\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Monitor_(synchronization))
- <http://brevitaz.com/race-condition-java-concurrency-2/>
- <https://stackoverflow.com/questions/17853112/in-what-situations-is-the-copyonwritearraylist-suitable>