

15. Operációs rendszerek

Folyamatok megvalósítása, ütemező algoritmusai

Folyamatok

A *program* egy bájt-halmaz a fájlrendszerben. A **folyamat** egy futó program példánya a memóriában: kód + I/O adatok + állapot. Annyiszor jön létre, ahányszor a programot elindítjuk.

Egy folyamat élettartamának vezérlése az operációs rendszer feladata:

1. létrehozás
2. ütemezés (folyamatok közti váltás)
3. megszüntetés

Folyamatok létrehozása

A működésre kész operációs rendszerben például *interaktív* kiszolgálás esetén minden terminálhoz tartozhat egy rendszerfolyamat, amelyik felhasználói parancsokat fogad és hajt végre.

Köteget feldolgozás esetén elindulhat egy jobkészletet kezelő folyamat, amelyik jobok végrehajtását kezdi meg és jobonként egy újabb folyamatot indít.

Valós idejű rendszer esetén az operációs rendszer saját felépülése után létrehozza és inicializálja a felhasználói rendszert alkotó folyamatokat.

A rendszerfolyamatok tehát újabb, felhasználói folyamatokat hoznak létre, a felhasználói folyamatok pedig – bizonyos típusú rendszerekben – maguk is létrehozhatnak további felhasználói folyamatokat a logikai processzor megfelelő utasításának végrehajtásával (például fork, create).

Folyamatok befejezése

Egy folyamat befejezése lehet:

- Önkéntes befejezések:
 - szabályos kilépés (exit, return stb.)
 - kilépés lekezelt hiba esetén (szintén pl. return utasítással)
- Önkéntelen befejezések:
 - illegális utasítás
 - végzetes hiba (0-val osztás, nem létező memória használat, stb)
 - egy másik folyamat által
 - felhasználói megszakítás

A folyamatok futhatnak előtérben, illetve a háttérben (démonok).

Azokat a rendszereket, amelyek működése során – a felépülés és inicializálás kezdeti szakaszától eltekintve – nem jönnek létre és nem szűnnek meg folyamatok, **statikus rendszereknek** nevezzük. **Dinamikus rendszerekben** működés közben bármikor születhetnek és megszűnhetnek a folyamatok.

A folyamatok eredetét szükség esetén a szülő–gyermek viszonyokkal, azaz egy fa struktúrával írhatjuk le (processzgráf). Dinamikus rendszerben a fa természetesen folyamatosan követi a folyamatok születését és halálát. Sok operációs rendszer a szülő–gyermek viszonyokra építi erőforrás-gazdálkodási és jogosultsági filozófiáját.

Hierarchikus erőforrás-gazdálkodás, amikor a gyermek folyamatok csak a szülő erőforrásaiból részesülhetnek és nem létezhetnek önállóan, csak amíg szülőjük is létezik.

Globális erőforrás-gazdálkodás, amikor a rendszer valamennyi folyamata létrejötté után egyenrangú, önálló szereplő, és versenyezhet a teljes erőforráskészletből való részesedésért.

Folyamatállapotok

A mai modern számítógép fogalmához hozzátartozik, hogy természetesnek vesszük azt, amikor a számítógépünk egyidejűleg több tevékenységet végez. Például zenehallgatás közben böngészünk a neten.

A központi egység olyan gyorsan képes végrehajtani az utasításokat, hogy ha ennél a sebességnél váltogatjuk az éppen végrehajtódó feladatokat, az számunkra azt az illúziót kelti, mintha egymással párhuzamosan történnének a feladat-végrehajtások (ál-multitasking).

A folyamatok közti gyors kapcsolást, a végrehajtás váltását **multiprogramozásnak** nevezzük.

A folyamatok önálló egységek, a memória egy kis szeletében helyezkednek el. Ahhoz, hogy a központi egység ezeket végre tudja hajtani, a folyamatokhoz tartozzon saját utasításszámláló, verem, és legyenek egyéb állapotjelzői.

A folyamatok közül biztosan egy folyamat fut mindig, és az összes többi arra vár, hogy lehetőséget kapjon a futásra.

A folyamatok gyakran nemcsak önmagukban számolnak, végeznek feladatokat, hanem az operációs rendszer lehetőségeit is igénybe vehetjük: rendszerhívás¹ formájában kérhetünk segítséget ahhoz, hogy egy program vagy az operációs rendszer fennhatósága alá eső fájlokkal (eszközzel) vagy egy másik folyamattal kommunikáljunk. A folyamatok működése során gyakori feladat, hogy más alkalmazás szolgáltatását vegyük igénybe.

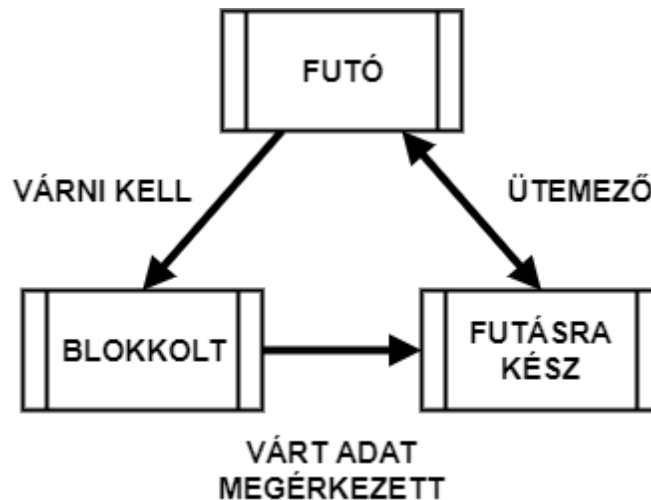
A várakozó folyamatokat több csoportba sorolhatjuk az operációs rendszerektől függően.

A csoportok között az alábbi négy átmenetet különböztethetjük meg:

- **Futó → Blokkolt**: Várni kell még valamire. A futó folyamat nem tudja folytatni a futását, mert valamilyen bemeneti adatra van szüksége. Ez akár egy másik folyamat eredménye is lehet.
- **Futó → Futásra kész**: Ez egy természetes átmenet. Egyszerűen lejárt az aktuális folyamat processzorideje, és az operációs rendszer a folyamatot a futásra kész, várakozó folyamatok csoportjába sorolja.
- **Futásra kész → Futó**: Az előző átmenet fordítottja. Az operációs rendszer ütemezője a futásra készen várakozó folyamatok csoportjából a soron következő folyamatot futtatja. A sorrendről az ütemező dönt, a folyamatok nem nagyon tudnak róla, hogy melyikük fog következni.
- **Blokkolt → Futásra kész**: A várva várt adat megérkezett, a blokkolt folyamat marad még a várakozó folyamatok csoportjában, de már futásra készen várja, hogy az ütemező döntése esetén újra futhasson.

¹A rendszerhívás olyan speciális eljárás-hívás, amikor a hívások egy kritikus feladat végrehajtására a kernelbe vagy más privilegizált operációs rendszerbeli komponensbe irányulnak. Ilyen rendszerhívások például egy állomány írására, olvasására, átnevezésére irányuló programhívásoké.

A folyamatok négy állapotátmenetét és a hozzájuk tartozó három állapotot szemléletesebb formában az 1. ábra mutatja.



1. ábra. Állapotátmenetek

További állapotok: alvó, megállított, és zombi.

Egy processzoron egyszerre egy futó folyamat lehet. Üres processzoron az *Idle* folyamat fut, ami nem csinál semmit.

Az operációs rendszernek ahhoz, hogy ezeket a folyamatokat helyesen tudja kezelni, felügyelnie kell a folyamatokat. Az operációs rendszerünk így minden egyes folyamatot nyilvántart, és az operációs rendszer lelkének is nevezett ütemező (scheduler) segítségével szépen sorban minden egyes folyamatnak ad egy kis processzor- (CPU) időszeletet, amíg az adott folyamat dolgozik, azaz a processzorra kerülhet.

Folyamatok leírása és táblázata

Ahhoz, hogy a folyamatokat megfelelően tudja ütemezni az operációs rendszer, nyilván kell tartani minden olyan információt, ami a folyamat újraütemezéséhez szükséges. A nyilvántartáshoz az operációs rendszer egy táblázatot használ, amit **folyamattáblázatnak** vagy **folyamatvezérlő blokknak** (Process Control Block – PCB) neveznek.

Ebben a táblázatban minden olyan információ tárolva kell legyen, ami ahhoz kell, hogy a folyamatot a futó állapotából a futásra kész állapotba hozzuk át, majd ha újra futó állapotba kerül, akkor úgy folytathassa a futását, mintha semmi sem történt volna.

A teljesség igénye nélkül egy folyamathoz tartozó ilyen adatok:

- a folyamat utasításszámlálója,
- a folyamat veremmutatója,
- a processzor regisztereinek adatai,
- a nyitott fájlok állapotinformációja,
- a memória (kapcsolódó) adatai,
- stb.

Szálak

A klasszikus operációs rendszerekben minden folyamatnak saját memóriaterülete és saját címtartománya van, és egyetlen végrehajtási folyamata. Azaz ha elindítunk egy programot a számítógépen, akkor a program utasítássorozata a kezdetétől az utolsó utasításig egy egyszerű, egymás utáni (szekvenciális) parancssorozatnak tekinthető. Ez ma is jellemzője a legtöbb programnak.

Néha előfordul, hogy a feladatunk szempontjából célszerűbb lenne, ha több „párhuzamosan” futó vezérlési szála lenne a folyamatnak. Ilyen eset lehet akár egy számsorozat-rendezési feladat a „Quick Sort” rendezési módszerrel: a sorban keresünk egy „középső” elemet, ami előtt ennél kisebbek, mögötte nagyobb elemek vannak. Így két részre bonthatjuk a sorozatot, és rögtön felötlík bennünk: de jó lenne „párhuzamosan” rendezni az alsó és a felső részt, hiszen ekkor valószínűleg gyorsabban befejeződne a feladatmegoldás.

Az ilyen párhuzamosan futó vezérlési szálak használatakor a szálak egy közös memóriaterület foglalnak, amit az eredeti folyamat címtartományából, memóriaterületéből kapnak. A vezérlési szálakat általában egyszerűen szálnak (thread) nevezik, de sokszor találkozhatunk a könnyűsúlyú folyamat (lightweight process) elnevezéssel is.

Egy szálnak vannak regiszterei az aktuális változók tárolására, van utasításszámlálója, ami mutatja az aktuálisan következő utasítást, és tartozik hozzá verem is, hiszen a függvények hívási módja megköveteli ennek meglétét.

Ha az információkat tárolni kell, márpedig ezek minden szála egyediék, akkor az adatokat is a folyamatokhoz hasonlóan egy táblázatban célszerű elraktározni. Ebben a táblázatban annyi bejegyzés van, ahány szálat létrehoz a folyamat.

A legjellemzőbb sajátosságok, amelyek egy folyamatban biztosan vannak, de egy szálaban (száltáblában) pedig biztosan nincsenek, a következők: *címtartomány*, *globális változók*, *nyitott fájlleírók*, *gyermekfolyamatok*, *jelzések* (szignálok²), *jelzéskezelők*, *függőben lévő ébresztők*.

Egy szálaban is biztosan nyilván kell tartani az alábbiakat (természetesen ezek egy folyamathoz is kötődnek):

- utasításszámláló,
- regiszterek,
- verem,
- szálállapot.

Természetesen ahogy a folyamatok, úgy a szálak is lehetnek „blokkolt”, „futásra kész” vagy éppen „futó” állapotban.

²Más néven jelzés. Egy esemény bekövetkeztéről szignál küldéssel értesíthetünk egy folyamatot.

Szálak megvalósítása

1. verzió

- A többszálú program saját ütemezőt tartalmaz, így egyetlen folyamatként fut, a szálak rejtve maradnak az operációs rendszer előtt (green thread).
- Kommunikáció folyamaton belül történik, közös memóriaterületen, nincs szükség rendszerhívásra.
- Szálak közötti kapcsolás felhasználói védelmi szinten történik, nincs szükség hozzá megszakításra, kivételre vagy rendszerhívásra.
- Egyik szál blokkolódik operációs rendszer ezt nem tudja, így az egész folyamatot blokkolja.

A mai operációs rendszerek általában támogatják a szálak használatát, így ezekben a kernel vezérli a szálfolyamatokat is, tehát a száltáblázatot is a kernel tárolja.

2. verzió

- Minden szál külön folyamatként fut, az operációs rendszer nem tud róla, hogy összetartoznak (native thread).
- Folyamatok egymástól függetlenül blokkolódhatnak vagy kerülhetnek vissza futáskész állapotba.
- Kommunikáció rendszerhívásokon keresztül történik.
- Szálak közötti kapcsolás lassú.
- Megoldás: operációs rendszernek tudnia kell a szálakról.

Látszólag a két változat között nem igazán lehet különbség, ám például a felhasználói szálkezelés jóval hatékonyabb, gyorsabb megoldást eredményez. Ebben az esetben viszont ha egy szál blokkolt állapotba kerül, mert például adatra vár, akkor az egész folyamat blokkolt állapotba jut, hiszen az ütemező nem tud a szálakról. Ebből a megfontolásból ma mindkét rendszerrel találkozhatunk.

A folyamatok ütemezése

A többfeladatos rendszerekben biztosítani kell azt, hogy az egyik folyamat után mikor és melyik folyamat kapja meg a processzorvezérlést. Az operációs rendszernek azt a részét, ami ennek eldöntéséért felel, **ütemező**nek nevezzük. Azt, hogy mi alapján és hogyan végzi ezt a feladatot az ütemező pedig az **ütemezési algoritmus**nak nevezzük.

Biztosan van folyamatváltás:

- ha befejeződik egy folyamat
- ha egy folyamat blokkolt állapotba kerül (I/O vagy szemafor miatt)
- ha új folyamat jön létre (újabb rendszerekben)
- I/O megszakítás bekövetkezés
- időzítő megszakítás (nem megszakítható ütemezés, megszakítható ütemezés)

Az ütemezési algoritmusoktól minden környezetben elvárjuk, hogy pártatlanok, illetve a kiválasztott elveket és a rendszeregyensúlyt megtartók legyenek. Az ütemezési algoritmusok is annak megfelelően csoportosíthatók, hogy milyen rendszerekről is van szó.

Ezért megkülönböztetjük az alábbi ütemezési csoportokat:

- **Kötegelt** rendszerekben³ fontos a processzor- (CPU-) kihasználtság, az egységnyi idő alatt végrehajtott feladatok száma.
 - Példák: pénzintézetek éjszakai vagy hétvégi feldolgozásai (pl. kamatok könyvelése), mentések, hálózati letöltések, víruskeresés
- **Interaktív** rendszerekben⁴ (pl. mai operációs rendszereink), a legfontosabb a felhasználói elvárásoknak való megfelelés és a kérésekre adott gyors válasz.
 - Példák: munka a számítógép előtt, azaz szövegszerkesztés, rajzolás, bizonyos játékok
- **Valós idejű** rendszerekben, a legfontosabb követelmény az, hogy a megfelelően előírt határidőket (válaszokat, reakciókat) be kell tartani, hiszen ettől valós idejű a rendszerünk.
 - Példák: a repülőgép robotpilótája, az üzemek vezérlő számítógépe, és a bankok automatái.

Kötegelt rendszerek ütemezése

Kötegelt rendszerben három fontosabb ütemezést különböztetünk meg.

Sorrendi ütemezés [FCFS (First Come First Served)]

- Nem preemptív.
- Sorrendi ütemezés, nem megszakítható.
- A legrégebben várakozó folyamatot választja ki futásra.
- A futásra kész folyamatok egy várakozási sor végére kerülnek, az ütemező pedig a sor elején álló folyamatot kezdi futtatni.
- Egy folyamat addig fut, amíg nem végez, vagy nem blokkolódik.
- Ha blokkolódik, a sor végére kerül.
- Pártatlan, egyszerű, láncolt listában tartjuk a folyamatokat.

Hátránya: Nagy lehet az átlagos várakozási idő⁵, mert egy hosszú CPU löketű⁶ folyamat feltarja a mögötte levőket és a perifériák is tétlenek. I/O igényes folyamatok nagyon lassan végeznek

Példa:

P_i	P_1	P_2	P_3
$C_i(ms)$	24	3	3

Végrehajtási sorrend: P_1, P_2, P_3

Várakozási idő: P_1 : 0 ms, P_2 : 24 ms, P_3 : 27 ms

Végrehajtási sorrend: P_2, P_3, P_1

Várakozási idő: P_1 : 0 ms, P_2 : 3 ms, P_3 : 6 ms

³Előre meghatározott sorrend szerint végrehajtandó feladatok együttese.

⁴Párbeszédre alapuló rendszer.

⁵Egy munka mennyi időt tölt várakozással (futásra kész állapot, várakozó állapot, felfüggesztett állapotok)

⁶A CPU löket idő az ameddig a folyamat a CPU-t használja

Legrövidebb (löklet)idejű [SJF (Shortest Job First)]

- Nem preemptív.
- Az a program kapja meg a vezérlést, amelyik (várhatóan) a legkevesebb ideig fogja foglalni a processzort a következő perifériaműveletig.

Legrövidebb hátralevő (löklet)idejű [SRTF (Shortest Remaining Time First)]

- Az SJF preemptív változata.
- Ha új folyamat lesz futásra kész, akkor megvizsgálja hogy a futó folyamat hátralevő lökletideje vagy az új folyamat lökletideje a kisebb. A környezetváltás idejét is figyelembe veszi.

Interaktív rendszerek ütemezése

Körbenjáró [RR: (**R**ound **R**obin)]:

- Preemptív⁷ algoritmus.
- A programokat egy kör mentén rendezzük sorba, egy program leállásakor a körben utána lévő első futóképes program kapja meg a processzort.
- Garantáltan minden program sorra kerül.
- Minden folyamat, amikor futni kezd kap egy időszeletet.
 - Ha a CPU lökete ennél nagyobb, az időszelet végén az ütemező elveszi a folyamattól a CPU-t és a futásra kész várakozási sor végére rakja.
 - Ha a CPU löklet rövidebb az időszeletnél, akkor a folyamatokat újraütemezzük, és a futó folyamat időszelete újraindul.
- Időszelet végén a körkörös listában következő lesz az aktuális folyamat.
- Pártatlan, egyszerű.

Hátránya: Nehéz az időszelet megfelelő méretének a meghatározása, mert a processz átkapcsolás időigényes. Nagy időszelet átmegy FCFS algoritmusba és interaktív felhasználóknak lassúnak tűnhet pl a billentyűkezelés. Kis időszelet esetén egyenlő mértékben használják a CPU-t, de sok a környezetváltás, ami rontja a teljesítményt.

Példa:

P_i	P_1	P_2	P_3
$C_i(ms)$	24	3	3

Legyen az időszelet $T_{szelet} = 4ms$

P_1	P_2	P_3	P_1	P_1	P_1	P_1	P_1
$4ms$	$3ms$	$3ms$	$4ms$	$4ms$	$4ms$	$4ms$	$4ms$

⁷Az aktuális processztól a kernel bizonyos idő után elveszi a vezérlést, és a következő várakozó folyamatnak adja

Időszlet (T_{szelet}) hatása a környezetváltás gyakoriságára

P_i	P_1	P_2	P_3
$C_i(ms)$	10	10	10

T_{szelet}	P_1	P_2	P_3
12ms	10ms	10ms	10ms

Környezetváltások száma: **0**.

T_{szelet}	P_1	P_2	P_3	$KV_1 P_1$	P_2	P_3
6ms	6ms	6ms	6ms	4ms	4ms	4ms

Környezetváltások száma: **1**.

T_{szelet}	P_1	P_2	P_3	$KV_1 P_1$	P_2	P_3	\dots	$KV_9 P_1$	P_2	P_3
1ms	1ms	1ms	1ms	1ms	1ms	1ms	\dots	1ms	1ms	1ms

Környezetváltások száma: **9**.

Prioritásos ütemezés

Az egyenlőség, futási erősség jelzésére prioritási szinteket definiálunk, és minden programhoz egy prioritási értéket rendelünk (rendszerint egy egész számot).

Például: Unix

- 0-49 nem megszakítható (kernel) priorítás,
- 50-127 user priorítás.

A legmagasabb prioritással rendelkező programok futnak először.

Ennek a módszernek a hátránya, hogy előfordulhat olyan eset mikor egy alacsony prioritású folyamat örökké várakozik. Ezért ezt a módszert így tisztán nem alkalmazzák, a prioritásokat bizonyos idő után korrigálják, hogy az alacsony prioritású programok is sorra kerüljenek.

A priorítás meghatározása

A priorítás meghatározása:

- *belső*: Az OS határozza meg
- *külső*: Az OS-en kívüli tényező határozza meg

A priorítás a futás során:

- statikus: végig azonos
- dinamikus: az OS változtatja

Prioritást sokszor a löketidő alapján határozzák meg.

A löketidő szükséglet meghatározása:

- a folyamat (felhasználó) bevallása alapján
- ellőző viselkedés alapján (a korábbi löketidők alapján becsli)

A kiéheztetés és elkerülése

- Kiéheztetés: A folyamat sokáig (esetleg soha) nem jut processzorhoz
- Prioritásos algoritmusoknál kiéheztetés felléphet. Ennek kivédése a folyamatok öregítése: A régóta várakozó folyamatok prioritását növeljük.

Prioritásos ütemezési algoritmusok

Legrövidebb (löklet)idejű [SJF (Shortest Job First)]

A köteget rendszerben használt algoritmus itt is használható.

- A legrövidebb becsült lökletidejű folyamatot választja ki futásra.
- A felhasználó által megadott és az előzmények alapján becsült lökletidőt veszi alapul.

Az első futási időt jelöljük T_1 -gyel, a következő időt T_2 -vel, és vegyünk egy x -szel jelölt, egynél kisebb súlyértéket. Ekkor a következő becsült (avagy súlyozott) futási időt tételezzük fel harmadszorra:

$$x * T_1 + (1 - x)T_2$$

- Legjobb válaszarány (HRR: Highest Reponse Ratio): A folyamat kiválasztásánál a lökletidőt és a várakozási időt is figyelembe veszi. Öregítést alkalmaz (aging), azaz a régóta várakozó folyamatok prioritását növeli.

A garantált ütemezés

Minden aktív folyamat arányos CPU időt kap, nyilván kell tartani, hogy egy folyamat már mennyi időt kapott, ha valaki arányosan kevesebbet akkor az kerül előre.

A sorsjáték-ütemezés

Mint a garantált ütemezés, csak a folyamatok között „sorsjegyeket” osztunk szét és az kapja vezérlést akinél a kihúzott jegy van.

Az arányos ütemezés

Úgy működik, mint a garantált, csak felhasználókra nézve.

Valós idejű rendszerek ütemezése

A valós idejű rendszerek kulcsa az idő. Ahogy láttuk korábban, az ütemezési algoritmusok pedig pontosan arról szólnak, hogy adott idő eltelte után ki legyen a következő futó. Ezek esetében is kulcsszerepe van az időnek.

Egy operációs rendszerben, ha a feladatainknak nemcsak azt szabjuk meg, hogy hajtsódjanak végre valamilyen korrekt ütemezés szerint, hanem az is egy kritérium, hogy egy adott kérést valamilyen időn belül ki kell szolgálni, akkor valós idejű operációs rendszerről beszélünk.

A valós idejű ütemezést két kategóriába sorolhatjuk.

- Hard Real Time (szigorú), abszolút, nem módosítható határidők.

- Soft Real Time (toleráns), léteznek a határidők, de ezek kis mértékű elmulasztása tolerálható.

A megfelelő határidők betartása úgy valósítható meg, hogy egy programot több folyamatra bontunk, és ezeknek a rövid (vagy rövidebb) folyamatoknak az ütemező biztosítja a számukra előírt határidő (vagy határidők) betartását. Ha a folyamatoknak egységnyi idő alatt N eseményük van, amelyek elvégzéséhez szükséges összes idő több mint egy, akkor az ilyet kezelhetetlenek tekintjük. Ha az összes idő kisebb, mint egy, akkor a valós idejű rendszer ütemezhető.

Szálütemezés

Röviden szóljunk befejezésül a szálak ütemezéséről. Két esetről beszélhetünk a szálak ütemezésével kapcsolatban.

A felhasználói szintű szálakról az operációs rendszer nem tud, így ebben az esetben az alkalmazás tud mindenről, akár arról is, hogy egy szál elhasználja a folyamat teljes idejét, és a többi szál pedig csak várakozik. Az ilyen szál önző viselkedése nem érinti a többi folyamatot, csakis a szál folyamatát, és esetlegesen a meglévő „testvér” szálait.

A kernel rendszerhívásszintű szálakról az operációs rendszer tud, és gyakorlatilag egyenrangúan kezeli azokat a folyamatokkal, tehát minden szál részt vesz az ütemezési folyamatban. Ebben az esetben a szálak közti kapcsolás gyakorlatilag a folyamatok közti kapcsolással azonos erőforrást igényel, és pontosan az a helyzet, mint a korábbi ütemezési algoritmusoknál.

A felhasználói szálváltás, amit nem is az ütemező végez, ehhez képest gyors, hiszen nem kell környezetváltást végezni, de ezt az ütemezést az alkalmazásnak kell tartalmaznia!

Párhuzamosság, kritikus szekciók, kölcsönös kizárás megvalósítása

Párhuzamosság és megvalósítása

A mai operációs rendszerek majdnem mindegyike a többfeladatos, multiprogramozásos modellt használja. Ez azt jelenti, hogy az operációs rendszer nyilvántartja az éppen „futó” folyamatokat, és gondoskodik arról, hogy ezek szép sorban végrehajtódjanak, biztosítva azt, hogy minden folyamatról úgy érezzük: „folyamatosan” működik. Ebben az esetben néha látszatpárhuzamosságról is beszélünk, különösen akkor, amikor egy processzor (CPU) van a rendszerben, megkülönböztetve ezt attól az esettől, amikor többmagos processzorral kiépített számítógépet használunk, netalán ebből nem is egyet. Ekkor a magok valódi párhuzamos működést mutatnak, ugyanazt a fizikai memóriát használva. Ebben a modellben a folyamatok párhuzamosságának alapja az, hogy a folyamatok egy szekvenciális végrehajtási sorra alakulnak. Ezekbe a folyamatokba beleértjük az operációs rendszer rendszerfolyamatait is.

Valódi párhuzamosság

- Többprocesszoros rendszerek
 - Akár processzorok százai egy számítógépben
 - Közös sín, közös órajel, akár közös memória és perifériák, gyors kommunikáció
 - Gazdaságos teljesítmény-növelés
 - A megbízhatóságot általában nem növeli!
- Klaszterek (fürtök)

- Önállóan is működőképes számítógépek együttműködése
- Egységes rendszer illúziója
- Lassú kommunikáció (tipikusan helyi hálózat)
- Magas rendelkezésre állás

Versenyhelyzetek

Amikor a futás kimenete attól függ, hogy melyik folyamat mikor és mennyit futott, azaz a párhuzamos végrehajtás következtében előforduló nem determinisztikus viselkedést versenyhelyzetnek nevezzük.

A versenyhelyzeteket nehéz reprodukálni és debuggolni, mivel a program működése nemdeterminisztikus, és az egymással versengő szálak közötti viszonylagos időzítéstől függ. Minden beavatkozás a program működésébe azzal járhat, hogy megváltozik a viszonylagos időzítés, így lehet, hogy a naplózás vagy a debuggoló rendszer teljesen kijavítja a hibát; ezek nélkül a program azonban továbbra is néha hibásan működik.

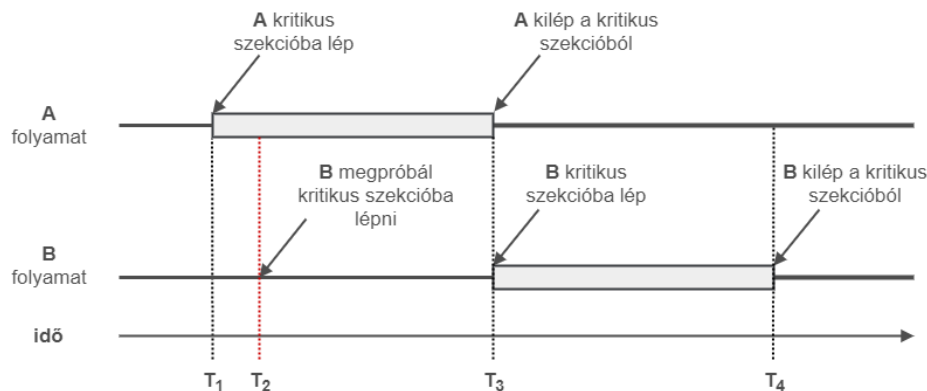
Kölcsönös kizárás és megvalósítása

A megosztott változók, vagy akár a megosztott fájlok használatánál keressük az ideális módszert arra, hogy ezeket az adatokat egy időben egynél több folyamat ne tudja használni (versenyhelyzet elkerülése). Ez azt jelenti, hogy a folyamatoknak kölcsönösen ki kell zárni egymást ezen megosztott erőforrások használata során.

A programok futásuk nagy részében végzik a mindenki mástól független számolási, írási, olvasási műveleteket. Azokat az utasításokat, azt a programrészt, amelyben a programunk a közös adatokat használja, kritikus területnek, **kritikus szakasznak** vagy kritikus blokknak nevezzük.

Annak biztosítására, hogy a párhuzamosan működő folyamataink korrekten együttműködjenek, ne alakuljon ki versenyhelyzet, az alábbi négy feltételnek kell teljesülni:

- Egyszerre legfeljebb egy folyamat lehet a kritikusszakaszban. (**Kölcsönös kizárás**)
- Ne legyen semmilyen előfeltétel a számítógép sebességéről, a processzorok számáról vagy a memória nagyságáról.
- A folyamat a kritikus szakaszon kívül ne blokkoljon másik folyamatot.
 - Ha egy folyamat sincs a kritikus szakaszban, és van olyan folyamat, amely be akar lépni, akkor csak a belépni kívánó folyamatok vehetnek részt annak eldöntésében, hogy ki lépjen be, és véges időn belül dönteniük kell. (**Haladás**)
- Egy folyamatnak se kelljen örökké várni arra, hogy sorra kerüljön.
 - A kritikus szakaszba belépni kívánó folyamatok közül minden folyamat előbb-utóbb kerüljön sorra. (**Korlátozott várakozás**)



2. ábra. A kölcsönös kizárás elvárt viselkedése

A két folyamat (az „A” és a „B” folyamatok) közti kölcsönös kizárás biztosítja, hogy egyidejűleg csak az egyik lehet a kritikus szekciójában. A „B” folyamat T_2 időpillanatban megpróbálja a kritikus szekcióját végrehajtani, de nem teheti, mert az „A” folyamat már a saját kritikus szekciójában van. A T_2 és T_3 időpillanat között a „B” folyamatnak várakoznia kell arra, hogy be tudjon lépni a saját kritikus szekciójába.

Megvalósítások

A kölcsönös kizárás biztosítása a megszakítások tiltásával

A legegyszerűbb megoldás a kölcsönös kizárás megvalósítására: a folyamat, mielőtt belépne a kritikus szakaszba, letiltja a megszakításokat, majd miután kilépett a kritikus szakaszból, újra engedélyezi a megszakításokat. Ezzel elérheti, hogy a kritikus szakasza alatt nem történik folyamatváltás, mivel az ütemező az óramegszakítás hatására cseréli le a folyamatokat. Ugyanezt éri el, ha csak az ütemezést vagy a folyamatváltást tiltja le a folyamat.

Ez a megoldási módszer valódi párhuzamos folyamatok esetén nem használható, mivel a megszakítások tiltása csak az adott processzorra vonatkozik. Továbbá nem szabad a felhasználói folyamatoknak ekkora hatalmat adni, mivel a rosszindulatú folyamatok nem kapcsolják vissza a folyamatváltást, így átveszik az uralmat a processzor (CPU) felett.

Az ismertetett megoldás a felhasználói programok esetén sem használatos, azonban a kerneleken belül gyakran alkalmazott módszer. A kernel a futása alatt tiltja a megszakításokat, így más folyamat nem futhat, amíg a kernelművelet véget nem ért. Az egyprocesszoros rendszereknél így tudja biztosítani a kernelműveletek atomi voltát (megszakíthatatlanságát).

Szigorú váltogatás

A következő megoldásban egy „zálog” nevű változó tartalmazza azt, hogy melyik folyamat léphet be a kritikus szakaszba.

```
#define FALSE 0
#define TRUE 1
int zalog;

while( TRUE ) {
    while( zalog != sorszámom );
    // Tevékeny várakozás.
    kritikus_szakasz();
    zalog = (zalog + 1) % folyamatok_száma;
    nem_kritikus_szakasz();
}
```

A második sorban lévő ciklus azt teszteli, hogy beléphet-e a folyamat a kritikus szakaszba, azaz a zálog az ő sorszámaival megegyezik-e. A ciklus magja egy üres utasítás, tehát csak a feltételt teszteljük folyamatosan. Ezt tevékeny várakozásnak nevezzük. A tevékeny várakozást általában kerülni kell, mivel nagyon pazarolja a processzor- (CPU-) időt. A másik probléma ezzel a megoldással, hogy a folyamatok sorba léphetnek csak be a kritikus szakaszba, ami megsérti a párhuzamos környezetben egy közös erőforrás használatakor javasolt feltételekből a harmadik feltételt, mivel ezáltal előfordulhat, hogy egy kritikus szakaszon kívüli folyamat sorszámaival azonos a zálog, és ekkor ez a folyamat blokkolja a zálogra váró folyamatokat.

Peterson megoldása (1981)

G. L. Peterson javította a szigorú változatot. Tegyük fel most azt, hogy két folyamat verseng egymással a közös erőforrás használatáért (processz = 0 és processz = 1). Mielőtt a folyamat belépne a kritikus szakaszba, meghívja a „belepes” eljárást, a kritikus szakasz végén pedig meghívja a „kilepes” eljárást. A „belepes” eljárás biztosítja, hogy szükség esetén várakozni fog a folyamat (mindezt tevékeny várakozással).

A megoldás lényege az, hogy a *verseng* nevű vektorban tároljuk azt, hogy mely folyamatok akarnak belépni a kritikus szakaszba. Ha csak az egyik folyamat akar belépni a kritikus szakaszba, akkor a *zalog* az övé lesz, ha a másik folyamat nem verseng. Tehát a várakozó ciklust „átugorjuk”. Ha ezután a másik folyamat is belép, akkor a *zalog* nála lesz, de a *verseng* nevű vektorból azt látja, hogy a már belépett folyamat verseng, tehát várakozni fog addig, amíg a kritikus szakaszból ki nem lép a folyamat, és meg nem hívja a *kilepes* eljárást. A *kilepes* eljárás a *verseng* nevű vektornak a folyamat sorszámaival indexelt elemét FALSE-ra állítja.

A TSL utasítás használata

Szoftveres megoldás helyett hardveresen biztosított a kritikus szakaszba lépés.

TSL (Test and Set Lock) utasítás, melynek működése a következő:

```
boolean TSL (boolean & zár) {  
    boolean érték = zár;  
    zár = true;  
    return érték;  
}
```

A TSL utasítástól elvárt, hogy legyen

- atomi
- megszakíthatatlan, és
- ugyanarra a zárra egyszerre csak egy processzor hajthatja végre

Ez által a szinkronizáció jóval egyszerűbbé válik:

- Belépés:

```
while (TSL(zár))  
; /* várakozik */
```

- Kilépés:

```
zár = false;
```

A modern processzorokban általában van ilyen utasítás, viszont a *korlátozott várakozás feltétele* nem teljesül!

TSL + korlátozott várakozás

A várakozó folyamatok nyilvántartásával kijavítható a megoldásunk:

- Belépés:

```
#define FALSE 0
#define TRUE 1

várakozik[i] = TRUE;
while (várakozik[i] && TSL (zár))
; /* vár */
várakozik[i] = false;
```

- Kilépés:

```
j = i + 1;
do {
    j = (j + 1) % n;
} while (j != i && !várakozik[j]);
if (j == i)
    zár = false;
else
    várakozik[j] = false;
```

Ez már mindhárom követelménynek eleget tesz (kölcsonös kizárás, haladás, korlátozott várakozás).

Az alvás-ébredés módszere

Az előzőekben említett megoldások komoly problémájának róható fel az, hogy tevékeny várakozással oldották meg a problémát, azaz egy ciklusban vizsgálták, hogy beléphetnek-e a kritikus szakaszba, vagy sem. Ezzel a módszerrel feleslegesen sok processzor- (CPU-) időt pazaroltak. A tevékeny várakozás a processzoridő pazarlása mellett fordított prioritási problémának nevezett hibalehetőséget is magában rejt. Tegyük fel, hogy az operációs rendszer prioritásos ütemezőt használ. Amíg van magas prioritású futásra kész folyamat, addig alacsonyabb prioritású folyamatot nem futtat. Legyen egy alacsony prioritású folyamat, amelyik a kritikus szekciójában van; ekkor egy magas prioritású folyamat tevékeny várakozásba kezd, amit az alacsonyabb prioritású folyamat tudna feloldani, ha be tudná fejezni a kritikus szekcióját, de soha nem kerül a processzorhoz, mivel az ütemező mindig a magas prioritású tevékenyen várakozó folyamatot választja.

A tevékeny várakozás feloldására javasolt egyik eszköz a sleep-wakeup páros. A sleep egy olyan rendszerhívás, amely blokkolja a hívó folyamatot, a wakeup pedig olyan rendszerhívás, amely felébreszti a paraméterül kapott alvó folyamatot.

Példa az alvás-ébredés módszerére: a gyártó-fogyasztó probléma

A sleep-wakeup használatára tekintsük példaként a gyártó-fogyasztó problémát. Van egy gyártó és egy fogyasztó folyamatunk. A gyártó termel, és a termelt árut elhelyezi egy tárolóban.

A fogyasztó fogyaszt úgy, hogy a tárolóból kiveszi az árut. A tároló kapacitása véges

- ha megtelik, a gyártást le kell állítani;
- ha kiürül, a fogyasztónak várnia kell, amíg újra áru kerül a tárolóba.

Amikor a gyártó egy új árut rak a tárolóba, és a tároló megtelik, akkor elmegy aludni, majd amikor a fogyasztó kivesz árut a tárolóból, akkor felébreszti a gyártót. Fordítva is hasonlóan: amikor a fogyasztó szeretne kivenni árut a tárolóból, de azt látja, hogy kiürült, akkor elmegy aludni, majd amikor a gyártó árut helyez el a tárolóban, akkor felébreszti az alvó fogyasztót.

Legyen egy „DB” nevű változó, amely a tárolóban lévő elemek számát, illetve egy „KAPACITÁS” nevű változó, ami a tároló kapacitását tartalmazza.

Versenyhelyzet előfordulhat ebben a megoldásban. Tegyük fel azt, hogy a tároló üres, és a fogyasztó kiolvassa a „DB” nevű változó értékét, majd az ütemező átadja vezérlést a gyártónak, aki betesz egy árut a tárolóba, és növeli a „DB” nevű változó értékét egyre. A gyártó látván azt, hogy a „DB” nevű változó értéke eggyel egyenlő (azaz $DB=1$), ébresztést küld a fogyasztónak, aki még nem alszik (tehát az ébresztés elmarad). Amikor a vezérlés visszakerül a fogyasztóra, a korábban kiolvasott „DB” nevű változó nulla értéke miatt (azaz $DB=0$) elmegy aludni. A gyártó szép lassan megtölti a tárolót, majd elmegy ő is aludni. Ezt követően mindkét folyamat alszik, és a másikra vár, hogy felébressze. Tehát így „örökké” aludni fognak. A probléma akkor történt, amikor a nem alvó folyamatnak küldtek ébresztést. Ez az ébresztés elveszett. Meg lehetne oldani, hogy az ilyen ébresztést elrakjuk, és amikor el akarna aludni a folyamat, akkor megnézi, van-e talonba ébresztése; ha igen, akkor nem alszik el, csak a talont felhasználja.

Sorszámhúzásos szinkronizáció

A sorszámhúzásos szinkronizáció tetszőleges számú folyamatra alkalmazható. Működése az ügyfélfogadó rendszerek mintájára épül. Ez mindhárom követelménynek eleget tesz (közös kizárás, haladás, korlátozott várakozás).

Szemaforok, osztott memória, üzenetküldés

Szemaforok

A szemafor egy új, egész értékű típus. Általános célú megoldás, a szinkronizáció megkönnyítésére.

- Ha a szemafor értéke > 0 , szabad a pálya, beléphetünk a kritikus szakaszra.
- Két atomi művelet (plusz kezdőértékadás)
 - Ha belépünk egy kritikus szekcióba, csökkentjük szemafor értékét;
 - *down(S)*: Ha S értéke zérus, várakozik, míg S pozitívvá nem válik. Egyébként, ill. ezután S-t eggyel csökkenti.
(Eredetileg: $P(S)$, a holland *proberen*, megpróbálni szóból.)
 - Ha kilépünk egy kritikus szekcióból, növeljük a szemafor értékét.
 - *up(S)*: S értékét eggyel növeli.
(Eredetileg: $V(S)$, a holland *verhogen*, megemelni szóból.)
 - Megengedett, hogy egyszerre több down művelet legyen várakozó állapotban

Ha a szemafor tipikus vasutas helyzetet jelöl, azaz 1 vonat mehet át csak a jelzőn, a szemafor értéke ekkor 0 vagy 1 lehet. Ez a *bináris szemafor*, vagy más néven ***mutexnek*** (Mutual Exclusion) nevezzük, és kölcsönös kizárásra használjuk.

Rendszerhívással, felhasználói szinten nem biztosítható a műveletek atomiságának megvalósítása. Művelet elején például letiltunk minden megszakítást. Ha több CPU van, akkor az ilyen szemafort védeni tudjuk a TSL utasítással. Viszont ezek a szemafor műveletek kernel szintű, rendszerhívás műveletek. A fejlesztői környezetek biztosítják.

Szemaforok alkalmazásai

- Kezdetben legyen $\text{mutex} = 1$.
- Belépés: `down(mutex);`
- Kilépés: `up(mutex);`

```
while (1) {  
    down(mutex);  
    kritikus_szekcio();  
    up(mutex);  
    nem_kritikus_szekcio();  
}
```

- Tetszőleges számú folyamatra működik.
- Kölcsönös kizárás és a haladás feltétele teljesül.
- Korlátozott várakozás teljesítése az *up* implementációjától függ.
- Ha mutex értékét k -ról indítjuk, egyszerre legfeljebb k darab folyamat lehet a kritikus szekcióban.
- Már két utasítás felcserélése is gondot okozhat.

Szemaforok implementációja

Egyszerű implementáció:

- `down(S):`
 `while (S <= 0); /* vár */`
 `S = S-1;`
- `up(S): S = S+1;`

Feltételezések:

- S értékváltoztatásai atomiak
- A *down* műveletben a ciklusfeltétel hamissá válása és az értékcsökkentés együtt is oszthatatlan művelet

Általában processzorok speciális utasításai segítik az implementációt.

A szemafor és a mutex közti különbség: Az a különbség, hogy míg utóbbi csak kölcsönös kizárást tesz lehetővé, azaz egyszerre mindig pontosan csakis egyetlen feladat számára biztosít hozzáférést az osztott erőforráshoz, addig a szemafort olyan esetekben használják, ahol egynél több - de korlátos számú - feladat számára engedélyezett a párhuzamos hozzáférés

Monitorok

A szemaforral ellentétben a monitor egy magasabb szintű, objektum elvű, objektumorientált művelet. Ezt a programszerkezetet C.A.R Hoare angol programfejlesztő dolgozta ki 1974-ben. A monitor objektum egy több szál által használt eljárás nem párhuzamos végrehajtását teszi lehetővé, azaz nem folyamat szintű művelet. Ötvözi az objektum orientált programozást a szinkronizációs metódusokkal.

A monitor objektuma következőkből áll:

- osztott adat
- ezeket az adatokat feldolgozó eljárások
- monitort inicializáló metódusok

A megvalósításhoz három dologra van szükség:

- feltételváltozó és
- két művelet
 - wait(): Az állapot bekövetkeztére vár, eközben más folyamatok is beléphetnek a monitorba
 - signal(): Jelzi az állapot bekövetkeztét. Ha nincs az állapotra váró folyamat, nem csinál semmit; egyébként kiválaszt egy várakozó folyamatot, és felébreszti

A kritikus adatokhoz csak szinkronizált műveleteken keresztül lehet hozzáférni.

Minden eljárás halmazt egy monitor kontrolál. A többszálás alkalmazás futásakor, a monitor egyetlen szálnak engedélyezi egy adott időpontban az eljárás végrehajtását. Ha egy szál éppen egy monitor által kontrolált eljárást akar futtatni akkor az lefoglalja a monitort. Abban az esetben ha a monitor már foglalt akkor a belépni szándékozó szál várakozik amíg a monitort lefoglaló szál befejezi az adott eljárás végrehajtását és felszabadítja a monitort.

Előnye, hogy a közösen használandó erőforrások és az erőforrásokon végrehajtható műveletek egyetlen szintaktikus egységben helyezkednek el.

A monitor és a szemafor összehasonlítása:

- A monitor magasabb szintű eszköz. Magas szintű, objektumorientált nyelvek esetében (pl. Java) roppant egyszerűen használható.
- A szemaforok segítségével rugalmasabban kezelhetők a kritikus szakaszok, hiszen nem kell beágyazott módon, előre elkészíteni az összes kritikus szakaszt.
- A szemaforokkal több kritikus erőforrás használatát könnyebb általában összekombinálni egy kritikus szakaszon belül.

Ha olyan osztott, többprocesszoros rendszert használunk, ahol a központi egységeknek saját memóriájuk van, akkor ezek a módszerek nem igazán használhatóak.

Az üzenetküldéses paradigma

Ha a párhuzamos programot – a programfejlesztés valamilyen szintjén – egymástól független, egymással kommunikáló szekvenciális folyamatok halmazaként fogjuk fel, akkor a kommunikációt tekintve alapvetően két fajta programozási paradigmáról beszélhetünk.

Az első az osztott memóriás modell, amelyben a futó folyamatok ugyanahhoz a (nem feltétlenül fizikai) memóriához férnek hozzá.

A második pedig az üzenetváltásos modell, amelyben minden egyes folyamat a többi által nem elérhető memóriát használ, a kommunikációt pedig a folyamatok közötti (szinkron, aszinkron, illetve a kettő közötti átmenetnek megfelelő) üzenetek biztosítják.

Az, hogy a programfejlesztési modellünk üzenetváltásos modell, nem jelenti feltétlenül azt, hogy végül az implementált programnak is feltétlenül „üzenetváltásos” hardveren kell futnia. Természetesen igaz az, hogy az üzenetváltásos modellnek megfelelő algoritmusok, programok egyszerűbben és általában hatékonyabban implementálhatók üzenetváltásos architektúrákon. (Valamint az osztott memóriás modell alapján készült programok egyszerűbben és hatékonyabban implementálhatók osztott memóriás hardveren.)

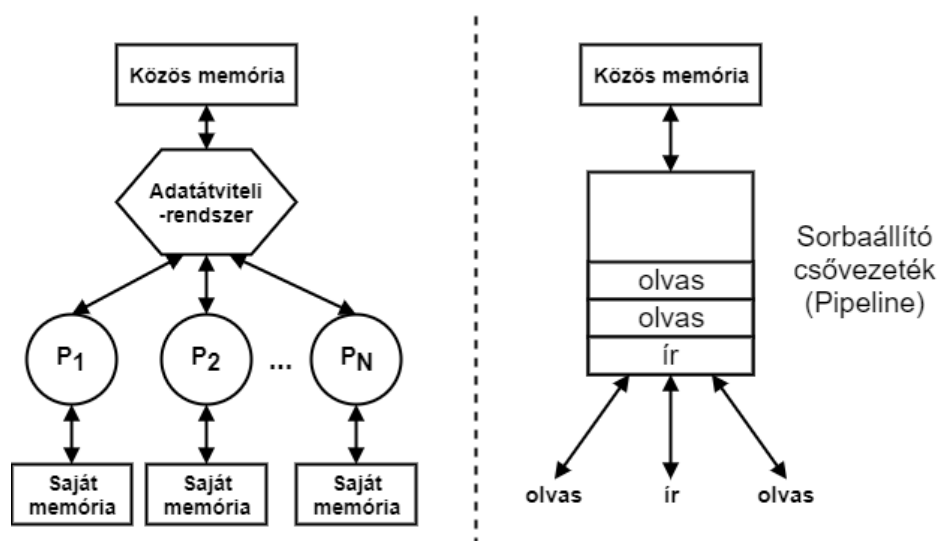
Osztott memória

A megosztott memória segítségével megoldható, hogy különböző folyamatok ugyanazt a memóriaterületet közösen használják. A közösen használt memóriaterület lehetőséget ad az adatok megosztására és a gyors kommunikációra. A rendszer csak a hozzáférési jogosultságokat kezeli, tehát az egyidejű közös erőforrás-használat következményeként versenyhelyzet alakulhat ki. A versenyhelyzetek kezelése a felhasználói folyamatok feladata.

Közös memórián keresztül történő adatcsere esetén az együttműködő folyamatok mindegyike saját címtartományában lát egy közös memóriát.

A közös memória elérését (a közös memória címtartományára kiadott olvasás vagy írás művelet végrehajtását) valamilyen adatátviteli rendszer (kapcsolóhálózat, sín stb.) teszi lehetővé.

A folyamatok párhuzamos futása miatt a közös memóriát egyidejűleg több folyamat is írhatja, illetve olvashatja. Ilyen esetekre a RAM-modell nem határozza meg a memória működését, ezért a közös memóriát a RAM-modell kiterjesztésével kapott PRAM (Pipelined Random Access Memory) modell szerint kell kialakítani.



3. ábra. Folyamatok együttműködése PRAM szerint működő közös memórián

A PRAM-modell szerint működő memóriát több processzor írhatja és olvashatja egyidejűleg. Az olvas és írás műveletek egyidejű végrehajtására a RAM-modellhez képest az alábbi kiegészítések vonatkoznak:

- olvasás-olvasás ütközésekor mindkét olvasás ugyanazt az eredményt adja, és ez megegyezik a rekesz tartalmával,
- olvasás-írás ütközésekor a rekesz tartalma felülíródik a beírni szándékozott adattal, az olvasás eredménye vagy a rekesz régi, vagy az új tartalma lesz, más érték nem lehet,
- írás-írás ütközésekor valamelyik művelet hatása érvényesül, a két beírni szándékozott érték valamelyike írja felül a rekesz tartalmát, harmadik érték nem alakulhat ki.

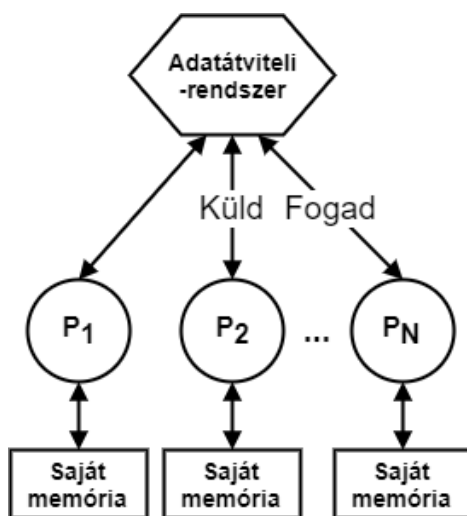
Ezek a szabályok lényegében azt jelentik, hogy az egyidejű műveletek nem interferálhatnak, azaz nem lehet közöttük zavaró kölcsönhatás. Hatásuk olyan lesz, mintha valamilyen előre nem meghatározható sorrendben hajtódnának végre (ezt tükrözi a pipelined elnevezés, arra utalva, hogy a memóriához egy sorosítást végző csővezetéken jutnak el a parancsok). Másként fogalmazva, ezek a műveletek a modell szintjén oszthatatlanok (atomiak).

A közös memória használatával történő adatcsere helyes lebonyolításához a PRAM-modell szerint működő memória mellett a folyamatok működésének összehangolása is szükséges (például az adat fogadója akkor olvassa el az adatot, ha a küldő már elhelyezte azt; összetett adatok átadásakor félig átírt rekordot ne kezdjen olvasni a fogadó stb.). Ez ismét a folyamatok szabadon futásának (aszinkronitásának) korlátozását jelenti, azaz szinkronizációt igényel.

Üzenetküldés

Üzenetváltásos adatcsere esetén a folyamatoknak nincs közös memóriája. Az adatátviteli rendszer most a logikai processzorokat kapcsolja össze. Rajta keresztül a folyamatok üzeneteket tudnak küldeni, illetve fogadni. Az üzenetküldésre, illetve fogadásra a folyamatok logikai processzorainak utasításkészletében megfelelő utasítások állnak rendelkezésre. Legyenek ezek a Küld (Send) és a Fogad (Receive) műveletek.

A Küld(< cím >, < folyamat >) művelet végrehajtásakor a műveletet végrehajtó folyamat elküldi a saját memóriájának megadott címén tárolt adatot a megadott folyamatnak, a *Fogad*(< cím >, < folyamat >) művelet pedig végrehajtásakor a megadott folyamattól érkező üzenetet a saját memória megadott címén tárolja.



4. ábra. Folyamatok együttműködése üzenetváltással

Míg gyakorlatilag valamennyi közös memóriás információcserét alkalmazó megoldás a PRAM-modellre alapul, az üzenetközvetítésre nincs egyetlen elfogadott modell. Ha csak a működés logikájával foglalkozunk, és olyan lényeges kérdéseket nem is érintünk, mint az átviteli sávszélesség,

az összeköttetés megbízhatósága, az üzenetszerkezet, az átviteli közeg sajátosságai, a kapcsolatépítés esetleges dinamikája, akkor is számos tulajdonságot találunk, amelyekben az egyes megoldások eltérhetnek, és amelyek ismerete fontos a felhasználók (rendszertervezők, programozók, üzemeltetők) számára. A folyamatok kommunikációs műveleteinek tulajdonságaival ezért külön pontban foglalkozunk.

Folyamatok kommunikációja

A folyamatok együttműködésének másik alapmodellje a közös memóriás együttműködés mellett az üzenetváltásos együttműködés, azaz a folyamatok közötti kommunikáció. Az üzenetváltásos együttműködés akkor került előtérbe, amikor realitássá vált több, adatátviteli vonalon, vagy hálózaton keresztül összekapcsolt számítógép együttműködése.

Azonkívül, hogy a logikai processzor utasításkészletében szerepel *Küld* és *Fogad* művelet, a kommunikáció működésével, tulajdonságaival kapcsolatban számos nyitott kérdés maradt, és megállapítottuk, hogy nincs egyetlen tiszta modell, amelyet a megoldások követnek.

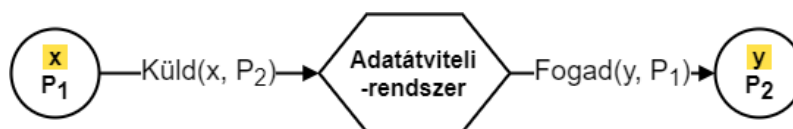
Néhány a legkézenfekvőbb kérdések közül:

- Milyen megnevezést használhatnak a kommunikáló partnerek, hogy egymásra találjanak?
- Milyen szemantikai konzisztenciának kell fennállni a küldés és a fogadás között?
- Milyen járulékos (implicit) szinkronizációs hatása van a kommunikációnak?

A partner megnevezése

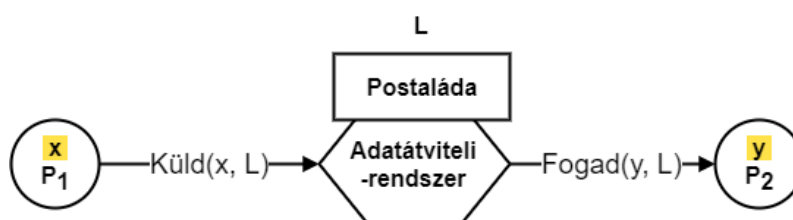
Megnevezés tekintetében beszélhetünk közvetlen (direkt), közvetett (indirekt), valamint aszimmetrikus kommunikációról, illetve megnevezésről, továbbá csoportkijelölésről és üzenetszórásról.

A közvetlen (direkt) kommunikáció két folyamat között zajlik, mind a *Küld*, mind a *Fogad* művelet megnevezi a partner folyamatot (5. ábra). P_1 elküldi a saját címtartományában tárolt x változó értékét P_2 -nek, aki azt saját y változójába teszi el. (Ha a változók közös címtartományban lennének, egyszerűen $y := x$ értékadást használhatnánk, így azonban kommunikációs műveletek szükségesek.)



5. ábra. Kommunikáció direkt megnevezéssel

Közvetett (indirekt) kommunikáció esetén a partnerek nem egymást nevezik meg, hanem egy közvetítő objektumot, (például postaládát, vagy csatornát). A postaládán keresztül bonyolódó kommunikációt a 6. ábra szemlélteti.



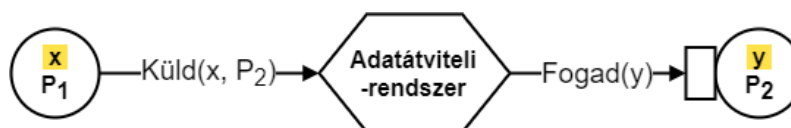
6. ábra. Kommunikáció indirekt megnevezéssel

A postaláda egy általában véges, de elméletileg esetleg korlátlan befogadóképességű, az üzenetek sorrendjét megtartó (FIFO) tároló, amely a *Küld-Fogad*, (betesz-kivesz) műveletpárral kezelhető.

A Küld(< cím >, < postaláda >) művelet a saját címtartományban elhelyezkedő üzenetet a postaláda következő szabad tárolóhelyére másolja. Ha a postaláda tele van, ürülsig várakozik. A Fogad(< cím >, < postaláda >) művelet a postaládjában legrégebben várakozó üzenetet kimásolja a megadott, saját címtartománybeli címre, helyét pedig felszabadítja.

A csatorna olyan kommunikációs objektum, amelyik két folyamatot kapcsol össze. A csatorna lehet egyirányú (szimplex), osztottan kétirányú, azaz egyidejűleg egyirányú, de az irány változtatható (félduplex), vagy kétirányú (duplex). Tartalmazhat 0, véges vagy végtelen kapacitású átmeneti tárolót. Egy véges tárolókapacitású duplex csatorna egyenértékű két véges befogadóképességű postaládjával, amelyeket csak két folyamat használ, egyiket egyik irányú, másikat az ellenkező irányú adatcserére.

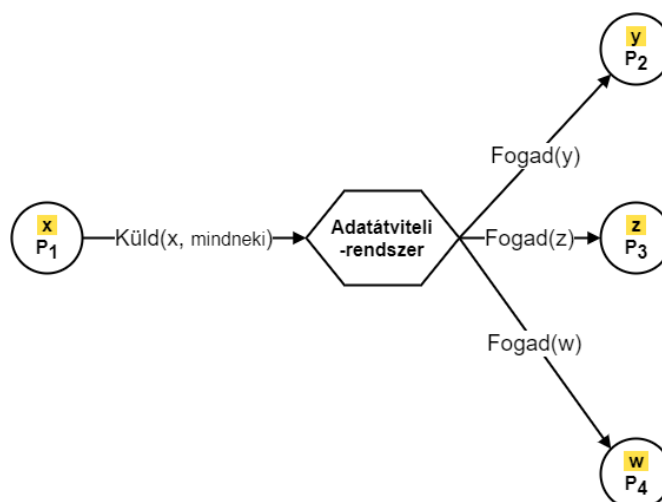
A postaláda és a csatorna lazítja a kommunikáló folyamatok közötti csatolást, lehetővé teszi, hogy olyan folyamatok is információt cseréljenek, amelyek nem ismerik egymást.



7. ábra. Kommunikáció asszimetrikus megnevezéssel

Aszimmetrikus megnevezés esetén az egyik folyamat, az adó vagy vevő, megnevezi, hogy melyik folyamattal akar kommunikálni, a másik partner viszont egy saját be-/kimeneti kaput (port) használ, amelyiket – ha csak egy van – nem is kell megneveznie. Ha az üzenet vevője használ bemeneti kaput, akkor a műveletek alakja Küld(< cím >, < folyamat >), Fogad(< cím >). Ez a megoldás azokban az esetekben hasznos, amikor a fogadó folyamat nem ismeri a küldőt, de a küldő ismeri a fogadót, például egy ügyfél folyamat szolgáltatási kérelmet küld egy szolgáltató folyamatnak (kliens–szerver modell). A fordított irányú aszimmetria alkalmazására pedig egy feladat lebontását és szétosztását végző menedzser folyamat és több, munkáért versengő végrehajtó folyamat kapcsolata lehet példa. A küldő a kimeneti portjára küldi az elvégzendő feladatot tartalmazó üzenetet, a fogadó pedig az első ráérő feldolgozó lesz (farmer–worker modell).

Csoportkommunikáció esetén az üzenet küldője folyamatok (esetleg kommunikációs objektumok) egy csoportját nevezheti meg vevőként. Ilyenkor egyetlen üzenetküldő művelet végrehajtása azt eredményezi, hogy az üzenetet a csoport valamennyi tagja megkapja. Az üzenetszórás (broadcasting) logikailag a csoportkommunikáció azon esete, amikor az egyetlen művelettel elküldött üzenet a rendszer valamennyi folyamatához eljut (8. ábra).



8. ábra. Kommunikáció üzenetszórással

A csoportkommunikáció lehetősége lényegesen egyszerűsíti a küldő műveleteit, ha több folyamattal akarja ugyanazt az információt közölni. Bizonyos típusú fizikai átviteli közegeken a csoportkommunikáció igen hatékonyan valósítható meg (például sín-topológiájú összeköttetések, rádiókommunikáció).

Szemantikai konzisztencia

Most azt szeretnénk tisztázni, hogy mi történik a kommunikációs műveletek végrehajtásakor, milyen hatása van a műveleteknek az egyes folyamatok állapotterére (változókra, kommunikációs objektumokra), milyen minimális konzisztencia-feltételt kell betartani a műveletek megvalósításakor.

Az üzenetváltásos modell akkor került előtérbe, amikor több számítógépet kapcsoltak össze egy rendszerre adatátviteli vonalon, vagy hálózaton keresztül. Ilyenkor fel kell készülni olyan rendkívüli esetekre is, hogy a partner folyamatot futtató számítógépet esetleg kikapcsolták, vagy a nagyobb távolságot áthidaló átvitel közben az adatok sérülnek, hiszen a hibalehetőség lényegesen nagyobb, mint az egyetlen chipben, dobozban, esetleg egyetlen kártyán elhelyezkedő egységek közötti átvitel esetén.

Az üzenettovábbítás műveleteivel szemben ezért elvárás, hogy a műveletet végrehajtó folyamat ne fagyjon be sem átviteli hibák, sem a partner folyamatok kiesése esetén, és a kommunikációs műveletek helyes vagy hibás végrehajtásáról szerezzen tudomást.

A műveletek helyességének visszajelzésére az egyik szokásos megoldás egy állapotkód visszaadása, amelynek egyik értéke a helyes végrehajtás, további értékei pedig az előforduló hibakódok lehetnek.

Egy másik megoldás lehet a logikai processzor szintjén megvalósított hiba-megszakítás, ami a folyamat végrehajtását a hiba felderítéséhez és a folytatáshoz szükséges információk tárolását követően egy hibakezelési pontra (exception handler) irányítja. A partner folyamat kiesését szokásosan a műveletekre megszabott időkorlát (time-out) figyelésével észlelik. A kommunikációs művelet az időkorlát elérésekor hibajelzéssel akkor is befejeződik, ha a partner válaszának hiánya, vagy a kommunikációs közeg hibája miatt az adatcsere még nem történt meg. A folyamatok programozásához megfelelő rugalmasságot nyújt, ha lehetőség van a kommunikációs műveletekre vonatkozó időkorlát paraméterként történő megadására.

A hibajelzéssel és időkorláttal kiegészítve közvetlen kommunikáció esetén a műveletek a következő alakúak:

- Küld(< cím >, < folyamat >, < időkorlát >, < hibakód >), illetve
- Fogad(< cím >, < folyamat >, < időkorlát >, < hibakód >).

Az időkorlát lehetséges értékei között célszerű a 0 és a végtelen értékét is megengedni. A 0 várakozás például akkor hasznos, ha egy fogadó folyamat működésének egy pontján csak akkor akar üzenetet fogadni, ha azt már elküldték, egyébként van más teendője. A < végtelen > várakozás pedig az olyan folyamatok esetén szükséges, amelyeknek nincs teendője, amíg valaki egy üzenettel el nem indítja.

A Küld művelet szemantikáját tekintve elsősorban az a kérdés merül fel, hogy okozhat-e várakozást a művelet, és mi az, ami az adatcseréből a művelet befejeződésekor, azaz a folyamat továbblépésekor már megtörtént.

A lehetséges megoldásváltozatok közül az egyik véglet: a Küld művelet akkor fejeződik be, amikor az adatcsere teljes egészében befejeződött, a küldött üzenet rendben megérkezett és a helyére

került. Ez a megoldás általában a *Küld* művelet várakozását is okozhatja, a végrehajtás során ellenőrzések, esetleg hibajavítások is történhetnek. A megoldás ahhoz hasonló, mint amikor tértivevényes levelet küldünk valakinek, és addig nem lépünk tovább, amíg a tértivevény aláírva vissza nem érkezett.

A másik véglet az lehet, hogy a *Küld* befejeződésekor az üzenet csupán bekerült a kommunikációs rendszerbe, de további sorsáról semmit sem tudunk. Ilyenkor a *Küld* művelet általában sohasem várakozik. Ez a megoldás ahhoz hasonló, mint amikor valakinek úgy küldünk levelet, hogy egyszerűen bedobjuk a postaládába, és továbbmegyünk.

A két véglet között számos köztes megoldás létezhet (például az üzenet elhagyta azt a processzort, amelyiken a küldő folyamat fut stb.).

Valamennyi megoldás esetén be kell tartani azt a minimális konzisztencia-feltételt, hogy amennyiben nincs hibajelzés, az elküldött üzenetet tartalmazó terület a küldő folyamat saját memóriájában (a $< \text{cím} >$ tartalma) a *Küld* befejeződése után – akár a következő utasítással – felülírható legyen. Ennek már nem szabad hatással lennie az elküldött üzenetre.

A *Fogad* művelet megvalósításai általában várakozást okozhatnak abban az esetben, ha még nem érkezett üzenet. A művelet egyszeri végrehajtása pontosan egy üzenetet helyez el a fogadó folyamat saját memóriájába akkor is, ha esetleg több várakozó üzenet van a folyamat számára a kommunikációs rendszerben. Az üzenetek érkezési sorrendben fogadhatók, minden üzenet csak egyszer, azaz a fogadás törli az üzenetet a kommunikációs rendszerből. Postaláda, illetve bemeneti kapu használata esetén kérdés, hogy a fogadó tudomást szerez-e arról, hogy ki az üzenet küldője. Erre általában szükség van, hiszen az üzenetre gyakran választ kell küldeni. Ha a kommunikációs rendszer ezt az információt nem közli automatikusan, a folyamatoknak kell gondoskodniuk arról, hogy a küldő azonosítható legyen az üzenet tartalma alapján.

Járulékos (implicit) szinkronizáció

A kommunikációs műveletek általában a kommunikációban résztvevő folyamatok szabadonfutásának korlátozását okozzák. Az egyes műveletekkel járó szinkronizációs mellékhatás elsősorban a kommunikációs rendszer átmeneti tárolójának (puffer) kapacitásától függ.

Tárolás nélküli átvitel esetén a kommunikációs rendszer csak közvetít, de a *Küld* és *Fogad* műveleteknek be kell várnia egymást ahhoz, hogy az információcsere megtörténhessen. A két folyamat ezen utasításaira egyidejűség érvényes (a *Küld* és a *Fogad* randevúja).

Véges kapacitású tároló alkalmazása bizonyos keretek között kiegyenlíti a küldő és fogadó folyamatok sebességingadozásait. A fogadó folyamat várakozik, ha üres az átmeneti tároló, a küldő folyamat pedig akkor, ha nincs szabad hely a tárolóban. Ugyanazon üzenet elküldésének meg kell előznie az üzenet fogadását, tehát ezen műveletekre sorrendiség (precedencia) érvényesül. Emellett egy rövid távú szinkronizációs hatás is érvényesül, magának a tárolónak a kezelése általában kölcsönös kizárással valósul meg, azaz két folyamat ugyanazon kommunikációs objektumra hivatkozó kommunikációs műveleteinek megvalósítási részleteit szemlélve egyes szakaszokra kölcsönös kizárás áll fenn.

Végtelen kapacitású tároló (csak modellben létezik) esetén a küldő folyamatnak sohasem kell várakoznia, egyébként a véges kapacitású tárolóra elmondottak érvényesek.

Be- és kimeneti eszközök ütemezési lehetőségei, holtpontok

Be- és kimeneti eszközök ütemezési lehetőségei

Periféria kezelési módszerek:

- Programozott
 - közvetlen szoftver ütemezés
 - lekérdezéses ütemezés
- Megszakításos
- DMA

Programozott periféria kezelés

Közvetlen szoftver ütemezés

Egyes perifériáknál nincs szükség szinkronizálásra mert vagy nincs mihez szinkronizálódni (pl: egy kijelzőt meghajtó regiszter, egyszerű bementi port), vagy a periféria egy művelet elindítása után a következő utasítás végrehajtására már biztosan elkészül (gyors A/D konverter). Az ilyen perifériákhoz a processzor tetszőleges időpontban fordulhat.

Lekérdezéses ütemezés

Ha a periféria sebessége olyan, hogy egy perifériás művelet néhány utasítás végrehajtási időn belül fejeződik be, akkor a szinkronizálást státusz figyeléssel célszerű megoldani.

Lassú periféria esetében sok várakozással jár , ami alatt a CPU nem végez érdemleges működést. Ezért csak akkor engedhető meg, ha CPU egyéb feladatait így is képes elvégezni . Az igényelt hardver tekintetében általában a lekérdezéses ütemezés a legolcsóbb megoldás.

Program megszakításos periféria kezelés

Ha a periféria csak viszonylag hosszú idő vagy előre kiszámíthatatlan idő múlva lesz kész az újabb adatátvitelre, a lekérdezéses ütemezés feleslegesen foglalja a processzor idejét. Ezért ilyenkor interruptos periféria kezelést célszerű alkalmazni.

A perifériához fordulást maga a periféria kezdeményezi egy logikai jellel a CPU vagy IT vezérlő interrupt kérő bemenetén. Az interruptot hardvertől függően az IT vonal szintje (szintérzékeny IT), vagy a jel valamely éle (élérzékeny IT) váltja ki.

Az IT kezdeményezés hatására valamilyen mechanizmussal előbb-utóbb egy speciális szubrutinra (interrupt rutin) adódik a vezérlés, ami elvégzi a periféria kezelését . Mivel a CPU és a periféria szinkronizálása automatikus, nem kell feleslegesen státusz figyeléssel tölteni az időt.

Az interruptos kezelés a program áttekinthetőségét is növeli . Mivel az IT rutinban nem a periféria kezelését szolgáló, ugyanakkor mindig végrehajtandó feladatok is vannak (regiszter mentés, regiszter visszaállítás, stack kezelés), túl sűrűn érkező IT-k szintén leronthatják a CPU kihasználtságát. IT-s periféria kezelést akkor célszerű alkalmazni, ha:

- a CPU sebessége elegendő a periféria kezelésére és

- az interruptok várhatóan nem túl sűrűn jönnek , közöttük a CPU elég sok utasítást képes végrehajtani, vagy
- ha az interrupt bekövetkezésének időpontja véletlenszerű , de ha bekövetkezik, akkor gyorsan ki kell szolgálni,
- az interrupt alatt elvégzendő feladatok nem vesznek túl sok időt igénybe, vagy ha igen, akkor azt egyéb IT is megszakíthatja (többszintű IT rendszer).
- az interruptos szervezés a program strukturáltságát, áttekinthetőségét szolgálja.

A közvetlen memória hozzáférés (DMA)

- Ha a processzor sebessége nem elegendő az adatátvitel lebonyolítására a periféria és memória között, DMA-s kezelést kell alkalmazni.
- Az ún. DMA vezérlő segítségével a processzort kikerülve, közvetlen adatátvitel lehetséges a memória és a periféria között. Ezt nevezik közvetlen memória hozzáférésnek (Direct Memory Access).
- A DMA átvitel általában gyorsabb, mintha a CPU végezné (nem kell közben a memóriából utasításokat olvasni és nem kell az adatot a CPU-n keresztül áramoltatni).
- A DMA-s kezelést tipikusan nagy sebességű, blokkos adatátvitelt igénylő perifériáknál alkalmazzák (winchester, nagysebességű soros adatátvitel stb).
 - *Blokkos eszközök:* Adott méretű blokkban tároljuk az információt. Blokkméret 512 byte - 32768 byte között. Egymástól függetlenül írhatók vagy olvashatók. Blokkonként címezhetőek. Ilyen eszköz: HDD, szalagos egység

Holtpontok (deadlock)

Két vagy több folyamat egy erőforrás megszerzése során olyan helyzetbe kerül, hogy egymást blokkolják a további végrehajtásban.

Definíció. Folyamatokból álló halmaz *holtpontban van*, ha minden folyamat valamelyik másik folyamat által kiváltható eseményre várakozik.

A holtpontban lévő folyamatok tipikusan egy erőforrás felszabadítására várnak.

Erőforrások például:

- Szemaforral védett memóriaterület
- I/O eszközök
- Fájlok, rekordok olvasásának/írásának joga
- Processzorhasználat joga
- Új memóriaterület igénylése

Nem csak az I/O eszközökhöz kötődik, pl párhuzamos rendszerek, adatbázisok, stb.

Az egyes erőforrástípusokból több példány is a rendelkezésre állhat. Mindegy, hogy melyiket kapja meg egy adott folyamat.

Holtpont létrejöttéhez a következő négy feltételnek egyszerre teljesülnie kell:

1. *Kölcsönös kizárás.* Legyen legalább egy megoszthatatlan erőforrás
2. *Birtoklás és várakozás.* A folyamatoknak nem kell feladniuk az eddig megszerzett erőforrásokat ahhoz, hogy újakat igényelhessenek
3. *Megszakíthatatlanság.* Az erőforrások nem vehetők el a folyamatoktól a beleegyezésük (felszabadításuk) nélkül
4. *Ciklikus várakozás.* Lennie kell egy két vagy több folyamatból álló ciklikus listának, amiben minden folyamat a következő egy erőforrására várakozik

Írányított gráffal lehet modellezni a folyamatokat és erőforrásokat. Ha van kör, akkor az holtpontot jelent.

A holtpontok detektálása

A holtpontok detektálásához (észrevételéhez) az operációs rendszernek egyfolytában nyilván kell tartania azt, hogy hogyan osztotta eddig szét az erőforrásokat, mely folyamatoknak vannak ki nem elégített igényei. Ebből a nyilvántartásból kiindulva kell az operációs rendszernek felismernie a holtpont esetleges meglétét. Ehhez egy úgynevezett holtpontdetektáló algoritmust futtat le időnként.

A holtpontdetektálás nem egyszerű feladat, mivel nem feltétlenül egy-két folyamat között alakulhat ki ilyen függőség, hanem akár jóval több folyamat is részt vehet egy holtpont kialakulásában, ami lehetséges, hogy „észre sem vehető”, mert nem befolyásol más, rendszer közeli folyamatokat.

A holtpontok detektálásának stratégiája

A holtpontok detektálására adott lehetséges stratégia a következő:

- A futó folyamatok közül pontosan azokat válogassuk ki, amely folyamatoknak van valamilyen erőforrásigényük. (Ezek lehetnek ugyanis olyan folyamatok, amelyek egy holtpont létrejöttében részt vehetnek!)
- Ezt követően a kiválogatott folyamatok közül keressük ki azokat, amelyeknek csak olyan erőforrásigényük van, ami éppen az adott pillanatban kielégíthető, azaz az erőforrás-kezelő a folyamatnak oda tudja adni az erőforrást, mert az éppenséggel szabad. Ezeket a folyamatokat jelöljük meg.
- Tekintsünk szabadnak minden olyan erőforrást, amit a most kijelölt folyamatunk használ.
- A második ponttól kezdve ismételgessük az algoritmust addig, amíg el nem jutunk egy olyan állapotba, amelyben már nincsen más kiszolgálható tevékenység.

Ha a holtpontok detektálására adott eljárás végén marad nem kiszolgálható folyamat, akkor az operációs rendszerben holtpont rejtőzik, és a hátra maradt folyamatok éppen azok a folyamatok, amelyek a holtpont kialakításában részt vesznek.

Az algoritmusról könnyen belátható, hogy a holtpontok detektálására adott stratégia végén megkapott folyamatok halmaza nem függ attól, hogy az algoritmus elején melyik folyamatot választjuk ki elsőként.

A holtpontdetektáló algoritmus egy úgynevezett „mohó” algoritmus, aminek a gyakori lefuttatása az operációs rendszer hatékonyságát csökkenti. Felmerülhet kérdésként ekkor az olvasóban: mi lehet vajon ennek az algoritmusnak az optimális aktivizálási ideje, azaz vajon milyen időközönként

célszerű futtatnunk, hogy az operációs rendszer hatékonysága ne drasztikus mértékben csökkenjen?

Erre egy egyszerű meghatározást lehet adni: célszerű azt a megoldást használni, hogy a holtpont-detektáló algoritmus akkor induljon el, ha egy folyamat olyan hosszú ideig várakozik egy erőforrás használatára, hogy már túllép egy előre meghatározott időintervallumot a várakozás.

A holtpontok megszüntetése

A drasztikus megszakítás

Ez a módszer úgy oldja meg a holtpont miatti konfliktust, hogy a várakozási körben található összes folyamatot megszakítja. Drasztikus módszer, mivel ebben az esetben a folyamatok eredményei is elvesznek, mivel a megszakítás miatt egyik sem fogja folytatni a tevékenységét.

A kevésbé drasztikus, kompromisszumos megoldások

Sokszor elég csak néhány tevékenységet megszakítani, és nem az összes folyamatot. Sőt, sok esetben nem is kell megszakítani ezen kiválasztott folyamatokat sem, hanem csak elég, úgymond, visszaállítani őket egy olyan állapotba, mielőtt a már korábban lefoglalt erőforrásra megadták volna az igénylésüket, és ezzel megnövelték a holtponthelyzet létrejöttének esélyét.

A következő módszerekkel megszüntethető az operációs rendszer által felismert holtpont kevésbé drasztikusan:

1. módszer: Keressük meg azt a folyamatot, amelyik a „legaktívabban” vesz részt a holtpont kialakításában! Többnyire elegendő egyetlen egy ilyen „aktív” holtpont kialakító folyamat eltávolítása.
2. módszer: Keressünk egy olyan folyamatot, amely újraindítható bármiféle mellékhatás nélkül! Természetesen egy adatmódosító művelet nem tekinthető újraindíthatónak, mivel lehet, hogy az újraindításával inkonzisztencia lépne fel az adatok között.
3. módszer: Keressünk meg azokat a folyamatokat, amelyek újraindítása a legkevesebb költséggel jár! Tehát olyan folyamatokat, tevékenységeket keressünk ki, amelyek vagy olyan ellenőrzési pontokkal (checkpoint) rendelkeznek, amelyekre könnyen visszaállíthatóak, vagy éppen „most” kezdték meg működésüket, tevékenységüket.
4. módszer: A holtpontot előidéző folyamatokat a prioritásuk szerint vizsgáljuk meg, és válasszuk ki a legalacsonyabb prioritású folyamatot, majd távolítsuk el, szakítsuk meg a működését, vagy állítsuk vissza valamilyen korábbi megfelelő állapotba, ha lehetséges.

A holtpont megszüntető műveleteknél fontos, hogy a holtpont megszüntetésekor az automatikus választás mindig komoly kockázati tényezővel jár. A kockázat mellett figyelembe kell venni azt is, hogy bármilyen módszert választunk is ki a holtpont megszüntetésére, ugyanazt a folyamatot nem választhatjuk ki végtelen sokszor a holtponthoz kapcsolódó folyamatok „várakozási köréből” való eltávolítására, ugyanis ez az adott folyamat kiéheztetését okozná. Törekedni kell az optimális holtpontkezelésre, mivel a kiéheztetésen túl a holtpontkezelés legnagyobb veszélyei közé tartozik, ha az operációs rendszerünk alulszabályozott, vagy éppen túlszabályozott a holtpontdetektálással és a holtpont megszüntetéssel kapcsolatban.

Alulszabályozás alatt azt kell érteni, hogy az operációs rendszer olyan nagyfokú túlbiztosítására törekszünk, hogy holtpont sosem alakul ki a futó folyamatok közt az operációs rendszerben, de magának a rendszernek a lehetőségeit sem fogjuk tudni kihasználni. Túlszabályozottság alatt

pedig azt kell érteni jelen esetben, hogy olyan bonyolult holtpontdetektáló vagy éppen holtpont-megszüntető algoritmust választunk ki, hogy magának az algoritmusnak a végrehajtása lassítja az operációs rendszert, és csökkenti a rendszer hatékonyságát.

Holtpontkezelés

Holtpont-megelőzés

A holtpontokat el tudjuk kerülni, ha garantálni tudjuk, hogy a holtpont létrejöttének négy feltételének valamelyike biztosan nem áll fenn.

A holtpont kialakulásához szükséges feltételek elkerülése:

- A **kölcsönös kizárás** néhány esetben elkerülhetetlen, így ezekben az esetekben nem lehet mit csinálni, de más esetekben elkerülhető. Az egyik leggyakrabban használt technika az úgynevezett spooling technika (simultaneous peripheral operation on-line), ami annyit tesz, hogy a direkt erőforrás-használat helyett egy általában nagyméretű átmeneti tárolóba helyezzük az erőforrást.
- Az erőforrások lefoglalása (**Birtoklás és várakozás**) úgy kerülhető el, ha elrendeljük azt, hogy egyszerre csak egy erőforrást foglalhat le egy folyamat, tehát egy folyamat csak akkor igényelhet egy új erőforrást, ha nem birtokol már egy másik erőforrást.

Ezt kétféle módon érhetjük el:

1. Az összes szükséges erőforrást egyszerre kell igényelni, a folyamat indulásakor
 - Néha a program indulásakor még nem tudja, milyen erőforrásra lesz szüksége
 - Pazarló erőforrás-gazdálkodást eredményez
 2. Új erőforrás igényléséhez el kell engedni az eddig megszerzetteket
 - Kieheztetéshez vezethet
 - Kényelmetlen
- A **„megszakítás nem megengedett”** (*Megszakíthatatlanság*) kiküszöbölése, azaz hogy nincs erőszakos erőforrás-elvétel, a következő módon érhető el: hogyha az erőforrásaink menthető állapotúak, akkor elvehetjük az adott folyamattól az erőforrás birtoklásának jogát úgy, hogy mentjük az erőforrás állapotát, majd az erőforrást átadjuk a másik folyamatnak, és mikor a másik folyamat befejezte a működését, akkor az erőforrás régebbi állapotát visszaállítva visszaadjuk az erőforrást az előző folyamatnak.
 - Csak néhány erőforrástípus esetén alkalmazható. Például. processzor, fizikai memória, de I/O eszközök, fájlok esetén nem!
 - A **visszatérő igények** (*Körkörös kizárás*) elkerülése úgy érhető el, hogy kialakítunk egy hierarchikus rendszert. Az erőforrásokat kategorizáljuk, és hozzájuk prioritásokat rendelünk. Ez után minden folyamat csak olyan erőforrásokat igényelhet, amelyeknek a prioritása nagyobb, mint amilyen erőforrásai már vannak.
 - Kizárjuk a hurkok lehetőségét
 - Lehetetlen minden folyamatnak megfelelő sorrendet kitalálni
 - Pazarló erőforrás-gazdálkodás

A feltételek közül az első, illetve a harmadik feltétellel nem tudunk mit kezdeni, mivel az operációs rendszerünkben vagy vannak a feltételek által megállapított fajtájú erőforrások, vagy nincsenek.

Holtpont-elkerülés

A strucc algoritmus

A strucc algoritmus a „struccpolitika” elvét vallja, aminek egyszerűen a lényege az, hogy nem veszünk tudomást a holtpont létezéséről. Ha tudjuk azt, hogy egy esetleges holtpont kialakulásának valószínűsége meglehetősen kicsi, és az operációs rendszer újraindításának nincsenek kritikus következményei, akkor előfordulhat, hogy érdemes ezt a „megoldást” választani, mint holtpont „elkerülő” algoritmust.

- *Előnyei:*
 - Gyors holtpontelkerülés.
- *Hátrányai:*
 - Adatvesztés, a folyamatok végeredményeinek elvesztése fennállhat.
 - Holtpontok megléte: mivel az algoritmus szerint csak figyelmen kívül hagyjuk a holtpontokat, azaz a holtponthelyzeteket, azok ugyanúgy ott lesznek, és maguktól nem fognak köddé válni.
 - Kritikus következmények esetleges megléte.
 - Nem ajánlott, mivel ez csak egy „struccpolitika”.

Egyetlen foglalási lehetőség stratégia (one-shot allocation strategy)

Az egyetlen foglalási lehetőség stratégia lényege az, hogy megtiltja a várakozás közben fellépő erőforrás-lekötést, azaz csak az a folyamat igényelhet magának erőforrást, amelyiknek egy erőforrásigénye sincs.

A stratégia alkalmazása esetén egy folyamat csak egyetlen alkalommal, általában a folyamat induláskor foglalhatja le azokat az erőforrásokat, amelyekre szüksége van a futása során. A stratégia alkalmat ad arra ezáltal, hogy ha a folyamat indulásakor van olyan erőforrás, amelyet a folyamat nem tud lefoglalni (tehát az adott erőforrás éppen nem szabad), akkor az operációs rendszer a folyamatot várakozásra kényszeríti, és így egy úgynevezett várakozási listára kerül fel. Ezen felül a stratégia még elrendeli azt is, hogy mivel egyetlen alkalommal foglalhatja le csak a folyamat a szükséges erőforrásokat, így a futása során más alkalommal nem nyújthat már be erőforrásigényt az operációs rendszer felé, és ha van is erőforrás-igénylése, akkor az operációs rendszer elutasítja, mivel már rendelkezik erőforrásokkal.

Holtpont nem alakulhat ki az operációs rendszernek a futó folyamatai között, mivel a futó folyamatok minden erőforrást elérhetnek, amikre szükségük volt már a futásuk elején, mert ha valamilyen erőforrás megléte (birtoklása) hiányozna, akkor nem futó folyamatok lennének, hanem a várakozási listában várakoznának, illetve ezek a várakozó folyamatok nem rendelkeznek semmilyen erőforrás használatával.

- *Előnyök:*
 - Holtpont nem alakulhat ki a stratégia használata esetén.
 - Ha egy folyamat már megszerezte az összes olyan erőforrást, ami a futásához szükséges, akkor biztosan nem kell sohasem várakoznia a futása során esetleges erőforrás-használat megszerzésére, így a folyamat futási idejét semmilyen erőforrásra való várakozás nem fogja megzavarni, meghosszabbítani.

- Hátrányok:
 - A folyamatoknak a futásuk végéig kell birtokolniuk a futásuk kezdetekor szükségessé vált erőforrásokat, tehát akkor is, ha nincsen rá semmilyen szükségük. Eszerint ez egy nagyon pazarló stratégia.
 - Nem mérhető fel minden esetben egy folyamat erőforrásigénye már a futás kezdetekor.
 - Kieheztetés lehetséges fennállása: ha egy folyamat nagyon sok erőforrást igényel, akkor előfordulhat, hogy nem mindegyik elérhető a futásának az elején, így lehetséges az, hogy beláthatatlan ideig várakozásra kényszeríti az operációs rendszer a folyamatot, így egyszerűen kieheztetve az erőforrásokra vonatkozóan.

Rangsor szerinti foglalási stratégia (hierarchical allocation strategy)

A rangsor szerinti foglalási stratégia a ciklikus várakozási lehetőségét küszöböli ki azzal, hogy az erőforrásokat úgy kategorizálja, hogy minden egyes kategóriához egy-egy sorszámot rendel, és a leggyakrabban használt erőforráshoz a legkisebb sorszámot rendeli, míg a legritkábban használt erőforráshoz pedig a legnagyobb sorszámot, így felállítva közöttük egy úgynevezett prioritási sorrendet.

A rangsor szerinti foglalási stratégia lényege a prioritási sorrend megkonstruálása által az, hogy a különböző folyamatok mindig csak növekvő sorszámú erőforrást igényelhetnek az operációs rendszertől, azaz egy folyamat mindig csak magasabb sorszámú erőforrást igényelhet meg az operációs rendszertől, mint amilyen sorszámú prioritást már birtokol.

Továbbá, ha egy folyamatnak a meglévő erőforrásainak sorszámainál alacsonyabb sorszámú erőforrásra van szüksége, akkor fel kell szabadítani a szükséges erőforrás sorszámánál nagyobb sorszámú erőforrásokat egészen addig, míg a folyamat erőforrás-igénylési feltételei (lényegében a rangsor szerinti foglalási stratégia feltételei) nem teljesülnek.

- Előnyök:
 - holtpontra nem alakulhat ki a stratégia használata esetén.
 - Nagyon hatékony, ha a megfelelő módon történt a sorszámok kiosztása az erőforrásoknak.
- Hátrányok:
 - Ha nem megfelelő módon történik a sorszámok kiosztása az erőforrásoknak, akkor nem biztosítható a stratégia hatékonysága.
 - Problémás eset, ha a folyamatnak a meglévő erőforrásai sorszámainál alacsonyabb sorszámú erőforrásra van szüksége.

Bankár-algoritmus

Edsger Wybe Dijkstra-tól származik az egyik holtpontelkerülő ütemezési algoritmus, amit bankár algoritmusnak is nevezünk.

Az algoritmus neve onnan származik, hogy a probléma nagymértékben hasonló a bankárok munkájához, azaz általánosabban tekintve a bankok erőforrás-kihelyezési problémájához. A hitelt igénylő ügyfelek a bankárhoz fordulnak a beruházásaik finanszírozásához szükséges hitelekért. A bankár az ügyfelek egy meghatározott (a hitelt kérő ügyfeleknek) csoportjával foglalkozik, akiknek folyósít egy bizonyos mennyiségű hitelt. A hiteligenylők a bankárnak megmondják, hogy pontosan mennyi lenne az a maximális pénzmennyiség, amire szükségük lehet, és a bankár ezt folyósítja számukra.

Természetesen a bankár nem rendelkezik végtelen mennyiségű készpénzzel, így nem rendelkezik annyi pénzzel sem, ami az összes ügyfél teljes hiteligényét kielégítené egy időpontban. A hitelt csak az az ügyfél tudja visszafizetni, aki be is tudja fejezni a beruházását, amihez a hitelt igényelte eredetileg, ám a beruházás befejezéséhez szüksége van arra, hogy előbb vagy utóbb hozzáférhessen az igényelt hitel teljes pénzösszegéhez. A bankár tudja, hogy nem mindegyik ügyfélnek lesz szüksége azonnal a maximális hitelre, és feltételezi, hogy minden ügyfele a teljes hitel felvételét követően, amint csak tudja, azonnal vissza is fizeti a hitelt.

A hitelt csak az az ügyfél tudja visszafizetni, aki be tudta fejezni a beruházást; ehhez pedig szüksége van arra, hogy előbb-utóbb hozzájusson az igényelt hitel teljes összegéhez.

Ha a bankár nem elég óvatosan bánik a pénzével, akkor könnyen „megnézheti magát”, mivel kiürülhet a pénzes kasszája, és egyik ügyfele sem fejezné be a beruházását, mivel nem lenne egyiküknek sem pénze, amiből gazdálkodhatna, és folytathatná a beruházást, vagy akár törlessze a hitelt, mert nem kapná meg a hitelének a következő részét.

Az algoritmus pontosan azt adja meg, hogy hogyan kell eljárnia a bankárnak az előbb említett (holtpont) helyzetek elkerülésére, feltételezve, hogy csak önmagára számíthat, és nincsen semmilyen segítsége, amire számíthatna?

A bankár algoritmus lényege tehát az, hogy az operációs rendszert mindig egy biztonságos állapotban tartja. A biztonságos állapot a bankár algoritmus esetében azt jelenti, hogy létezik legalább egy olyan erőforrás-igénylés kielégíthetőségi sorrend, amely szerint minden egyes folyamat erőforrás-igénylése kielégíthető. Tehát létezik olyan állapotsorozat, amelynek eredményeként mindegyik ügyfél felvehet összesen annyi kölcsönt, amennyit a hitel lehetősége enged, azaz minden folyamat megkapja az összes erőforrását, majd a tevékenysége után befejeződik. Az algoritmus sohasem elégít ki egy olyan erőforrás-igénylést sem, amely által az operációs rendszer biztonságos állapota nem állna fenn.

A bankár algoritmus csak akkor működik, ha a folyamatok már az indulásukkor tudják, hogy a különböző erőforrásokból egyszerre maximálisan mennyit fognak igényelni, illetve ezt az operációs rendszernek be is jelentik.

Ha az operációs rendszer állapota nem biztonságos, még nem jelenti azt, hogy a holtpont biztosan kialakul, hanem mindössze csak annyit jelent, hogy lehetséges holtpont kialakulása az adott állapotból. A bankár algoritmus úgy garantálja a holtpontmentességet, hogy már a nem biztonságos állapot kialakulását is megakadályozza, tehát a túlzott biztonságot tartja szem előtt. A módszer legnagyobb hátrányának tekinthető, hogy léteznek olyan folyamatok, amelyeknek erőforrásigénye előre nem ismerhető fel.

A bankár algoritmus minden egyes erőforrás-igénylés megjelenésekor elemzést végez, és megnézi, hogy vajon az erőforrás-igénylés engedélyezése esetén is biztonságos marad-e a rendszer. Ha igen, akkor a kérést jóváhagyja, ha nem, akkor a kérést későbbre halasztja. Egy állapot biztonságosságának eldöntésekor a bankár azt elemzi, hogy van-e elegendő erőforrása ahhoz, hogy kielégítse néhány ügyfél hiteligényét. Ha ezt meg tudja tenni, akkor természetesen feltételezi, hogy az ügyfelek a kölcsönöket vissza fogják fizetni, és következhet annak az ügyfélnek a vizsgálata, akinek a hitelfolyósításainak összege a legközelebb van az általa igényelhető maximális hitelmennyiségnek, és így tovább. Ha az ügyfelek minden kölcsönt visszafizetnek a bankárnak, akkor az állapot biztonságos, és a kezdeti erőforrás igénylését a folyamatnak ki lehet elégíteni.

Memóriakezelés, virtuális memória fogalma

Az alapvető memóriakezelési módszerek két csoportba sorolhatók:

1. már a betöltéskor eldől, hogy mi hova kerül, és a futás végéig állandósul a memória, azaz a programon belüli esetleges dinamikus definíciókon kívül a memóriának a „programot” tartalmazó része állandó;
2. végrehajtás közben mozgatják az egyes programrészeket a központi tár és a lemez között (lapozás, szegmentálás);

Monoprogramozás

A legegyszerűbb memóriakezelési módszer, időben csak egyetlen programot futtatunk. Lényege, hogy a memóriát csak saját programunk, illetve az operációs rendszer között kell „felosztani”.

Ezt a felosztást háromféleképpen végezhetjük – a sorrend a kisebb címtől a nagyobb cím felé haladást jelenti:

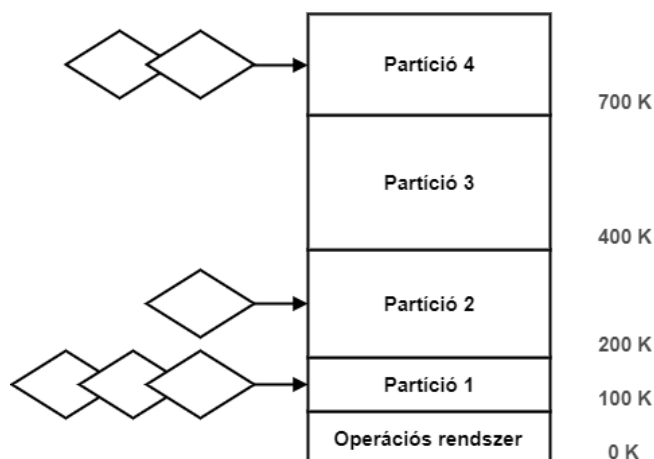
1. felhasználói program, operációs rendszer a RAM-ban – ezt a felosztást régi nagyszámítógépes rendszerekre, illetve miniszámítógépeken (Commodore, HT-1080Z) használták;
2. operációs rendszer a RAM-ban, felhasználói program – főleg beágyazott rendszerek használják ezt a felosztást;
3. eszközmeghajtók a ROM-ban, felhasználói program, operációs rendszer a RAM-ban – korai személyi számítógépekre jellemző. Lényegében a ROM-ba égetett rész nem más BIOS (Basic Input-Output System).

Multiprogramozás

Multiprogramozás rögzített partíciókkal

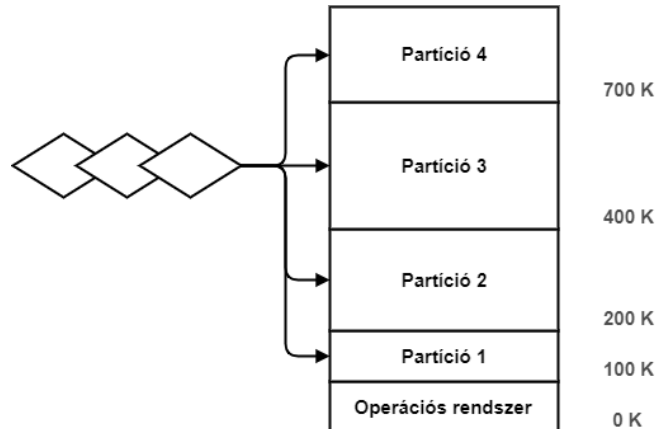
Főleg kötegelt rendszerek tipikus megoldása.

1. Különböző méretű partíciókat definiálunk és a megfelelő programot a hozzá méretben illeszkedő várakozási sorba rakjuk. Hátránya a megvalósításnak, hogy több várakozási sort (queue) kell nyilvántartani és menedzselni.



9. ábra.

2. Csak egy várakozási sort használunk, ekkor a megüresedett partíció helyére az a program kerül, amelyik a sorban előrébb van és bele is fér a partícióba.



10. ábra.

Ebben az esetben kis módosítása lehet a kiválasztásnak, hogy nem az első beleférő programot helyezzük bele a partícióba, hanem a beleférők közül a legnagyobbat. Ezzel a módszerrel a partíció veszteséget lehet minimalizálni.

Egy-egy programválasztás során a partícióba több program fér be, a nem kiválasztottakhoz jegyezzük fel, hogy most éppen nem volt szerencsénk. Ezt a *szerencsétlenség* számlálót növeljük eggyel. Megadhatunk egy korlátot k , amit ha elér egy vagy több program, akkor a sorban első k -t elérő programot választjuk ki. Így nem várakozik végtelen ideig egyik program se a memóriába kerüléshez.

Multiprogramozás cserével

Főleg időosztásos rendszerek tipikus megoldása.

Ez a technika az „azonos” időben futó programokat teljes egészében –a méretüknek megfelelően – mozgatja a lemezterület és a memória között. Mivel egy-egy folyamat működésének végeztével felszabadul a memória általa használt része, de nincs mit betölteni, a memóriában lyukak keletkeznek. Emiatt jelentősen csökkenhet a memória kihasználtsága, így szükség van a lyukak „egyesítésére”, amit memóriatömörítésnek nevezünk. Ilyenkor a rendszernek arra kell ügyelnie, hogy bent lévő processzek ne sérüljenek (az esetleges áthelyezések miatt újra kell számolni az utasítások címeit). A következő ábra ezt a csere folyamatot szemlélteti. Az A folyamat kikerül a memóriából, a háttértáron kerül elhelyezésre, míg a B folyamat a háttértárból a fizikai memóriába kerül.

A cserék adminisztrálására kétféle módszert dolgoztak ki.

Bittérképes cserekezelés

A memóriát, szónyi vagy kilobájtnyi egységekre osztjuk. (Talán leggyakrabban ma 4KB egységről beszélhetünk, de előfordulhat 2/4 MB is.) Minden egységhez hozzárendelünk egy-egy foglaltsági bitet. Ennek értéke egy, ha foglalt és nulla, ha szabad. Új processz érkezésekor olyan összefüggő szabad területet kell keresni, melyek együttes hossza elegendő az új tevékenység betöltéséhez. Az allokációs területek hosszának tervezésekor figyelembe kell venni, hogy a csere lehetőleg gyors legyen (a keresési algoritmusok is időt igényelnek), valamint ne foglaljon aránytalanul sok memóriát, hiszen akkor megint sehol sem vagyunk.

Láncolt listás cserekezelés

Ennél a technikánál egy kétirányú listába fűzzük a memóriában szereplő allokációs elemeket, a szabad helyeket, valamint a valamilyen processz által foglalt területeket. A lista ezek után egy négy elemet tartalmazó rekord: a terület jellege (szabad, foglalt), a terület kezdőcíme, a terület hossza, illetve a következő elem címe (mutató). Célszerű a listát kezdőcím szerint rendezetten kezelni, így egyszerűbb helyet keresni egy új feladatnak, valamint egyszerűbb a lyukakat összevonni. Nézzük meg, hogy milyen módon kereshetünk helyet egy új processznek. Feltesszük, hogy a memóriakezelő tudja az igényelt hely nagyságát:

- **firstfit**: megkeresi az első olyan üres helyet, amiben elférünk, majd két részre osztja a területet: az egyik tartalmazza magát a processzt, a maradék rész pedig szabad listaelem lesz;
- **nextfit**: az utolsó szabad helytől keres üres területet;
- **bestfit**: az egész listában keresi azt a legkisebb szabad területet, ahol elfér a processz. Természetesen az eljárás általában lassabb, mint az előbbiek, viszont helyet talál olyan processzeknek is, amelyeknek az előző két módszer nem talál a nagy helyigény miatt. Azok ugyanis kis igényhez is az első szabad helyet rendelik, ami lehet, hogy nagyobb igénynek is megfelelné;
- **worstfit**: a legnagyobb szabad lyukat választja;
- a módszerek javíthatóak azáltal, hogy külön listában kezeljük a foglalt, illetve a szabad területeket. Tovább javítható bizonyos előfeltételek teljesülése esetén: például ha elég egyformák a processzek méretei, akkor a leggyakoribb mérethez külön szabadlistát készítünk, és ebben keresünk. Ezt a módszert **quickfit** technikának nevezik.

Virtuális memória fogalma

A számítógépek korai időszakában a véletlen elérésű memória (RAM) hozzávetőlegesen ezerszer drágább volt, mint a mechanikai tárolók, azaz a mai merevlemezeknek megfelelő tárolók.

Jó megoldásnak tűnt, hogy a drága – ezért viszonylag kis tárolókapacitású – gyors memóriába csak az éppen szükséges programrész kerüljön be, a „nem használt” programrészek pedig külső, mechanikus tárolókon helyezkedjenek el. Különösen a több felhasználós (időosztásos) rendszerek esetében látszott előnyösnek ez a megoldás, amikor a program- és felhasználóváltás amúgy is jó alkalmat szolgáltatott arra, hogy a programot cseréljék.

A program megállítása helyett több számítógéprendszer a kevésbé használt memóriaterületeket másolja ki mechanikai tárolóra.

A mozgatás a háttértár és a memória között viszont nagyon időigényes feladat. A programok rövid idő alatt csak kis részét használják a tárterületnek, valamint az operációs rendszer felelőssége nagy (biztosítani kell, hogy a program ne nyúljon ki a partícióból; ha a partíció túl kicsi, akkor dinamikus „hozzá kell foglalni”, stb.).

A virtuális memória a számítógép RAM memóriáját a merevlemezen egy ideiglenes használatú területtel kombinálja. Ha nincs elegendő RAM memória, a virtuális memória az adatokat a RAM memóriából a lapozófájlnak nevezett területre mozgatja. Az adatok lapozófájlba mozgatása RAM memória területet szabadít fel, mellyel befejezhetők a feladatok.

Általánosan elmondható, hogy minél több RAM memória van a számítógépben, annál gyorsabban futnak a programok. Ha a számítógép működését a kevés RAM memória lelassítja, akkor

ellensúlyozásként a virtuális memória növelése látszik megoldásnak. Azonban a számítógép az adatokat a RAM memóriából sokkal gyorsabban tudja olvasni, mint a merevlemezről, ezért a RAM memória bővítése jobb megoldás.

Az operációs rendszer úgy szabadít fel operatív memóriát az éppen futó program számára, hogy a memóriában tárolt, de éppen nem használt blokkokat (lapokat) kiírja a külső tárolóra, amikor pedig ismét szükség van rájuk, visszaolvassa őket. Mivel a merevlemez sebessége töredéke a memória sebességének, nagyon sok múlik azon, hogy a virtuálismemória-kezelő milyen stratégiát alkalmaz az operatív memóriából kimozgatandó lapok kiválasztásakor. A memóriakezelésnek két fajtája létezik. Az egyik az úgy nevezett lapozás, a másik pedig a szegmentálás.

A virtuális memóriával szemben támasztott követelmények:

- Minden program saját memóriaterületet lásson (mintha minden memória az övé volna)
- Bármely címre lehessen hivatkozni, ahol is az adatok permanens tárolódjanak (akárcsak a fizikai memóriában)
- A program ne tudjon semmit arról, hogy hogyan van ez megvalósítva
- A hatékonyság ne romoljon drasztikusan a fizikai memóriához képest

A virtuális memória megvalósítása

A virtuális és a fizikai memóriát is felosztjuk részekre, ezeket egymáshoz rendelhetjük. Ha a folyamat olyan memóriaterületre hivatkozik, amihez még nincs fizikai memória rendelve, akkor kivétel keletkezik → ennek kezelését az operációs rendszer végzi, amely folyamán hozzárendel egy fizikai memória részt.

Minden program saját címtárral rendelkezik, az ő címei nem hivatkozhatnak másik folyamat fizikai memóriájára, kivéve bizonyos speciális eseteket (pl.: operációs rendszerkódja, adatai; kommunikációs adatok, stb.).

A leképezés során a címpárokat tárolni kell, ezt tehetjük:

- byte-onként: rugalmas, de a címtáblázat nagy
- rögzített méretű darabonként: *lapozás*
- változó méretű darabonként: *szegmentálás*

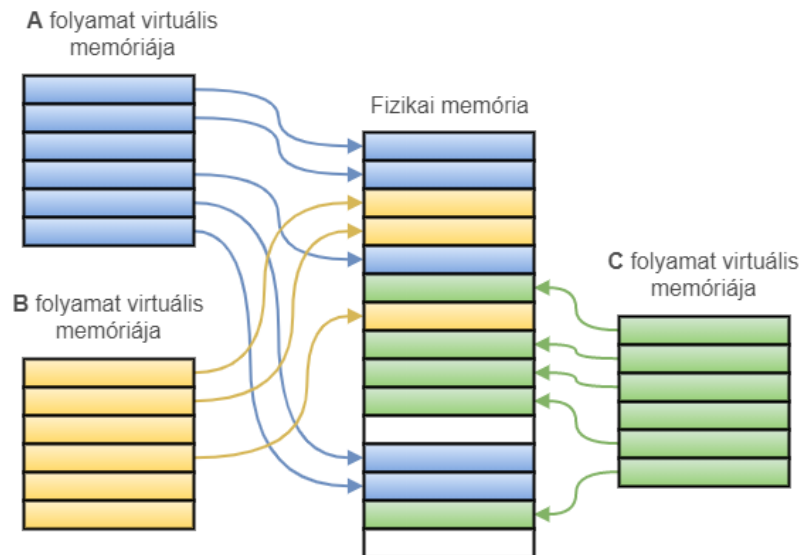
Lapozás és szegmentálás

Lapozás

A virtuális és a fizikai memóriát is egyenlő méretű darabokra osztjuk:

- virtuális memória → lapok,
- fizikai memória → lapkeretek.

Egy lappal csak akkor dolgozhatunk, ha keretbe foglaltuk, de a keretek száma kevesebb, mint a lapoké. Egy lapon belüli címek egy lapkereten belüli címekké "fordítódnak". A felhasználói programok csak a lapokat látják, mint ha az lenne a fizikai memória.

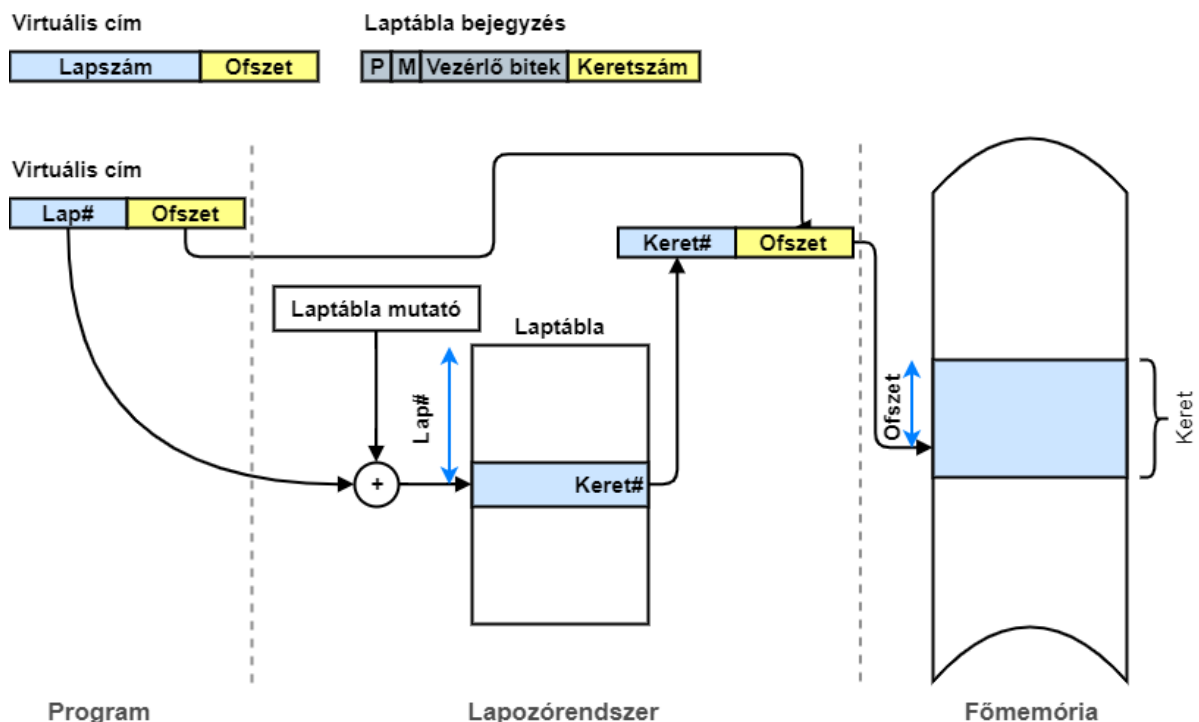


11. ábra.

A lapok mérete általában kettő hatványa (2^k).

Laptábla

A lapok és lapkeretek egymáshoz rendeléseit tartalmazza. Minden folyamatnak külön laptáblája van. A laptábla alapcím szerint indexelt, mezői üresek vagy a lapkeret címét tartalmazzák. Mezői tartalmazzák, hogy a laphoz tartozik-e lapkeret a fizikai memóriában, és ha van ilyen, akkor mi annak a címe. Hivatkozás esetén ez a lappcím keret a táblázatból a lappcím helyére másolódik. Ha nem tartozik hozzá lapkeret: laphiba kivétel történik és a kivételkezelő feladat a lapot valamelyik lapkeretbe elhelyezni. A laphiba kivétel mindig hiba (fault), azaz a végén a kivételt okozó utasítás a kivétel kezelése után újra végrehajtódik. A gyakori lappcím–lapkeret párokat egy gyorsítótárban tároljuk.



12. ábra. Címfordítás egy lapozó rendszerben

A lapméret problematikája

Ha nagy a lapméretünk, akkor kicsit a laptábla, de belső elaprózódás lép fel (a kisebb folyamatok több memóriát kapnak, mint amire szükségük lenne).

Ha kicsi a lapméret, akkor kevés memória veszik kárba, ellenben nagy a laptábla, ami viszont sok memóriát eszik. Erre megoldás a két szintű laptáblázat.

Lapcserélési algoritmusok

Akkor válik szükségessé lapcsere, ha a használni kívánt programrész nincs a memóriában. Ezt az eseményt laphibának nevezik, ami kiváltja a lapcserélési eljárás megindítását.

A hiányzó lapot be kell tölteniünk vagy létre kell hoznunk egy üres lapot. Ha van üres lapkeret, ezt megtehetjük, ha nincs, akkor „ki kell dobnunk” egy lapot, a kérdés, hogy melyiket. Mivel a laphibakezelése sok erőforrást igényel, a cél a minél kevesebb laphiba.

Fontos elemei a virtuális memóriakezelésnek a lapcserélési algoritmusok. Ezek többfélesége egyrészt a fejlődésüket, hatékonyabbá válásukat mutatja, másrészt esetleg ismerve a feladat milyenségét, egyikük valamilyen szempontból jobb lehet egy másikinál.

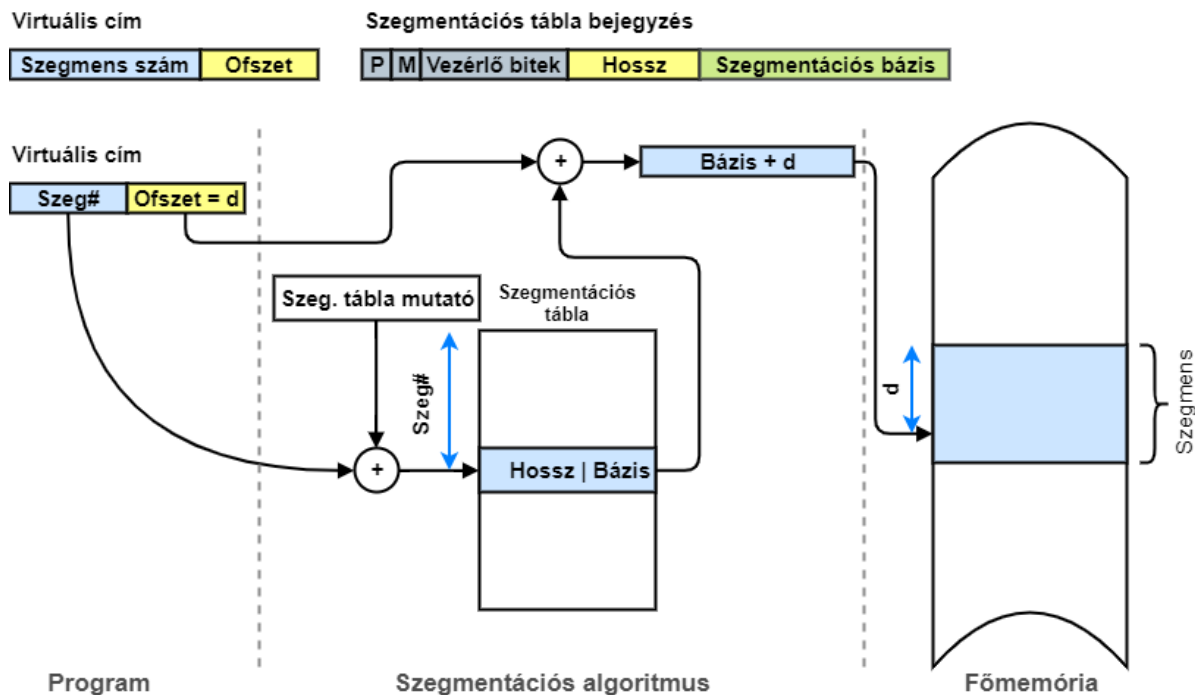
- **Optimális** – egyben megvalósíthatatlan – *lapcserélési algoritmus*. Ennek lényege, hogy a memóriában levő minden lapot megcímkézzünk azzal a számmal, amelyik azt jelzi, hogy hány utasítás végrehajtása után kerül erre a lapra „sor”. Nyilván a legnagyobb számú lapot kellene kidobni, de az operációs rendszerek nem tudják megmondani a számot. Ehhez ugyanis először „virtuálisan” le kellene futtatni a programot, ami nyilvánvalóan abszurdítás.
- **NRU** (Not Recently Used, nem mostanában használt) algoritmus:
 - Minden laphoz, ami a memóriába kerül, hozzárendelünk még két bitet: egy R bitet, amely minden hivatkozáskor (akár olvasás, akár írás) egyesre állítódik, és egy M bitet, ami módosításkor kap 1-es értéket. Ennek alapján a memóriába lévő lapok négy osztályba sorolhatóak:
 - 0.osztály: 00 (nem hivatkozott, nem módosított)
 - 1.osztály: 01 (nem hivatkozott, módosított)
 - 2.osztály: 10 (hivatkozott, nem módosított)
 - 3.osztály: 11 (hivatkozott, módosított)
 - A módszer az, hogy véletlenszerűen kiválaszt a legalacsonyabb sorszámú osztályból egyet, és azt kidobja. Egyszerű módszer, könnyen megvalósítható.
- **FIFO** (First-In First-Out) *lapcserélési algoritmus*. A sor-adatszerkezet műveleteinek megfelelően lapcsere esetén a legrégebben bent lévő lapot eldobja, és a sor végére teszi az újonnan érkezőt.
- **Second chance** (második lehetőség) *lapcserélési algoritmus*. A FIFO olyan módosítása, amelyben a legrégebbi egyes hivatkozású lapot nullás bittel a sor végére teszi, és keresi tovább a megfelelőt.
- **Az óra** *lapcserélési algoritmus*: A bent lévő lapokat egy láncnak képzeljük, azaz nincs első és utolsó, eleje meg vége elem, hanem egy aktuális elem, amellyel utoljára volt dolgunk laphiba esetén. Innen indulva szintén az R bitet vizsgáljuk: amennyiben ez egyes, akkor nullára állítjuk, és megyünk tovább. Lényegében az előző algoritmus, csak a kitüntetett elem – ahonnan a keresés indul – az utolsónak hivatkozott változásra mutat. vizsgáljuk. Ha vizsgált lap hivatkozás bitje 0, akkor kitesszük.

- **LRU** (Least Recently Used) *lapcserélési algoritmus*: Talán ez közelíti legjobban az optimális lapcserélést. Statisztikai megfontolásokra támaszkodik: az utoljára használt néhány utasítás által gyakran használt lap valószínűleg továbbra is szükséges lehet; viszont amit régen nem használtunk, valószínűleg még egy darabig nem is kell. Így azt dobjuk el, amelyiket a legrégebben nem használtunk. Az okozhat implementációs nehézséget, hogy minden hivatkozáskor aktualizálni kell a laphivatkozásokat. Ehhez minden lapbejegyzéshez felveszünk egy újabb bejegyzést, amely a lapra hivatkozáskor annak a számlálónak az értékét tartalmazza, amely minden memóriahivatkozás esetén eggyel nő. HW vagy SW megvalósítás.
 - HW1: Vegyünk egy számlálót, ami minden memória hivatkozásnál 1-gyel nő. Minden laptáblában tudjuk ezt a számlálót tárolni. Minden memóriahivatkozásnál ezt a számlálót beírjuk a lapba. Laphibánál megkeressük a legkisebb számlálóértékű lapot.
 - HW2: LRU bitmátrix használatával, n lap, $n \times n$ bitmátrix. Egy k . lapkeret hivatkozásnál állítsuk a mátrix k . sorát 1-re, míg a k . oszlopát 0-ra. Laphibánál a legkisebb értékű sor a legrégebbi.
- **NFU** (Not Frequently Used) algoritmus:
 - Minden laphoz tegyünk egy számlálót. Minden óramegszakításnál ehhez adjuk hozzá a lap hivatkozás (R) bitjét.
 - Laphibánál a legkisebb számlálóértékű lapot dobjuk ki. (A leginkább nem használt lap)
 - Hiba, hogy az NFU nem felejt, egy program elején gyakran használt lapok megőrzik nagy értéküket.
 - Módosítsuk: Minden óramegszakításnál csináljunk jobbra egy biteltolást a számlálón, balról pedig hivatkozás bitet tegyük be (shr). (Öregítő algoritmus)
 - Ez jól közelíti az *LRU* algoritmust.
 - Ez a lapszámláló véges bitszámú (n), így n időegység előtti eseményeket biztosan nem tud megkülönböztetni.

Szegmentálás

A memóriát logikailag részekre ún. szegmensekre osztják, és minden résznek megvan a saját, 0-tól kezdődő címtartománya. Egy memóriacím így két részből áll, egy szegmenscímből és egy eltolási- (offset) címből, azaz a memória kétdimenziós. Két szinten valósul meg, hardver és operációs rendszer szinten. A lapozással ellentétben ez nem marad rejtve a felhasználó (programozó) előtt.

Szegmentálás nélkül egyetlen egydimenziós címtérünk lenne, pl.: 0-100 címig. Tegyük fel, hogy a programunk két folyamatosan növekvő méretű memóriaterületet használ. Előfordulhat, hogy az első a 0-49. címig tart, a második az 50-tól 80-ig. Az első memóriaterületet nem tudjuk tovább növelni, pedig még lenne szabad memória a 81-től kezdődően. A megoldás a szegmentálás. Létrehozunk egy-egy szegmenst a két memóriaterület számára, mindkettő a 0. címtől kezdődik, így mindkét memóriaterületet addig tudjuk növelni amíg a memória el nem fog.



13. ábra. Címfordítás egy szegmentációval működő rendszerben

A szegmensekhez elérési jogok tartoznak:

- írható,
- olvasható,
- futtatható.

Így például a programunk nem írhatja felül saját magát, mert a programkódot egy olyan szegmensben tároljuk, amely csak futtatható.

A szegmentálás hasznos osztott programkönyvtárak használata esetén is. Ha a függvények külön-külön szegmensben helyezkednek el, akkor a programkönyvtár újabb verziójával a függvények kezdőcíme nem fog megváltozni, még akkor sem, ha a méretük megváltozik.

Kétféleképp lehet megvalósítani:

- cseréléssel
- lapozással.

Cserélésnél a rendszer a memóriában csak néhány szegmenst tárol. Kezdetben a szegmensek folyamatosan helyezkednek el. Ha a memória betelt, és egy olyan szegmensre van szükség, amely nincs benn a memóriában, helyet kell neki csinálni, azaz ki kell egyet írni a lemezre. Mivel egy szegmenst csak a vele legalább egyenlő méretű helyre tudunk beilleszteni, a memória előbb-utóbb lyukacsossá válik -mivel a pontos illeszkedés valószínűsége csekély-, ezt hívják külső elaprózódásnak. Ennek elkerülésére több módszer lehetséges. Az egyik, hogy a szegmenseket a memória eleje felé tolják, így a sok apró lyuk helyett a memória végén egy nagy lyuk keletkezik. Egy másik, hatékonyabb módszer, hogy olyan szegmenseket írnak ki a lemezre, amelyek két lyuk közé esnek, így a lyukak mérete nő.

Lapozásnál nem teljes szegmensek cserélődnek, hanem ezeket a rendszer fix méretű részekre -lapokra- osztja. Ezeket a lapokat írja ki, vagy olvassa be. A klasszikus lapozáshoz képest, a különbség csak annyi, hogy minden szegmensnek külön laptábla kell.

Lemezterület-szervezés, redundáns tömbök, fájlrendszerek szolgáltatásai és jellemző megvalósításai

Partíciók

- A partícionálással a lemezt független szeletekre osztjuk.
- A partíciók az alkalmazások és az OS magasabb rétegei számára általában a lemezegységekhez hasonló eszközként látszanak.
- Az egyes partíciókat különböző célokra használhatjuk:
 - Nyers partíciók (pl. adatbáziskezelőknek)
 - Virtuális memóriaterület (swap)
 - Fájlrendszer

Redundáns tömbök

RAID – Redundant Array of Inexpensive Disks. (olcsó lemezegységek redundáns tömbje)

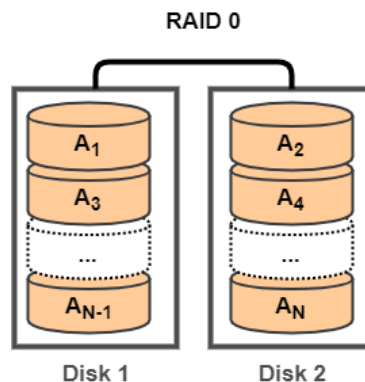
Szoftverből és hardverből is megvalósítható

- Hardver-RAID esetén általában egész diszkeket kötünk össze egy külső vezérlőegységgel, az OS szemszögéből az eredmény egy szokásos lemezegységnek látszik (RAID diszkrendszer)
- Szoftver-RAID-et az OS valósítja meg, így partíciók felett is működhet
- A hardver megvalósítás drágább, de hatékonyabb

Több lemezt fog össze, és egy logikai egységként látja az operációs rendszer. Többféle „összefogási” elv létezik: RAID 0-6 (7).

RAID 0 (összefűzés vagy síkozás)

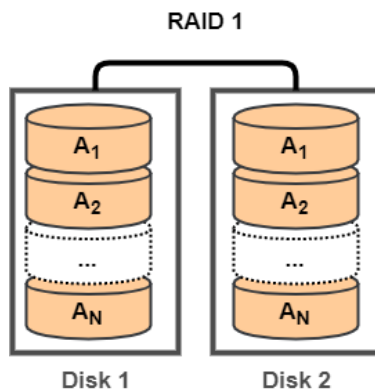
- Néhány diszk tárterületének összefűzésével megsokszorozhatjuk az összefüggő tárkapacitást
- A logikai diszk blokkjait általában felváltva osztjuk szét a fizikai diszkek szektorai között
- Az IO műveletek párhuzamosításával nő a teljesítmény
- Nincs redundancia, nő az adatvesztés esélye
- Általában a blokknál nagyobb egységeket kezelünk (stripe), de akár bitszintű szétosztás is lehetséges



A RAID 0 főleg olyan helyeken alkalmazható, ahol nem szempont az adatbiztonság vagy kevés merevlemez csatlakozhat fel az operációs rendszer korlátozása miatt. A másik pozitív tulajdonsága viszont továbbra is csábító lehet olyan, kifejezetten csak játékokra épített rendszereknél, ahol ezzel tetemes teljesítménynövekedést érhetünk el. Ilyen célú alkalmazásra mégsem túl ajánlott, mivel az egyszer már összekapcsolt diszkek különálló alkalmazása csak újraszervezés után, a teljes adattartalom eltávolításával és újraformázással lehetséges.

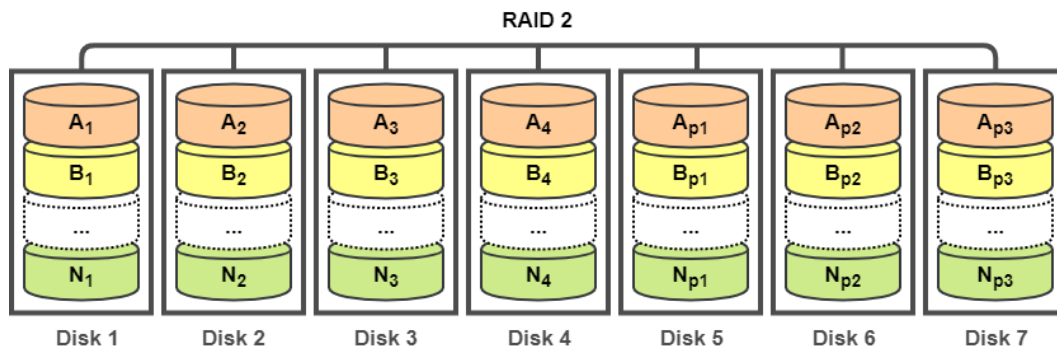
RAID 1 (tükrözés)

- Minden adatot két független diszken tárolunk
- A tárolókapacitás a felére csökken
- Olvasási teljesítmény nőhet, írás nem változik, vagy kissé csökken
- Diszkhibából eredő adatvesztés esélye jelentősen csökken
- Egyszerű, de drága megoldás
- Nagyon kicsi processzorigény
- 1 GB adat tárolásához 2 GB diszkterület szükséges



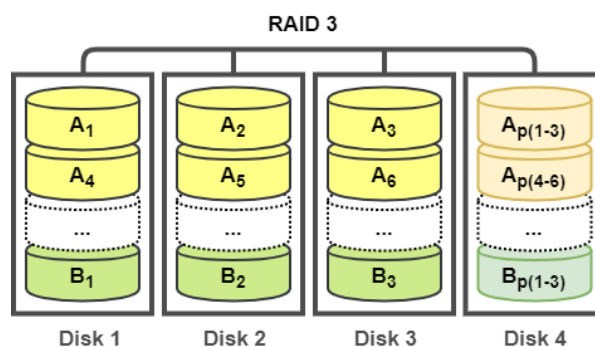
RAID 2 (ECC)

- A gépi memóriánál megszokott hibajavító kódok használata (ECC memória)
- Az adatbitek mellett néhány extra bitet is tárolunk (lásd Hamming kódok)
- A bájt bitjeit és a hibajavító biteket tároljuk különböző diszkeken
- Az egyik diszk meghibásodása esetén a paritásbitekből helyreállítható a hiányzó bit
- pl. 4 diszk kapacitáshoz elég 7 fizikai diszk
- A gyakorlatban ritkán használt



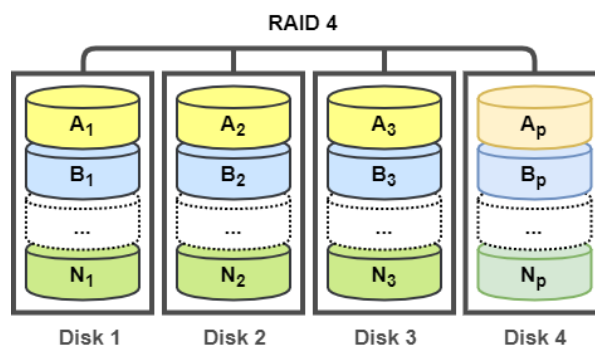
RAID 3 (paritásbitek)

- A memóriával ellentétben a P lemezegységek jelzik, ha hiba történik
- Nincs szükség a teljes hibajavító kódra, elég egyszerűen a paritásbitet tárolni (XOR)
- Az ismert pozíciójú hibás bit ebből helyreállítható
- Előnyök:
 - Olcsó: n diszk kapacitáshoz elég $n+1$ diszk
 - Egy blokk írása/olvasása szétosztódik a diszkek között, tehát felgyorsul
- Hátrányok:
 - Magasabb CPU igény
 - I/O műveletekben az összes diszk részt vesz, a párhuzamos teljesítmény romlik



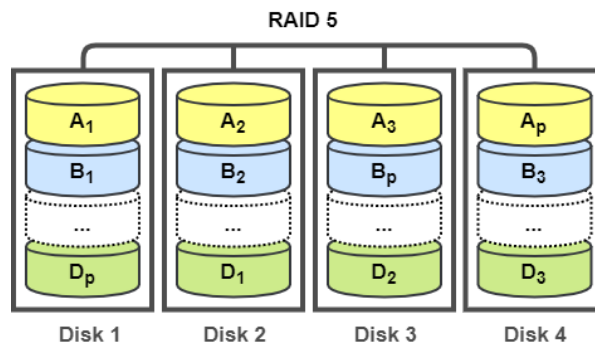
RAID 4 (paritásblokkok)

- A RAID 0 megoldást egészítsük ki egy P paritásdiszkkal
- Nincs szükség a bájtok felszabdolására, a paritás független blokkokra is számolható
- Egy diszk kiesése esetén a paritásdiszk és a többi diszk blokkjaiból helyreállíthatók az adatok
- Előnyök:
 - A RAID 3-hoz hasonlóan olcsó
 - Egy blokk beolvasásához elég egyetlen diszk, így a független olvasások párhuzamosíthatók
- Hátrányok:
 - Az egyedi olvasásműveletek sebessége csökken
 - Az írások nem párhuzamosíthatóak (a paritásdiszket minden írás használja)
 - A diszkek igénybevétele nem egyforma



RAID 5 (elosztott paritásblokkok)

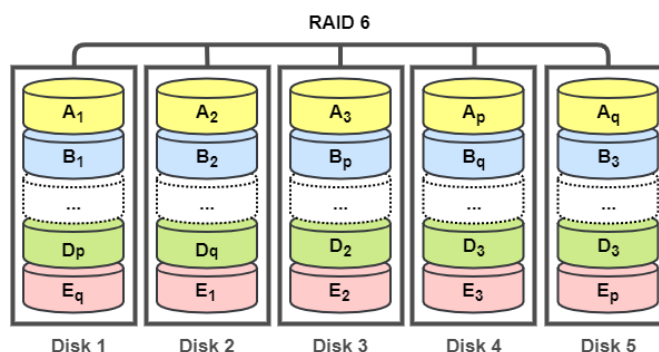
- A RAID 4 javítása: a paritásblokkokat keverjük az adatblokkok közé
- Például egy 5 diszkből álló tömbben az n . blokkhoz tartozó paritásblokkot tároljuk az $(n \bmod 5)+1$. diszken, a többi diszk n . blokkjai tárolják az adatokat
- A diszkek igénybevétele kiegyenlítődik
- Az írások némileg párhuzamosíthatók, azonban még mindig jóval lassabbak az egyszerű tükrözésnél



14. ábra. RAID 5

RAID 6 (P+Q)

- Paritásblokk (P) mellett hibajavító kódok (Q, Reed-Solomon)
- $n+2$ diszk költséggel n diszknyi kapacitást nyújt, és bármely két diszk kiesését elviseli
- Matematikai háttér: Galois-terek
- Jelentős, a RAID 5-nél is magasabb CPU igény
- Elvileg általánosítható kettőnél több diszk kiesésére, a gyakorlatban általában nem éri meg
- A P és Q blokkokat célszerű itt is az adatblokkok közé keverni

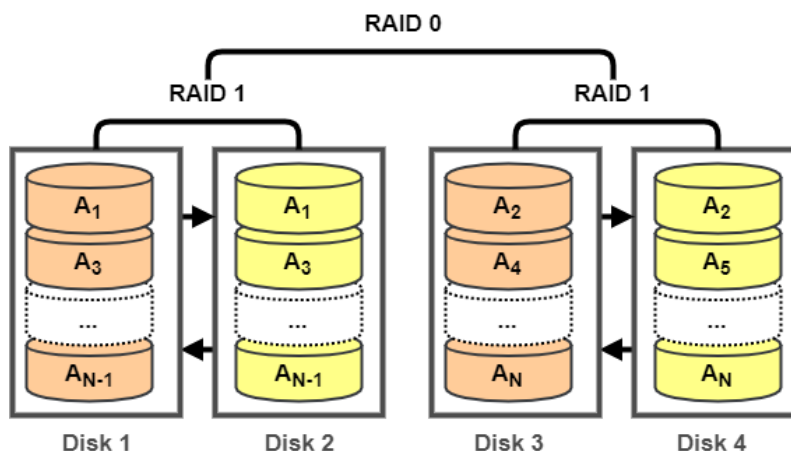


15. ábra. RAID 6

RAID 1+0 (RAID 10)

Hasonlít a RAID 01 megoldáshoz, annyi különbséggel, hogy itt a lemezeket először tükrözzük, majd a kapott tömböket fűzzük össze. Ez biztonság szempontjából jobb megoldás, mint a RAID 01, mivel egy diszk kiesése csak az adott tükrözött tömböt érinti, a rá épült RAID 0-t nem; sebességben pedig megegyezik vele.

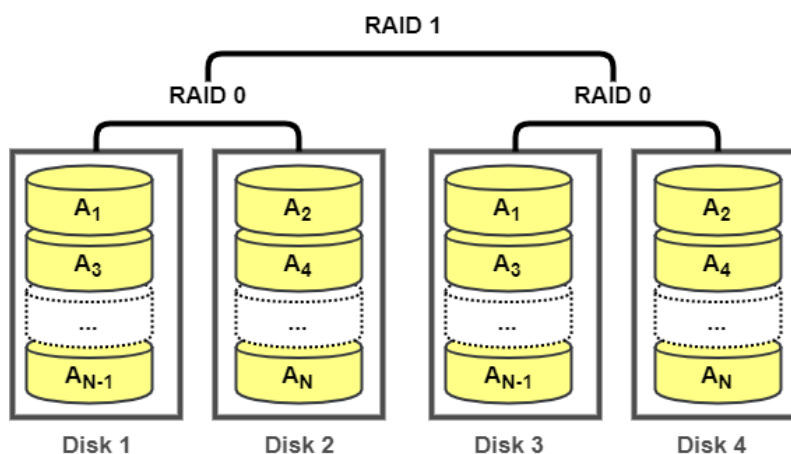
Hátránya, hogy legalább 4 adathordozóra van szükség, ahol 1-1 tükrözött adathordozó kerül összekapcsolásra, ezért az egyes adathordozók összes tárhelykapacitásának mindössze a fele felhasználható a tömbben. Előnye azonban az összekapcsolásból fakadó írási sebesség növekedés, valamint egy sajátos, több elemre is kiterjedő redundancia.



16. ábra. RAID 1+0

RAID 0+1 (RAID 01)

Ez egy olyan hibrid megoldás, amelyben a RAID 0 által hordozott sebességet a RAID 1-et jellemző biztonsággal ötvözhetjük. Hátránya, hogy minimálisan 4 eszközre van szükségünk, melyekből 1-1-et összekapcsolva, majd páronként tükrözve építhetjük fel a tömbünket, ezért a teljes kinyerhető kapacitásnak mindössze a felét tudjuk használni. Mivel a tükrözés (RAID 1) a két összekapcsolt (RAID 0) tömbre épül, ezért egy lemez meghibásodása esetén az egyik összekapcsolt tömb mindenképp kiesik, így a tükrözés is megszűnik. Fontos megjegyeznünk, hogy ez a megoldás legalább négy darab merevlemez igényel.



17. ábra. RAID 0+1

A vezérlők gyakran nyújtják egyiket, másikat, mivel így is, úgy is tükrözés van, azaz drága, így ritkán használt.

RAID összefoglalás

- A gyakorlatban csak a 0., 1., 5. és 6. szinteket alkalmazzák, illetve az 1+0, 0+1 kombinált megoldásokat. (RAID 2,3,4) nem gyakran használatosak.
- A komponens diszkek méretének egyformának kell lennie
- Új diszkek menet közbeni hozzáadásával nem lehet növelni a tárhelykapacitást, újra létre kell hozni a tömböt
- A 6. illetve szerencsés esetben az 1+0, 0+1 kivételével valamennyi szint csak egyetlen diszk kiesését viseli el
- Választási szempontok:
 - Magas megbízhatóság: 1, 5, 6, 1+0, 0+1
 - Nagy teljesítmény: 0, 1, 1+0, 0+1
 - Alacsony költség: 0, 5, 6
 - Ezek közül bármelyik kettőt teljesíthetjük
- Minden rendszernél külön kell mérlegelni, melyik a legmegfelelőbb megoldás; gyakran több különböző RAID szintű és méretű tömböt definiálunk
- Általában lehetőség van készenléti diszkek definiálására, melyeket a rendszer automatikusan üzembe állít, ha egy diszk kiesik
 - Az új diszk szinkronizációja időbe telik, ezalatt a tömb teljesítménye csökken
 - A szinkronizáció közbeni új diszkhiba végzetes (a RAID-6 ez ellen védelmet nyújt)
- A redundáns tömbök nem nyújtanak védelmet minden hibalehetőség ellen
 - Emberi tévedések
 - Programhibák
 - Az egész rendszert érintő hibák
- Váratlan leállások
- Túlfeszültség
- Természeti katasztrófák
- A fejlett operációs rendszerek kötetkezelő rendszerekkel (volume manager) könnyítik meg a hibátűrő logikai diszkek létrehozását és üzemeltetését
 - Új indirekciós szint a logikai blokkok és a RAID tömbök fizikai blokkjai között
 - A kötetkezelő rendszertől a partíciókhoz hasonló, de rugalmasan átméretezhető, hibátűrő logikai tárterületek (kötetek) igényelhetők
 - A rábízott fizikai partíciók tárterületével a kötetkezelő automatikusan gazdálkodik

Fájlrendszerek szolgáltatásai

Az adatállományok a rendelkezésre álló lemezterületen történő tárolásának és elrendezésének módszere a fájlrendszer.

Fájl

Olyan bitsorozat, melyek tartalma a folyamat befejeződése vagy a rendszer újraindítása után sem veszik el. Adatok logikai csoportja, névvel és egyéb attribútumokkal.

A fájl az információtartalmán túl a fájlt leíró ún. meta-adatokat vagy attribútumokat is tárolunk:

- neve
- elhelyezkedése a lemezen
- mérete
- tulajdonosai, elérési jogosultságok
- elérési és egyéb időbélyegek
- ...

Fizikai szerkezetét tekintve egy blokksorozat, amely nem feltétlenül egymást követő blokkokból áll (töredezés). És az utolsó blokkja általában töredékblokk (nem tölti ki feltétlenül a teljes blokkot). A meta-adatokat a fájl tartalmától elkülönítve önálló fájlleíró blokkokban tároljuk a lemezen.

A fájl típusa közli, hogy a fájl tartalma hogyan értelmezhető

- Explicit meta-attribútumokban (pl MAC)
- A fájlnevbe építve, kiterjesztés formájában (Windows)
- A fájl tartalmában elhelyezett speciális kódokkal (UNIX)

A fájl műveletei

- Új, üres fájl létrehozása
- Egy létező fájl törlése
- Írás (felülírás, beszúrás, hozzáfűzés)
- Olvasás (szekvenciális vagy közvetlen)
- Újrapiózicionálás (szekvenciális írás/olvasás)
- Meta-adatok lekérdezése, módosítása (például: Átnevezés)
- Zárolás
- ...

A fájlrendszer feladata a fenti műveletek hatékony implementációja.

A könyvtár a fájlrendszerben tárolt fájlokról tárolt jegyzék. Egy könyvtár alá tartozhatnak további könyvtárak ún. alkönyvtárak. Ez esetben minden könyvtárnak pontosan egy szülője lehet, kivéve a gyökér könyvtár, aminek nincs szülője. A könyvtárak hierarchiája fa szerkezetű.

Egy fájl útvonala a gyökérkönyvtár a fájlt tartalmazó könyvtárral összekötő út a könyvtárszerkezetben.

A rendszer a folyamatokhoz aktuális könyvtárat rendel. Ehhez az aktuális könyvtárhoz képest egy fájl vagy könyvtár hivatkozható relatív elérési úttal is.

A könyvtáraknak is vannak meta-adatai:

- neve
- tulajdonos, elérési jogosultságok
- időbélyegzők

A könyvtár műveletei:

- Új, üres könyvtár létrehozása
- Egy létező könyvtár törlése
- Listázás
- Keresés
- ...

A fájlkezelés alrendszerét rétegekre oszthatjuk. Az egyes rétegek csak a közvetlenül alattuk és fölöttük lévő rétegekkel kommunikálnak. Az alsó réteg szolgáltatásait használják, és a felső réteg számára szolgáltatásokat nyújtanak.

- 7 alkalmazás
- 6 rekordkezelő
- 5 fájlrendszer
- 4 kötetkezelő
- 3 eszközmeghajtó
- 2 I/O-vezérlő
- 1 lemez

Fájlrendszer típusok:

- Merevlemezen alkalmazott fájlrendszer: FAT, NTFS, EXT2FS, XFS, stb
- Szalagos rendszereken: Tartalomjegyzék, majd a tartalom szekvenciálisan
- CD, DVD, Magneto-opto Disc fájlrendszer: CDFS, UDF (Universal Disc Format)
- RAM lemezek (ma már kevésbé használtak)
- FLASH memória meghajtó (FAT32)
- Hálózati meghajtó: NFS
- Egyéb pszeudó fájlrendszerek: Zip, tar.gz, ISO

A modern operációs rendszerek viszont többféle fájlrendszert is támogatnak, és vannak olyan fájlrendszerek is, amelyeket több operációs rendszer is támogat.

Fájlfrendszerek szolgáltatásainak jellemző megvalósításai

A lemezen tárolt adatszerkezetek

- Boot blokk
- Fájlfrendszer-leíró blokk vagy blokkok (superblock)
 - Fájlok száma
 - Blokkok száma és mérete
 - Szabad blokkok száma
 - A fájlrendszer állapota (tisztta, gyanús, hibás)
 - Időbélyegzők
 - Utolsó csatolás
 - Utolsó ellenőrzés
 - Utolsó módosítás
 - Fájlfrendszer címkéje
- Könyvtárszerkezet a fájlok szervezéséhez
- Fájlleíró blokkok (i-node) a fájlok metaadatainak tárolására

Superblock nélkül a fájlrendszer nem használható, ezért több példányban is eltárolják általában.

A memóriában tárolt adatszerkezetek

- Csatolt fájlrendszerek táblázata
- Nemrégiben használt könyvtárak táblázata
- Rendszerben megnyitott összes fájl leírása
- Folyamatonkénti táblázat a folyamat megnyitott fájlairól
- Blokk gyorsítótár

A könyvtárakat általában speciális tartalmú adatállományokkal reprezentálják. Hasonló a fájlok tárolásához.

Blokkfoglalás

A fájlok tartalmát adatblokkokban tárolja

- Nyilvántartja mely blokkok tartoznak egy fájlhoz és milyen sorrendben
- Tudnia kell egy új blokkok hozzáadását egy már létező fájlhoz

A blokkok nyilvántartását metaadatok között tárolja magában az i-node-ban, vagy a lemez egy erre a célra elkülönített területén.

Folytonos blokkfoglalás

Legyenek a fájlok blokkjai együtt egy folytonos lemezterületen

- Dinamikus partíciók használhatók
- Egy fájl blokkjainak nyilvántartásához elég a kezdőblokkot és a fájl hosszát tárolni.
- Nagyon hatékony, mivel kizárja a fájl töredezettségéből eredő fejmozgásokat
- *Hátrányai:*
 - A szabad terület elaprozódása miatt külső töredezettség
 - Mivel a végső fájlméretet előre meg kell adni, a lassan növekvő fájlok jelentős belső töredezettséget eredményeznek
 - A fájl méret utólag nehezen növelhető
- Csak olvasható háttértárakon (CD, DVD, stb.), illetve nagy I/O teljesítmény esetén (nagy számítógépek) éri meg használni

Láncolt listás blokkfoglalás

Minden adatblokk végén megtalálható a következő adatblokk száma

- Az i-node csak az első adatblokk számát tartalmazza
- Láncolt lista adatszerkezet
- *Hátrányai:*
 - Csak szekvenciális I/O műveletek esetén elfogadható
 - A blokkmutatók tárolása miatt a használható tárhely kapacitás százalékokban kifejezhető mértékben csökken
 - Ha a blokkmutatók elromlanak jelentős lesz lehet az adatvesztés
- A tisztán ezt a módszert a gyakorlatban ritkán használják
 - Több blokkot fürtbe (cluster) fogva javítható a viselkedés, de nő a belső töredezettség
 - Jellemzően a blokkmutatók kigyűjtése egy külön táblázatba: FAT

Indexelt blokkfoglalás

A fájl adatblokkjainak sorszámát sorozzuk fel egy külön erre a célra fenntartott indexblokkban

- Az i-node-ban erre az indexblokkra hivatkozunk
- Minden fájlhoz külön indexblokkot rendelünk
- A szekvenciális és közvetlen elérést egyaránt jól támogatja
- Rövid fájlok esetén az utolsó adatblokk mellett az indexblokk is csak részlegesen lesz kihasználva
- Az indexblokkokat általában a memóriában megőrizzük

Mi történik, ha betelik az indexblokk?

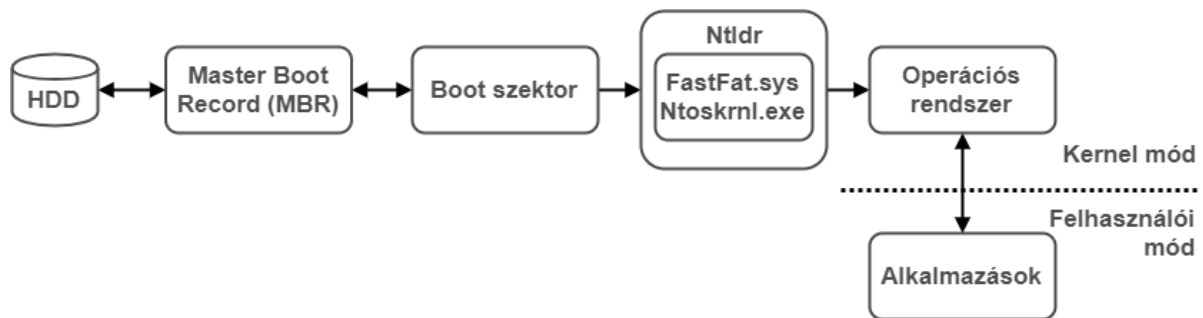
- Új blokkot láncolhatunk hozzá (láncolt listás index)
- Második szintű indexblokkot definiálhatunk
 - Követlen indexblokkok számait sorolja fel
 - Tetszőlegesen szintig kiterjeszthető
- A két megoldást kombináljuk

- Az i-node-ban felsorolunk néhány adatblokkot, néhány közvetlen indexblokkot, és egy-egy második és harmadik szintű indexet
- Hatékony és gazdaságos megoldás
- Elterjedt (klasszikus UNIX UFS, Linux ext2, stb.)

Fájlszisztemek megvalósításai

FAT

Egy FAT partíció létrehozása



18. ábra. FAT partíció

Egy partíció formázásakor és a FAT fájlrendszer beállításakor egy úgynevezett Master Boot Record (MBR) jön létre a háttértárolón.

A Master Boot Record, vagy más néven a partíciós szektor a merevlemez legelső szektorának (azaz az első lemezfelület első sávja első szektorának) elnevezése.

Csak a particionált merevlemezeknek van Master Boot Recordjuk.

A Master Boot Record a merevlemez legelején, az első partíció előtt található meg.

A Master Boot Record egy kisebb végrehajtható kódot, amit Master Boot Code-nak hívunk, és egy partíciós táblát tartalmaz.

Egy új partíció becsatolásakor a Master Boot Record végrehajtja a Master Boot Code-ot, és átadja a vezérlést a lemez boot szektorának.

Hard disk	Háttértároló, ami egy vagy két partíciót tartalmaz.
Boot szektor	Összesen: Bootolható partíció, amely információkat tartalmaz a lemez kialakításáról, a fájlrendszer struktúrájáról. Itt tárolódik a boot code is, amely az Ntldr-t tölti be.
Master Boot Record	Olyan végrehajtható kódot tartalmaz, amit a rendszer BIOS (Basic Input/Output System) tölt be a memóriába. A kód a partíciós tábla alapján eldönti, hogy melyik partíció aktív vagy bootolható.
Ntldr.dll	A processzort (CPU) védett módba állítja, elindítja a fájlrendszert, majd kiolvassa a Boot.ini fájl tartalmát. Ezek az információk meghatározzák a kezdeti beállításokat és a kezdeti „boot menu” opciókat. Az Ntldr Windows NT alapú operációs rendszerek betöltőprogramja, amelynek feladata az alapvető hardverkonfigurációs jellemzők felderítése és az ezeknek megfelelő rendszermagváltozat betöltése és elindítása.
Fastfat.sys	System file driver a FAT 16-hoz és a FAT 32-höz.
Ntoskrnl.exe	Információt ad arról, hogy melyik system device drivert kell betölteni, és hogy mi a megfelelő betöltési sorrend.
Kernel mód	Az a végrehajtó mód, amely lehetőséget biztosít a kódoknak, hogy közvetlen hozzáférjenek az összes hardverhez és a memóriához a rendszerben.
Felhasználói mód	Az a végrehajtó mód, ahol az alkalmazások futnak.

A FAT fájlrendszer fizikai szerkezete, lemezkezelése

A klaszter a legkisebb egység a lemezen, amit le lehet foglalni egy fájl tárolásához. A szektor a tárolás egysége a háttértárolón. Ha például egy háttértároló 512 bájtos szektorméretet használ, akkor az 512 bájtos klaszter egy szektort, míg a 4 kilobájtos klaszter nyolc szektort foglal magában.

A klaszterek a partíció kezdetétől sorban vannak megszámozva. Mivel a FAT fájlrendszer adatklaszterei a BIOS Parameter Block, a fenntartott szektorok és két FAT struktúra után találhatók, így a FAT formázás nem garantálja, hogy az adatklaszterek illeszkednek a klaszterhatárokra.

Mivel a FAT 16 és a FAT 32 különböző méretű klaszterekkel dolgozik, a kötet méretétől függően, így az összes fájlrendszernek megvan a maximálisan támogatott klaszterszáma. Minél kisebb a klaszter mérete, annál hatékonyabb az adattárolás a lemezen.

A nevekben elhelyezkedő számok utalnak arra, hogy hány bit szükséges a FAT tábla egy bejegyzésének tárolására:

- FAT16:
 - 16 bites bejegyzések
 - (Ez 216 klasztert jelent.)
- FAT32:
 - 32 bites bejegyzések, amiből 4 bit a FAT bejegyzésre van félretéve.

- (Tehát maximum 228 klaszter lehetséges.)

A **FAT16** fájlrendszer méretkorlátai

Leírás	Maximális fájl méret
Maximális fájl méret	Összesen: 4 GB - 1 bájt (azaz 232 bájt - 1 bájt).
Maximális kötet méret	Összesen: 4 GB.
Fájlok maximális száma kötetenként	Megközelítően 65 536 (azaz 216 darab fájl).
Maximum hány fájl vagy könyvtár lehet a gyökérkönyvtárban?	512 db

A **FAT32** fájlrendszer méretkorlátai

Leírás	Maximális fájl méret
Maximális fájl méret	Összesen: 4 GB - 1 bájt (azaz 232 bájt - 1 bájt).
Maximális kötet méret	32 GB (implementációfüggő).
Fájlok maximális száma kötetenként	4 194 304 darab.
Maximum hány fájl vagy könyvtár lehet a gyökérkönyvtárban?	65 536 db

A **FAT** fájlrendszer kötetszervezése, felépítése

Boot sector	Reserved sectors	FAT (1)	FAT (2) Copy of FAT (1)	Root folder	Files and folders
Elemek		Leírás			
Boot sector		Bootolható partíció, amely információkat tartalmaz a lemez kialakításáról, a fájlrendszer struktúrájáról. Itt tárolódik a boot code is.			
Reserved sectors		A szektorok száma, ami megelőzi az első FAT köteget, és tartalmazza a boot szektort.			
FAT 1		Eredeti FAT kötet.			
FAT 2		Biztonsági mentés a FAT kötetéről.			
Root folder		Leírja a fájlokat és a mappákat, amelyek a partíció gyökerében találhatóak.			
Files and folders		A fájlok és mappák adatait tartalmazza, amelyek a fájlrendszerben találhatóak.			

A FAT fájlrendszer az elnevezését a benne megvalósított fájláncolási eljárásról kapta. Ebben a fájláncolási eljárásban nemes egyszerűséggel felvettek egy táblázatot, ami megmondja, hogy az n.-ik klaszteren elhelyezkedő fájl következő darabja pontosan hol található. A FAT táblában szerepelhet a valós értékek mellett egy-két extrém érték is, amelyek a fájl végét, hibás klasztert vagy

üres blokkot jelölhetnek.

A FAT tábla összesen két példányban került a lemezre, így ha az egyik megsérült valamilyen oknál fogva, akkor az a másikkól helyreállítható volt. Sajnálatos módon a tervezésnél a két FAT tábla (az eredeti és a duplikátum) pontosan egymás mögött helyezkedik el, így egy szerencsétlen hardverhiba esetén mind a kettő akár egyszerre is megsérülhet. A dupla hibalehetőségre viszont az informatikában nem lehet tervezni, mivel elég költséges.

A FAT fájlrendszeren egy fájl neve nyolc (8) ASCII karakter lehetett, amelyet egy háromkarakteres (3) kiterjesztés követett. Az MS-DOS és a Microsoft Windows operációs rendszerek a kiterjesztés alapján döntöttek el (és ez alapján döntenek el a mai napig is) egy fájl típusát.

A könyvtárak és a kötetazonosítók attribútumokkal voltak jelölve. A FAT fájlrendszer egyéb attribútumai (mint például a rendszerattribútum, a rejtett attribútum, az archív attribútum és a csak olvasható attribútum) eléggé „gyengére” sikerültek, mivel alkalmazásfüggő volt, hogy a fájlrendszer figyelembe vette-e őket, vagy sem. A FAT fájlrendszer eredetileg csak az utolsó módosítás dátumát tárolta, azt is csak két másodperces felbontással.

A Microsoft Windows 95 operációs rendszerben bevezették az úgynevezett LFN-t, azaz a hosszú fájlnevet támogatást.

Minden egyes könyvtárbejegyzés tárolja a fájl első darabjának helyét (a kezdő klasztert), és a FAT fájlrendszerben a fájl végigolvasásához innen indulva kell végigjárni a FAT táblát.

A fragmentáció a FAT fájlrendszerekben

A FAT fájlrendszernek sosem voltak különféle mechanizmusai, eljárásai a fájlok töredezettségének a megakadályozására, illetve kezelésére. A fájl töredezettség azt jelenti, hogy a fájl egyes darabkái egymástól messze található klaszterekbe kerülnek (ez az úgynevezett first-fit allokációs módszer). Így a fájlok beolvasásakor a merevlemez olvasófejének rendkívül sokat kell ide-oda mozognia, ezáltal nagyon lassú lett a fájlok beolvasása, a merevlemez pedig folyamatosan „berregett”.

A FAT fájlrendszerhez mellékeltek emiatt egy úgynevezett defragmentáló (töredezettségmentesítő) programot, amellyel „on-demand”, azaz azonnal sorba lehetett rendezni a fájlrendszeren található állományokat. Így könnyen megtörténhetett az, hogy egy akkoriban lassan bootoló 486-os számítógép szinte „szárnyakat kapott” egy egyszerű defragmentálástól.

A defragmentálás mindenestre akkoriban egy rendkívül időigényes és veszélyes folyamat volt. A veszélyesség abban az értelemben nyilvánult meg, hogy egy pillanatnyi áramszünet komoly adatvesztéses károkat okozhatott a fájlrendszerben.

A FAT fájlrendszer napjainkban

A FAT fájlrendszer az MS-DOS, a Microsoft Windows 95 és a Microsoft Windows 98 operációs rendszerek natív fájlrendszere. Manapság az MP3 és az MP4 lejátszókon, a flash-drive-okon, a memóriakártyákon és a digitális kamerákon is használnak FAT fájlrendszert, mert kompatibilis szinte minden operációs rendszerrel.

A FAT eredeti változatai a nagyobb meghajtók esetében a rendelkezésre álló helyet nagyon rosszul kezelték, éppen ezért hozta létre a Microsoft a FAT fájlrendszer bővített 32-bites változatát, amit FAT 32-nek neveztek el. Az „eredeti merevlemezes” FAT változatra FAT 16-osként szokás hivatkozni, mert az allokációs egységek számát 16 biten tárolja. A FAT fájlrendszernek ezen a két változatán kívül (FAT16, FAT32) létezett még 12 bites változata is, amit FAT 12-nek nevezünk.

Utóbbi azonban kizárólag hajlékonylemezes egységeken volt használatban.

A FAT fájlrendszer napjainkban elavult fájlrendszernek tekinthető, mert sem naplózási, sem biztonsági jogosultságok tárolására nem alkalmas.

NTFS

Az NTFS fájlrendszer (avagy New Technology File System) a Microsoft korábbi FAT fájlrendszerét váltotta le. A Microsoft Windows NT operációs rendszerben jelent meg először.

Manapság széles körben elterjedt az NTFS fájlrendszer, ugyanis rengeteg újítás, újdonság és extra funkció érhető el benne, ami az elavult FAT fájlrendszerben nem volt elérhető, és emiatt a FAT fájlrendszer hiányosságaként soroltuk fel az előző pontban. Ilyenek például

- metaadatok támogatása,
- fejlettebb adatstruktúrák támogatása,
- sebesség és a megbízhatóság növekedése,
- lemezterület optimálisabb felhasználás,
- rendelkezik hozzáférés-védelmi listával
- naplózás

Elterjedése a Microsoft operációs rendszereken kívül akadályozott, mivel az NTFS fájlrendszer pontos speciifikációja a Microsoft szabadalma.

Az NTFS fájlrendszer 64 bites indexeket használ a klaszterek kiválasztásához, így nem pazarol az amúgy is szűkös hellyel. A 64 bites indexelési módszernek köszönhetően az NTFS fájlrendszernek az elvileg elérhető maximális partíciómérete 16 exabájt (16 EB), ám a gyakorlatban 2 terabájt (2 TB) nagyobb partíciókat már nem kezel.

Az NTFS fájlrendszer teljesen a Microsoft Windows NT operációs rendszer biztonsági modelljére épül. Pontosabban a DACL (Discretionary Access Control List) és SACL (System Access Control List, magyarul hozzáférési listák) biztonsági megfontolásaira épül, így az NTFS fájlrendszeren belül megadható, hogy melyik felhasználó mikor és mit végezhet egy-egy fájllal, továbbá minden elvégzett művelet visszakövethető benne. Ez a biztonsági modell az, amivel az NTFS fájlrendszer valóban hatalmas előrelépés volt a FAT fájlrendszerhez képest. Az NTFS fájlrendszer mellett szól még az is, hogy egy többfelhasználós környezetben, mint amilyen a Microsoft Windows NT operációs rendszer szerver verziója, feltétlenül szükséges egy ilyenfajta biztonsági modell követése.

A FAT fájlrendszerrel ellentétben az NTFS fájlrendszer volt az első olyan Microsoft Windows platformú fájlrendszer, ami natívan (bármiféle „hack” nélkül) támogatta a hosszú fájlneveket.

A FAT fájlrendszer legnagyobb hibáját, miszerint a FAT fájlrendszerben nincs semmilyen hibatűrő⁸ megoldás, az NTFS fájlrendszer ügyesen megoldotta.

Az NTFS fájlrendszer megoldása az lett, hogy vezet egy beépített fájlművelet-végzési nyilvántartást (azaz egy úgynevezett log fájlt). Ebbe a speciális log fájlba minden egyes fájlművelet során egy bejegyzést tesz. Így amikor egy esetleges rendszerhiba következik be (pl. a fentebb említett „le-

⁸A hibatűrő megoldás alatt azt értjük, hogy ha a nyitott fájlok módosítása, szerkesztése során fellép egy esetleges rendszerhiba, például a számítógép „lefagy”, akkor a fájlrendszer -partíción tárolt adatok nem válnak inkonzisztenssé.

fagyás”), akkor az újrabootolás során a log fájlok alapján azonnal meg lehet állapítani, hogy a rendszerhiba bekövetkezésekor történt-e bármiféle adatvesztés, vagy sem. Amennyiben a log fájlok alapján megállapítható az adatvesztés megtörténte (a log fájlban benne lesz, hogy a fájlmodosító művelet félbemaradt), akkor el kell indítani az úgynevezett CHKDSK (lemezellenőrző) programot. A CHKDSK program a log fájlt felhasználva megpróbálja visszaállítani az eredeti konzisztens állapotot. A log fájl minden bejegyzése két típusú lehet: vagy ismétlő (redo), vagy visszavonó (undo) parancsot tartalmazhat.

A log fájl mérete a merevlemezről függően két és négy megabájt között (2 MB – 4 MB) mozoghat. Ha az NTFS fájlrendszer nem vizsgálná meg mindig, hogy az ismétlő (redo) és a visszavonó (undo) információk szükségesek-e hibajavítás esetére, akkor a log fájl mérete gyorsan megnőne, és így hamar be is telne. Ennek az elkerülése végett az összes módosított adatot lemezre menti az NTFS fájlrendszer, és törli a log fájl tartalmát. Ez a vizsgálat az úgynevezett checkpoint- (határpont-) képzés. A vizsgálat körülbelül minden 4. vagy 5. másodpercben megtörténik.

Az NTFS fájlrendszer maximális fájlmérete

Elemek	Határ
Maximális fájlméret	Elvi megvalósíthatóság: 16 exabájt – 1 kB (264 bájt – 1 kB) Megvalósított: 16 terabájt – 64 kB (244 bájt – 64 kB)
Maximális kötetméret	Elvi megvalósíthatóság: 264 klaszter – 1 klaszter Megvalósított: 256 terabájt – 64 kB (azaz 232 klaszter – 1 klaszter)
Fájlok maximális száma kötetenként	4 294 967 295 (azaz 232 – 1 fájl)

Az NTFS fájlrendszer maximális kötetmérete

Elméletben a maximális NTFS kötetméret 264 - 1 klaszter (foglalási egység). Ennek ellenére a maximális NTFS kötetméret a Windows XP Professional megvalósításának megfelelően 232 - 1 klaszter.

Partíció méret	NTFS klaszterméret
7 megabájt (MB) – 512 megabájt (MB)	512 bájt (B)
513 megabájt (MB) – 1,024 megabájt (MB)	1 kilobájt (kB)
1,025 megabájt (MB) – 2 gigabájt (GB)	2 kilobájt (kB)
2 gigabájt (GB) – 2 terabájt (TB)	4 kilobájt (kB)

Az NTFS fájlrendszer kötetsszervezése, felépítése

NTFS Boot sector	MFT Master File Table	File System Data	Copy of MFT
------------------	--------------------------	------------------	-------------

Elemek	Leírás
NTFS Boot Sector	Tartalmazza a BIOS paraméterblokkot, ami információkat tárol a lemez kialakításáról és a fájlrendszer struktúrájáról; a „boot code” is itt tárolódik.
MFT Master File Table	A fájlok eléréséhez szükséges információkat tartalmazza, amelyek az NTFS fájlrendszerű partícióon találhatók.
File System Data	Minden más olyan adatot tárol, amelyeket a Master File Table már nem.
Master File Table Copy	Biztonsági mentés a Master File Table-ről, ha az eredetint tárolt adatokhoz nem lehet hozzáférni.

Az NTFS fájlrendszer fizikai szerkezete, lemezkezelése

Az NTFS fájlrendszer a fájlok és a könyvtárak adatai mellett egy sereg egyéb fájlt is használ a lemezkezeléssel összefüggő adatok tárolása végett. Ezekben a fájlokban és más, az NTFS fájlrendszerrel kapcsolatos fájlban, illetve könyvtárban tárolt adatok összességét úgynevezett metaadatnak (metadata) nevezzük. Egy NTFS fájlrendszerbeli partíció formázása során 11 metaadatfájl jön létre. A metaadatfájlok nem láthatóak egyszerűen semmilyen felsorolásban, viszont ha tudjuk, mi az általunk keresett metaadatfájl neve, akkor kilistáztathatjuk.

Az NTFS fájlrendszer legfeljebb 32 000 Unicode karakter hosszúságú elérési útvonalakat támogat, amelyeknek minden komponense (ami egy könyvtár vagy egy fájlnev) legfeljebb 255 Unicode karakter hosszúságú lehet. Bizonyos azonosító neveket a rendszer azonban fenntart a saját használatra. Ennek az az oka, hogy az NTFS fájlrendszer metaadatai szabályos (ámbár rejtett és általában nem hozzáférhető) fájlokban tárolódnak; emiatt a felhasználói adatállományok nem használhatják fel a neveiket. Ezek a rendszerfájlok mindig az NTFS fájlrendszerű kötet gyökerében tárolódnak, és kizárólag a gyökérkönyvtárban vannak fenntartva.

Ext fájlrendszer

Az „ext” kifejezés a fájlrendszerek neveiben az extended (magyarul kiterjesztett) kifejezést takarja.

Az extended fájlrendszer volt az első kifejezetten a UNIX-szerű GNU/LINUX operációs rendszerekhez készített fájlrendszer, amely örökölte az UFS (UNIX File System) fájlrendszer metaadat-szerkezetét, és arra készült, hogy a Minix operációs rendszer fájlrendszerének a hibáit kiküszöbölje.

A hibák kiküszöbölése többek között a Minix operációs rendszer fájlrendszer-határainak kiterjesztése, például:

- a maximális méret, amely a 16 bites offszet miatt csak maximálisan 64 megabájt (64 MB) lehetett, illetve
- a maximális fájlnévhosszúság, amely csak 14 karakter lehetett.

Ennek megoldásához egy virtuális fájlrendszerréteget tettek a Linux-kernelbe⁹, mellyel a maximális méret két gigabájtra (2 GB), a fájlnevek hosszúsága pedig 255 karakteresre növekedhetett.

Hiányossága volt azonban az, hogy mindezek ellenére nem biztosította a fájlok egyenkénti elérését, és nem rögzítette a fájlok módosításának idejét!

⁹Az operációs rendszer magja. Ez a rész tartalmazza a hardver eszközöket kezelő programot is.

Ext2 fájlrendszer

Az extended fájlrendszer következő verziója az „ext2” fájlrendszer lett (second extended filesystem – második kiterjesztett fájlrendszer).

Az ext2 fájlrendszer, amely a GNU/LINUX operációs rendszereken kívül más rendszereken is megjelent, több Linux disztribúció alapértelmezett fájlrendszere volt, amíg az utódja, az „ext3” fájlrendszer el nem készült.

Az ext2 fájlrendszer nagy előnye a többi más fájlrendszerekhez képest, hogy már a tervezésénél készültek a folytatására, továbbfejlesztésére úgy, hogy a még meg nem valósított, azaz nem implementált funkcióknak meghagyták benne a helyet.

Az ext2 fájlrendszer adatszerkezete

A szabad területet az ext2 fájlrendszer blokkokra osztja, a blokkokat pedig további csoportokra osztja tovább.

Egy-egy fájl – amennyire csak lehet – egy csoportba tartozik, hogy a csökkentse a fájlrendszer szabad területének töredezését, és hogy csökkentse a keresést nagyméretű folytonos elérésű fájlok esetén.

Minden csoport tartalmazza a saját leíró tábláját és a superblokk leírójának másolatát, egy blokk térképet, amely számon tartja, hogy mely fizikai részek foglaltak, és melyek nem.

Ezekon kívül tartalmaz még egy úgynevezett **i-node**-ot¹⁰, melynek szintén van blokk térképe és leíró táblája. Ezek címeit a csoportleíró tartalmazza.

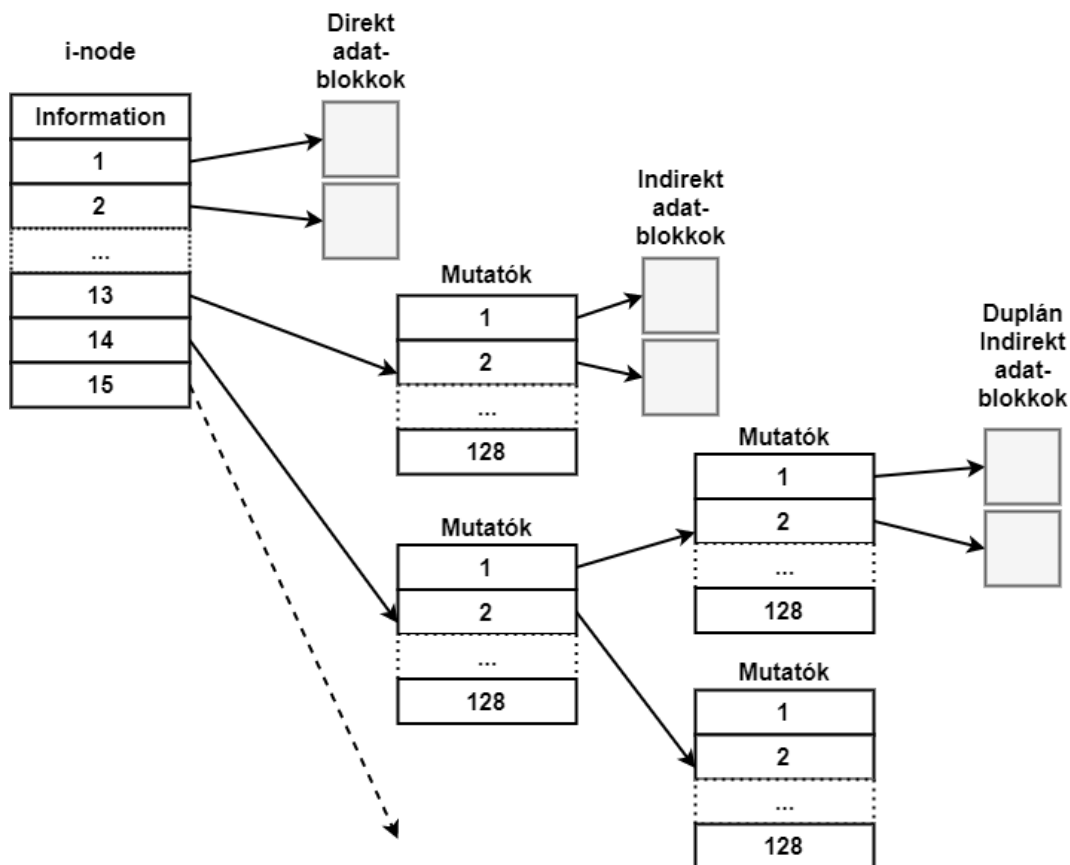
Az i-node-ok használata az ext2 fájlrendszerben

Minden egyes fájlt és könyvtárat egy-egy i-node ír le (19. ábra). Ez tartalmazza a fájlok tulajdonságait:

- hozzáférési jogok,
- engedélyek,
- fajlméret és
- a fájl helye a merevlemezen

Az i-node struktúra 15 mutatót tartalmaz, melyből 12 fix, és a 13-astól kezdve pedig újabb i-node-okra mutathat, amennyiben a fájl nem fér bele egy i-node-ba.

¹⁰A UNIX fájlrendszerének megszervezésében használatos, a fájllal kapcsolatos információkat tárolja



19. ábra. i-node szerkezete

A könyvtárak az ext2 fájlrendszerben

Minden egyes könyvtár további könyvtárbejegyzéseket tartalmazhat. Ezek a bejegyzések azonosítják az egyes fájlokat az egyes i-node-okhoz. Tartalmazhatják az

- i-node számát,
- a fájlnev hosszúságát és
- a fájl nevét.

Egy megadott keresés során a kereső ezeken az adatokon megy végig, ezeket az adatokat vizsgálja meg. A gyökérkönyvtár mindig az i-node második eleme, így a rendszer a felcsatlakoztatás (mount) során rögtön megtalálja. Az alkönyvtárak a fájlokhoz hasonlóan szerepelhetnek a táblában, egy saját i-node számmal és egy saját névvel. A hivatkozások pedig ugyancsak egy i-node azonosítóhoz rendelnek több nevet, így végül mindegyik hivatkozás ugyanarra a fizikai helyre mutat.

Az aktuális munkakönyvtár [. (a pont)] és a szülő munkakönyvtár[.. (a dupla pont)] ugyanígy tárolódik a fájlrendszeren belül, vagyis minden egyes könyvtár tartalmazza a saját és a szülőjének a nevét és az ő azonosítóját. Ezek a könyvtárak létrehozásakor automatikusan létrejönnek, és csak a könyvtárral együtt törölhetők!

Az ext2 fájlrendszer határai

A fájl méretének és a meghajtó méretének határait a blokkok mérete határozza meg az ext2 fájlrendszerben, amelyet az adott architektúra lapmérete határoz meg a legfőképpen. Ezek a határok a fájlrendszer felépítése során rögzülnek, és még számos felhasználói programnak is lehetnek határai [például a két gigabájt nál (2GB) nagyobb fájlok esetében].

Az ext2 fájlrendszer maga nem tartalmazza a lehetőséget az adatok tömörített tárolására.

Ext3 fájlrendszer

Az ext3 fájlrendszer (third extended filesystem – harmadik kiterjesztett fájlrendszer) az ext2 fájlrendszer utódja.

- Az ext2 fájlrendszerhez képest naplózást is tartalmaz.
- Visszafelé irányú kompatibilitása lehetővé teszi, hogy bármiféle adatmentés nélkül átalakítható legyen az ext2 fájlrendszerből.
- Tesztek azt mutatják, hogy a hasonló fájlrendszerekhez képest kevesebb processzor- (CPU-) erőforrást használ, és egyszerűsége.
- A nagy felhasználói bázisa miatt biztonságosabb.
- A naplózáson kívül az ext3 fájlrendszer lehetővé tette a kikapcsolás nélküli növelés és a sok fájl tartalmazó könyvtárak H-fával való indexelését.
- Az ext2 fájlrendszerre írt diagnosztikai és javító eszközök kisebb módosítással használhatók az ext3 fájlrendszerrel.

Ezek nélkül az ext3 fájlrendszer teljesen azonos lett volna az ext2 fájlrendszerrel.

Az ext3 fájlrendszer hátrányai

- Az ext2 fájlrendszerrel való visszafelé kompatibilitás miatt számos modern fájlrendszerre jellemző tulajdonság kimaradt az ext3 fájlrendszerből.
- Az ext3 fájlrendszer nem ellenőrizhető addig, amíg az csatlakoztatva van az operációs rendszerhez.
- Törlésnél a fájlrendszer aktívan távolítja el az i-node-okban tárolt adatokat, főleg biztonsági okokból, ezért nincs sok lehetőség a fájlok helyreállítására.
- A tömörítést, mint az ext2 fájlrendszer esetén, csak egy kiegészítő program biztosíthatja.
- Nincs támogatás egy aktuális állapotkép készítésére, mely időnként mentené a fájlrendszer állapotát.
- Nem számol ellenőrző összegeket a naplóbejegyzésekhez.

ReiserFS fájlrendszer

A ReiserFS fájlrendszer lehetővé teszi egy blokkos eszközön (block device) változó méretű fájlok tárolását és könyvtárstruktúrába rendezését.

A ReiserFS fájlrendszer egy olyan fájlrendszer, amely csak és kizárólag a GNU/LINUX operációs rendszer alatt használható jelenleg korlátozás nélkül.

A ReiserFS előnyei

- Jobb lemezterület-kihasználás.
- Jobb lemezhozzáférési teljesítmény.
- Gyors visszaállítás rendszerösszeomlás után.
- Megbízhatóság az adatnaplózás használatával.

A ReiserFS fájlrendszer jellemzői

- A ReiserFS fájlrendszer a metaadatokat, sőt a négy kilobájtnál nem rövidebb fájl tartalmak kivételével mindent egyetlen B+ fában tárol.
- Több fájl utolsó blokkjait egyetlen lemezblokkban is képes tárolni.
- A ReiserFS fájlrendszer – a többi UNIX fájlrendszerhez hasonlóan – egyszerűen az i-node-okat a könyvtárstruktúrán kívül tárolja.
- Hiba esetén, ha az lemezellenőrzés a B+ fában hibát érzékel, azt a jelenlegi ReiserFS fájlrendszer implementáció csak a teljes B+ fa újraépítésével tudja javítani.

A ReiserFS fájlrendszer összehasonlítása más fájlrendszerekkel

A ReiserFS fájlrendszer előnyei az ext2 és egyéb korábbi fájlrendszerekhez képest:

- nagyobb maximális fájl méret és fájlrendszer méret
- a fájlrendszer mérete lecsatolás nélkül is növelhető (ezt az ext3 fájlrendszer is tudja)
- journaling, azaz naplózás (az ext3 és ext4 fájlrendszerben már van naplózás)
- nagy könyvtárak gyorsabb elérése
- nem kell az i-node-ok számát létrehozáskor megadni
- a négy kilobájtnál kisebb fájlok, fájlblokkok pazarlásmentes tárolása (tail packing)

A ReiserFS fájlrendszer hátrányai az ext2 és egyéb korábbi fájlrendszerekhez képest:

- globálisan lockolja (zárolja) a Linux-kernelt
- hardverhiba esetén nagymértékű adatvesztés történhet