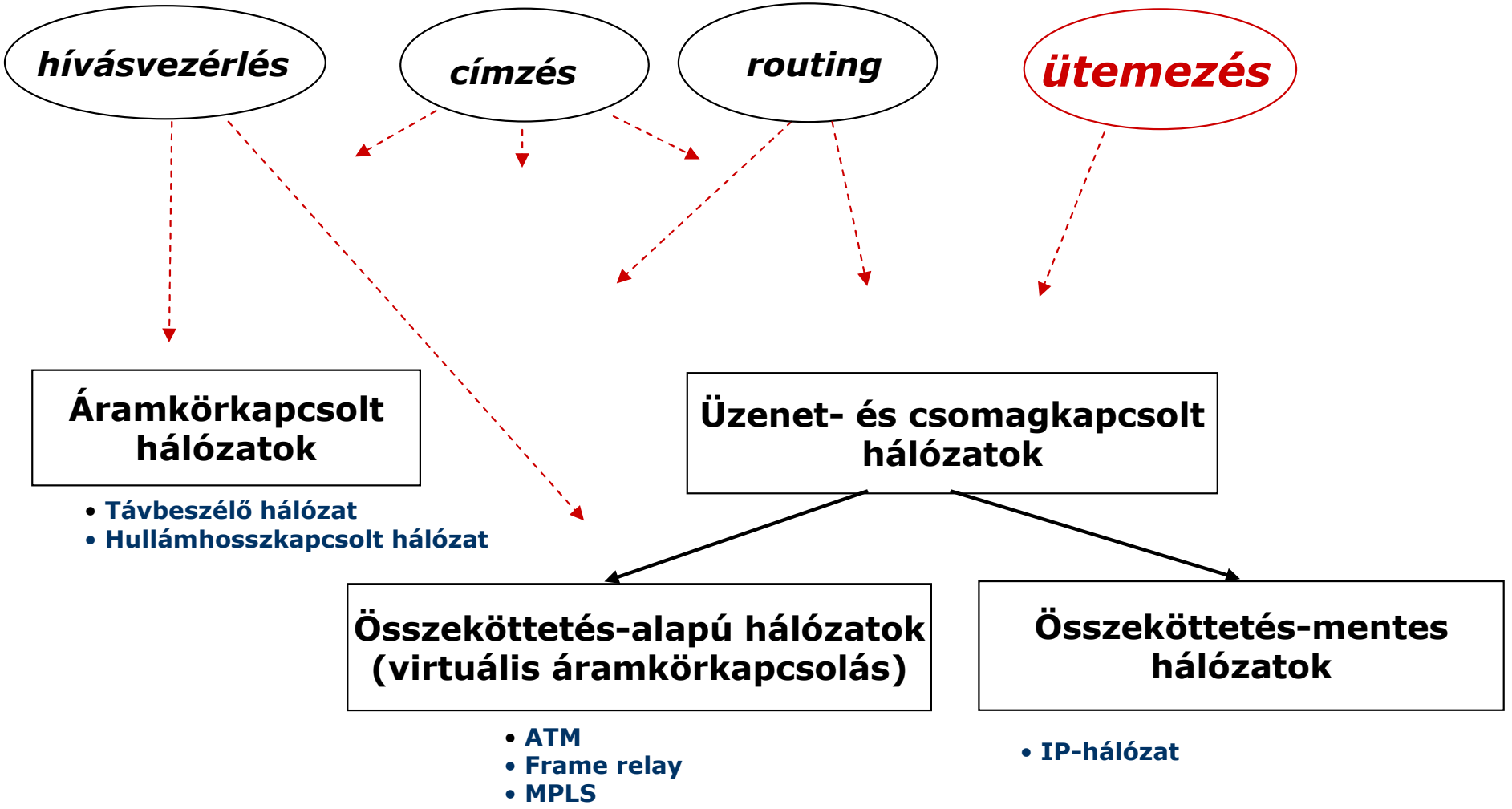
Feladatütemezés, csomagkezelés

„Scheduling”

További nagyon fontos funkció a kapcsolt hálózatok működtetéséhez



Mi az, hogy „scheduling”, ütemezés?

- Több területen is megjelenő problémára megoldás
- Sokszor van **véges erőforrással** dolgunk
  - amelyet **időnként nagyobb mértékben kellene igénybevenni**, mint amekkorára az képes
  - máskor viszont nincs eléggé leterhelve, viszont igaz, hogy
  - **hosszú idejű átlagban képes az igények kiszolgálására**

    (ekkor van ütemezési probléma, ha nem így van, akkor bővíteni kell az erőforrást)
- Időnként tehát **várakozni kell** az erőforrásra
  - Milyen **elvek, stratégiák alapján** képezzünk sort, sorokat a várakozókból, ahhoz, hogy
  - **adott kiszolgálási feltételek, elvárások** a lehető legjobban teljesüljenek

Scheduling a hálózatokban

- Csomagkezelés a hálózat csomópontjaiban
  - **Csomag jön → cél-cím → csomag megy**
- Mik a véges erőforrások, miért kell várakozni?
  - **A linkek átviteli képessége**
  - **A csomópontok tárolási képessége (tárolás, sorbaállítás, átrendezés)**
  - **A csomópontok feldolgozási képessége**
- Jól van méretezve az a hálózat, amelynél ez előfordul?
- Igen, mert feltételezzük, hogy nagyszámú igény adja össze a teljes igénybevételt és azok általában kiegyenlítik egymást, eltekintve kilógó esetekről, amelyekre jó becslést lehet adni, ez a
  - ***statisztikus multiplexelés***
- és így jobban járunk, mintha a csúcsra méreteznénk ez a
  - ***statisztikus nyereség***

Miről lesz szó ebben a részben?

- *Bevezetés*
- *Követelmények*
- *Lehetőségek*
- *A „best effort” kiszolgálás ütemezői*
- *Ütemezés garantált kiszolgálás esetén*
- *Csomageldobás*

Bevezetés

- Verseny az osztott használatú erőforrásokért
  - Miért verseny, miért nem FCFS (**f**irst-**c**ome-**f**irst-**s**erved)?
    - sok esetben jó okunk van az eltérésre
    - példa a hétköznapi életből
- Feladatütemezési módszer kell:
  - Az igazságos megosztáshoz
    - lehet egyenlő, de nem feltétlenül az egyenlősdi az igazságos
  - A kiszolgálási minőség garantálásához
    - különböző típusú forgalomnak különböző elvárásai vannak, pl. nem mindegyik egyformán sürgős
- A módszer két független összetevője:
  - Kiszolgálási sorrend meghatározása - *késleltetés*
  - Kiszolgálásra várakozók túlcsordulásánál igényeldobási „stratégia” - *vesztési arány*

Miről van szó tehát, amikor ütemezésről beszélünk hálózatokban?

- A hálózatokban osztott:
  - az átviteli képesség (sávszélesség)
  - a csomópontok tárolói
- A feladatütemezés helye:
  - a csomópontok tárolóiban
- A forgalom statisztikus ingadozását kezeljük az ütemezéssel

Miért van szükség (nem triviális) ütemezésre?

- **Legalább** kétféle alkalmazást kell kiszolgálni
  - ***Rugalmas (elasztikus) vagy késleltetéstűrő alkalmazások***
    - *elviselik a véges és változó ábocsátóképességet (pl. file-átvitel)*
  - ***Merev, vagy intoleráns alkalmazások***
    - *garantált szolgáltatást igényelnek (pl. a beszéd állandó 64 kbit/s-os csatornát)*
- A „merev alkalmazások” igényei:
  - korlát a késleltetésre, garantált átviteli sebesség, korlát a vesztési arányra
  - *garantált szolgáltatásra* van szüksége, *garantált szolgáltatású igénynek* is nevezik
- A „rugalmas alkalmazások” igénye:
  - igazságos megosztás
  - *„best effort”* szolgáltatásra van igénye, *„best effort” igénynek* is nevezik (~ legjobb szándékú)

Megőrzési törvény (Conservation Law)

- Triviális ütemezés: FIFO (FCFS), de mindenfajtára igaz, hogy:
- az átlagos késleltetések forgalom-részaránnyal súlyozott összege = konstans
- *Valakinek előnyt csak mások rovására lehet biztosítani*
- Bármely *munkamegőrző* (work-conserving)ütemező (lásd később) csak ugyanazt az összeget osztogathatja

$$\sum_{i=1}^{N} \rho_i \cdot q_i = \text{konstans}$$

forgalom-részarány **átlagos késleltetés**

Alapvető követelmények

- Egyszerű megvalósíthatóság
- „Best effort” kiszolgálásnál:
  - Igazságosság (fairness) biztosítása
  - Védelem (protection) biztosítása
- Garantált kiszolgálásnál:
  - Teljesítménykorlátok (performance bounds) biztosítása
  - Egyszerű és hatékony beengedés-szabályozás (admission control)

Egyszerű megvalósíthatóság

- Nagysebességű hálózat → gyakori csomagtovábbítás
- Csomagonként csak néhány műveletre van lehetőség
- Lehetőleg hardverben lehessen megvalósítani
- Ha *N* a kiszolgálandó összeköttetések száma:
  - a csomagonkénti feldolgozási időigény ne exponenciálisan, hanem lineárisan nőjön *N* függvényében
- Elsődleges korlát az állapotok nyilvántartása (pl. pointer a sorban):
  - az ehhez szükséges memória és
  - elérési idő

Igazságosság és védelem

- Bármely ütemezési módszer valamilyen módon elosztja az erőforrásokat
- Alapvető követelmény, hogy ez *igazságos* legyen:
  - A részesedés a költségviselés arányában történjen
- Amennyiben valaki megkísérel jogosulatlan előnyhöz jutni, legyen megakadályozva ebben → *védelem* a többieknek

Igazságosság és védelem

- Gyakori eset: egyenlő jogosultságok, de vannak, amelyek igénye kisebb a többiekénél
  - logikus, hogy a „kis” felhasználóknak adjuk oda, amennyit akarnak, a fennmaradót osszuk szét igazságosan a nagyok között
- Ez a max-min igazságos megosztás elve:
  - Erőforrás-kiosztás az igények növekedése szerint
  - Senki sem kap többet a kértnél
  - A kielégítetlen igények egyenlően osztoznak a maradékon
- Ezt formalizálva, kapjuk a **max-min algoritmust**
  - **Példa:** 4 forrás: 2; 2,6; 4; 5 igényekkel, 10 kapacitású erőforrással.
    - **1. lépés: mindenki 2,5.**
    - **a 0,5-öt egyenlően elosztjuk a 3 között, ez ~2,66-ot ad**
    - **a ~0,06-ot a 2 között,**
    - **végül az 1-es 2-t, a 2-es 2,6-ot, a 3-as és 4-es ~2,7-et kap**

Eltérő jogosultságok: súlyozott max-min megosztás

- Például 15 egységnyi erőforrásra 5 pályázó
- Jogosultságaik aránya
- Igényeik:
- Normalizált súlyok:
- Az E kivételével mindenki elégedetlen:
- Szétosztjuk súlyaik arányában, D is OK:

A	B	C	D	E
1/15	2/15	3/15	4/15	5/15
2	4	7	5	2
1	2	3	4	5
				+3

1,3+2,6+3,9+5,2+2=15
+0,2

Ez még szétosztható

„Merev” alkalmazások: teljesítménykorlátok biztosítása

- Teljesítmény, teljesítőképesség - *performance*
- Akár felhasználónkénti kiszolgálási teljesítménykorlát garantálása (a megőrzési törvényen belül)
- Szerződés: felhasználó ↔ szolgáltató
- Egyrészt kiszolgálási garancia, másrészt használati kötelezettségvállalás
- Garancia nem csak egyetlen ütemezőre, hanem elvileg az egész hálózatra
  - végpontok közötti garancia, igen nehéz feladat

Teljesítménykorlátok fajtái

- Determinisztikus:
  - Az összeköttetés valamennyi csomagjára teljesülnie kell

  Egyszerű ellenőrzés, de rossz kihasználtság
- Statisztikus:
  - A csomagok adott hányadára teljesül
  - *N* egymásutáni csomagból egyre nem teljesül

  Bonyolult ellenőrzés, de jó kihasználtság

Gyakran használt teljesítménykorlátok (teljesítőképesség-jellemzők, QoS-paraméterek)

- Sávszélesség
  - garantált minimális sávszélesség az összeköttetésre
- Késleltetés
  - Legrosszabb eset
    - minden más összeköttetés a lehető legrosszabbul „viselkedik”
  - Átlagos érték
    - elvileg a minden további összeköttetés lehetséges forgalmi viszonyoknak a halmazára kellene átlagolni, ez lehetetlen, ezért
    - az adott összeköttetés csomagjainak késleltetését átlagoljuk
  - Csomagok adott hányadára vonatkozó jellemző
    - pl. a csomagok 99%-a kisebb késleltetésű lesz, mint a 99-percentilis késleltetésérték
- Késleltetés-ingadozás
  - kiegyenlítési lehetőség a vevőben, de nem lehet akármekkora
- Csomagvesztés

Egyszerű és hatékony beengedésszabályozás

- A teljesítménykorlátok (QoS paraméterek) csak beengedésszabályozás (admission control) alkalmazásával biztosíthatók
- Gyorsan kell eldönteni, hogy újabb igény még kiszolgálható-e
- Nem eredményezheti azt, hogy a hálózat nem lesz kihasználva a lehetséges mértékben
- Például FIFO esetén
  - Legnagyobb késleltetésre garancia:
    - Létszámkorlát és limitált börszt-méret

    Kis kihasználtság!

Miről volt szó eddig és mi következik?

- *Bevezetés*
  - *fogalmak, a megőrzési törvény*
- *Követelmények*
  - *megvalósíthatóság*
  - *igazságosság*
  - *teljesítménykorlátok, beengedésszabályozás*
- *Lehetőségek*
  - *prioritások...*
- *A „best effort” kiszolgálás ütemezői*
  - *GPS elv*
  - *Round-robin, súlyozott round-robin*
  - *Weighted Fair Queueing*
- *Ütemezés garantált kiszolgálás esetén*
- *Csomageldobási stratégiák*

Alapvető választási lehetőségek az ütemezés tervezésénél

- Négy alapvető szabadsági fokunk van a tervezésnél
  - Prioritási szintek száma (A)
  - Az egyes szinteken
    - munkamegőrző (work-conserving) vagy nem munkamegőrző (non-work-conserving) módot használjunk-e? (B)
  - Igények csoportosítási (aggregálási) mértéke az egyes szinteken belül (C)
  - Kiszolgálási sorrend az egyes szinteken belül (D)

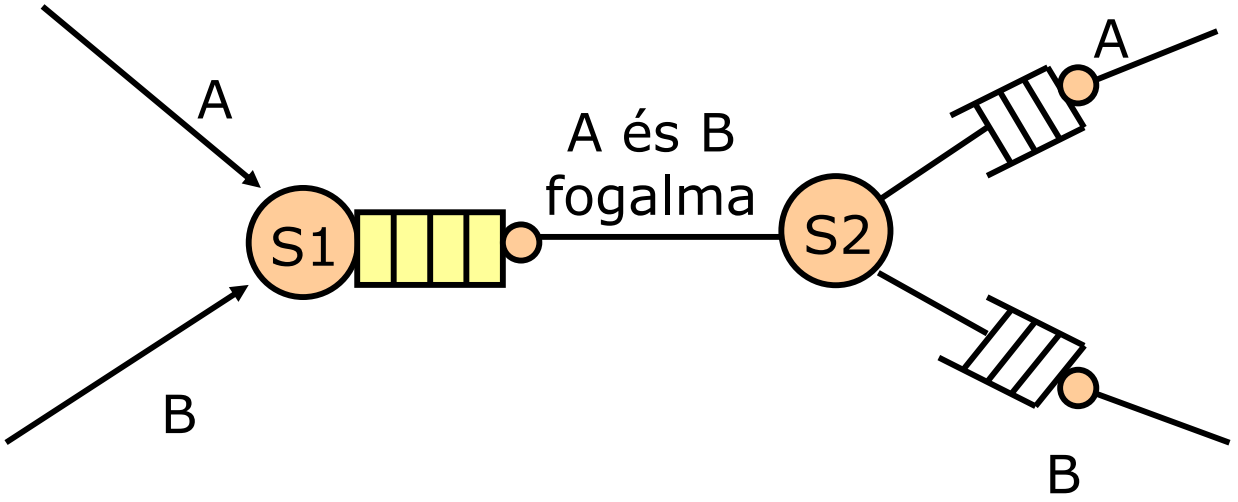
(A) Prioritás

- *n* szint esetén a *k*-adik szintű igényt akkor elégíti ki csak az ütemező, ha nincs kiszolgálásra váró igény a *k+1, k+2, …, n* szinteken
- Magasabb prioritási szint = kisebb késleltetés
- Egyszerű a megvalósítása
- Jól számolható a teljesítőképessége
- Probléma: minden áron előnyben részesítés, a magasabb szintű igény „kiéhezteti” az alacsonyabb szintűeket
- Megoldás: megfelelő beengedésszabályozás

(B) Work-conserving és non-work-conserving kiszolgálás („szorgalmas” vagy „lusta” kiszolgáló)

- *Work-conserving:* csak akkor üres a kiszolgáló, ha nincs várakozó igény (csomag)
- *Non-work-conserving:* vannak üres időszakai akkor is, ha van várakozó igény
- Miért jöhet egyáltalán szóba a „lusta”?
- A kivárás előnyös lehet a forgalmi jellemzőkre
- Csak az „esedékessé” váló csomagokat továbbítjuk
- Nem halmozódnak fel a burst-ök:
  - Csökken a tároló iránti igény
  - Csökken a késleltetésingadozás
  - Egyszerűsödik a vállalható teljesítménykorlát meghatározása

Példa: amikor a nem munkamegőrző kiszolgálás hasznos lehet



- „A” beérkezési folyamata az S2 kimeneti pufferébe attól is függ, milyen „B” viselkedése az S1-nél
- „B” forgalma feltartóztathatja „A” csomagjait, így amikor azok végre elhagyják S1-et, csomósodva érkeznek meg az S2 kimenetére

Nem-munkamegőrző kiszolgáló

- Az esedékessé válás időpontjainak meghatározása
  - pl. a „rate descriptor” alapján
- Szükség van-e ilyen kiszolgálóra?
  - Viszonylag új technika, egy évtizeddel ezelőtt még kutatási kérdés volt
  - Értékelés:
    - csökkenti a *késleltetésingadozást* az átlagos késleltetés megnövelése árán és a *kapcsolók tárigényét*
    - korrekt forgalomjellemzést kíván meg a forrásoktól, és azt, hogy ahhoz tartsák is magukat

Hol tartottunk: tervezési lehetőségek

- Négy alapvető szabadsági fokunk van a tervezésnél
  - Prioritási szintek száma (A)
  - Az egyes szinteken
    - munkamegőrző (work-conserving) vagy nem munkamegőrző (non-work-conserving) módot használjunk-e? (B)
  - Igények csoportosítási (aggregálási) mértéke az egyes szinteken belül (C)
  - Kiszolgálási sorrend az egyes szinteken belül (D)

(C) Igények csoportosítása

- Összevonás (aggregation), összeköttetések összevonása, közbenső eset két véglet között
- Két véglet:
  - valamennyi igény együttes jellemzése – ugyanazt a szolgáltatásminőséget kapják
  - minden egyes összeköttetésre saját QoS biztosítása
- Csomagkapcsolt hálózaton technikailag nem lehet erőforrással győzni az egyedi igények kezelését
  - szemben a telefonhálózattal, ahol azonosak az igények
  - Mindenekelőtt a kapcsolók ütemezői által kezelt állapotváltozók mennyisége a kritikus, ha összeköttetésenkénti, akkor megengedhetetlenül nagy lehet

Igények csoportosítása: osztályba sorolás

- Közbenső eset: osztályokba sorolás
  - az adott osztályba sorolt összeköttetések ugyanazt a szolgáltatásminőséget kapják
- nincsenek védve egymástól (a csoportosításból következik)
  - mivel az ütemező nem tud különbséget tenni az osztály összeköttetései között, ha egy megsérti a „szerződést”, mindenki rosszabb kiszolgálást kap → kiszolgáltatottság
- Torlódás kezelése
  - mivel ..., ha egy csoporttag okozza is a torlódást, mindegyik jelzést kap, hogy fogja vissza magát
- Jó lenne megoldani, hogy csak az értelmezze, amelyik okozta

(D) Kiszolgálási sorrend (prioritási szinten és csoporton belül)

- Érkezési sorrendben történő kiszolgálás (FCFS) ↔ érkezéstől eltérő sorrendű kiszolgálás
- A FCFS hátrányai:
  - Nem engedi meg a kivételt, pl. késleltetésérzékeny összeköttetések csomagja számára
  - Nem biztosít védelmet, nem *max-min* elvű
  - Erőszakosságra ösztönöz
- A nem-FCFS ütemező előnyös, de bonyolult
  - Meg kell határozni, és jelezni a sorrendet (tagging)

A „best effort” kiszolgálás ütemezői

- Általánosított processzormegosztás (GPS) - elmélet
- Súlyozott „round-robin” – innentől gyak. közelítések
- „Deficit round-robin”
- A WFQ – weighted fair queueing *vagy*
  PGPS – Packet-by-packet GPS

  ~ súlyozott igazságos sorképzés ill.

  csomagonkénti GPS
- A WFQ javított változatai *(nem fogjuk tárgyalni)*
  - (Self-clocked FQ)
  - (Start-time FQ)

A GPS (Generalized Processor Sharing) elve

- A **max-min** igazságosság megvalósítása
- Egy **alapelv** kimondása csupán: úgy lehetne igazságosan megosztani az erőforrást, ha sorban mindenkinek egy 0-hoz tartóan kicsiny elemi „szeletét” végeznénk el a feladatából
- **Elvileg megoldjuk** a GPS-szel az igazságos kiszolgálás problémáját, de mit lehet tenni **a gyakorlatban**?
- **A GPS közelítéseit** alkalmazhatjuk, és a GPS-hez viszonyíthatjuk azok tulajdonságait

A GPS

- Mintha mindegyik csomag külön logikai sorban lenne
- Mindenki egymás után kap egy parányi kiszolgálást, majd „körben” folytatódik
- Akinek nincs igénye az kimarad
- Különböző jogosultságok esetén a nullához tartóan kis kiszolgálás a súlyok arányában különböző lesz
- Kimutatható, hogy a GPS max-min értelemben fair kiszolgálást nyújt
- A GPS egy absztrakció
- A kérdés: mennyire közelíti egy valóságos ütemező a GPS-t?

Súlyozott körbekérdezés – „weighted round-robin”

- A round-robin a GPS legegyszerűbb közelítése
- Jó, ha azonos csomaghosszak és azonos súlyú összeköttetések
- Kiszolgálás körben **csomagonként,**
- különböző súlyokkal,
- különböző csomaghosszakkal
- Átlagos csomaghossz jó közelítésű ismerete kell!
- *Rövid időszakra nagyon igazságtalan lehet*

- Pl. három összeköttetés: A, B, C
- átlagos csomaghosszak: 50, 500, 1500 byte
- súlyok: 0,5:0,75:1
- Hány csomagot/byte-ot szolgáljunk ki az egyes összeköttetésekből egy körben?
- súly/csomaghossz: ***1/100; 3/2000; 1/1500***
- normalizált súly/csomaghossz: 60, 9, 4 (3000, 4500, 6000 byte)

„Deficit round-robin”

- Előre ismeretlen átlagos csomaghosszra
- Definiálunk
  - egy *kiszolgálási adagot, kvantumot* (byte-okban mérve)
  - egy *számlálót*, amely a felhasználó „hitelét” számolja
- A sor elején álló csomagot akkor szolgáljuk ki, ha az nem hosszabb, mint az adag
  - ha hosszabb, az adagot hozzáadjuk a számlálóhoz
  - és a következő körben ennek vizsgálata alapján döntünk
- *Példa:*

		A	B	C	adag: 100
Csomaghossz:		*150*	*80*	*120*	
Hitelszámláló:	*1. kör*	*100*	*20*	*100*	
	2. kör	*50*	*0*	*80*	

  - *1. kör: B (marad 20 hitele)*
  - *2. kör: A és C, mert...*
    megmaradó hitel: hitel + adag – csomaghossz
    akinek nincs igénye, az elveszti

A WFQ (Weighted Fair Queueing)

- Alapötlet: kiszámítjuk (szimuláljuk) a csomagok távozási időpontjait, mintha GPS szerint szolgáltuk volna ki azokat, és ezt a sorrendet alkalmazzuk a kiszolgálásra
- Nem a távozási időpont, hanem a sorrend érdekes
  - **ezért a távozást jellemző értéket így *befejezési számnak* (*finish number*) nevezik**
- (Legyen bitenkénti kiszolgálás)
- **Ciklusszám** (***round number***) – pozitív nem egész szám
  - az aktív felhasználók számának reciprokával arányos
- **Ciklushossz:** arányos az aktív felhasználók számával
- Ha ismerjük a ciklusszámot, a befejezési szám kiszámolható:
- $F(i,k,t) = \max[F(i,k-1,t),R(t)]+P(i,k,t)$
  - $F(i,k,t)$ – az ***i***-edik felhasználó befejezési száma ***t*** időpontban
  - $P(i,k,t)$ – az ***i***-edik felh. ***t***-ben beérkező ***k***-adik csomagjának hossza
  - $R(t)$ – ciklusszám a ***t***-ben

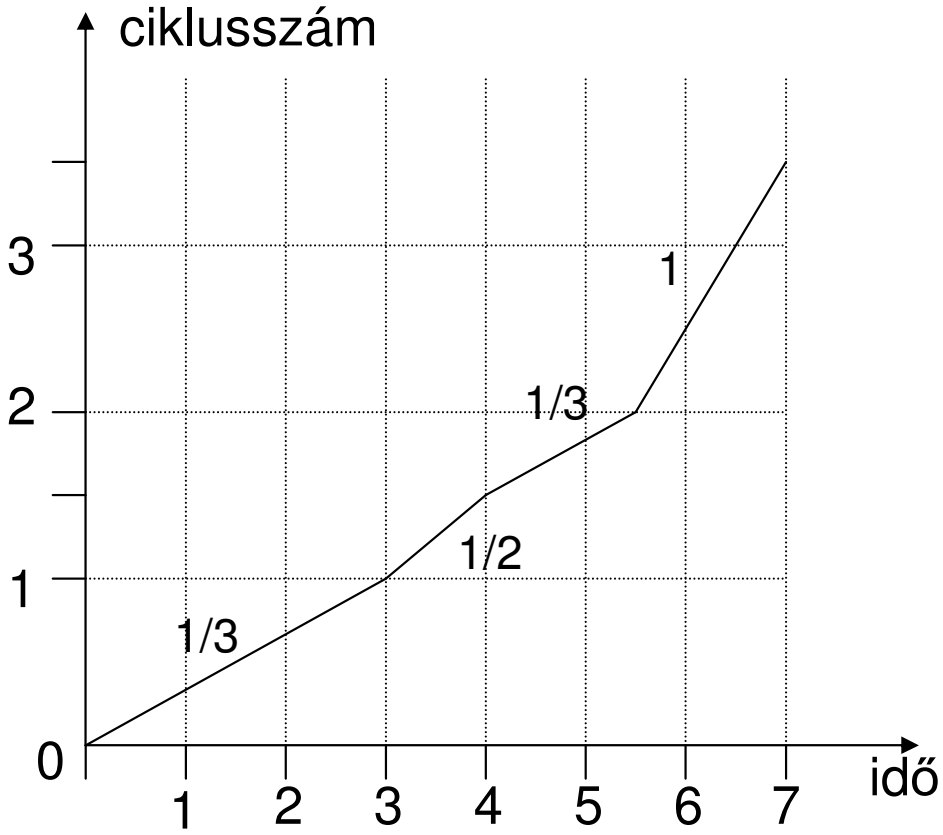
Hogy jön ki a WFQ összefüggés?

- *Inaktív* felhasználónál a befejezési szám:
  - az aktuális ciklusszám plusz a csomagméret
  - pl. ha egy 10 bites csomag érkezik, amikor a ciklusszám 3, a kiszolgálása akkor befejeződik be, amikor a ciklusszám 13 lesz
- *Aktív* felhasználó csomagja beérkezésekor annak befejezési száma:
  - a sorában lévő csomagok közül a legnagyobb befejezési számú plusz a csomagméret
  - pl. ha a 10 bites csomag beérkezésekor a sorban van egy 20-as befejezési számú, akkor 30 lesz
- Kombinálva ezt a két állítást:

$$F(i,k,t) = \max[F(i,k\text{-}1,t),R(t)]+P(i,k,t)$$

Példa a WFQ működésére
$F(i,k,t) = \max[F(i,k-1,t),R(t)]+P(i,k,t)$

- **A, B, C, 1; 2; 2 a csomaghosszak t=0-ban**
  és A még generál egy 2 hosszút t=4-ben
- **Kiszolgálás:**
  1 csomagegység/időegység
- ***R*(*0*)=0**
- ***F*(*A,1,0*) = max[*F*(*A,0,0*),*R*(0)]+ *P*(*A,1,0*)=max[0,0]+1=1**
- ***F*(*B,1,0*) = *F*(*C,1,0*) = 2**
- ***A* első csomagjával kezdjük**
- **majd B vagy C, ami t=3-ban fejeződik be**
- **a harmadikat t=3-ban kezdjük és 5-ben fejeződik be**
- **t=4-ben *A* második csomagja**
- ***A* második csomag finish no-hoz kell tudnunk a round no-t, t=4-ben**
- **A görbe menetéből...**



A WFQ értékelése

- Súlyozott esetben a befejezési szám:

  $F(i,k,t) = \max[F(i,k\text{-}1,t),R(t)]+P(i,k,t)/w(\mathrm{i})$

- Az aktuális ciklusszám meghatározása jelent gondot:

  egy kieső (kiszolgált) felhasználó megváltoztatja a ciklus-szám változási sebességét → felgyorsul a kiszolgálás → „láncreakció” következik/-het be

- Egyre általánosabb a használata a korszerű routerekben

A garantált kiszolgálás ütemezői

- A súlyozott igazságos sorképzés (WFQ)
  - Erre is alkalmas!
- További módszerek *(nem beszélünk róluk):*
  - A virtuális óra
  - Legkorábban esedékes ütemezők

    (EDD = earliest-due-date):
    - Késleltetés-esedékes (késleltetés-EDD)
    - Jitter-esedékes (jitter-EDD)
  - Sebesség-vezérelt ütemezés

Csomageldobás

- Nem csak a kiszolgálási sorrendről, hanem a tárolhatatlan csomagok kezeléséről is dönteni kell
  - csomageldobás
- Milyen alapon működjön a csomageldobási stratégia?
  - Csoportosítás (aggregálás): összeköttetésenként, vagy csoportonként?
  - Eldobási prioritások
  - Mikor dobjunk el csomagot?
    - Nem akkor, amikor megtelt a tároló?
      Korai eldobási stratégiák
      (Early Random Drop, Random Early Detection (RED))
  - Mely csomagokat dobjuk el?

Early Random Drop és Random Early Detection

- Korai véletlen eldobás
  - Sorhossz nagyobb, mint *eldobási küszöb* →
    - azonos és állandó valószínűségű eldobás
- Véletlen korai detektálás
  - küszöb az átlagsorhosszra
    - börsztökre nem érzékeny
  - az eldobás valószínűsége arányos a sorhosszal
  - nem-kooperatív felhasználók csomagjainak jelölése

Miről volt szó a scheduling részben?

- *Bevezetés*
  - *fogalmak, a megőrzési törvény*
- *Követelmények*
  - *megvalósíthatóság*
  - *igazságosság*
  - *teljesítménykorlátok, beengedésszabályozás*
- *Lehetőségek*
  - *prioritások...*
- *A „best effort” kiszolgálás ütemezői*
  - *GPS elv*
  - *Round-robin, súlyozott round-robin*
  - *Weighted Fair Queueing*
- *Ütemezés garantált kiszolgálás esetén*
- *Csomageldobási stratégiák*