

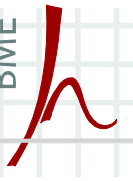
VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok

Forgalmi modellezés és tervezés

Telek Miklós
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
I.L.117, telek@hit.bme.hu

- Elemi összefüggések és intuitív méretezési módszerek
- QoS paraméterek
- Forgalmi osztályok és erőforrás menedzsment

- Irodalom:
 - Villy Iversen: Teletraffic Engineering Handbook
 - forgalom elmélet hálózati kapcsolódással
 - John Evans, Clarence Filstis: Deploying IP and MPLS QOS for Multiservice Networks
 - hálózat forgalmi működése forgalom elméleti kapcsolódással

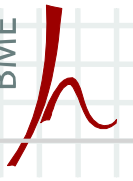


Forgalmi viselkedés

- Ember gép kapcsolat

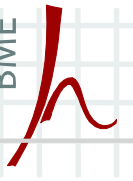
Ember: Sztochasztikus viselkedés	Forgalom: Felhasználói igények
Gép: Determinisztikus viselkedés	Struktúra: Hardver
	Stratégia: Szoftver

- Véletlen összetevők vizsgálata
 - ... modellezése
 - ... modell alapján történő tervezése



Elemi valószínűség számítás

- X : véletlen változó
 - $E(X)$: X átlagos értéke (minták átlaga ehhez tart)
 - X ingadozása az átlag körül:
 - szórás négyzet: $S^2(X) = E((X - E(X))^2) = E(X^2) - E^2(X)$
 - X normalizált ingadozása az átlag körül: $S^2(X) / E^2(X)$
(relatív szórás négyzet, $CV(X)$)
-
- Példa: 400 km-re szeretnék elautózni.
átlag fogyasztás: 10l/100km



Intuitív méretezés

- Végtelen konfliktus feloldási képesség mellett
 - $E(X)$ erőforrás elegendő X igény kielégítésére
- "egy paraméteres" méretezés
- Véges konfliktus feloldás mellett
 - Pontos válasz:
 - Intuitív válasz: $E(X) + F(CV(X))$,
ahol $F(CV(X))$ monoton nő $CV(X)$ függvényében.
- "két paraméteres" méretezés
- Kihasználtság: $E(X) / (E(X) + F(CV(X)))$



Elemi valószínűség számítás

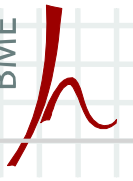
- X, Y : FÜGGETLEN véletlen változók
- várható érték: $E(X+Y) = E(X) + E(Y)$
- szórás négyzet: $S^2(X+Y) = S^2(X) + S^2(Y)$
- normalizált ingadozása az átlag körül:

$$CV(X+Y) = S^2(X+Y) / E^2(X+Y)$$

$$CV(X+Y) \leq \max(CV(X), CV(Y))$$

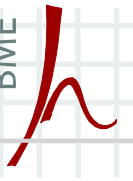
ha $E(X) = E(Y)$ és $S^2(X) = S^2(Y)$ akkor $CV(X+Y) = CV(X)/2$

FÜGGETLEN véletlen események aggregálása csökkenti a relatív szórást!!!



Aggregálás

- Kisebb relatív szórás, kisebb erőforrás igény
- Erőforrás kihasználtság nő,
- Redundancia csökken
 - Sebezhetőség nő.

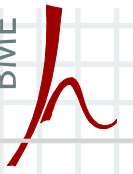


Elemi valószínűség számítás

- X, Y : FÜGGŐ véletlen változók
- korreláció: $\text{korr}(X, Y) = (E(XY) - E(X)E(Y)) / (S(X)S(Y))$
 - 1 \leq $\text{korr}(X, Y) \leq$ 1
- $\text{korr}(X, Y) \sim 1$ hasonló minták
 - lassan átlagolódnak
- $\text{korr}(X, Y) \sim -1$ ellentétes minták
 - gyorsan átlagolódnak

Korrelált minták véges konfliktus feloldás mellett

- Pontos válasz:
 - Intuitív válasz:
 - Korreláció: $E(X) + F(\text{CV}(X), \text{korr})$
ahol $F(\text{CV}(X), \text{korr})$ monoton nő korr függvényében
- méretezés összefüggőség alapján



Elemi valószínűség számítás

- $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots$: FÜGGŐ véletlen változó sorozat
- $X(t), t \geq 0$: FÜGGŐ véletlen változó függvény

- Autokorreláció:
 - n mintával távolabb lévő minták korrelációja
 $\text{korr}(X_i, X_{i+n})$
 - d idővel távolabb lévő minták korrelációja
 $\text{korr}(X(t), X(t+d))$

Korrelált minták véges konfliktus feloldás mellett

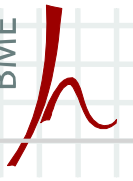
- Pontos válasz:
- Intuitív válasz:
 - Korreláció figyelembe vételével:

$$E(X) + F(\text{CV}(X), \text{korr}(X_i, X_{i+n})),$$
 ahol $F(\text{CV}(X), \text{korr}(X_i, X_{i+n}))$ n függvénye.

$$E(X) + F(\text{CV}(X), \text{korr}(X(t), X(t+d))),$$

ahol $F(\text{CV}(X), \text{korr}(X(t), X(t+d)))$ d függvénye.

- méretezés autokorreláció függvény alapján

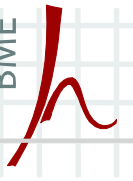


▪ 1 Erlang forgalom

- Egész értékű véletlen igényfolyamat
- Heti, napi periodicitás
- Szolgáltatási célkitűzés
 - veszteség-költség optimum
- Forgalmas óra

▪ „Véletlen” forgalom

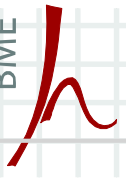
- Igények egyensúlyi eloszlása: Poisson eloszlás $p_i = \frac{a^i}{i!} e^{-a}$
- Kapcsolódó: Poisson/Exponenciális modell
- Memória mentes viselkedés: Markov láncok



- Erlang B (veszteségi formula)
 - Egyesével ugráló,
 - egészértékű,
 - „véletlen” igényfolyamatok esetén:

-> Csonkolt Poisson eloszlás

$$B(a, n) = \frac{\frac{a^n}{n!}}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!}}$$



▪ Kaufman-Roberts veszteségi formula

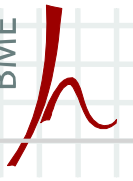
- Nem csak egyesével ugráló,
- egészértékű,
- „véletlen” igényfolyamatok esetén
- relatív foglaltsági valószínűségek $p(c)$:

$$p(c) = \begin{cases} 0 & \text{ha } c < 0 \\ 1 & \text{ha } c = 0 \\ \sum_i p(c - c_i) \frac{a_i c_i}{c} & \text{ha } 0 < c \leq C \end{cases}$$

- normalizált foglaltsági valószínűségek:

$$p(c) = \frac{p(c)}{\sum_{k=0}^C p(k)}$$

- Veszteség $\sum_{k \in \text{blokkolt}} p(k)$

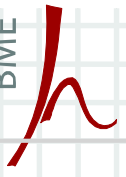


- Poisson folyamat/Exponenciális eloszlás rossz
- Nehézfarkú eloszlás
 - $S(X)$ nagyon nagy (elméletileg végtelen)
- Önhasonló (fraktál jellegű) forgalom
 - autokorreláció nagyon lassan csökken n/d függvényében (exponenciálisnál lassabban)

Sok csúnyaság mellett pl. az aggregálási szabályok is megváltoznak!!

Legfontosabb forgalmi jellemzők

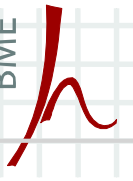
- késleltetés
 - késleltetés ingadozás / jitter
 - csomag veszteség
 - átvitel (throughput)
 - rendelkezésre állás (service availability)
 - csomag sorrend megőrzés
 - tapasztalt minőség (quality of experience)
-
- Ezek a jellemzők határozzák meg a szolgáltatás minőségét:
Quality of service (QoS)



Késleltetés és jitter

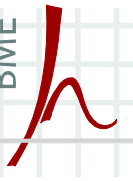
- Terjedési késleltetés
- Kapcsolási késleltetés
- Kiszolgálási (scheduling) késleltetés
- Segmentálási/összerakási késleltetés
- Sorrendezési késleltetés

... és ezeknek az összetevőknek az ingadozása



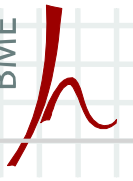
Csomagvesztés

- Torlódás
- Fizikai réteg hibája (10^{-6} satellite – 10^{-13} optical link)
- Hálózati elem hibája
- Alkalmazási rétegbeli veszteség



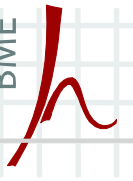
Throughput

- Link kapacitás
 - Osztály kapacitás
 - Út kapacitás
 - Végpontok közti felhasználói kapacitás
-
- Throughput mérése
 - Több metodológia
 - Minimális csomag érkezési időköz
 - Átlagos adatsebesség egy időszakra



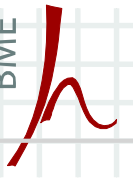
Rendelkezésre állás

- Availability = $\frac{\text{working_time}}{\text{total_time}}$
= $\frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$



QoE – tapasztalt minőség

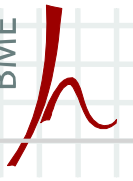
- Hang és video átvitel esetén
 - QoS paraméterek és
 - MOS – mean opinion score.



Forgalmi osztályok

- CBR
 - Igény érkezési intenzitás
 - Átlagos igény tartási idő
 - Fix sávszélesség

- VBR
 - Igény érkezési intenzitás
 - Átlagos igény tartási idő
 - Sávszélesség állapotok
 - és átmenetek

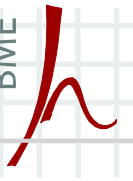


Forgalmi osztályok

- Adaptív
 - Igény érkezési intenzitás
 - Átlagos igény tartási idő
 - Min/Max sáv szélesség

- Elasztikus
 - Igény érkezési intenzitás
 - Min/Max sáv szélesség
 - Átvitt adatmennyiség

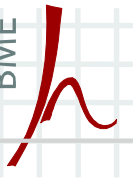
- Best effort



Forgalmi osztályok tulajdonságai

- CBR
 - Kapcsolat ideje alatt fix sávszélesség
 - CAC triviális (Kaufman-Roberts)

- VBR
 - Kapcsolat ideje alatt változó sávszélesség
 - Kétféle veszteség (érkezéskor, on-off)
 - ha nincs túlméretezés
 - CAC cél e két veszteség szerint



Forgalmi osztályok tulajdonságai

- Adaptív
 - Csökkenő kapacitással az átviteli igény csökken
 - Túlterhelések könnyen kiürülnek
 - CAC cél pl. átlagos sávszélesség

- Elasztikus
 - Csökkenő kapacitással az átviteli igény nem csökken
 - Túlterhelések nehezen ürülnek
 - CAC cél pl. átlagos sávszélesség

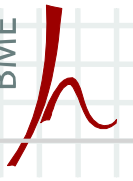
- Best effort
 - Nincs CAC cél

- Kiszolgálás (csomag továbbítás) az elvárt szolgáltatás minőség biztosításával
 - Erőforrás megosztás, erőforrás allokáció
 - Közös erőforráson – Ütemezés
 - Prioritásos kiszolgálás
 - Súlyozott erőforrás kiszolgálás
 - és ezek kombinációi
 - pl. jelzések prioritásos megkülönböztetése, forgalmi osztályok súlyozott megkülönböztetése
 - ezek finom hangolása (súlyok, több szintű aggregálás)

- Prioritásos kiszolgálás
 - Nagy prioritás -> kis késleltetés
 - Kiéheztetés veszélye

 - Megszakításos -- megszakítás kezelése
 - Nem megszakításos -- nagy csomagméret miatt nagy induló késleltetés

- Súlyozott erőforrás megosztás
 - Nincs kiéheztetés,
 - A „prioritás” terhelés függő.



Súlyozott erőforrás kiszolgálás

- Elméleti (bit szintű) viselkedés
- Csomag szintű implementciók:
 - Weighted round-robin (A,B,B,C,C,C,C)
csomagméretfüggő arányok
 - Weighted fair queueing (GPS befejezési idők szerint)
 - Deficit round-robin

Weighted Round Robin

- WRR példa

Queue	Round1	Round2	Round3
Quantum	1	1	1
Pkts_sent	1*64B	1*64B	1*64B
Byte	64B	64B	64B
Quantum	2	2	2
Pkts_sent	2*1500B	2*1500B	2*1500B
Deficit	3000B	3000B	3000B
Quantum	4	4	4
Pkts_sent	4*300B	4*300B	4*300B
Deficit	1200B	1200B	1200B

- Csatorna megosztás:

1 : 2 : 4 helyett 64 : 3000 : 1200

14% : 28% : 58% helyett 2% : 70% : 28%

Deficit Round Robin

■ DRR példa

Queue	Round1	Round2	Round3	Round4	Round5	Round6	Round7	Round8
Quantum	100	136	108	144	116	152	124	100
Pkts_sent	1*64B	2*64B	1*64B	2*64B	1*64B	2*64B	2*64B	1*64B
Pkts_no	{A1}	{A2,A3}	{A4}	{A5,A6}	{A7}	{A8,A9}	{A10,A11}	{A12}
Deficit	36	8	44	16	52	24	0	36
Quantum	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
Pkts_sent	0	0	0	0	0	0	0	1*1500B
Pkts_no	-	-	-	-	-	-	-	{B1}
Deficit	200	400	600	800	1000	1200	1400	100
Quantum	400	500	600	400	500	600	400	500
Pkts_sent	1*300B	1*300B	2*300B	1*300B	1*300B	2*300B	1*300B	1*300B
Pkts_no	{C1}	{C2}	{C3,C4}	{C5}	{C6}	{C7,C8}	{C9}	{C10}
Deficit	100	200	0	100	200	0	100	200