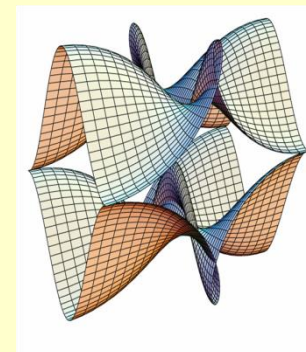




Sveučilište u Zagrebu  
PMF – Matematički odsjek

MREŽE RAČUNALA  
Predavanja 2022/2023



# Poglavlje 11: Mjerenje performansi mreže

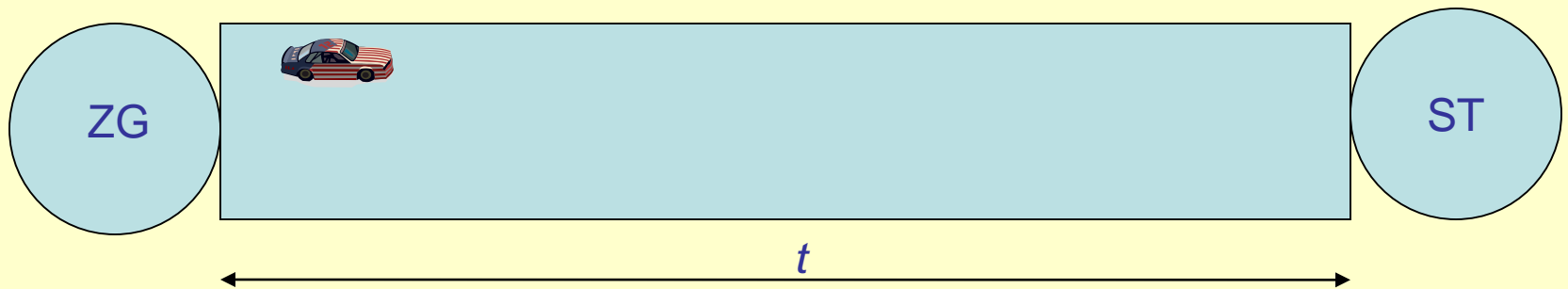
Sastavio: Robert Manger; Prilagodio: Zvonimir Bujanović  
27.10.2014, Matej Mihelčić 07.11.2023.

# Najvažnije mjere za performanse

- *Kašnjenje* (*delay, latency*) – mjeri se u vremenskim jedinicama.
- *Propusnost* (*throughput*) – mjeri se u bitovima po vremenskoj jedinici.
- *Umnožak kašnjenja i propusnosti* – mjeri se u bitovima.
- *Varijacija kašnjenja* (*jitter*) – mjeri se u vremenskim jedinicama.

# Kašnjenje (1)

- Vrijeme koje je potrebno jednom bitu da prijeđe put kroz mrežu od jednog do drugog računala.
- Mjeri se u vremenskim jedinicama, obično u milisekundama.
- Ovisi o izabranom paru računala, te varira čak i za isti par računala. Zato se obično izražava kao prosječno odnosno maksimalno kašnjenje.
- Po analogiji s automobilima i cestom, kašnjenje odgovara vremenu koje jedan automobil provede na putu od jednog grada do drugog.



# Kašnjenje (2)

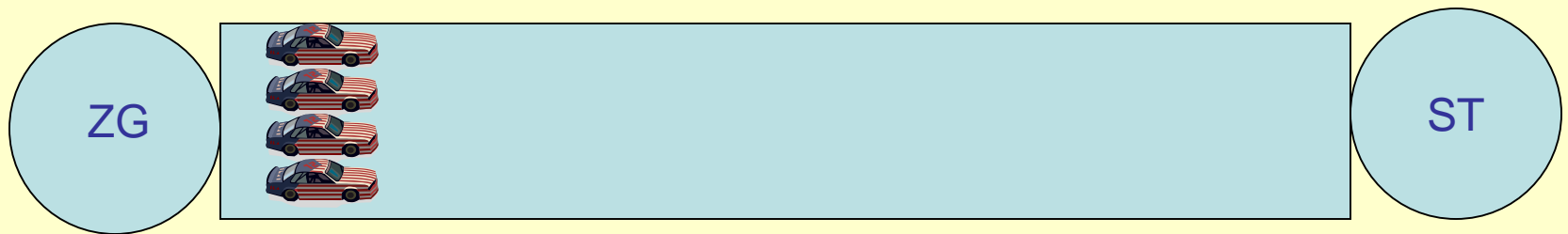
- Sastoji se od više dijelova:
  - *Kašnjenje zbog prolaska (propagation delay)* – vrijeme potrebno signalu da prođe kroz medij.
  - *Kašnjenje zbog prospajanja (switching delay)* – vrijeme potrebno da paketna sklopka prihvati cijeli paket te izabere sljedeći skok.
  - *Kašnjenje zbog čekanja na pristup (access delay)* – vrijeme koje računalo u LAN-u mora čekati da bi dobilo pristup do zajedničkog medija.
  - *Kašnjenje zbog čekanja u redu (queuing delay)* – vrijeme koje paket provede čekajući u memoriji paketne sklopke.

# Kašnjenje (3)

- Tipične vrijednosti za kašnjenje zbog prolaska su od 1 ms (u slučaju LAN-a) do nekoliko stotina ms (u slučaju satelitskih veza).
- Kašnjenje zbog prospajanja obično ima jako male vrijednosti, tako da je to najmanje značajan dio ukupnog kašnjenja.
- Vrijednosti kašnjenja zbog čekanja na pristup ili zbog čekanja u redu ovise o opterećenosti mreže, te obično predstavljaju najznačajniji dio ukupnog kašnjenja.

# Propusnost (1)

- Količina podataka koja se u jedinici vremena može slati kroz mrežu od jednog računala prema drugom.
- Mjeri se u bitovima po vremenskoj jedinici, obično u Mbit/s.
- Po analogiji s automobilima i cestom, propusnost odgovara broju automobila koji mogu ući na cestu u jedinici vremena.



# Propusnost (2)

- Ljudi često propusnost nazivaju “brzina”, no to je pogrešno jer je propusnost ustvari mjera za *kapacitet*, a ne za brzinu mreže.
- Tipične vrijednosti za propusnost u današnjim mrežama kreću se od 50-tak Kbit/s kod dial-up veza, preko desetak Mbit/s u WAN-ovima ili kod ADSL veza, sve do 400 Gbit/s u LAN-ovima.
- Pojam propusnosti komunikacijske linije prilično je srodan pojmu širine pojasa (bandwidth) te linije. No, tu ipak postoji razlika.
  - Propusnost mjeri stvarnu količinu podataka koji se mogu slati u jedinici vremena.
  - Širina pojasa daje teorijsku gornju ogradu za propusnost koju postavlja sam fizički medij.

# Odnos između kašnjenja i propusnosti (1)

- U teoriji, kašnjenje i propusnost su dvije nezavisne veličine. U praksi, te veličine ipak djeluju jedna na drugu.
- Razlog za međusobnu ovisnost lako je razumjeti pomoću analogije s automobilima i cestom. Ako je cesta zakrčena prometom, tada svi moraju sporije voziti pa se vrijeme putovanja produljuje.
- Ukoliko u WAN ulazi velika količina podataka, tada paketne sklopke nisu u stanju odmah obraditi velik broj paketa, pa se povećava kašnjenje zbog čekanja u redu.



# Odnos između kašnjenja i propusnosti (2)

- Slično, ukoliko kroz LAN krene velika količina podataka, tada se povećava kašnjenje zbog čekanja na pristup zajedničkom mediju.
- Pojava povećanog kašnjenja zbog velikog prometa u mreži zove se *zagušenje (congestion)*.
- U slučaju zagušenja, odgovarajući protokol trebao bi smanjiti intenzitet ubacivanja novih podataka u mrežu.
- Iskustvo je pokazalo da vrijedi sljedeća približna formula koja povezuje kašnjenje i propusnost.

# Odnos između kašnjenja i propusnosti (3)

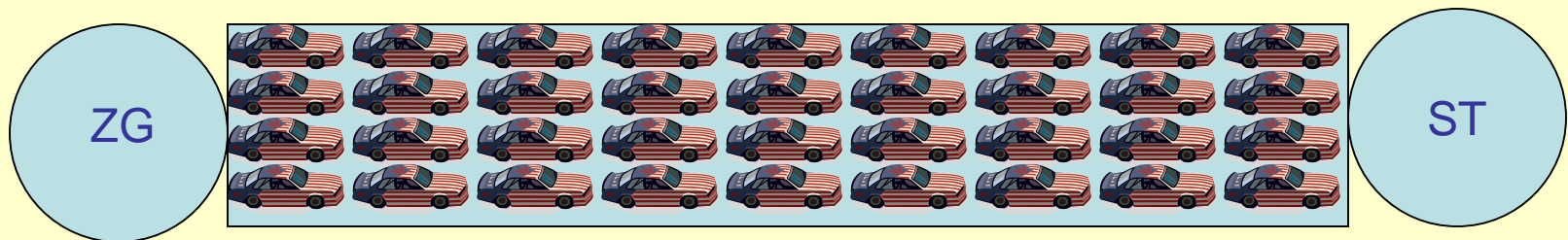
- Neka je  $D_0$  kašnjenje u situaciji kad u mreži nema prometa. Neka je  $U$  vrijednost između 0 i 1 koja kaže koliki dio ukupne propusnosti se trenutno koristi. Tada se stvarno kašnjenje  $D$  dobiva kao:

$$D = D_0 / (1 - U).$$

- Znači, ako je mreža neopterećena, stvarno kašnjenje je  $D_0$ . Ako mreža radi na 50% svoje propusnosti, stvarno kašnjenje se udvostručuje. Kad se promet približi kapacitetu mreže, kašnjenje teži prema beskonačnosti.

# Umnožak kašnjenja i propusnosti (1)

- Mjeri se u bitovima. Daje količinu podataka koja odjednom može biti prisutna u mreži.
- Po analogiji s automobilima i cestama, umnožak kašnjenja i propusnosti odgovara maksimalnom broju automobila koji se u jednom trenutku mogu zateći na cesti.



# Umnožak kašnjenja i propusnosti (2)

- U slučaju zasebne komunikacijske linije između dva računala, ovaj umnožak daje količinu podataka koju bi pošiljatelj mogao proizvesti i poslati prije nego što primatelj dobije prvi bit.
- U slučaju mreže s paketnim sklopkama, umnožak postavlja zahtjev na ukupni kapacitet memorija unutar sklopki. Ako sklopke nemaju toliko memorije, tada lako može doći do gubitka podataka jer se oni neće imati gdje pohraniti.
- Situacija kad sklopka gubi pakete zato jer ih nema gdje pohraniti zove se *kolaps uslijed zagušenja (congestion collapse)*.

# Varijacija kašnjenja (1)

- Broj koji kaže koliko kašnjenje može biti veće ili manje od svoje prosječne vrijednosti.
- Mjeri se u vremenskim jedinicama, na primjer u milisekundama.
- Važan pokazatelj ukoliko pokrećemo multimedijske aplikacije, na primjer reprodukciju video zapisa preko mreže.
- Za takve aplikacije zapravo nam je potrebna mreža sa što manjom varijacijom kašnjenja (zero-jitter network).
- Kašnjenje u mreži svakako će uzrokovati da se video zapis kod primatelja reproducira s vremenskim pomakom u odnosu na pošiljatelja.

# Varijacija kašnjenja (2)

- No varijacija u kašnjenju poremetit će i takvu vremenski pomaknutu reprodukciju. Naime:
  - Iznenadno smanjenje kašnjenja uzrokovat će da se dio video zapisa reproducira neprirodno brzo.
  - Iznenadno povećanje kašnjenja vidjet će se kao usporenje ili zastajkivanje video reprodukcije.
- Kod mreže s velikom varijacijom kašnjenja, reprodukcija video zapisa može se ostvariti jedino tako da se dijelovi video zapisa spremaju u buffer na strani primatelja, te da se reprodukcija odvija iz buffera s vremenskim pomakom koji je još veći od kašnjenja.