

Bilgisayar Ağları Computer Networks

Hazırlayan: M. Ali Akcayol
Gazi Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Bu dersin sunumları, "James Kurose, Keith Ross, Computer Networking: A Top-Down Approach 6/e, Pearson, 2013." kitabı kullanılarak hazırlanmıştır.

İçerik

- ▶ Gecikme, kayıp ve throughput
 - ▶ Gecikme
 - ▶ Kuyruk gecikmesi ve paket kaybı
 - ▶ Uçtan uca gecikme
 - ▶ Throughput

Gecikme, kayıp ve throughput

- ▶ İnternet, uç sistemlerde çalışan dağıtık uygulamalara servis sağlayan altyapı olarak görülebilir.
- ▶ Bilgisayar ağlarında, uç sistemler arasında paket iletiminde **gecikmeler, kayıp paketler** ve **throughput** miktarında sınırlamalar **olur**.
- ▶ Bu sınırlamaları tümüyle ortadan kaldırmak fiziksel olarak mümkün değildir.
- ▶ **Throughput miktarını artırmak, gecikmeyi ve paket kayıplarını en aza indirmek için** çok sayıda yöntem önerilmiştir.
- ▶ Günümüzde bu konularda **çok sayıda akademik çalışma yapılmaktadır**.

3

İçerik

- ▶ Gecikme, kayıp ve throughput
 - ▶ Gecikme
 - ▶ Kuyruk gecikmesi ve paket kaybı
 - ▶ Uçtan uca gecikme
 - ▶ Throughput

4

Gecikme, kayıp ve throughput

Gecikme

- ▶ Bir paket **bir host'tan** (kaynak-source) **yola çıkar**, çok sayıda router'dan geçer ve en sonunda **başka bir host'ta** (hedef-destination) **yolculuğu biter**.
- ▶ Bir paket bir düğümden (router veya host) komşu bir düğüme (router veya host) giderken yolu üzerindeki **her düğümdede farklı gecikmeyle (delay) karşılaşır**.
- ▶ İnternet uygulamalarının **servis kalitesi** ağdaki gecikmelerden etkilenir.

5

Gecikme, kayıp ve throughput

Gecikme

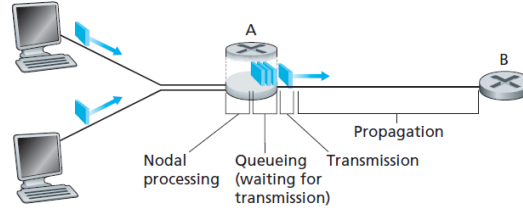
- ▶ Paket anahtarlama ağındaki gecikmeler:
 - ▶ **Nodal processing delay**
 - ▶ **Queuing delay**
 - ▶ **Transmission delay**
 - ▶ **Propagation delay**

6

Gecikme, kayıp ve throughput

Gecikme

- ▶ Bir paket **router A'ya geldiğinde** başlık bilgilerine bakılarak **uygun çıkış bağlantısı seçilir.**
- ▶ Router A'nın çıkış bağlantısında **bekleyen paketler varsa kuyruğa (buffer) eklenir.**



7

Gecikme, kayıp ve throughput

Gecikme

- ▶ **Processing delay (işlem gecikmesi)**, paketin başlık bilgisine bakılarak **çıkış portunun belirlenmesi ve diğer işlemler için geçen süredir.**
- ▶ **İşlem gecikmesi, bit seviyesinde hata kontrolü** için geçen süreyi de içerir.
- ▶ Yüksek hızlı router'larda **mikrosaniye** düzeyindedir.
- ▶ **Queuing delay (kuyruk gecikmesi)**, paketin çıkış bağlantısından gönderilmek için **kuyruğun başına gelmesi için geçen süredir.**
- ▶ **Kuyruk gecikmesi**, seçilen çıkış portunda bekleyen **paket sayısına bağlıdır.**
- ▶ Bekleyen paket yoksa kuyruk gecikmesi olmaz.
- ▶ Kuyruk gecikmesi, **mikrosaniye ile milisaniye arasındadır.**

8

Gecikme, kayıp ve throughput

Gecikme

- ▶ **Transmission delay (iletim gecikmesi)**, bir paketin tamamının **iletim ortamına verilebilmesi için geçen süredir.**
- ▶ Bir paketin tamamı router'a alındıktan sonra iletilir (**store-and-forward**).
- ▶ Bir **paketin** toplam **boyutu L bit** ve router A ile router B arasındaki bağlantının **iletim oranı R bps** ise,

Transmission delay = L/R saniyedir.

- ▶ **İletim gecikmesi**, bant genişliği ve paket boyutuna göre **mikrosaniye ile milisaniye aralığındadır.**

9

Gecikme, kayıp ve throughput

Gecikme

- ▶ **Propagation delay (yayılım gecikmesi)**, bir bitin bağlantının **bir ucundan diğer ucuna ulaşması için geçen süredir.**
- ▶ **Yayılım gecikmesi**, iletim ortamına (fiber optik, bükümlü çift kablo, atmosfer, vs.) bağlıdır.
- ▶ Sinyalin yayılım hızı iletim ortamına bağlıdır ve **2×10^8 m/s** ile **3×10^8 m/s** arasındadır.
- ▶ Propagation delay, sinyalin iletim ortamındaki **yayılım hızı (s)** ile **mesafeye (d)** bağlıdır (*distance - m, speed - m/s*).

Propagation delay = d/s saniyedir.

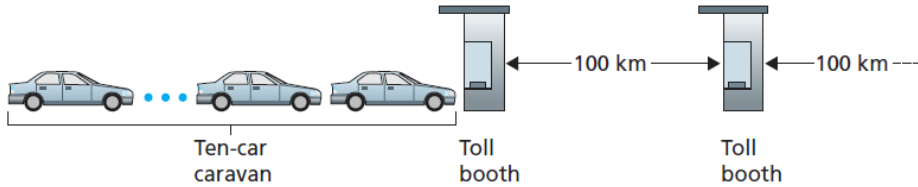
- ▶ Wide-area network'lerde **milisaniye düzeyindedir.**

10

Gecikme, kayıp ve throughput

Gecikme

- ▶ Aşağıdaki **şekilde 10 araç vardır.**
- ▶ Ücret toplama birimleri (tollboots) bilgisayar ağlarındaki **router benzeri işleve sahiptir.**
- ▶ **Bir aracın** ücret toplama birimindeki **işlemi 12sn sürmektedir.**
- ▶ Araçların hızı 100km/saat ise, 10 aracın yola çıkması için geçen toplam süre (transmission delay) $10 \times 12\text{sn} = \mathbf{120\text{sn}}$ olur.
- ▶ Tüm araçların ikinci ücret toplama birimine ulaşması için geçen süre (propagation delay) ise $120\text{sn} + 1\text{saat} = \mathbf{62\text{dk}}$ olur.



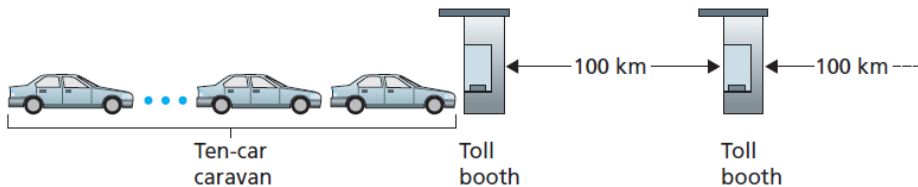
11

Gecikme, kayıp ve throughput

Gecikme

- ▶ Araçlar **1000km/saat hızına sahip olursa ne değişir?**
- ▶ Araçların ücret toplama birimindeki **işlem süresi 1dk olursa ne değişir?**
- ▶ İki ücret toplama birimi (komşu iki router) arasındaki toplam gecikme aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$



12

İçerik

- ▶ Gecikme, kayıp ve throughput
 - ▶ Gecikme
 - ▶ Kuyruk gecikmesi ve paket kaybı
 - ▶ Uçtan uca gecikme
 - ▶ Throughput

13

Gecikme, kayıp ve throughput

Kuyruk gecikmesi ve paket kaybı

- ▶ Bilgisayar ağlarında üzerinde en çok araştırma yapılan konu kuyruk gecikmesidir (d_{queue}).
- ▶ Diğer gecikme türlerinden farklı olarak, **kuyruk gecikmesi her paket için değişebilir.**
- ▶ Boş bir kuyruğa 10 paket gelirse, ilk paket gecikme olmadan gönderilir, ancak sonuncu pakete kadar her paket için gecikme artarak devam eder.
- ▶ Kuyruk gecikmesini analiz ederken **ortalama kuyruk gecikmesi, kuyruk gecikmesinin varyansı** veya belirlenecek **bir değerden büyük olma olasılığı** hesaplanabilir.
- ▶ **Kuyruk gecikmesi ne zaman büyük olur ve ne zaman önemsiz düzeydedir?**

14

Gecikme, kayıp ve throughput

Kuyruk gecikmesi ve paket kaybı

- ▶ Kuyruk gecikmesi, **paketlerin kuyruğa geliş trafiği, bağlantının iletim oranı ve trafiğin karakteristiğine** (periyodik veya burst) bağlıdır.
- ▶ a , paketlerin kuyruğa ortalama geliş oranını (**adet/sn**) gösterir.
- ▶ L , paketlerin bit olarak uzunluğunu (**bit**) gösterir.
- ▶ R , iletim oranı ve kuyruktan çıkan bit sayısını gösterir (bps).
- ▶ Kuyruğa saniyede gelen bit sayısı La bps olur.
- ▶ Trafik yoğunluğu La/R şeklinde ifade edilir.

15

Gecikme, kayıp ve throughput

Kuyruk gecikmesi ve paket kaybı

- ▶ Eğer $La/R > 1$ olursa, kuyruğa gelen bit sayısı kuyruktan ayrılan bit sayısından büyüktür.
- ▶ Eğer **kuyruk** uzunluğu **sınırsız** olursa, **paketlerin kuyruk gecikme süresi** sonsuza doğru **artarak devam eder**.
- ▶ Eğer **kuyruk** uzunluğu **sınırlı** olursa, bir süre sonra gelen **paketler atılmaya başlar**.

16

Gecikme, kayıp ve throughput

Kuyruk gecikmesi ve paket kaybı

- ▶ Eğer $\lambda/R \leq 1$ olursa kuyruğa gelen bit sayısı kuyruktan ayrılan bit sayısından küçük veya eşittir.
- ▶ Eğer paketler periyodik olarak L/R sn aralıklarla gelirse kuyruk gecikmesi olmaz (boş ise).

$L = 10\text{bit}$, $R = 20\text{bps}$ iken, $10/20 \text{ sn} = 0,5\text{sn}$ aralıklarla gelir.

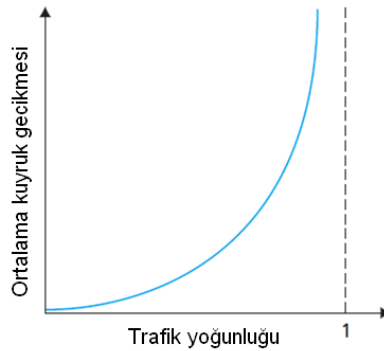
- ▶ Eğer paketler periyodik ancak **burst şeklinde gelirse**, (paketler (L/R) süre aralıklardan daha kısa sürelerde gelirse), ilk pakette gecikme olmaz sonrakilerde **gecikme artarak devam eder.**

17

Gecikme, kayıp ve throughput

Kuyruk gecikmesi ve paket kaybı

- ▶ Gerçek uygulamalarda **paketlerin kuyruğa rastgele gelir.**
- ▶ **Gerçek uygulamalar için** trafik yoğunluğuna göre kuyruk gecikmesi aşağıdaki **şekildeki gibi gerçekleşir.**
- ▶ Trafik yoğunluğu 1'e yaklaştıkça kuyruk gecikmesi hızla artar.



18

Gecikme, kayıp ve throughput

Kuyruk gecikmesi ve paket kaybı

- ▶ **Kuyruklar sınırlı kapasiteye sahiptir.**
- ▶ Kuyruk boyutu, router tasarımına ve maliyete bağlıdır.
- ▶ Gerçekte, trafik yoğunluğu 1'e yaklaşırken paket gecikmesi sonsuza doğru artmaz.
- ▶ Paket tamamen **dolu bir kuyruğa gelirse**, saklamak için yer olmadığından **paket atılır (loss)**.
- ▶ **Trafik yoğunluğu arttıkça paket kayıp oranı artar.**
- ▶ Bir node için **performans**, paket gecikmesinin yanı sıra **paket atılma olasılığıyla da değerlendirilir.**

19

İçerik

- ▶ Gecikme, kayıp ve throughput
 - ▶ Gecikme
 - ▶ Kuyruk gecikmesi ve paket kaybı
 - ▶ **Uçtan uca gecikme**
 - ▶ Throughput

20

Gecikme, kayıp ve throughput

Uçtan uca gecikme

- ▶ **Uçtan uca gecikme** (end-to-end delay), kaynak ile hedef arasında izlenen **yol üzerinde bulunan router sayısına bağlıdır.**
- ▶ Ağda tıkanıklık olmadığı varsayılırsa (kuyruk gecikmesi ihmal edildiğinde) **uçtan uca gecikme aşağıdaki gibi ifade edilir.**

$$d_{\text{end-end}} = N (d_{\text{proc}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}})$$

- ▶ Burada, N yol üzerindeki **router sayısını** göstermektedir.
- ▶ Katmanlarda oluşan gecikmeler (**modülasyon, kodlama, paket oluşturma** süresi) uçtan uca gecikmeyi önemli oranda artırabilir.

21

Gecikme, kayıp ve throughput

Uçtan uca gecikme

- ▶ **Traceroute** programı uçtan uca gecikmeyi bulmak için kullanılır (RFC1393).
- ▶ Bir hedef host adı girilerek traceroute programı çalıştırıldığında, kaynakta çalışan program **hedefe özel paketler gönderir.**
- ▶ Bu **paketler** birçok router'dan geçerek **hedefe doğru gider.**
- ▶ **Her router** aldığı özel paket için **kaynağa kendi adını ve adresini içeren mesaj gönderir.**
- ▶ Kaynak ile hedef arasında $N-1$ router varsa, **kaynak N tane özel paketi ağa gönderir.**
- ▶ Her paket I ile N arasında numaralandırılır.
- ▶ **N . paket hedef için gönderilir.**

22

Gecikme, kayıp ve throughput

Uçtan uca gecikme

- ▶ **i.router**, i sıra numarasına sahip **paketi alır** ve hedefe yönlendirmeden **kaynağa** kendi adresi ve adını içeren bir **cevap mesajı gönderir**.
- ▶ Kaynak her geri dönen cevap için gönderme zamanı ile alışı zamanına göre **geçen süreyi** (Round Trip Time - RTT) **hesaplar**.
- ▶ Traceroute programı **her router için 3 paket gönderir**.
- ▶ Kaynaktan **(n+1).sıradaki bir router'dan dönen paketin süresi** bazen **n.sıradaki router'dan daha kısa olabilmektedir!**

23

Gecikme, kayıp ve throughput

Uçtan uca gecikme

- ▶ Aşağıda **gaia.cs.umass.edu** kaynak host'u ile **cis.poly.edu** host'u arasında Traceroute programı çıktısı görülmektedir.
- ▶ Her router için, **router sırası, router adı, router adresi ve 3 ayrı paketin RTT süresi** elde edilmektedir.

Kendisinden önceki router'dan daha az sonraki router'dan daha fazla sürede cevap vermiştir.

```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1.009 ms 0.899 ms 0.993 ms
2 128.119.3.154 (128.119.3.154) 0.931 ms 0.441 ms 0.651 ms
3 border4-rt-gi-1-3.gw.umass.edu (128.119.2.194) 1.032 ms 0.484 ms 0.451 ms
4 acr1-ge-2-1-0.Boston.cw.net (208.172.51.129) 10.006 ms 8.150 ms 8.460 ms
5 agr4-loopback-NewYork.cw.net (206.24.194.104) 12.272 ms 14.344 ms 13.267 ms
6 acr2-loopback-NewYork.cw.net (206.24.194.62) 13.225 ms 12.292 ms 12.148 ms
7 pos10-2.core2.NewYork1.Level3.net (209.244.160.133) 12.218 ms 11.823 ms 11.793 ms
8 gige9-1-52.hsipaccess1.NewYork1.Level3.net (64.159.17.39) 13.081ms 11.556 ms 13.297ms
9 p0-0.polyu.bbnplanet.net (4.25.109.122) 12.716 ms 13.052 ms 12.786 ms
10 cis.poly.edu (128.238.32.126) 14.080 ms 13.035 ms 12.802 ms
```

24

İçerik

- ▶ Gecikme, kayıp ve throughput
 - ▶ Gecikme
 - ▶ Kuyruk gecikmesi ve paket kaybı
 - ▶ Uçtan uca gecikme
 - ▶ Throughput

25

Gecikme, kayıp ve throughput

Throughput

- ▶ Bilgisayar ağlarında, gecikme ve paket kayıplarının yanı sıra **önemli bir performans ölçütü uçtan uca throughput** değeridir.
- ▶ Host A ile Host B arasında bir dosya transferi yapıldığını varsayalım.
- ▶ **Anlık throughput**, herhangi bir anda **Host B'nin dosyayı alma oranıdır (bps)**.
- ▶ **Ortalama throughput**, **dosyanın** toplam **boyutunun** (L) toplam **transfer süresine** (T) **oranıdır** ve L/T şeklinde gösterilir.

26

Gecikme, kayıp ve throughput

Throughput

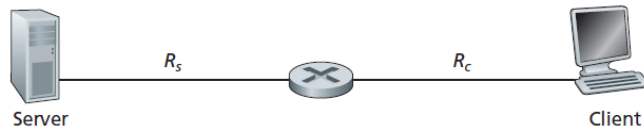
- ▶ Bazı uygulamalarda, **düşük gecikme** ve belirli bir eşik değerin üstünde **sabit throughput** (İnternet telefon için 24 kbps, real-time video 256 kbps) **istenir**.
- ▶ **Dosya transferi gibi uygulamalarda gecikme kritik değildir**, ancak olabildiği kadar **yüksek throughput değeri istenir**.
- ▶ İki host arasında veri aktarımı yapılırken, kurulan yol üzerinde **en düşük transmission oranına sahip link** iletişimin **throughput değerini belirler**.

27

Gecikme, kayıp ve throughput

Throughput

- ▶ Şekilde, R_s **server ile router arasındaki** iletim oranını, R_c **router ile client** arasındaki iletim oranını göstermektedir.
- ▶ Server ağa R_s bps oranında bit gönderir, ancak **router R_c bps oranından fazla bit gönderemez**.



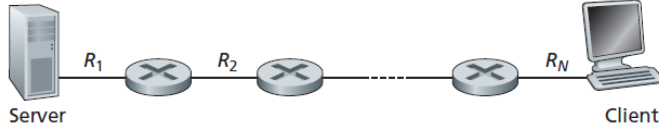
- ▶ Eğer $R_s < R_c$ ise, throughput değeri R_s olur.
- ▶ Eğer $R_s > R_c$ ise, throughput değeri R_c olur.
- ▶ Eğer $R_s > R_c$ ise, router içindeki kuyrukta **bekleyen bit sayısı sürekli artar**.

28

Gecikme, kayıp ve throughput

Throughput

- ▶ Eğer server ile client arasında N tane link varsa, **throughput** değeri $\min(R_1, R_2, \dots, R_N)$ olur.
- ▶ Aşağıdaki şekil için throughput değeri $\min(R_1, R_2, \dots, R_N)$ olur.
- ▶ L bit boyutundaki dosyanın transfer süresi, $L/\min(R_1, R_2, \dots, R_N)$ olur.



29

Gecikme, kayıp ve throughput

Throughput

- ▶ Şekilde, server R_s , client R_c iletim oranına sahip bağlantıyla ağa bağlanmaktadır.
- ▶ Günümüzde **İnternet core kısmında yüksek hızlı bağlantılar vardır.**
- ▶ **Throughput değerini sınırlayan erişim ağlarının iletim oranıdır.**
- ▶ Ağdaki throughput değeri $\min(R_s, R_c)$ olur.

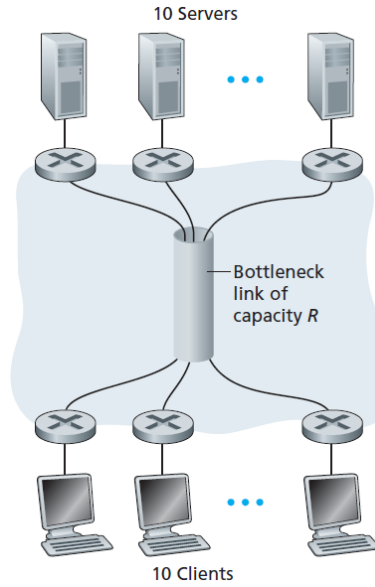


30

Gecikme, kayıp ve throughput

Throughput

- ▶ Şekilde 10 server ile 10 client arasında dosya transferi yapılmaktadır.
- ▶ Server'lar R_s ve client'lar R_c iletim oranına sahiptir.
- ▶ R ağın **core kısmındaki iletim oranıdır** (genellikle $R \gg R_s$ ve $R \gg R_c$).
- ▶ Eğer $R \gg R_s$ veya $R \gg R_c$ ise ağda tıkanıklık olmaz. (\gg birkaç yüz kat)
- ▶ R oranı R_s veya R_c nin birkaç katı büyüklüğünde olursa ne olur?

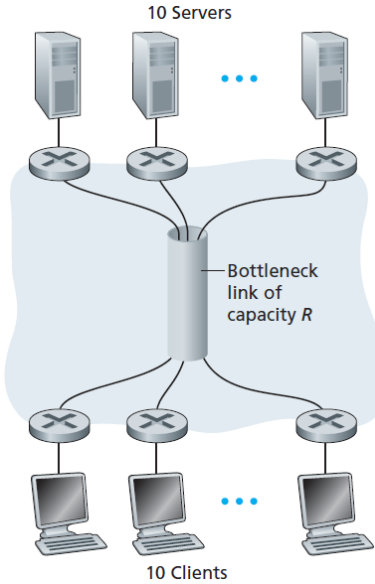


31

Gecikme, kayıp ve throughput

Throughput

- ▶ $R_s = 2$ Mbps, $R_c = 1$ Mbps ve $R = 5$ Mbps oranına sahiptir.
- ▶ 10 download aynı anda yapılırsa her iletişim için iletim oranı $5 \text{ Mbps} / 10 = 500 \text{ kbps}$ olur.
- ▶ **Uçtan uca throughput değeri 500 kbps olur.**
- ▶ Bu durumda, **throughput değeri** erişim ağları tarafından değil, ağdaki **core kısım tarafından belirlenir.**



32

Ödev

- ▶ Paket anahtarlama ağlarda kuyruk yönetimi algoritmalarının tıkanıklık denetimi açısından karşılaştırmalı analizini içeren kapsamlı bir araştırma ödevi hazırlayınız.