

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.

Genel bilgiler

► Değerlendirme

- Ara sınav: 40%
- Ödevler: 20%
- Final sınavı: 40%

► Ders kitabı

- James Kurose, Keith Ross, Computer Networking: A Top-Down Approach 6/e, Pearson, 2013.

► Diğer kaynaklar

- Andrew S. Tanenbaum, Computer Networks, Prentice Hall, 2003.
- Behrouz A. Forouzan, Data Communications and Networking, McGraw-Hill, 2007.
- Douglas E. Comer, Internetworking With TCP/IP : Principles, Protocols and Architecture, Prentice Hall, 2005.

Ders kapsamı

- ▶ **Bilgisayar ağları ve İnternet**
 - ▶ Ađ kenar ve çekirdek kısmı
 - ▶ Gecikme, kayıp ve throughput
 - ▶ Katmanlı mimari
 - ▶ Ađ saldırıları
- ▶ Uygulama katmanı
 - ▶ Ađ uygulama mimarileri
 - ▶ Web, HTTP, E-posta, DNS, P2P
- ▶ Ulaşım katmanı
 - ▶ Güvenilir veri aktarımı
 - ▶ TCP, UDP
- ▶ Ađ katmanı
 - ▶ Forwarding, routing
 - ▶ IPv4, IPv6
- ▶ Veri bağı katmanı

3

İçerik

- ▶ **İnternet nedir?**
 - ▶ Protokol nedir?
- ▶ Ağın kenar kısmı
 - ▶ Erişim ağları
 - ▶ Fiziksel ortamlar
- ▶ Ağın çekirdek kısmı
 - ▶ Paket anahtarlama
 - ▶ Devre anahtarlama
 - ▶ Ağlardan oluşan ađ

4

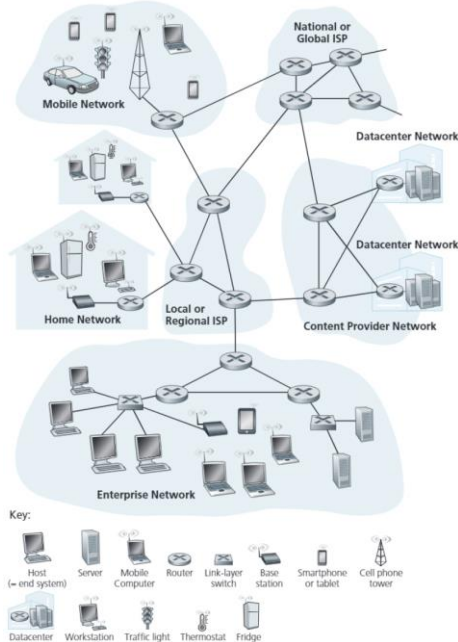
İnternet nedir?

- ▶ İnternet, insanlığın bugüne kadar geliştirdiği **en büyük mühendislik sistemidir**.
- ▶ İnternet'te, yüz milyonlarca bilgisayar, iletişim linki, anahtar; laptop, tablet, akıllı telefon ile bağlı milyarlarca kullanıcı; İnternet bağlantılı yeni cihazlar (algılayıcı, Web camera, oyun konsolu, çamaşır makinesi, ...) vardır.
- ▶ Bu kadar çok sayıdaki **heterojen cihaz sorunsuz** bir şekilde **haberleşir**.
- ▶ Bu cihazlar **host** veya **end system** olarak adlandırılır.
- ▶ İnternet'e 2019 yılı itibarıyla yaklaşık **1 milyardan fazla host'un** (akıllı telefon, laptop gibi aralıklarla bağlananlar hariç.) bağlı olduğu tahmin ediliyor.
- ▶ **2015 yılı itibarıyla 3,2 milyar kişi İnternet'e** bağlıdır.
- ▶ **2020** yılında yaklaşık **31 milyar** cihaz bağlıdır.
- ▶ **2030** yılında **125 milyar** cihazın bağlı olacağı tahmin ediliyor.

5

İnternet nedir?

- ▶ Uç sistemler birbirine **iletişim linkleri** ve **paket anahtarlar** ile bağlanır.
- ▶ Farklı iletişim linkleri **farklı iletim oranına (transmission rate) sahiptir** (bps).
- ▶ **Gönderici veriyi parçalara böler**, her parçaya başlık bilgisi ekler.
- ▶ Elde edilen veri parçasına **paket** denir.
- ▶ **Alıcı** kendisine ulaşan veri parçalarını **tekrar birleştirir**.



İnternet nedir?

- ▶ Paket anahtar veriyi bir girişten alır, bir çıkışa yönlendirir.
- ▶ İnternet'te, paket anahtar olarak **router** ve **link-layer switch** kullanılır.
- ▶ **Link-layer switch, erişim ağlarında (access networks), router, ağın temel (network core) kısmında** kullanılır.
- ▶ Bir paket, göndericiden alıcıya bir dizi linki (**route, path**) kullanarak ulaşır.
- ▶ **2017 yılında** İnternet'te **kişi başına trafik 16GB/ay**.
- ▶ **2017 yılında** İnternet'teki trafik **46.600GB/saniye** olarak tahmin edilmiştir.
- ▶ 2021 yılında sadece **mobil cihaz trafiğinin 49 exabyte** olduğu tahmin edilmektedir.
- ▶ Uç sistemler, **İnternet Servis Sağlayıcı (İSS)** üzerinden İnternet'e bağlanır.
- ▶ **Uç sistemlerde**, paket anahtarlarda ve diğer bileşenlerde veri göndermek ve almak için **protokol** çalıştırılır.

7

İnternet nedir?

- ▶ **Transmission Control Protocol (TCP)** ve **Internet Protocol (IP)**, İnternet'teki **en önemli iki protokoldür**.
- ▶ İnternet'te kullanılan protokol kümesi **TCP/IP** olarak adlandırılır.
- ▶ Birbiriyle çalışabilen sistemler oluşturmak için standartlar gereklidir.
- ▶ İnternet standartları **Internet Engineering Task Force (IETF)** tarafından geliştirilir.
- ▶ IETF standartları **Request For Comments (RFCs)** olarak adlandırılır.
- ▶ **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)** 802 **LAN/MAN** standart grubu **Ethernet** ve **Wi-Fi** standartlarını belirler.

8

İnternet nedir?

- ▶ İnternet'te e-posta, Web gezintisi, sosyal ağlar, anlık mesajlaşma, VoIP, video streaming, dağıtık oyunlar, P2P file sharing, IPTV, remote login gibi **servisler uygulamalar tarafından sağlanır.**
- ▶ Birden fazla uç sistemi içeren uygulamalar **dağıtık uygulamalar** olarak adlandırılır.
- ▶ İnternet'teki **temel bileşenler** uygulamalar arasında **veri taşır.**
- ▶ Uç sistemler, **Application Programming Interface (API)** kullanılarak Java, C++, Python gibi yüksek seviyeli dillerle geliştirilir.
- ▶ **İnternet API**, veriyi gönderme, taşıma ve alıcı tarafından alınması ile ilgili kurallar kümesidir.

9

İçerik

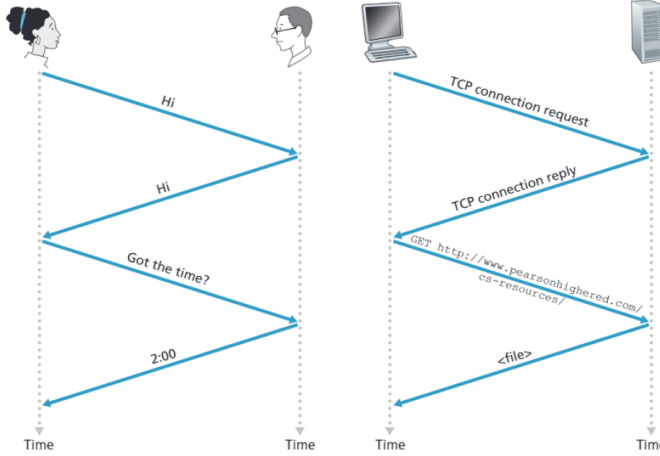
- ▶ İnternet nedir?
 - ▶ **Protokol nedir?**
- ▶ Ağın kenar kısmı
 - ▶ Erişim ağları
 - ▶ Fiziksel ortamlar
- ▶ Ağın çekirdek kısmı
 - ▶ Paket anahtarlama
 - ▶ Devre anahtarlama
 - ▶ Ağlardan oluşan ağ

10

İnternet nedir?

Protokol nedir?

- ▶ Günlük hayattaki işlerde protokoller sürekli kullanılır.
- ▶ İki kişi arasındaki saat sorma işlemi protokolle gerçekleşir.



11

İnternet nedir?

Protokol nedir?

- ▶ Ağ protokolleri, insanların kullandığı protokollere benzer.
- ▶ İnternet'teki tüm **iletişim protokollerle yapılır.**
- ▶ **Karşılıklı iletişim yapan birimler aynı protokolü** kullanmalıdır.
- ▶ Donanımsal (**hardware-implemented**) protokoller ağ arayüz (**network interface**) kartlarında bulunur ve iki bilgisayar arasında bit akışını gerçekleştirir.
- ▶ **Ağ protokolleri**, tıkanıklık denetimi (host), akış denetimi (host), sıralama (host), paketlerin izleyeceği yolun belirlenmesi (router) gibi **tüm işleri yapar.**
- ▶ **Web browser**, Web sunucuya bağlantı **isteğini iletir**, **Web sunucu** bir **cevap mesajı döndürür.**
- ▶ Web browser olumlu cevap alırsa, Web sunucuya isteğini iletir.

12

İnternet nedir?

Protokol nedir?

- ▶ Bir protokol,
 - ▶ Bir protokolün üç bileşeni var: **syntax, semantic, timing.**
 - ▶ İki veya daha fazla birim arasında gönderilen **mesajların formatını ve sırasını tanımlar.**
 - ▶ Bir **mesaj gönderildiğinde ne yapılacağını belirler.**
 - ▶ Bir **mesaj alındığında ne yapılacağını belirler.**
 - ▶ Bir mesajın **cevabı bekleniyor ve gelmediyse ne yapılacağını belirler.**
 - ▶ **İletişim kaynağının maksimum verimle kullanılması için gerekli düzenlemeleri yapar.**
 - ▶ Sunulacak **servis türüne (güvenilir, güvenilir olmayan) uygun iletişimi gerçekleştirir.**

13

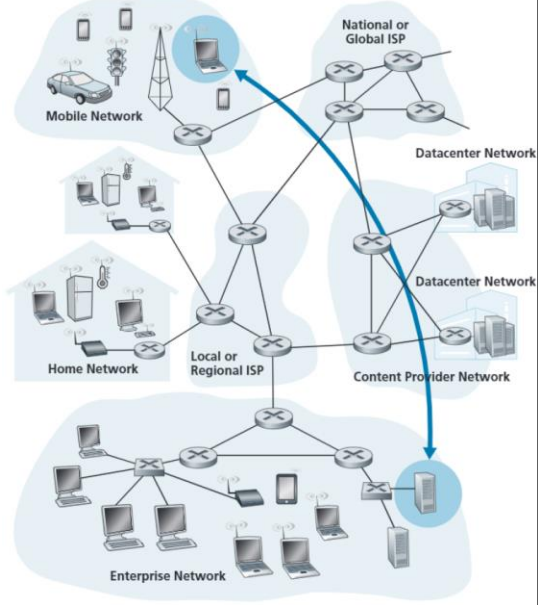
İçerik

- ▶ İnternet nedir?
 - ▶ Protokol nedir?
- ▶ **Ağın kenar kısmı**
 - ▶ Erişim ağları
 - ▶ Fiziksel ortamlar
- ▶ Ağın çekirdek kısmı
 - ▶ Paket anahtarlama
 - ▶ Devre anahtarlama
 - ▶ Ağlardan oluşan ağ

14

Ağın kenar kısmı

- ▶ İnternet uç sistemleri, çok sayıda heterojen cihazı içerir.
- ▶ **Uygulama programları** uç sistemler (host) üzerinde çalışır.
- ▶ İnternet'te iki tür host vardır:
 - ▶ **İstemci (Client)**
 - ▶ **Sunucu (Server)**
- ▶ **İstemciler**, desktop, mobile bilgisayar, akıllı telefon, ...vb.
- ▶ **Sunucular**, içerik dağıtan ve saklayan, servis sağlayan makinelerdir.



15

İçerik

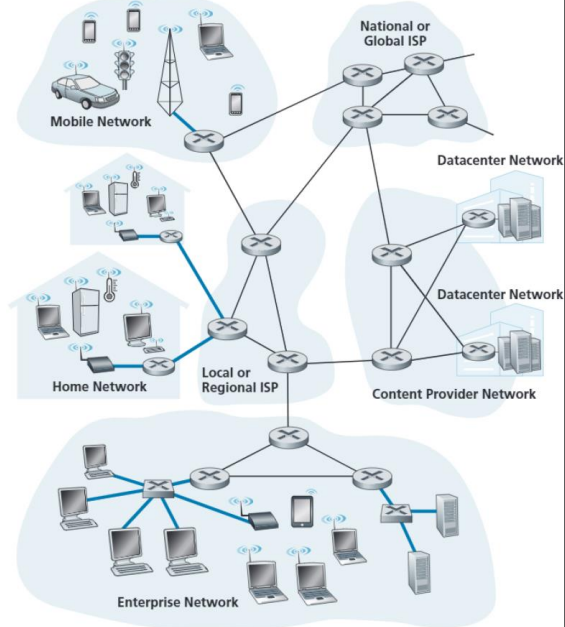
- ▶ İnternet nedir?
 - ▶ Protokol nedir?
- ▶ Ağın kenar kısmı
 - ▶ **Erişim ağları**
 - ▶ Fiziksel ortamlar
- ▶ Ağın çekirdek kısmı
 - ▶ Paket anahtarlama
 - ▶ Devre anahtarlama
 - ▶ Ağlardan oluşan ağ

16

Ağın kenar kısmı

Erişim ağları

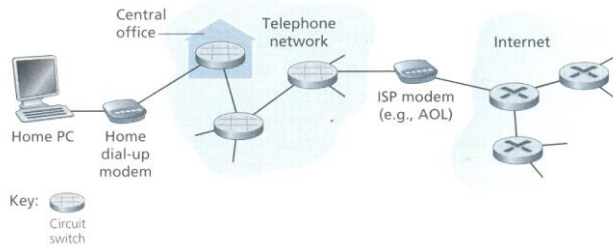
- ▶ Erişim ağı, uç sistemi **ilk router'a (edge router)** bağlar.
- ▶ **Erişim ağları**, uç sistemleri ilk router'a bağlayan **linkleri ve altyapıyı sağlar.**
- ▶ Erişim ağları, **konut erişimi, kurumsal erişim, kablosuz erişim** için kullanılır.



Ağın kenar kısmı

Erişim ağları - Konut erişimi (Dial-Up)

- ▶ 1990'lı yıllarda tüm konut kullanıcıları İnternet'e analog telefon hatları ile dial-up **modem** (**modulator demodulator**) kullanarak bağlanmaktaydı.
- ▶ Dial-up erişimde kullanıcı İSS'ya ait numarayı çevirir ve **klasik telefon bağlantısı ile İnternet'e bağlanır.**
- ▶ Dial-up ile İnternet erişiminde iki dezavantaj vardır:
 - ▶ **Bant genişliği düşüktür** (56 kbps)
 - ▶ **İnternet erişimi sırasında telefon görüşmesi yapılamaz.**



Ağın kenar kısmı

Erişim ağları - Konut erişimi (DSL)

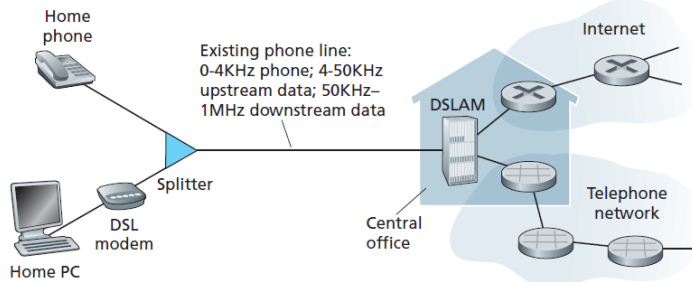
- ▶ Konutlardan genişbant erişim çoğunlukla **Digital Subscriber Line (DSL)** ve **Cable** ile yapılmaktadır.
- ▶ Konutlar genellikle telefon sağlayıcısı ile telefon bağlantısı üzerinden DSL erişim yapar.
- ▶ DSL ile erişimde **telefon şirketi İnternet servis sağlayıcısıdır.**
- ▶ Konuttaki **DSL modem, telco'da** (telephone company) bulunan **DSLAM** (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) **ile veri alışverişi yapar.**
- ▶ DSLAM, telco merkez ofisinde (**Central Office - CO**) bulunur.
- ▶ Çok sayıda konuttan gelen analog sinyaller DSLAM'de sayısal formata dönüştürülür.

19

Ağın kenar kısmı

Erişim ağları - Konut erişimi (DSL)

- ▶ Telefon hattı farklı kanallarla hem veri hem de ses sinyali taşır:
 - ▶ 50kHz - 1MHz: downstream
 - ▶ 4kHz - 50kHz: upstream
 - ▶ 0 - 4kHz: klasik telefon hattı (**Plain Old Telephone Service - POTS**)
- ▶ **Splitter** ve **DSLAM**, analog sinyal ile sayısal veriyi ayırıştırır.
- ▶ 12 Mbps downstream ve 1,8 Mbps upstream (ITU 1999),
24 Mbps downstream ve 2,5 Mbps upstream (ITU 2003).

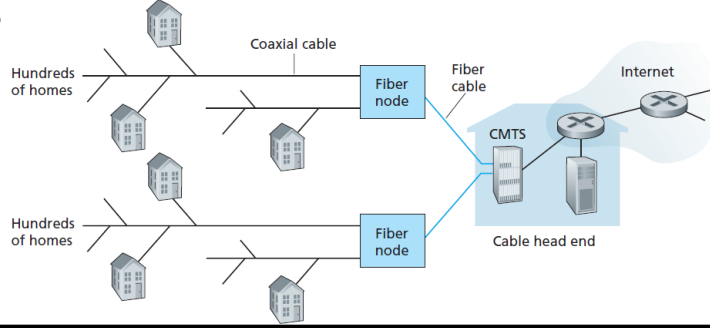


20

Ağın kenar kısmı

Erişim ağları - Konut erişimi (Cable)

- ▶ Cable İnternet erişimi **kablo TV altyapısını kullanır**.
- ▶ Fiber node'a kadar fiber kablo, fiber node ile konut arasında koaksiyel kablo kullanılır (**Hybrid Fiber Coax - HFC**).
- ▶ Bir fiber node, **500-5000** arasında **konut** bağlantısı yapar.
- ▶ **Cable modem** bilgisayara Ethernet portundan bağlanır.
- ▶ **42,8 Mbps** downstream **30,7 Mbps** upstream (DOCSIS 2.0).
- ▶ **Cable Modem Termination System (CMTS)**, analog sinyali sayısal formata çevirir.

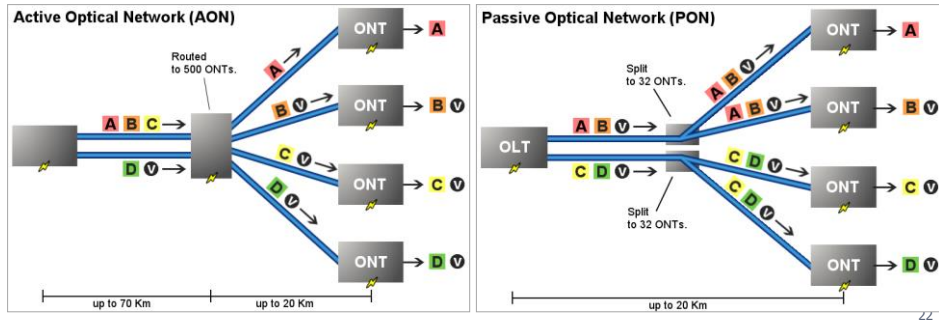


21

Ağın kenar kısmı

Erişim ağları - Konut erişimi (FTTH)

- ▶ **Fiber to the home (FTTH)** yüksek hızda erişim (Gbps) sağlar.
- ▶ FTTH ile konutlara kadar fiber bağlantı yapılır.
- ▶ **Active Optical Network (AON)** ve **Passive Optical Network (PON)** mimarileri kullanılmaktadır.
- ▶ AON mimarisinde yönlendirme için layer 2 veya layer 3 switch kullanılır. PON mimarisinde pasif eleman (splitter) kullanılır.

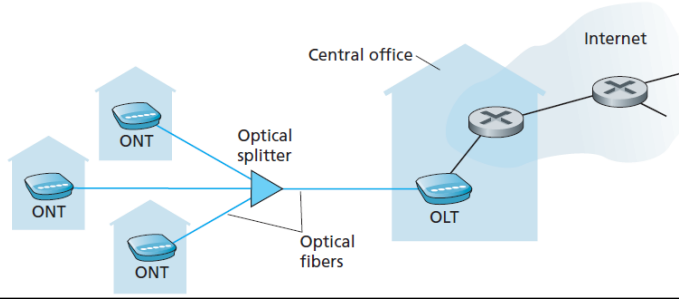


22

Ağın kenar kısmı

Erişim ağları - Konut erişimi (FTTH)

- ▶ PON mimarisinde her konutta **Optical Network Terminator (ONT)** kullanılır.
- ▶ Splitter çok sayıda (genellikle 100'den küçük) konutu birleştirir.
- ▶ Splitter, telco merkez ofisindeki **Optical Line Terminator (OLT)** ile bağlantı sağlar.
- ▶ Kullanıcılar genellikle **10-20 Mbps downstream, 2-10 Mbps upstream** hızını kullanmaktadır.

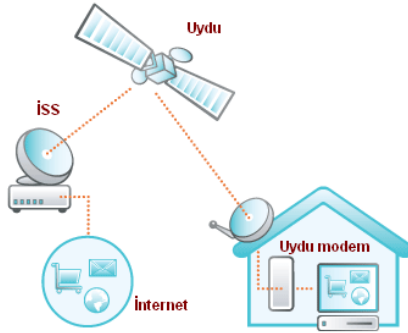


23

Ağın kenar kısmı

Erişim ağları - Konut erişimi (Uydu)

- ▶ DSL, Cable veya FTTH erişimi olmayan **konutlarda uydu üzerinden erişim sağlanabilmektedir.**
- ▶ İnternet **erişim hızı 1 Mbps'tan daha yüksek** olmaktadır.
- ▶ Konuttaki bilgisayar **uydu modem** ile İnternet'e bağlanır.
- ▶ **StarBand** ve **HughesNet** uydu erişim sağlayıcılarıdır.

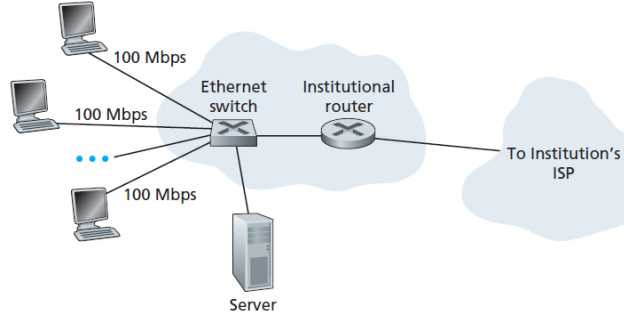


24

Ağın kenar kısmı

Erişim ağları - Kurumsal erişim (Ethernet)

- ▶ Firmalarda, kampüslerde, konutlarda **Local Area Network (LAN)** erişim ağı olarak kullanılmaktadır.
- ▶ **Ethernet** en yaygın kullanılan erişim ağı **LAN teknolojisi**dir.
- ▶ Kullanıcı bükümlü çift (**twisted-pair**) kablo ile switch'e bağlanır.
- ▶ **100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps** hızları sağlanabilmektedir.

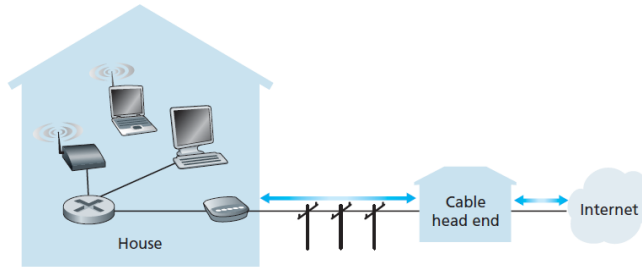


25

Ağın kenar kısmı

Erişim ağları - Kurumsal erişim (WiFi)

- ▶ **Mobil cihazlarda** kablosuz yerel alan ağları (**Wireless LAN**) ile İnternet erişimi giderek yaygınlaşmaktadır.
- ▶ WLAN'larda kullanıcılar bir erişim noktasına bağlanır (genellikle uzaklık < 100m).
- ▶ WLAN erişimi **IEEE 802.11 (WiFi)** teknolojisini kullanır.
- ▶ WiFi erişimi maksimum **54 Mbps** hızındadır.
- ▶ Çoğu konutta **DSL modem ile WiFi birlikte kullanılır**.



26

Ağın kenar kısmı

Erişim ağları - Kurumsal erişim (3G ve LTE)

- ▶ **Mobil telefonlar** İnternet bağlantısı için daha yaygın kullanılır hale gelmiştir.
- ▶ Mobil telefonlar, hücresele ağ sağlayıcısının **baz istasyonu ile paket gönderip alabilmektedir.**
- ▶ Kullanıcılar **onlarca kilometre uzaklıktan** ağa erişim yapabilmektedir.

Jenerasyon	Data rate	Yıllar
1G	2 kbps	1980 – 1990
2G	64 kbps	1991 – 2000
3G	2 Mbps (max.)	2000 – 2010
4G (LTE)	1 Gbps (max.)	2010 – 2020?
5G	> 1 Gbps	2020? – 2030?
6G	Ultra fast İnternet	?
7G	World completely wireless	?

27

İçerik

- ▶ İnternet nedir?
 - ▶ Protokol nedir?
- ▶ Ağın kenar kısmı
 - ▶ Erişim ağları
 - ▶ **Fiziksel ortamlar**
- ▶ Ağın çekirdek kısmı
 - ▶ Paket anahtarlama
 - ▶ Devre anahtarlama
 - ▶ Ağlardan oluşan ağ

28

Ağın kenar kısmı

Fiziksel ortamlar

- ▶ Bir bit, gönderici (**source**) ile alıcı (**destination**) host arasında çok sayıda düğüm üzerinden geçer.
- ▶ Elektrik sinyalleri veya optik **sinyaller fiziksel ortam aracılığıyla (physical medium) iletilir.**
- ▶ Fiziksel ortamlar, **büklümlü çift kablolar, koaksiyel kablo, fiber optik, karasal radyo spektrumu ve uydu radyo spektrumu** olabilir.
- ▶ Fiziksel ortamlar **guided** ve **unguided** olarak iki türdür.
- ▶ İletim ortamlarının **maliyeti ağın diğer bileşenlerine göre daha düşüktür.**
- ▶ İletim ortamlarının **kurulum maliyeti malzeme maliyetinden daha yüksektir.**

29

Ağın kenar kısmı

Fiziksel ortamlar - Büklümlü çift kablo

- ▶ **En ucuz** ve **en yaygın** kullanılan iletim ortamıdır.
- ▶ Birbirine **bükülerek dolanmış iki iletkene sahiptir.**
- ▶ Genellikle, bir kabloda birden fazla büklümlü çift bulunur.
- ▶ **Her çift bir iletim hattını oluşturur.**
- ▶ **Unshielded Twisted Pair (UTP)**, LAN'larda en yaygın kullanılan türdür.
- ▶ **10 Mbps'dan 10 Gbps'a** kadar hızı sağlayabilir.
- ▶ **Shielded Twisted Pair (STP)**, **dışında metal kılıf bulundurur** ve gürültüden daha az etkilenir.
- ▶ STP daha yüksek maliyete sahiptir.
- ▶ **Dial-up** ve **DSL** teknolojileri büklümlü çift kablo kullanır.

30

Ağın kenar kısmı

Fiziksel ortamlar - Büklümlü çift kablo

- ▶ CAT6a ve Cat7, **10 Gbps** hızı sağlayabilir.

UTP Categories - Copper Cable				
UTP Category	Data Rate	Max. Length	Cable Type	Application
CAT1	Up to 1Mbps	-	Twisted Pair	Old Telephone Cable
CAT2	Up to 4Mbps	-	Twisted Pair	Token Ring Networks
CAT3	Up to 10Mbps	100m	Twisted Pair	Token Rink & 10BASE-T Ethernet
CAT4	Up to 16Mbps	100m	Twisted Pair	Token Ring Networks
CAT5	Up to 100Mbps	100m	Twisted Pair	Ethernet, FastEthernet, Token Ring
CAT5e	Up to 1 Gbps	100m	Twisted Pair	Ethernet, FastEthernet, Gigabit Ethernet
CAT6	Up to 10Gbps	100m	Twisted Pair	GigabitEthernet, 10G Ethernet (55 meters)
CAT6a	Up to 10Gbps	100m	Twisted Pair	GigabitEthernet, 10G Ethernet (55 meters)
CAT7	Up to 10Gbps	100m	Twisted Pair	GigabitEthernet, 10G Ethernet (100 meters)



31

Ağın kenar kısmı

Fiziksel ortamlar - Koaksiyel kablo

- ▶ Büklümlü çift kablo gibi, **iki bakır iletkene sahiptir.**
- ▶ Koaksiyel kablo **daha yüksek iletim hızını sağlar.**
- ▶ **Kablo TV sistemlerinde** ve **cable erişim ağları** ile İnternet bağlantısında kullanılır.
- ▶ Koaksiyel kablo paylaşılmış ortam (**shared medium**) olarak kullanılabilir.

Tip	Empedans	Kullanım
RG-8	50 Ω	10Base-5 Thicknet - 500 m
RG-58	50 Ω	10Base-2 Thinnet - 185 m
RG-59	75 Ω	Kablo TV
RG-6	75 Ω	Anten kablosu

32

Ağın kenar kısmı

Fiziksel ortamlar - Fiber optik

- ▶ Fiber optik, **ışık palslerini iletir.**
- ▶ **100 Gbps'ten büyük** hızları sağlar.
- ▶ **Gürültüden az etkilenir**, 100km'ye **kadar attenuation çok azdır.**
- ▶ **Uzak mesafelerde** kıtalararası (**long-haul**) iletim ortamı olarak **kullanılır.**
- ▶ İnternet'in omurgasının önemli bir kısmını oluşturur.
- ▶ **Gönderici, alıcı ve anahtar** maliyeti yüksektir.
- ▶ OC standardı ile **51,8 Mbps'ten 39,8 Gbps'a** kadar hız sağlanır.
- ▶ OC-n (n x 51.8Mbps) olarak ifade edilir (OC-1, OC-3, ..., OC-768).

33

Ağın kenar kısmı

Fiziksel ortamlar - Karasal radyo kanalları

- ▶ Karasal radyo kanalları (**terrestrial radio channels**), fiziksel bir **kablo kurulumuna ihtiyaç duymadıkları için** giderek yaygınlaşmaktadır.
- ▶ Uzak mesafeler arasında iletişim yapılabilir.
- ▶ **Mobil kullanıcıların iletişimini sağlar.**
- ▶ Kullanılan sinyal duvarlardan geçebilir.
- ▶ İletim ortamının özellikleri (nem, sis, yağmur, ...) sinyalde bozulma ve zayıflamaya neden olur.
- ▶ **Üç gruba ayrılır:**
 - ▶ **Çok kısa mesafede** (birkaç metre) iletişim yapar (kulaklık, klavye, ...).
 - ▶ **Yerel alanda** (birkaç yüz metre) iletişim yapar (WLAN).
 - ▶ **Geniş alanda** iletişim yapar (hücreli erişim teknolojileri).

34

Ağın kenar kısmı

Fiziksel ortamlar - Uydu radyo kanalları

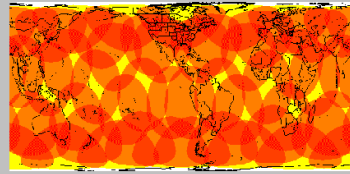
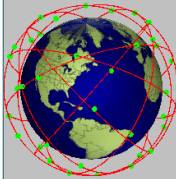
- ▶ Bir iletişim uydusu, iki veya daha fazla yer istasyonu (**earth-based station**) arasında gönderici ve alıcıyı birbirine bağlar.
- ▶ Genel olarak **yörünge yüksekliğine göre 3 tür** uydu ile iletişim yapılmaktadır:
 - ▶ Geostationary earth orbit (GEO)
 - ▶ Medium earth orbit (MEO)
 - ▶ Low-earth orbit (LEO)
- ▶ GEO uydular yeryüzünün bir noktası üzerinde sabit olarak kalırlar. Yeryüzünden yaklaşık 36000km yüksektedir.
- ▶ GEO uydularda sinyal erişim süresi 280ms'dir (**RTT > 0,5sn**).
- ▶ MEO ve LEO uydular yeryüzüne daha yakındır ancak sabit bir nokta üzerinde durmazlar.
- ▶ Bir uydu linki **100 Mbps'ten büyük hızları sağlar**.

35

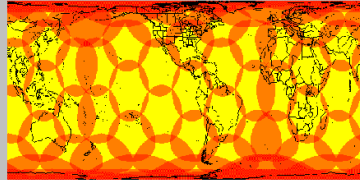
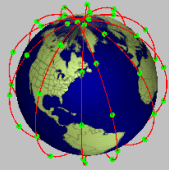
Ağın kenar kısmı

Fiziksel ortamlar - Uydu radyo kanalları

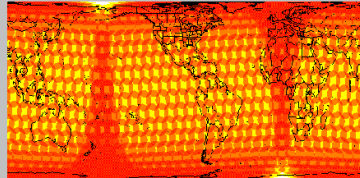
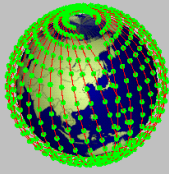
Globalstar



Iridium



Teledesic



36

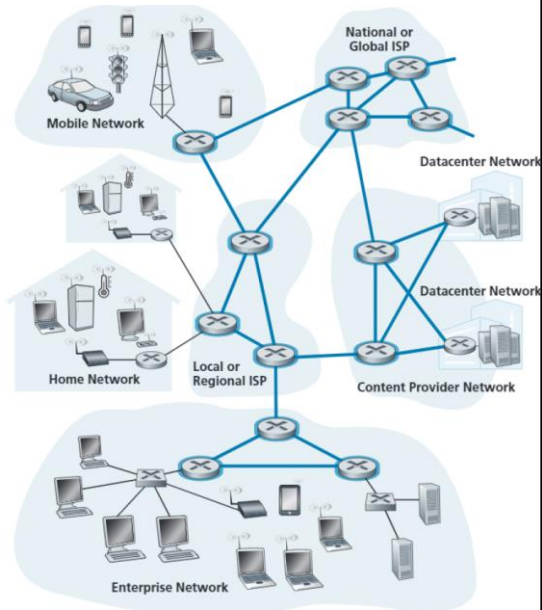
İçerik

- ▶ İnternet nedir?
 - ▶ Protokol nedir?
- ▶ Ağın kenar kısmı
 - ▶ Erişim ağları
 - ▶ Fiziksel ortamlar
- ▶ Ağın çekirdek kısmı
 - ▶ Paket anahtarlama
 - ▶ Devre anahtarlama
 - ▶ Ağlardan oluşan ağ

37

Ağın çekirdek kısmı

- ▶ Ağın çekirdek kısmı (**network core**), İnternet'in uç sistemlerini birbirine bağlar.
- ▶ Ağ temel **iki tür bileşenden oluşur**:
 - ▶ **Paket anahtar (router)**
 - ▶ **Bağlantı (link)**
- ▶ Linkler ve anahtarlardan oluşan ağda **verinin iletilmesi için iki temel yaklaşım** vardır:
 - ▶ **Paket anahtarlama**
 - ▶ **Devre anahtarlama**



38

İçerik

- ▶ İnternet nedir?
 - ▶ Protokol nedir?
- ▶ Ağın kenar kısmı
 - ▶ Erişim ağları
 - ▶ Fiziksel ortamlar
- ▶ Ağın çekirdek kısmı
 - ▶ Paket anahtarlama
 - ▶ Devre anahtarlama
 - ▶ Ağlardan oluşan ağ

39

Ağın çekirdek kısmı

Paket anahtarlama

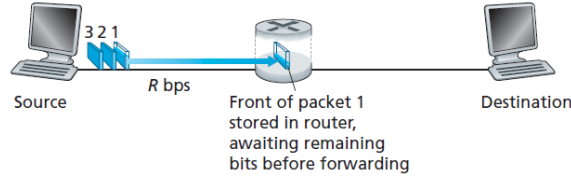
- ▶ Bir ağ uygulamasında uç sistemler arasında **mesajlar** aktarılır.
- ▶ Uzun mesajlar, **parçalara (paket) bölünerek** iletilir.
- ▶ Bir paket kaynak ile hedef arasında anahtarlar (router, link-layer switch) kullanılarak iletilir.
- ▶ Bir paketin boyutu L bit ise, iletim oranı (transmission rate) R bps ise, L/R saniyede paket kaynaktan gönderilir.
- ▶ Paket anahtarlama (packet switching) anahtarlar iki tür gönderim yapabilir:
 - ▶ **Store and forward**
 - ▶ **Cut-through**

40

Ağın çekirdek kısmı

Store and forward, cut-through

- ▶ **Store and forward** gönderimde, anahtar önce paketin tamamını belleğe alır (**store**) ve ardından gönderir (**forward**).
- ▶ Bir router, giriş linkinden gelen paketi çıkış linklerinden birine yönlendirir.



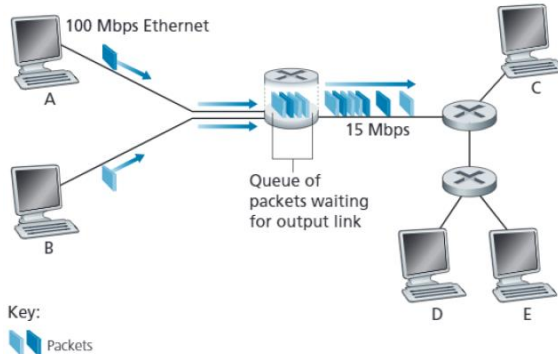
- ▶ **Cut-through** gönderimde, gelen paketin adres kısmı alınınca hemen göndermeye başlanır tamamının gelmesi beklenmez.
- ▶ Cut-through ile **hatalı paketler düğümlerde belirlenemez** hedefte belirlenir.

41

Ağın çekirdek kısmı

Kuyruk gecikmesi ve paket kayıpları

- ▶ Paket anahtarlarda **her çıkış linkinde output buffer vardır**.
- ▶ Bir linke yönlendirilen **paket, buffer'ın sonuna eklenir**.
- ▶ Buffer'da başa gelene kadar kuyruk gecikmesi (**queuing delay**) meydana gelir.
- ▶ Kuyruk boş ise gecikme olmaz, **kuyruk dolu ise paket atılır (packet loss)**.



42

Ağın çekirdek kısmı

Yönlendirme tabloları ve yönlendirme protokolleri

- ▶ İnternet'te **her host** bir **IP (Internet Protocol) adresine sahiptir.**
- ▶ **Gönderici** pakete **alıcının IP adresini ekler.**
- ▶ **IP adresi hiyerarşik bir yapıya sahiptir.**
- ▶ Router bir paket geldiğinde, hedef IP adresine göre komşu router'lerden birine gönderir.
- ▶ **Her router** bir **yönlendirme tablosuna (forwarding table) sahiptir.**
- ▶ Yönlendirme tablosu hedef adres ile router'ın çıkış portlarını eşleştirir.
- ▶ **Yönlendirme protokolleri (routing protocols), yönlendirme tablosunu otomatik olarak oluşturur ve günceller.**

43

İçerik

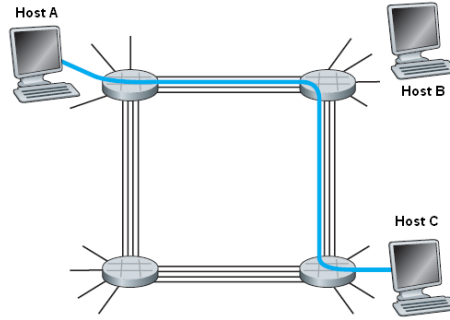
- ▶ İnternet nedir?
 - ▶ Protokol nedir?
- ▶ Ağın kenar kısmı
 - ▶ Erişim ağları
 - ▶ Fiziksel ortamlar
- ▶ Ağın çekirdek kısmı
 - ▶ Paket anahtarlama
 - ▶ **Devre anahtarlama**
 - ▶ Ağlardan oluşan ağ

44

Ağın çekirdek kısmı

Devre anahtarlama

- ▶ **Devre anahtarlama** (circuit switching), iletişim süresince kaynaklar host'lara ayrılır **paylaşım yapılmaz**.
- ▶ **Paket anahtarlama** kaynaklar sadece paket için ayrılır.
- ▶ **Klasik telefon ağları** devre anahtarlama çalışır.
- ▶ **İnternet** paket anahtarlama çalışır.
- ▶ Host A, Host C ile iletişim yapmak istediğinde bir devre kurulur.



45

Ağın çekirdek kısmı

Çoğullama

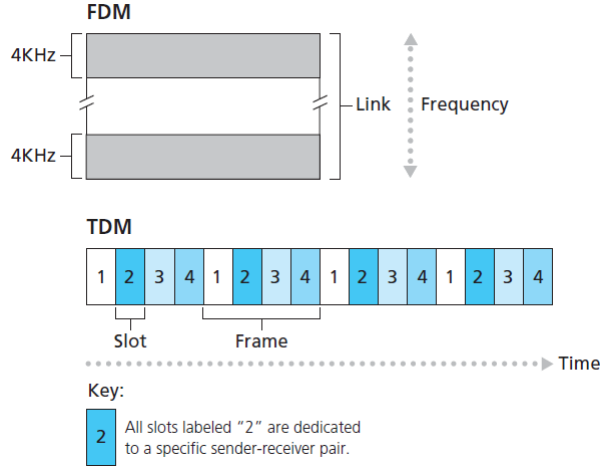
- ▶ Çoğullama (multiplexing) iki şekilde yapılabilir:
 - ▶ **Frekans bölmeli çoğullama** (frequency division multiplexing-FDM)
 - ▶ **Zaman bölmeli çoğullama** (time division multiplexing-TDM)
- ▶ FDM ile **linkteki spektrum frekansa göre parçalara (kanal) bölünür**.
- ▶ TDM ile link **zamana göre parçalara (frame) bölünür**.
- ▶ Frame içindeki her slot iki host arasındaki bir iletişime ayrılır.
- ▶ Devre anahtarlama ağlarının **en büyük dezavantajı kaynakları verimsiz kullanmasıdır**.
- ▶ Devre anahtarlama ağlar veri iletişimine başlamadan önce **yol kurulumu yapar**.

46

Ağın çekirdek kısmı

Çoğullama

- ▶ Devre anahtarlama ağlarda **veri iletişimi daha hızlıdır.**



47

Ağın çekirdek kısmı

Devre anahtarlama

- ▶ Host A ile Host B arasında devre anahtarlama ağ üzerinden 640.000 bit gönderilecektir.
- ▶ Ağdaki tüm bağlantılar **24 slot** ile TDM kullanmaktadır ve bit oranı **1.536 Mbps**.
- ▶ Uçtan uca **devre kurulumu 0.5 s'de** yapılmaktadır.
- ▶ Dosyanın gönderilmesi için gereken süre ne kadardır?

$$\begin{aligned} \text{Her devrenin iletim oranı} &= 1.536 \text{ Mbps} / 24 = 64 \text{ kbps} \\ \text{Dosyanın gönderim süresi} &= 640.000 / 64 \text{ kbps} = 10 \text{ s} \\ \text{Toplam süre} &= \text{Devre kurulum süresi} + \text{Gönderim süresi} \\ &= \mathbf{0.5 \text{ s} + 10 \text{ s} = 10.5 \text{ s}} \end{aligned}$$

48

Ağın çekirdek kısmı

Devre anahtarlama

- ▶ Kullanıcılar 1 Mbps bir bağlantıyı paylaşmaktadır.
- ▶ Her kullanıcı 10 kbps sabit veri oranına sahiptir.
- ▶ Kullanıcılar zamanının %10'unda veri iletişimi yapmaktadır.
- ▶ TDM ile bir saniyede 10 slot oluşturularak eşzamanlı 10 kullanıcı iletişim yapabilir (1 Mbps/10=100 kbps).

Binomial approximation

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x (1-p)^{n-x}$$
$$f(11) = \frac{35!}{11!(35-11)!} 0,1^{11} (1-0,1)^{35-11} < 0,0004$$

n = toplam kullanıcı sayısı

p = bir kullanıcının aktif olma olasılığı

x = eş zamanlı kullanıcı sayısı

49

Ağın çekirdek kısmı

Devre anahtarlama

- ▶ Paket anahtarlama, **bir kullanıcının** aktif olma olasılığı 0,1'dir.
- ▶ Toplam 35 kullanıcı olursa, **aynı anda 11 ve daha fazla kullanıcının** aktif olma olasılığı **0.0004'ten küçüktür** (~0,000333).
- ▶ **10 ve daha az kullanıcının** aynı anda aktif olma olasılığı **0.9996'dan büyüktür.**
- ▶ **10 ve daha az** kullanıcı eşzamanlı aktif olduğunda **kuyruk gecikmesi olmaz.**
- ▶ **10'dan daha fazla** kullanıcının eşzamanlı aktif olması durumunda **çıkış kuyruğu büyümeye başlar.**
- ▶ **10 kullanıcıya** kadar **paket anahtarlama** ile **devre anahtarlama**da **eşit performans** elde edilir.
- ▶ **Paket anahtarlama**lı ağlarda **daha fazla kullanıcı aynı anda** iletişim yapabilir.

50

İçerik

- ▶ İnternet nedir?
 - ▶ Protokol nedir?
- ▶ Ağın kenar kısmı
 - ▶ Erişim ağları
 - ▶ Fiziksel ortamlar
- ▶ Ağın çekirdek kısmı
 - ▶ Paket anahtarlama
 - ▶ Devre anahtarlama
 - ▶ Ağlardan oluşan ağ

51

Ağın çekirdek kısmı

Ağlardan oluşan ağ

- ▶ Uç sistemler **İSS'lar aracılığıyla İnternet'e bağlanır.**
- ▶ İSS, kablosuz veya kablolu bağlantı sağlar (Dial-up, DSL, cable, FTTH, WiFi, hücresel).
- ▶ **İSS'ler de kendi aralarında bağlanırlar** ve büyük ağ yapısını oluştururlar (ağların ağı).
- ▶ **İSS'ler katmanlı yapıya sahiptir.**
- ▶ **Tier-1 İSS'ler global veri akışını sağlar** ve her ilde veya ülkede bulunmaz (AT&T, Sprint, NTT).
- ▶ **Tier-2'de bölge/kıta ölçeğinde İSS'ler bulunur** (Vodafone, Virgin Media). Tier-1 İSS'lere bağlıdır.
- ▶ **Tier-3'te erişim İSS'leri vardır** ve tier-2 İSS'lere bağlıdır.
- ▶ **Erişim İSS'leri** tier-2 İSS'lere ödeme yapar.
- ▶ **Bölgesel İSS'ler** tier-1 İSS'lere ödeme yapar.

52

Ağın çekirdek kısmı

Ağlardan oluşan ağ

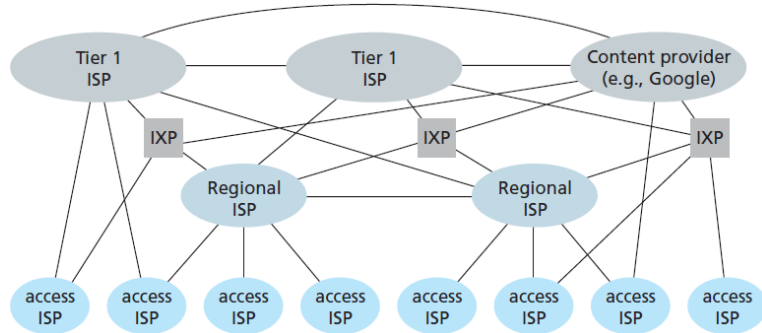
- ▶ İnternet'te, **points of presence (PoPs)**, **multi-homing**, **peering** ve **Internet exchange points (IXP)** bulunmaktadır.
- ▶ **PoPs**, erişim İSS'leri hariç diğer İSS'lerde bulunur.
- ▶ **Bir PoP**, müşteri İSS'leri sağlayıcı İSS'e bağlayan çok sayıda router'dan oluşur.
- ▶ **Tier-1 İSS'ler hariç diğer İSS'ler** birden fazla sağlayıcı İSS'e bağlanabilir (**multi-home**).
- ▶ **Bir erişim İSS'i**, birden fazla tier-2 İSS ve tier-1 İSS'e bağlanabilir.
- ▶ **Aynı düzeydeki İSS'ler kendi aralarında bağlantı yapabilir (peering)**.
- ▶ Bir üçüncü parti firma çok sayıda İSS'in birbiriyle bağlantısı için **çok sayıda switch bulunan bir nokta oluşturabilir (IXP)**.
- ▶ İnternet'te günümüzde 600'den fazla IXP bulunmaktadır.

53

Ağın çekirdek kısmı

Ağlardan oluşan ağ

- ▶ İnternet'te, içerik sağlayıcı (**content provider**) ağlar vardır.
- ▶ Google'ın 19 ana data center'ı bulunmaktadır.
- ▶ Data center'lar Google'ın private TCP/IP ağıyla birbirine bağlıdır.
- ▶ Google, üst katmandaki İSS'leri bypass ederek alt katmandaki İSS'lere doğrudan veya IXP'ler aracılığıyla bağlanabilir.



54