شبکه‌های کامپیوتری۲

درس اول:

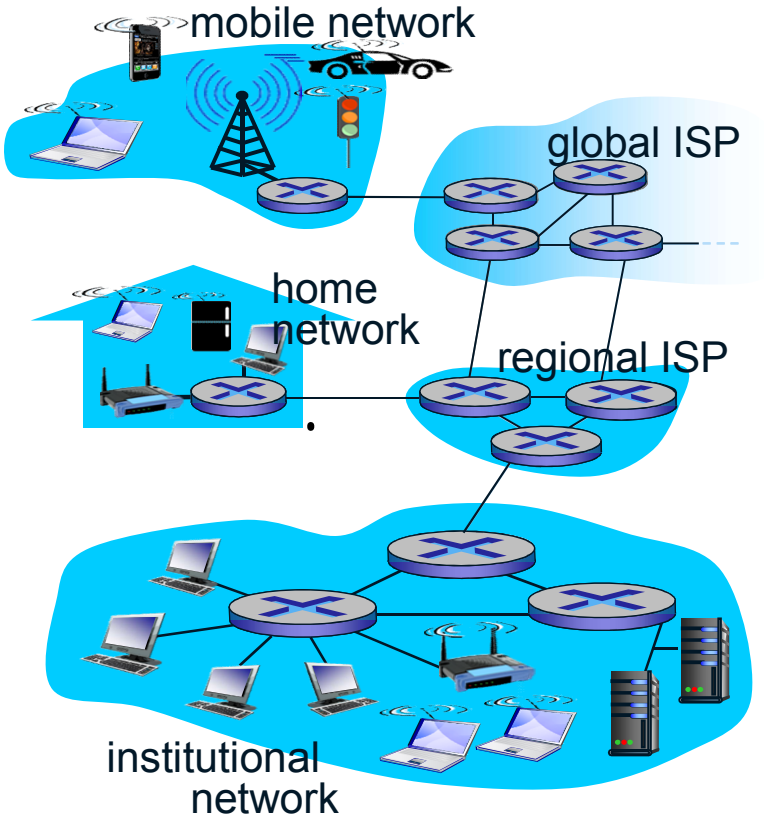
مبانی شبکه‌های کامپیوتری و اینترنت

رئوس مطالب:

✅ اینترنت چیست؟

- ❑ **لبه شبکه**(سیستم‌های‌انتهایی،شبکه‌های دسترسی،لینک‌ها)
- ❑ **هسته شبکه**(ساختارشبکه،سوئیچینگ بسته‌ای،سوئیچینگ مداری)
- ❑ **تاخیر-گذردهی-گم‌شدن بسته**
- ❑ **لایه‌های پروتکل-مدل سرویس آنها**

اینترنت چیست؟



- صدهامیلیون دستگاه کامپیوتری در سراسر دنیا متصل بهم هستند.
  - *میزبان = سیستم‌های انتهایی*
  - برنامه‌های شبکه در سیستم‌های انتهایی اجرامی‌شوند.

- *سوئیچ‌های بسته* : هدایت بسته‌ها در شبکه
  - *مسیریاب‌ها و سوئیچ‌ها*

router

- *لینک‌های ارتباطی*
  - کابل‌مسی،فیبرنوری،طیف رادیویی
  - نرخ انتقال(پهنای باند)

wireless links

wired links

سرویس‌های اینترنت:

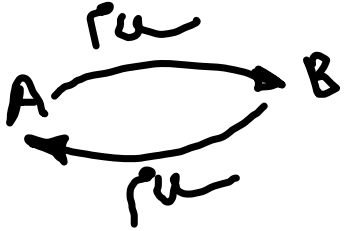
- *یک زیرساخت برای ارایه خدمات*

—وب،ایمیل،شبکه‌های اجتماعی،اشتراک فایل

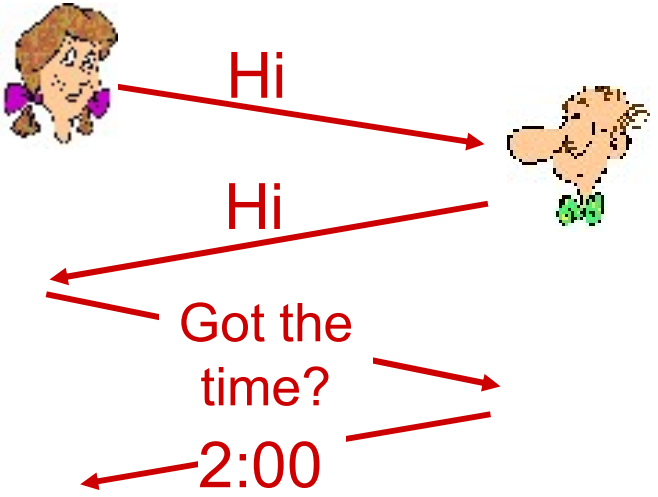
- *رابط برنامه‌نویسی (API)*

—ایجاد بستری برای استفاده برنامه کاربردی از اینترنت

—ارایه سرویس‌به برنامه کاربردی مانند پست الکترونیکی


A
B

پروتکل:


Hi
Hi
Got the time?
2:00
time

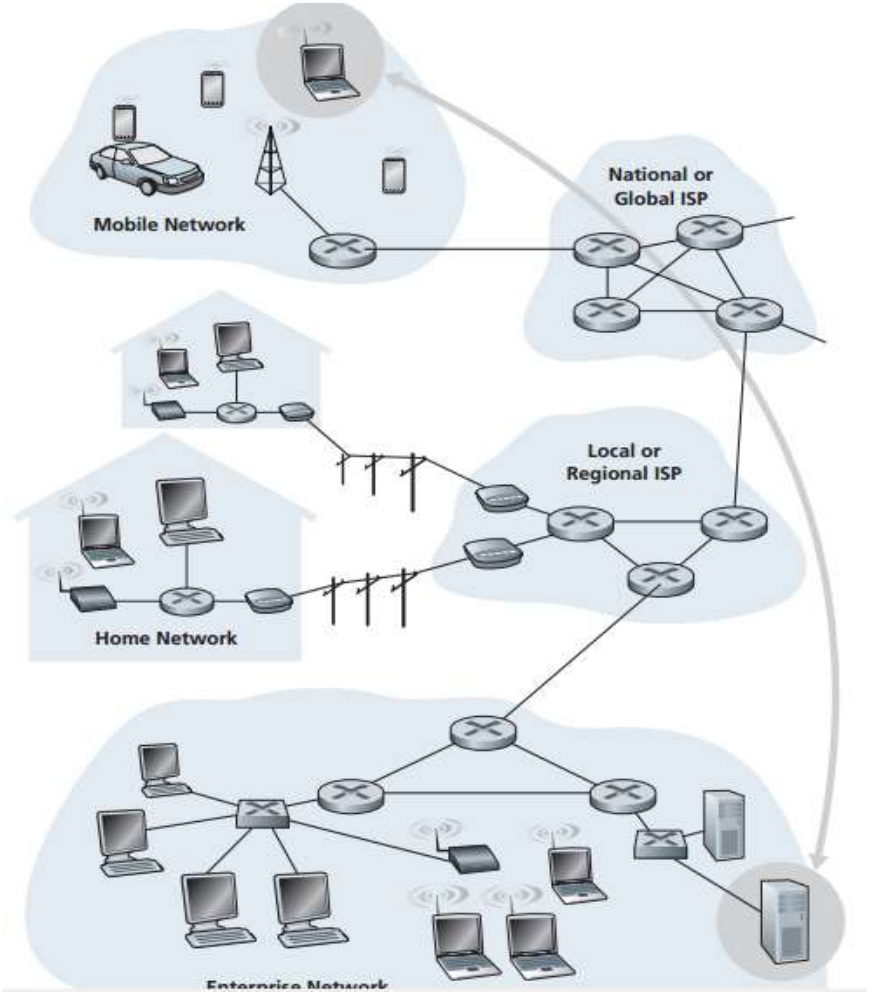
TCP connection request
TCP connection response
Get http://www.awl.com/kurose-ross
<file>

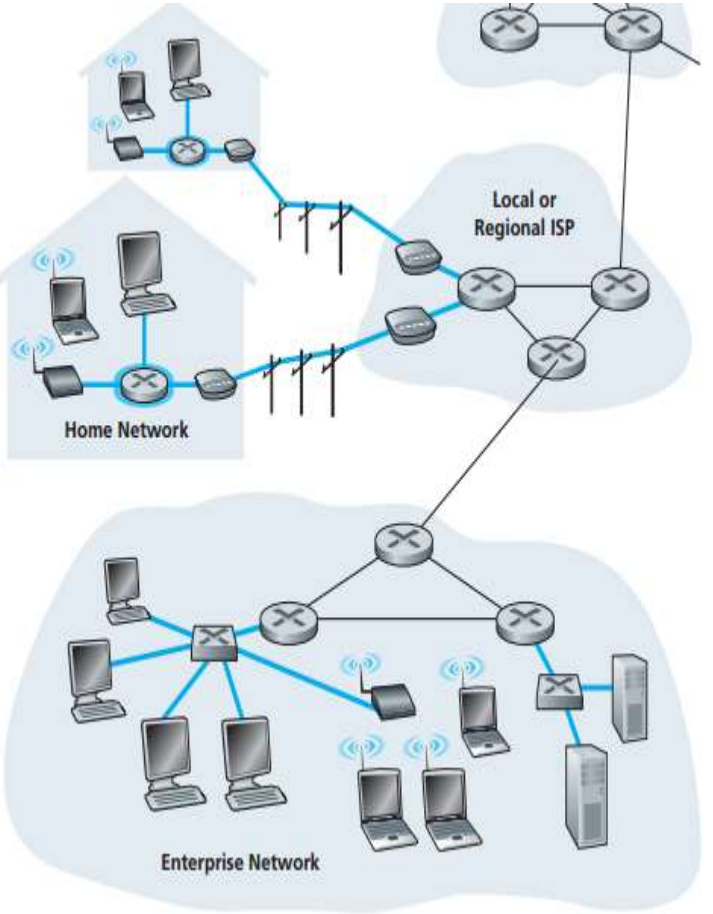
رئوس مطالب:

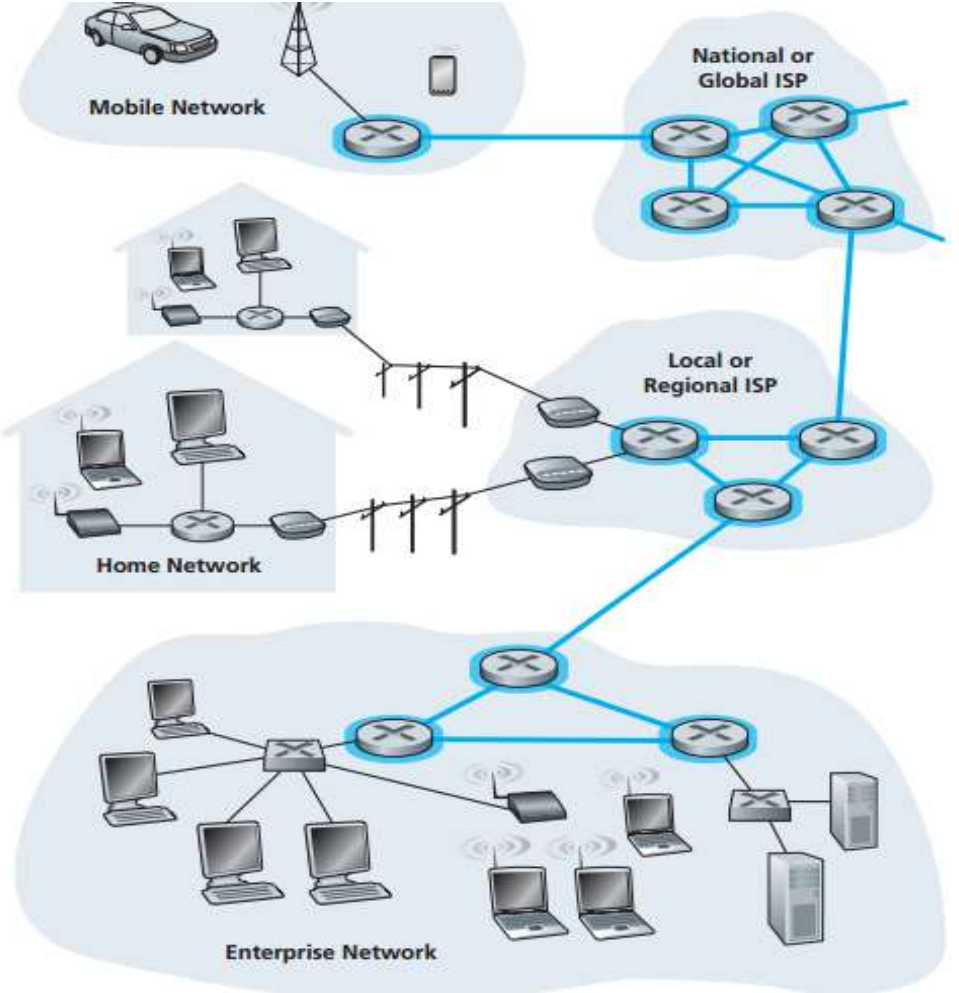
- ❑ اینترنت چیست؟
- ✅ **لبه شبکه**(سیستم‌های‌انتهایی،شبکه‌های دسترسی،لینک‌ها)
- ❑ **هسته شبکه**(ساختارشبکه،سوئیچینگ بسته‌ای،سوئیچینگ مداری)
- ❑ **تاخیر-گذردهی-گم‌شدن بسته**
- ❑ **لایه‌های پروتکل-مدل سرویس آنها**

نگاه عمیقتر به ساختار شبکه:

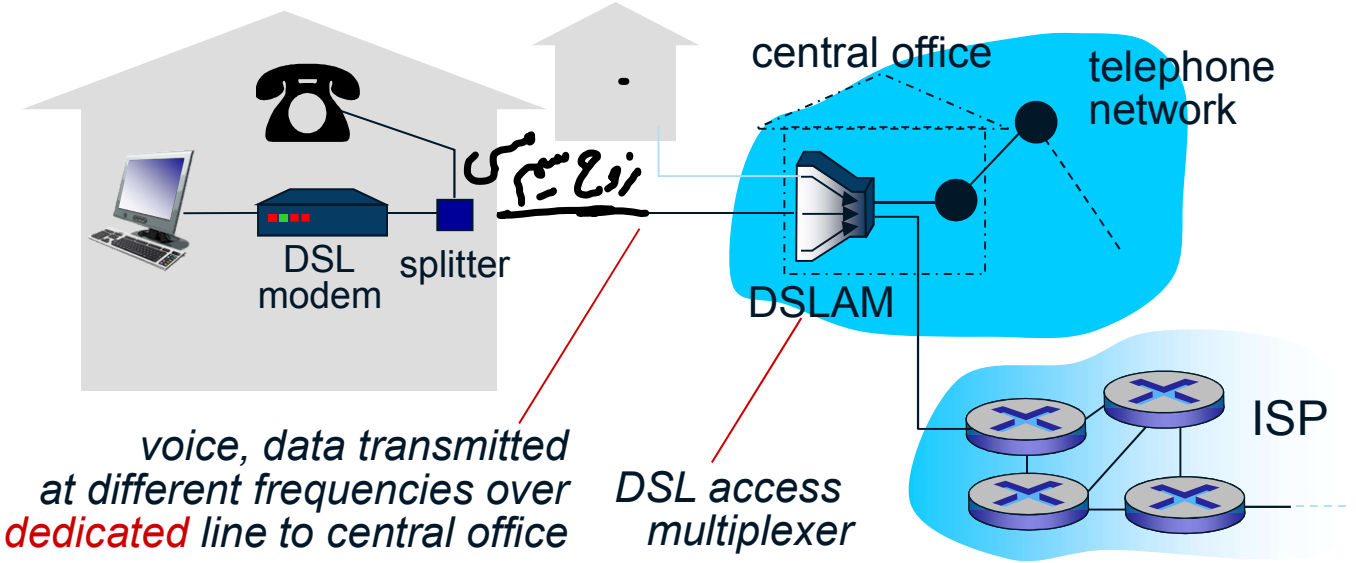
- *لبه شبکه*
  - میزبان‌ها(سیستم‌های انتهایی):مشتری-سرویس‌دهنده
- *شبکه‌های دسترسی و رسانه های انتقال*
  - لینک‌های ارتباطی سیمی و بی سیم بین اجزا
- *هسته شبکه*
  - تاروپودی از سوئیچ‌ها و لینک‌های مخابراتی


Mobile Network
National or
Global ISP
Local or
Regional ISP
Home Network


Local or
Regional ISP
Home Network
Enterprise Network


Mobile Network
National or
Global ISP
Local or
Regional ISP
Home Network
Enterprise Network

Digital Subscriber Line(DSL)



تقسیم زمانی : به نوبت از رسانه استفاده شود

تقسیم فرکانس : برای هر نوع از داده‌ها یک محدوده فرکانسی در نظر بگیریم

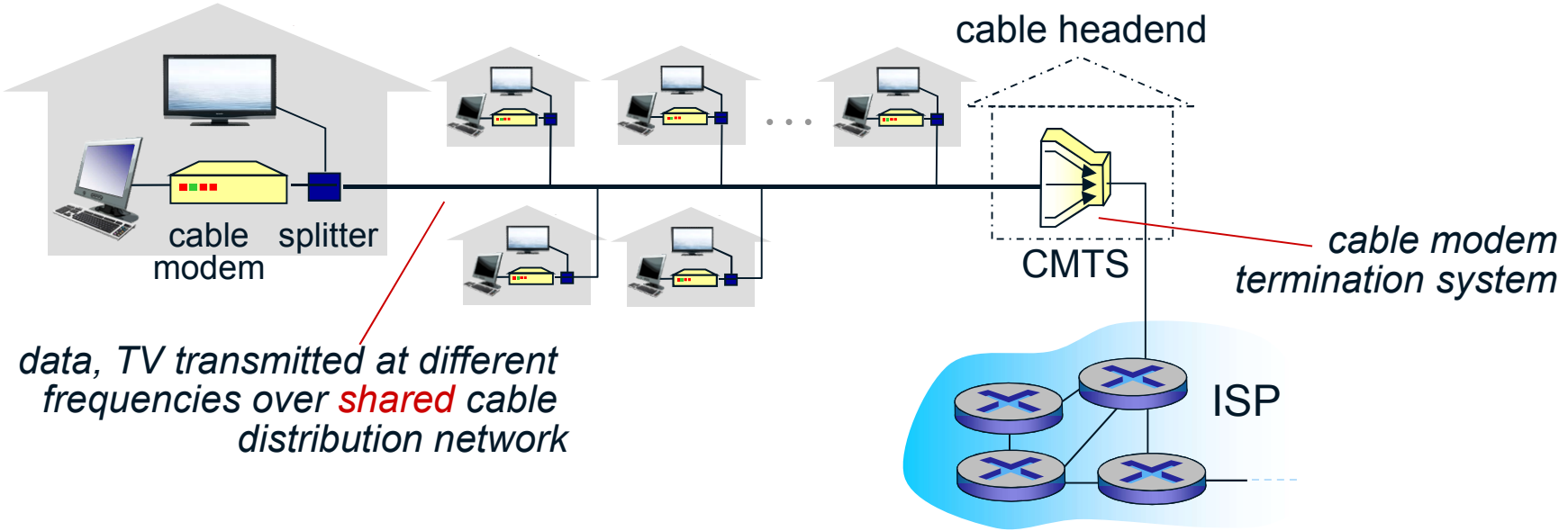
DSL
- 0-4KHZ مکالمات تلفنی
- 4KHZ-50KHZ Upload (ارسال)
- 50KHZ-1MHZ Download (دریافت)

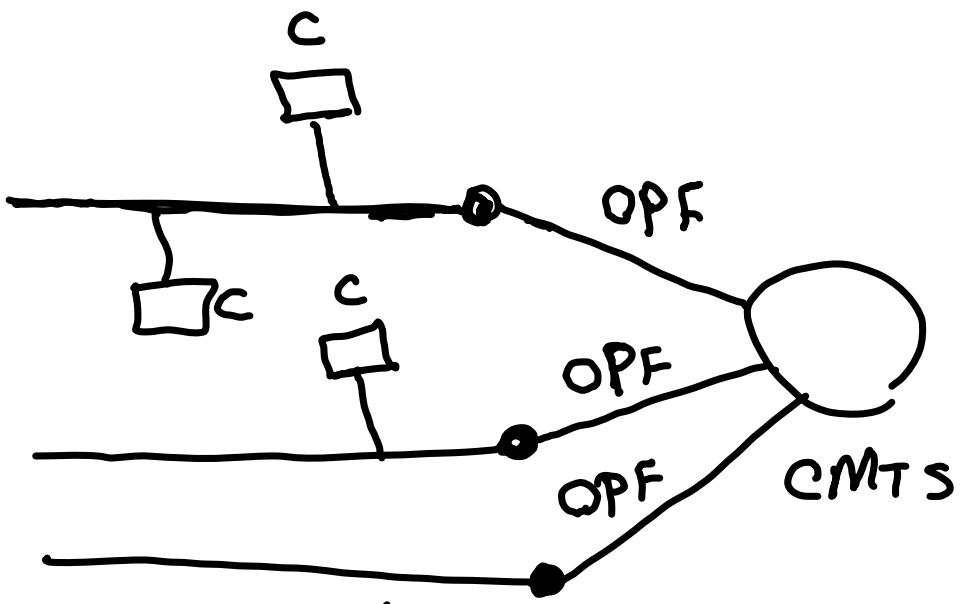
نرخ ارسال و دریافت در ADSL

- دریافت : 12Mbps , 24 Mbps
- ارسال : 1.8 Mbps , 2.5 Mbps

← اتصال نامتقارن

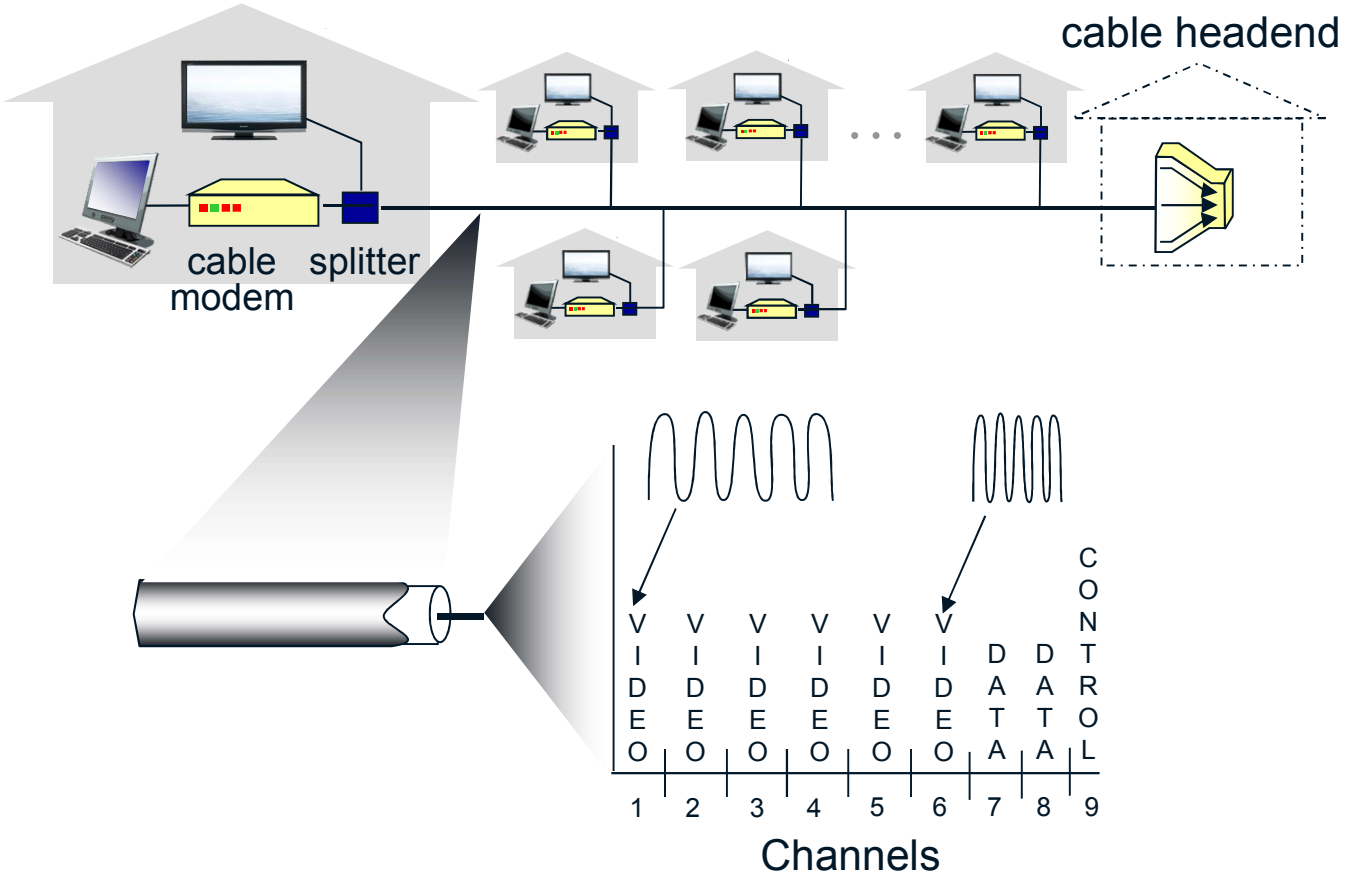
دسترسی اینترنت کابلی



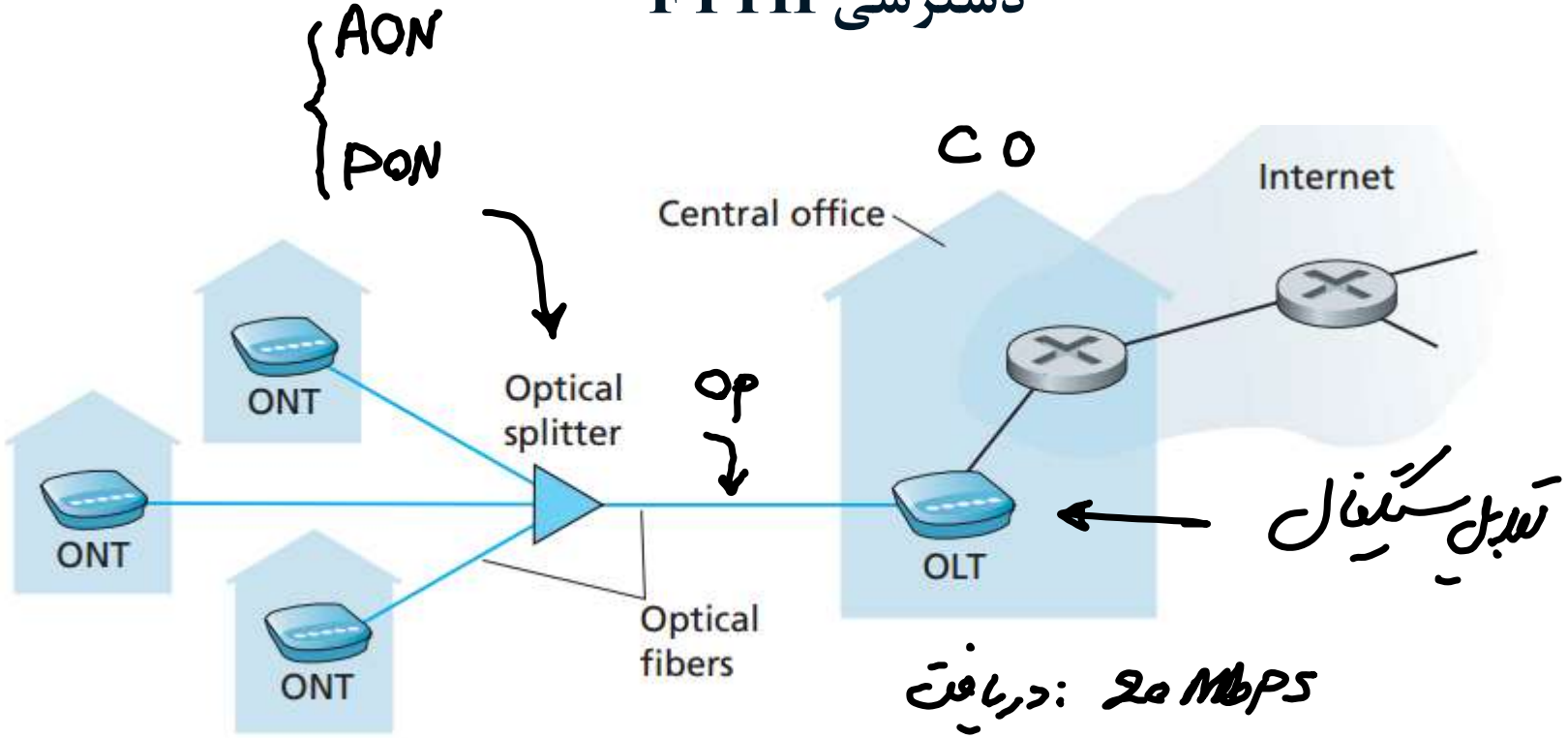


روش دسترسی ترکیبی کابل و فیبر (HFC)

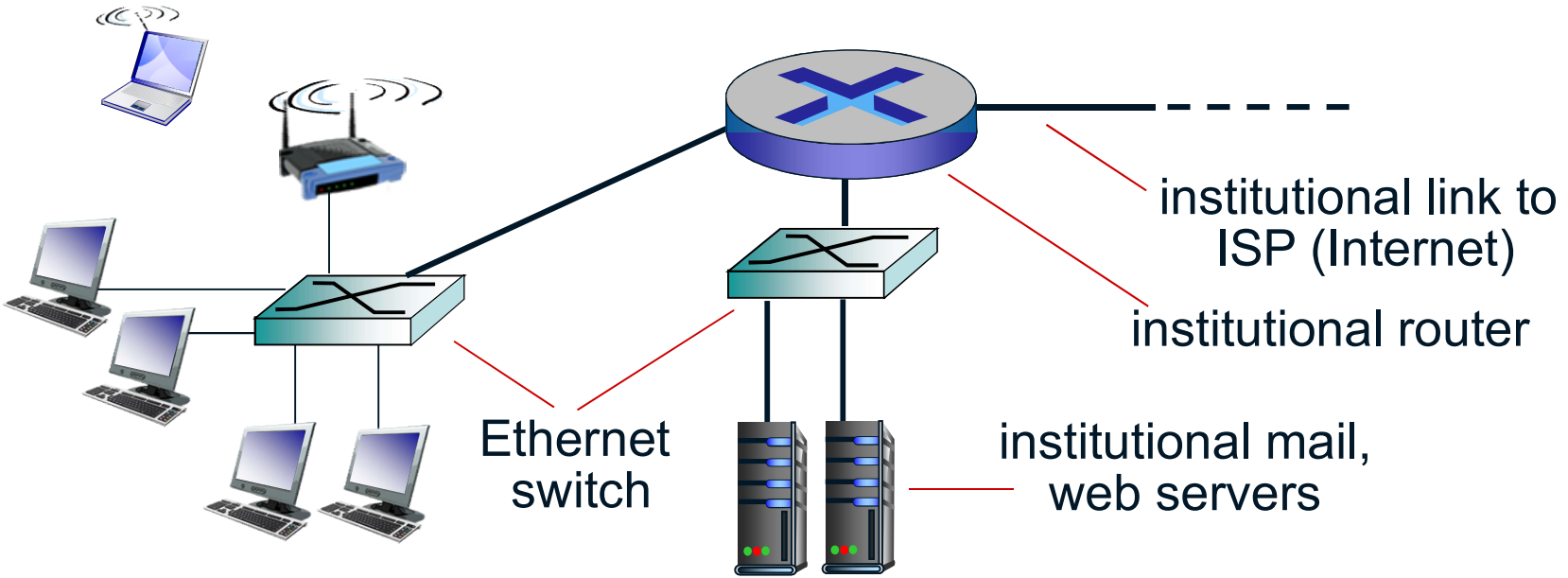
نرخ ارسال و دریافت
- دریافت : 42.8 Mbps
- ارسال : 30.7 Mbps


cable headend
cable modem
splitter
VIDEO 1
VIDEO 2
VIDEO 3
VIDEO 4
VIDEO 5
VIDEO 6
DATA 7
DATA 8
CONTROL 9
Channels

دسترسی FTTH

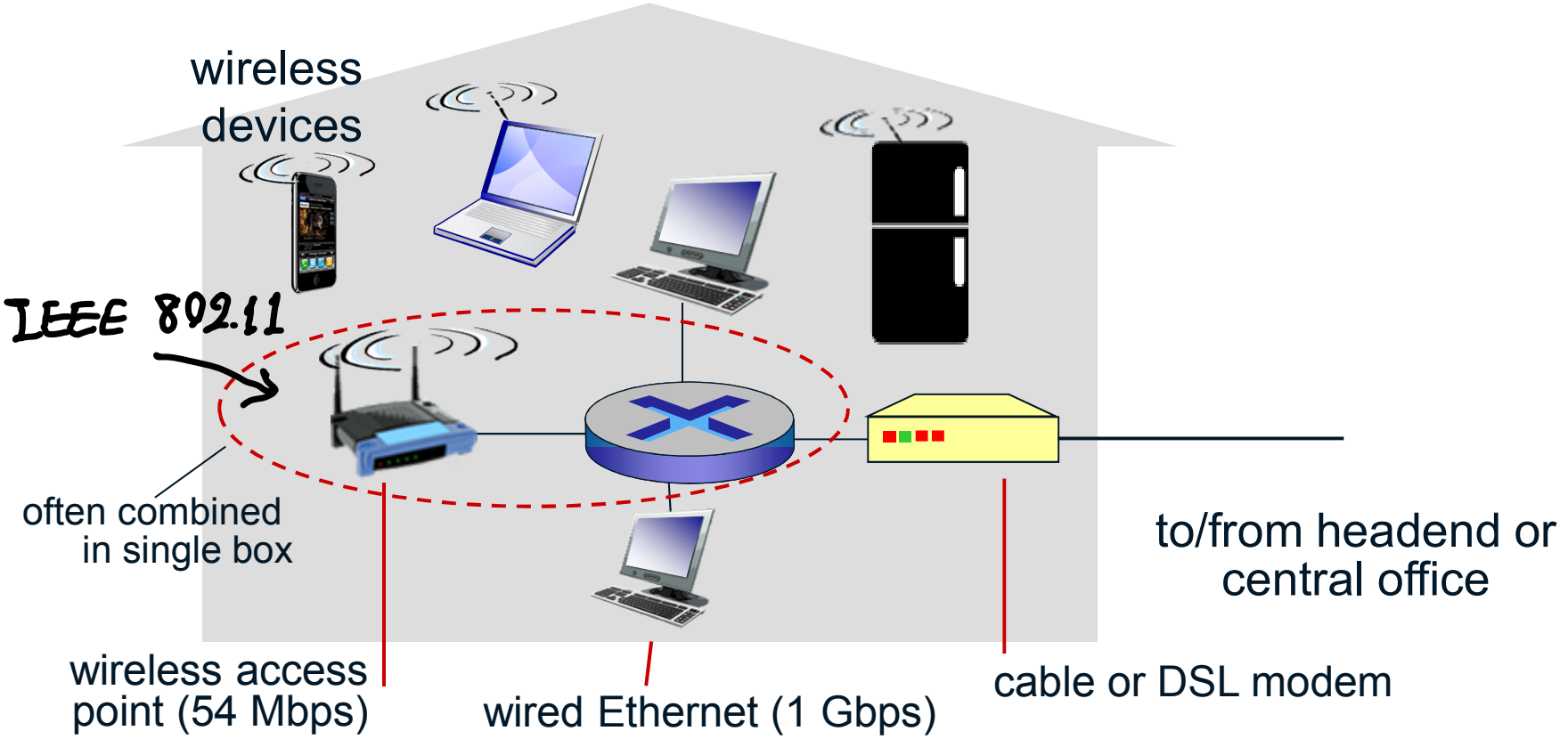

AON
PON
CO
Central office
Internet
ONT
ONT
ONT
Optical splitter
OP
OLT
Optical fibers
تعدیل سیگنال
دریافت: 20 Mbps

دسترسی در مقیاس بزرگ:اترنت



سرعت دسترسی کاربران اینترنت : 100 Mbps

سرعت دسترسی به سرویس‌های : 1Gbps – 10Gbps


wireless devices
IEEE 802.11
often combined in single box
wireless access point (54 Mbps)
wired Ethernet (1 Gbps)
cable or DSL modem
to/from headend or central office

دسترسی بی سیم به اینترنت :

۱- دسترسی 4G ، 3G

- ارائه کنندگان : شرکت‌های ارائه کننده تلفن ارائه
- سرعت دسترسی : 10Mbps

رسانه انتقال

نرخ انتقال bps

1) رسانه‌های هدایت‌پذیر — زوج سیم فیبرنوری. کابل کواکسیال

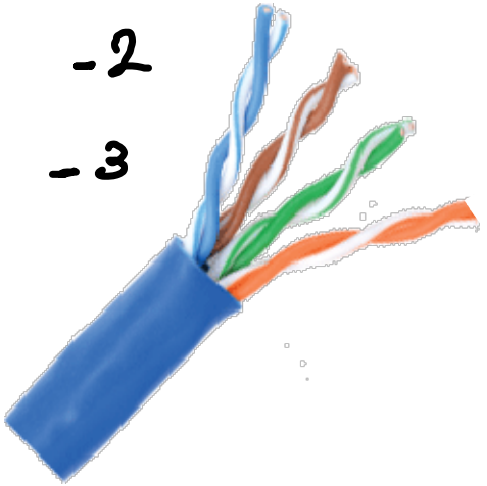
2) رسانه‌های هدایت‌پذیرنیستند - رسانه‌های بی‌سیم

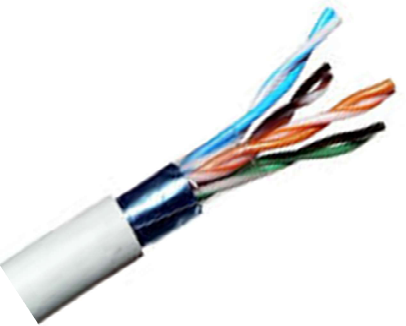
رسانه انتقال:زوج سیم

ADSL -1

Ethernet -2

Dial-up -3





پهنای باند روی سیم مسی :

$R = \rho \frac{L}{A}$

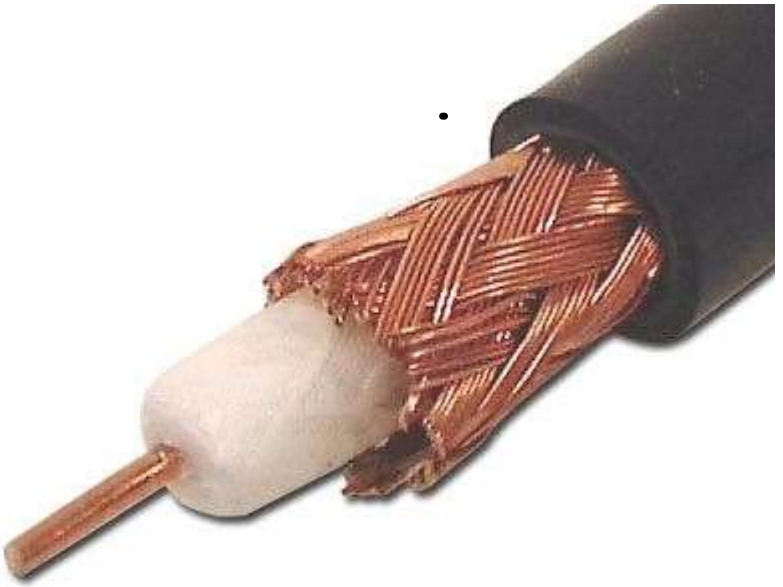
$R \propto L$ ⟶ افزایش L ⇒ کم‌شدن (پهنای باند)

$R \propto \frac{1}{A}$ ⟶ کاهش A ⇒ کم‌شدن (پهنای باند)

نرخ ارسال در شبکه محلی : 10Mbps - 10Gbps

رسانه انتقال:کابل کواکسیال

هم محور



رسانه انتقال:فیبرنوری

سرعت : 51.8Mbps
:
39.8Gbps

رسانه انتقال:بی‌سیم

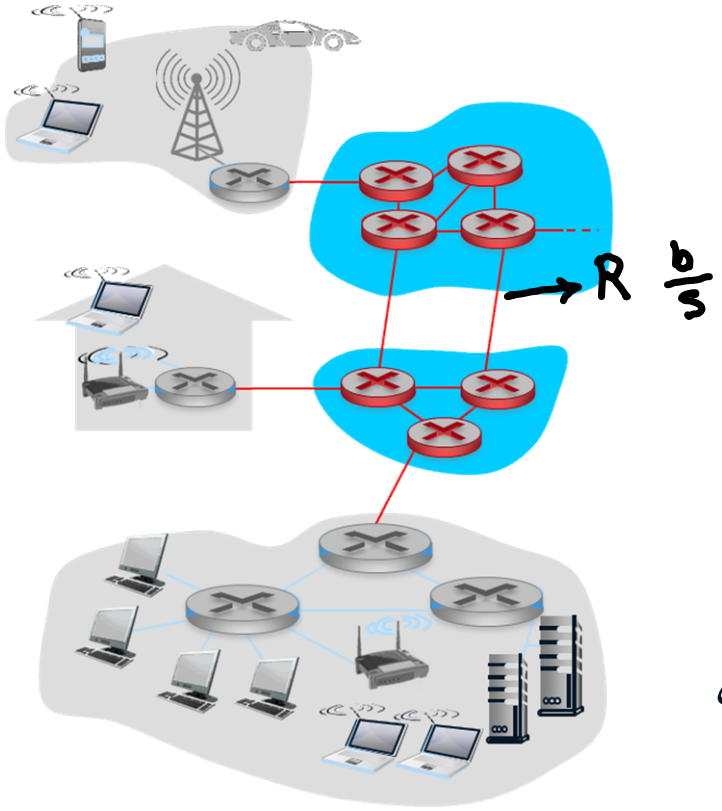
مثلات : 1- کانال رادیویی زمینی
2- کانال رادیویی ماهواره‌ای

1- کاهش قدرت سیگنال در طول مسافت
2- تداخل سیگنال
3- کاهش قدرت سیگنال در اثر بارش
4- تداخل سیگنال در اثر برخورد با بار خودش .

رئوس مطالب:

- ❑ **اینترنت چیست؟**
- ❑ **لبه شبکه**(سیستم‌های‌انتهایی،شبکه‌های دسترسی،لینک‌ها)
- ☑ **هسته شبکه**(ساختارشبکه،سوئیچینگ بسته‌ای،سوئیچینگ مداری)
- ❑ **تاخیر-گذردهی-گم‌شدن بسته**
- ❑ **لایه‌های پروتکل-مدل سرویس آنها**

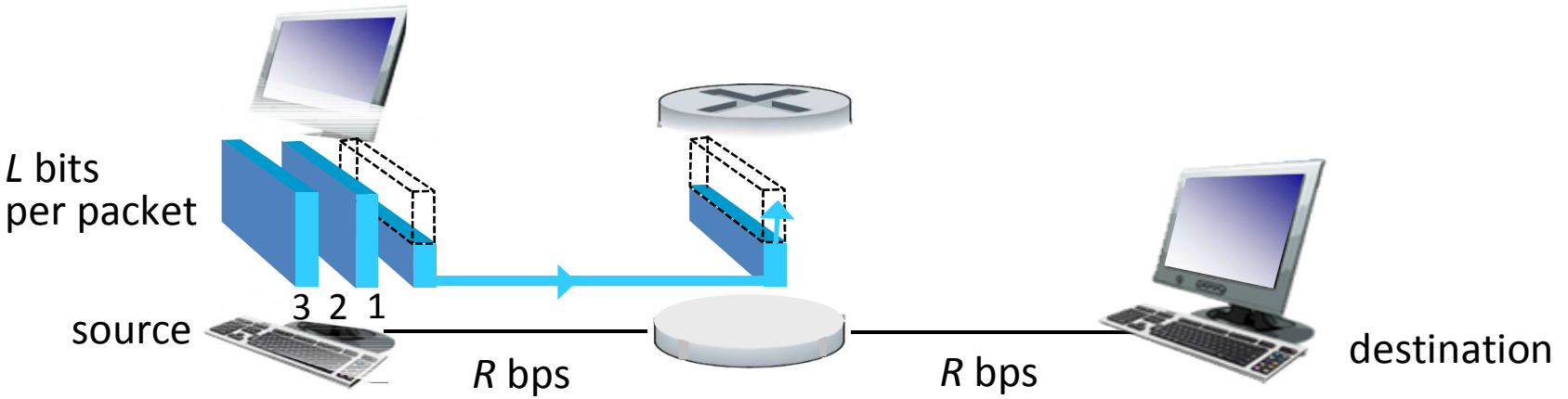
زمان انتقال = $\frac{L}{R}$ s



هسته شبکه

- یک ساختار ارتباطی از سوئیچ‌ها
- سوئیچینگ بسته‌ای:شکستن پیام بزرگ به بسته‌ها
  - فرستادن بسته‌ها از یک مسیریاب به مسیریاب بعدی در راستای مبدا به مقصد.
  - هربسته از کل ظرفیت لینک استفاده می‌کند

سوئیچینگ بسته‌ای:روش ذخیره و هدایت(Store and Forward)



$$d_{\text{end to end}} = \frac{L}{R} + \frac{L}{R} = \frac{2L}{R}$$

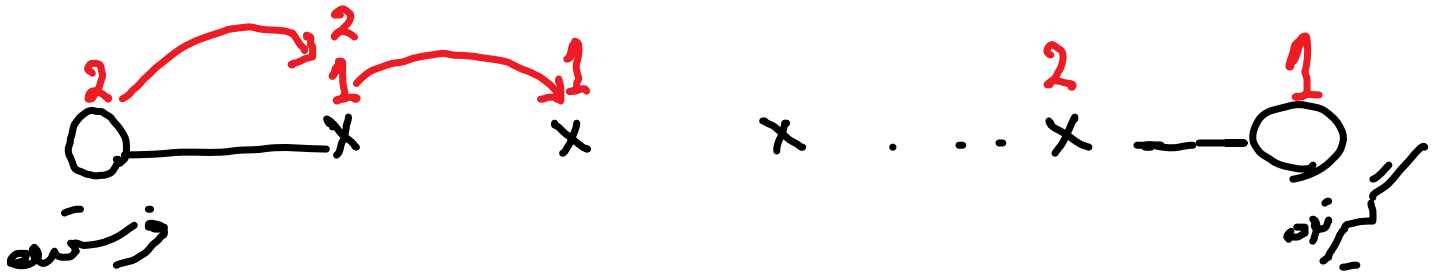
- درروش ذخیره-هدایت سوئیچ قبل از اینکه بتواند بیت‌های دریافتی را روی لینک خروجی خود قرار دهد،باید تمام بسته را دریافت کرده باشد.

- **L/R**ثانیه طول خواهد،کشید تا یک بسته روی لینک خروجی قراربگیرد.
  - تاخیرانتها به انتها برای یک بسته و ۲لینک(یک مسیریاب) برابر**2L/R** است.

تأخیر انتها به انتها در صورت وجود N لینک (N-1 مسیریاب) برابر است با:

$$\frac{NL}{R}$$

مثال (۱): بین مبدا ارسال بسته‌هاومقصد دریافت آنها Nمسیریاب وجود دارد.اگر طول هربستهLبیت و نرخ ارسال لینک‌ها، Rبیت‌برثانیه باشد.تاخیر انتها به انتها را برای ارسال پشت سرهم Pبسته چقدر است؟



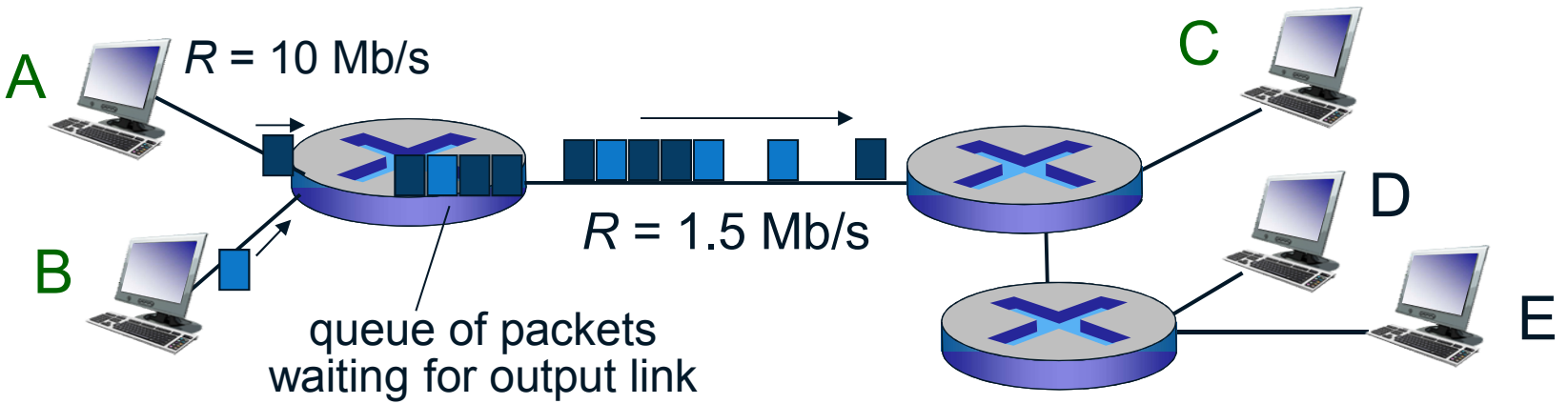
اولین بسته : $\frac{(N+1)L}{R}$

بسته دوم : $\frac{(N+1)L}{R} + \frac{L}{R}$ .... بسته سوم $= \frac{(N+1)L}{R} + \frac{2L}{R}$

$$\frac{(N+1)L}{R} + (P-1)\frac{L}{R} = \frac{L}{R}(N+1+P-1)$$

$$= \frac{L}{R}(N+P)$$

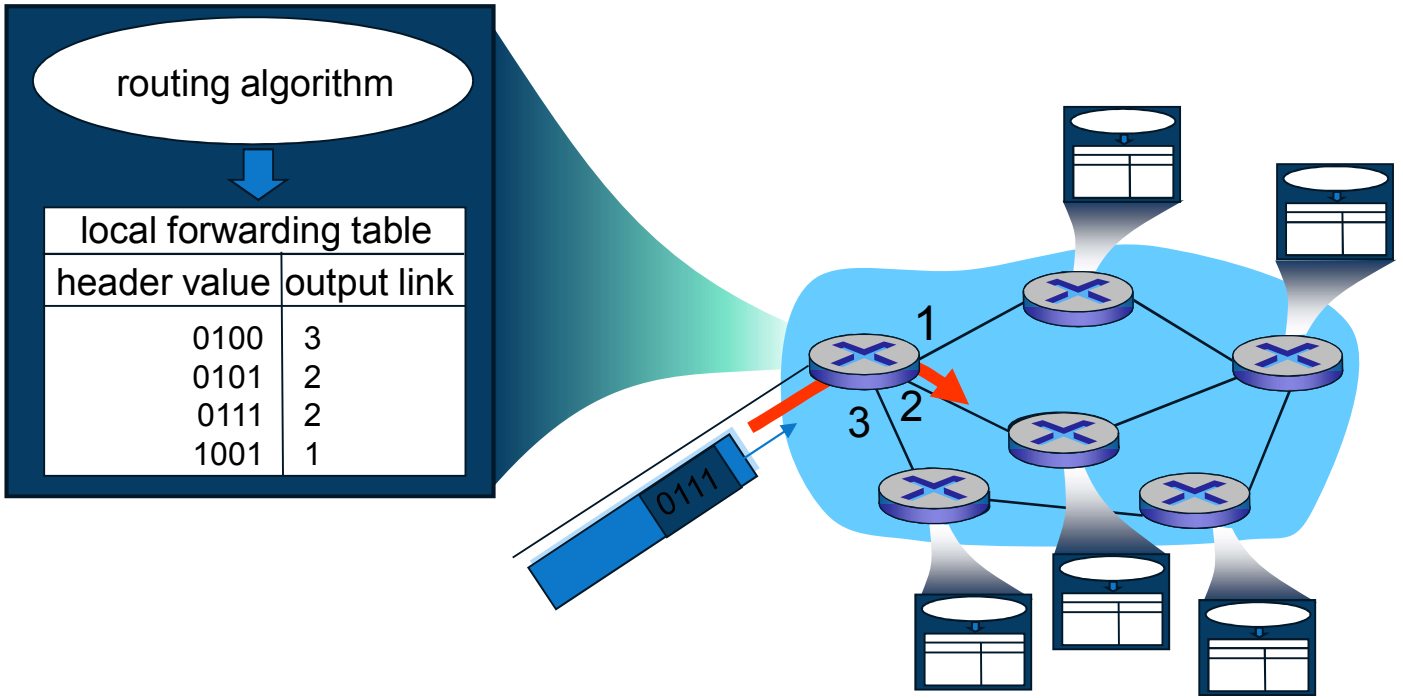
سوئیچینگ بسته‌ای:تاخیرصف‌بندی و تلفات بسته



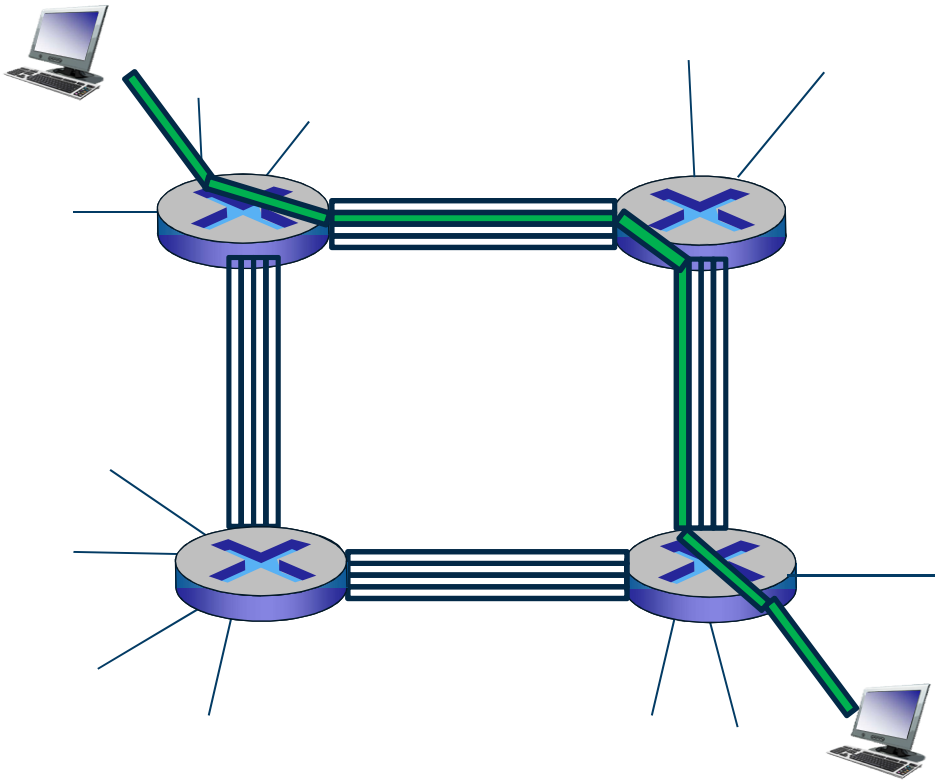
- درصورتیکه نرخ ارسال بسته‌ها به مسیریاب(برحسب بیت برثانیه) از نرخ لینک خروجی مسیریاب در یک فاصله زمانی کوتاه بیشترباشد،آنگاه:

  – درمسیریاب صفی از بسته‌ها تشکیل می‌شود.
  – درصورت محدود بودن،بافر مسیریاب، سرریز اتفاق می‌افتد و بسته‌های جدید دور ریخته می‌شوند(گم می‌شوند).

جدول هدایت و پروتکل‌های مسیریابی



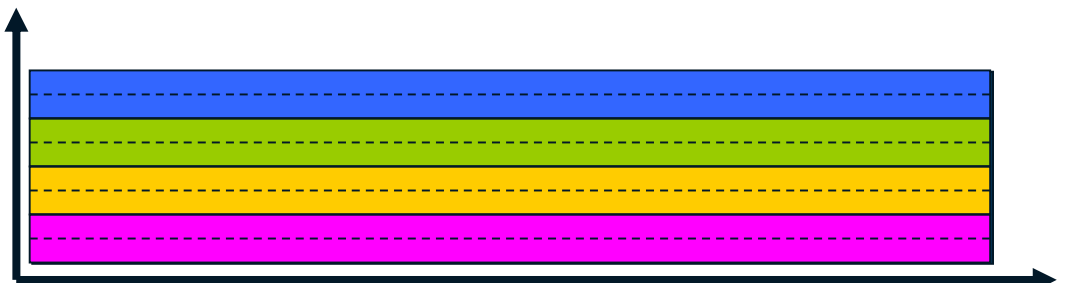
انتقال به روش سوئیچینگ مداری



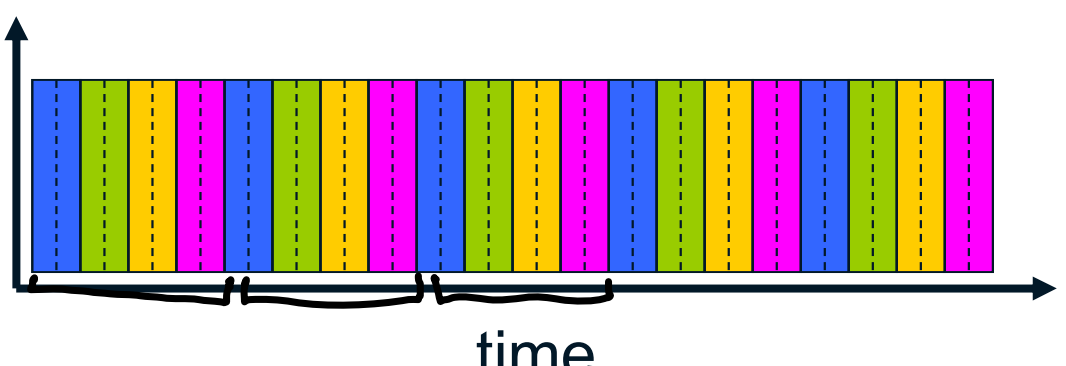
- در این روش انتقال باید یک ارتباط کامل رزرو شود(تمام منابع بطور اختصاصی برای این ارتباط کنار گذاشته شوند.)
- سیستم تلفن عمومی از روش سوئیچینگ مداری استفاده می‌کند.
- دراین روش درصورتیکه در اتصال ایجاد شده در مقطعی تبادل داده نباشد،آن پهنای باند بلااستفاده می‌شود.

مالتی پلکسینگ در شبکه سوئیچینگ مداری

FDM



TDM

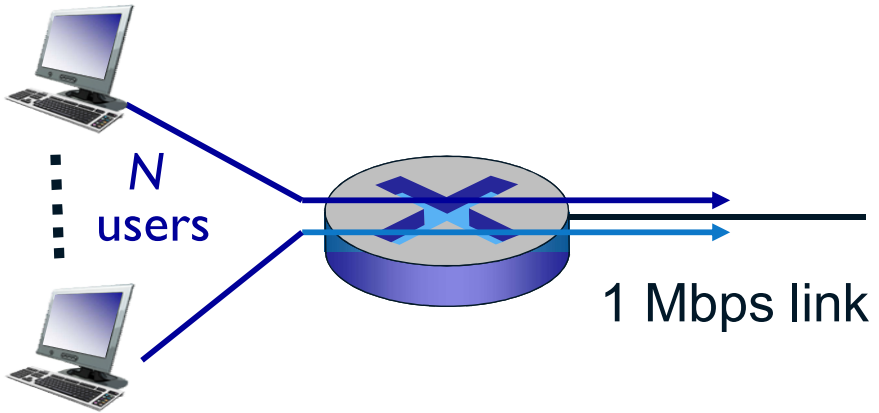


سوئیچینگ مداری یا سوئیچینگ بسته‌ای؟

- روش بسته‌ای بدلیل متغیربودن تاخیرانتهابه‌انتها، برای سرویس‌های زمان-واقعی مناسب نیست.
- روش مداری درصورتیکه مدار در دوره سکون قراربگیرد،منابع تخصیصی به آن هدر می‌روند.
- روش بسته‌ای در به اشتراک گذاری ظرفیت خطوط عمل بهتری دارد.
- روش بسته‌ای پیاده‌سازی ساده‌تری دارد، در روش مداری برقراری و نگهداری مدارهای انتهابه‌انتها و اختصاص پهنای باند کارسختی است.که به عملیات سیگنالینگ پیچیده نیاز دارد.

بعنوان مثال:

- 1 Mb/s link
  - هرکاربر:
    - 100 kb/s when “active”
    - active 10% of time



- *circuit-switching:*
  - 10 users
- *packet switching:*
  - with 35 users, probability > 10 active at same time is less than .0004 *

$$\sum_{x=11}^{35} \binom{35}{x} (0.1)^{x} (0.9)^{35-x} \approx 4 \times 10^{-4}$$

مثال (۲):اگر کاربران یک لینک **2Mbps** را به اشتراک بگذارند.وهرکاربر فقط ۴۰٪مواقع مشغول ارسال داده باشد، و بصورت پیوسته با آهنگ **500kbps** داده ارسال کند.اگر از روش سوئیچینگ بسته استفاده شود،باکدام احتمال صف تشکیل خواهدشد؟ **(n=10)**

تعداد کاربران جایز همزمان $= \frac{2Mbps}{500kbps} = 4$

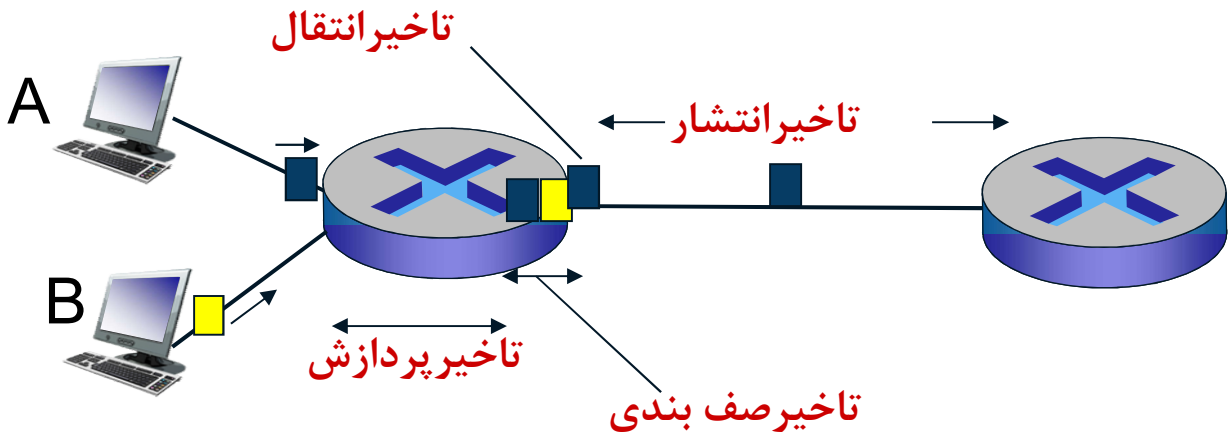
$$P = \sum_{x=4}^{n} \binom{n}{x} (0.4)^x (0.6)^{n-x}$$

درصد مواقعی که صف تشکیل می‌شود

رئوس مطالب:

- ❑ اینترنت چیست؟
- ❑ لبه شبکه(سیستم‌های‌انتهایی،شبکه‌های دسترسی،لینک‌ها)
- ❑ هسته شبکه (ساختارشبکه،سوئیچینگ بسته‌ای،سوئیچینگ مداری)
- ✅ تاخیر-گذردهی-گم‌شدن بسته
- ❑ لایه‌های پروتکل-مدل سرویس آنها

تاخیر در سوئیچینگ بسته‌ای



$$D_{کل} = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}$$

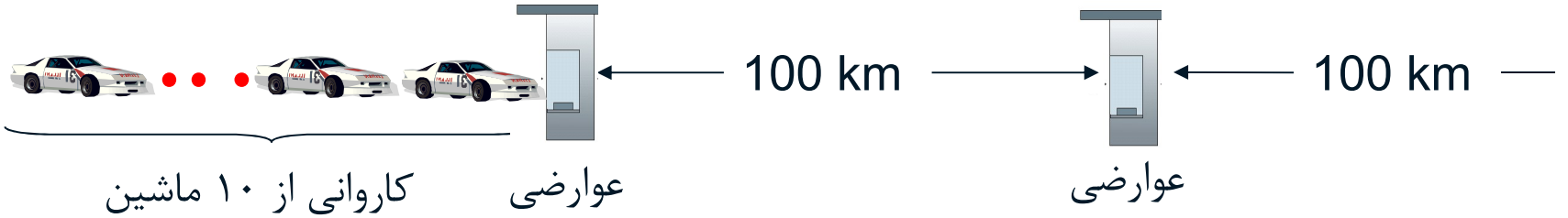
- تاخیرپردازش:زمانیکه مسیریاب صرف بررسی سرآیند بسته و انتخاب خروجی مناسب می‌کند.

- تاخیرصف:میزان زمانیکه بسته‌ها منتظر می‌مانند تا نوبت ارسال آنها برسد.

- تاخیرانتقال:اگرنرخ ارسال لینک برابرRبیت برثانیه و طول بستهLبیت باشد آنگاه تاخیرانتقال L/Rاست.

- تاخیرانتشار: اگرطول لینک(رسانه انتقال)بین فرستنده و گیرنده برابرdباشد، وسرعت انتشارsمتربرثانیه‌باشد، آنگاه تاخیرانتشار برابر است با:d/s.

مقایسه تاخیرانتشار و انتقال



- سرعت ماشین‌ها ۱۰۰کیلومتربرساعت
- هرماشین ۱۲ثانیه طول خواهد کشید تا از گیت عبور کند. (طول فرخ انتقال)
- ماشین ~ بیتهای بسته. کاروان ماشین‌ها ~ بسته
- *زمان لازم برای عبور ماشین‌ها از عوارضی اول و صف بستن در پشت گیت عوارضی دوم چقدر است؟*

زمان = زمان انتقال + زمان انتشار = 62 دقیقه

تأخیر انتقال = 12 × 10 = 120 ثانیه

تأخیر انتشار = $\frac{100}{100}$ = 60 دقیقه

نرخ انتقال لینک خروجی، طول بسته L تأخیر انتقال

* تأخیر انتقال هیچ رابطه‌ای با طول رسانه انتقال ندارد
* تأخیر انتشار، هیچ رابطه‌ای با طول بسته و نرخ انتقال لینک خروجی ندارد

$$\text{تأخير الإرسال} = \frac{100 \times 8}{512 \times 10^3} \simeq 156 \text{ ms}$$

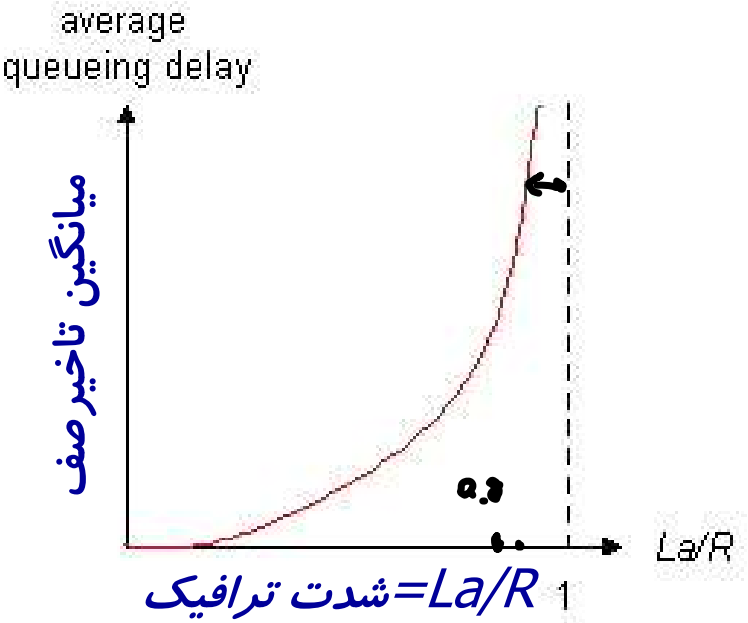
$$\text{تأخير الانتشار} = \frac{10 \times 10^3}{2.8 \times 10^8} = 0.357 \times 10^{-4} \text{ s} = 0.0357 \text{ ms}$$

$$\text{تأخير الكلي} = 156 + 0.0357 \cong 1.6 \text{ ms}$$

تاخیرصف و تلفات بسته

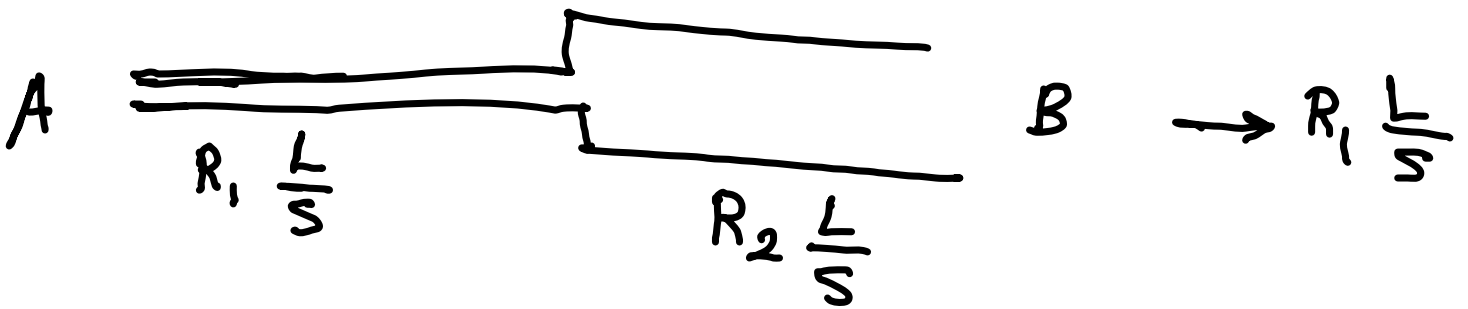
- R: ظرفیت لینک خروجی برحسب بیت بر ثانیه.
- L: طول بسته برحسب بیت.
- a: میانگین نرخ ورود بسته‌ها به صف برحسب بسته در ثانیه.

- $La/R \sim 0$: میانگین تاخیرصف خیلی کم است
- $La/R \rightarrow 1$: میانگین تاخیرصف رشد می‌کند
- $La/R > 1$: میانگین تاخیر در صف به سمت بی‌نهایت میل می‌کند

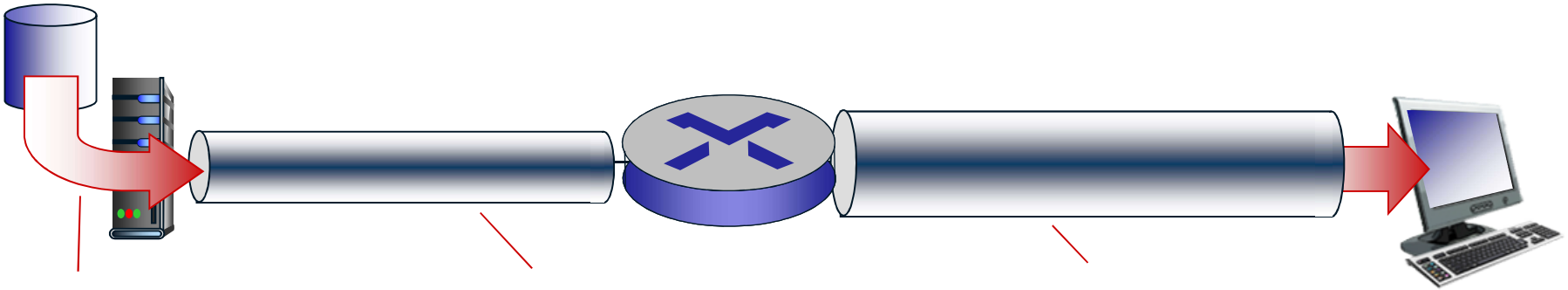

average
queueing delay
میانگین تاخیر صف
La/R
1
شدت ترافیک=La/R

گذردهی(بازده عملیاتی)

- *گذردهی:* نرخ ارسال بیت از یک فرستنده به گیرنده.
  - *گذردهی لحظه‌ای:* نرخ دریافت بیتها توسط گیرنده در هر ثانیه(درفاصله کوتاه)
  - *گذردهی میانگین:* زمان دریافت یک فایل بطور کامل



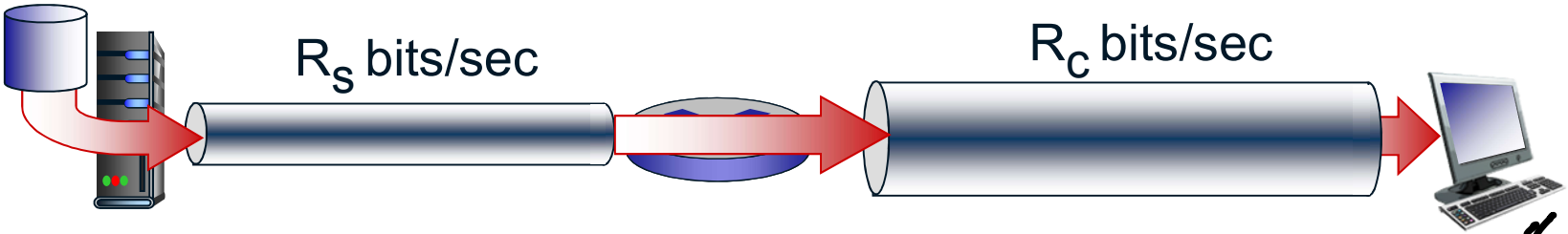
ارسال Fبیت از سرویس‌دهنده



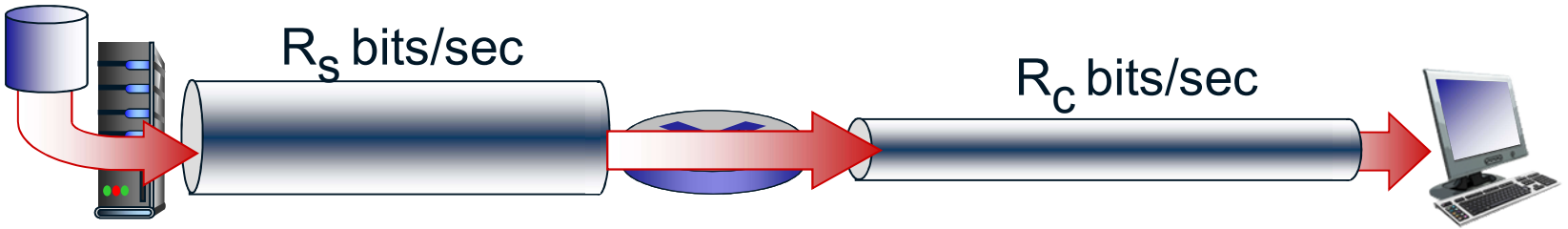
کانال با ظرفیت R_sبیت در ثانیه

کانال با ظرفیت R_cبیت در ثانیه

$$\text{زمان} = \frac{F}{\min(R_s, R_c)} = \frac{F}{R_s}$$



R_S : کندی

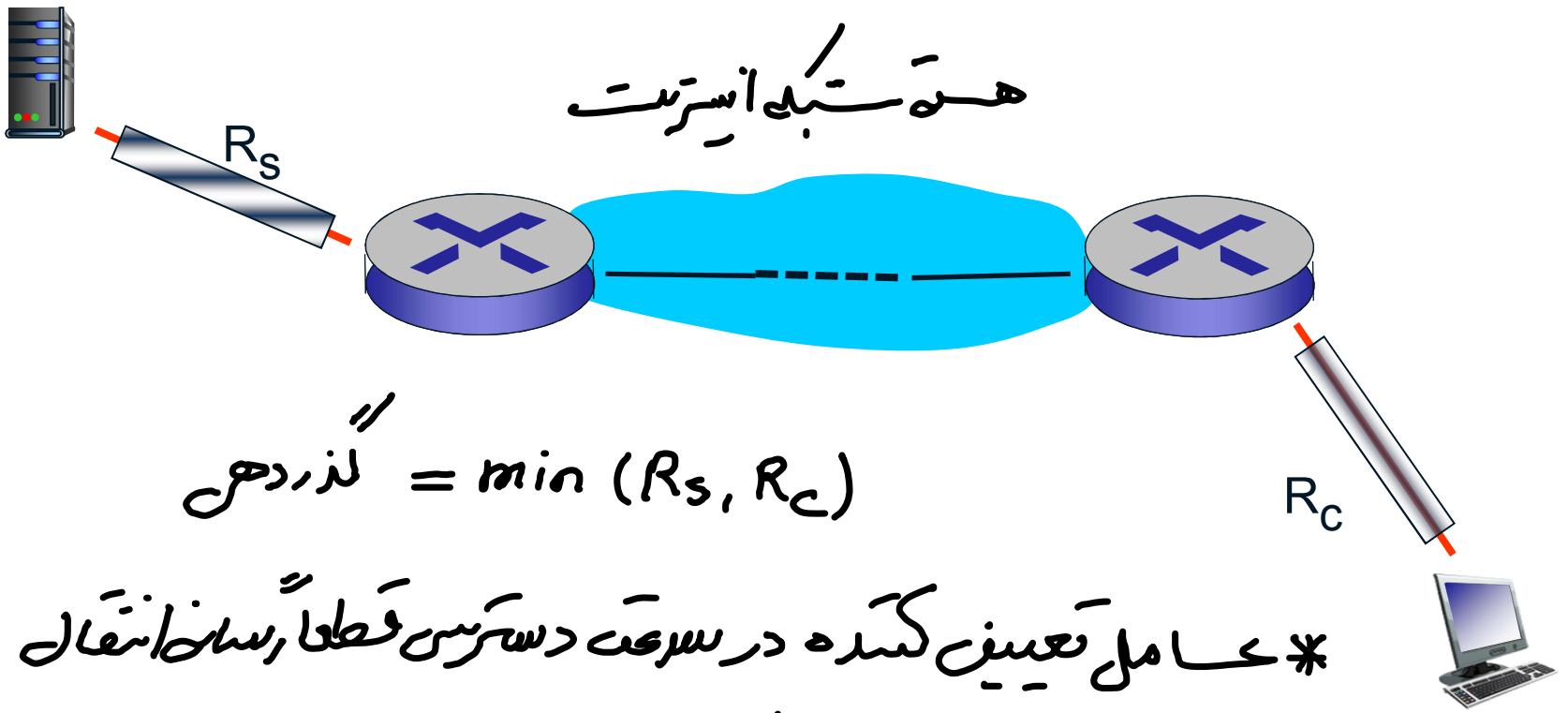


R_c : کندی

کندی = min (R_S, R_c)

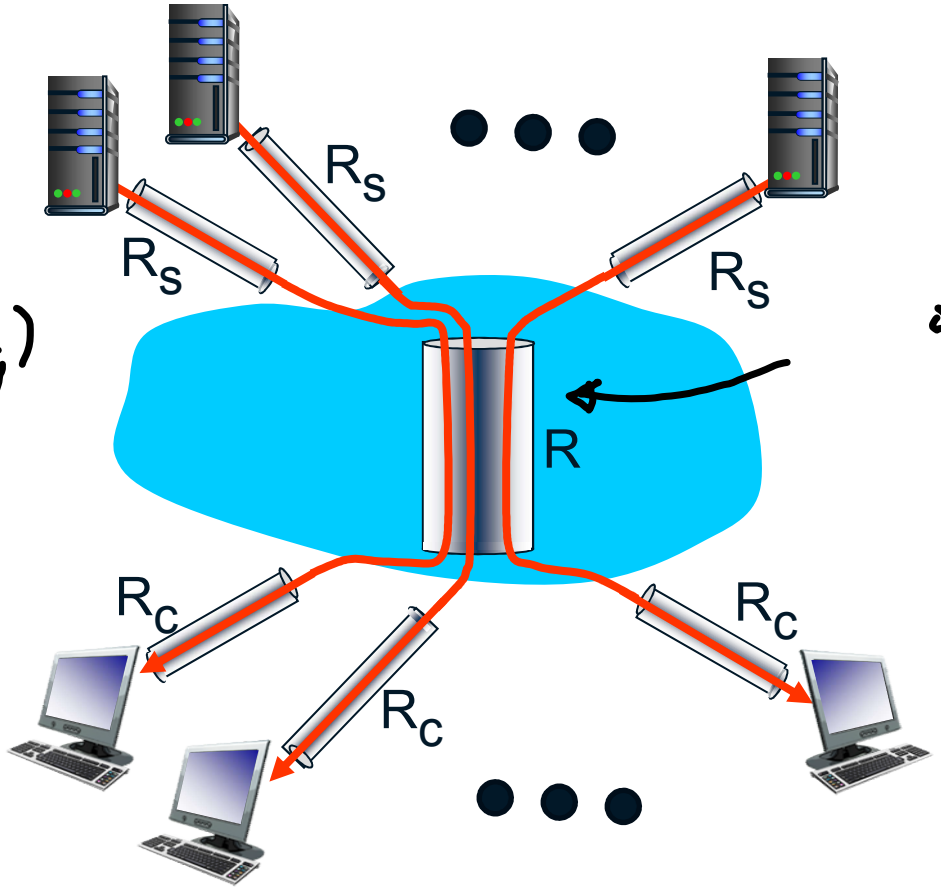
سرویس دهنده

هسته شبکه اینترنت



نرخ داده = $\min(R_s, R_c)$

* عامل تعیین کننده در سرعت دسترسی قطعاً رسانه انتقال استفاده شده در دسترس کاربر است.



گلوگاه

نرخ کلی: $\min(R_s, R_c, \frac{R}{N})$

$R = 5\,Mbs$

$R_s = 2\,Mbps$

$R_c = 1\,Mbps$

$N > 5$

- **مثال (۳):فرض کنید که یک لینک۳Mbps بین کاربران به اشتراک گذاشته می‌شود،وهرکاربر برای ارسال به پهنای باند ۱۵۰kbps نیاز دارد،وفقط در ۱۰٪ مواقع کاربران داده ارسال می‌کنند.**

الف) با روش سوئیچنگ مداری چندکاربر با این لینک پشتیبانی می‌شوند؟
ب)اگر ۱۲۰ کاربر داشته باشیم،آیا روش سوئیچینگ بسته‌ای از سوئیچینگ مداری بهتر است؟

الف) $3Mbps = \frac{3000Kbps}{150Kbps} = 20$

توزیع دوجمله‌ای : $X \sim Bin(n, p)$

$$X \sim Bin(120, 0.1)$$

$$P(X = i) = \binom{120}{i} (0.1)^i (0.9)^{120-i}$$

$$P(X > 20) = \sum_{i=21}^{120} \binom{120}{i} (0.1)^i (0.9)^{120-i}$$

$$= 1 - \sum_{i=1}^{20} \binom{120}{i} (0.1)^i (0.9)^{120-i}$$

$$P(\text{حداقل 21 تا}) = 1 - P\left(\left(\sum_{i=1}^{120} x_i\right) \leq 21\right)$$

$$P(X_i = 1) = 0.1$$

$$P(X_i = 0) = 0.9$$

$$P\left(\left(\sum_{i=1}^{120} x_i\right) < 21\right) = P\left(\frac{\sum x_i - E(x)}{\sqrt{var(x)}} \leq \frac{21 - E(x)}{\sqrt{var(x)}}\right)$$

$$E(x) = np \qquad var(x) = npq$$

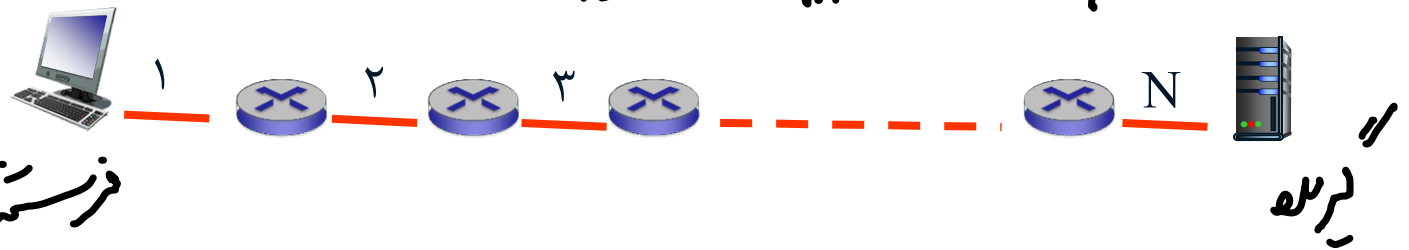
$$Z \sim N(0,1)$$

$$P\left(Z \leq \frac{21-12}{\sqrt{10.8}}\right) \cong \Phi(2.73) = 0.997$$

$$P(\text{حداقل 21 کاری}) = 1 - 0.997 = 0.003$$

مثال (۴): درشکل زیر **N** لینک بین فرستنده و گیرنده وجود دارد. حداکثر مقدار تاخیر بین فرستنده و گیرنده برای یک بسته بطول **L** چقدر است؟

*برای لینک **i** ام نرخ انتقال **iR** و طول آن **d** و سرعت انتشار **iS** است. از تاخیر صف صرفنظر کنید.



$$\text{تا خط انتقال} = \frac{L}{R} + \frac{L}{2R} + \frac{L}{3R} + \cdots + \frac{L}{NR} =$$

$$\frac{L}{R}\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{N}\right)$$

$$\text{تا خط انتقال} = \lim_{N \to \infty} \frac{L}{R}\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{N}\right) = \frac{\infty L}{R}$$

$$\text{تا خط استار} = \frac{d}{S} + \frac{d}{2S} + \frac{d}{3S} + \cdots + \frac{d}{NS}$$

$$= \lim_{N \to \infty} \frac{d}{S}\left(1 + \frac{1}{2} + \cdots \frac{1}{N}\right) = \frac{\infty d}{S}$$

$$\text{أقل زمن} = 2\left(\frac{L}{R} + \frac{d}{S}\right)$$

مثال (۵):یک پیام بزرگ به طول ۸×۱۰^{۶} بیت را می‌خواهیم از مبدا به مقصد بفرستیم.درصورتیکه تمام لینک‌ها ۲Mbps باشند.مطلوبست:

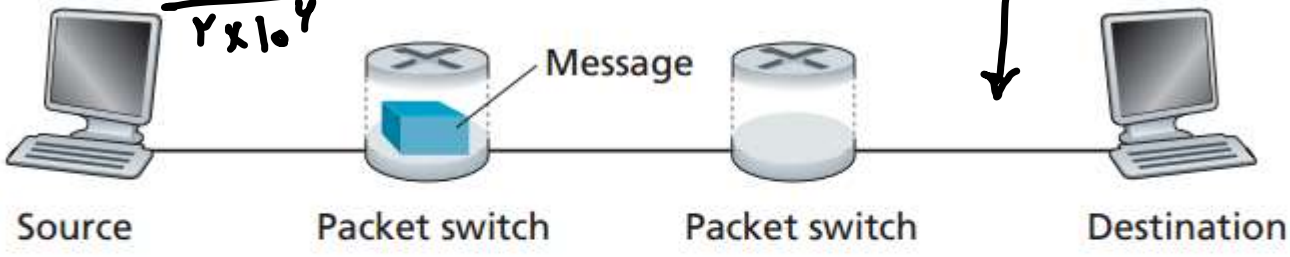
الف)بدون قطعه‌سازی پیام (message segmentation) زمان کل انتقال این پیام چقدر است؟

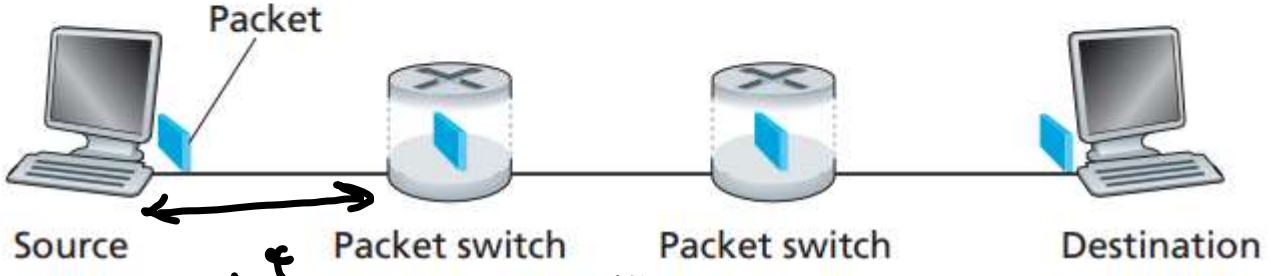
ب)حال اگر این پیام به ۸۰۰ بسته‌ی ۱۰۰۰۰ بیتی تقسیم شود.چقدر طول می‌کشد تا کل پیام از مبدا به مقصد برسد؟

ج)درصورتیکه به هر بسته بخش الف ۱۰۰۰ بیت، بعنوان سرآیند اضافه شود،و طول هر لینک ۱۰۰۰ متر و سرعت انتشار نیز ۳×۱۰^{۵} متر در ثانیه باشد،آنگاه حالتهای قطعه‌سازی و بدون قطعه‌سازی را مقایسه کنید.

$\frac{10^3}{3\times10^5} = 3.33\ ms$: تاخیر انتشار

$\frac{8\times10^4}{2\times10^4} = 4s$



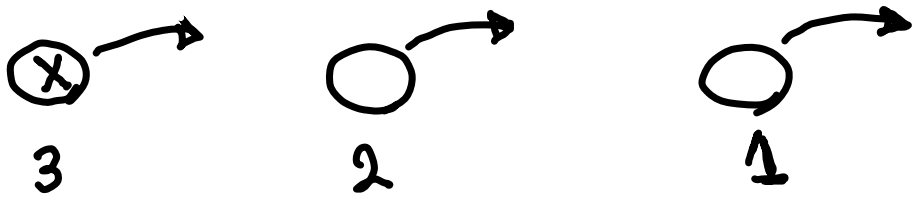


$\frac{10^4}{2\times10^6} = 5\times10^{-3}\ s = 5ms$

الف) $۳ \times ۴ = ۱۲$ S

ب) زمان ارسال سیگنال اول = $3 \times 5\,ms = 15\,ms$

زمان کل = $15 + 799 \times 5 = 4.01$ S


X
3
2
1

ج)

$$\text{تأخیر کل} = \text{تأخیر انتقال} + \text{تأخیر انتشار}$$

$$\text{تأخیر انتشار} = \frac{\text{طول قطعه}}{\text{سرعت}} = \frac{8\times10^6 + 10^3}{2\times10^6} = 45 + 0.5 \text{ ms}$$

$$= 4000.5 \text{ ms}$$

$$\text{تأخیر انتشار برای بسته} : 3 \times \frac{10}{3} = 10 \text{ ms}$$

$$\text{تأخیر کل} = 12001.5 + 10 = 12010.5 \text{ ms}$$

. با قطعه سازی

زمان قطعه اول (انتقال) : $3 \times \frac{11000}{2 \times 10^6} = 16.5\ ms$

زمان انتقال $= 16.5 + 799 \times 5.5 = 4411\ ms$

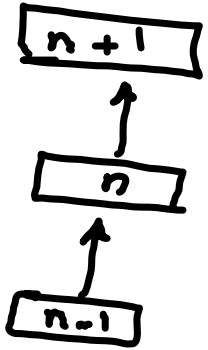
زمان انتشار قطعه اول : $10\ ms = 3 \times \frac{10}{3}\ ms$

زمان انتشار $= 10 + 799 \times \frac{10}{3} = 2673.3$

تأمين = 4411 + 2673.3 = 7084.3

رئوس مطالب:

- ❑ اینترنت چیست؟
- ❑ لبه شبکه(سیستم‌های‌انتهایی،شبکه‌های دسترسی،لینک‌ها)
- ❑ هسته شبکه (ساختارشبکه،سوئیچینگ بسته‌ای،سوئیچینگ مداری)
- ❑ تاخیر-گذردهی-گم‌شدن بسته
- ✅ **لایه‌های پروتکل-مدل سرویس آنها**



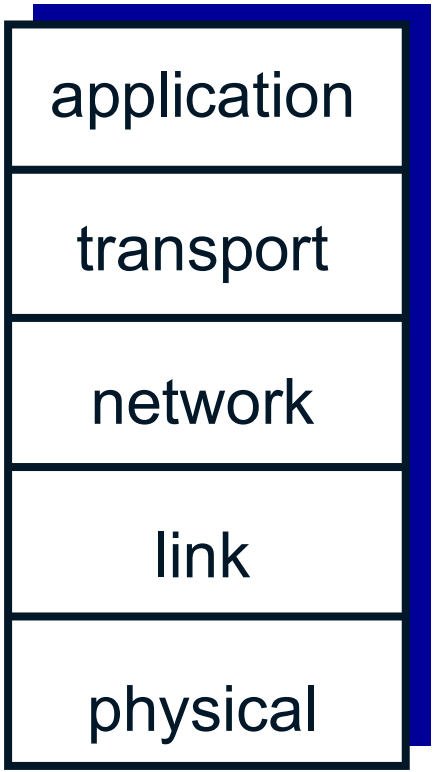
معماری لایه‌ای

چرا معماری لایه‌ای:

- تغییرات در لایه‌ها با پیشرفت تکنولوژی راحت‌تر است.
- تفکیک وظایف در هر لایه، سیستم پیچیده را به یک سیستم ساده تبدیل می‌کند.
- اشکال‌زدایی را ساده‌تر می‌کند.
- درمعماری لایه‌ای سربار زیاد است.

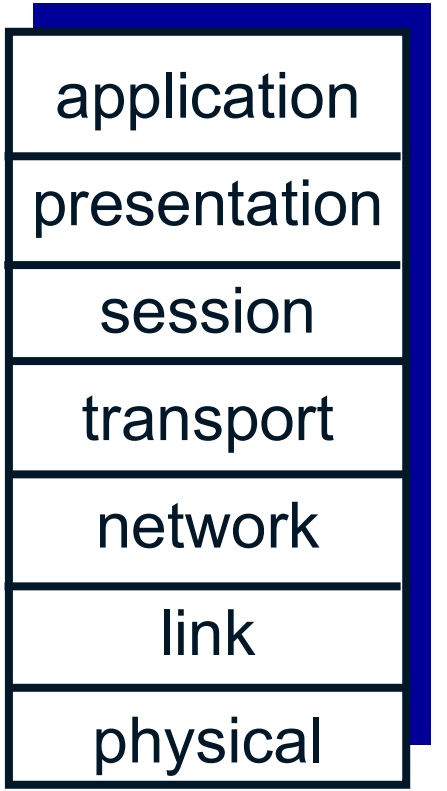
پشته پروتکل اینترنت

- لایه کاربرد: پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی اینترنت
  - SMTP،HTTP،FTP
- لایه انتقال: ارایه پروتکل‌های انتقال داده
  - UDP،TCP
- لایه شبکه: مسیریابی دیتاگرام‌ها از مبدا به مقصد
  - IP ، پروتکل‌های مسیریابی
- لایه پیوند: هدایت دیتاگرام‌های لایه شبکه در امتداد مسیر.
  - اترنت،وای‌فای،پروتکل‌های دسترسی کابلی
- لایه فیزیکی: انتقال بیت‌ها یک گره به گره بعدی

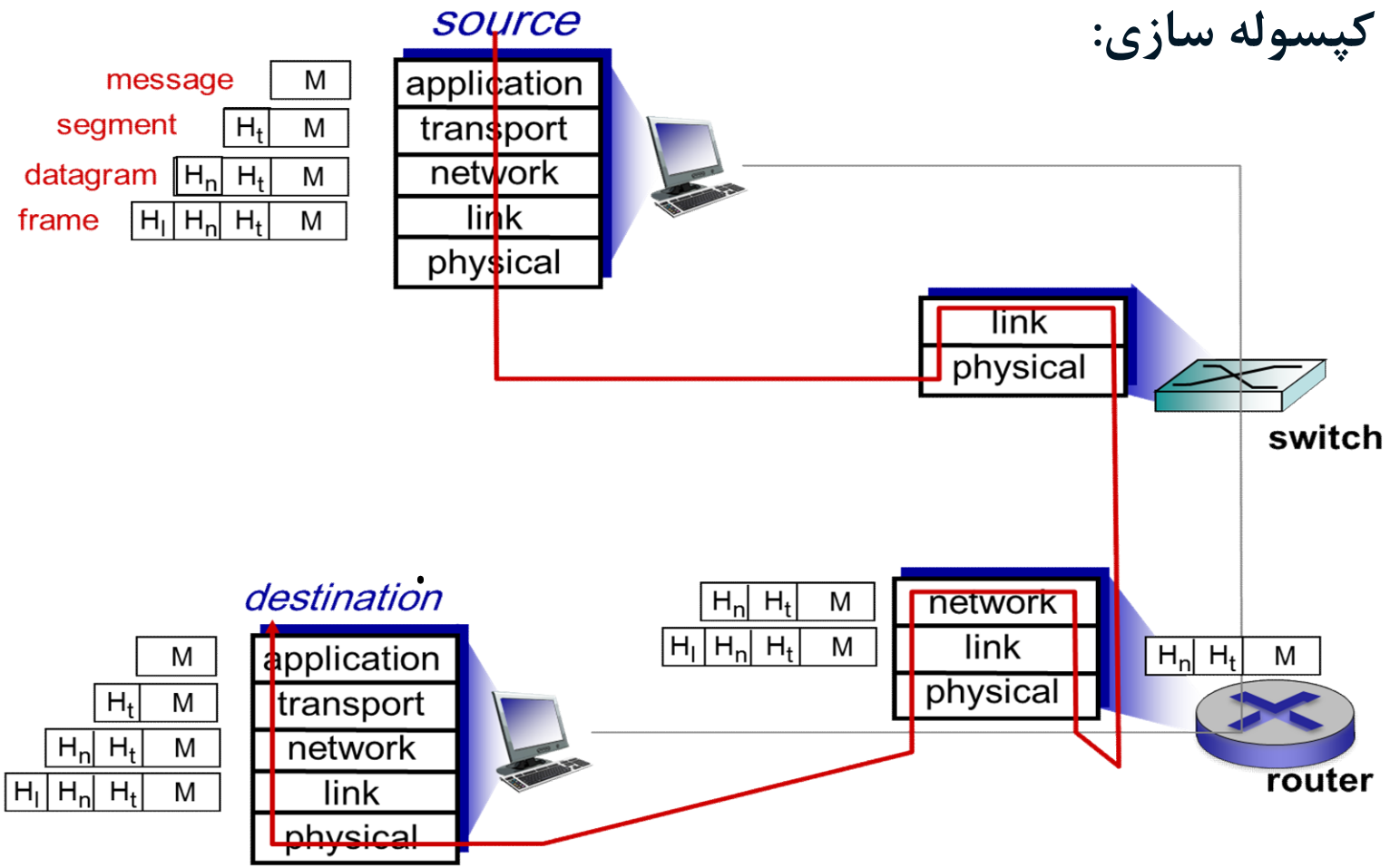


مدل مرجع OSI

- لایه نشست: ارتباط بین فرستنده و گیرنده را همگام می‌کند،شروع و خاتمه یک نشست در شبکه را تعیین می‌کند.
- لایه ارایه : نحوه نمایش داده‌ها را مطابق با ماشین انجام می‌دهد.درواقع توصیف داده‌ها را انجام می‌دهد.



کپسوله سازی:


source
message
M
segment
H_t
M
datagram
H_n
H_t
M
frame
H_l
H_n
H_t
M
application
transport
network
link
physical
link
physical
switch
destination
M
H_t
M
H_n
H_t
M
H_l
H_n
H_t
M
application
transport
network
link
physical
H_n
H_t
M
H_l
H_n
H_t
M
network
link
physical
H_n
H_t
M
router