

Első rész

Bevezetés

Néhány alapfogalom

- Számítógép hálózatok (computer networks) bármilyen számítógépek valahogy összekötve
- Elosztott rendszerek (distributed systems) a felhasználó számára egységes arcot mutat, pl. a világháló
- Telekommunikáció, híradástechnika, kommunikációs hálózatok

Mire használják a számítógép hálózatokat?

- Üzleti (tudományos) alkalmazások
- Otthoni alkalmazások
- Mozgó felhasználók
- Társadalmi vonatkozások

Erőforrások megosztása

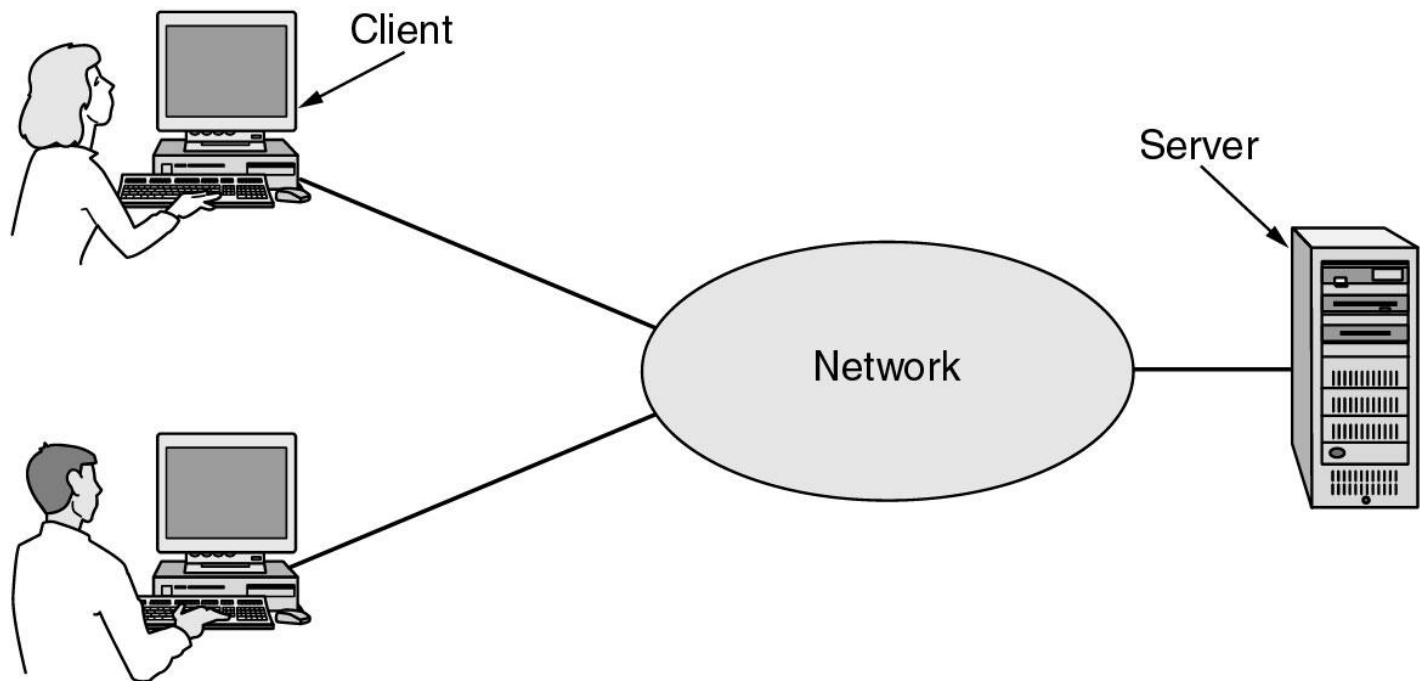
Üzlet: gyártás felügyelet, készlet nyilvántartás,
könyvelés egyesítése, hogy mindenki elérhesse

Tudomány: adatbázisok, könyvtárak, programok,
tudományos publikációk, dokumentumok ...
elérhetővé tétele

Fizikai eszközök megosztott használata: nyomtató,
CD író, lapolvasó

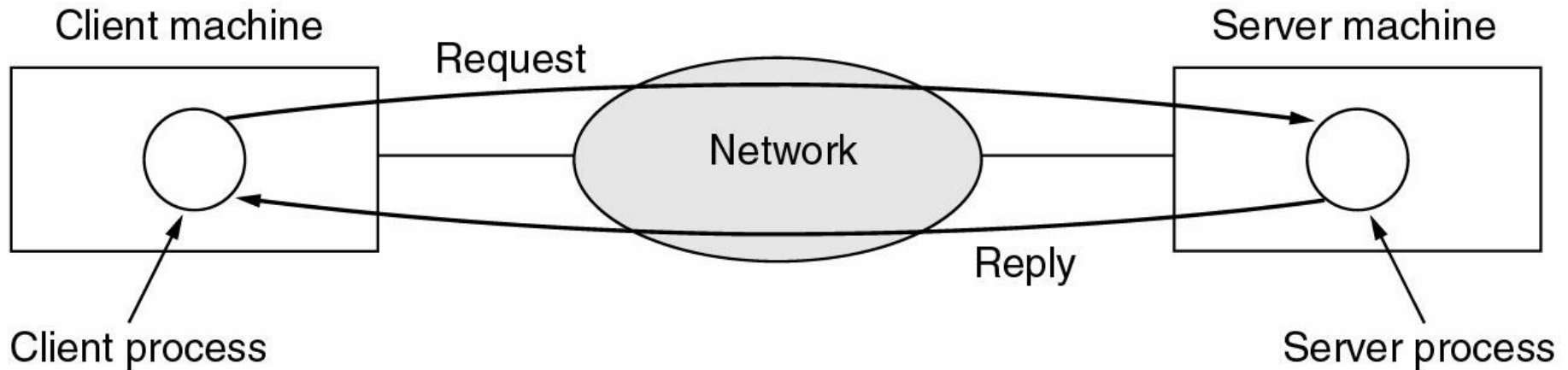
A tudás és az információ megosztása: adatok,
dokumentumok, képek, weblapok

Kliens (ügyfél) -szerver modell



Hálózat két klienssel és egy szerverrel

Üzleti/tudományos alkalmazások (2)



A kliens-szerver modellben szereplő kérdések és válaszok

Kommunikációs alkalmazások

A számítógép egyben egy kommunikációs eszköz is.

Elektronikus levelezés (electronic mail, e-mail)

Virtuális találkozás, video konferencia, telefon,
üzenetküldés (talk, instant messenger)

Elektronikus üzlet (e-business)

Elektronikus kereskedelem (e-commerce)

Elektronikus tudomány (e-science) elektronikus
hozzáférés tudományos adatbázisokhoz és
infrastruktúrákhoz, virtuális obszervatóriumok,
hálózaton keresztüli együttműködés

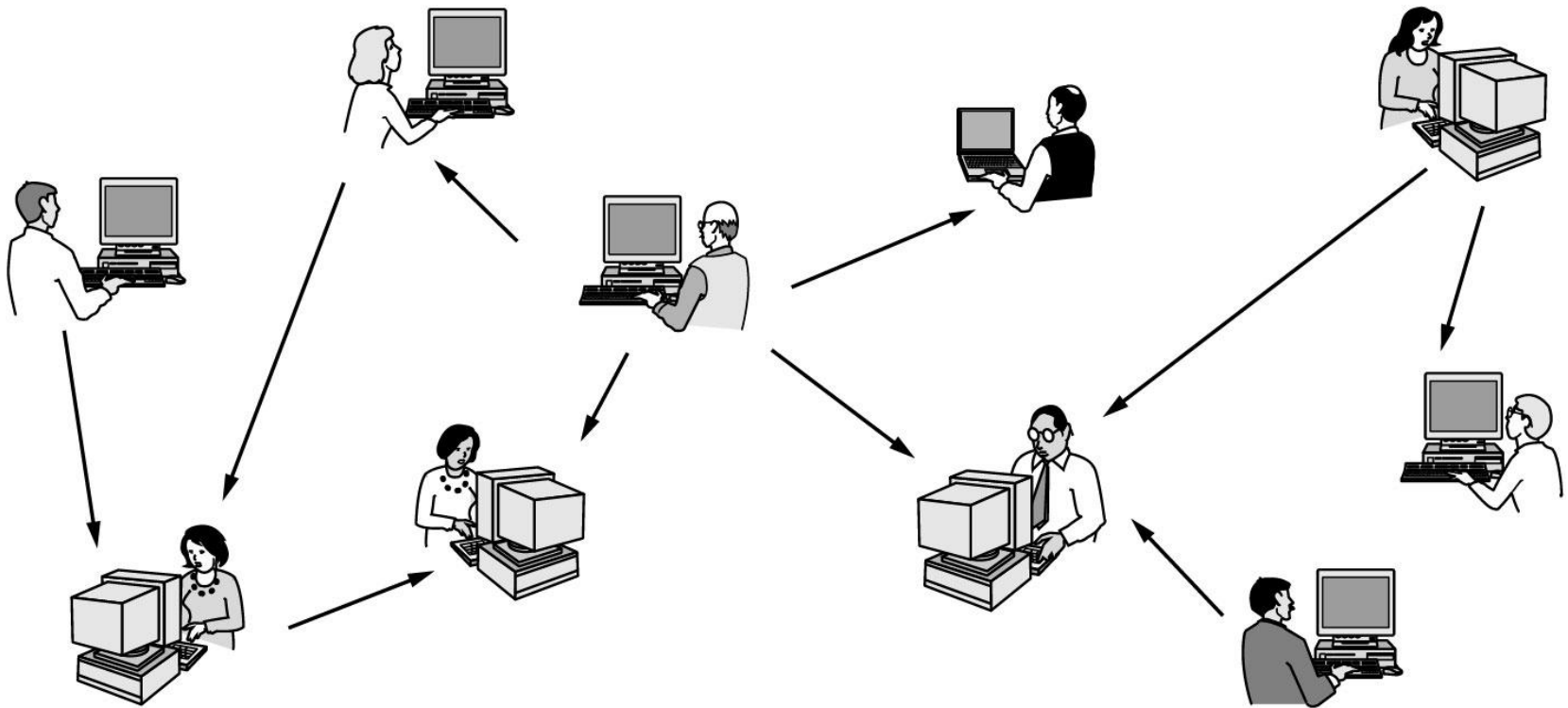
Otthoni alkalmazások

„Egy magánembernek semmi oka nincs arra, hogy személyi számítógép legyen az otthonában”

Ken Olsen a DEC elnöke (1977)

- Szövegszerkesztés, számítógépes játékok → Internet elérés, modem, szélessáv ...
- Távoli információ elérése (újságok, művészet, zene, történelem, kormány intézmények) a nyomtatás visszaszorulása, noteszgépek megjelenése
- Személyes kommunikáció (azonnali üzenetküldés, csevegő szoba ☺, hírcsoportok)

Interaktív szórakozás, játékok, majd 2000-ben a Napster zeneszám cserélő megjelenése, kliens-szerver modell helyett mellérendelt modell (peer-to-peer vagy P2P) → megváltoztatta a további fejlődést



Egy P2P rendszerben nincsenek rögzített szerverek és kliensek

Elektronikus kereskedelem, bank → hálózati biztonság

Tag	Full name	Example
B2C	Business-to-consumer	Ordering books on-line
B2B	Business-to-business	Car manufacturer ordering tires from supplier
G2C	Government-to-consumer	Government distributing tax forms electronically
C2C	Consumer-to-consumer	Auctioning second-hand products on-line
P2P	Peer-to-peer	File sharing

Az e-kereskedelem néhány formája

...

- Hálózaton keresztüli telefonálás (VoIP), P2P telefonálás Skype www.skype.com
- TV és rádió adások a hálózaton
- Távtanulás, távegységem ocw.mit.edu
- Short Message Service (SMS)
- Földrajzilag hátrányos helyzetben levők távoktatása, távgyógyászat, betegfelügyelet
- Web kamera a hűtőben, intelligens háztartási eszközök

Mozgó (mobil) felhasználók

Telepített (fixed) vezeték nélküli (wireless) hálózat

Mozgó (mobile) vezeték nélküli hálózat

mozgó eszköz fix hálózaton, fix eszköz mozgó hálózaton

PDA, WLAN, személyi hálózat (Personal Area Network), okos por, érzékelő hálózatok (smart dust, sensory networks)

Wireless	Mobile	Applications
No	No	Desktop computers in offices
No	Yes	A notebook computer used in a hotel room
Yes	No	Networks in older, unwired buildings
Yes	Yes	Portable office; PDA for store inventory

A vezeték nélküli hálózat és a mozgó számítástechnika különböző kombinációi

Társadalmi vonatkozások

- Hírcsoportok (news groups)
- Etikai kérdések: politika, vallás, szex, cenzúra?,
- Magánélet/munkahely: ki olvashatja az alkalmazottak leveleit?
- Kormány hivatalok/állampolgárok viszonya: szabad-e az e-mailekben terroristák után nyomozni?
- Megnövekedett szólásszabadság az 500 éves nyomtatáshoz képeset
- De az információk megbízhatatlanok is, bárki, bármiről írhat
- Személyazonosság-tolvajlás
- Számítógépes ill. hálózati biztonság
- Felelősség a szoftver hibákért

Hálózati hardver

- Lokális hálózatok
- Nagyvárosi hálózatok
- Nagy kiterjedésű hálózatok
- Vezeték nélküli hálózatok
- Otthoni hálózatok
- Összekapcsolt hálózatok

Adatszóró és kétpontos hálózatok

- Adatszóró hálózat: egyetlen kommunikációs csatorna, amin osztozik az összes gép, minden gép megkapja a kiküldött csomagokat, beállítható a csomagban (adatszórás v. broadcasting); a gépeknek csak egy csoportja kapja meg ugyanazt (többesküldés v. multicasting)
- Kétpontos hálózatok (point-to-point networks), gép párok közötti kapcsolatok, útvonal választás, csak egy gép kapja meg a csomagot (egyesküldés, unicasting)

Osztályozás méret szerint

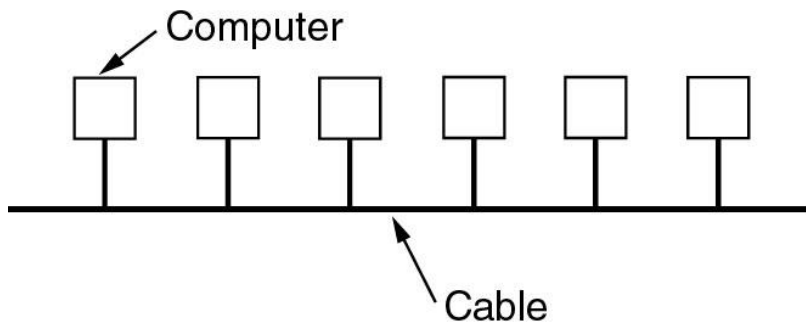
Interprocessor distance	Processors located in same	Example
1 m	Square meter	Personal area network
10 m	Room	Local area network
100 m	Building	
1 km	Campus	
10 km	City	Metropolitan area network
100 km	Country	Wide area network
1000 km	Continent	
10,000 km	Planet	The Internet

Összekapcsolt processzorok osztályozása kiterjedés szerint

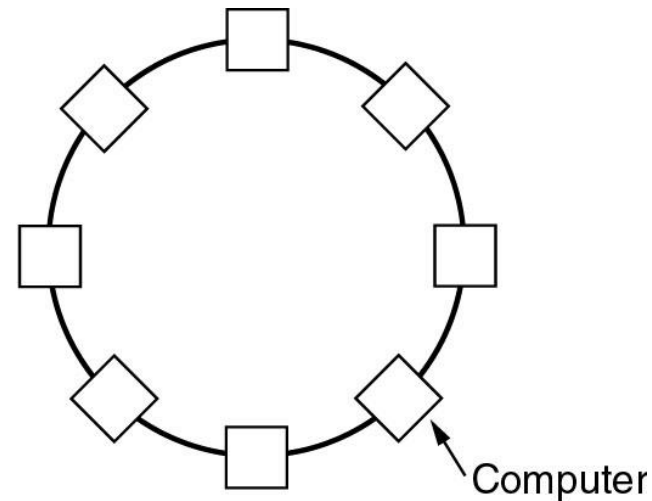
Lokális hálózatok

- Lokális hálózat (Local Area Network, LAN)
egyetlen épület vagy max. néhányszor 10 km, méret korlátos és az átviteli idő előre ismert
irodákban, gyárakban, egyetemeken
számítógépek, nyomtatók és egyéb közös források megosztása
üzenetküldés
- Hagyományos LAN, mikro- vagy nano- szekundumos késleltetés,
10 Mb/s vagy 100 Mb/s
- Vezérlési mechanizmus: központosított (központi egység, ami megmondja, hogy ki adhat), elosztott (minden gép maga dönti el ad-e vagy sem)
- IEEE 802.3-as szabvány vagy **Ethernet**, sín topológia, mindenki bármikor adhat csomagokat, ütközés esetén mindkét gép véletlen hosszú ideig vár
- IEEE 802.5, vezérjeles gyűrű vagy token ring, gyűrű topológia, bitek egyenként, a gépek felváltva férnek a gyűrűhöz

Lokális hálózatok



(a)



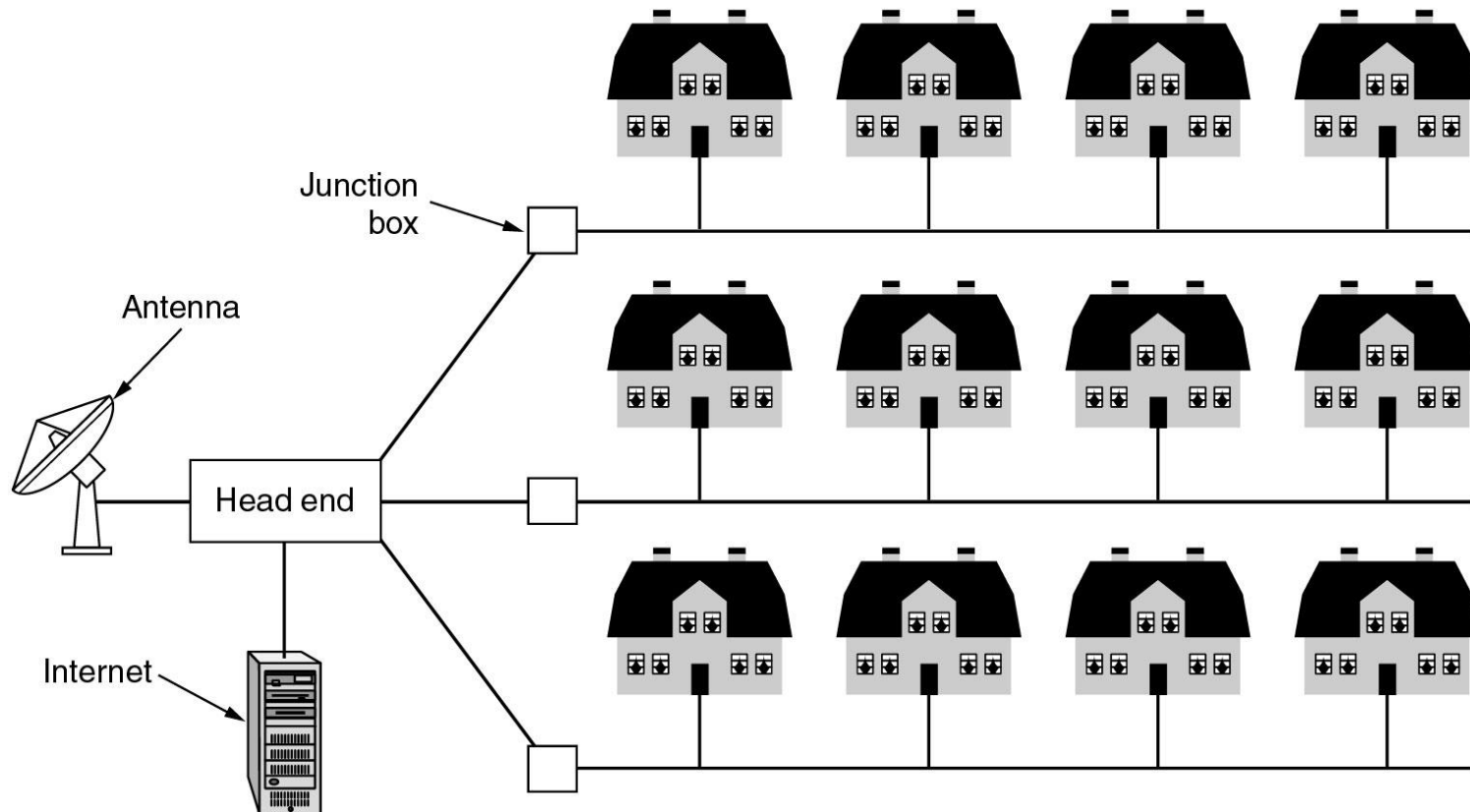
(b)

Két adatszóró hálózat

(a) Sín (bus)

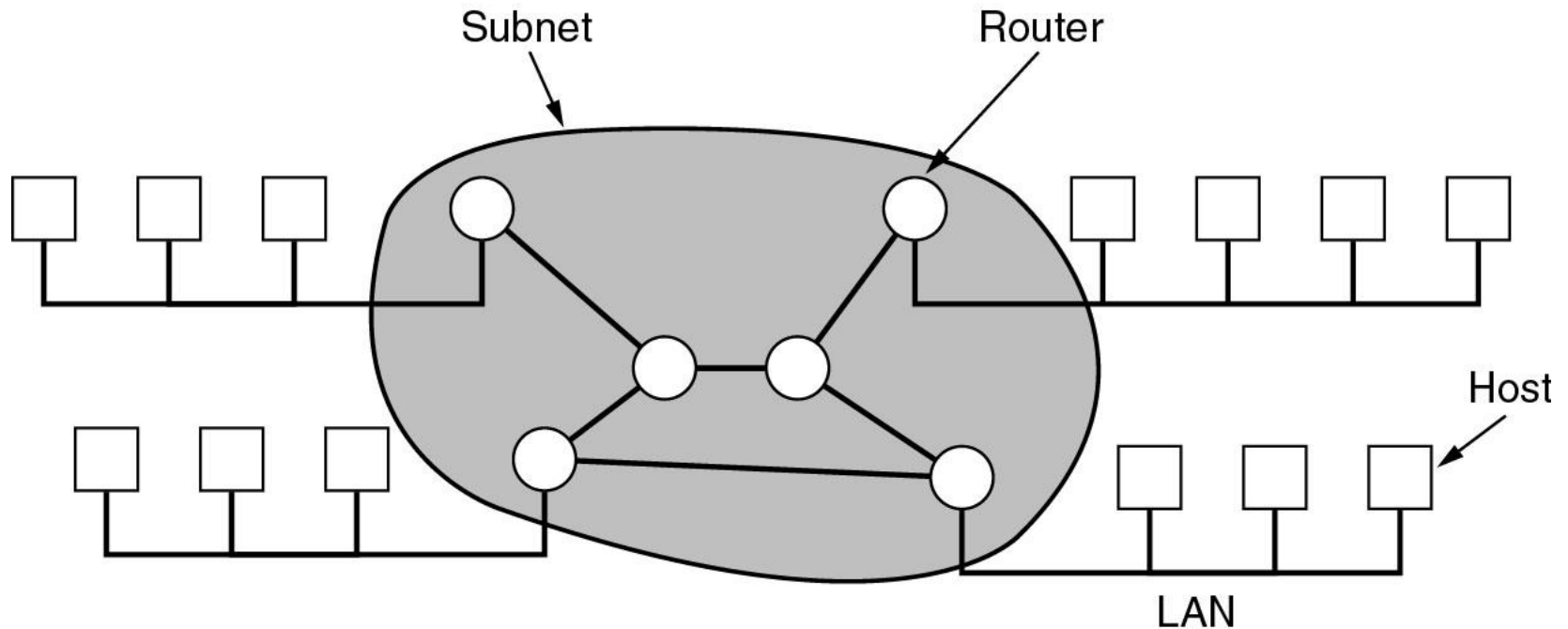
(b) Gyűrű (ring)

Nagyvárosi hálózat (Metropolitan Area Network, MAN)



Egy kábeltévé-hálózatra alapozott nagyvárosi hálózat
(fejállomással és elosztó dobozzal)

Nagy kiterjedésű hálózat (Wide Area Network, WAN)



A helyi hálózatra kapcsolódó hosztok és az alhálózat viszonya

WAN

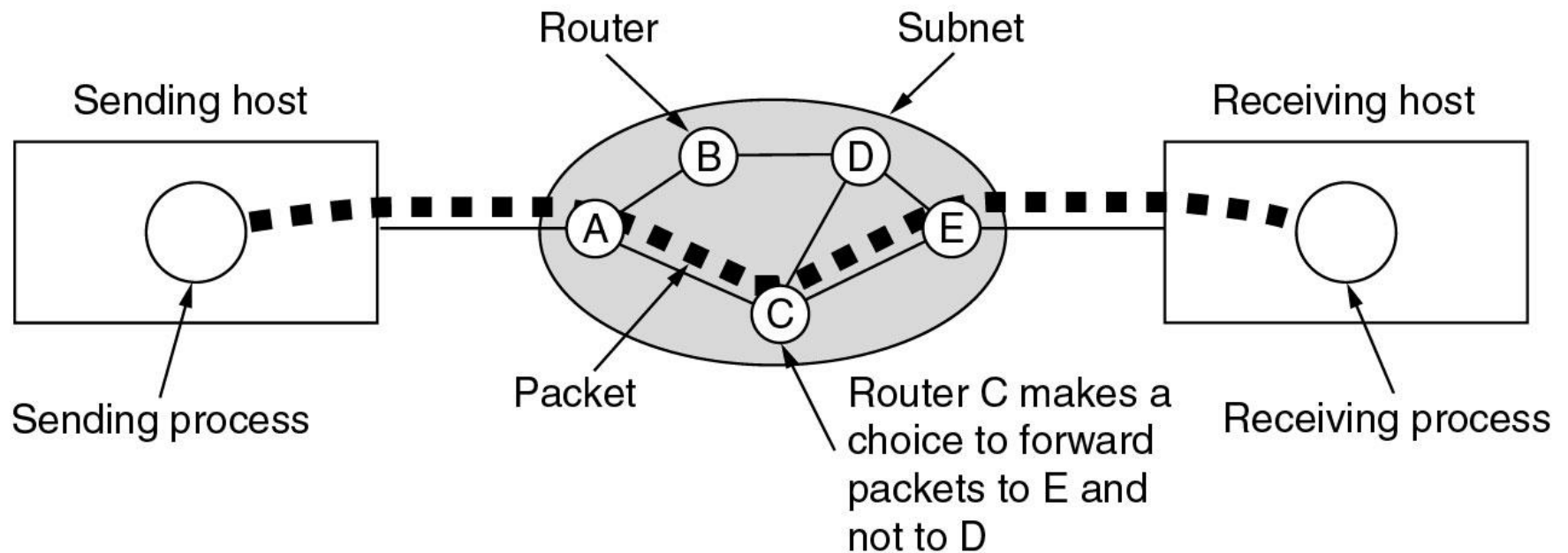
Hosztok (host); az alkalmazások futtatására szolgál, a vásárlók tulajdonai
Alhálózat (subnet); a kommunikációra szolgál, Internet szolgáltató
birtokolja. Nem keveredik a kommunikáció az alkalmazásokkal

Átviteli vonalak (transmission line, line), kapcsoló elemek (switching
element, switch), router (forgalomirányító)

Router→router kommunikáció más routereken keresztül,
tárol-és-továbbít vagy csomagkapcsolt (packet switched) alhálózat,
Pici és azonos méretű csomagokat celláknak (cell) is nevezik

Van műholdas WAN, nem csomagkapcsolt

Forgalomirányító algoritmus (routing algorithm)



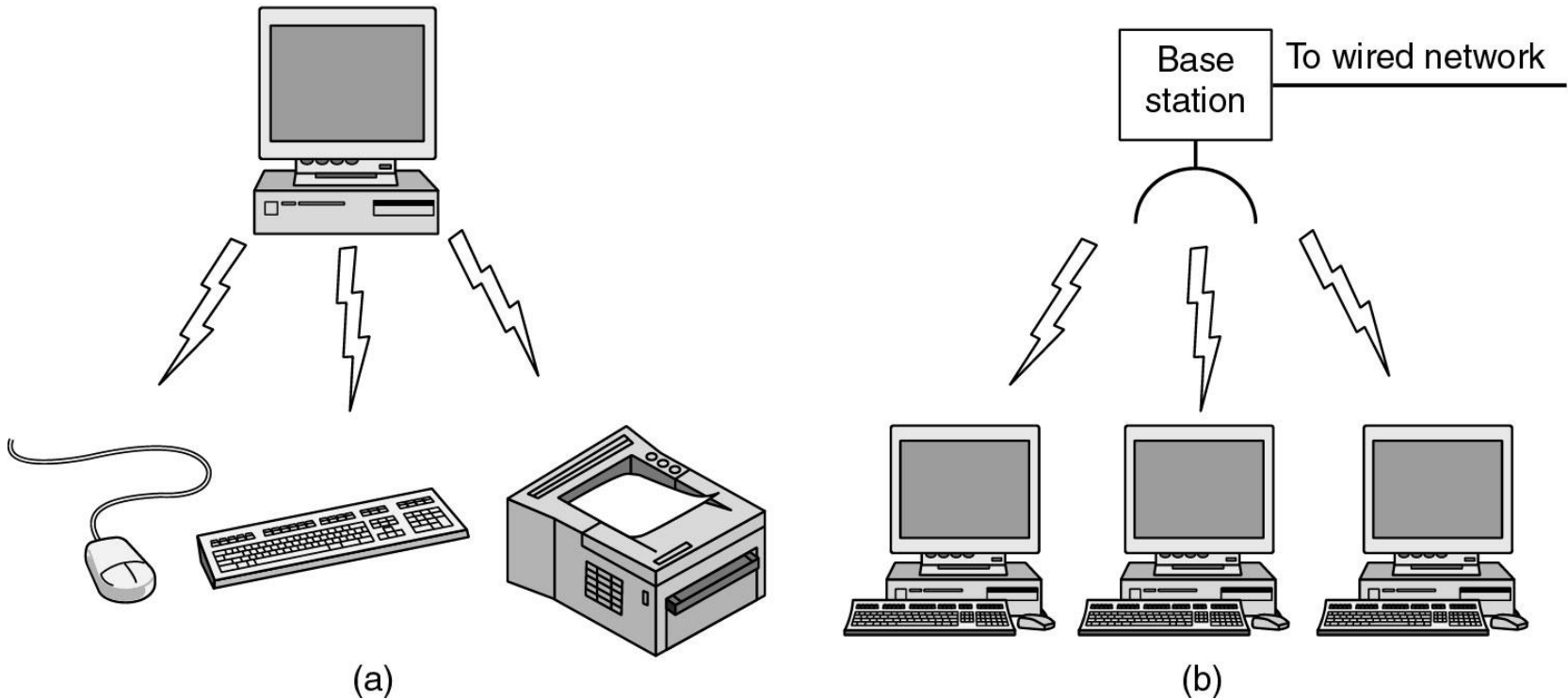
A küldő gép csomagokra bontja az üzeneteket, sorszámozza és átadja a hálózatnak. A routerek döntést hoznak arról, hogy milyen irányban küldik tovább a csomagokat.

Vezeték nélküli hálózatok

A vezeték nélküli hálózatok csoportjai:

- Rendszerhálózatok (system interconnection) a számítógép egyes részeit köti össze, pl. Bluetooth (kék fog) egér, billentyűzet, printer kábeleket helyettesít, mester-szolga elrendezés
- Vezeték nélküli helyi hálózatok (wireless LANs, WLAN), antennák a gépekben, melyek a hozzáférési ponttal (access point) állnak kapcsolatban, kiváltják a vezetékes LAN-okat, IEEE 802.11
- Vezeték nélküli WAN-ok, kis sebességű hálózatok: mobiltelefon hálózathoz kiépített rádiós hálózat, 1. generáció: analóg, csak hangot; 2. generáció: digitális, csak hangot; 2.5 generáció, tud adatot is, de csak a hang helyén; 3. generáció: hangot és adatokat egyaránt. Nagy sebességű hálózat: IEEE 802.16 helyi többpontos elosztási szolgáltatás, nagysebességű hálózat Internet hozzáféréshez, ami kikerüli a telefon Rendszert
- Minden vezeték nélküli hálózat valahol kapcsolódik a vezetékeshez

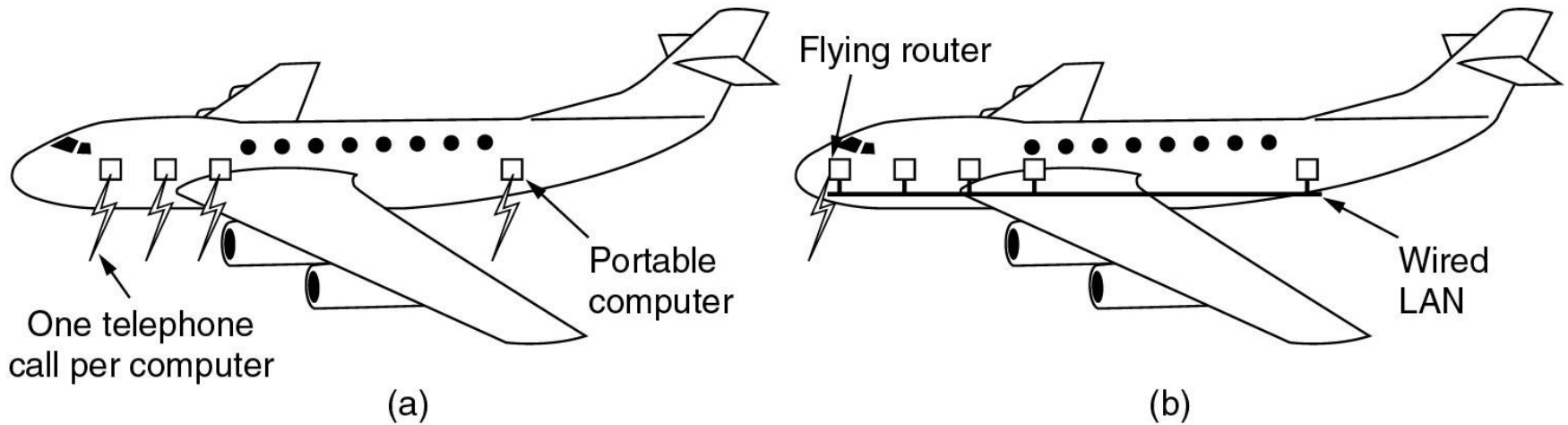
Vezeték nélküli hálózatok



(a) Bluetooth konfiguráció

(b) Vezeték nélküli LAN

...



- (a) Független hordozható számítógépek
- (b) Repülő LAN

Otthoni hálózatok kategóriái

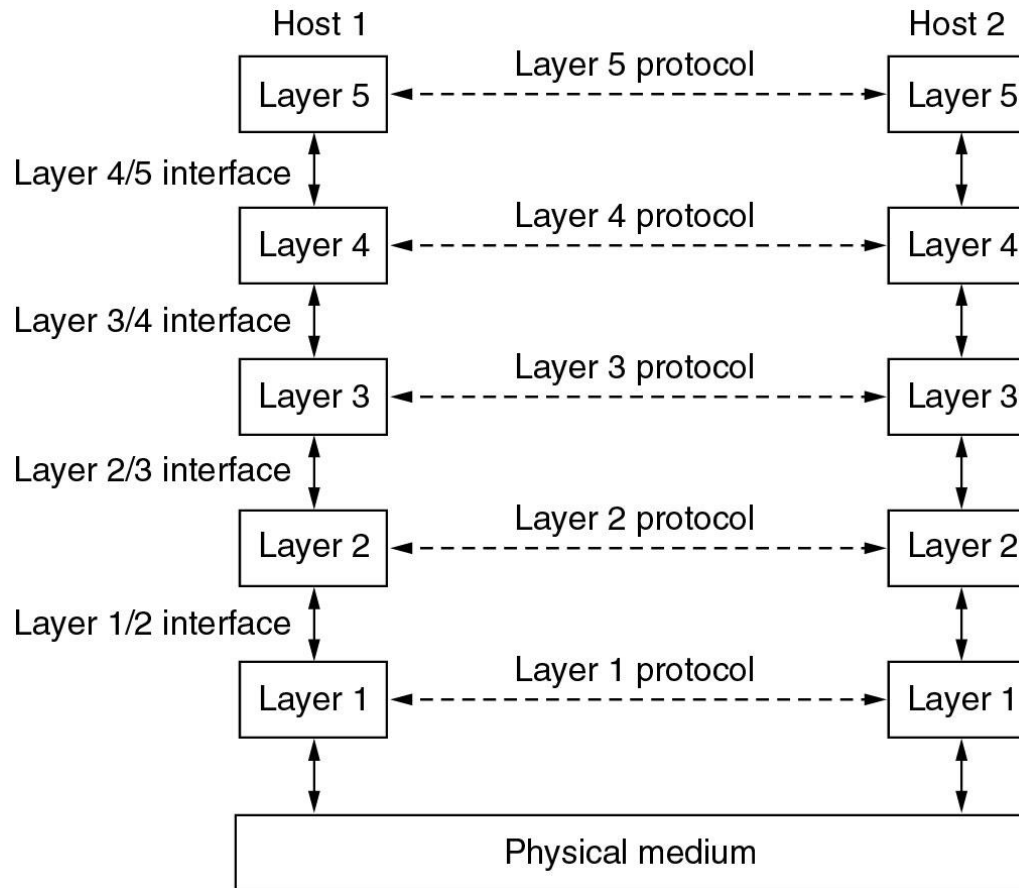
- Számítógépek (asztali PC, noteszgép, megosztott perifériák)
- Szórakoztatás (TV, DVD, VCR, kamera, Hi-Fi, MP3)
- Távközlés (telefon, mobiltelefon, házi telefon, fax)
- Háztartási gépek (mikrosütő, hűtő, óra, világítás, alégkondicionáló)
- Távmérés (fogyasztásmérő, tűz/betörés riasztó, termosztát, bébi kamera).

Hálózati szoftver

- Protokollhierarchiák
- A rétegek tervezési kérdései
- Összeköttetés alapú és összeköttetés nélküli szolgáltatások
- Szolgáltatprimitivek
- A szolgáltatások kapcsolata a protokollokkal

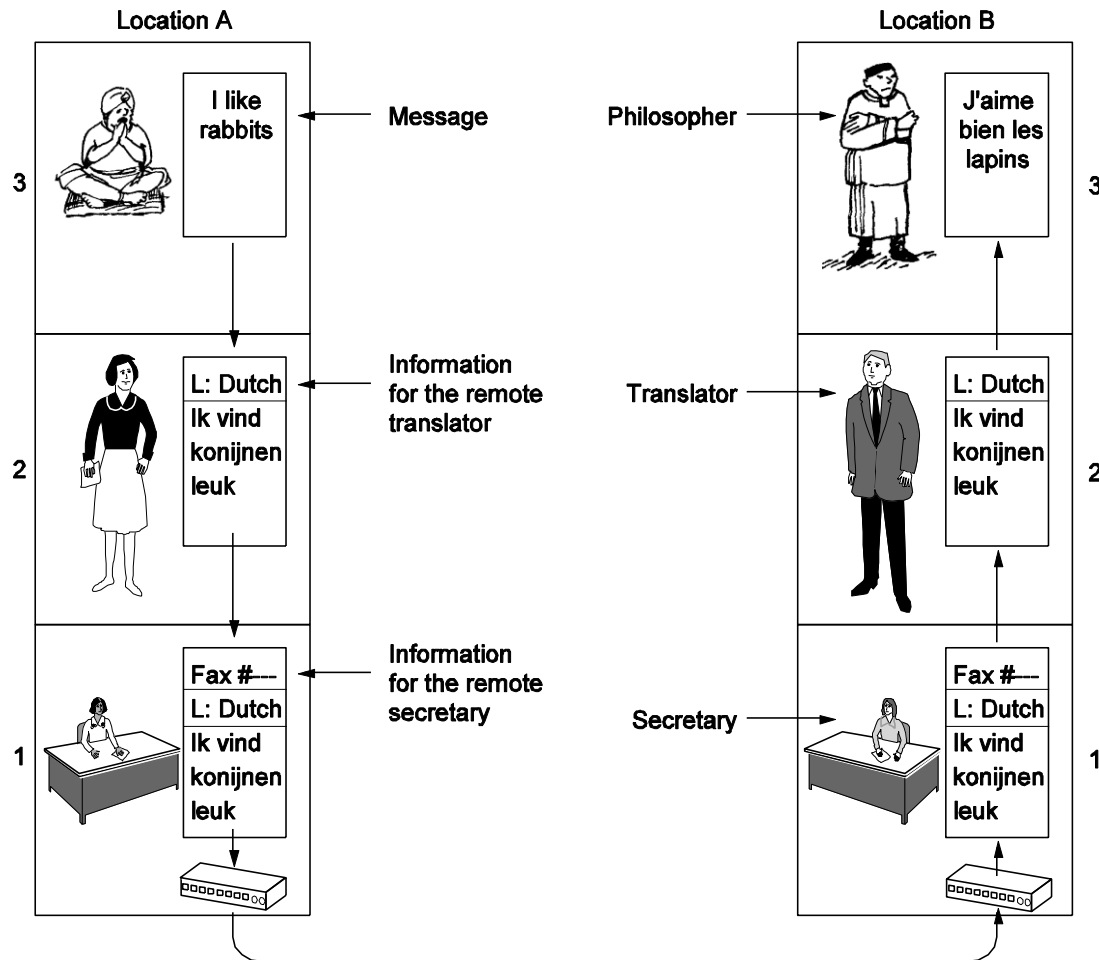
Hálózati szoftver

Protokollhierarchiák



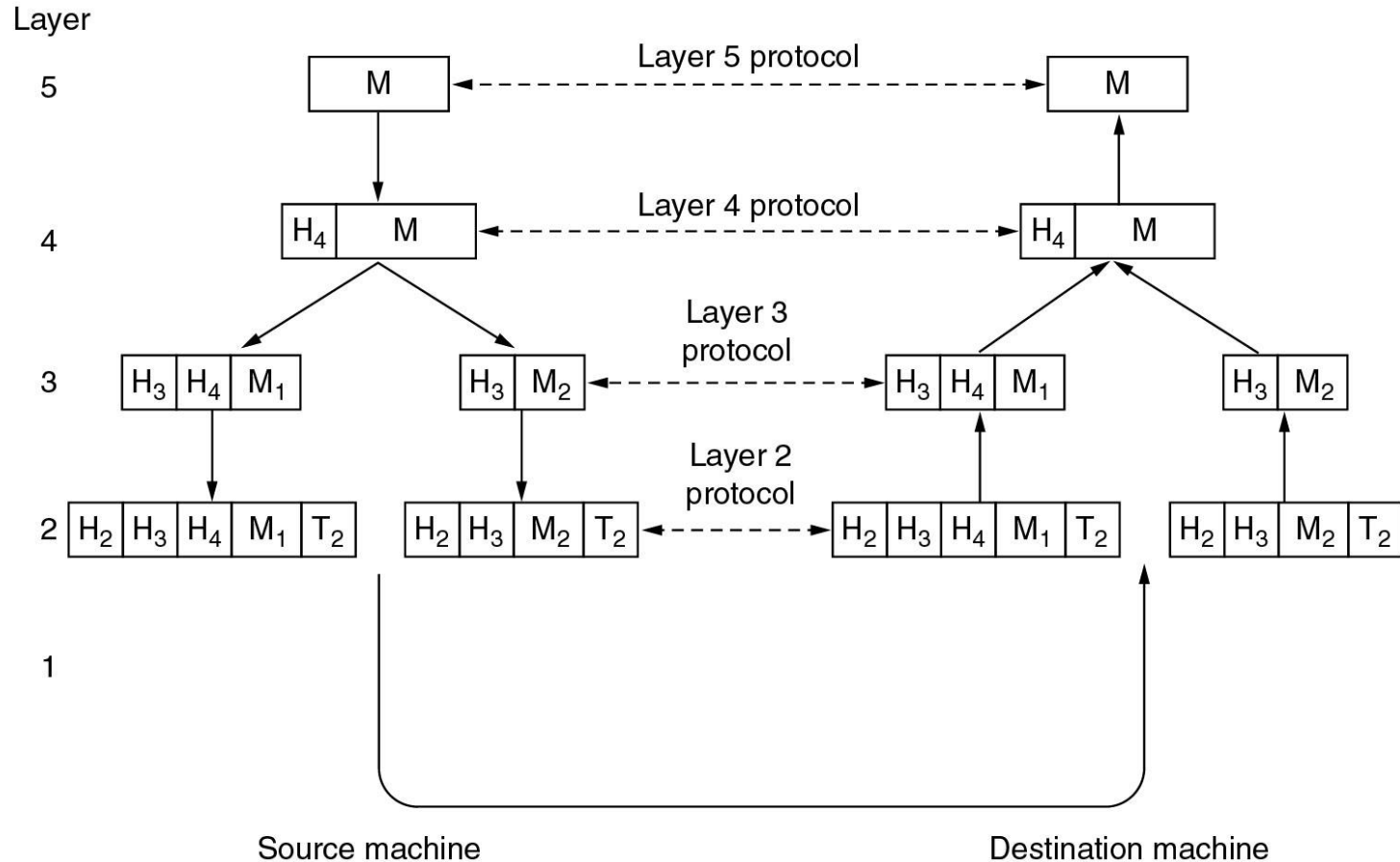
Rétegek, protokollok és interfészek

Architektúra: a rétegek és protokollok halmaza



Filozófus-tolmács-titkárnő architektúra

Keretezés (3)



Példa az 5. réteget kiszolgáló információáramlásra.

A rétegek tervezési kérdései

- Címzés

Az üzenet küldő és vevő azonosítása

- Hibavédelem

Az összekeveredett vagy megsérült üzenetek kezelése

- Forgalomszabályozás

Az adó és a vevő közti sebesség különbség kezelése

- Multiplexelés

Hogyan keverhetők össze majd szedhetők szét az üzenetek

- Forgalomirányítás

Különböző lehetséges útvonalak kezelése

Összeköttetés alapú és összeköttetés nélküli szolgáltatások

- Szolgáltatás az, amit az egyik réteg a felette levő rétegnek biztosít, a rétegek közötti kommunikáció
- Összeköttetés alapú szolgáltatás: olyan mint a telefonálás, egy kapcsolat épül fel az elején a végén pedig lebomlik, megelőzheti egy egyezkedési fázis, amiben a kapcsolat minőségét tisztázzák a hálózat egyes részei
- Összeköttetés nélküli szolgáltatás: olyan mint a postai levelezés, megcímezzük az üzenetet majd minden üzenet a többitől függetlenül halad a cél felé
- Szolgáltatás minőség (quality of service, QoS): megbízható szolgáltatás soha nem vesz adatot, minden üzenet megkapását nyugtázzák pl. fájlátvitel, lehet üzenetsorozat vagy bájtfolym;
- Nem nyugtázott összeköttetés nélküli szolgáltatás (datagram service)
- Nem megbízható szolgáltatások: pl. Ethernet, valós idejű multimédia

Összeköttetés alapú és összeköttetés nélküli szolgáltatások

		Service	Example
Connection-oriented	{	Reliable message stream	Sequence of pages
		Reliable byte stream	Remote login
		Unreliable connection	Digitized voice
Connection-less	{	Unreliable datagram	Electronic junk mail
		Acknowledged datagram	Registered mail
		Request-reply	Database query

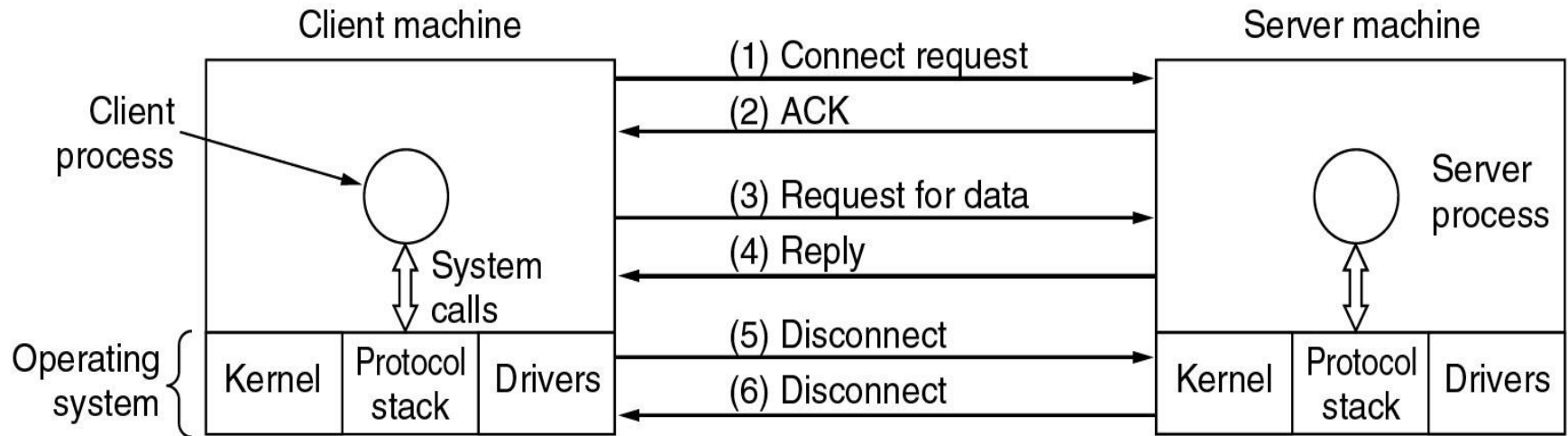
Hat különböző típusú szolgáltatás

Szolgáltatásp primitívek

Primitive	Meaning
LISTEN	Block waiting for an incoming connection
CONNECT	Establish a connection with a waiting peer
RECEIVE	Block waiting for an incoming message
SEND	Send a message to the peer
DISCONNECT	Terminate a connection

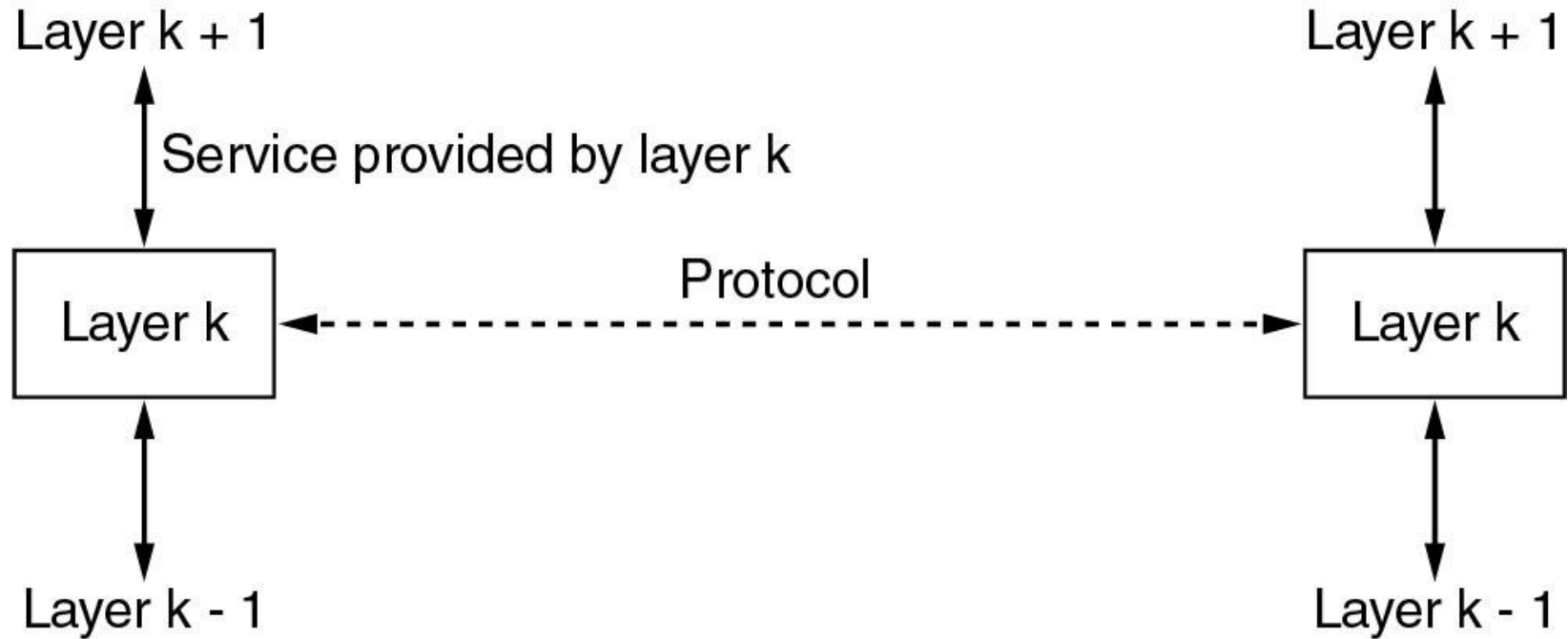
Öt szolgáltatásp primitív egy egyszerű összeköttetés alapú
szolgálat megvalósításához

Szolgáltatásp primitívek (2)



Egyszerű kliens-szerver kommunikáció során elküldött csomagok összeköttetés alapú hálózatban.

A szolgáltatások és a protokollok közötti kapcsolatok

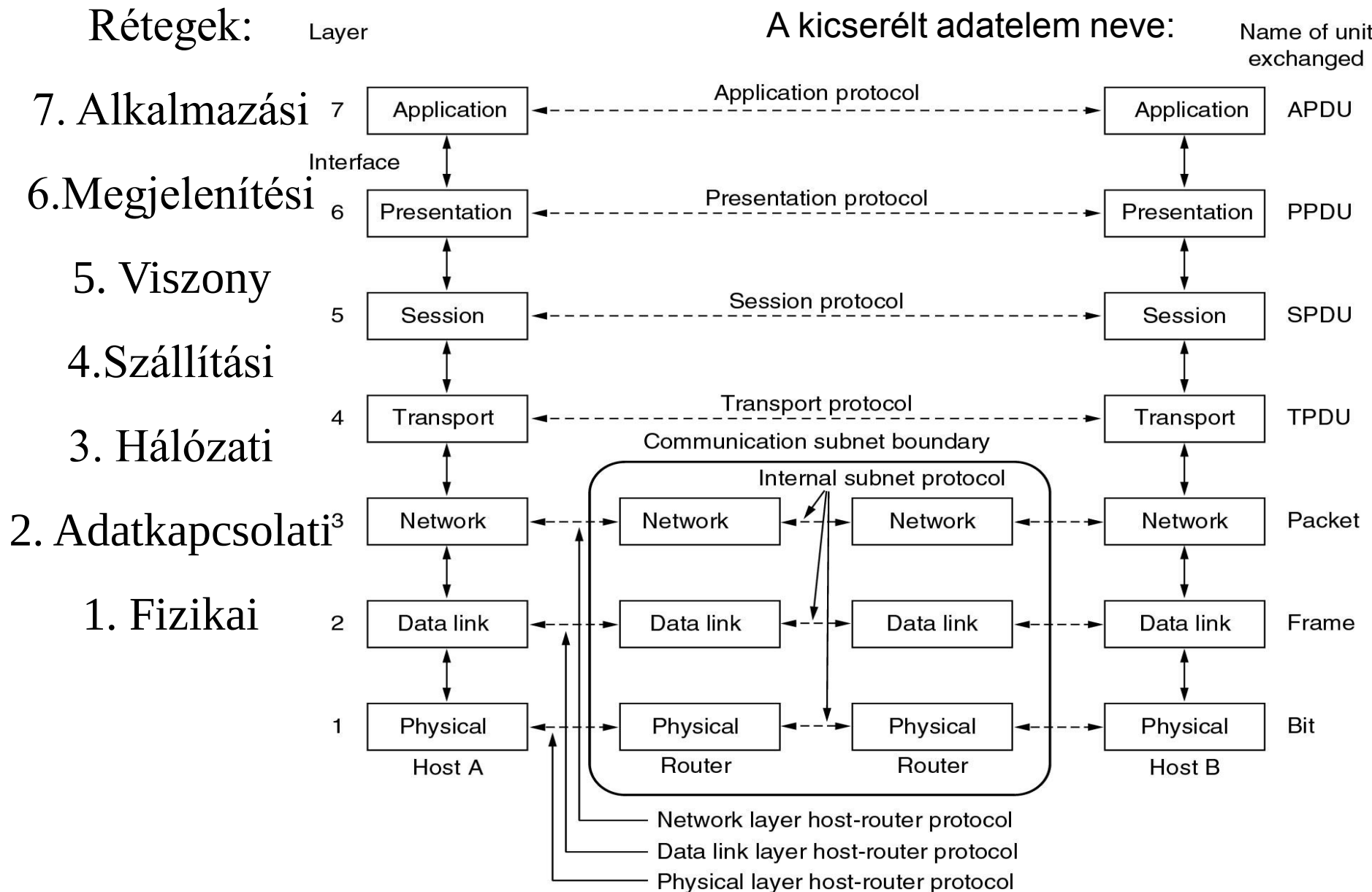


Kapcsolat egy szolgáltatás és egy protokoll kapcsolata

Hivatkozási modellek

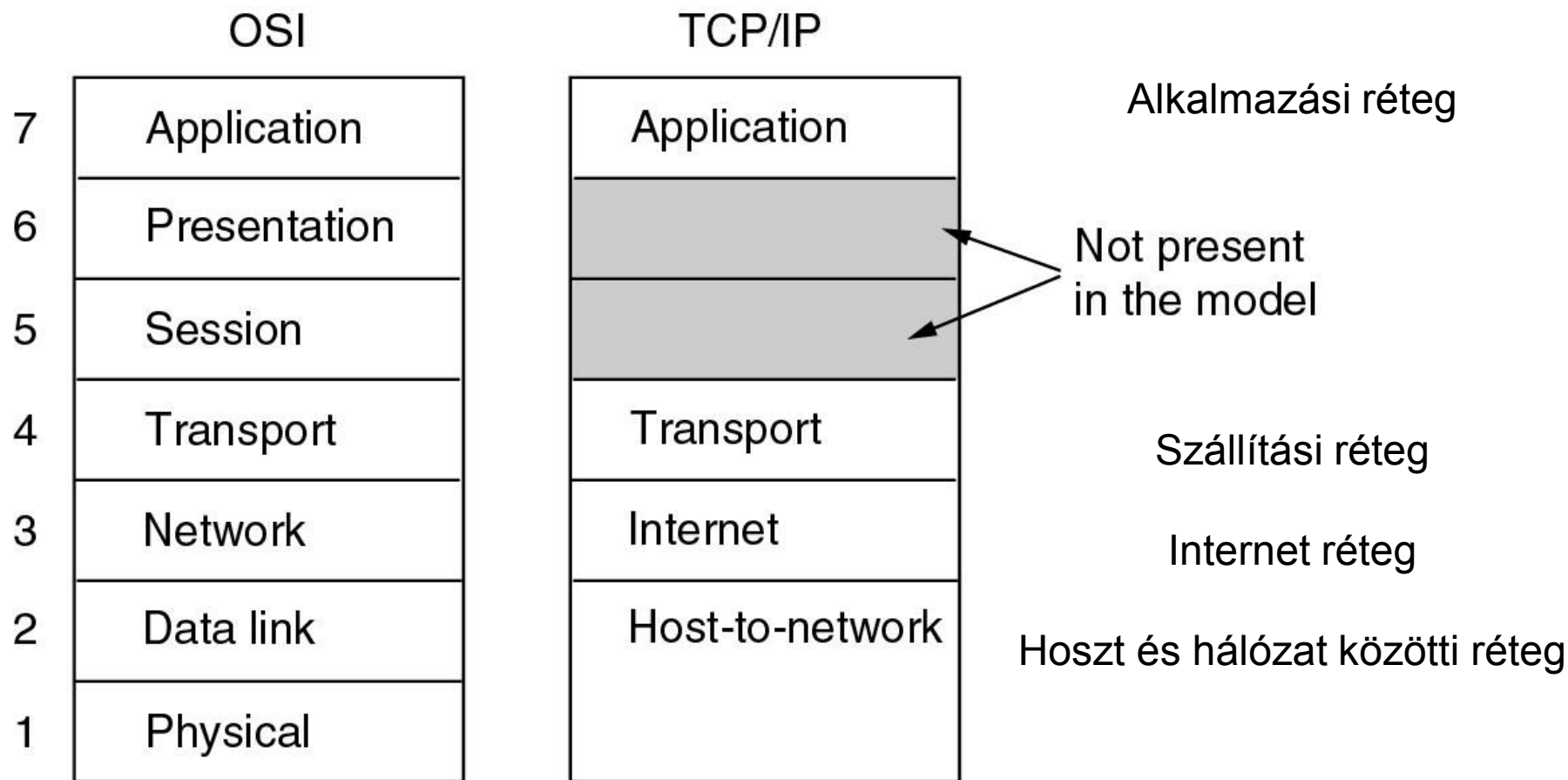
- Az OSI hivatkozási modell
(Open System Interconnection), Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (International Standards Organization, ISO) modellje
- A TCP/IP hivatkozási modell
Az ARPANET és a belőle kifejlett Internet modellje
- Az OSI és a TCP/IP hivatkozási modellek összehasonlítása
- Az OSI modell és protokollok kritikája
- A TCP/IP modell és protokollok kritikája

Az OSI hivatkozási modell



Az OSI modell

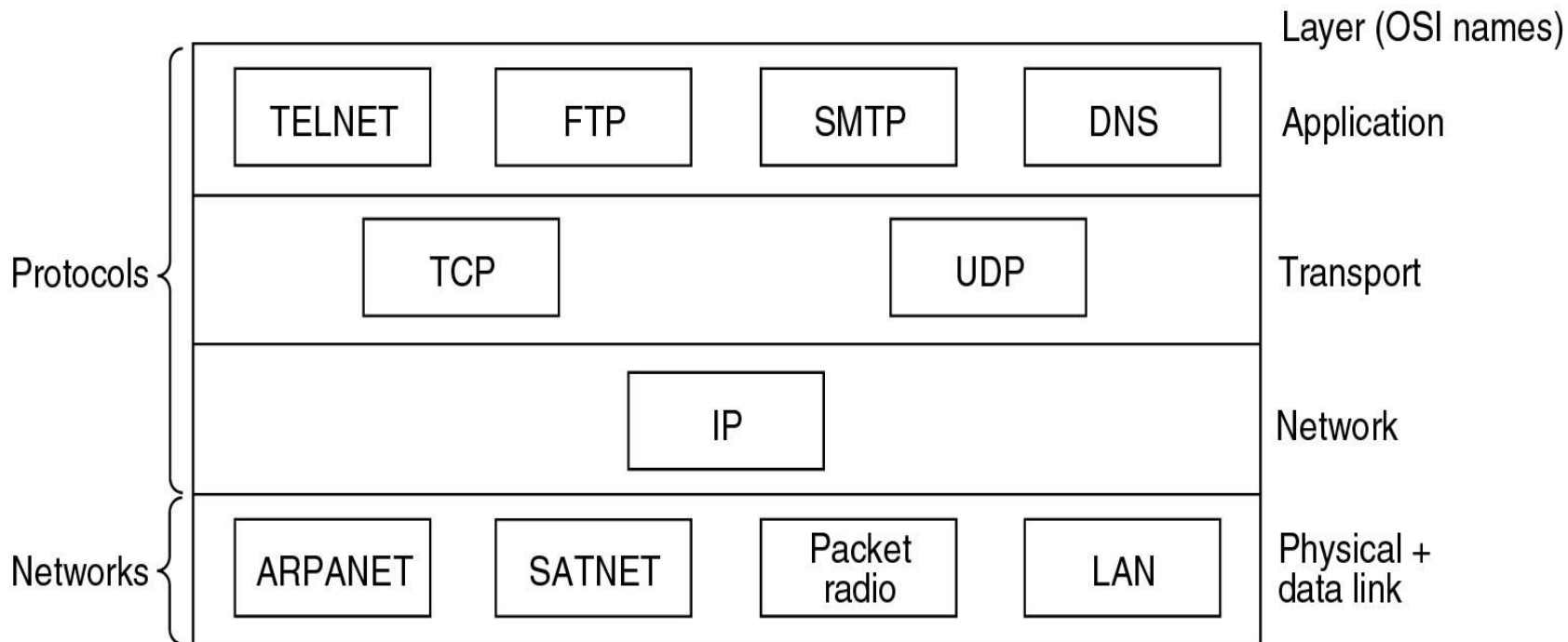
1. A fizikai réteg feladta, hogy továbbítsa a biteket a kommunikációs csatornán, biztosítja a 01 sorozatok megérkezését a túloldalra
2. Az adatkapcsolati réteg feladata, hogy a fizikai réteg hibáit eltakarja, és a hálózati réteg számára hibamentes csatornának mutassa. Adatkeret (data frame) és nyugtázó keret (acknowledgement frame).
3. A hálózati réteg feladatai: útvonal választás, csomagtorlódás megakadályozása, szolgáltatás minőség (késleltetés, átviteli idő, sebesség ingadozás) kezelése; kapcsolat a más hálózatok más protokolljaival
4. A szállítási réteg feladata, hogy a viszonyrétegből érkező adatokat fogadja, feldarabolja és továbbítsa a hálózati réteg felé. Igazából a két végpont szállítási rétegei állnak egymással kapcsolatban (az alsóbb rétegek igazán csak a környezetükkel kommunikálnak)
5. A viszonyréteg: párbeszéd-irányítás, vezérjel kezelés, szinkronizáció
6. Megjelenítési réteg: az átvitt információ szemantikáját (pl. banki adatlap definiálása)
7. Alkalmazási réteg: protokollok változatos sokasága, amit a felhasználó használ (pl. HyperText Transfer Protocol, HTTP)



A TCP/IP referencia modell

A TCP/IP hivatkozási modell

- ARPANET (U.S. Department of Defense, DoD) kísérleti hálózata, műholddal és rádiós részekkel is bővült; a routerek kilövése esetén is működni kellett; két legjelentősebb protokollja a TCP és az IP
- Internet réteg feladata, hogy kézbesítse a csomagokat ahová csak lehetséges. Az útvonal meghatározása, a torlódás elkerülése. Definiálja az IP csomagok formátumát.
- Szállítási réteg: átvitelvezérlő protokoll (Transmission Control Protocol, TCP). A beérkező bájtos adatforgalomból IP csomagokat készít és elküldi. Forgalom szabályozást is végez. Felhasználói datagram protokoll (User Datagram Protocol, UDP), összeköttetés nélküli nem megbízható protokoll.
- Alkalmazási réteg: virtuális terminál (TELNET), file transzfer (FTP), elektronikus levelezés (SMTP), Domain Name Service (DNS) hoszt neve → hálózati címe, HTTP ...
- Hoszt és a hálózat közötti réteg: passz, helyről helyre változik



Protokollok és hálózatok a kezdeti TCP/IP hivatkozási modellben

Az OSI és a TCP/IP modellek összehasonlítása

Az OSI modell legfontosabb elvei

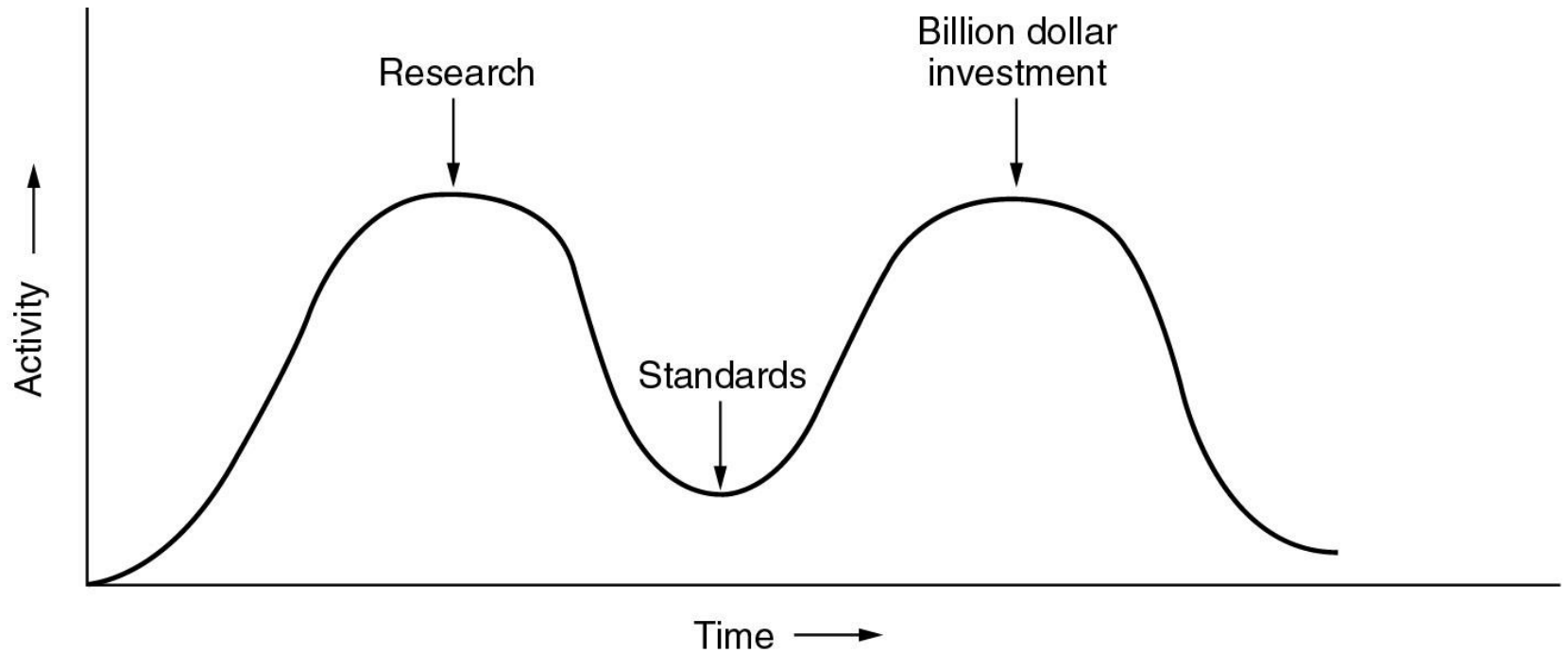
- Szolgáltatások
- Interfészek
- Protokollok

Az OSI modell és protokollok kritikája

Miért nem terjedt el az OSI?

- Rossz időzítés
- Rossz technológia
- Rossz implementáció
- Rossz politika

Rossz időzítés



Két elefánt apokalipszise

A TCP/IP modell kritikája

Problémák:

- Szolgáltatás, interfész és protokoll nem válik el egymástól
- Nem egy általános modell
- Hoszt és hálózat közötti réteg nem igazán „réteg”
- Nincs fizikai és adatkapcsolati réteg
- Lehetetlen a protokollokat cserélni, mert kisebb protokollok is átszövik a rendszert

Úgy kell a gyakorlatban visszafejteni, hogy mi-mit csinál, semmi sem általános, minden ad hoc.

Hybrid Model

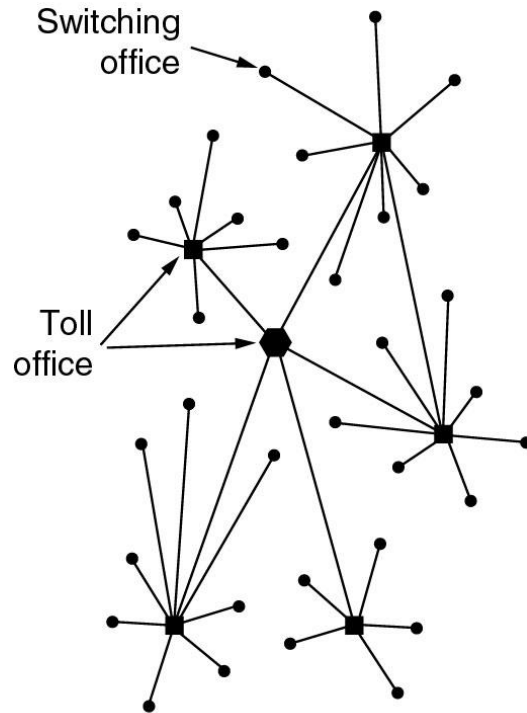
5	Application layer
4	Transport layer
3	Network layer
2	Data link layer
1	Physical layer

The hybrid reference model to be used in this book.

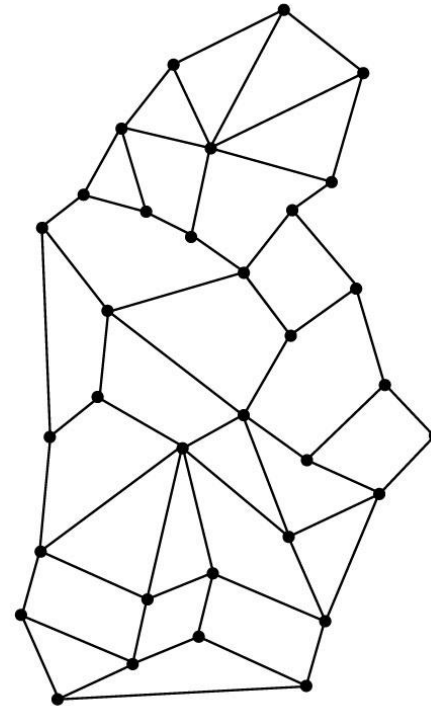
Example Networks

- The Internet
- Connection-Oriented Networks:
X.25, Frame Relay, and ATM
- Ethernet
- Wireless LANs: 802:11

Az ARPANET



(a)



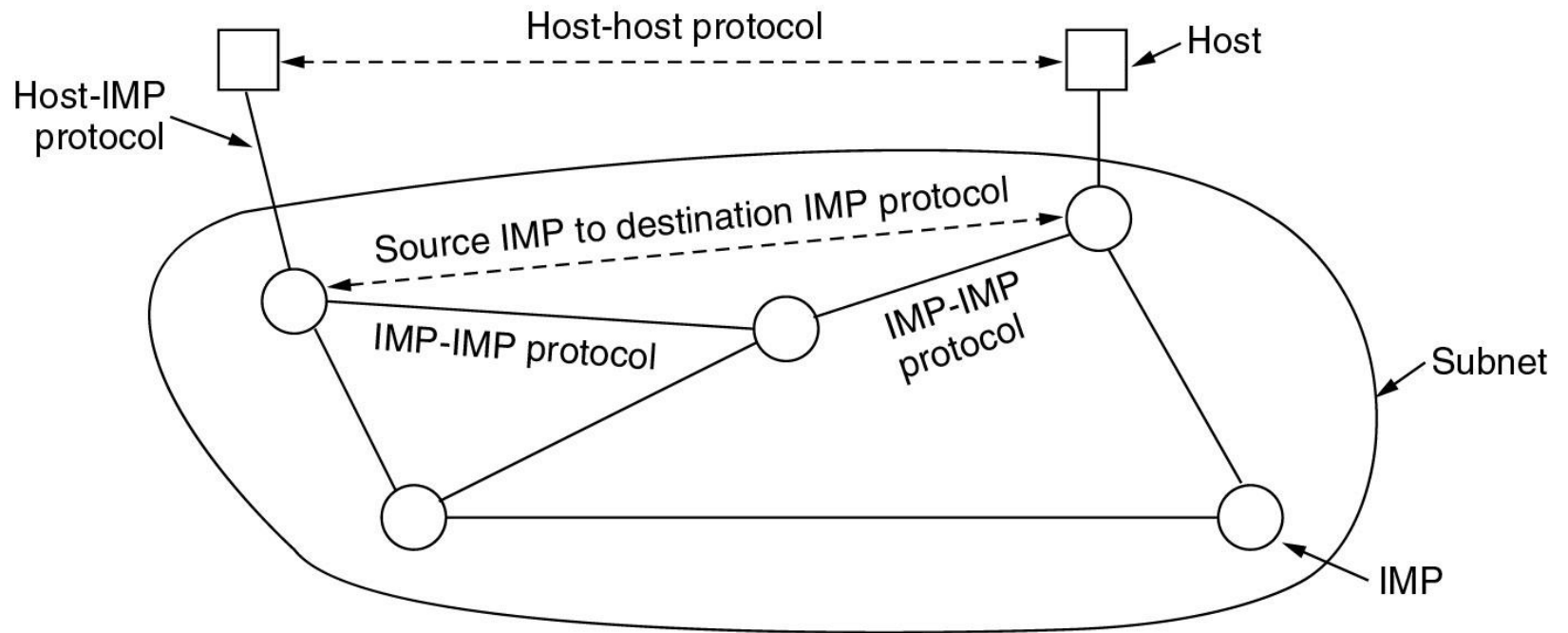
(b)

(a) Egy telefonhálózat felépítése

(b) Baran által javasolt elosztott kapcsolóhálózat 1960 körül

- 1957 a Szputnyik, Eisenhower megalakítja az Advanced Research Agency-t (ARPA)
- 1967 National Physical Laboratory (NPL) Egyesült Királyság létrejön az első számítógép hálózat és az ARPA igazgatója hall róla egy előadást → ARPANET.
- Interface Message Processors, IMP csomóponti gépeken
1968-ban, Honeywell DDP-316-os miniszámítógép, 56 kb/s-os telefon vonalak
- 1969-ben hálózati szoftver írás kezdődik egyetemeken
- Műholdas kísérlet: egy kaliforniai teherautón haladó számítógépből beléptek a londoni University College egyik gépére
- 1974-től a TCP/IP fejlesztése, hogy inhomogén hálózaton is működni tudjon, sok egyetem VAX-okat vásárol és LAN-okat épít
- 1980-ban létrehozták a Domain Naming System-et

Az ARPANET



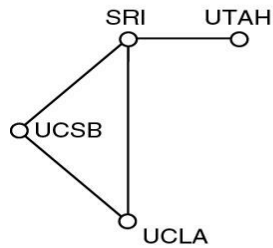
Az eredeti ARPANET terv

Az Internet Használata

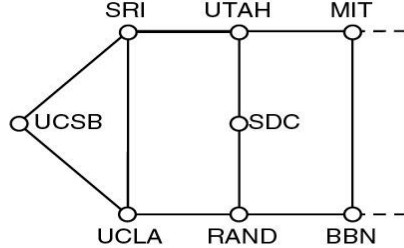
Hagyományos felhasználás (1970 – 1990)

- E-mail
- News
- Remote login
- File transfer

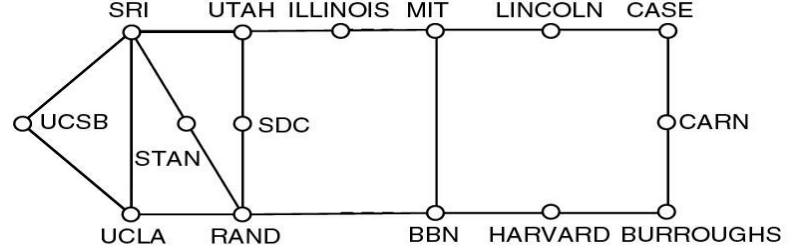
Az ARPANET



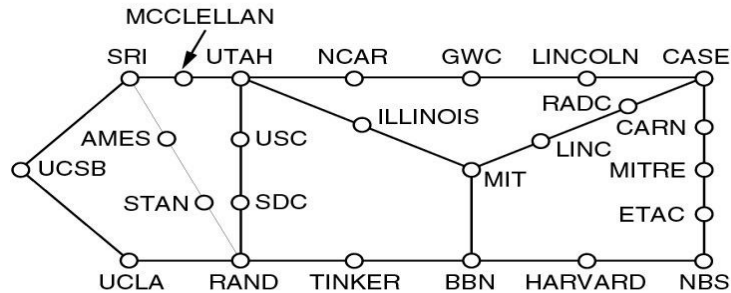
(a)



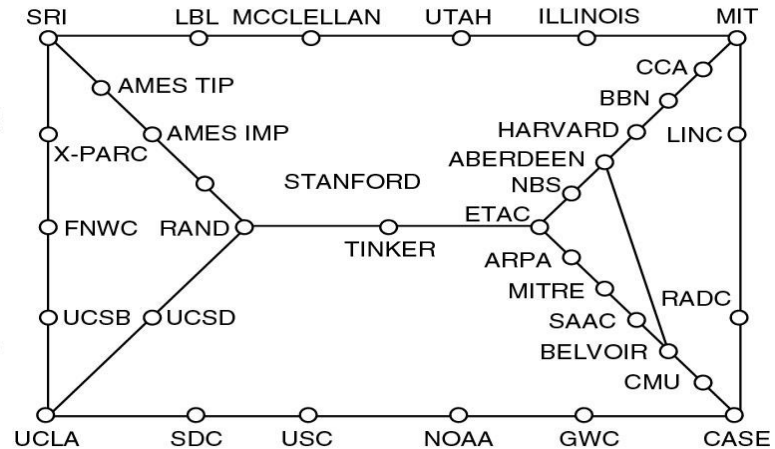
(b)



(c)



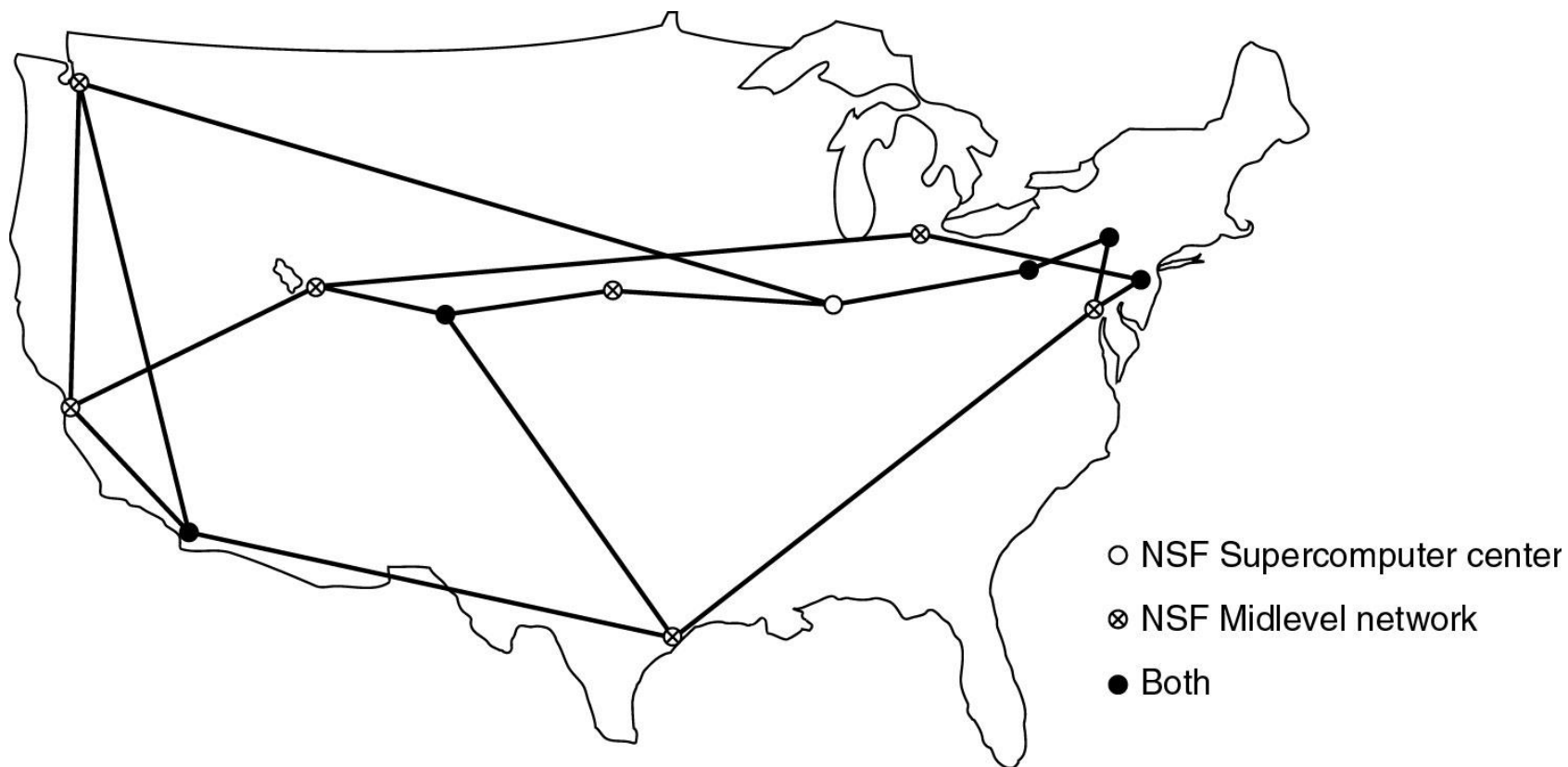
(d)



(e)

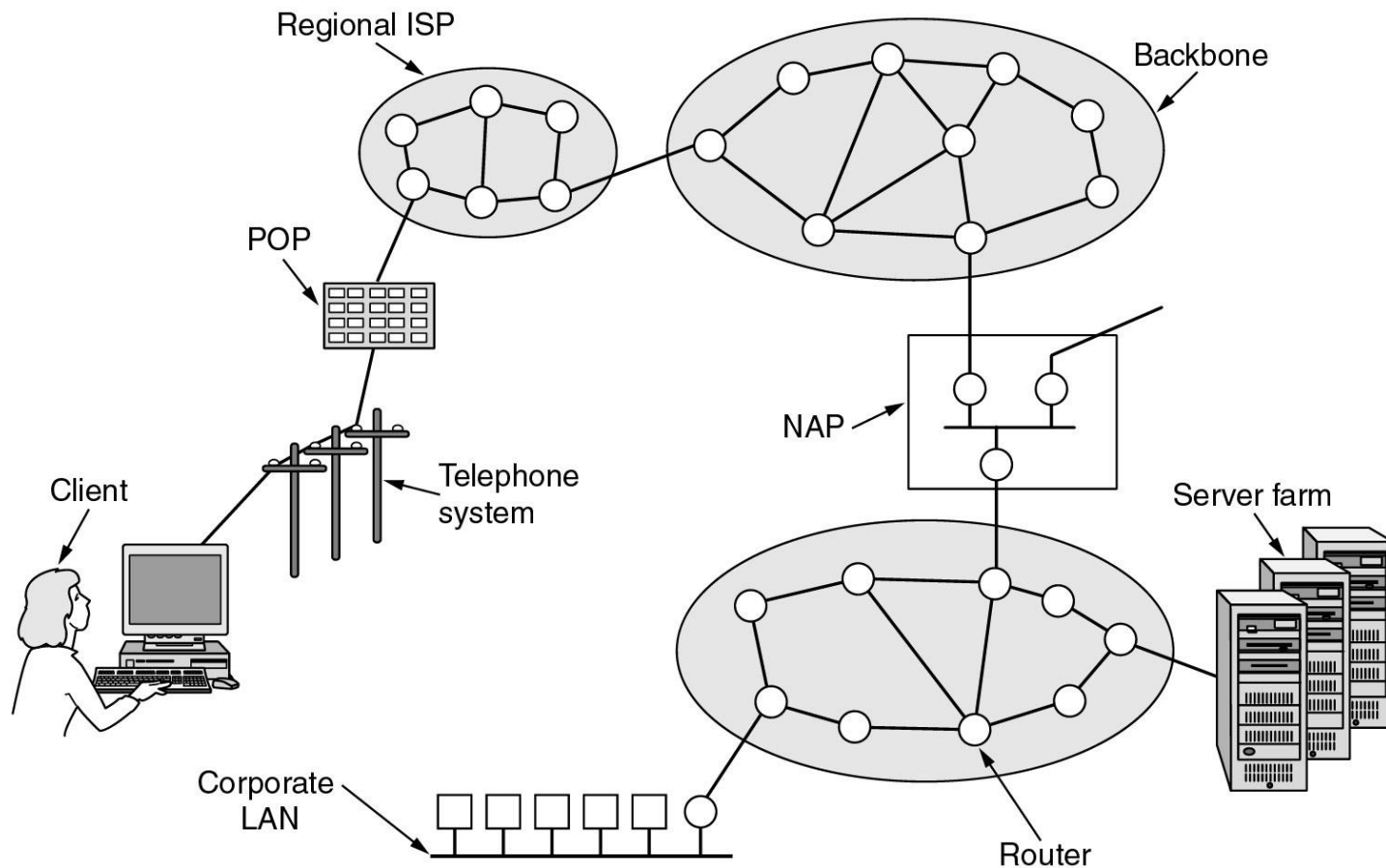
Az ARPANET növekedése (a) December 1969. (b) July 1970. (c) March 1971. (d) April 1972. (e) September 1972.

NSFNET



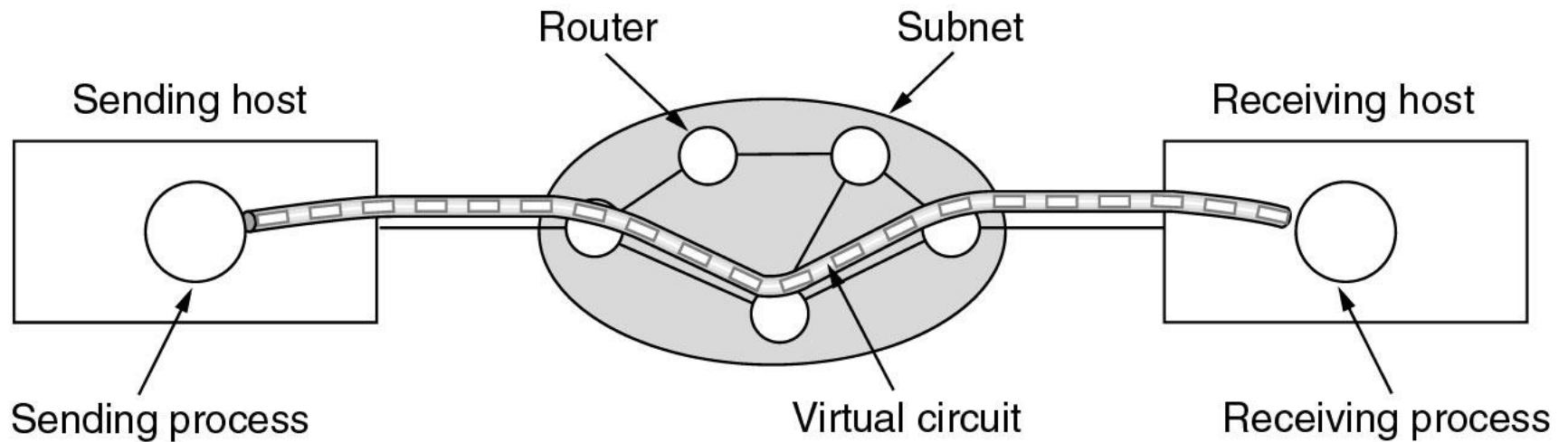
Az NSFNET gerinchálózata 1988-ban.

Az Internet architektúrája



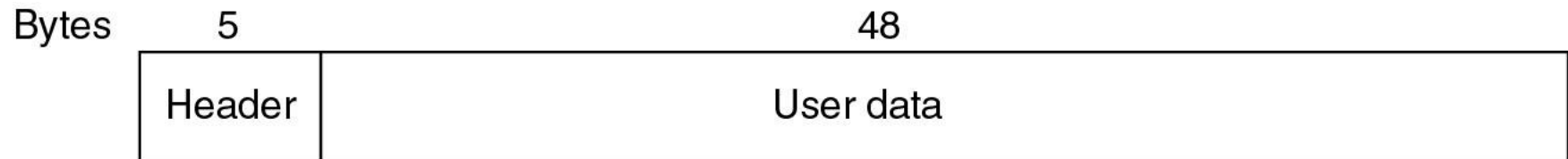
Az Internet áttekintése

ATM Virtuális Áramkör



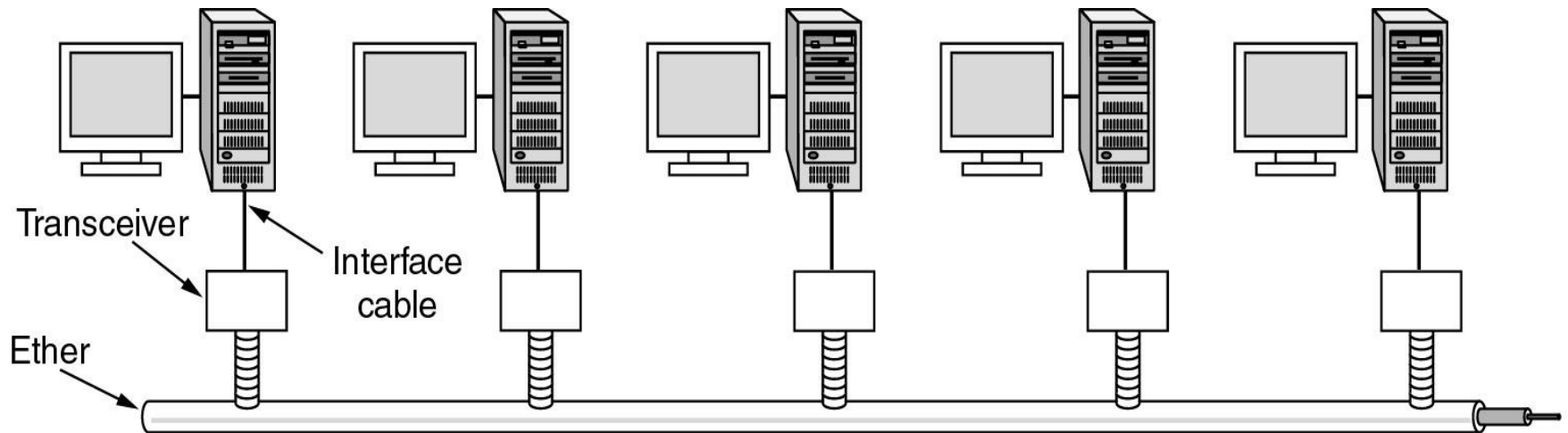
Egy virtuális áramkör.

ATM Virtuális Áramkör (2)



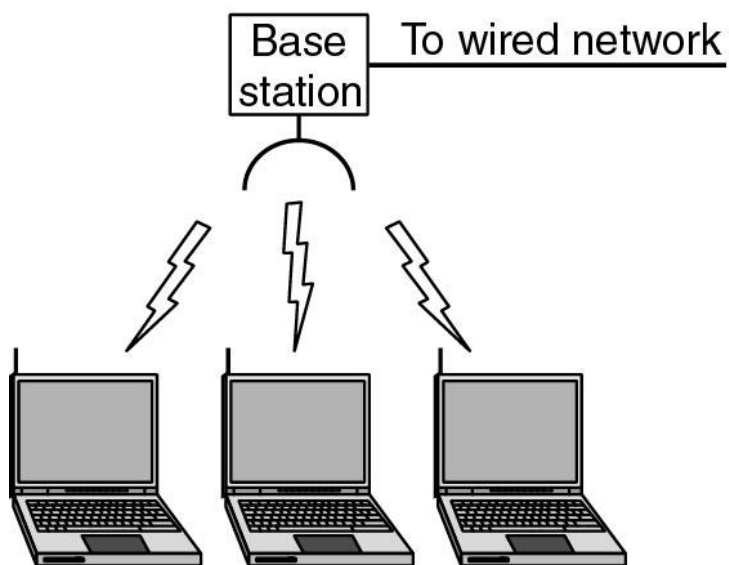
Egy ATM cella.

Ethernet

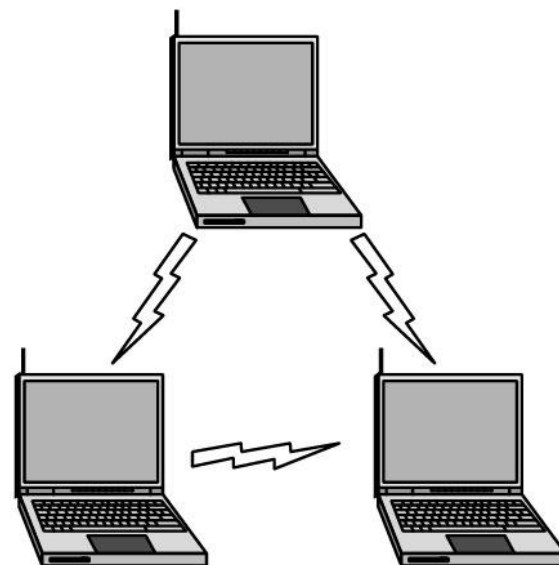


Az eredeti Ethernet architektúra.

Wireless LANs



(a)

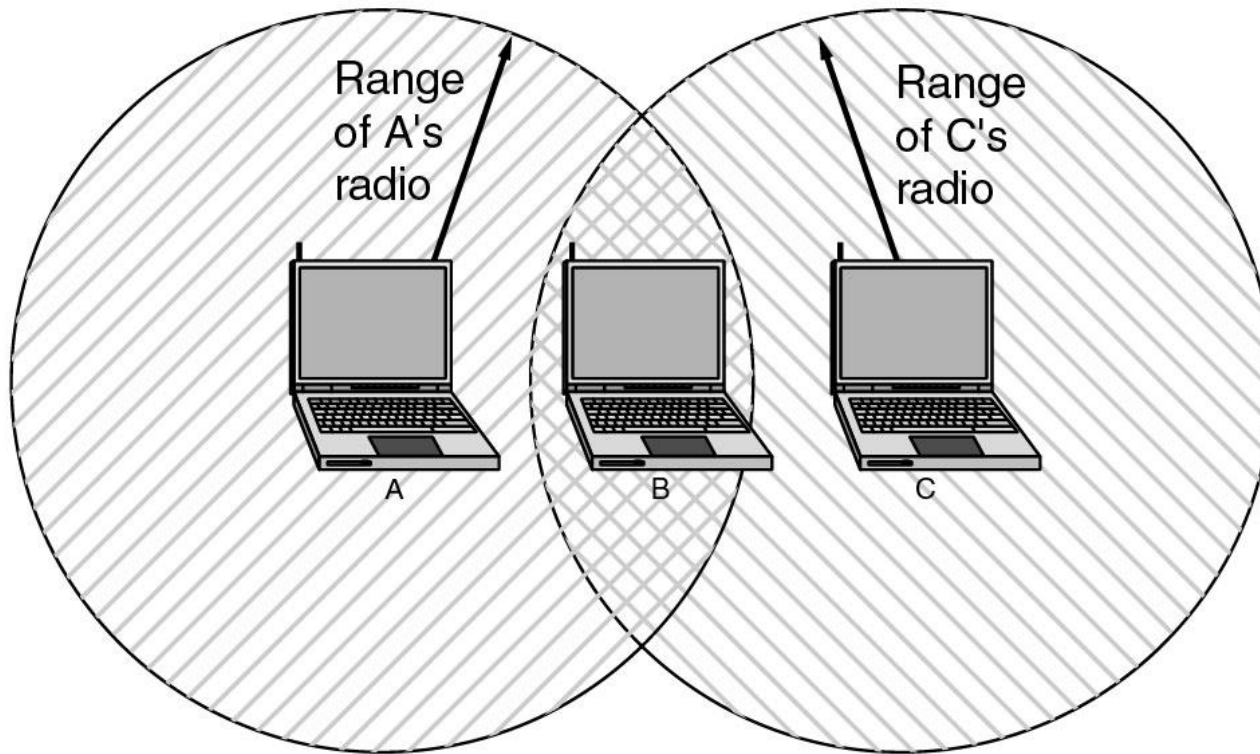


(b)

(a) Wireless hálózat bázisállomással.

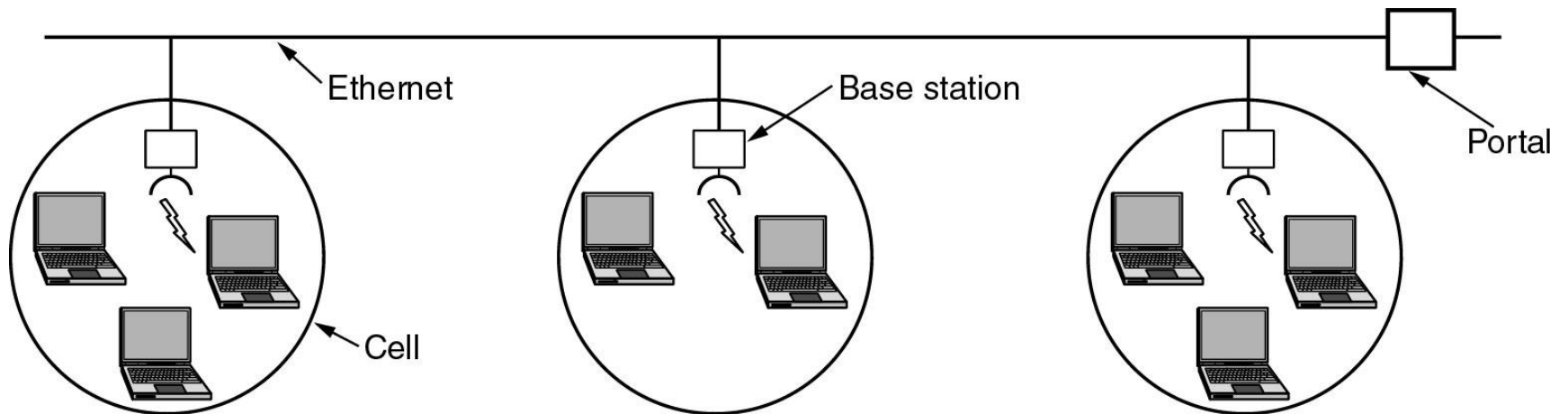
(b) Ad hoc hálózat.

Wireless LAN-ok (2)



Egyes rádiók hatósugara nem feltétlenül fedi le a teljes rendszert.

Wireless LAN-ok (3)



Egy 802.11 többcellás hálózat

IEEE 802 Szabványok

Number	Topic
802.1	Overview and architecture of LANs
802.2 ↓	Logical link control
802.3 *	Ethernet
802.4 ↓	Token bus (was briefly used in manufacturing plants)
802.5	Token ring (IBM's entry into the LAN world)
802.6 ↓	Dual queue dual bus (early metropolitan area network)
802.7 ↓	Technical advisory group on broadband technologies
802.8 †	Technical advisory group on fiber optic technologies
802.9 ↓	Isochronous LANs (for real-time applications)
802.10 ↓	Virtual LANs and security
802.11 *	Wireless LANs
802.12 ↓	Demand priority (Hewlett-Packard's AnyLAN)
802.13	Unlucky number. Nobody wanted it
802.14 ↓	Cable modems (defunct: an industry consortium got there first)
802.15 *	Personal area networks (Bluetooth)
802.16 *	Broadband wireless
802.17	Resilient packet ring

The 802 working groups. The important ones are marked with *. The ones marked with ↓ are hibernating. The one marked with † gave up.

Metrikus Egységek

Exp.	Explicit	Prefix	Exp.	Explicit	Prefix
10^{-3}	0.001	milli	10^3	1,000	Kilo
10^{-6}	0.000001	micro	10^6	1,000,000	Mega
10^{-9}	0.000000001	nano	10^9	1,000,000,000	Giga
10^{-12}	0.000000000001	pico	10^{12}	1,000,000,000,000	Tera
10^{-15}	0.000000000000001	femto	10^{15}	1,000,000,000,000,000	Peta
10^{-18}	0.000000000000000001	atto	10^{18}	1,000,000,000,000,000,000	Exa
10^{-21}	0.000000000000000000001	zepto	10^{21}	1,000,000,000,000,000,000,000	Zetta
10^{-24}	0.000000000000000000000001	yocto	10^{24}	1,000,000,000,000,000,000,000,000	Yotta

A legfontosabb SI előtagok.

A fizikai réteg

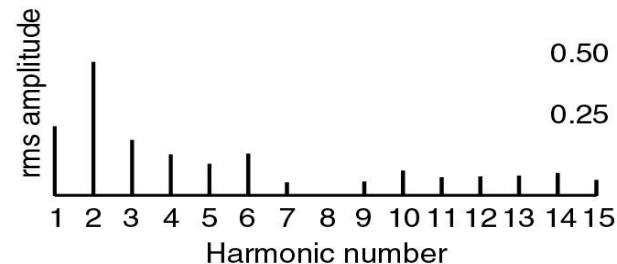
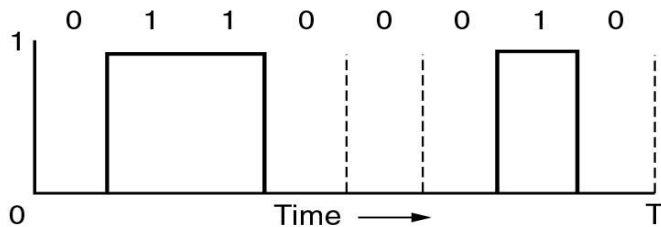
Az adatátvitel elméleti alapjai

Fourier-analízis

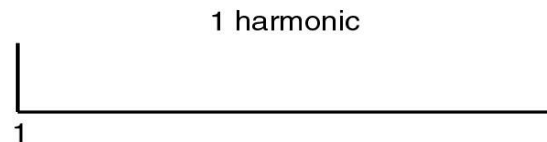
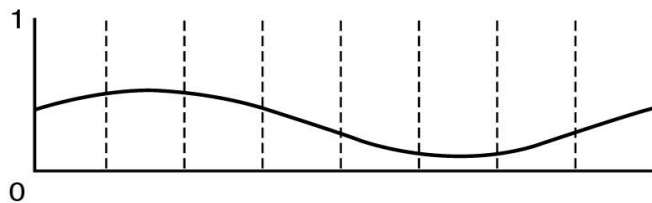
Sávszélesség korlátozott jelek

A csatorna maximális adatátviteli sebessége

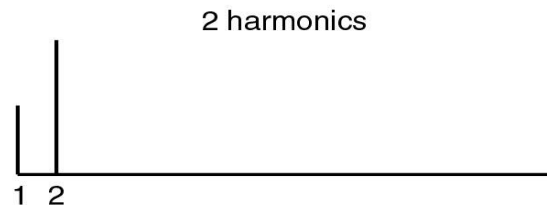
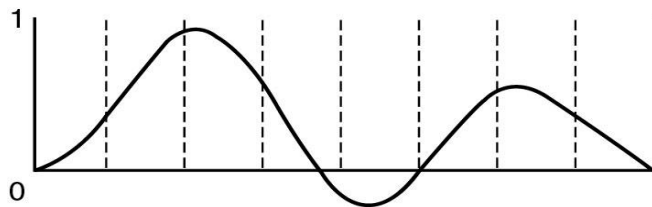
Sávkorlátozott jelek



(a)



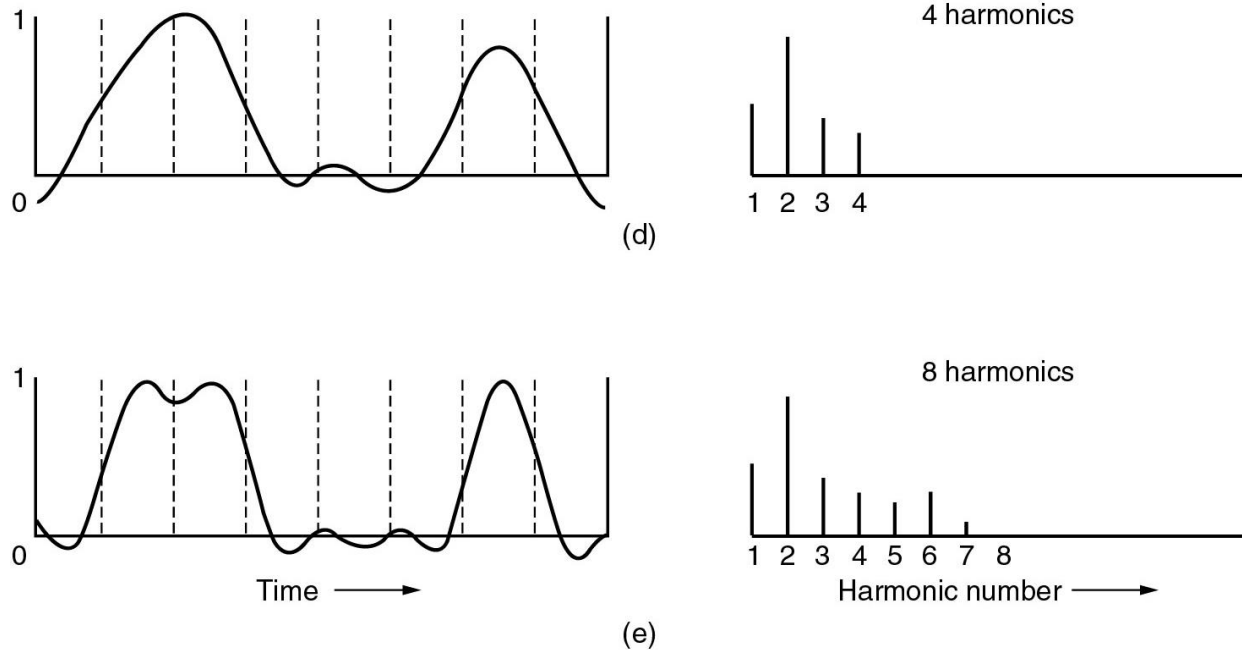
(b)



(c)

- (a) Digitális jel és Fourier-együtthatóinak négyzetes középértéke
- (b) – (c) Az eredeti jel sorozatos közelítése

Sávkorlátozott (2)



(d) – (e) további sorozatos közelítések

Példa:

Adatsebesség b (b/s),

8 bit átvitele = $8/b$ sec. alatt

Első harmonikus frekvenciája: $b/8$ Hz

Beszéd minőségű vonalon a felső vágás 3000 Hz-nél van

A legmagasabb átvitt harmonikus indexe $3000/(b/8)=24000/b$

Sávkorlátozott jelek (3)

Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

Az adatátviteli sebesség és a harmonikusok közötti kapcsolat
(az előző ábrán látható 8 bit átküldése esetén)

A csatorna maximális adatátviteli sebessége

$$\begin{aligned}\text{Maximális adatsebesség} &= 2H \log_2 V \text{ [b/s]} \text{ (Nyquist, zajmentes csatorna)} \\ &= H \log_2 (1+S/N) \text{ [b/s]} \text{ (Shannon)} \\ &\quad S/N \text{ jel/zaj arány}\end{aligned}$$

Vezetékes átviteli közegek

Mágneses hordozó

Sodrott érpár

Koaxiális kábel

Fényvezető kábel

Sodrott érpár



(a)

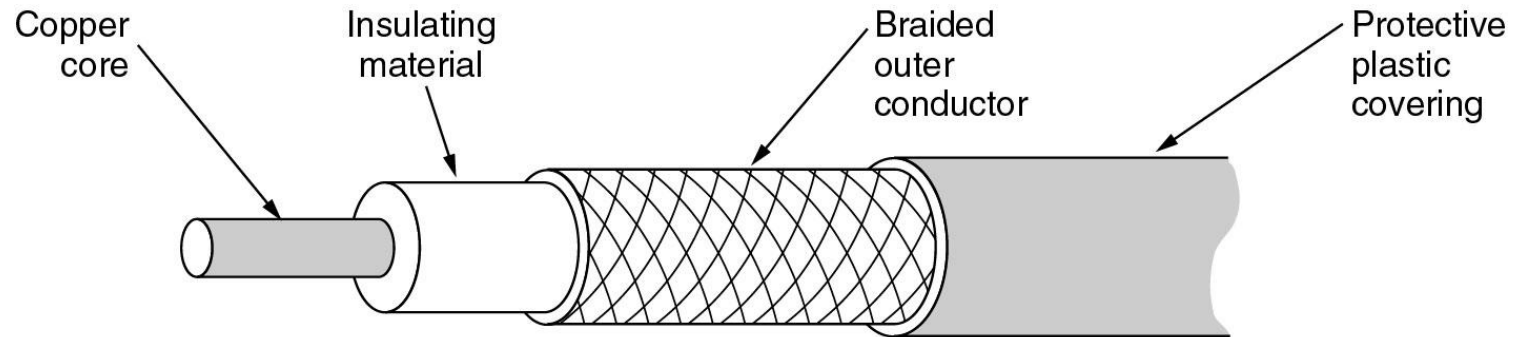


(b)

(a) 3-as kategóriájú UTP.

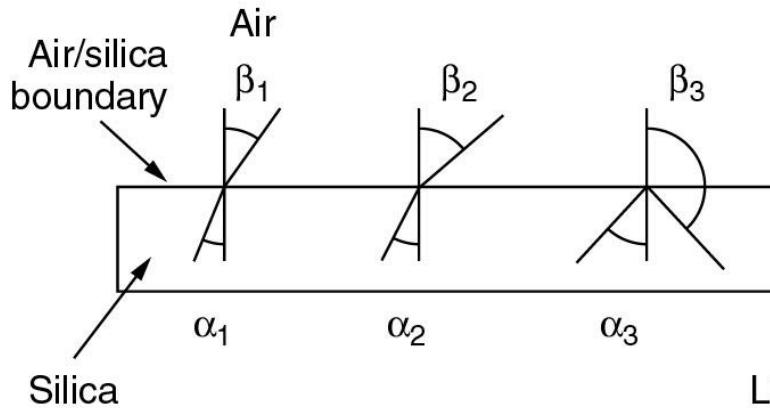
(b) 5-ös kategóriájú UTP.

Koaxiális kábel

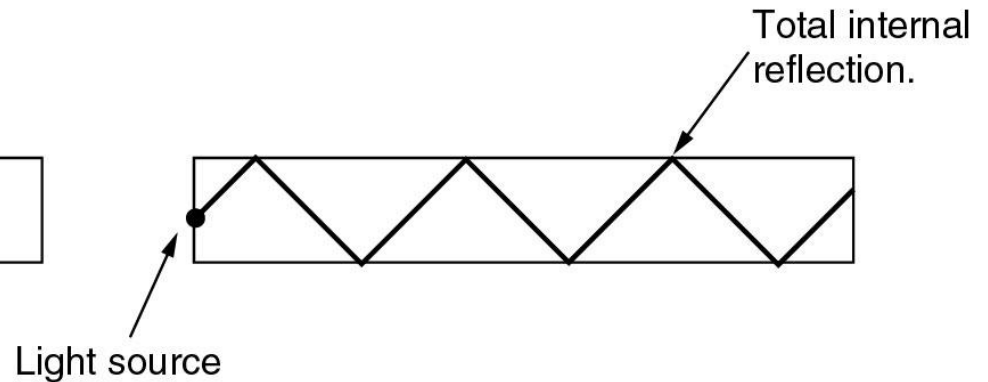


Koaxiális kábel.

Fényvezető szálak



(a)

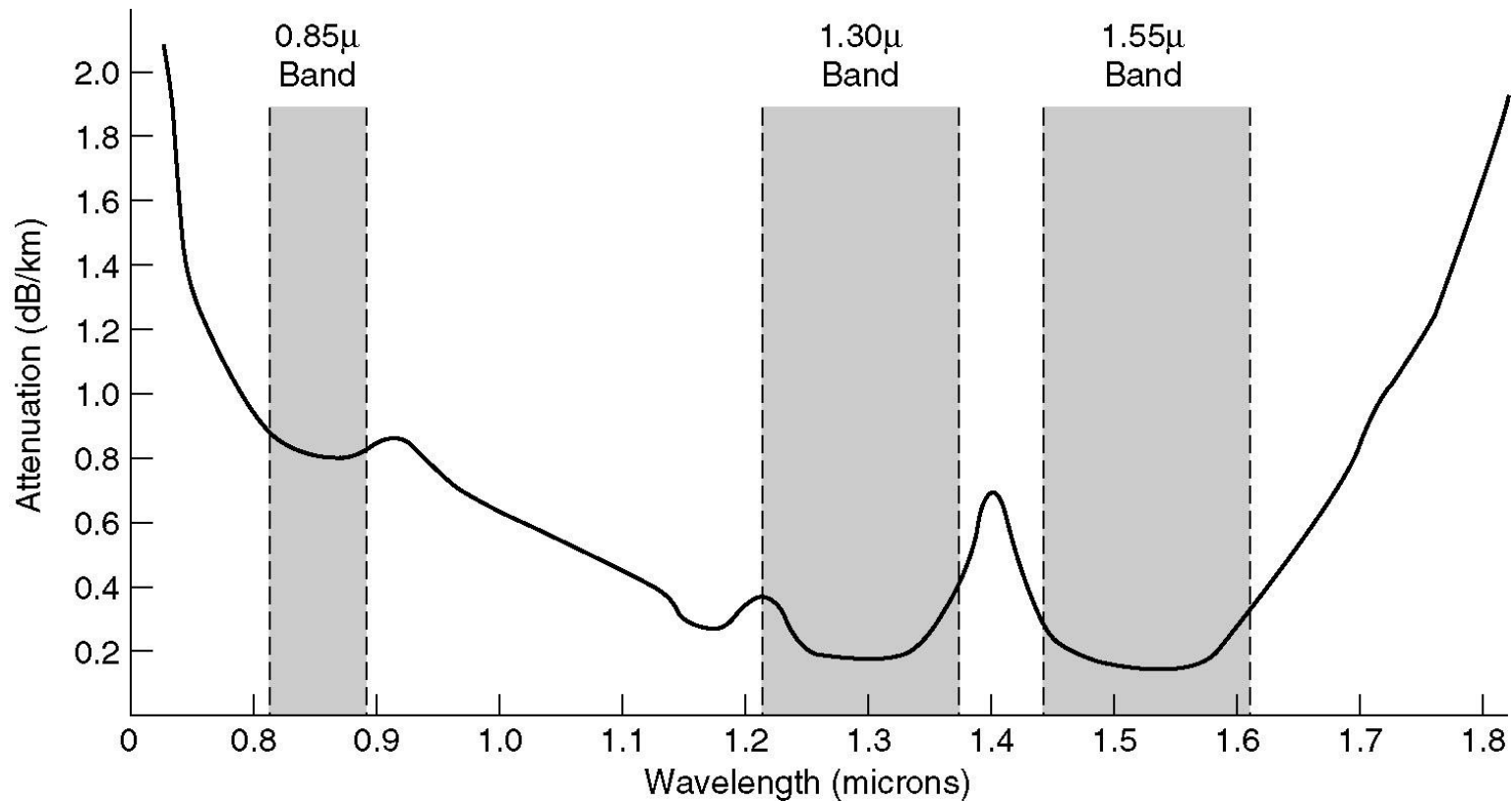


(b)

(a) Három lehetséges beesési szög

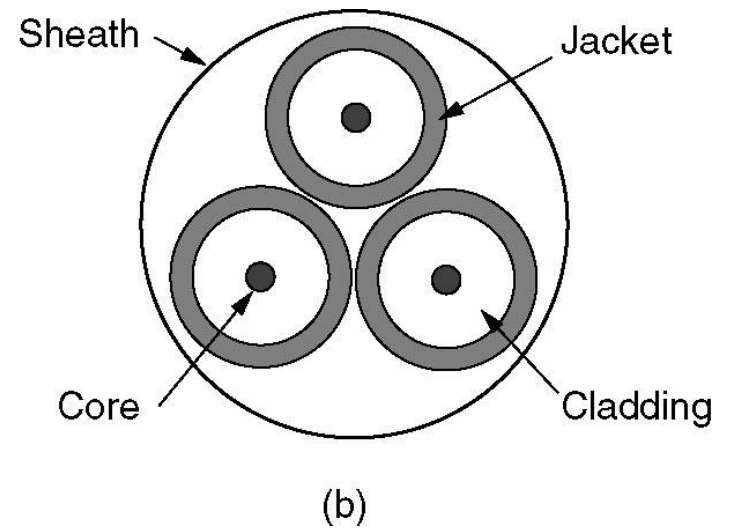
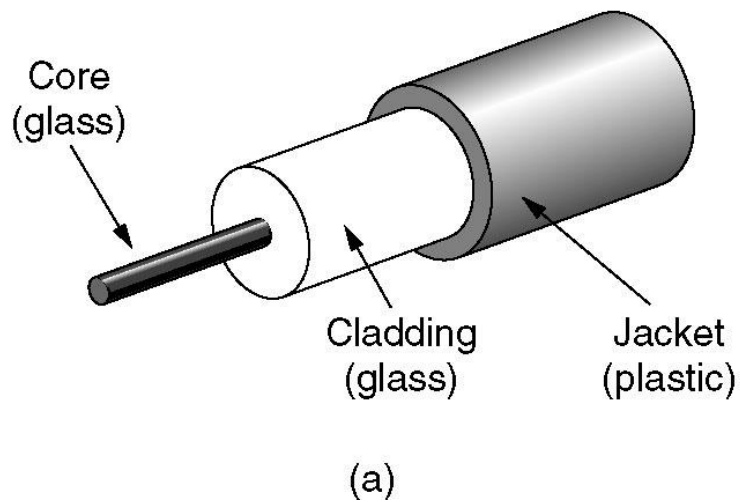
(b) A teljes belső visszaverődés következtében a fénysugár az üvegszáliban marad

Fény továbbítása fényvezető szálon



Fényvezető szálban terjedő fény csillapodása az infravörös tartományban

Fényvezetőkábelek



(a) Oldalnézet (mag, tükröző anyag, köpeny)

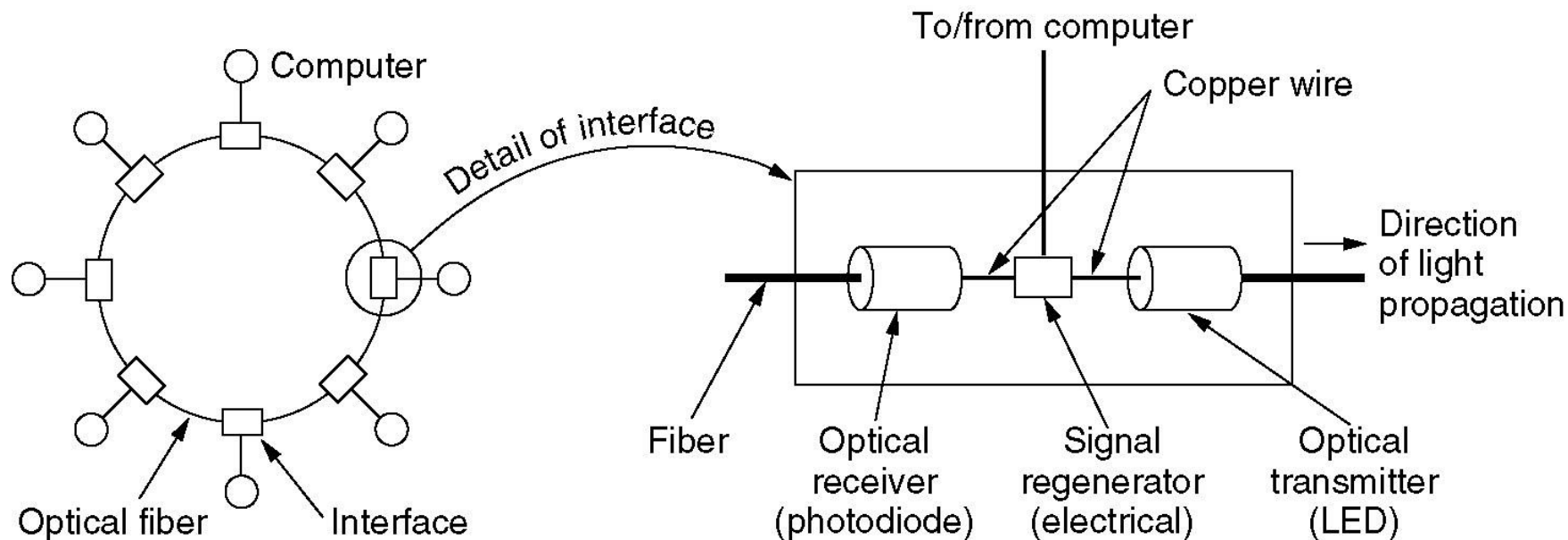
(b) Keresztmetszet (+ burok)

Fénykábelek (2)

Item	LED	Semiconductor laser
Data rate	Low	High
Fiber type	Multimode	Multimode or single mode
Distance	Short	Long
Lifetime	Long life	Short life
Temperature sensitivity	Minor	Substantial
Cost	Low cost	Expensive

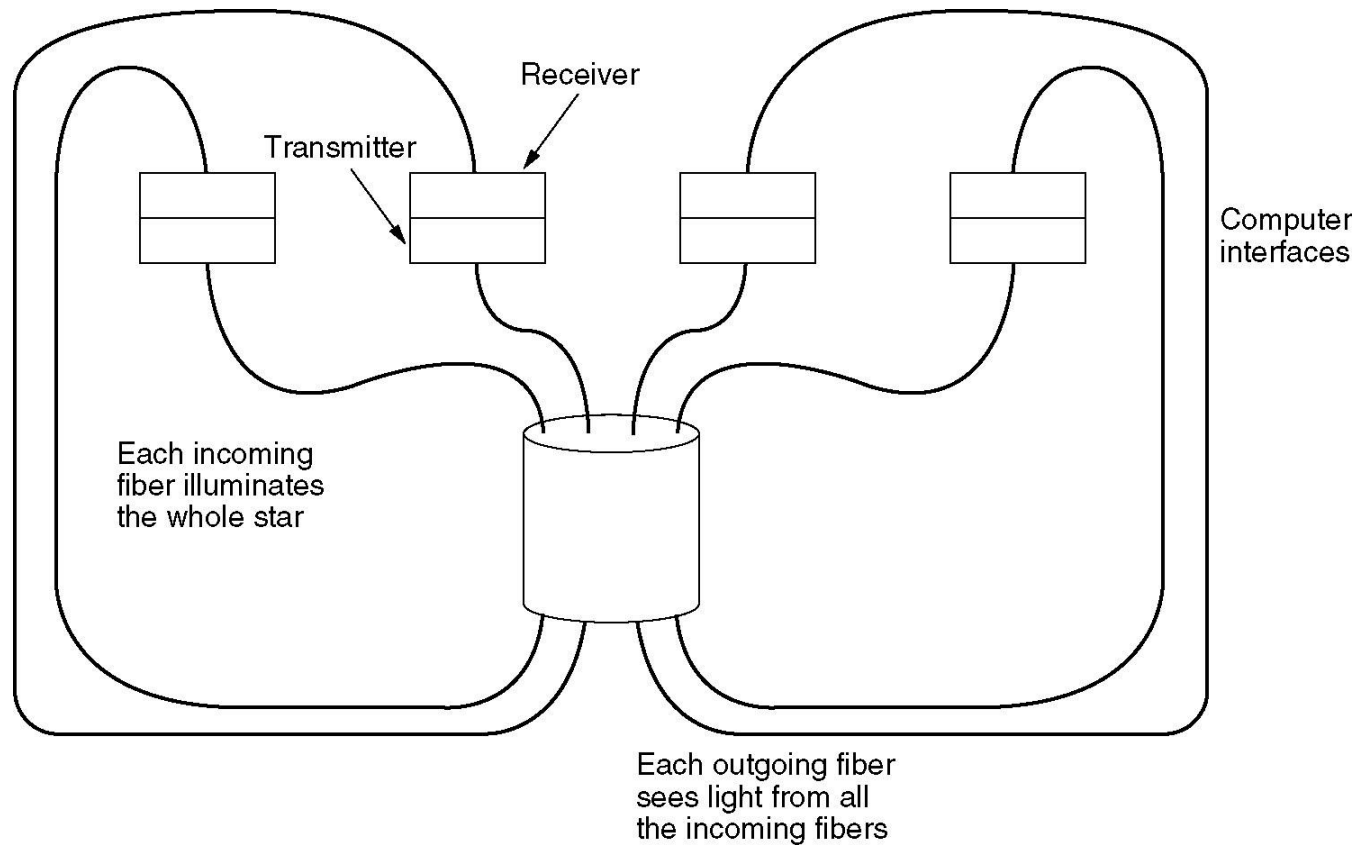
A fényforrásként szolgáló félvezető diódák és LED-ek összehasonlítása

Fényvezetőszálas hálózatok



Fényvezető szálas gyűrű aktív ismétlővel

Fényvezetőszálas hálózatok (2)



Passzív csillag egy fényvezetőszálas hálózatban

Vezeték nélküli adatátvitel

Az elektromágneses spektrum

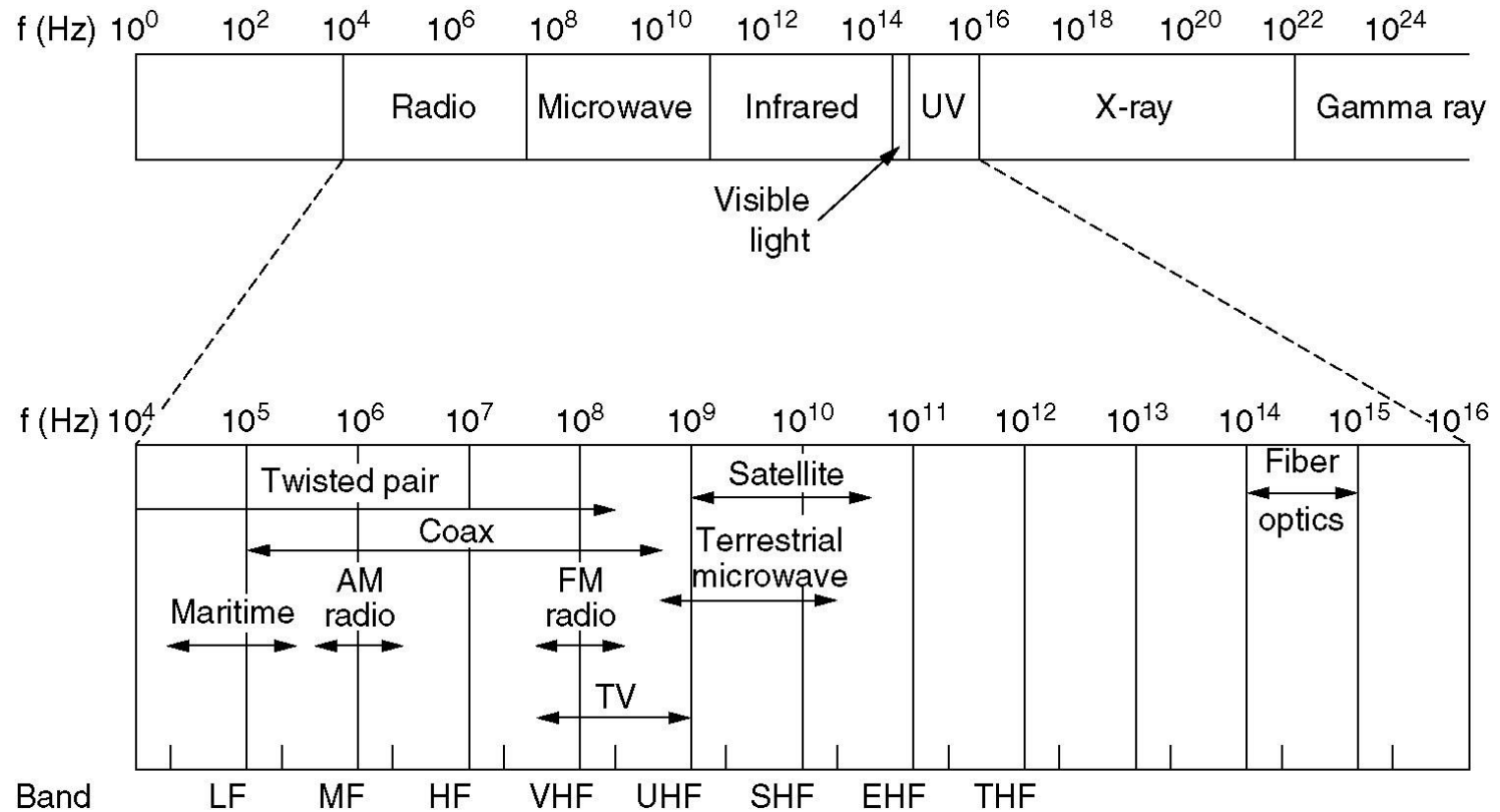
Rádiófrekvenciás átvitel

Microwave Transmission

Infrared and Millimeter Waves

Lightwave Transmission

Az elektromágneses spektrum



Az elektromágneses spektrum és kommunikációs felhasználása

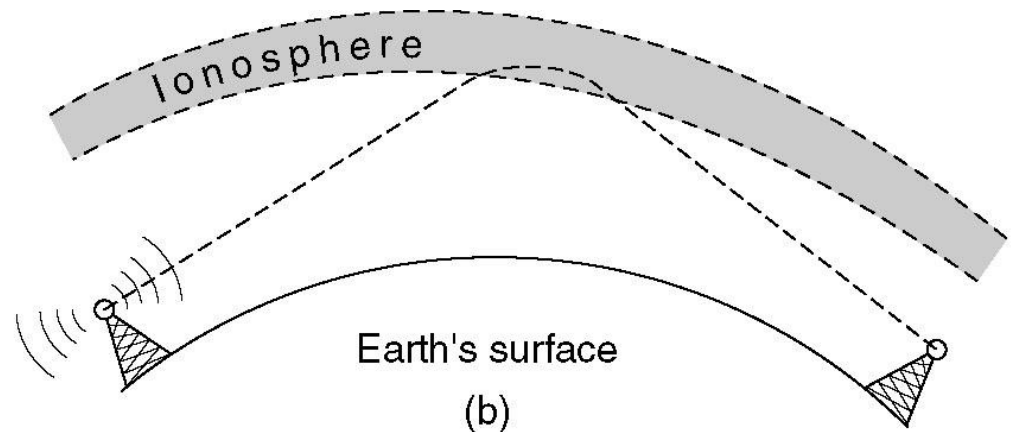
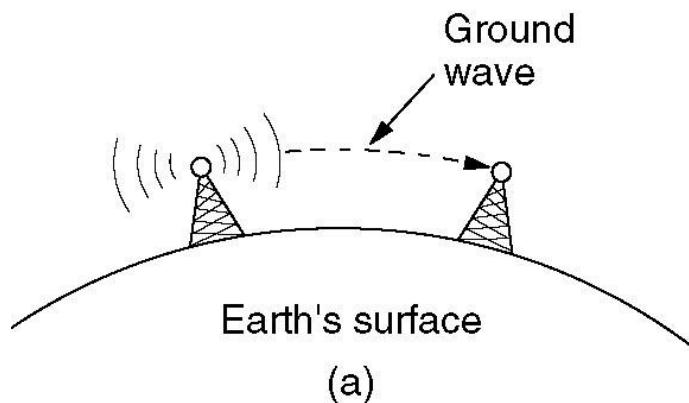
Példa:

$$df/d\lambda = -c/\lambda$$

$$\Delta f = c \Delta \lambda / \lambda$$

$$\Delta \lambda = 0,17 \times 10^{-6}, \lambda = 1,3 \times 10^{-6} ! \Delta f = 30 \text{ THz},$$
$$8 \text{ bit/Hz} ! 240 \text{ Tb/s}$$

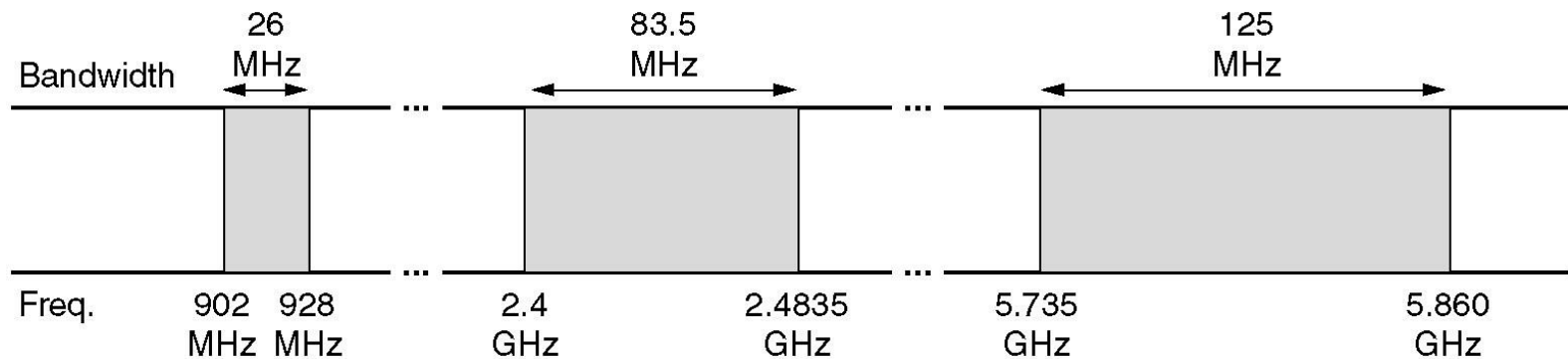
Rádiófrekvenciás átvitel



(a) A VLF, LF és MF sávban a hullámok követik a Föld görbületét.

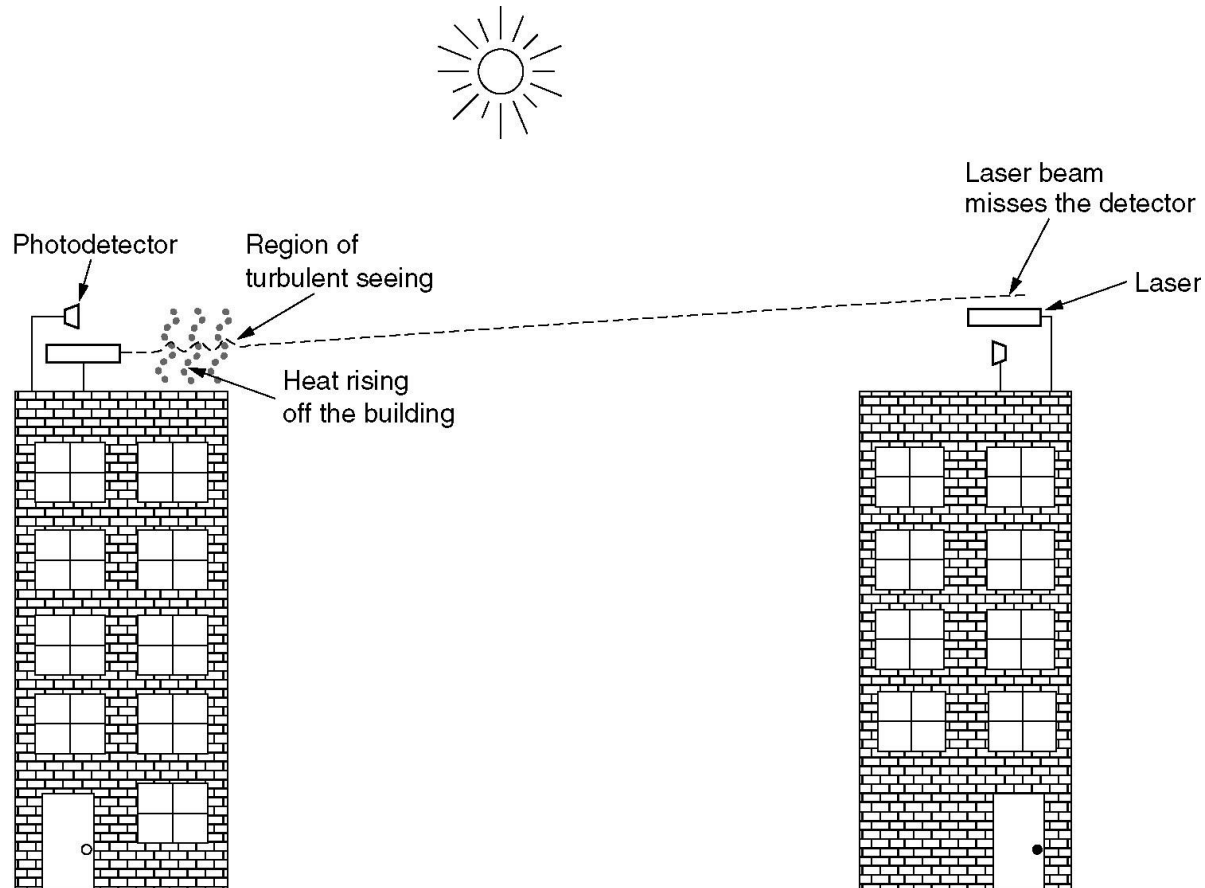
(b) A HF sávban visszaverődnek az ionoszféráról.

Az elektromágneses spektrum politikai vonatkozásai



The ISM bands in the United States.

Látható fénycsugár átvitel



A hőcsugárzások megzavarhatják a lézeres távközlési rendszerek működését. Kétirányú kommunikáció két lézerekkel.

Kommunikációs műholdak

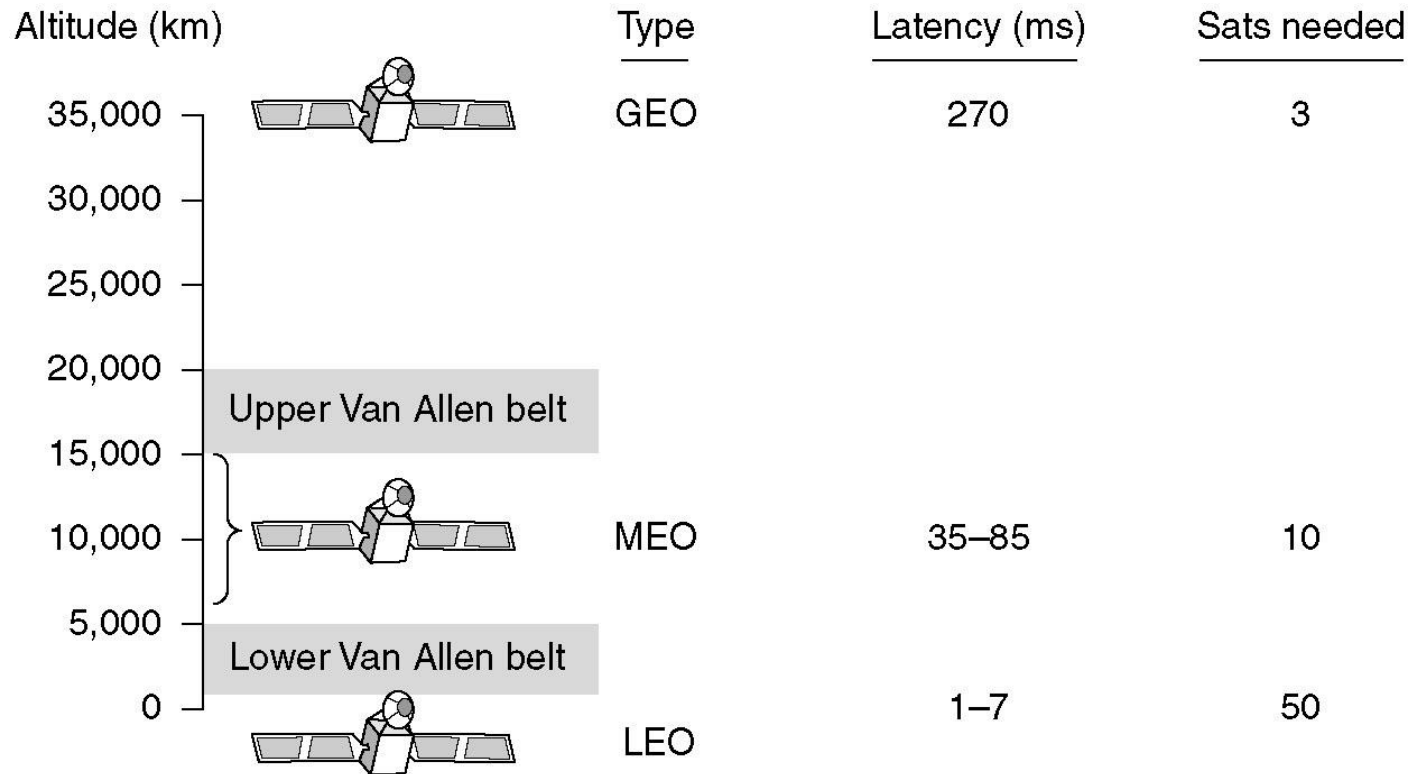
Geoszinkron műholdak

Közepes röppályás műholdak

Alacsony röppályás műholdak

Műholdak és fényvezető szálak
összehasonlítása

Kommunikációs műholdak



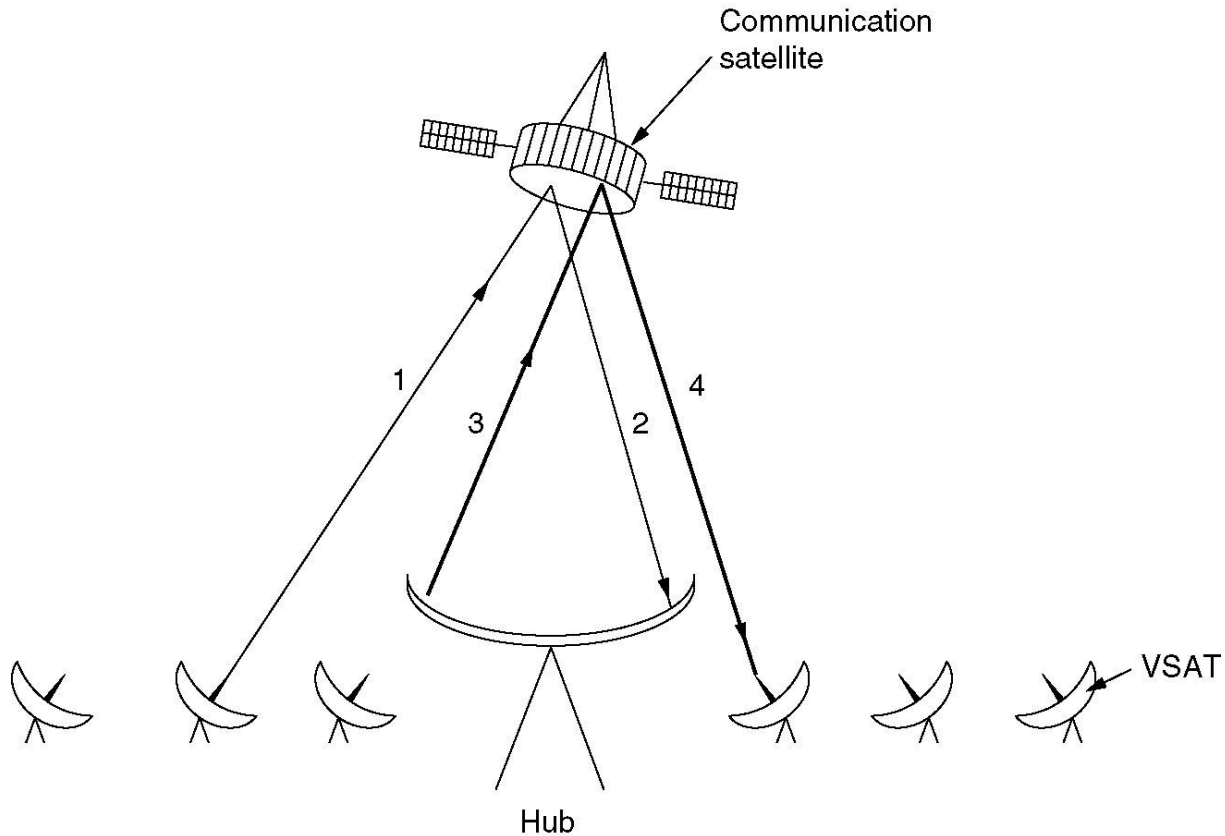
Kommunikációs műholdak és tulajdonságaik. Oda vissza
késleltetés és a Föld lefedéséhez szükséges holdak
száma.

Kommunikációs Műholdak (2)

Band	Downlink	Uplink	Bandwidth	Problems
L	1.5 GHz	1.6 GHz	15 MHz	Low bandwidth; crowded
S	1.9 GHz	2.2 GHz	70 MHz	Low bandwidth; crowded
C	4.0 GHz	6.0 GHz	500 MHz	Terrestrial interference
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	Rain
Ka	20 GHz	30 GHz	3500 MHz	Rain, equipment cost

A legfontosabb műholdas frekvenciasávok

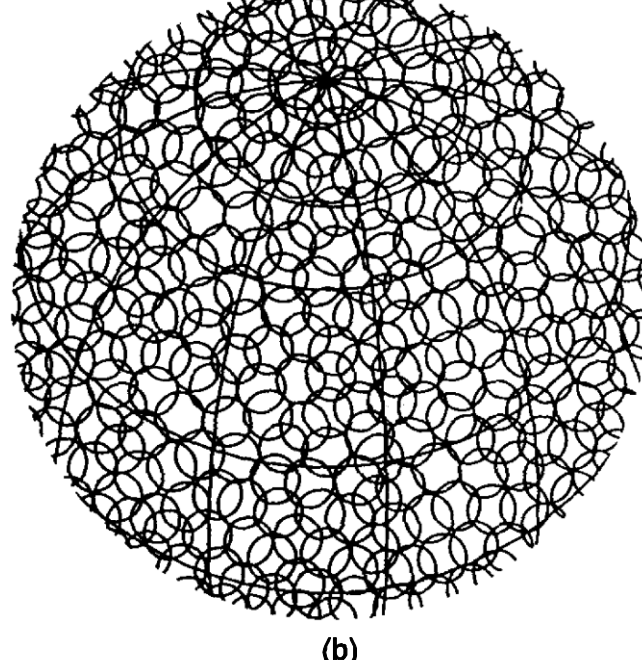
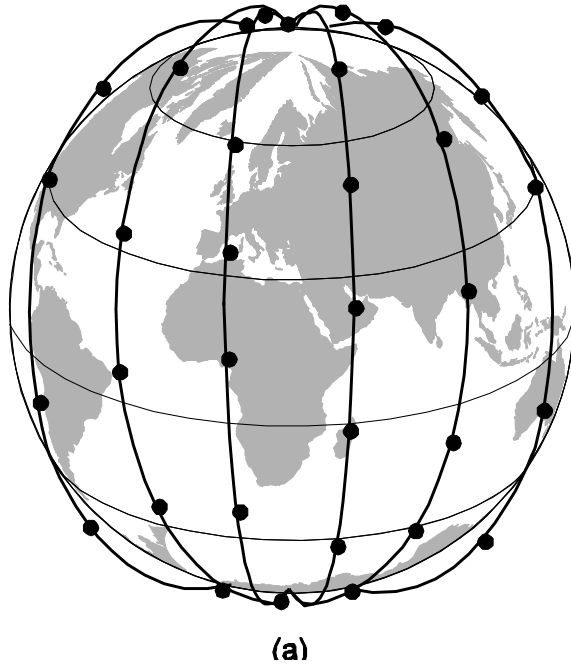
Communication Satellites (3)



VSAT (Very Small Aperture Terminal)

Alacsony röppályás műholdak

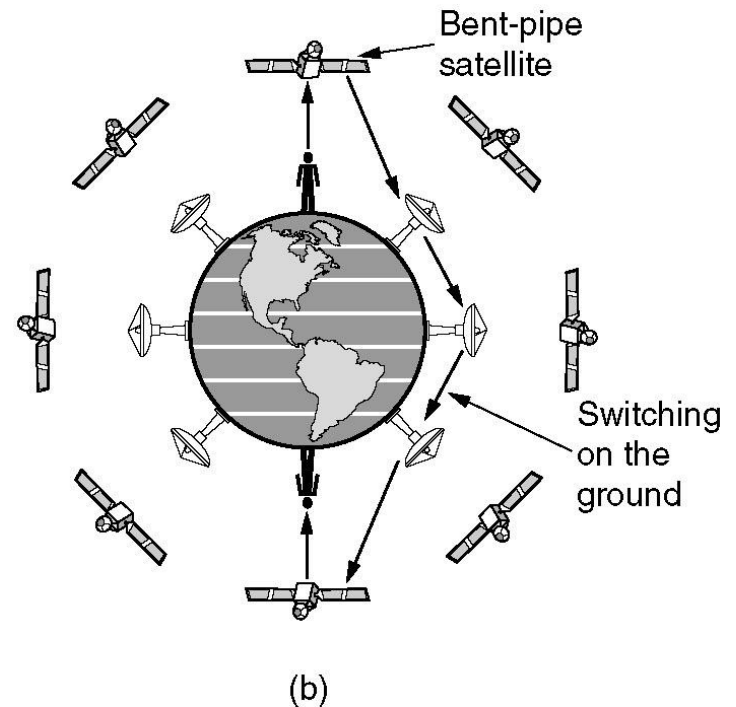
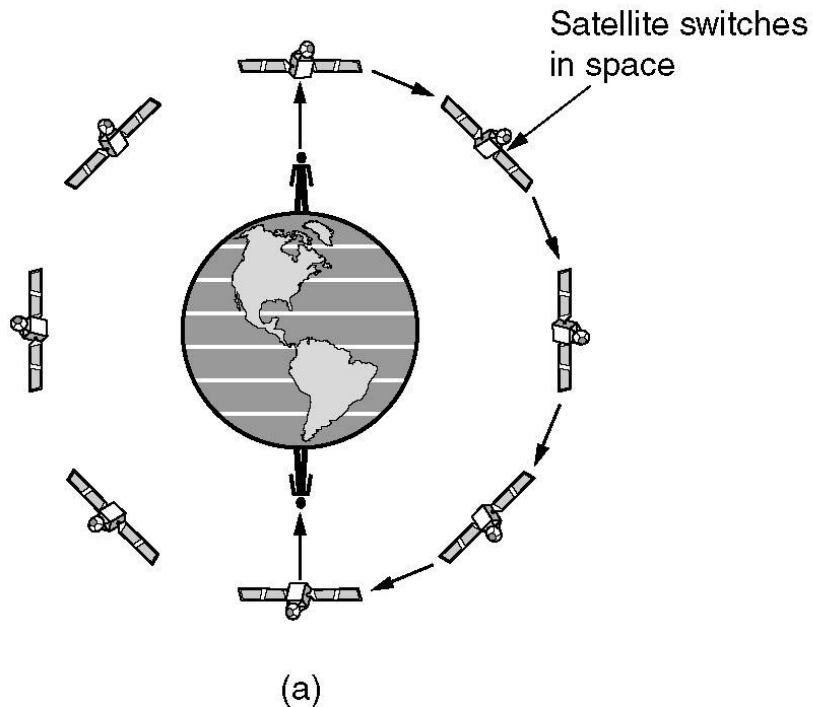
Iridium



(a) The Iridium satellites from six necklaces around the earth.

(b) 1628 moving cells cover the earth.

Globalstar



- (a) Továbbítás az űrben
(b) Továbbítás a felszínen

Nyilvánosan kapcsolt telefonhálózat

A távbeszélőrendszer felépítése

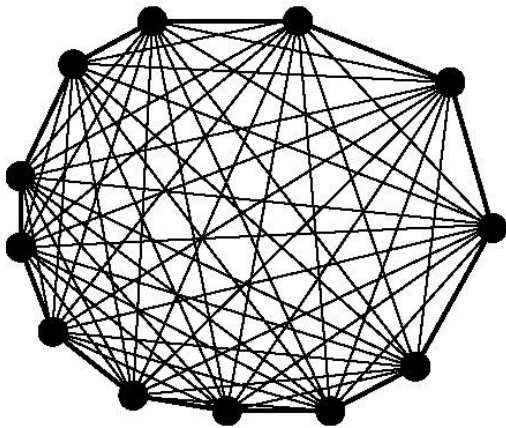
Távközlési politika

Az előfizetői hurok: modemek, ADSL és
vezetéknélküli megoldások

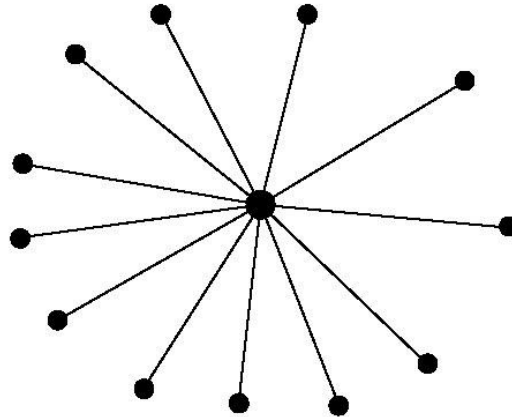
Trónkók és multiplexelés

Kapcsolási módok

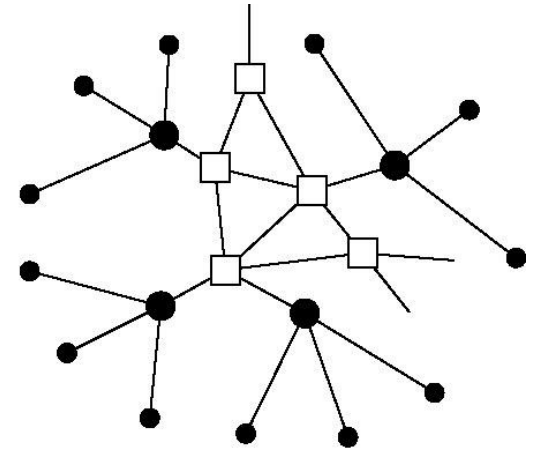
A távbeszélőrendszer felépítése



(a)



(b)



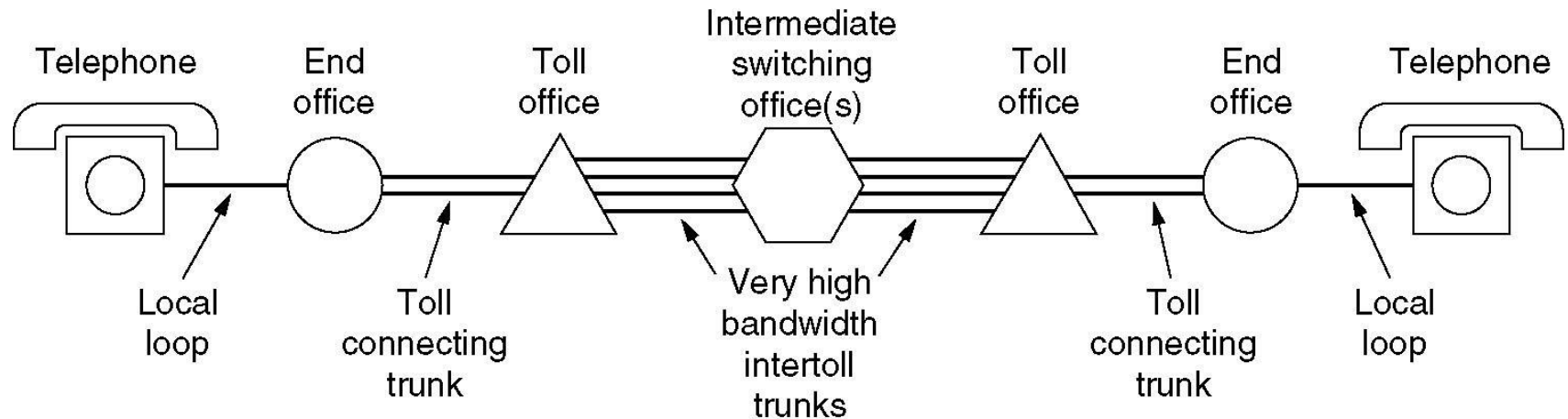
(c)

(a) Teljesen összekapcsolt

(b) Központosított kapcsoló

(c) Kétszintű hierarchia (Bell 1876-tól)

A távbeszélőrendszer felépítése (2)



Tipikus áramköri út egy közepes távolságú hívás esetén
(helyi központ, távhívó központ, közbülső kapcsoló központ(ok))
(előfizetői hurok, helyközi trönk, nagysáv szélességű központi trönk)

A távbeszélőrendszer főbb komponensei

Előfizetői hurok

- Analóg sodrott érpárok a házakhoz és irodákhoz

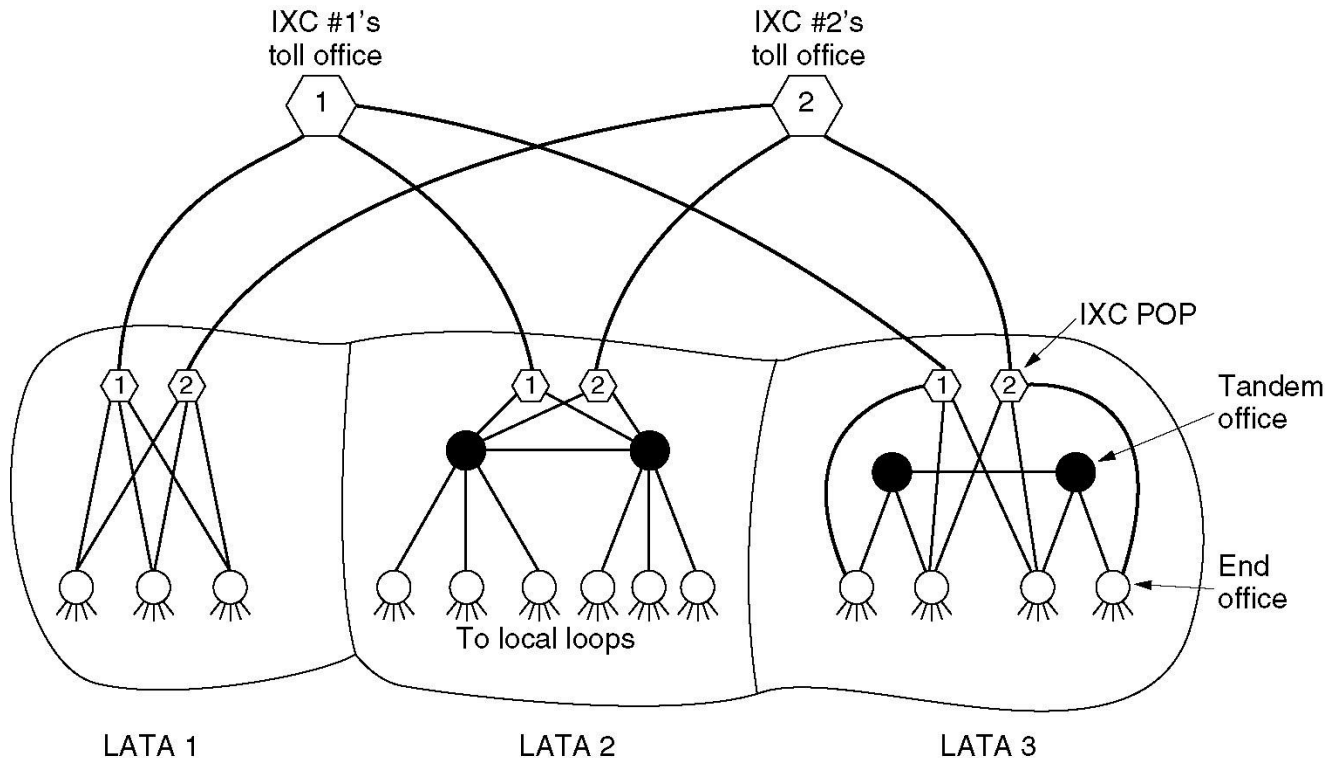
Tronkók

- A kapcsolóközpontokat összekötő digitális fényvezető szálak

Kapcsolóközpontok

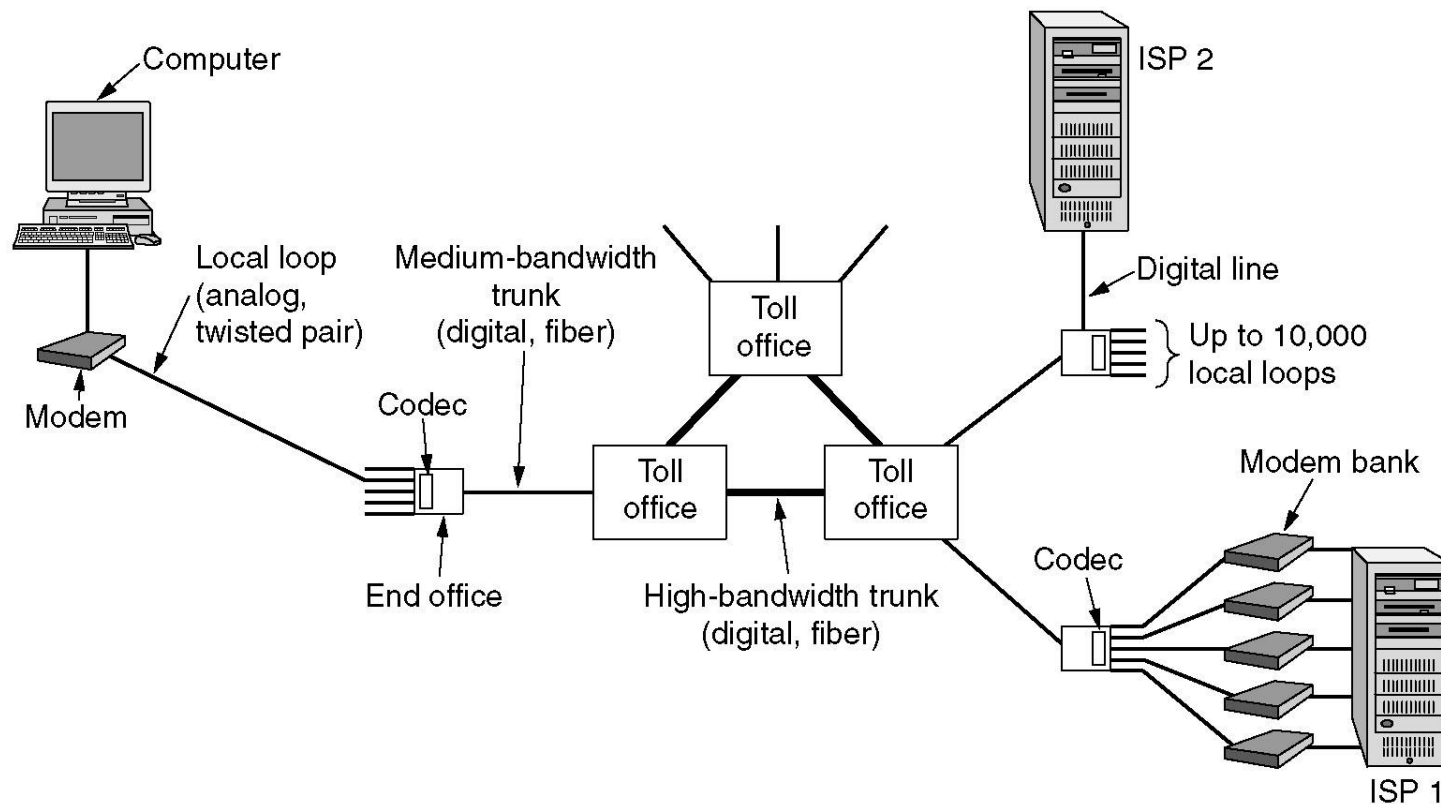
- Ahol a hívásokat átteszik az egyik tronkról a másikra

Távközlési politika



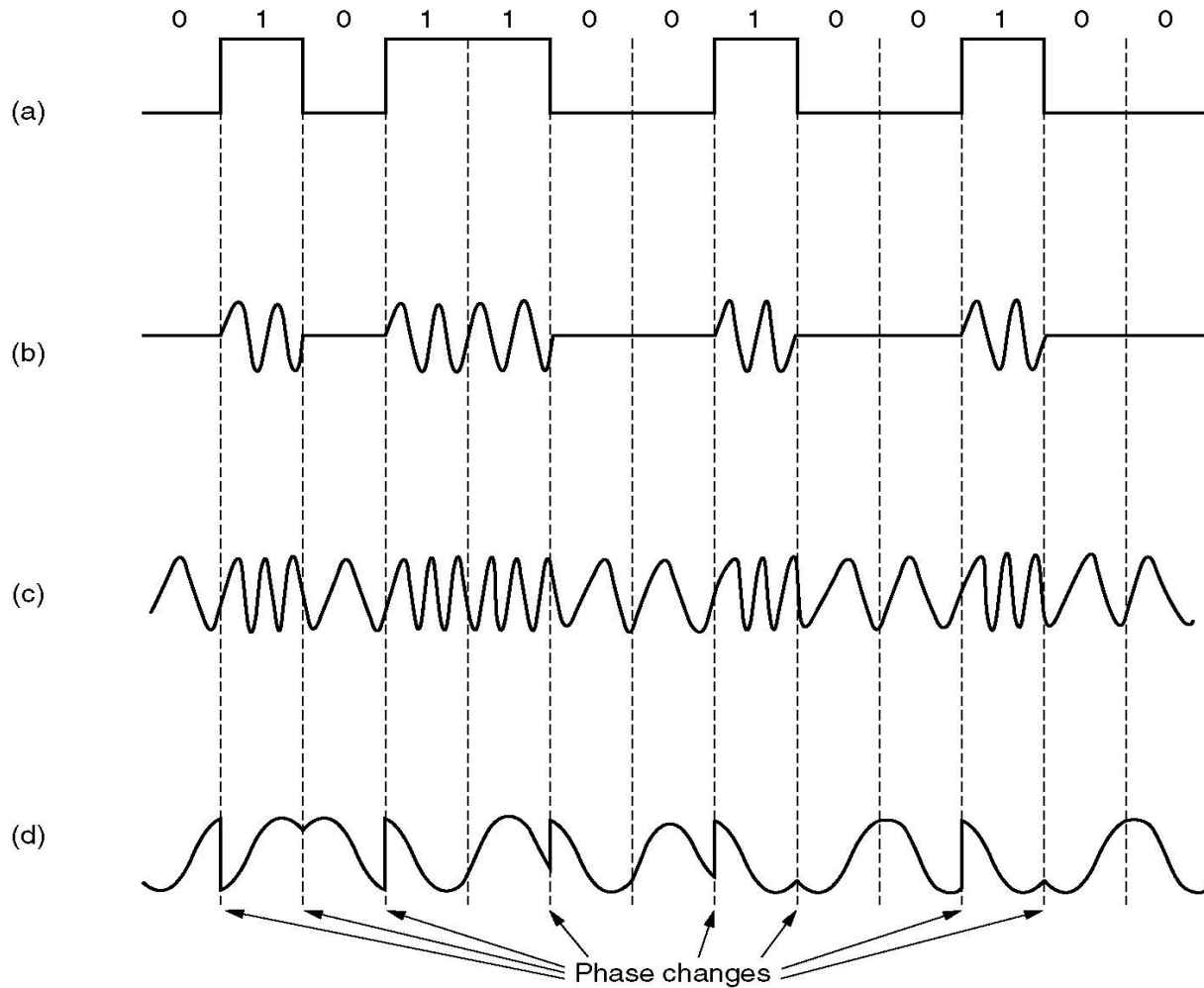
A helyi körzetek, a helyi szolgáltatók és aközvetítő távbeszélő szolgáltatók közötti kapcsolat. A körök a helyi szolgáltatók telefonközpontjait jelölik. A számozott hatszögek a közvetítő távbeszélő szolgáltatókat jelölik.

Az előfizetői hurok: modemek, ADSL- és vezeték nélküli megoldások



Az analóg és digitális átvitel használata egy számítógép-számítógép hívás során. Az átalakításokat a modemek és a kodekek végzik.

Modemek



(a) Digitális jel.

(b) Amplitudómoduláció

(c) Frekvenciamoduláció

(d) Fázismoduláció

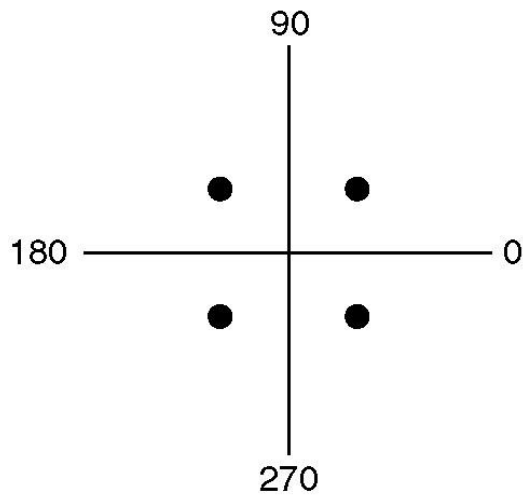
2400 mintavétel másodpercenként (3000 Hz levágás)

pl. 2 szint (0 és 1 Volt) 1 bit, 2400 bit/sec

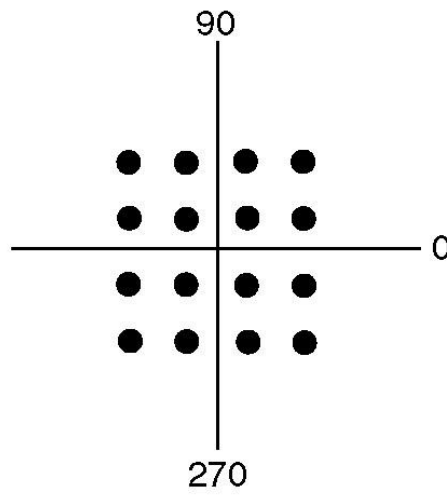
4 szint, 2 bit 4800 bit/sec

Szint és fázis kombinálható

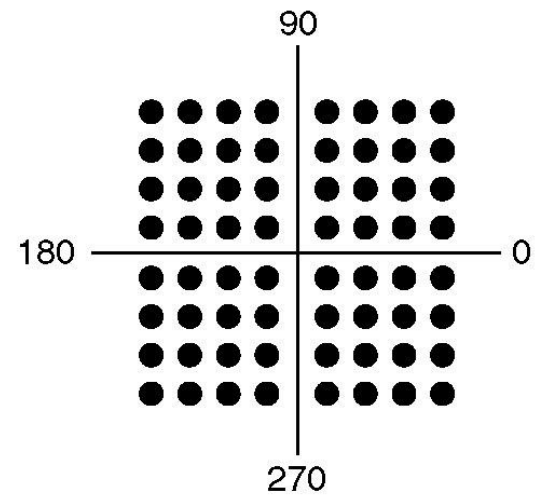
Csillagképdiagrammok



(a)



(b)



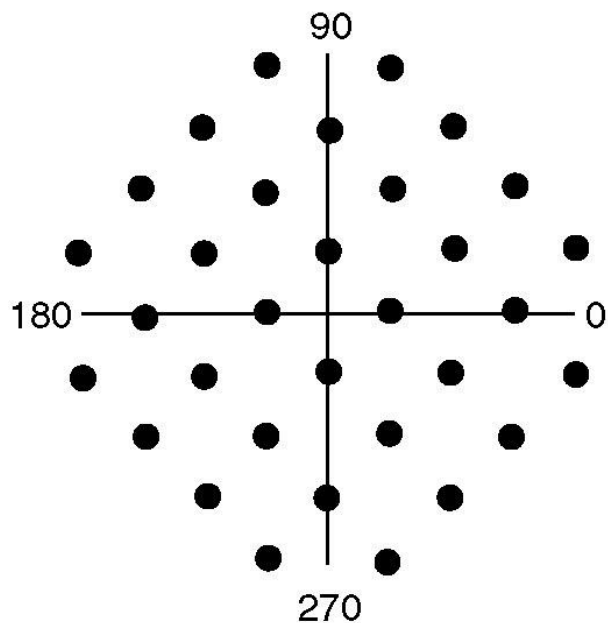
(c)

(a) QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

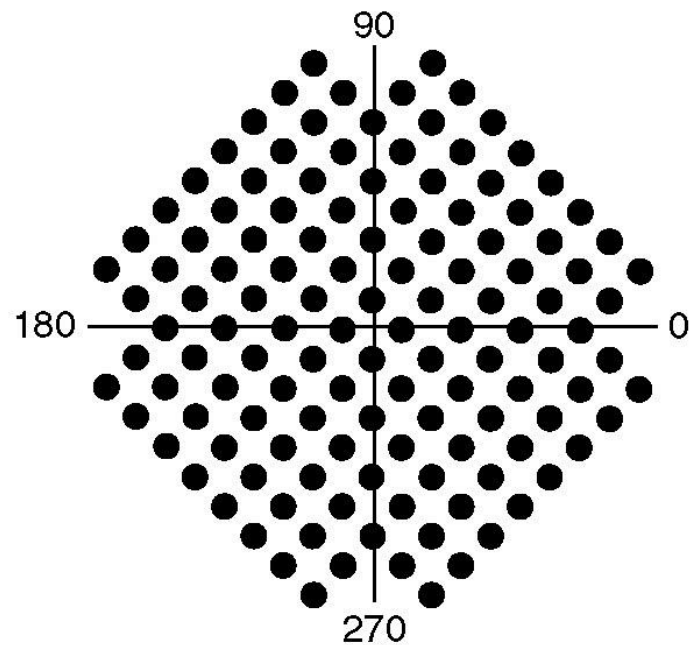
(b) QAM-16.

(c) QAM-64.

Modemek (3)



(a)

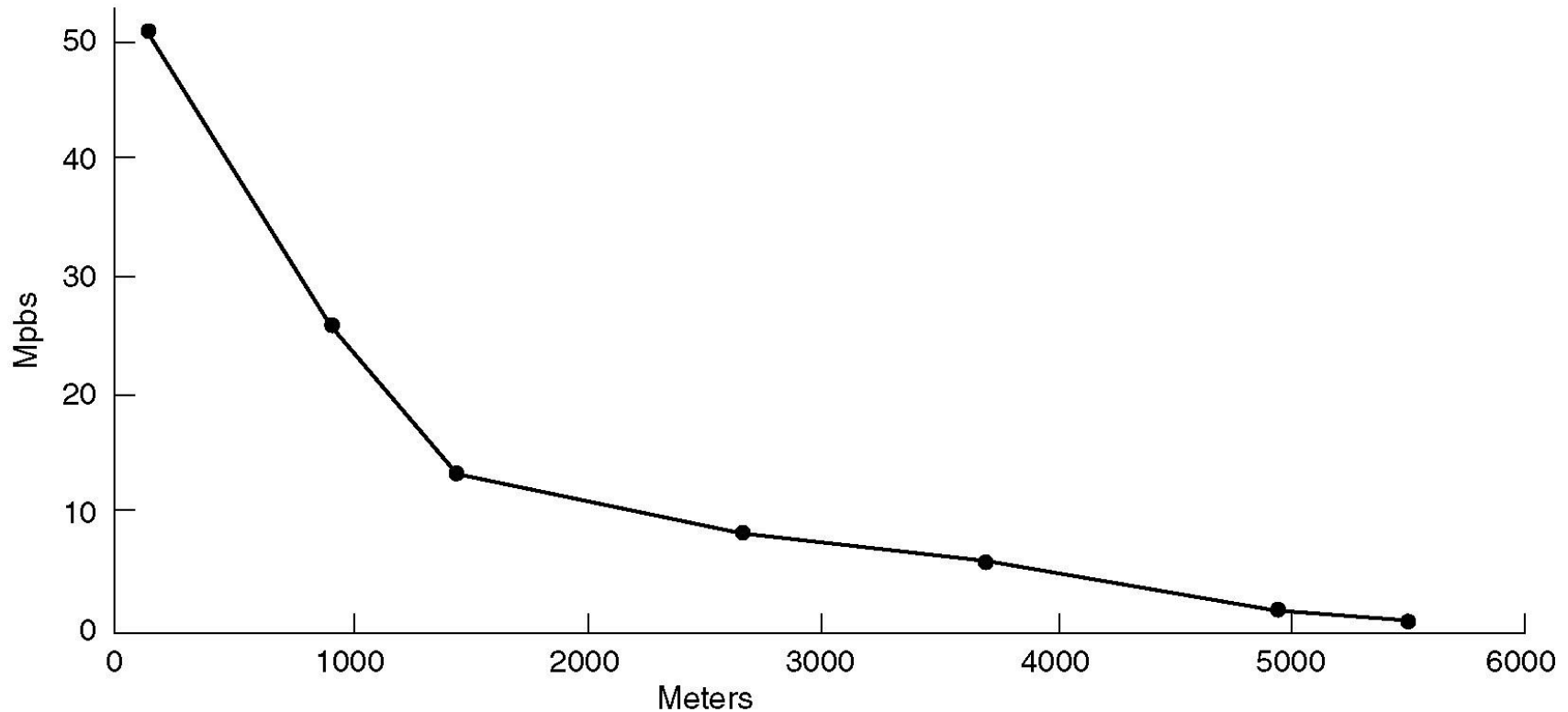


(b)

(a) V.32 szabvány 9600 bps-hez.

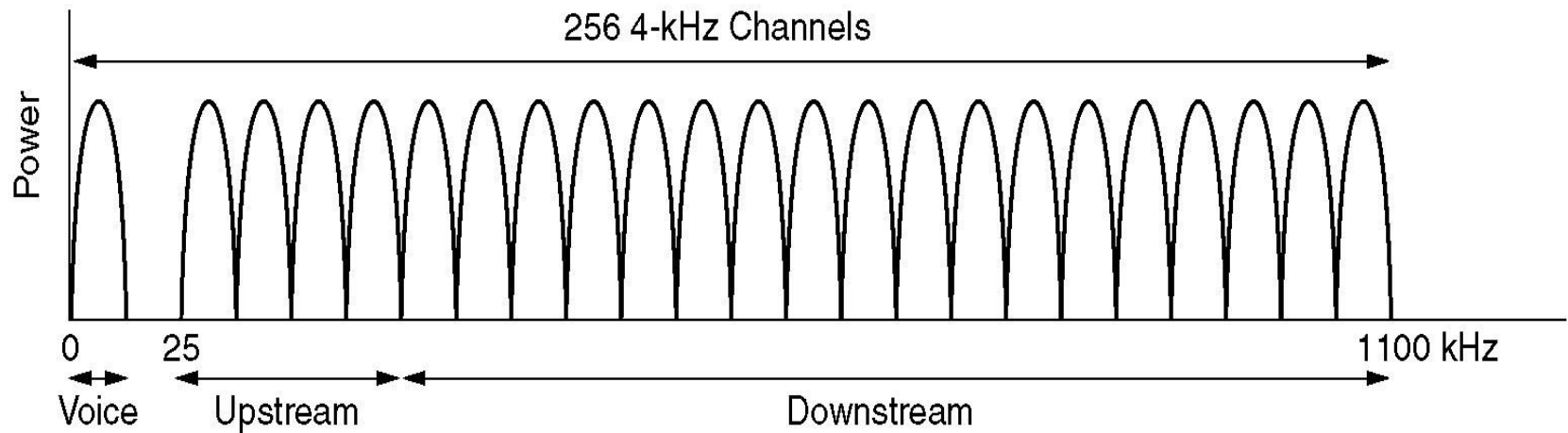
(b) V32 szabvány 14,400 bps-hez.

Digitális előfizetői vonalak



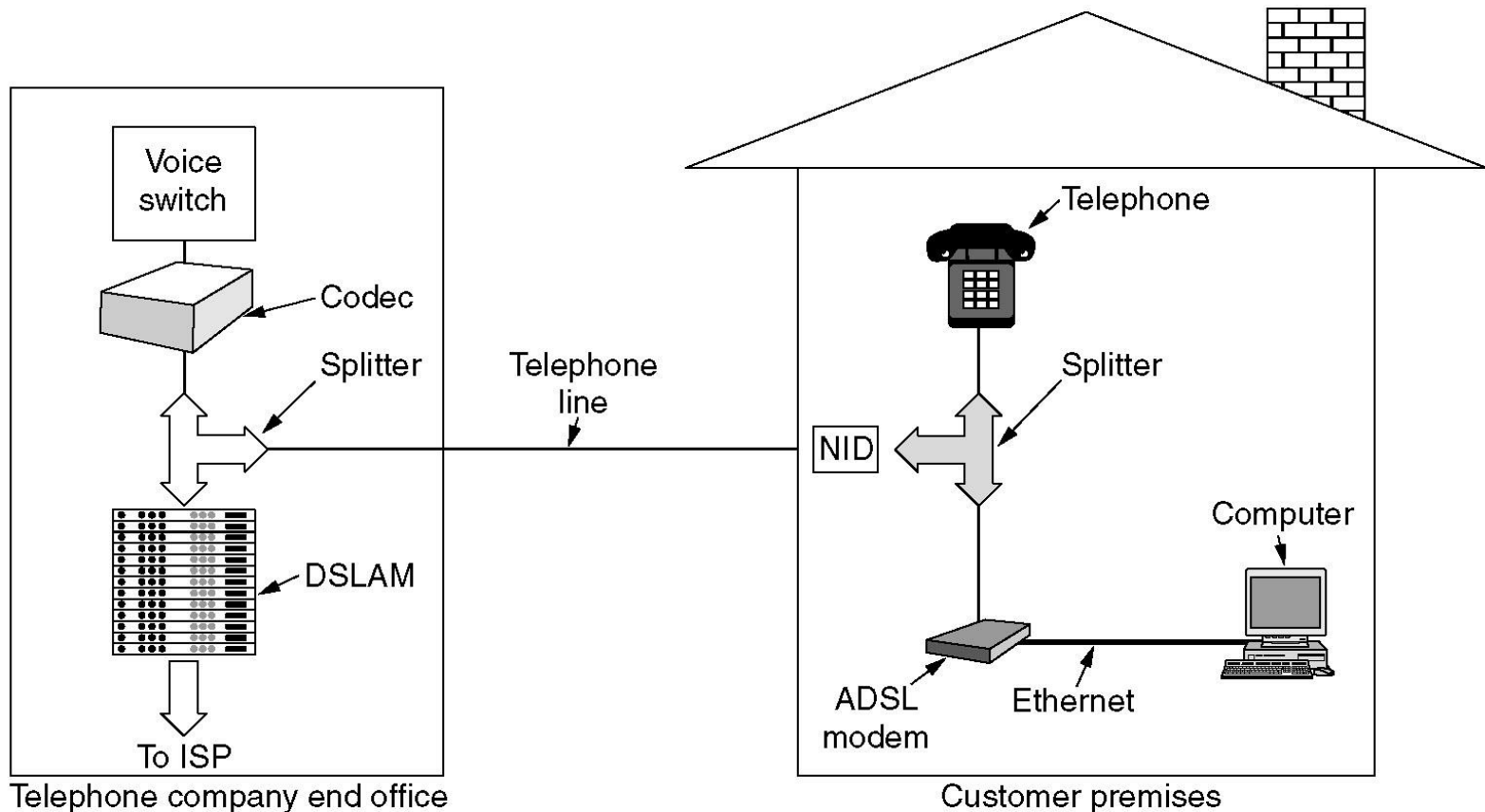
A DSL-en (Digital Subscriber Line) 3-as UTP-vel elérhető legnagyobb adatsebesség a távolság függvényében

Digitális előfizetői vonalak (2)



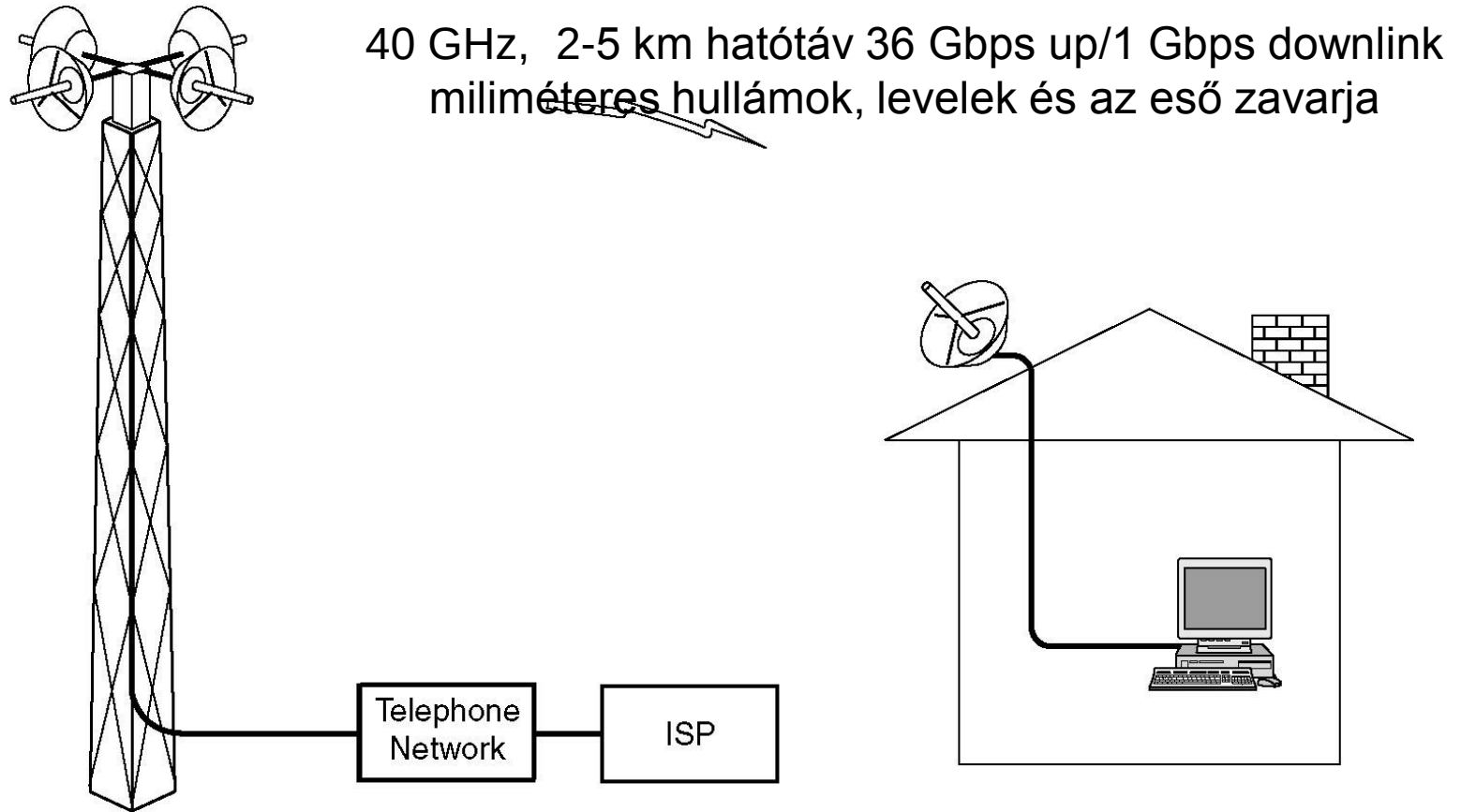
A diszkrét többtónusú modulációt használó ADSL (Asymmetric DSL) működése (256 csatorna, 0 hang, 1-5 üres, 6-37 fel, többi letöltésre)

Digitális előfizetői vonalak (3)



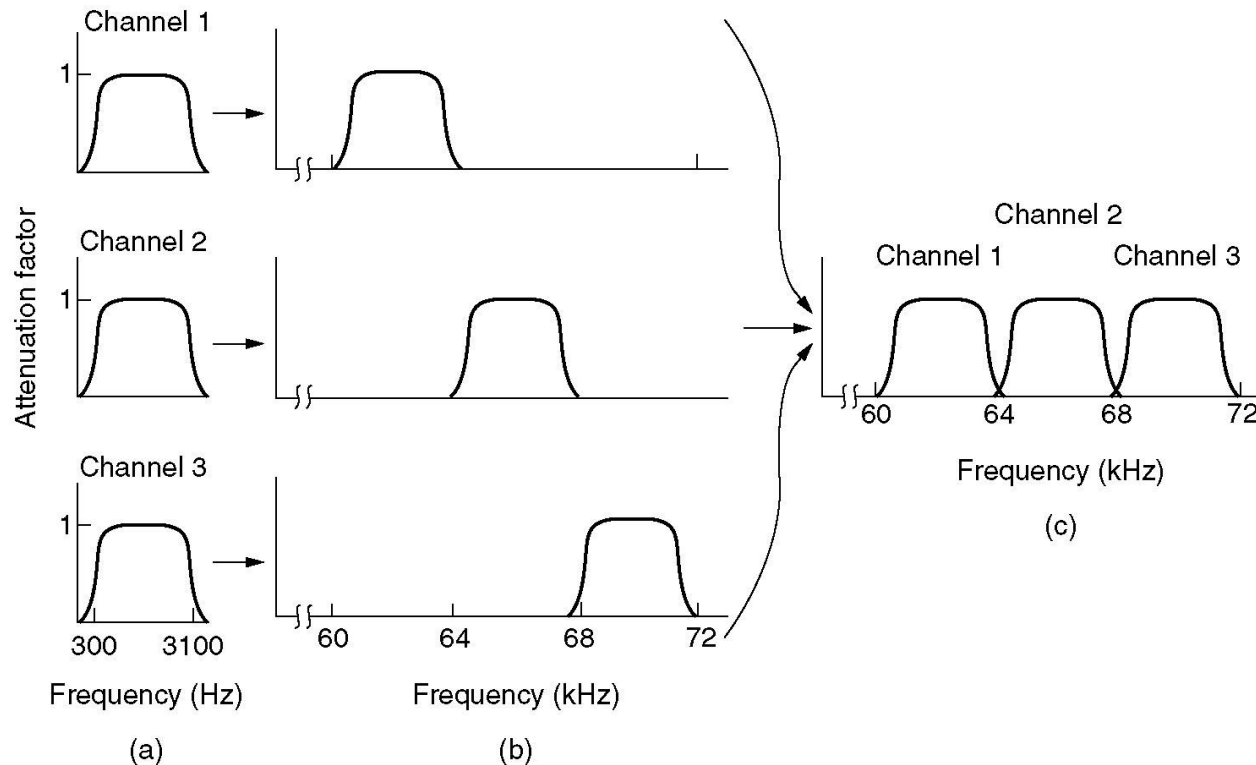
Az ADSL-eszközök egy tipikus elrendezése.
(DSL Access Multiplexer DSLAM, frekvenciavágó)

Vezeték nélküli előfizetői hurok



Az LMDS (Logical Multipoint Distribution Service) vagy vezetéknélküli MAN rendszer elrendezése

Frekvenciaosztásos multiplexelés

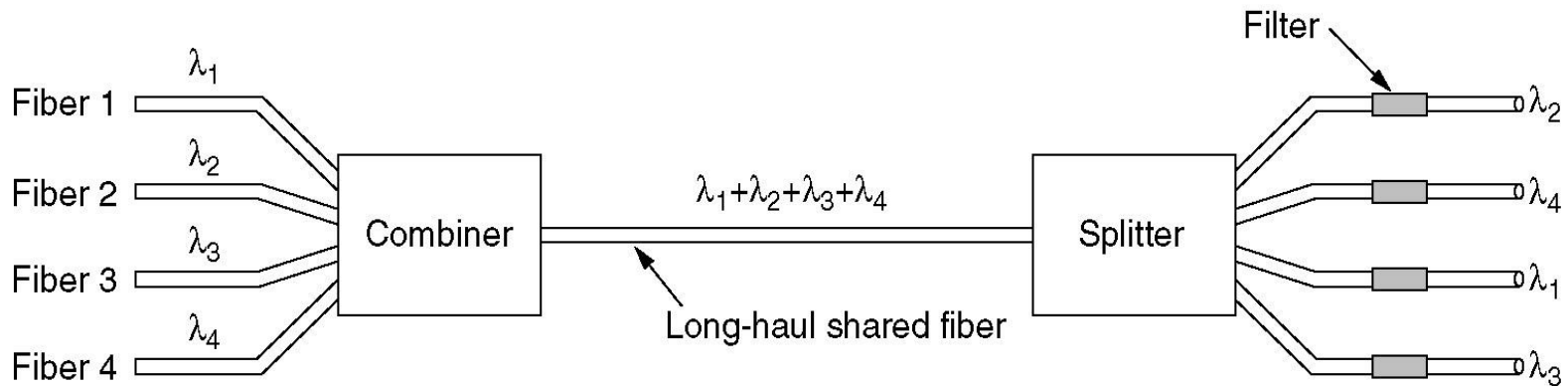
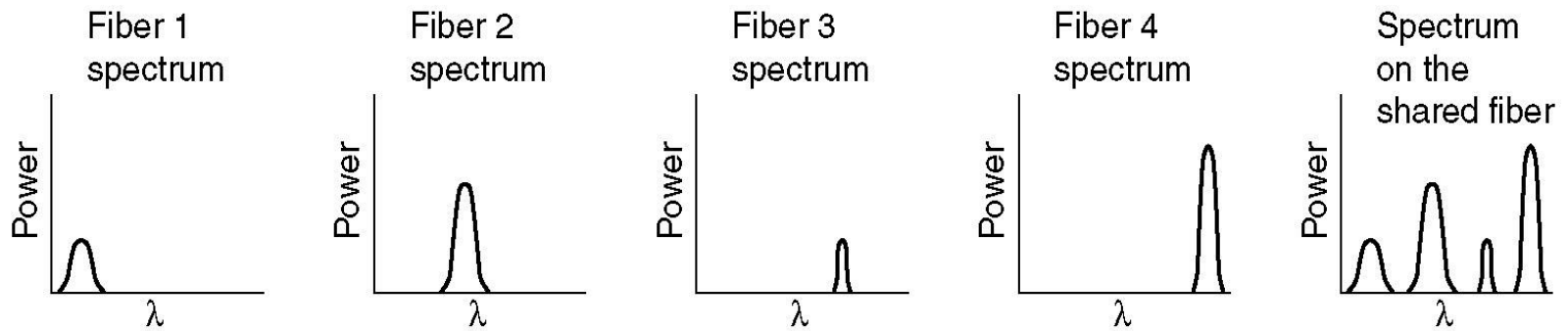


(a) Az eredeti sáv szélességek.

(b) A frekvenciatartományban eltolt sáv szélességek.

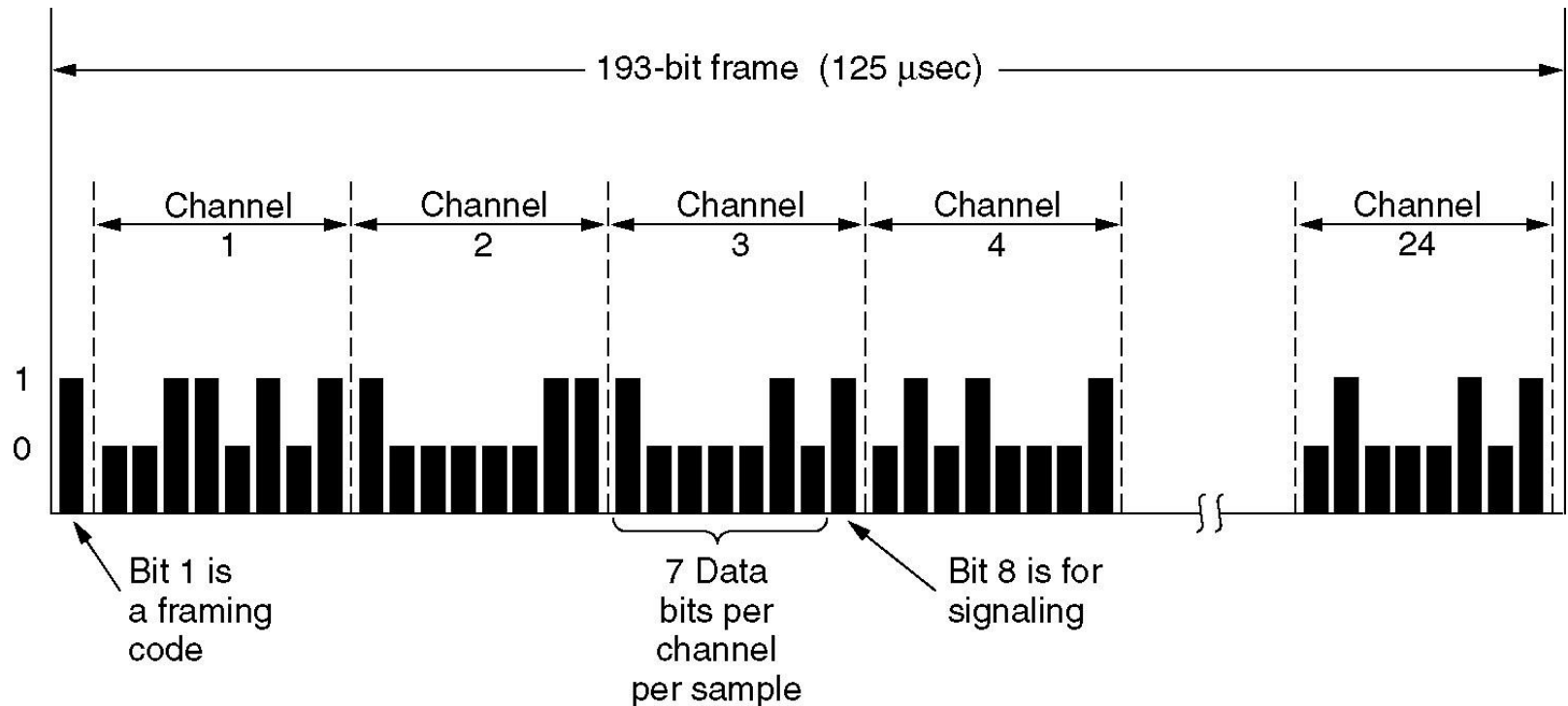
(c) A multiplexelt csatorna.

Hullámhosszosztásos multiplexelés



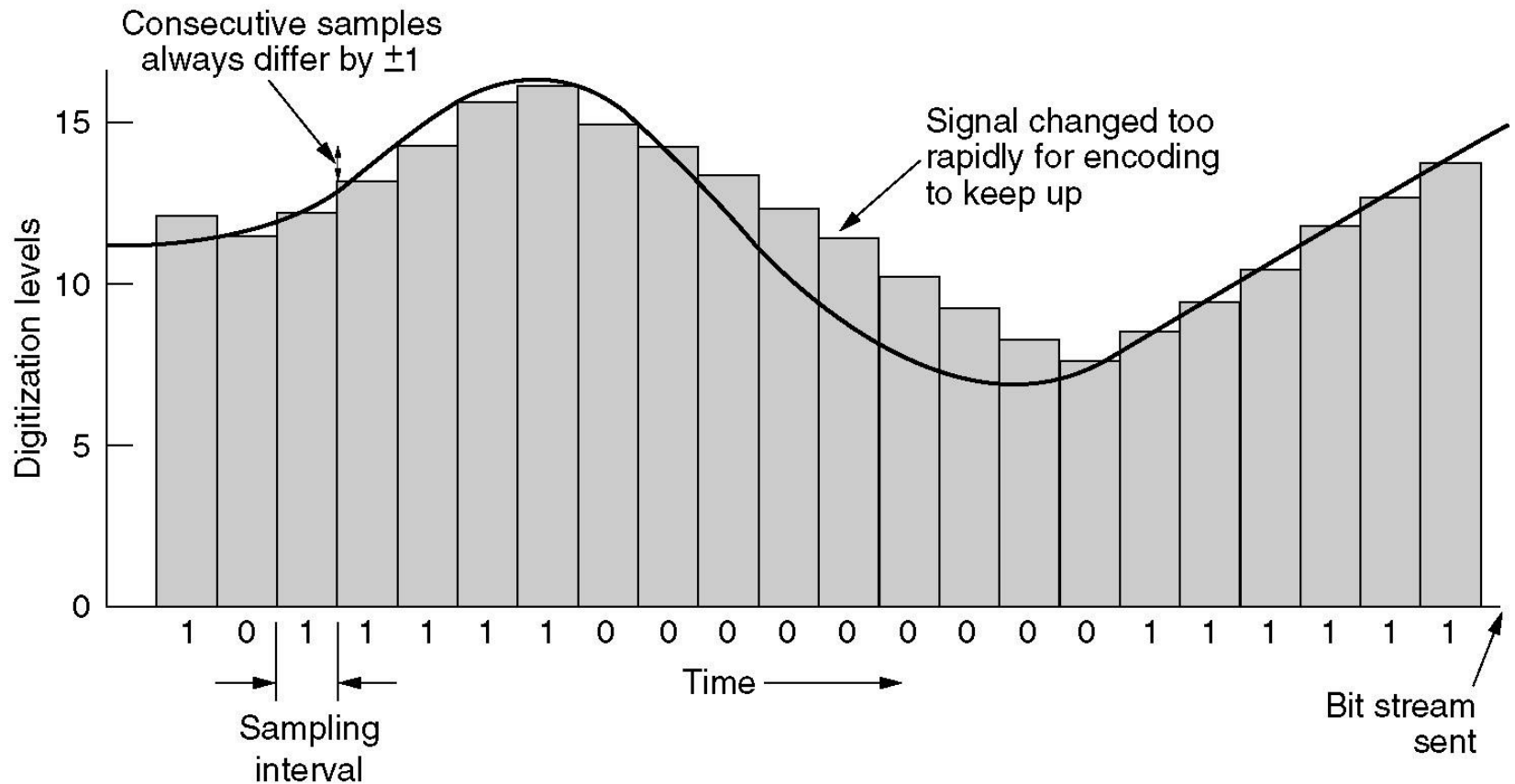
Hullámhosszosztásos multiplexelés (WDM).
(Pl. 96 db 10 Gbps csatornát fog össze Dense WDM)

Időosztásos multiplexelés (TDM)



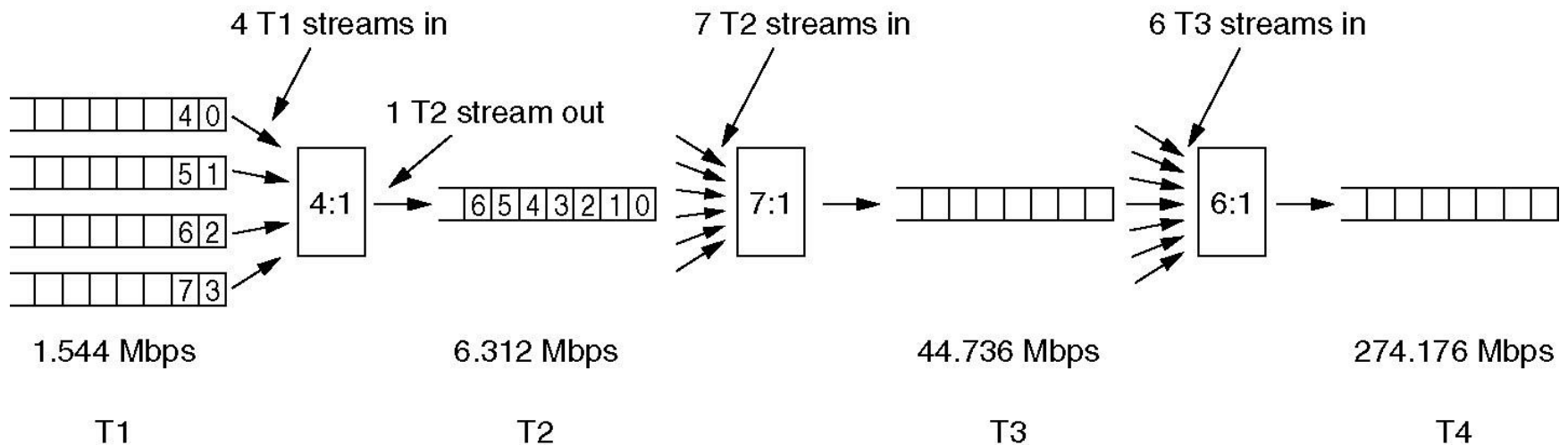
A T1 vivő (1,544 Mbps). Az 1 bites keretezési kód, mintánként 7 adatbit minden csatornán. 8. bit jelzési célra. 24 beszédcsatorna nyalábolva

Időosztásos multiplexelés (2)



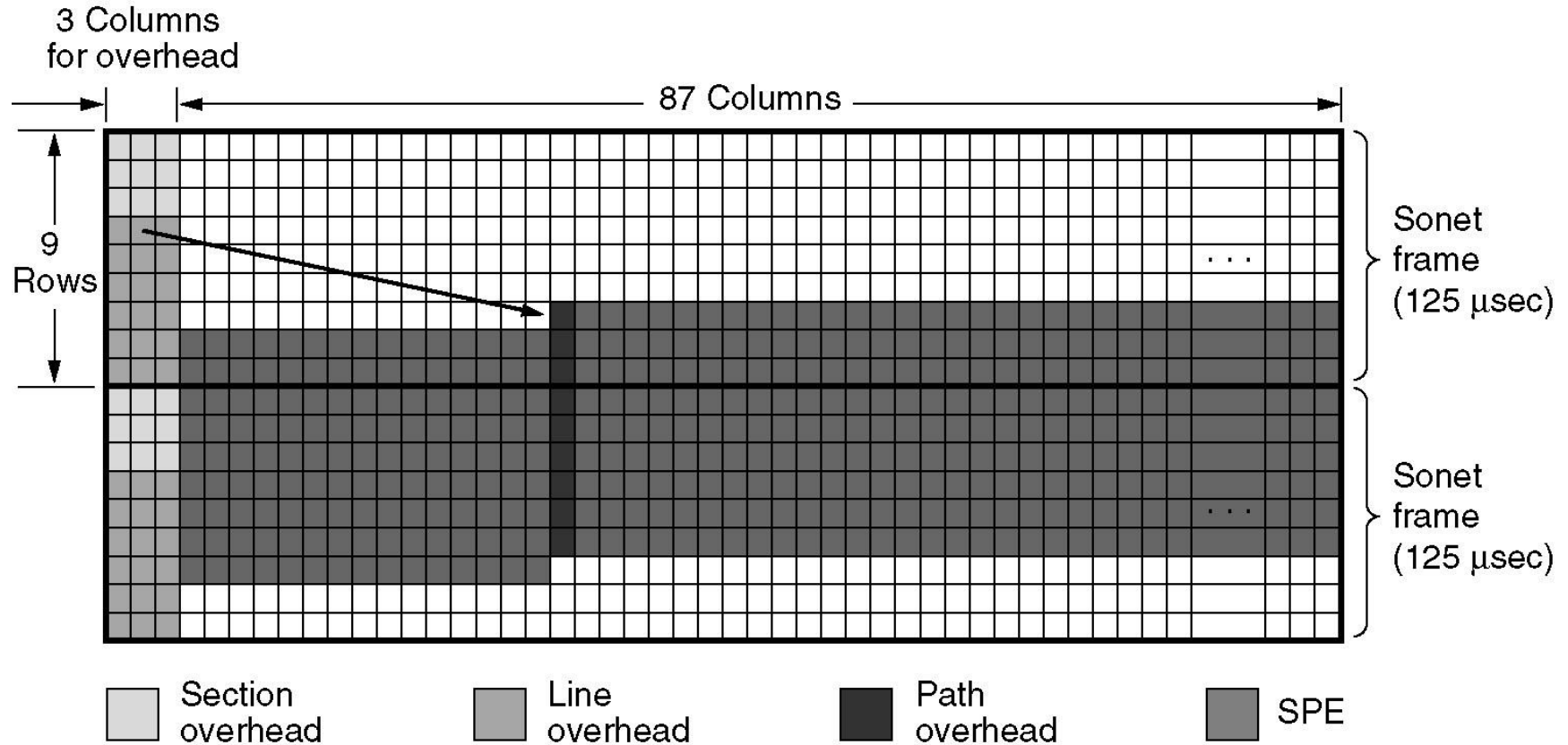
Deltamoduláció. (Hasonló még a predictive encoding.)

Időosztásos multiplexelés (3)



T1 vivők multiplexelése magasabb vivőkre.

Időosztásos multiplexelés (4)



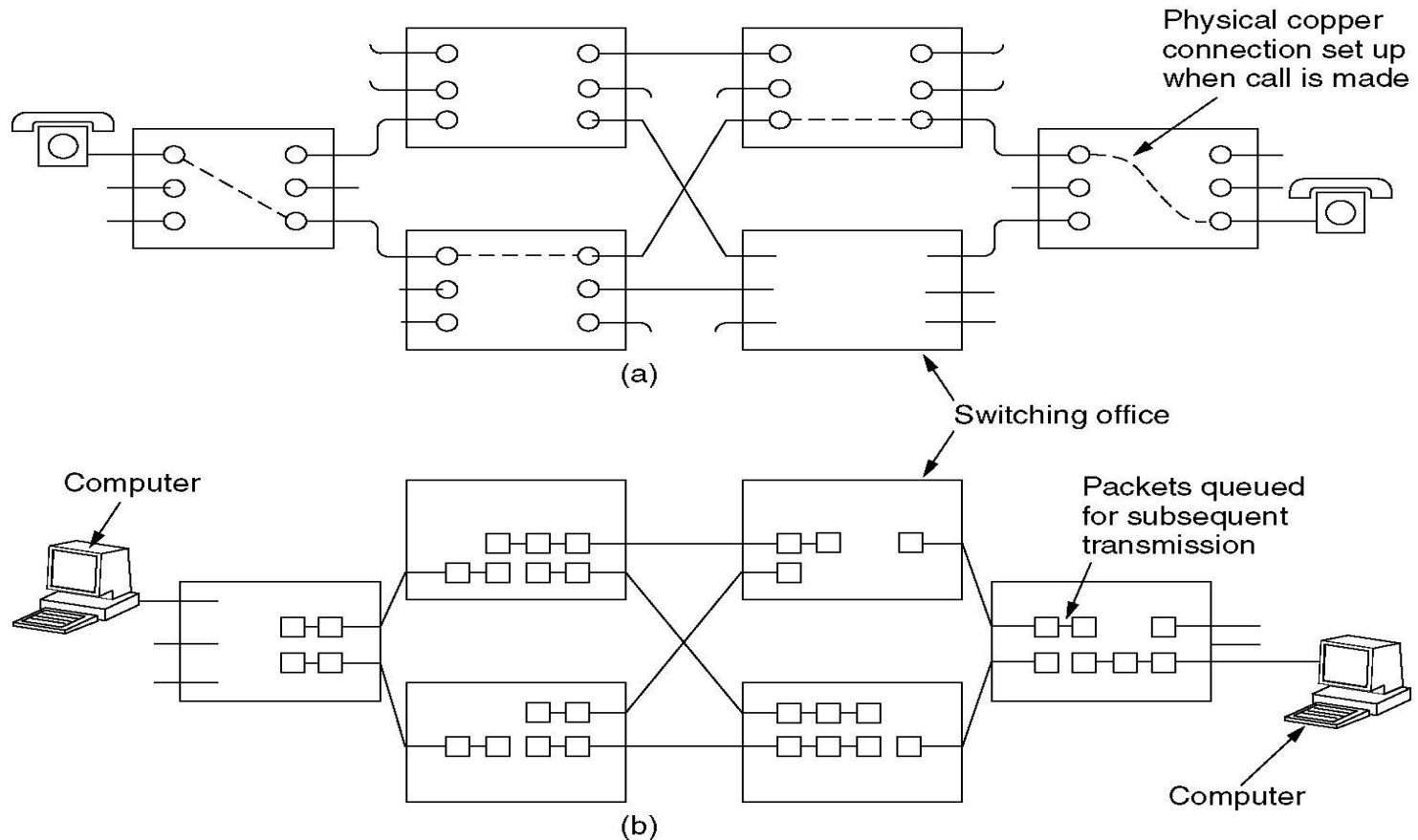
Két SONET-keret egymás után (Synchronous Optical Network)

Időosztásos multiplexelés (5)

SONET		SDH	Data rate (Mbps)		
Electrical	Optical	Optical	Gross	SPE	User
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008	445.824
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016	891.648
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16	1202.688	1188.864
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24	1804.032	1783.296
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28	9621.504	9510.912

Fényvezető szálak szabványok (OC Optical Carrier)

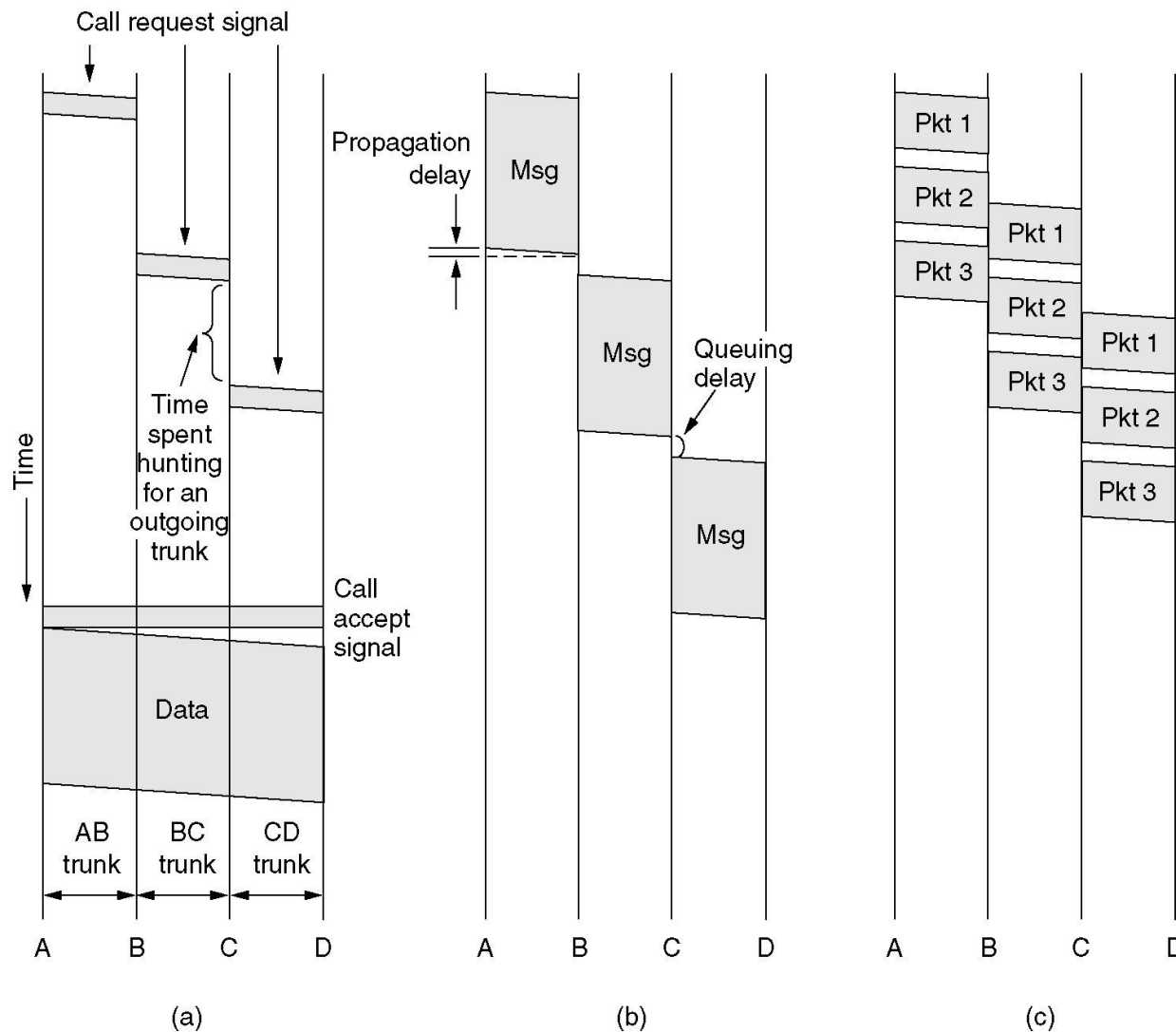
Kapcsolási módok



(a) Vonalkapcsolás.

(b) Csomagkapcsolás.

Események időzítése



(a) Vonalkapcsolt (b) Üzenetkapcsolt (c) Csomagkapcsolt

A vonalkapcsolt és csomagkapcsolt hálózatok összehasonlítása

Item	Circuit-switched	Packet-switched
Call setup	Required	Not needed
Dedicated physical path	Yes	No
Each packet follows the same route	Yes	No
Packets arrive in order	Yes	No
Is a switch crash fatal	Yes	No
Bandwidth available	Fixed	Dynamic
When can congestion occur	At setup time	On every packet
Potentially wasted bandwidth	Yes	No
Store-and-forward transmission	No	Yes
Transparency	Yes	No
Charging	Per minute	Per packet

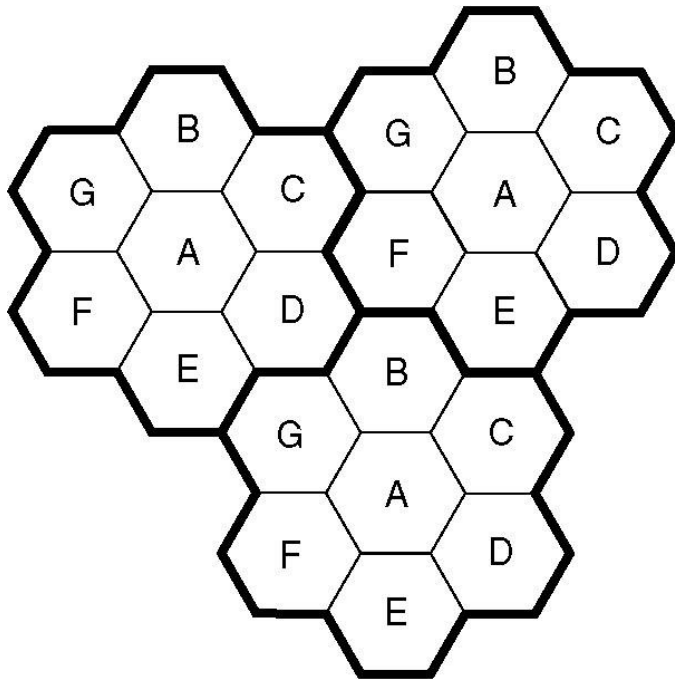
A mobiltelefon-rendszer

Első generációs
Analóg beszéd

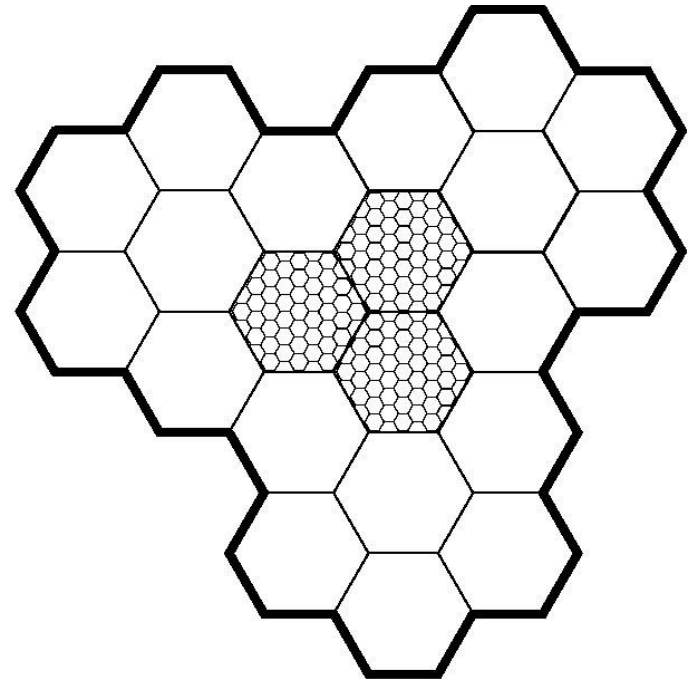
Második generációs:
Digitális beszédátvitel

Harmadik generációs:
Digitális beszéd- és adatátvitel
(internet, e-mail)

A fejlett mobiltelefon-rendszer



(a)



(b)

- (a) A frekvenciákat nem használják a szomszédos cellákban.
- (b) Több felhasználó kiszolgálására kisebb cellákat lehet definiálni.

Csatornák

The 832 channels are divided into four categories:

Control (base to mobile) to manage the system

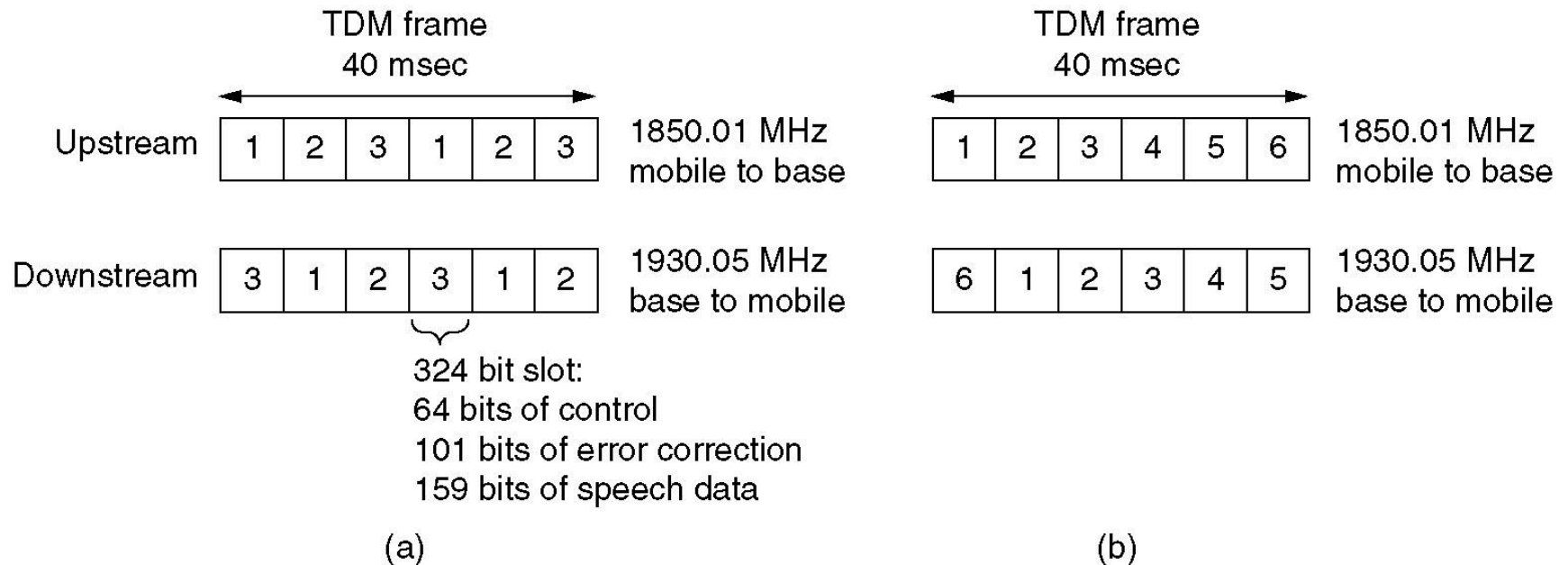
Paging (base to mobile) to alert users to calls for them

Access (bidirectional) for call setup and channel assignment

Data (bidirectional) for voice, fax, or data

D-AMPS

Digital Advanced Mobile Phone System

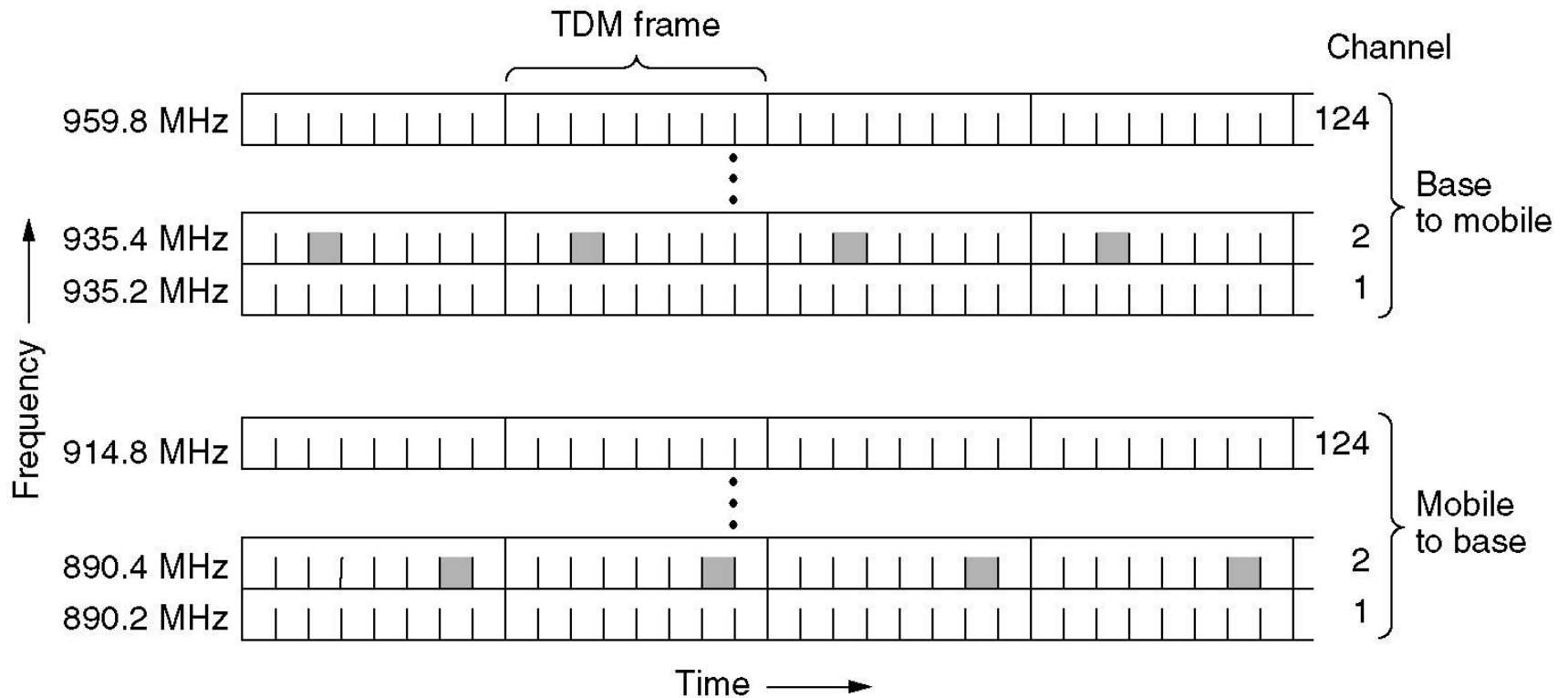


(a) A D-AMPS channel with three users.

(b) A D-AMPS channel with six users.

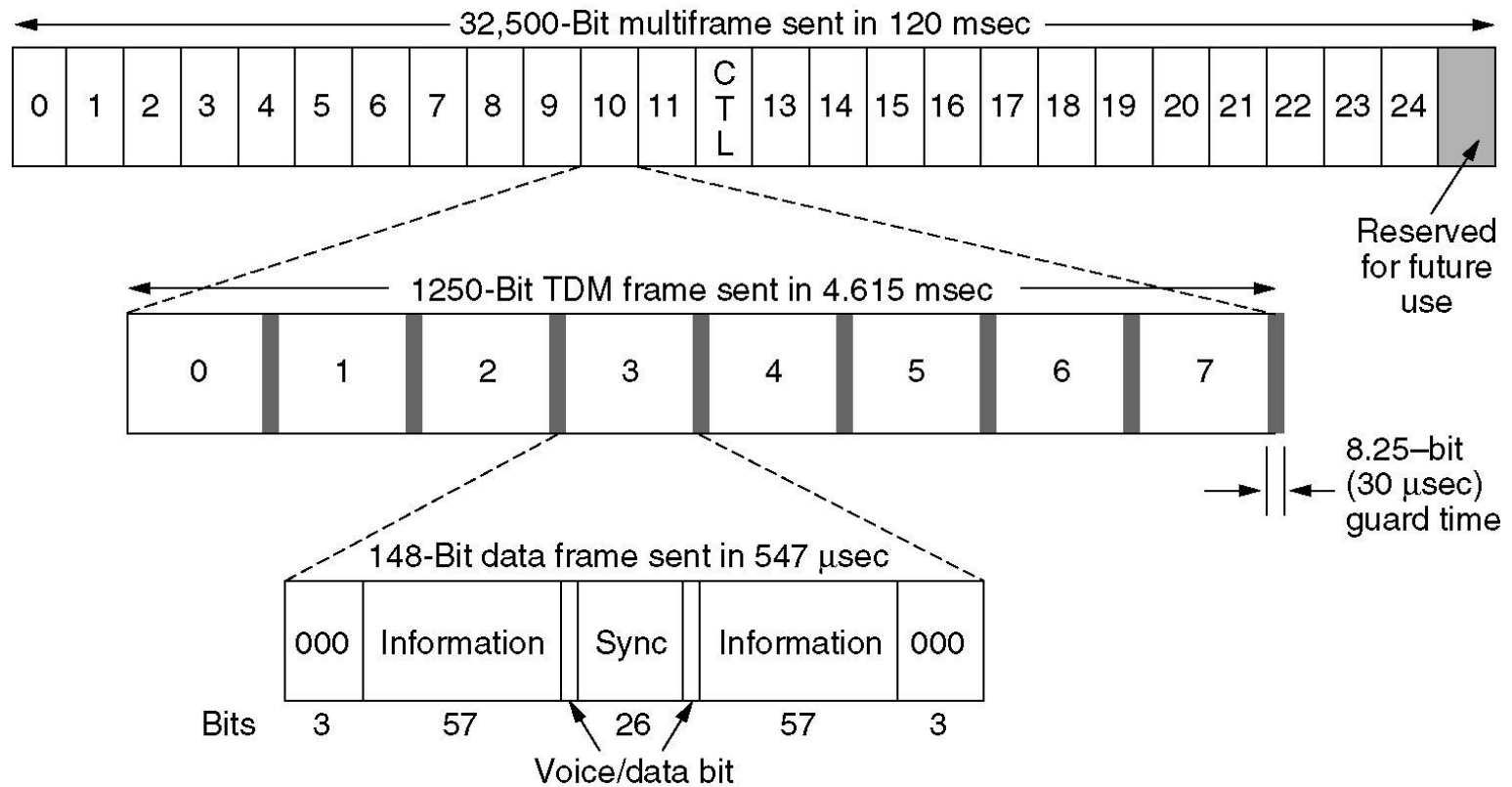
GSM

Global System for Mobile Communications



GSM uses 124 frequency channels, each of which uses an eight-slot TDM system

GSM (2)



A portion of the GSM framing structure.

CDMA – Code Division Multiple Access

A: 0 0 0 1 1 0 1 1
 B: 0 0 1 0 1 1 1 0
 C: 0 1 0 1 1 1 0 0
 D: 0 1 0 0 0 0 1 0

(a)

A: (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)
 B: (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)
 C: (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)
 D: (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)

(b)

Six examples:

-- 1 --	C	$S_1 = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$
- 1 1 -	B + C	$S_2 = (-2 \ 0 \ 0 \ 0 +2 +2 \ 0 -2)$
1 0 --	A + B	$S_3 = (\ 0 \ 0 -2 +2 \ 0 -2 \ 0 +2)$
1 0 1 -	A + B + C	$S_4 = (-1 +1 -3 +3 +1 -1 -1 +1)$
1 1 1 1	A + B + C + D	$S_5 = (-4 \ 0 -2 \ 0 +2 \ 0 +2 -2)$
1 1 0 1	A + B + C + D	$S_6 = (-2 -2 \ 0 -2 \ 0 -2 +4 \ 0)$

(c)

$S_1 \bullet C = (1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1)/8 = 1$
 $S_2 \bullet C = (2 +0 +0 +0 +2 +2 +0 +2)/8 = 1$
 $S_3 \bullet C = (0 +0 +2 +2 +0 -2 +0 -2)/8 = 0$
 $S_4 \bullet C = (1 +1 +3 +3 +1 -1 +1 -1)/8 = 1$
 $S_5 \bullet C = (4 +0 +2 +0 +2 +0 -2 +2)/8 = 1$
 $S_6 \bullet C = (2 -2 +0 -2 +0 -2 -4 +0)/8 = -1$

(d)

(a) Négy állomás bináris töredéksorozata

(b) Bipoláris töredéksorozatok

(c) Hat átviteli példa

(d) A C állomás jelének visszaállítása

Third-Generation Mobile Phones: Digital Voice and Data

Basic services an IMT-2000 network should provide

High-quality voice transmission

Messaging (replace e-mail, fax, SMS, chat, etc.)

Multimedia (music, videos, films, TV, etc.)

Internet access (web surfing, w/multimedia.)

Cable Television

Community Antenna Television

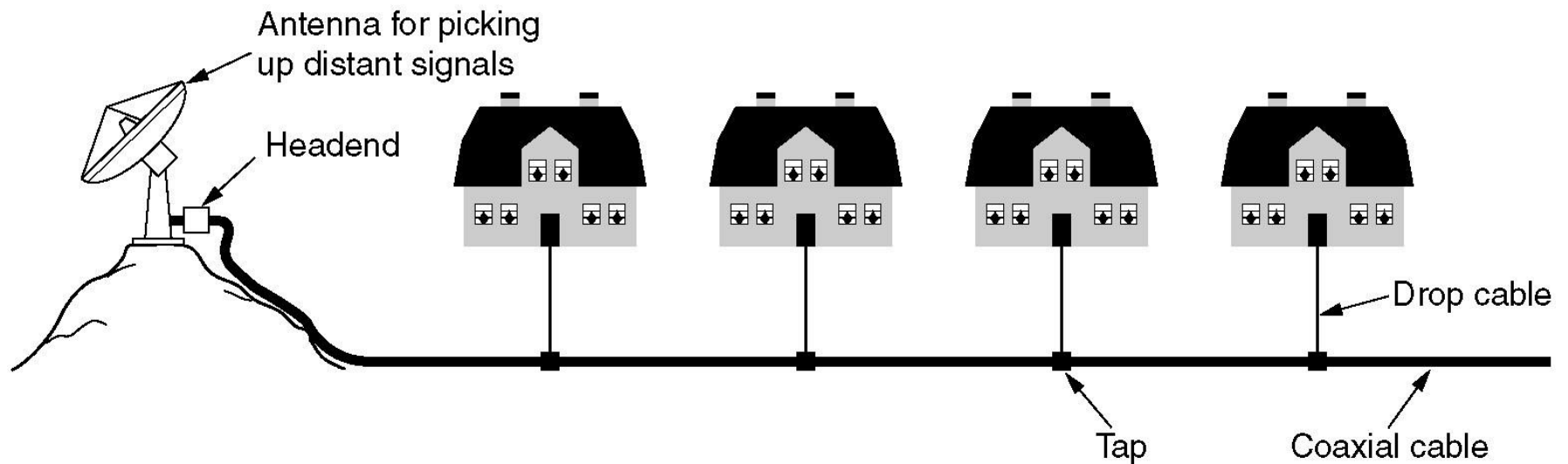
Internet over Cable

Spectrum Allocation

Cable Modems

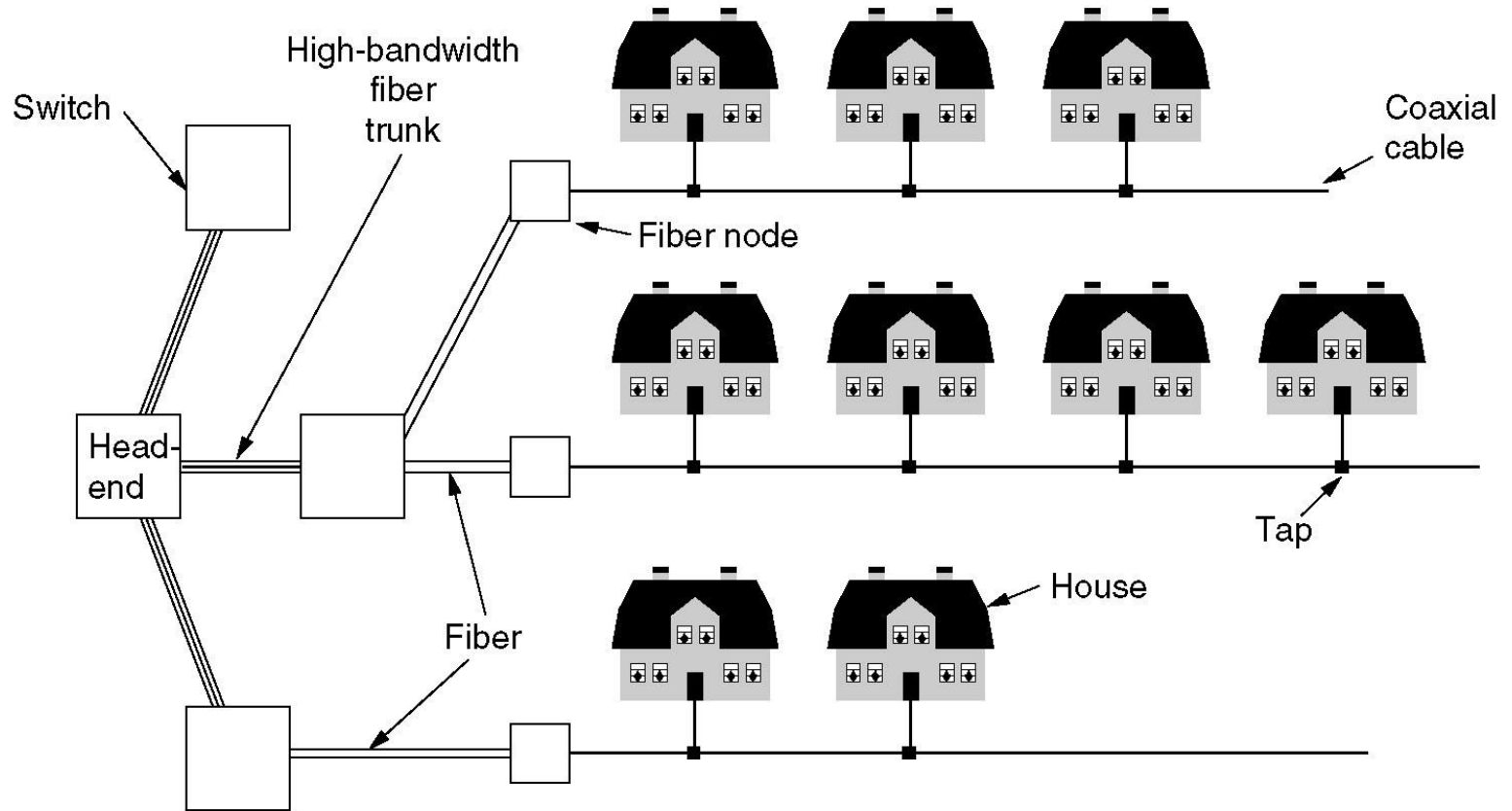
ADSL versus Cable

Community Antenna Television



An early cable television system.

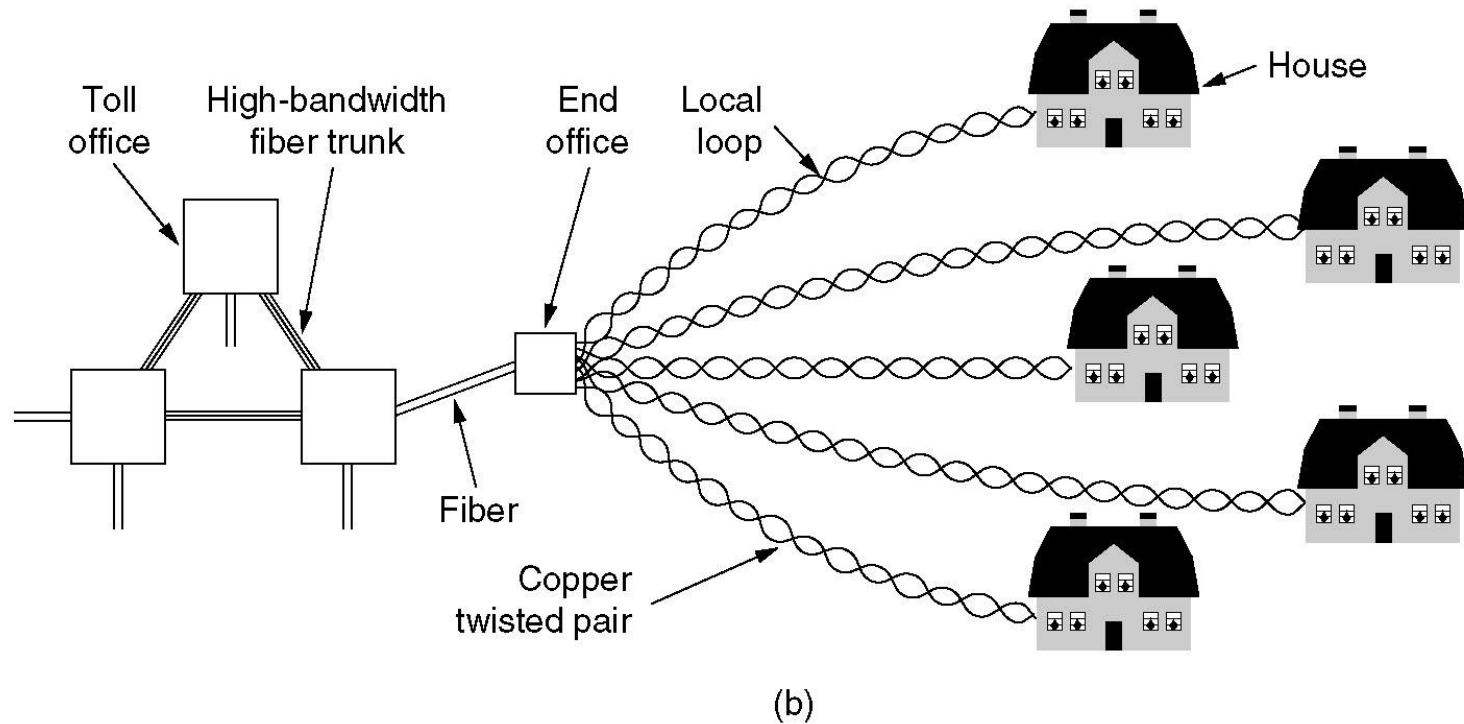
Internet over Cable



(a)

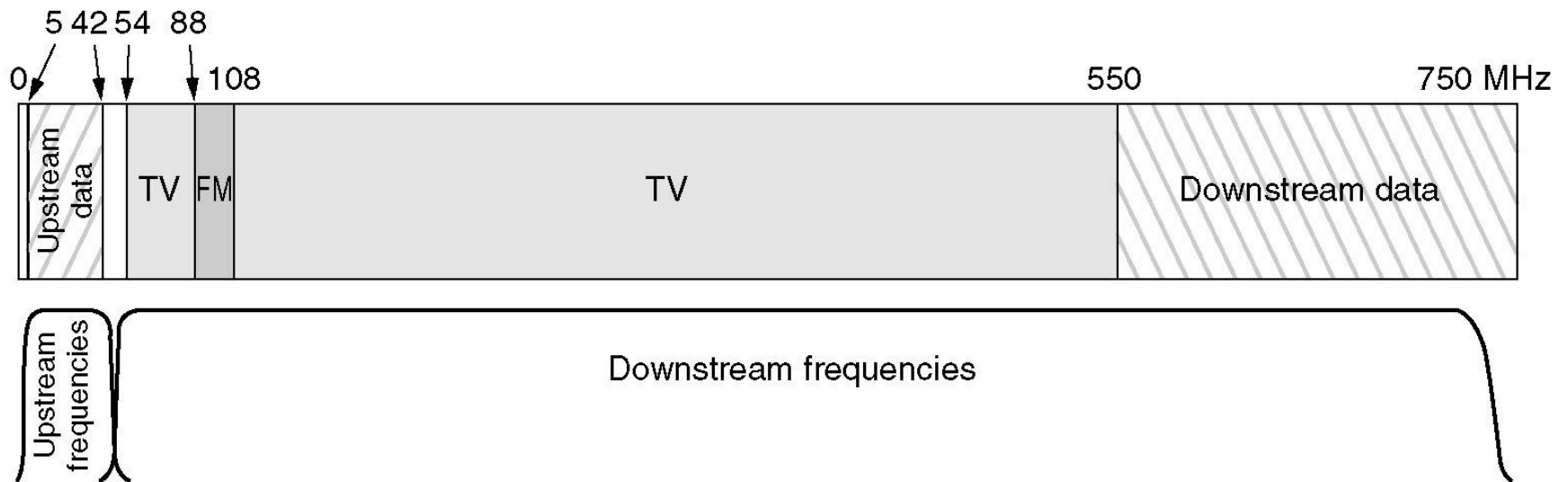
Cable television

Internet over Cable (2)



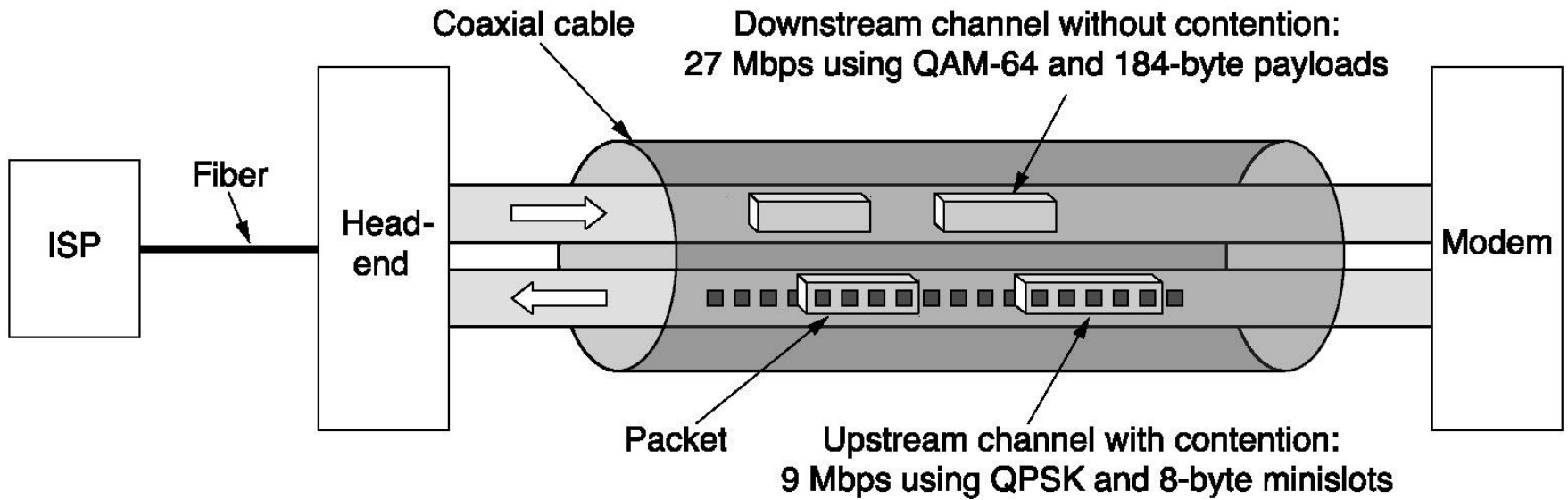
The fixed telephone system.

Spectrum Allocation



Frequency allocation in a typical cable TV system
used for Internet access

Cable Modems



Typical details of the upstream and downstream channels in North America.

Az adatkapcsolati réteg

Az adatkapcsolati réteg tervezési kérdései

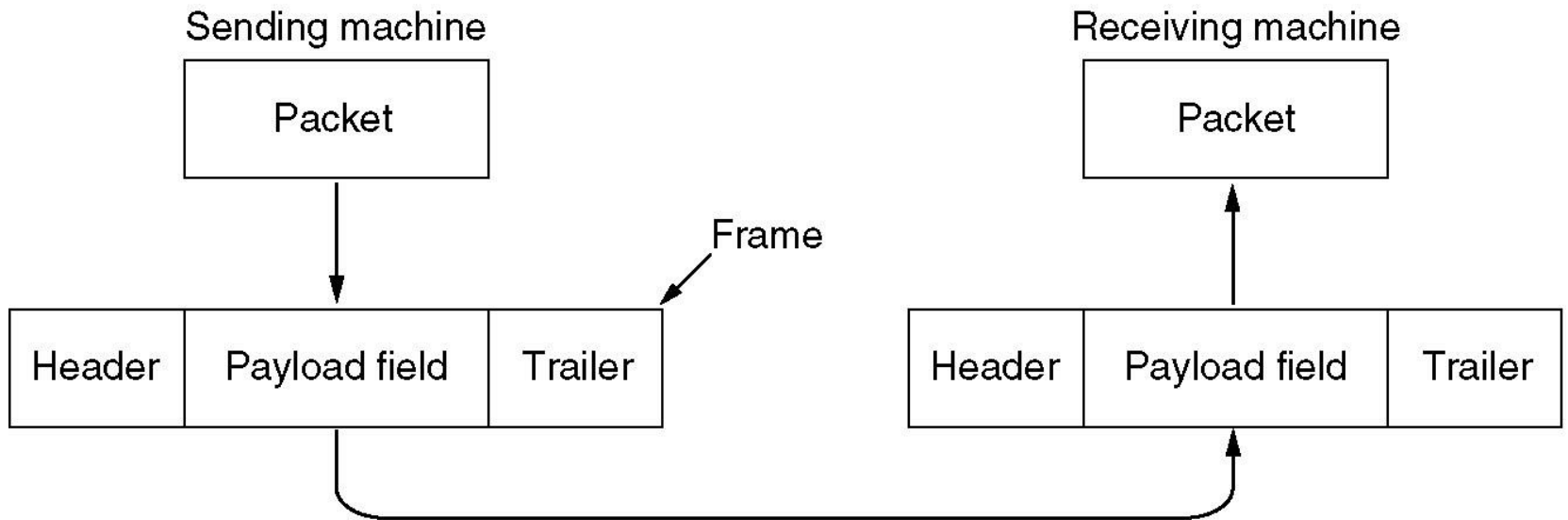
A hálózati rétegnek nyújtott szolgáltatások

Keretezés

Hibakezelés

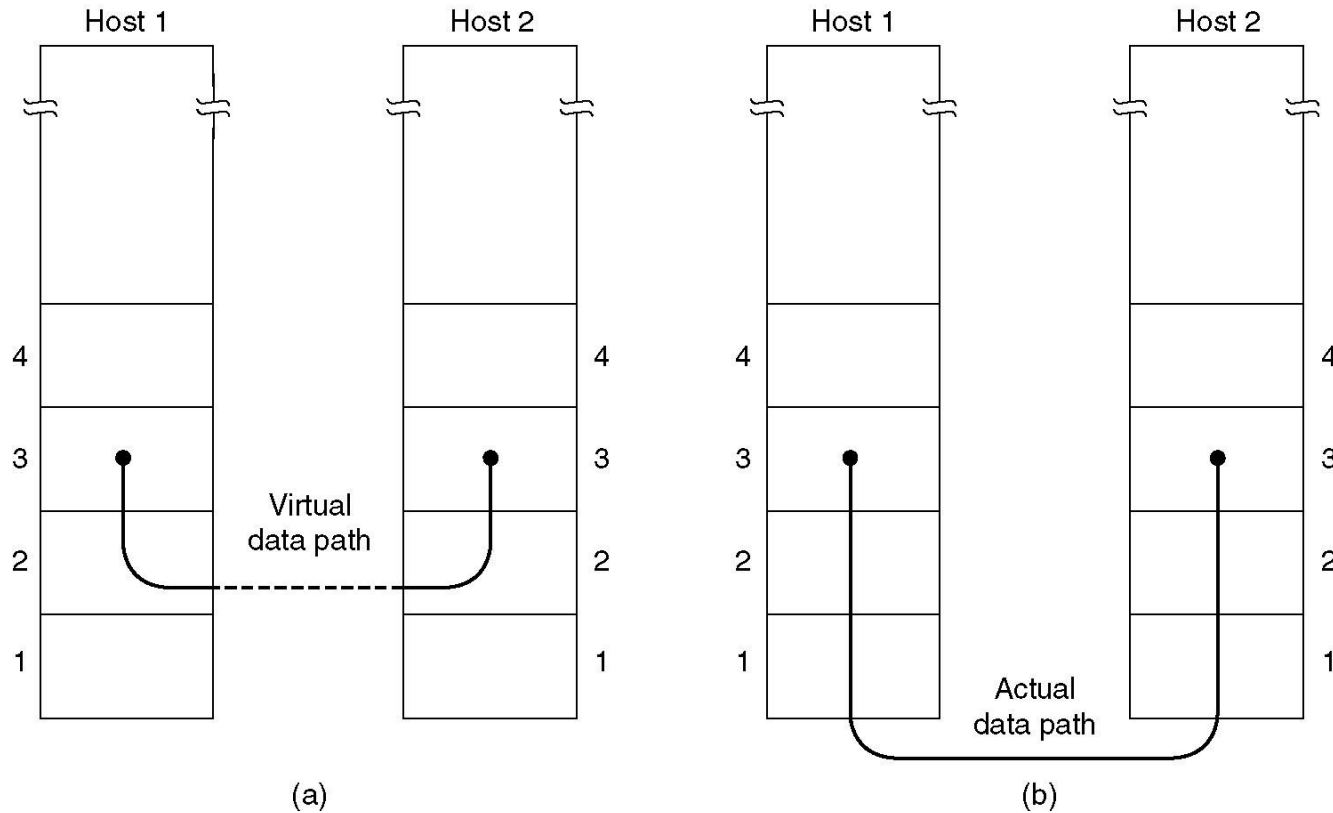
Forgalomszabályozás

Keretezés



Kapcsolat a csomag és a keret között

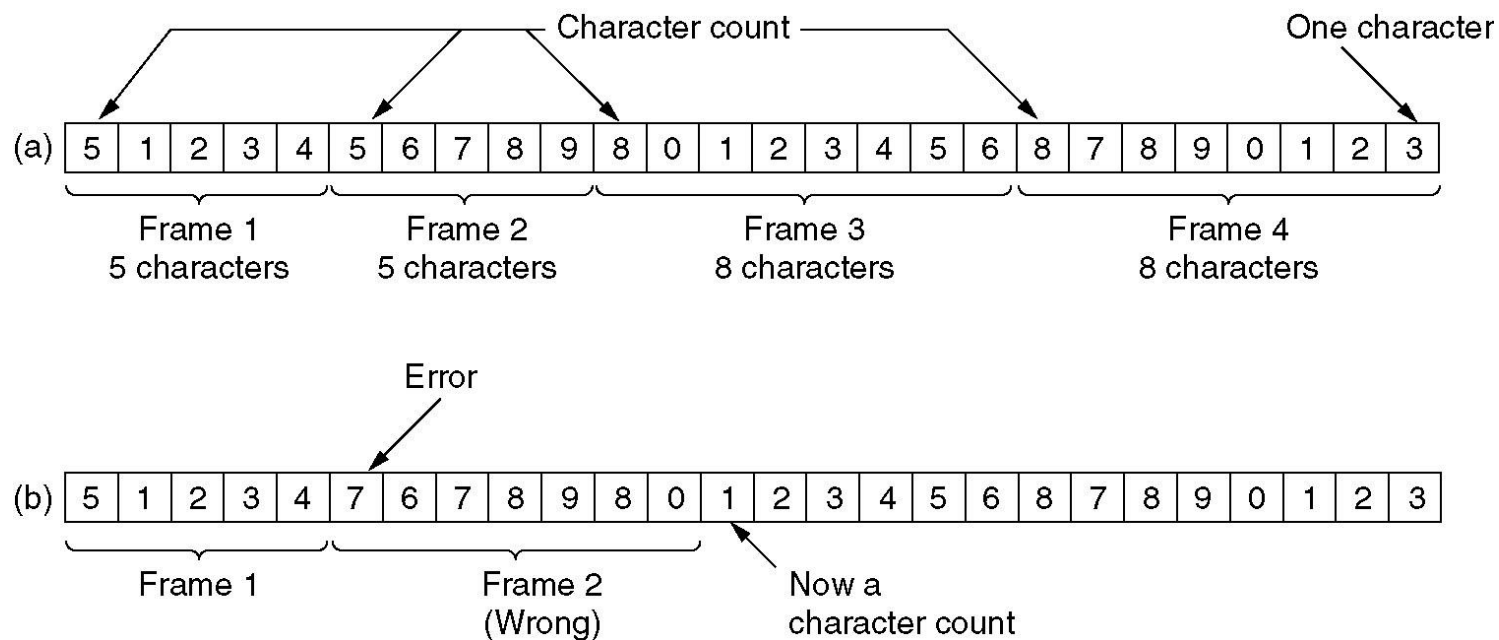
A hálózati rétegnek nyújtott szolgáltatások



(a) Látszólagos kommunikáció.

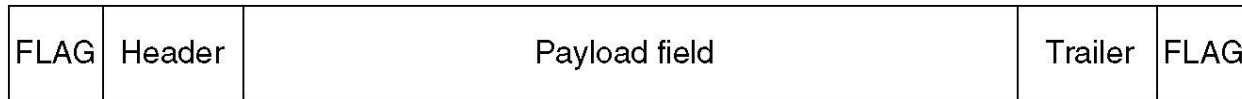
(b) Tényleges kommunikáció.

Keretezés

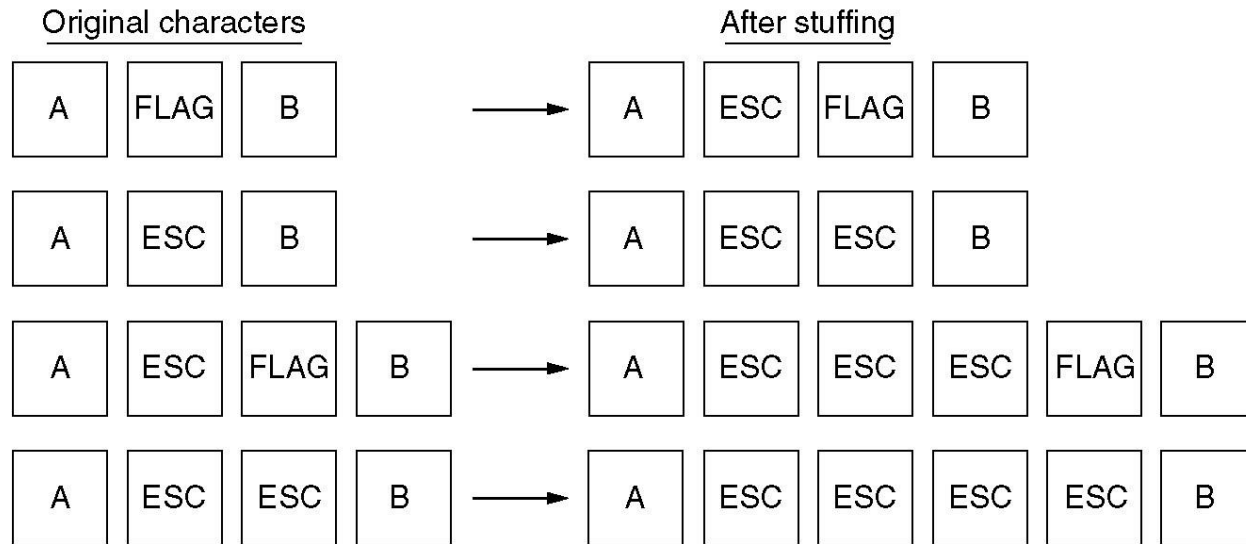


Egy karakterfolyam. (a) Hiba nélkül. (b) Egy hibával.

Keretezés (2)



(a)



(b)

(a) Egy jelzőbájttal határolt keret.

(b) Négy bájtsorozat bitbeszúrás előtt és után.

Keretezés (3)

(a) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

(b) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0



Stuffed bits

(c) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

Bitbeszúrás

(a) Az eredeti adat.

(b) Az átviteli vonalon megjelenő adat.

(c) A vevő memóriájában megjelenő, a beszúrt bitek törlése utáni adat.

Hibajelzés és -javítás

Hibajavító kódok

Hibajelző kódok

Hibajavító kódok

Char.	ASCII	Check bits
H	1001000	00110010000
a	1100001	10111001001
m	1101101	11101010101
m	1101101	11101010101
i	1101001	01101011001
n	1101110	01101010110
g	1100111	01111001111
	0100000	10011000000
c	1100011	11111000011
o	1101111	10101011111
d	1100100	11111001100
e	1100101	00111000101

Order of bit transmission

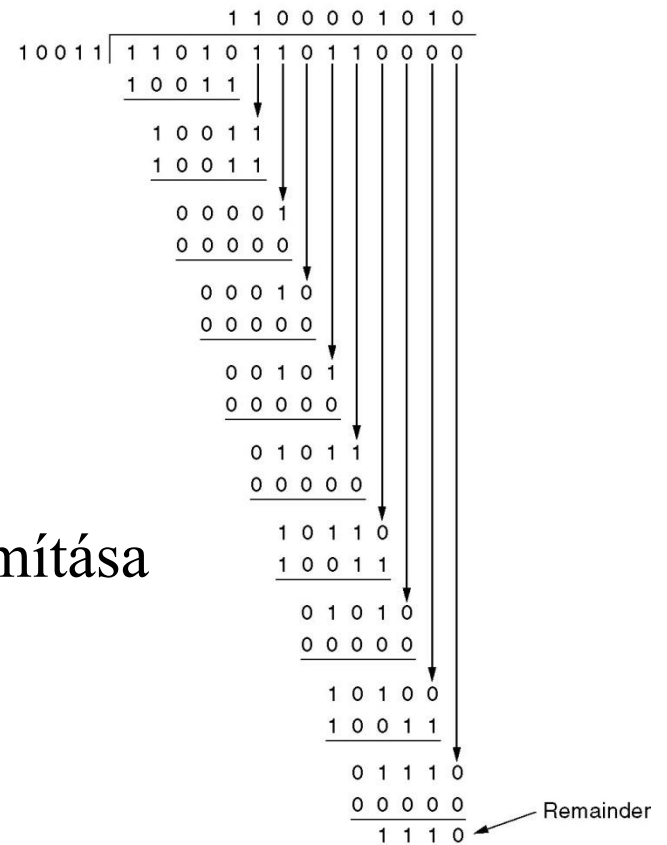
Hamming-kód alkalmazása csoportos hibák javítására.

Hibajelző kódok

Frame : 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1

Generator: 1 0 0 1 1

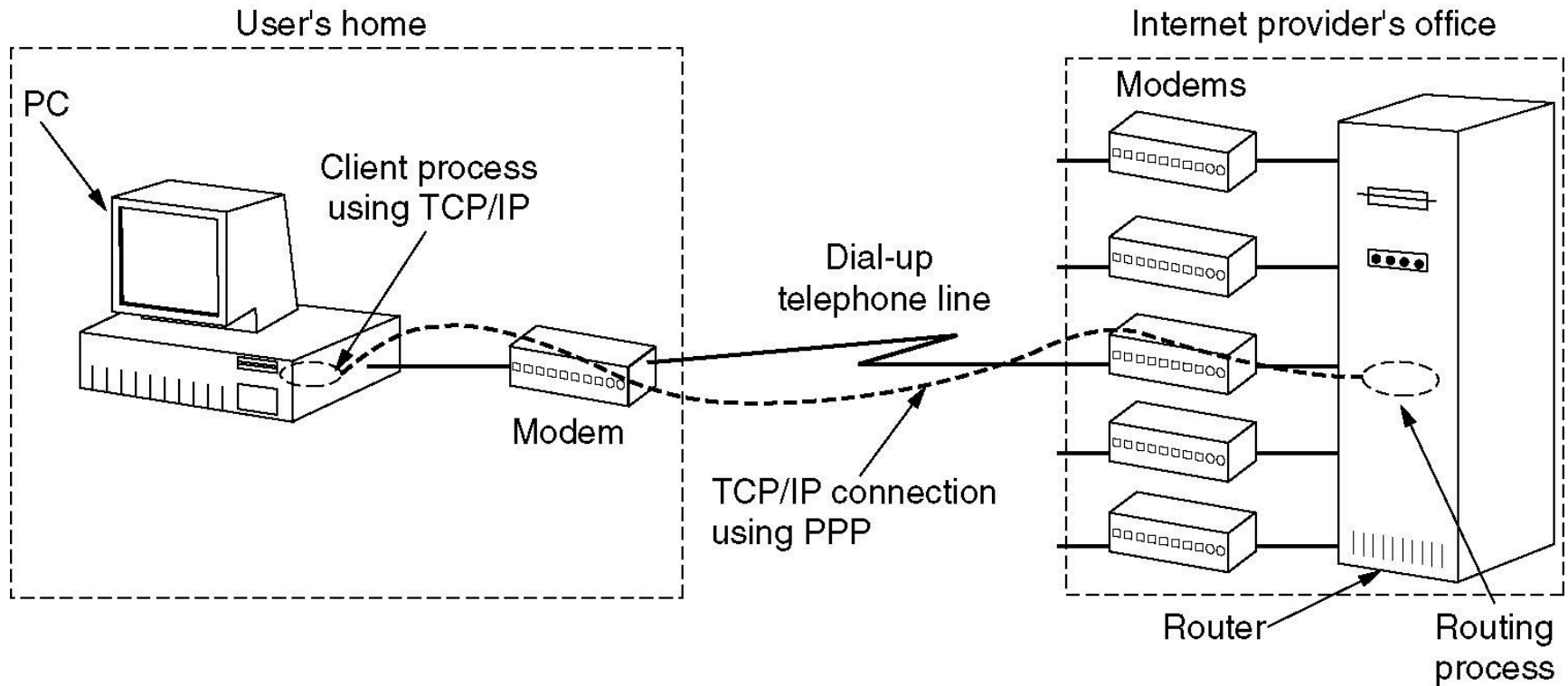
Message after 4 zero bits are appended: 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 0 0 0



A polinomkódot ellenőrző összeg kiszámítása

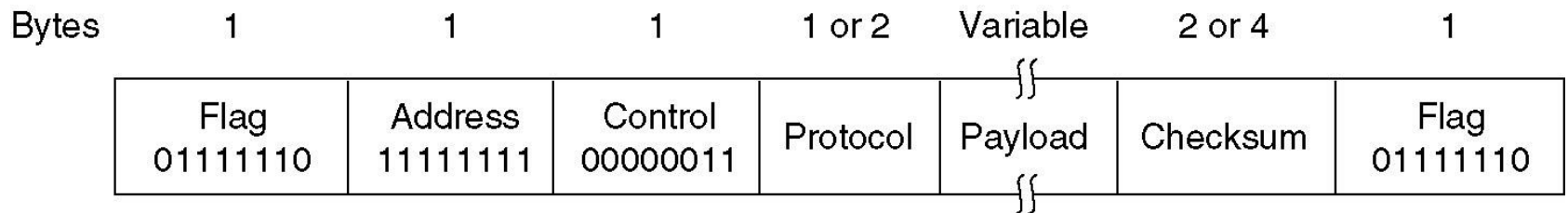
Transmitted frame: 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0

Az Internet adatkapcsolati rétege



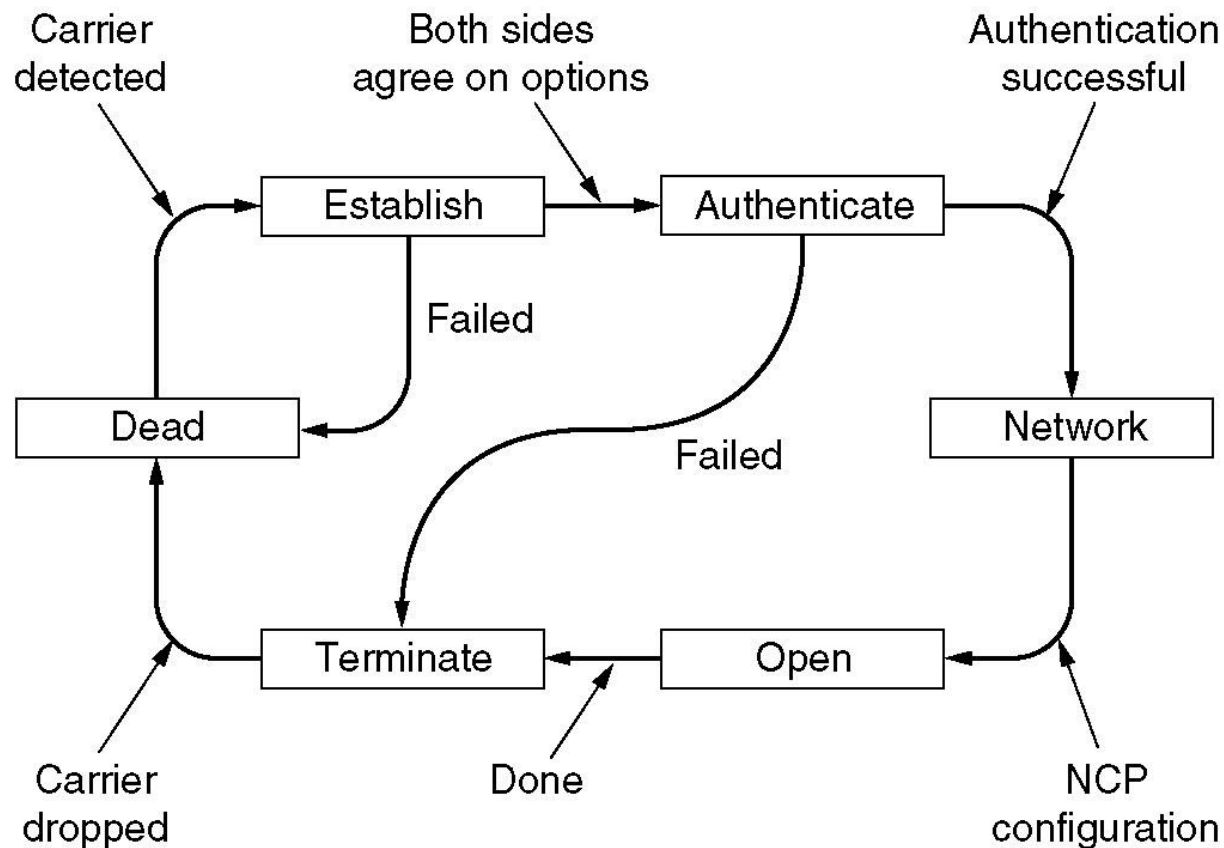
Egy Internetes hosztként viselkedő otthoni személyi számítógép.

PPP – Point to Point Protocol



A PPP teljes keret formátuma a számozatlan módú működéshez.

PPP – Point to Point Protocol (2)



Egy kapcsolat felépítésének és lebontásának egyszerűsített fázisdiagrammja.

PPP – Point to Point Protocol (3)

Name	Direction	Description
Configure-request	I → R	List of proposed options and values
Configure-ack	I ← R	All options are accepted
Configure-nak	I ← R	Some options are not accepted
Configure-reject	I ← R	Some options are not negotiable
Terminate-request	I → R	Request to shut the line down
Terminate-ack	I ← R	OK, line shut down
Code-reject	I ← R	Unknown request received
Protocol-reject	I ← R	Unknown protocol requested
Echo-request	I → R	Please send this frame back
Echo-reply	I ← R	Here is the frame back
Discard-request	I → R	Just discard this frame (for testing)

A Link Control Protocol keret típusok.

A közegelésési alréteg

A csatornakiosztás problémája

Statikus csatornakiosztás LAN-ok és MAN-ok esetén

$$T = 1/(\mu C - \lambda)$$

$$T_{\text{FDM}} = N/(\mu C - \lambda) = NT$$

Dinamikus csatornakiosztás LAN-ok és MAN-ok esetén

Dinamikus csatornakiosztás LAN-okban és MAN-okban

Állomás modell.

Egyetlen csatorna feltevés.

Ütközés feltételezése.

(a) Folytonos idő.

(b) Diszkrét idő (Slotted Time).

(a) Vivőjel-érzékelés (Carrier Sense).

(b) Nincs vivőjel-érzékelés.

Többszörös hozzáférésű protokollok

ALOHA

Carrier Sense Multiple Access Protocols

Collision-Free Protocols

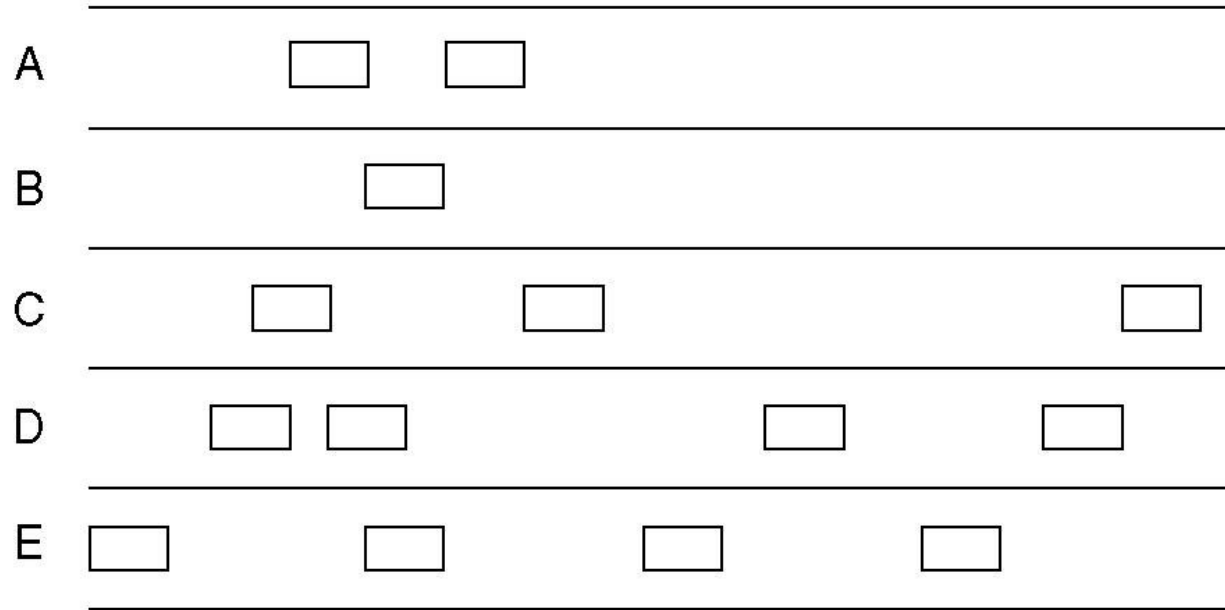
Limited-Contention Protocols

Wavelength Division Multiple Access Protocols

Wireless LAN Protocols

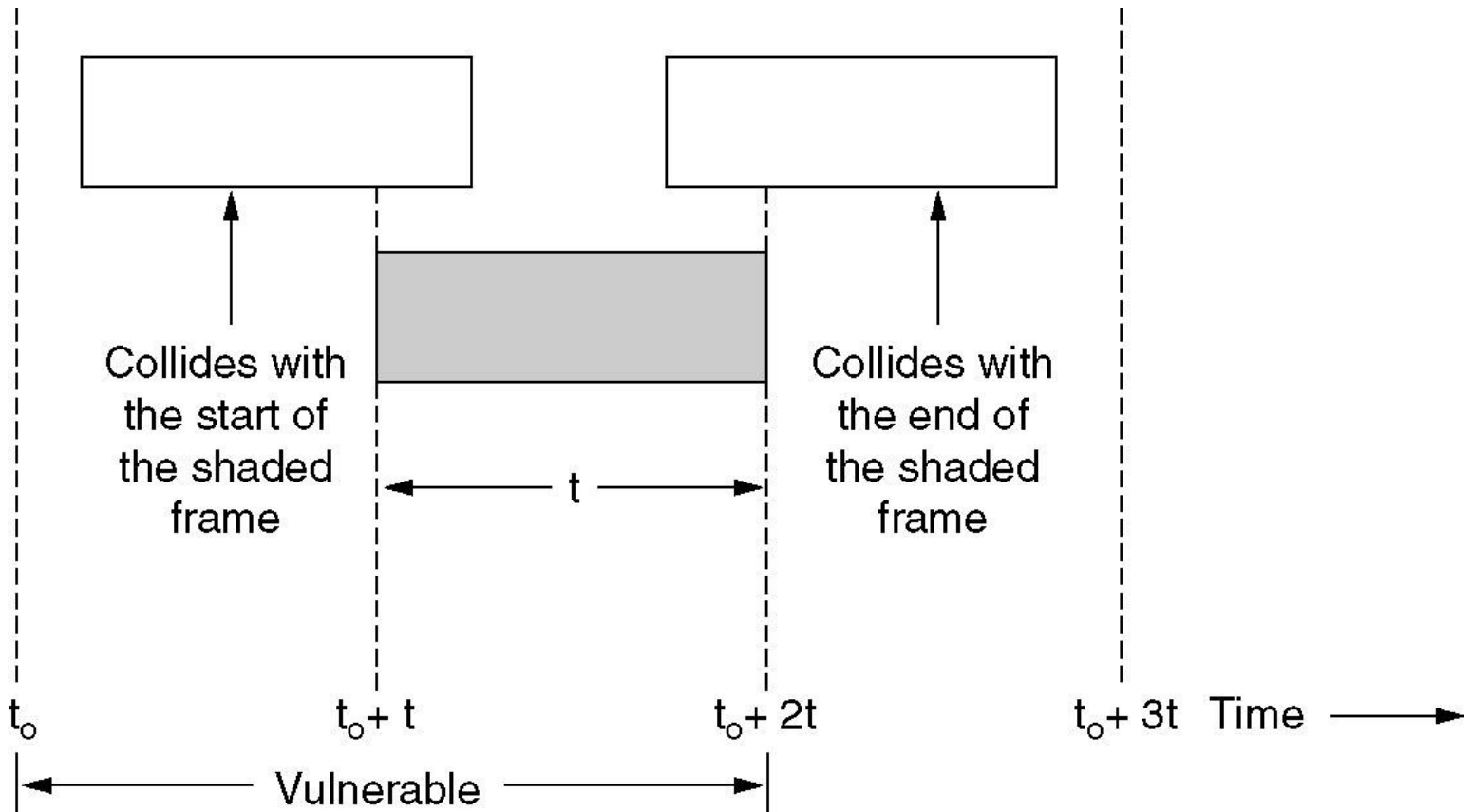
Egyszerű ALOHA

User



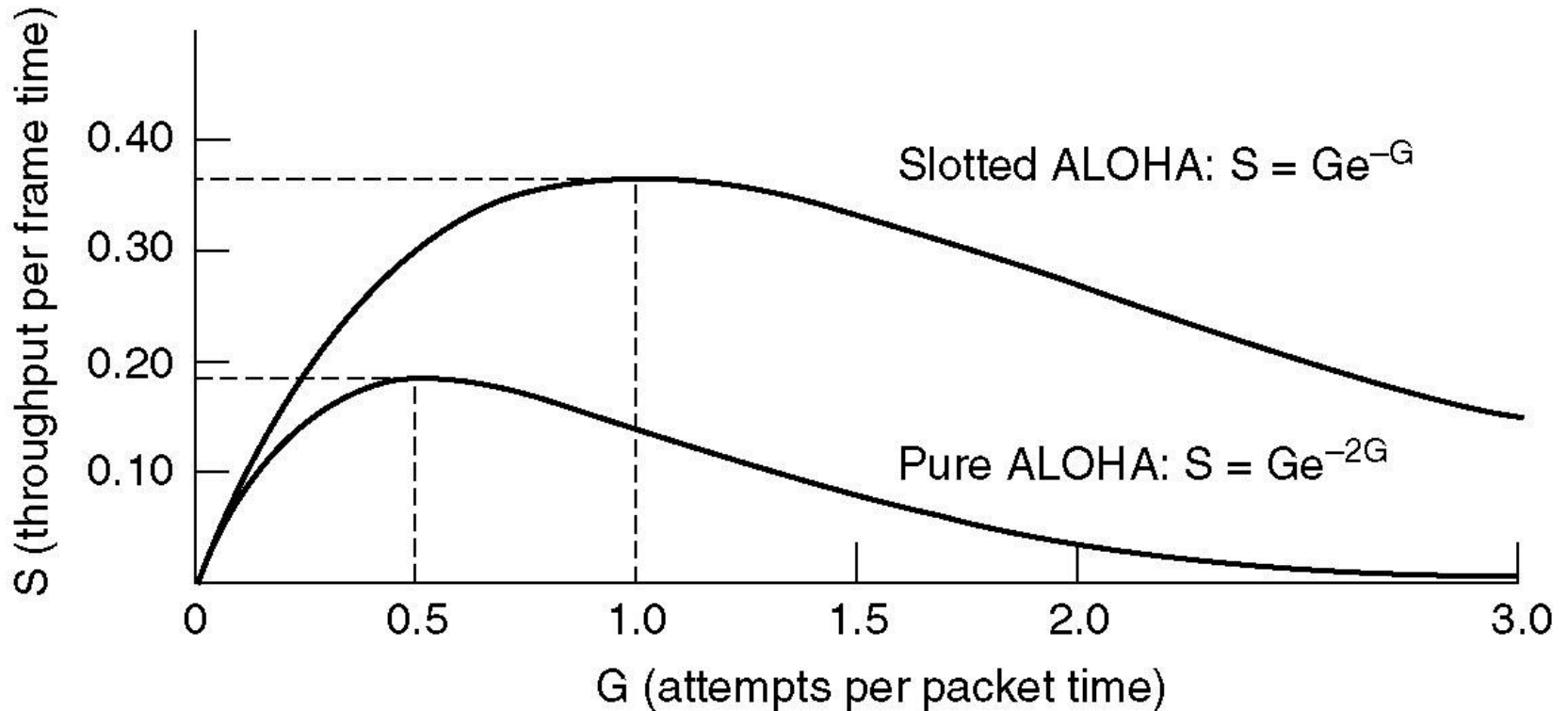
Time →

Egyszerű ALOHA (2)



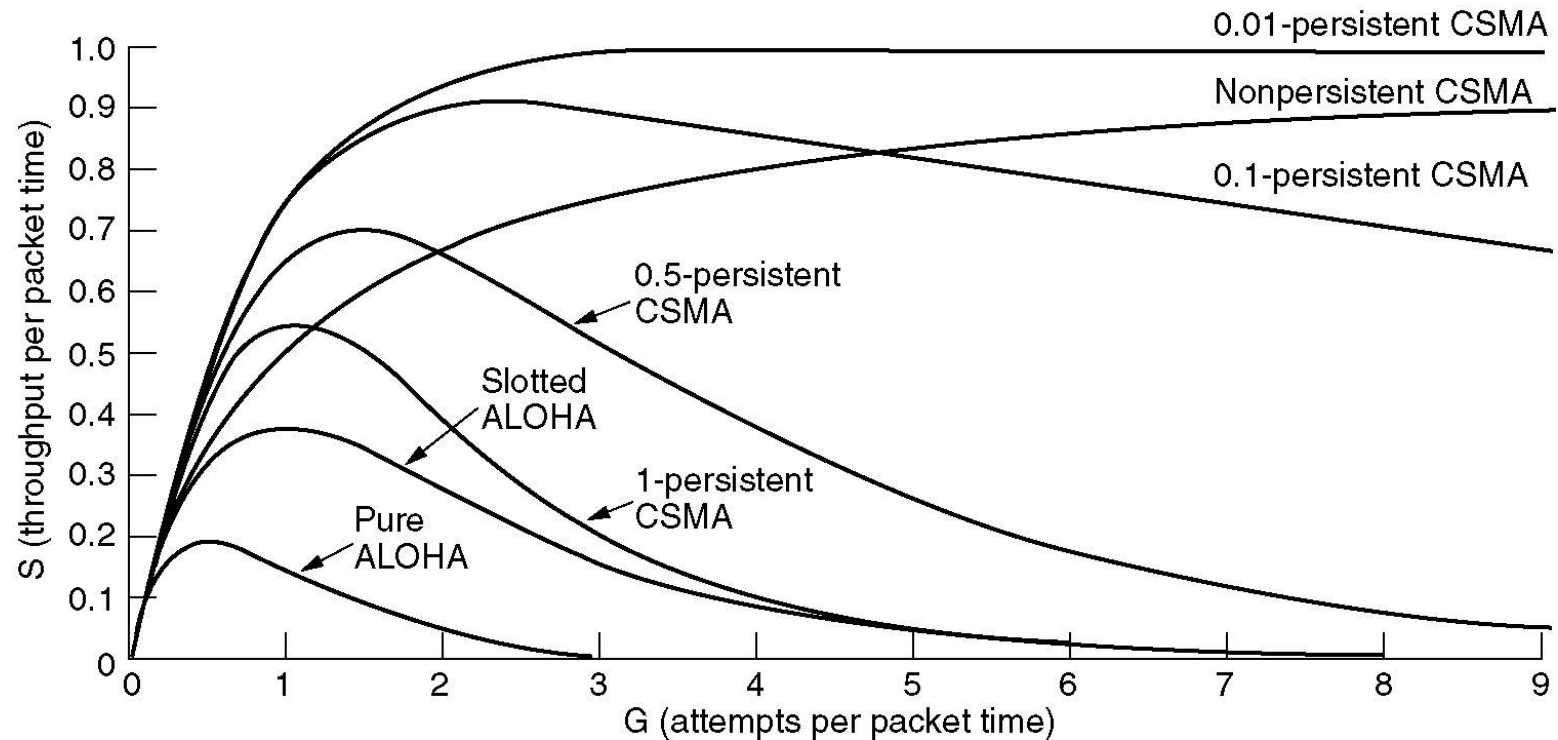
A sötétített keret ütközésveszélyes szakasza.

Egyszerű ALOHA (3)



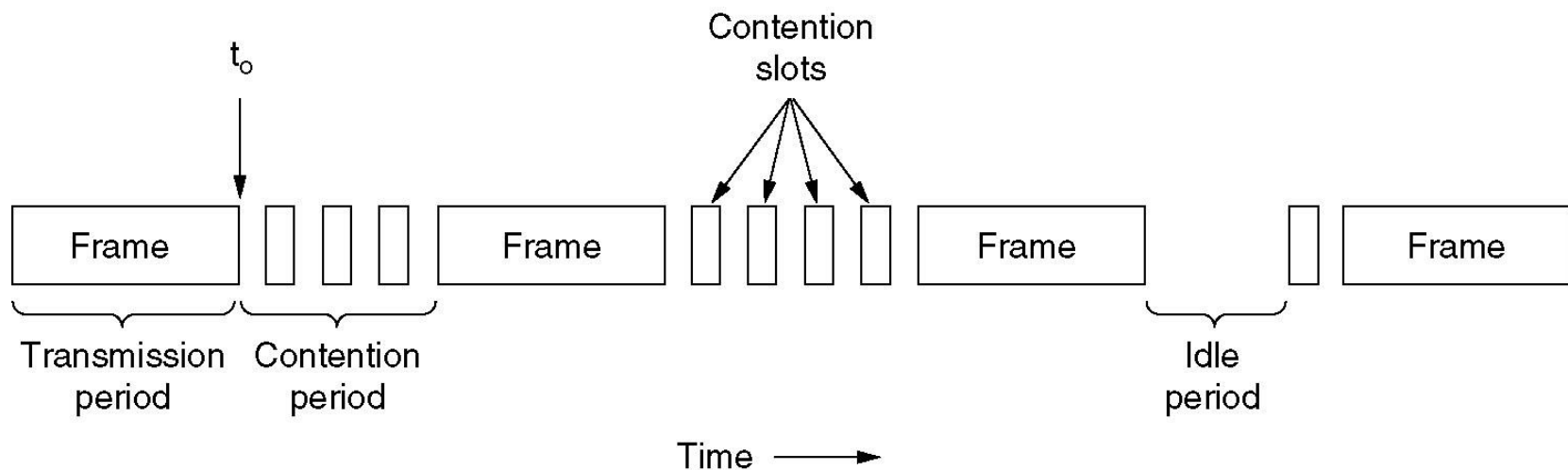
Az ALOHA-rendszerek áteresztőképessége a forgalmi igény függvényében ($S = pG$, $p = e^{-2G}$).

Perzisztens és nemperzisztens CSMA



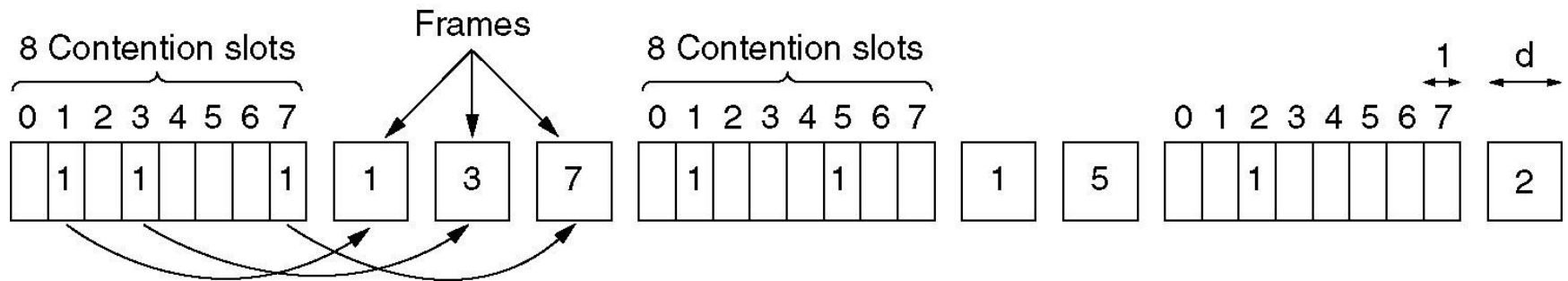
Véletlen hozzáférésű protokollok összehasonlítása a terhelés függvényében mért csatornakihasználtság alapján.

CSMA ütközés detektálással



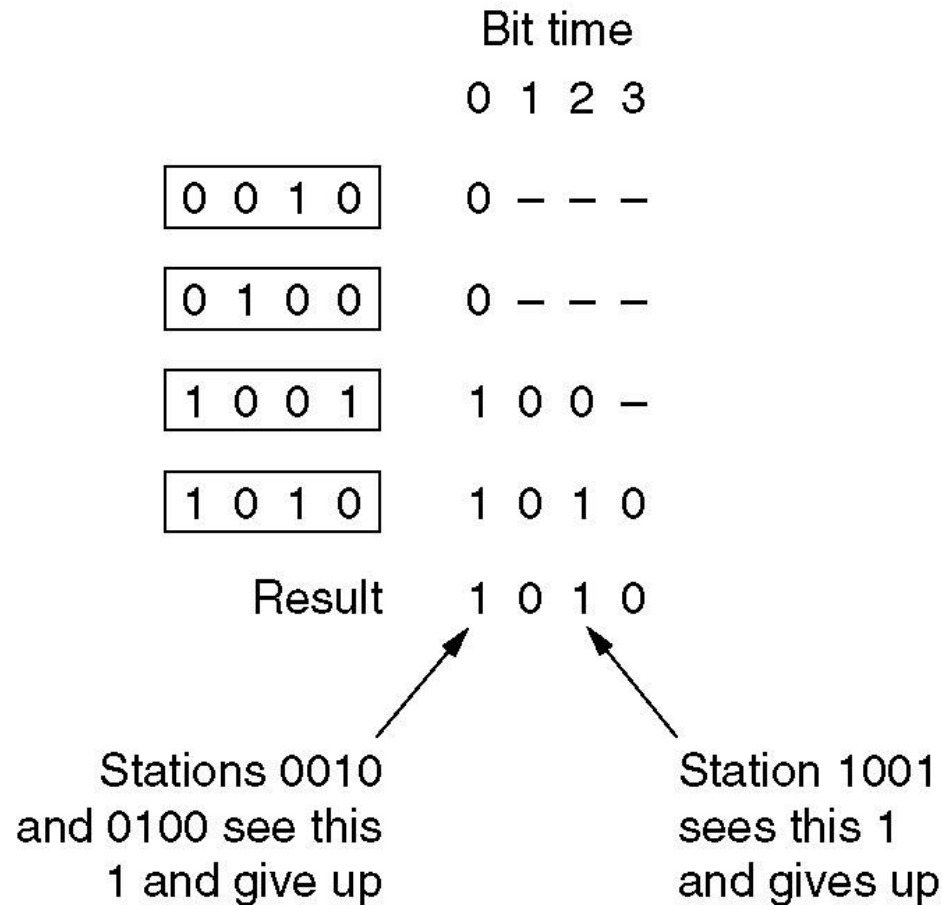
A CSMA/CD mindig a következő állapotok közül az egyikben lehet: versengési, átviteli vagy tétlen .

Ütközésmentes protokollok



Az alapvető bittérkép protokoll.

Bináris visszaszámlálás (2)



A bináris visszaszámlálás protokoll. A „-” azt jelzi, hogy az állomás nem forgalmaz.

Ethernet

Ethernet kábelezés

Manchester Encoding

The Ethernet MAC Sublayer Protocol

The Binary Exponential Backoff Algorithm

Ethernet Performance

Switched Ethernet

Fast Ethernet

Gigabit Ethernet

IEEE 802.2: Logical Link Control

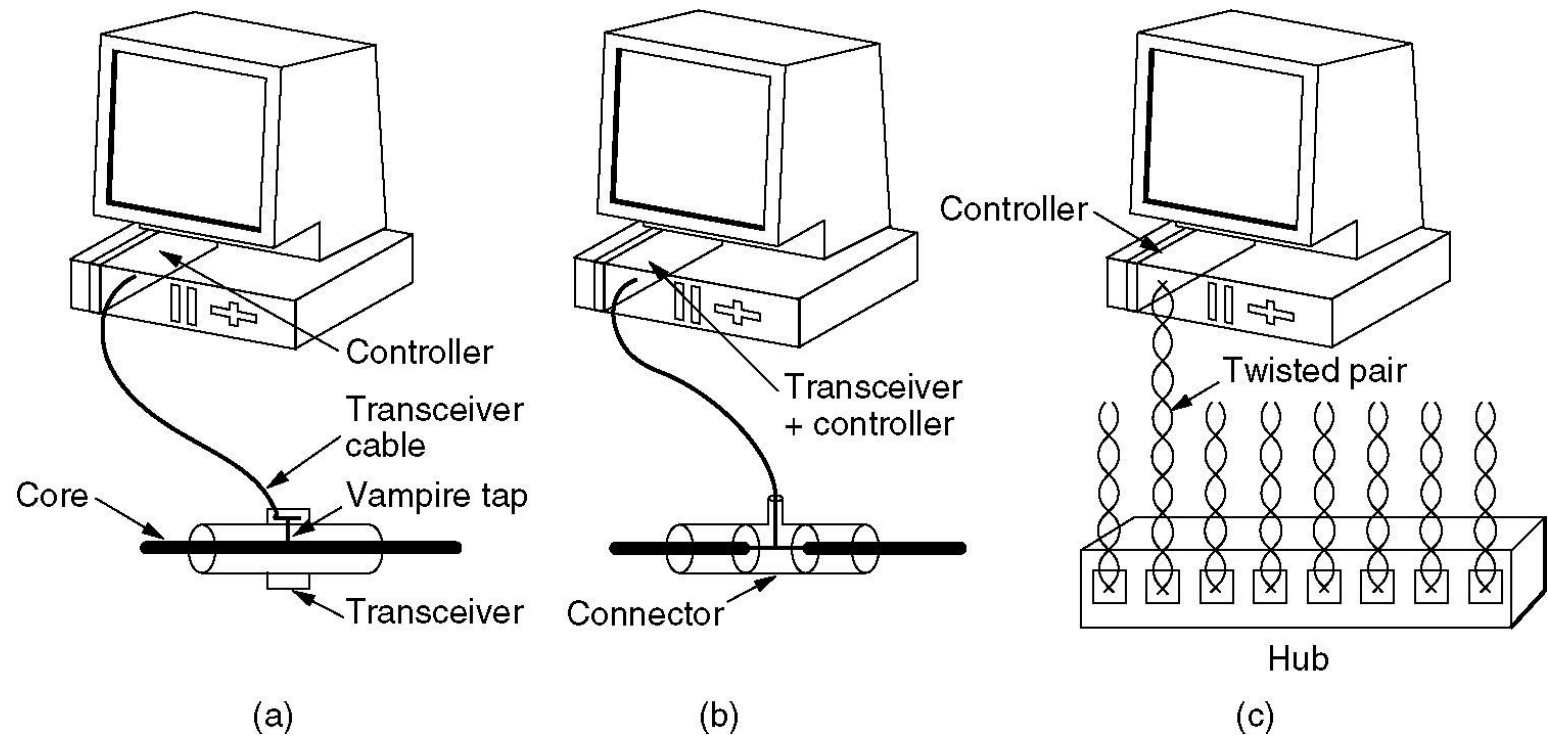
Retrospective on Ethernet

Ethernet kábelezés

Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	500 m	100	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	185 m	30	No hub needed
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Cheapest system
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings

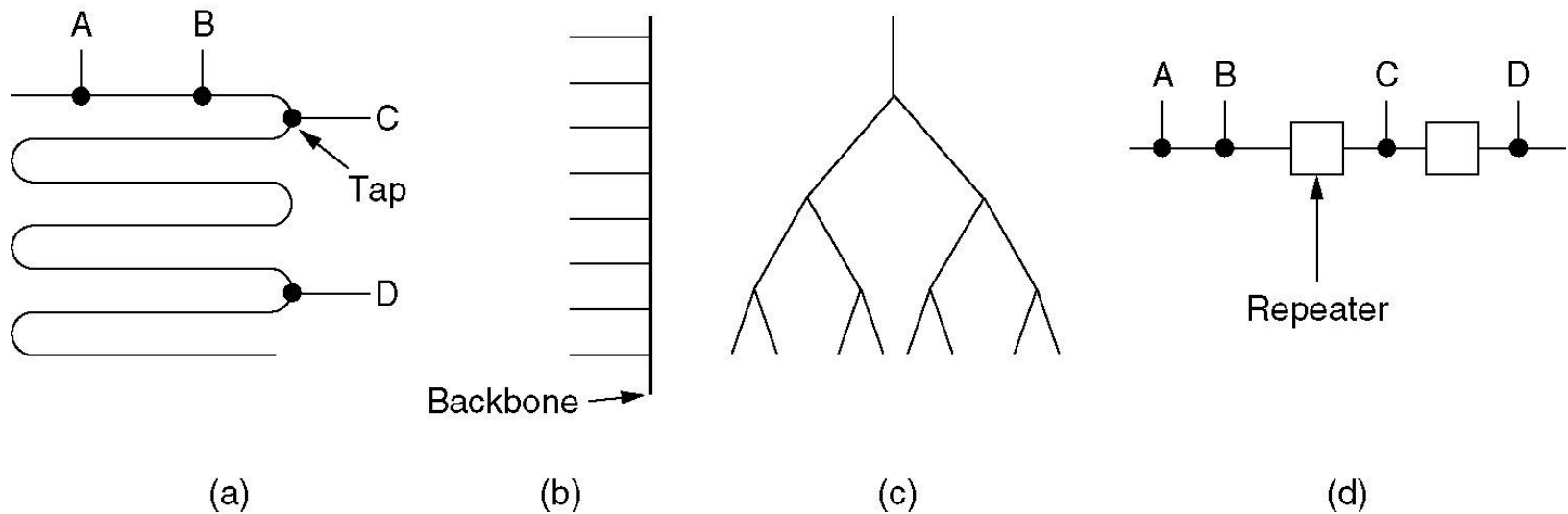
A leggyakoribb Ethernet kábelezési típusok.

Ethernet kábelezés (2)



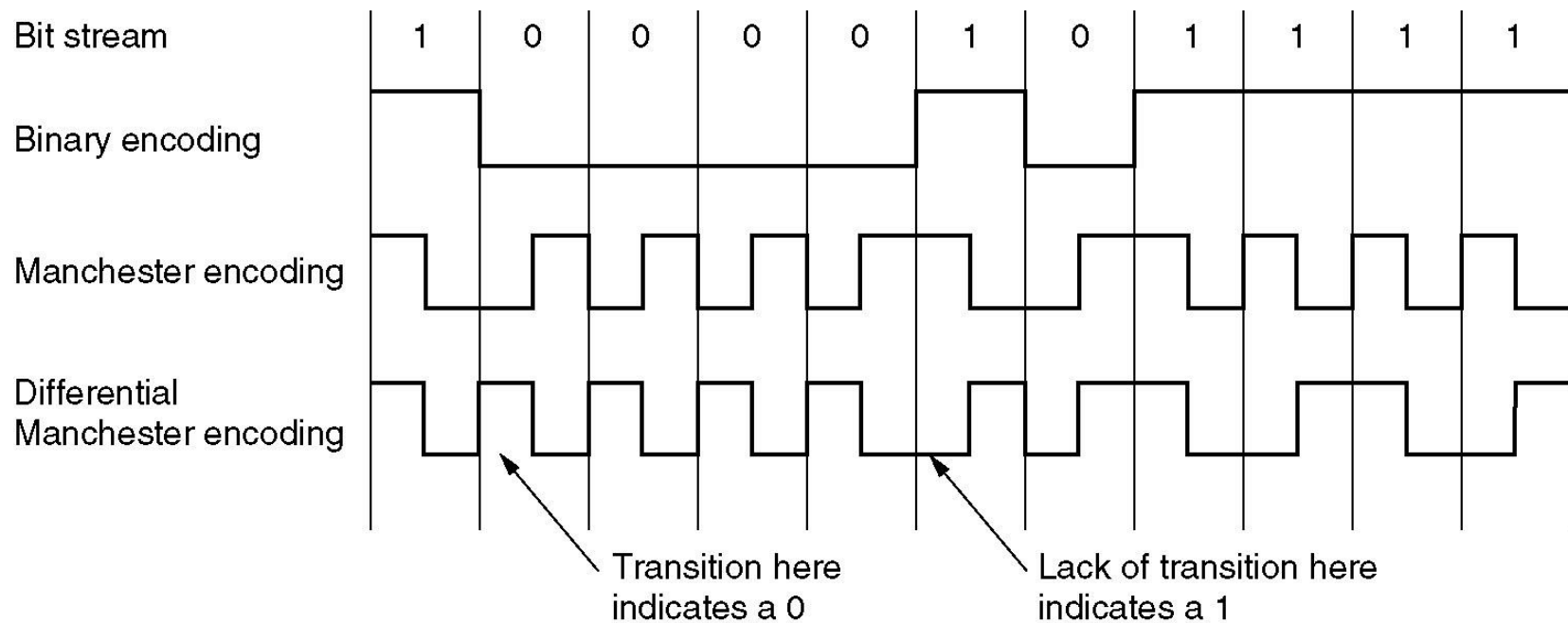
Három különböző 802.3-as kábelezés.
(a) 10Base5, (b) 10Base2, (c) 10Base-T.

Ethernet kábelezés (3)



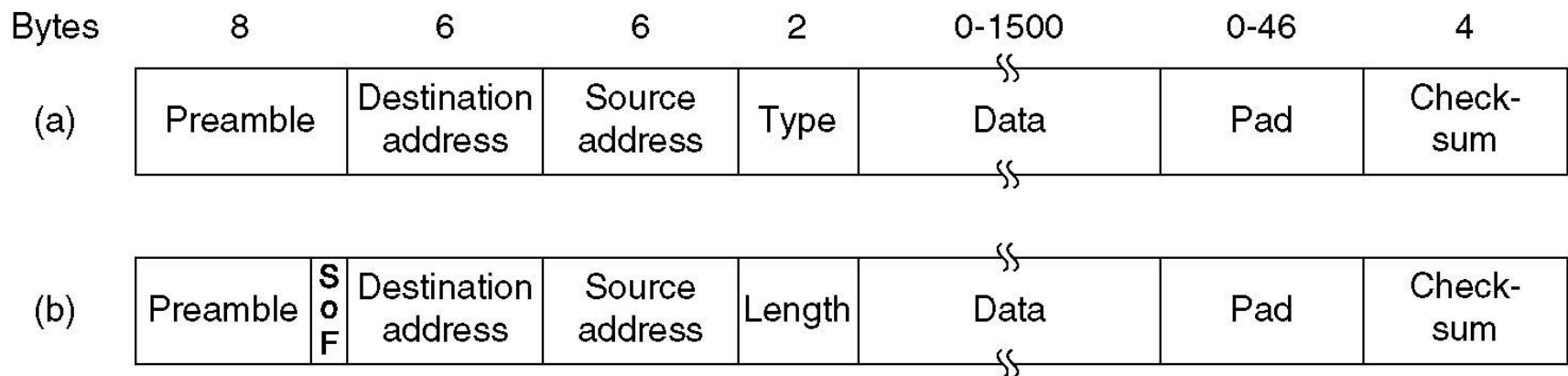
Kábelezési topológiák. (a) Lineáris, (b) Gerinc, (c) Fa, (d) Szegmentált.

Manchester-kódolás (4)



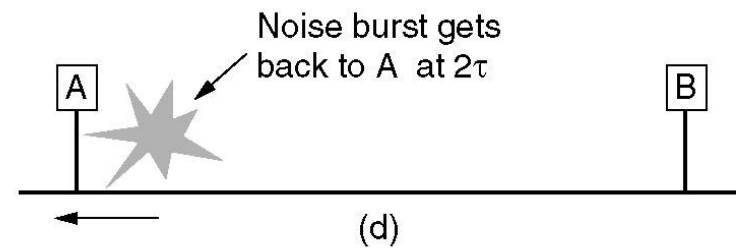
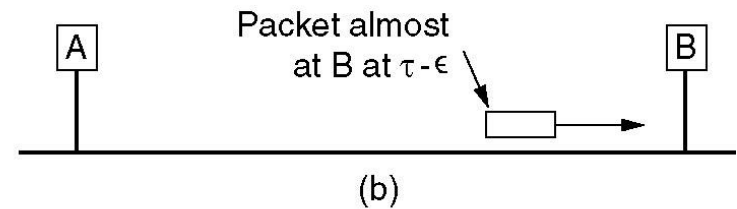
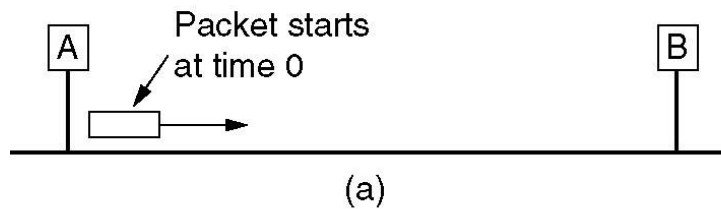
(a) Bináris kódolás, (b) Manchester kódolás,
(c) Differenciális Manchester kódolás.

Az Ethernet MAC-protokollja



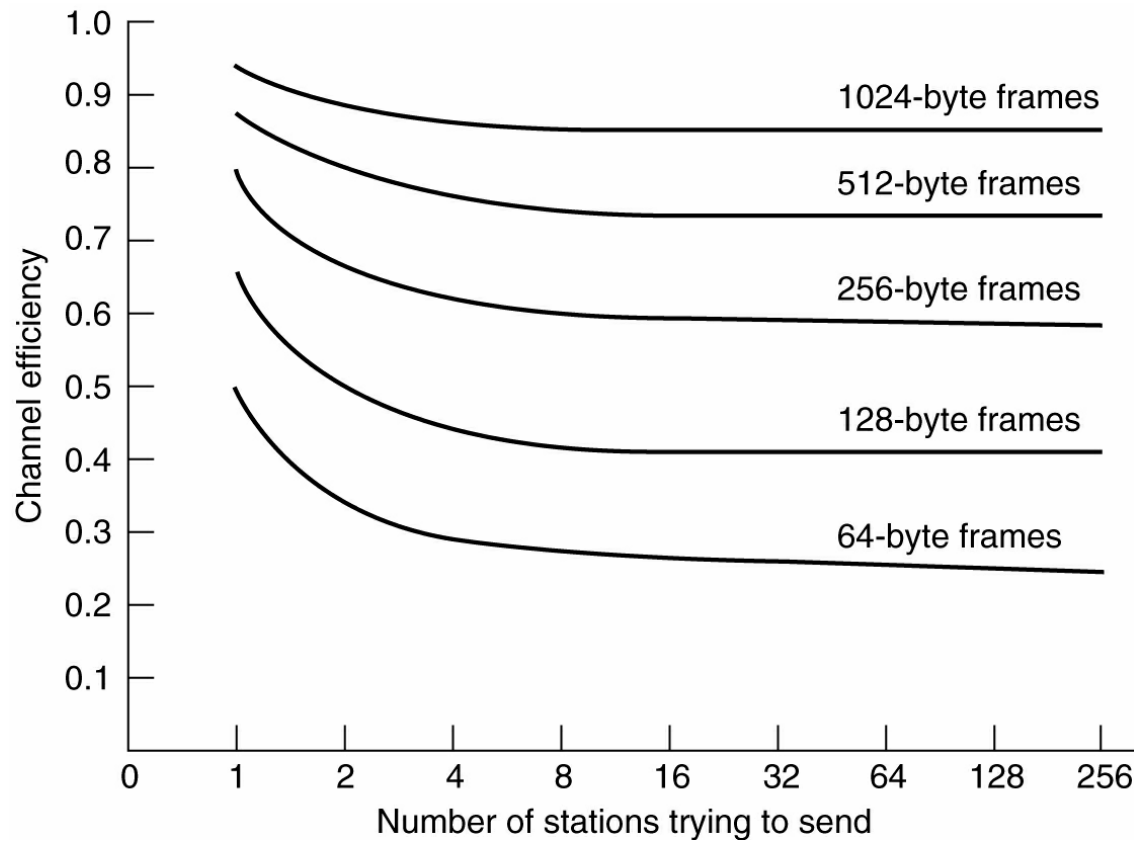
Keretformátumok. (a) DIX Ethernet, (b) IEEE 802.3.

Ethernet MAC protokoll (2)



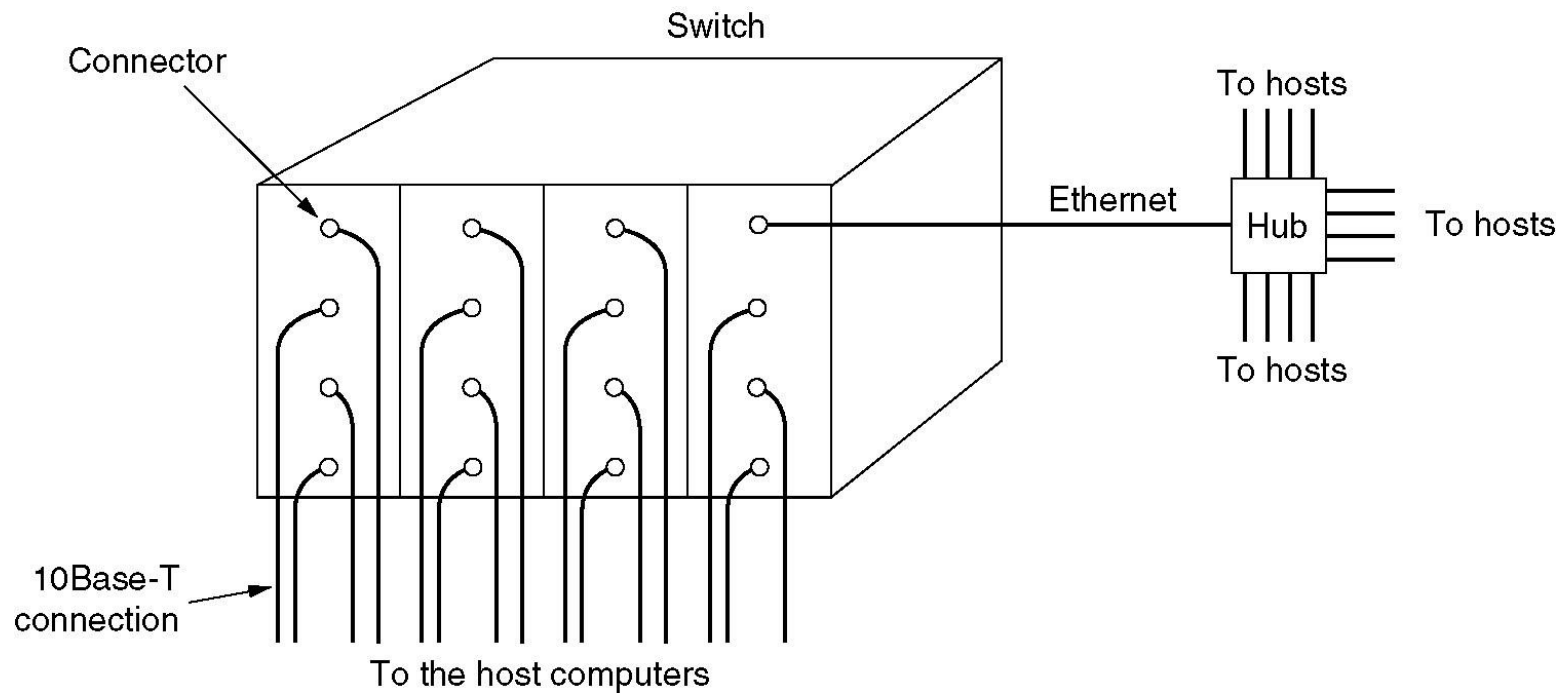
Az ütközésérzékelés 2τ időt is igénybe vehet

Az Ethernet teljesítménye



Az Ethernet hatékonysága 10 Mbps-os sebesség, és 512-bites résidő esetén.

Kapcsolt Ethernet



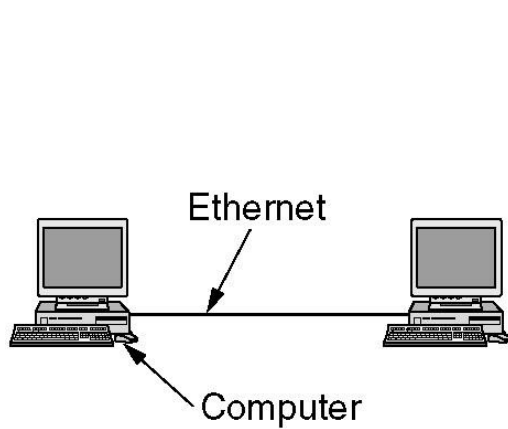
Egyszerű példa a kapcsolt Ethernetre.

Gyors Ethernet

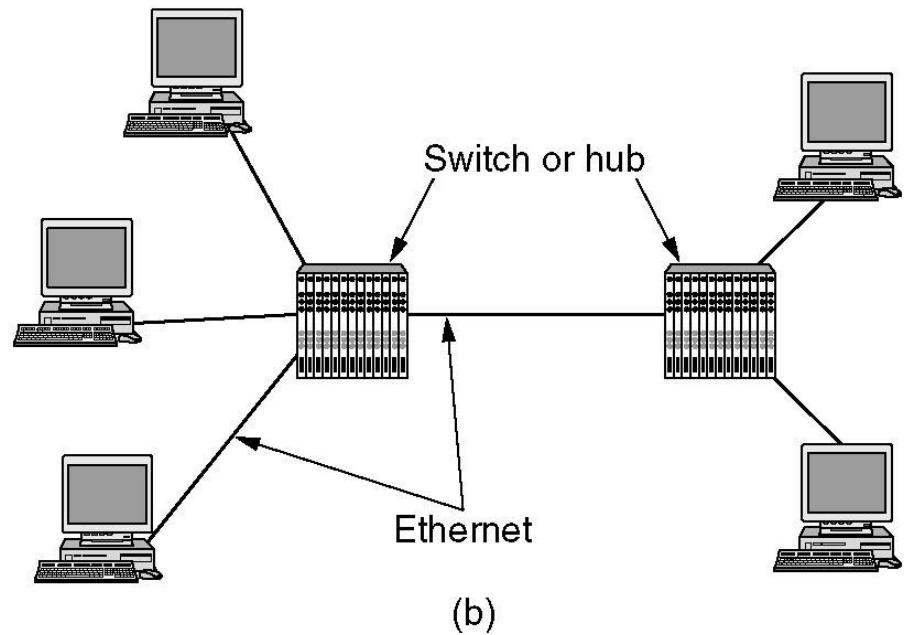
Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100 Mbps
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

A gyors Ethernet.eredeti kábelezése

Gigabit Ethernet



(a)



(b)

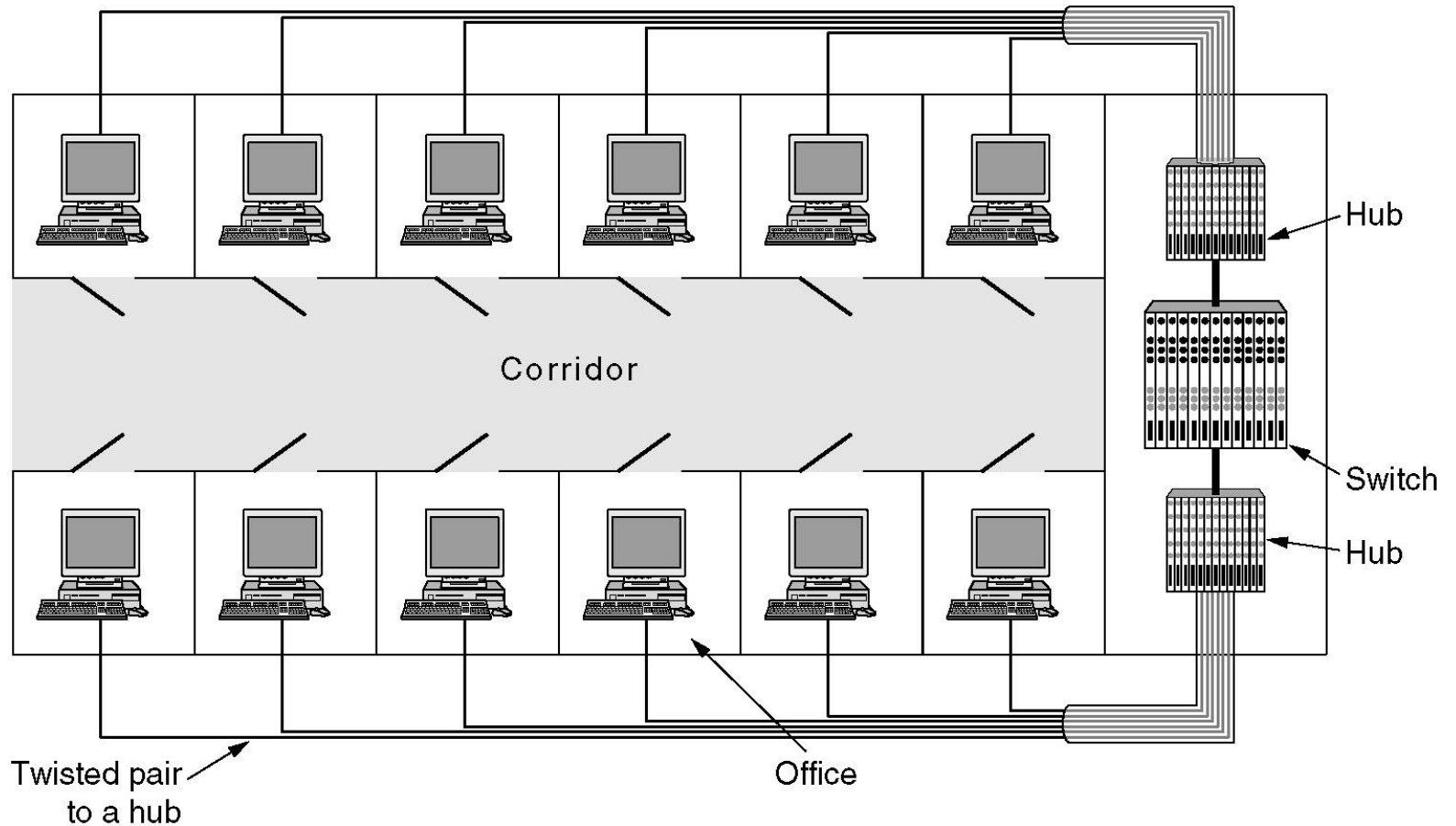
(a) A two-station Ethernet. (b) A multistation Ethernet.

Gigabites Ethernet (2)

Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 μ) or multimode (50, 62.5 μ)
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP

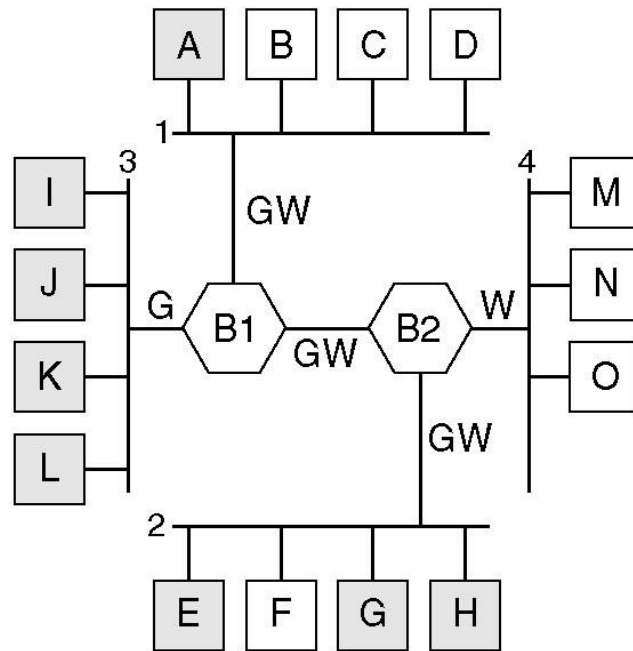
Gigabites Ethernet kábelezés.

Virtuális LAN

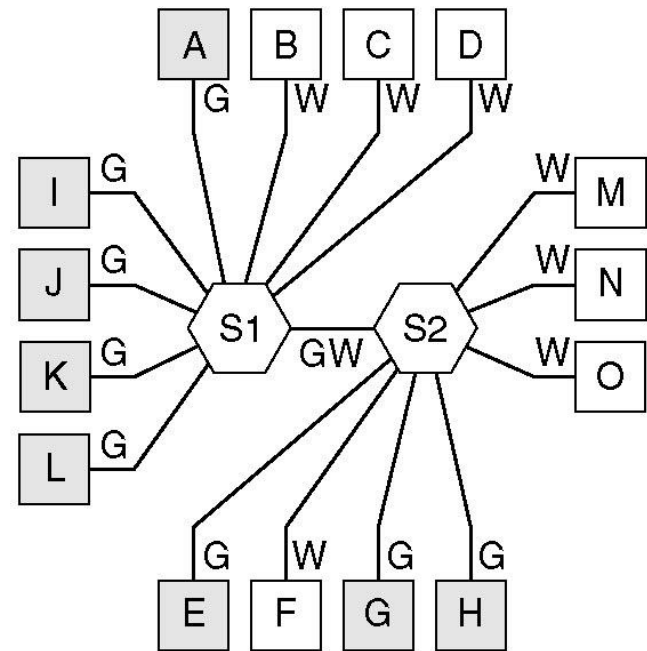


A building with centralized wiring using hubs and a switch.

Virtual LANs (2)



(a)



(b)

(a) Four physical LANs organized into two VLANs, gray and white, by two bridges. (b) The same 15 machines organized into two VLANs by switches.

Network Layer (ELTE)

Instructor: Andras Veres

Email: andras.veres@ericsson.com

Notes derived from “*Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet*”, 3rd edition, Jim Kurose, Keith Ross Addison-Wesley.

Roadmap

- What is the Internet?
- Task of networking layer
- Forwarding, routing
- IP addresses
- IP header format
- Delay, loss – why?
- Structure of the Internet

Computer Network?



“interconnected collection of autonomous computers connected by a *single* technology” [Tanenbaum]

What is the Internet?

- “network of networks”
- “collection of networks interconnected by routers using the TCP/IP protocol”
- “a communication medium used by millions”
- Email, chat, Web “surfing”, streaming media

Internet Web

The “nuts and bolts” view of the Internet

millions of connected computing devices: *hosts, end-systems*

- PCs workstations, servers
- PDAs phones, toasters

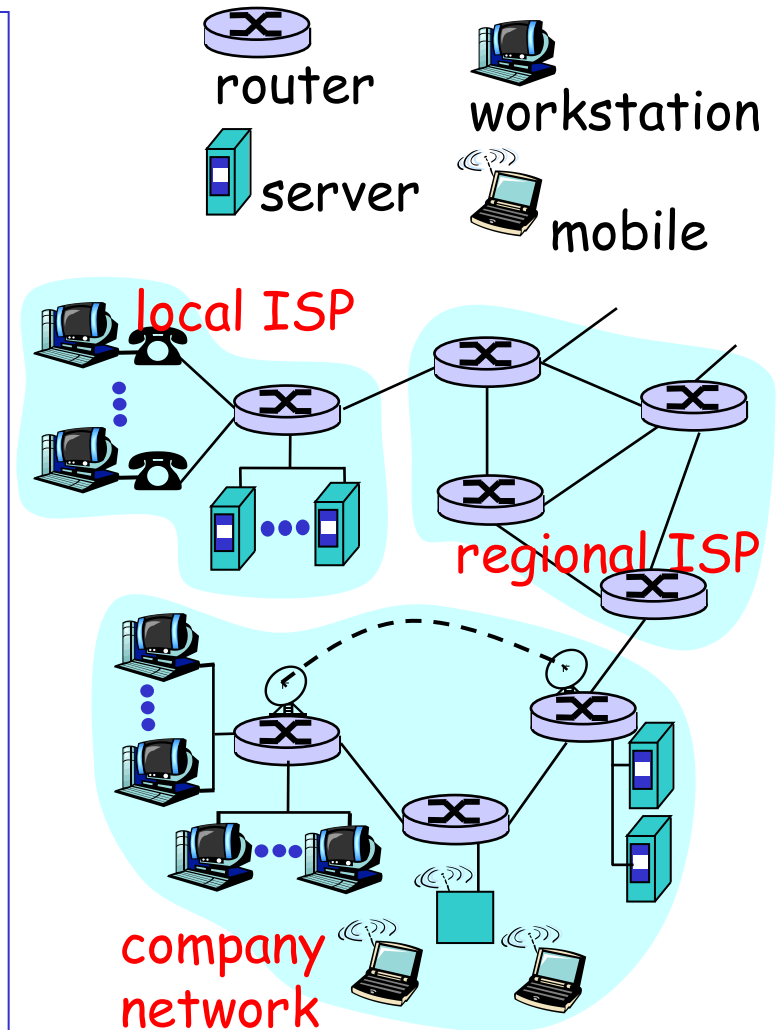
running *network apps*

communication links

- fiber, copper, radio, satellite
- Links have different *bandwidth*

routers: forward packets

Packet: a piece of messg.



End-to-end paradigm

Internet is growing at an incredible rate:

- 1-56 kbps modems -> 10 Mbps DSL
- Router speed: 1 Mbps routers -> 40-80 Gbps
- Typical link speed: 64 kbps -> 2.5 Gbps

Scalability is a must

Complexity is in the edges/hosts

- Applications
- Complex algorithms
- Routers are “dumb”

In contrast traditional telephone system has complexity in the switching centers

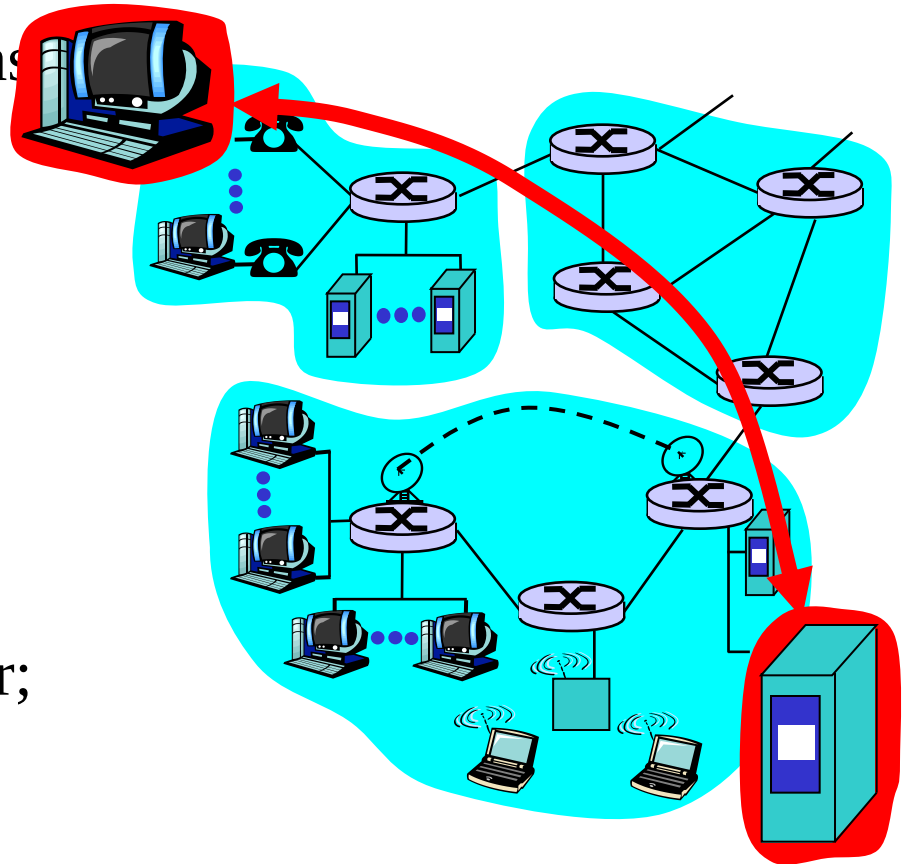
Applications (1)

end systems (hosts):

- run application programs
- e.g. Web, email
- at “edge of network”

client/server model

- client host requests, receives service from always-on server
- e.g. Web browser/server; email client/server

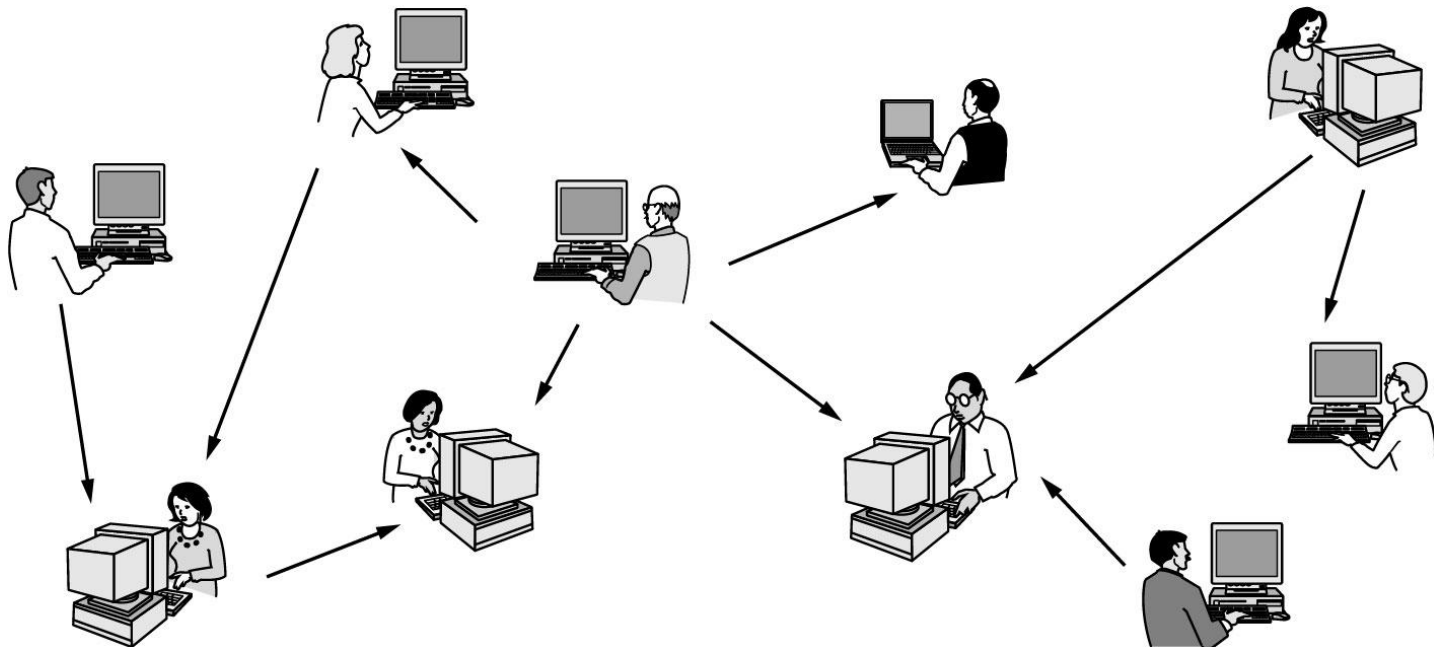


Applications (2)

peer-peer model:

- No fixed clients or servers
- Each host can act as both client & server

Examples: Napster, Gnutella, KaZaA



Applications (3)

WWW

Instant Messaging (Internet chat, text messaging on cellular phones)

Peer-to-Peer

Internet Phone

Video-on-demand

Distributed Games

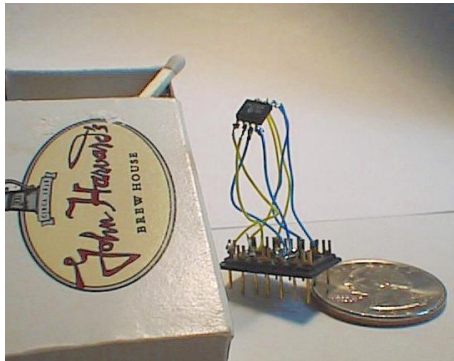
Remote Login (SSH client, Telnet)

File Transfer

“Cool” Appliances



IP picture frame
<http://www.ceiva.com/>



World's smallest web server
<http://www-ccs.cs.umass.edu/~shri/iPic.html>



Web-enabled toaster+weather forecaster

Internet protocol stack – layered model

application: supporting network applications

- FTP, SMTP, STTP, toaster

transport: host-host data transfer

- TCP, UDP

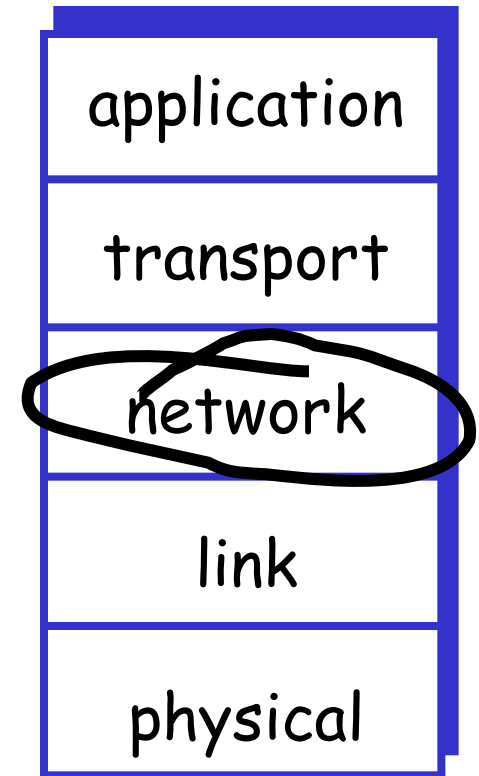
network: routing of datagrams from source to destination

- IP, routing protocols

link: data transfer between neighboring network elements

- PPP, Ethernet

physical: bits “on the wire”



Network layer

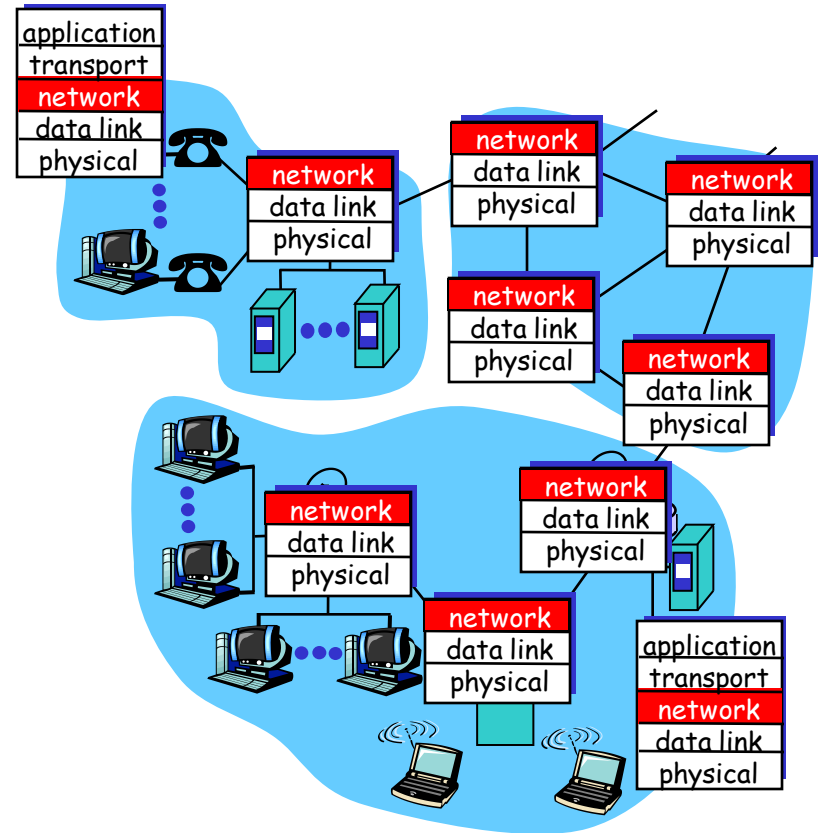
transport segment from sending to
receiving host

on sending side encapsulates segments
into datagrams

on rcving side, delivers segments to
transport layer

network layer protocols in *every* host,
router

Router examines header fields in all IP
datagrams passing through it



Key Network-Layer Functions

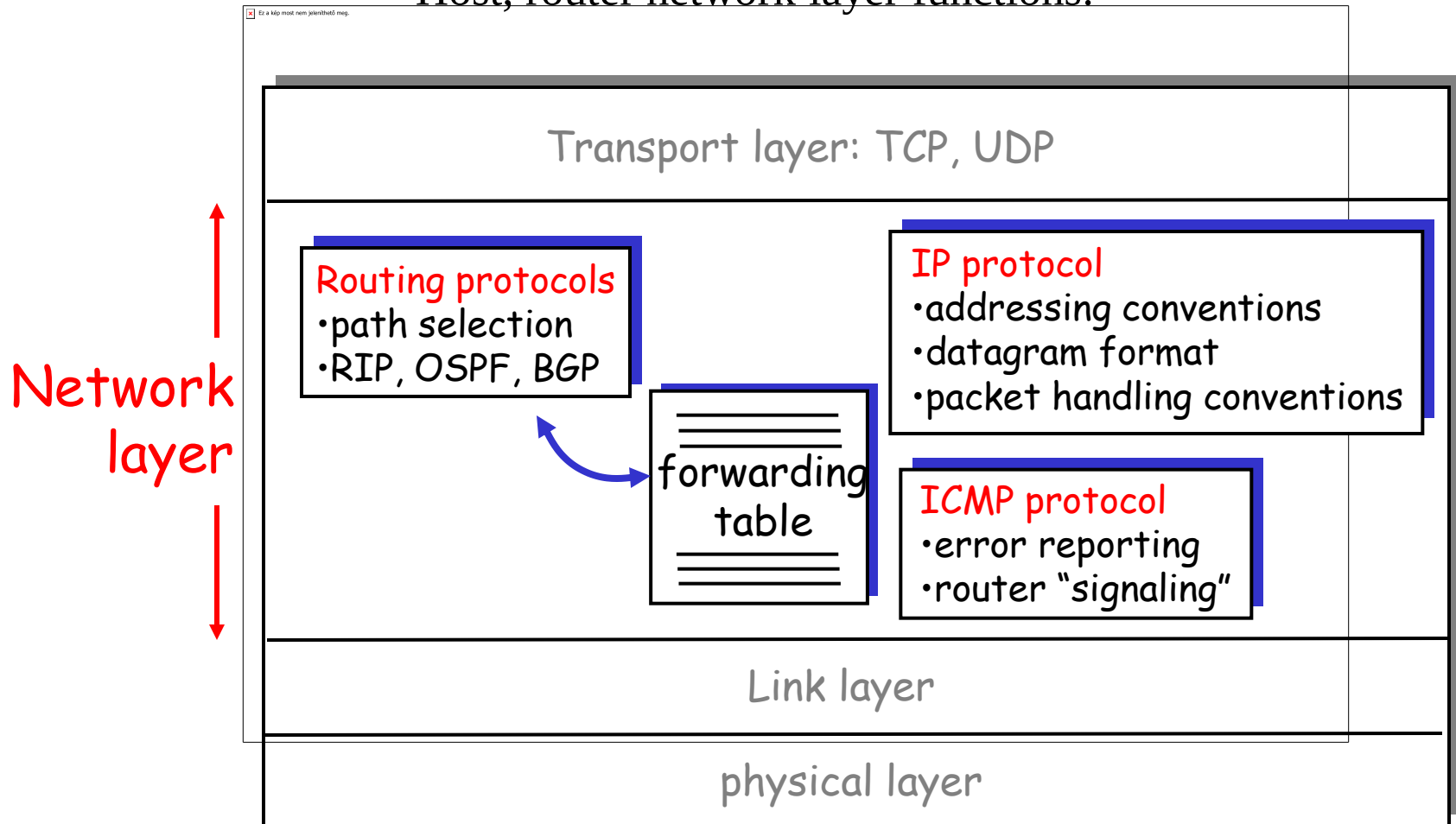
forwarding: move packets from router's input to appropriate router output

routing: determine the path taken by packets as they flow from a sender to a receiver

- *Routing algorithms* – run at routers to determine “paths”;
- Routers have a forwarding table
 - Destination address-based in Datagram networks
 - Virtual circuit number-based in VC Networks

What does the Network layer consist of?

Host, router network layer functions:



The Internet Protocol (IP)

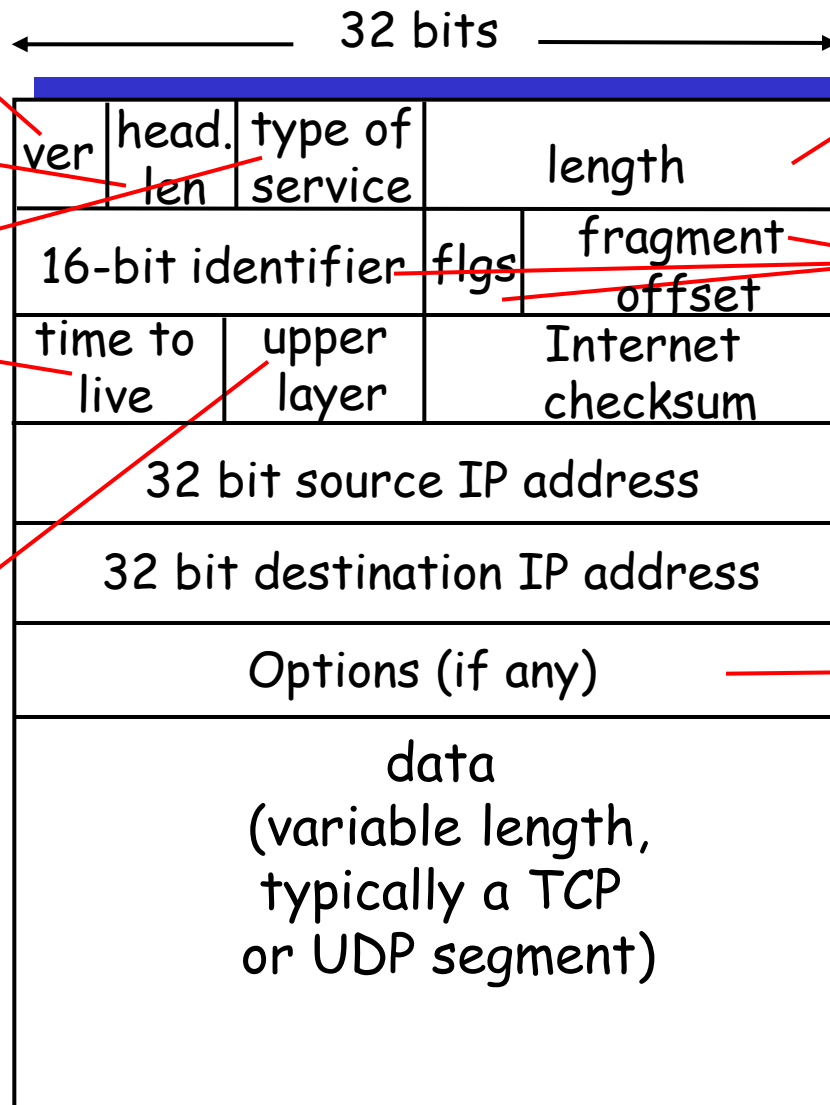
IP datagram format

IP protocol version
number
header length
(bytes)

"type" of data

max number
remaining hops
(decremented at
each router)

upper layer protocol
to deliver payload to



total datagram
length (bytes)

for
fragmentation/
reassembly

E.g. timestamp,
record route
taken, specify
list of routers
to visit.

how much overhead with
TCP?

20 bytes of TCP

20 bytes of IP

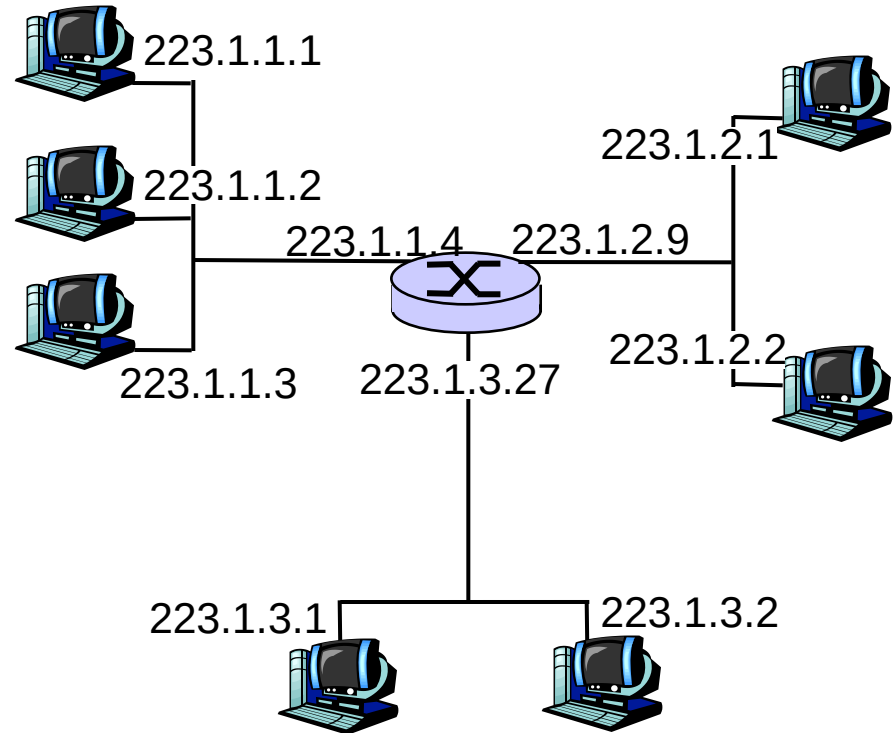
= 40 bytes + app layer
overhead

IPv4 Addressing

IP address: 32-bit identifier for host, router *interface*

interface: connection between host/router and physical link

- router's typically have multiple interfaces
- host may have multiple interfaces
- IP addresses associated with each interface



$$223.1.1.1 = \underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1$$

Classful Addressing

0	Network (7 bits)	Host (24 bits)
---	---------------------	----------------

Class A

1	0	Network (14 bits)	Host (16bits)
---	---	----------------------	------------------

Class B

110	Network (21 bits)	Host (8bits)
-----	----------------------	-----------------

Class C

1110	Multicast address
------	-------------------

Class D

1111	Future use addresses
------	----------------------

Class E

Addresses consists of:

- Network part
- Host part

Subnets: Motivation

The “classful” addressing scheme proposes that the network portion of a IP address uniquely identifies one physical network.

- Any network with more than 255 hosts needs a class B address. Class B addresses can get exhausted before we have 4 billion hosts!

Take bits from the host number part to create a “subnet” number.



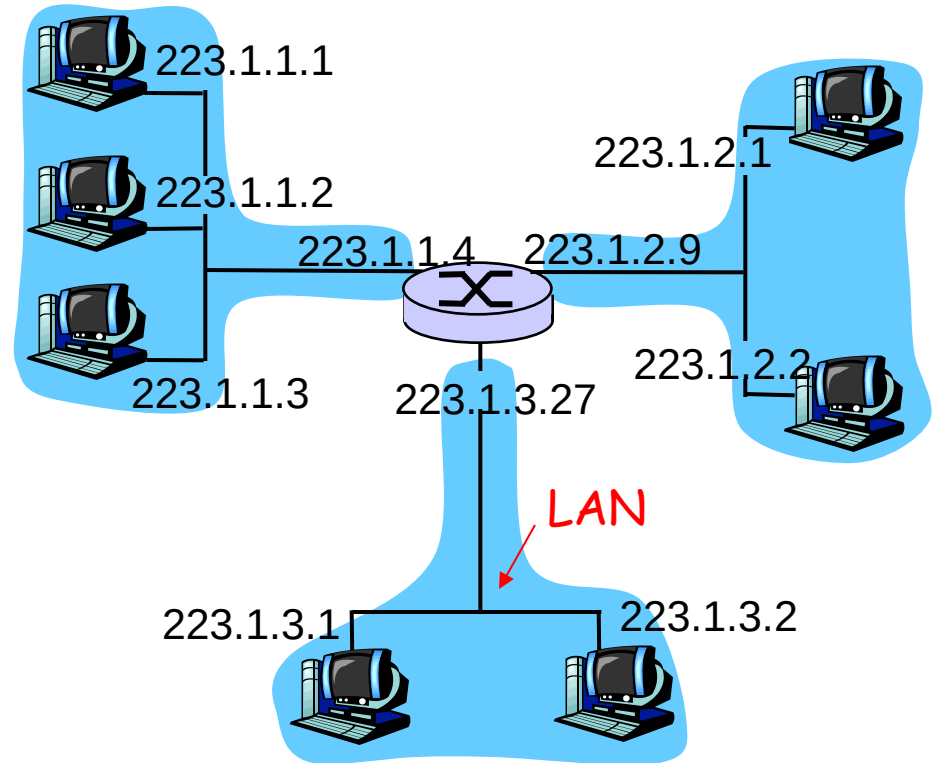
Subnets

IP address:

- subnet part (high order bits)
- host part (low order bits)

What's a subnet ?

- device interfaces with same subnet part of IP address
- can physically reach each other without intervening router

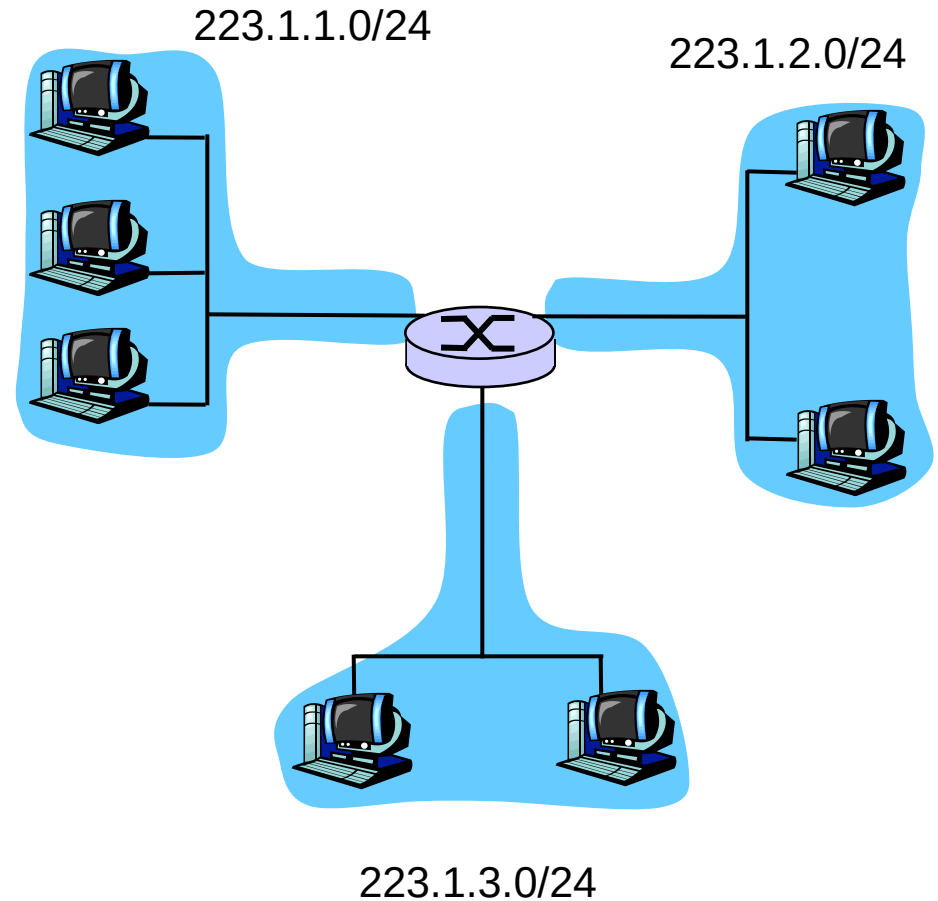


network consisting of 3 subnets

Subnets

Recipe

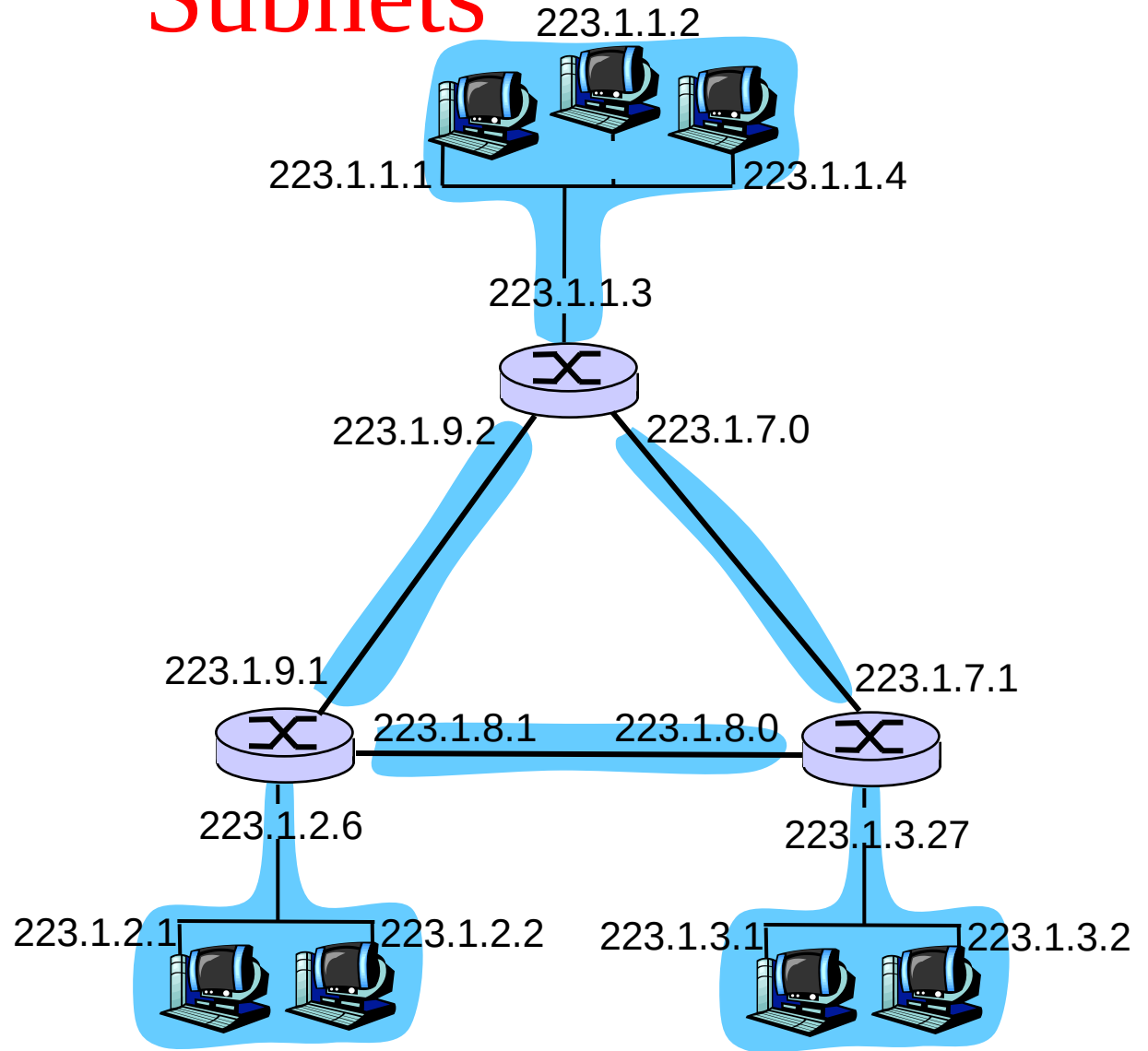
To determine the subnets, detach each interface from its host or router, creating islands of isolated networks. Each isolated network is called a **subnet**.



Subnet mask: /24

Subnets

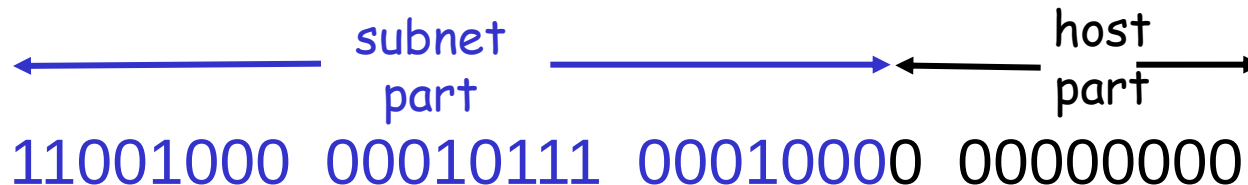
How many?



Addressing in the Internet

CIDR: Classless InterDomain Routing

- subnet portion of address of arbitrary length
- address format: **a.b.c.d/x**, where x is # bits in subnet portion of address
- Before CIDR, Internet used a class-based addressing scheme where x could be 8, 16, or 24 bits. These corrspond to classes A, B, and C resp.



200.23.16.0/23

IP addresses: how to get one?

Q: How does *host* get IP address?

hard-coded by system admin in a file

- Wintel: control-panel->network->configuration->tcp/ip->properties
- UNIX: /etc/rc.config

DHCP: **D**ynamic **H**ost **C**onfiguration **P**rotocol: dynamically get address from a server

- this is becoming very popular

IP addresses: how to get one?

Q: How does *network* get subnet part of IP addr?

A: gets allocated portion of its provider ISP's address space

ISP's block	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/20
Organization 0	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/23
Organization 1	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010010</u>	00000000	200.23.18.0/23
Organization 2	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010100</u>	00000000	200.23.20.0/23
...					
Organization 7	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00011110</u>	00000000	200.23.30.0/23

IP addressing: the last word...

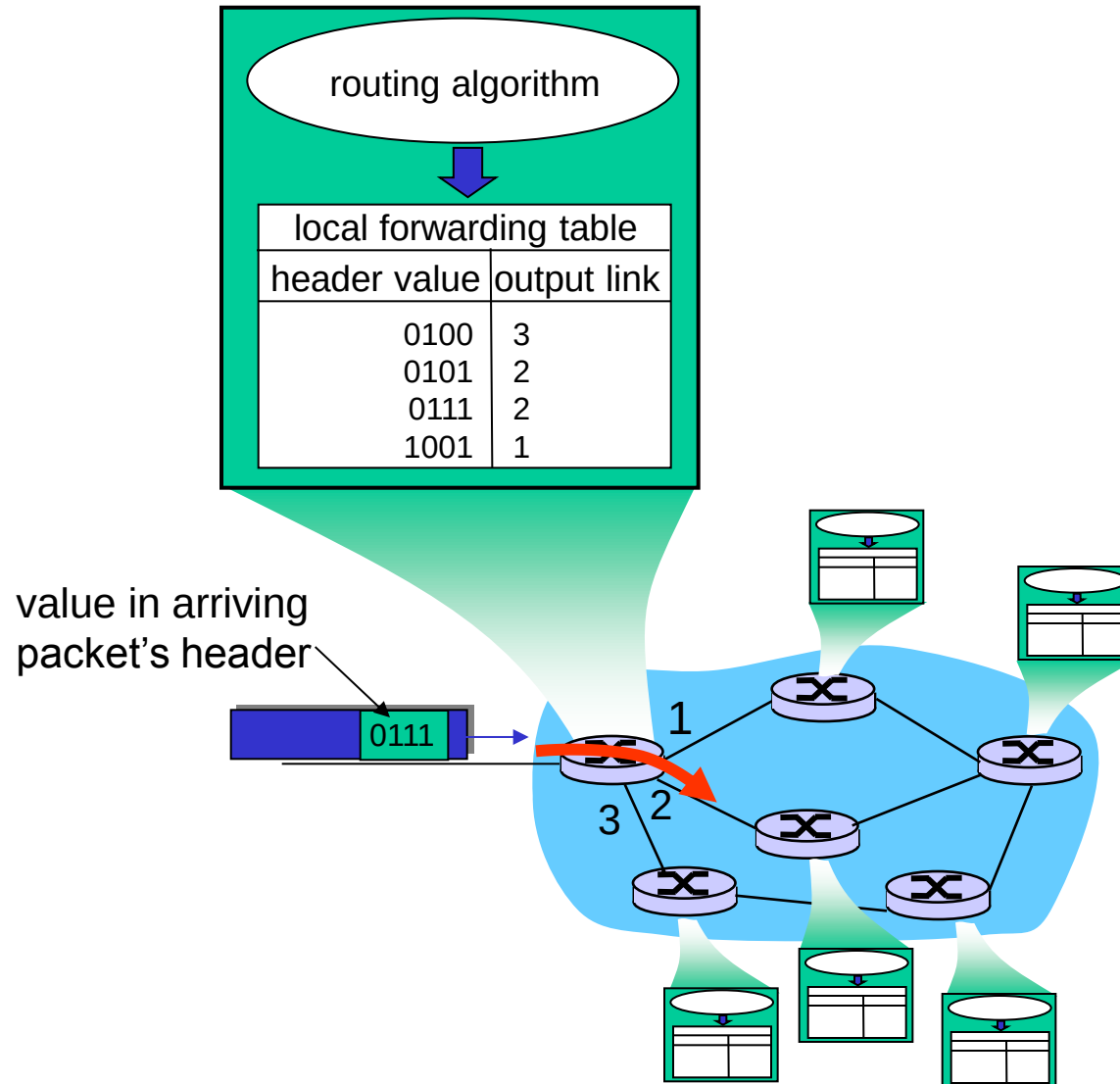
Q: How does an ISP get block of addresses?

A: ICANN: Internet Corporation for Assigned
Names and Numbers

- allocates addresses
- manages DNS
- assigns domain names, resolves disputes

Forwarding&routing

Interplay between routing and forwarding



Getting a datagram from source to dest.

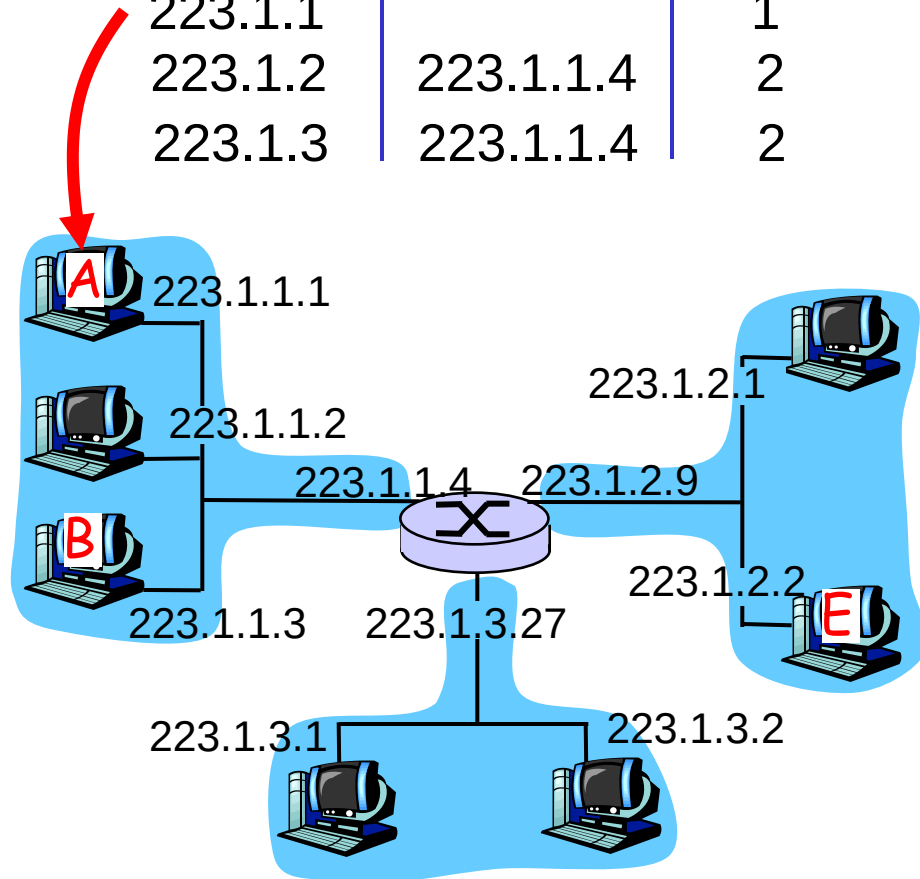
IP datagram:

misc fields	source IP addr	dest IP addr	data
----------------	-------------------	-----------------	------

datagram remains **unchanged**, as it
travels source to destination
addr fields of interest here

forwarding table in A

Dest. Net.	next router	Nhops
223.1.1		1
223.1.2	223.1.1.4	2
223.1.3	223.1.1.4	2



Getting a datagram from source to dest.

misc fields	223.1.1.1	223.1.1.3	data
----------------	-----------	-----------	------

Starting at A, send IP datagram addressed to B:

look up net. address of B in forwarding table

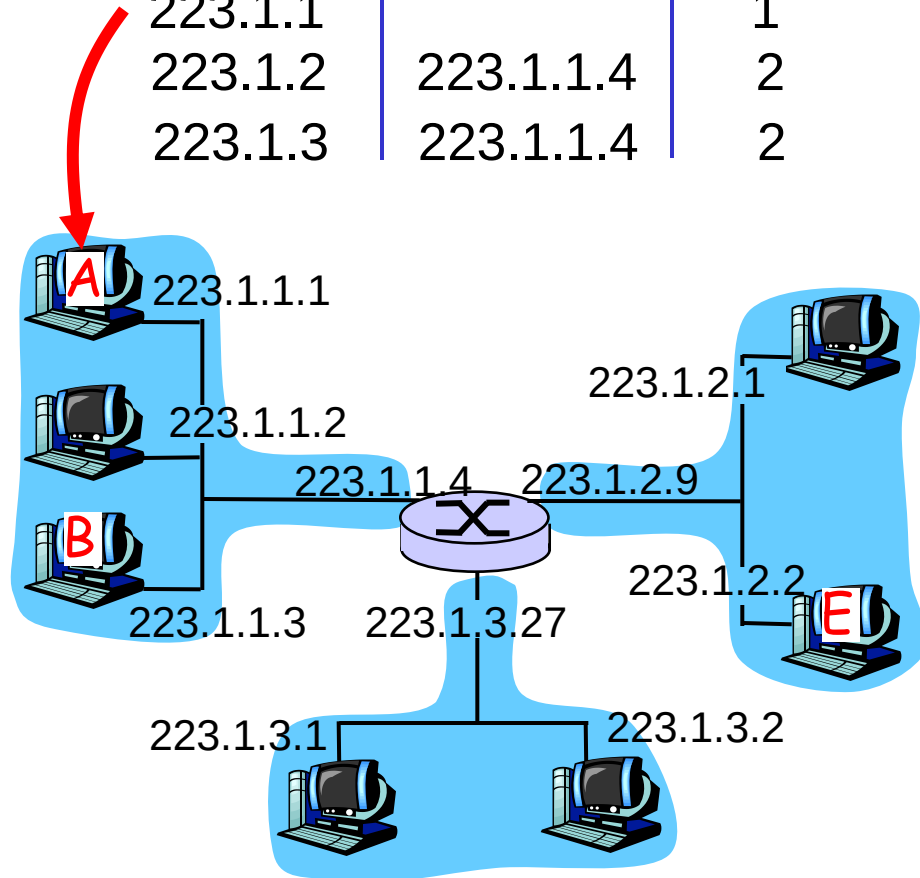
find B is on same net. as A

link layer will send datagram directly to B inside link-layer frame

- B and A are directly connected

forwarding table in A

Dest. Net.	next router	Nhops
223.1.1		1
223.1.2	223.1.1.4	2
223.1.3	223.1.1.4	2



Getting a datagram from source to dest.

misc fields	223.1.1.1	223.1.2.3	data
-------------	-----------	-----------	------

Starting at A, dest. E:

look up network address of E in forwarding table

E on *different* network

— A, E not directly attached

routing table: next hop router to E is 223.1.1.4

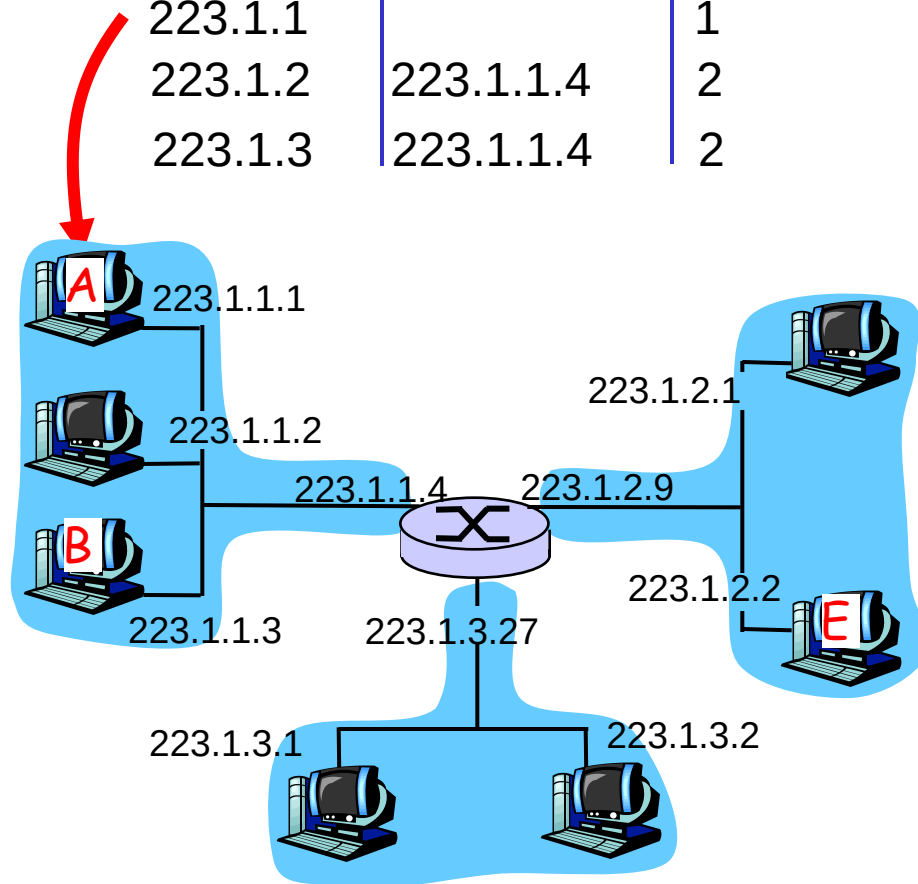
link layer sends datagram to router 223.1.1.4
inside link-layer frame

datagram arrives at 223.1.1.4

continued.....

forwarding table in A

Dest. Net.	next router	Nhops
223.1.1		1
223.1.2	223.1.1.4	2
223.1.3	223.1.1.4	2



Getting a datagram from source to dest.

misc fields	223.1.1.1	223.1.2.3	data
-------------	-----------	-----------	------

Arriving at 223.1.1.4, destined for 223.1.2.2

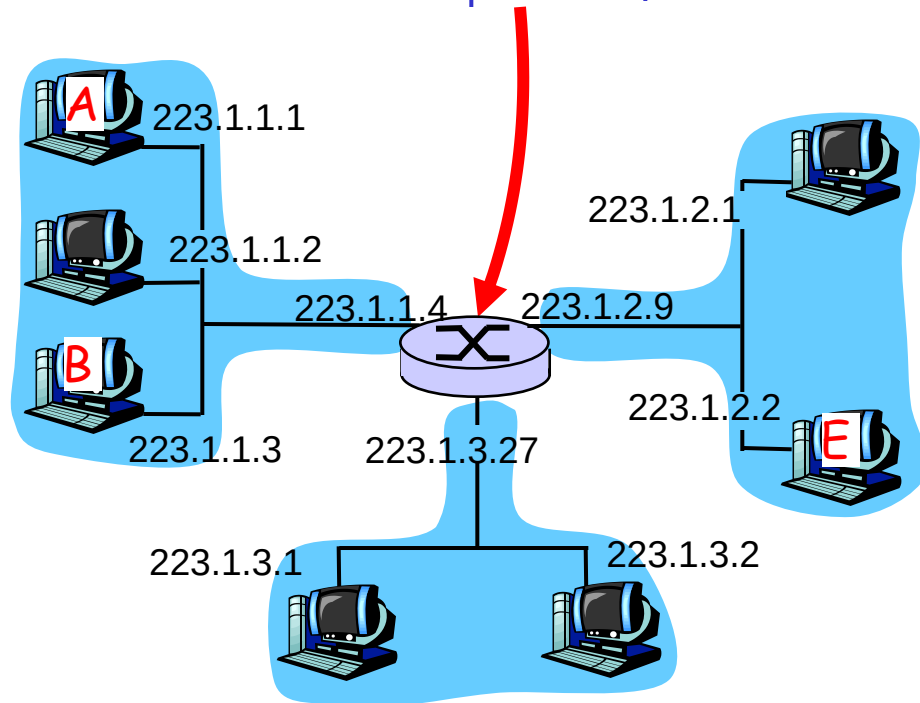
look up network address of E in router's forwarding table

E on *same* network as router's interface 223.1.2.9

— router, E directly attached
link layer sends datagram to 223.1.2.2 inside link-layer frame via interface 223.1.2.9
datagram arrives at 223.1.2.2 !!! (hooray!)

forwarding table in router

Dest. Net	router	Nhops	interface
223.1.1	-	1	223.1.1.4
223.1.2	-	1	223.1.2.9
223.1.3	-	1	223.1.3.27



Example

C:\WINNT\system32\cmd.exe

C:\Documents and Settings\ethavs>

C:\Documents and Settings\ethavs>

C:\Documents and Settings\ethavs>ipconfig

Windows 2000 IP Configuration

Ethernet adapter Local Area Connection 3:

Media State : Cable Disconnected

Ethernet adapter Local Area Connection:

Connection-specific DNS Suffix . : eth.ericsson.se

IP Address : 159.107.198.43

Subnet Mask : 255.255.252.0

Default Gateway : 159.107.196.1

C:\Documents and Settings\ethavs>

C:\Documents and Settings\ethavs>

Example

```
Select C:\WINNT\system32\cmd.exe

C:\Documents and Settings\ethavs>tracert -d www.ericsson.se

Tracing route to www.ericsson.se [153.88.253.44]
over a maximum of 30 hops:

  1      10 ms      10 ms      <10 ms    159.107.196.1
  2      <10 ms     <10 ms     <10 ms    159.107.193.65
  3      <10 ms     <10 ms     <10 ms    192.168.50.1
  4      <10 ms     <10 ms     <10 ms    164.48.159.47
  5      <10 ms     <10 ms     <10 ms    159.107.0.57
  6      <10 ms     <10 ms     <10 ms    192.168.242.90
  7      <10 ms     <10 ms      10 ms    212.31.213.192
  8       51 ms      50 ms      60 ms    212.140.236.194
  9       60 ms      60 ms      60 ms    62.6.98.230
 10      50 ms      50 ms      60 ms    212.140.236.201
 11      60 ms      60 ms      51 ms    212.31.213.183
 12      50 ms      60 ms      50 ms    62.239.96.1
 13      51 ms      60 ms      60 ms    192.168.242.9
 14      50 ms      80 ms      70 ms    153.88.253.44

Trace complete.

C:\Documents and Settings\ethavs>
```

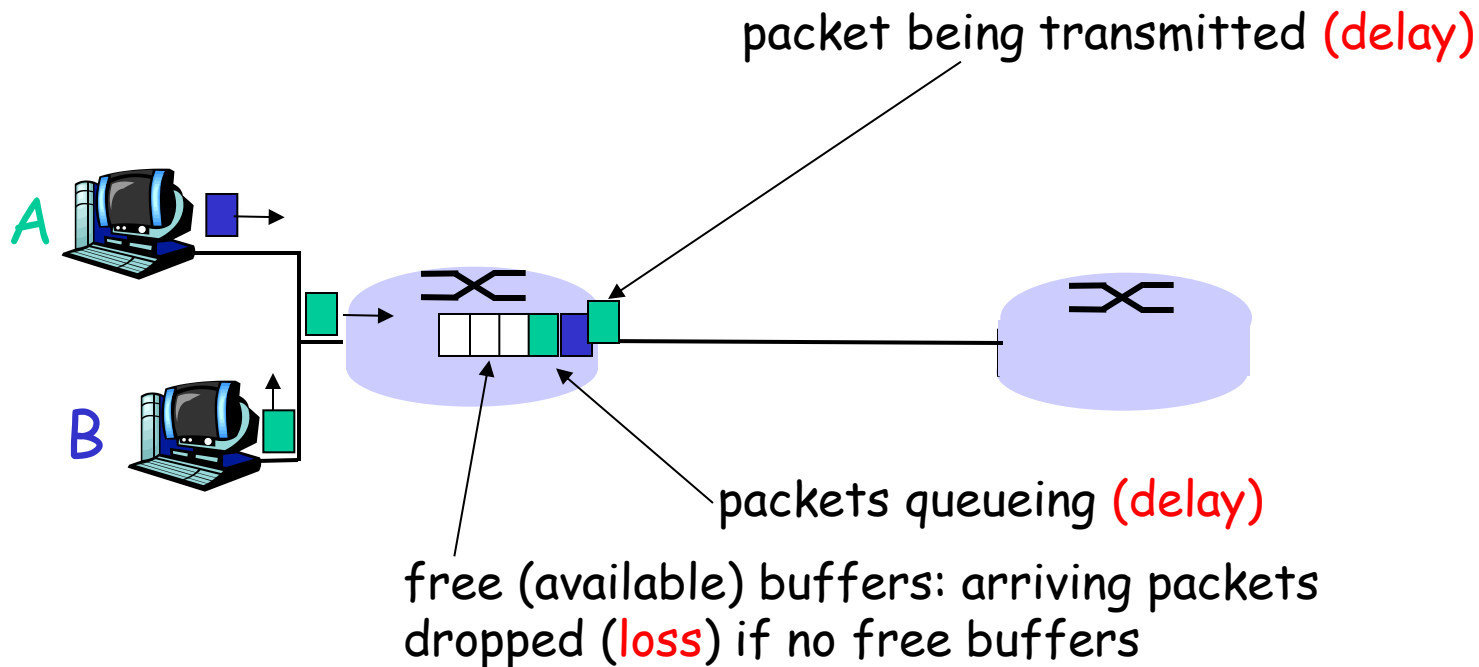
How do loss and delay occur?

packets *queue* in router buffers

packet arrival rate to link exceeds output link capacity

packets queue, wait for turn

if queue is full, arriving packets dropped (Drop-Tail)



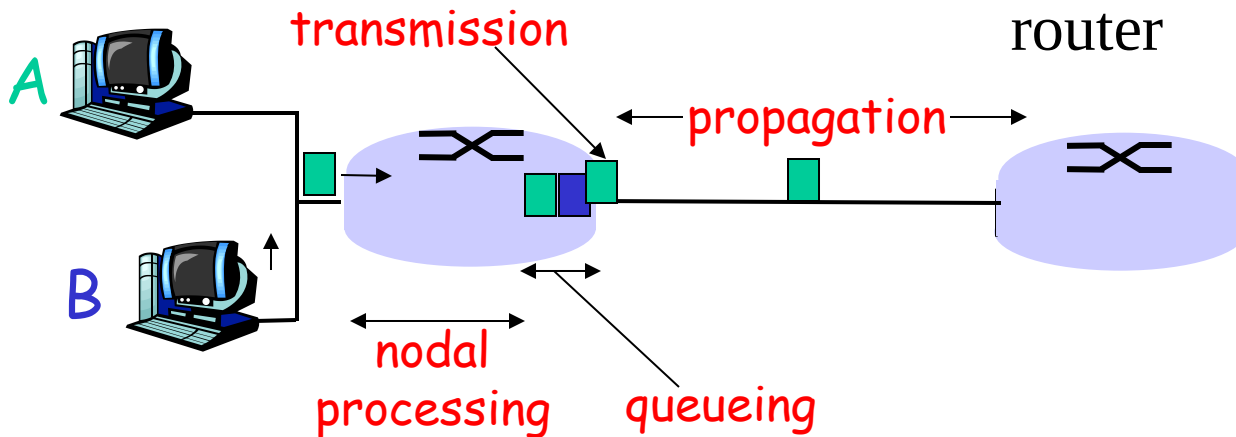
Four sources of packet delay

1. nodal processing:

- check bit errors
- determine output link

2. queueing

- time waiting at output link for transmission
- depends on congestion level of router



Delay in packet-switched networks

3. Transmission delay:

R = link bandwidth (bps)

L = packet length (bits)

time to send bits into link = L/R

4. Propagation delay:

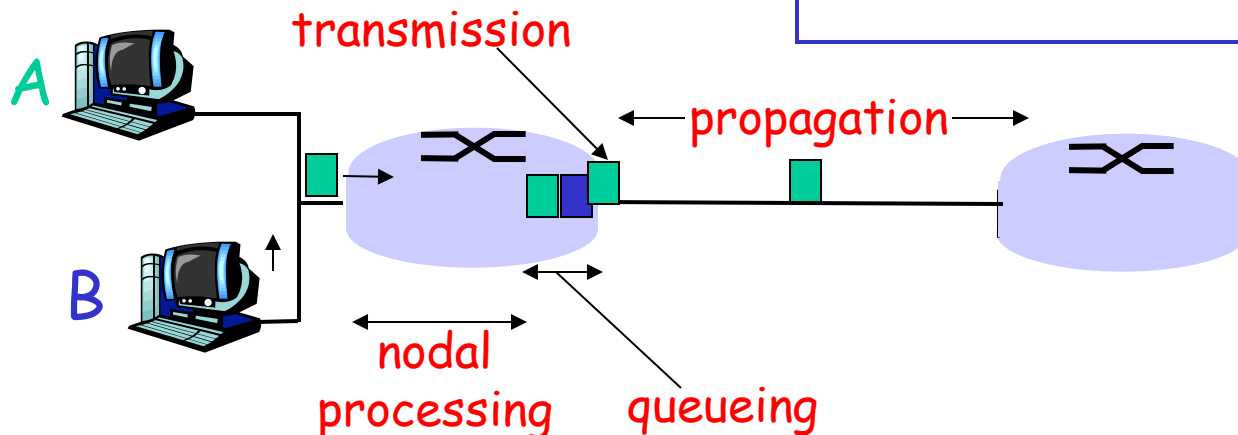
d = length of physical link

s = propagation speed in medium

($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)

propagation delay = d/s

Note: s and R are very different quantities!



Nodal delay

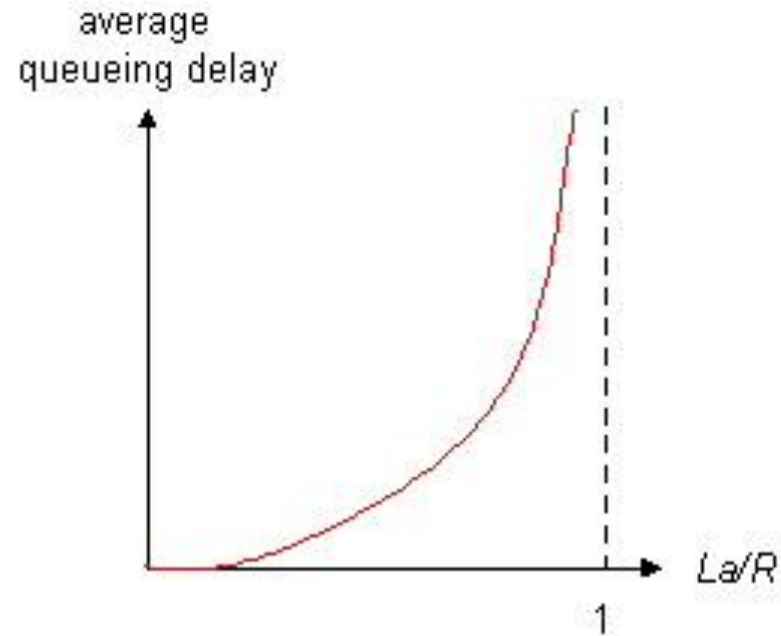
$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{proc} = processing delay

- typically a few microseconds or less

Queueing delay (revisited)

traffic intensity = $\lambda a / R$



$\lambda a / R \sim 0$: average queueing delay small

$\lambda a / R \rightarrow 1$: delays become large

$\lambda a / R > 1$: more “work” arriving than can be serviced, average delay infinite!

R =link bandwidth (bps)

L =packet length (bits)

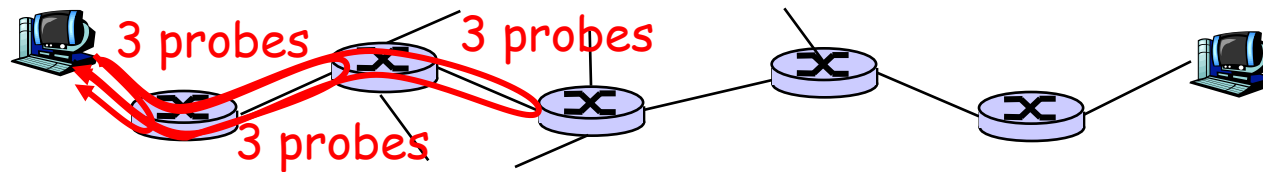
a =average packet arrival rate

“Real” Internet delays and routes

What do “real” Internet delay & loss look like?

Traceroute program: provides delay measurement from source to router along end-end Internet path towards destination. For all i :

- sends three packets that will reach router i on path towards destination
- router i will return packets to sender
- sender times interval between transmission and reply.

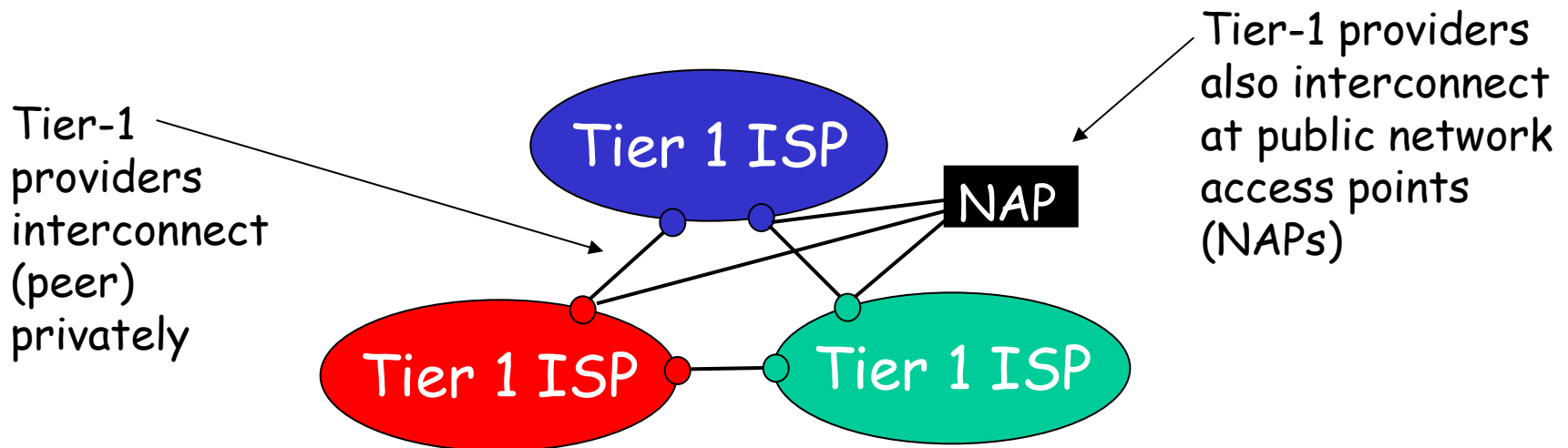


Internet structure: network of networks

roughly hierarchical

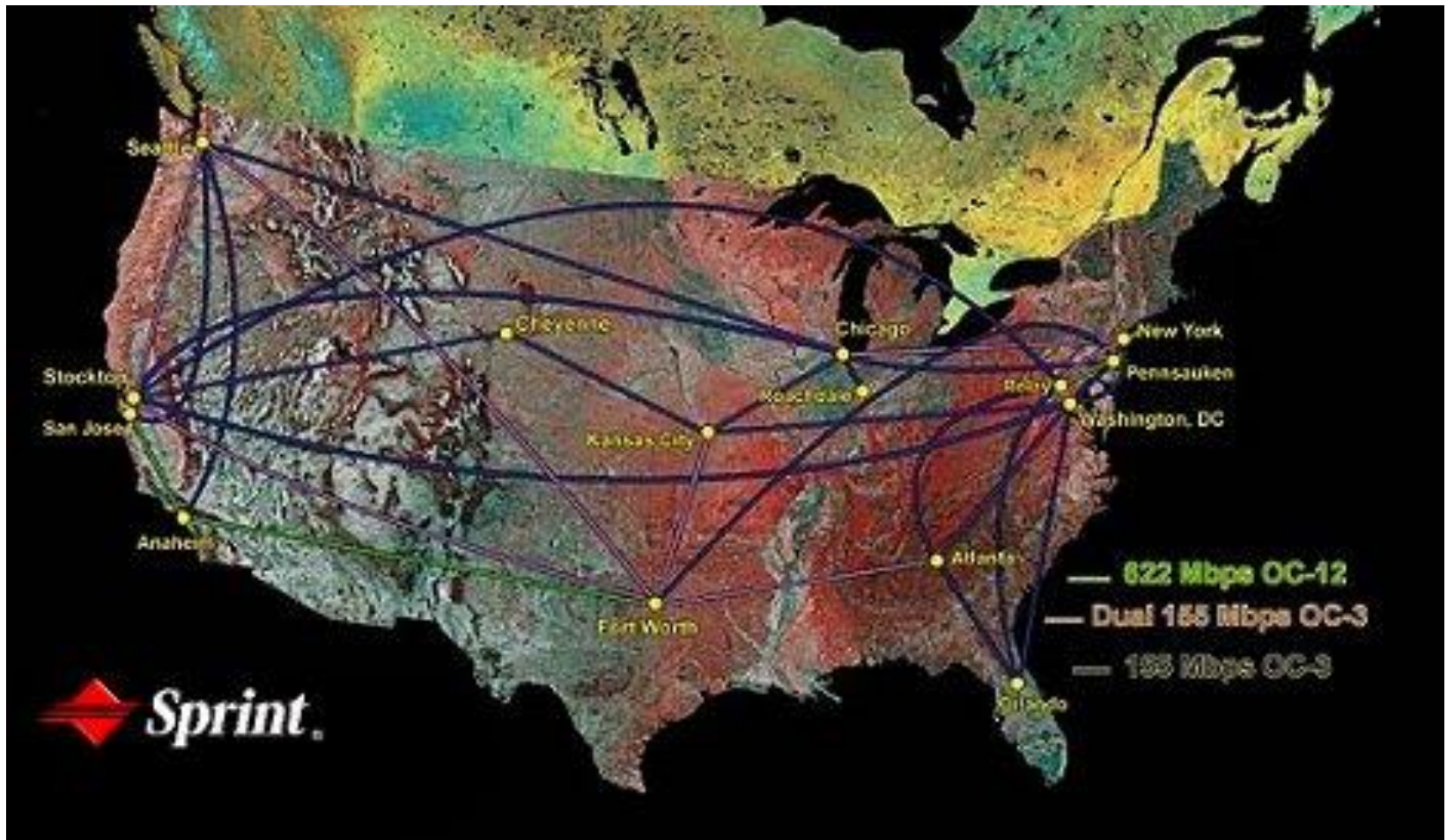
at center: “tier-1” ISPs (e.g., UUNet, BBN/Genuity, Sprint, AT&T),
national/international coverage

- treat each other as equals



Tier-1 ISP: e.g., Sprint

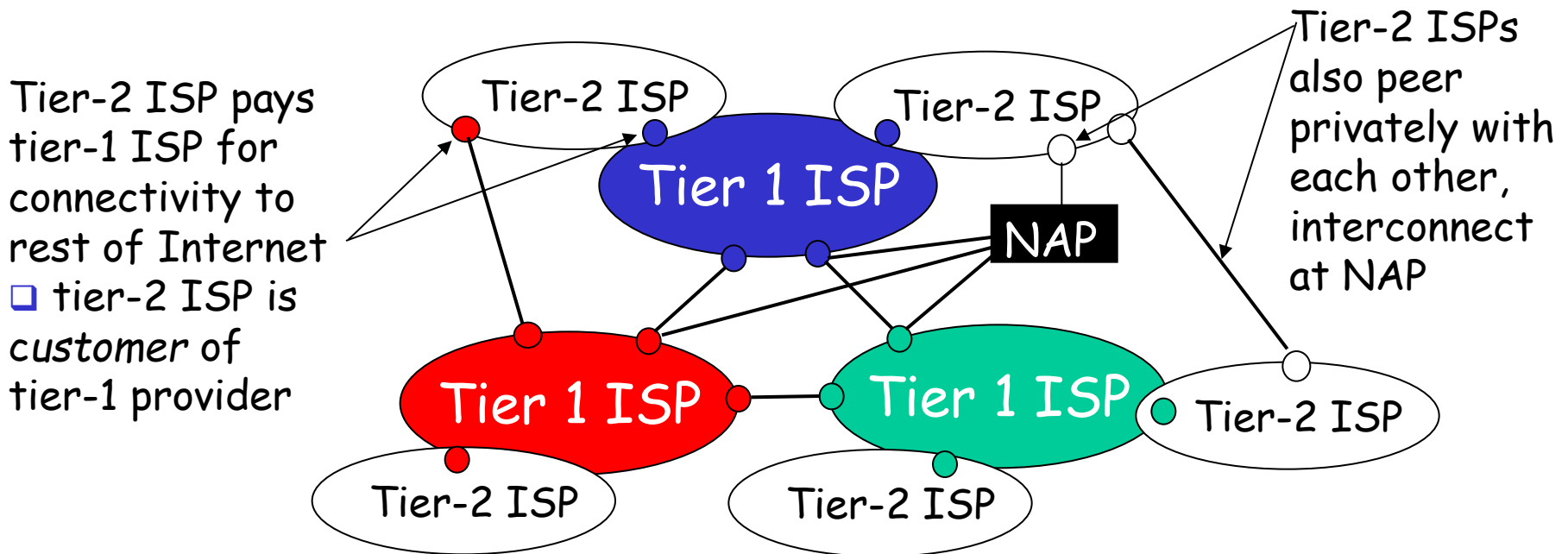
Sprint US backbone network



Internet structure: network of networks

“Tier-2” ISPs: smaller (often regional) ISPs

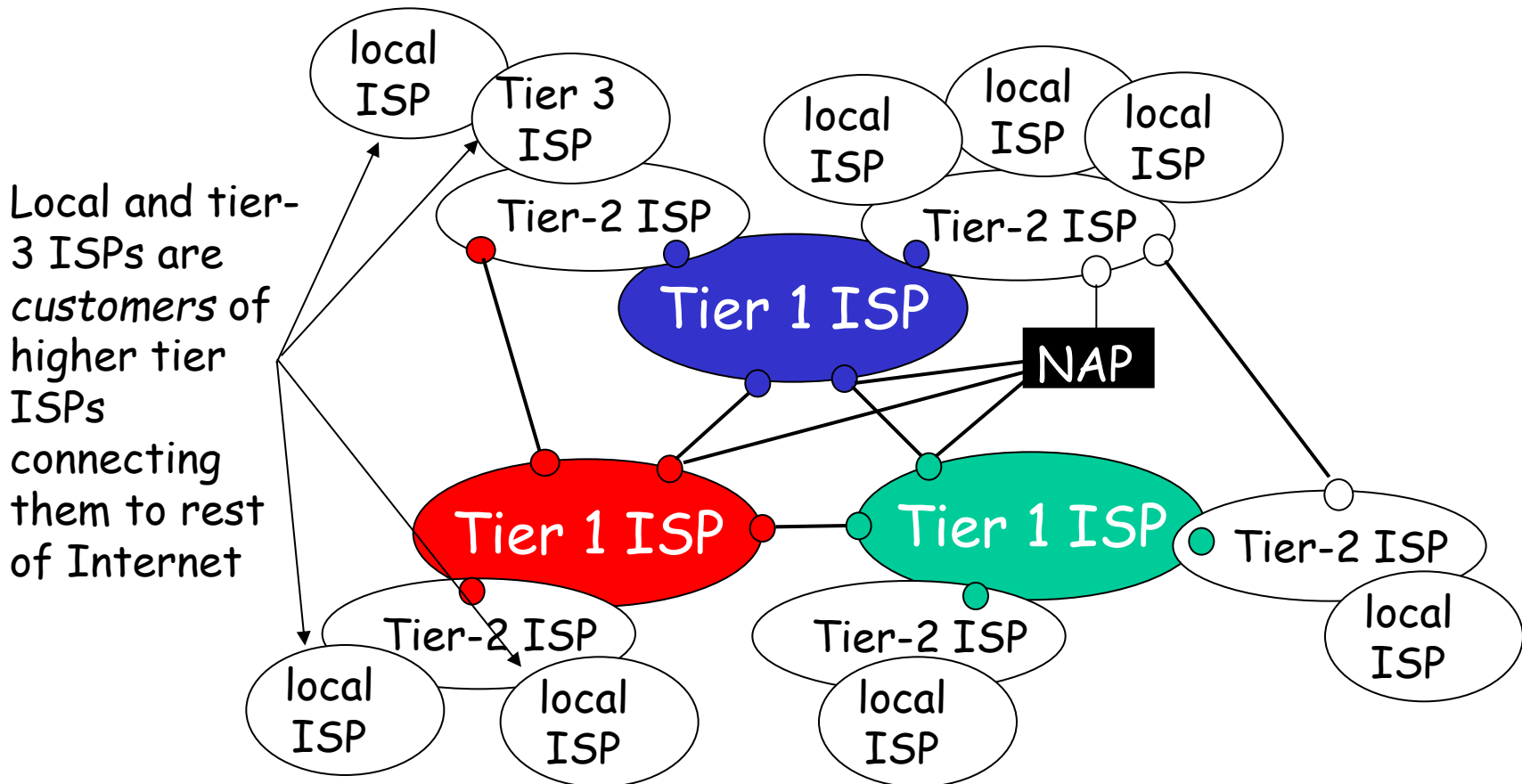
- Connect to one or more tier-1 ISPs, possibly other tier-2 ISPs



Internet structure: network of networks

“Tier-3” ISPs and local ISPs

- last hop (“access”) network (closest to end systems)



Internet structure: network of networks

a packet passes through many networks!

