



VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA
TECHNICKÉ INFORMAČNÍCH
V BRNĚ TECHNOLOGIÍ



1

Úvod

IPK 2022/2023 L

Agenda

- 1) INTERNET**
- 2) Komunikace**
- 3) Připojení k Internetu**
- 4) Počítačové sítě**
- 5) Páteř Internetu**
- 6) Model TCP/IP**
- 7) Závěr**

Internet



internet

/'ɪntənet/

noun

a global computer network providing a variety of information and communication facilities, consisting of interconnected networks using standardized communication protocols.

"the guide is also available **on the internet**"

Definitions from Oxford Languages

Feedback

Lokality



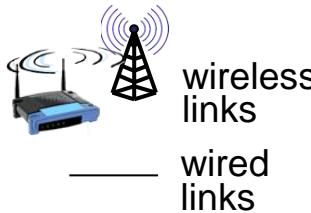
Zdroj: Cisco

Místa

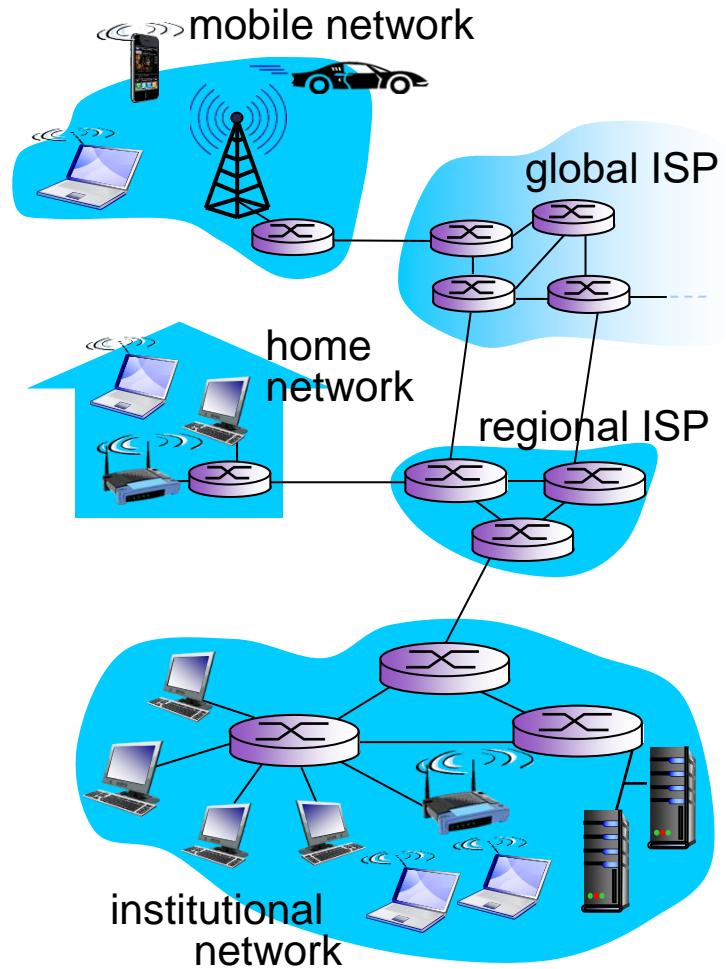


Zdroj: <https://www.techavy.com/deep-web-vs-dark-web/>

Co je Internet?



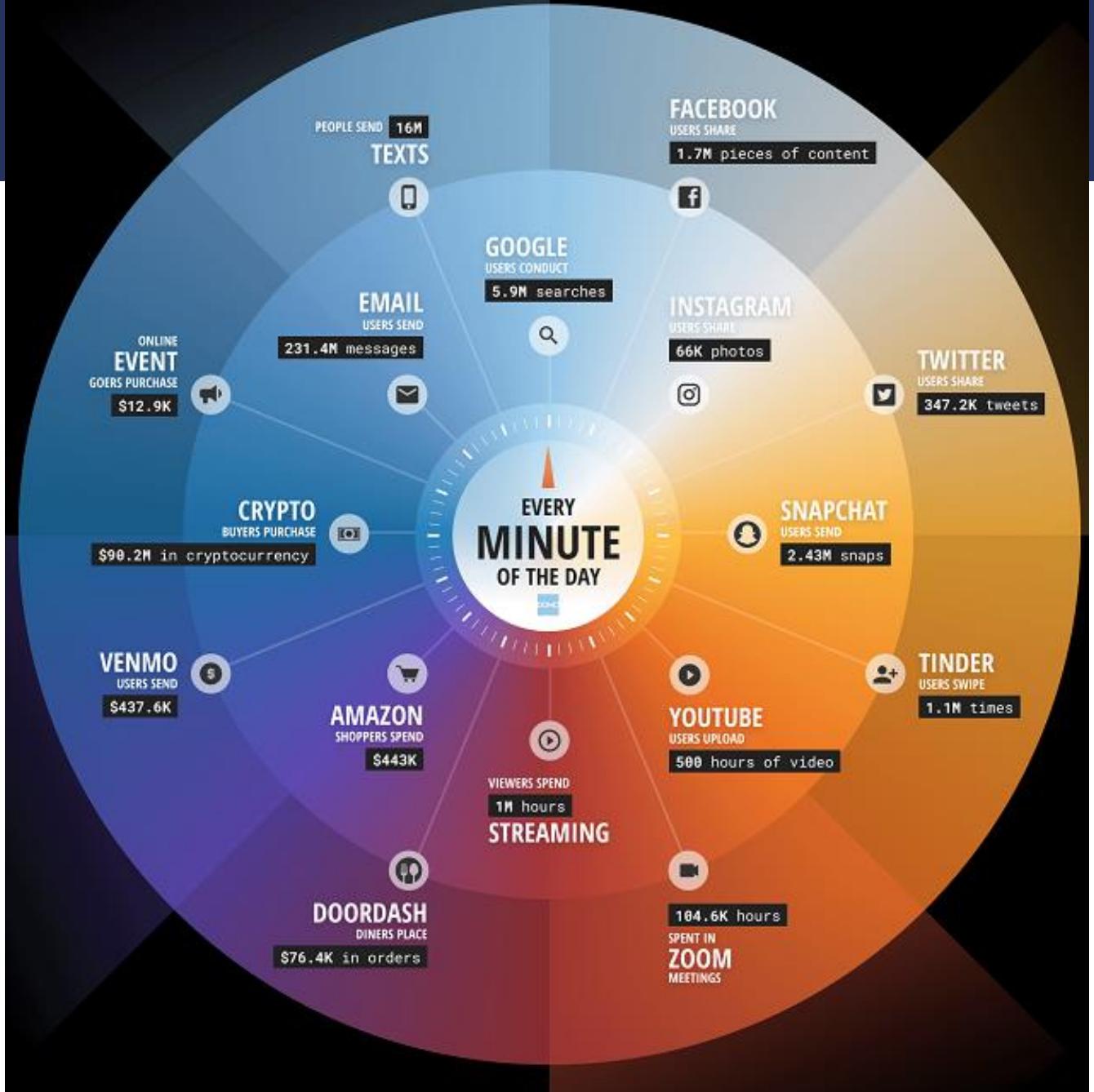
- **zařízení**
 - hosté = koncové systémy provozující síťové aplikace
- **linky**
 - optika, metalika, rádio
 - rychlosť = *bandwidth*
- **pakety**
 - směrovače and přepínače
- **protokoly**
 - IEEE, IETF



Služby

Zdroje:
<https://www.visualcapitalist.com/every-minute-internet-2020/>

<https://www.socialmediatoday.com/news/what-happens-on-the-internet-every-minute-2022-version-infographic/632373/>



Co je Internet?

- Infrastruktura, která poskytuje...
- ...služby aplikacím
 - web, VoIP, mail, hry, e-commerce, sociální sítě
- ...programátorské rozhraní aplikacím
 - programovací primitiva, která umožňují aplikacím přijímat a odesílat data skrz infrastruktury

Agenda

- 1) Internet
- 2) KOMUNIKACE
- 3) Připojení k Internetu
- 4) Počítačové sítě
- 5) Páteř Internetu
- 6) Model TCP/IP
- 7) Závěr

Co je komunikace?



Source

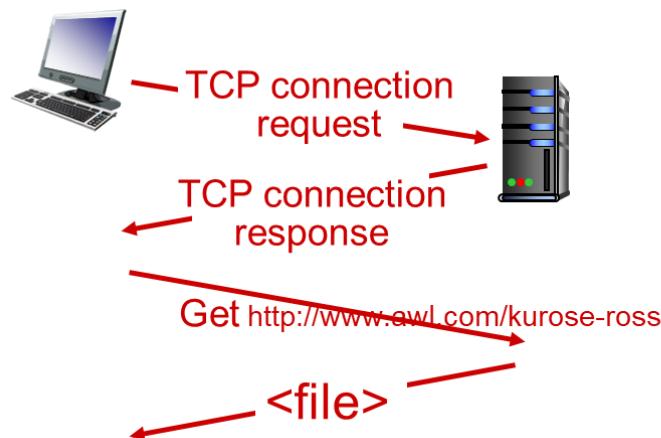


Destination

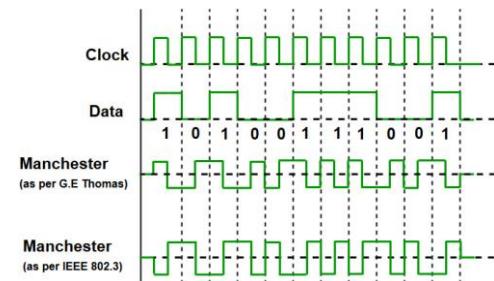
- Sdílení stavu mezi aplikacemi
- „Networking is interprocess communication“

Přenos dat

- Stav je emanován daty



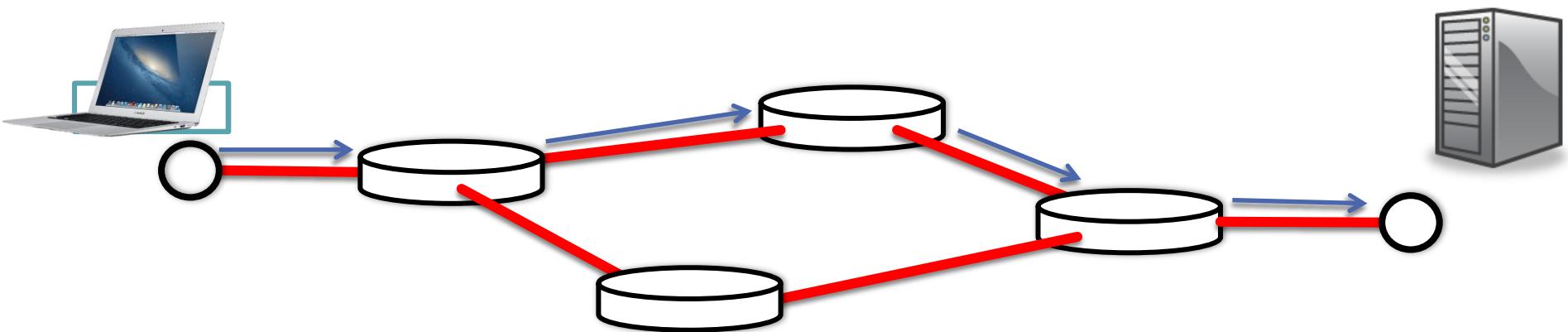
- Jak reprezentovat zprávy?
FORMÁT DAT
- Jak přenést zprávy po médiu?
KÓDOVÁNÍ DAT
- Jak zajistit správný přenos?
DETEKCE CHYB



Jak se to může jevit...



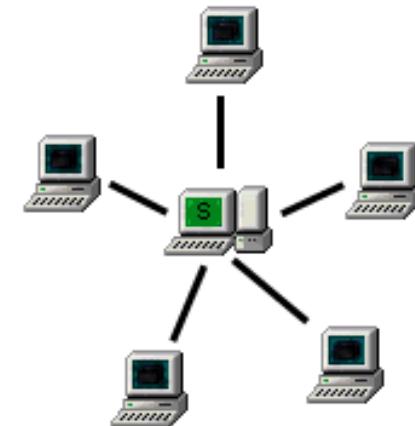
Jak je to ale ve skutečnosti



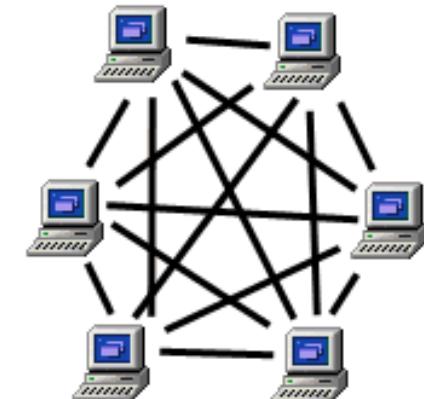
Modely komunikace

- **Client-server**
 - centralizované
 - Client requests server for a service
 - E.g., web browser initiates communication with web server
- **Peer-to-peer**
 - decentralizované
 - Minimal server usage
 - E.g., BitTorrent, Gnutella

Server Based Network

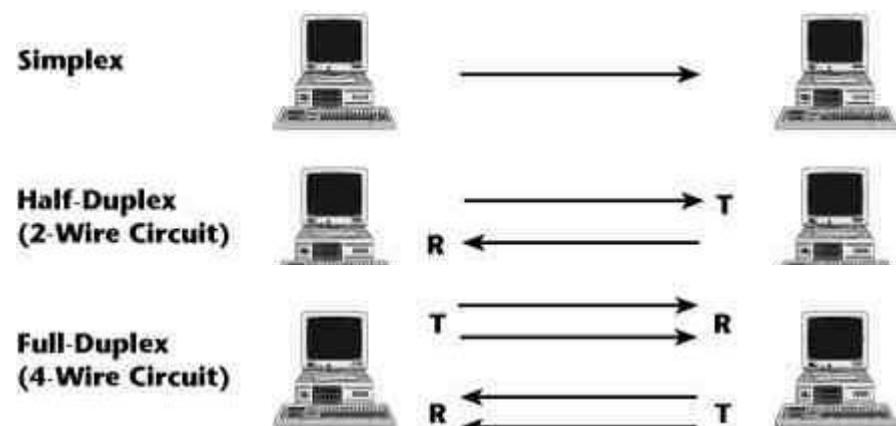


Peer to Peer Network



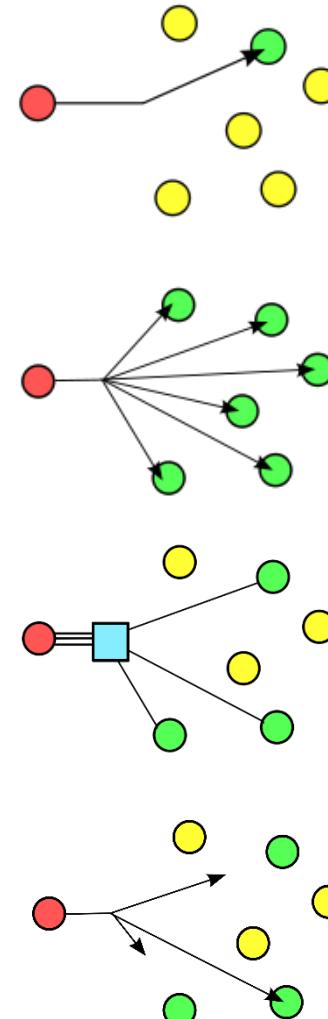
Komunikace dle směru

- Simplex
 - jednosměrná
- Half-duplex
 - obousměrná ale ne simultánně
- Full-duplex
 - simultánně obousměrná



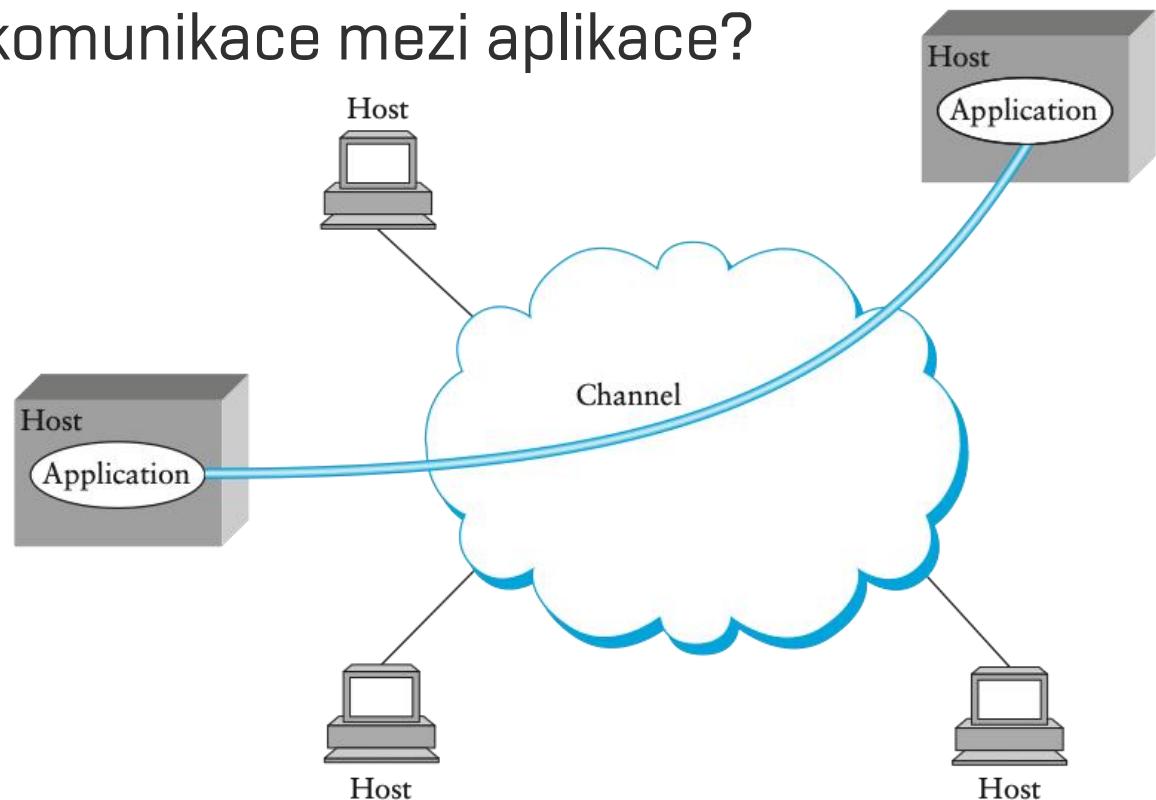
Komunikace dle počtu

- **Unicast**
 - 1 odesilatel
 - 1 příjemce
- **Broadcast**
 - 1 odesilatel
 - V příjemců
- **Multicast**
 - 1 odesilatel
 - N příjemců
- **Anycast**
 - 1 odesilatel
 - 1 nejbližší příjemce



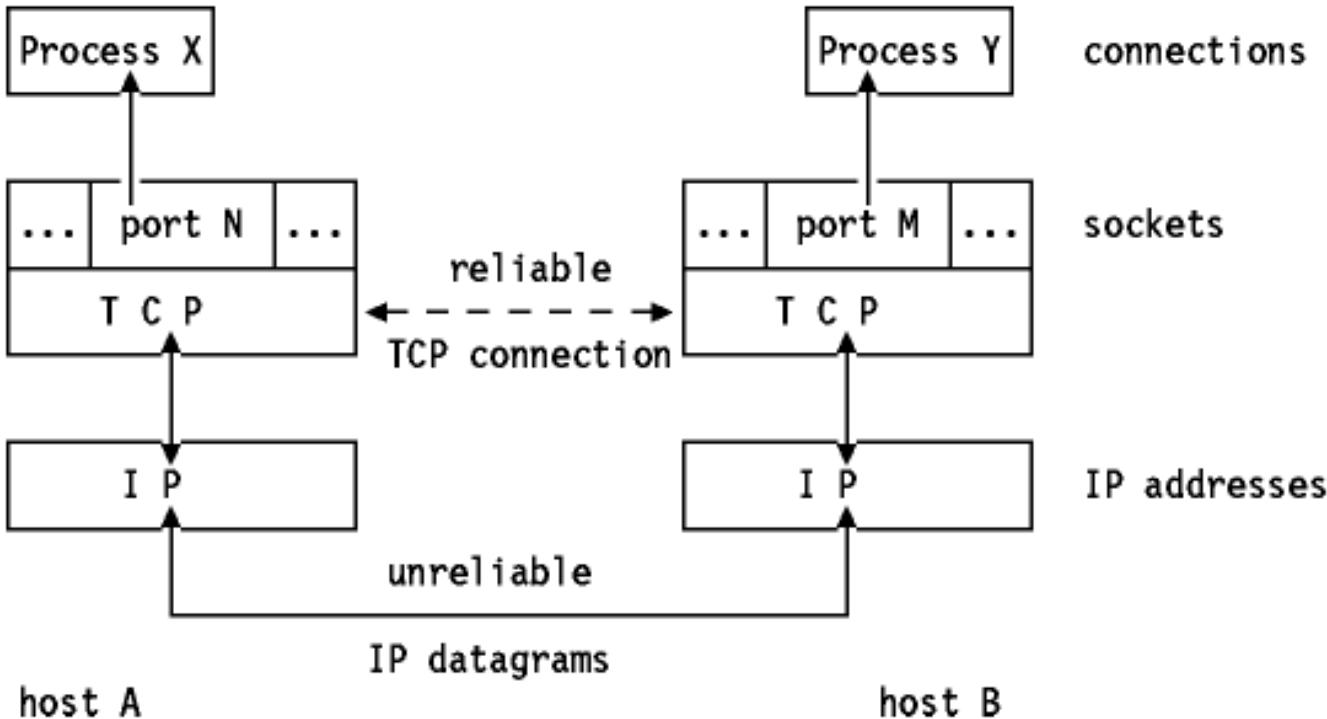
Pohled aplikace na komunikaci

- Jak zajistit spolehlivý přenos dat?
- Jak efektivně využívat dostupných zdrojů?
- Jak řídit (rychlosť) komunikace mezi aplikace?

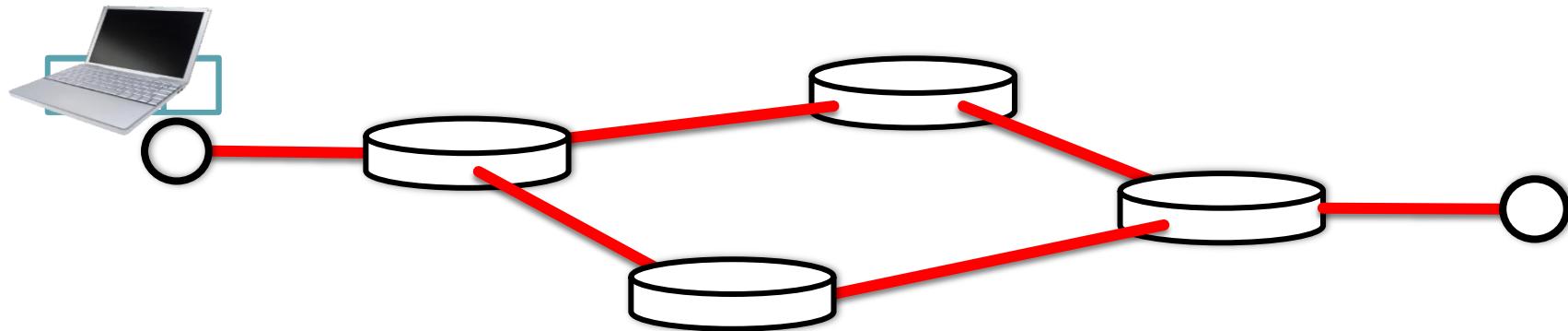


Spolehlivá komunikace

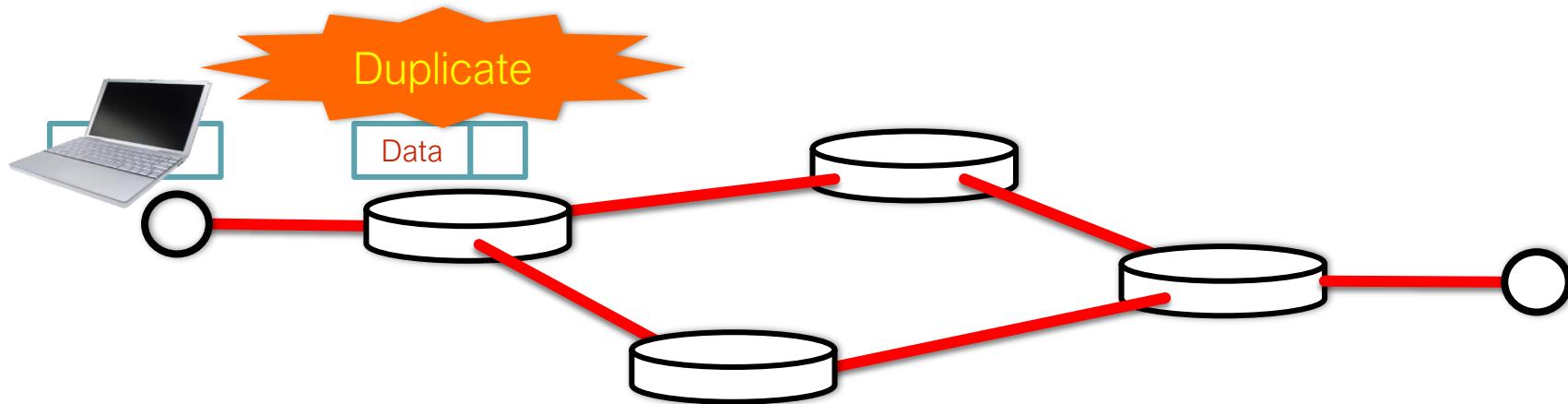
- Vypořádání se se
 - zpřeházením
 - duplikováním
 - poškozením
 - zpožděním
 - ztrátou



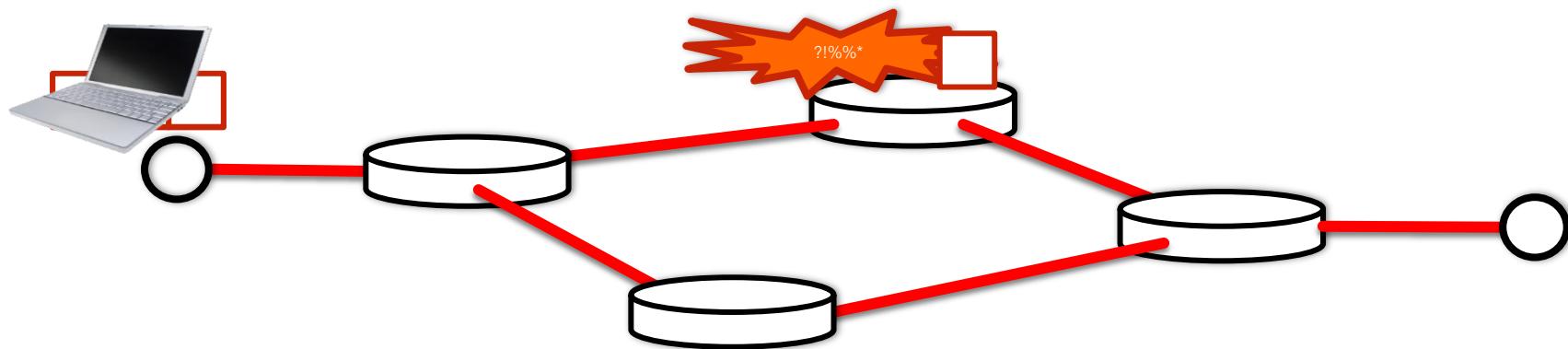
Pakety můžou být zpřeházeny



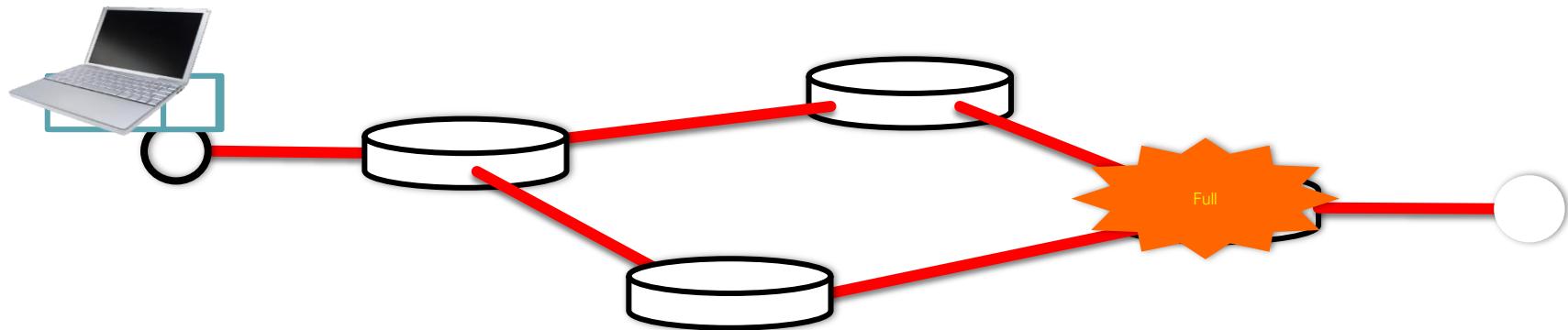
Pakety můžou být duplikovány



Pakety můžou být poškozeny

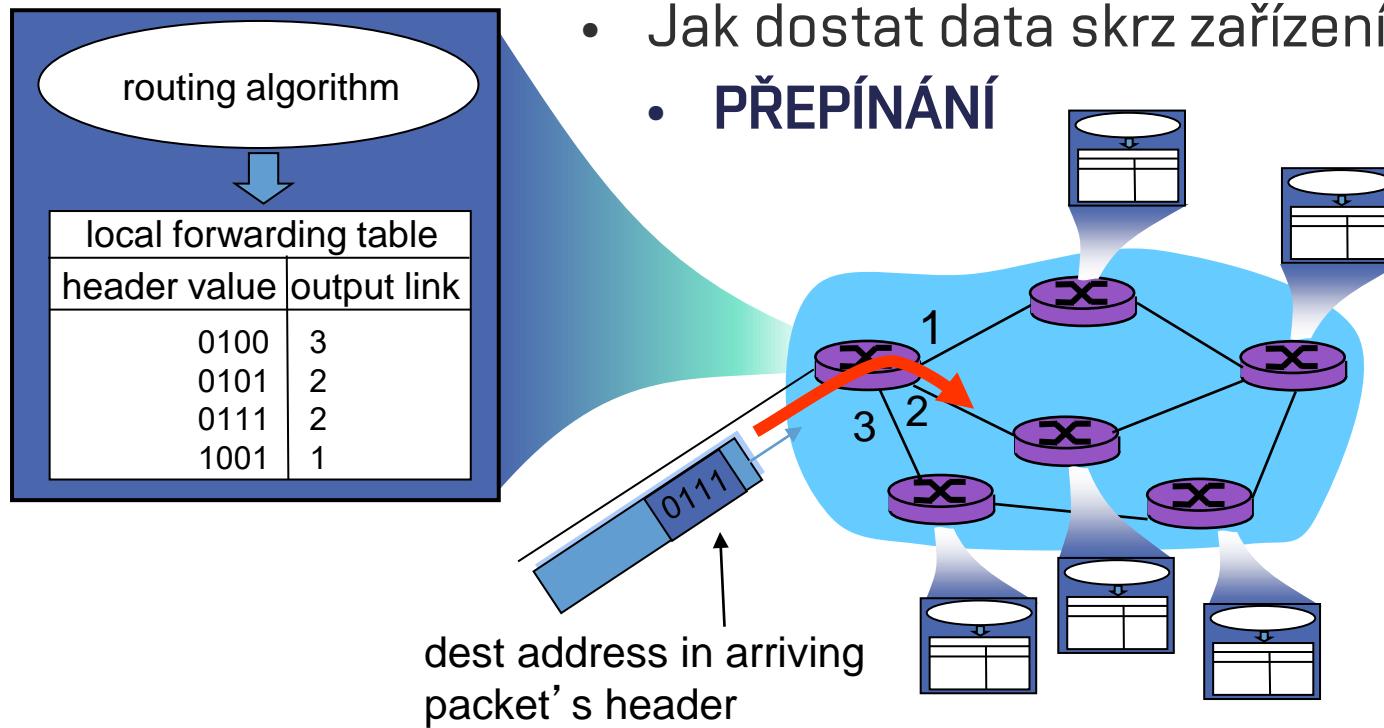


Pakety se můžou ztratit



Komunikace napříč zařízeními

- Jak identifikovat zařízení?
 - **ADRESOVÁNÍ**
- Jak nalézt cestu k cílovému zařízení?
 - **SMĚROVÁNÍ**
- Jak dostat data skrz zařízení?
 - **PŘEPÍNÁNÍ**



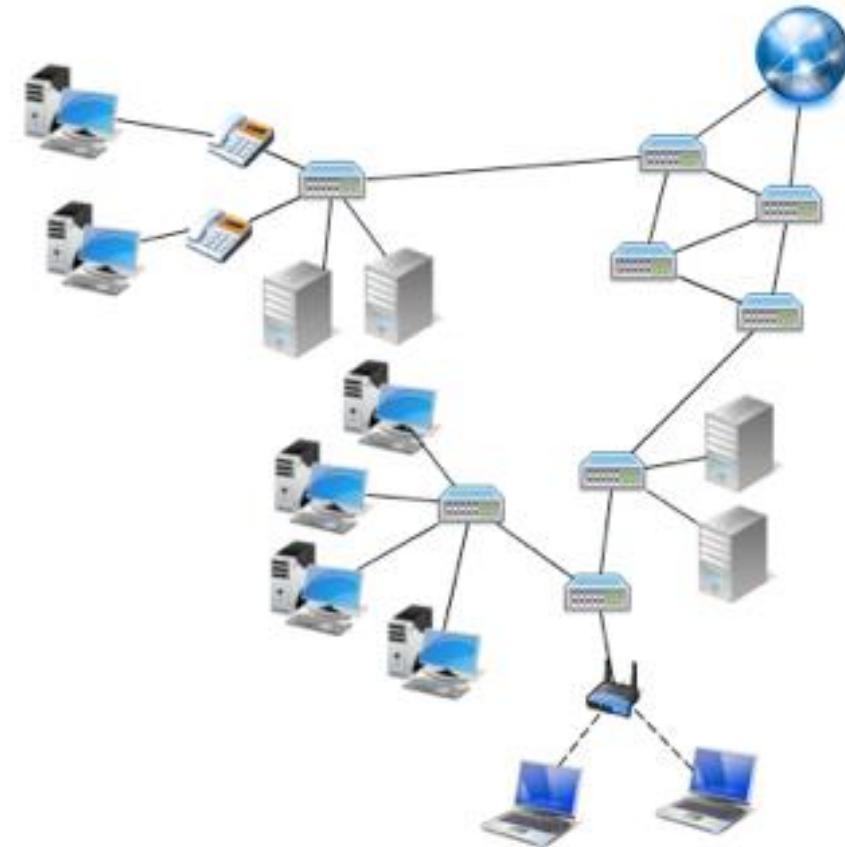
Aktéři komunikace

Application programs

Process-to-process channels

Host-to-host connectivity

Hardware

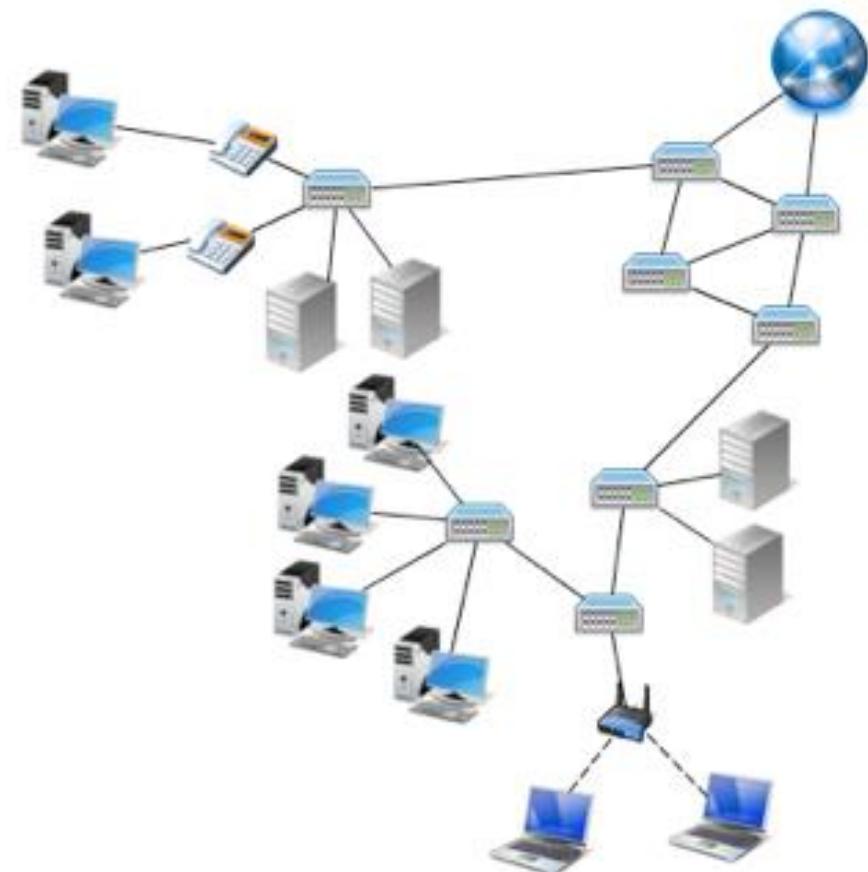


Agenda

- 1) Internet
- 2) Komunikace
- 3) PŘIPOJENÍ K INTERNETU**
- 4) Počítačové sítě
- 5) Páteř Internetu
- 6) Model TCP/IP
- 7) Závěr

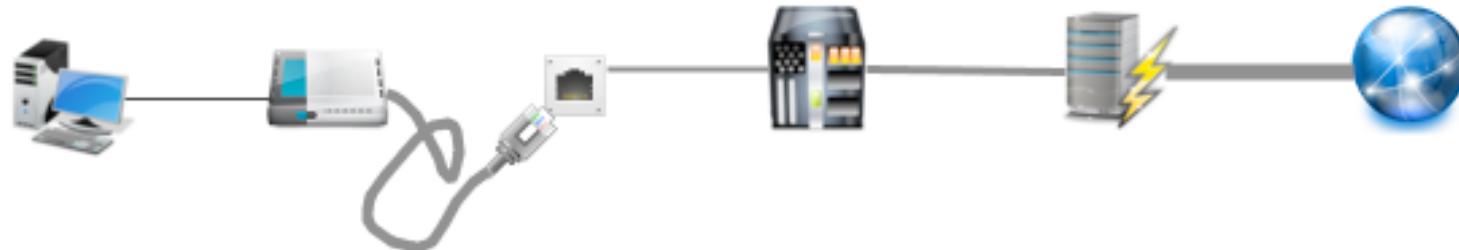
Typ připojení

- TYP
 - sítě pro přístup domácností
 - sítě pro přístup institucí
 - sítě pro mobilní přístup
- KRITÉRIA
 - médium
 - šířka pásma (bps)
 - cena



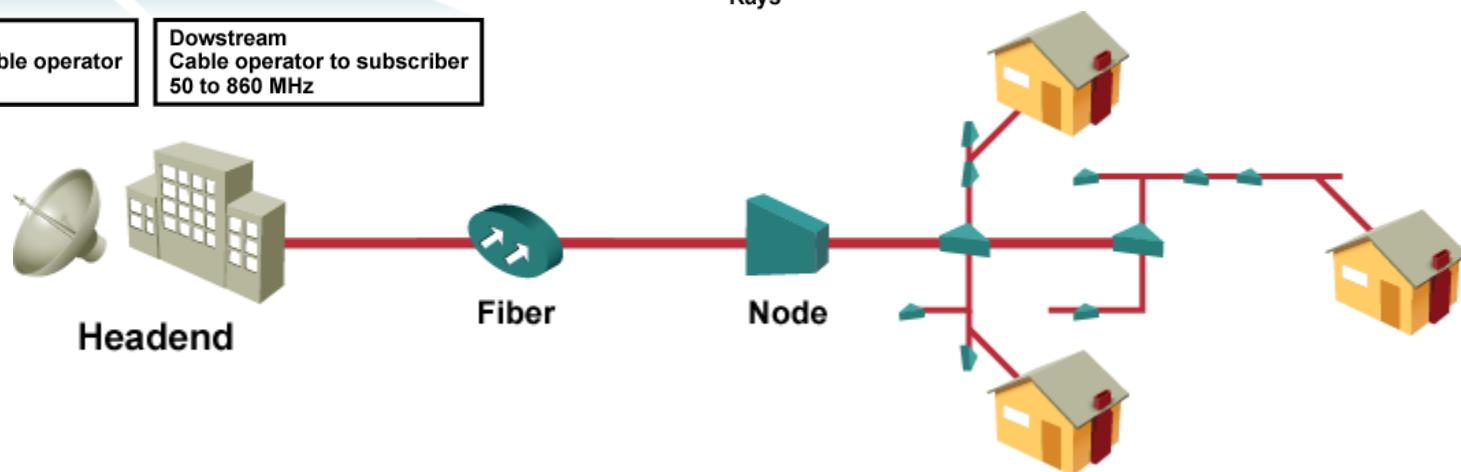
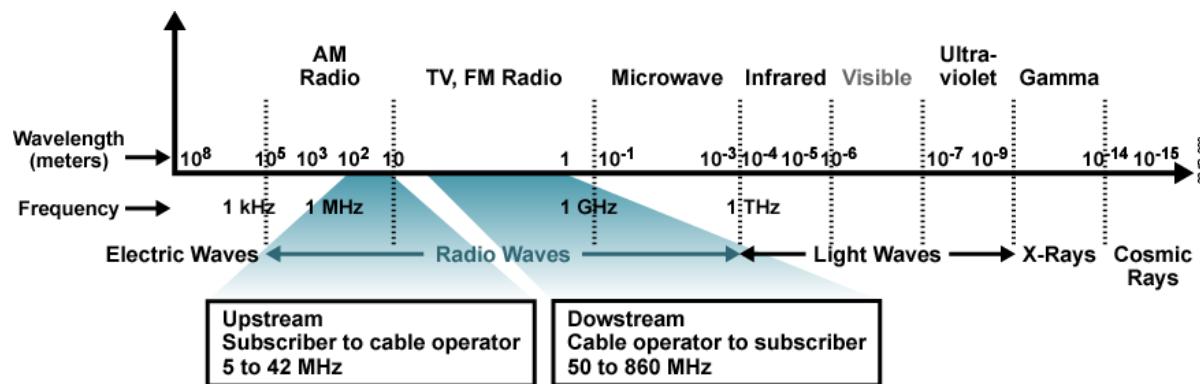
Modem

- V devadesátých letech nejrozšířenější připojení
- V roce 2008 ještě 10% uživatelů v USA
- Až 56Kbps přístup ke směrovači (občas méně)
- Nemohu používat internet a zároveň telefonovat (řeší až ISDN)
- Komunikační linku poskytuje Telco



CATV

- HFC: hybrid fiber coax
 - Síť kabelů a optických vláken spojující domácnosti se směrovači poskytovatelů (provider) internetu
- Sdílený přístup k celému médiu
 - Problém: zahlcení, dimenzování

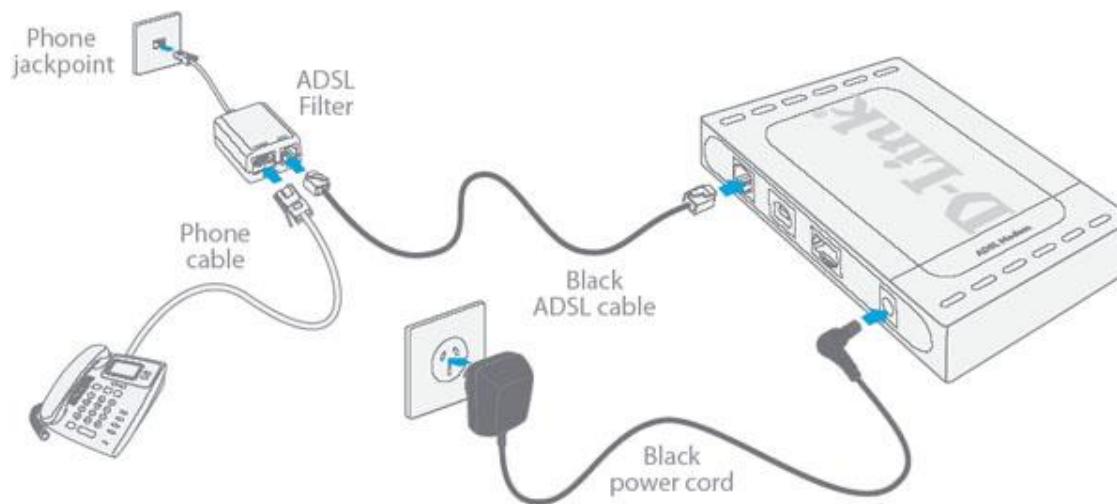
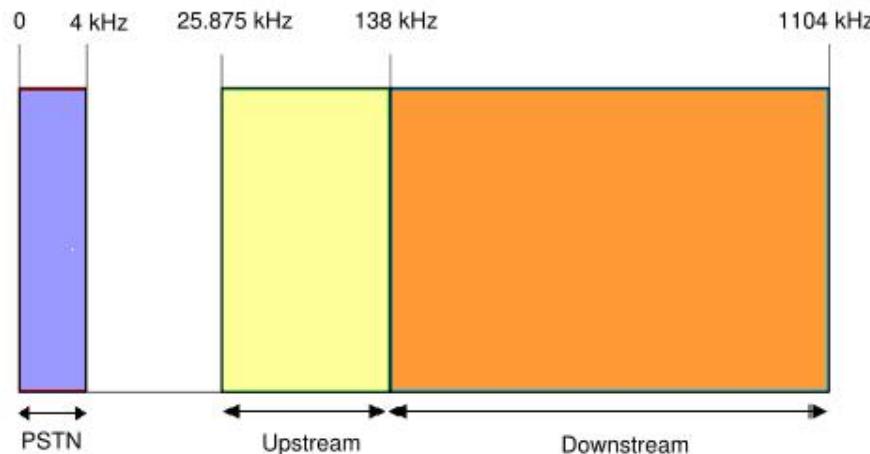


CATV: DOCSIS

	DOCSIS 3.0		DOCSIS 3.1	
	Initial	Future	Initial	Future
DS Range (MHz)	54* - 1002	108 - 1002	258 - 1218	504 - 1794
DS QAM Order	256	256	256-4096	256-16,384
# DS Channels	8 SC-QAM	24 SC-QAM	5 x 192 MHz	6 x 192 MHz
DS Capacity	300 Mbps	1 Gbps	8 Gbps	10 Gbps
US Range (MHz)	5 - 42	5 - 85	5 - 85	5 - 204
US QAM Order	64	64	256-4096	
# US Channels	4 SC-QAM	12 SC-QAM	2 x 96 MHz	4 x 96 MHz
US Capacity	100 Mbps	300 Mbps	400 Mbps	1 Gbps
				2.5 Gbps

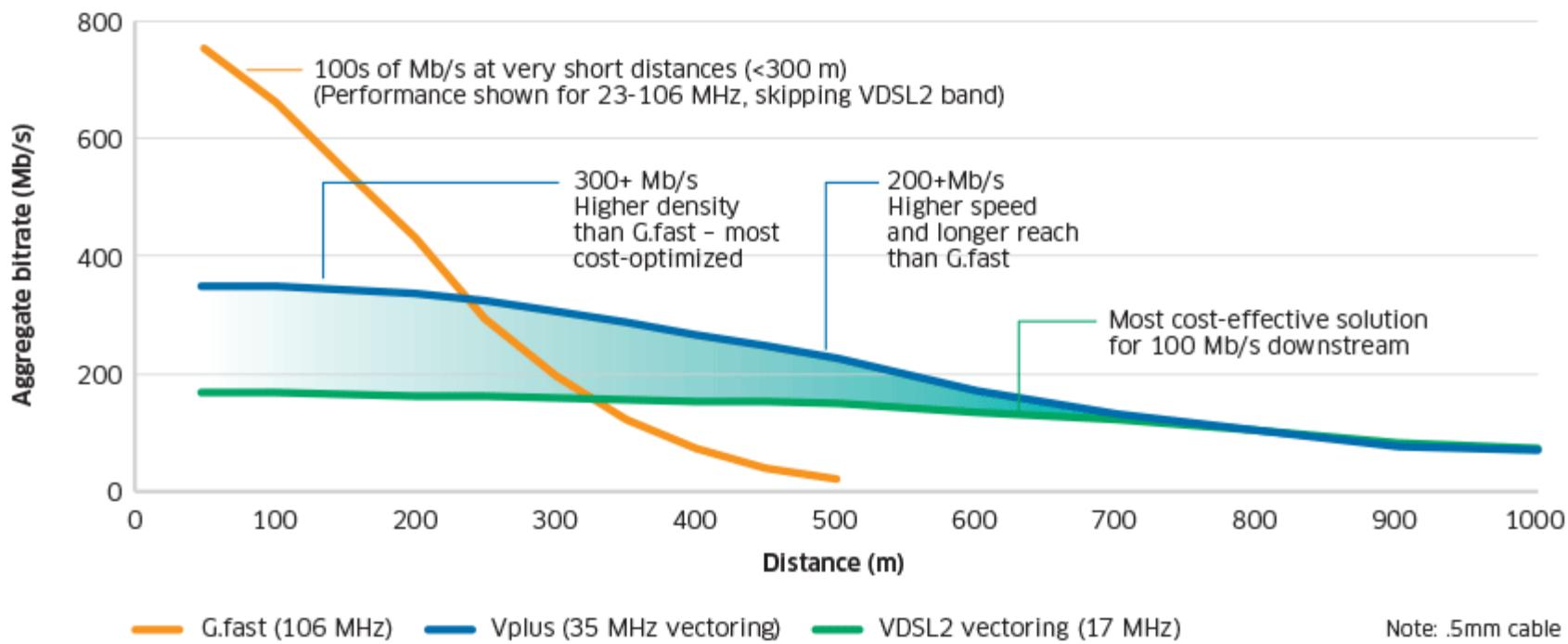
- Zdroj: <https://www.cablelabs.com/technologies/docsis-4-0-technology>

DSL



DSL Rychlost

Rychlosť DSL vzhľadom k technologii a vzdálenosti



- Zdroj: <https://www.digilidi.cz/testujeme-vdsl-vcetne-rychleho-profilu-35b-na-modemu-asus-dsl-87vg>

zdroj: Alcatel-Lucent

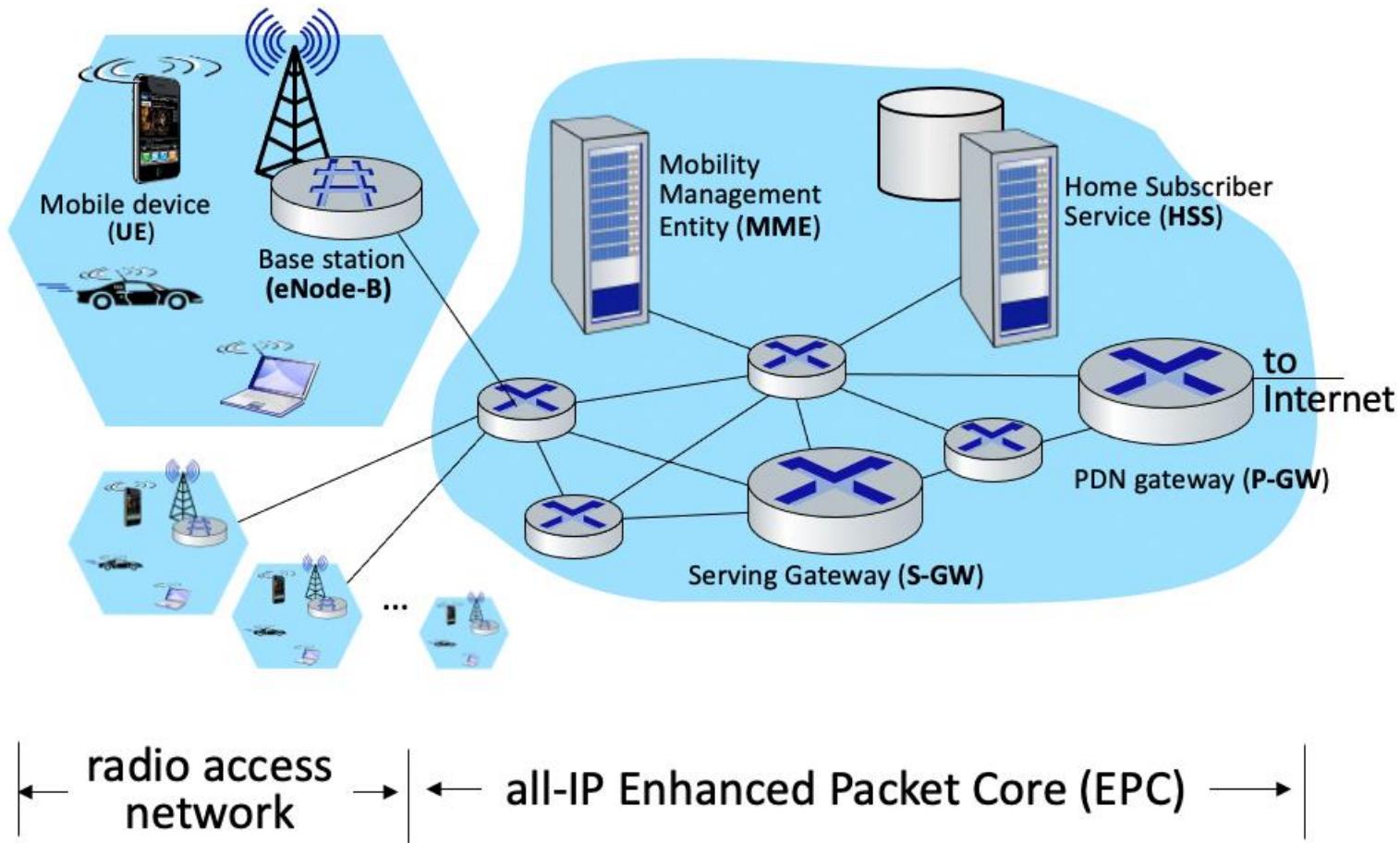
Bezdrátové připojení

Wireless ISP



Base Station with 3 Sector Panel + Backhaul

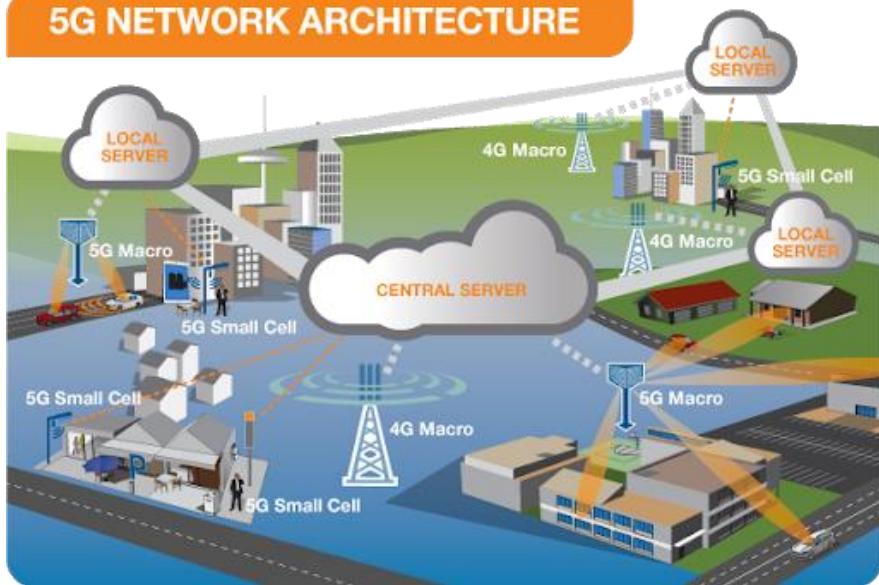
LTE



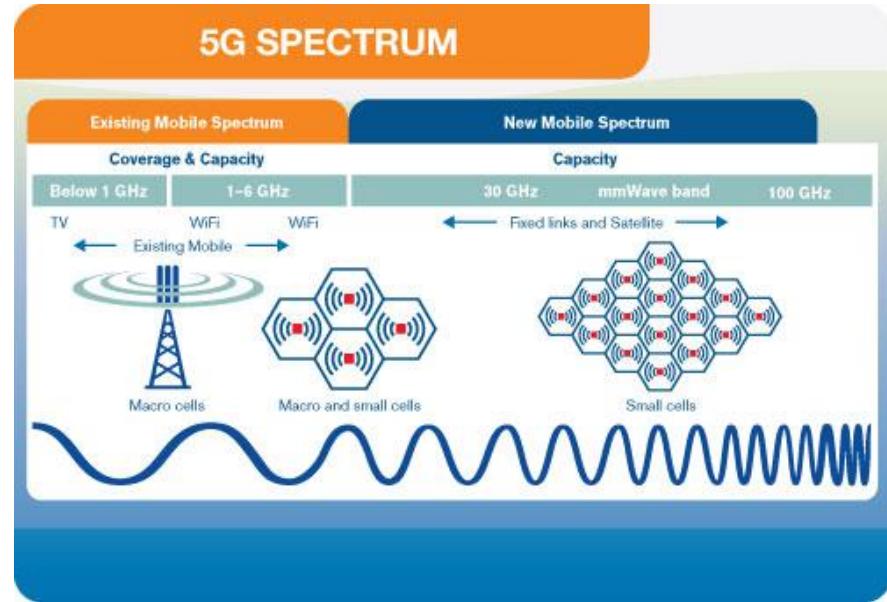
- Zdroj: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/LMS/images/Chapter_7_KC/LTE_arch.jpg

5G

5G NETWORK ARCHITECTURE



5G SPECTRUM



Zdroj: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916>



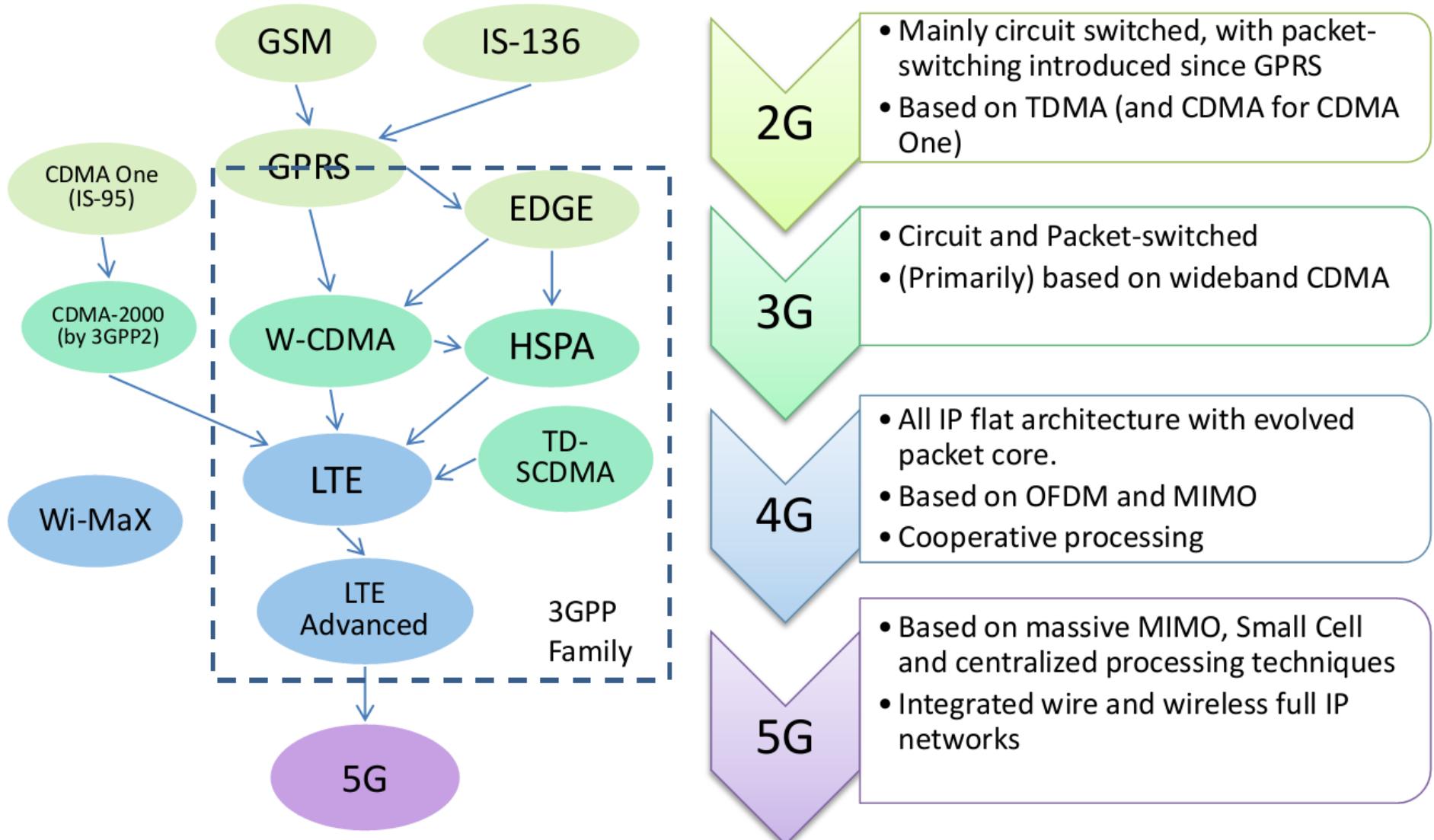
Zdroj: <https://www.ni.com/cs-cz/innovations/white-papers/14/5g-massive-mimo-testbed--from-theory-to-reality--.html>

Mobilní sítě

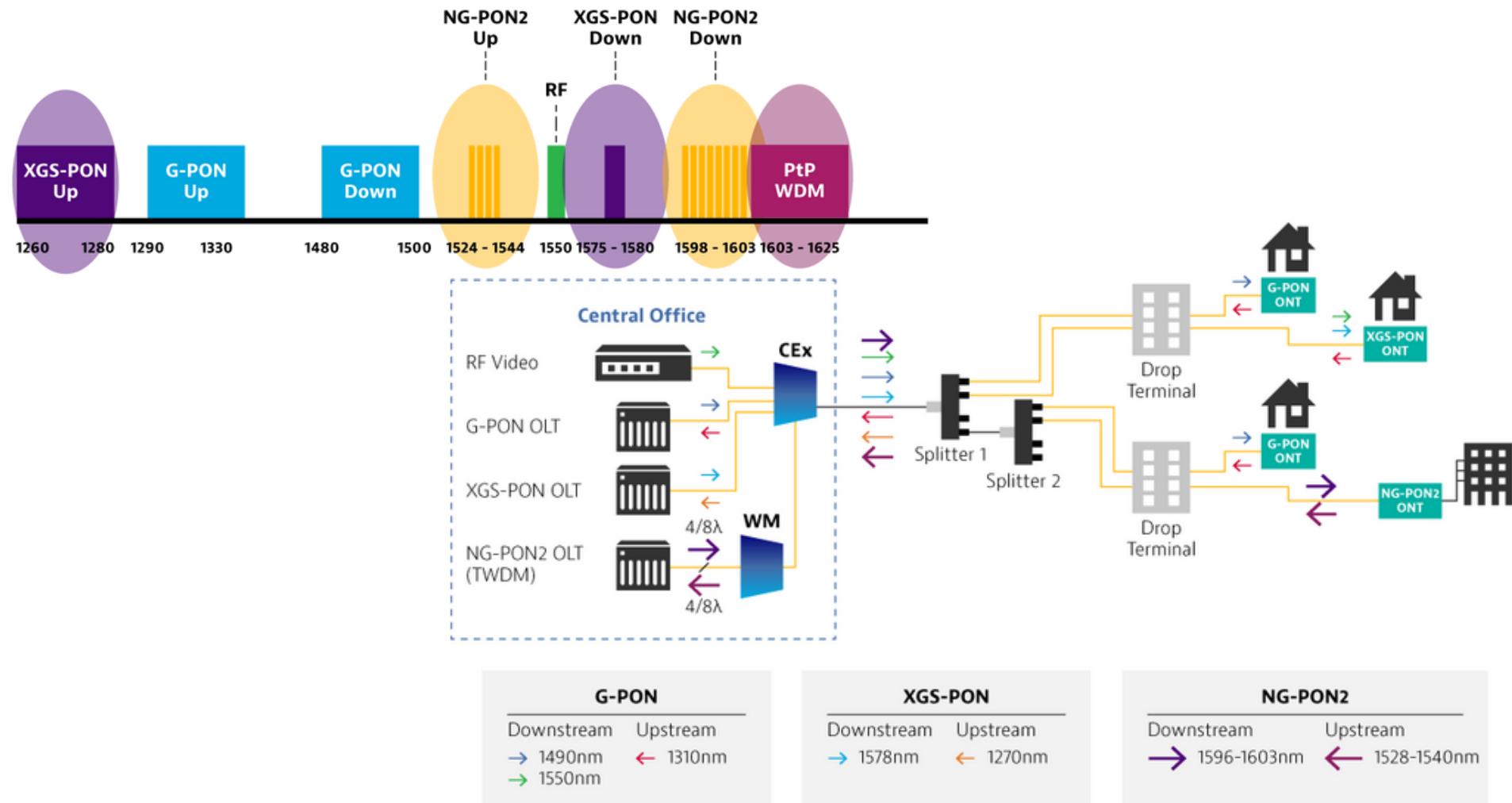
Generations	1G	2G	2.5G	2.75G	3G	3.5G	4G	5G
Technology	Analog Voice	GSM	GPRS	EDGE	CDMA 2000	HSPA	Wi-Fi	IPV6 LAN/WAN/PAN
Multiplexing	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA	CDMA, OFDMA	CDMA, BDMA
Switching	Circuit	Circuit, Packet	Packet	Packet	Packet	Packet	Packet	Packet
Band type	Narrow	Narrow	Narrow	Narrow	Broadband	Wideband	Ultra wide	Ultra wide
Handoff	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal, vertical	Horizontal, vertical
Main network	PSTN	PSTN	GSM, TDMA	WCDMA	Packet	GSM, TDMA	Internet	Internet
Carrier frequency	30 kHz	200 kHz	200 kHz	200 kHz	5 MHz	5 MHz	15 MHz	15 MHz
Bandwidth	150 kHz	5–20 MHz	5–20 MHz	5–20 MHz	25 MHz	25 MHz	100 MHz	1–2 GHz
Data rate	2.4–14.4 kb/s	14.4–64 kb/s	64–200 kb/s	470 kb/s	3.1–14.7 Mb/s	14.4–63 Mb/s	100 Mb/s–1 Gb/s	1 Gb/s and above
Features	Voice only	Data, voice	Data, voice	Data, voice	Data, voice	HD data, voice	Ultra HD, VOIP	Ultra HD, VOIP

- Zdroj: https://www.researchgate.net/figure/Characteristics-of-cellular-technology-generations_tbl1_318993172

GSM Evolute



Fiber to the Home/Office/Business

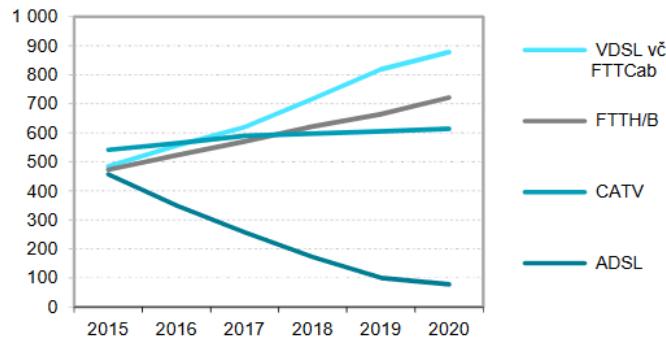


- Zdroj: <https://www.viavisolutions.com/en-us/fttx-network-design-deployment>

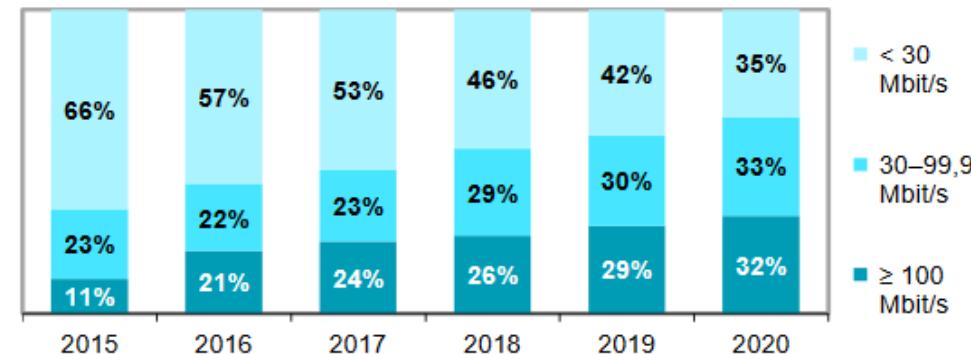
Jak jsme na tom v ČR?

- Zdroj <https://www.czso.cz/documents/10180/164503431/06100422.pdf/69ccf5e2-92e8-4dcd-b22a-cb3df3e8119a?version=1.3>

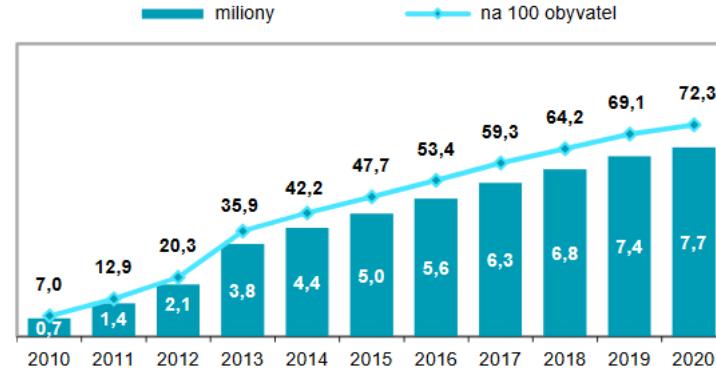
Graf A22 Účastníci s pevným přístupem k internetu podle typu použité technologie (v tisících)



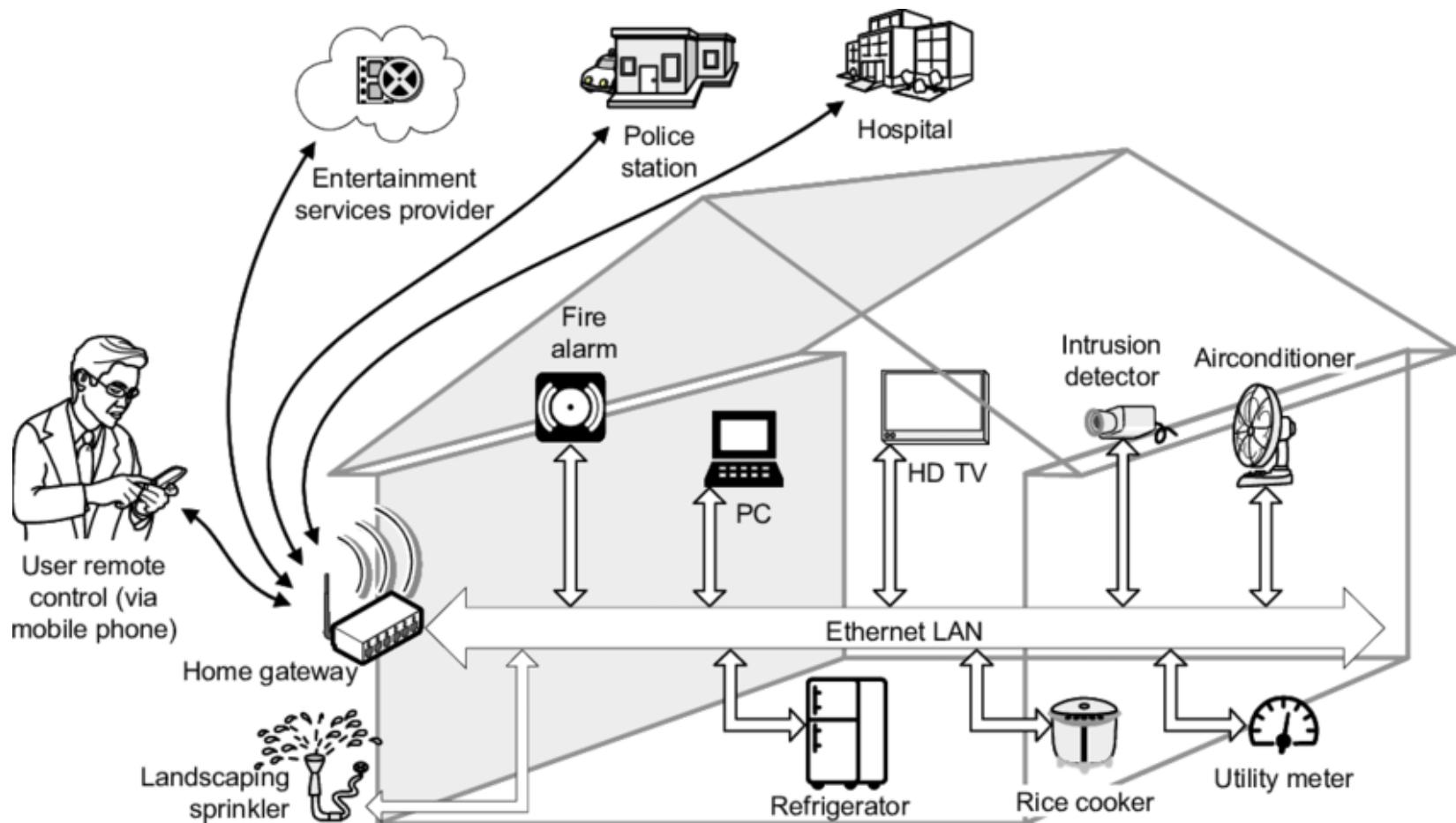
Graf A25 Fixní internet podle rychlosti připojení*



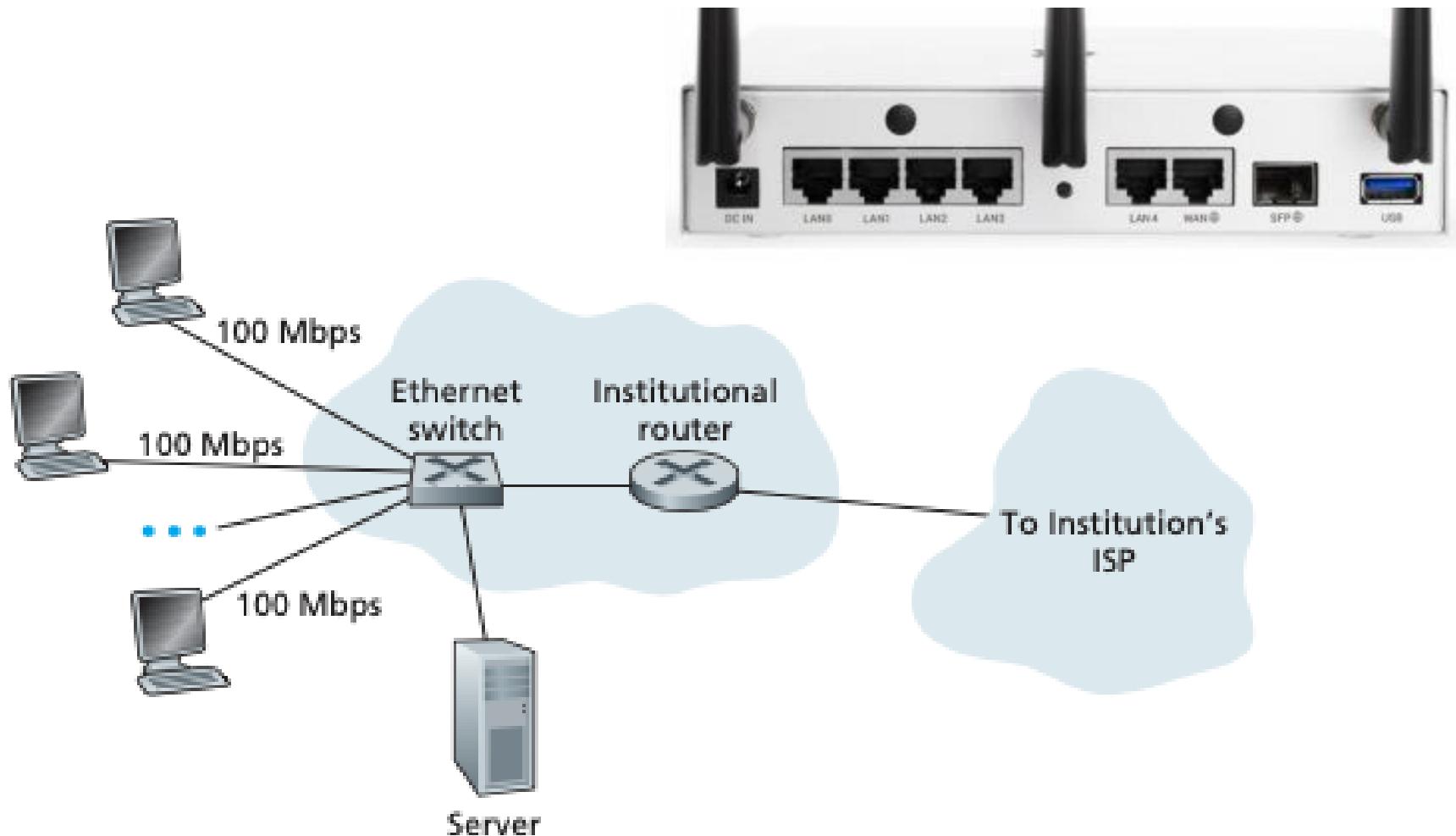
Graf A30 Účastníci s aktivovanou službou internet v mobilním telefonu s měsíčním tarifem



Typická domácí síť

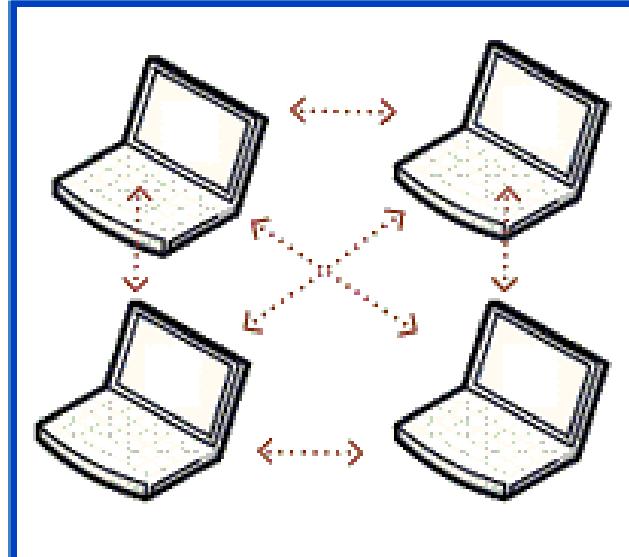


Ethernet

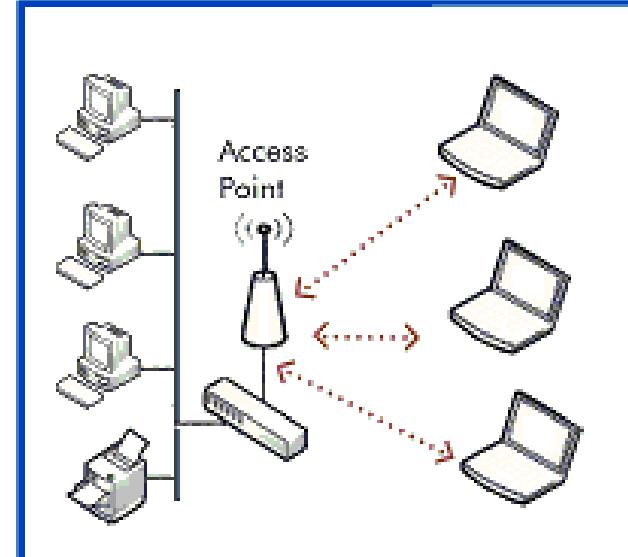


802.3 Standards

The Evolution of Ethernet Standards to Meet Higher Speeds				
Date	IEEE Std.	Name	Data Rate	Type of Cabling
1990	802.3i	10BASE-T	10 Mb/s	Category 3 cabling
1995	802.3u	100BASE-TX	100 Mb/s*	Category 5 cabling
1998	802.3z	1000BASE-SX	1 Gb/s	Multimode fiber
	802.3z	1000BASE-LX/EX		Single mode fiber
1999	802.3ab	1000BASE-T	1 Gb/s*	Category 5e or higher Category
2003	802.3ae	10GBASE-SR	10 Gb/s	Laser-Optimized MMF
	802.3ae	10GBASE-LR/ER		Single mode fiber
2006	802.3an	10GBASE-T	10 Gb/s*	Category 6A cabling
2015	802.3bq	40GBASE-T	40 Gb/s*	Category 8 (Class I & II) Cabling
2010	802.3ba	40GBASE-SR4/LR4	40 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF
	802.3ba	100GBASE-SR10/LR4/ER4	100 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF
2015	802.3bm	100GBASE-SR4	100 Gb/s	Laser-Optimized MMF
2016	SG	Under development	400 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF
Note: *with auto negotiation				



Ad-hoc mode



Infrastructure mode

802.11 Standards

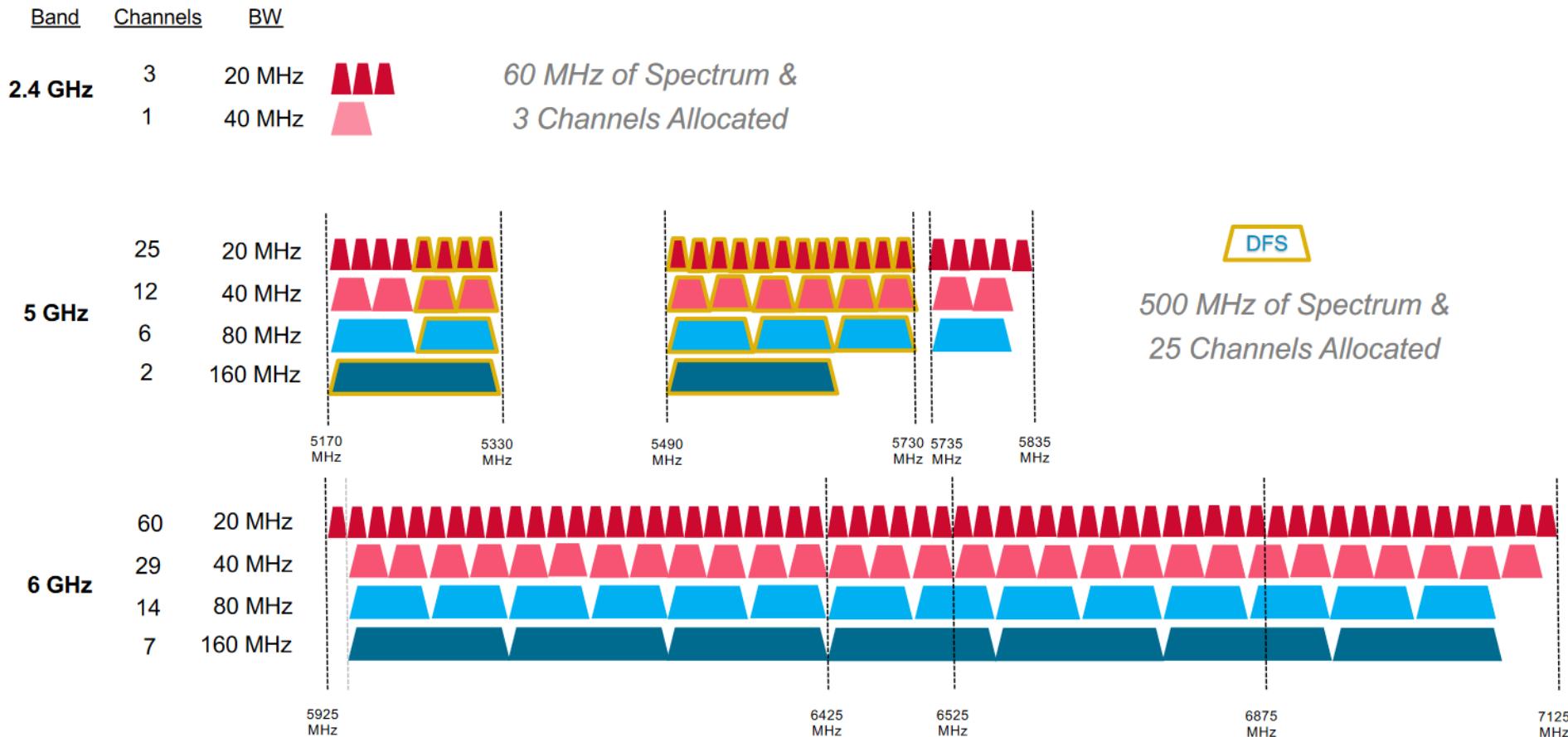
	802.11 (Legacy)	802.11b (Legacy)	802.11a (Legacy)	802.11g (Legacy)	802.11n (HT)	802.11ac (VHT)	802.11ax (HE)
Year Ratified	1997	1999	1999	2003	2009	2014	2019 (Expected)
Operating Band	2.4 GHz/IR	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	2.4/5 GHz	5 GHz	2.4/5 GHz
Channel BW	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20/40 MHz	20/40/80/160 MHz	20/40/80/160 MHz
Peak PHY Rate	2 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps	600 Mbps	6.8 Gbps	10 Gbps
Link Spectral Efficiency	0.1 bps/Hz	0.55 bps/Hz	2.7 bps/Hz	2.7 bps/Hz	15 bps/Hz	42.5 bps/Hz	62.5 bps/Hz
Max # SU Streams	1	1	1	1	4	8	8
Max # MU Streams	NA	NA	NA	NA	NA	4 (DL only)	8 (UL & DL)
Modulation	DSSS, FHSS	DSSS, CCK	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM, OFDMA
Max Constellation / Code Rate	DQPSK	CCK	64-QAM, 3/4	64-QAM, 3/4	64-QAM, 5/6	256-QAM, 5/6	1024-QAM, 5/6
Max # OFDM tones	NA	NA	64	64	128	512	2048
Subcarrier Spacing	NA	NA	312.5 kHz	312.5 kHz	312.5 kHz	312.5 kHz	78.125 kHz

- Zdroj: <https://www.standardsuniversity.org/e-magazine/march-2018-volume-8-issue-1-5g-802-11/how-well-positioned-is-ieee-802-11ax-to-meet-the-imt-2020-performance-requirements/>

Wifi 6 vs. 7

	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7
IEEE standard	802.11ax	802.11be
Maximum transmission rate	9.6 Gbps	30 Gbps
Frequency band	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz (Wi-Fi 6E)	2.4 GHz, 5 GHz, and 6 GHz
Security protocol	WPA3	WPA3
Channel bandwidth	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz, 80+80 MHz	Up to 320 MHz
Modulation mode	1024-QAM OFDMA	4096-QAM OFDMA
MIMO	8x8 UL/DL MU-MIMO	16x16 UL/DL MU-MIMO

WiFi Kanály



- Zdroj: <https://docs.broadcom.com/docs/wi-fi-6e-frequency-bands>

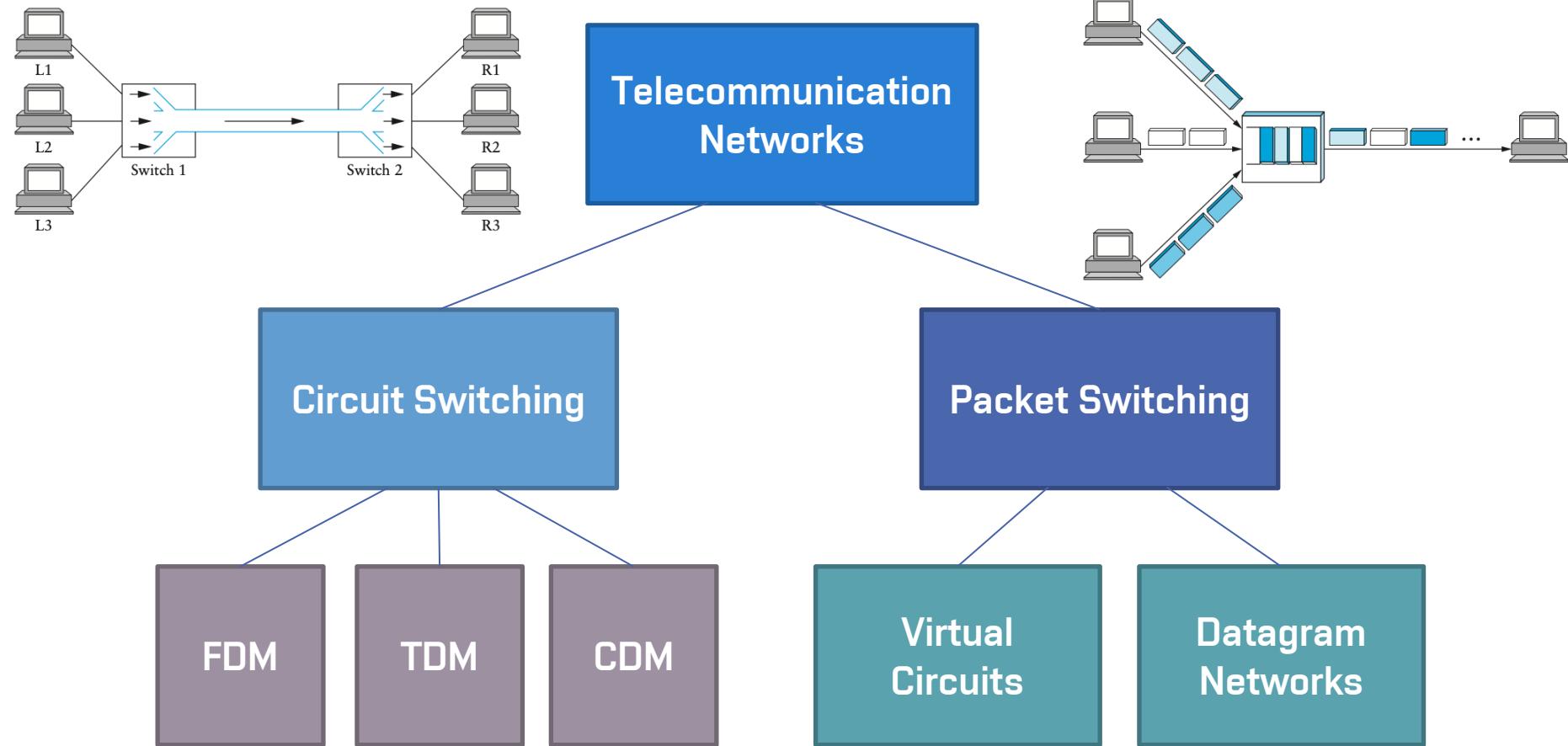
Domácí úkol #1



Agenda

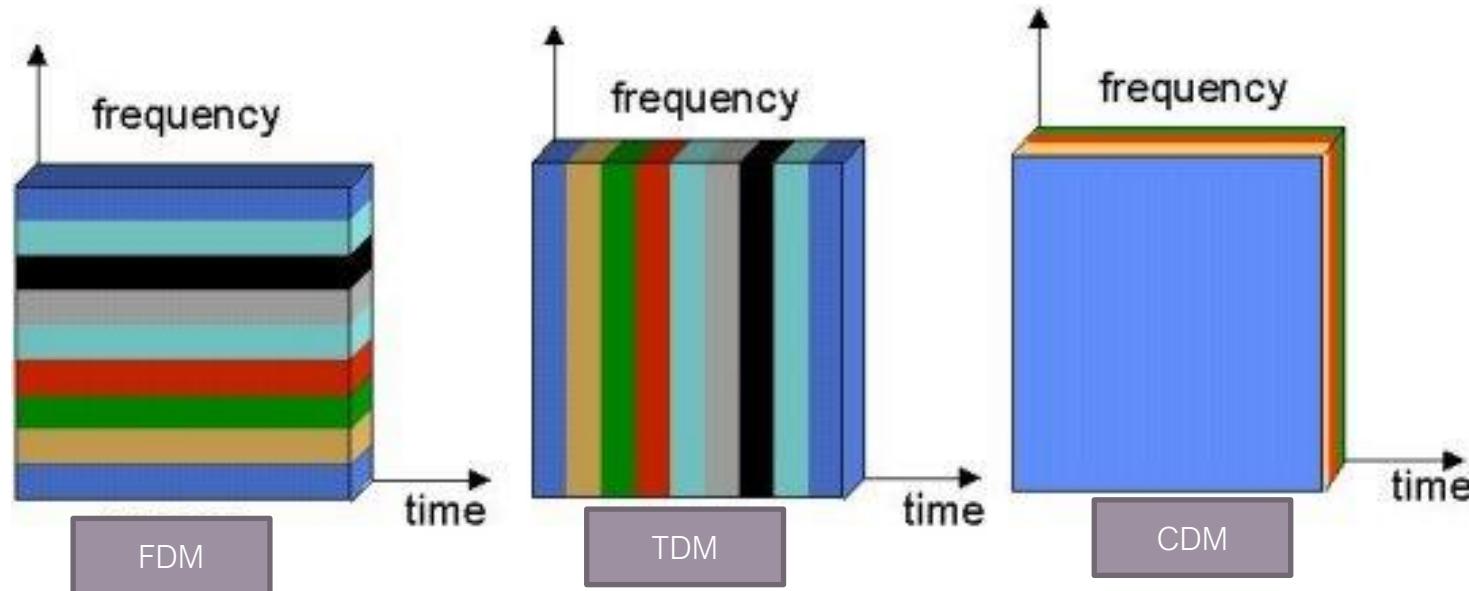
- 1) Internet
- 2) Komunikace
- 3) Připojení k Internetu
- 4) Počítačové sítě**
- 5) Páteř Internetu
- 6) Model TCP/IP
- 7) Závěr

Taxonomie

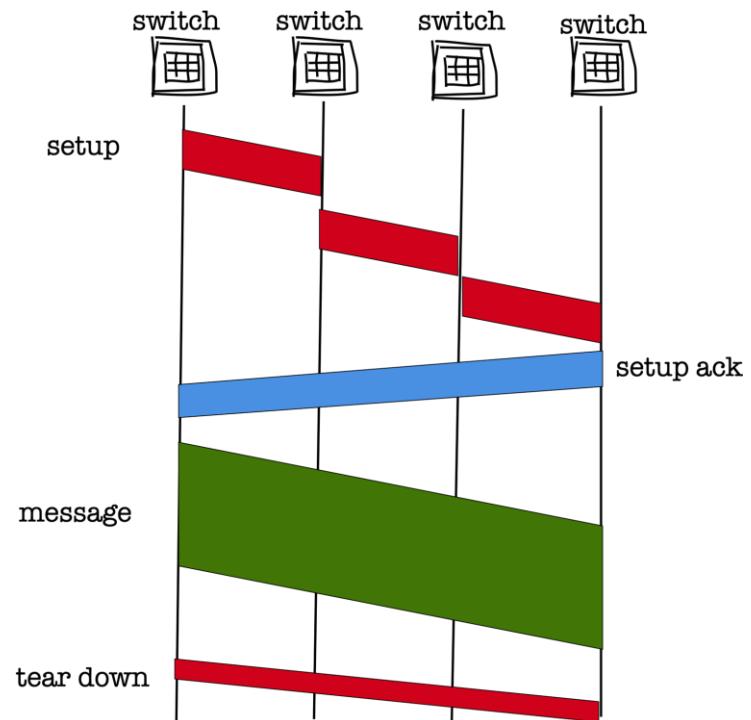
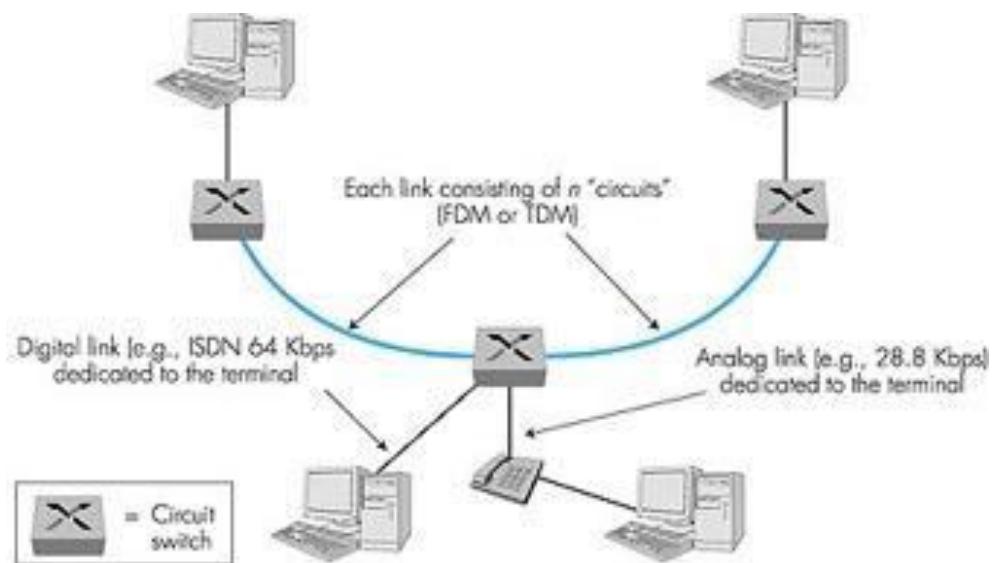


Circuit Switching

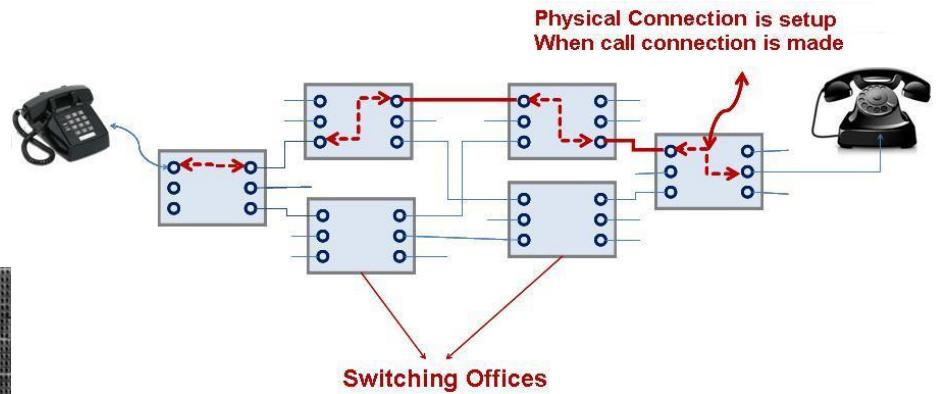
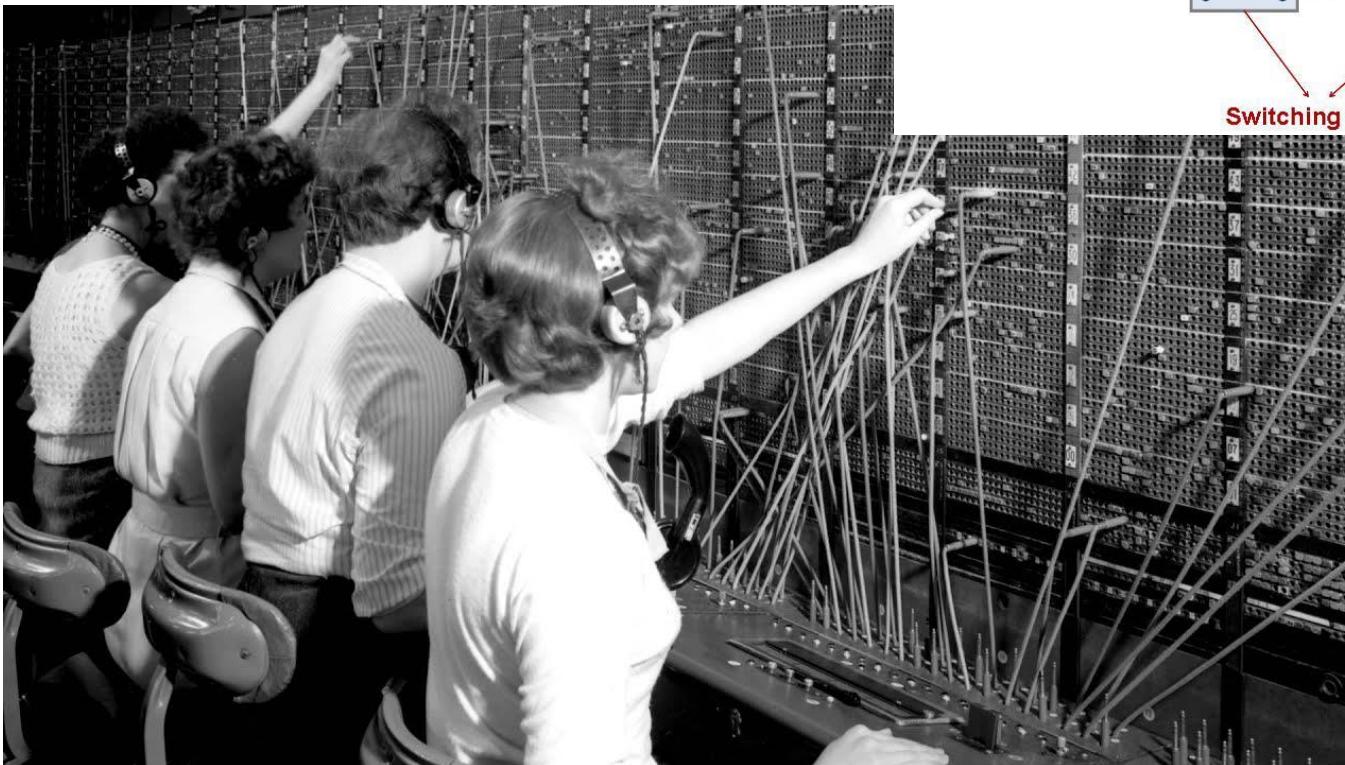
- Each data stream has dedicated circuit with guaranteed parameters that do not change during communication
 - Circuit is established prior to communication
 - *How circuits share medium?*
 - Frequency Division
 - Time Division
 - Code Division



Circuit Switching



Circuit Switching



Packet Switching

J. C. R. Licklider



P. Baran

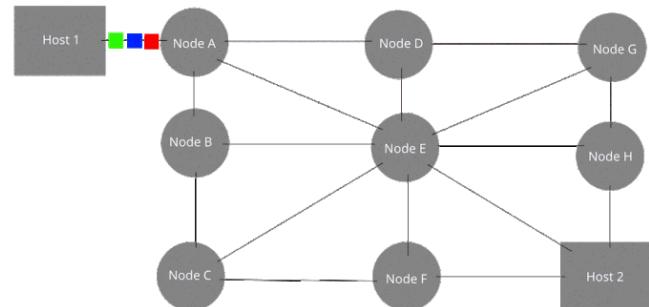


D. Davies



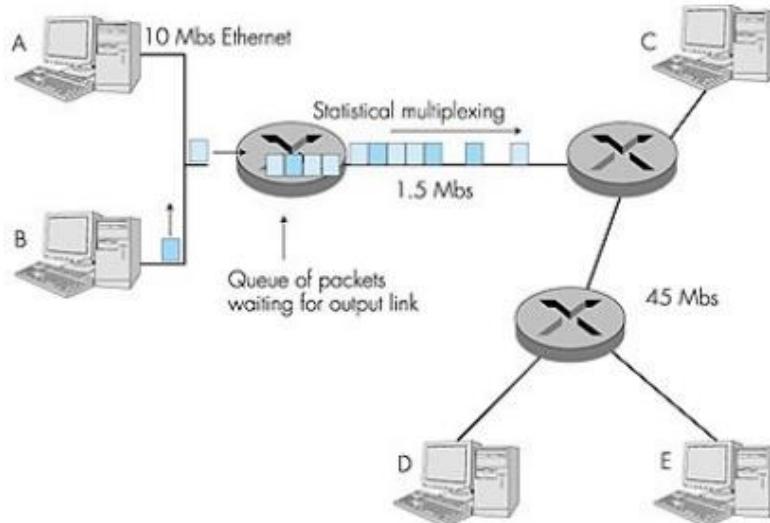
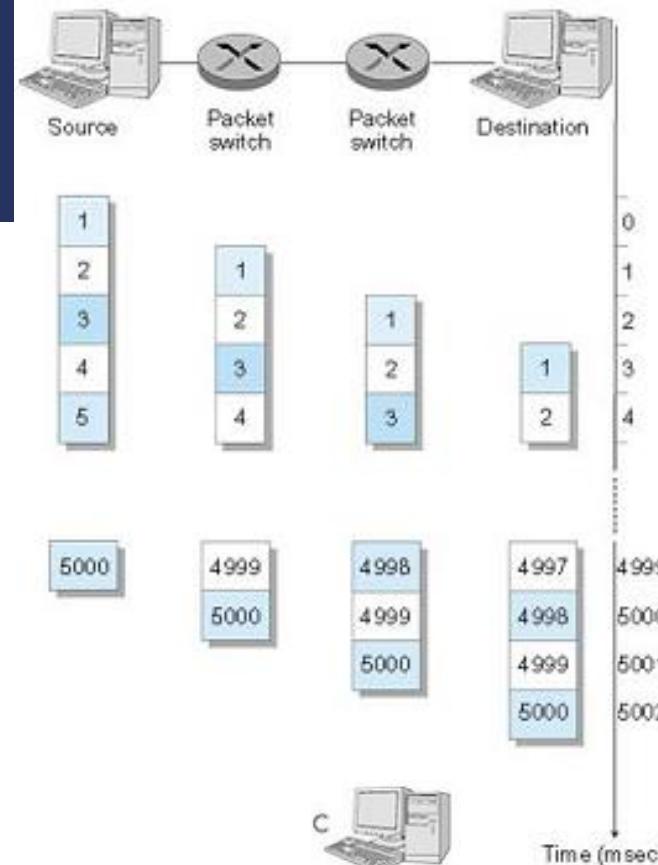
<https://historyofcomputercommunications.info/>

The original message is Green, Blue, Red.

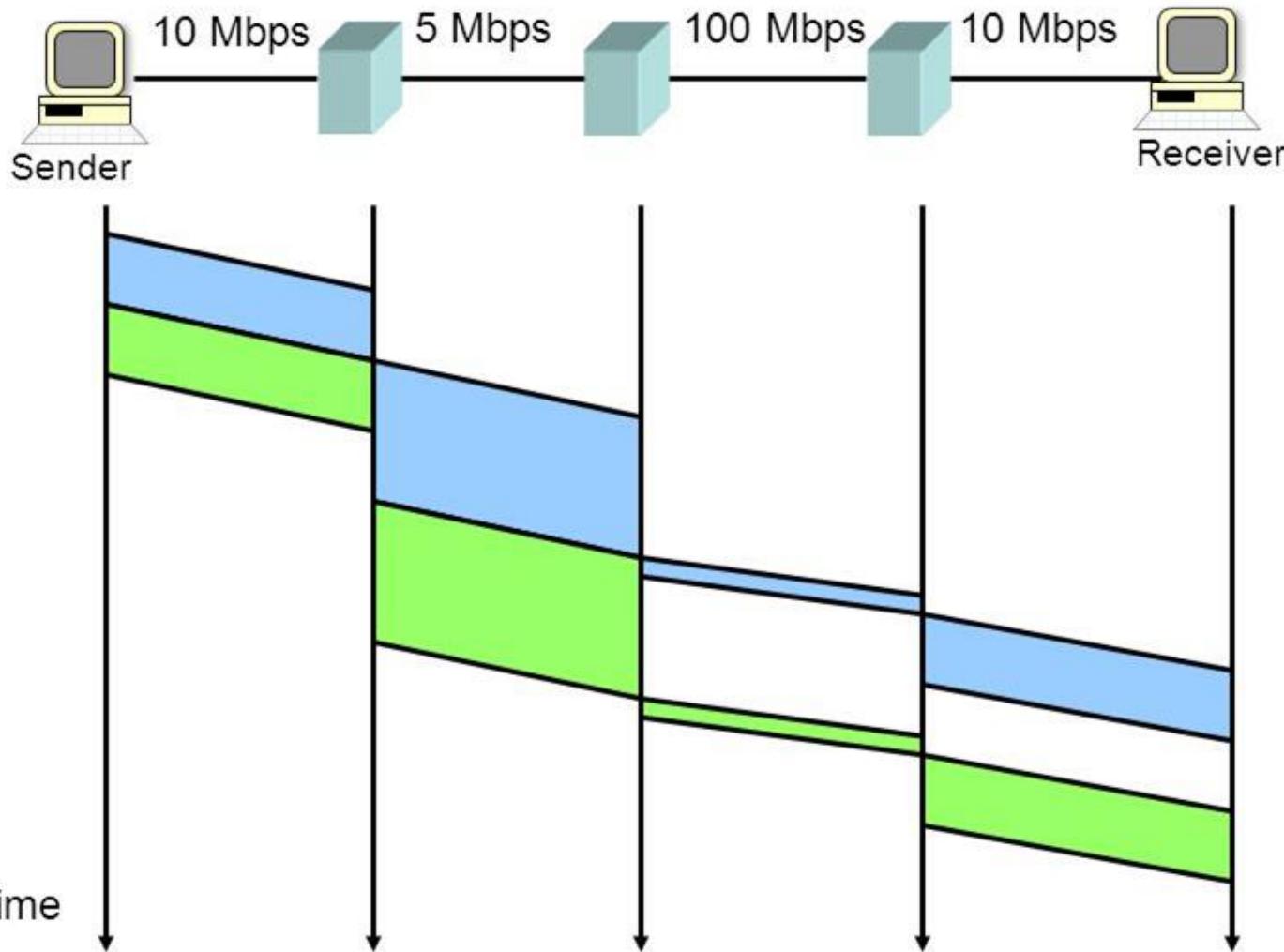


Packet Switching

- Each data stream is divided into packets that are sent independently through network
 - Each packet may use whole bandwidth
 - Packets share (fight for) network resources
- **Segmentace**
- **Statistic multiplexing**



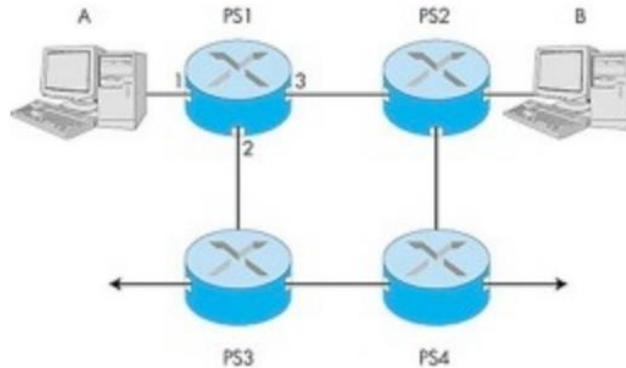
Packet Switching



12

Packet Switching : VC vs. DN

- Virtual circuits
 - Each switch has VC table, for each connection there is a record in VC table
 - Each packet contains tag of virtual circuit, packets traverses same VC whole period of communication



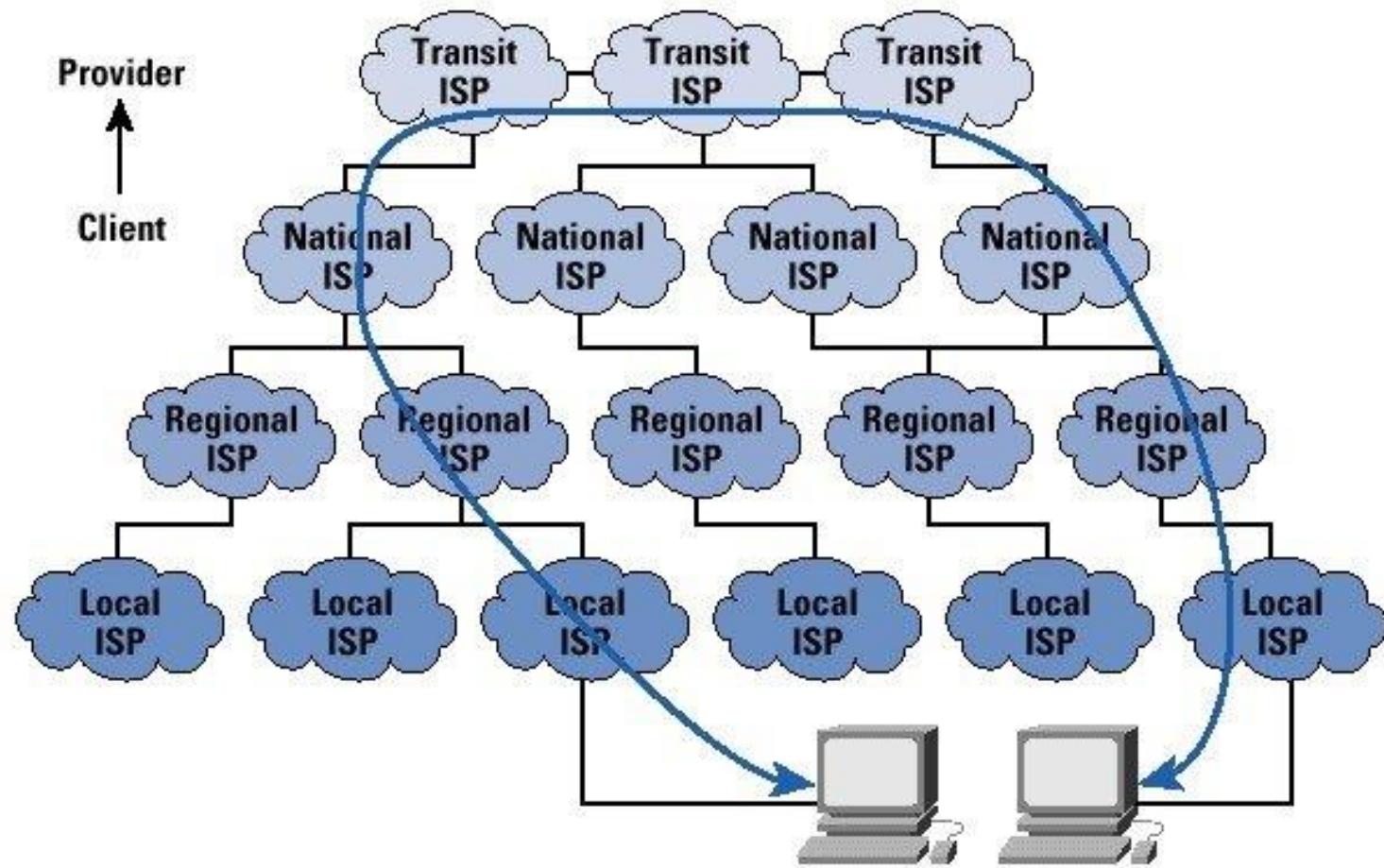
InInt	InVC	OutInt	OutVC
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

- Datagram network
 - Destination address in each packet controls independent routing decision and choice of the next-hop
 - Packets may use different routes during period of communication

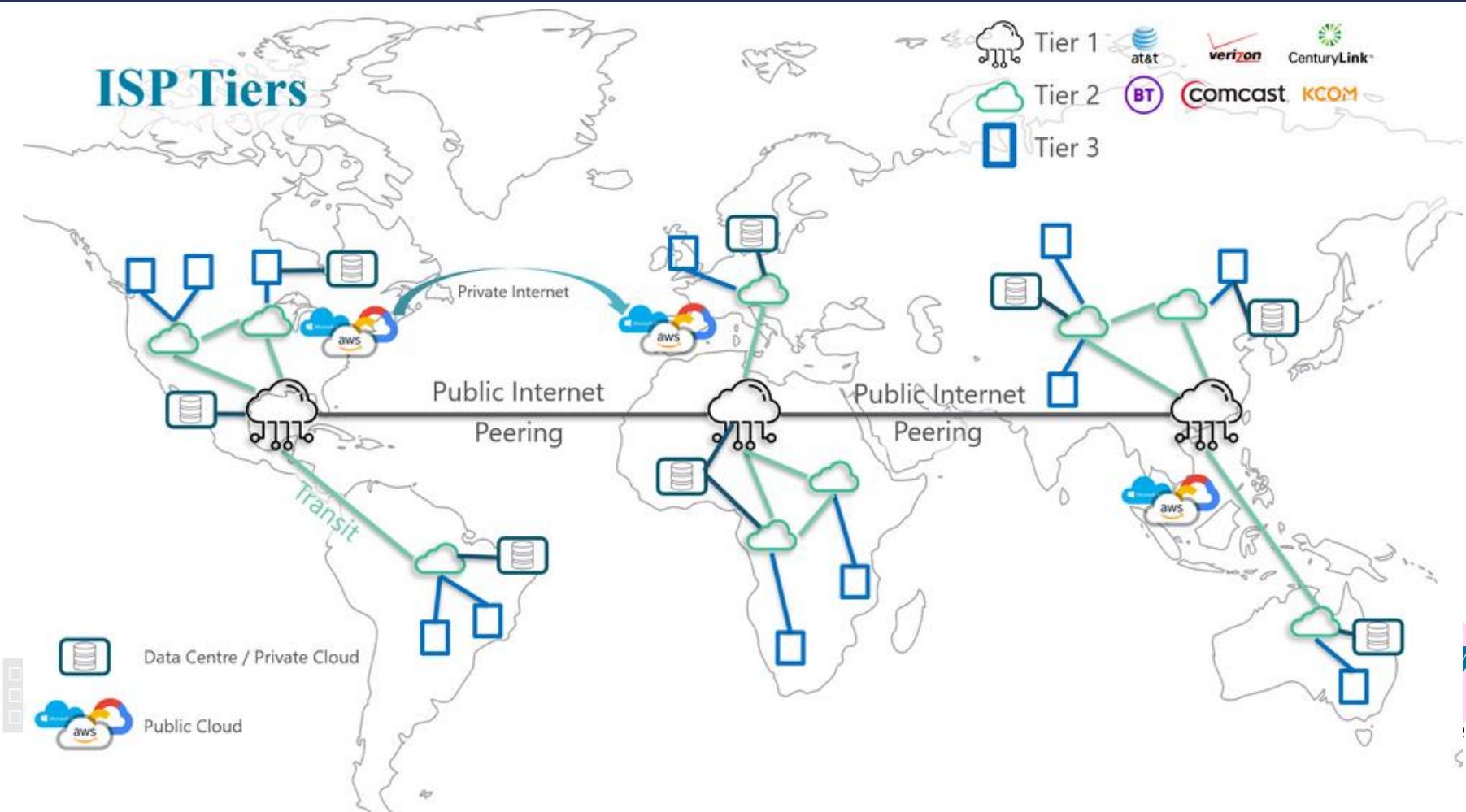
Agenda

- 1) Internet
- 2) Komunikace
- 3) Připojení k Internetu
- 4) Páteřní sítě
- 5) PÁTEŘ INTERNETU
- 6) Model TCP/IP
- 7) Závěr

Internet Service Providers

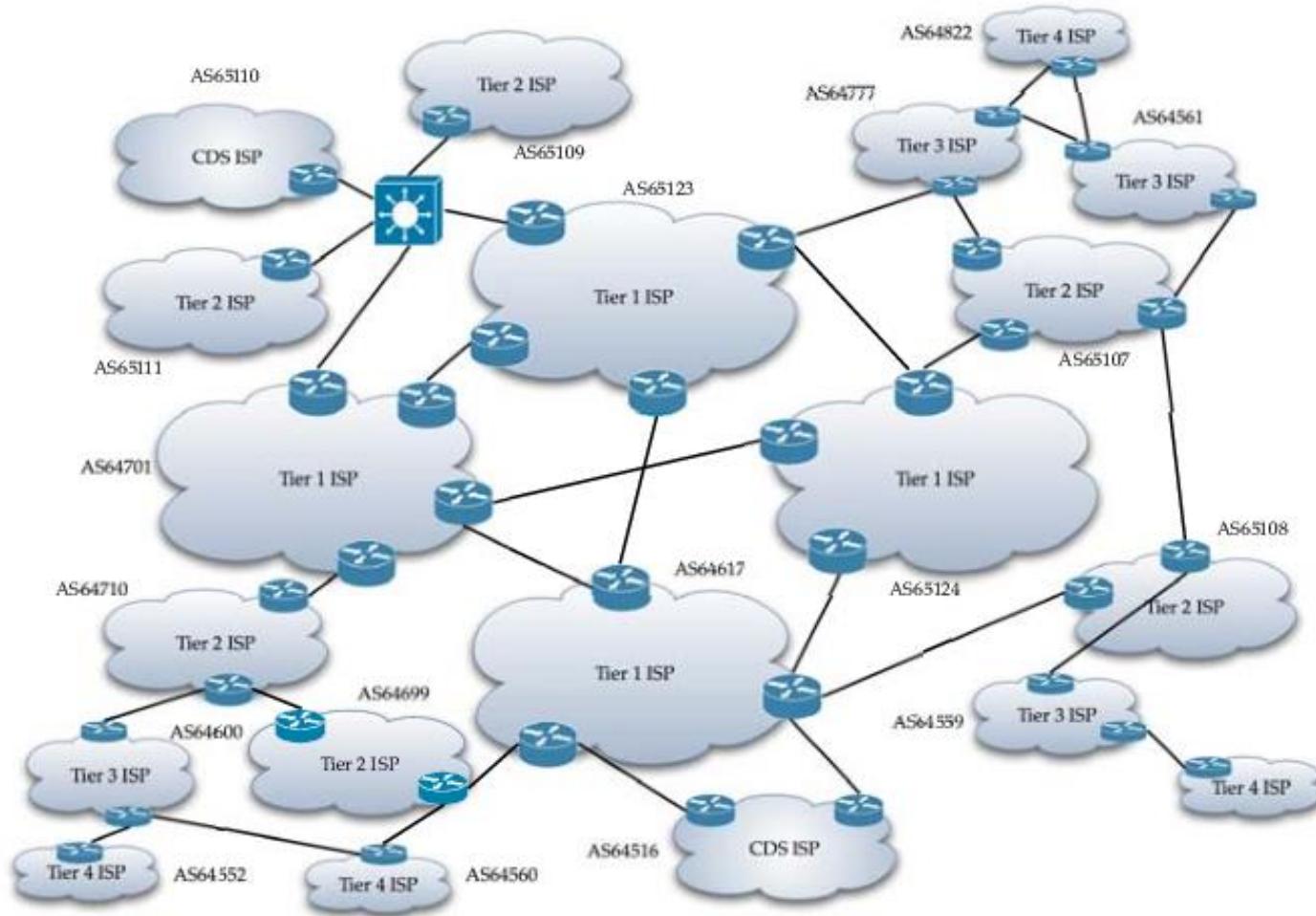


ISP Tiers



- Wikipedia a <https://www.thedataplumber.net/keeping-the-data-flowing/>

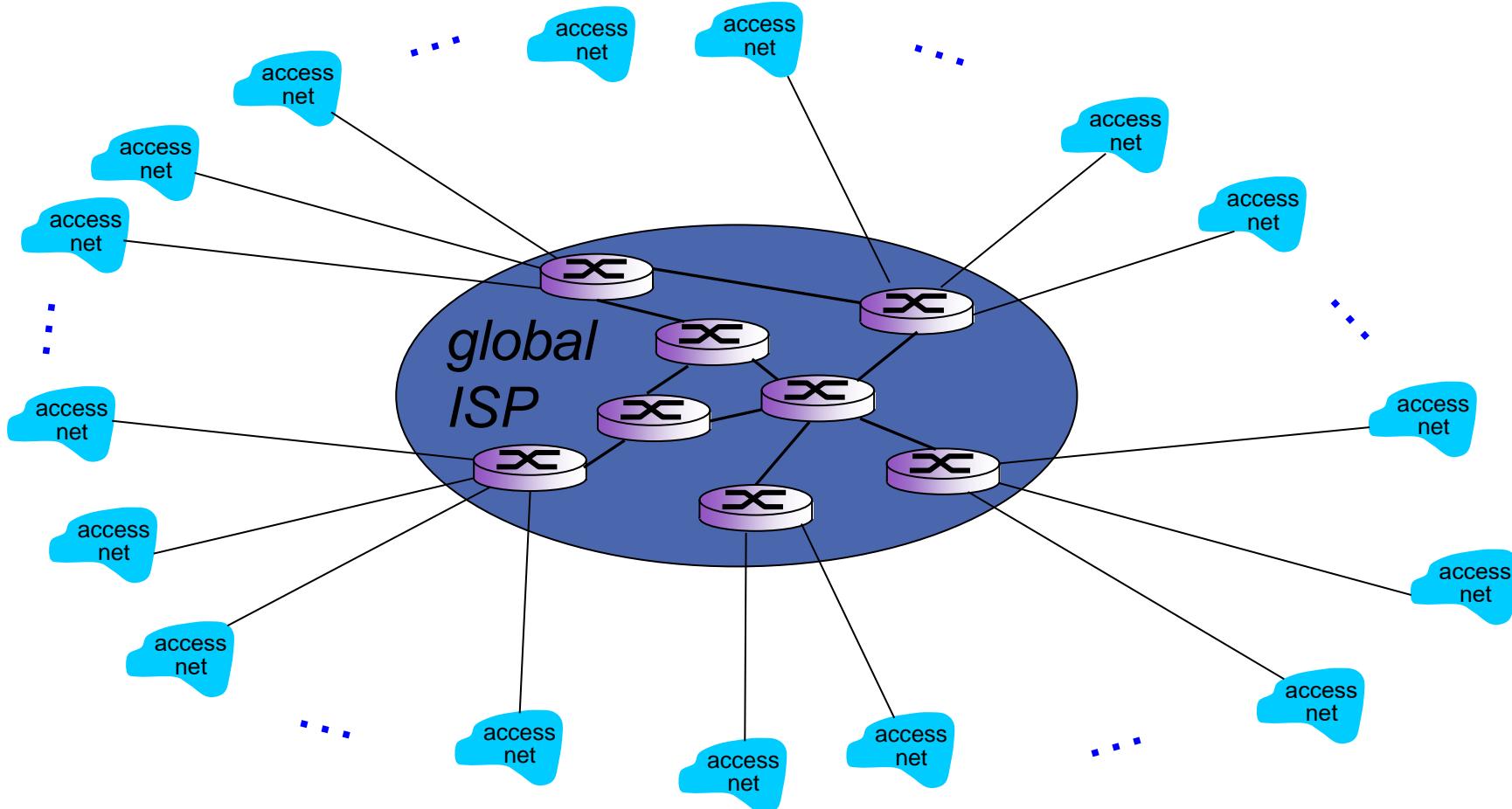
AS Pohled



- Zdroj: https://www.researchgate.net/figure/Interconnection-of-ISPs-of-different-tiers-a-representative-view_fiq3_220575988

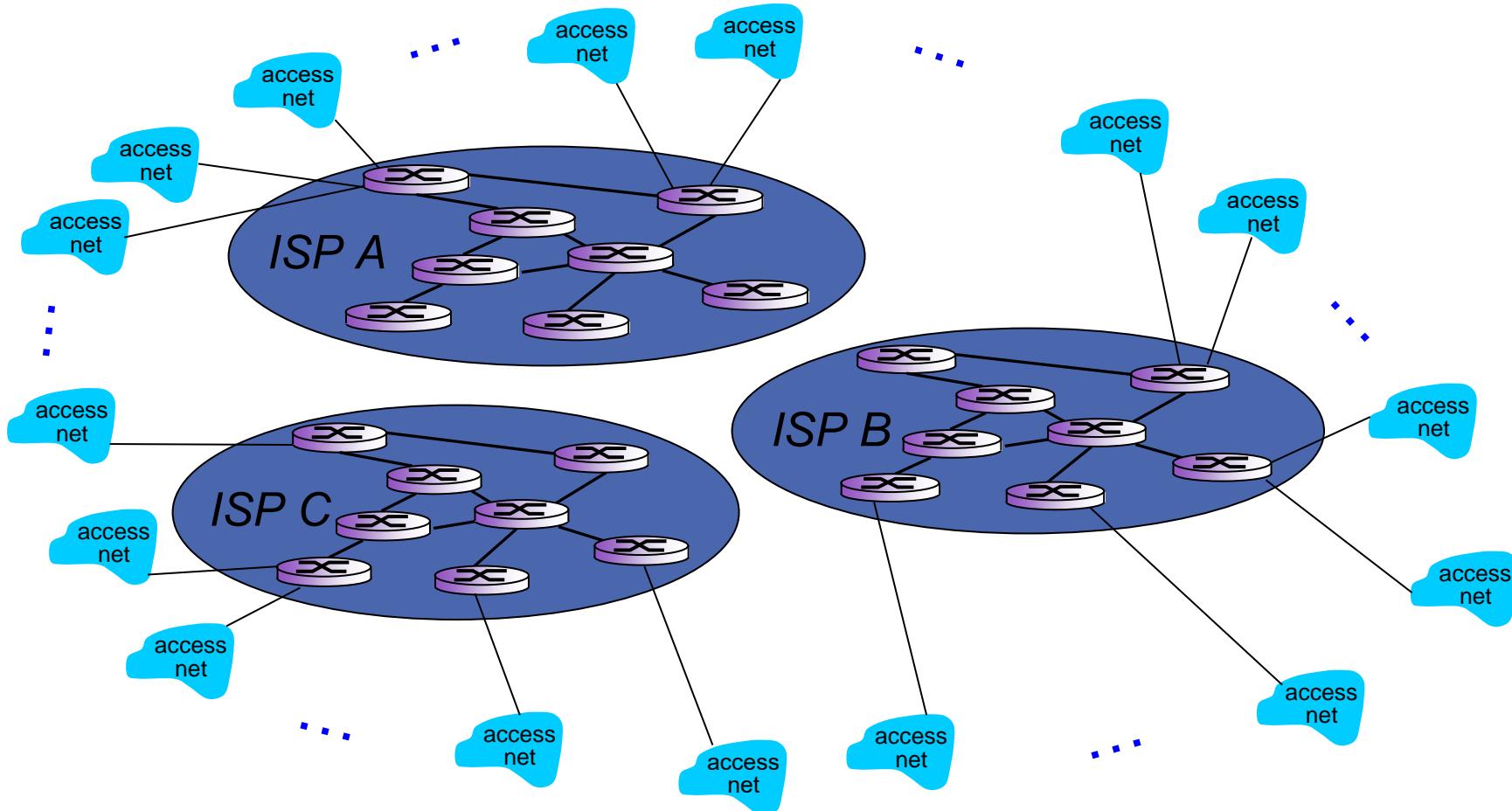
Proč zrovna takto? (1)

- Jeden pansvětový ISP -> neškálovatelné, chybí konkurence



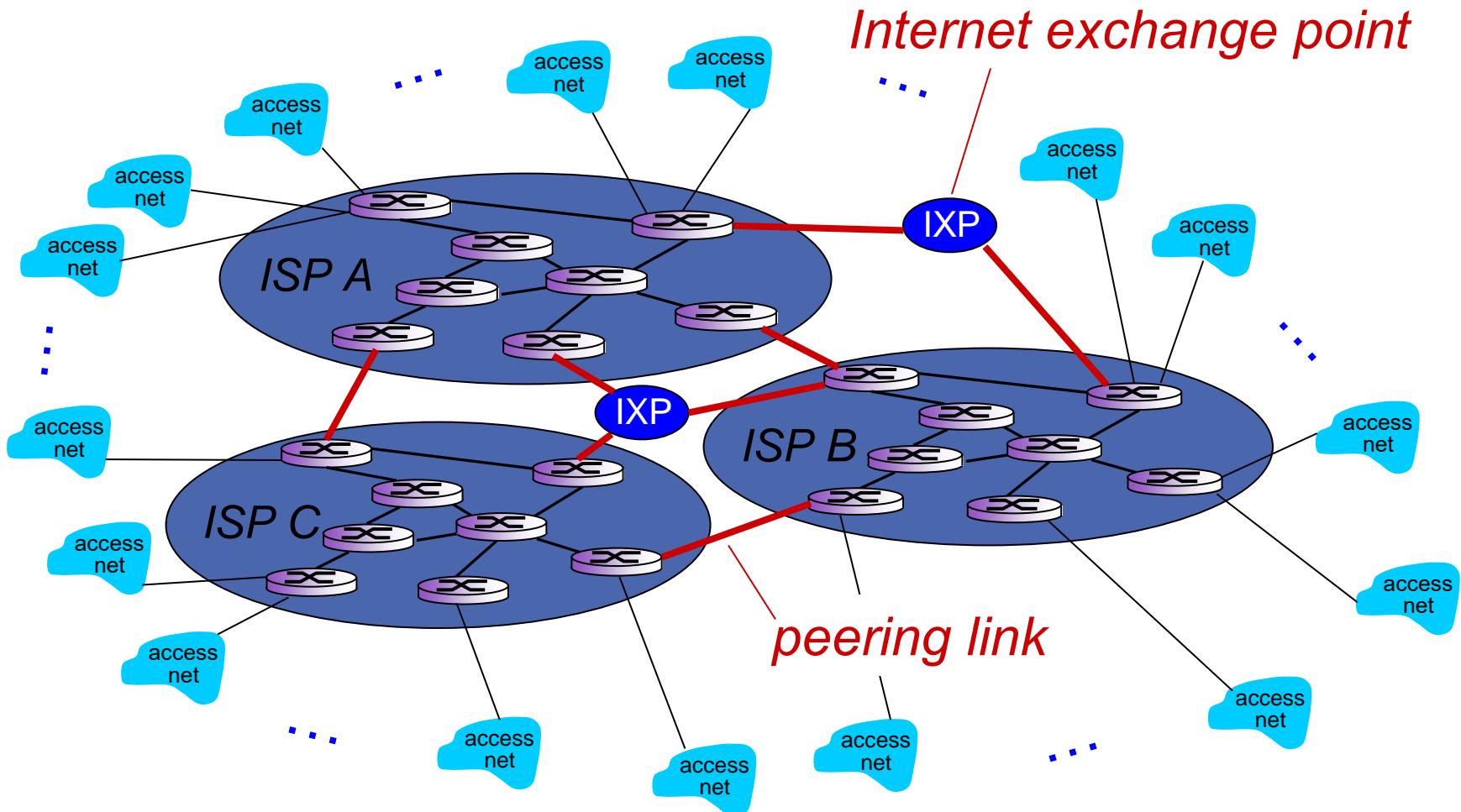
Proč zrovna takto? (2)

- Více ISP vede k existenci „ostrovních“ režimů



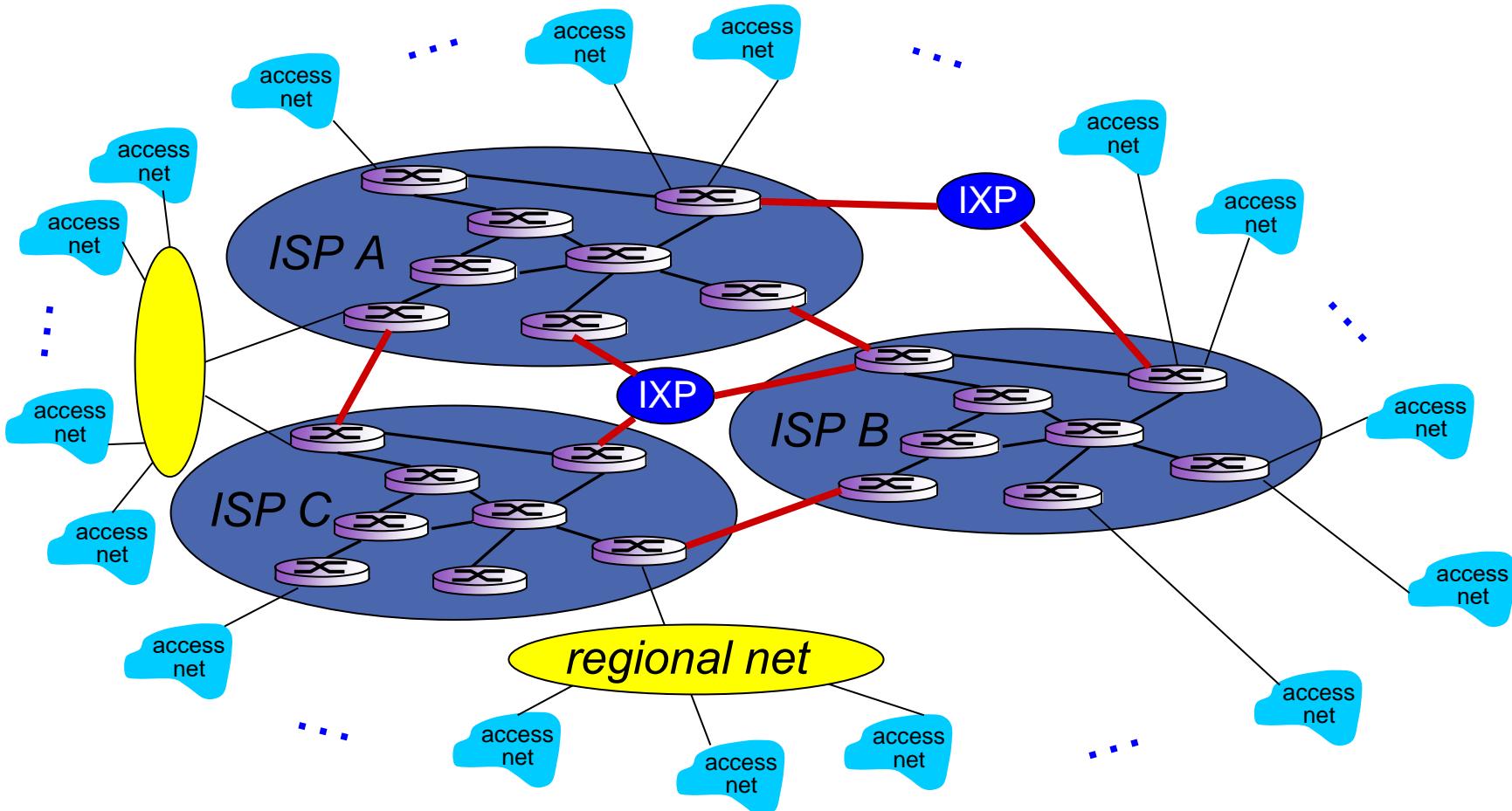
Proč zrovna takto? (3)

- Peering napřímo, nebo skrz IXP



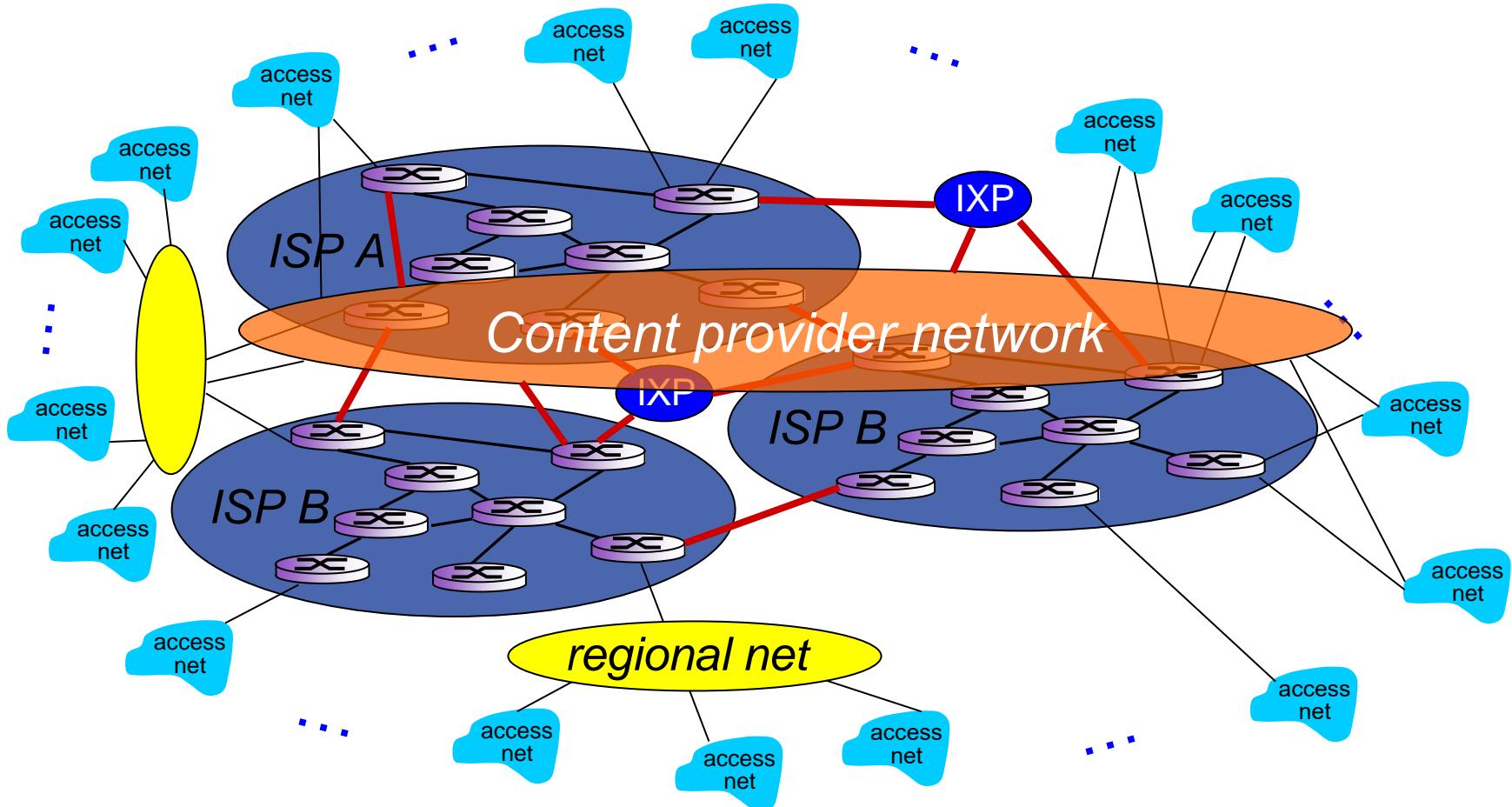
Proč zrovna takto? (4)

- Regionální řeší zákazníky, zatímco národní konektivitu



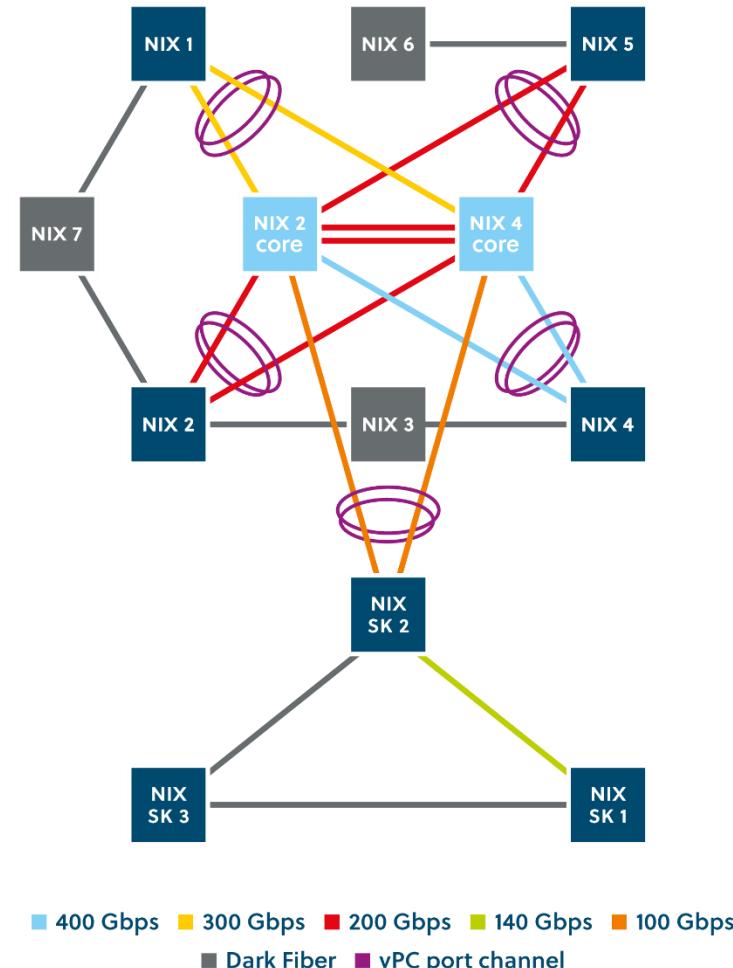
Proč zrovna takto? (5)

- Sdílení stavu...jak škálovat obsah na celý svět?



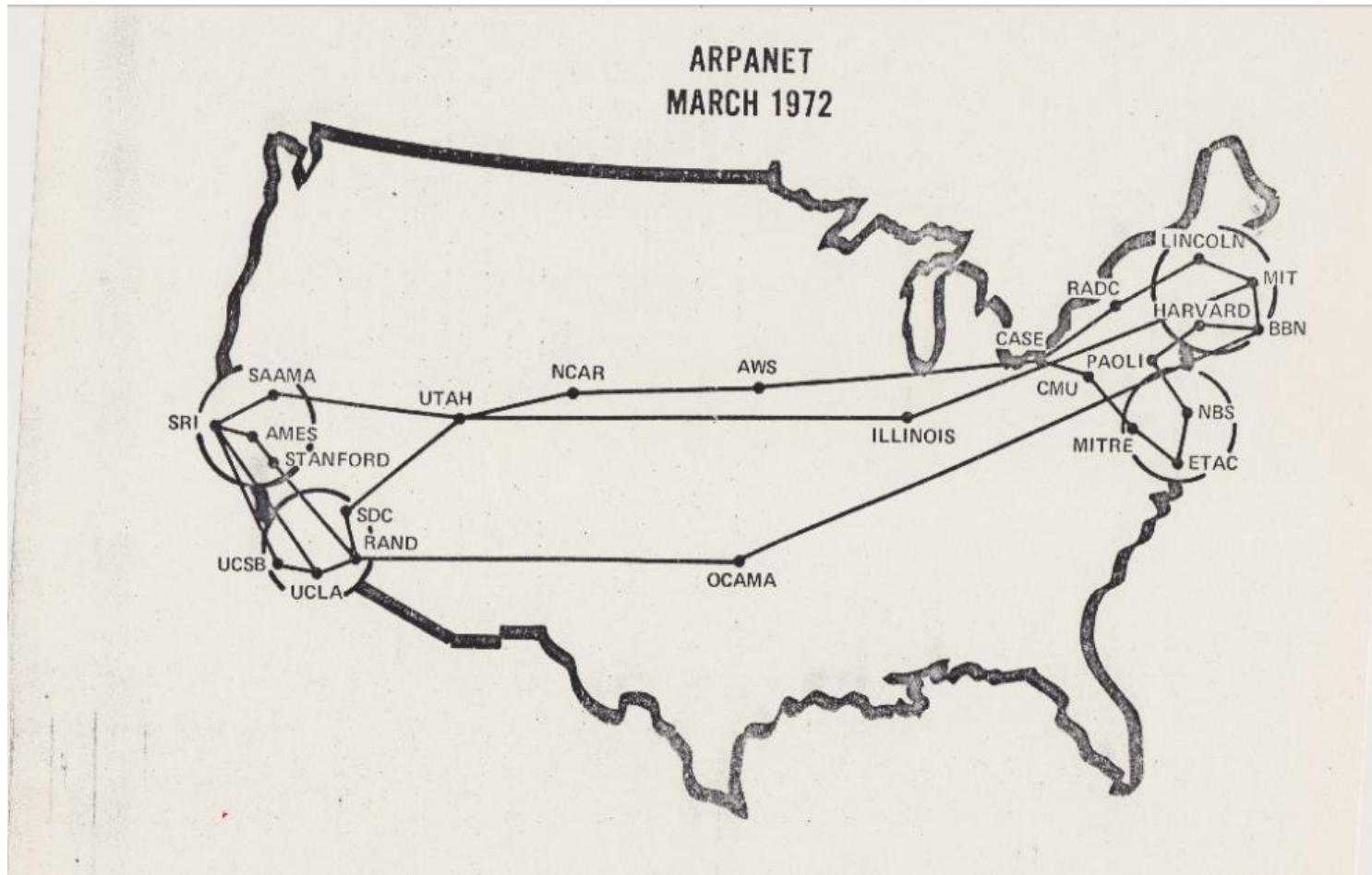
Internet Exchange Point

- NIX.cz, z.s.p.o.
 - <https://www.nix.cz/cs/technical>
 - <https://www.nix.cz/cs/networks>



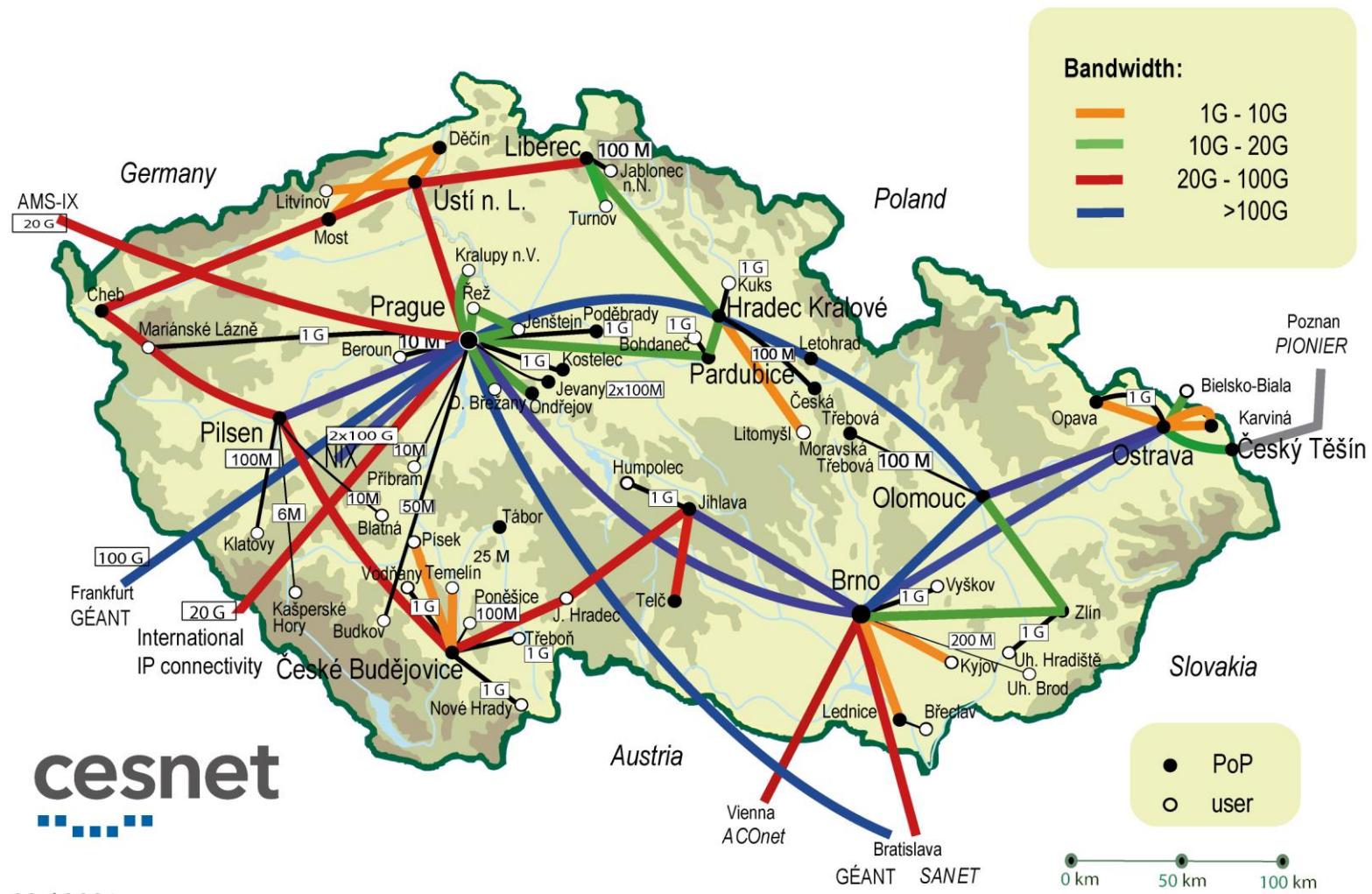
ARPANET

- 1969 první přenesený paket - vznik ARPANETu.



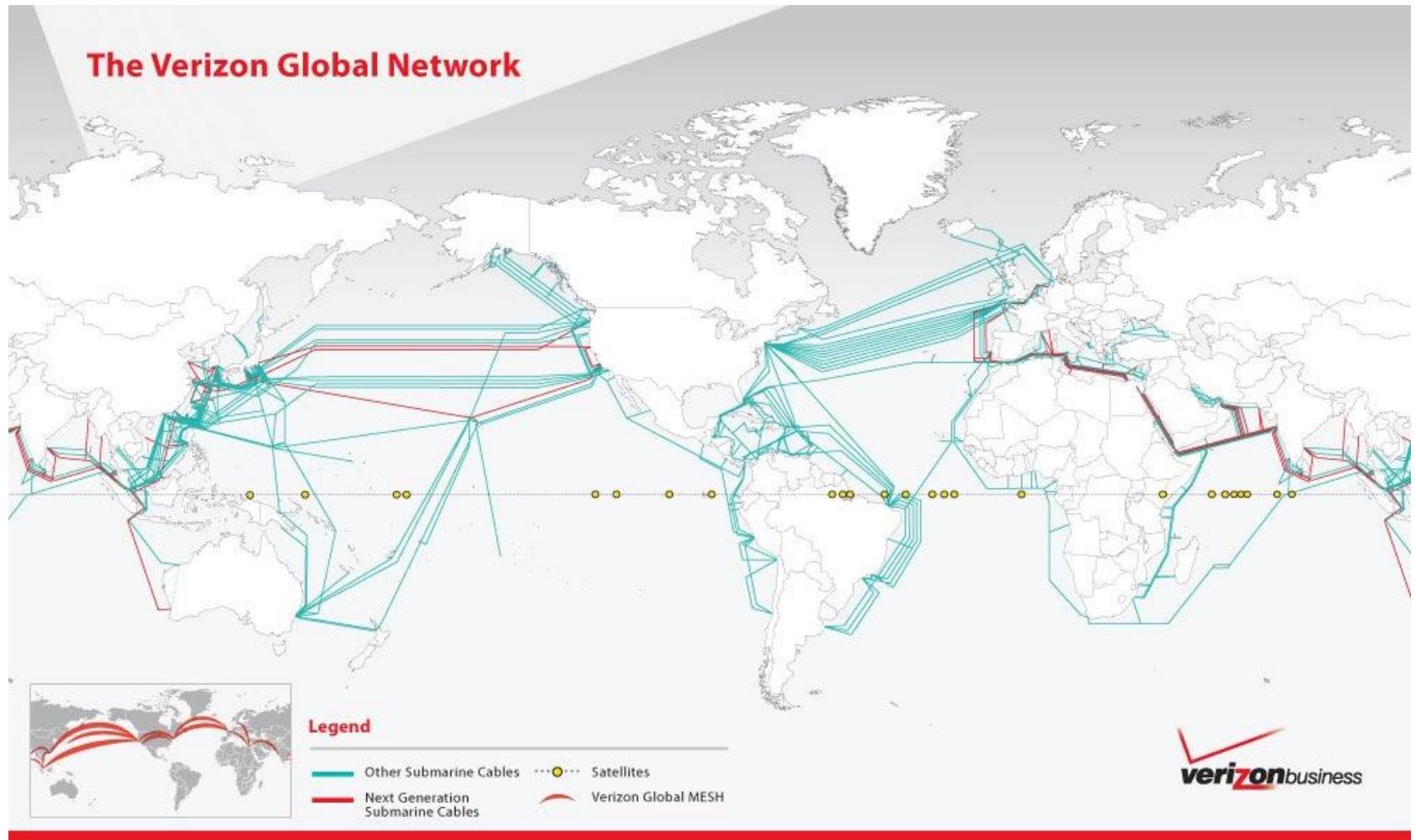
Zdroj: UCLA

CESNET 2

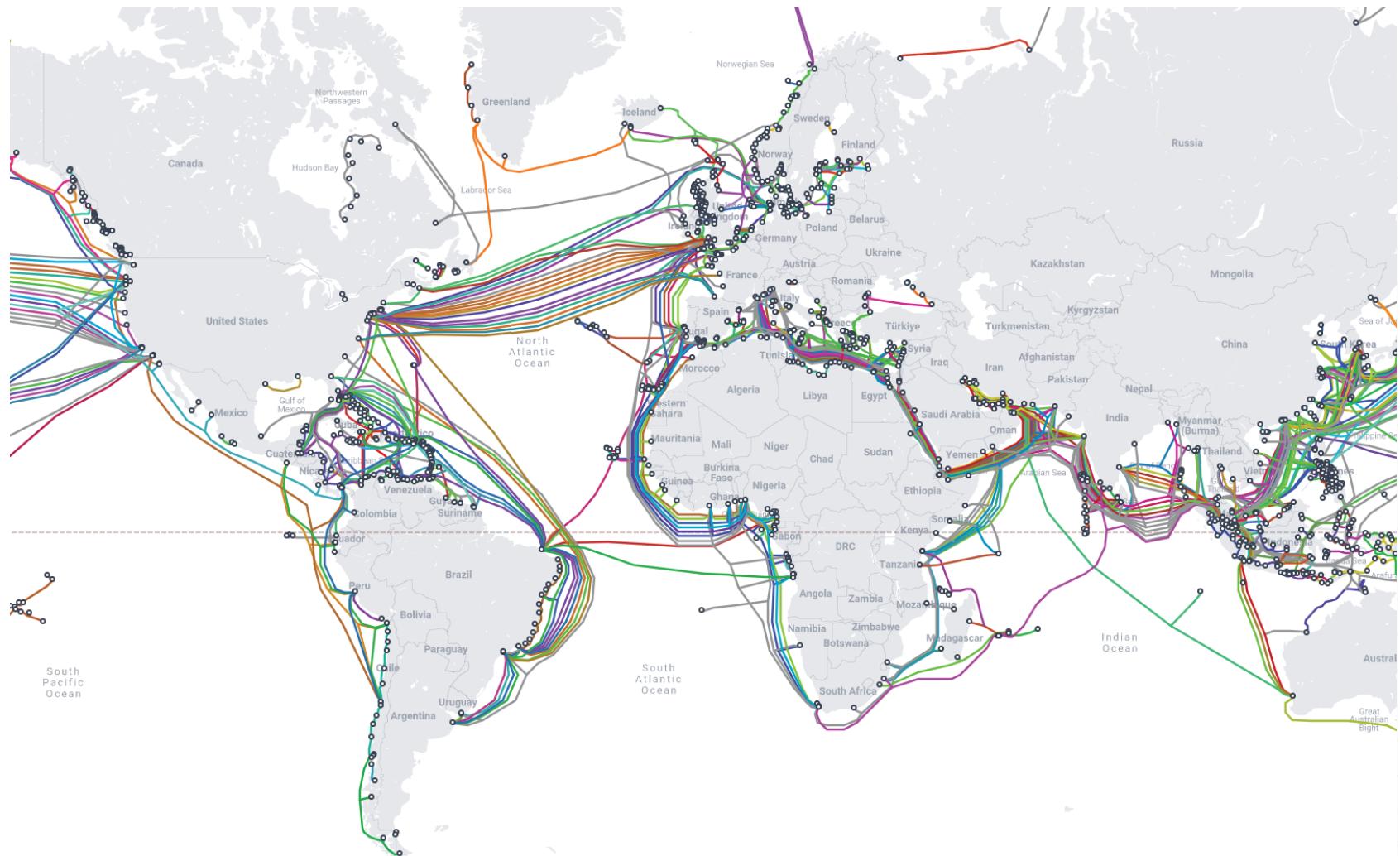


03 / 2021

Verizon

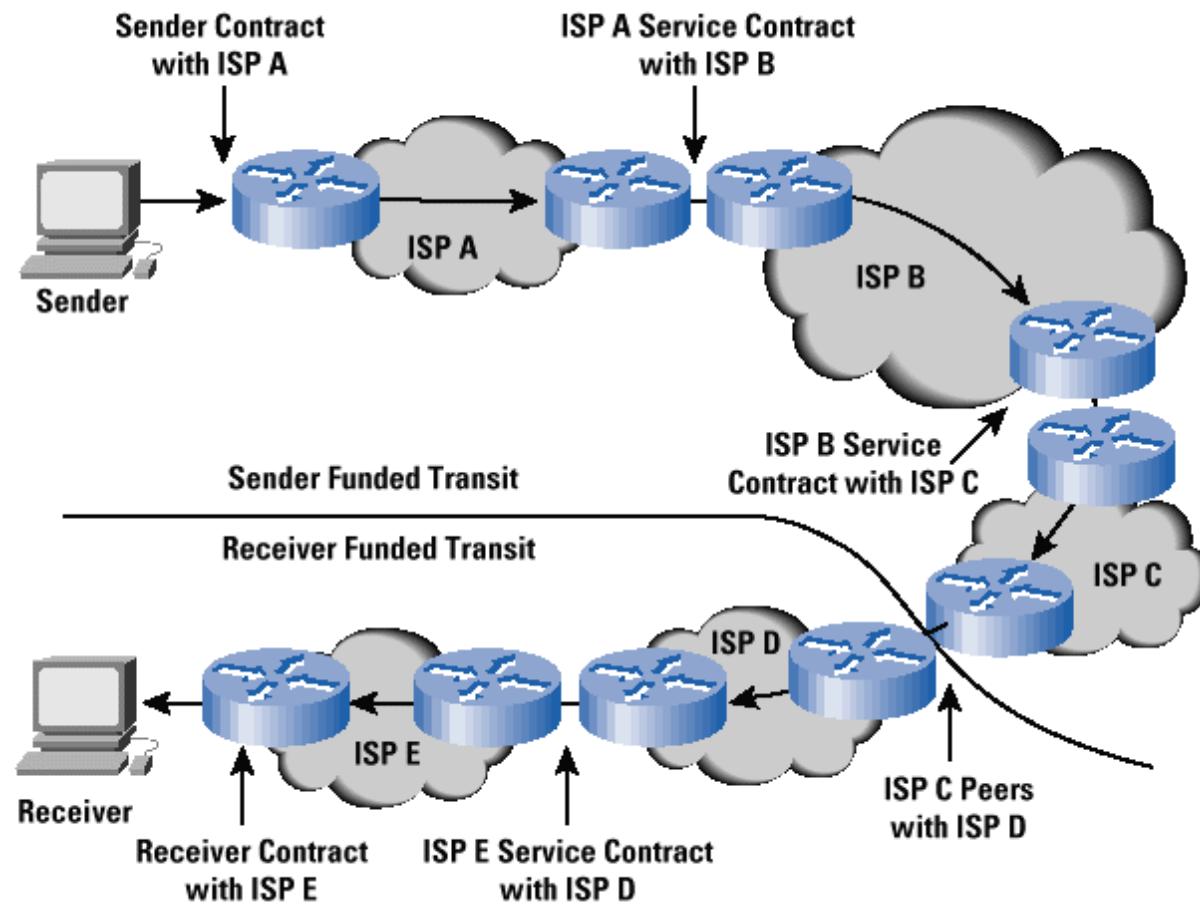


Submarine Cable Map

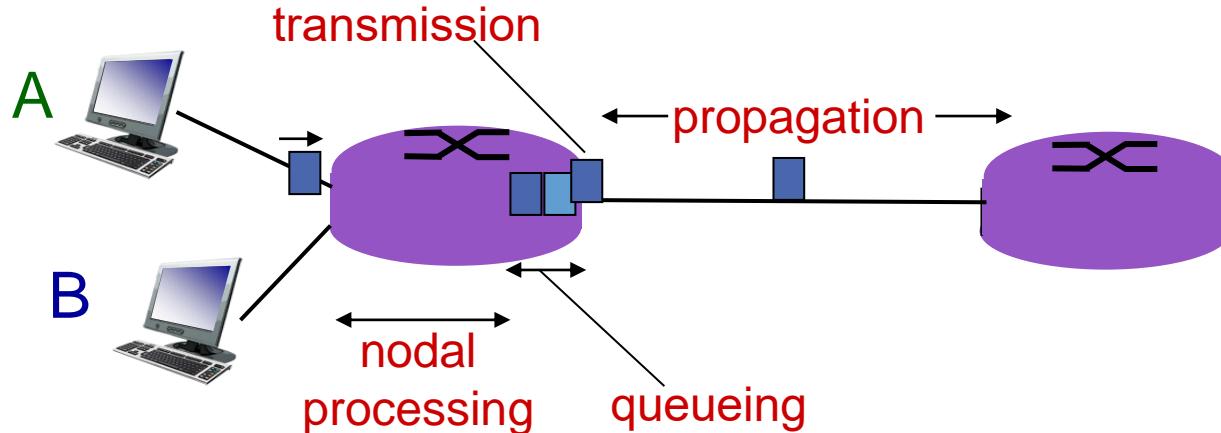


Zdroj: <https://www.submarinecablemap.com/>

Přenos dat v sítích ISP



Zpoždění



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

d_{proc} : nodal processing

- check bit errors
- determine output link
- typically < msec

d_{trans} : transmission delay:

- L : packet length (bits)
- R : link bandwidth (bps)
- $d_{\text{trans}} = L/R$

d_{queue} : queueing delay

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

d_{prop} : propagation delay:

- d : length of physical link
- s : propagation speed in medium ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- $d_{\text{prop}} = d/s$

d_{trans} and d_{prop}
very different

<https://www2.tkn.tu-berlin.de/teaching/rn/animations/propagation/>

Domácí úkol #2

- Pošlete do fóra screenshot nejpomalejšího PING na libovolné místo na světě
- <https://wondernetwork.com/pings>

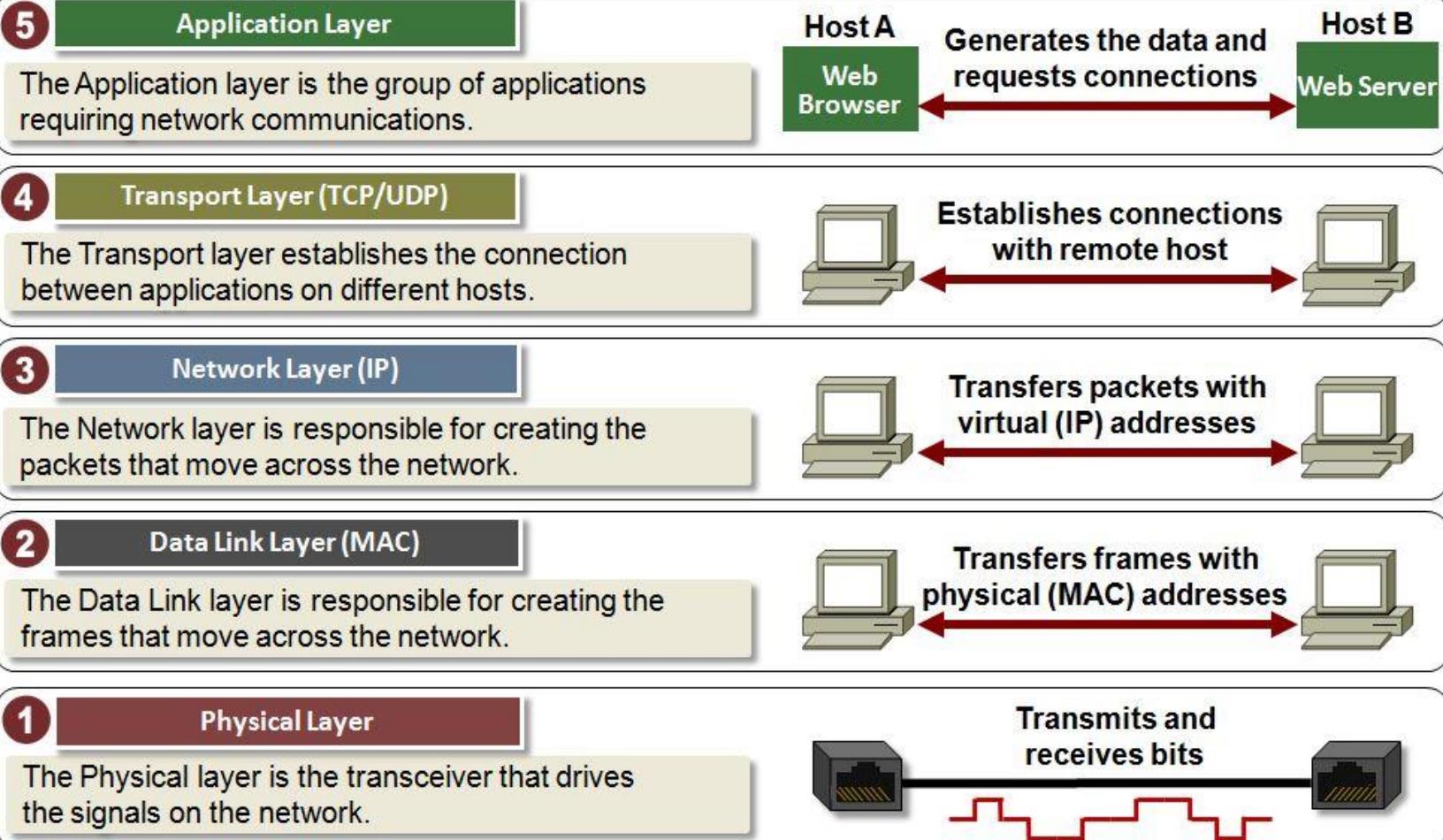
Agenda

- 1) Internet
- 2) Komunikace
- 3) Připojení k Internetu
- 4) Počítačové sítě
- 5) Páteř Internetu
- 6) MODEL TCP/IP
- 7) Závěr

Proč vrstvit?

- Počítačové sítě jsou jedním z vrcholných děl lidstva ve vzájemné koordinaci
- Počítačové jsou komplexní a zahrnují
 - hosty
 - směrovače a přepínače
 - linky a různá média
 - aplikace
 - protokoly
 - hardware a software
- Jak na komplexní systémy?
 - unifikace struktury
 - identifikace vzájemných vztahů
 - modularizace usnadňující údržbu a úpravy

TCP/IP model

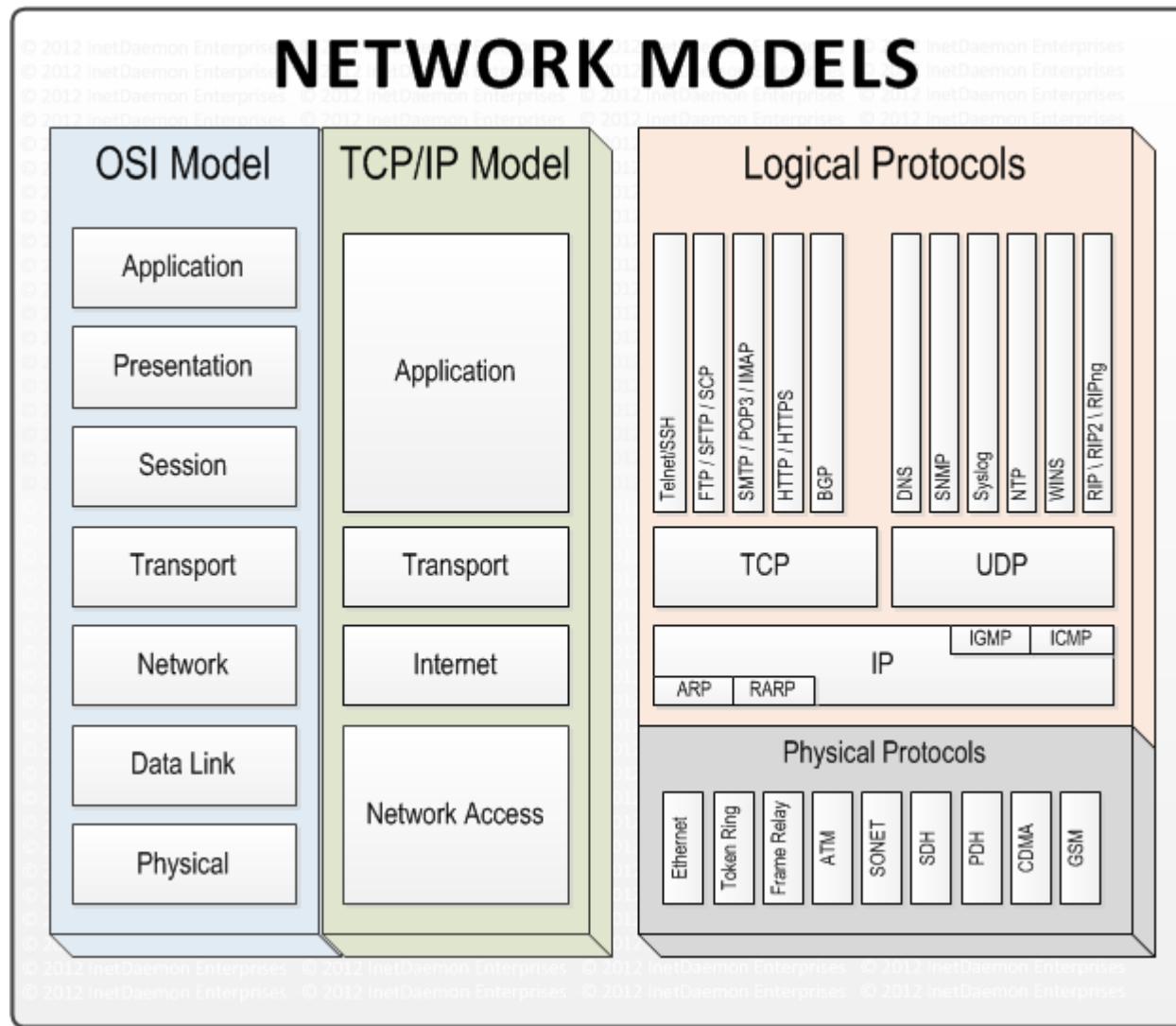


ISO/OSI model

OSI (Open Source Interconnection) 7 Layer Model

Layer	Application/Example	Central Device/Protocols	DOD4 Model
Application (7) Serves as the window for users and application processes to access the network services.	End User layer Program that opens what was sent or creates what is to be sent Resource sharing • Remote file access • Remote printer access • Directory services • Network management	User Applications SMTP	
Presentation (6) Formats the data to be presented to the Application layer. It can be viewed as the "Translator" for the network.	Syntax layer encrypt & decrypt (if needed) Character code translation • Data conversion • Data compression • Data encryption • Character Set Translation	JPEG/ASCII EBDIC/TIFF/GIF PICT	Process
Session (5) Allows session establishment between processes running on different stations.	Synch & send to ports (logical ports) Session establishment, maintenance and termination • Session support - perform security, name recognition, logging, etc.	Logical Ports RPC/SQL/NFS NetBIOS names	
Transport (4) Ensures that messages are delivered error-free, in sequence, and with no losses or duplications.	TCP Host to Host, Flow Control Message segmentation • Message acknowledgement • Message traffic control • Session multiplexing	F I L T E R E N G P A C K E T	TCP/SPX/UDP
Network (3) Controls the operations of the subnet, deciding which physical path the data takes.	Packets ("letter", contains IP address) Routing • Subnet traffic control • Frame fragmentation • Logical-physical address mapping • Subnet usage accounting	Routers IP/IPX/ICMP	Host to Host
Data Link (2) Provides error-free transfer of data frames from one node to another over the Physical layer.	Frames ("envelopes", contains MAC address) [NIC card — Switch — NIC card] (end to end) Establishes & terminates the logical link between nodes • Frame traffic control • Frame sequencing • Frame acknowledgment • Frame delimiting • Frame error checking • Media access control	Switch Bridge WAP PPP/SLIP	Internet
Physical (1) Concerned with the transmission and reception of the unstructured raw bit stream over the physical medium.	Physical structure Cables, hubs, etc. Data Encoding • Physical medium attachment • Transmission technique - Baseband or Broadband • Physical medium transmission Bits & Volts	Hub Land Based Layers	Can be used on all layers

Porovnání modelů

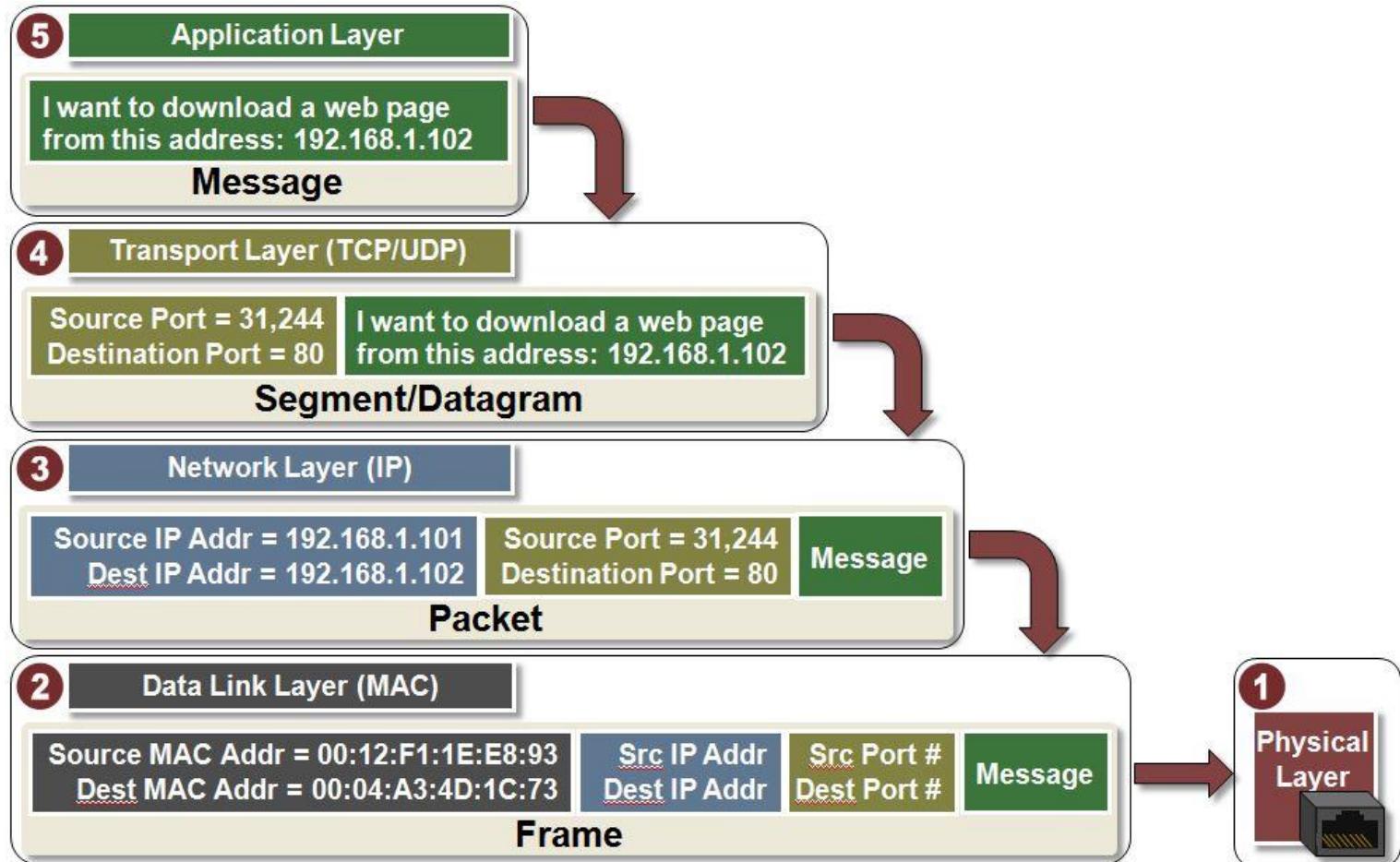


Protocol Data Units

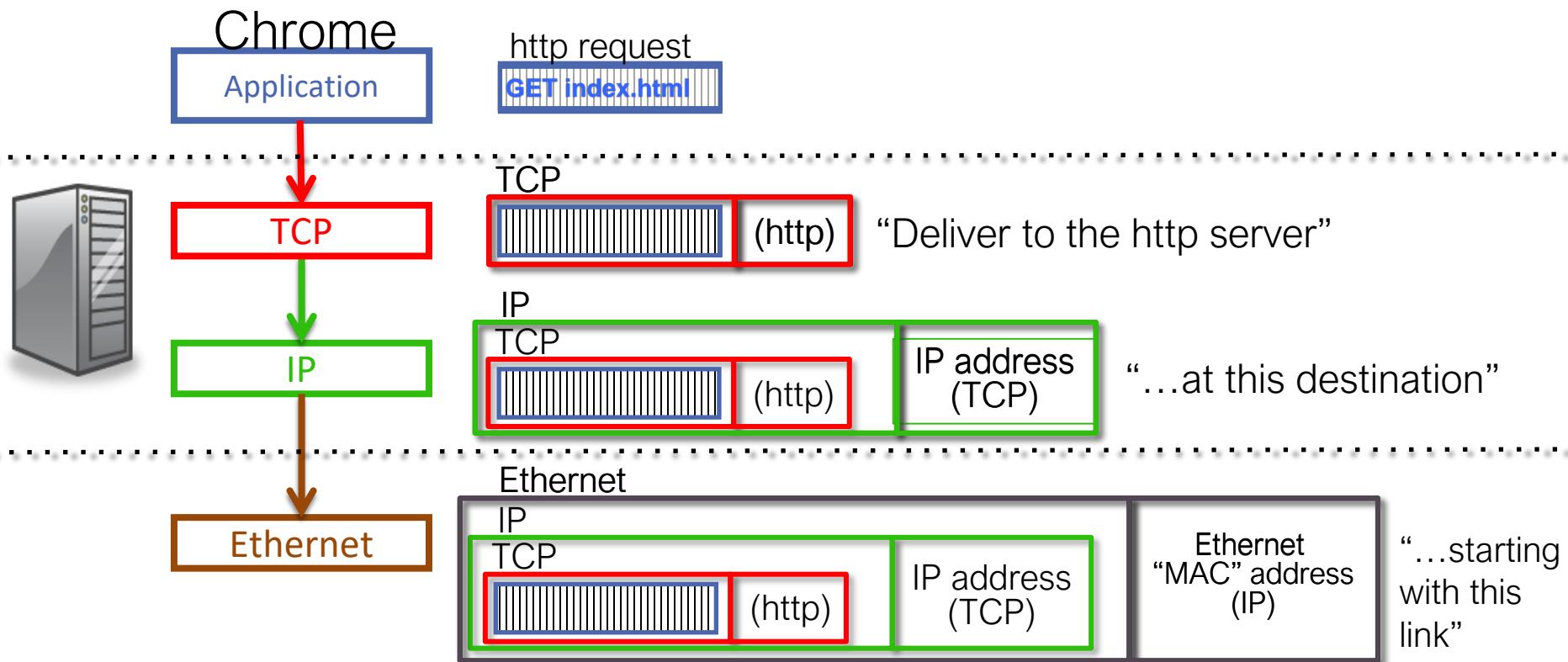
- As data traverses through layers
 - down: encapsulation occurs, header is appended
 - up: decapsulation occurs, header is stripped
- Protocol Data Unit (PDU)
 - Unit of information processed by a given layer
 - PDU consists of header + payload + (optionally) trailer
- PDU taxonomy
 - L7 PDU = **application data**
 - L4 PDU = **segments** (for TCP) / **datagrams** (for UDP)
 - L3 PDU = **packets**
 - L2 PDU = **frames**
 - L1 PDU = **bits**



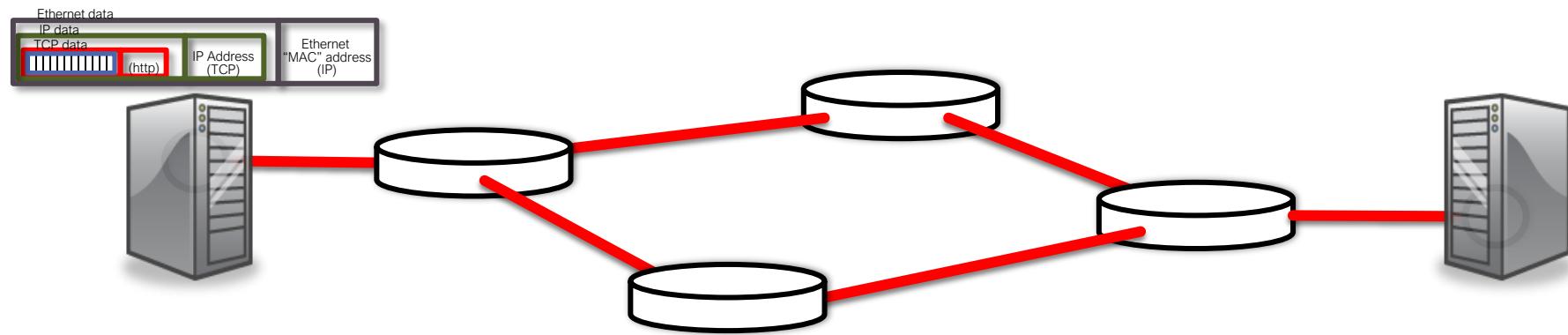
PDU En/De-capsulation



Na počítači klienta...



Na síti...



Na serveru příjemce...

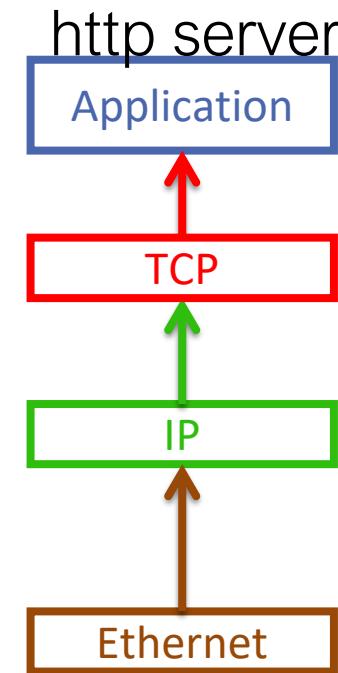
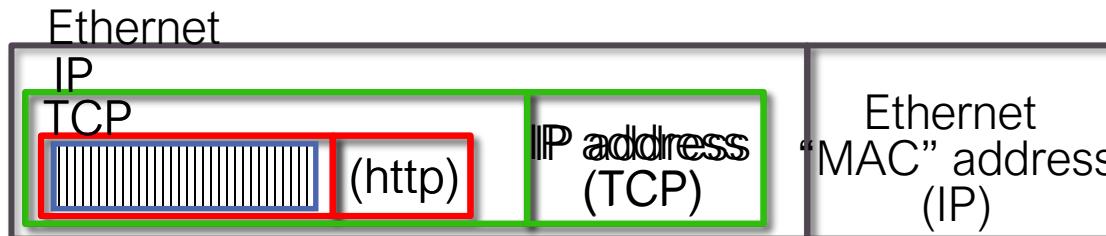
http request



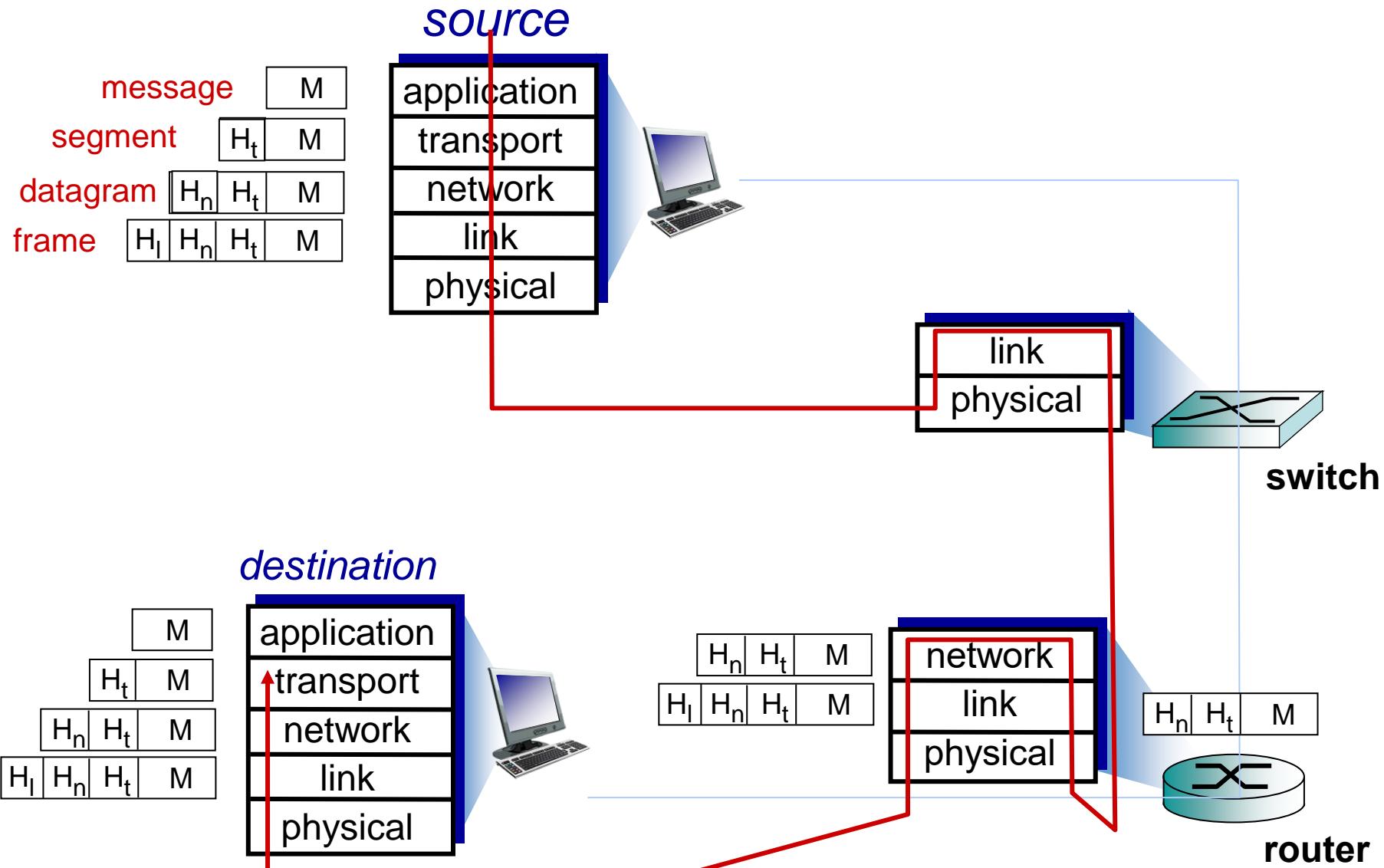
“Deliver to the http server”



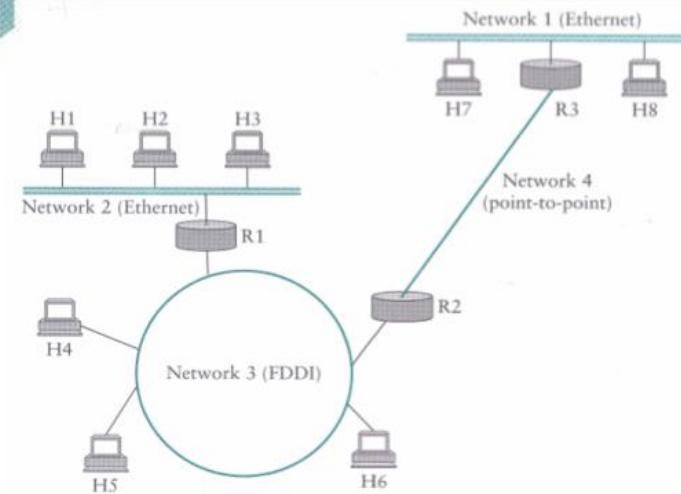
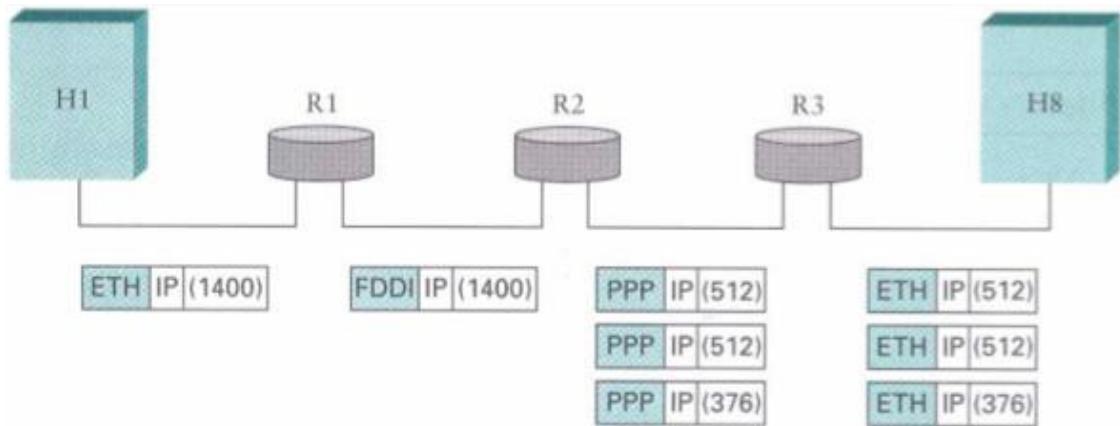
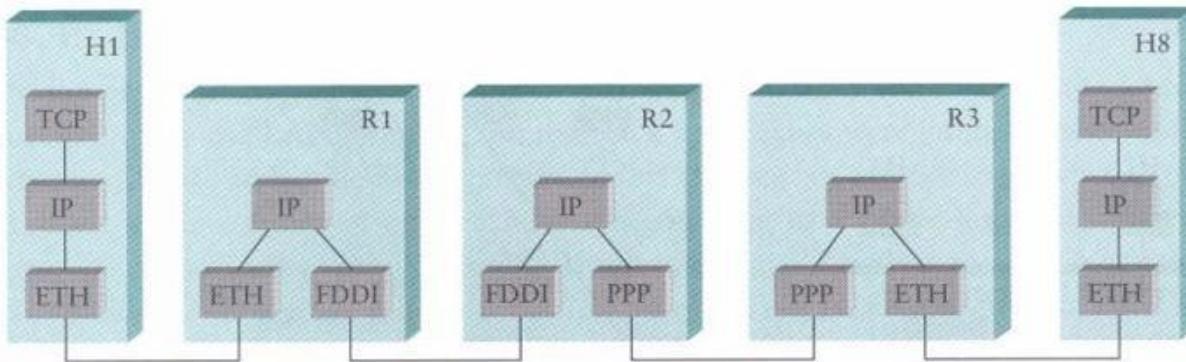
“Deliver to TCP”



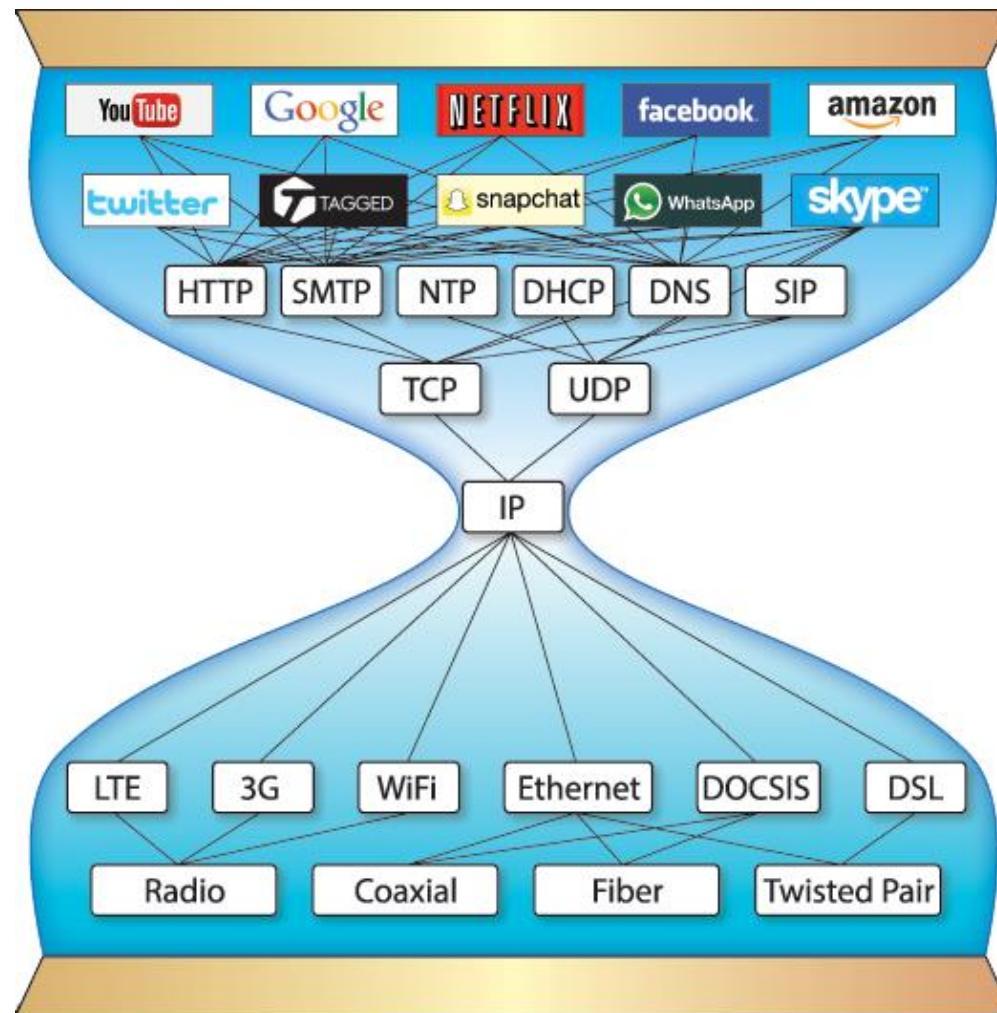
Odpouzdřování



Různé sítě

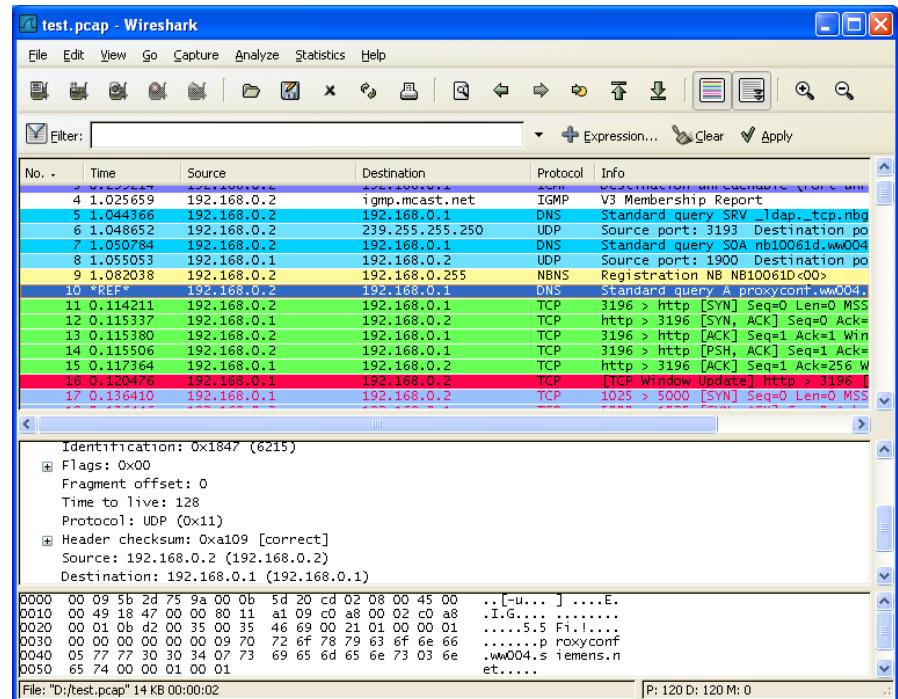


Aktuální zásobník



Domácí úkoly #3 a #4

- #3
 - nainstalujte si
<https://www.wireshark.org/download.html>
- #4 oprášte váš domácí router
 - změňte přihlašovací údaje s admin / admin
 - zkuste se na něj přihlásit a zjistit, co všechno na něm můžete konfigurovat



Agenda

- 1) Internet**
- 2) Komunikace**
- 3) Připojení k Internetu**
- 4) Počítačové sítě**
- 5) Páteř Internetu**
- 6) Model TCP/IP**
- 7) ZÁVĚR**

Komunikace

- Pro vytvoření funkční počítačové sítě musíme vyřešit:
 - formát a kódování dat
 - detekci chyb
 - adresování
 - směrování a přepínání
- Síťové aplikace uvažují virtuální komunikační kanál
- Síťová architektura má několik vrstev pro separaci funkcí a snížení složitosti v případě monolitického návrhu
- Spolehlivá komunikace v paketových sítích je realizována jako samostatná vrstva v síťové architektuře.

Připojení

- Různé typy připojení, které se liší:
 - použitou technologií
 - rychlostí komunikace
 - dostupností
 - cenou
- Nové technologie:
 - optické spoje
 - vysokorychlostní bezdrátový přenos
 - mobilní připojení (4G/5G)

Koncové sítě

- Ethernet:
 - postupná evoluce od 10Mb/s až na X Gb/s rychlosti
 - levná zařízení, instalace
 - spolehlivé pro lokální sítě
- Wifi:
 - použití 2,4GHz a 5 GHz
 - různé standardy
 - liší se rychlostí
 - pořád sdílené médium, zvýšení "kapacity" pomocí MIMO a beam steering

Páteřní sítě

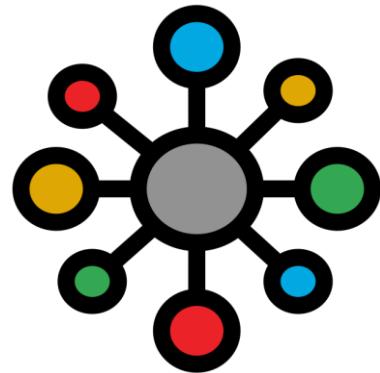
- Sítě ISP, původně telekomunikační společnosti
- Přepínání okruhů
- Multiplexing (TDM, FDM,...)
- Přepínání paketů
- Statistický multiplexing
- Efektivní sdílení média
- Struktura Internetu
- Propojování ISP, peering, účtování
- Autonomní systémy

Paketové sítě

- Přenos paketů v síti
- Model směrovače
- Zpoždění
- Ztráta paketu
- TCP/IP Model komunikace
- Síťové vrstvy
- Zapouzdření při přenosu
- Fragmentace

Ondřej Ryšavý
Vladimír Veselý

rysavy@fit.vutbr.cz
veselyv@fit.vutbr.cz



<https://www.fit.vutbr.cz/research/groups/nes@fit/>

<https://nesfit.github.io>