

Internetwork og Web-programmering

Introduktion til netværk

Forelæsning 6
Brian Nielsen

Distributed, Embedded, Intelligent Systems



Agenda

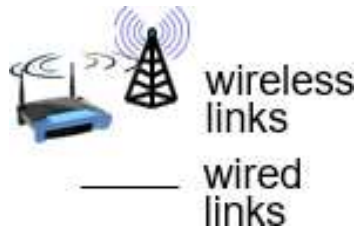
1. Struktur af Internettet
2. Packet switching princip
3. Forsinkelse, Gennemløbsrate (Throughput), og Flaskehalse
4. Internet Protokol stakken

Struktur af Internettet

Hvilke komponenter består nettet af?

Hvordan er det opbygget i netværk af netværk?

Hvad består Internettet af?



- Milliarder af forbundne “computere” :
 - **hosts = end systems**
 - Afvikler netværks-applikationer
- **Kommunikations-forbindelser (links)**
 - fiber, kobber, radio, satellite,...
 - Transporterer data med en vis transmissions rate:
 - (Mega) bits-per-sekund (Mbps)
- **packet switches:** enhed, der videresender data-pakker i nettet
 - **routers** og Lag 2 -**switches**
- **Protokoller:** Regler, der styrer afsendelse og modtagelsen af meddelelser
 - e.g., TCP, IP, HTTP, Skype, 802.11
- **Internet standarder**
 - RFC: Request for comments (<http://www.rfc-editor.org/standards>)
 - IETF: Internet Engineering Task Force (<https://www.ietf.org/about/>)

Hvad består Internettet af? "Things"

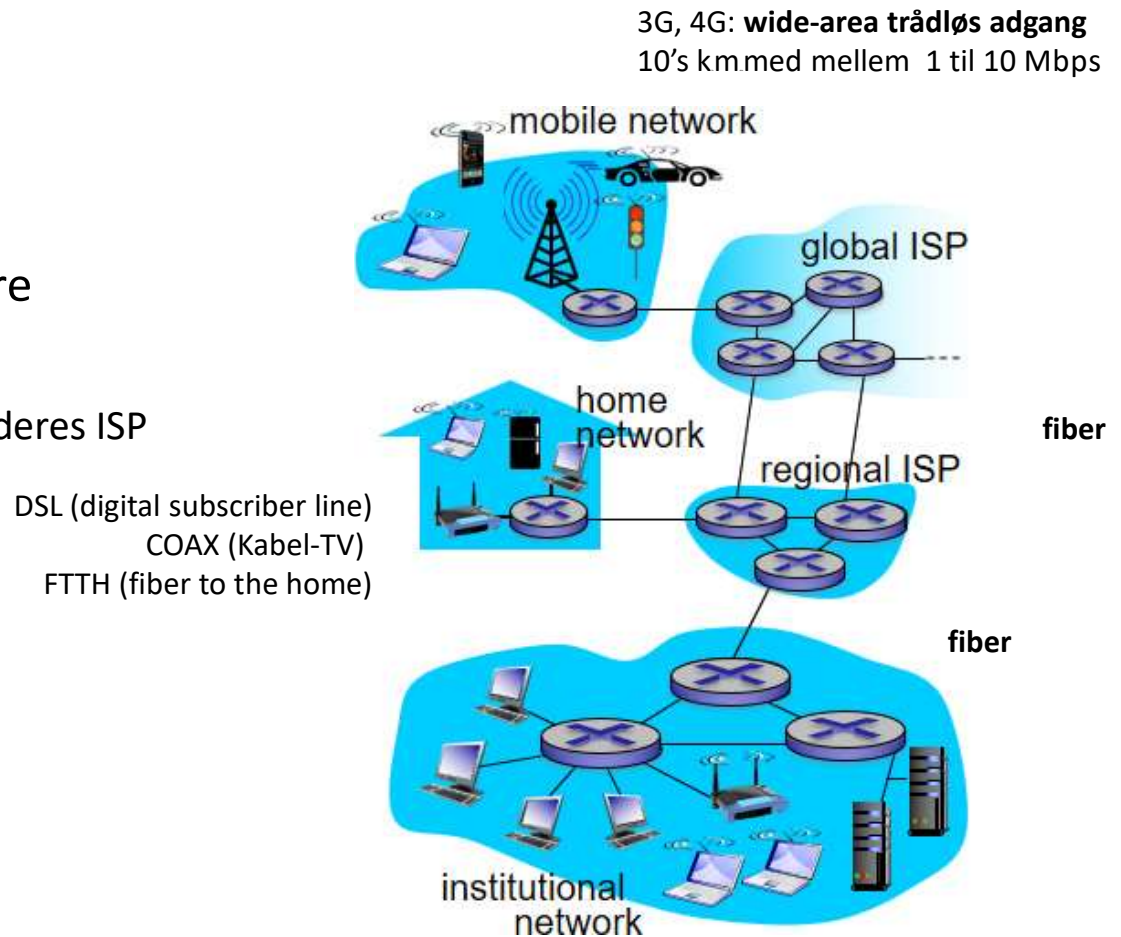


- Nu også end-systemer som sensorer, robotter, maskiner, TV, radiator termostater,...
- Internet of things
- Cyber-physical systems

<http://cityprobe.ciss.dk/>

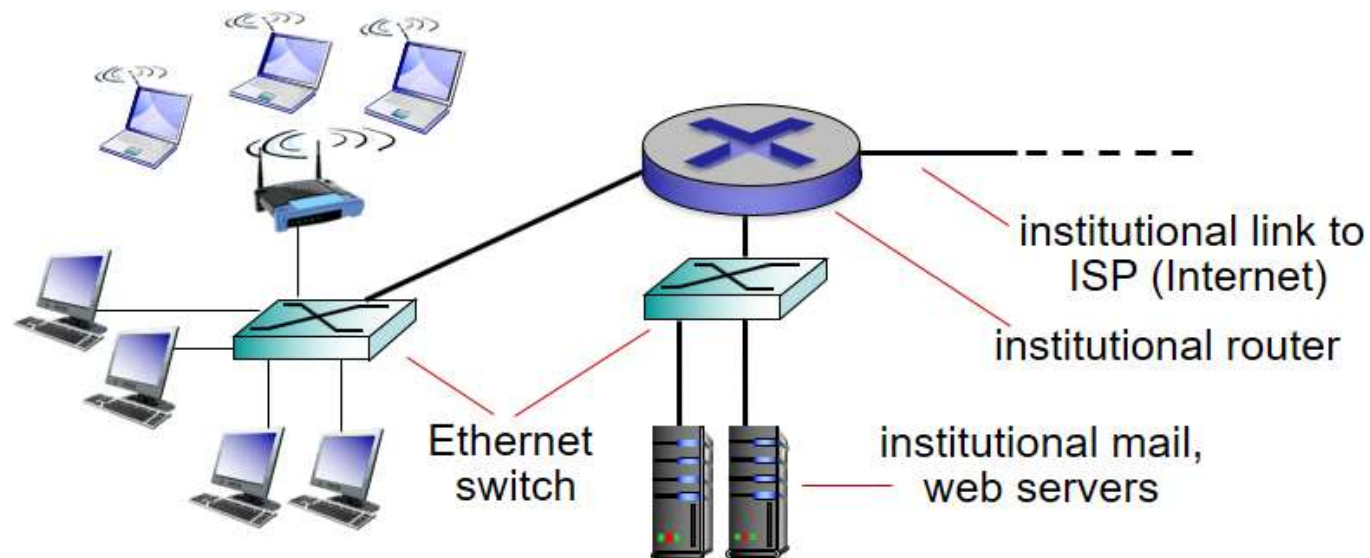
Simple model for structure of Internet

- **Netværks-udkant (edge):**
 - **hosts = end systems**
 - Klienter og servere
 - Servers, typisk placeret i datacentre
- **Adgangs netværk (access)**
 - Det yderste led, forbinder abonnenter til deres ISP
 - Lokal net + forbindelse til ISP
 - Trådede (wired),
 - Trådløse (wireless) forbindelser
- **Netværks kernen (core):**
 - Sammenkoblede ISP routere
 - Hierarkier
 - **Netværk af netværk**



ISP=Internet Service Provider

Access Netværk i Firmaer (Ethernet)



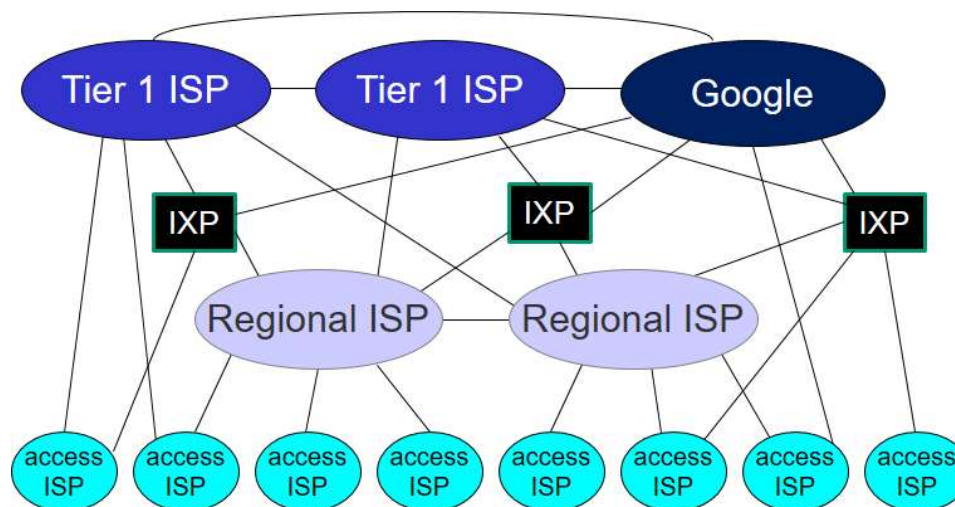
- Flere lokale netværk typisk brugt i firmaer, universiteter, etc.
- 10 Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps transmission rater
- Nu til dags er end-systemer typisk forbundet til en Ethernet (Lag 2) switch

Ethernet: Den mest brugte netværksteknologi i access netværket

Internet Struktur: Netværk af Netværk

En kompleks struktur af *inter-forbundne netværk* blandt

- ISPs, Telekom udbydere, Indholdsudbyderes netværk (fx., Google, Microsoft, Akamai)
- I kernen: en mindre antal velforbundne store netværk
- Data centre koncentrerer mange servers ("the cloud"),
- Forretningsaftaler bestemmer med hvem (og pris) for udveksling af trafik: Peering and transit priser



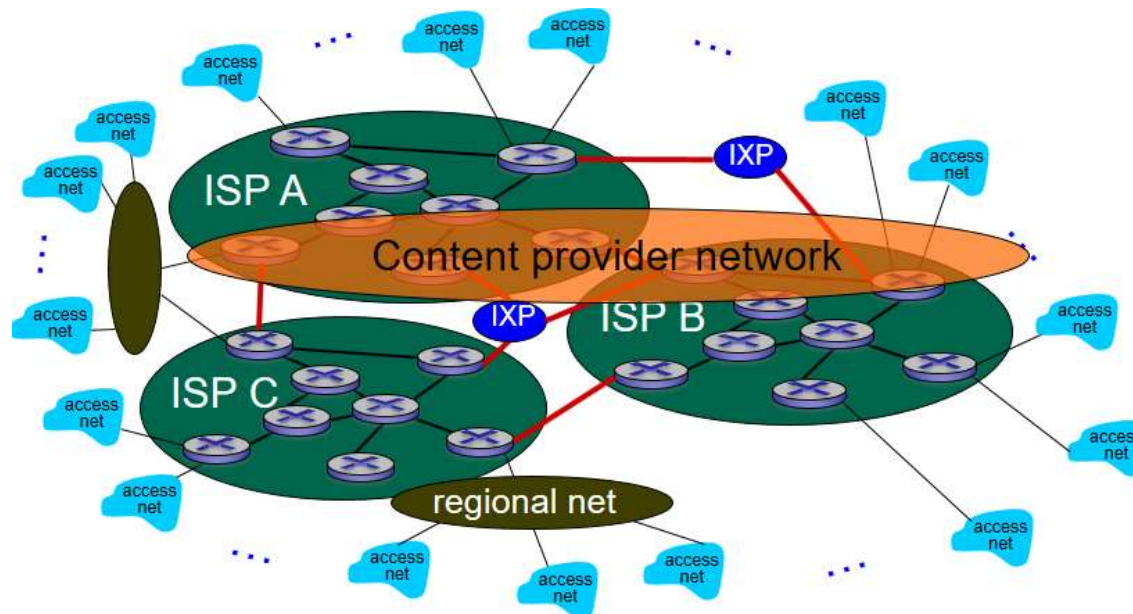
IXP: Internet Exchange Point (IXP) I
Fysisk og neutral lokation, hvor forskellige
ISP netværk mødes og udveksler traffic.

Fx: <https://www.dix.dk/>

Internet Struktur: Netværk af Netværk

En kompleks struktur af *inter-forbundne netværk blandt*

- Det meste trafik stammer fra data-centre (video-distribution)
- Content Distribution Networks: Udbydere udbygger med egne server-farme placeret tættere på slutbrugere, og egne netværksforbindelser mellem serverne.



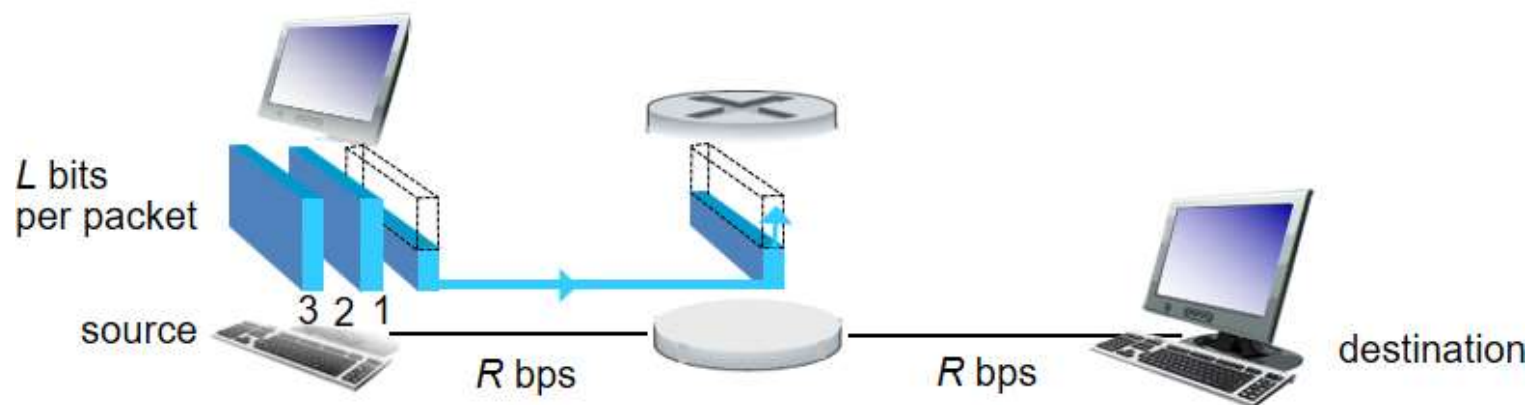
Packet-switching

Hvad er packet switching?

Hvorfor og hvornår er det smart?

Packet Switching

- **Pakke-kobling (packet-switching):** hosts deler applikationsdata op i mindre “data-pakker” *)
 - Videre-send pakker fra en router til den næste på stien af links fra source til destination
 - Hver pakke sendes med linkets (fulde) transmissionsrate
- **Gem-og-videre-send (store and forward):** hele pakken skal modtages af en router og gemmes i dennes hukommelse før den kan videre-sendes på den næste link

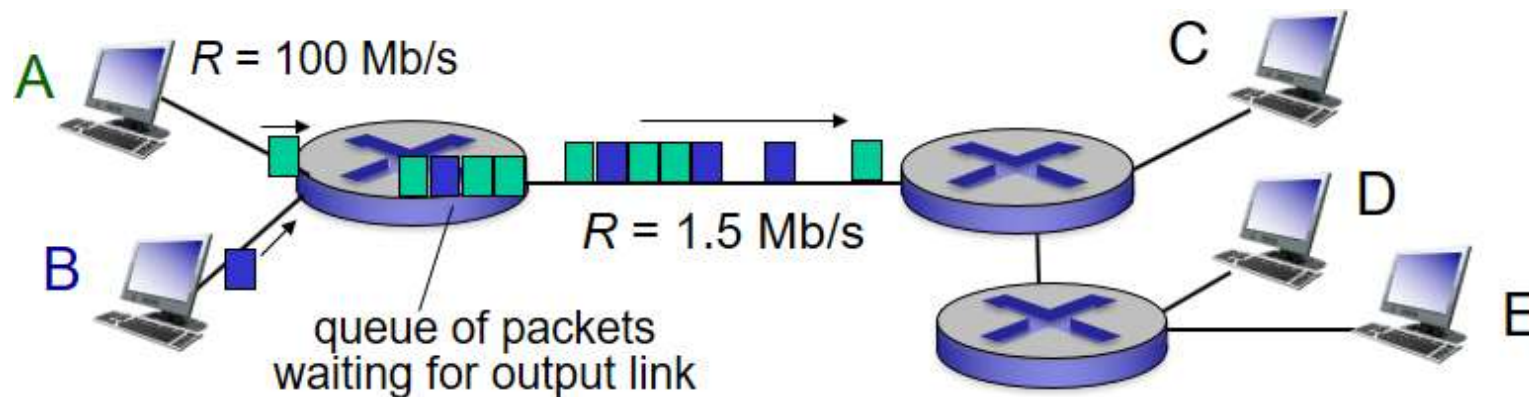


- **Forsinkelser**
 - En pakke der er L -bits lang, sendt med raten R , tager L/R sekunder at sende
 - Ex. Forsinkelse: 1000 bits/1 Mbps = 1ms
 - Ex. 2 hop til destination: Samlet forsinkelse: $2L/R$ (plus noget mere...)

*) Fx, På Ethernet er maksimal pakkestørrelse $L = 1522$ bytes = 12176 bits

Packet Switching: Pakke-køer og pakke-tab

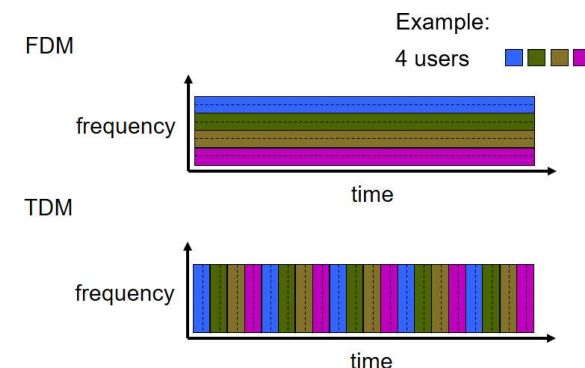
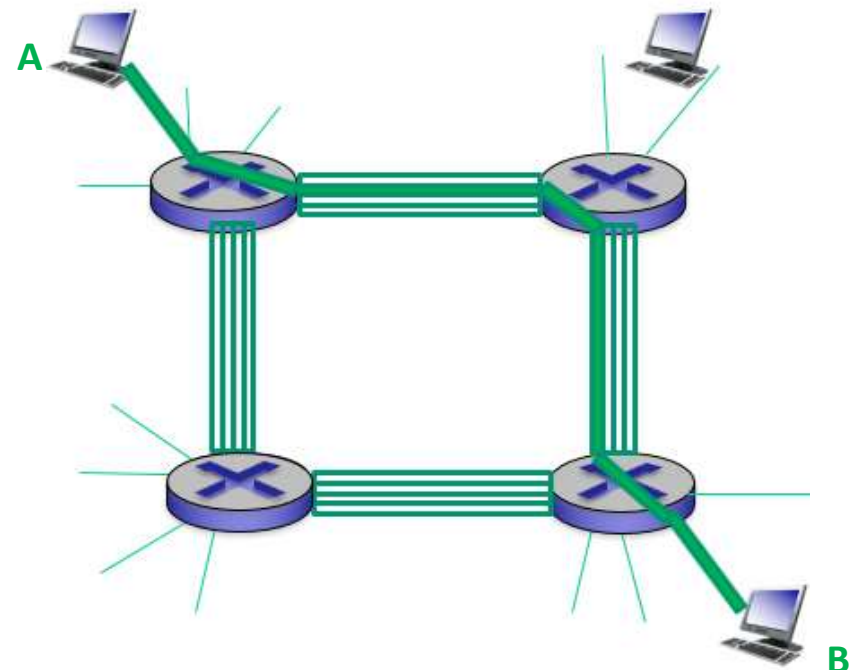
- Hvis ankomst raten til et link overstiger dets transmission rate over en kort periode:
 - Pakker bliver sat i kø, og afventer transmission på link
 - Pakker smides ud (droppes/tabs) hvis bufferen løber tør for plads



- **Godt til data-trafik:** resource deling (“statistical multi-plexing”)
 - Hvis A og B sender samtidigt må de deles om output linkets kapacitet (fx 1.5 Mbps)
 - Det er mindre sandsynligt at A og B begge sender med R på samme tid
 - Hvis A sender og B ikke gør så bliver A's trafik videresendt med fuld 1.5 Mbps hastighed
- Alternativt princip : circuit switching

Kredsløbskobling (circuit switching)

- Der oprettes en forbindelse mellem sender og modtager
- Hver forbindelse får forud reserveret en fast transmissionsrate, fx 100 Kbps
 - Tilrådighed hele tiden uanset større eller mindre behov.
- Teknikker til opdeling af links kapacitet
 - Frequency-Division Multiplexing
 - Time-Division Multiplexing



Pakke kobling vs. kredsløbskobling

eksempel:

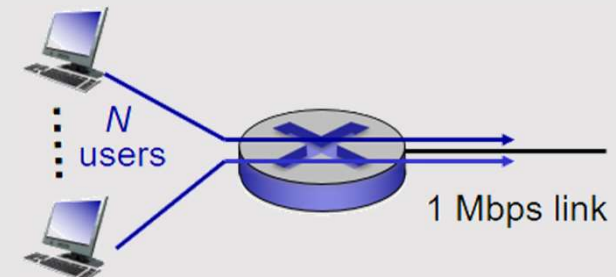
1 Mb/s link, hver bruger anvender 100 kbps, men er kun “aktiv” 10% af tiden

circuit-switching

- tillader ialt: 10 brugere
- Dårlige resource udnyttelse
- Godt til kritisk data
- Godt til tids-følsomt data

packet switching:

- $P(\text{en given bruger sender})=0.1$
- Ud af fx 35 (uafhængige) brugere, bliver sandsynligheden for at mere end 10 er aktivt samtidigt bliver ca. 0004 *)



- God resource udnyttelse ved “bursty” trafik (kommer i “stød”).
- Simple, ingen opsætning af kredsløbet
- Forstoppelse (congestion) er muligt, giver pakketab
 - => behov for mere avancerede protokoller til pålidelig data-overførsel og forhindring af forstoppele

*) Statistik med binomial fordelingen! SLIAL?

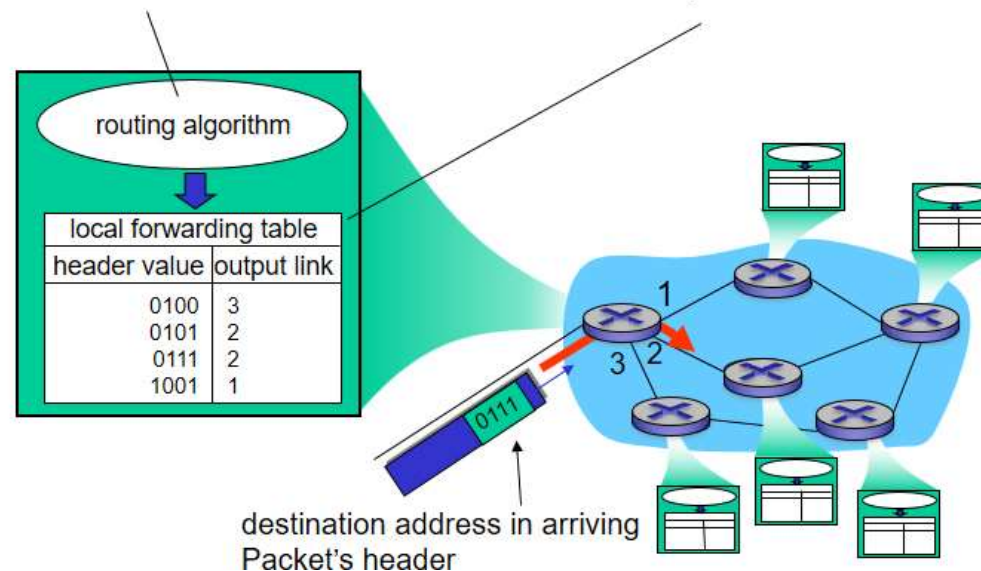
To nøgle funktioner i en pakke-switch

En pakke-switch er en netværksenhed som forbinder flere (del) netværk.

routing: determines source-destination route taken by packets

- routing algorithms

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

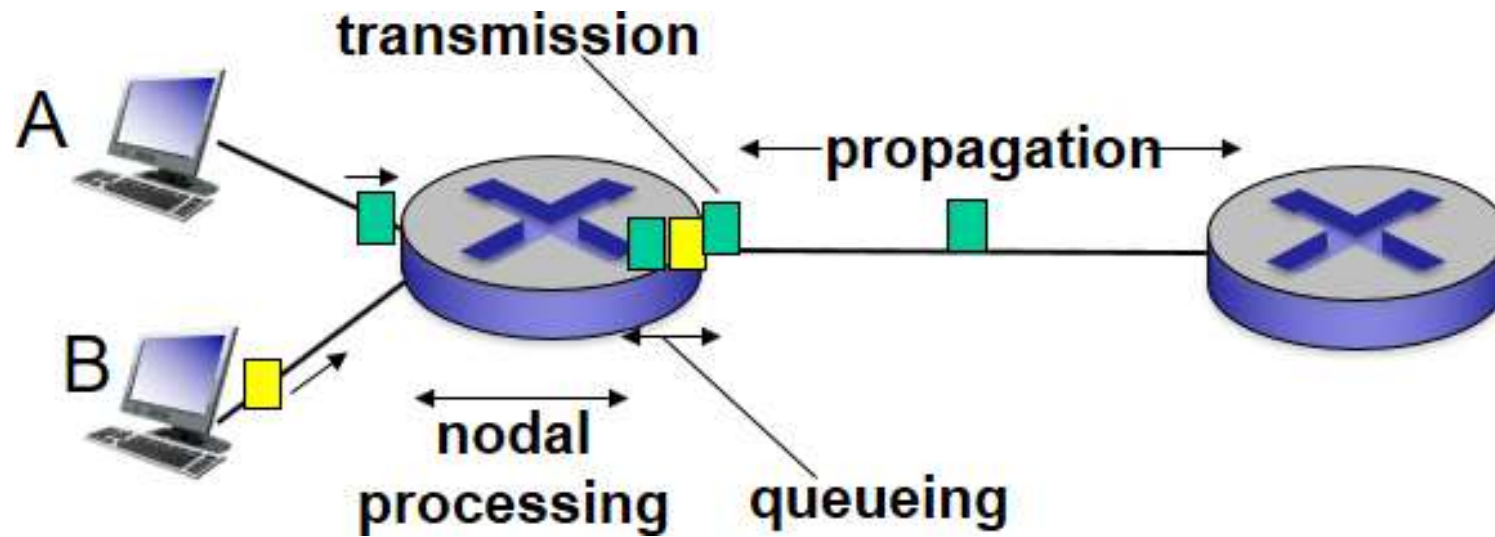


Forsinkelse, Throughput, Tab

Hvordan bestemmer man forsinkelse gennem netværket?

Hvordan bestemmes den mulige overførselshastighed?

Kilder til forsinkelse i en router

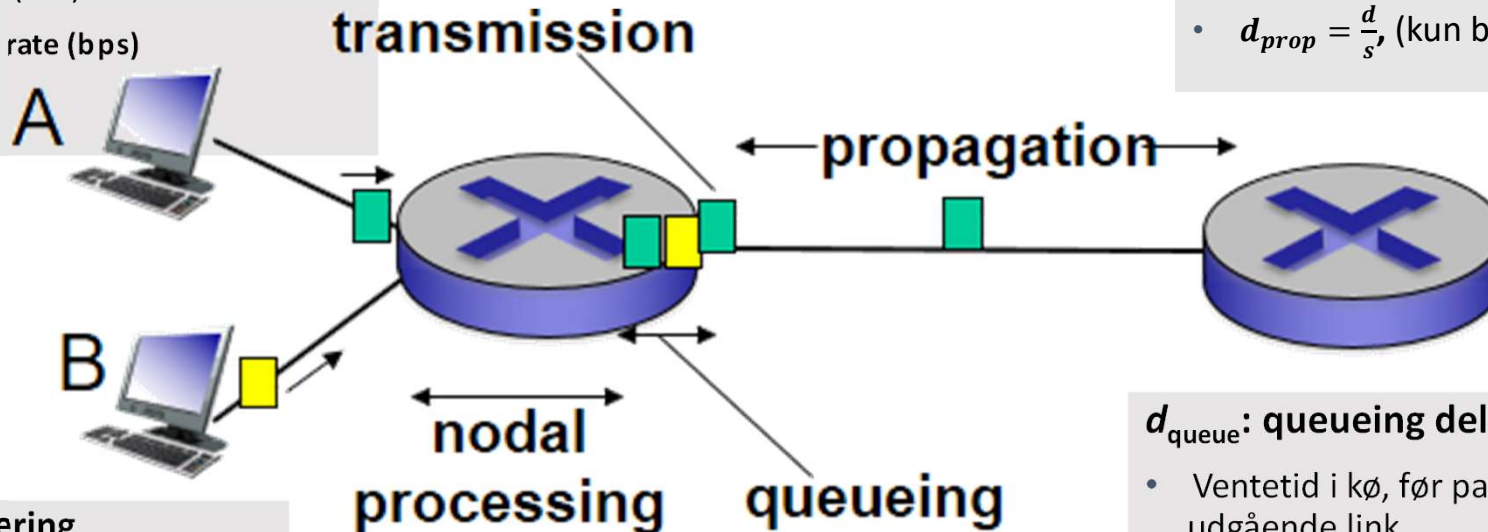


$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

Kilder til forsinkelse i en router

transmissions delay:

- Det tager tid at "kode en bit op" på mediet
- L : længden af pakken (bits)
- R : link transmissions rate (bps)
- $d_{trans} = \frac{L}{R}$



Propagerings (udbredelse) delay:

- d : distance (længde af fysiske link)
- s : udbredelses hastighed (knab lysets hastighed $2 \cdot 10^8$ m/s)
- $d_{prop} = \frac{d}{s}$, (kun betydende når d stor)

d_{proc} : nodal processering

- Knudepunktets data-behandlingstid
- check bit fejl
- bestemme output link
- typisk $< \text{msec}$

d_{queue} : queueing delay

- Ventetid i kø, før pakken kan sendes på udgående link
- Afhænger af hvor antallet af ophobede pakker (congestion level)

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

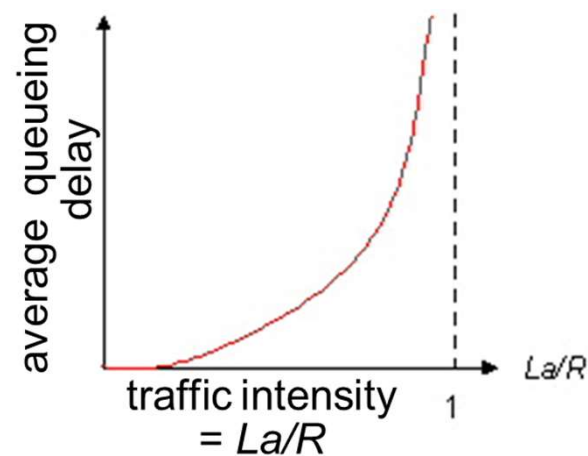
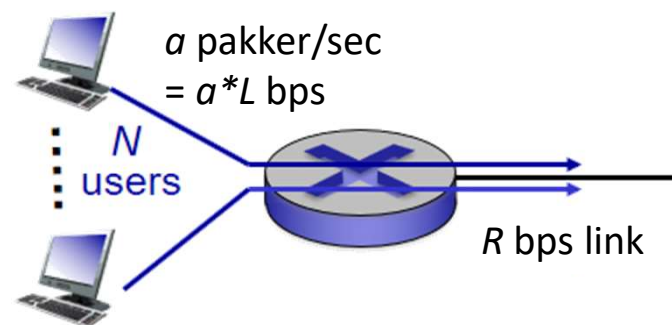
Trafik Intensitet

Forholdet imellem indkommende og udgående trafik rate

- R : link transmissions rate (bps)
- L : pakke længde (bits)
- a : gennemsnitlig pakke ankomst rate (pakker pr. sec.)
- $L \times a =$ ankomst rate (bps)
- Trafik intensitet: $\frac{L \times a}{R}$



- Hvis $\frac{La}{R}$ overstiger 1: fortsat akkumulering af ventende pakker: Konsekvens Pakketab!
- Hvis $\frac{La}{R}$ er lille ~ 0 : klar bane
- Hvis $\frac{La}{R}$ nærmer sig 1: lang ventetid (eksakt delay afhænger af klumpers fordeling i trafikken)

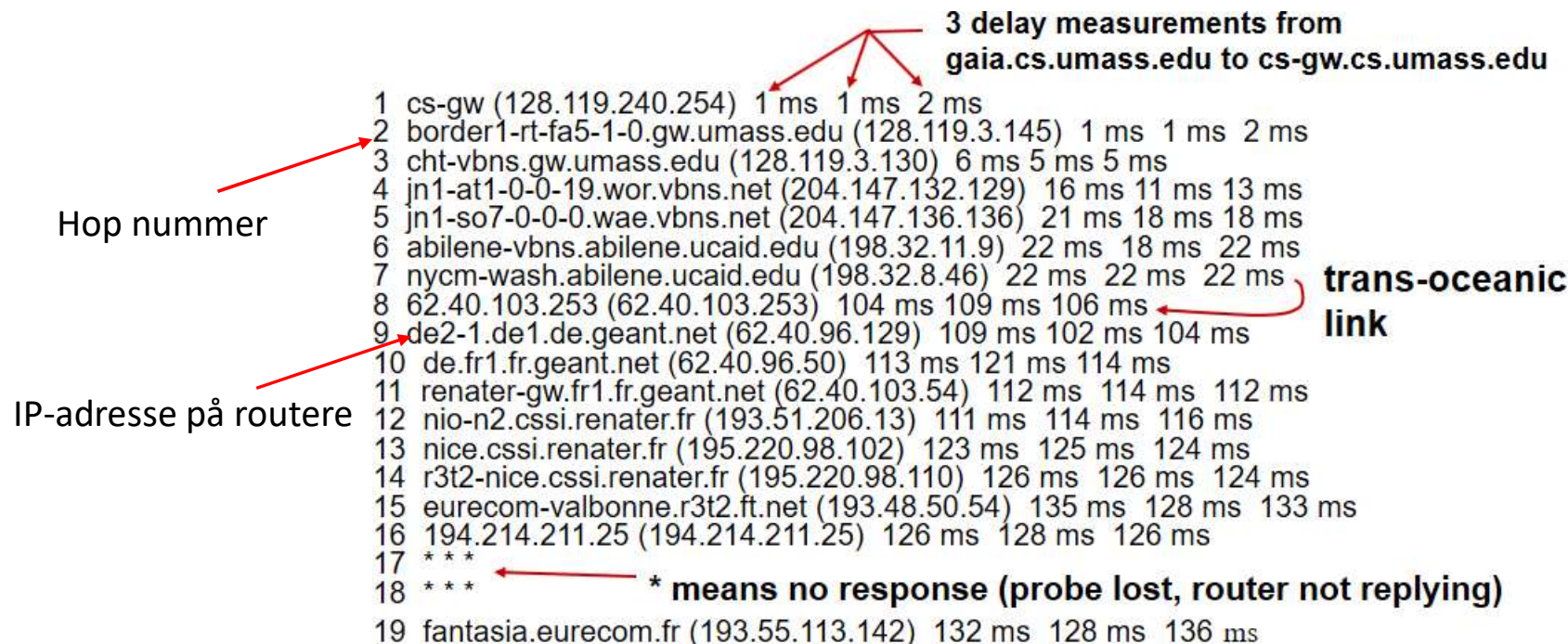


- Netværks link skal dimensioneres så intensiteten bliver moderat

Rigtige forsinkelser og router på Internettet

Traceroute Programmet: gaia.cs.umass.edu to www.eurecom.fr

Udsender kontrol pakker for at måle en pakkes rute og forsinkelse igennem nettet:



* Do some traceroutes from exotic countries at www.traceroute.org

Demo ("tracert" program)

```
Kommandoprompt

-w timeout      Wait timeout milliseconds for each reply.
-R             Trace round-trip path (IPv6-only).
-S srcaddr      Source address to use (IPv6-only).
-4             Force using IPv4.
-6             Force using IPv6.

C:\Users\bniel>tracert www.cs.aau.dk

Tracing route to www.cs.aau.dk [130.225.63.3]
over a maximum of 30 hops:

  1    2 ms    2 ms    2 ms  192.168.0.1
  2    3 ms    4 ms    3 ms  85.203.152.129
  3    4 ms    3 ms    3 ms  stovr01ds01-ae24-0.eniig-net.dk [85.191.209.76]
  4    4 ms    4 ms    5 ms  aarsx01cr01_ae11.em-net.dk [85.191.209.38]
  5    5 ms    5 ms    5 ms  10.10.1.53
  6    7 ms    6 ms    5 ms  10.10.0.1
  7    6 ms    6 ms    6 ms  87.116.38.121
  8   21 ms    8 ms    8 ms  93.176.93.8
  9   10 ms   11 ms   21 ms  dk-uni.nordu.net [192.38.7.50]
 10   12 ms   10 ms   10 ms  lgb.core.fsknet.dk [109.105.102.159]
 11   10 ms   11 ms   10 ms  100g-lgb.ore.core.fsknet.dk [130.225.245.154]
 12   18 ms   18 ms   27 ms  edge1.aau.dk [130.226.249.146]
 13   17 ms   17 ms   17 ms  Eth1-20.aau-core1.aau.dk [192.38.59.27]
 14   18 ms   18 ms   17 ms  Eth5-15.dc2-gw02.aau.dk [192.38.59.203]
 15   28 ms   27 ms   18 ms  vm-ig-www2.portal.aau.dk [130.225.63.3]

Trace complete.

C:\Users\bniel>
```


Throughput: Internet Scenarie

"Throughput": Opnåelige transmissionsrate i en forbindelsen mellem 2 end-systemer A, B

- Bestemmes af link med mindst rate:

- $\text{Throughput} \approx \min \left(R_c, R_s, \frac{R}{n} \right)$

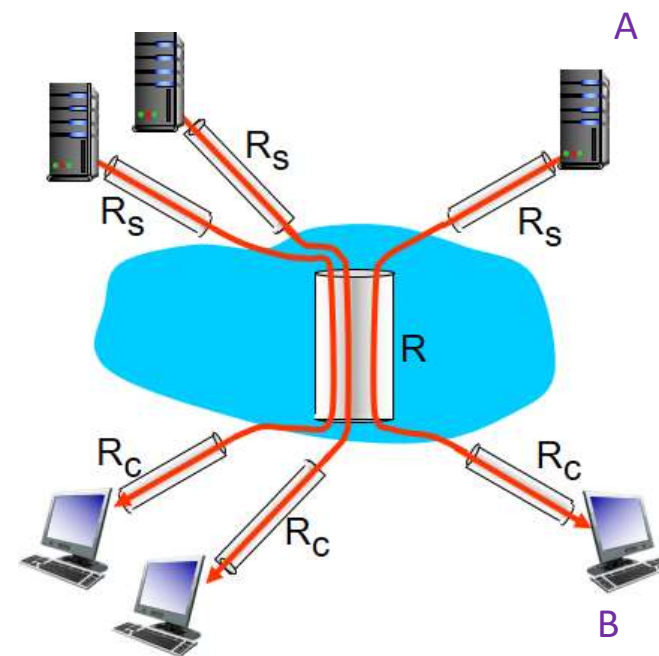
- EX,

- $R_c = 2 \text{ Mbps}$
- $R_s = 5 \text{ Mbps}$
- $R = 100 \text{ Mbps}$
- $N = 10$ forbindelser
- $\text{Throughput} \approx 2 \text{ Mbps}$

- I praksis er R_c eller R_s ofte flaske-halsen

- Tænk på forbindelsen som en "rør-ledning" med rør af forskellig diameter og pakker som væske.

- Tyndeste rør på afgør gennemstrømningen.



$N=10$ forbindelser mellem 10 klient/server par, deler R bits/s fair

TCP/IP protokol stakken

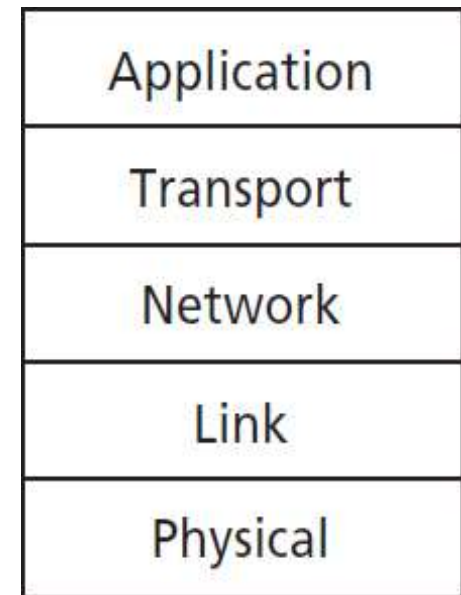
Hvad er en protokol stak?

Hvordan ser en model for lagdeling af internet protokollerne ud?

Hvordan behandles pakker i IP stakken?

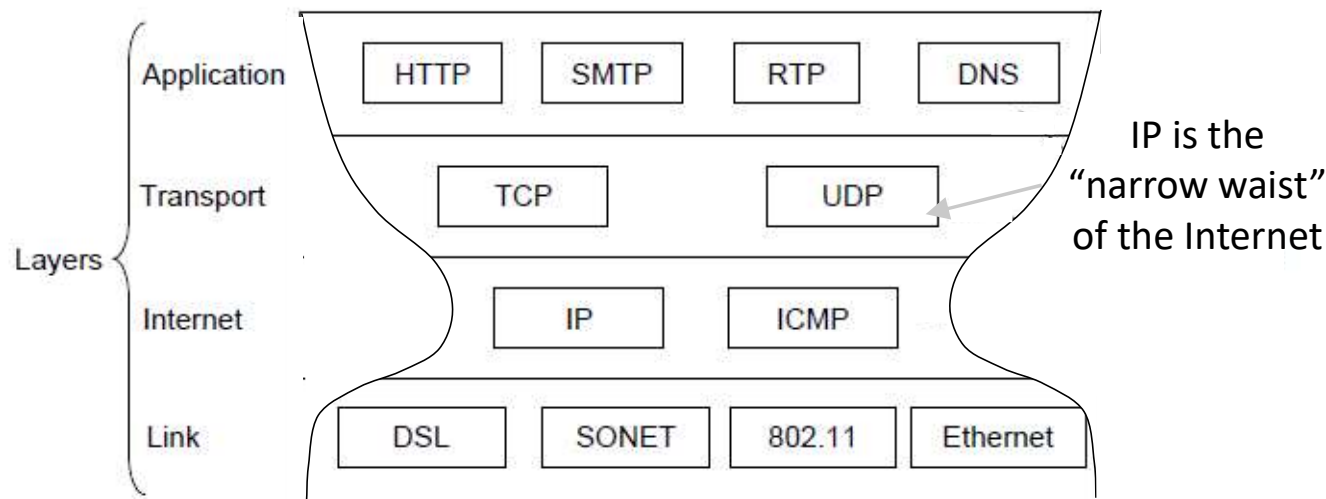
TCP/IP Reference Model

- En 5 lags model, som er uddraget baseret på observationer af et konkret netværk
- **Applikations-lag:** Protokoller som understøtter afvikling af netværks-applikationer (mail, browser, fil-transport, ...)
 - FTP, SMTP, HTTP
- **Transport-lag:** Overfører data fra et kørende program (process) på end-system A til modpart på end-system B
 - TCP, UDP
- **Netværks-lag:** routing og videresendelse af pakker fra source til destination
 - IP
- **Link-lag:** data overførsel mellem direkte naboer i netværket, dvs. koblet sammen med et enkelt link.
 - Ethernet, IEEE-802.11 (WiFi), PPP, SONET
- **Fysiske-lag:** bits “på ledningen”



TCP/IP Reference Model

- Snæver-talje/timeglas-model: Hvis vi kan transportere IP på mediet X, virker alle transport og applikations-protokoller også.
- “Mindste fællesnævner”

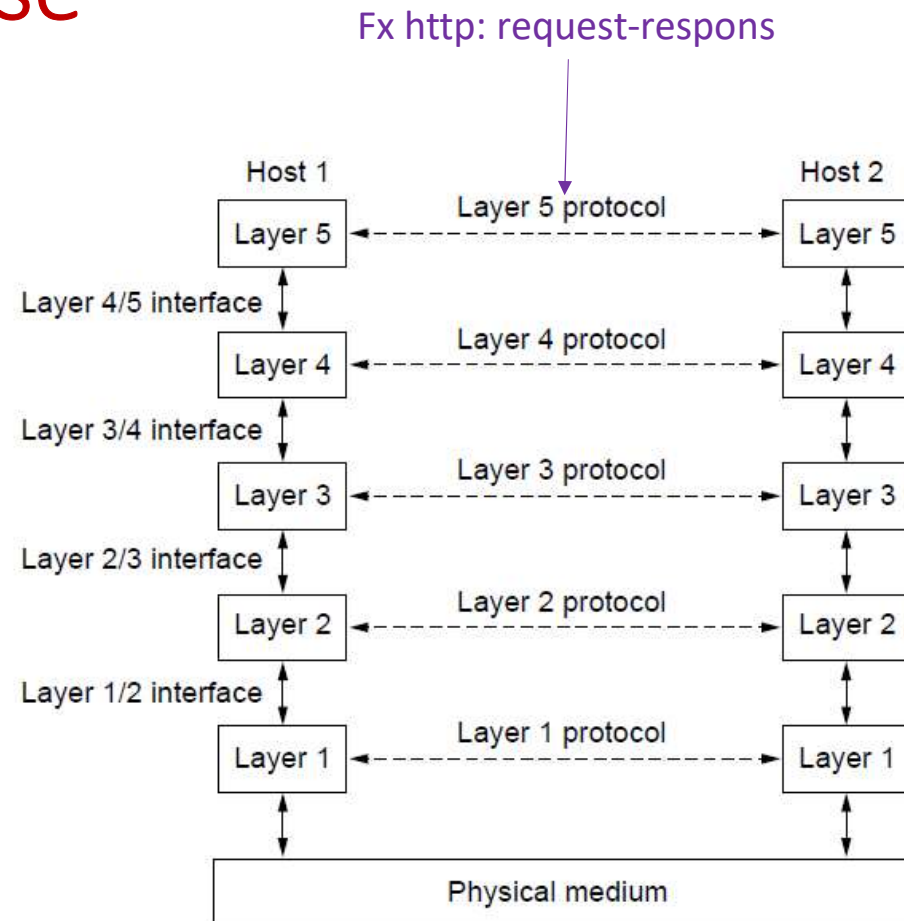


Udvalgte Internet protokoller er vist på deres respektive lag

- “Protokol stak” samling af relaterede protokoller, der er organiseret i lag

Abstrakt service beskrivelse

- Hver protokol instans “snakker” virtuelt direkte med dens modpart (ligemand=peer)
- Hvert lag kommunikerer **kun** ved brug af laget under
- Services udbudt af et lavere lag kan tilgås af overliggende lag via et interface
- I bunden overføres meddelelser på et fysisk medie



Hvorfor lagdeling?

- **Simplificerer opbygning af komplekse systemer:**

- Eksplicit struktur tillader at enkelt dele og deres sammenhæng kan identificeres og forstås i mindre bidder
- Opbygning i simple moduler letter vedligehold og opdatering af et system
 - Ændring af implementationen af en service kan foretages uden at ændre resten af systemet

- **Ulemper ved lagdeling ?**

- Nogle funktioner kan blive besværlige eller performance mæssigt dyre at implementere
 - Statefull firewalls
 - NAT

OSI Reference Model

- En mere “principiel” model, standardiseret 7-lags model
 - Open Systems Interconnection Reference Model
 - International Organization for Standardization ("ISO 7498-2")

7	Application	– Provides functions needed by users
6	Presentation	– Converts different representations: allow applications to interpret meaning of data, e.g., encryption, compression, machine-specific conventions
5	Session	– Manages task dialog: synchronization, checkpointing, recovery of data exchange
4	Transport	– Provides end-to-end delivery
3	Network	– Sends packets over multiple links
2	Data link	– Sends frames of information
1	Physical	– Sends bits as signals

Kritik af OSI & TCP/IP

OSI:

- + Meget indflydelsesrig model med klare begreber
- Modellen, protokollerne og adoption hæmmet af politik og kompleksitet

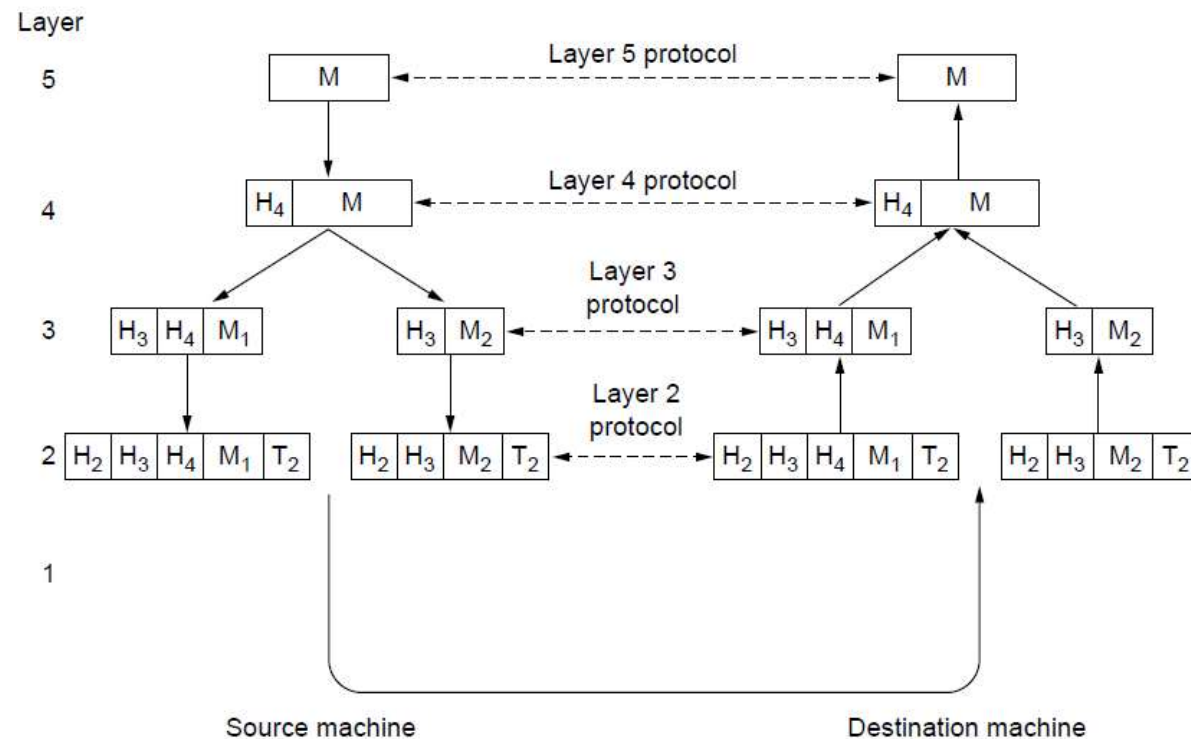
TCP/IP:

- + Meget succesfulde protokoller, som virker godt og er meget udbredte
- Svag model, som er udledt efterfølgende ud fra de aktuelle protokoller

Indkapsling & Segmentering

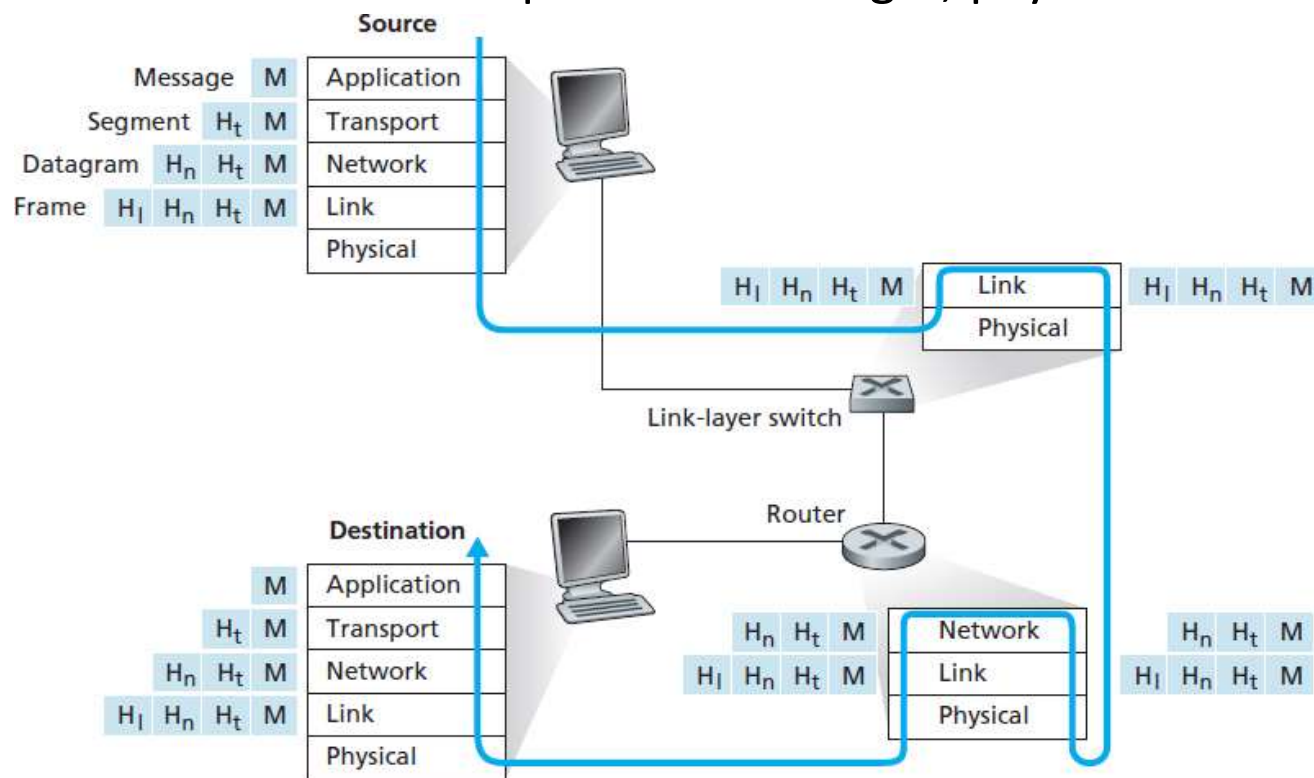
Segmentering og “Enveloping”

- Kontrol flow går ned gennem protocol lagene på senderen, og op gennem lagene hos modtageren
- Header-payload model (Indkapsling)
 - Hvert underliggende lag tilføjer sin egen **header** (med kontrol information) til indhold (**payload**) for at sende den, og fjerner den efter modtagelse
 - “kuvert” i “kuvert” princip
 - “Enveloping” / Encapsulation
- Et lag kan også opdele meddelelsen i mindre dele, eller sætte dem sammen igen:
 - Segmentation and re-assembly



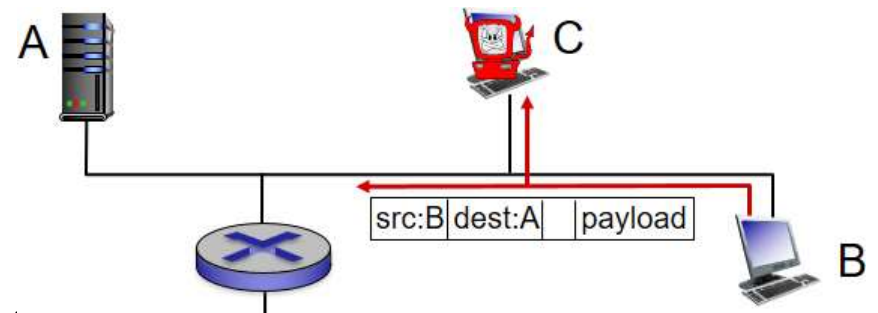
Protokol processing

- Ikke alle lag processeres på alle switche
 - En **Ethernet switch** behandler kun op til link-laget, payload videresendes
 - En **IP router** behandler kun op til netværkslaget, payload videresendes



Sikkerhed på nettet???

- Nettet blev oprindeligt lavet for en mindre lukket brugerskare med tillid til hinanden
 - "sikkerhed" er ikke indbygget, men tilføjet ved nye protokoller og opsætning af begrænsninger på hvad videresendes
- Pakker kan "sniffes" (wireshark)
 - Broadcast medier a la WiFi
 - Installeret på router
- Pakker kan "spoofes" (opfind din egen header)
- Denial of service angreb, DOS,...
- ...



Opgaverne idag

- Review: Har man forstået grundlæggende begreber
 - Packet switching, forsinkelser, flaskehalse, protokol stak
- Øvelser: Kan man anvende dem i nye eksempler?
 - Konkrete delay beregning
 - Flaskehalse
- Praktiske: Kan anvende netværkssværktøjerne
 - Traceroute, start på Wireshark.

SLUT