

Introduksjon til Datakommunikasjon

Olav Lysne

(delvis basert på materiale fra J. K. Kurose og K. W. Ross)

Introduksjon 1

Undervisningsopplegg:

- En dobbelt-time forelesninger pr. uke
- Felles gruppeundervisning (dobbeltime)
- En oblig og to hjemme-eksamener (teller omlag 40% til sammen)
- Orakel: tilstede i termstua i Informatikkbygget 2 timer pr. uke

Introduksjon 2

Problemområde og fokusering

- hvordan skal vi bygge opp effektive kommunikasjonsnettverk?
- kursets fokusering:
 - gi en funksjonell forståelse av bygge-elementene
 - vise hvordan elementene settes sammen til operative nett
 - fokus på prinsipper, konsepter og generalitet

Introduksjon 3

Denne forelesningen:

Målsetning

- Gi oversikt over emnet
- tilnærming:
 - Deskriptiv
 - Bruker Internett som eksempel

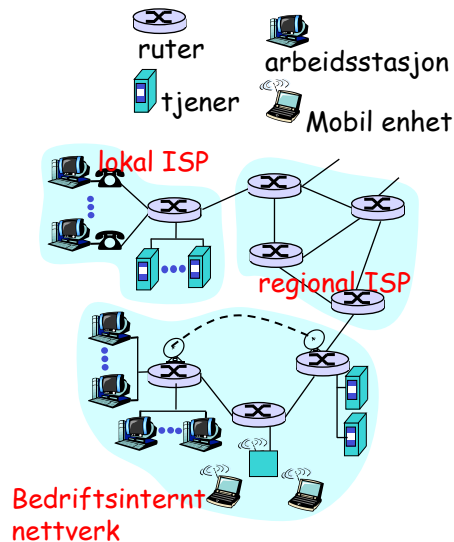
Innhold:

- Hva er Internett
- Hva er en protokoll
- Endemaskiner
- Nettverkskjerne
- Aksessnett og fysiske media
- Ytelse: tap og forsinkelse
- Protokollag, tjenestemodeller
- Backbones, NAP'er, ISP'er
- Historie

Introduksjon 4

Hva er Internett?

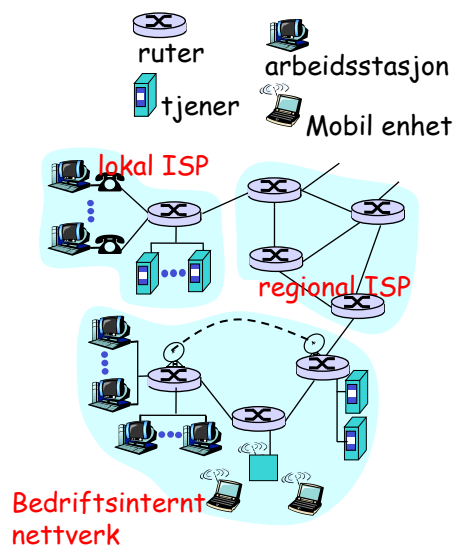
- Millioner av sammenkoblede dataressurser: *vertsmaskiner, endesystemer*
 - PC'er, arbeidsstasjoner, tjenere
 - PDA'er telefoner, kjøleskap... som kjører *nettverksapplikasjoner*
- *kommunikasjonslinker*
 - Fiber, kobber, radio, satellitt
- *rutere*: videresender pakker med data gjennom nettverket



Introduksjon 5

Hva er Internett?

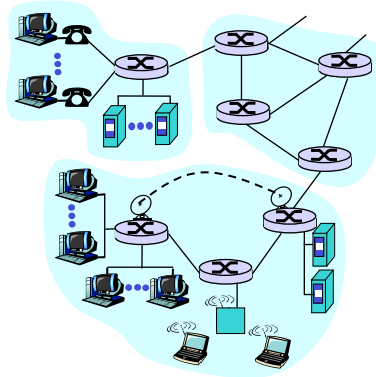
- *protokoller*: kontrollerer sending, mottak av meldinger, f. eks. , TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- *Internett: "nettverk av nettverk"*
 - Delvis hierarkisk
 - Offentlig Internett versus privat intranet
- Internett standarder:
 - RFC: Request for comments
 - IETF: Internet Engineering Task Force



Introduksjon 6

Hva er internett fra et tjenestesynspunkt?

- **kommunikasjons infrastruktur** muliggjør distribuerte applikasjoner:
 - WWW, email, spill, e-handel, fildeling, IP-telefoni, mediastreaming, sosiale nettverk...
 - Flere ting?
- **Kommunikasjonstjenester som tilbys:**
 - Forbindelsesløs
 - Forbindelses-orientert



Introduksjon 7

Hva er en protokoll?

Menneskelige protokoller:

- "Hva er klokka?"
 - "Jeg har et spørsmål"
 - Høflighetsfraser...
- ... spesielle "meldinger" som blir sendt fører til
- ... gitte hendelser eller aksjoner når meldingen blir mottatt

Nettverksprotokoller:

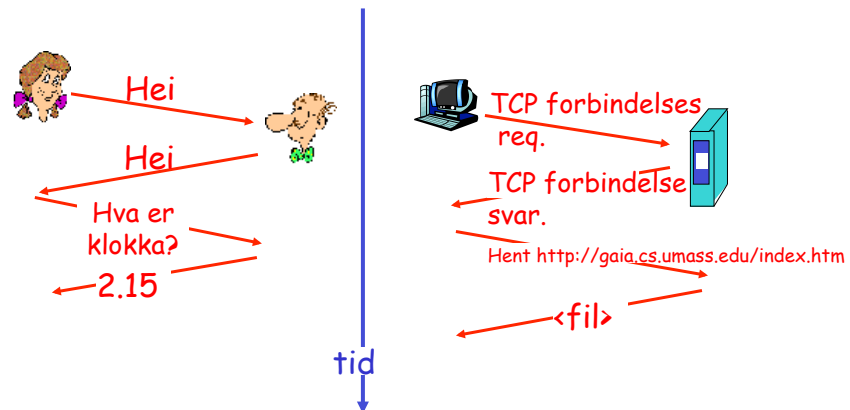
- Maskiner i stedet for mennesker
- All kommunikasjonsaktivitet på Internett er styrt av protokoller

Protokoller definerer formater, rekkefølge for avsending og mottak av medlinger, og hvilke handlinger mottak av en melding skal føre til.

Introduksjon 8

Hva er en protokoll?

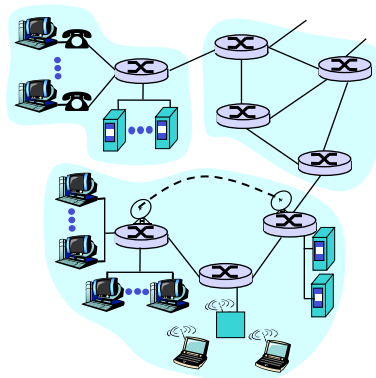
En menneskelig protokoll og en maskinell protokoll:



Introduksjon 9

En nærmere titt på nettverksstrukturen:

- **endemaskin:** applikasjoner og vertsmaskiner
- **nettverkskjerne:**
 - rutere
 - nettverk av nettverk
- **aksessnettverk, fysisk medium:** kommunikasjonslinker



Introduksjon 10

Endemaskinene:

□ Endesystemene

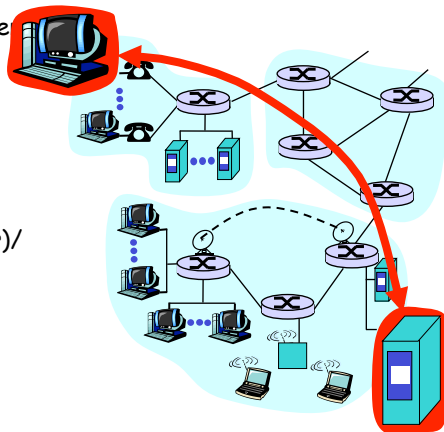
- Kjører applikasjonsprogrammer
- F.eks., WWW, email
- I "utkanten" av nettet

□ Klient/tjener modell

- Klienten ber om, og får en tjeneste fra tjeneren
- F.eks. WWW klient (browser)/tjener; email klient/tjener

□ peer-peer modell:

- interaksjonen er symmetrisk
- F.eks. telekonferanse



Introduksjon 11

Endemaskiner: forbindelsesorientert tjeneste

Mål: dataoverføring mellom endesystemene.

- **handshaking:** forbered dataoverføringen på forhånd
 - "Hei", "hei igjen" er en menneskelig handshaking potokoll
 - **Sett opp "tilstand"** i de to maskinene som kommuniserer.
- TCP - Transmission Control Protocol
 - Internettets forbindelsesorienterte tjeneste

TCP service [RFC 793]

- **pålitelig, in-order** bytestrøm data overføring
 - tap: acknowledgements og retransmisjoner
- **Flyt-kontroll:**
 - Sender ikke mer enn mottaker kan ta imot
- **Metnings-kontroll:**
 - Sender saktere når nettverket er i metning.

Introduksjon 12

Endemaskiner: forbindelsesløs tjeneste

Mål: dataoverføring mellom endesystemer

- Som før!
- **UDP** - User Datagram Protocol [RFC 768]: Internettets forbindelsesløse tjeneste
 - Upålitelig dataoverføring
 - Ingen flytkontroll
 - Ingen metnings-kontroll

Typiske Applikasjoner som bruker TCP:

- HTTP (WWW), FTP (file transfer), Telnet (remote login), SMTP (email)

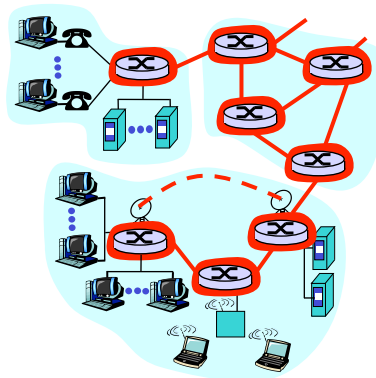
Typiske Applikasjoner som bruker UDP:

- streaming av media, telekonferanser, IP-telefoni

Introduksjon 13

Nettverkskjernen

- Graf av sammenkoblede rutere
- **Ett fundamentalt spørsmål:** hvordan blir data formidlet gjennom nettet?
 - **Circuit-(sti-?)svitsjing:** dedikert sti gjennom nettverket: tele-nettverk.
 - **Pakke-svitsjing:** data sendes gjennom nettet i diskrete enheter.

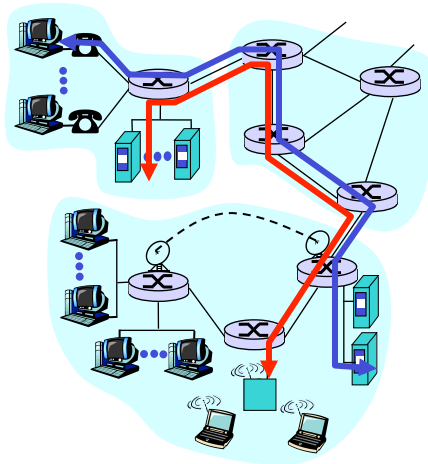


Introduksjon 14

Nettverkskjernen: Circuit Switching

Ende-til-ende
ressurser
reservert for
"samtale"

- Link båndbredde, ruterkapasitet
- Dedikerte ressurser (ingen deling).
- Garantert ytelse
- Setup-fase er påkrevet

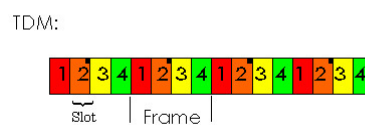
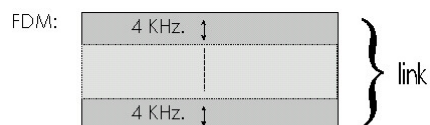


Introduksjon 15

Nettverkskjernen: Circuit Switching

Nettverksressurser (f.eks. Båndbredde) **kan deles opp i deler**

- Deler allokeres til samtaler
- En ressurs er ubrukt dersom den samtalen som eier den ikke bruker den.
- Oppdeling av link-båndbredde i deler
 - frekvensoppdeling
 - tidsoppdeling



Alle slots merket **2** er dedikert til et gitt par av sender og mottaker

Introduksjon 16

Nettverkskjernen: Pakkesvitsjing

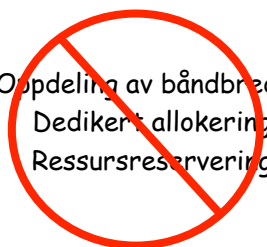
Hver ende-til-ende datastrøm deles opp i pakker

- Datastrømmer *deler* nettressurser
- Hver pakke bruker hele båndbredden til en link
- Ressurser brukes etter behov

Konkurransen om ressurser:

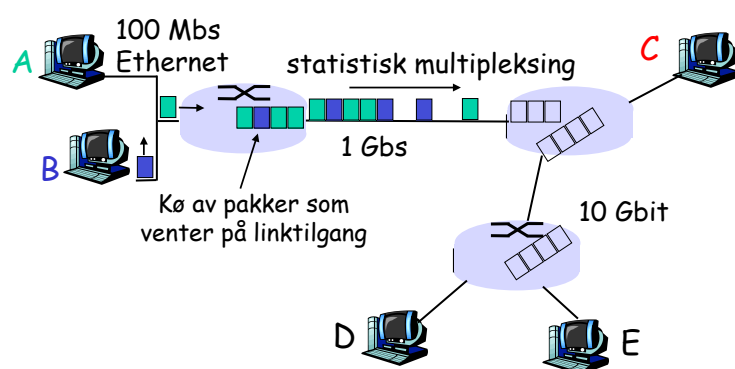
- Samlet ressursbehov kan overstige det som er tilgjengelig
- metning: pakker køes opp foran "trange" linker
- store and forward: pakker beveger seg en link av gangen
 - Sending over linken
 - Vent på tur ved neste link

Oppdeling av båndbredde
Dedikert allokering
Ressursreservering



Introduksjon 17

Nettverkskjernen: Pakkesvitsjing

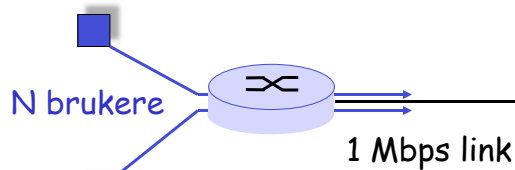


Introduksjon 18

Pakke-svitsjing versus circuit-svitsjing

Pakke-svitsjing tillater flere brukere på nettet!

- 1 Mbit link
- Hver bruker:
 - 100Kbps når "aktiv"
 - aktiv 10% av tiden
- circuit-svitsjing:
 - 10 brukere
- Pakke-svitsjing:
 - Med 35 brukere, sannsynlighet > 10 aktive mindre enn 0.004



Introduksjon 19

Pakke-svitsjing versus circuit-svitsjing

Er pakkesvitsjing opplagt og alltid det beste?

- Bra for data med "bursty" oppførsel
 - Ressursdeling
 - Ikke nødvendig med "setup fase"
- Ved et mettet nettverk: forsinkelse og pakketap
 - Nødvendig med protokoller for pålitelig trafikk og metningskontroll
- Hvordan får vi en oppførsel som ligner på den for circuit-svitsjing?
 - Båndbreddegarantier er nødvendige for audio/video applikasjoner

Introduksjon 20

Pakke-svitsjede nettverk: ruting

- **Mål:** flytte pakker fra ruter til ruter mellom kilde og destinasjon
 - Det finnes flere metoder for å finne stier for pakker.
- **pakkenettverk:**
 - *Destinasjonsadressen* bestemmer neste hopp.
 - Stier kan endres mens sesjonen pågår
 - Analogi: spørre etter veien når du kjører.
- **Circuit Switching nettverk:**
 - Hver pakke har en "tag" (virtual circuit ID), som avgjør neste hopp
 - Stien avgjøres når forbindelsen settes opp, og forblir den samme under hele sesjonen.
 - Ruterene må ha indre tilstand med informasjon om hver virtual circuit.

Introduksjon 21

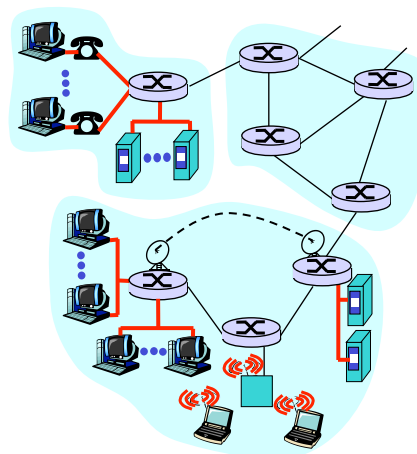
Aksessnettverk og fysiske media

Hvordan koble endesystemene til en enderuter?

- Hjemmenettverk
- Institusjonsnettverk (skoler, firmaer)
- Mobile aksessnettverk

Ha i bakhodet ved teknologivalg:

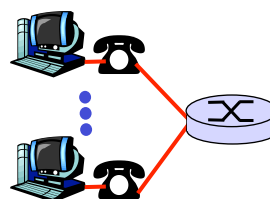
- Båndbredde?
- Delt medium eller dedikert?



Introduksjon 22

Hjemmenettverk: punkt til punkt

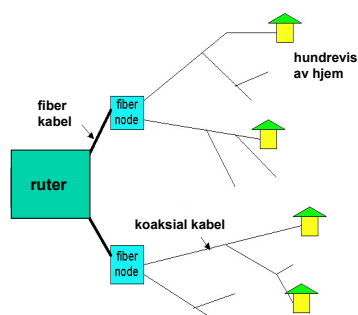
- **Oppringt via modem - faset ut**
 - Opp til 56Kbps direkte aksess til ruterene (i det minste i teorien)
- **ISDN - under utfasing:** integrated services digital network: 128Kbps ren digital forbindelse til ruterene
- **ADSL: asymmetric digital subscriber line**
 - Opp til 1 Mbps hjem-til-ruter
 - Opp til 8 Mbps ruter-til-hjem
- **FFTH (Fiber To The Home)**
 - Potensielt opp til flere Gbps.



Introduksjon 23

Hjemmenettverk: kabelmodem/bredbånd Ett eksempel

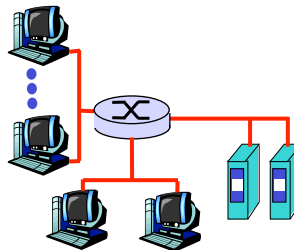
- **HFC: hybrid fiber coax**
 - Asymmetrisk: opp til 10Mbps nedstrøms, 1 Mbps oppstrøms
- **nettverk** av kabel og fiber kobler hjemmene til ISP ruter
 - Delt tilgang til ruter mellom flere hjem
 - problemer: metning, dimensjonering



Introduksjon 24

Institusjonelle aksessnett (LAN)

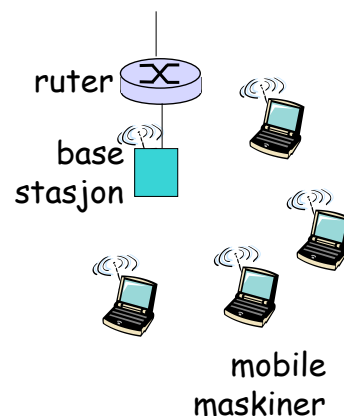
- ❑ bedrift/universitet **local area network** (LAN) forbinder endesystemene til resten av nettet
- ❑ **Ethernet:**
 - Delt eller dedikert kabel kobler endesystemer og ruter
 - 10 Mbs, 100Mbps, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet.
- ❑ Mer om LAN senere



Introduksjon 25

Trådløse aksessnett

- ❑ Delt trådløst aksessnett kobler endesystemene til ruter
- ❑ **Trådløse LANs:**
 - radio spektrum erstatter kabel
- ❑ **Trådløs aksess over lange avstander**
 - GSM, HSDPA, 3G, WiMax/LTE...



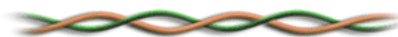
Introduksjon 26

Fysisk medium

- **Fysisk link:** en utsendt bit propagerer gjennom linken
- **Lukkede media:**
 - Signaler propagerer i håndfaste media (kobber, fiber)
- **Åpne media:**
 - Signaler propagerer fritt, f. eks. radio.

Twisted Pair (TP)

- To isolerte kobbertråder
 - Kategori 3: tradisjonelle telefonkabler, 10 Mbps ethernet
 - Kategori 5 TP: 100Mbps ethernet



Introduksjon 27

Fysisk medium: coax, fiber

Coaxial-kabel:

- wire (signalbærer) inni en wire (skjerm)
 - baseband: enkelt kanal på en kabel
 - broadband: multiple kanaler på en kabel
- bidireksjonal



Fiber-optisk kabel:

- Glassfiber som fører lyspulser
- Høyhastighets-overføring:
 - 100Mbps Ethernet
 - Høyhastighets punkt til punkt transmisjon
 - Lav feilrate

Introduksjon 28

Fysiske media: radio

- Signal i elektromagnetisk spektrum
- Ingen fysisk "kabel"
- Bidireksjonal
- Effekter av propagerings-omgivelsen:
 - Refleksjon
 - Obstruksjon av fremmede objekter
 - interferens

Typer av radiolinker:

- mikrobølger
- LAN
 - 2Mbps, 11Mbps, 56Mbps
- wide-area
 - GSM, 9,8 Kbps
 - GPRS 56 til 114 Kbps
 - UMTS 384 Kbps til 14Mbps
 - WiMAX opp til 70 Mbps, avhengig av avstand
- satellitt
 - 270 Msec ende-til-ende forsinkelse (gitt av lyshastigheten)

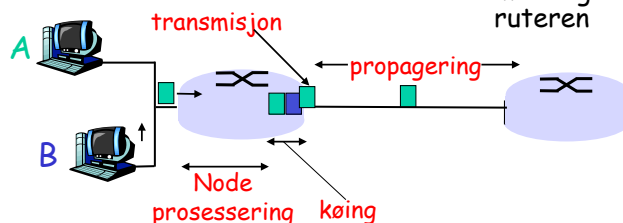
Introduksjon 29

Forsinkelse i pakkesvitsjede nettverk

Pakker opplever **forsinkelse** på veien fra sender til mottaker

- **fire** kilder til forsinkelse i hvert hopp.

- Node prosessering:
 - Sjekke bit-feil
 - Bestemme output-link
- Køing
 - Venting på tilgang til output-link
 - Avhenger av metningsnivået til ruter



Introduksjon 30

Forsinkelse i pakke-svitsjede nettverk

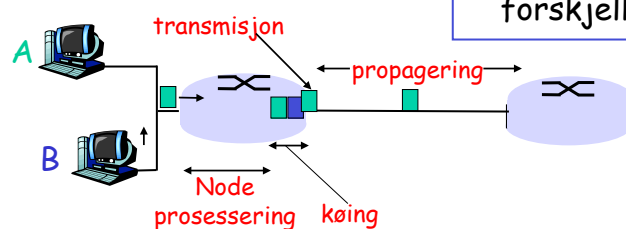
Transmisjonsforsinkelse:

- R =link båndbredde (bps)
- L =pakkelengde (bits)
- Tidskrav for å sende pakke inn på linken = L/R

Propageringsforsinkelse:

- d = lengden til fysisk link
- s = propageringshastighet i mediet ($\sim 2 \times 10^8$ m/sek)
- Propageringsforsinkelse = d/s

Merk: s og R er svært forskjellige størrelser!



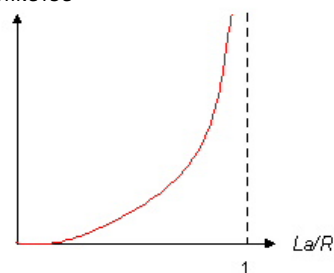
Introduksjon 31

Mer om køforsinkelse

- R =link båndbredde (bps)
- L =pakkelengde (bits)
- a =gj.snittlig pakke-ankomstrate

trafikkintensitet = La/R

Gjennomsnittlig køforsinkelse



- $La/R \sim 0$: gj.snittlig køforsinkelse er liten
- $La/R \rightarrow 1$: køforsinkelsen vokser
- $La/R > 1$: det kommer mer data som skal inn på linken enn linken kan svelge \rightarrow linken går i metning (gj. Snittlig forsinkelse uendelig!)

Introduksjon 32

Protokoll-lag

Nettverk er komplekse!

- Mange deler:
 - Endemaskiner
 - Rutere
 - Linker av forskjellig type
 - Applikasjoner
 - Protokoller
 - Hardware, software

Spørsmål:

Er det mulig å *organisere* strukturen til et nettverk?

Eller i det minste vår diskusjon av nettverk?

Introduksjon 33

Hvorfor lagdeling?

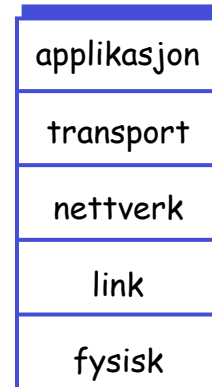
Håndtering av komplekse systemer:

- Eksplisitt struktur tillater identifikasjon av de enkelte delene, og relasjonen mellom dem.
 - lagdelt **referansemodell**
- Modularisering forenkler design, vedlikehold og oppdatering av et system
 - Endringer i implementasjonen i ett lag behøver ikke påvirke de andre lagene
- ...men er det da noe å lure på?

Introduksjon 34

Internett - protokollstakken

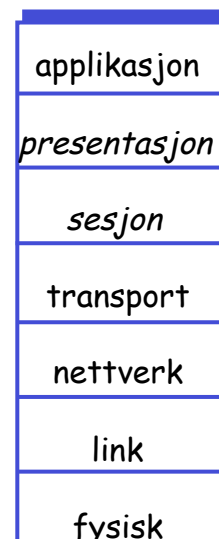
- **applikasjon:** støtter nettverksapplikasjoner
 - ftp, smtp, http
- **transport:** dataoverføring maskin til maskin
 - tcp, udp
- **nettverk:** ruting av datagrammer fra kilde til destinasjon
 - ip, ruting protokoller
- **link:** dataoverføring mellom to "naboer" i Nettverket
 - ppp, ethernet
- **fysisk:** bits "på kabelen"



Introduksjon 35

OSI -modellen

- En standard for lagdeling av kommunikasjonsprotokoller
- To lag i tillegg til de fem benyttet i internettet
 - **Presentasjonslaget:** oversetter mellom forskjellige formater, slik at systemer som kjører på forskjellige plattformer kan kommunisere
 - **Sesjonslaget:** håndterer oppkobling, kontroll og nedtagning av en kommunikasjons sesjon.

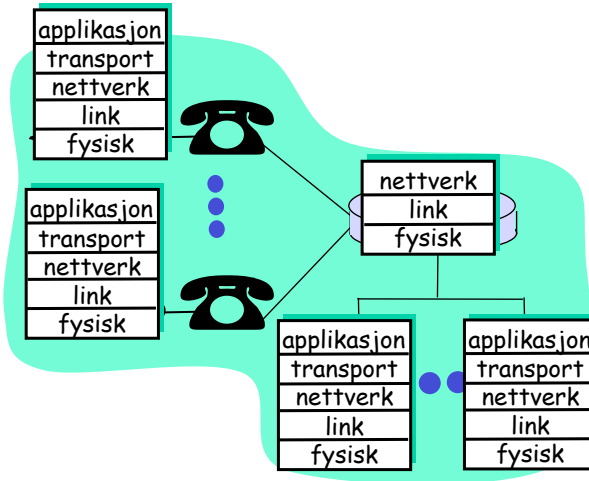


Introduksjon 36

Lagdeling: logisk kommunikasjon

Hvert lag:

- distribuert
- "enheter" implementerer funksjonalitet til hvert lag i hver node
- Enheter utfører handlinger, og utveksler meldinger med enheter av samme lag

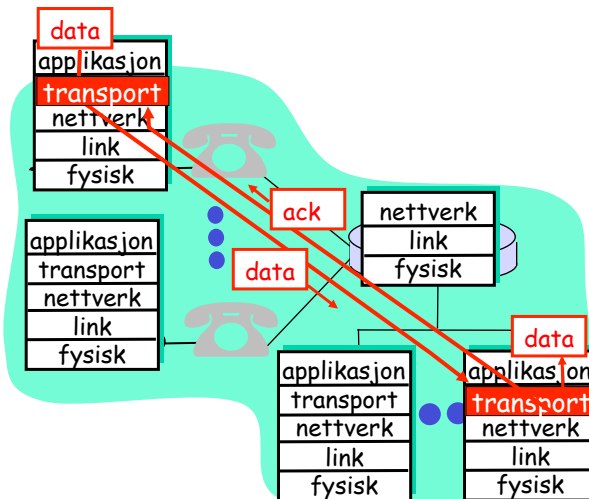


Introduksjon 37

Lagdeling: logisk kommunikasjon

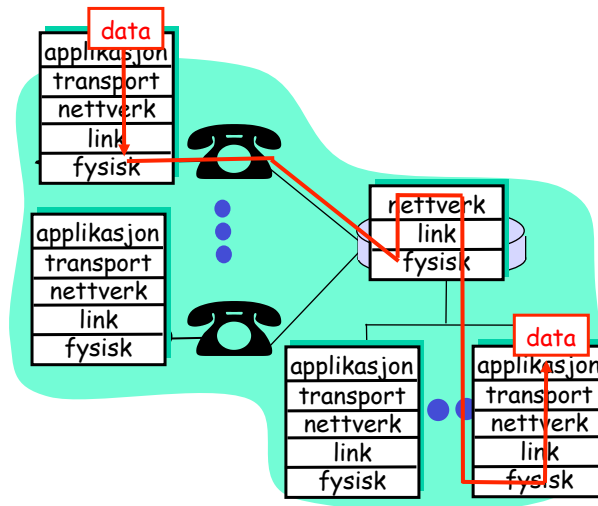
F. Eks transport

- Mottar data fra applikasjon
- Legger til adresse, pålitelighetssjekk, informasjon for å danne "datagram"
- Sender datagrammet til transportlaget i mottakernoden
- Venter på "ack" fra transportlaget i mottakernoden
- Analogi: postkontor



Introduksjon 38

Lagdeling: fysisk kommunikasjon

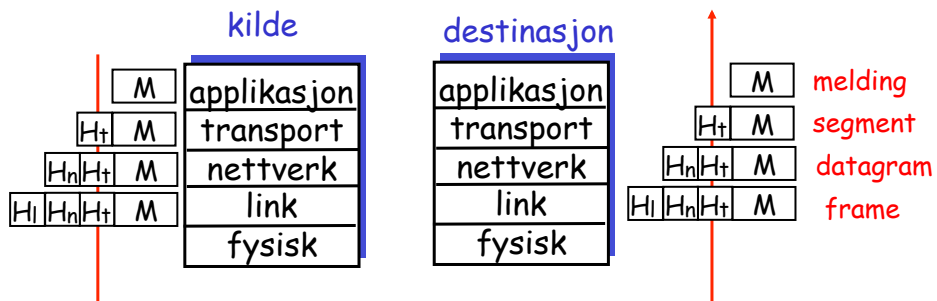


Introduksjon 39

Protokoll-lag og data

Hvert lag tar data fra laget over

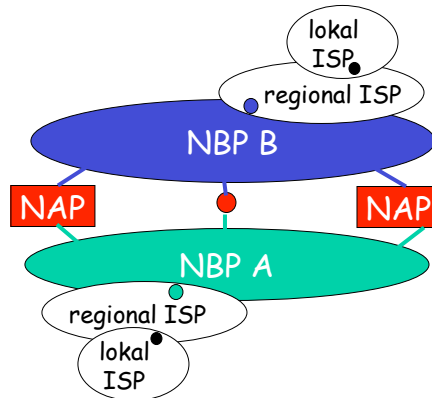
- Legger til header-informasjon for å danne en ny dataenhet (melding, segment, frame, pakke ...)
- Sender denne nye dataenheten til laget under



Introduksjon 40

Internett struktur: nettverk av nettverk

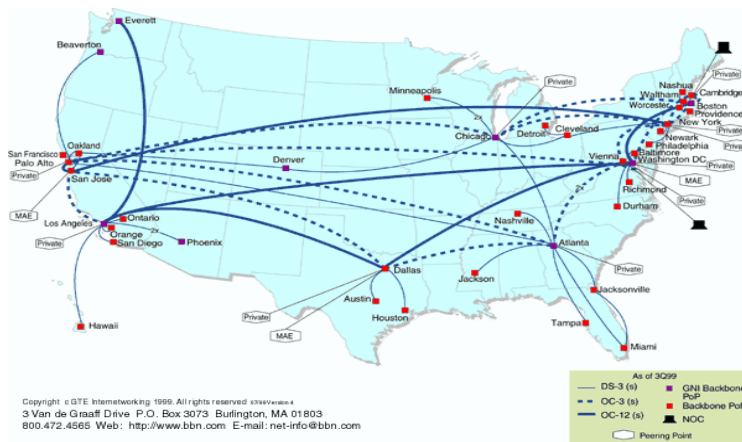
- Mer eller mindre hierarkisk
- **Nasjonale/internasjonale "backbone providers" (NBPs)**
 - Disse kobles sammen enten privat, eller ved såkalte Network Access Point (NAPs)
- **regional ISPer**
 - Kobles på NBPs
- **lokal ISP, bedrift**
 - Kobles på regional ISPs



Introduksjon 41

Nasjonal Backbone Provider

eksempel BBN/GTE US backbone nettverk



Introduksjon 42

Internett historien

1961-1972: Tidlige Pakke-svitsjede konsepter

- 1961: Kleinrock - køteori viser at pakkesvitsjing er effektivt
- 1964: Baran - pakkesvitsjing i militære nett.
- 1967: ARPAnet startet Advanced Research Projects Agency
- 1969: første ARPAnet node operasjonell
- 1972:
 - ARPAnet demonstrert offentlig
 - NCP (Network Control Protocol) første maskin-maskin protokoll
 - første e-mail program
 - ARPAnet har 15 noder

Introduksjon 43

Internett historien

1972-1980: Internettverk - nye og proprietære nett

- 1970: ALOHAnet satellitt nettverk på Hawaii
- 1973: Metcalfe's doktoravhandling foreslår Ethernet
- 1974: Cerf and Kahn - arkitektur for å koble sammen flere nettverk
- Slutten av 70: proprietære arkitekturer: DECnet, SNA, XNA
- 1979: ARPAnet har 200 noder

Cerf og Kahn's internettverk-prinsipper:

- Minimalisme, autonomi - ingen interne nettverksforandringer nødvendige for å koble nettverk sammen
- best effort tjenestemodell
- Tilstandsløse rutere
- Desentralisert kontroll

Dette definerer langt på vei dagens internettarkitektur

Introduksjon 44

Internett historien

1980-1990: nye protokoller - nettet vokser

- 1983: TCP/IP tas i bruk
- 1982: smtp e-mail protokollen definert
- 1983: DNS definert for oversettelse av navn til IP-adresse
- 1985: ftp protokollen definert
- 1988: TCP metningskontroll
- Nye nasjonale nett: Cset, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100,000 maskiner koblet til nettet.

Introduksjon 45

Internett historien

1990 tallet: kommersialisering, WWW

- Tidlig på 1990 tallet: WWW
 - hypertext [Bush 1945, Nelson 1960's]
 - HTML, http: Berners-Lee
 - 1994: Mosaic, senere Netscape
 - sent 1990-tall: kommersialisering av WWW
- Sent på 1990 tallet:
 - ca. 50 millioner maskiner på Internettet
 - ca. 100 million+ brukere
 - backbone linker kjører på 1 Gbps
- 2000 tallet:
 - Konvergens
 - IP telefoni
 - Streaming media
 - Online spill
 - Sosiale medier
 - Eksplosjon i anvendelser!

Introduksjon 46

Oppsummering

Dekket et stort felt!

- ❑ Overblikk over Internettet
- ❑ Hva er en protokoll?
- ❑ Nettverkskomponenter.
- ❑ ytelse: tap, forsinkelse
- ❑ Lagdeling og tjenestemodeller
- ❑ Backbone, NAPER, ISPer
- ❑ Histore

Forhåpentligvis har du nå:

- ❑ En kontekst og et overblikk over feltet
- ❑ Mer dybde og mer detalj kommer senere i kurset