

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 (dobbelt-time)
- En oblig og to hjemme-eksamener (teller omlag 40% til sammen)
- Vi vil intervju noen utvalgte av dere om hjemme-eksamen deres før vi setter karakter.
- Orakel: tilstede 2 timer pr. uke

Introduksjon 2

Pensum

Pensum

- Alle forelesninger
- Alle foilene fra forelesningene
- Alle gruppeoppgavene
- Alle obliger og hjemmeksamener

Ikke pensum

- De anbefalte bøkene

Hva betyr dette?

- Bøkene er anbefalt lesing for å lette forståelsen av det som er pensum.
- Bøkene inneholder flere emner enn de som er forelest. Disse er *ikke* pensum.
- I noen tilfeller er forelesningene mer oppdaterte enn bøkene.

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

Denne forelesningen:

Målsetning

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

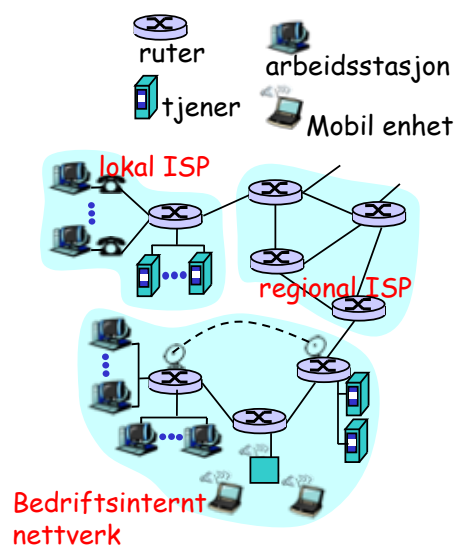
Innhold:

- 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 5

Hva er Internett?

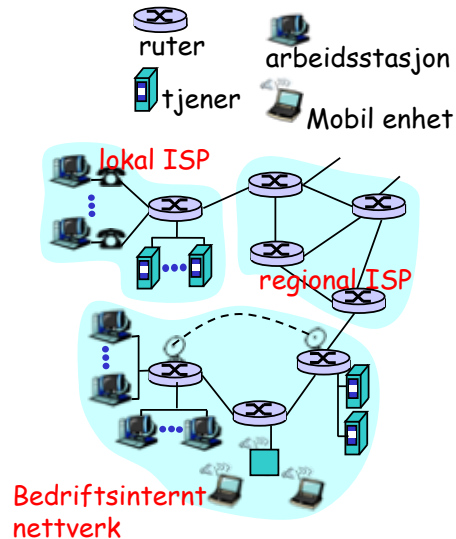
- Millioner av sammenkoblede dataressurser: *vertsmaskiner, endesystemer*
 - PC'er, arbeidsstasjoner, tjenere
 - PDA'er telefoner, kjøleskap... som kjører *nettverksapplikasjoner*
- *kommunikasjonslinker*
 - Fiber, kobber, radio, satellitt
- *rutere*: videresender pakker med data gjennom nettverket



Introduksjon 6

Hva er Internett?

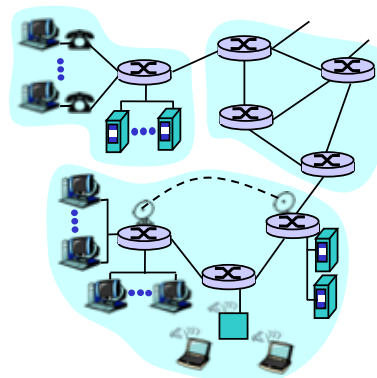
- *protokoller*: kontrollerer sending, mottak av meldinger, f. eks. , TCP, IP, HTTP, IMAP, SMTP
- *Internett: "nettverk av nettverk"*
 - Delvis hierarkisk
 - Offentlig Internett versus privat intranet
- Internett standarder:
 - RFC: Request for comments
 - IETF: Internet Engineering Task Force



Introduksjon 7

Hva er internett fra et tjenestesynspunkt?

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



Introduksjon 8

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:

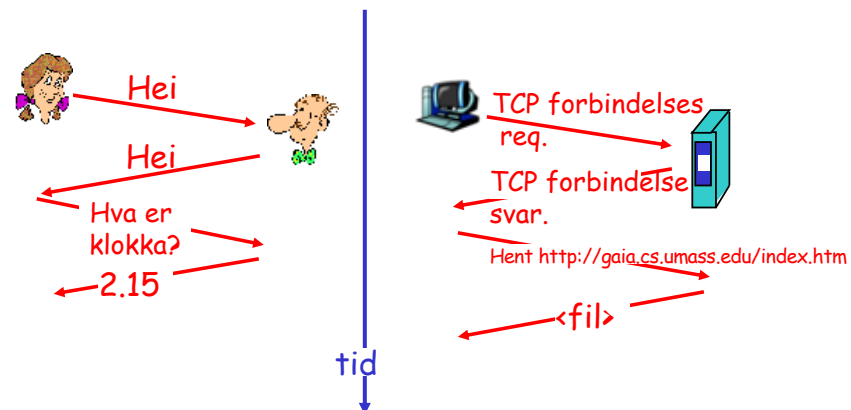
- ☐ Maskiner i stedet for mennesker
- ☐ All kommunikasjonsaktivitet på Internett er styrt av protokoller

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

Introduksjon 9

Hva er en protokoll?

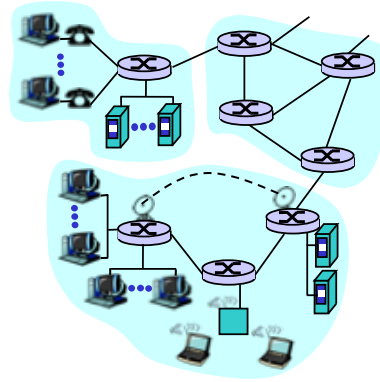
En menneskelig protokoll og en maskinell protokoll:



Introduksjon 10

En nærmere titt på nettverksstrukturen:

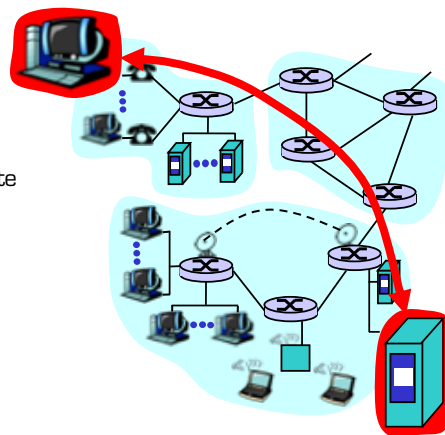
- **endemaskin:** applikasjoner og vertsmaskiner
- **nettverkskjerne:**
 - rutere
 - nettverk av nettverk
- **aksessnettverk, fysisk medium:** kommunikasjonslinjer



Introduksjon 11

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 12

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* byte-strøm 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 13

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)

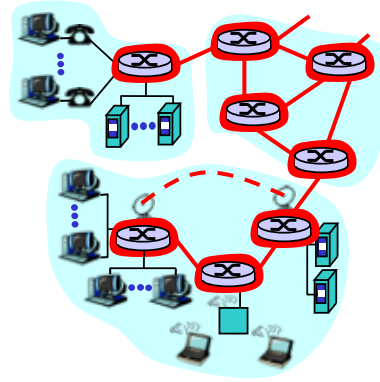
Typiske Applikasjoner som bruker (kunne ha brukt) UDP:

- streaming av media, telekonferanser, IP-telefoni

Introduksjon 14

Nettverkskjernen

- Graf av sammenkoblede rutere
- **Ett fundamentalt spørsmål:** hvordan blir data formidlet gjennom nettet?
 - **Linjesvitsjing:** dedikert sti gjennom nettverket: tele-nettverk.
 - **Pakkesvitsjing:** data sendes gjennom nettet i diskrete enheter.

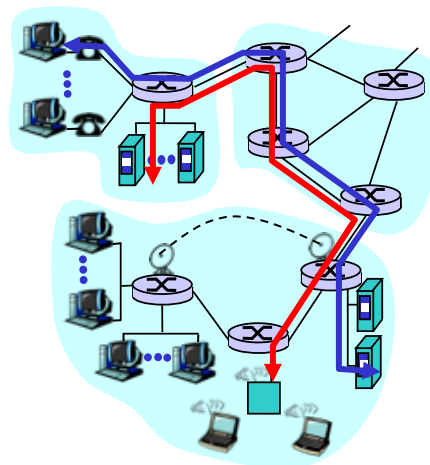


Introduksjon 15

Nettverkskjernen: Linjesvitsjing

Ende-til-ende ressurser
reservert for
"samtale"

- Link båndbredde, ruterkapasitet
- Dedikerte ressurser
- Garantert ytelse
- Setup-fase er påkrevet

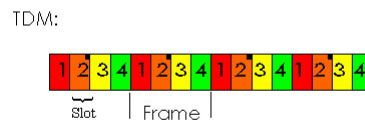
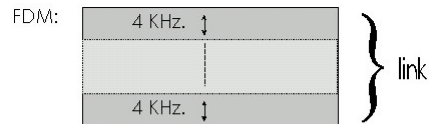


Introduksjon 16

Nettverkskjernen: Linjesvitsjing

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 17

Nettverkskjernen: Pakkesvitsjing

Hver ende-til-ende datastrøm deles opp i pakker

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

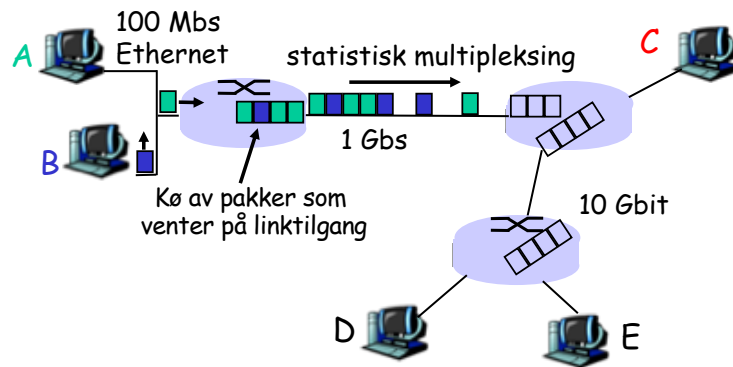
Konkurransen om ressursene:

- 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 18

Nettverkskjernen: Pakkesvitsjing

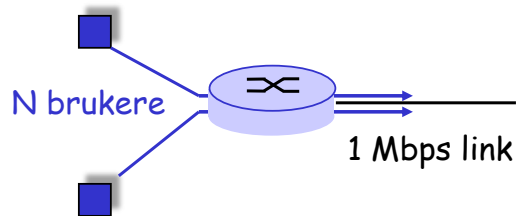


Introduksjon 19

Pakkesvitsjing versus linjesvitsjing

Pakke-svitsjing tillater flere brukere på nettet!

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



Introduksjon 20

Pakke-svitsjing versus linjesvitsjing

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 linjesvitsjing?**
 - Båndbreddegarantier er nødvendige for audio/video applikasjoner

Introduksjon 21

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.
- ❑ **Linjesvitsjede 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 22

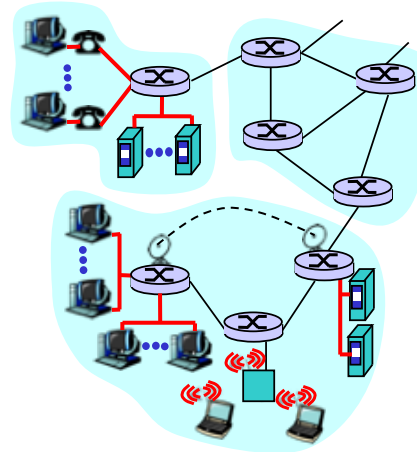
Aksessnettverk og fysiske media

Hvordan koble endesystemene til en enderuter?

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

Ha i bakhodet ved teknologivalg:

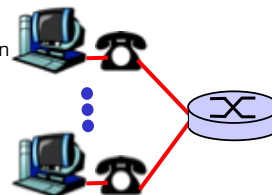
- Båndbredde?
- Delt medium eller dedikert?



Introduksjon 23

Hjemmenettverk: punkt til punkt

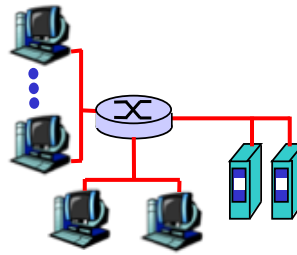
- Oppringt via modem – faset ut
 - Opp til 56Kbps direkte aksess til ruterene (i det minste i teorien)
- ISDN – faset ut:
 - integrated services digital network: 128Kbps ren digital forbindelse til ruterene
- ADSL: asymmetric digital subscriber line
 - Opp til 1 Mbps hjem-til-ruter
 - Opp til 8 Mbps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



Introduksjon 24

Institusjonelle aksessnett (LAN)

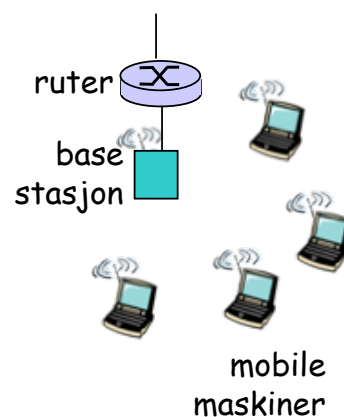
- ❑ bedrift/ universitet **local area network** (LAN) forbinder endesystemene til resten av nettet
- ❑ **Ethernet:**
 - Delt eller dedikert kabel kobler endesystemer og ruter
 - 10 Mbs, 100Mbps, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, 40 Gig... 100 Gig
- ❑ Mer om LAN senere



Introduksjon 25

Trådløse aksessnett

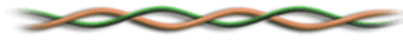
- ❑ Delt trådløst aksessnett kobler endesystemene til ruter
- ❑ **Trådløse LANs (WLAN):**
 - radio spektrum erstatter kabel
- ❑ **Trådløs aksess over lange avstander**
 - GSM, HSDPA, 3G, 4G...



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.



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



Fiberoptisk kabel:

- ❑ Glassfiber som fører lyspulser
- ❑ Høyhastighets-overføring:
 - 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:

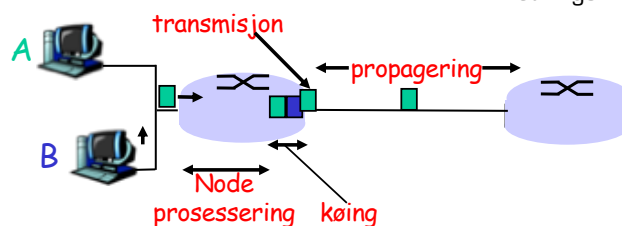
- mikrobølger
- LAN
 - 2Mbps, 11Mbps, 56Mbps...
- wide-area
 - GSM, 9,8 Kbps
 - GPRS 56 til 114 Kbps
 - UMTS 384 Kbps til 14Mbps
 - LTE opp til 300 Mbps, avhengig av versjon og avstand
- satellitt
 - 270 Msec ende-til-ende forsinkelse (gitt av lyshastigheten)

Introduksjon 29

Forsinkelse i pakkesvitsjete 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

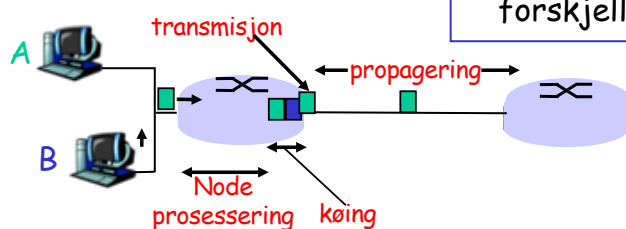
Transmisjonsforsinkelse:

- 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!



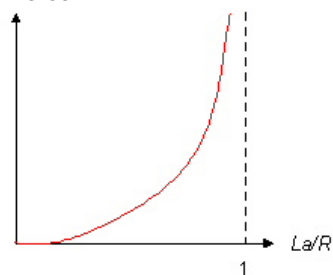
Introduksjon 31

Mer om køforsinkelse

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

trafikkintensitet = La/R

Gjennomsnittlig køforsinkelse



- La/R omtrent 0: gj.snittlig køforsinkelse er liten
- La/R går mot 1: køforsinkelsen vokser
- La/R over 1: det kommer mer data som skal inn på linken enn linkene kan svelge \rightarrow linkene går i metning (gjennomsnittlig forsinkelse uendelig...)

Introduksjon 32

Protokoll-lag

Nettverk er komplekse!

- Mange deler:
 - Endemaskiner
 - Røtere
 - 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?

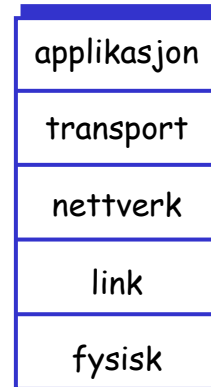
Håndtering av komplekse systemer:

- 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

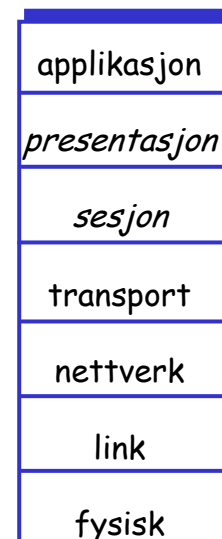
- ❑ **applikasjon:** støtter nettverksapplikasjoner
 - ftp, smtp, http
- ❑ **transport:** dataoverføring maskin til maskin
 - tcp, udp
- ❑ **nettverk:** ruting av datagrammer fra kilde til destinasjon
 - ip, ruting protokoller
- ❑ **link:** dataoverføring mellom to "naboer" i Nettverket
 - ppp, ethernet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



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 kommunikasjonssesjon.

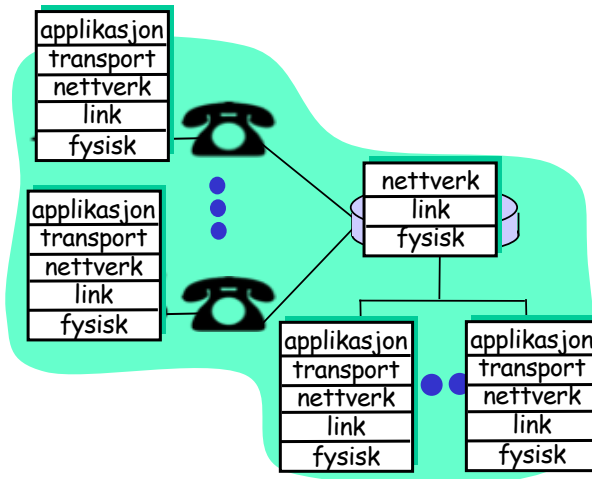


Introduksjon 36

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

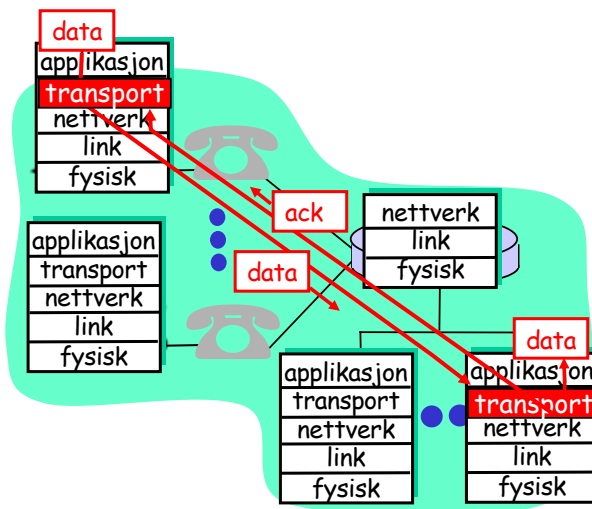


Introduksjon 37

Lagdeling: *logisk* kommunikasjon

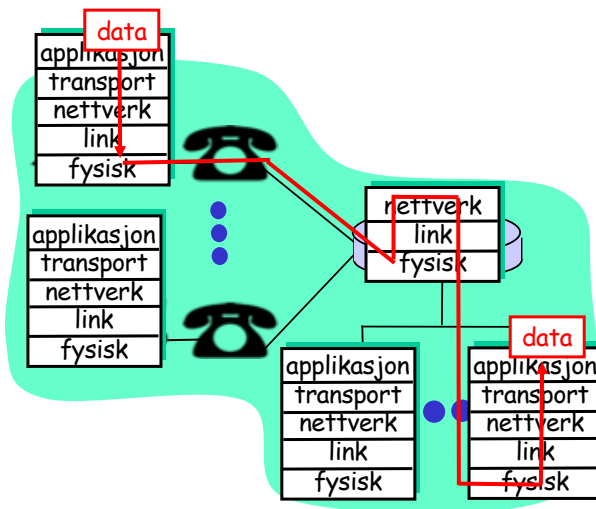
F. Eks transport

- 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

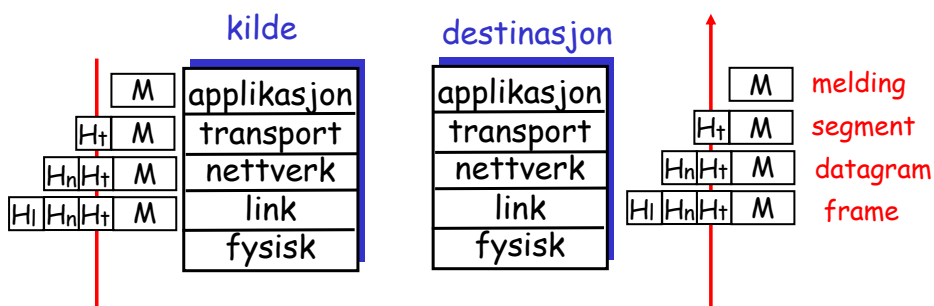


Introduksjon 39

Protokoll-lag og data

Hvert lag tar data fra laget over

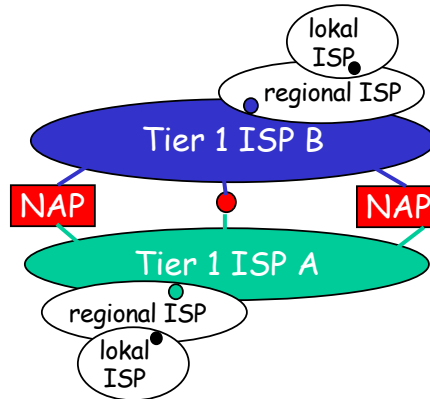
- Legger til header-informasjon for å danne en ny dataenhet (melding, segment, frame, pakke ...)
- Sender denne nye dataenheten til laget under



Introduksjon 40

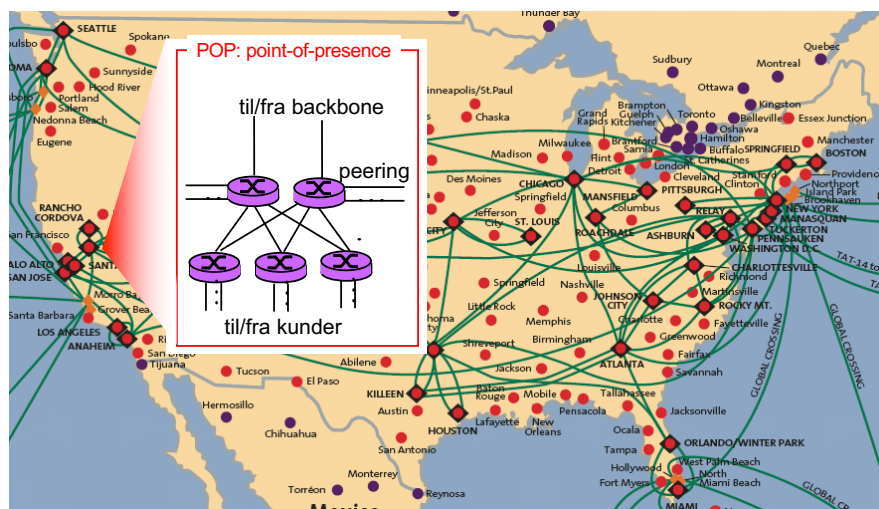
Internett struktur: nettverk av nettverk

- Mer eller mindre hierarkisk
- Nasjonale/internasjonale "Tier-1" ISPer
 - Disse kobles sammen enten privat, eller ved såkalte Network Access Point (NAPs)
- regional ISPer
 - Kobles på Tier-1 ISPer
- lokal ISP, bedrift
 - Kobles på regional ISPs



Introduksjon 41

Tier-1 ISP: f. eks. Sprint



Introduksjon 42

Network Security

- ❑ The field of network security is about:
 - how bad guys can attack computer networks
 - how we can defend networks against attacks
 - how to design architectures that are immune to attacks
- ❑ Internet not originally designed with (much) security in mind
 - *original vision*: "a group of mutually trusting users attached to a transparent network" 😊
 - Internet protocol designers playing "catch-up"
 - Security considerations in all layers!

Introduction 1-43

Bad guys can put malware into hosts via Internet

- ❑ Malware can get in host from a **virus**, **worm**, or **trojan horse**.
- ❑ **Spyware malware** can record keystrokes, web sites visited, upload info to collection site.
- ❑ Infected host can be enrolled in a **botnet**, used for spam and DDoS attacks.
- ❑ Malware is often **self-replicating**: from an infected host, seeks entry into other hosts

Introduction 1-44

Bad guys can put malware into hosts via Internet

❑ Trojan horse

- Hidden part of some otherwise useful software
- Today often on a Web page

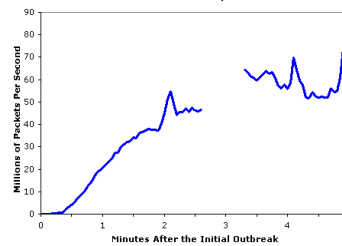
❑ Virus

- infection by receiving object (e.g., e-mail attachment), actively executing
- self-replicating: propagate itself to other hosts, users

❑ Worm:

- ❖ infection by passively receiving object that gets itself executed
- ❖ self-replicating: propagates to other hosts, users

Sapphire Worm: aggregate scans/sec in first 5 minutes of outbreak (CAIDA, UWisc data)

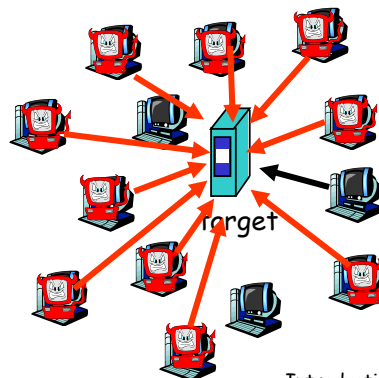


1-45

Bad guys can attack servers and network infrastructure

- ❑ Denial of service (DoS): attackers make resources (server, bandwidth) unavailable to legitimate traffic by overwhelming resource with bogus traffic

1. select target
2. break into hosts around the network (botnet)
3. send packets toward target from compromised hosts

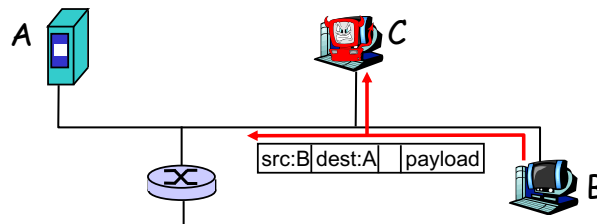


Introduction 1-46

The bad guys can sniff packets

Packet sniffing:

- broadcast media (shared Ethernet, wireless)
- promiscuous network interface reads/records all packets (e.g., including passwords!) passing by

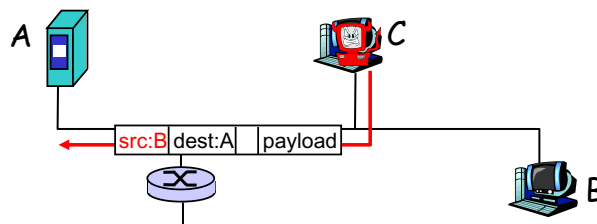


❖ Wireshark is a (free) packet-sniffer

Introduction 1-47

The bad guys can use false source addresses

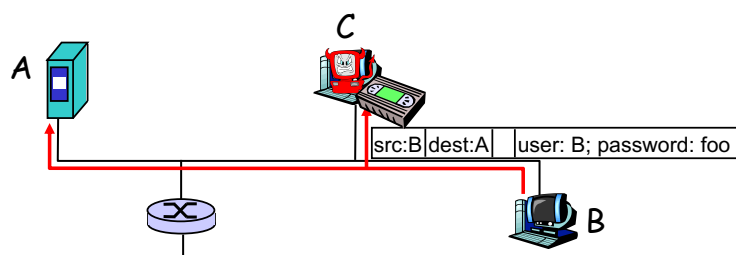
- *IP spoofing:* send packet with false source address



Introduction 1-48

The bad guys can record and playback

- **record-and-playback**: sniff sensitive info (e.g., password), and use later
 - password holder *is* that user from system point of view



Introduction 1-49

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 50

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 51

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: Csnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- ❑ 100,000 maskiner koblet til nettet.

Introduksjon 52

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

Utover 2000 tallet:

- ❑ Konvergens
- ❑ IP telefoni
- ❑ Streaming media
- ❑ Online spill
- ❑ Sosiale medier
- ❑ Eksplosjon i anvendelser
- ❑ Samfunnsomveltning

2018

- ❑ Kritisk infrastruktur styres over nettet
- ❑ Så godt som all menneskelig aktivitet har et fotavtrykk der

Introduksjon 53

Oppsummering

Dekket et stort felt!

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

Forhåpentligvis har du nå:

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

Introduksjon 54