

UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

IN1020 - Introduksjon til datateknologi

Forelesning – 21.10.2021

Historien om datanettverk

Håkon Kvale Stensland



simula

tfj

Plan for ”nettverksdelen” av IN1020

- 31. august – Datanett – En liten introduksjon
- 23. september - Introduksjon til operativsystemer
- **21. oktober – Historie, mer om lagdeling og protokoller**
- 26. oktober – Hvordan fungerer din trådløse ruter?
- 28. oktober – Kryptering & Sikkerhet
- 2. november – Tjenester i Internett

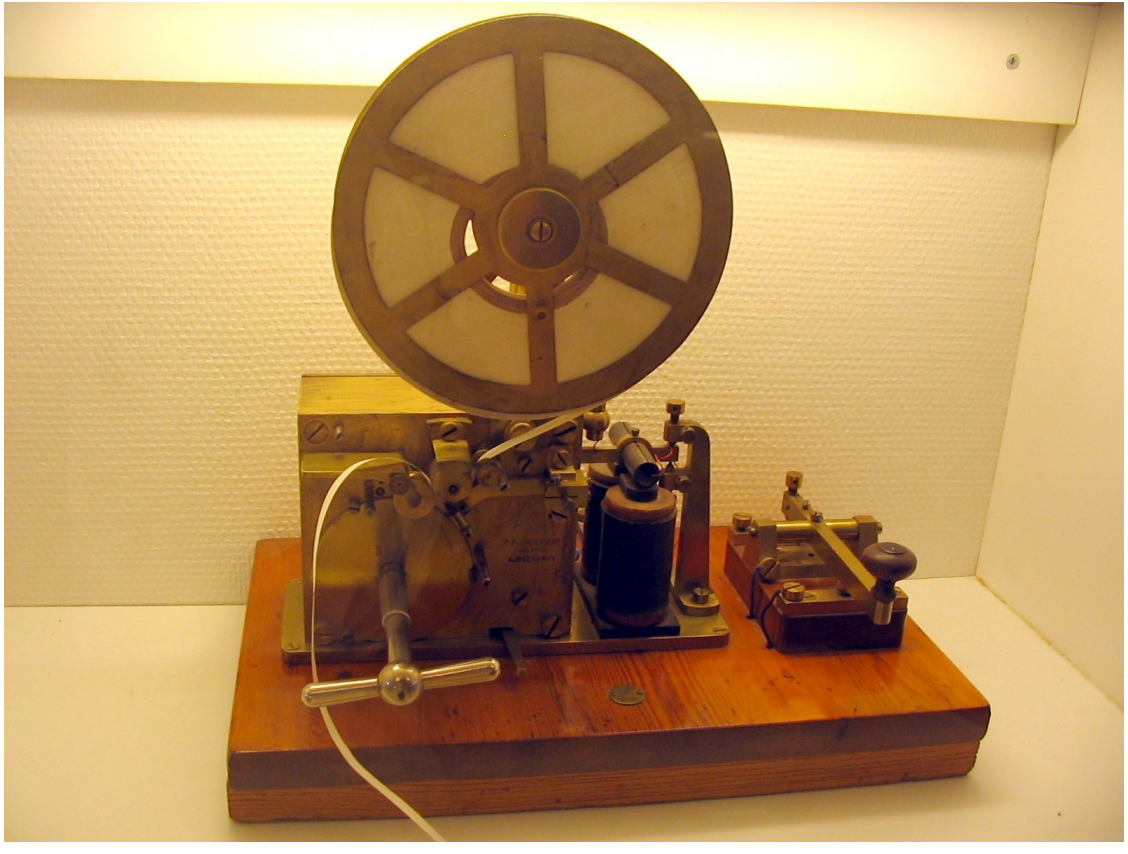
(Utvalgt) Historie om datanettverk

- Telegraf
- Telefoni

- *Internett:*
  - Tidlig Internett - ARPANET
  - Standardisering

- *Andre typer datanettverk:*
  - Interconnect nettverk
  - Trådløse nettverk
- *Ekstreme datanettverk:*
  - NASA Deep Space Network

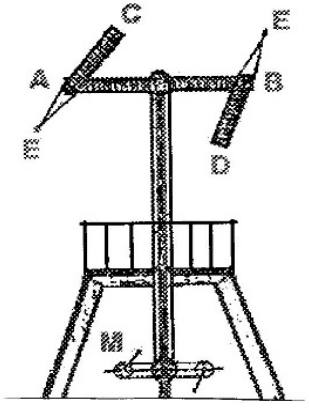
Telegraf

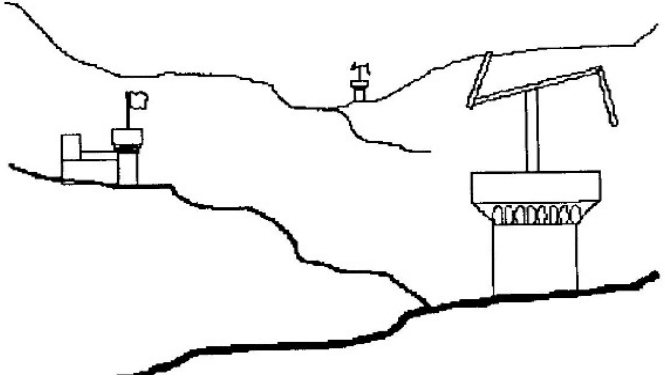


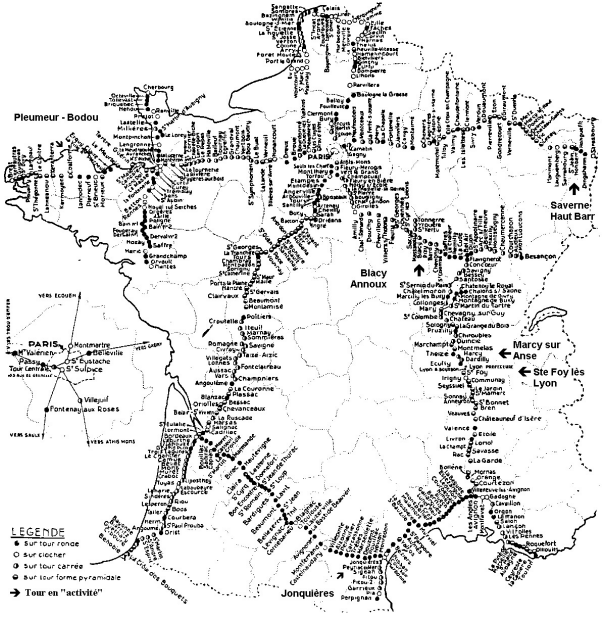
… før telegrafen



Chappe-Code







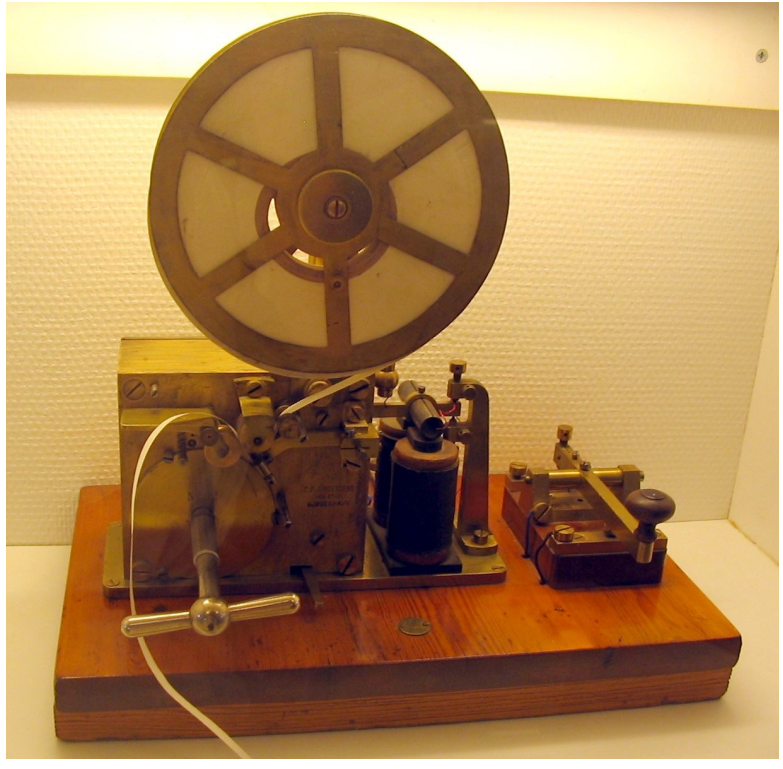
1791: Semafor-telegraf (Claude Chappe)

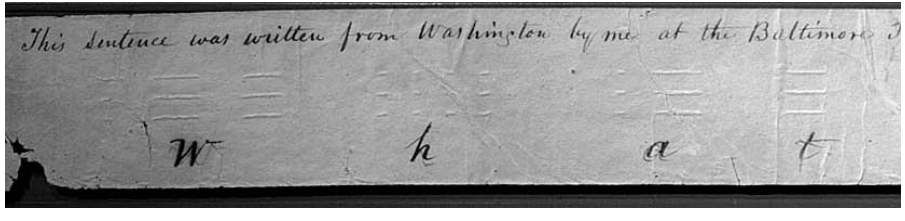
- Nettverk i Frankrike.
- Brukes også i jernbanen... og av speideren… ☺

Morse-telegraf

- En knapp for å sende korte eller lange beskjeder
  - Punktum = dit
  - Strek = dah
- Streker og punktum
  - Skrives på et papir hos mottaker.
- Starten på det første telegrafi: *'What hath God wrought'* (Num 23,23) sendt i 1844 fra Washington D.C. til Baltimore
- Kan vi kalle dette et Kommunikasjonsnettverk?

Bildekilde: Wikimedia Commons





Morse-telegraf

Bildekilde: Wikimedia Commons



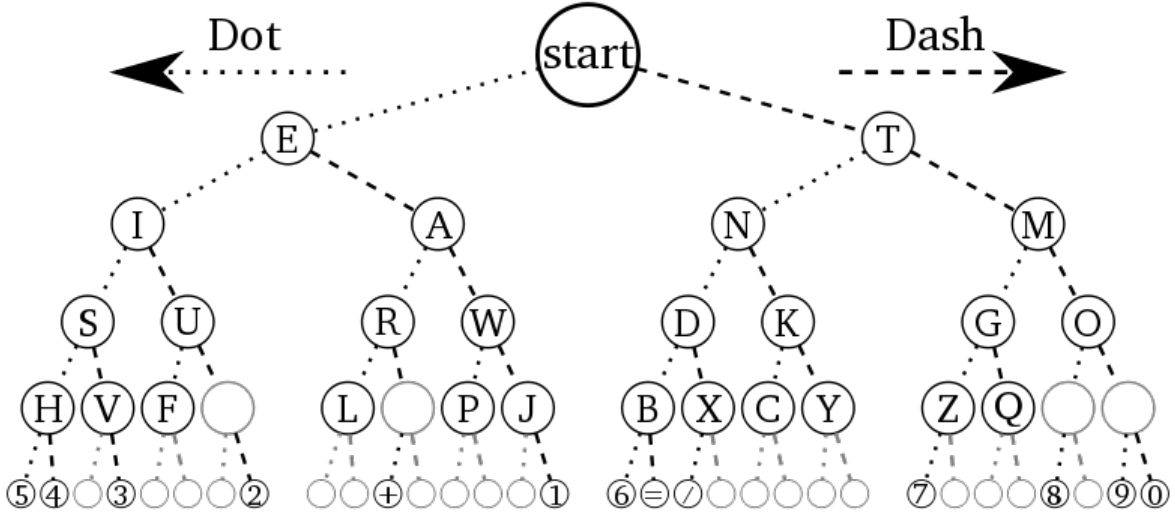
Telegrafnettverk i USA - 1916

- Likheter med dagens Internett?
- Signalkoding
- Type switching
  - Pakke?
  - Beskjed?
  - Linje?
- Type tjeneste
  - Tilkoblingsorientert?
  - Tilkoblingsløst?
- Rutere

Morse-telegraf

Morsekode

- Variabel lengde
- Kortere kode for oftere brukte bokstaver



Bildekilde: Wikimedia Commons

Letter	Relative frequency in the English language
e	12.702%
t	9.056%
a	8.167%
o	7.507%
i	6.966%
n	6.749%
s	6.327%
h	6.094%
r	5.987%
d	4.253%
l	4.025%
c	2.782%
u	2.758%
m	2.406%
w	2.361%
f	2.228%
g	2.015%
y	1.974%
p	1.929%
b	1.492%
v	0.978%
k	0.772%
j	0.153%
x	0.150%
q	0.095%

Sorteringens opprinnelse var sorteringen til typografene i boktrykkeriene

Morse-telegraf

Morsekode:

- Var mer komplekst i starten
- Selvsagt flere språk…

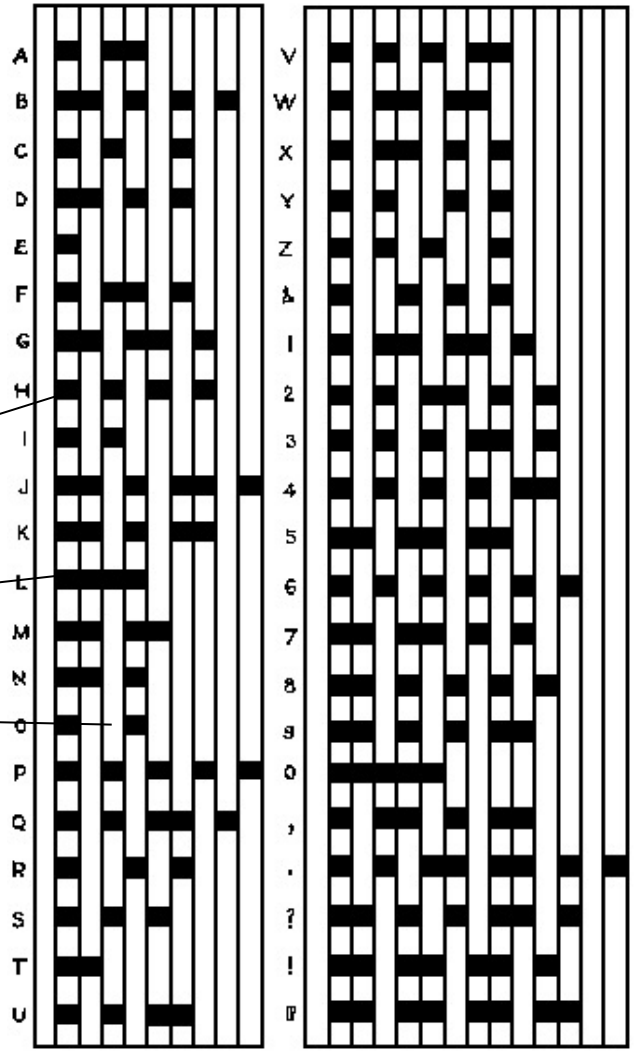
dit

dah

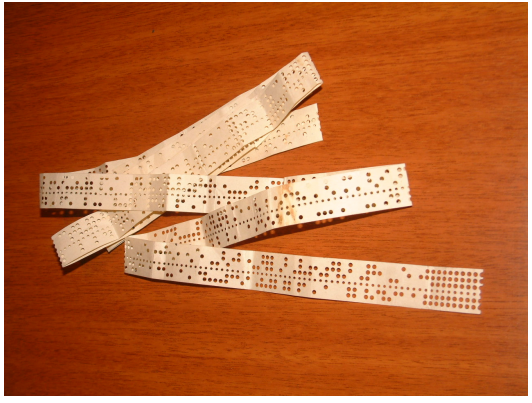
gap

- Spesialkode for:
  - Start
  - Stopp
- Nødsignal: ••••−−−••••

Bildekilde: Wikimedia Commons



Bildekilde: Wikimedia Commons



Baudot-telegraf

Baudot tidsmultipleksing:

Forgjenger til teleprinter (TTY)
Symbolraten (baud rate) oppkalt etter Baudot

Utfordring:

- Øke antall beskjeder som kan sendes igjennom en linje

Løsning:

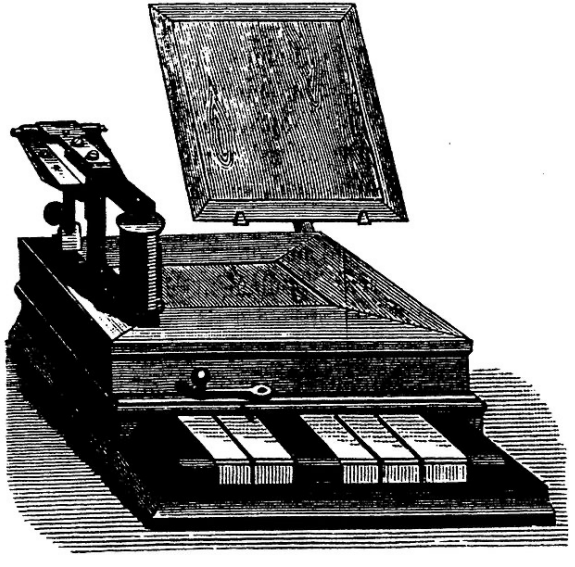
- Tidsmultipleksing.
- Flere telegrafer på samme linje.

Første forsøkene feilet:

- Synkroniseringsproblemer grunnet at morsekoden er variabel lengde.

Baudot fikset problemet:

- Fast lengde (5 bit) kode.
- Synkronisert tidsmultipleksing.



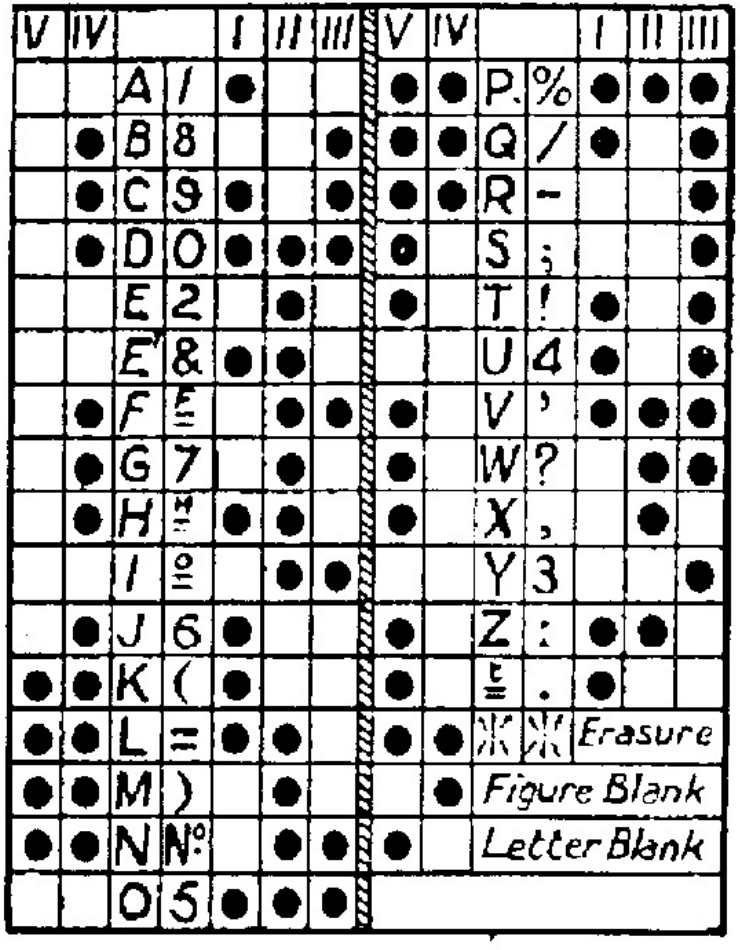
Baudotkode

Fast lengde 5-bit kode

- Tillater 2^5=32 symboler
- Maksimum på 5-bit var grunnet hardware-begrensninger
  - Med bestemte koder kunne man «skifte» til alternative symboler/tabeller (tall og tegn)

Standardisert av CCITT (ITU-T)

- *International telegraph alphabet 1*
- Forgjenger til ASCII-kode



Bildekilde: Wikimedia Commons

Telefon



Telefoni

Første telefoner som ble solgt i 1870-tallet ble solgt parvis.

- Dedikert linje

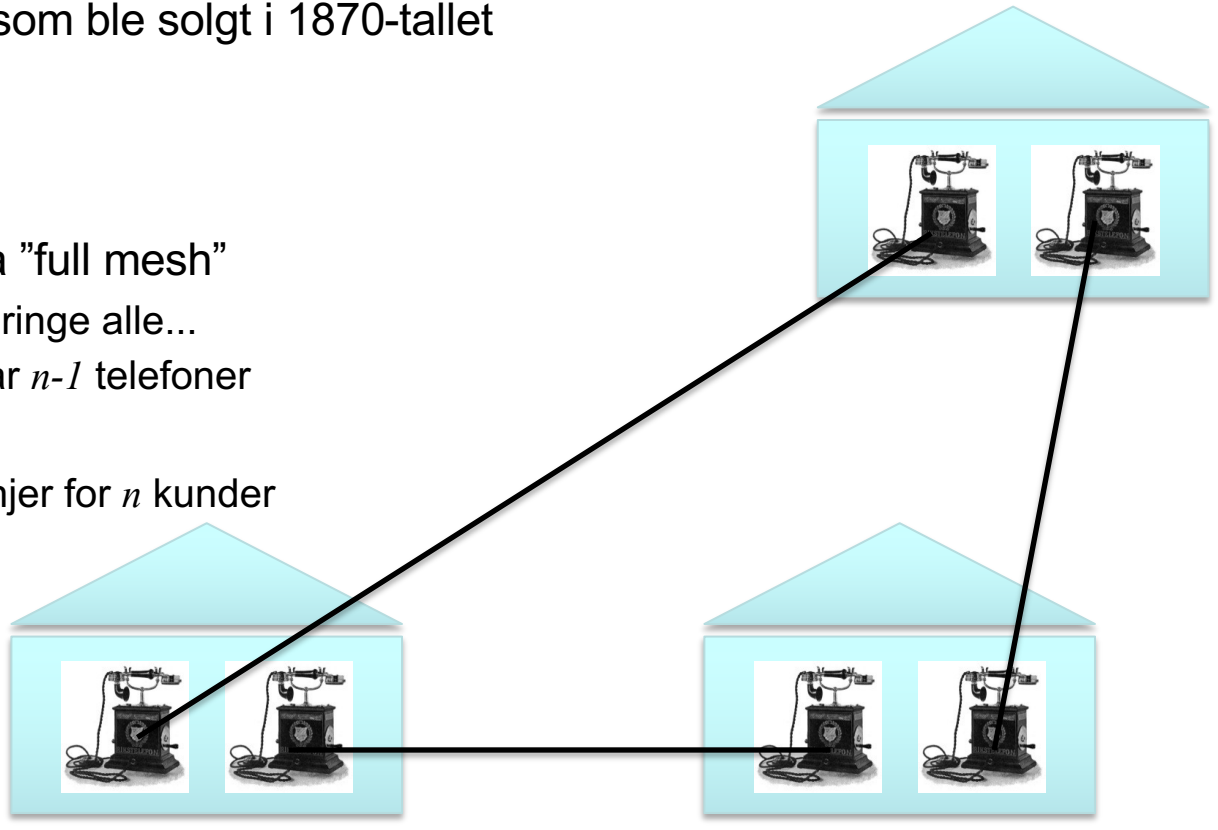
Hvis vi går ut i fra ”full mesh”

- Alle skal kunne ringe alle...

→ Hver kunde har n-1 telefoner

→ $\frac{n \cdot (n-1)}{2}$ Linjer for n kunder

Skalerbart?



Bildekilde: Wikimedia Commons

Telefoni

Bildekilde: Wikimedia Commons



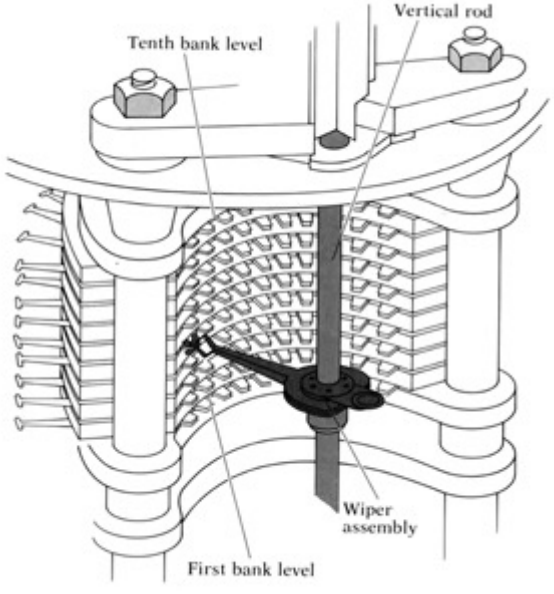
Sentralbord (switch)

- Linje fra hver telefon til et sentralbord
- Kunne være lange avstander mellom sentralbord
- Først manuelt operert
- Kompleksitet?
  - Antall telefoner?
  - Antall linjer?
- Det grunnleggende prinsippet med ”sentral” brukes fremdeles i dag.

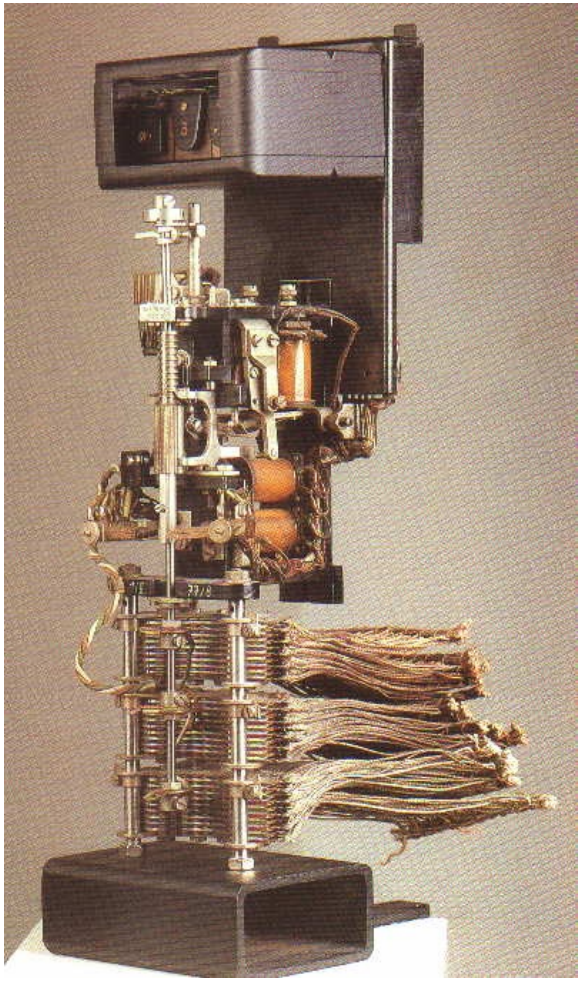
Telefoni

Strowger switcher automatiserte telefonsentralene

- *«Stepping switch»* med to graders frihet
- Hierarkisk brukt med nasjonal & by-kode.



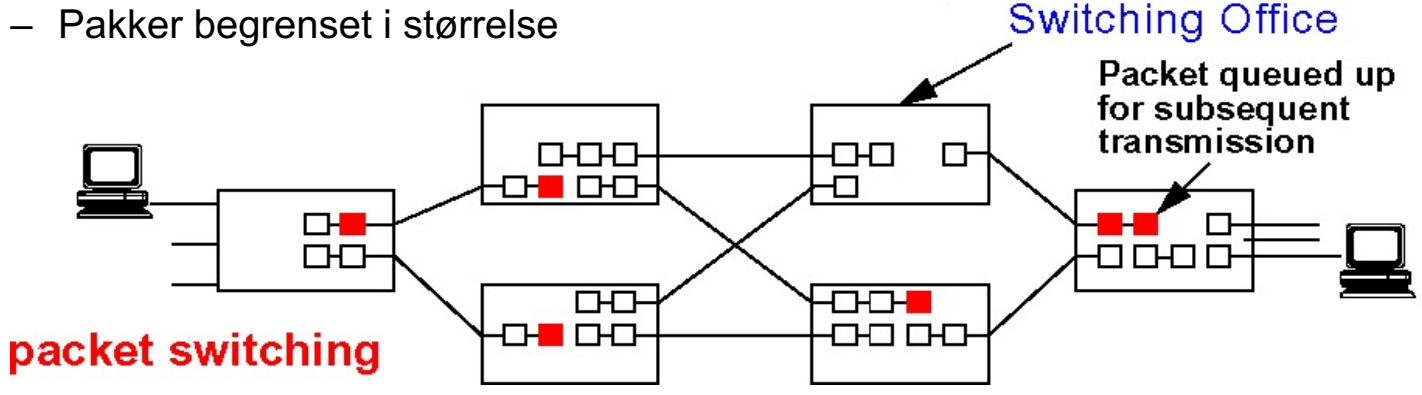
Bildekilde: harvard.edu



Telegraf versus Telefoni

Telegrafinettverk:

- *"Message switching"*
  - Telegrammet som en beskjed blir videresendt fra sender til mottaker
  - Ingen dedikert linje mellom sender og mottaker
- Tilkoblingsløs tjeneste
  - Forskjellige telegrammer fra sender til mottaker kan følge forskjellige stier.
  - Eksempel: Kabelbrudd
- Sammenlignet med "Pakke switching" i dagens Internett
  - Pakker begrenset i størrelse



Telegraf versus Telefoni

Telefonnettverk

”Circuit switching”

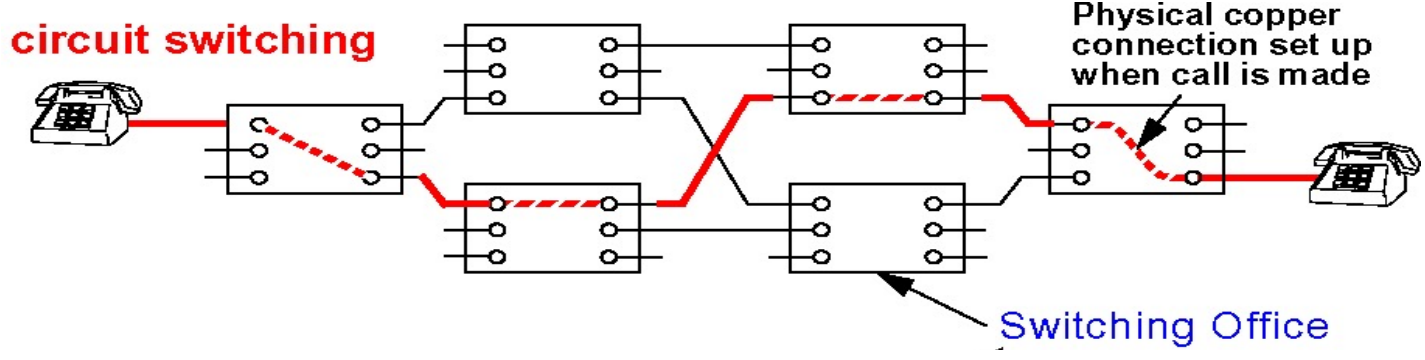
- Dedikert linje mellom ”sender” og ”mottaker”
- Reservert ”eksklusivt” for hele samtalen / oppkoblingen

Tilkoblingsorientert tjeneste

- Kommunikasjonen følger alltid samme vei
- Tre faser: tilkobling (dial), samtale (exchange), nedkobling (hang up)

Konseptene fremdeles i bruk i dag

- Men, ikke dedikert linje. Kun resurser som reserveres.
- For eksempel: ISDN reserverer 64kbit/s båndbredde mellom sender og mottaker.



ARPANET (~1967 - 1972)

Mål:

- Lastbalansering:
  - Sende både programmer og data for prosessering på en annen maskin.
  - Krevde helt identiske maskiner i nettverket.
- *Tjeneste for utveksling av data.*

Hadde blitt gjort før

- Dele data:
  - Sende programmer for prosessering på fjerndata.
- Dele programmer:
  - Sende data for prosessering på fjernprogramvare.
- Fjerntilgang:
  - Sende forespørsler både til data og programmer.
  - Gi tilgang til spesialisert programvare og hardware.

Utvidede mål for ARPANET i heterogene miljøer

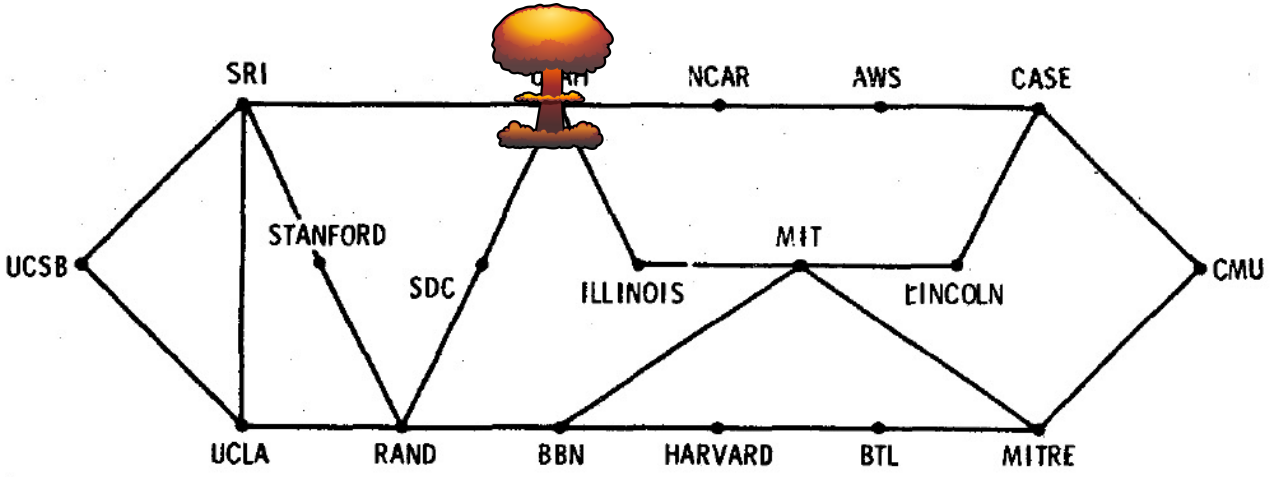
Bildekilde: Computer network development to achieve resource sharing, AFIPS 1970

ARPANET

Kjernekomponent: Nettverkskobling

- 50 kbit/s full-duplex leide telefonlinjer (AT&T).
- Minst to stier mellom forskjellige noder i nettverket.
  - Designet for å kunne motstå atomangrep

Topologi slik planlagt i 1970

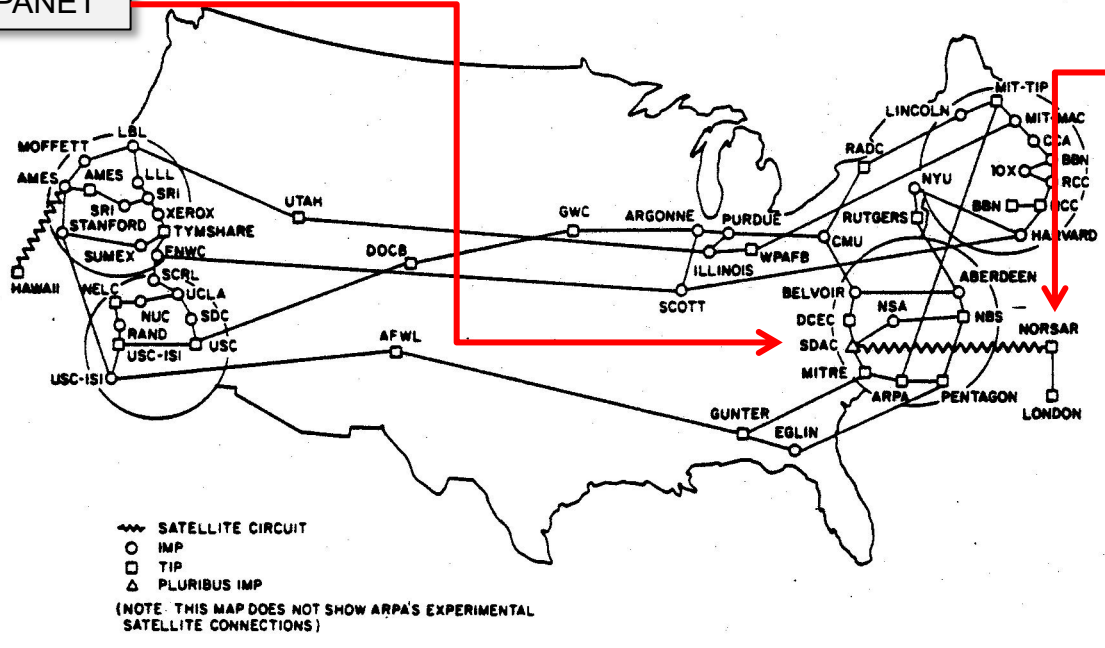


ARPANET

Kjeller, Norge
Samme bygning som UNIK

Norge var første tilkobling utenfor USA.

Første satellitt link i ARPANET



Bildekilde: DARPA: A History of the Internet, BBN Report 4799, 1991 (scan downloaded from at darpa.mil)

Standardisering (1969 og utover)

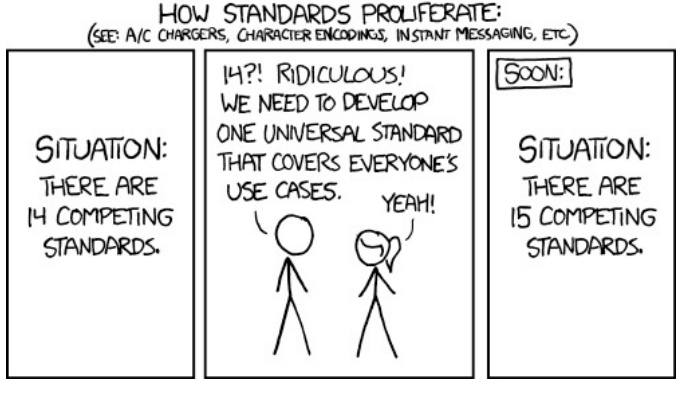
Utfordring: Utviklingen av kommunikasjonsprotokoller trenger standardisering

- Forskjellige lokasjoner, institusjoner, produsenter, operatører …
  → **Trenger standarder**
- Vitenskapelig publikasjoner: **For sent**
- Industriell standardisering: **For sent** og **for kostbart**

Løsning: Request for Comments (RFC)

- Først: Memos, møtereferater sirkulert med post (ikke elektronisk)
- Senere: Publisert elektronisk
  - FTP, HTTP, etc.

- Startet i 1969 av *ARPANET working group (WG)*
  - Ble etterhvert «**Internet WG»**



Standardisering (1969 og utover)

Request for Comments (RFCs)

- Rask og åpen tilgang
- Oppdatert liste: http://www.rfc-editor.org/rfc-index.html

RFC Index

Num Information

0001 **Host Software** S. Crocker [April 1969] (TXT = 21088) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0002 **Host software** B. Duvall [April 1969] (TXT = 17145) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0003 **Documentation conventions** S.D. Crocker [April 1969] (TXT = 2323) (Obsoleted-By RFC0010) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0004 **Network timetable** E.B. Shapiro [March 1969] (TXT = 5933) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0005 **Decode Encode Language (DEL)** J. Rulifson [June 1969] (TXT = 26408) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0006 **Conversation with Bob Kahn** S.D. Crocker [April 1969] (TXT = 1568) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0007 **Host-IMP interface** G. Deloche [May 1969] (TXT = 13408) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0008 **ARPA Network Functional Specifications** G. Deloche [May 1969] (PDF = 750612) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0009 **Host Software** G. Deloche [May 1969] (PDF = 722638) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0010 **Documentation conventions** S.D. Crocker [July 1969] (TXT = 3348) (Obsoletes RFC0003) (Obsoleted-By RFC0016) (Updated-By RFC0024, RFC0027, RFC0030) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0011 **Implementation of the Host - Host Software Procedures in GORDO** G. Deloche [August 1969] (TXT = 46971, PDF = 2186431) (Obsoleted-By RFC0033) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0012 **IMP-Host interface flow diagrams** M. Wingfield [August 1969] (TXT = 177, PS = 1489750, PDF = 1163721) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

0013 **Zero Text Length EOF Message** V. Cerf [August 1969] (TXT = 1070) (Status: UNKNOWN) (Stream: Legacy)

7424 **Mechanisms for Optimizing Link Aggregation Group (LAG) and Equal-Cost Multipath (ECMP) Component Link Utilization in Networks** R. Krishnan, L. Yong, A. Ghanwani, N. So, B. Khasnabish [January 2015] (TXT = 60733) (Status: INFORMATIONAL) (Stream: IETF, Area: ops, WG: opsawg)

7425 **Adobe's RTMFP Profile for Flash Communication** M. Thornburgh [December 2014] (TXT = 103979) (Status: INFORMATIONAL) (Stream: INDEPENDENT)

7426 **Software-Defined Networking (SDN): Layers and Architecture Terminology** E. Haleplidis, K. Pentikousis, S. Denazis, J. Hadi Salim, D. Meyer, O. Koufopavlou [January 2015] (TXT = 85111) (Status: INFORMATIONAL) (Stream: IRTF)

7427 **Signature Authentication in the Internet Key Exchange Version 2 (IKEv2)** T. Kivinen, J. Snyder [January 2015] (TXT = 39041) (Updates RFC7296) (Status: PROPOSED STANDARD) (Stream: IETF, Area: sec, WG: ipsecme)

7435 **Opportunistic Security: Some Protection Most of the Time** V. Dukhovni [December 2014] (TXT = 27451) (Status: INFORMATIONAL) (Stream: IETF, WG: NON WORKING GROUP)

7436 **IP-Only LAN Service (IPLS)** H. Shah, E. Rosen, F. Le Faucheur, G. Heron [January 2015] (TXT = 74340) (Status: HISTORIC) (Stream: IETF, Area: rtg, WG: l2vpn)

7437 **IAB, IESG, and IAOC Selection, Confirmation, and Recall Process: Operation of the Nominating and Recall Committees** M. Kucherawy [January 2015] (TXT = 77786) (Obsoletes RFC3777, RFC5078, RFC5633, RFC5680, RFC6859) (Also BCP0010) (Status: BEST CURRENT PRACTICE) (Stream: IETF, WG: NON WORKING GROUP)

7438 **Multipoint LDP (mLDP) In-Band Signaling with Wildcards** IJ. Wijnands, E. Rosen, A. Gulko, U. Joorde, J. Tantsura [January 2015] (TXT = 36744) (Updates RFC6826, RFC7246) (Status: PROPOSED STANDARD) (Stream: IETF, Area: rtg, WG: mpls)

7439 **Gap Analysis for Operating IPv6-Only MPLS Networks** W. George, C. Pignataro [January 2015] (TXT = 64087) (Status: INFORMATIONAL) (Stream: IETF, Area: rtg, WG: mpls)

Internetworking (~1972 og utover)

Konseptet «Internetworking» ble foreslått i 1973

- Mål: Koble sammen flere forskjellige nettverk

Grunnreglene fremdeles aktuelle i dag

- Ingen interne endringer trengs for å koble nett til Internett.
- «Best effort» kommunikasjon-
- «Stateless routers» brukt for å koble sammen nettverkene.
- Ikke kontrollert av ett land
- *I tillegg*…
  - Håndtere pakketap, pipelining, fragmentering, global adressering, flytkontroll, …

Internetworking

ARPANET's NCP klarte ikke å tilfredsstille kravene om Internetworking

- TCP/IP ble først presentert i 1974.
- TCP hadde et konsept om byte-strømmer.
- Først ble kun TCP (nesten slik vi kjenner det i dag) implementert.
- Ble gjort forskning på tale over IP (VoIP), førte til krav om enklere protokoll → UDP.
- Andre applikasjoner:
  - Fil og disk deling

- **Ikke-forutsette problemer:**
  - Eksplosjon i antall LAN og PCer
  - Kun få nasjonale nettverk
  - 32-bit IP adresser med 8-bit nettverksadresser, 24-bit vertsadresse

TCP/IP ble utviklet frem til det ble satt i drift i 1981

- IPv4 slik det blir brukt i dag.
- ARPANET byttet til TCP/IP først i 1983.

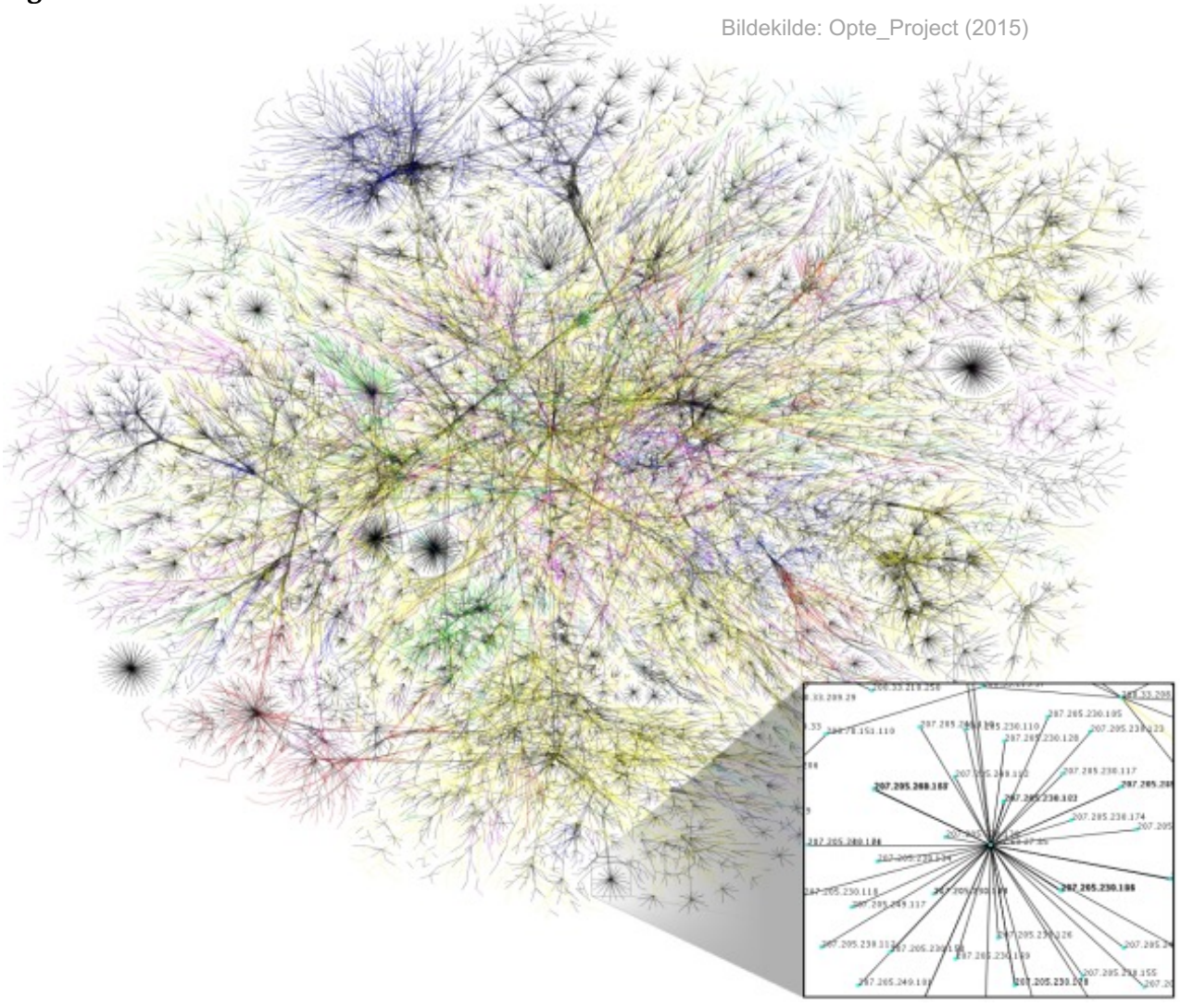
Siden 1980

Mobiltelefoni
- SMS

Web

Peer-to-Peer

Applikasjoner:
- Web-tjenester.
- Streaming-tjenester.
- VoIP, Zoom, Teams, etc.
- Sosiale nettverk.
- Twitter.
- Snapchat.
- …



Bildekilde: Opte_Project (2015)

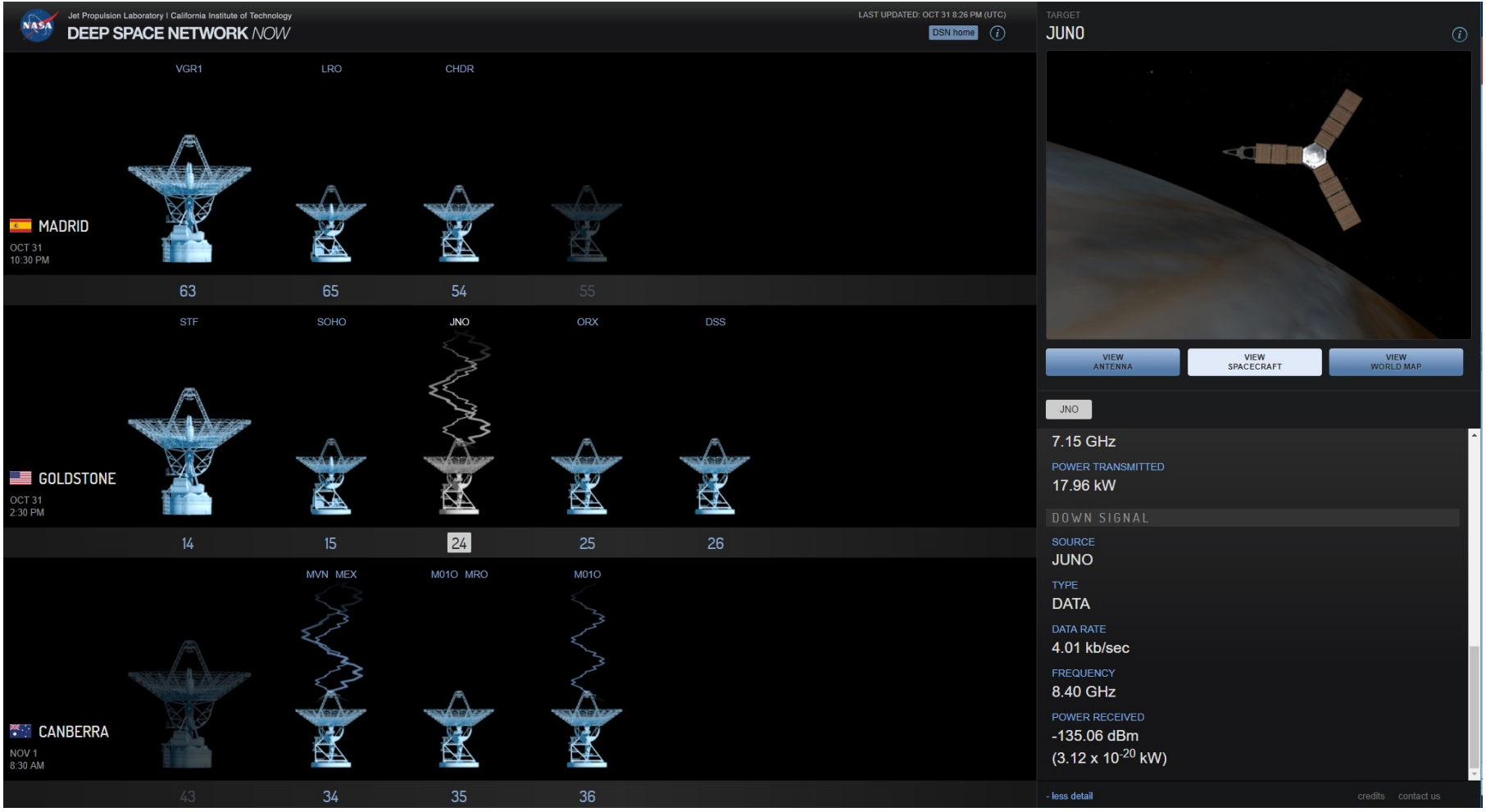
Ekstreme nettverk: NASA Deep Space Network

Utfordring: Konstant kommunikasjon med satellitter og rovere sendt til fjerne planer og ut av solsystemet

- Tre lokasjoner rundt i verden: USA, Spania og Australia
  - Startet i 1958
  - Apollo-programmet var ett av de første oppdragene
  - Brukes blant annet til Mars rovere (Curiosity, Perseverance)

- Hvordan kommunisere med *Voyager 1* over 23 milliarder kilometer unna:
  - Sendt opp i 1977
  - 70 meters antenner
  - 32 bit/s datarate (batteri varer. kanskje til 2036)
  - Signalene bruker 21 timer og 28 minutter til jorden





Deep Space Network Live: https://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html



UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

IN1020 - Introduksjon til datateknologi

Forelesning – 21.10.2021

Lagdeling i Internettarkitekturen

Håkon Kvale Stensland



simula



Lagdelingen i datakommunikasjon

- Komponenter i nettverket.
- Nettverksstrukturer.
- Aksessmodeller i datanettverk.
- Nettverksprotokoller.
- Lagdelingskonseptet.
- TCP/IP-modellen (Internettmodellen).
- Lagene i TCP/IP-modellen.



UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Komponenter, aksessmodeller og nettverkstyper – en liten repetisjon



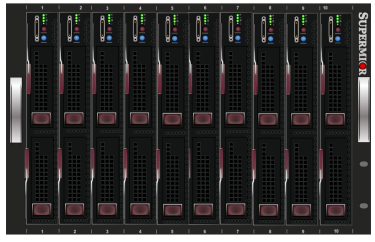
simula

tfj

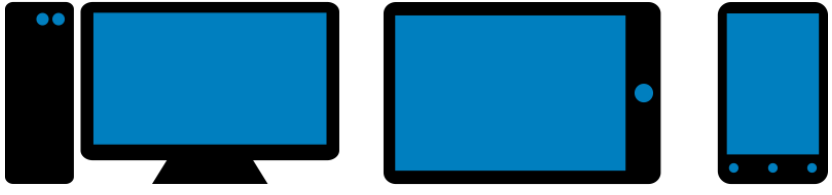
Nettverkskomponenter

- Tjenere





- Klienter



- Switcher





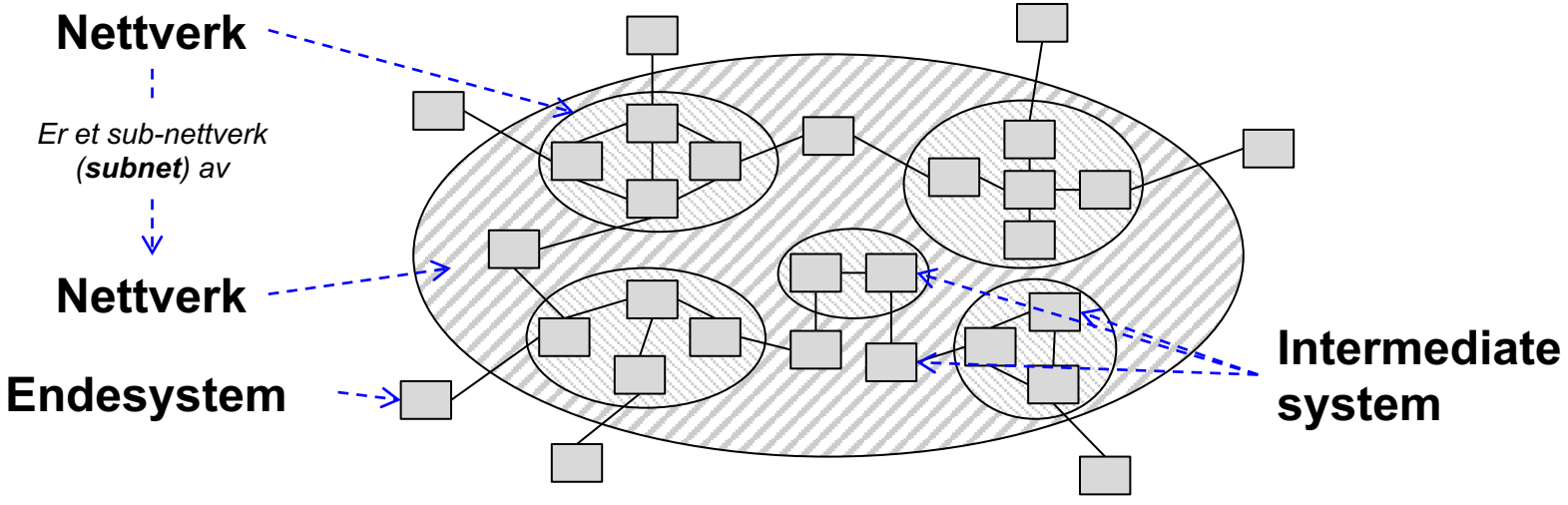
- Routere







Nettverkskomponenter



Endesystemer (tjenere og klienter):

- *For eksempler:*
  - Datamaskiner
  - Mobiltelefoner
  - «Duppedingser» (IoT), skrivere, etc.

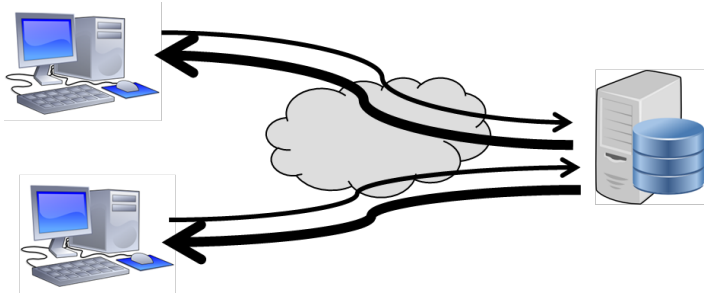
Intermediate system (rutere og switcher):

- *For eksempel:*
  - Ruter
  - Switch

Aksessmodeller for datakommunikasjon

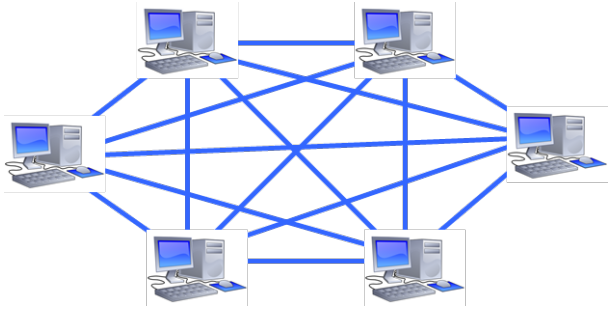
Klient-tjener:

- Klienter ber om en tjeneste (oppretter en forbindelse)
- Tjenere leverer tjenesten (svarer på forespørselen)



Peer-to-Peer (P2P)

- Alle noder er likeverdige
- Alle noder kan nå hverandre
- Eierskapet er distribuert

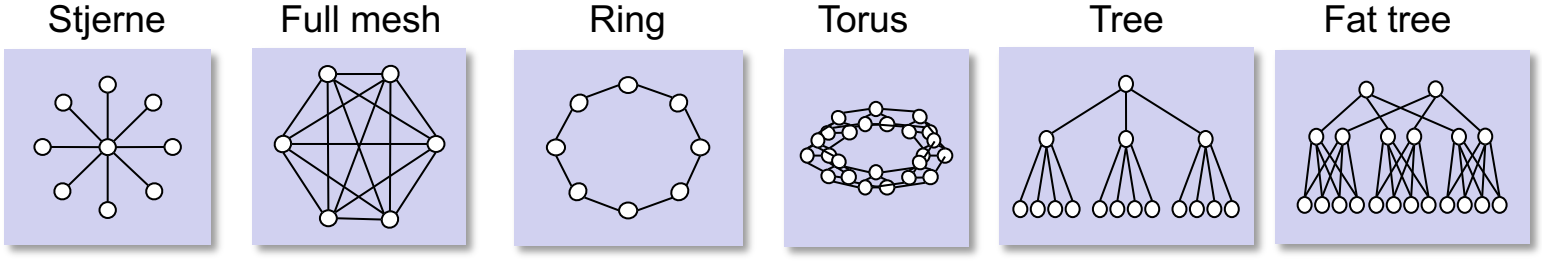


Nettverksstrukturer

Punkt-til-punkt nettverk:

- Flere forskjellige kabler, kabeltyper eller radiolinker som kommuniserer fra punkt til punkt.
- Kabel eller radiolink kobler alltid sammen to noder.
- En-til-en overføring.

Topologieksempler:



Nettverksstrukturer

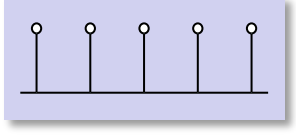
Broadcast-nettverk:

- Nettverk som deler kommunikasjonsmedium.
- En sender, alle lytter (en-til-mange).

Bruk:

- *Trådløs:* Eneste mulighet (mobiltelefoner, satellitter, radio, NFC, ...)
- *Kablet:* Gamle nettverk (Coax, Token ring)

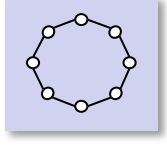
Eksempler



Bus



Broadcast



Ring



UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Protokoller og lagdeling



simula

tfj

Hva er en protokoll, og hvorfor trenger vi det?

- En protokoll definerer strukturen på beskjeder sendt over et nettverk

- Trenger i tillegg å adressere mange kompleksiteter…
  - Hvordan skal maskinvaren oppføre seg?
  - Hvordan skal beskjeden finne frem?
  - Er det noen garantier for levering?
  - Hvordan håndtere kø, tap og andre problemer?

Nettverksprotokoller? Hva er en protokoll?



Protokoller og lag

Utfordring:

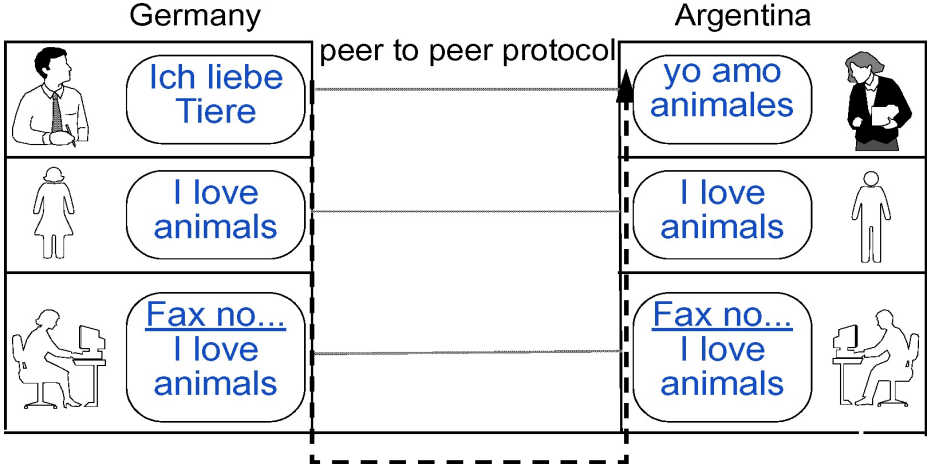
- Potensielt veldig komplisert med kommunikasjon til fremmede maskiner på nettet
- Interaksjon mellom forskjellige typer system og/eller nettverk

Forenkling:

- Introdusere standardiserte abstraksjonsnivåer
- Generelt: «modul», «lag» eller «nivå»

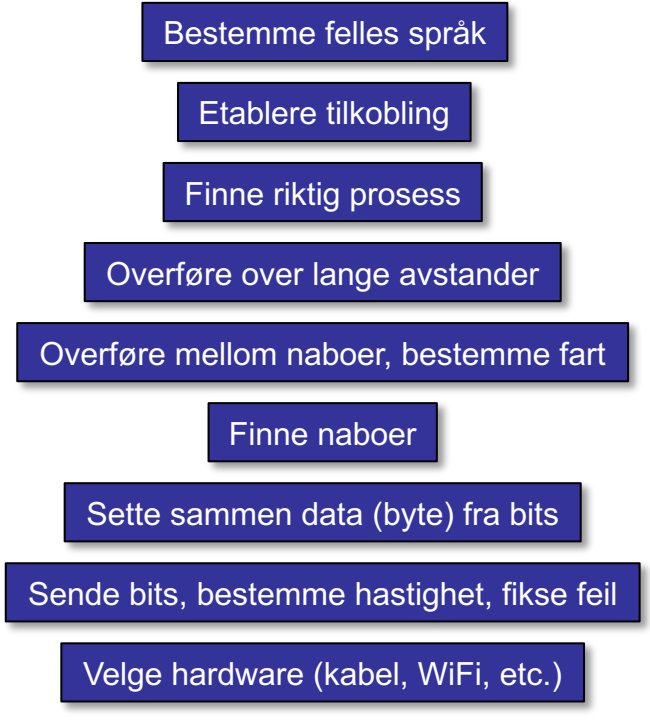
Eksempel:

- En biolog med en oversetter og en kryptert faks for å sende data over nettet.



Hvordan strukturere nettverkskommunikasjon?

Lagdeling



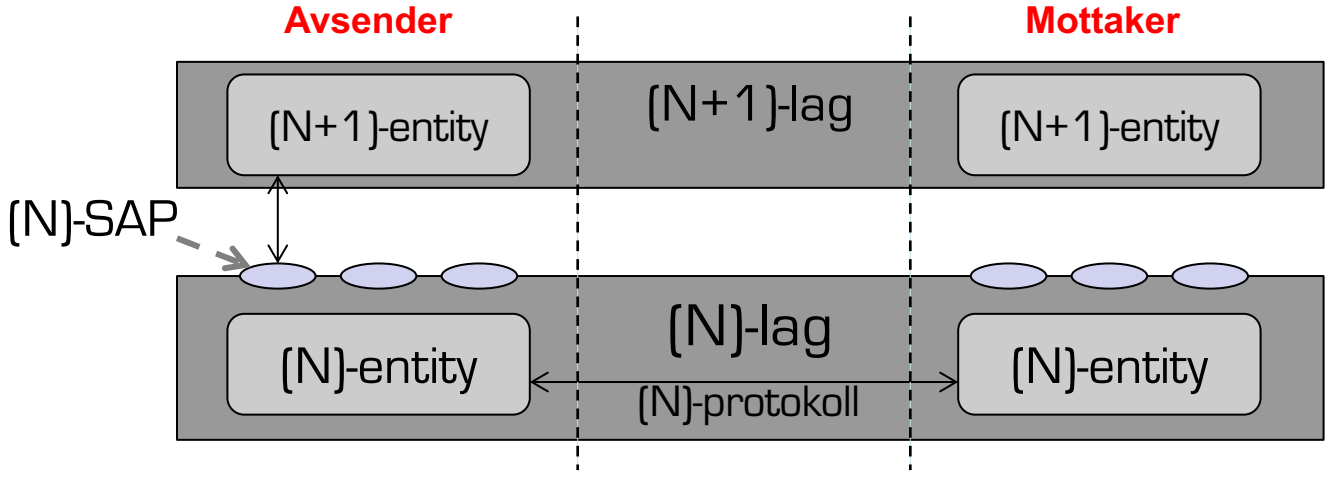
Fordeler:

- Klare koblinger
- Klar ansvarsfordeling
- Kan utvikle lagene uavhengig
- Lagene kan byttes ut

Ulemper:

- Ikke godt egnet for alle oppgaver
- Like problemer løses flere ganger

Lag i nettverket



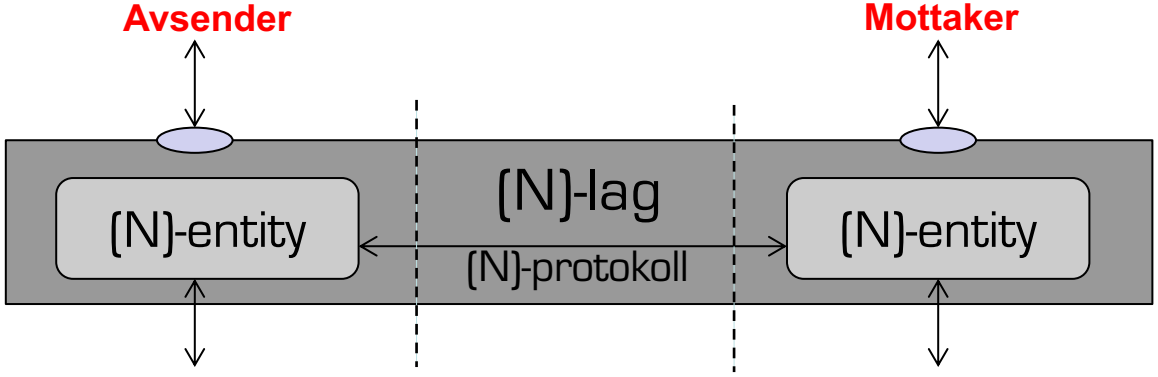
(N)-Lag
- Bestemt abstraksjonsnivå

(N)-Entity
- Oppgaven til laget
- Er ofte en prosess eller IO modul.
- **Peer entities**: Andre siden skal også kunne løse samme oppgave.

(N)-Service Access Point, (N)-SAP
- Tjenesteidentifikasjon
- Beskriver hvordan lag N tilbyr en tjeneste til lag N+1
- En *Entity* kan tilby flere tjenester.

(N)-Protokoll
- Et sett med regler for hvordan data skal overføres mellom *entity* på samme nivå.

Protokoll: Kommunikasjon mellom samme lag



Hva definerer en protokoll?

- *Definerer:*
  - Formatet på beskjeden og header (konvolutt).
  - Rekkefølgen på beskjedene.
  - Utvekslingen av beskjeder mellom to eller flere kommunikasjonssystemer.
  - Hva skal skje ved mottak eller sending av en beskjed.
- *Definerer ikke:*
  - Tjenestene tilbudt til laget over (N+1)
  - Tjenestene brukt i laget under (N-1)-SAP

Referansemodellen for OSI

ISO Open Systems Interconnection – også kjent som OSI-modellen

- Modell for lagdelte kommunikasjonssystemer
- Grunnleggende konsepter og terminologi
- Definerer syv lag med funksjonalitet
  - Ikke pensum i IN1020… ☺





UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

TCP/IP-modellen



simula

tfj

Fem-lags referansemodellen – TCP/IP modellen

Forskjell på TCP/IP modellen og ISO-OSI

- Presentasjon, sesjon og applikasjonslagene slås sammen til ett lag.
- Litt ut i fra hvem du spør så slås også linklaget og det fysiske laget sammen til ett lag kalt nettverksgrensesnittet.

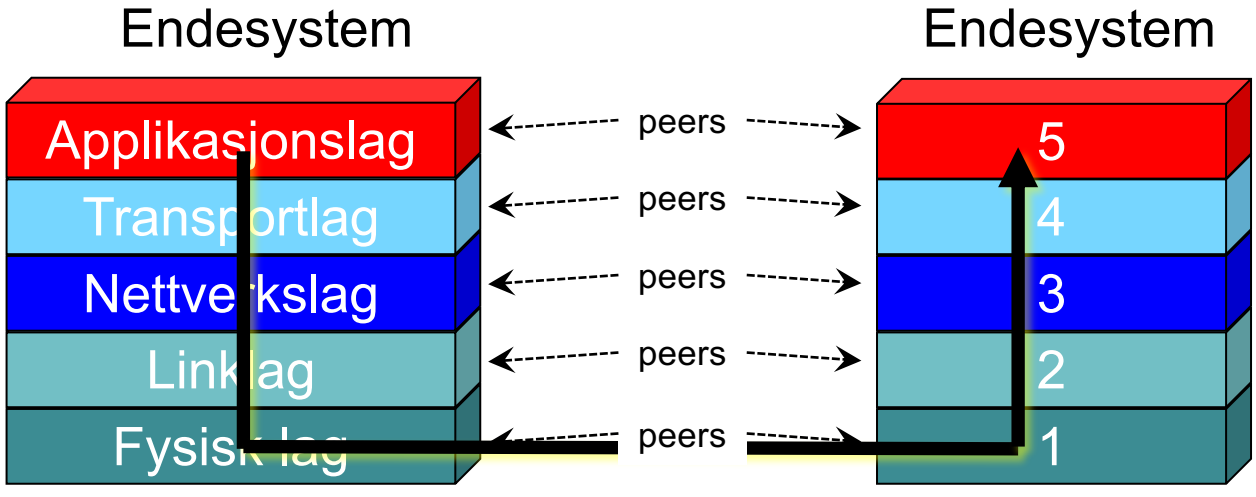
Lag		Funksjon
5	**Applikasjon**	Applikasjonsrelaterte tjenester (**HTTP**, **Mail**)
4	**Transport**	Kobler sammen systemene ende-til-ende (**TCP/UDP**)
3	**Nettverk**	Sende data fra ende-til-ende systemer (**IP**)
2	**Link**	Pålitelig overføring mellom to noder (**LAN/WiFi**)
1	**Fysisk**	Sender bit ut på mediet (kablet eller trådløst)

Dataenheter i TCP/IP-modellen

- "*Beskjeder*" fra applikasjonslaget defineres som «data units».

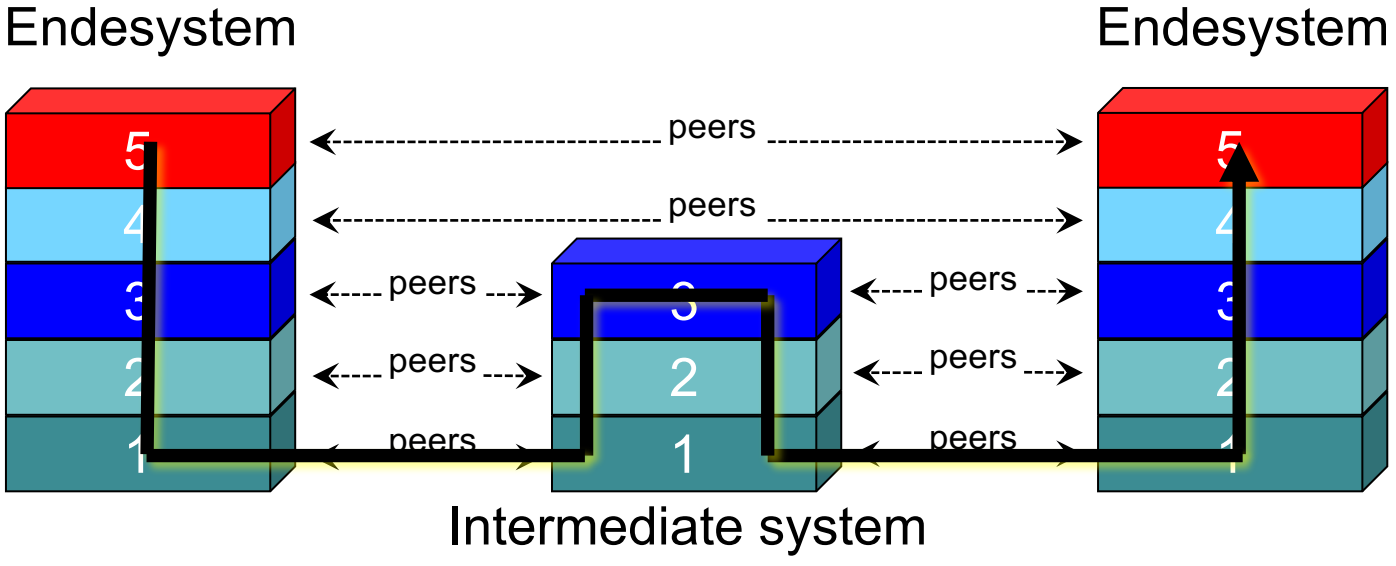
- Data units har forskjellige navn, avhengig av hvilket lag vi befinner oss i:
  - *Segments*: Brukes på transportlaget (kan inneholde fragmenter)
  - *Packets*: Brukes på nettverkslaget
  - *Frame*: Brukes på linklaget
  - *Bits*: Brukes på det fysiske laget

Datastrøm mellom to systemer med direkte tilkobling



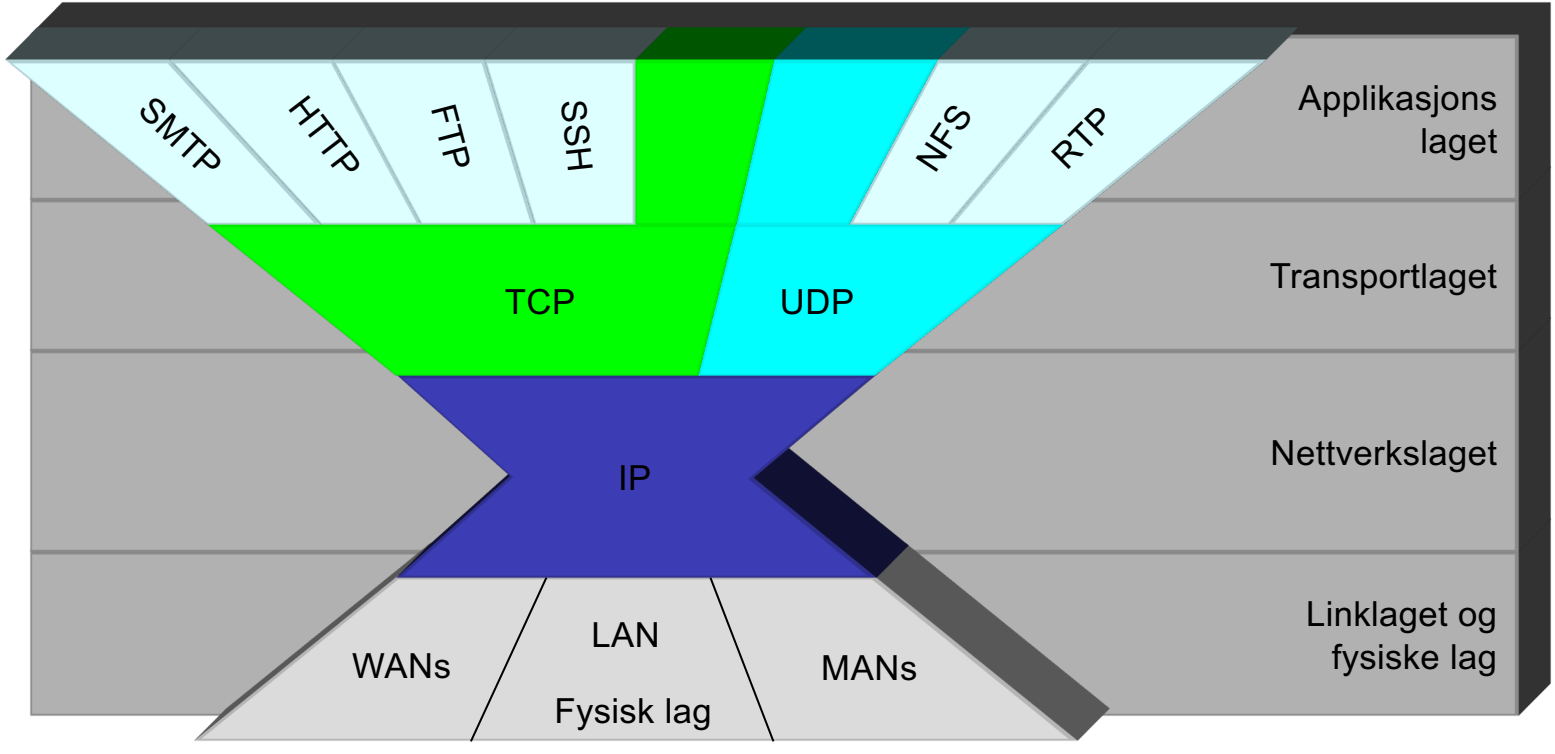
- Forespørselen går nedover lagene på "*avsender*"-siden og oppover hos mottaker.
- Det fysiske laget håndterer selve sendingen til neste (nabo) node.

Datastrøm mellom to systemer uten direkte tilkobling



- Nettverksprotokollen (IP) tar hånd om rutingen til endelig destinasjon.
  - På hver ruter så går pakken opp til nettverkslaget for prosessering.
- Transport og applikasjonslaget kommuniserer ende-til-ende.

Internet Protocol Stack



Kallenavn: “Timeglass-modellen”



UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

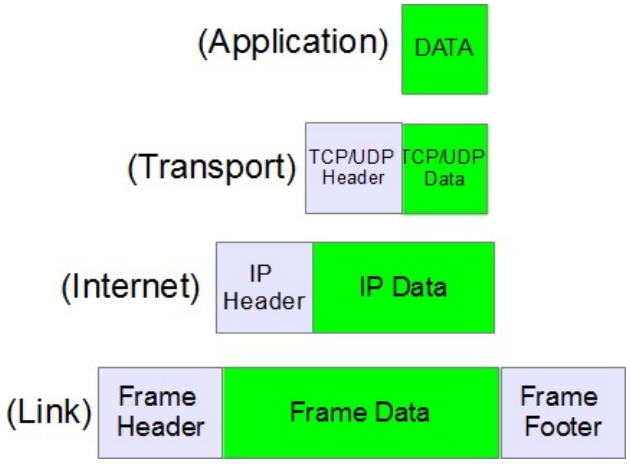
Lagene i TCP/IP-modellen



simula

tfj

Eksempel: Lagene i bruk



Hva skjer i de forskjellige lagene når vi prøver å åpne en nettside?

Husk: Internett har kun 5 lag (eller 4)

- Lag 5, 6 og 7 fra OSI er implementert som *ett* applikasjonslag
  - Vi kommer tilbake til applikasjonslaget i senere forelesninger!

På Internett blir ofte lag 3 (nettverk) og 4 (transport) blandet:

- Transportprotokoll **TCP** (eller **UDP**) og nettverksprotokoll **IP**
- Kan i flere tilfeller være utfordrerne å trekke linjen hvor TCP slutter og IP begynner

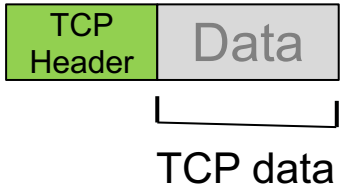


Kan også inneholde en header, men det bestemmer applikasjonen

Lag 5 - Applikasjonslaget

- Lag med tjenester for applikasjoner:
- Eksempler:
  - Nettlesere (WWW)
  - E-post
  - Filoverføring
  - P2P

- *Mer om dette 2. november (Tjenester i Internett)!*



Lag 4 - Transportlaget

- TCP: HTTP, E-post, filoverføring, etc.
- UDP: Strømming av video og lyd

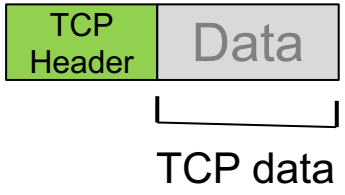
- Bruker «port» som en unik identifikator.
  - Representeres med et 16-bit heltall

TCP Segment Header Format

Bit #	0 – 7	8 – 15	16 – 23	24 – 31
0	Source Port		Destination Port	
32	Sequence Number			
64	Acknowledgment Number			
96	Data Offset	Res	Flags	Window Size
128	Header and Data Checksum		Urgent Pointer	
160…	Options			

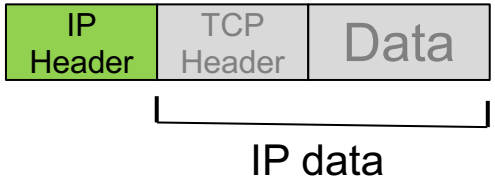
UDP Datagram Header Format

Bit #	0 – 7	8 – 15	16 – 23	24 – 31
0	Source Port		Destination Port	
32	Length		Header and Data Checksum	



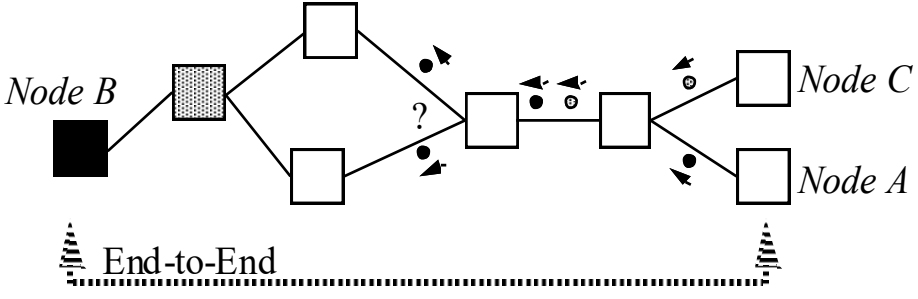
Lag 4 - Transportlaget

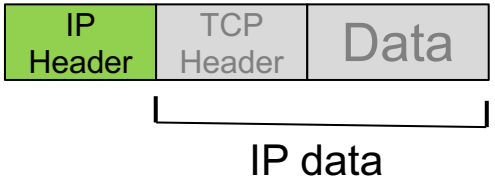
- **TCP:**
  - Oppsett av forbindelse (3-way handshake)
  - Garanterer at pakkene leveres i riktig rekkefølge
  - *Pålitelighet* – Pakker sendes på nytt hvis kvitteringen (ACK) ikke kommer frem
  - Flytkontroll og meningskontroll
- **UDP:**
  - Tilkoblingsløs forbindelse
  - Ingen garantier
  - «Best-effort» levering av data



Lag 3 - Nettverkslaget

- **Kobler sammen systemene ende-til-ende**
- **Ruting**
  - Statisk, definert under tilkobling eller dynamisk
  - Meningskontroll (for mange pakker på en sti)
  - Tjenestekvalitet (QoS)
- En «ruter» jobber på lag 3
- Eksempler:
  - IP (tilkoblingsløst)

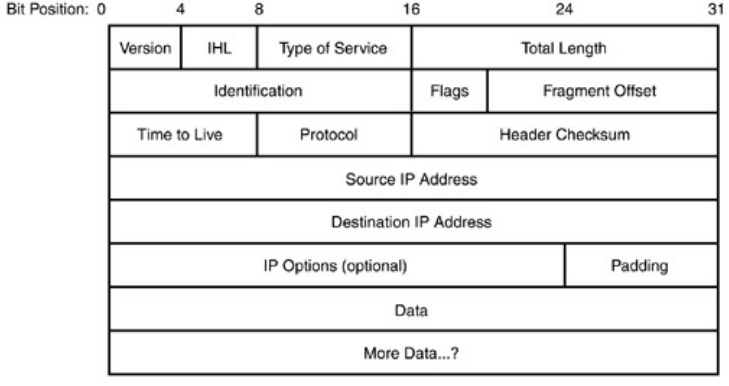


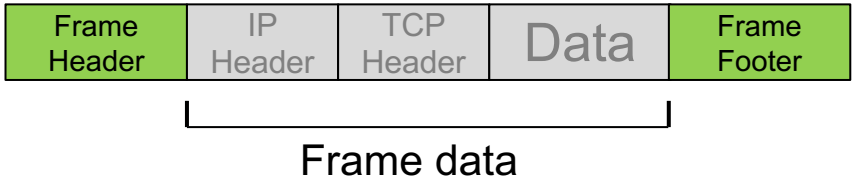


Lag 3 - Nettverkslaget

- Den mest brukte nettverkslagsprotokollen i dag er Internet Protocol (IP). Den mest brukte versjonen er IPv4.

- IPv4 bruker en 32-bit adresse, (4.3×10^9)
- Den nye versjonen, IPv6 har 128-bit adresser (3.4×10^{38})
  - Representeres med fire 8-bit heltall: 192.168.1.101

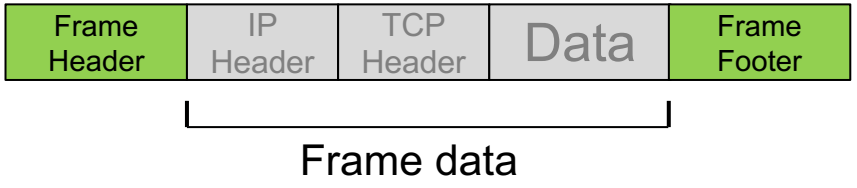




Lag 2 - Linklaget

- **Pålitelig overføring mellom to enheter.**
  - Pakker som overføres i linklaget kalles «frames»
  - Feildeteksjon or retting innenfor en «frame»
- En «switch» vil kun jobbe på lag 2
- Lag 2 vil kunne ha enkel flytkontroll
  - Rask sender, treg mottaker
- Medium Access Control (MAC)

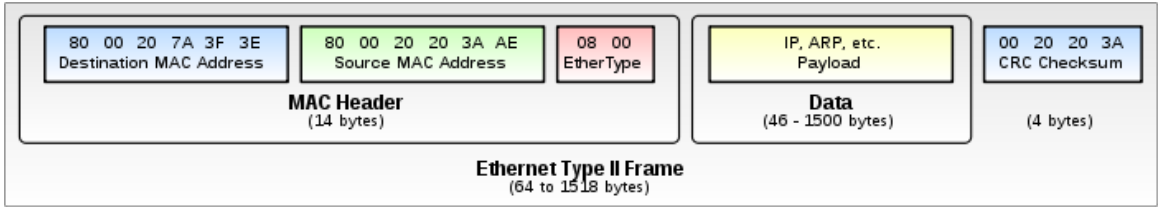




Lag 2 - Linklaget

- Det vanligste linklagene er ”Ethernet”, og ”WiFi”. Disse er ganske like, men har noen forskjeller.

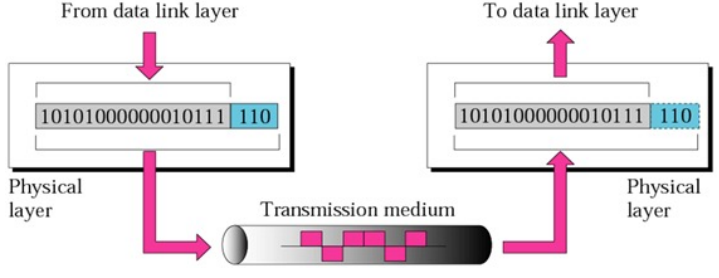
- Bruker en 6-byte adresse (48-bit) som ofte er lagret i nettverkskortet
  - MAC-adresse, brukes både på WiFi og Ethernet.
  - Hver *byte* representeres med en *heksadesimal* verdi: 07:01:02:01:2C:4B



Lag 1 – Det fysiske laget

- **Signalrepresentasjonen av bits:**
- Sørger for at 1-bit også blir mottatt som 1-bit (og ikke et 0-bit)
- Mekanikk: Koblingstype, kabler/medium,..
- Elektronikk: Spenning, bit-lengde,..
- Formelle regler for kommunikasjon:
  - Enveis (unidirectional) – half-duplex
  - Toveis (bidirectional) – full-duplex
  - *Hva skal markere starten og slutten på overføringer*

– Eksempler: RS-232-C, 1000BASE-X

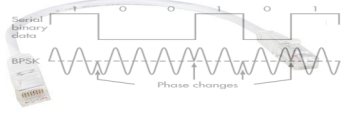


Repetisjon:

Lagene i Internett (TCP/IP referansemodellen)





Applikasjonslag	**http://www.uio.no**		Applikasjonslag
Transportlag	**192.168.1.5:80**		Transportlag
Nettverkslag	**192.168.1.5**	Nettverkslag	Nettverkslag
Linklag	**A1:B2:C3:D4:E5:F6**	Linklag	Linklag
Fysiske lag		Fysiske lag	Fysiske lag





Ekstramateriale:

- *Bøker og artikler:*
  - Andrew S. Tanenbaum: Computer Networks (5th edition), 2010. Prentice Hall International Edition
  - James F. Kurose, Keith W. Ross: Computer Networking: A Top-Down Approach (6th edition), 2012. Pearson
  - TCP/IP modellen: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_protocol_suite