



UiO : **Institutt for informatikk**

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

IN1020 - Introduksjon til datateknologi

Forelesning – 19.10.2018

Historien om datanettverk

Håkon Kvale Stensland & Andreas Petlund



simula



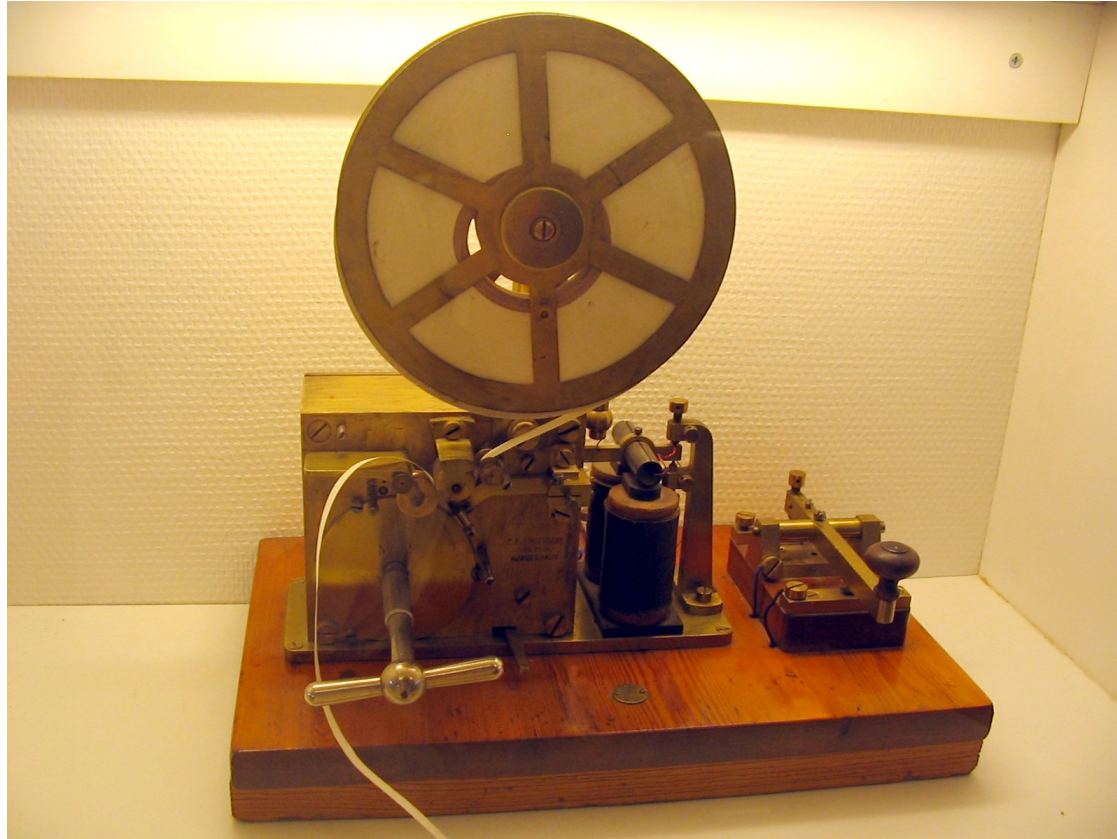
Plan for ”nettverksdelen” av IN1020

- *21. september – Kryptering til hverdags og fest*
- **19. oktober – Historien til datanettverk**
Lagdeling i Internettarkitekturen
- 24. oktober – Lagene i Internett spiller sammen (*Presentasjon av Oblig 3*)
- 26. oktober – Lagene i Internett spiller sammen
- 31. oktober – Pustepause: Spørsmål & repetisjon om datanettverk
- 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

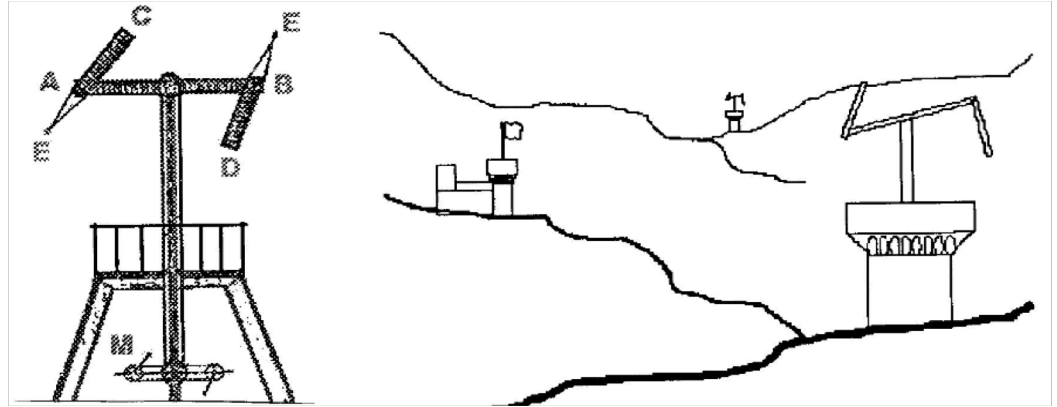
Telegraf



... før telegrafen

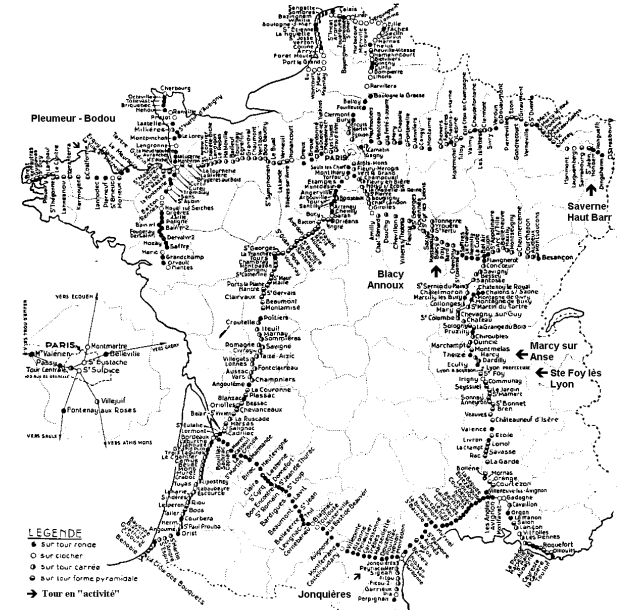
A	B	C	D	E	F
G	H	I	K	L	M
N	O	P	Q	R	S
T	U	V	W	X	Y
Z	&	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10

Chappe-Code



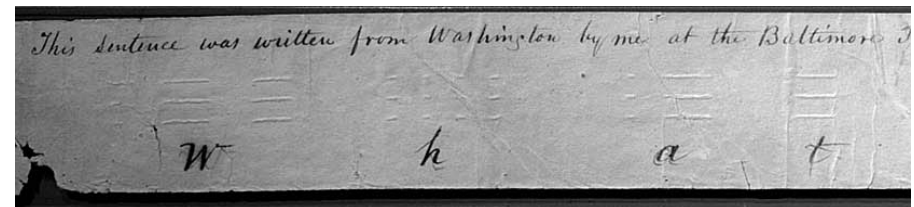
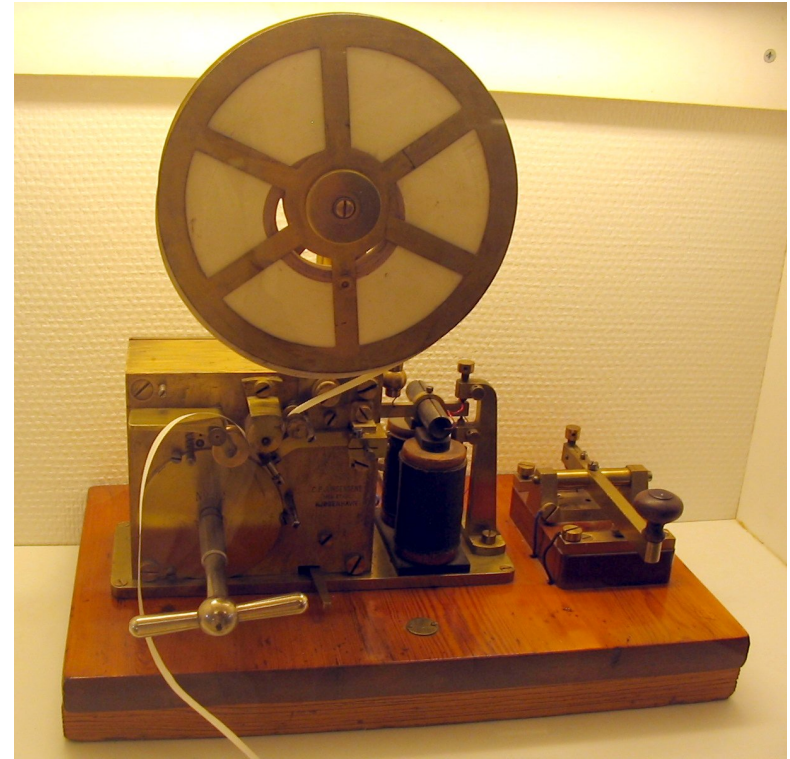
1791: Semafor-telegraf (Claude Chappe)

- 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?



Morse-telegraf

Telegrafnettverk i USA - 1916

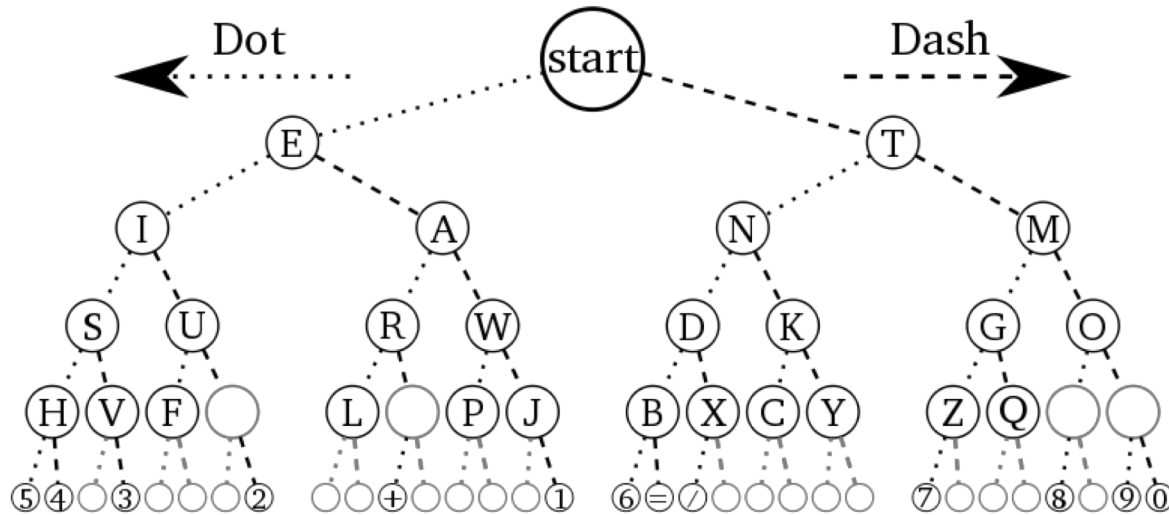
- Likheter med dagens Internett?
- Signalkoding
- Type switching
 - Pakke?
 - Beskjed?
 - Linje?
- Type tjeneste
 - Tilkoblingsorientert?
 - Tilkoblingsløst?
- Rutere



Morse-telegraf

Morsekode

- Variabel lengde
- Kortere kode for oftere brukte bokstaver



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

Sorteringens opprinnelse var sorteringen til typografene i boktrykkeriene

Morse-telegraf

Morsekode:

- Var mer komplekst i starten
- Selvsagt flere språk...

dit

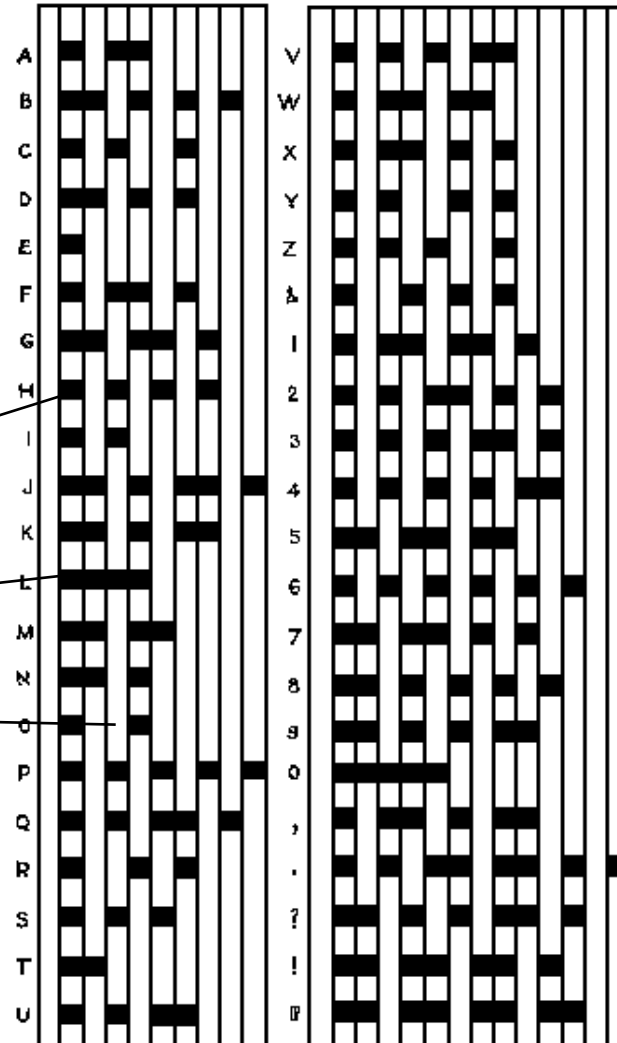
dah

gap

- Spesialkode for:

- Start
- Stopp

- Nødsignal: **••• - - - •••**



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:

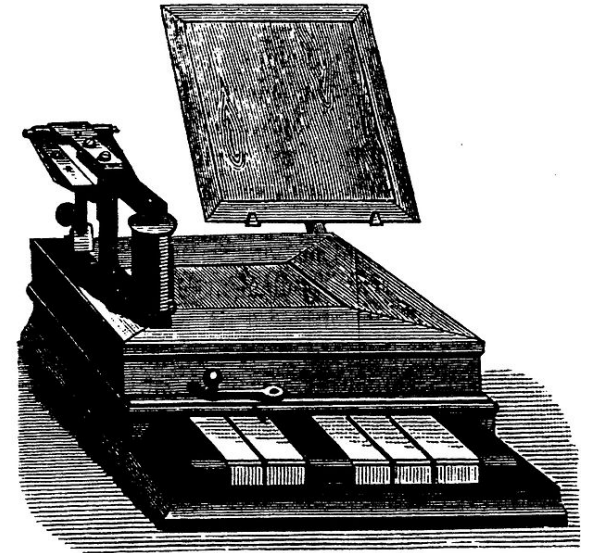
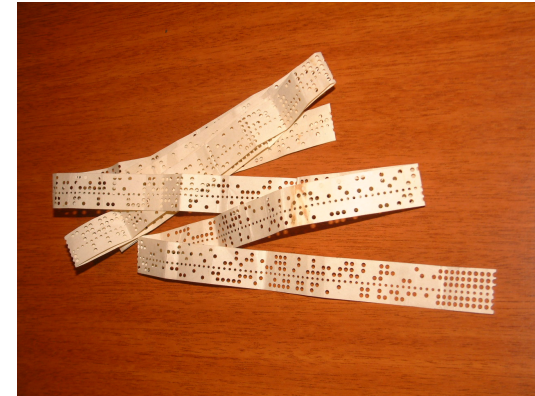
- Tidsmultipleksing.
- Flere telegrafer på samme linje.

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

V	IV		I	II	III	V	IV		I	II	III
		A /	●			●	●	P. %	●	●	●
	●	B 8			●	●	●	Q /	●		●
	●	C 9	●		●	●	●	R -			●
	●	D 0	●	●	●	●		S ;			●
		E 2		●		●		T !	●		●
		E &	●	●				U 4	●		●
	●	F E		●	●	●		V '	●	●	●
	●	G 7		●		●		W ?		●	●
	●	H H	●	●		●		X ,		●	
		I 0		●	●			Y 3			●
	●	J 6	●			●		Z :	●	●	
●	●	K (●			●		E .	●		
●	●	L =	●	●		●	●	* *	Erasure		
●	●	M)		●			●	Figure Blank			
●	●	N N°		●	●	●		Letter Blank			
		O 5	●	●	●						

Telefon



Telefoni

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

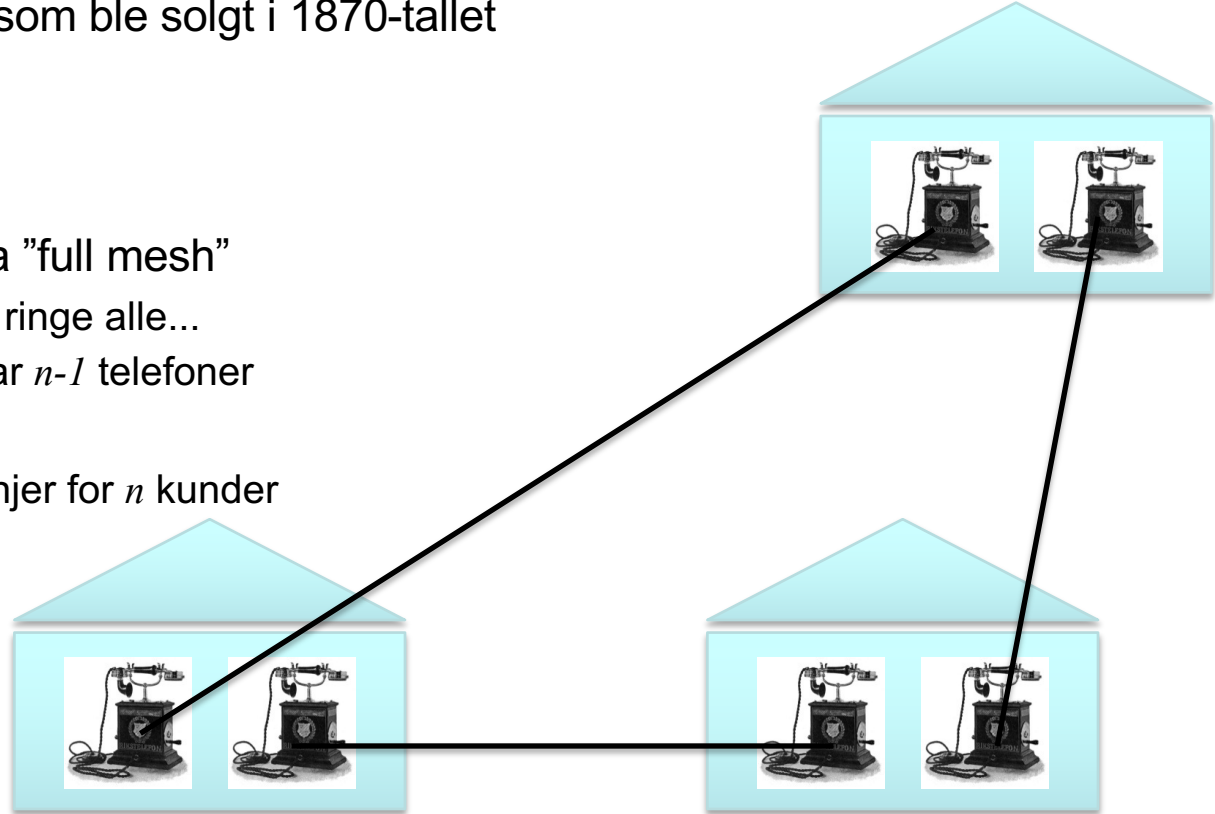
- Dedikert linje

Hvis vi går ut i fra "full mesh"

- Alle skal kunne ringe alle...
→ Hver kunde har $n-1$ telefoner

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

Skalerbart?



Telefoni

Bildekilde: Wikimedia Commons

Sentralbord (switch)

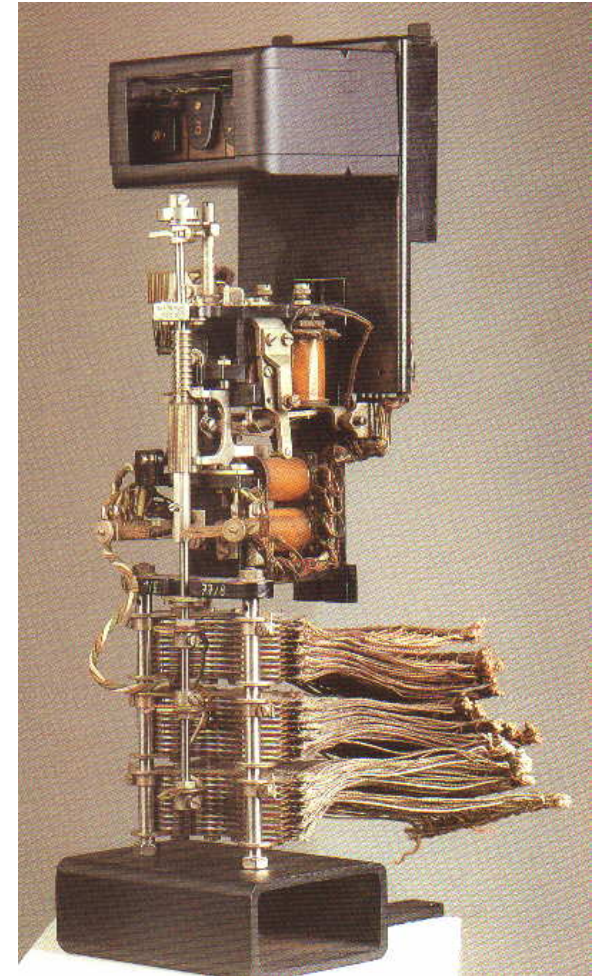
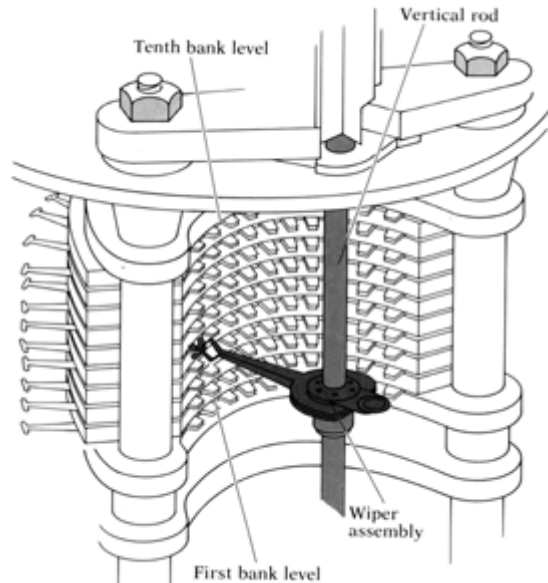
- Linje fra hver telefon til et sentralbord
- Kunne være lange avstander mellom sentralbord
- Først manuelt operert
- Komplexitet?
 - Antall telefoner?
 - Antall linjer?
- Det grunnleggende prinsippet med "sentral" brukes fremdeles i dag.



Telefoni

Strowger switcher automatiserte telefonsentralene

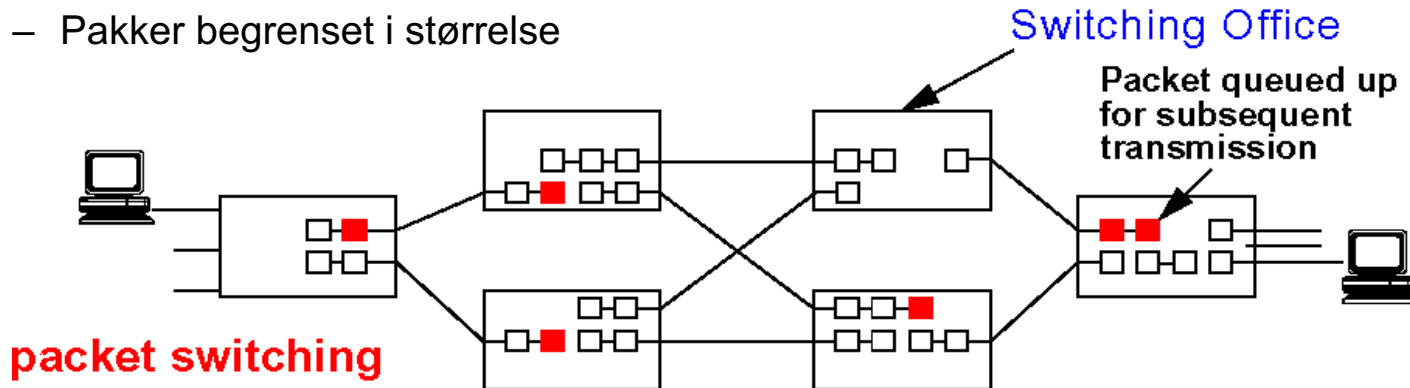
- «*Stepping switch*» med to graders frihet
- Hierarkisk brukt med nasjonal & by-kode.



Telegraf versus Telefoni

Telegrafnettverk:

- "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"

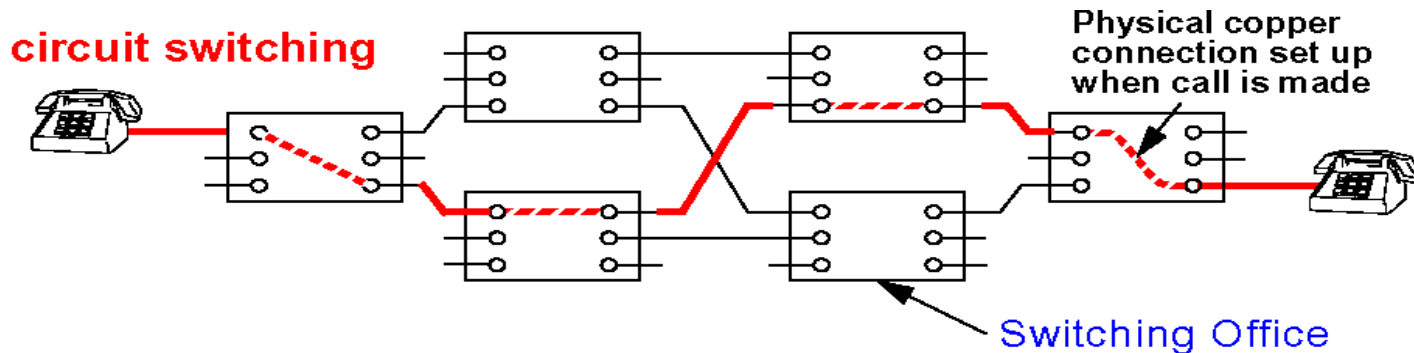
- Dedikert linje mellom "sender" og "mottaker"
- Reservert "eksklusivt" for hele samtalen / oppkoblingen

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.



Internett

- Interface Message Processor (IMP)
 - ARPANET ruter

Bildekilde: Wikimedia Commons



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.*

- 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.

Hadde blitt gjort før

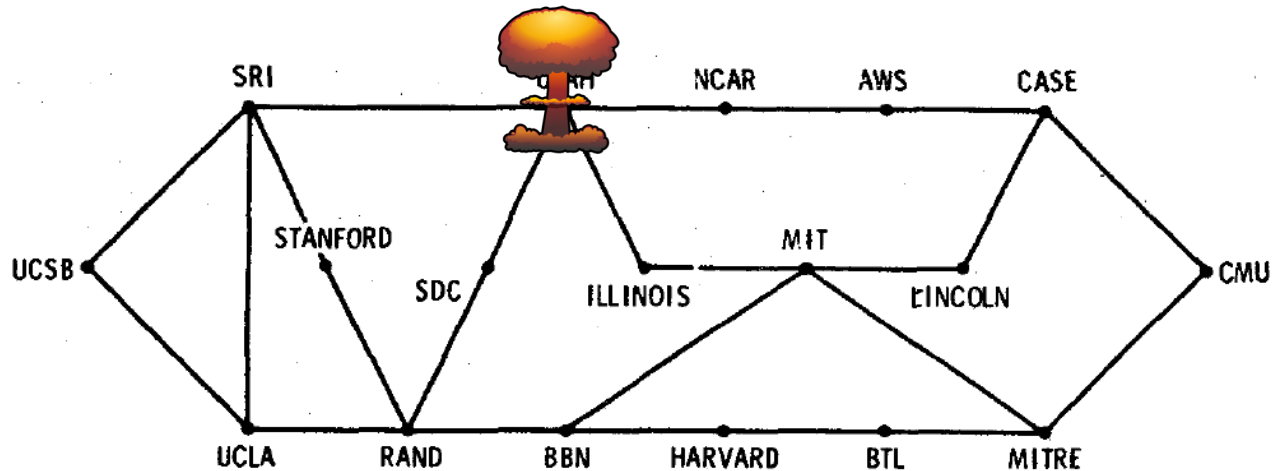
Utvidede mål for
ARPANET i
heterogene miljøer

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

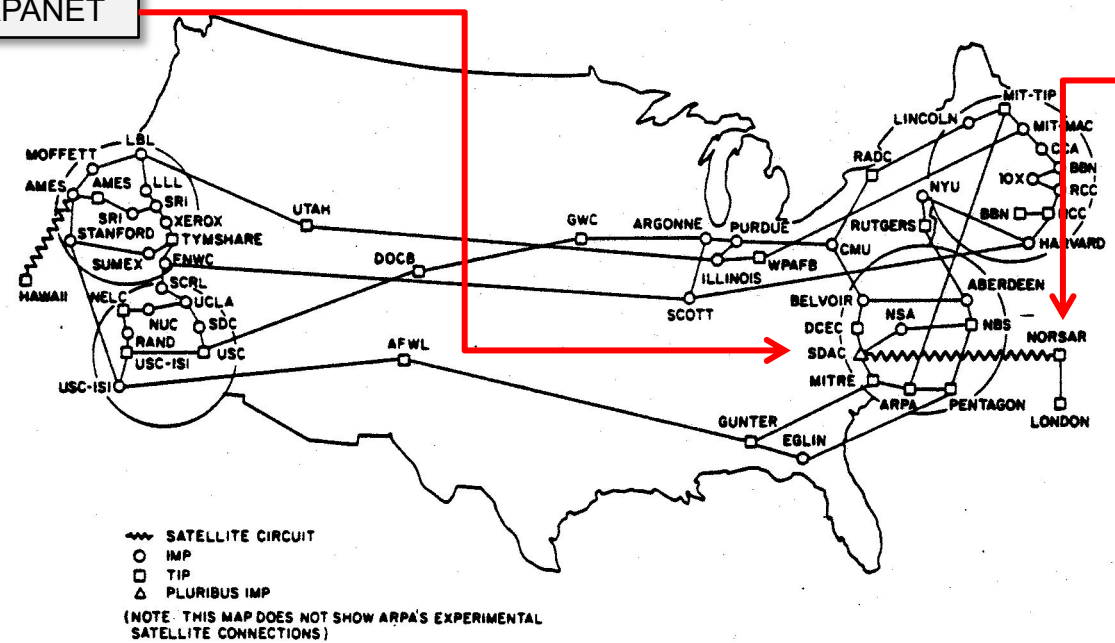


ARPANET

Kjeller, Norge
Samme bygning som UNIK

Norge var første tilkobling utenfor USA.

Første satellitt link i ARPANET



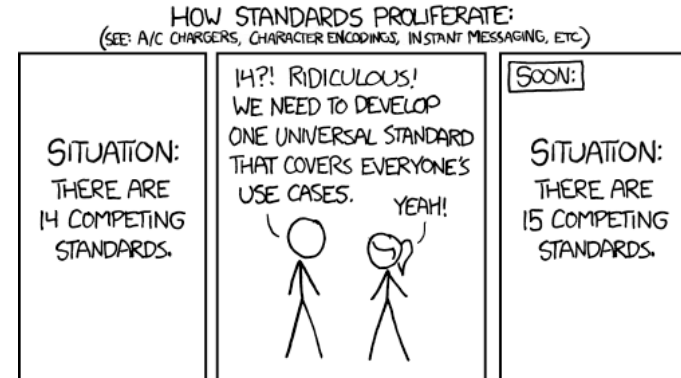
Standardisering (1969 og utover)

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 tilfredsstillere 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

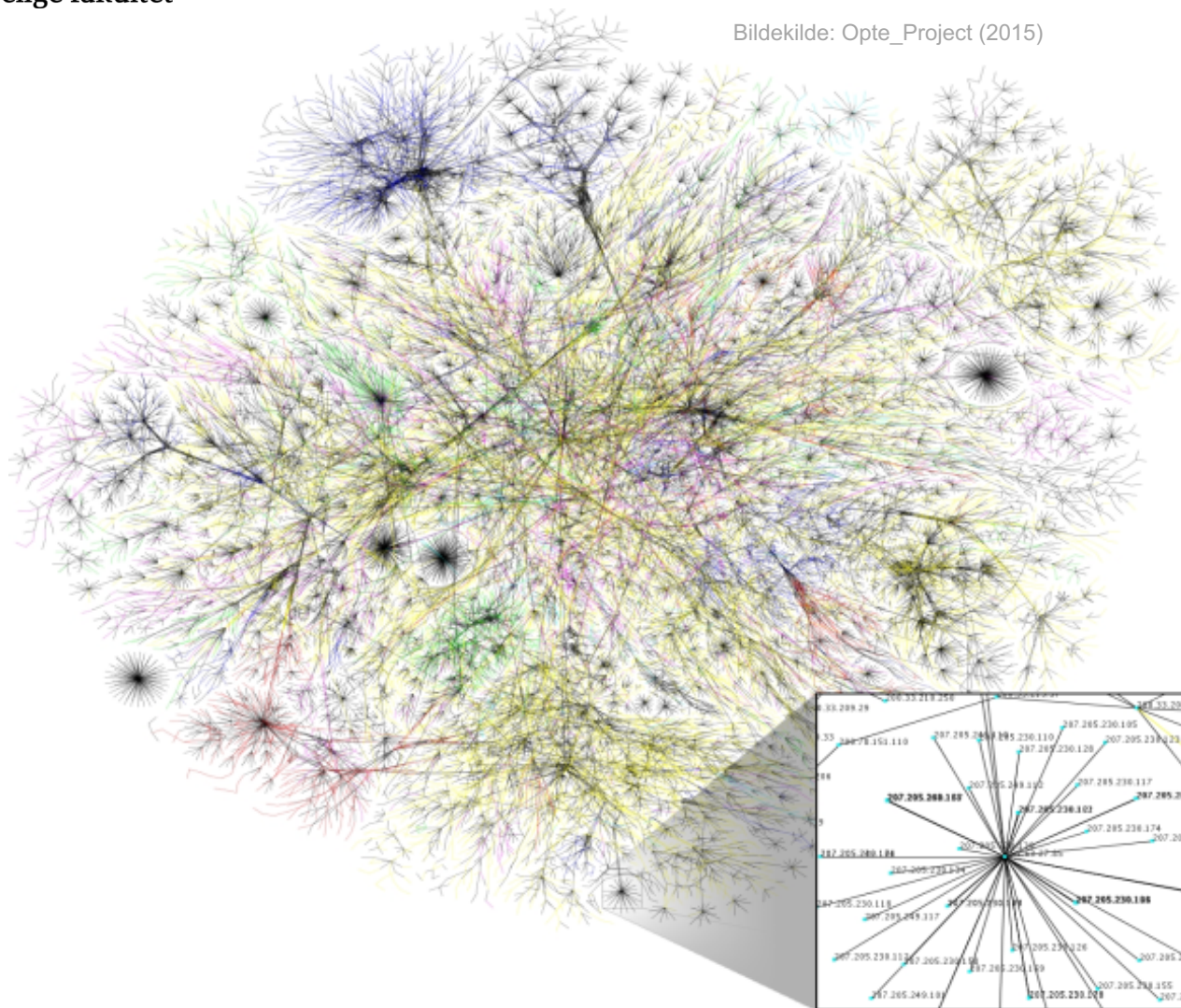
– SMS

Web

Peer-to-Peer

Applikasjoner:

- Web-tjenester.
- Streaming-tjenester.
- ...
- Sosiale nettverk.
- Twitter.
- Snapchat.
- ...



Andre typer nettverk

- **Trådløse nettverk (WLAN):**
 - Standardiseringen av 802.11 startet i 1997.
 - Båndbredde mellom *1 og 2 Mbit per sekund*
 - 2017: 802.11ad opp til *6,7 Gbit per sekund*
 - 2019: 802.11ax opp til *11 Gbit per sekund (WiFi 6)*
 - Utfordring å finne ledige og åpne frekvensbånd i hele verden
 - Linklaget bygget for å være kompatibelt med Ethernet.
 - Sikkerhet har alltid vært en stor utfordring: WEP, WPA, WPA2 og WPA3
- Mobilnettverk har vært igjennom like stor utvikling, med flere konkurrerende standarder.



Andre typer nettverk: Interconnect

- Høyhastighets nettverk for å koble sammen maskiner
 - Industrien har aldri klart å bli enige om en standard slik som Internett
 - Populære standarder: InfiniBand, Omni-Path, PCI Express, etc.
 - Ekstremt høy båndbredde, og lav latens.
 - Typisk over 10 GB per sekund og under 1 millisekund fra ende-til-ende
- Dolphin Interconnect Solutions
 - Norsk selskap, eksistert i 25 år.
 - Startet som et spin-off fra Norsk Data i 1992.
 - Deltatt i standardiseringen av SCI (Scalable Coherent Interface)
 - Lager nå hardware basert på PCI Express.



Ekstreme nettverk: NASA Deep Space Network

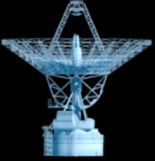

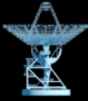

Utfordring: Konstant kommunikasjon med satellitter og rovere sendt til fjerne planer og ut av solsystemet

- 3 Lokasjoner rundt i verden: USA, Spania og Australia
 - Startet i 1958
 - Apollo-programmet var ett av de første oppdragene
 - Brukes også til Mars rovere (Opportunity, Curiosity)
- Hvordan kommunisere med *Voyager 1* over 18 milliarder kilometer unna
 - 70 meters antenner
 - 32 bit/s datarate (batteri varer til 2025)
 - Signalene bruker 19 timer til jorden

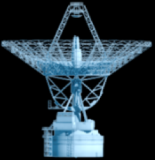






Jet Propulsion Laboratory | California Institute of Technology
DEEP SPACE NETWORK NOW LAST UPDATED: OCT 31 8:26 PM (UTC) [DSN home](#) [?](#)



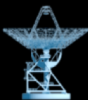
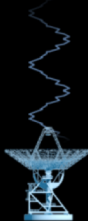
MADRID OCT 31 10:30 PM

VGR1	LRO	CHDR		
				
63	65	54	55	

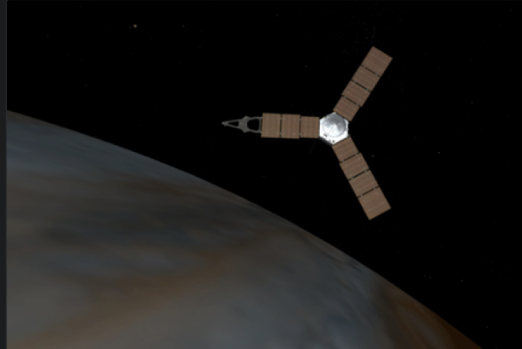
GOLDSTONE OCT 31 2:30 PM

STF	SOHO	JNO	ORX	DSS
				
14	15	24	25	26

CANBERRA NOV 1 8:30 AM

	MVN MEX	M010 MRO	M010
			
43	34	35	36

TARGET JUNO



[VIEW ANTENNA](#) [VIEW SPACECRAFT](#) [VIEW WORLD MAP](#)

JNO

- 7.15 GHz
- POWER TRANSMITTED: 17.96 kW
- DOWN SIGNAL
- SOURCE: JUNO
- TYPE: DATA
- DATA RATE: 4.01 kb/sec
- FREQUENCY: 8.40 GHz
- POWER RECEIVED: -135.06 dBm (3.12 x 10⁻²⁰ kW)

[less detail](#) [credits](#) [contact us](#)

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