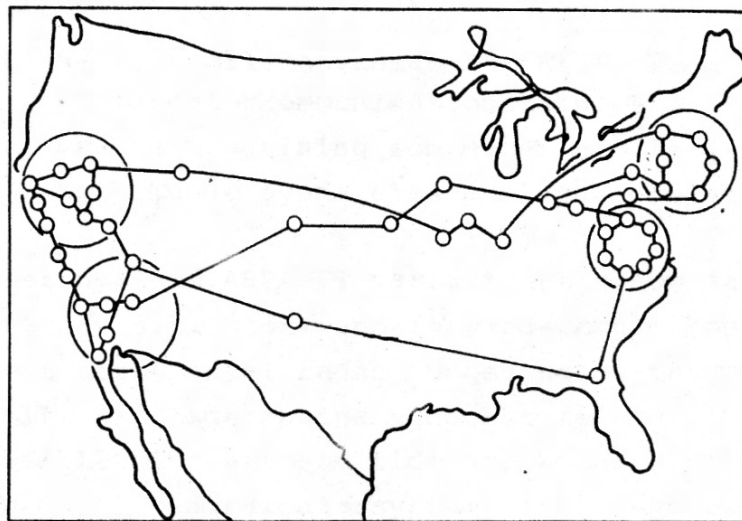


A R P A N E T
=====

a v

S t e f a n
J o h a n s s o n '



H I S T O R I A

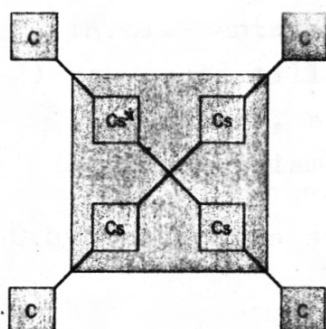
The Advanced Research Projects Agency (ARPA) arbetar under USA:s försvarsdepartement. Det startades för att stödja alla sorts avancerade projekt, som en följd av Sovjets uppskjutning av den första Sputniken.

Ett område som förväntades nå snabba resultat var datatekniken. Några exempel på dataprojekt som ARPA stött: Project MAC vid Massachusetts Institute of Technology (MIT) och ILLIAC IV vid University of Illinois. 1973 gav ARPA sitt stöd till ca 20 dataprojekt.

1966 började man vid MIT, i samarbete med System Development Corporation, att göra experiment med att koppla ihop två datorer. På basis av dessa resultat föreslog man ett nät som skulle koppla ihop de centra där ARPA-stödda projekt pågick. Man satte upp två huvudmål med detta nät, som så småningom kom att kallas ARPANET:

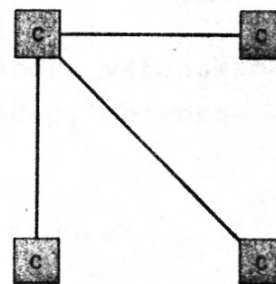
- 1) Nätet skulle användas för att utveckla och testa datorkommunikationstekniker.
- 2) Den resursdelning som nätet skulle ge upphov till kunde gynna alla anslutna projektcentra.

Det nya med ARPANET var att det genom att använda sig av s.k. Store-and-forward-teknik kopplade ihop ett stort antal redan fungerande datasystem, som till sig hade knutna egna nät med terminaler, i stället för att som tidigare koppla ihop terminaler med ett centraldatorsystem, stjärn-modellen.



Store-and-forward

*Computer switch



Stjärna

Lawrence G. Roberts föreslog att ARPANET skulle använda sig av 2,4 kBd:s datalänkar, men efter bl.a. teoretiska studier vid National Physical Laboratory i Storbritannien, beslöt man sig för att använda sig av betydligt högre överföringshastighet på de länkar som förband forskningscentrumen. Man bestämde sig för 50 kBd.

För att kunna använda så hög överföringshastighet fick man ta till s.k. Packet Switching, mer härom längre fram. Med denna teknik har man lyckats er-hålla en överföringstid kust-till-kust på ca 0,1 s.

Från början bestod ARPANET av huvudsakligen två delar:

- 1) Ett nätverk av databehandlingssystem (s.k. HOSTs)
- 2) Ett kommunikationsnätverk, avslutade med Packet Switching nod-datorer (s.k. IMPs)

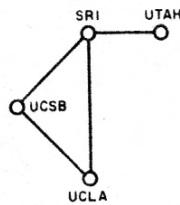
I augusti 1971 introducerades en ny nod-dator (TIP) så att terminaler utan HOST-system skulle kunna an-slutas till ARPANET, vilket blev mycket billigare än att bygga upp egna HOSTs.

U T B Y G G N A D

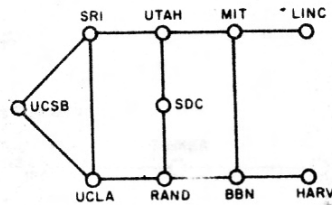
Man kan urskilja två faser i ARPANETs utbyggnad:

- 1) Inledande forskning och experiment. Under denna fas anslöts huvudsakligen centra med datorforsk-ning på programmet. Detta innebar centra som sysslade med datorsystems arkitektur, design av informationssystem, informationsbehandling, intelligenta system och datornät.
- 2) Utbyggnad till att omfatta även andra vetenskap-liga centra, såsom beteendevetenskap, meteoro-logi och seismologi.

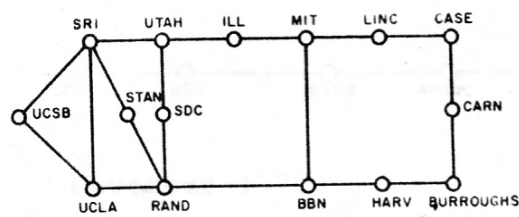
Utbyggnaden kan studeras i följande figurer.



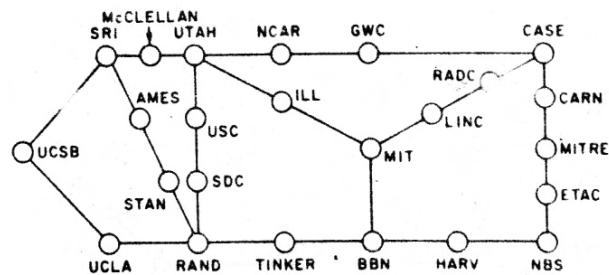
Januari 1969



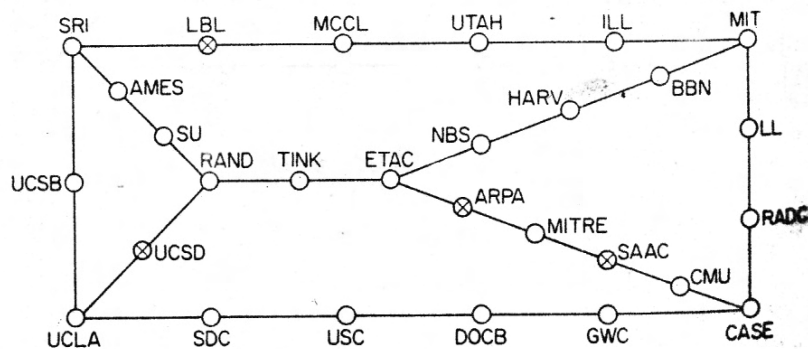
Januari 1970



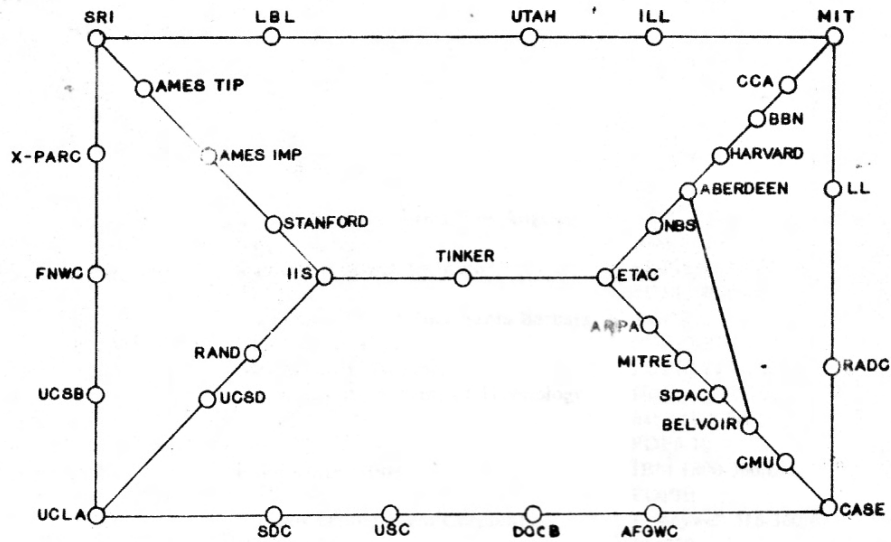
Januari 1971



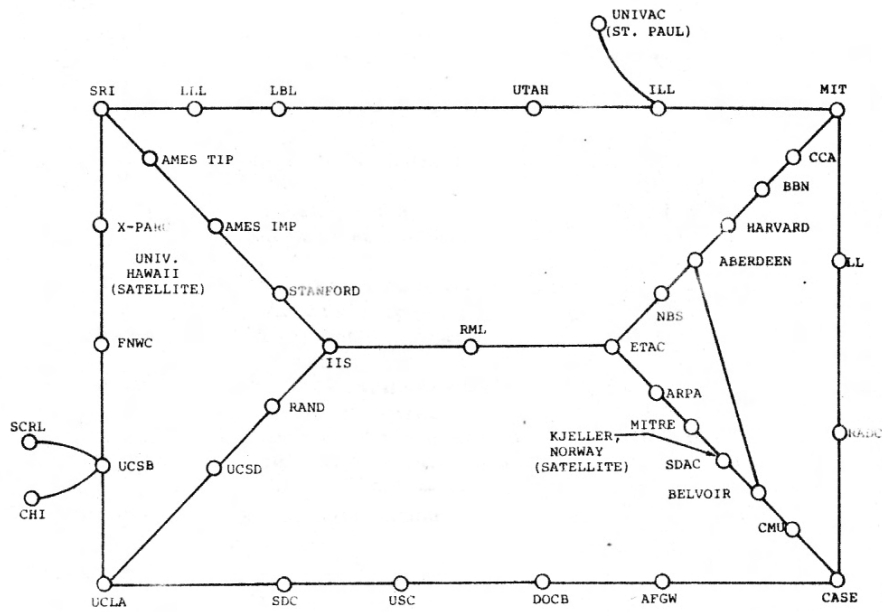
Januari 1972



April 1972



November 1972



Mars 1973

Som synes i nedanstående tabell från 1972 är det många olika datorsystem som används i ARPANET.

UCLA	University of California, Los Angeles	XDS Sigma 7 IBM 360/91
SRI	Stanford Research Institute	PDP10/TENEX PDP15-PDP10
UCSB	University of California, Santa Barbara	360/75
UTAH	University of Utah	PDP10-PDP10-Univac 1108
BBN	Bolt Beranek Newman	PDP10/TENEX
MIT	Massachusetts Institute of Technology	Honeywell (GE) 645/MULTICS PDP6/10
RAND	Rand Corporation	IBM 1800-360/65 PDP10
SDC	Systems Development Corporation	Honeywell 516-360/67
HARVARD	Harvard University	PDP10 PDP1 PDP11 360/67 TX2
LINCOLN	Lincoln Laboratory, MIT	PDP6/10
STANFORD	Artificial Intelligence Project, Stanford University	PDP11
ILLINOIS	University of Illinois	Burroughs 6500 PDP10
CASE	Case Western Reserve	PDP10
CMU	Carnegie-Mellon University	PDP10
PAOLI	Burroughs Corporation	PDP11-B6500-ILLIAC
AMES	Ames Research Center, NASA	TIP ^a 360/67
RADC	Rome Air Development Center	TIP ^a Honeywell (GE) 635
MITRE	Mitre Corporation	TIP ^a
NBS	National Bureau of Standards	TIP ^a PDP11
ETAC	Environmental Technical Applications Air Weather Service	TIP ^a
DOCB	Department of Commerce, Boulder	TIP ^a
AFGWC	AF Global Weather Central, Air Weather Service	TIP ^a
SAAMA	Sacramento Air Material Area	Univac 418
OCAMA	Oklahoma Air Material Area	Univac 418

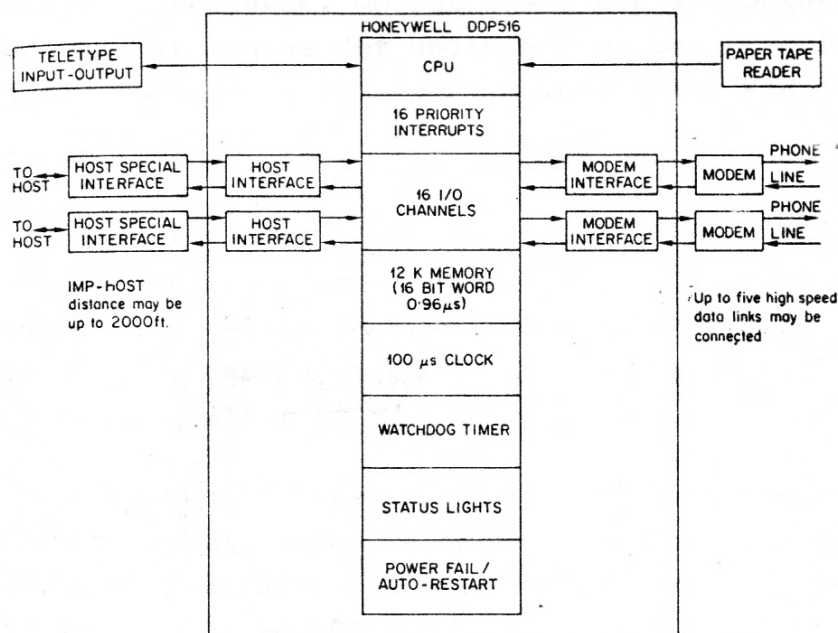
^aHoneywell 316 Terminal Concentrator.

ARPANET har visat sig mycket effektivt för att koordinera forskning mellan hopkopplade centra. På varje centrum utvecklar man ständigt ny teknik för att kunna dra ännu större nytta av ARPANET.

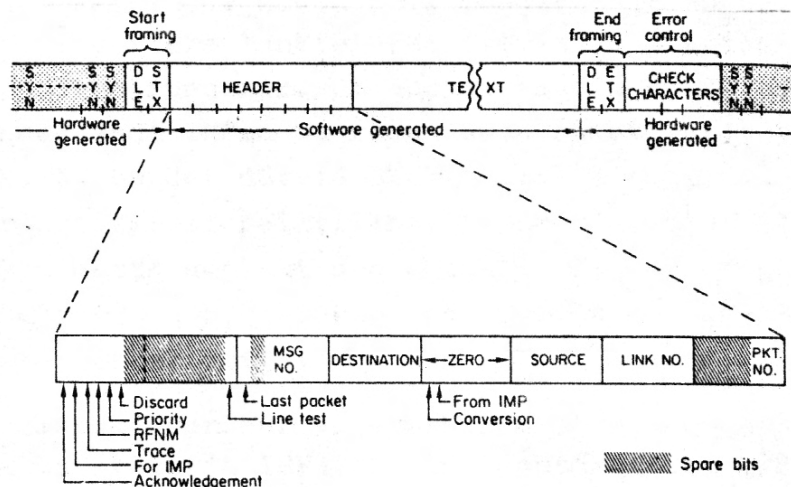
Som jag tidigare nämnt användes 50 kBd full duplex telefonledningar för att knyta centrumen till varandra. Mellan NASA:s två centra i Californien (AMES & AMST) är överförings-hastigheten t.o.m. så hög som 230,4 kBd. Via en 50 kBd:s satellitledning står man i kontakt med Aloha på Hawaii och via en 7,2 kBd:s satellitledning med Europa, där bl.a. Kjellern, Norges FOA, är inkopplade. På sidan 12 finns en skiss över nätets uppbyggnad.

I M P

Transmissionsledningarna är avslutade med s.k. Interface Message Processors (IMPs). Uppdraget att konstruera dessa gavs åt Bolt, Beranek & Newman (BBN) i Cambridge, Massachusetts. De använde sig därvid av Honeywells minidatorer DDP516 med data enligt följande figur.



Till en IMP kan anslutas maximalt 4 HOSTs. Meddelanden mellan HOSTs och IMPs kan högst bestå av 8095 bitar. Av dessa utgör 32 bitar den adress till vilken meddelandet skall sändas. Genom Packet Switching delas varje meddelande upp i s.k. paket om högst 1008 bitar. Till detta paket adderas sedan en cyklisk checksumma. Med denna checksumma har man fått ned intensiteten av upptäckta bitfel till 10^{-12} , eller ca 1 bit fel per år.



Ett pakets organisation

Transmissionen från sändare till mottagare tillgår enligt ett s.k. Store and Forward-system. När en IMP mottager ett paket från en annan IMP gör den först en felcheck. Om det visar sig att paketet är oskadat lagras det undan och en positiv signal sänds tillbaka till sändande IMP. Denna kan då sätta den minnesarea (primärminne) som paketet upptog. Om felchecken blir negativ, det tar för lång tid för svar eller att mottagande IMP vägrar att ta emot paketet, sänds paketet i stället en annan väg. Mellan IMP:erna finns det multipelledningar, varför vi kan användas oss av en ny ledning eller gå via en annan IMP.

När paketet väl har accepterats har mottagande IMP att avkoda adressen för att avgöra om paketet skall sändas vidare till en ny IMP eller om det är ämnat till en HOST som ligger under IMP:en ifråga. Om paketet skall sändas vidare läggs det upp i en kö för utgående meddelanden tillsammans med de utgående meddelandena från de lokala HOST:erna.

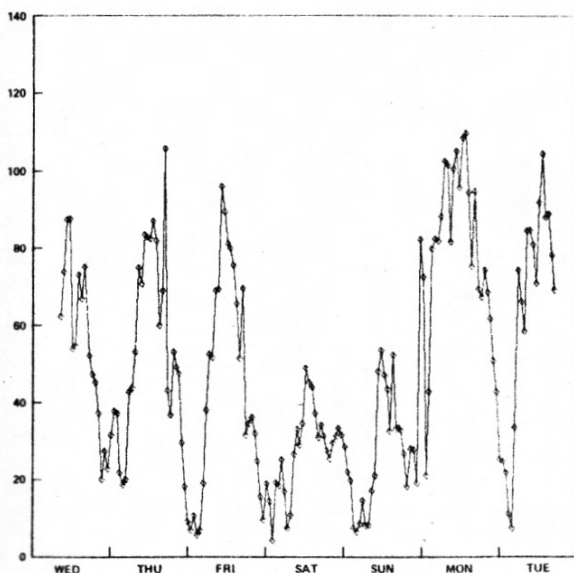
Om paketet är adresserat till en lokal HOST kollar IMP:en om alla paket i meddelandet har anlänt, och om så är fallet sätter IMP:en ihop paketen i rätt ordning och levererar meddelandet till rätt HOST.

Men IMParna har också till uppgift att upptäcka och rapportera länkfel samt samla in statistik över hur nätet fungerar. Om normal trafik ej förekommer sänder ändå IMPen ut redundanta paket varje halvsekund. Om det därvid skulle visa sig att vi inte får positiv signal tillbaka inom viss tid tolkar IMPen detta som att den aktuella länken är satt ur funktion och bygger upp sina fortsatta sändningsrutter efter detta.

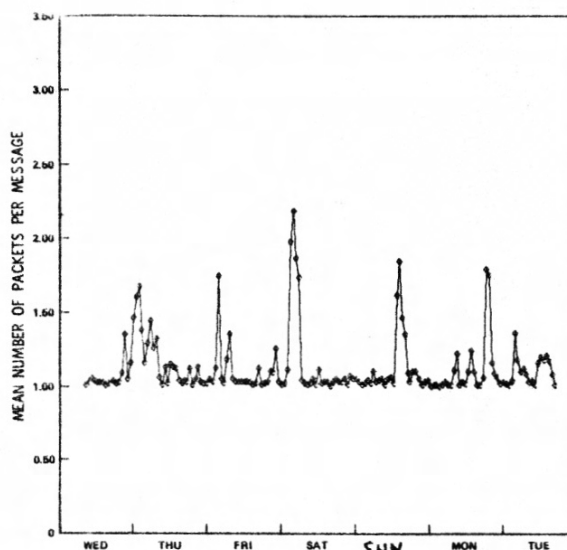
Statistik över hur väl förbindelserna fungerar insamlas av varje IMP och sänds automatiskt vidare till en HOST för analys. Denna kan med hjälp av dessa uppgifter ställa upp en prognos över hur hela nätet fungerar.

En fin sak med ARPANET är möjligheten att i varje paket lagra en s.k. trace bit. Om paketet innehåller sådan så noterar IMPen när paketet kom, i vilka köer det läggs in, hur länge det får vänta i kö och när det lämnar IMPen. Även dessa uppgifter sänds till en HOST för utvärdering. Härigenom får man en detaljerad bild av hur nätet behandlar meddelanden.

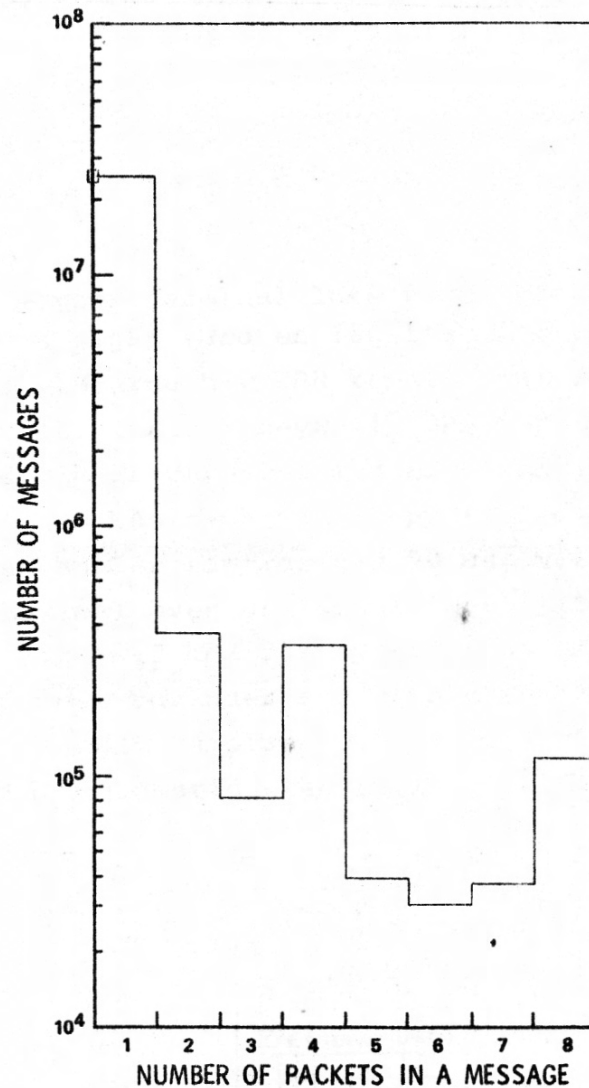
Följande diagram visar mätningar gjorda på ARPANETs uppförande, de tre första gjorda en vecka i augusti 1973.



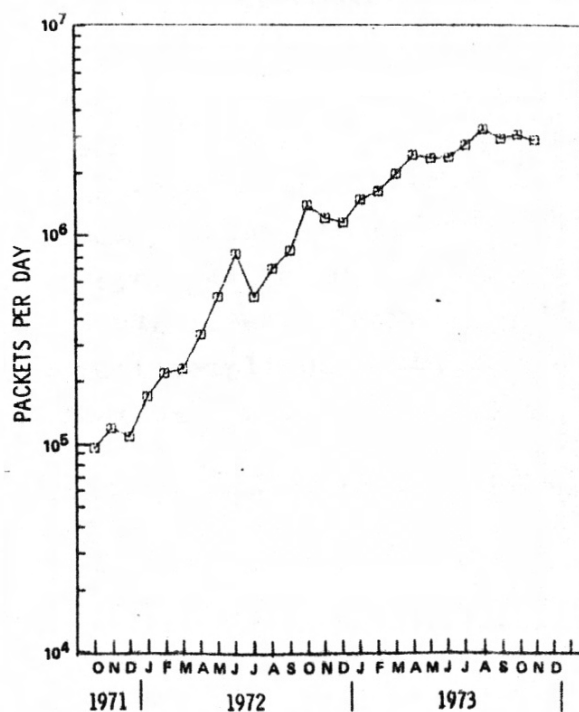
Antal av HOST genererade meddelanden per sekund



Antal paket per meddelande i medeltal



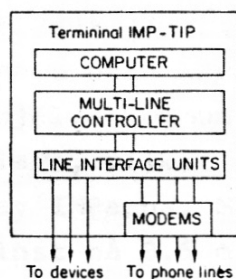
Antal paket i meddelandena



Antal paket per dag under en dryg tvåårsperiod

T I P

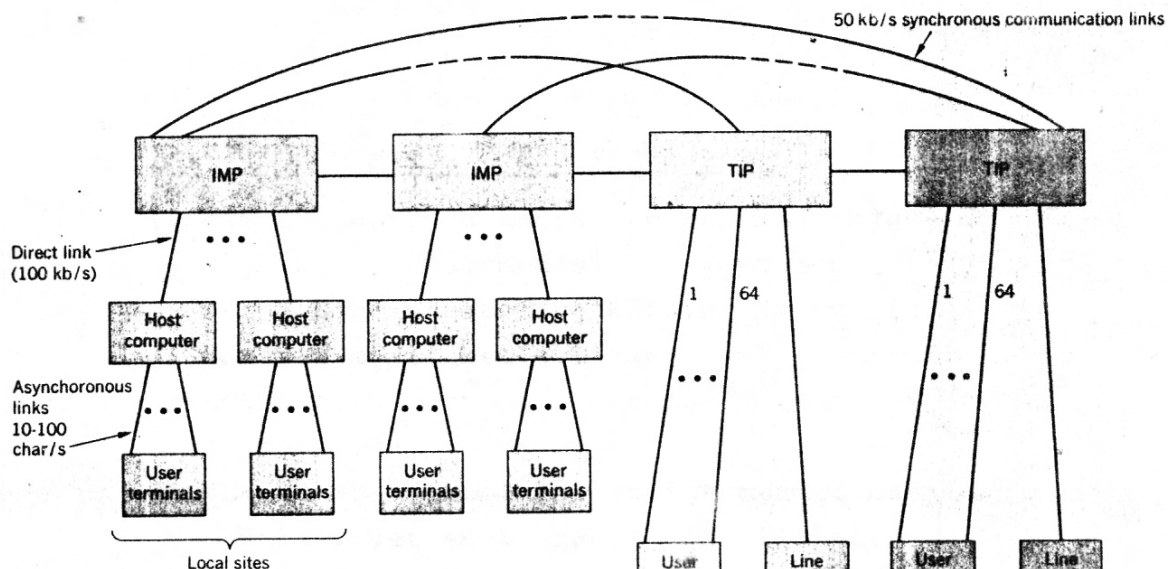
TIP betyder Terminal Interface Processor, och den kan sägas vara en lågeffektvariant av en IMP. Liksom IMParna har BBN konstruerat TIPs. De har då utgått ifrån Honeywell DDP316-datorer. Varje TIP är utrustad med en Multiline Controller (MLC) som kan ta hand om upp till 64 kanaler. Dessa kanaler samplas var 50 μ s, vilket medför att maximal överföringshastighet till/från en TIP blir 19,2 kBd för synkrona data. Asynkront dataformat använder sig av start- och stoppbitar. Varje tecken samplas då 8 gånger, vilket nedsätter överföringshastigheten till 2,4 kBd.



En TIP i
genomskäring

Många olika typer av terminaler kan anslutas till en TIP. Detta är möjligt eftersom varje terminal genererar en karakteristik specifik för just denna terminaltyp. MLC samplar snabbt denna IK och genererar själv ett bitmönster som identifierar terminalen för TIPen. TIPens mjukvara ser därefter till att rätt samplingshastighet används liksom rätt kodöversättning.

TIPs används på 1/3 av alla centra.



Skiss över ARPANETs uppbyggnad

K O S T N A D E R

1973 beräknades årskostnaden för databehandlingen till 2 miljoner dollars. Som synes i nedanstående tabell är detta endast 1/3 av kostnaden för motsvarande utnyttjande utan ARPANET. Dock skall här påpekas att själva kommunikationsnätet kostar 3,5 miljoner dollars, vilket främst hänför sig till amortering av IMParna. Men totalt blir det i alla fall en vinst på 0,5 miljon dollars.

I. Computer resource usage within ARPANET*

User Organization	Activity	Remote Usage, in thousands	Projected Cost for Local Replacement, in thousands
University of Illinois	Parallel processing research	\$ 360	\$1100
NASA Ames Research Center	Air foil design and ILLIAC	328	570
Rand Corporation	Numerical climate modeling	210	650
Mass. Computer Associates	ILLIAC IV compiler development	151	470
Lawrence Livermore Laboratory	TENSOR code on ILLIAC	94	370
Stanford University	Artificial intelligence research	91	180
Rome Air Development Center	Text manipulation and resource evaluation	81	450
ARPA	On-line management	77	370
Seismic Array Analysis Center	Seismic data processing	76	300
Mitre Corporation	Distributed file network research	60	240
National Bureau of Standards	Network research	58	200
Bolt Beranek & Newman Inc.	TENEX system support	55	80
Xerox Palo Alto Research Center	Computer science research	47	100
University of Southern California Image Processing Lab	Picture processing research	35	70
University of California, Los Angeles	Network measurement	28	90
Systems Control, Inc.	Signal processing research	23	70
University of California, Santa Barbara	Network research	22	70
U.S. Air Force Range Measurements Lab	ARPANET management	17	60
Institute for the Future	Teleconferencing research	13	40
Miscellaneous	Computer research	192	580
Total		\$2018	\$6060

*Annual remote computer usage cost is based on March 1973 data.

A N V Ä N D N I N G S O M R Å D E N

- 1) Man kan använda andra centras både mjuk- och hårdvara och därmed slippa köpa egna. Både batch och interactive körning är möjlig.
- 2) Man har möjlighet att hämta ett program i ett centrum och köra det på ett annat centrums dator.
- 3) "Mailbox"-system: Personliga meddelanden kan utbytas. Det sker snabbt och billigt.
- 4) Nätet kan användas för tvåvägs direktkommunikation och konferens mellan flera personer. I det senare fallet sänds ett meddelande till samtliga konferensdeltagare.
- 5) Möjligheter finns att använda andra centras program och baka in det i det egna program på samma sätt som en subrutin fungerar.
- 6) Stor databaser kan göras tillgängliga för många, exv. en 10^{11} -bits meteorologiska databas används av sex centra, liksom ILLIAC IV har byggt upp två 10^{12} -bitars direktadresserbara minnen.

F R A M T I D

Vid UCLA pågår en ständig uppföljning av hur ARPANETs kommunikationsnät fungerar eftersom man där är ansvarig för systemmodellen, medan man vid BBN kontinuerligt följer upp hur IMPs, TIPS och HOSTs fungerar. Resultatet av detta försöker man omsätta till att förbättra ARPANET.

Datorerna har ju växt mycket snabbt, och här har ARPANET fungerat som en katalysator för samarbete inom området. Även i framtiden räknar man med att ARPANET kommer att spela stor roll, då ständigt nya centra adderas till nätet. Sättet som nätet har byggts upp på tjänar som förebild för många liknande nät, eftersom man hela tiden har varit noga med att optimera nätkapaciteten.

R E F E R E N S E R

Abramson & Kuo: Computer Communication

Davies & Barber: Communication Networks for Computers

IEEE Spectrum 2/1974: p. 40-51

IEEE Transactions on Communications 7/1975: p. 732-740

Networks 2/1972: p. 135-166

3/1973: p. 135-171

3/1974: p. 213-239

AFIPS National Computer Conference 1974: p. 767-780

Kompendium i Teledatasystem, LiTH