

Kommunikation

Till sommarkursen Rymdteknik & Rymdfysik

Uppsala, 2005

Av Petrus Hyvönen

Innehåll

- Kommersiell satellitkommunikation
 - Marknad
 - Tillämpningar
- Satellitkommunikation
 - TM TC Ranging
 - CCSDS
- Kommunikationsteori
 - Länkbudget

Tillämpad satellitkommunikation

- Klarar stora avstånd
- Stora områden
- Lätt omfördelbar kapacitet
- Stor kommersiell marknad (~50 miljarder USD 2000)

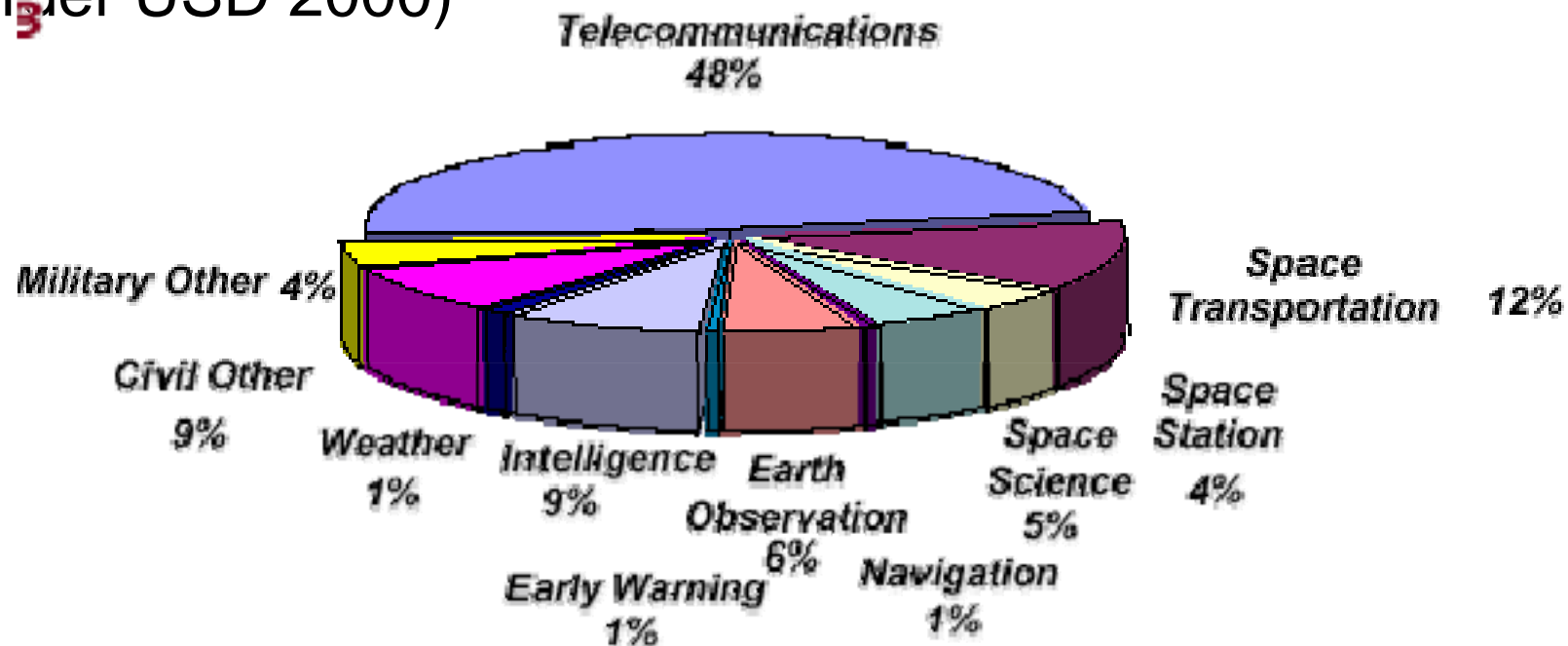


Figure: Futron market report 1997

Geostationär bana

- Först föreslagen av Arthur C. Clarke! 20 år senare – första telekomsatelliten
- Stilla relativt jordytan
 - Fasta konsumentinstallationer
 - Stor täckning

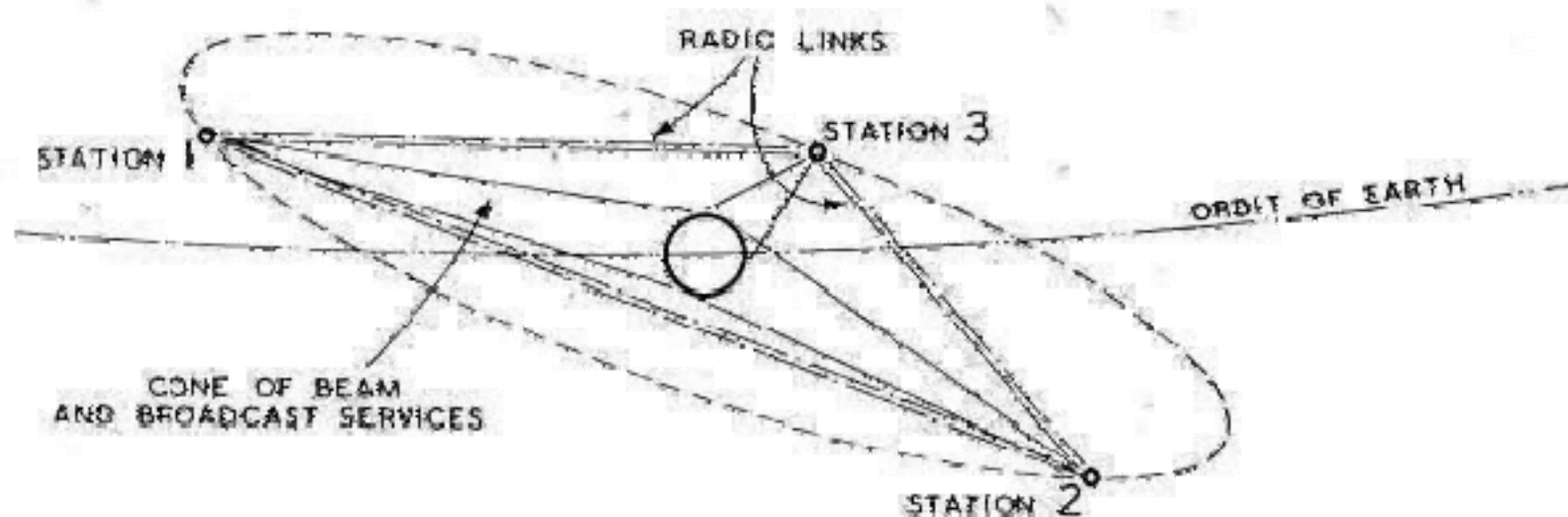


Fig. 3. Three satellite stations would ensure complete coverage of the globe.

Konsument-tjänster satellitkommunikation

- Analog TV
- Digital TV
- Video-on-Demand
- Digital Radio
- Internet via satellite

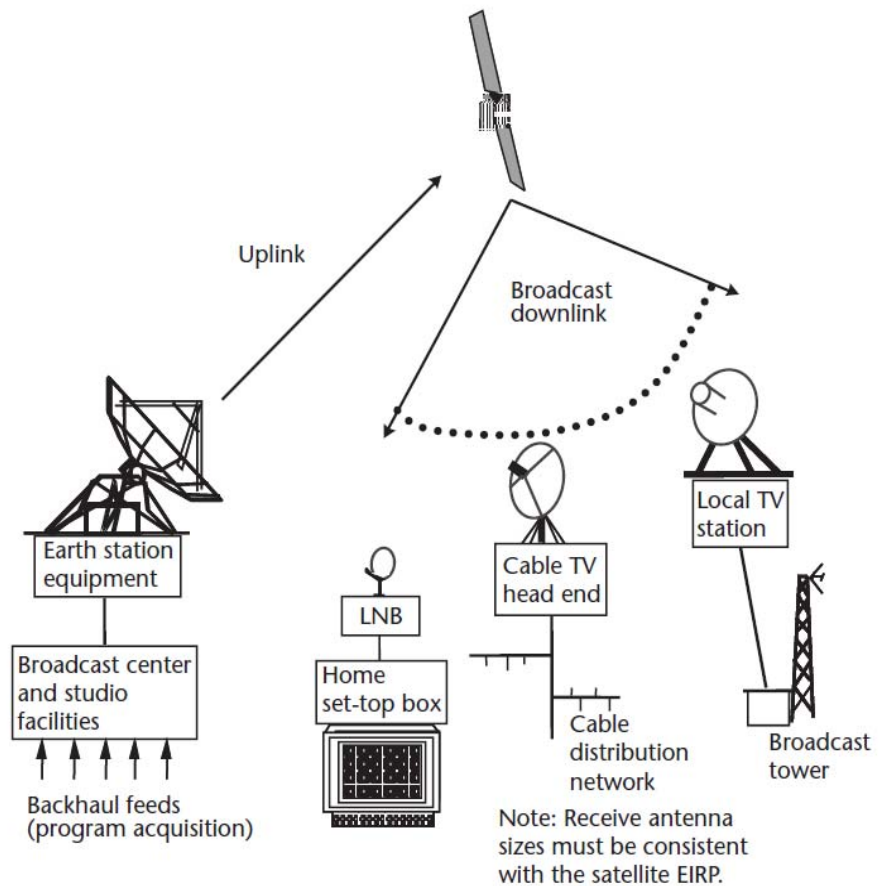


Figure 4.1 Framework for video distribution or direct broadcasting.

Satellitnavigation

- Position, hastighet, tid
- NAVSTAR GPS
 - Amerikanska försvaret
 - Gratis för civilt bruk
- GLONASS
 - Ryska försvaret
 - Problematisk drift
- Konstruerat för 24 navigationssatlliter vardera
- Militär kontroll – problem i civila tillämpningar
- Gallileo
 - Europeisk / Internationell motsvariget
 - Tänkbart stort kommersiellt område

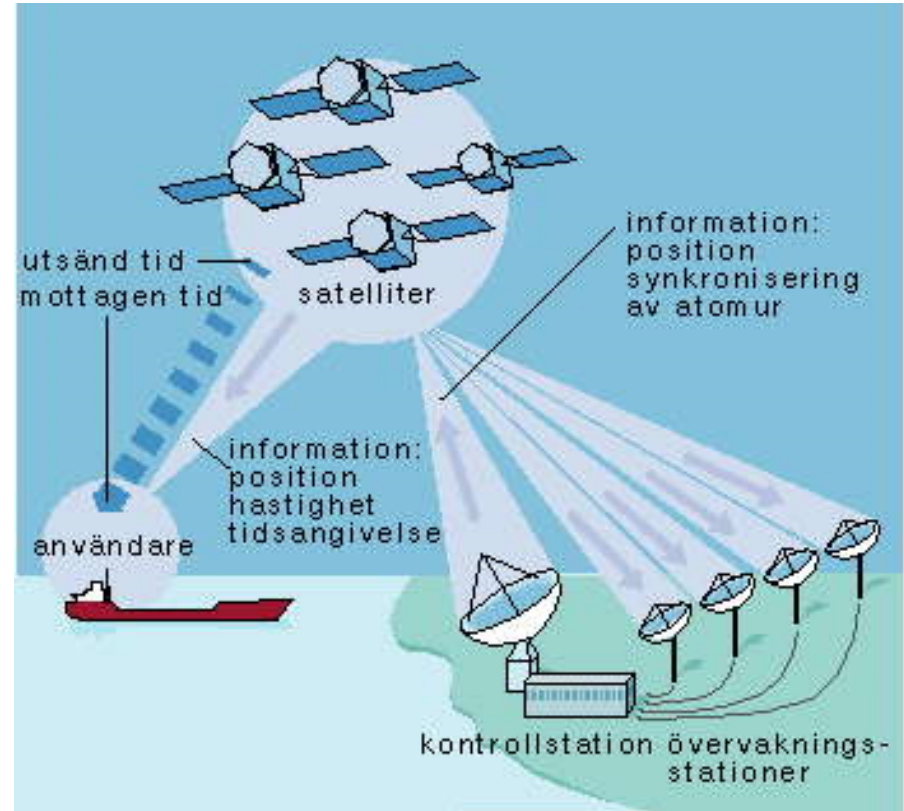
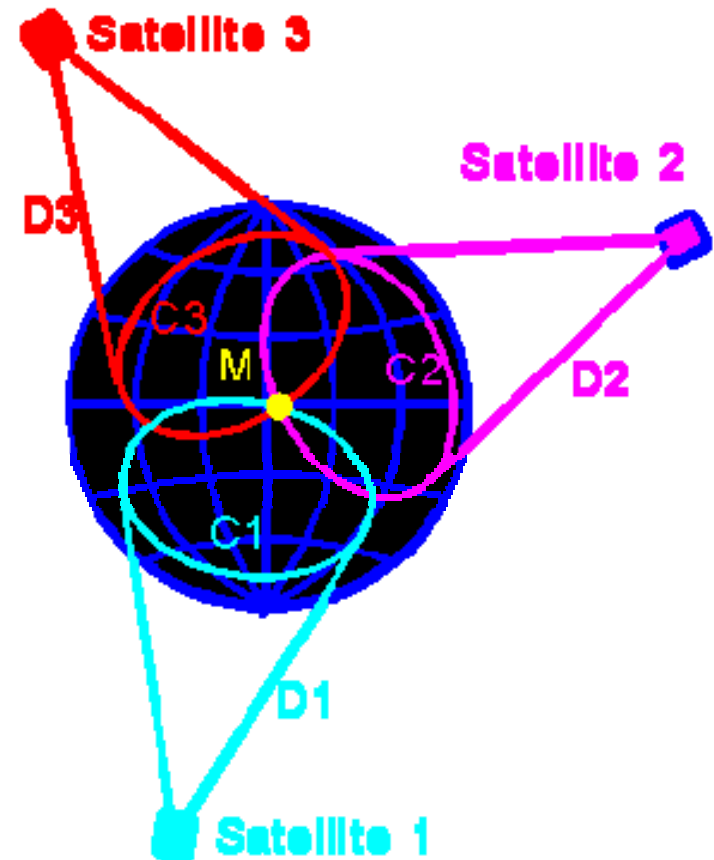


Illustration: NE

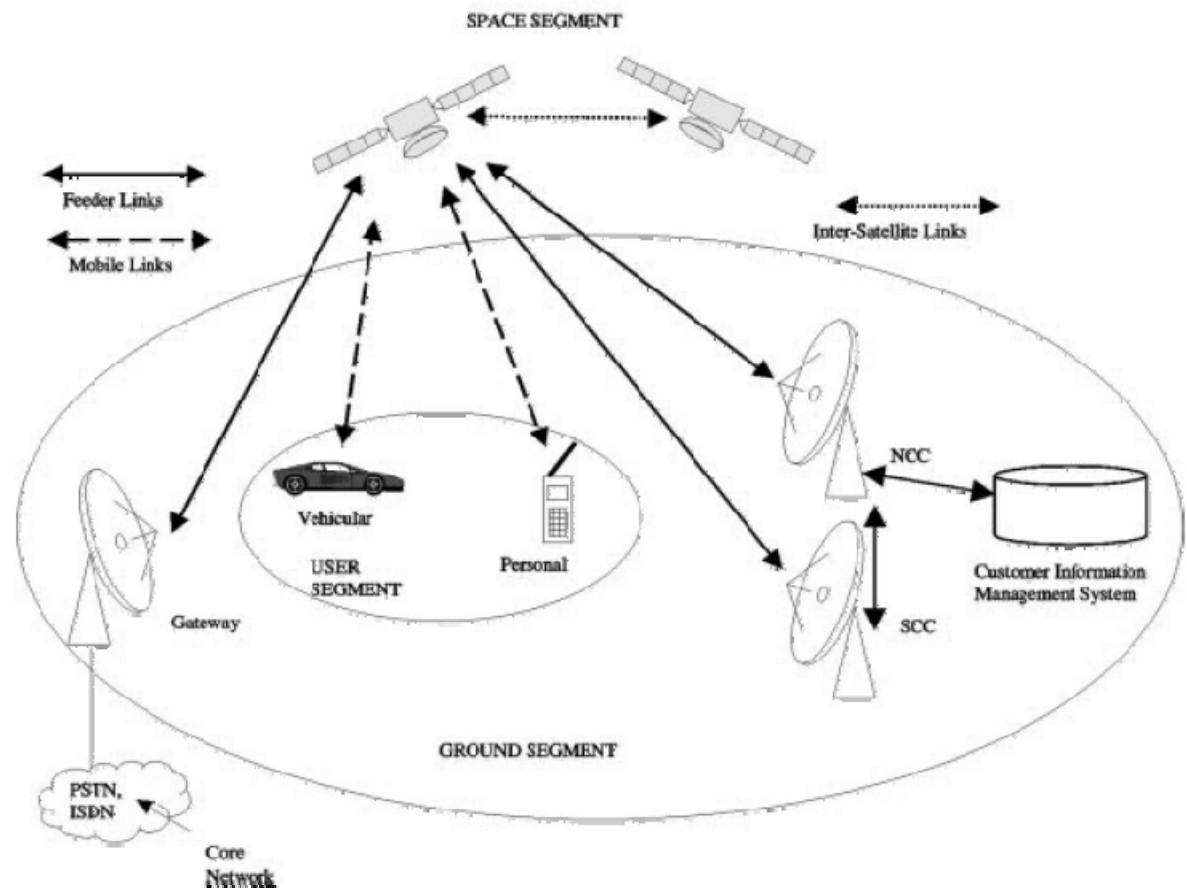
GPS - Tekniken

- Exakt atomur på satellit
- Satelliterna skickar
 - Tid och datum
 - ID
 - Status
 - Almanac – satellit positioner
- Exakt bärvåg stabiliserar klocka hos användaren
- Flera satelliter synkroniserar tid
- Precis tid = Precis position



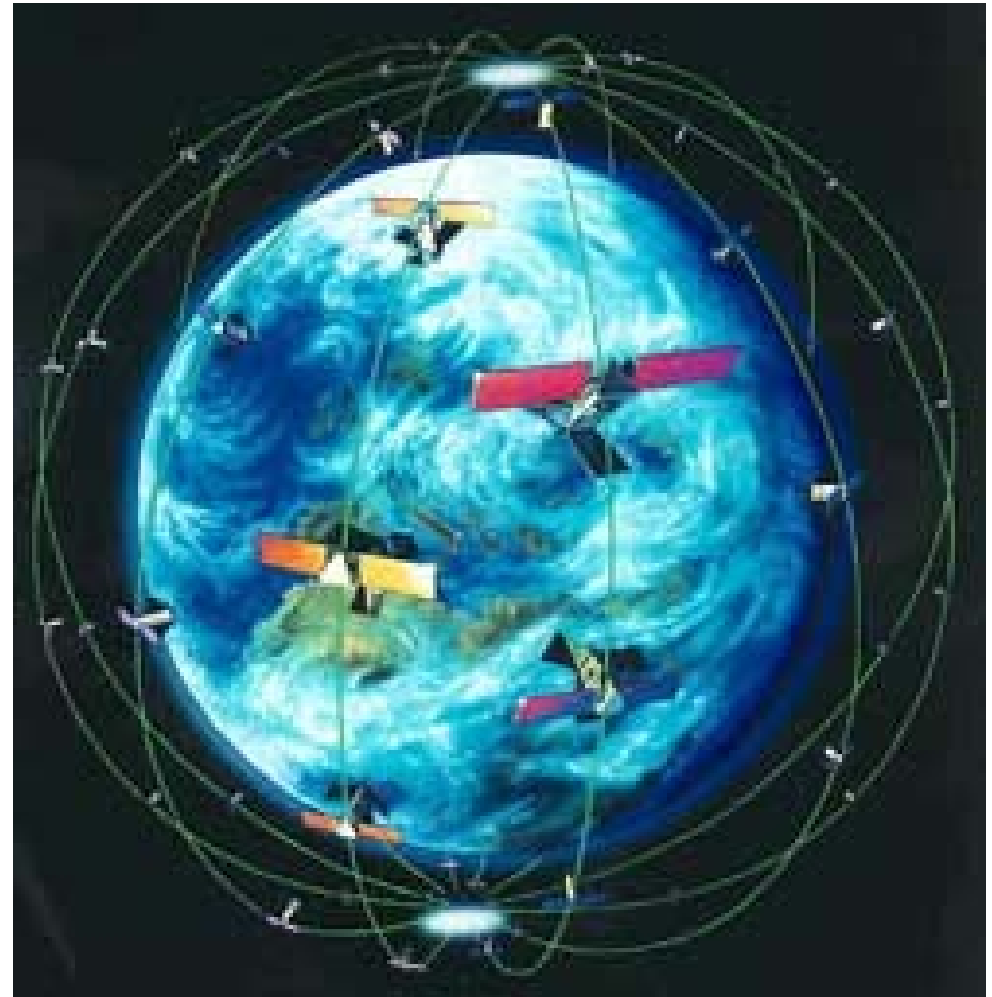
Mobiltelefoni via satellit

- Ingen markinfrastruktur
- Nå stort (globalt) täckningsområde
- Svåravlyssnat
- Operera över landsgränser



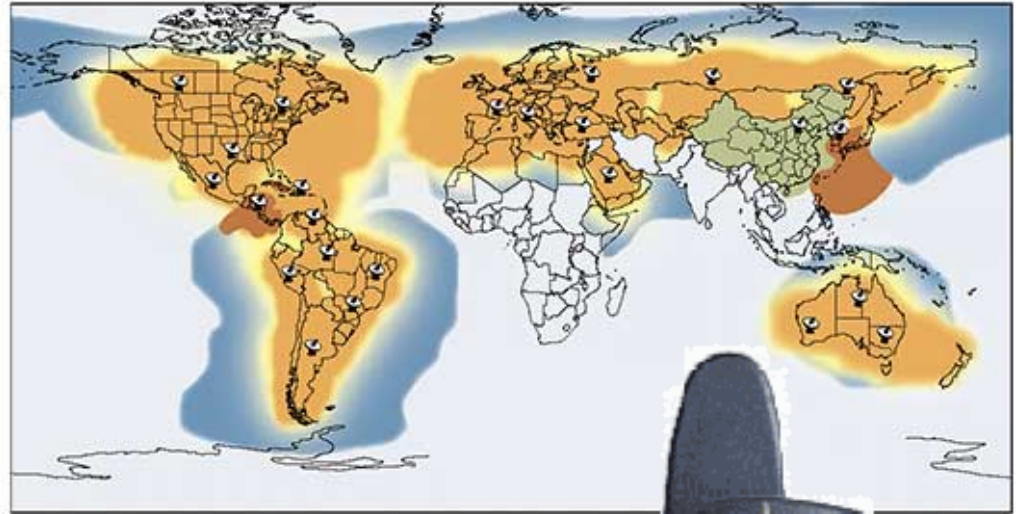
Iridium

- Första kommersiella systemet för mobiltelefoni via satellit
- 66 satelliter i polära 780 km LEO
- Varje satellit täckningsområde 66 mil – handover
- Intersatellitlänkar – fasta protokoll
- Start 1998 Konkurs 1999
- GlobalStar, Thuraya



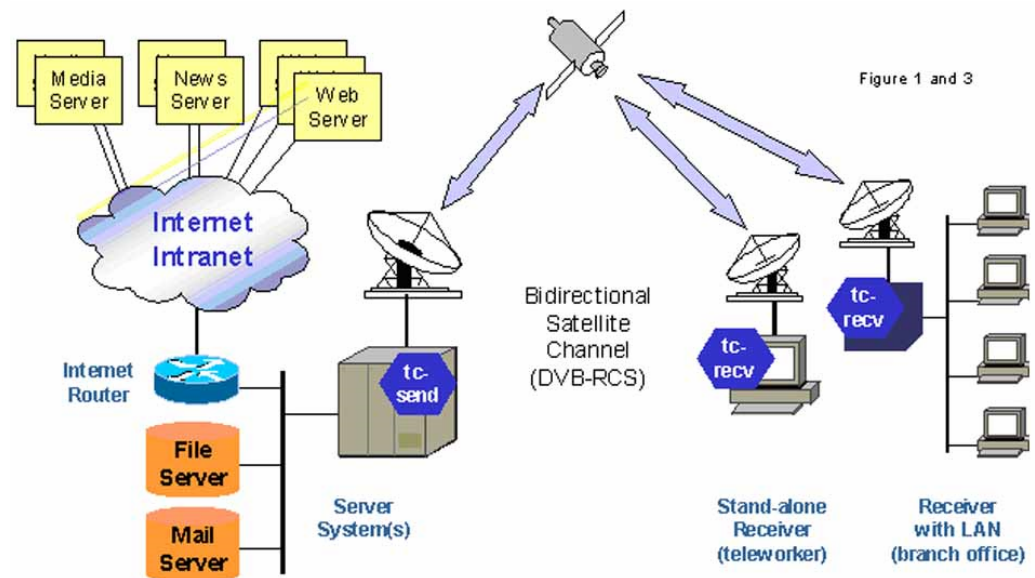
Globalstar

- Kom i drift 1999 konkurs 2002
- 48 satelliter
- Använder inte intersatellitlänkar – ”bent pipe” lösning
 - Satellit måste ha markstation i synfält
 - Ej global täckning
- 52 grader inklination
 - Täcker inte polarområdena
- Initieellt pris \$1.79/min vs Iridium \$9/min



Internet via satellit

- 2 – vägs kommunikation
- Telefon / Satellit
 - Telefonlinje för uppladdning
 - Satellit ned 128 kbit – 2 Mbit/s
 - Total kapacitet ca 38 Mbit/s
- Satellit / Satellit
 - Dyr hårdvara
 - 160/s kbit upp / 2 Mbit/s ner



Satellitkommunikation - operations

- CCSDS internationell standard för satellitkommunikation
 - Använda olika markstationer
 - Snabbt få mer kontakt i nödsituationer
 - Satelliter unikt ID-nummer
- Småsatelliter använder ofta egna protokoll

Telekommando

- Markstation skickar kommando till satelliten
- Direkta kommandon
 - Slå på subsystem
 - Skicka resetsignal till huvuddatorn
- Avkodade kommandon
 - Påbörja nedskickning av instrumentdata
 - Kommandon vidarebefodrade till instrument

Telemetri

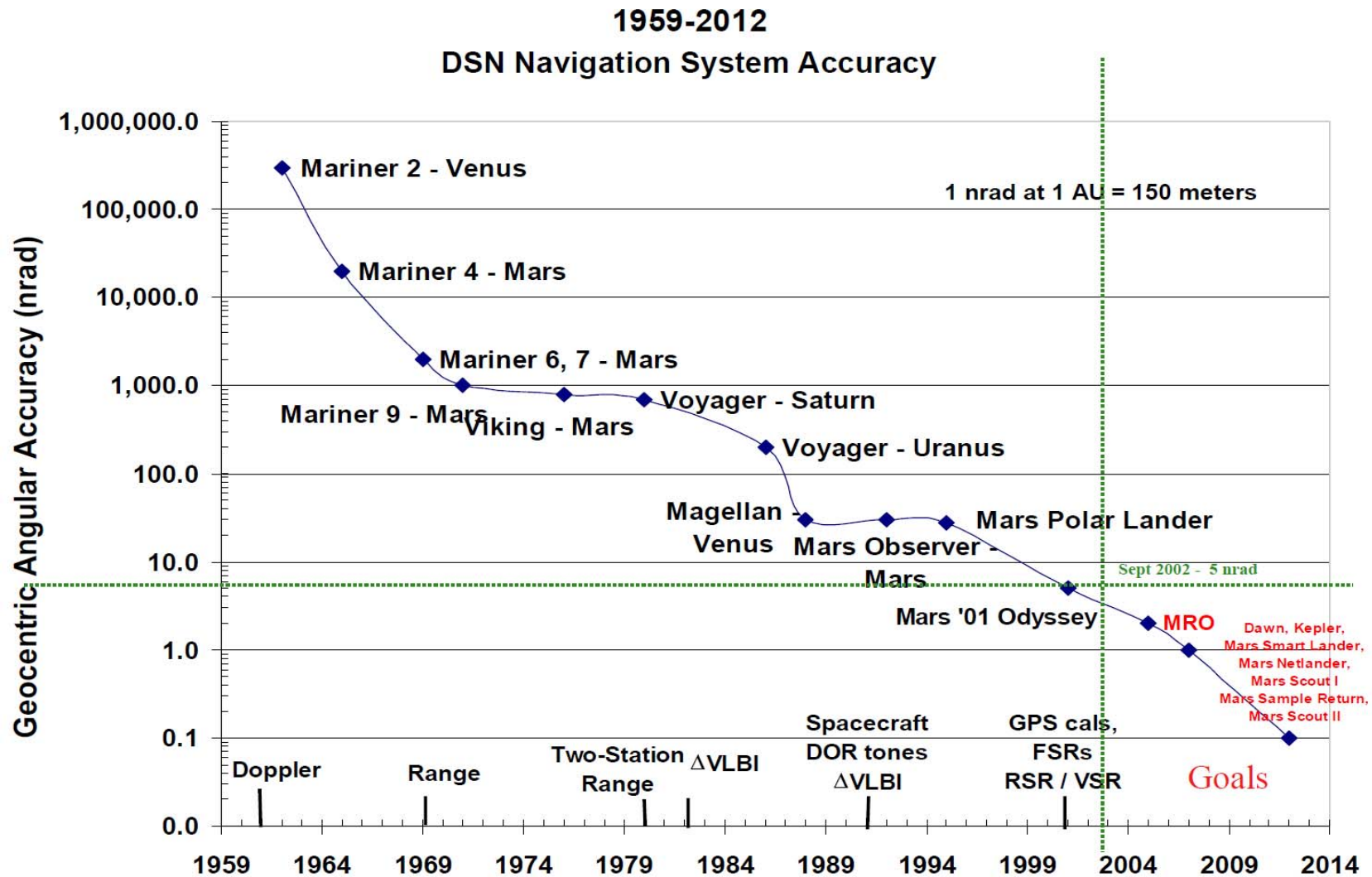
- Information om satellitens tillstånd – Housekeeping
 - Spänningar
 - Temperaturer
 - Strömmar
- Mätdata från instrumenten
 - Ofta instrumentens eget format, levereras till projektet för avkodning

Ranging

- Fastställer rymdfarkostens banparametrar
- Sammankopplad mottagare och sändare på satelliten, i fas
- Tidsfördröjningen mäts
- Precision m.h.a ranging-tones
- Integreras över tid



Deep Space Network Precision



Frekvenser

Frekvensband	Uplink (GHz)	Downlink (GHz)	Kommentar
S-Band	2.11-2.12	2.29-2.30	Introducerades under 60-talet för interplanetär a sonder
C-Band	5.9-6.4	3.7-4.2	Teletrafik över GEO satellit
X-Band	7.15-7.19	8.40-8.45	~1975 för DSN
Ka-Band	34.2-34.7	31.8-32.3	~2010 för DSN
Optical	-	-	~2015 för DSN

Länkbudget

- Länkbudgeten beskriver radiolänkens kapacitet från sändare till mottagen effekt
- Härledningen följer DRI's satellitbok "Byg din egen Satellit", finns online.

$$S = \frac{P_t}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

En utstrålad effekts täthet på ett avstånd d , effekten sprider sig jämt på en sfär med motsvarande radie

Med riktad antenn, koncentreras signalen på en $1/G_r$ del av arean.

$$A_r = \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} \cdot G_r$$

Mottagarantennen har också en Förstärkning, och en effektiv area som "samlar upp" energin.

$$P_r = S \cdot A_r$$

Länkbudget 2 – Free Space Loss

$$P_r = \frac{G_t \cdot P_t}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \cdot A_r$$

Mottagen effekt relaterad till utsänd effekt

$$P_r = \frac{G_t \cdot P_t}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} \cdot G_r$$

Sätter in A_r i form av antennförstärkning & våglängd

$$= \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot d} \right)^2 \cdot P_t \cdot G_t \cdot G_r = \left(\frac{c}{4 \cdot \pi \cdot d \cdot f} \right)^2 \cdot P_t \cdot G_t \cdot G_r$$

Stuvar om i formeln

$$L_p = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d \cdot f}{c} \right)^2$$

Bryter ut frekvens & Längdberoende faktor, till något skumt benämnda Free-Space-Loss (FSL)

Länkbudget 3 - EIRP



- $P_t \cdot G_t = \text{EIRP}$ Equivalent Isotropic Radiated Power
 - Den effekt som en rundstrålande antenn skulle behöva för att nå samma effekttäthet

Andra länkförluster

- Pекförluster
 - Antenner pekar inte idealt
- Atmosfärisk dämpning
 - Regn
 - Brytning av signaler
 - Partiklar i vägen
- Multi-path dämpning
 - Reflektioner från omgivning (främst vid mobiltelefoni)
- Polariseringsfel

Decibel

- Traditionellt använd inom ingenjörssområdet
- Logaritmering, $db=10*\log(P1 / P2)$
- En effektfördubbling blir alltså ca 3 dB
- Multiplikation blir addition

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_p \quad [\text{dB}]$$

Mottagen effekt, mätt i dB

Brus

- I en mottagen radiosignal finns termiskt brus från atomernas rörelser

$$P_n = kTW = N_0 \cdot W \quad \text{Bruseffekten vid en bandbredd } W, \text{ Temp } T \text{ (K)}$$

$$N_0 = kT \quad k = \text{Boltzman's konstant} = 1.38062 \cdot 10^{-23}$$

N_0 = Spektral brustäthet (W/Hz)
= Bruseffekten i 1 Hz bandbredd

- T beskriver systemets "brusighet", inte i praktiska sammanhang detsamma som fysisk temperatur

Signal – Brusförhållande

- Relationen mellan brusets effekt och den motagna signalens effekt central
- I digitala överföringar, såsom TM & TC:

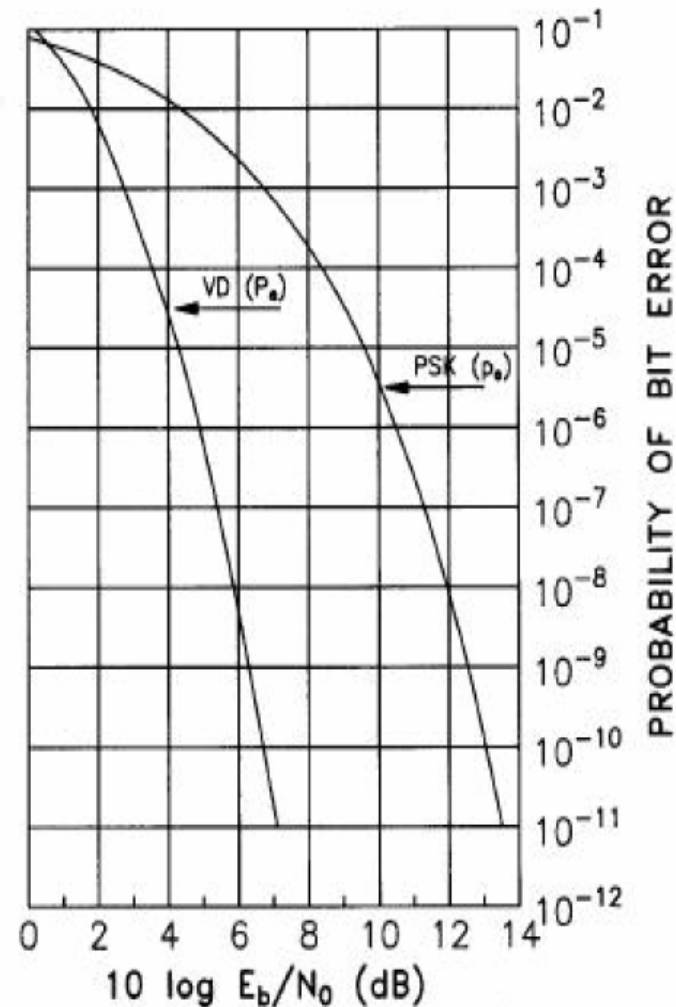
$$\tau = 1/B \quad [\text{sekunder}] \quad \text{Tidsperioden för en bit – B=bitrate}$$

$$E_b/N_0 = P_r \cdot \tau / N_0 = P_r / (B \cdot N_0) = P_r / (B \cdot k \cdot T)$$

- E_b = energi per bit
- E_b / N_0 = Energi per bit över spektrala brustätheten

Bit-Error rate

- Statistiska bitfel i överföringen beror på E_b/N_0
- Kallas Bit Error Rate (BER)
- Brukas i TM/TC sammanhang hållas kring $1e-6$



Sammanfattning

- Satellitkommunikation har stort användningsområde
 - TV / Radio
 - Navigation
 - Telefoni
- Satellit operations TM/TC
- Länkbudget