

Satelliittien välisistä linkeistä

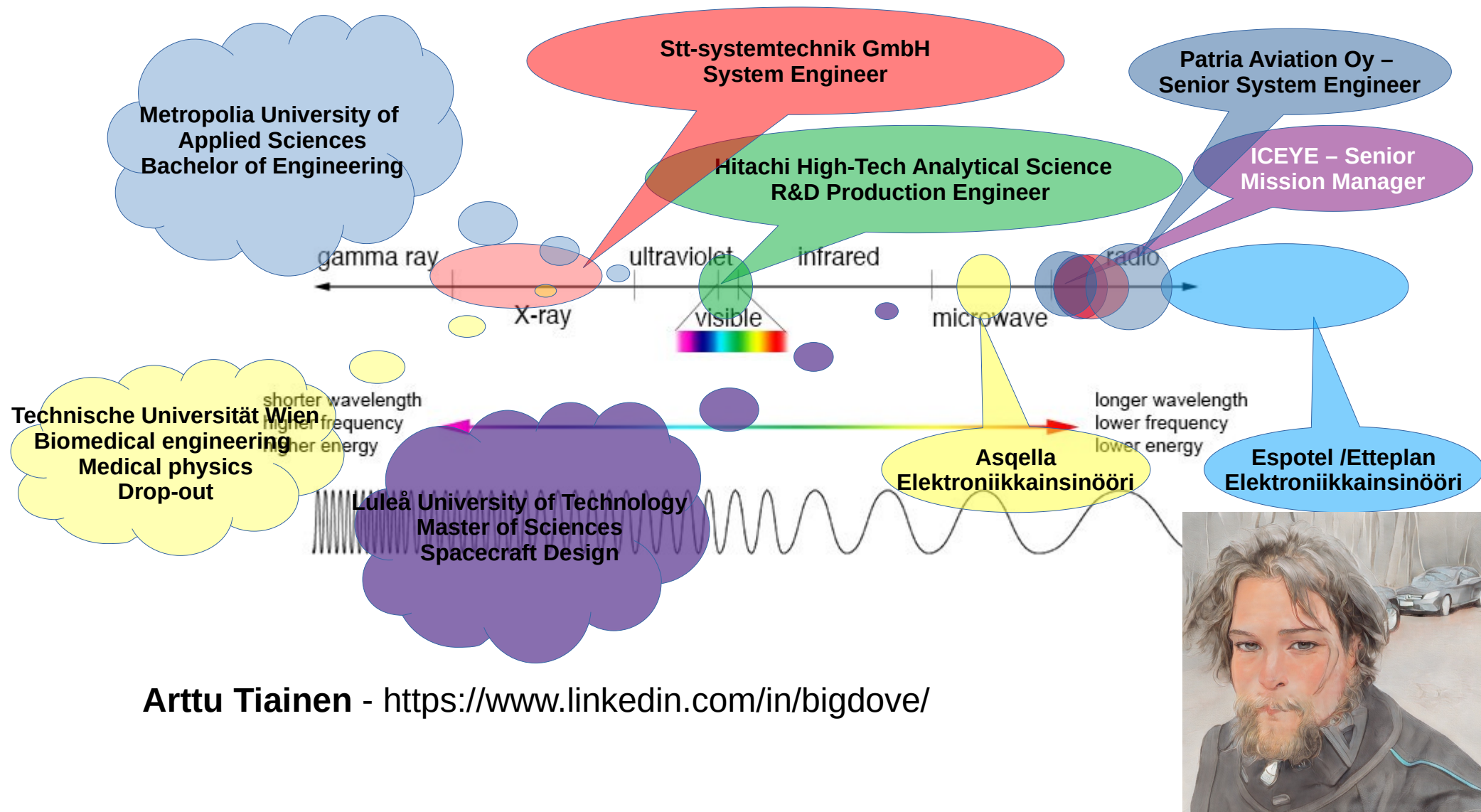
Miksi ISL kiinnostaa juuri nyt?

- Käynnissä on suorastaan avaruusbuumi
- Massiivisia satelliittimuodostelmia laukaistaan avaruuteen
- Nykyinen tiedonsiirtoinfrastruktuuri on haavoittuvainen

Esityksen rakenne

- Mitä esitellään ja kuka olen?
- Mitä tarkoitetaan linkeillä ja miksi ei pelkästään **antenneista** puhuta
- Haasteet
- Miksi sitten käytetään
- Esimerkkejä
- Keskustelua

Kuka olen?



Arttu Tiainen - <https://www.linkedin.com/in/bigdove/>

Sanastoa

EDRS - European Data Relay System

EDSN - Edison Demonstration of Smallsat Networks

EIRP - Equivalent isotropically radiated power

FFM - Formation Flying Mission

ISL – Inter-Satellite Link

OSCAR - Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio

TDRS - Tracking and Data Relay Satellite

TT&C - Telemetry, Tracking and Command

Satelliittikommunikaatio

OSCAR 6 ja AMSAT-OSCAR7 linkki

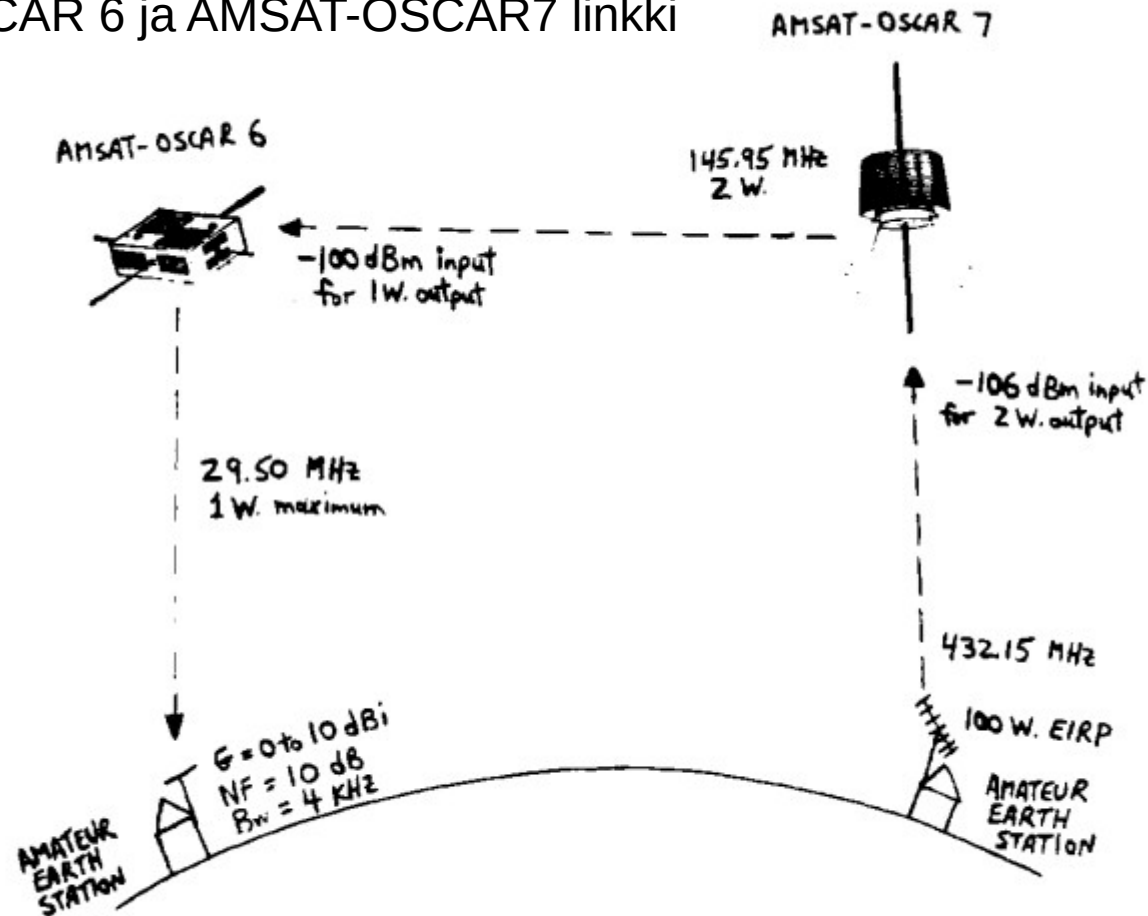
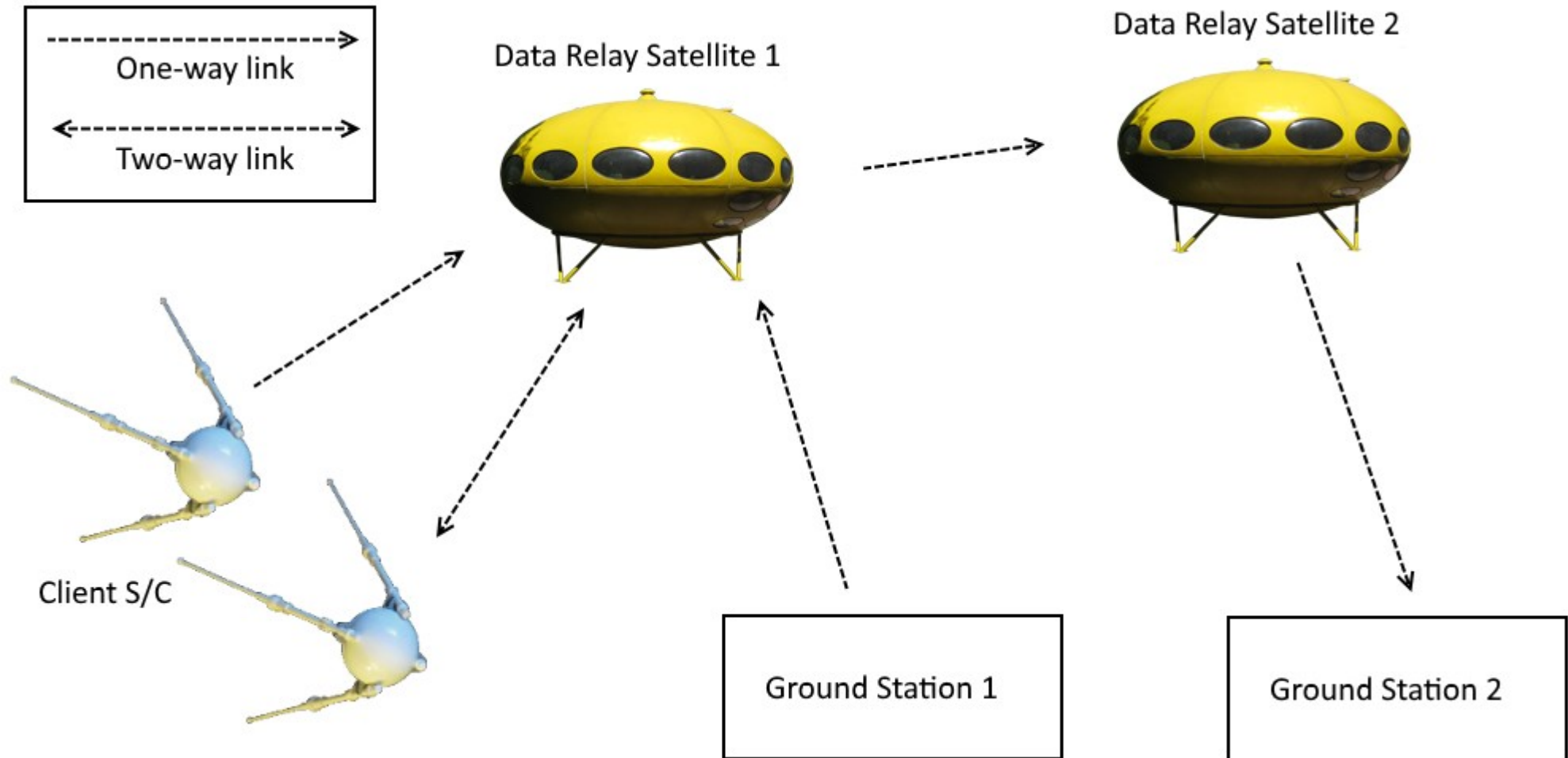


Fig. 1. Ground-satellite-satellite-ground links involved in AMSAT-OSCAR 6 and AMSAT-OSCAR 7 intersatellite communication.

Satelliittien väliset linkit

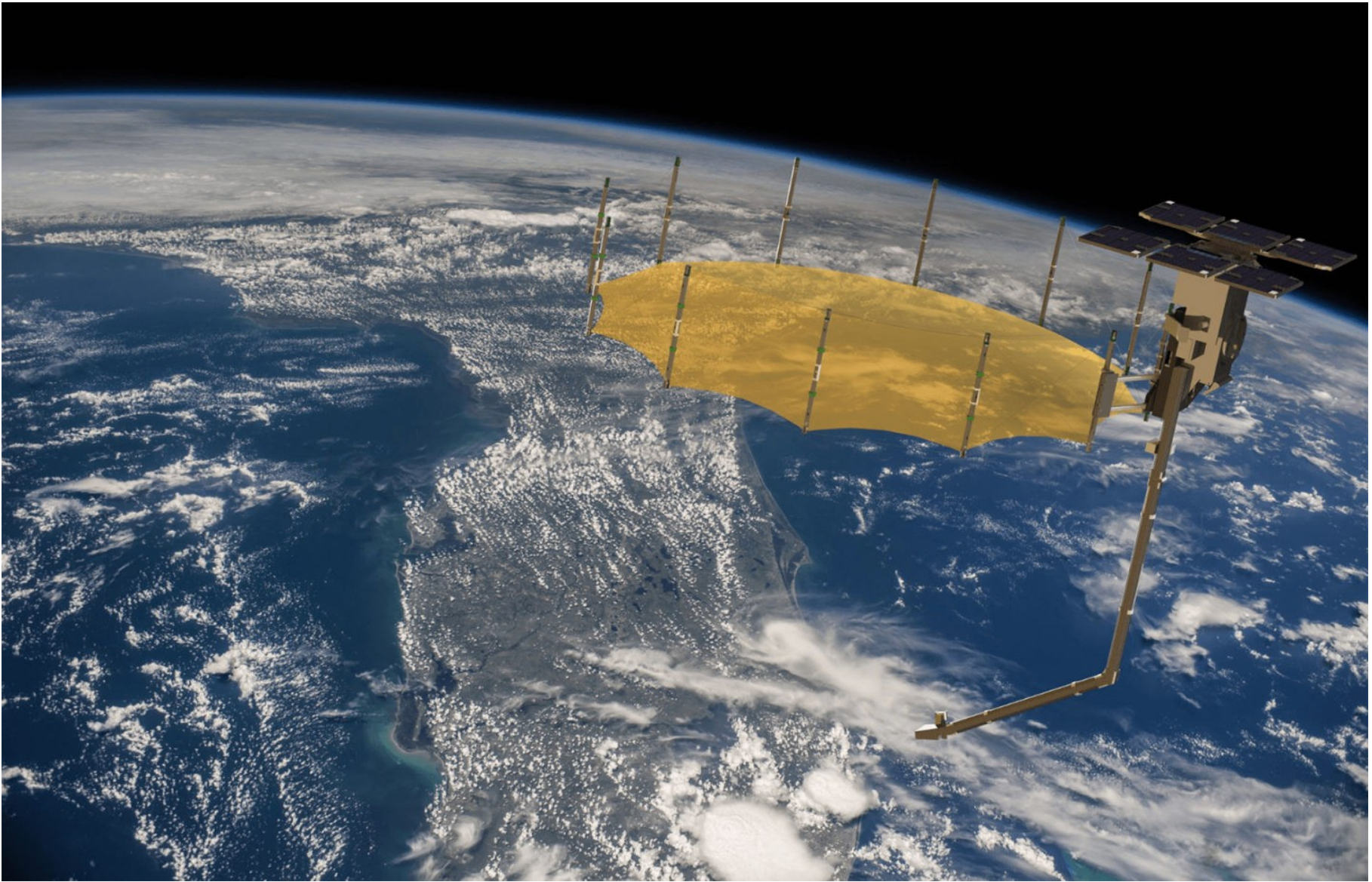


EDRS



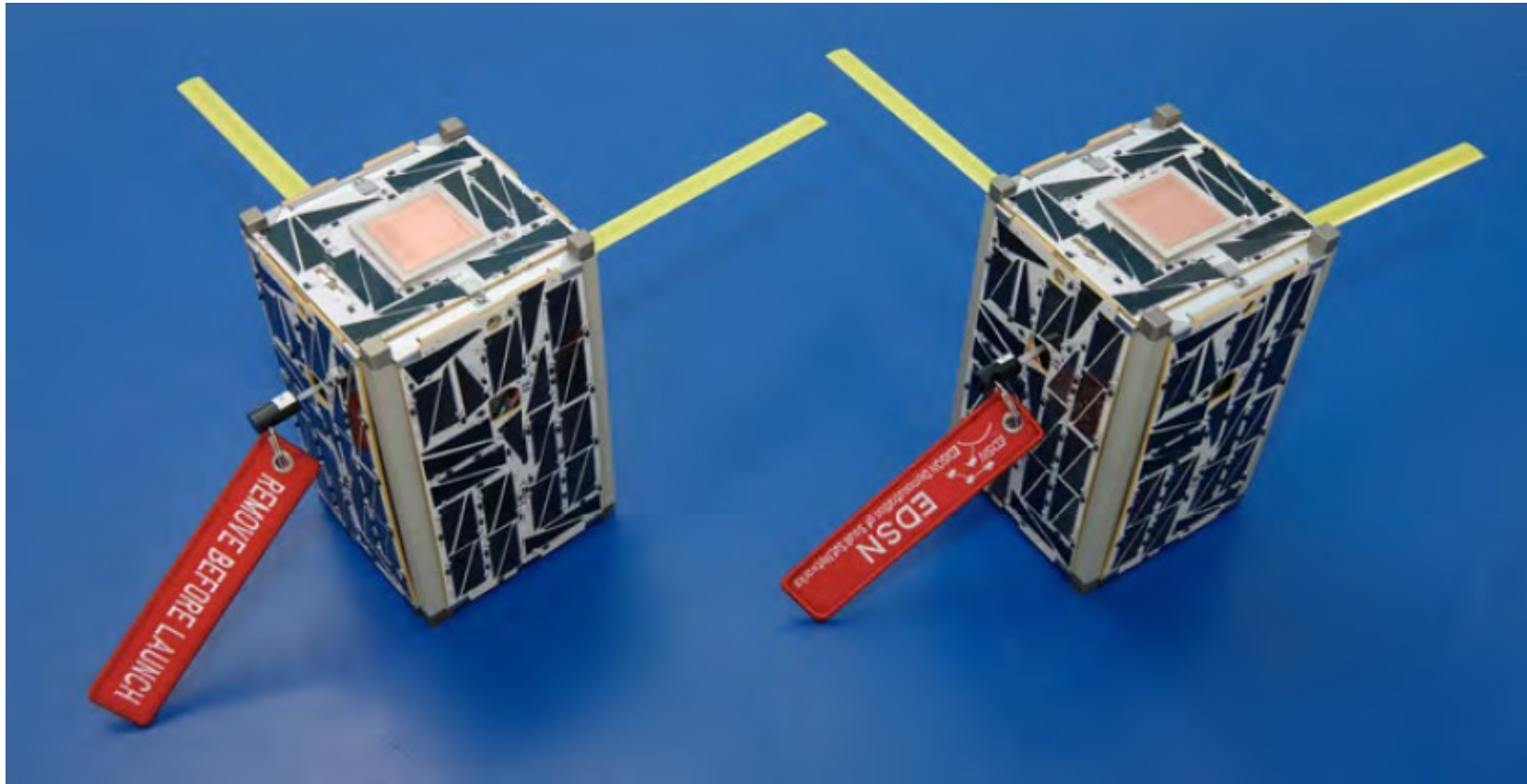
ESA. European space agency website. "<http://www.esa.int>", September 2016.

Capella Space



<https://www.capellaspace.com/capella-space-partners-with-addvalue-and-inmarsat-for-real-time-tasking/>

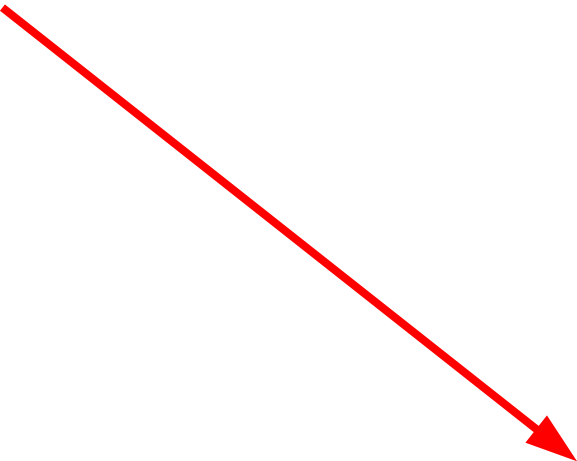
EDSN



NASA. National aeronautics and space administration website. "<http://www.nasa.gov/>", September 2016.

Haasteet

Friin yhtälö auttaa

$$\frac{P_r}{P_t} = e_t e_r \left(\frac{\lambda}{d 4 \pi} \right)^2 D_r D_t$$


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

Haasteet: Teho

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

- Rajallinen tehobudjetti
- Vain pieni osa tehosta lähetetään ja loppu on lämpöä
- Suuret tehot vaikeuttavat häiriöiden kurissa pitoa

The **PDTX-1000** Payload Data Transmitter is available for operation in the C-Band (5,150 MHz to 5,216 MHz allocated on a primary basis to Space-to-Earth feeder-links of non-geostationary satellite systems for mobile-satellite services) and in the X-Band (8,025 to 8,400 MHz).

Technical Specification

Supported Standards for transmission mode	ETSI EN 302 307 V1.3.1, November 2012, fully compliant CCSDS 131.3-B-1, Blue Book, March 2013, fully compliant
Modulator symbol rate	50 MBd
Transmit frequency	5183 MHz (center frequency of ITU frequency band)
Transmit power	1 W to 8 W adjustable in very small steps (< 0.1 dB)
Error Vector Magnitude	< 8%
Out-of-band emissions	Compliant to ITU-R SM.1541-6, Annex 5.1
Spurious signals	< 70 dBc (in the spurious domain according to ITU-R)
Primary voltage range	22 V to 34 V
Power consumption	< 45 W
Mass	< 4.5 kg
Volume	< 3.5 liter
Operating temperature	-30°C to +60°C

Haasteet: Vahvistus

- Iso vahvistus → tyypillisesti isompia antennreja
- Merkittävästi helpompaa maa-asevilla

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

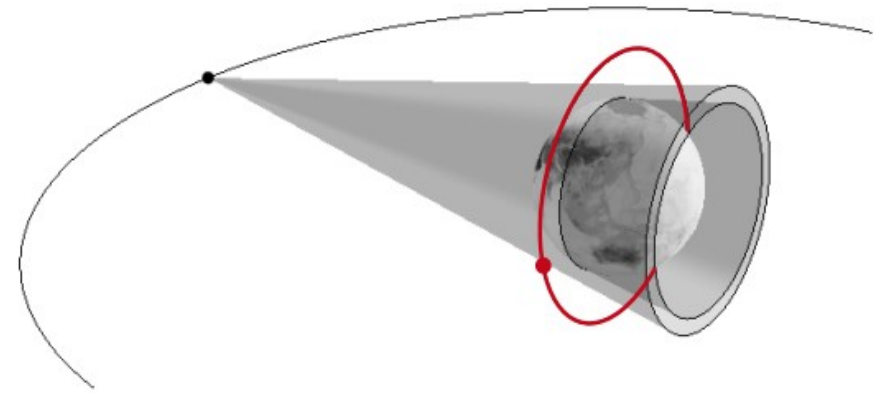
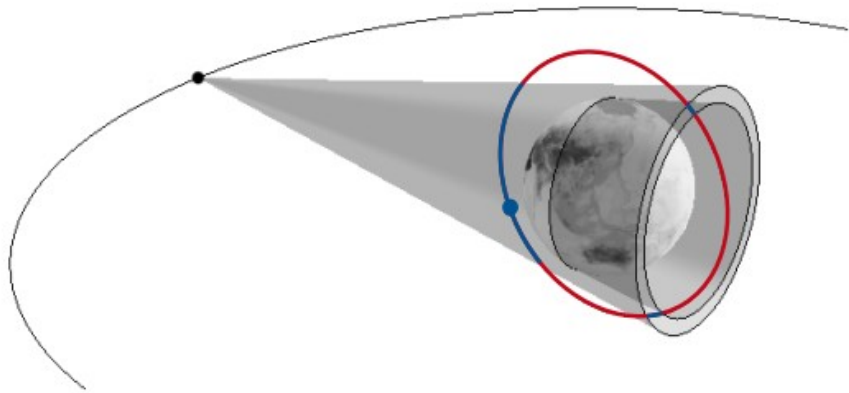


Tromssa KSAT – Omat lomakuvat 2019
Russian Wikipedia. A model of a sar-lupe satellite on top of a russian cosmos-3m rocket, September 2016

Haasteet: Etäisyys ja kattavuus

- vapaan tilan vaimennus kasvaa neliöllisesti
- LEO linkki maahan alle 1000 km vs LEO GEO linkki yli 35 000 km → 30+ dB vaimennusta
- Suuremmalla etäisyydellä parempi kattavuus, mutta ei täydellinen

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



Haasteet: Taajuus

- Pääasiallisesti korkeampia taajuuksia
- Vaikeampi tehdä antennoja, mutta sentään ovat pienempiä

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

Table 1: Frequency bands for inter-satellite service

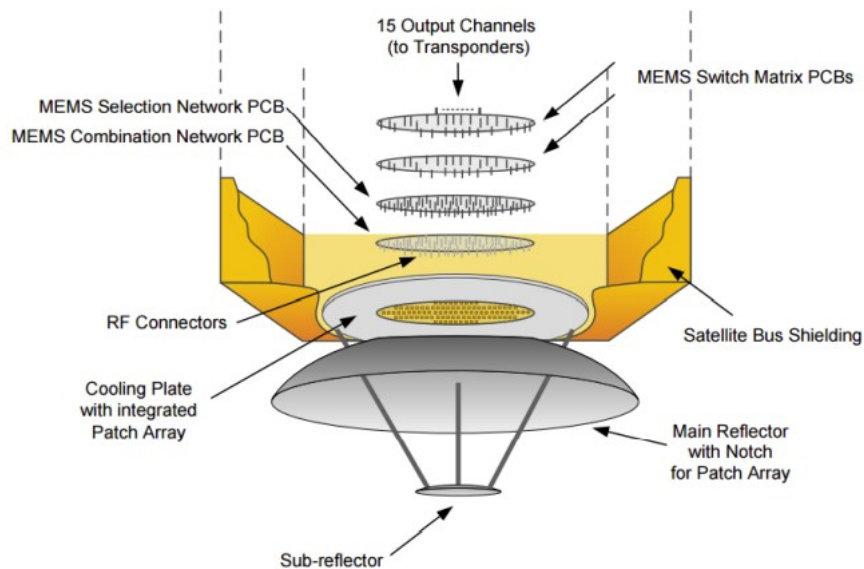
22.55	-	23.55	GHz
24.45	-	24.75	GHz
25.25	-	27.5	GHz
32.3	-	33	GHz
54.25	-	58.2	GHz
59	-	71	GHz
116	-	123	GHz
130	-	134	GHz
167	-	182	GHz
185	-	190	GHz
191.8	-	200	GHz

6 765	-	6 795	kHz
13 553	-	13 567	kHz
26 957	-	27 283	kHz
40.66	-	40.70	MHz
433.05	-	434.79	MHz
902	-	928	MHz
2 400	-	2 500	MHz
5 725	-	5 875	MHz
24	-	24.25	GHz
61	-	61.5	GHz
122	-	123	GHz
244	-	246	GHz

Table 2: Frequency bands for industrial, scientific and medical applications

Haasteet: Kohdistus

- Antennien ohjaus aina aiheuttaa häviöitä
- Useita tapoja:
 - Mekaanisia kääntöpäitä
 - Vaihtoantenneja
 - Vaiheistettuja antenneja
 - Metamateriaaliohjaimia
 - jne



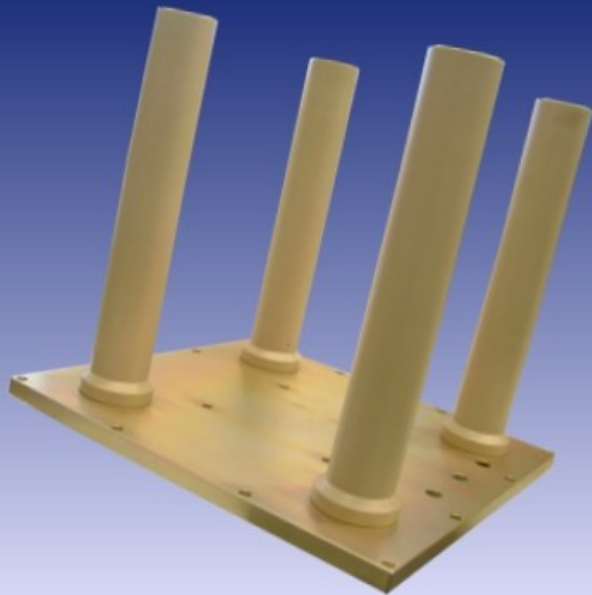
Surrey Satellite Technology Ltd. Sstl - high gain xband antenna pointing mechanism. "<https://www.sstl.co.uk/Products/Subsystems/Communication/Antennas/High-Gain-X-Band-Antenna-Pointing-Mechanism>", December 2016
J. S. Knogl. Geostationary Data Relays for Low Earth Orbit Satellites. PhD thesis, Technical University of Munich, 2014.

Miksi sitten näitä käytetään?

- Nopea ja jopa reaaliaikainen komentoyhteys (TT&C) – Capella Space ja SAR-Lupe
- Maa-asemat mahdottomia osalla sijainneista
-Data Relay Test Satellite (DRTS), Kodama
- Merikaapelit ovat haavoittuvaisia (ajankohtaista)
- Olennainen osa järjestelmän toimintaa
- TANDEM-X

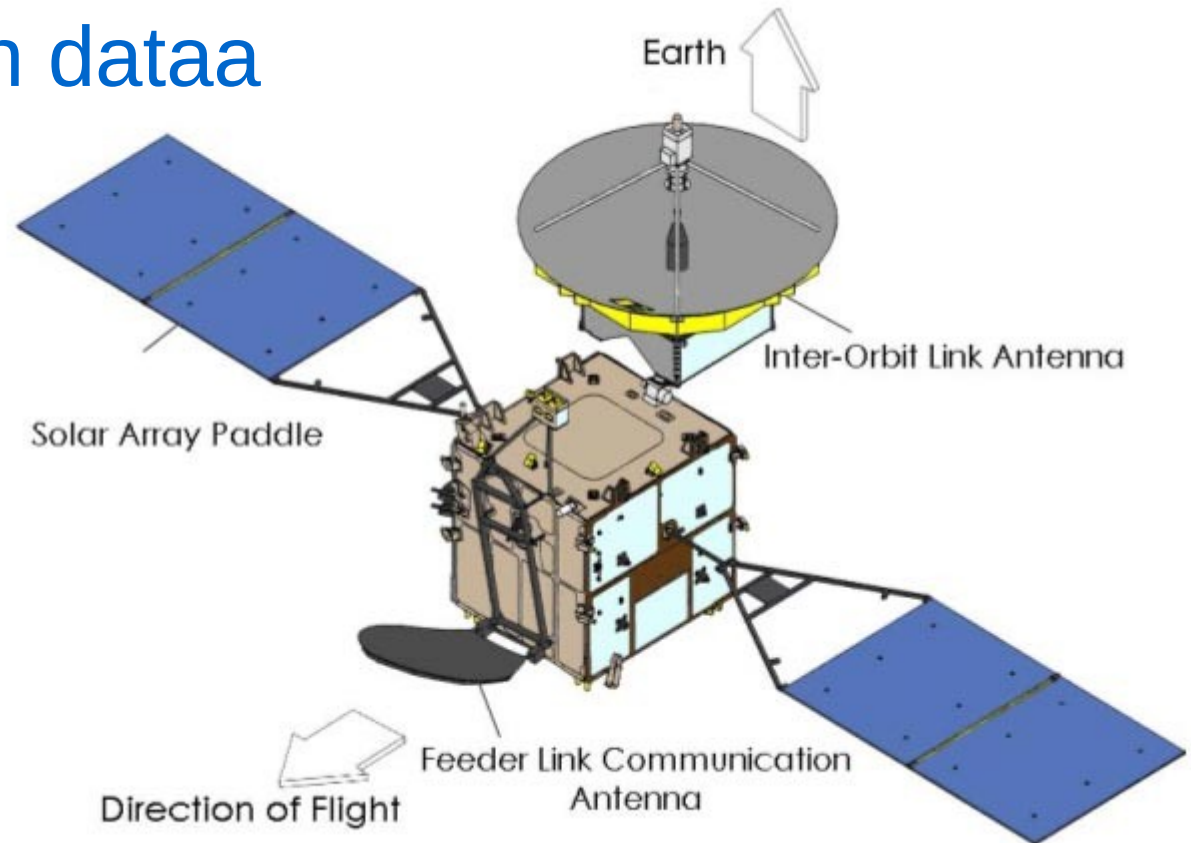
Nopea TT&C

- Vain vähän dataa ja suuri alueellinen kattavuus
Kuvissa S-band antennit



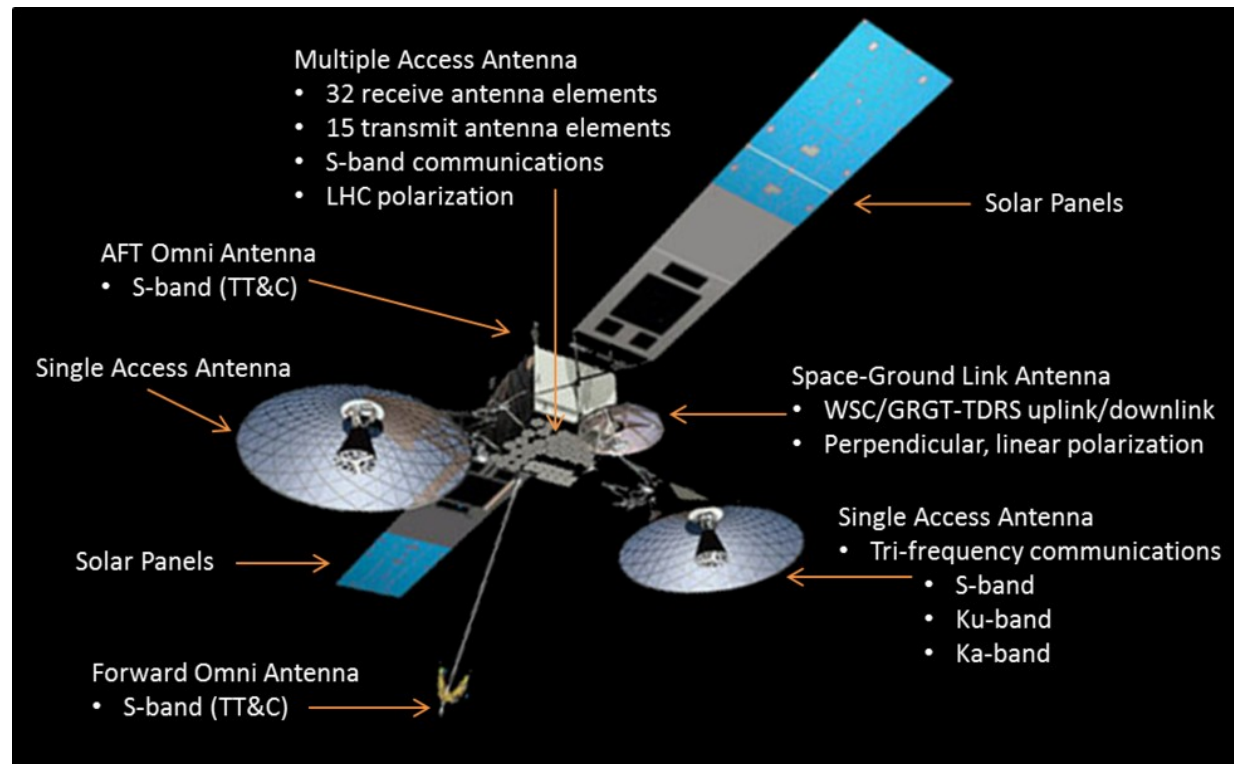
Maa-asema mahdoton

- Saattaa olla paljon dataa
- Suuret etäisyydet



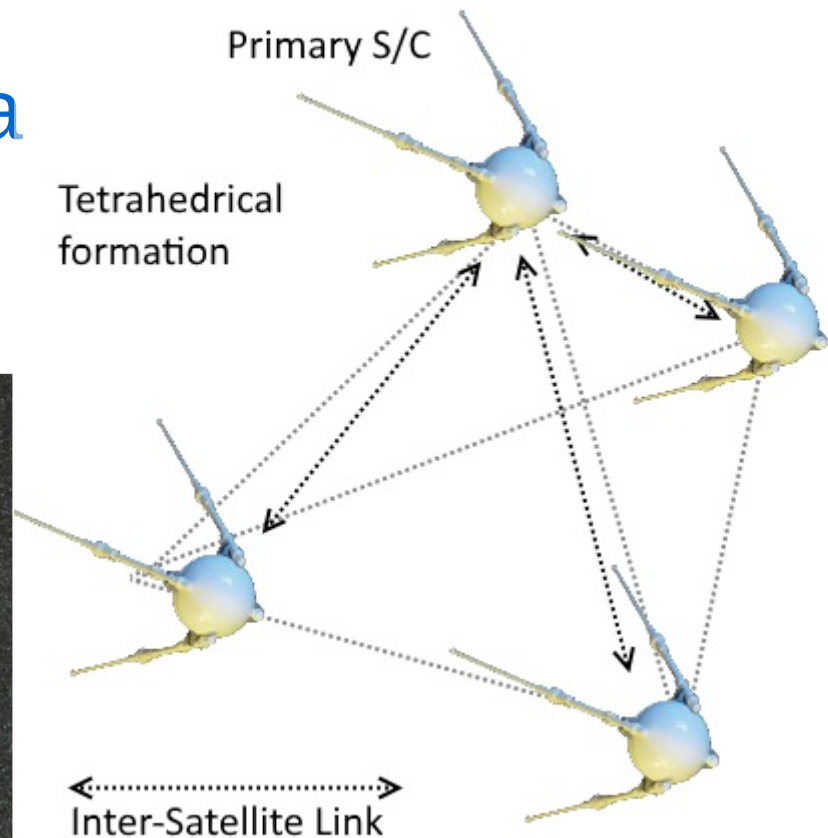
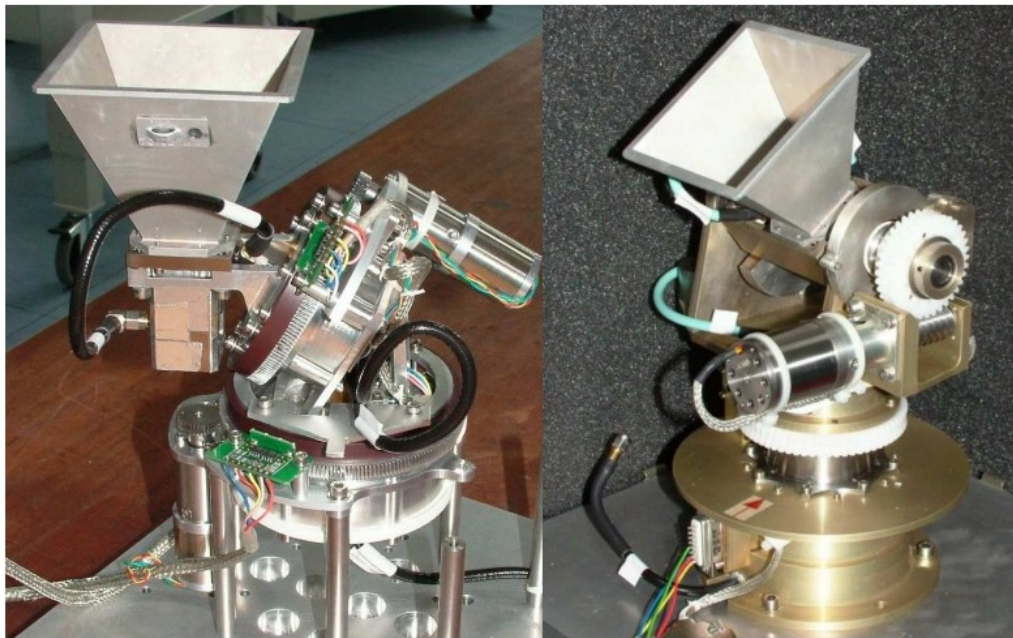
Data Relay osa 2

- Kun on useita käyttäjiä ja paljon dataa, niin tarvitaan useita terminaaleja



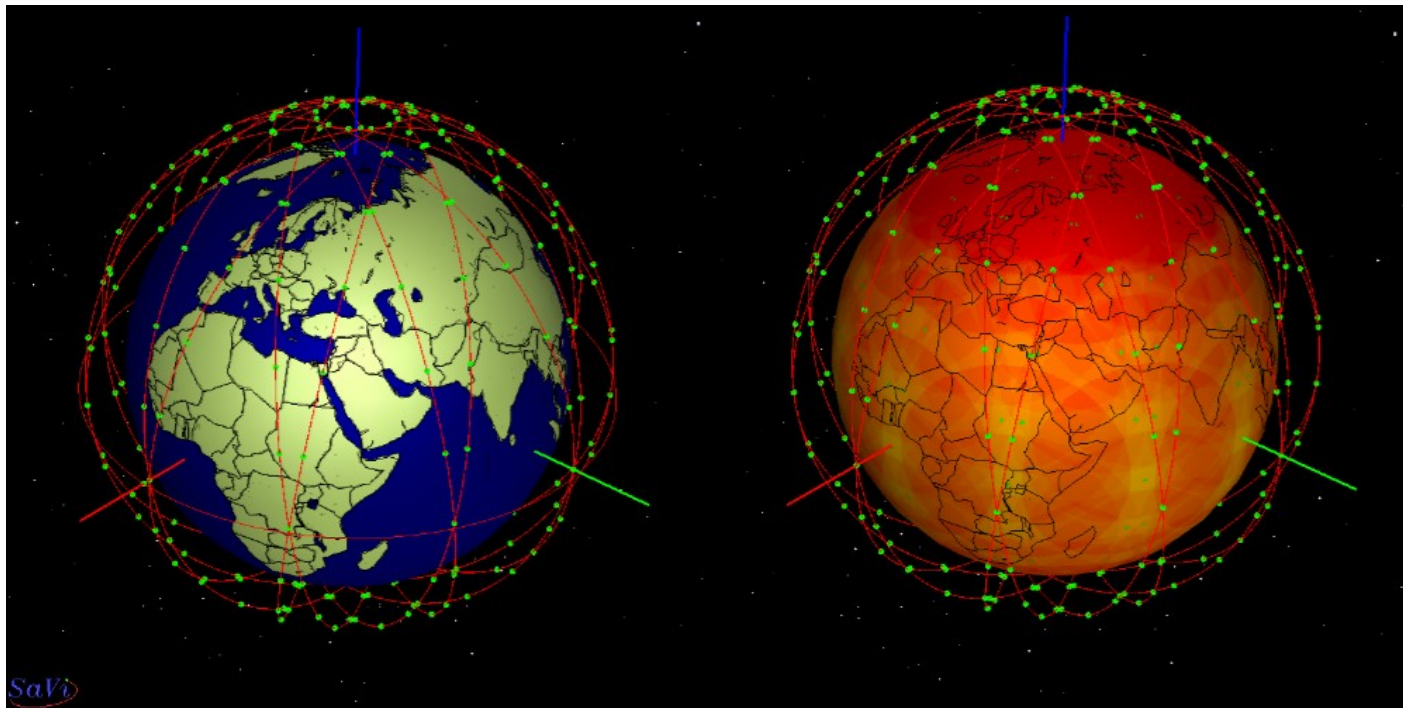
Hajautettusatelliittijärjestelmä

- Saattaa olla paljon dataa
- Pienet yhteydet



Megaconstellaatiot

- Hurjasti dataa, aina useita käyttäjiä
- Linkkien pituus kasvaa korkeuden mukaan
- Optisia linkkejä (OISL)

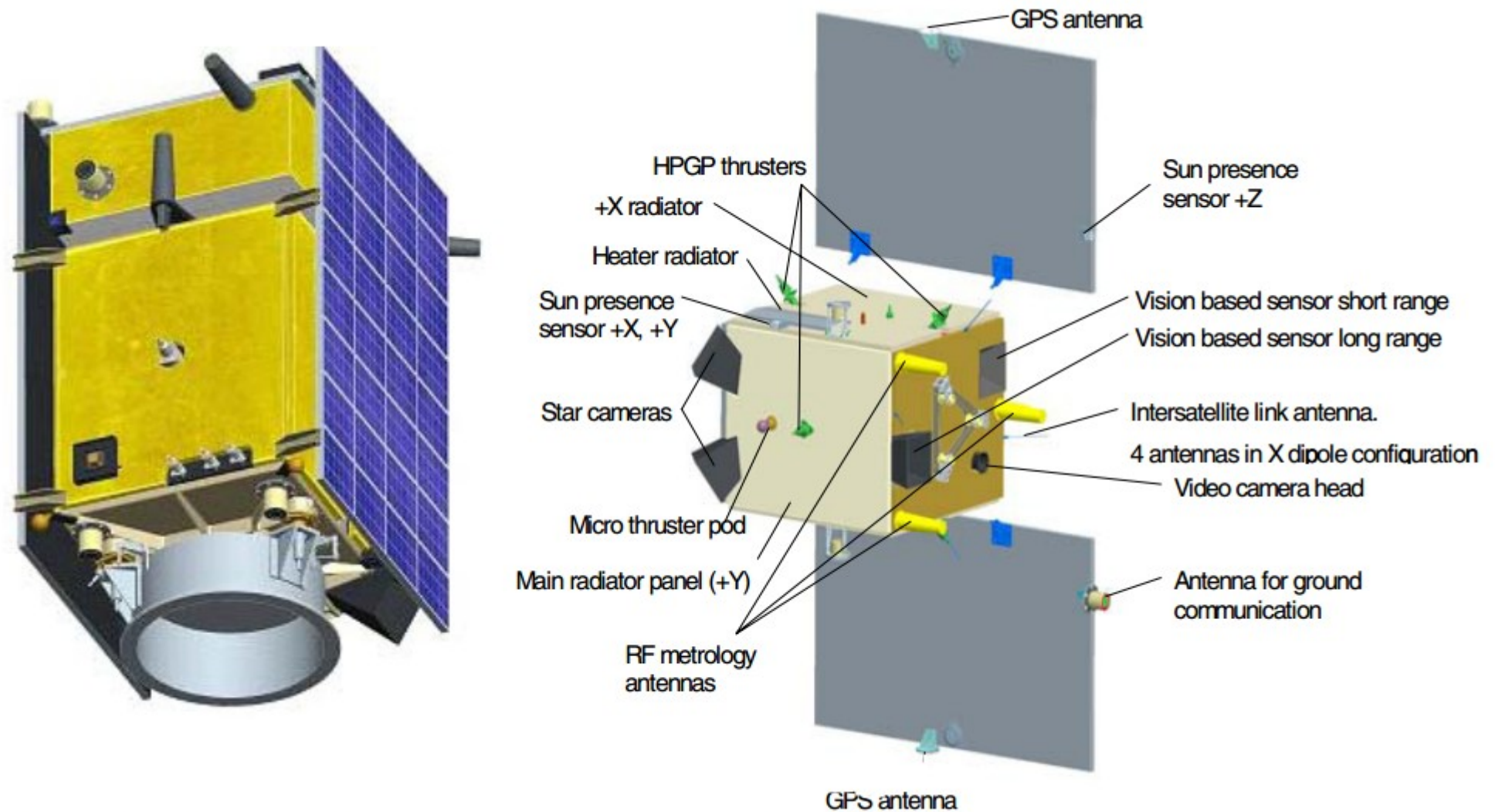


Ja on niitä muillakin



Soviet / Russian telecommunication satellite Luch in the A.S. Popov Central Museum of Communications
Wikipedi, February 2022

Lisäslide 1



Lisäslide 2

- 16 kb molempiin suuntiin
- S-band patch Philaella ja S-band helical Rosettalla



Lisäslide 3

Ka-band 1.2 GHz bandwidth TTC antennas



Technical data TM/TX or TC/RX antenna:

- EOC >90°
- Diameter < 60 mm (TM/TX) < 40 mm (TC/RX)
- Height < 110 mm (TM/TX) < 80 mm (TC/RX)
- Mass < 160 g (TM/TX) < 90 g (TC/RX)
- Polarization - single RHCP or LHCP
- Frequency band TM/TX 17.7 GHz to 20.2 GHz band or TC/RX 27.5 GHz to 30.0 GHz
- Bandwidth - 1.2 GHz band
- RF I/F - waveguide or coaxial possible
- Random vibration 46.7 g RMS
- Wide operational temperature range ± 150 °C



Typical antenna radiation patterns (min and max gain over frequency) for a 1.2 GHz bandwidth antenna (TM/TX and TC/RX) are shown below.

User/Mission Multiple Beam Antennas

To enable multiple beam coverage in LEO constellation systems, we can provide antenna arrays for L-, S- or C-band, with either simultaneous or switchable beam footprints.

The C-band medium gain multi-beam antenna array shown below provides a seven-beam footprint on Earth from LEO, where the beams are either simultaneous or switchable.



Lisäslide 4

- <https://satsearch.co/products/categories/satellite/communication/antenna?page=1>