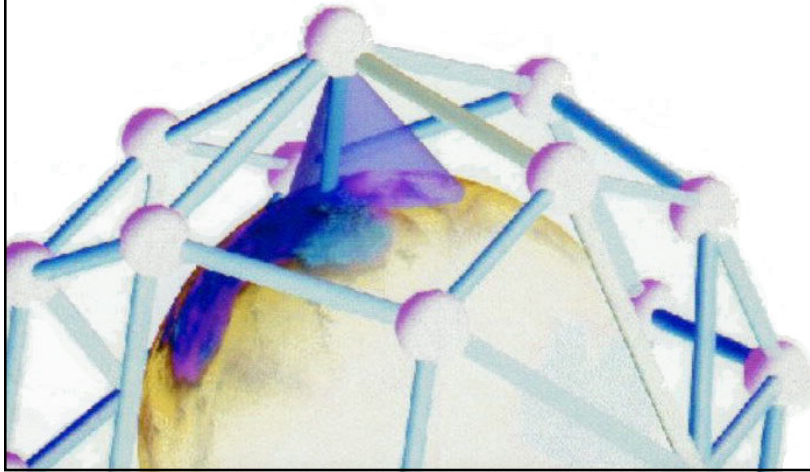


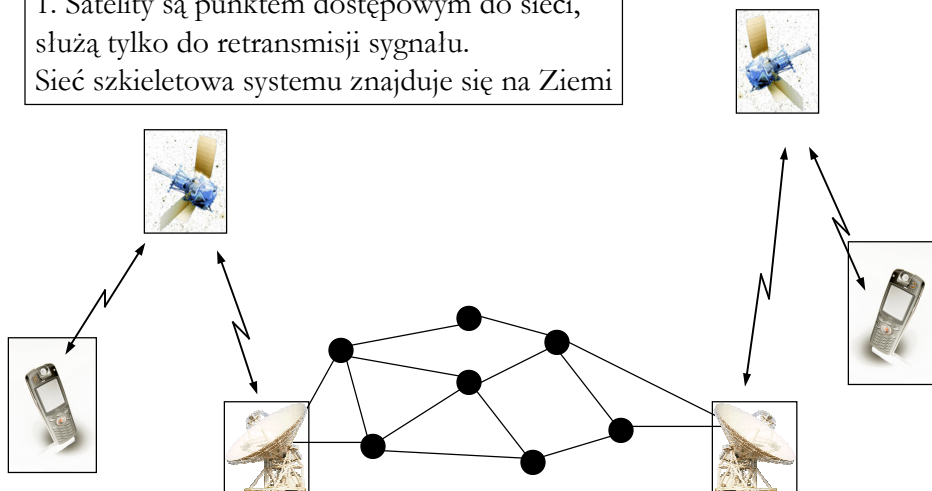
Konstelacje i sieci satelitarne

© Paweł Kulakowski



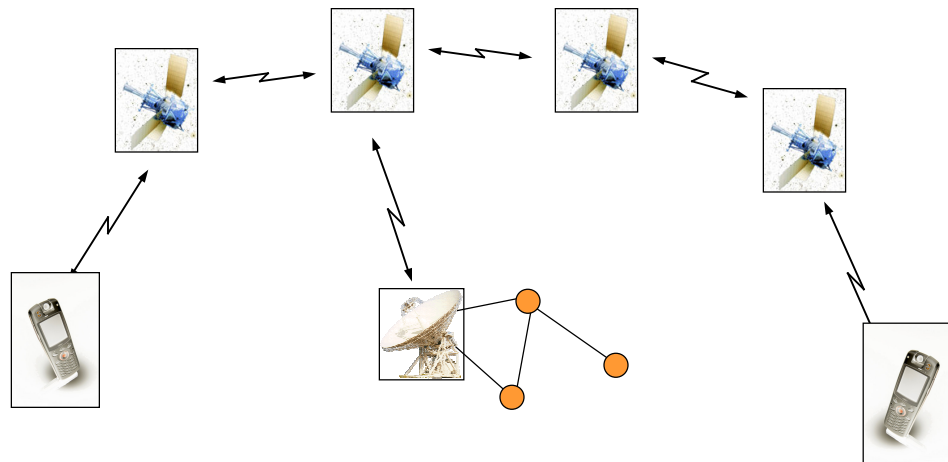
Typy architektur systemów satelitarnych

1. Satelity są punktem dostępowym do sieci, służą tylko do retransmisji sygnału.
Sieć szkieletowa systemu znajduje się na Ziemi



Typy architektur systemów satelitarnych

2. Satelity są zarówno siecią dostępową, jak i szkieletową systemu.
Transmisja pomiędzy nimi następuje przez łącza międzysatelitarne (ISL).



Segmenty systemu satelitarnego

Segment kosmiczny :

- satelity

Segment naziemny :

- sieć szkieletowa
- stacje bazowe
- stacje nadzorcze
- punkty dostępu do innych sieci naziemnych (*gateways*)

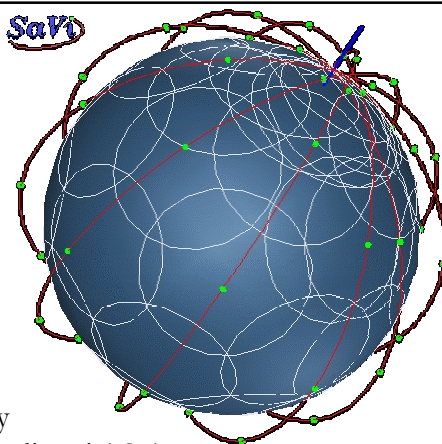
Przykłady systemów

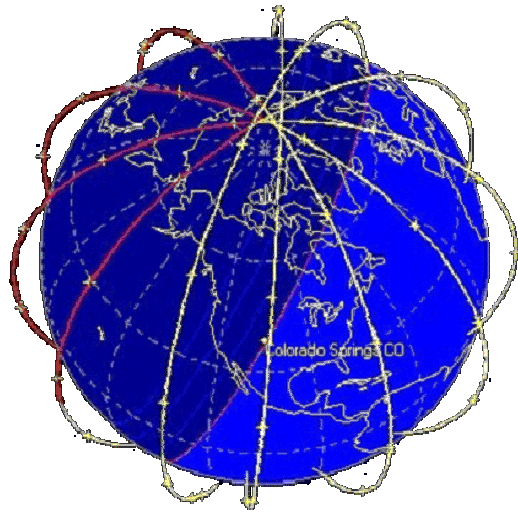
Iridium
Globalstar
Teledesic
Celestri
Odyssey
ICO
Skybridge

Iridium

- liczba satelitów: 66 + 6
- inklinacja: 86.4°
- wysokość orbit: 780 km
- opóźnienia w transmisji: do 10 ms
- prędkość względem powierzchni Ziemi: ok. 24 tys. km/h
- czas widzialności z Ziemi: 11.1 minuty
- komunikacja z czterema sąsiednimi satelitami (ISL)
- 48-wiązkowa antena do komunikacji z Ziemią
- każda wiązka obsługuje obszar o promieniu ok. 300 km

- transmisja głosu i danych (2.4 kbit/s)
- terminale przenośne - waga do 0.5 kg
- możliwa dwusystemowość (GSM)



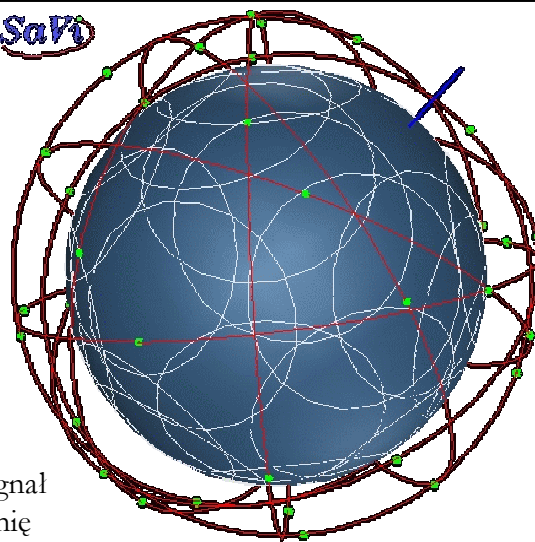


Konstelacja Iridium



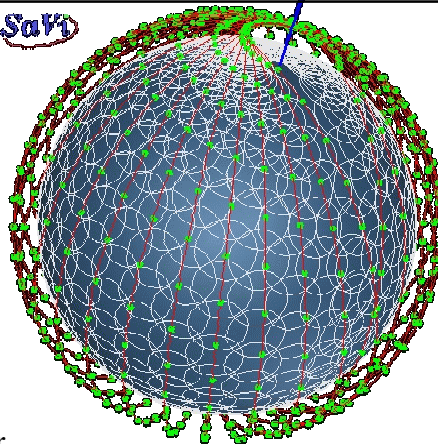
Globalstar

- liczba satelitów: 48 + 8
- wysokość orbit: 1414 km
- inklinacja: 52°
- 16-wiązkowe anteny
- satelity tylko retransmitują sygnał na Ziemię
- rozbudowana sieć naziemna: stacje bazowe, centra kontrolne, gateways, szkielet sieci
- terminale dwusystemowe



Teledesic

Sat



- kolejne liczby satelitów:
 - 840 + 84 (wys. 700 km)
 - 288 (wys. 1350 km)
 - 30 (MEO)
- inklinacja: 98°
- anteny satelitów śledzą pewien obszar na powierzchni Ziemi
- routing w sieci satelitów (8 ISL-i z każdego satelity)
- komutacja pakietowa
- terminale stacjonarne (anteny $\varnothing = 25$ cm) lub przenośne
- przepustowości: 16 - 2048 kbit/s

Celestri

- satelity: 63 LEO + 9 GEO
- inklinacja orbit LEO: 48°
- 260-wiązkowe anteny
- pojedynczy satelita: 8.75 Gbit/s w łączach uplink i downlink
- 4 ISL z każdego satelity LEO - 4 Gbit/s, częstotliwości świetlne
- terminale tylko stacjonarne,
5 typów, przepustowości od 64 kbit/s do 155 Mbit/s

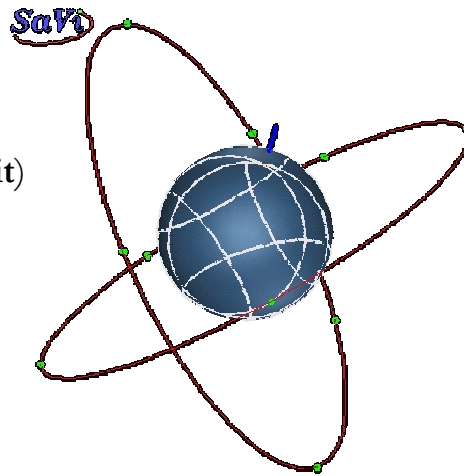
Odyssey

- 12 satelitów
- wysokość orbit: 10 354 km
- inklinacja: 55°
- konsekwencje wyboru orbit MEO:
 - mniejsza wymagana liczba satelitów
 - rzadsze przełączenia
 - większe opóźnienia 35-45 ms
- łączność głównie nad lądami - anteny sterowane, śledzące dany obszar na powierzchni Ziemi
- satelity tylko retransmitują sygnał
- współpraca z sieciami komórkowymi - terminale dwusystemowe

ICO

(Intermediate Circular Orbit)

- inne nazwy systemu: Inmarsat P, Project 21
- liczba satelitów: 12 + 2
- wysokość orbit 10 355 km, zmienione na 10 390 km
- inklinacja: 45°
- brak przetwarzania sygnału przez satelity
- wykorzystanie elementów techniki GSM przy projektowaniu sieci
- terminale dwusystemowe



Skybridge

- projekt sieci szerokopasmowej,
będącej dostępem do sieci stacjonarnych
- 80 satelitów w dwóch konstelacjach - po 5 satelitów na 8 orbitach
- wysokość orbit: około 1460 km
- inklinacja orbit: 55° -> zasięg systemu do 68° szer. geogr.

- terminale stacjonarne trzech typów
- minimalne oferowane przepustowości:
20.5 Mbit/s - downlink i 2 Mbit/s - uplink
- oferta głównie dla operatorów telekomunikacyjnych

There are also schemes for global broadband access that **DON'T** involve satellites.

Space? Who needs it?

Lloyd Wood, University of Surrey, UK

High-altitude communication

High-altitude communication

Platformy stratosferyczne (stratellites)

- wysokość – 10-30 km
- geostacjonarność
- problem pokrycia terenu
- wpływ warunków atmosferycznych



21st Century Airships

Krążące samoloty

Finding pilots willing to fly for eight hours in the same spot is a potential problem.

Ashley Dunn, Los Angeles Times

- Angel Technologies
(HALO Network)
- Platform International
- wysokość lotu : 17 km
- obsługiwany obszar : $\varnothing \approx 100$ km
- zastosowania : internet – 16 Gbit/s
- telewizja - stratovision



Systemy geostacjonarne

Telewizja satelitarna standardu DVB-S

Systemy VSAT

Inmarsat

Radiofonia satelitarna

Telewizja satelitarna DVB-S

Transmisja cyfrowego sygnału telewizyjnego:

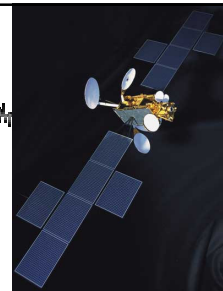
- *uplink*: z ośrodków telewizyjnych na satelity
- *downlink*: z satelitów:
 - bezpośrednio do odbiorców indywidualnych (wyposażonych w odpowiednio zwiżowaną antenę i dekodery)
 - do stacji operatorów telewizji kablowej

Standard kodowania: MPEG-2

Duża liczba satelitów -> w Europie: serie Hot Bird (Eutelsat) i Astra, Eurobird, Sirius, Amos

Standard nowej generacji: DVB-S2 (od roku 2005)

- kodowanie wg. MPEG-4 (HDTV)
- w Polsce: platforma cyfrowa **n**

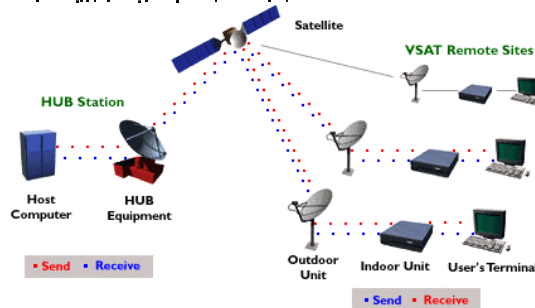


Satelita Astra-1K

Very Small Aperture Terminals

VSAT :

- systemy stacjonarne
- średnice anten: 0.5-3 metry
- niewielkie przepustowości
 - do 2 Mbit/s
- często systemy zamknięte
- zastosowania:
 - telefonja, faks, transmisja danych



Intensywny rozwój - lata 80-te

Obecnie :

500 tys. systemów VSAT w ponad 120 państwach świata

Inne systemy GEO

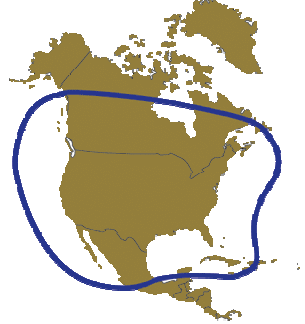
Inmarsat :

- od 1982 roku
- sieć globalna - do 70 stopnia szer. geogr.
- zastosowania: telekomunikacja morska, lotnicza,
 - biura terenowe
- kolejne wersje systemu: A, B, C, Mini-M, Fleet, GAN, BGAN
- terminale przenośne lub stacjonarne (pokładowe)
- łączność telefoniczna, faksy, transmisja danych
- przepustowości - 4.8 kbit/s, od 2002 r. - 64kbit/s,
 - od 2005 r. - do 492 kbit/s

Regionalne systemy GEO (telefonja satelitarna, dostęp do Internetu) :

- Thuraya (Bliski Wschód)
- AceS (Azja Południowo-Wschodnia)
- KIZUNA (Japonia)

Radiofonia satelitarna w USA



Zasięg odbioru radia XM

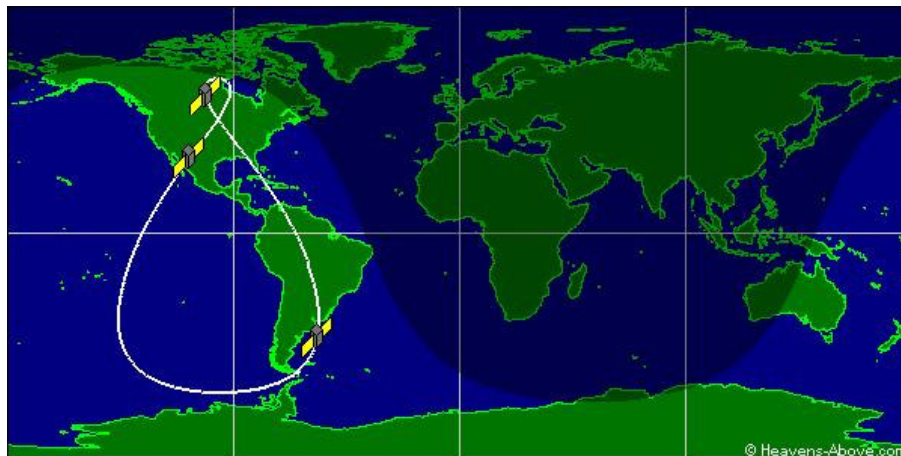
Płatne radio satelitarne :

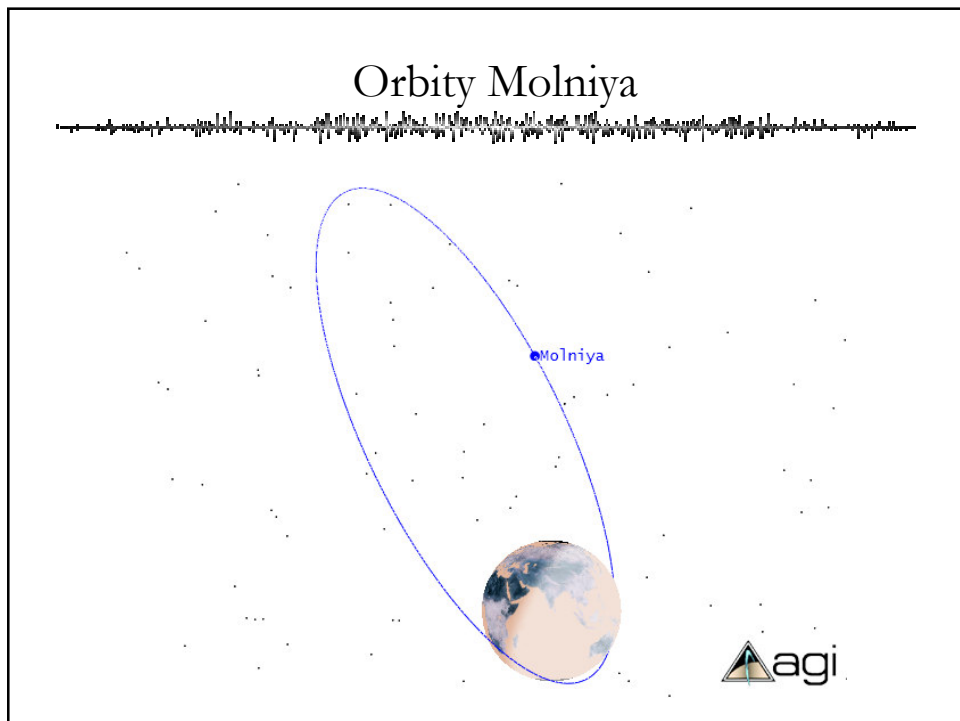
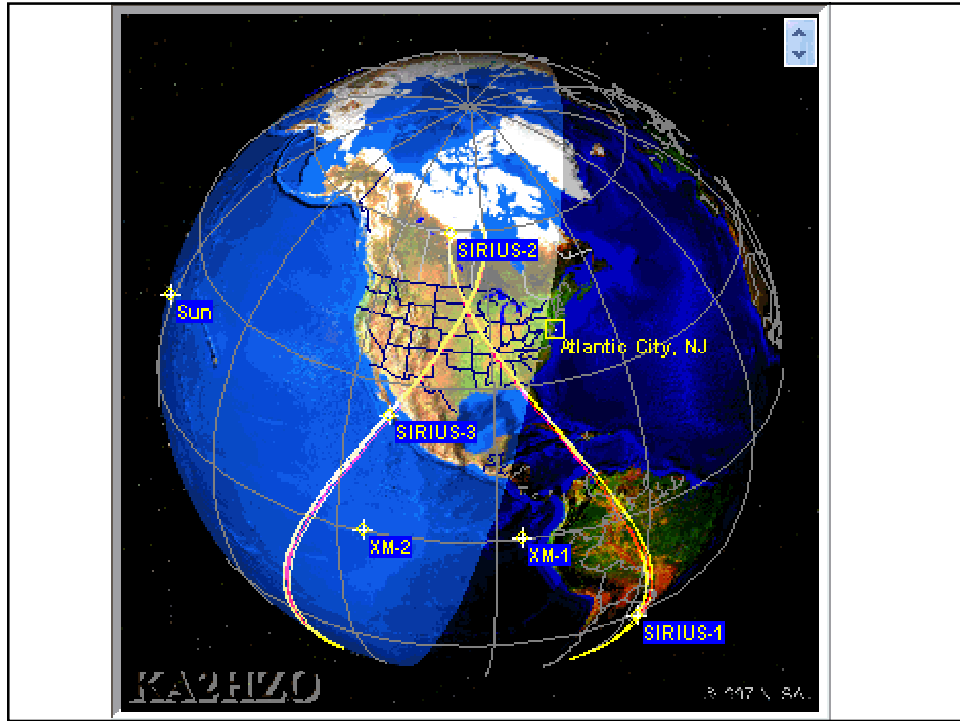
- sieci XM i Sirius
- zasięg : stany Zjednoczone i część Kanady
- satelity XM : GEO - 85°W i 115°W
- Sirius : orbity geosynchroniczne, eliptyczne
- ponad 100 kanałów radiowych w każdej ze stacji

Dygresja – orbity eliptyczne



Orbity geosynchroniczne – Sirius :





Orbity Molniya



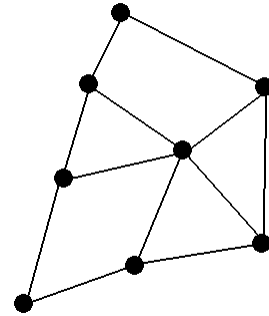
Rynki satelitarnej transmisji głosu i danych

1. Kraje o słabej infrastrukturze telekomunikacyjnej lub bez infrastruktury
2. Kraje o dobrze rozwiniętej, ale przeladowanej infrastrukturze telekomunikacyjnej
3. Firmy i osoby potrzebujące pewnej łączności bezprzewodowej z dowolnego miejsca na świecie

Konstelacja satelitarna jako sieć telekomunikacyjna



Aby myśleć o
konieczne jest :



- przetwarzanie sygnału na pokładzie satelity
- łącza międzysatelitarne ISL (Inter Satellite Links)
- implementacja protokołów IP/TCP

Porównanie konstelacji GEO i LEO



GEO :

- duże opóźnienia
- bardzo duża bitowa stopa błędów (BER)
- niepełne pokrycie powierzchni Ziemi

LEO :

- konstelacja w ciągłym ruchu
- pokrycie powierzchni Ziemi symetryczne względem równika
- brak wyróżnionych długości geograficznych
- małe, ale zmienne opóźnienia
- duża bitowa stopa błędów
- shadowing
- przełączenia (wpływ inklinacji i wysokości orbity)

Łąca międzysatelitarne ISL

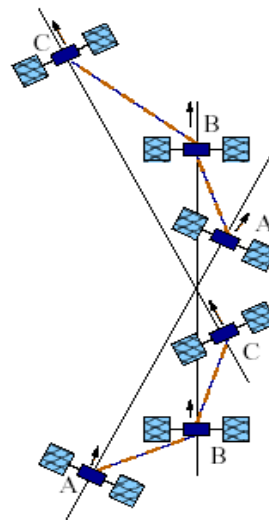
- umożliwienie routingu wewnątrz sieci satelitów
- redukcja ruchu między satelitami a adapterami sieciowymi (gateways)
- redukcja liczby adapterów sieciowych
- zrównoważenie ruchu obsługiwanego przez poszczególne adaptory sieciowe
- zabezpieczenie przed awariami poszczególnych adapterów sieciowych

Łąca międzysatelitarne ISL

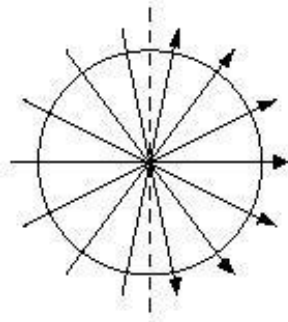
Ten sam typ orbit
- wysokość
- inklinacja

Łąca intra-plane
(intra-orbital)

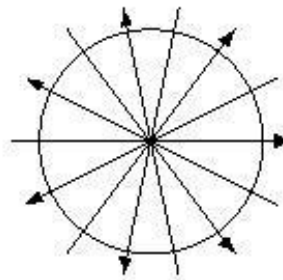
Łąca inter-plane
(inter-orbital)



Łącza międzysatelitarne ISL



Konstelacja π (star)
- Iridium, Teledesic



Konstelacja 2π (delta)
- Celestri, Skybridge

Pokrycie powierzchni Ziemi i problem przełączeń (LEO)



Typy pokrycia powierzchni Ziemi :

- satellite-fixed
- earth-fixed
 - przełączenia okresowe w całej konstelacji

Problem : długie przerwy w transmisji
(przełączenia, shadowing, opady deszczu)

Rozwiązanie : techniki Multi-path

Implementacja protokołu TCP

TCP :

- protokół połączeniowy (connection-oriented)
- implementacja mechanizmów korekcji błędów (Error Control) i sterowania przepływem (Flow Control)

Wersje protokołu TCP :

Tahoe, Reno, Vegas, SACK, Westwood

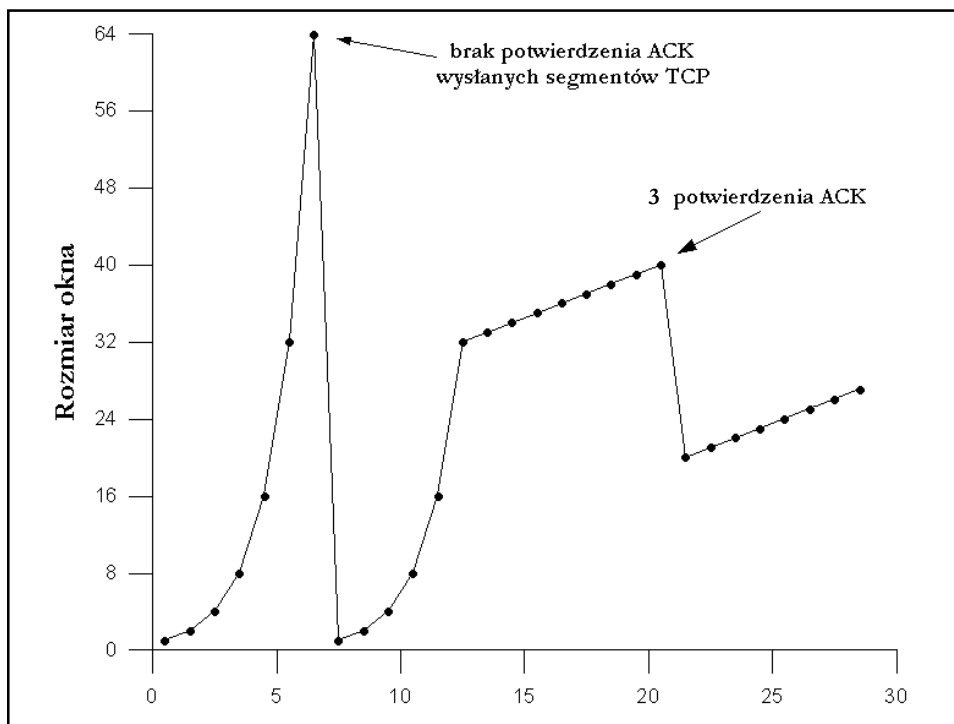
Implementacja protokołu TCP

Error & Flow Control :

- sliding (advertised) window
- acknowledgements

Algorytmy dodatkowe :

- slow start
- congestion avoidance – ssthresh
- fast retransmit
- fast recovery



Implementacja protokołu TCP - ramka segmentu TCP



# Bits						
16	16	32	32	4	6	6
Source Port	Dest. Port	Sequence Number	Acknowledgement Number	HLEN	Reserved	Code Bits

16	16	16	0 or 32	
Window	Check-sum	Urgent Pointer	Option	Data...

↑
Rozmiar okna w bajtach

Implementacja protokołu TCP - problemy łączy satelitarnych

1. Ograniczony rozmiar okna (duże opóźnienia)

$$\text{Przepustowość} = \frac{\text{Window}}{\text{Round Trip Time}}$$

Maksymalny rozmiar okna : 2^{16} B = 64 kB

Window = 64 kB, Round Trip Time = 0.25 s



Max. przepływność = 256 kB/s

Rozwiązanie : Window Scale

Implementacja protokołu TCP - problemy łączy satelitarnych

2. Wznowienie transmisji po utracie pakietów (duża BER)

Rozwiązanie : rozwinięcie mechanizmów
Selective Acknowledgement

3. Pomiar Round Trip Time (zmiennne opóźnienia)

Rozwiązanie : Timestamps

Dziękuję za uwagę