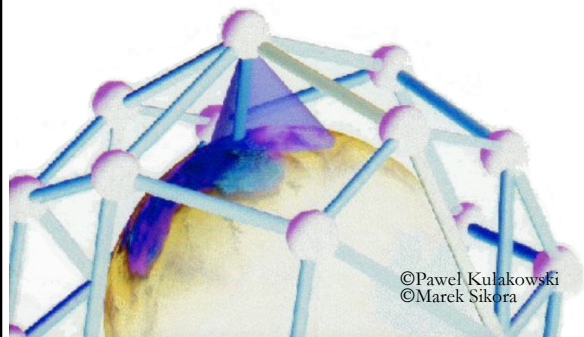


Konstelacje i sieci satelitarne



Rynki satelitarnej transmisji głosu i danych

1. ARMIA

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

Najprostsza satelitarna sieć globalna

Konstelacja 3 satelitów geostacyjnych

ZALETY:

- stałe opóźnienie transmisji
- brak efektu Dopplera
- stosunkowo niski koszt realizacji systemu

WADY:

- wysoka wartość opóźnienia (ok. 0,5 sek.)
- niemożność budowy terminali doryęcznych
- brak pokrycia na obszarach podbiegunowych

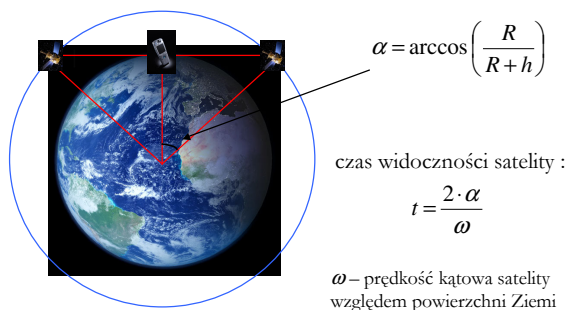


Arthur C. Clarke (1945)

Zalety satelitów niskoorbitowych (LEO)

- małe opóźnienia transmisji
- niewielka moc nadajników terminali naziemnych
- możliwość powtórnego wykorzystania zasobów radiowych
- większa pojemność sieci
- prosta konstrukcja anten terminali naziemnych
- możliwość budowy terminali doryęcznych
- dłuższy czas pracy terminali stacji naziemnych
- pokrycie całej powierzchni globu

Czas widoczności satelity



Czas widoczności satelity

Przykładowy satelita :

inklinacja	h [km]	v [km/h]	T [h]
0°	1672	25 268	2

$$\omega = \omega_{\text{satelity}} - \omega_{\text{Ziemi}} = \frac{360^\circ}{2h} - \frac{360^\circ}{24h} = 360^\circ \cdot \frac{11}{24h}$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{R}{R+h}\right) = 37.6^\circ$$

Czas widoczności satelity :

$$t = \frac{2 \cdot \alpha}{\omega} = \frac{75.2^\circ}{360^\circ} \cdot \frac{24h}{11} \approx 27 \text{ minut}$$

Satelita w zenicie i na horyzoncie

Odległość od satelity
Długość trasy radiowej przechodzącej przez atmosferę
Tłumienie fali radiowej w propagacji przyziemnej

Efekt Dopplera dla satelitów LEO

Względna dopplerowska przesłana częstotliwość

Względna dopplerowska przesłana częstotliwość

$$\sin(\gamma) = \cos(\gamma) \cos(\theta) - \frac{R}{R+h} \cos(\theta)$$

$$z = \sqrt{R^2 + (R+h)^2 - 2R(R+h)\cos(\gamma)}$$

$$V_{\text{dop}} = \frac{dz}{dt} = \frac{dz}{d\gamma} \frac{d\gamma}{dt}$$

$$V_{\text{dop}} = \frac{(R+h)\sin(\gamma)}{\sqrt{R^2 + (R+h)^2 - 2R(R+h)\cos(\gamma)}} V_s$$

$$\frac{f_{\text{dop}}}{f} = \frac{V_{\text{dop}}}{c}$$

Obszar obsługiwany przez satelitę

$$\cos(\alpha) = \frac{R}{R+h}$$

Obszar obsługiwany przez satelitę:

$$S = 2\pi R^2 (1 - \cos(\alpha))$$

$$S = \frac{2\pi R^2 h}{R+h}$$

Konstelacje satelitarne

Cel:

Dla wybranych punktów na powierzchni Ziemi zapewnić ciągłą widoczność co najmniej n satelitów pod kątem elewacji większym od minimalnego

Realizacja:

Regularny układ płaszczyzn orbitalnych o stałym kącie inklinacji

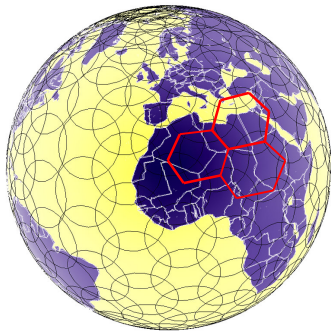
Konstelacje satelitarne $- \Pi$ star

Konstelacja gwiazdowa (Walkera)
Kąty inklinacji orbit bliskie 90°
Równomierne rozmieszczenie płaszczyzn orbitalnych
Najlepsze pokrycie nad obszarami biegunowymi

Konstelacje satelitarne $- 2\Pi$ delta

Konstelacja rozetowa (Ballarda)
Kąty inklinacji orbit mniejsze od 60°
Równomierne rozmieszczenie płaszczyzn orbitalnych
Brak pokrycia na obszarach podbiegunowych
Nadmiarowe pokrycie na obszarach umiarkowanych

Konstelacja jako sieć komórkowa



Sieci komórkowe: założenia

- Zwiększenie pojemności sieci przez zmniejszenie zasięgu stacji bazowych przy jednoczesnym zwiększeniu ich liczby
- Wielokrotne powtórzenie tych samych podzbiorów kanałów w obrębie sieci

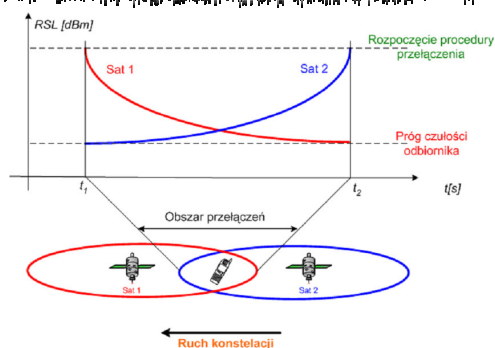
Cechy sieci komórkowej

- Zasięgi radiowe stacji bazowych są odwrotnie proporcjonalne do gęstości ruchu telekomunikacyjnego występującego w danym rejonie sieci komórkowej
- Sieć daje się łatwo rozbudować na obszarach o ruchu przekraczającym jej dotychczasowe zdolności usługowe przez wprowadzenie nowych stacji bazowych z równoczesnym zmniejszeniem ich zasięgów radiowych
- Sieć wykazuje zdolność do automatycznego przełączania raz przyjętego do obsługi zgłoszenia z jednej do innej stacji bazowej bez konieczności jego przerywania

Przełączenia w sieciach komórkowych #1

- Ruch oferowany w sieciach komórkowych
 - zgłoszenia nowe
 - zgłoszenia przełączane
- Strategie sterowania przełączeniami
 - równoprawna obsługa zgłoszeń nowych i przełączanych
 - obsługa z rezerwacją kanałów dla przełączeń
 - równoprawna obsługa z oczekiwaniem przełączeń na zwolnienie się kanału

Przełączenia w sieciach komórkowych #2



Wyznaczanie komórek współkanałowych

1. Na obszar objęty siecią nakładamy strukturę jednakowych komórek heksagonalnych
2. Zbiór kanałów radiowych dzielimy na szereg rozłącznych podzbiorów **A**, **B**, **C**
3. Losowej komórce przydzielamy podzbiór kanałów **A**
4. Wybieramy dwie liczby naturalne i oraz j
5. W każdym z sześciu kierunków prostopadłych do boków wybranej komórki odliczamy i , a następnie po obrocie o 60° np. w prawo, odmierzymy następną j komórek.

Liczba komórek w zespole

Liczba podzbiorów na które dzielimy zbiór kanałów przydzielonych sieci

$$N = i^2 + ij + j^2$$

Współczynnik CIRF

Cochannel Interference Reduction Factor

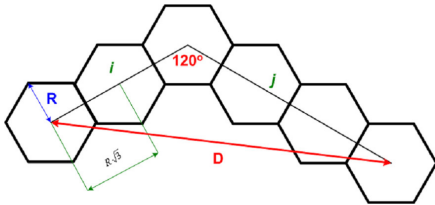
D – odległość koordynacyjna. Długość odcinka łączącego środki najbliższych komórek współkanałowych

$$q = \frac{D}{R}$$

Odległość koordynacyjna

$$D = \sqrt{(jR\sqrt{3})^2 + (iR\sqrt{3})^2 - 2ij(R\sqrt{3})^2 \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right)} =$$

$$R\sqrt{3}\sqrt{j^2 + ij + i^2} = R\sqrt{3N}$$



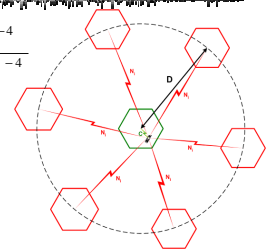
Wpływ na parametry sieci

$$\frac{C}{I} = \frac{C(\propto R^{-4})}{\sum_{i=1}^6 N_i(\propto D^{-4})} = \frac{R^{-4}}{6D^{-4}}$$

$$\frac{C}{I} = \frac{q^4}{6}$$

$N \uparrow \rightarrow C/I \downarrow$

$N \uparrow \rightarrow \text{Pojemność sieci} \downarrow$



Segmenty systemu satelitarnego

Segment kosmiczny :

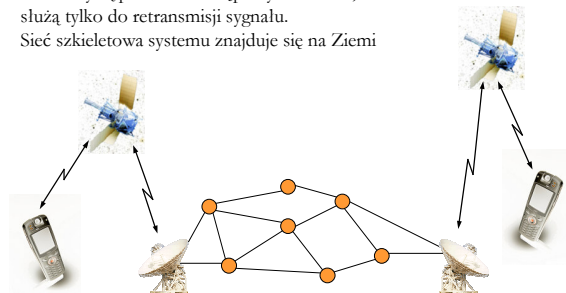
- satelity

Segment naziemny :

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

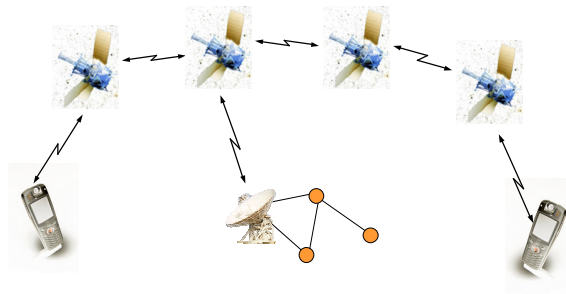
Typy architektur systemów satelitarnych

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



Typy architektur systemów satelitarnych

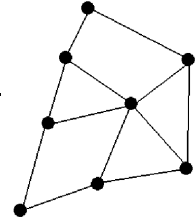
2. Satelity są zarówno siecią dostępową, jak i szkieletową systemu. Transmisja pomiędzy nimi następuje przez łącza międzysatelitarne (ISL).



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
- opracowanie protokołów routingu



Łącza międzysatelitarne ISL #1

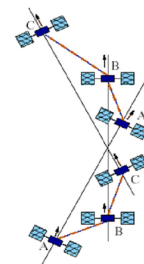
- umożliwienie routingu wewnątrz sieci satelitów
- redukcja ruchu między satelitami a adapterami sieciowymi (gateways)
- redukcja liczby adapterów sieciowych
- zrównoważenie ruchu obsługiwanego przez poszczególne adaptery sieciowe
- zabezpieczenie przed awariami poszczególnych adapterów sieciowych

Łącza międzysatelitarne ISL #2

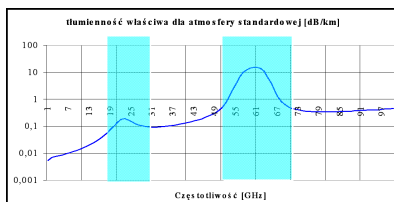
Ten sam typ orbit
- wysokość
- inklinacja

Łącza intra-plane
(intra-orbital)

Łącza inter-plane
(inter-orbital)

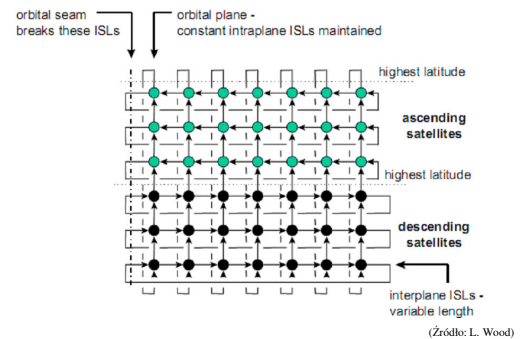


Łącza międzysatelitarne ISL #3

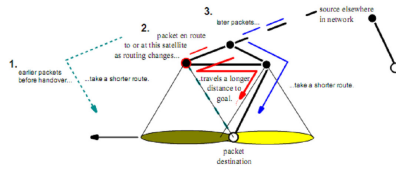


- łącza radiowe
- łącza optyczne
- minimalizacja interferencji z systemami naziemnymi

Segment kosmiczny jako sieć



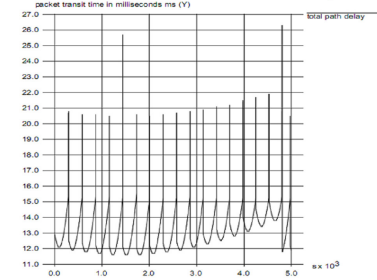
Przełączenie terminala nadziemnego



(Źródło: L. Wood)

Przełączenie terminala naziemnego

end-to-end packet delay variation over 1.4-hour period



(Źródło: L. Wood)

Strategie sterowania przełączeniami

Typy pokrycia powierzchni Ziemi:

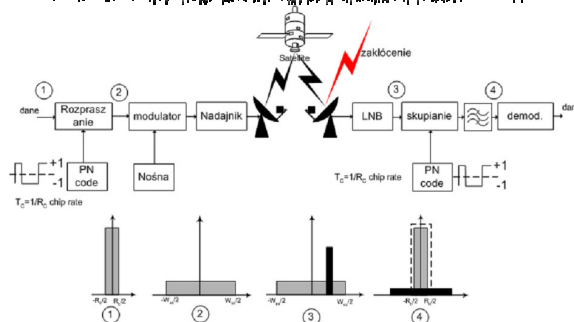
- pokrycie satellite fixed
- pokrycie Earth fixed
 - przełączenia następują synchronicznie w całej konstelacji

Strategie sterowania przełączeniami

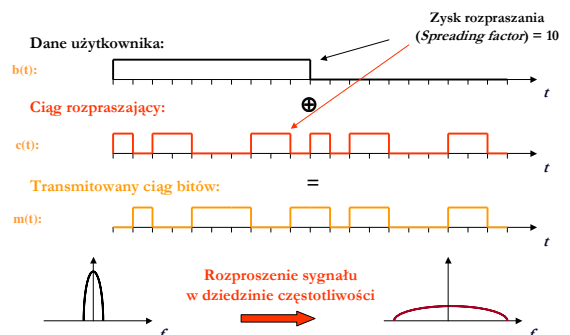
Miękkie przełączenia (soft handover):

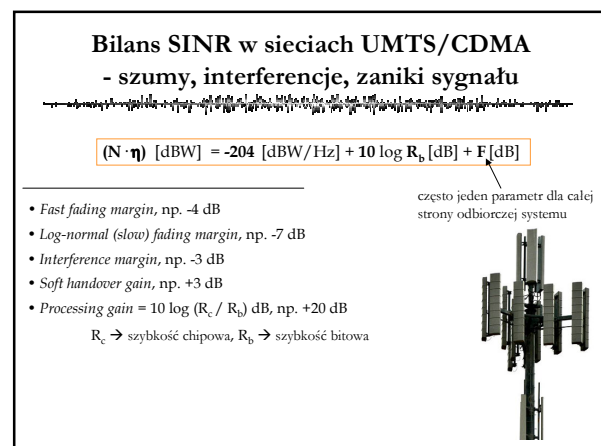
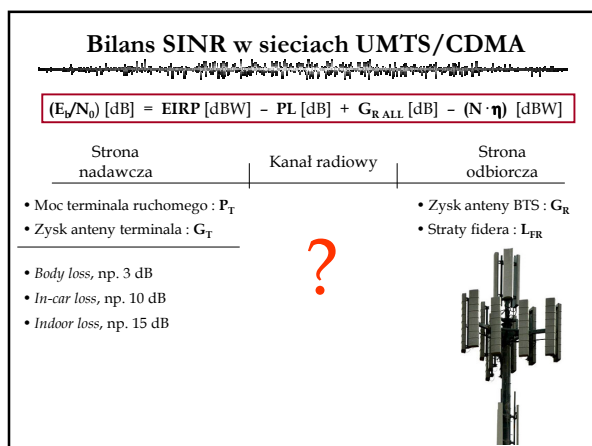
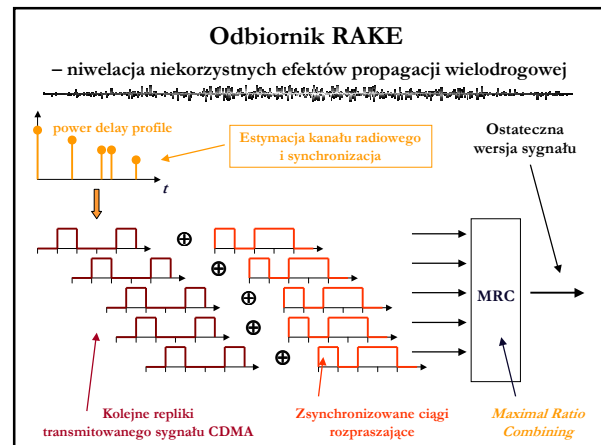
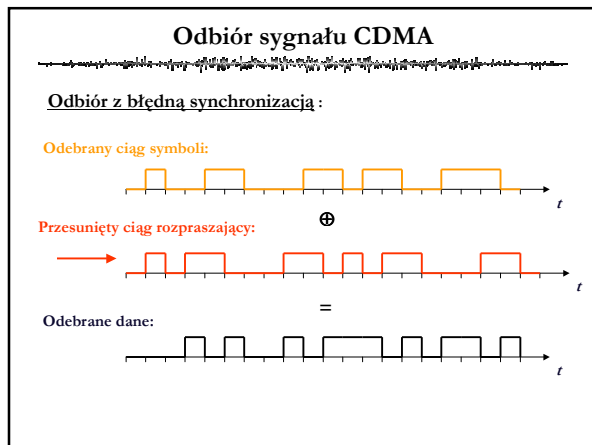
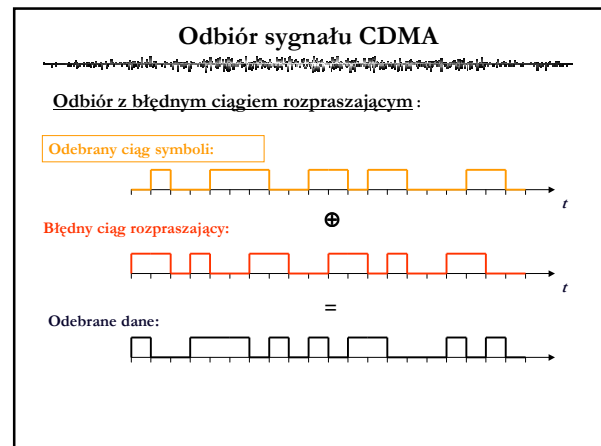
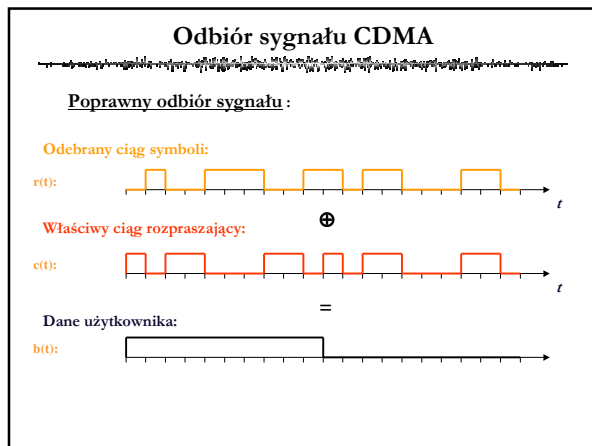
- w sieciach bazujących na CDMA
- w konstelacji 2ΠΔ o wielokrotnym pokryciu
- terminal połączony jednocześnie z kilkoma satelitami

CDMA zasada działania



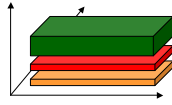
Rozpraszanie sygnału CDMA





Wielodostęp kodowy CDMA

- ukrycie transmisji
 - widmowa gęstość mocy sygnału może być mniejsza od widmowej gęstości mocy szumu
- zabezpieczenie przed niepożądanym odbiorem sygnału
 - konieczność znajomości ciągu rozpraszającego
- konieczność dokładnej synchronizacji nadajnik-odbiornik
- problemy z ortogonalnością ciągów rozpraszających
- wymagane mechanizmy sterowanie mocą (*near-far problem*)
- elastyczna pojemność sieci z wielodostępem CDMA
 - brak sztywnego limitu użytkowników
 - *breathing cells*
- transmisja strumieni bitowych o różnych przepływnościach

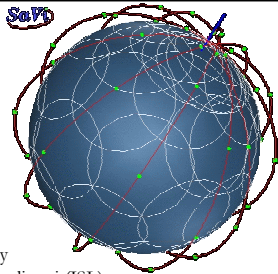


Przykłady systemów LEO

Iridium
Globalstar
Teledesic

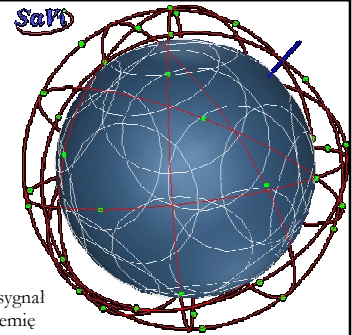
Iridium

- 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)



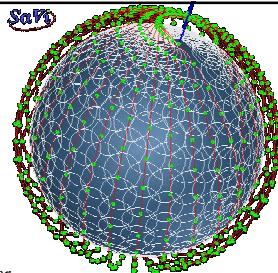
Globalstar

- 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

- 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 (anten $\varnothing = 25$ cm) lub przenośne
- przepustowości: 16 - 2048 kbit/s



Systemy mieszane LEO+MEO+GEO

Celestri
Odyssey
ICO
Skybridge

Celestri

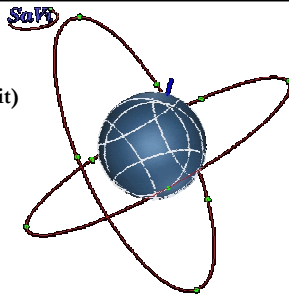
- satelity: 63 LEO + 9 GEO
- inklinacja orbit LEO: 48°
- 260-wiązkowe anteny
- pojedynczy satelita: 8.75 Gbit/s w łączach uplink i downlink
- 4 ISL z każdego satelity LEO - 4 Gbit/s, częstotliwości świetlne
- terminale tylko stacjonarne,
5 typów, przepustowości od 64 kbit/s do 155 Mbit/s

Odysey

- 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

Trendy rozwojowe

Sieci szerokopasmowe
Sieci „małych” satelitów LEO

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



Dziękuję za uwagę