



Systemy satelitarne



Plan wykładu

- Wprowadzenie
- Typy satelitów
- Charakterystyki systemów satelitarnych
- Infrastruktura systemów satelitarnych
- Ustanowienie połączenia
- GPS
 - Ograniczenia GPS
 - Beneficjenci GPS
 - Zastosowania GPS



Wprowadzenie

- Satelity znajdujące się nad ziemią mogą pokrywać duże obszary
- Informacja, która ma być przekazywana od mobilnego użytkownika musi być prawidłowo otrzymana przez satelitę i następnie przekazana do jednej ze stacji naziemnych (**ES-earth station**)
- To nakłada określone ograniczenie: możliwa jest tylko komunikacja typu **Linia widoczności** (**LOS-line of sight**)



Obszary zastosowań systemów satelitarnych

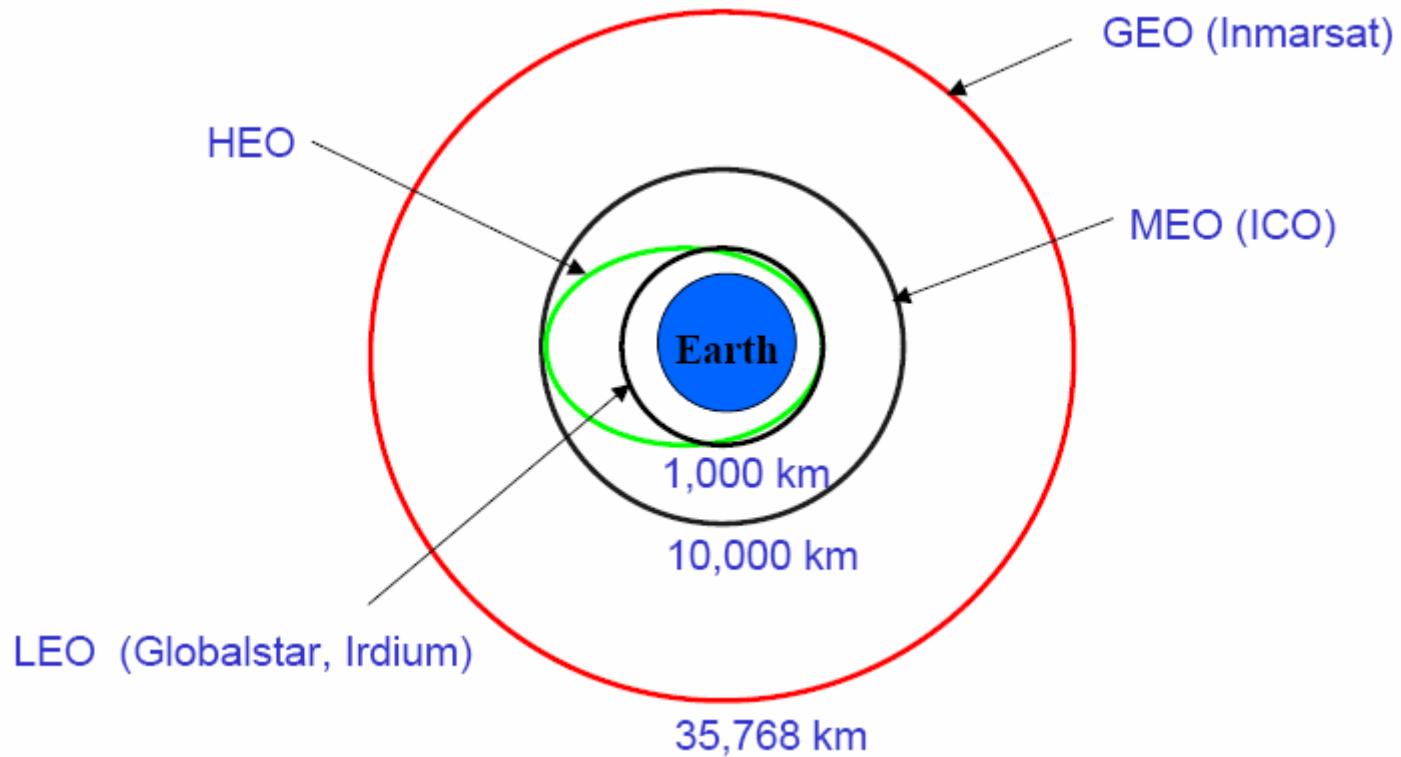
- Tradycyjne
 - Satelity meteorologiczne
 - Satelity transmisji radiowo-telewizyjnych
 - Satelity militarne
 - Satelity dla celów nawigacji i lokalizacji (np. [GPS](#))
- Telekomunikacyjne
 - Globalne połączenia telefoniczne
 - Szkielet sieci globalnych
 - Połączenia komunikacyjne w oddalonych miejscach
 - Globalna mobilna komunikacja



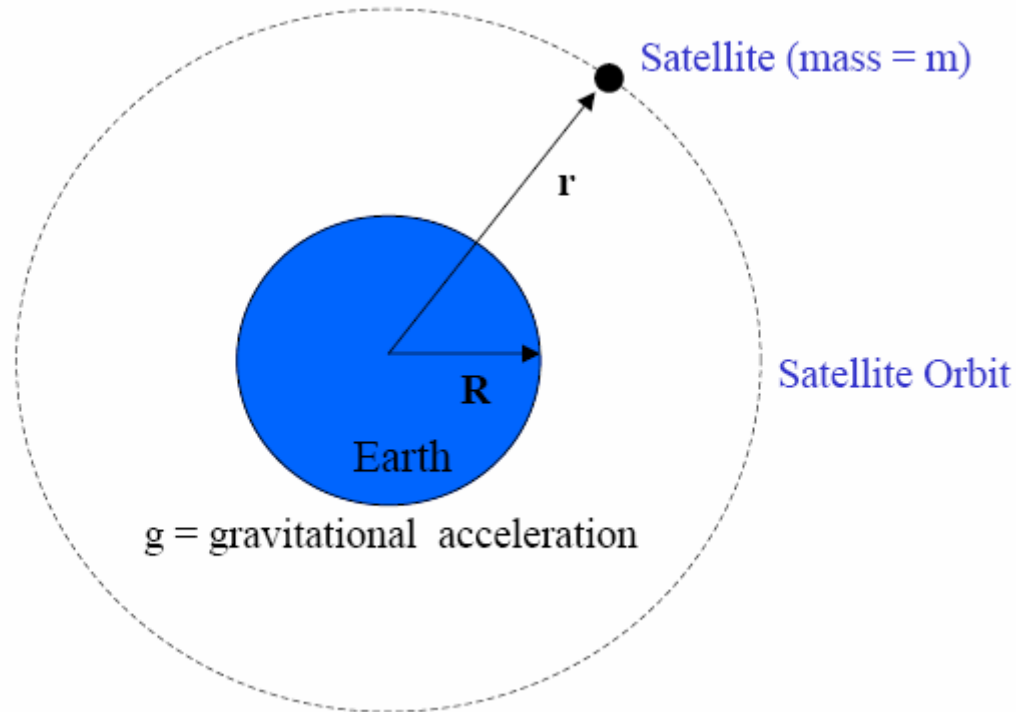
Typy systemów satelitarnych

- Ze względu na kształt i średnicę orbity znane są aktualnie cztery typy orbit satelitarnych
 - **GEO** (Geostationary Earth Orbit) na wysokości **36000 km** nad powierzchnią ziemi
 - **LEO** (Low Earth Orbit) na wysokości **500-1500 km** nad ziemią
 - **MEO** (Medium Earth Orbit) lub **ICO** (Intermediate Circular Orbit) na wysokości **6000-20000 km** nad ziemią
 - **HEO** (Highly Elliptical Orbit)

Orbity różnych satelitów



Parametry ziemia-satelita dla stabilnej orbity





Parametry ziemia-satelita (cd.)

- Orbity mogą być eliptyczne lub kołowe
- Rotacja czasu zależy od odległości między satelitą i ziemią
- Dla satelitów o orbicie kołowej ma zastosowanie prawo grawitacji Newtona:

$$F_g \text{ (attractive force)} = mg \left(\frac{R}{r}\right)^2$$

$$F_c \text{ (centrifugal force)} = mr\omega^2$$

$$\omega = 2\pi f$$

Where, m = mass of the satellite

g = gravitational acceleration (9.81 m/s²)

R = radius of the earth (6,370 kms)

r = distance of the satellite to the center of earth

ω = angular velocity of satellite

f = rotational frequency



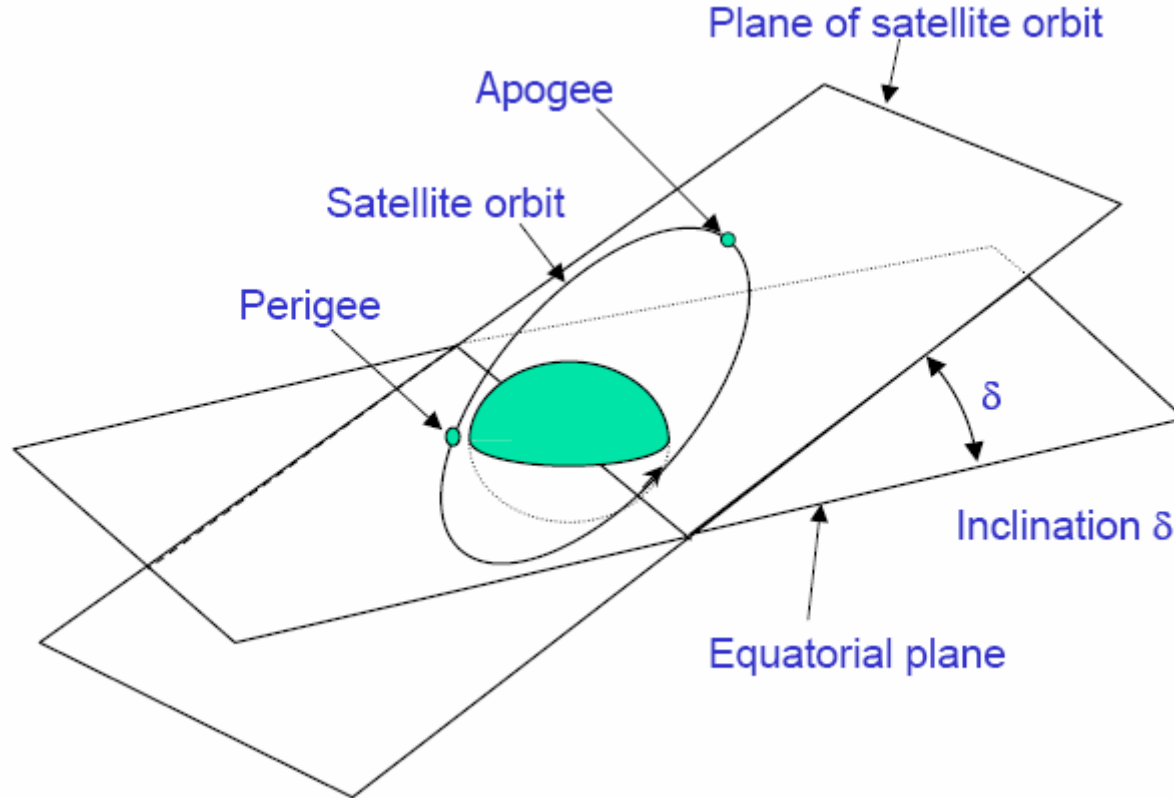
Parametry ziemia-satelita (cd.)

- Aby orbita satelity była stabilna muszą być zrównoważone dwie siły, a więc

$$\gamma = \sqrt[3]{\frac{gR^2}{(2\pi f)^2}}$$

Inklinacja

- Płaszczyzna orbity satelity w stosunku do płaszczyzny równika ziemi

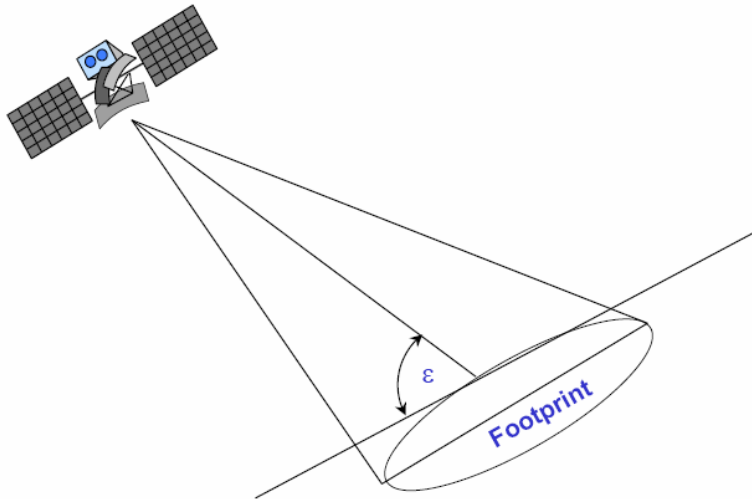




Footprint: obszar oświetlenia

- Powierzchnia wewnątrz okręgu jest rozpatrywana jako obszar równomiernego oświetlenia i ten obszar stałej intensywności traktuje się jako obszar oświetlenia (**footprint**) przez strumień sygnału z satelity
- Satelita posiada kilka strumieni sygnału; te strumienie mogą być traktowane jak komórki konwencjonalnych systemów bezprzewodowych

Elewacja i obszar oświetlenia



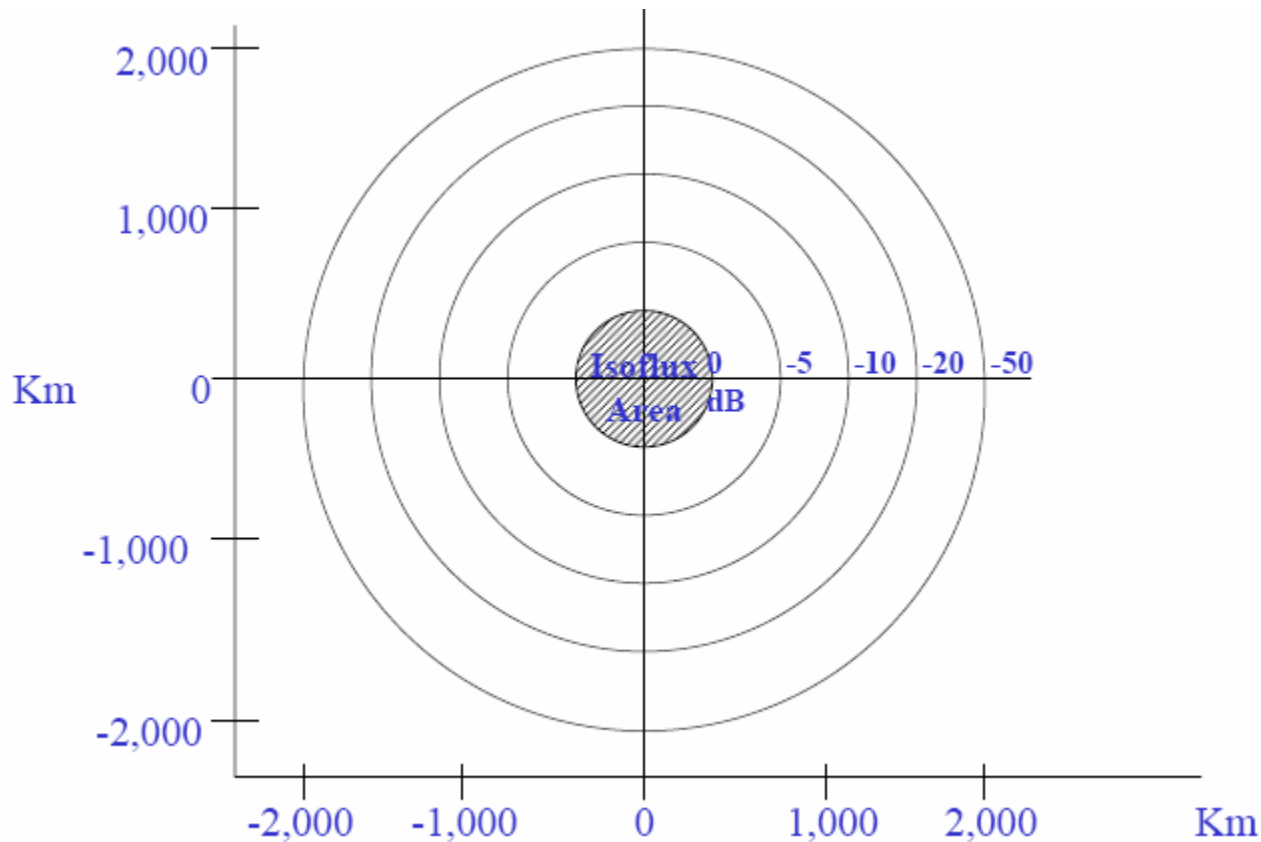
- Elewacja:

Kąt ε między centrum satelitarnego strumienia i powierzchnią ziemi

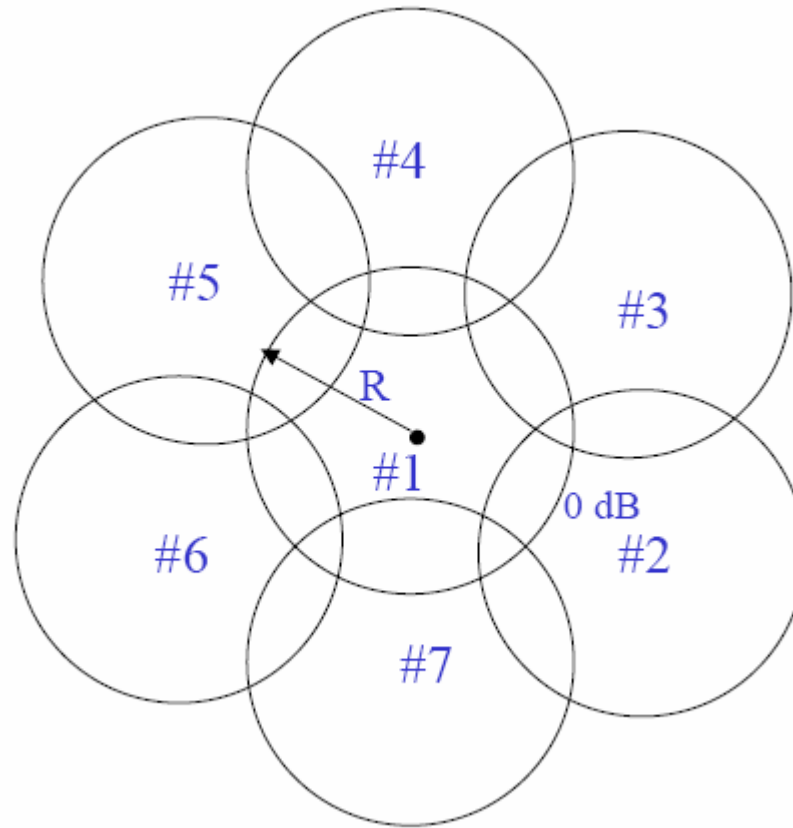
- Kat elewacji

Ma wpływ na obszar oświetlenia

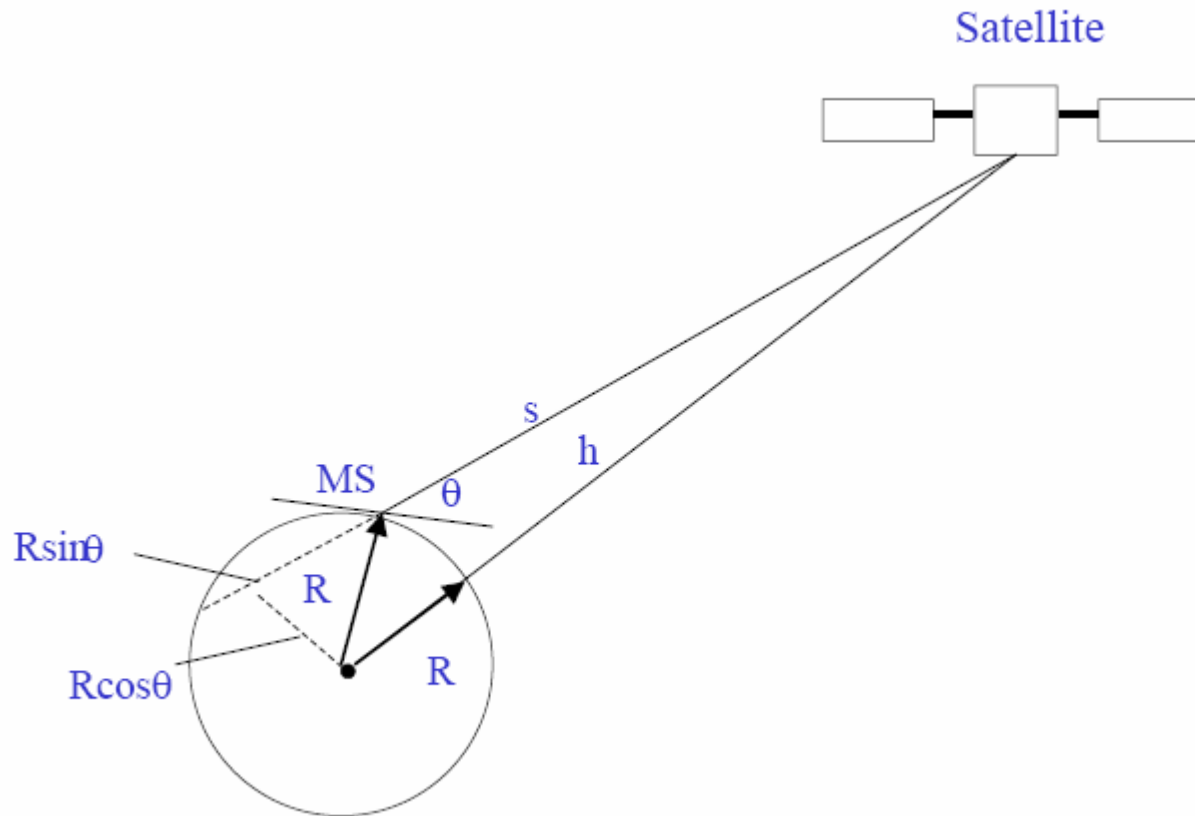
Poziomy intensywności obszaru oświetlenia dla satelitów GEO



Przykład geometrii satelitarnych obszarów oświetlenia



Komunikacija satelitarna





Komunikacja satelitarna

- Rysunek pokazuje drogę s odpowiadającą komunikacji między MS a satelitą
- Opóźnienie czasowe (**delay**) jest funkcją szeregu parametrów:

$$Delay = \frac{s}{c} = \frac{1}{c} \left[\sqrt{(R+h)^2 - R^2 \cos^2 \theta} - R \sin \theta \right]$$

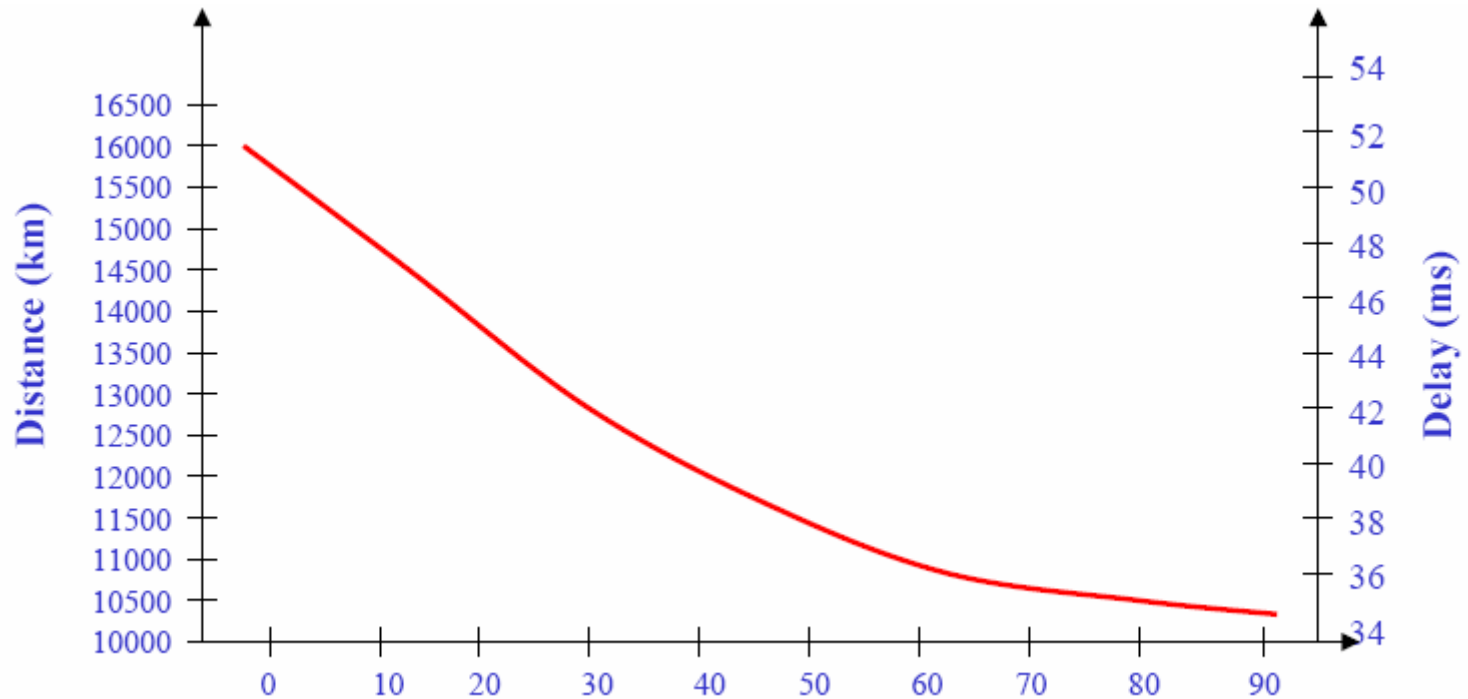
where, R = radius of the earth

h = orbital altitude

θ = satellite elevation angle

c = speed of light

Wariacja opóźnienia w MS w funkcji kąta elewacji (satelita na 10355 km)





Różne zakresy częstotliwości

- Satelity wykorzystują różne zakresy częstotliwości dla kanałów **uplink** i **downlink**

Band	Uplink (GHz)	Downlink (GHz)
C	3.7-4.2	5.925-6.425
Ku	11.7-12.2	14.0-14.5
Ka	17.7-21.7	27.5-30.5
LIS	1.610-1.625	2.483-2.50



Różne zakresy częstotliwości (cd.)

- Częstotliwości zakresu **C** były używane w satelitach pierwszej generacji i zakres ten stał się zatłoczony z powodu mikrofalowych naziemnych sieci, które używają tych częstotliwości
- Zakresy **Ku** i **Ka** są coraz bardziej popularne, nawet mimo tego że obciążone są zwiększonym tłumieniem podczas deszczu

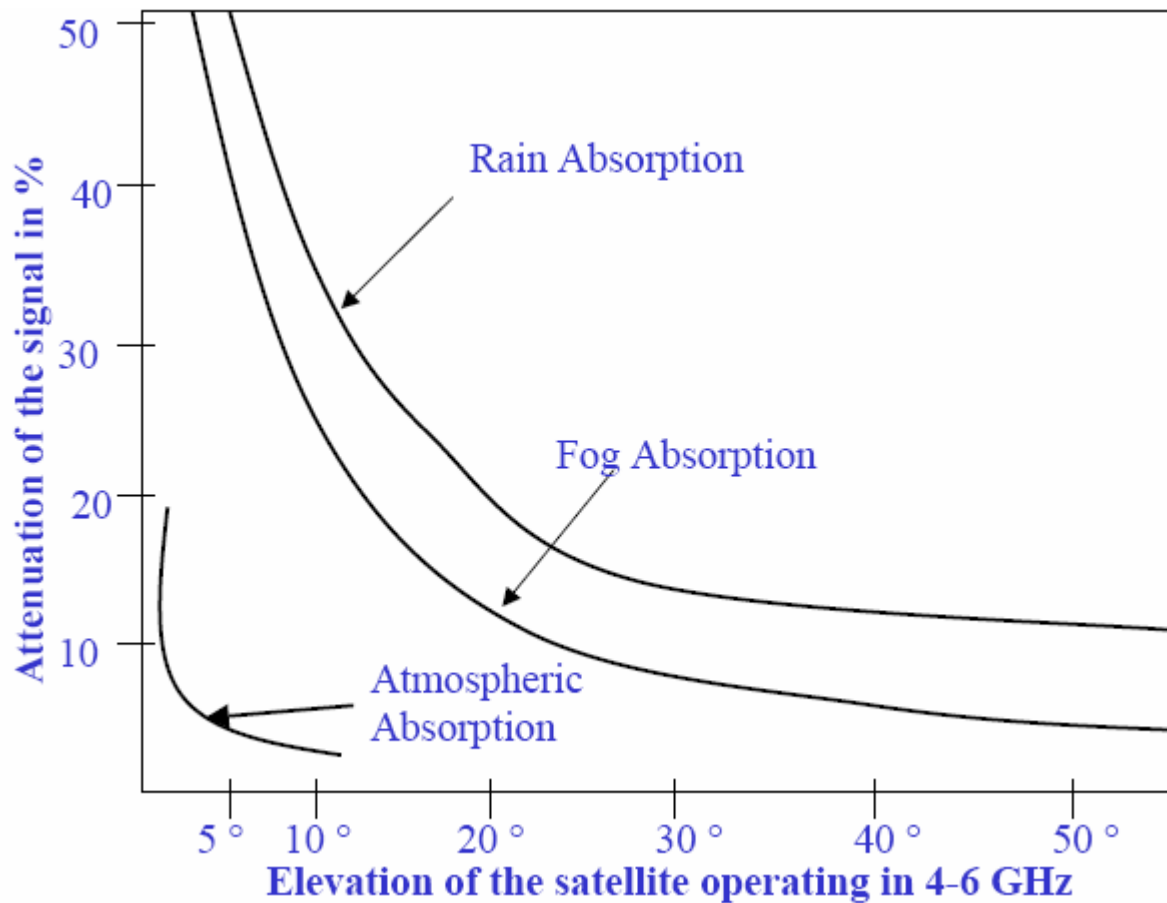


Charakterystyki transmisji mocy

- Satelity odbierają sygnały o bardzo niskich poziomach mocy (poniżej 100 picowatów), które są na 1-2 rzędy niższe niż sygnały otrzymywane przez naziemne odbiorniki (1-100 microwatów)
- Otrzymywana moc jest określona przez cztery parametry
 - Moc transmitowana
 - Zysk anteny transmitującej
 - Odległość między nadajnikiem i odbiornikiem
 - Zysk anteny odbiornika
- Warunki atmosferyczne powodują tłumienie transmitowanego sygnału i stratę w MS o wartości (r -odległość, f -częstotliwość nośna):

$$L = (4\pi rf/c)^2$$

Tłumienie atmosferyczne w funkcji kąta elewacji





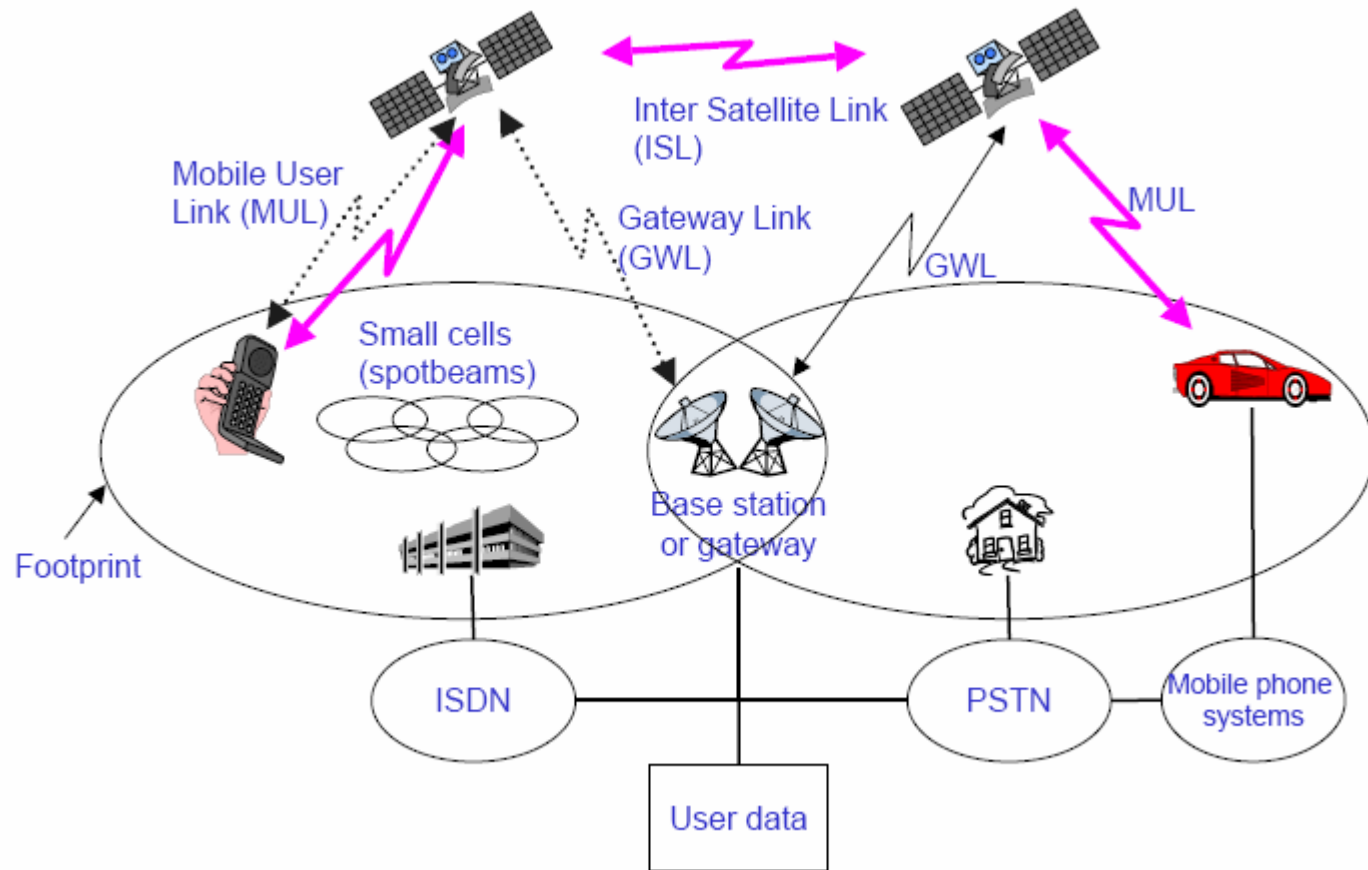
Charakterystyki systemów satelitarnych

- Satelity ważą około **2500** kg
- Satelity **GEO** znajdują się na wysokości **35768** km na orbicie w płaszczyźnie ekwatorialnej o **0** kącie inklinacji
- Wykonują one dokładnie jeden obrót na dobę
- Anteny znajdują się w stałych pozycjach i używają zakresu uplink **1634.5-1660.5** MHz oraz zakresu downlink **1530-1559** MHz
- Częstotliwości zakresu **Ku** (**11** GHz i **13** GHz) stosuje się do połączeń między BS i satelitami

Charakterystyki systemów satelitarnych (cd.)

- Satelity zwykle charakteryzują się dużymi obszarami oświetlenia – 34% powierzchni ziemi jest pokryta; dlatego powtórne wykorzystanie częstotliwości jest trudno realizować
- Istnieje wysokie opóźnienie (około 275 ms) w transmisji danych ze względu na globalne pokrycie mobilnych telefonów
- Satelity LEO dzielą się na małe i duże
- Małe satelity LEO mają mniejszy rozmiar; zakresy częstotliwości 148-150.05 MHz (uplink) i 137-138 MHz (downlink); umożliwiają tylko powolną transmisję danych (1 kb/s) w obie strony
- Duże satelity LEO posiadają adekwatną moc i pasmo tak aby realizować różne globalne mobilne usługi takie jak transmisja danych, stronicowanie, pozycjonowanie, itp.
- Duże satelity LEO korzystają z zakresów częstotliwości 1610-1626.5 MHz (uplink) i 2483.5-2500 MHz (downlink)
- Krążą na orbicie na wysokości 500-1500 km
- Opóźnienie wynosi około 5-10 ms i satelita jest widoczny w przeciągu 10-40 min

Typowy system satelitarny





Infrastruktura systemu satelitarnego

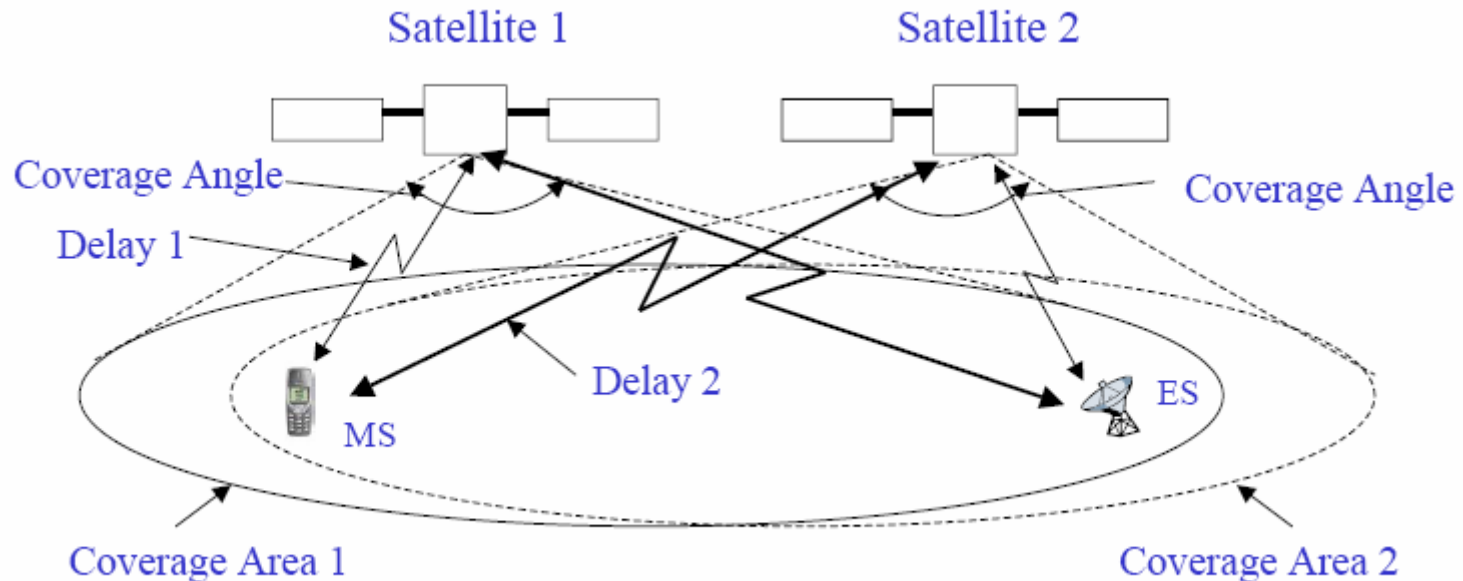
- Jak tylko został ustalony bezpośredni kontakt między MS i satelitą z użyciem strumienia typu LOS pozostały świat może być dostępny poprzez przewodową szkieletową sieć
- Satelity są kontrolowane przez BS-y znajdujące się na powierzchni ziemi, pełniące funkcje bram
- Łącza między satelitami mogą być używane do przekazywania informacji od jednego satelity do drugiego, ale są one cały czas kontrolowane przez naziemne BS-y
- Obszar oświetlenia (footprint) przez satelitarny sygnał jest obszarem gdzie mobilni użytkownicy mogą się komunikować z satelitą



Infrastruktura systemu satelitarnego (cd.)

- Istnieją straty w przestrzeni kosmicznej oraz straty spowodowane atmosferyczną absorpcją sygnałów satelity
- Również deszcz powoduje straty sygnału gdy w celu uniknięcia orbitalnego zagęszczenia używa się pasm 12-14 GHz i 20-30 GHz
- Satelitarne sygnały mogą być chwilowo blokowane przez latające obiekty lub powierzchnie ziemskich terenów
- Dlatego koncepcja tzw. **dywersyfikacji** jest używana w celu transmisji tej samej wiadomości przez więcej niż jednego satelitę

Dywersyfikacja satelitarnych dróg



Dywersyfikacja satelitarnych dróg (cd.)



- Idea dywersyfikacji polega na tym, aby zapewnić mechanizm, który łączy dwa lub więcej skorelowanych sygnałów informacyjnych
- Sygnały te posiadają nieskorygowane charakterystyki szumowe i tłumieniowe
- Kombinacja tych dwóch sygnałów poprawia jakość sygnału
- Końcowy odbiornik ma możliwość wyboru lepszego z sygnałów otrzymywanych w sytuacji chwilowych strat z powodu problemów typu LOS czy absorpcji atmosferycznej
- Ceną tego podejścia jest dwukrotne użycie pasma i dlatego pożądane jest stosowanie tego podejścia w jak najmniejszych odcinkach czasu

Dywersyfikacja satelitarnych dróg (cd.)

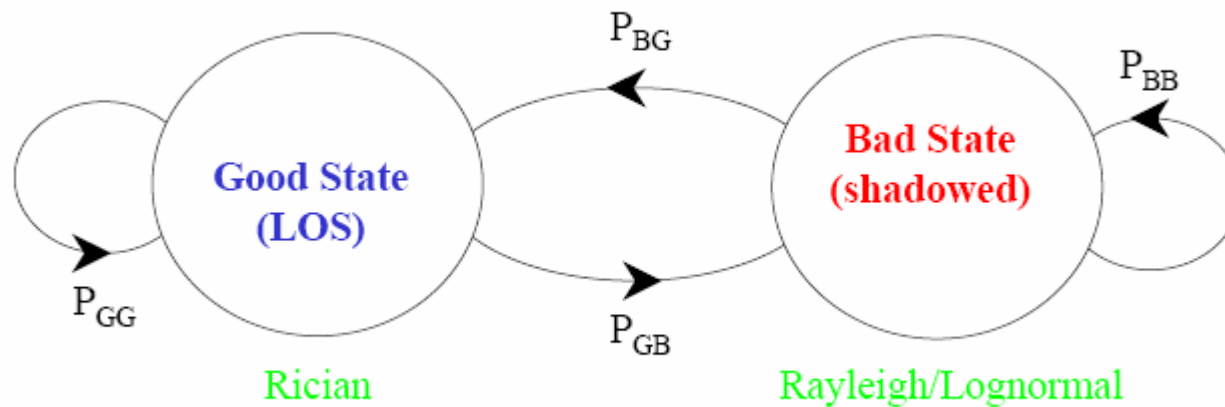
- Użycie dywersyfikacji może być zainicjalizowane bądź przez MS-a bądź przez BS znajdującego się na ziemi
- Użycie dywersyfikacji satelitarnej drogi jest spowodowane następującymi sytuacjami
 - **Kąt elewacji:** większy kąt elewacji zmniejsza problem cienia. Tak więc, dywersyfikacja drogi może być zainicjalizowana gdy kąt elewacji jest mniejszy niż pewna progowa wartość
 - **Jakość sygnału:** jeżeli średnia jakość poziomu sygnału obniża się poniżej pewnego poziomu to może to spowodować inicjalizację dywersyfikacji
 - **Opcja gotowości:** kanał może być wybrany i zarezerwowany dla opcji gotowości, gdy są problemy z kanałem pierwotnie wybranym. Kilka MS-ów może współdzielić ten sam kanał gotowości
 - **Przenoszenie połączenia w sytuacji nadzwyczajnej:** kiedykolwiek połączenie MS-a z satelitą jest zerwane to MS próbuje uzyskać awaryjne przeniesienie połączenia



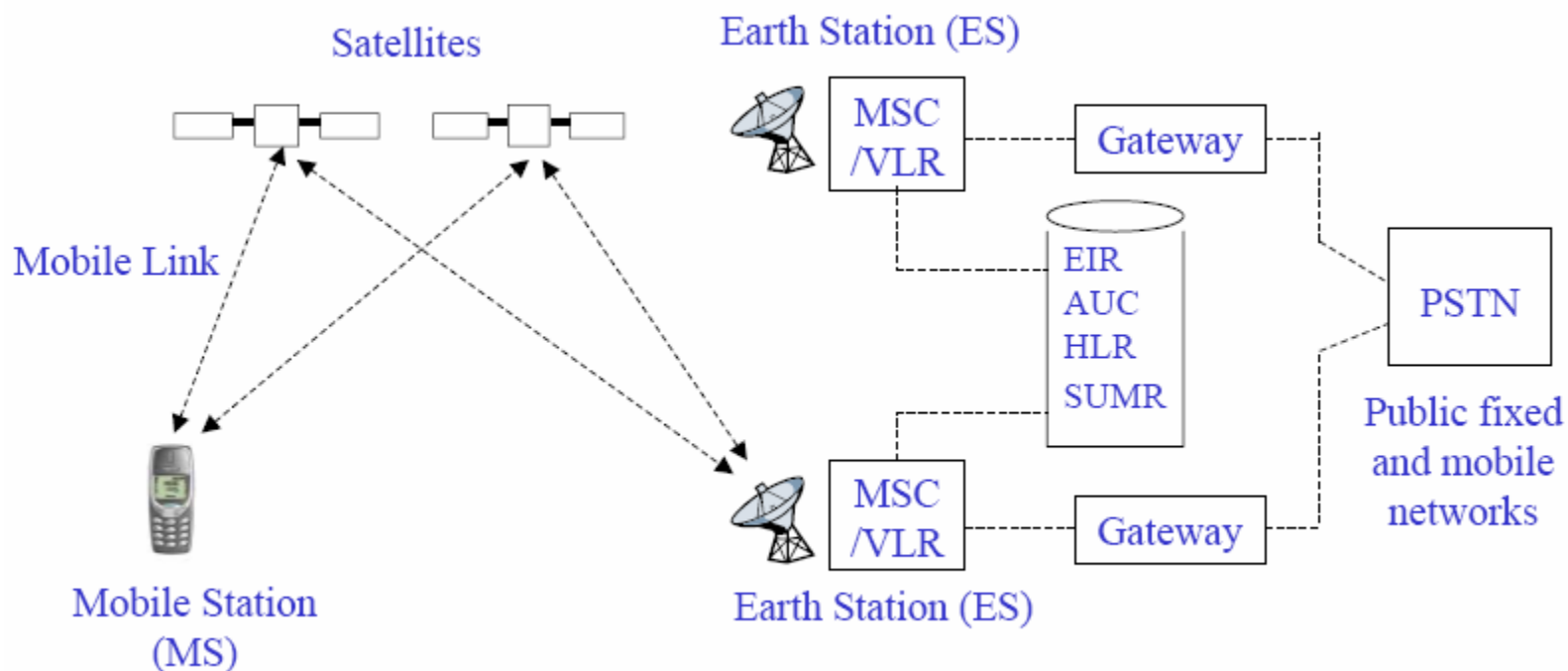
Model kanału dla MS-a

- Kanał systemu satelitarnego jest zwykle reprezentowany przez 2-stanowy model Markowa
- MS w dobrym stanie charakteryzuje się tłumieniem o rozkładzie Rician
- Zły lub zacieniony stan wskazuje na tłumienie o rozkładzie Rayleigh/lognormal

Model kanału dla MS-a



Arhitektura sistema satelitarnega





Utworzenie połączenia

- **ES** jest sercem całościowego systemu kontroli
- **ES** wypełnia funkcje podobne do **BSS** w bezprzewodowych systemach komórkowych
- **ES** utrzymuje kontrolę nad wszystkimi MS-mi znajdującymi się w jego obszarze i zarządza przydziałem zasobów radiowych
- **MSC/VLR** są ważnymi elementami **ES**-a, pełniącymi funkcje podobne jak w sieciach komórkowych
- Para **HLR-VLR** realizuje podstawowy proces zarządzania mobilnością
- **SUMR** (Satellite User Mapping Register) w **ES** przechowuje listę pozycji wszystkich satelitów i ukazuje satelitę przypisanego do każdego MS-a



Utworzenie połączenia (cd.)

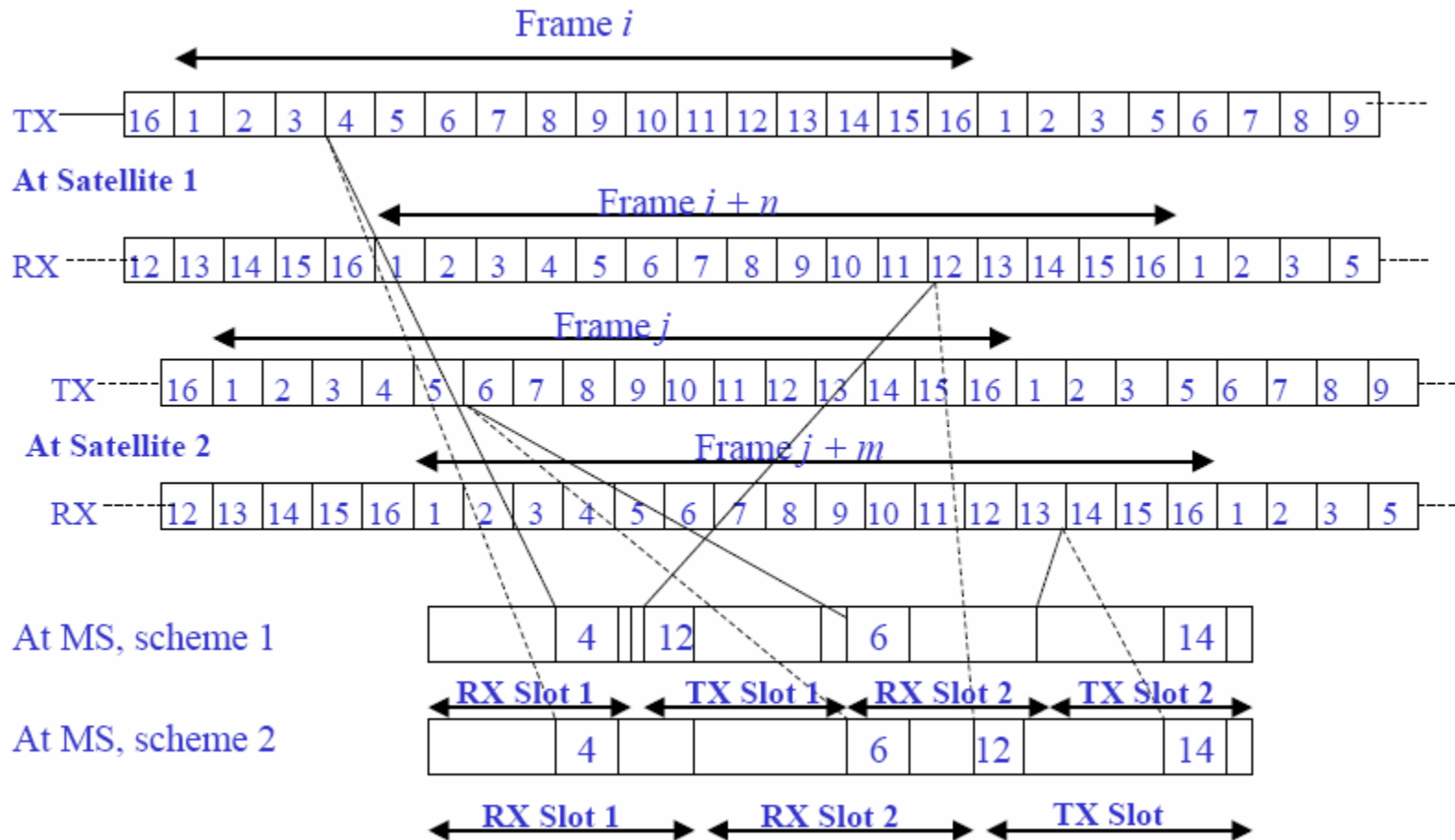
- ES-sy są również połączone z PSTN oraz ATM, tak więc połączenia z domowymi telefonami mogą być utworzone
- Dla nowego połączenia brama pomaga znaleźć najbliższą ES, która z kolei używając pary HLR/VLR wskazuje satelitę obsługującego rejon ostatniej znanej lokalizacji MS-a
- Satelita używa kanału stronicowania, aby poinformować MS-a o przychodzącym do niego połączeniu oraz zasobu radiowego w celu użycia go dla połączenia typu uplink
- Przy połączeniu inicjowanym przez MS, ten MS uzyskuje dostęp do współdzielonego kanału kontrolnego z satelity nad tym obszarem, a satelita z kolei kontaktuje się z ES-em w celu uwierzytelnienia użytkownika/MS-a
- Następnie ES przydziela MS-wi poprzez satelitę kanał rozmowny i również przekazuje bramie dodatkową informację kontrolną



Utworzenie połączenia (cd.)

- Podobnie jak systemach komórkowych gdy MS przemieszcza się do nowego obszaru obsługiwanego przez innego satelitę, to MS musi przejść proces rejestracji
- Jedyna różnica polega na użyciu ES we wszystkich przejściowych krokach

Ramki czasowe w systemach satelitarnych wykorzystujących TDMA





Ramki czasowe w systemach satelitarnych wykorzystujących TDMA (cd.)

- Schemat 1 wykorzystuje pierwszą połowę 16-to szczelinowej ramki do komunikacji z satelitą 1, a drugą część z satelitą 2
- Dywersyfikacja jest stosowana przy użyciu schematu 2: ramka TDMA jest rozdzielona na 3 części – pierwsze 2 części służą do odbioru z satelity 1 i 2 i część 3-cia służy do komunikacji z satelitą, od którego przychodzi najlepszy sygnał



Typy przeniesienia połączenia

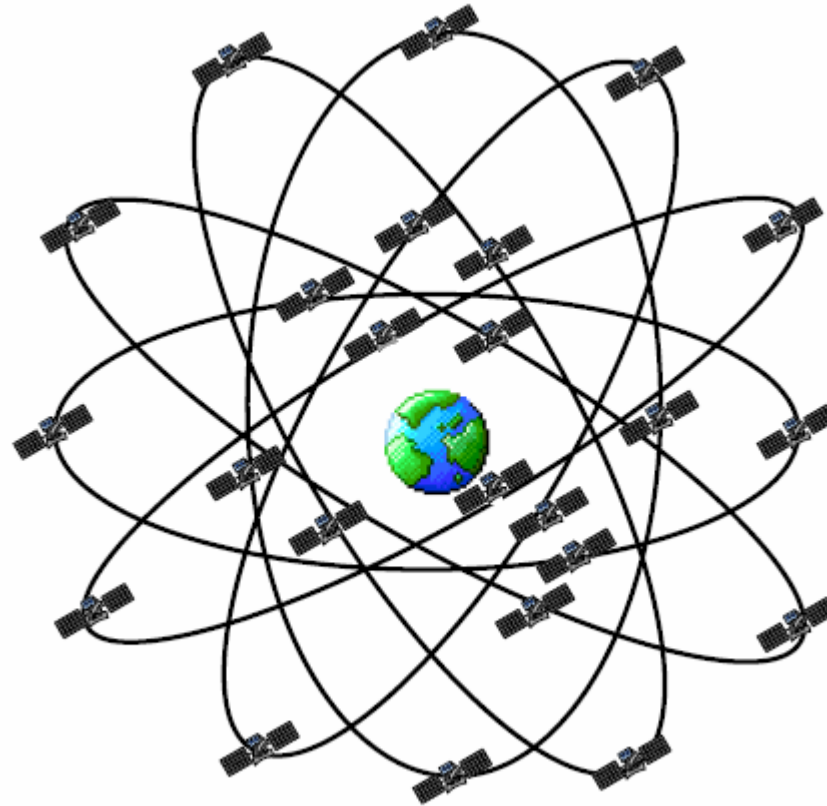
- **Przeniesienie wewnątrz satelity:** gdy MS przemieszcza się z jednego obszaru oświetlenia danego satelity w drugi obszar tego samego satelity
- **Przeniesienie między satelitami:** ponieważ MS-y są mobilne oraz większość satelitów nie jest geosynchroniczna to droga strumienia sygnału może zmieniać się periodycznie. Dlatego może istnieć konieczność przeniesienia połączenia z jednego satelity do drugiego pod kontrolą ES-a
- **Przeniesienie między ES-mi:** może nastąpić z powodu przestawień częstotliwości, które nastąpiły w wyniku wyrównywania obciążeń w sąsiednich obszarach oświetlenia. Może zaistnieć sytuacja gdy system sterowania satelity spowoduje zmianę z jednego ES-u do drugiego
- **Przeniesienie międzysystemowe:** przeniesienie z sieci satelitarnej do sieci naziemnej



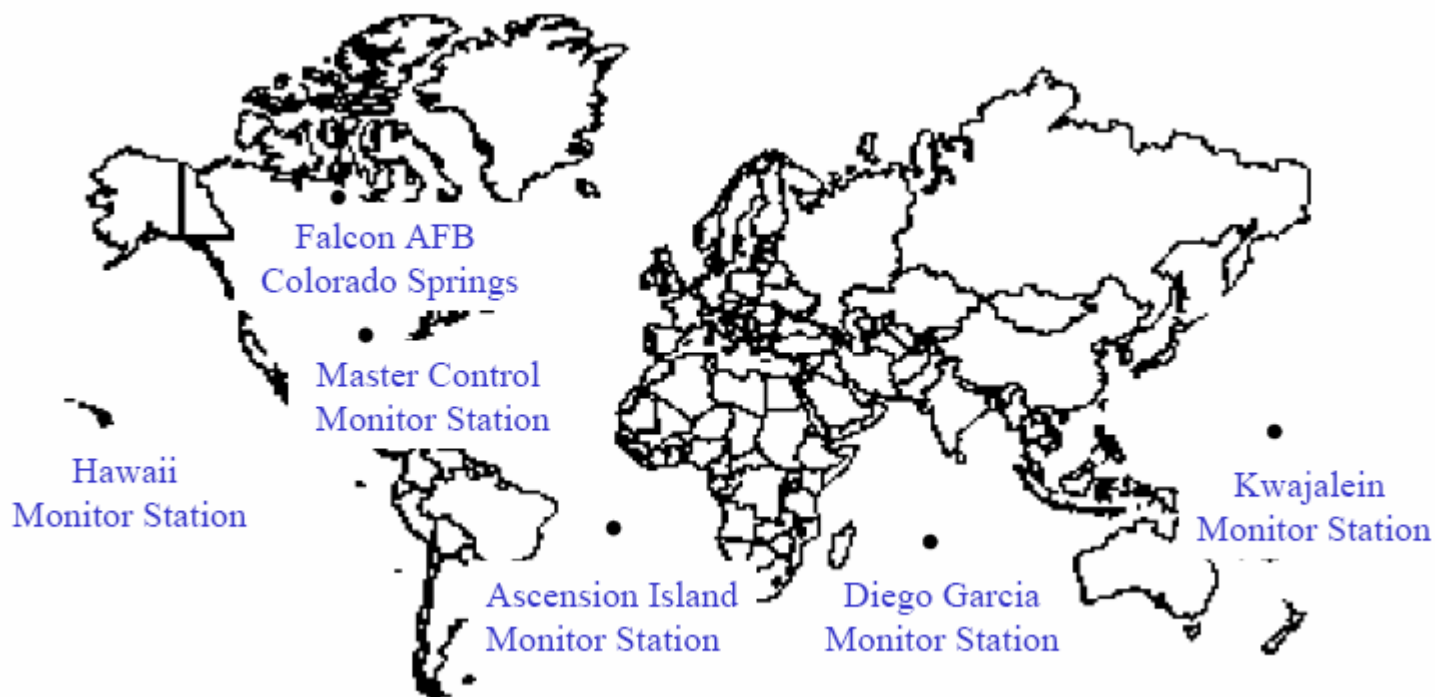
GPS (Global Positioning System)

- Ma wiele zastosowań: lokalizacja celów militarnych, nawigacja, śledzenie skradzionych samochodów, naprowadzanie chorych do najbliższego szpitala, dokładna lokalizacja dzwoniących np. na telefon ratunkowy **911**
- System GPS oparty jest na sieci **24** satelitów **NAVSTAR** umieszczonych na **6** różnych orbitach, z **4** satelitami na każdej orbicie
- Orbitalny okres tych satelitów wynosi **12** godz.
- Pierwszy satelita był wystrzelony w lutym **1978**, a ostatni satelita systemu GPS ulokowano na orbicie w marcu **1994**
- Oczekiwany czas życia każdego satelity wynosi około **7.5** roku
- Każdy satelita transmituje na 3 częstotliwościach; cywilny GPS użytkuje częstotliwość L1: 1575.42 MHz

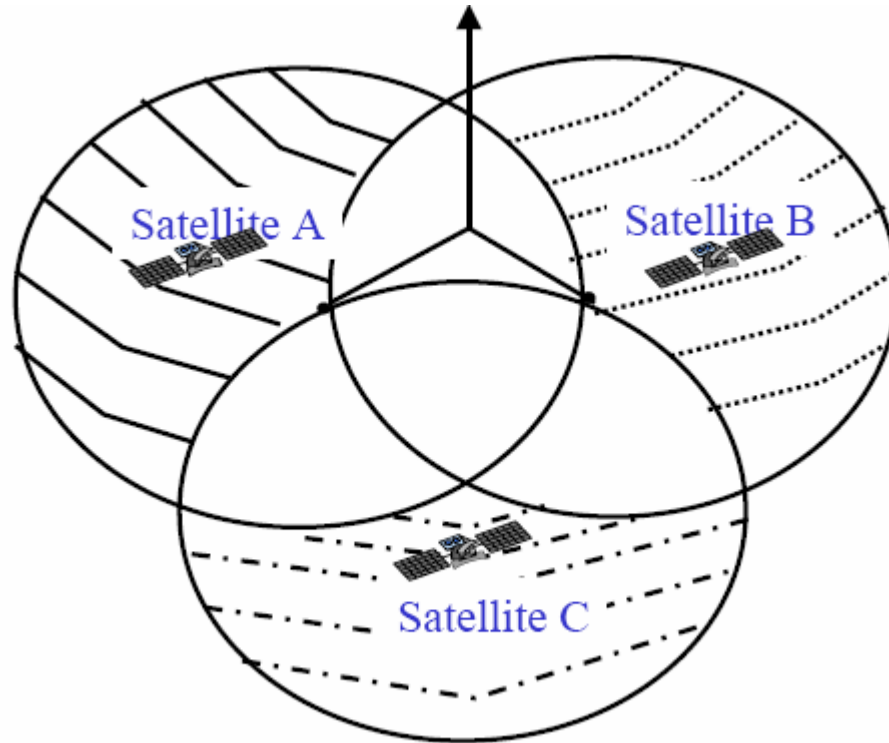
Konstelacja systemu 24 satelitów tworzących GPS



Stacje zarządzania i monitoringu GPS



Technika triangulacji





GPS

- GPS oparty jest na **technice triangulacji**
- Rozpatrzmy odbiornik GPS (MS) umieszczony w punkcie wyimaginowanej sfery o promieniu równym odległości między satelitą **A** i odbiornikiem na ziemi
- Załóżmy też, że ten sam odbiornik GPS jest punktem na innej wyimaginowanej sferze z satelitą **B** w środku
- Odbiornik GPS znajduje się na kole uformowanym przez przecięcie się tych 2 sfer
- Następnie poprzez zmierzenie odległości z trzeciego satelity **C** pozycja odbiornika zawęza się do tylko 2 punktów na okręgu. Jeden z tych punktów jest wyimaginowany i jest eliminowany
- Dlatego odległość zmierzona z 3 satelitów jest wystarczająca do określenia pozycji odbiornika GPS



GPS (cd.)

- Sygnał GPS składa się z pseudo-losowego kodu (PLK), efemerydy (dane orbitalne) oraz danych nawigacyjnych
- Dane efemerydy korygują błędy spowodowane pulsacją grawitacyjną od księżyca i słońca wpływającą na satelity
- Dane nawigacyjne są informację o pozycji odbiornika GPS
- PLK określa, który satelita aktualnie transmituje
- Satelity określa się poprzez ich PLK będące w zakresie 1-32



Ograniczenia GPS

- Mierzone odległości mogą się zmieniać w zależności od zmian prędkości sygnału w atmosferze
- Wpływy wielościeżkowego tłumienia są znaczące
- Wielościeżkowe tłumienie powstaje gdy sygnał odbija się od budynku lub terenu
- Opóźnienie propagacji z powodu warunków atmosferycznych ma wpływ na dokładność



Beneficjenci GPS

- GPS stał się ważnym elementem wszystkich militarnych operacji i systemów raketowych
- Jest on używany w tym celu, aby uzyskiwać bardzo dokładne dane orbitalne oraz kontrolować położenie samolotów
- Może on być używany wszędzie za wyjątkiem miejsc gdzie nie ma możliwości otrzymywania danych, np. w większości budynków, pieczarach, grotach itp.
- Istnieją aplikacje GPS lotnicze, lądowe oraz morskie
- Może korzystać z GPS każdy kto chce uzyskiwać informację o swojej pozycji lub informację w celu osiągnięcia określonego celu lub chce znać kierunek i prędkość poruszającego się obiektu