

Zakład Radiokomunikacji Morskiej w Gdańsku (Z-8)

**Analiza możliwości wykorzystania łączności
satelitarnej jako segmentu hiperkomórek
satelitarnych systemów GSM/3G/4G**

Praca nr 08300039

Gdańsk, grudzień 2009

Analiza możliwości wykorzystania łączności satelitarnej jako segmentu hiperkomórek satelitarnych systemów GSM/3G/4G

Praca nr 08300039

Słowa kluczowe: telefonia satelitarna, łączność satelitarna, Inmarsat, Irydium, Globalstar, Thuraya, hiperkomórki satelitarne GSM/3G/4G

Kierownik pracy: dr inż. Rafał Niski

Wykonawcy pracy: dr inż. Jacek Stefański
dr inż. Jerzy Żurek

Kierownik Zakładu: dr inż. Rafał Niski

Spis treści

1. Wprowadzenie	5
1.1. Historia systemów satelitarnej łączności ruchomej i łączności osobistej –MSS PCS (Mobile Satellite Systems – Personal Communication Systems).....	6
2. Segment satelitarny systemu UMTS.....	9
2.1. Architektura podsystemu satelitarnego.....	12
2.2. Ogólna struktura sieci dostępu radiowego	13
2.3. Koncepcja domen w systemie UMTS	14
2.4. Usługi w systemie UMTS	15
3. Projekty europejskie	18
3.1. Projekt RAINBOW (Radio Access Independent Broadband on Wireless)	18
3.2. Projekt INSURED (Integrated Satellite-UMTS Real Environment Demonstrator)	18
3.3. Projekt TOMAS (Testbed of Mobile Applications for Satellite Communications).....	20
3.4. Projekt SUMO (Satellite Mobile Multimedia Services in the UMTS).....	20
3.5. Projekt SINUS (Satellite Integration into Networks for UMTS Services).....	21
3.6. Projekt VIRTUOUS (Virtual Home UMTS on Satellite).....	21
3.7. Projekt MODIS (Mobile Digital Broadcast Satellite).....	21
3.8. Projekt NEWTEST (NEural network signal processing schemes for Wireless Terrestrial and Satellite Transmissions)	21
3.9. Projekt SAINT (Satellite Integration in the Future Mobile Network).....	22
3.10. Projekt SECOMS (Satellite EHF Communication for Multimedia-mobile Services).....	22
3.11. Projekt BRAHMS (BRoadband Access for High Speed Multimedia via Satellite).....	22
3.12. Projekt FUTURE (Functional UMTS Real Emulator).....	22
3.13. Projekt S-UMTS (Preparation of the Next Generation Universal Mobile Satellite Telecommunications Systems (S-UMTS)).....	23
3.14. Projekt SATIN (Satellite-UMTS IP-based Network).....	23
4. Systemy Satelitarne	26
4.1. System INMARSAT.....	28
4.1.1. Segment satelitarny.....	29
4.1.2. Oferowane usługi.....	31
4.1.3. Terminale	34
4.2. System IRIDIUM.....	36
4.2.1. Segment satelitarny.....	36
4.2.2. Oferowane usługi.....	38
4.2.3. Terminale	39
4.3. System GLOBALSTAR	42
4.3.1. Segment satelitarny.....	43
4.3.2. Oferowane usługi.....	45
4.3.3. Terminale	45

4.4.	<i>System THURAYA</i>	49
4.4.1.	<i>Segment satelitarny</i>	49
4.4.2.	<i>Oferowane usługi</i>	50
4.4.3.	<i>Terminale</i>	51
4.5.	<i>System ACeS</i>	53
4.5.1.	<i>Segment satelitarny</i>	54
4.5.2.	<i>Oferowane usługi</i>	54
4.5.3.	<i>Terminale</i>	54
5.	Podsumowanie	56
6.	Bibliografia	58

1. Wprowadzenie

Ostatnie dwie dekady to czas rewolucyjnego wręcz rozwoju wszelakiego rodzaju systemów radiokomunikacyjnych. Postęp w dziedzinie systemów radiokomunikacyjnych jest możliwy dzięki postępowi w dziedzinie technologii, oprogramowania, przetwarzania sygnałów czy sieci teleinformatycznych. Z kolei coraz to nowe pomysły naukowców i inżynierów oraz rozbudzone oczekiwania użytkowników w dziedzinie systemów bezprzewodowych oddziałują zwrotnie na ww. dziedziny przyczyniając się tym samym do ciągłego postępu.

Od samego początku radiokomunikacji marzeniem ludzi było stworzenie systemów umożliwiających komunikację globalną. Powstanie i dynamiczny rozwój systemów komórkowych oraz bezprzewodowych doprowadziło do ogromnego upowszechnienia systemów radiokomunikacji ruchomej i zostało określone mianem mobilnej rewolucji. Wraz z rozwojem systemów komórkowych następował dynamiczny rozwój systemów ruchomej łączności satelitarnej.

Podstawowym celem niniejszej pracy była analiza możliwości wykorzystania systemów łączności satelitarnej jako, od dawna planowanego, segmentu hiperkomórek w systemach komórkowych GSM/3G/4G.

Analiza ta musi przebiegać dwutorowo. Z jednej strony cały czas, od początku lat 70-tych rozwijają się systemy satelitarnej łączności ruchomej MSS (*Mobile Satellite Systems*), które w końcu zaczęły oferować usługi łączności osobistej. Z drugiej strony, po globalnym sukcesie systemu GSM rozpoczął się bardzo intensywny proces standaryzacyjny systemów komórkowych 3G. W ramach tego procesu uwzględniono standaryzację segmentu satelitarnego, szczególnie w systemie UMTS. Segment satelitarny systemu UMTS określa się mianem S-UMTS. Dalsze prace nad segmentem satelitarnym były realizowane w ramach prac grupy 3GPP, a konkretnie tematyki LTE satellite interface (Inter-TTI). Równocześnie trwały prace Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) w ramach projektu ESA S-UMTS R&D oraz ciągle trwają prace na forum ITU w obszarze tematycznym IMT-2000 interface MSS (*Mobile Satellite System*) TMS (*Terrestrial Mobile System*). Rozwiązania te nigdy jednak nie osiągnęły wystarczającej dojrzałości technologicznej i nie zostały zaimplementowane.

Obecnie jednak wydaje się, że zarówno potrzeby rynku telekomunikacyjnego, rozwój technologii systemów komórkowych oraz rozwój systemów satelitarnych dojrzały do wdrożenia segmentu satelitarnego jako prawdziwie integralnego elementu systemów komórkowych, powodując, że systemy komórkowe staną się prawdziwie globalne, a ich użytkownicy uzyskają nieograniczoną geograficznie mobilność. Wydaje się, że integracja segmentu satelitarnego znajduje obecnie realne podstawy ekonomiczne.

Postępy globalizacji, gwałtowny rozwój państw tzw. 3-świata, coraz większa aktywność gospodarcza w obszarach globu o bardzo rzadkim zaludnieniu, gdzie nigdy nie będzie uzasadniona ekonomicznie budowa infrastruktury naziemnych systemów komórkowych, wreszcie dynamiczny rozwój wszelakiego rodzaju globalnej turystyki uzasadniają konieczność (również ekonomicznie) budowy/integracji segmentu satelitarnego z systemami komórkowymi.

Aby móc jednoznacznie stwierdzić, że nastąpiła integracja segmentu satelitarnego z systemami komórkowymi muszą zostać spełnione trzy warunki:

1. Muszą być powszechnie dostępne terminale komórkowe hand-held z zaimplementowanym interfejsem radiowym satelitarnym umożliwiającym łączność globalną.
2. We wszystkich systemach/ terminalach muszą być zaimplementowane kompatybilne moduły identyfikacji abonenta.
3. Musi zostać w pełni uruchomiona funkcjonalność roamingu do/z integrowanych z sieciami komórkowymi systemów satelitarnych

Należy wspomnieć, że w niektórych systemach regionalnych (np. Thuraya) warunki te zostały już spełnione, na razie dla grupy abonentów operatora systemu satelitarnego.

Wyrazem aktywności w tym obszarze są liczne projekty badawcze finansowane z funduszy Unii Europejskiej. Dokonano analizy i przeglądu wyników takich programów i projektów europejskich jak: ACTS, IST, SAINT, SINUS, SUMO, INSURED, BRAHMS, SATIN, DRIVE, MODIS, VIRTUOUS, FUTURE, NEWTEST, TOMAS, SECOMS. Założenia i wyniki najbardziej z nich interesujących zaprezentowano w rozdziale 3 niniejszego opracowania.

1.1.Historia systemów satelitarnej łączności ruchomej i łączności osobistej –MSS PCS (*Mobile Satellite Systems – Personal Communication Systems*)

Początków systemów satelitarnej łączności ruchomej doszukuje się na przełomie lat 60-tych i 70-tych ubiegłego stulecia. Były to oczywiście utajnione systemy wojskowe. Już w 1973 roku w Stanach Zjednoczonych utworzono firmę i tym samym powołano do życia system satelitarnej łączności ruchomej MARISAT. System ten miał świadczyć usługi transmisji sygnałów mowy oraz transmisji dalekopisowych i transmisji danych dla floty wojennej Stanów Zjednoczonych oraz dla cywilnych flot państw NATO. MARISAT rozpoczął działalność operacyjną w 1976 roku. Terminale ruchome miały w tym systemie oczywiście charakter przewoźny. Jedyne rozwiązanie technologiczne w tym systemie nosiło nazwę Stardard-A. System MARISAT, na początku lat 80-tych został wniesiony aportem przez Stany Zjednoczone do organizacji INMARSAT i od 1982 roku funkcjonował jako INMARSAT System-A. Dopiero na początku lat 90-tych INMARSAT zaczął wdrażać, nowe, w pełni cyfrowe podsystemy łączności. Jednak prawdziwe przenośne urządzenia dostępne w INMARSAT System M/M+ (mini M) pojawiły się dopiero w 1996 roku. W drugiej połowie lat 90-tych nastąpiło bardzo wyraźne rozdzielenie usług świadczonych przez INMARSAT na 3 segmenty użytkowników: morskich, lądowych i lotniczych. Te same rozwiązania technologiczne są sprzedawane w tych segmentach pod różnymi nazwami, a terminale, ze względu na uwarunkowania środowiskowe często zasadniczo różnią się wykonaniem.

Obecnie INMARSAT jest największym dostawcą usług satelitarnej łączności ruchomej dla profesjonalnych użytkowników cywilnych i dla rządów państw. Wszystkie rozwiązania technologiczne funkcjonują w oparciu o konstelacje satelitów geostacjonarnych (GEO) obecnie jako satelity operacyjne wykorzystywane są satelity 3 generacji INMARSAT-3 oraz nowe satelity 4 generacji INMARSAT-4. Satelity INMARSAT-4 stworzyły kompletnie nowe możliwości, zarówno dla rozwiązań służących głównie do transmisji

sygnałów mowy przy wykorzystaniu terminali hand-held jak i szybkiej transmisji danych z wykorzystaniem małych terminali przenośnych. Najnowsze produkty INMARSAT-u to systemy BGAN/FleetBroadband oraz IsatPhone/FleetPhone.

Zarząd, obecnie już prywatnej, korporacji INMARSAT nie ukrywa, że technologia interfejsów radiowych w rozwiązaniach BGAN/FleetBroadband oraz IsatPhone/FleetPhone, ich parametry oraz sposób identyfikacji abonenta mają w przyszłości zasadniczo ułatwić integrację tych systemów z systemami komórkowymi GSM/3G/4G.

Na przełomie lat 80-tych i 90-tych ubiegłego stulecia narodziła się koncepcja systemów łączności osobistej PCS (Personal Communication Systems). W koncepcji tej wydawało się, że w przyszłości koegzystować będą systemy komórkowe i systemy satelitarne PCS. Postępująca globalizacja powodowała, że pod koniec lat 80-tych i na początku lat 90-tych szacowano, że powstanie segment rynku telekomunikacyjnego, liczący ok. 40 milionów osób wykorzystujących podczas przemieszczania się po całym globie ruchome terminale satelitarne typu hand-held. Pierwsze prace nad tego rodzaju systemem, nazwanym później Iridium rozpoczęła firma Motorola już w roku 1985. Możliwości technologiczne oraz powyższe analizy usprawiedliwiały rozpoczęcie na początku lat 90-tych wielu projektów mających na celu budowę różnego rodzaju globalnych systemów radiokomunikacji ruchomej. To wtedy właśnie rozpoczęły się projekty dużych systemów LEO (big LEO) Iridium, Globalstar, Inmarsat P21 (MEO), który przekształcił się później w komercyjne przedsięwzięcie ICO oraz wiele innych, które często nigdy nie wyszły poza fazę studialną i nigdy nie uzyskały finansowania (Ellipso, Constellation(Aries), ECO-8, Courier / Odyssey, etc.). Systemy te były zorientowane na transmisję sygnałów mowy jako usługi podstawowe.

Pod koniec lat osiemdziesiątych używano w Kanadzie telefonii satelitarnej do zapewnienia komunikacji w tym ogromnym a jednocześnie słabo zaludnionym kraju. Wykorzystywano przy tym zaletę systemu łączności satelitarnej, jaką jest brak konieczności budowy i utrzymywania złożonej i kosztownej infrastruktury naziemnej. Prawie jednocześnie w Stanach Zjednoczonych rozpoczął działanie analogiczny system. Używano wtedy satelitów na orbicie geostacjonarnej. Oprócz systemów ww. systemów LEO i MEO cały czas rozwijały się systemy MSS wykorzystujące satelity umieszczone na orbicie geostacjonarnej (GEO) takie jak systemy Inmarsat oraz systemy satelitarne regionalne określane mianem super-GEO's, ponieważ umożliwiały, po raz pierwszy w historii wykorzystywanie terminali typu hand-held w systemach satelitarnych geostacjonarnych. Należą do nich systemy ACeS, Thuraya i przekształcone później ASC (Agrani). Obecnie systemy Thuraya i ACeS są liderami w grupie systemów regionalnych a poprzez terminalne wielodomowe oraz umowy roamingowe globalizują się oraz stają się również liderami w dziedzinie integracji z systemami komórkowymi GSM/3G/4G.

Należy również wspomnieć, że odrobinę później rozpoczęła się seria projektów budowy systemów satelitarnych zorientowanych na transmisję danych, głównie pod kątem zapewnienia dostępu do Internetu. Należą do tej grupy takie projekty jak: Teledesic, SkyBridge, Sterling, Orblink, Pentriad, Virtual Geo/VIRGO, contactMEO/M-Star, Celestri/GIPSE, Rostelesat/Spaceway, Astrolink, Cyberstar, Euroskyway, GESN, WildBlue/iSky/KaStar, Aster, SWANsat etc. Praktycznie żaden z tych systemów nigdy nie został zbudowany.

Doświadczenia zdobyte jednak w tych projektach są wykorzystywane poprzez rozwijanie usług transmisji danych (podobnie jak to ma miało i ma miejsce w systemach komórkowych) w istniejących już systemach, zarówno globalnych jak i regionalnych, takich jak Iridium, Globalstar czy systemy Inmarsat.

Gwałtowny rozwój systemów komórkowych 2 generacji, w szczególności globalny sukces systemu GSM spowodował zapaść na rynku systemów satelitarnych PCS. Głównymi czynnikami, oczywiście oprócz ogromnie dynamicznie wzrastającej powierzchni pokrycia zasięgami systemów komórkowych, były: mechanizm międzynarodowego roamingu oraz synergia nakładów inwestycyjnych wielu operatorów telekomunikacyjnych. Wpłynęło to oczywiście na masowe upowszechnienie się systemów telefonii (telekomunikacji) komórkowej, co z kolei wpłynęło na szybki spadek cen połączeń lokalnych i międzynarodowych.

Globalne systemy satelitarne PCS z natury rzeczy są przedsięwzięciami ogromnie kosztownymi. Ze względu na spójność technologiczną i organizacyjną zazwyczaj są przedsięwzięciami jednego operatora i stworzonego przez niego konsorcjum technologiczno finansowego - odpada więc wtedy efekt synergii inwestycji realizowanej przez ogromną liczbę inwestorów. Ponadto, ze względu na założoną ekskluzywność, szczególnie w początkowym okresie działania systemu koszty nabycia terminala ruchomego oraz koszty połączeń są bardzo wysokie. Są one zasadniczo wyższe od kosztów połączeń oraz terminali komórkowych. Procesy te spowodowały, że rynek potencjalnych abonentów skurczył się do kilkudziesięciu tysięcy. Ponadto procesy te zbiegły się pierwszym kryzysem finansowym w obszarze systemów telekomunikacyjnych.

Wszystko spowodowało drastyczne zahamowanie rozwoju systemów MSS (Mobile Satellite Systems) PCS. Rok 1999 okazał się najbardziej krytyczny dla całej branży. Dwa największe i najbardziej zaawansowane projekty, czyli działający już wtedy system Iridium oraz projekt ICO ogłosiły pod rządami prawa Stanów Zjednoczonych tzw. *bankruptcy claim* - stan bankructwa. Po roku podjęto decyzję o likwidacji systemu Iridium, jednak ze względów pragmatycznych, już po rozpoczęciu likwidacji, majątek systemu został przejęty przez rząd Stanów Zjednoczonych w celu zapewnienia łączności wojskom Stanów Zjednoczonych w licznych misjach zagranicznych. Równocześnie przeprowadzono ogromną restrukturyzację spółki Iridium redukując zasadniczo koszty stałe utrzymania systemu. Na początku nowego stulecia firma ponownie zaczęła się rozwijać i oferować usługi na rynku cywilnym. Obecnie funkcjonujący system jest nazywany w branży, nieformalnie, systemem New-Iridium.

System ICO został zakupiony przez Craiga McCaw i Billa Gatesa w celu wsparcia projektu systemu satelitarnego Teledesic. Ostatecznie projekt Teledesic został zawieszony w końcu 2002 roku. ICO umieściło na orbicie LEO jednego testowego satelitę w roku 2001. Następnie ICO całkowicie zmieniło swoje cele biznesowe umieszczając w 2008 roku na orbicie GEO dużego satelitę komunikacyjnego. Obecna strategia firmy polega na integracji usług łączności satelitarnej z usługami systemów radiokomunikacyjnych naziemnych.

2. Segment satelitarny systemu UMTS

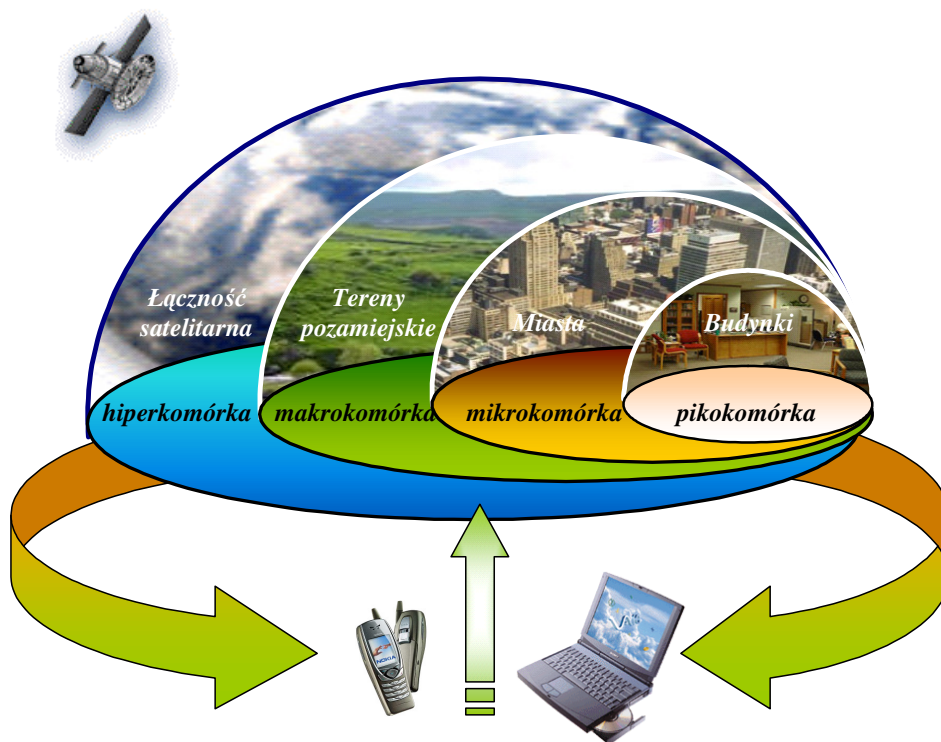
Jednym z podstawowych założeń systemu 3G pn. UMTS, obok realizacji szerokiego wachlarza usług o różnej jakości, przepływności, dopuszczalnych opóźnieniach i różnych trybach transmisji, jest globalny zasięg systemu. W zależności od dostępności lub braku infrastruktury telekomunikacyjnej na danym obszarze, transmisja powinna być realizowana poprzez naziemną sieć stacji bazowych lub przez łącza satelitarne. Występujące obecnie ograniczenia w dostępie wynikają jedynie z braku umów między operatorami lub ograniczeń technologicznych stosowanych terminali.

System III generacji funkcjonuje w kilku różnych środowiskach propagacyjnych. Segment naziemny systemu obejmuje swoim zasięgiem środowiska wewnątrz budynków oraz środowiska zewnętrzne: miejskie, wiejskie i góryste. Natomiast segment satelitarny będzie zapewniać dostęp do usług na obszarach mórz i oceanów, a także pustyniach i obszarach górskich oraz na obszarach o słabo rozwiniętej naziemnej infrastrukturze telekomunikacyjnej lub w ogóle jej nie posiadających.

System UMTS charakteryzuje się ogromną różnorodnością warunków pracy, ze względu na lokalizację użytkowników w tych różnych środowiskach propagacyjnych i zróżnicowane warunki obsługi ruchu telekomunikacyjnego, a także ze względu na zmienne w dużym zakresie prędkości przemieszczania się terminali. Aby zapewnić użytkownikom dostęp do usług bez względu na ich aktualną lokalizację, stworzono kilka klas komórek zorganizowanych w hierarchiczną strukturę. Można wśród nich wyszczególnić:

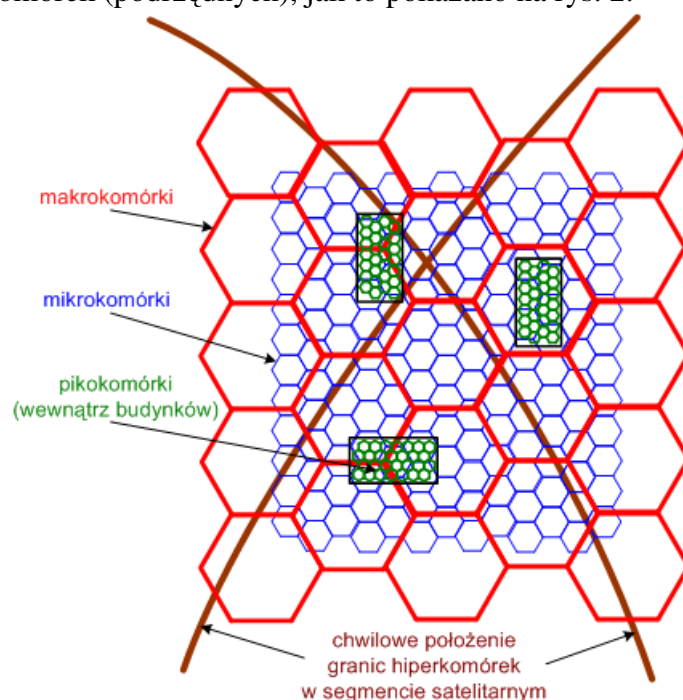
- *pikokomórki* o promieniu nie przekraczającym 100 m, obejmujące swoim zasięgiem wnętrza budynków biurowych oraz obiekty handlowe, dworce kolejowe, porty lotnicze i inne obiekty, które obsługują głównie użytkowników pieszych lub przemieszczających się z niedużymi prędkościami, zapewniając przy tym dostęp do wszystkich usług;
- *mikrokomórki* o promieniu z zakresu od 100 m do 1 km, pokrywające tereny miejskie i charakteryzujące się występowaniem licznej populacji użytkowników, które zapewniają dostęp do znacznego podzbioru usług głównie użytkownikom pieszym i przemieszczającym się w pojazdach;
- *makrokomórki* o promieniu z przedziału od 1 km do 20 km, pokrywające tereny pozamiejskie z małą lub niewielką gęstością powierzchniową użytkowników, które umożliwiają dostęp jedynie do usług podstawowych;
- *hiperkomórki* o promieniu z zakresu od 300 km do 800 km, obsługiwane przez satelity niskoorbitowe (LEO – *Low Earth Orbit*) i średnioorbitowe (MEO – *Medium Earth Orbit*) oraz hiperkomórki o promieniu z zakresu od 4000 km do 5000 km, obsługiwane przez satelity geostacjonarne (GEO – *Geostationary Earth Orbit*), które zapewniają dostęp do usług podstawowych użytkownikom znajdującym się na obszarach mórz i oceanów oraz na obszarach pozbawionych naziemnej infrastruktury telekomunikacyjnej.

Na rys. 1 zilustrowano hierarchię topologiczną poszczególnych klas komórek.



Rys. 1. Hierarchia topologiczna klas komórek systemu UMTS.

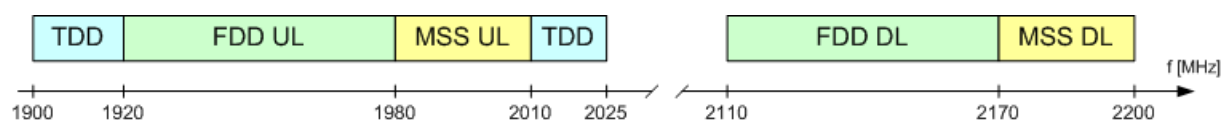
Aby rozwiązać problem pokrycia różnych obszarów, w których występuje zmienne w dużym zakresie obciążenie obsługą ruchu telekomunikacyjnego oraz zmienne w dużym zakresie prędkości przemieszczania się terminali, zastosowano w systemie UMTS koncepcję nakładających się komórek, należących do różnych klas, które tworzą w ten sposób strukturę parasolową. Oznacza to, że każda z większych komórek (nadrzędnych) będzie pokrywała grupę mniejszych komórek (podrzędnych), jak to pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Hierarchia struktur komórkowych w systemie UMTS

Takie hierarchiczne rozwiązanie umożliwia sprawną i elastyczną obsługę zmiennego natężenia ruchu radiokomunikacyjnego oraz rekonfigurację połączeń terminali z różnymi klasami komórek w zależności od bieżącego obciążenia, a także w zależności od prędkości przemieszczania się terminali. Rozwiązanie to sprzyja też ograniczeniu natężenia ruchu przełączeniowego oraz redukcji znacznego nakładu przetwarzania i zaangażowania cennych zasobów systemowych.

Dla systemu UMTS w Europie wydzielono ponad 20 kanałów częstotliwościowych, zgodnie z ustaleniami ERC/DEC/(97)07 Europejskiego Komitetu Radiokomunikacji z 1997 r. Kanały te są utworzone w pasmach częstotliwości od 1900 do 2025 MHz oraz od 2110 do 2200 MHz. Podział tych pasm dla segmentu naziemnego i satelitarnego w obu trybach pracy, tj. w trybie duplexu częstotliwościowego FDD i czasowego TDD jest przedstawiony na poniższym rysunku, gdzie kolorem żółtym oznaczono pasma przewidziane dla segmentu satelitarnego.



Rys. 3. Zagospodarowanie pasma częstotliwości przydzielonego systemowi UMTS w Europie

Oznaczenia: FDD - Frequency Division Duplex, TDD - Time Division Duplex,
MSS - Mobile Satellite System, UL - Uplink, DL - Downlink

Segment satelitarny systemu UMTS korzystający z trudnego medium transmisyjnego, jakim jest łącze satelitarne, będzie z założenia oferować swoim użytkownikom mniej atrakcyjne charakterystyki i parametry usług niż segment naziemny. Należy jednak pamiętać o jego podstawowej zaletce, tj. łatwej możliwości globalnego pokrycia. Nie należy się zrażać mniejszymi szybkościami transmisji czy ograniczoną funkcjonalnością, gdyż system UMTS zgodnie ze swoją „parasolową” strukturą warstw komórek zapewni wzajemne uzupełnianie się segmentu naziemnego oraz satelitarnego.

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe możliwości techniczne obu segmentów systemu UMTS: naziemnego oraz satelitarnego.

Tab. 1. Porównanie podstawowych charakterystyk i parametrów segmentu naziemnego oraz satelitarnego systemu UMTS.

Charakterystyka /parametr	Segment naziemny	Segment satelitarny
Modulacja	QPSK, odbiór synchroniczny dla łącza w górę oraz w dół	QPSK
Metoda duplexu	FDD o zasięgu globalnym (<i>Frequency Division Duplex</i>) oraz TDD (<i>Time Division Duplex</i>) stosowany w pikokomórkach	FDD
Szybkość transmisji	od 1 kbit/s do 2 Mbit/s lokalnie	od 1 kbit/s do 384 kbit/s
BER	10^{-6} , przy pewnych warunkach 10^{-8}	od 10^{-3} do 10^{-6}
Maksymalna prędkość poruszania się terminali	500 km/h	1000 km/h

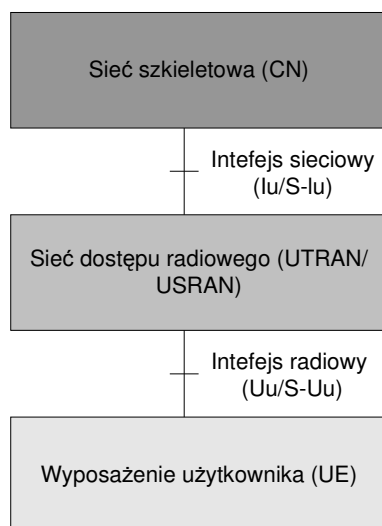
Planuje się, że w segmencie satelitarnym będzie użyta modulacja QPSK. Tryb duplexu częstotliwościowego (FDD) będzie używany globalnie w systemie UMTS (obydwa segmenty), natomiast tryb duplexu czasowego (TDD) będzie dostępny jedynie w segmencie naziemnym lokalnie w niektórych obszarach pokrycia i tylko w pikokomórkach, w których nadawanie i odbiór naprzemiennie na tej samej częstotliwości nie będą stanowiły przeszkody w sprawnej komunikacji.

2.1. Architektura podsystemu satelitarnego

Rysunek 4 przedstawia ogólną architekturę systemu UMTS, podzieloną na trzy podstawowe podsystemy:

- sieć stacjonarną w postaci naziemnej infrastruktury telekomunikacyjnej, tzw. sieć szkieletową CN (*Core Network*).
- sieć dostępu radiowego: naziemną UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) oraz satelitarną USRAN (*UMTS Satellite Radio Access Network*),
- wyposażenie użytkownika UE (*User Equipment*).

Interfejs sieciowy określony w dokumentacji standaryzacyjnej ETSI nazwą *Iu* odpowiada za współpracę pomiędzy siecią dostępu radiowego UTRAN a siecią szkieletową CN, natomiast interfejs *S-Iu* oznacza odpowiednik interfejsu sieciowego *Iu* w segmencie satelitarnym. Podobnie współpraca między wyposażeniem użytkownika UE a siecią dostępu radiowego UTRAN będzie się odbywała poprzez interfejs *Uu*, a w przypadku sieci USRAN poprzez interfejs *S-Uu*. Zadaniem sieci dostępu radiowego jest umożliwienie użytkownikowi bezprzewodowego dostępu do stacjonarnej infrastruktury telekomunikacyjnej, co ma zapewnić dostęp w dowolnym miejscu do wszelkich możliwych usług telekomunikacyjnych.



Rys. 4. Ogólna architektura systemu UMTS.

Sieć dostępu radiowego realizuje procedury związane z transmisją drogą radiową, natomiast zadaniem sieci szkieletowej jest realizacja połączeń wewnątrz sieci, jak też połączeń z innymi sieciami zewnętrznymi. Sieć CN jest także odpowiedzialna za procedury związane z usługami telekomunikacyjnymi i możliwością ich realizacji na bieżąco. Ogólna charakterystyka

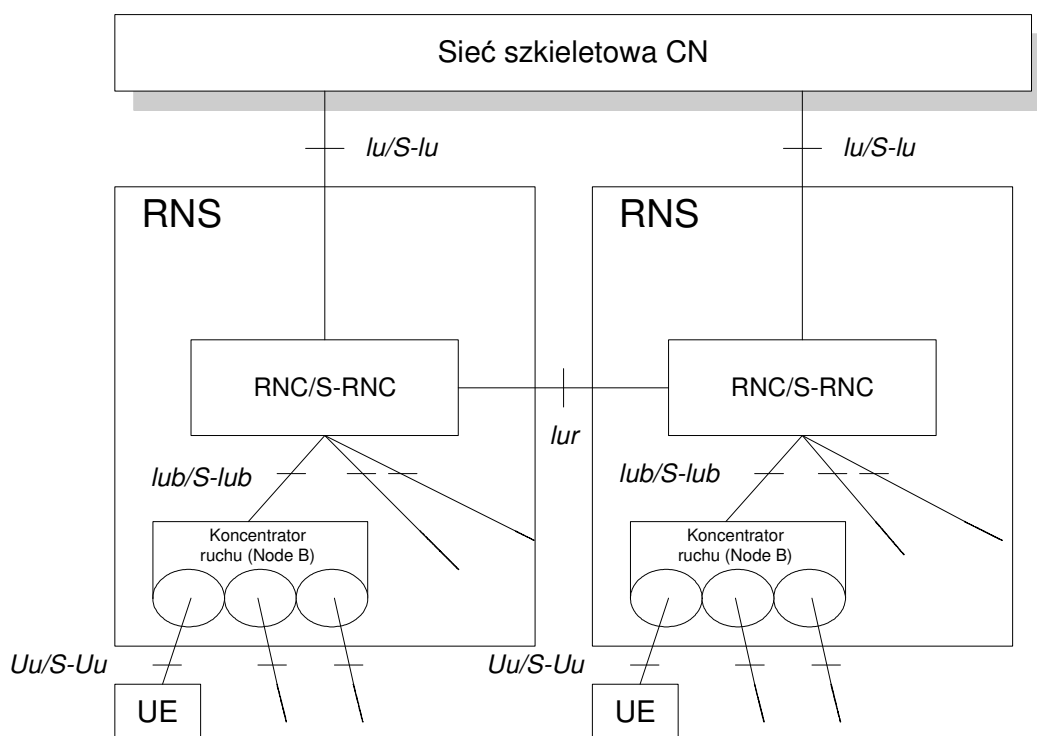
systemu UMTS jest kształtowana na wysokim poziomie, zarówno z fizycznego jak i funkcjonalnego punktu widzenia, z czym wiąże się:

- struktura domenowa uwzględniająca fizyczny aspekt podziału sieci,
- struktura warstwowa uwzględniająca funkcjonalny aspekt podziału sieci.

2.2. Ogólna struktura sieci dostępu radiowego

Sieć dostępu radiowego składa się z podsystemów radiowych RNS (*Radio Network Subsystem*), które przez interfejsy sieciowe są podłączone do sieci szkieletowej. Każdy podsystem radiowy RNS zawiera radiowy sterownik RNC (*Radio Network Controller*) oraz co najmniej jeden koncentrator ruchu, współpracujący z wyposażeniem użytkowników UE systemu poprzez interfejsy radiowe *Uu/S-Uu*. Za współpracę z siecią szkieletową odpowiada interfejs sieciowy *Iu/S-Iu*, natomiast współpraca koncentratorów ruchu zwanych węzłami typu B (*Node B*) ze sterownikiem radiowym odbywa się poprzez ich interfejsy sieciowe *Iub/S-Iub*, gdzie *S* oznacza aplikację w segmencie satelitarnym. Ustalenia zawarte w specyfikacji zakładają także współpracę pomiędzy poszczególnymi podsystemami radiowymi RNS poprzez interfejsy sieciowe o nazwie *Iur/S-Iur*, gdzie *S* określa odniesienie do segmentu satelitarnego. Poniższy rysunek przedstawia ogólną strukturę sieci dostępu radiowego. Obsługa użytkowników systemu UMTS przy użyciu telekomunikacyjnych środków satelitarnych może być zrealizowana w dwóch wariantach:

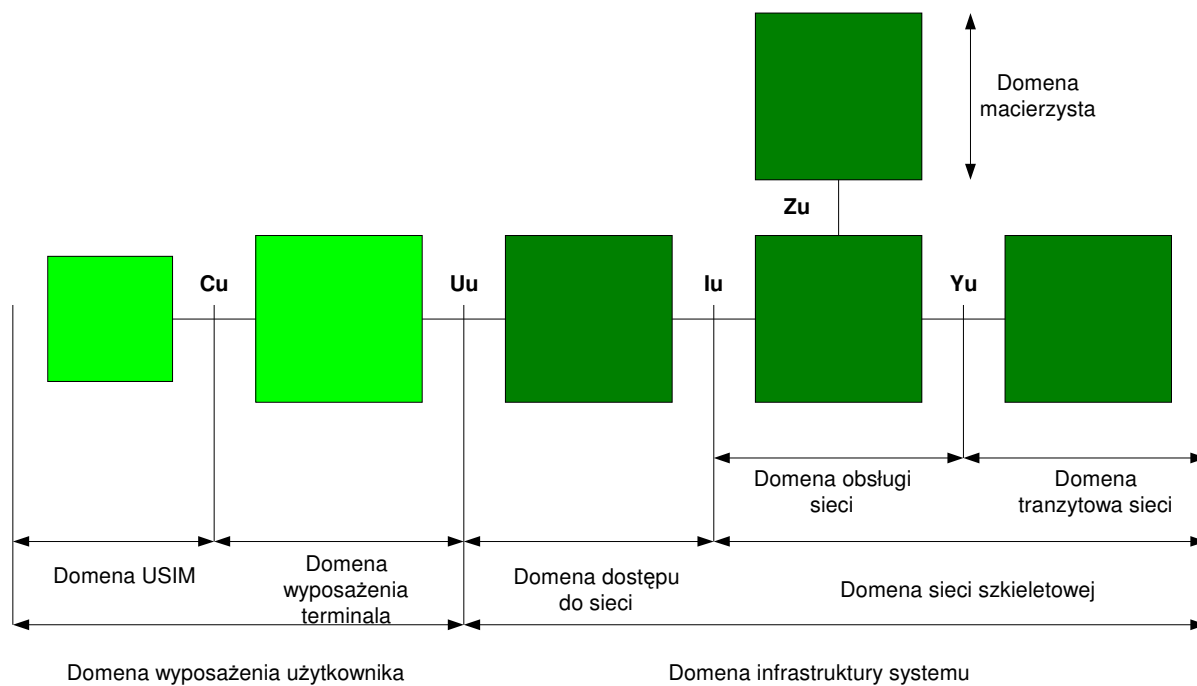
- segment satelitarny pełni tylko rolę koncentratora ruchu,
- segment satelitarny stanowi pełny podsystem radiowy RNS, a więc pełni jednocześnie rolę koncentratora ruchu i radiowego sterownika RNC.



Rys. 5. Struktura sieci dostępu radiowego.

2.3. Koncepcja domen w systemie UMTS

Koncepcja domen w systemie UMTS została przedstawiona na poniższym rysunku. Podział przedstawiony na rysunku wywodzi się głównie z ewolucji obecnych systemów, takich jak GSM oraz ISDN.



Rys. 6. Struktura domenowa systemu UMTS.

Oznaczenia: Cu - styk pomiędzy domeną karty USIM oraz domeną wyposażenia terminala ruchomego, lu - styk pomiędzy domenami: dostępu do sieci oraz obsługi sieci, Uu – styk pomiędzy domeną wyposażenia użytkownika oraz domeną infrastruktury systemu (interfejs radiowy systemu UMTS), Yu – styk pomiędzy domenami: obsługi sieci oraz tranzytową sieć, Zu – styk pomiędzy domenami obsługi sieci oraz macierzystą.

Podstawowym podziałem architektury sieci jest podział na wyposażenie użytkownika (terminala) oraz infrastrukturę sieci. Prowadzi on do podziału na dwie podstawowe domeny: wyposażenia użytkownika oraz infrastruktury sieci. Wyposażenie użytkownika posiada interfejs radiowy do infrastruktury systemu. Domena infrastruktury systemu posiada z kolei węzły fizyczne, wykonujące różne funkcje służące przyłączeniu interfejsu radiowego oraz wsparciu usług telekomunikacyjnych. Infrastruktura jest współdzielonym zasobem sieci dostarczającym usługi do wszystkich autoryzowanych użytkowników końcowych wewnątrz obszaru pokrycia sieci.

Domena wyposażenia użytkownika sprzyja różnorodności typów z różnymi poziomami funkcjonalności. Wyposażenie użytkownika (terminala), może być kompatybilne z jednym lub więcej istniejących interfejsów dostępu wyposażenia użytkownika (stałych lub ruchomych), np. dualne UMTS-GSM. Wyposażenie Użytkownika dzieli się na domenę wyposażenia terminala ME (*Mobile Equipment*) oraz domenę modułu identyfikacji usług użytkownika USIM (*User Services Identity Module*). Wyposażenie użytkownika umożliwia

dostęp do usług sieciowych. Domena wyposażenia terminala może być podzielona na kilka jednostek, np. jednostkę, która dokonuje transmisji radiowej oraz pokrewnych funkcji, zakończenie terminala MT (*Mobile Termination*) oraz jednostkę, która zawiera aplikacje typu end-to-end (np. laptop podłączony do terminala ruchomego), wyposażenie terminala (*Terminal Equipment*). Domena USIM zawiera dane oraz procedury, które jednoznacznie i bezpiecznie identyfikują terminal ruchomy. USIM jest przypisana do danego użytkownika i pozwala na jego identyfikację niezależnie od wyposażenia terminala, z którego użytkownik korzysta.

Domena infrastruktury sieci dzieli się na domenę dostępu do sieci, która jest w ciągłym kontakcie z domeną wyposażenia użytkownika oraz domenę sieci szkieletowej. Ten podział ma na celu ułatwienie oraz nadzór procesu rozprzęgania funkcjonalności związanej z dostępem do sieci od funkcjonalności nie związanych z dostępem, co jest w zgodzie z założeniami modularnej budowy systemu UMTS. Domena dostępu do sieci składa się jedynie z funkcji specyficznych dla techniki dostępu, natomiast funkcje w domenie sieci szkieletowej mogą współpracować z różnymi technikami dostępu. Domena dostępu do sieci składa się z fizycznych jednostek zarządzających zasobami sieci dostępowej oraz dostarczających użytkownikowi mechanizm dostępu do domeny sieci szkieletowej. Domena sieci szkieletowej składa się z fizycznych jednostek dostarczających wsparcie funkcji sieciowych oraz usług telekomunikacyjnych. Wsparcie funkcji sieciowych obejmuje takie funkcjonalności jak: zarządzanie położeniem użytkownika, kontrolę funkcji sieciowych i usług, mechanizm transferu (przełączanie oraz transmisja) danych sterujących i informacji użytkowej. Domena sieci szkieletowej dzielona jest na domeny: obsługi sieci; macierzystą oraz tranzytową.

Domena obsługi sieci jest częścią domeny sieci szkieletowej, do której dołączona jest domena dostępu do sieci. Domena ta reprezentuje funkcje sieci szkieletowej, lokalne dla punktu dostępu użytkownika, przez co ich lokalizacja zmienia się wraz z ruchem użytkownika. Domena obsługi sieci odpowiedzialna jest za kierowanie rozmów oraz transportu danych użytkownika od źródła do miejsca przeznaczenia. Posiada ona zdolność wzajemnego współdziałania z domeną macierzystą w celu wymiany danych oraz usług specyficznych dla użytkownika oraz z domeną tranzytową Sieci w celu wymiany danych i usług nie związanych z użytkownikiem.

Domena macierzysta reprezentuje funkcje sieci szkieletowej realizowane niezależnie od lokalizacji punktu dostępu użytkownika do sieci. Karta USIM dostarcza informacje abonentowe domenie macierzystej, więc domena ta zawiera stałe dane użytkownika i jest odpowiedzialna za zarządzanie informacjami użytkownika. Zgodnie z rolą systemu UMTS, domena macierzysta zawiera funkcjonalności związane z rolą dostawcy usług.

Domena tranzytowa sieci jest częścią sieci szkieletowej ulokowaną na drodze komunikacyjnej pomiędzy domeną obsługi sieci oraz jednostką odbierającą. Jeśli dla danej rozmowy jednostka odbierająca znajduje się w tej samej sieci, co wyposażenie użytkownika inicjujące połączenie, nie jest aktywowana domena tranzytowa sieci.

2.4. Usługi w systemie UMTS

W porównaniu z systemem GSM oraz innymi sieciami komórkowymi w obecnym użyciu system UMTS posiada nową, bardzo ważną cechę, tj. możliwość negocjacji jakości

usługi, która obejmie m.in. szybkość przesyłania danych, opóźnienie oraz stopę błędów. Jakość usług jest zależna od ich rodzaju. W systemie UMTS oferowane są następujące rodzaje usług:

- *podstawowe* usługi telekomunikacyjne, które dzielą się na:
 - *usługi przenoszenia* (tzw. usługi bazowe), tj: usługi telekomunikacyjne umożliwiające transmisję sygnału pomiędzy punktami dostępu do sieci,
 - *teleusługi*, tj. usługi telekomunikacyjne posiadające całkowitą zdolność komunikacji pomiędzy użytkownikami zgodnie z protokołami danych sieci,
- *usługi dodatkowe* zmieniające lub uzupełniające podstawowe usługi telekomunikacyjne (nie mogą być oferowane użytkownikom bez usług podstawowych).

System UMTS umożliwia użytkownikowi negocjacje charakterystyk usługi przenoszenia, które są najbardziej odpowiednie dla rodzaju usługi. Istnieje także możliwość zmiany charakterystyk usług poprzez procedurę renegocjacji w stosunku do aktywnego połączenia. Negocjacja usług jest rozpoczynana przez aplikację żądającą usługi, natomiast renegocjacja może być rozpoczynana przez aplikację lub przez sieć (jak w przypadku wystąpienia przełączania kanałów). Negocjacja usługi inicjowanej przez aplikację odbywa się wg następującego schematu: aplikacja wymaga usługi przenoszenia zależnej od potrzeb, natomiast sieć sprawdza dostępne zasoby oraz autoryzację użytkownika, a następnie odpowiada. Użytkownik ma wtedy możliwość zaakceptować lub zrezygnować z oferty. Należy wspomnieć iż od jakości usług zależy cena usługi. Klasa usługi, jej parametry oraz ich wartości są wprost powiązane zarówno z aplikacją jak też siecią leżącą pomiędzy adresatem a nadawcą konkretnej usługi. Zestaw parametrów możliwych do negocjacji musi być prosty i jednoznaczny, także kontrola tych parametrów powinna być prosta w realizacji. Format oraz składnia musi być kompatybilna z mechanizmami działającymi w systemach II generacji. Tabela 2 przedstawia rodzaj i zakres parametrów usług, które powinny być negocjowane w systemie.

W systemie UMTS zdefiniowano cztery klasy usług:

- *konwersacyjna*, której podstawowym zastosowaniem jest usługa przesyłania sygnałów mowy realizowana w trybie komutacji kanałów. Wraz z pojawieniem się sieci Internet zaczęło pojawiać się wiele nowych zastosowań tej klasy, takich jak usługa VoIP (*Voice over IP*) czy telefonia video. Rozmowa generuje strumień czasu rzeczywistego i wymaga małej wartości opóźnienia sygnału oraz symetrii ruchu, co wynika z właściwości strumienia sygnałów mowy i percepcji słuchu. Maksymalne opóźnienie sygnału transmitowanego od nadawcy do odbiorcy musi być mniejsze niż 400 ms. Wymaga to ścisłego przestrzegania maksymalnego czasu opóźnienia transmisji, w przeciwnym przypadku jakość usługi staje się nieakceptowalna.
- *strumieniowa*, która wiąże się z przesyłaniem strumieni danych multimedialnych. Przesyłane dane mogą być traktowane jako ciągły i niezmienny strumień danych, co ma znaczenie zwłaszcza w obecnej dobie rozwoju sieci Internet. Często multimedia (filmy, muzyka) z powodu dużych rozmiarów plików nie mogą być szybko dostarczane do użytkowników. Jednak dzięki strumieniowej klasie ruchu możliwy jest odbiór danych multimedialnych z serwera w czasie rzeczywistym.

- *interaktywna*, polegająca na tym iż użytkownik (człowiek lub urządzenie) może w czasie trwania połączenia żądać nowych danych z oddalonego urządzenia, np. serwera w trybie zapytanie - odpowiedź. Przykładami wzajemnego oddziaływania człowieka i oddalonego urządzenia jest przeglądanie stron WWW, wyszukiwanie informacji w bazach danych, dostęp do serwera i wiele innych.
- *podstawowa*, obejmująca ruch nie wymagający ostrych ograniczeń czasowych. Obejmuje on pocztę elektroniczną (e-mail), SMS, wydobywanie zawartości baz danych, odbiór danych pomiarowych itp. Opóźnienie transmisji może wynosić w tym przypadku kilka sekund a nawet kilka minut.

W tabeli 3 pokazano krótką charakterystykę klas jakości usług systemu UMTS.

Tab. 2. Parametry oraz ich zakres zmienności w systemie UMTS (Kryterium jakości stanowi BER oraz maksymalne opóźnienie transmisji).

Środowisko pracy	Usługa w trybie czasu rzeczywistego (stałe opóźnienie)	Usługa bez ograniczeń trybu czasu rzeczywistego (zmiennie opóźnienie)
Satelitarne (maksymalna prędkość terminala w odniesieniu do powierzchni Ziemi wynosi 1000 km/h w przypadku samolotu).	Maksymalne opóźnienie transmisji wynosi 400 ms BER od 10^{-3} do 10^{-7}	Opóźnienie transmisji wynosi 1200 ms lub więcej BER od 10^{-5} do 10^{-8}
Wiejskie (maksymalna prędkość terminala w odniesieniu do Ziemi wynosi 500 km/h).	Maksymalne opóźnienie transmisji wynosi od 20 do 300 ms BER od 10^{-3} do 10^{-7}	Opóźnienie transmisji wynosi 150 ms lub więcej BER od 10^{-5} do 10^{-8}
Na zewnątrz budynków (maksymalna prędkość terminala w odniesieniu do powierzchni Ziemi wynosi 120 km/h).	Maksymalne opóźnienie transmisji wynosi od 20 do 300 ms BER od 10^{-3} do 10^{-7}	Opóźnienie transmisji wynosi 150 ms lub więcej BER od 10^{-5} do 10^{-8}
Wewnątrz budynków oraz na zewnątrz w małym zakresie (maksymalna prędkość terminala w odniesieniu do powierzchni Ziemi wynosi 10 km/h).	Maksymalne opóźnienie transmisji wynosi od 20 do 300 ms BER od 10^{-3} do 10^{-7}	Opóźnienie transmisji wynosi 150 ms lub więcej BER od 10^{-5} do 10^{-8}

Tab. 3. Klasy jakości usług systemu UMTS

Klasa ruchu	Konwersacyjna	Strumieniowa	Interaktywna	Podstawowa
Podstawowa charakterystyka	Zachowanie relacji czasowych pomiędzy jednostkami danych w przesyłanym strumieniu; małe wartości opóźnień.	Zachowanie relacji czasowych pomiędzy jednostkami danych w przesyłanym strumieniu	Praca w trybie zapytanie – odpowiedź; zachowanie integralności danych.	Odbiorca nie oczekuje danych w określonym czasie; zachowanie integralności danych.
Przykładowe zastosowanie	Rozmowa, telefonia video, gry video.	Dane multimedialne (filmy, muzyka)	Przeglądanie stron Web, gry sieciowe.	Poczta elektroniczna.

3. Projekty europejskie

Większość opisanych projektów została zrealizowana w ramach Programu Europejskiego ACTS (Advanced Communications Technology and Services), Programu RACE II, Programu Activities oraz programu IST. Pozostałe projekty były zrealizowane w oparciu o wyniki uzyskane w projektach finansowanych przez Program ACTS.

3.1. Projekt RAINBOW (Radio Access Independent Broadband on Wireless)

Celem projektu było zademonstrowanie podstawowej (bazowej) architektury sieci UMTS, która jest zdolna do wykorzystywania różnych interfejsów radiowych, w tym interfejsu satelitarnego. Zaproponowano koncepcję domenową systemu UMTS. Z koncepcji tej wynika, że pewne funkcje systemu są wspólne dla wszystkich dostępów radiowych systemu UMTS, natomiast funkcje zależne od interfejsu radiowego wyróżniają konkretny dostęp radiowy systemu UMTS. Naukowcy pracujący nad projektem RAINBOW¹ zdefiniowali odpowiednie interfejsy pomiędzy tymi funkcjami. W sensie architektury warstwowej należy oddzielić funkcje zależne i niezależne od interfejsu radiowego w warstwie łącza danych, znanej jako warstwa 2. Warstwy powyżej 2 są niezależne od interfejsu radiowego, warstwy poniżej są od interfejsu zależne. Warstwa 2 składa się z podwarstw:

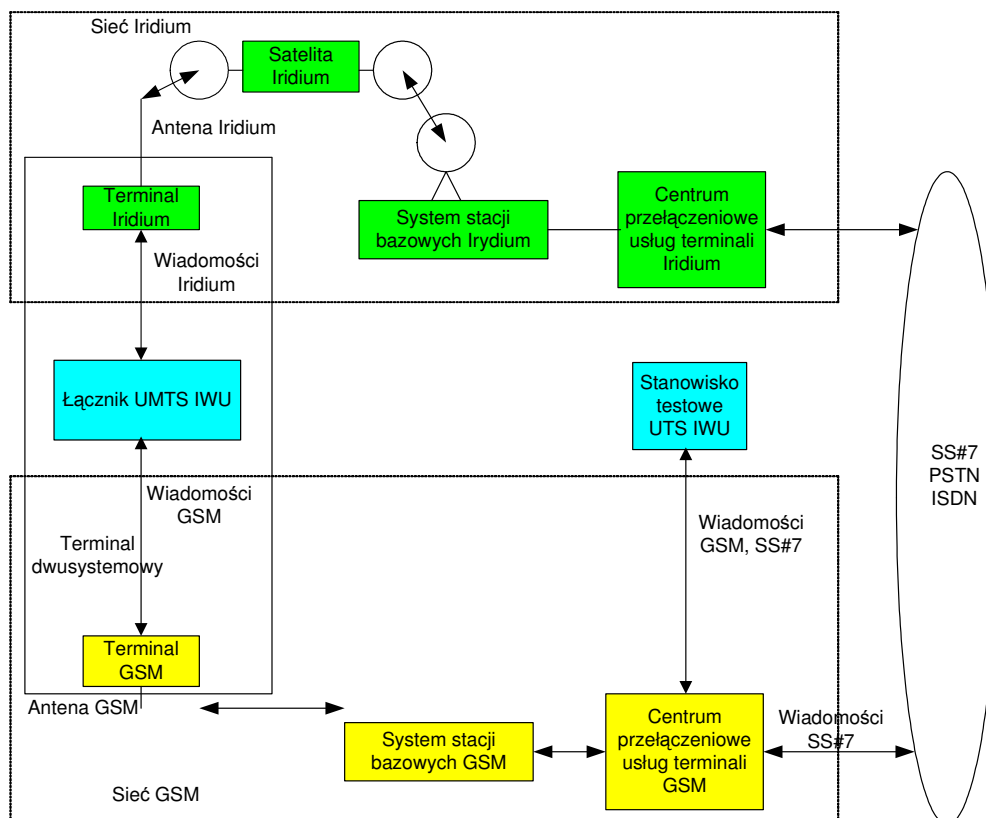
- sterowania dostępem do łącza, które jest niezależne od interfejsu radiowego,
- sterowania dostępem do medium zależnego od interfejsu radiowego.

Jednym z kluczowych osiągnięć projektu RAINBOW było opracowanie interfejsów pomiędzy podwarstwami: sterowania dostępem do łącza oraz sterowania dostępem do medium. ETSI przeprowadziła standaryzację tych interfejsów. Jednym z rodzajów dostępu radiowego jest satelitarny dostęp radiowy. Segment satelitarny systemu UMTS może zawierać dostęp radiowy dopasowany do specyficznych wymagań systemów satelitarnych. Jednakże te systemy muszą współpracować z tymi samymi funkcjami systemu UMTS niezależnymi od interfejsu radiowego co naziemny dostęp radiowy systemu UMTS.

3.2. Projekt INSURED (Integrated Satellite-UMTS Real Environment Demonstrator)

Na potrzeby systemu UMTS został również zaproponowany projekt INSURED – demonstrator rzeczywistego środowiska integrujący podsystemy UMTS: satelitarny i naziemny. Poniższy rysunek przedstawia schemat systemu w oparciu o projekt INSURED, który miał na celu zademonstrować współdziałanie dwóch sieci II generacji: naziemnego systemu GSM oraz satelitarnego Iridium.

¹ projekt podstawowego demonstratora architektury sieciowej UMTS



Rys. 7. Projekt INSURED – współpraca systemu naziemnego GSM oraz satelitarnej sieci Iridium.

Zaprojektowano dwusystemowy terminal Iridium-GSM oraz odpowiednie wyposażenie po stronie sieciowej. Pozwoliło to na osiągnięcie dwóch niezwykle istotnych zalet systemów II generacji: międzysegmentowy roaming oraz międzysegmentowe przełączanie kanałów. Międzysegmentowy roaming pozwala użytkownikowi na dostęp do pojedynczego, uniwersalnego numeru, który można wywołać z dwusystemowego terminala poprzez segment naziemny lub satelitarny, zgodnie z przyjętym kryterium. Międzysegmentowe przełączanie kanałów pozwala na przełączanie rozmów w trakcie ich trwania od segmentu naziemnego do satelitarnego lub na odwrót. W celu współdziałania różnych systemów wprowadzono jednostkę współpracującą oznaczaną jako IWU (InterWorking Unit). IWU jest jednostką wyposażenia umieszczaną w interfejsie pomiędzy dwoma sieciami. Gwarantuje ono wzajemną współpracę sieci oraz redukuje liczbę dublujących się funkcji w tych sieciach. Jednostka IWU nie narzuca wspólnego protokołu w tych sieciach, jedynie emuluje protokół dla obu sieci. W ten sposób zarówno sieć GSM jak i Iridium postrzegają jednostkę IWU jako fragment swojej sieci. Innymi słowy IWU odbiera odpowiednie sygnały z obu sieci, przetwarza je a następnie generuje sygnały kompatybilne z siecią GSM w kierunku sieci GSM oraz sygnały kompatybilne z siecią Iridium w kierunku sieci Iridium.

Dzięki technologii IWU można prowadzić stopniowe przekształcenie systemów II generacji w systemy III generacji. Na powyższym rysunku jednostką IWU po stronie terminala jest łącznik INSURED, następnie po stronie sieci jest to stanowisko testowe sieci. Przykładem zastosowania urządzenia IWU jest realizacja międzysegmentowego przełączania kanałów w sieciach GSM-Iridium. Terminal GSM okresowo wysyła raport pomiarowy do

obsługującej stacji bazowej informujący o aktualnym odbieranym poziomie mocy z obsługującej i sąsiadujących stacji bazowych. Łącznik INSURED dostrzega, iż nie ma żadnej odpowiedniej komórki sieci GSM (brak pokrycia) oraz przechwytuje te raporty. W tym momencie terminal Iridium jest w stanie czuwania, jednostka IWU przetwarza raporty, aby system obsługi dwusystemowego terminala wywołał przełączenie kanałów pomiędzy centralami MSC (Mobile Switching Center). Dzieje się tak poprzez poprawki raportu pomiarowego zgodnie z pomiarami odpowiedniej komórki fikcyjnej (w odniesieniu do systemu Iridium), której identyfikator obszaru lokalizacji znajduje się poza obszarem MSC, gdzie dwusystemowy terminal jest w stanie roaming. Ta komórka fikcyjna musi być dołączona do zestawu sąsiadujących komórek we wszystkich systemach stacji bazowych, w których międzysegmentowe przełączanie kanałów jest zaimplementowane. Dzięki temu, gdy stacja bazowa otrzymuje zmodyfikowany raport pomiarowy, wyzwala procedurę przełączania kanałów w kierunku fikcyjnej stacji bazowej. Wszystkie centrale przełączeniowe z obszaru z międzysegmentowym przełączaniem kanałów muszą posiadać wpis skojarzony z identyfikatorem obszaru lokalizacji oraz z adresem sygnału testowego INSURED. W ten sposób stara centrala przełączeniowa (kontrolująca stację bazową, która wyzwoliła przełączanie kanałów) widzi stanowisko testowe INSURED jako nową centralę przełączeniową (tę, która kontroluje fikcyjną komórkę, do której musi być przełączone połączenie rozmówne)

3.3.Projekt TOMAS (Testbed of Mobile Applications for Satellite Communications)

Głównym celem zrealizowanym w ramach projektu TOMAS była budowa stanowiska badawczego, umożliwiającego testowanie satelitarnej, systemowej platformy multimedialnej umożliwiającej dostarczanie usług użytkownikowi ruchomemu z szybkością transmisji do 2 Mb/s. Testowane usługi multimedialne zostały zdefiniowane tak samo jak usługi multimedialne w systemie UMTS. Do realizacji celów badawczych wykorzystano satelity ESA EMS oraz dostępne satelity Inmarsat. W ramach testów realizowano transmisje w standardzie MPEG-4, również do sieci ATM i ISDN. W testach oceniano efektywność transmisji pod kątem zastosowań biurowych i telemedycyny. Projekt dowiódł, że możliwa jest efektywna realizacja usług typu UMTSowego z wykorzystaniem łączy satelitarnych i wysoce mobilnych urządzeń dla mobilnego użytkownika.

3.4.Projekt SUMO (Satellite Mobile Multimedia Services in the UMTS)

Projekt SUMO został zrealizowany w oparciu o wyniki uzyskane w projektach TOMAS i SINUS. Projekt zakłada, że w przyszłości system UMTS będzie na pewno składał się z segmentu naziemnego i satelitarnego. Założono również, że segment satelitarny będzie wykorzystywał równocześnie podsystemy o konstelacjach LEO, MEO i GEO – czyli segment satelitarny będzie miał charakter hybrydowy. Założono również, że dostęp do interfejsów radiowych będzie realizowany elastycznie w zależności od zapotrzebowania użytkownika na określone usługi. Niektóre z usług będą dostępne tylko w określonych interfejsach radiowych. W projekcie zrealizowano demonstrację i ocenę działania usług multimedialnych zdefiniowanych dla systemu UMTS z pośrednictwem hybrydowej sieci satelitarnej S-UMTS.

System testowy zaprojektowano tak aby był on całkowicie spójny z architekturą systemu S-UMTS zdefiniowaną przez ETSI. W ramach projektu przeprowadzono testy oceniające wpływ architektury segmentu satelitarnego na jakość świadczonych usług transmisyjnych.

3.5. Projekt SINUS (Satellite Integration into Networks for UMTS Services)

W projekcie SINUS zajmowano się wieloma aspektami związanymi z integracją systemów satelitarnych z systemem UMTS. Głównymi celami projektu było: opracowanie modeli odniesienia do integracji różnych systemów satelitarnych z naziemnym systemem UMTS, identyfikacja, charakterystyka i propozycja rozwiązań technicznych w obszarze procedur międzysystemowego przełączania połączeń (Inter-Segment Handover). Ponadto projekt zakładał opracowanie identyfikacji i techniczną konsolidację projektu technicznego interfejsu radiowego wraz z zagadnieniami propagacyjnymi, metodami dostępu, przełączaniem połączeń na łączach między-satelitarnych, zasięgami i procedurami przekazywania połączeń w sieci. W ramach projektu zostały również oszacowane aspekty ekonomiczne i możliwości techniczne dostarczania usług systemu UMTS za pośrednictwem satelitów oraz zostały przygotowane rekomendacje dotyczące standaryzacji proponowanych rozwiązań. Jako interfejs satelitarny systemu UMTS rozważano systemy satelitarne LEO, MEO i GEO.

3.6. Projekt VIRTUOUS (Virtual Home UMTS on Satellite)

Projekt VIRTUOUS miał na celu identyfikacji, zaprojektowania i budowy efektywnego demonstratora, w celu prezentacji możliwości płynnego przejścia do zintegrowanego systemu T-S-UMTS. Działania prowadzone w projekcie miały na celu wsparcie i przyspieszenie procesu standaryzacji. W projekcie zidentyfikowano kroki niezbędne do podjęcia w celu realizacji migracji, działania w obszarze badawczo-projektowym (R&D), które muszą zostać podjęte w celu uzupełniania i ulepszenia istniejących technologii. W projekcie wykorzystywano urządzenia już istniejące lub dopiero stworzone w innych projektach badawczych.

3.7. Projekt MODIS (Mobile Digital Broadcast Satellite)

W ramach projektu zrealizowano demonstrator wykorzystujący koncepcję SDMB (Satellite Digital Multimedia Broadcasting) system. Proponowane rozwiązanie ma stworzyć synergii pomiędzy systemami satelitarnymi i naziemnymi systemami komórkowymi. W projekcie postanowiono jak najszerzej wykorzystać prace standaryzacyjne 3GPP w zakresie integracji segmentu satelitarnego do systemami komórkowymi, a zwłaszcza proponowany system S-UMTS.

3.8. Projekt NEWTEST (NEural network signal processing schemes for Wireless Terrestrial and Satellite Transmissions)

Głównym celem projektu było opracowanie nowych metod adaptacyjnej korekcji w kanałach transmisyjnych systemu S-UMTS. Projekt zakładał wykorzystanie sieci

neuronowych jako sposobu na implementację założonej korekcji. W projekcie miano też określić jaka jest techniczna realizowalność tego rodzaju korektorów, szczególnie na poziomie terminali UMTS. W projekcie zidentyfikowano dwie główne przyczyny, które powodują, że konieczne jest zastosowanie korektorów: zniekształcenia nieliniowe sygnałów oraz zmienne w czasie właściwości propagacyjne kanału radiowego. Opracowane rozwiązanie ma przewyciężyć problemy wynikające z ww. zjawisk.

3.9. Projekt SAINT (Satellite Integration in the Future Mobile Network)

W projekcie SAINT analizowano przyszłe, możliwe scenariusze integracji systemów satelitarnych i sieci komórkowych, ze szczególnym naciskiem na UMTS. Szczególny nacisk położono na identyfikację ograniczeń systemowych. Określono zbiór wymogów funkcjonalnych dla takiego systemu. Skupiono się na określeniu wymagań ruchowych, możliwych do zastosowania technologii satelitarnych, procedurach współpracy różnych sieci, protokołach sygnalizacyjnych oraz rozproszonych bazach danych niezbędnych do integracji tego rodzaju systemu.

3.10. Projekt SECOMS (Satellite EHF Communication for Multimedia-mobile Services)

Celem projektu SECOMS było zbadanie aspektów technicznych i ekonomicznych wykorzystania satelitów nowej generacji, pracujących w paśmie 20/30 GHz w celu zapewnienia usług szerokopasmowych w oparciu o małe terminale ruchome i stacjonarne, w celu zapewnienia dostępu na obszarze Europy. W ramach projektu opracowano demonstrator działający w oparciu o satelity INTELSAT. Opracowane technologie budowy małych terminali i anten zostały wykorzystane do budowy systemu w ramach programu EuroSkyWay.

3.11. Projekt BRAHMS (BRoadband Access for High Speed Multimedia via Satellite)

Podstawowym celem projektu BRAHMS było zdefiniowanie uniwersalnego, szerokopasmowego interfejsu dostępowego dla Broadband Satellite Multimedia Usługi te powinny być otwarte na implementację różnych interfejsów satelitarnych, uwzględniając systemy satelitarne GEO i LEO. Głównym celem było opracowanie wspólnych dla różnych systemów satelitarnych funkcji dostępu do sieci oraz oddzielenie ich od funkcji związanych z interfejsem fizycznym systemów. Stworzono koncepcję Broadband Multimedia Satellite System (BMSS), z wymogami, co do szybkości transmisji, do 150 Mb/s. W celu uzyskania większej elastyczności sieci zaproponowano konwergencję funkcjonalności usługowych dostępnych w sieciach UMTS/IMT-2000 oraz w stałych sieciach szerokopasmowych. Jako czynnik płynnej konwergencji sieci stałych i ruchomych zaproponowano wykorzystanie sieci działającej w oparciu o protokół IP i transmisję satelitarną

3.12. Projekt FUTURE (Functional UMTS Real Emulator)

Projekt FUTURE został zainspirowany przez demonstrator i wyniki uzyskane w projekcie VIRTUOUS. Celem projektu była opracowanie podsystemu multimedialnego dla systemu S-

T-UMTS, zapewne odpowiedniego QoS oraz implementacja zaproponowanego podsystemy w ramach istniejącego już demonstratora (opracowanego w projekcie VIRTUOUS). Kolejnym celem było opracowanie innowacyjnych usług oraz ich zademonstrowanie.

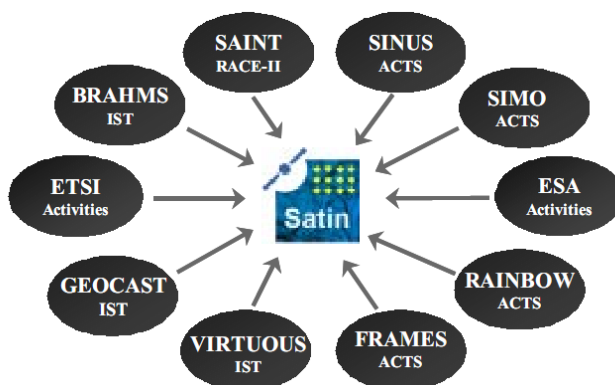
3.13. Projekt S-UMTS (Preparation of the Next Generation Universal Mobile Satellite Telecommunications Systems (S-UMTS))

W wyniku tego projektu, koordynowanego przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA) powstał rozległy raport zawierający szczegółowe analizy technologiczne i funkcjonalne wraz z analizą kosztów dotyczące implementacji podsystemu S-UMTS. Raport proponuje dwie strategie postępowania: organizację konsorcjum, którego celem będzie finansowanie i wdrożenie podsystemu S-UMTS, albo oczekiwanie na ewolucję systemów satelitarnych i ich naturalną integrację z systemami 3G. W tym drugim przypadku jako najbardziej obiecująca wskazywana jest współpraca EU z Inmarsatem i zachęcanie Inmarsatu, po uruchomieniu satelitów Inmarsat-4, aby zintegrował ten podsystem z systemami T-UMTS i tym samym zapewnił w systemie UMTS segment satelitarny.

3.14. Projekt SATIN (Satellite-UMTS IP-based Network)

Projekt badawczy SATIN (Satellite-UMTS IP-based Network) był projektem najbardziej zaawansowanym badawczo i technologicznie, ściśle powiązany z innymi projektami badawczymi dotyczącymi S-UMTS takimi jak np.: SINUS, SUMO, RAINBOW, GEOCAST, VIRTUOUS.

Analiza innych Europejskich projektów badawczych związanych z tematyką integracji telefonii komórkowej i satelitarnej wskazała istotę przenikania metod transmisji w oparciu o protokół IP do komunikacji bezprzewodowej i satelitarnej. Niemal wszystkie projekty dotyczyły głównie wykorzystania technologii IP w usługach multimedialnych, przy czym nie przeprowadzono szczegółowych analiz rynkowo marketingowych. W związku z tym projekt SATIN miał doprowadzić do opracowania architektury systemu opartej na trendach rynkowych, a nie czysto technologicznych możliwościach.



Rys. 8. Powiązanie projektów badawczo rozwojowych dotyczących tematyki S-UMTS z projektem SATIN

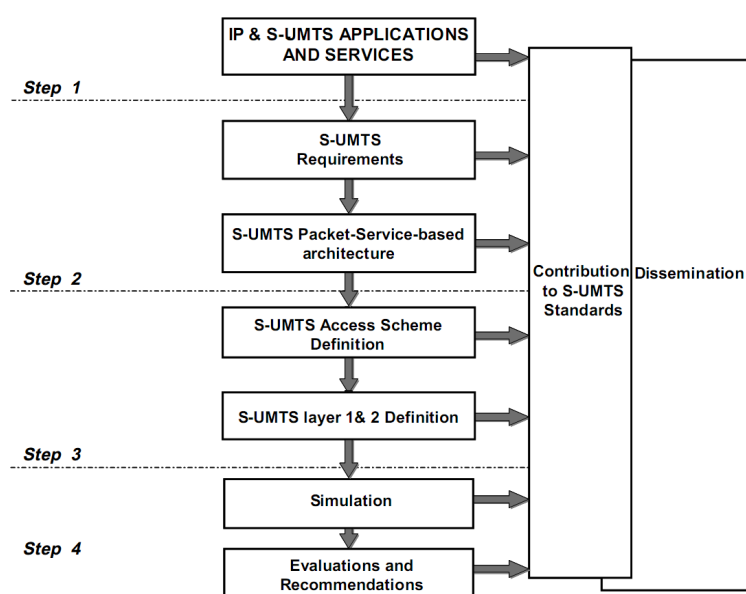
Projekt dotyczył zdefiniowania efektywnej metody dostępu do segmentu satelitarnego systemu UMTS, bazującej na metodzie dostępu w segmencie naziemnym systemu UTRA, zapewniającej maksymalne upowszechnienie terminali i wykorzystującej transmisję pakietową IP.

W projekcie rozważano następujące zagadnienia:

- Identyfikacja usług dla segmentu satelitarnego S-UMTS na podstawie analiz rynkowo marketingowych,
- Definicja zintegrowanej architektury systemu UMTS, zawierającej komponenty satelitarne i naziemne,
- Definicja struktury systemu S-UMTS w oparciu o transmisję pakietową,
- Optymalizacja warstw 1 i 2/2+ segmentu S-UMTS pod kątem nowej architektury,
- Weryfikacja kluczowych elementów warstw 1 i 2/2+ architektury na drodze symulacji,
- Ścisła kooperacja z innymi projektami badawczymi IST i ESA,
- Współdziałanie w procesie standaryzacyjnym IP/S-UMTS, w szczególności w ETSI SES TC S-UMTS WG oraz 3GPP.

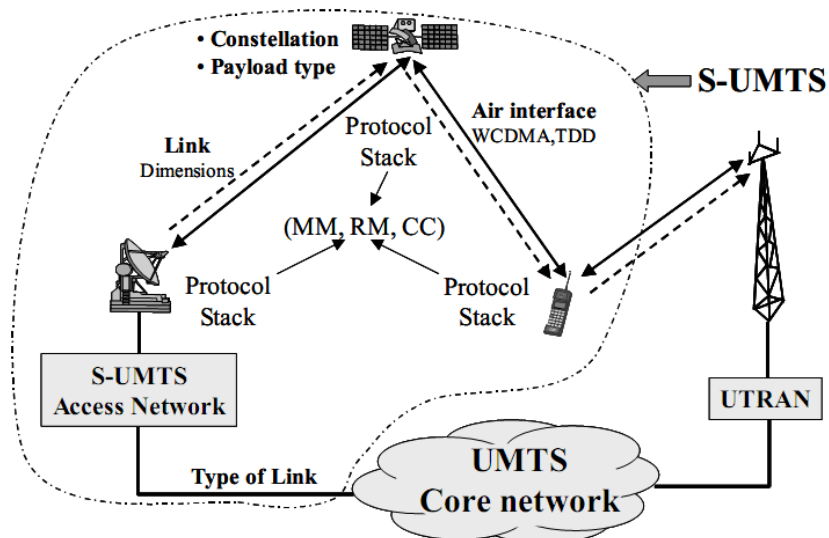
Prace w projekcie przebiegały w następujących etapach:

- Etap 1 – definicja usług w segmencie S-UMTS oraz wymogów systemu satelitarnego,
- Etap 2 – definicja architektury sieciowej S-UMTS,
- Etap 3 – specyfikacja pakietowej metody dostępu w segmencie S-UMTS,
- Etap 4 – badania symulacyjne, optymalizacja i ocena elementów systemowych pakietowej metody dostępu do segmentu S-UMTS.

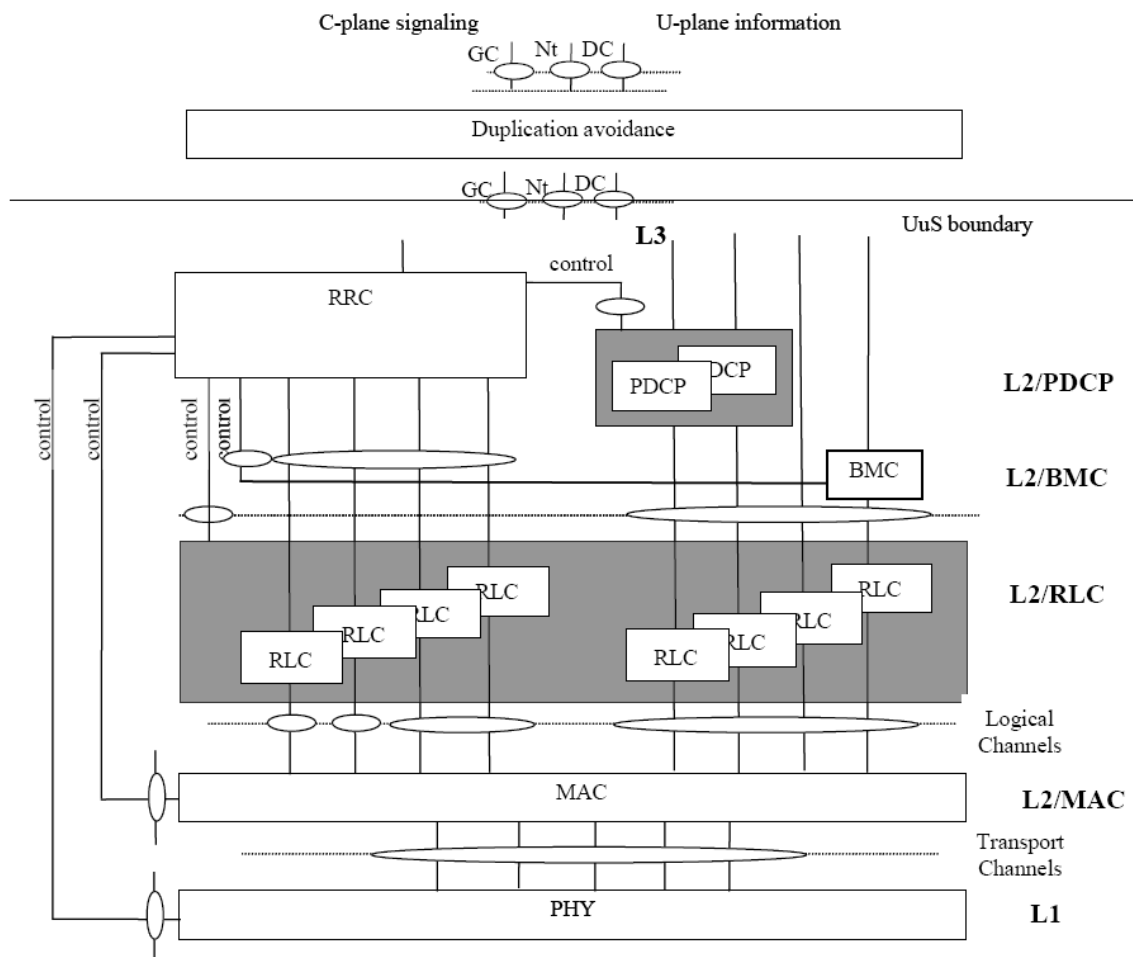


Rys. 9. Etapy prac w projekcie SATIN

W wyniku realizacji projektu zostały opracowane architektura systemu UMTS, integrująca segmenty naziemny i satelitarny oraz architektura protokołów interfejsu radiowego, pokazane na poniższych rysunkach.



Rys. 10. Model naziemnej i satelitarnej architektury systemu UMTS



Rys. 11. Architektura protokołów interfejsu radiowego systemu UMTS

4. Systemy Satelitarne

Do niedawna panowało przekonanie, że telefonia satelitarna to technologia przeznaczona wyłącznie dla żołnierzy, marynarzy lub administracji państwowej. Dziś z technologii satelitarnej korzysta coraz więcej osób prywatnych, firm, biznesmenów i podróżników. Technologia satelitarna daje poczucie bezpieczeństwa i gwarantuje ciągłą łączność ze światem.

Obecnie telefon satelitarny wyglądem i funkcjonalnością niemal nie różni się od tradycyjnego telefonu komórkowego. Podobnie jak on wymaga karty SIM i daje wybór korzystania z usługi w systemie pre-paid (kart doładowujących) lub post-paid (abonamentowy). To co odróżnia telefon satelitarny od systemu roaming telefonu komórkowego to fakt niższych połączeń międzynarodowych, darmowe rozmowy przychodzące oraz bezpłatne SMS niezależnie od sieci i nieograniczony zasięg.

Systemy satelitarne rozróżnia się ze względu na wielkość orbit satelitów. Spotykamy więc cztery podstawowe rodzaje systemów satelitarnych:

- systemy geostacjonarne (GEO – *Geostationary Earth Orbit*), używające satelity geostacjonarne, nieruchome w stosunku do powierzchni Ziemi. Orbita geostacjonarna znajduje się na wysokości ok. 35 900 km w stosunku do powierzchni Ziemi w płaszczyźnie równikowej. Typowym przykładem systemu GEO jest system Inmarsat.
- systemy średnioorbitowe (MEO – *Medium Earth Orbit*), używające satelity na orbitach o wysokościach od kilku do 20 tysięcy kilometrów. Przykładem systemu średnioorbitowego jest syst. Odyssey składający się z 12 satelitów rozmieszczonych na orbitach o wysokościach 10 354 km nad powierzchnią Ziemi.
- systemy niskoorbitowe (LEO – *Low Earth Orbit*), używające satelity niskoorbitowe. Typowe przykłady systemów LEO to Iridium (z powodu nierentowności dla celów radiokomunikacji publicznej został przejęty na cele wojskowe), Odyssey oraz Globalstar, które używają bądź będą używały odpowiednio 66 i 48 satelitów o kołowych orbitach na wysokościach odpowiednio 780 km i 1400 km.
- systemy o wysoko nachylonych orbitach eliptycznych (HEO – *Highly Inclined Earth Orbit*), używające orbity eliptyczne o wysokościach z zakresu od 500 km do kilku tysięcy kilometrów. Przykładem systemu HEO jest rosyjski system Molniya działający od 1965 r. Apogeum i perigeum tego systemu to odpowiednio 40 000 km i 500 km.

W poniższej tabeli porównano główne cechy systemów GEO, LEO oraz HEO.

Tab. 4. Główne charakterystyki i parametry orbit satelitów GEO, LEO oraz HEO.

	GEO	LEO	HEO
Nazwa przykładowego systemu	Inmarsat	Iridium	Molniya
Typ orbit	Kołowe	Kołowe	Owalne
Liczba orbit	1	6	4
Wysokość orbit	35 900 km	780 km	
Apogeum			40 000 km
Perigeum			500 km
Okres orbity	24 godziny	1 godzina 30 min.	12 godzin
Masa satelity	ok. 1500 kg	ok. 700 kg	ok. 1000 kg
Liczba satelitów	3	66 (11 na orbitę)	12 (3 na orbitę)
Minimalny kąt elewacji	5°	8°	80°
Czas widzialności satelity	24 godziny	10 minut	8 godzin

Obecne systemy satelitarne radiokomunikacji ruchomej są głównie systemami GEO. W planowaniu systemów nowej generacji wybór pomiędzy systemami GEO i LEO jest bardzo trudny. W poniższej tabeli przedstawiono porównanie głównych charakterystyk tych systemów.

Tab. 5. Porównanie charakterystyk systemów GEO i LEO.

Rodzaj orbity	GEO	LEO
Parametry systemu		
Wykorzystywane pasma częstotliwości	pasmo L (terminal ↔ satelita), pasmo C (satelita ↔ stacja naziemna)	pasmo L (terminal → satelita), pasmo S (satelita ← terminal), pasmo C (satelita ↔ stacja naziemna)
Pokrycie	Pokrycie globalne poza terenami podbiegunowymi	Pokrycie globalne łącznie z terenami podbiegunowymi
Kąt elewacji	Powyżej 5°	10-20°
Czas opóźnienia syg. radiowego	270 ms	10-30 ms
Zapaszowe satelity	Zapaszowa na orbicie	Satelity aktywne asekurowujące się wzajemnie
Przełączanie satelitów	Brak	Może być wymagane
Satelity		
Rozmiar i masa	Bardzo duże (masa ponad 2 tony)	Dużo małych satelitów
Przetwarzanie pokładowe	Potrzebne	O dużym stopniu komplikacji
Antena pokładowa (rozmiar)	10-30 m	poniżej 5 m
EIRP	Duża	Mała
Orbita	geostacjonarna (35900 km)	Dowolna (np. 750 km)
Terminal użytkownika		
Rozmiar	Podręczny terminal	Ręczny terminal
Antena	Kierunkowa z dostrajaniem	Dookólna bez dostrajania
Zabezpieczenie przed przesunięciem Dopplera	Potrzebne (z powodu użytych wysokich częstotliwości)	Wymagane (z powodu użycia ruchomych satelitów)
Uwagi		
Ustalanie pozycji	Wymagane 2 satelity	Łatwe w realizacji
Pokrycie wiązki	Ustalone	Przesuwające się (typowo ok. 5 km/s)
Typowe przykłady	ACTS (USA), COMETS (Japonia)	Globalstar, Odyssey (USA)

Tab. 6. Porównanie największych systemów telefonii satelitarnej.

System	Zasięg	Orbita	Usługi
Iridium	cała kula ziemiska	LEO	Voice, SMS, data 2,4 kbit/s
Thuraya	Europa, Afryka Płn., Bliski i Środkowy Wschód, Indie	GEO	Voice, SMS, data 9,6 kbit/s
Globalstar	cała Ziemia bez okolic podbiegunowych i mórz	LEO	Voice, data 9,6 kbit/s
Inmarsat	cała Ziemia bez okolic podbiegunowych	GEO	Voice, SMS, data 2,4–420 kbit/s
ACeS	Azja	GEO	Voice, SMS, data 9,6 kbit/s

4.1. System INMARSAT

Nazwa Inmarsat nieodłącznie kojarzy się z satelitarną łącznością ruchomą, jednakże na skutek zmian organizacyjnych i rozwoju technologicznego w różnych momentach czasu utożsamiana była z różnymi podmiotami i rozwiązaniami technologicznymi. Bardzo często nazwa Inmarsat jest używana błędnie lub nieprecyzyjnie. Historia „Inmarsatu” rozpoczyna się w roku 1976, jako konsekwencja powstania pierwszego cywilnego (morskiego) systemu satelitarnej łączności ruchomej o nazwie „Marisat”. Właśnie w tym roku rozpoczęły się, pod auspicjami IMO (*International Maritime Organization*) prace nad konwencją o międzynarodowej, satelitarnej łączności morskiej. Konwencja ta została podpisana w 1979 roku, powołując do życia organizację międzynarodową o nazwie International Maritime Satellite Organization, w skrócie Inmarsat, która u schyłku swojego istnienia w 1999 roku liczyła 92 państwa członkowskie. Inmarsat jako organizacja stał się (poprzez swoje organy wykonawcze i techniczne) operatorem przejętego aportem od Stanów Zjednoczonych systemu Marisat. Świadczenie usług łączności satelitarnej Inmarsat rozpoczął w dniu 1 lutego 1982. Od tego momentu system Marisat został nazwany systemem Inmarsat. Jedynym dostępnym rozwiązaniem technologicznym był przejęty od Marisatu tzw. Standard-A, nazywany od tego momentu Systemem Inmarsat-A. Rozwiązanie to, pod auspicjami Inmarsatu podlegało oczywiście ewolucji i pewnym usprawnieniom technologicznym. Ten najdłużej działający system satelitarnej łączności ruchomej został ostatecznie „wyłączony” 31 grudnia 2007 roku.

Rok 1999 był kluczowy dla rozwoju Inmarsatu. W dniu 15 kwietnia Inmarsat, jako pierwsza organizacja międzynarodowa w historii została sprywatyzowana. Powstało konsorcjum spółek handlowych prawa brytyjskiego, w których poszczególne państwa członkowskie organizacji miały określone udziały. Na początku były to dwie spółki – spółka matka - Inmarsat Ventures Plc. oraz spółka operatorska Inmarsat Ltd. W okresie późniejszym konsorcjum nabyło firmy: Invsat Ltd., Airia Ltd. i Rydex. Po roku 2003 konsorcjum rozpoczęło kolejny etap bardzo dynamicznych przekształceń, który wiązał się z wprowadzaniem nowych technologii i usług.

Obecnie „Inmarsat” to konsorcjum składające się z trzech głównych spółek: spółki matki - Inmarsat Plc., spółki operatorskiej Inmarsat Holdings Ltd., spółki rozwijającej segment satelitarny Inmarsat Group Ltd. oraz wielu spółek finansowych takich jak Inmarsat Finance Plc, Inmarsat Finance II Plc., Inmarsat Finance III Plc. itp. Ponadto konsorcjum posiada udziały lub kontrolę nad wieloma firmami z sektora satelitarnego oraz uczestniczy finansowo i technologicznie w wielu dużych międzynarodowych projektach satelitarnych.

Inmarsat jako organizacja i potem firma prywatna oczywiście i prowadził prace nad nowymi „systemami” łączności satelitarnej. Począwszy od roku 1991 organizacja, a potem prywatne konsorcjum Inmarsat w oparciu o ciągle rozbudowywaną i rozwijaną konstelację satelitów, wdrażała i wdraża coraz to nowsze rozwiązania technologiczne (tzw. „systemy”), które z czasem zaczęły wykorzystywać tę samą cyfrową platformę technologiczną i zaczęły być rozróżniane jako odrębne usługi a nie „systemy”. To, z jakich usług może korzystać użytkownik zależy od możliwości jego terminala. W połowie lat 90-tych Inmarsat zaczął różnicować swoje rozwiązania technologiczne w zależności od fizycznych obszarów, w jakich funkcjonuje użytkownik. Inmarsat dzieli swoje usługi na trzy segmenty: morski, lądowy i lotniczy. Segmenty lądowy i lotniczy wyewoluowały oczywiście z segmentu

morskiego, na początku poprzez proste instalacje terminali w wykonaniu morskim na łądzie lub np. terminali Inmarsat-C na pokładzie helikopterów. Obecnie zarówno w segmencie morskim jak i lądowym funkcjonują specjalizowane rozwiązania technologiczne i usługi, często o zasadniczo odmiennych nazwach niż rozwiązania i usługi funkcjonujące w segmencie morskim. W segmencie morskim Inmarsat wprowadził następujące rozwiązania technologiczne (systemy):

- Inmarsat C - wprowadzony w 1991 r.,
- Inmarsat B - wprowadzony w 1993 r.,
- Inmarsat M - wprowadzony w 1994 r.,
- Inmarsat mini-M - wprowadzony w 1996 r.,
- Inmarsat D/D+ - wprowadzony w 1997 r.,
- Inmarsat E - wprowadzony w 1997 r.,
- Inmarsat E+ - instalacja na stacjach LES w 2003 r.,
(Inmarsat E/E+ został wyłączony ze względów komercyjnych 1 grudnia 2006 r.),
- Inmarsat mini-C – wprowadzony w 2002 r.,
- Inmarsat Fleet F77 – wprowadzony w 2002 r.,
- Inmarsat Fleet F33 i F55 – wprowadzone w 2003 r.,
- Inmarsat FleetBroadband FB-500 i FB-250 wprowadzony 19 listopada 2007 r.,
- Inmarsat FleetPhone – wprowadzony na przełomie 2007/2008 r.,

Rozwój technologiczny w obszarze systemów nie byłby możliwy bez rozwoju segmentu satelitarnego. Inmarsat rozpoczął swoją działalność od dzierżawienia transponderów na różnych satelitach, obecnie jest posiadaczem największych satelitów geostacjonarnych na świecie.

4.1.1. Segment satelitarny

Począwszy od roku 1982 do 1990 Inmarsat dzierżawił transpondery w pasmach L/C na satelitach Marisat, Marecs, Intelsat i Eutelsat. W roku 1990 rozpoczął umieszczanie na orbicie własnych satelitów pod nazwą Inmarsat-2. Następnie w roku 1996 rozpoczął umieszczanie na orbicie satelitów Inmarsat-3, a w roku 2005 największych obecnie satelitów geostacjonarnych - Inmarsat-4.

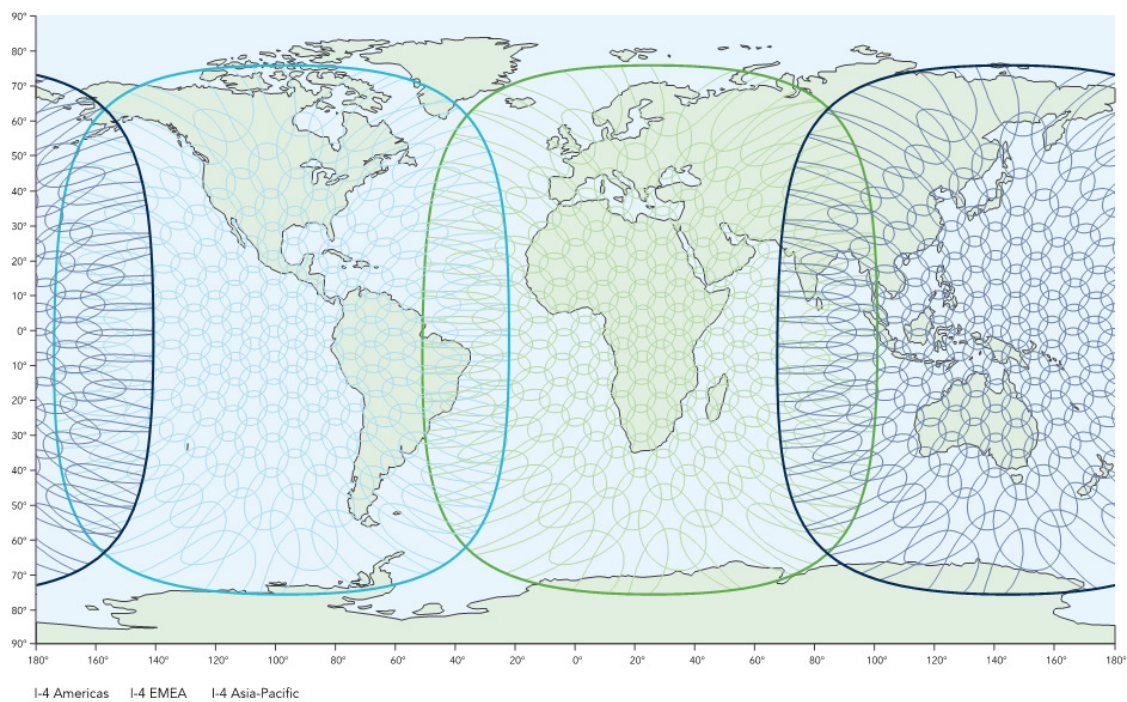
Obecnie Inmarsat jest operatorem floty 10 satelitów umieszczonych na różnych pozycjach na orbicie geostacjonarnej na wysokości 35 786 km nad. Na szczególną uwagę zasługują satelity Inmarsat-4. Stanowią one, bowiem ogromny postęp technologiczny w stosunku do satelitów poprzednich generacji. Zgodnie z twierdzeniami Inmarsatu, w porównaniu do satelitów Inmarsat-3, satelity Inmarsat-4 transmitują 60 razy więcej mocy, mają 16 krotnie większą pojemność, ze względu na wykorzystanie anten o wąskich wiązках regionalnych odbiorniki satelity są 25 krotnie czulsze a efektywność widmowa satelity jest 12 krotnie większa. Ich głównym zadaniem jest zapewnianie platformy dla usług szerokopasmowych.

Tab. 7. Podstawowe parametry używanych obecnie Satelitów Inmarsat

	INMARSAT-2	INMARSAT-3	INMARSAT-4
Liczba wystrzelonych satelitów	4	3+2 zapasowe	3
Obszar pokrycia	Antena o wiązce globalnej	Anteny o wiązce globalnej, 7 szerokich wiązkach regionalnych	Anteny o wiązce globalnej, 19 szerokich wiązkach regionalnych oraz 228 regionalnych wiązkach punktowych
EIRP w łączu ruchomym	39 dBW	49 dBW	67 dBW
Masa satelity bez paliwa	615 kg	863 kg	3380 kg
Masa satelity z paliwem	1465 kg	2038 kg	5840 kg
Rozpiętość baterii słonecznych	14,5 m	20,7 m	48 m

Tab. 8. Aktualna konstelacja Satelitów Inmarsat

Nazwa satelity	Obszar pracy		Umieszczenie na orbicie		Uwagi
		Długość geograficzna	Rakieta nośna	Data (GMT)	
Satelity Inmarsat-2 (zapasowe, dzierżawione instytucjom państwowym i prywatnym)					
Inmarsat-2F1	POR-W	143.5E	Delta II	30.10.1999	Planowany czas „życia” 2010
Inmarsat-2F2	POR-E	98W	Delta II	08.03.1991	Planowany czas „życia” 2010
Inmarsat-2F4	IOR-E	109E	Proton	04.1992	Planowany czas „życia” 2016
Satelity Inmarsat-3 (operacyjne i podstawowe zapasowe)					
Inmarsat-3F1	IOR	65E	Atlas Centaur IIA	03.04.1996	Istniejące usługi
Inmarsat-3F2	AOR-E	15.5W	Proton	06.09.1996	Istniejące usługi
Inmarsat-3F3	POR	178E	Atlas Centaur IIA	18.12.1996	Istniejące usługi
Inmarsat-3F4	POR	142W	Ariane 4 (V97)	03.06.1997	Dzierżawiony, zapasowy
Inmarsat-3F5	IOR-W	25E	Ariane 4 (V105)	04.02.1998	Dzierżawiony, zapasowy
Satelity Inmarsat-4 (operacyjne)					
Inmarsat-4F1	America	98W	Atlas V	11.03.2005	Wszystkie usługi Inmarsat
Inmarsat-4F2	EMEA	25E	Sea Launch Zenit 3SL	08.11.2005	Wszystkie usługi Inmarsat
Inmarsat-4F3	Asia Pacific	143,5E	Proton	18.08.2008	Wszystkie usługi Inmarsat



Rys. 12. Pokrycie powierzchni Ziemi wiązkami anten globalnych i punktowych dla satelitów Inmarsat-4

Na powyższym rysunku zaprezentowano pokrycie wiązkami globalnymi oraz 228 wiązkami regionalnymi dla każdego satelity Inmarsat-4. Należy nadmienić, że satelita Inmarsat-4 F3 (POR – Pacific Ocean Region) został umieszczony na orbicie 18 sierpnia 2008 roku, a normalne działania operacyjne rozpoczął 7 stycznia 2009 roku.

Inmarsat już prowadzi prace nad kolejnymi generacjami satelitów, tym razem w ramach konsorcjów. Ostatnio podjął współpracę z firmą Avanti Communications i Europejską Agencją Kosmiczną (ESA) przy budowie satelity HylasOne (Highly Adaptable Satellite), który ma zostać umieszczony na orbicie w połowie 2010 roku. Satelita ten ma umożliwić realizację wysokiej jakości usług multimedialnych w Europie za cenę, dla użytkownika końcowego, porównywalną z odpowiednimi usługami naziemnymi. Innowacyjność tego satelity polega głównie na niespotykanych dotąd możliwościach rekonfiguracyjnych zarówno w obszarze orbity jak i urządzeń elektronicznych.

Ponadto Inmarsat we współpracy z ESA, jako główny konsorcjant, bierze udział w projekcie satelity nowej generacji Alphasat. Satelita ten ma być gotowy w 2012 roku i ma uzupełnić serwisy satelitów Inmarsat-4. Planowany czas życia dla satelitów Inmarsat-4 sięga roku 2020, jednak jak pokazuje praktyka w przypadku Inmarsatu, czas ten jest zazwyczaj dłuższy niż planowany.

4.1.2. Oferowane usługi

Wymienione powyżej wszystkie wdrożone przez Inmarsat rozwiązania technologiczne (systemy) obecnie funkcjonują z wyjątkiem systemu Inmarsat E/E+ (satelitarne radiopławy alarmowe EPIRB), który został wyłączony ze względów komercyjnych. Po wyłączeniu systemu Inmarsat-A nie planuje się na razie wyłączenia żadnego innego systemu.

Na Inmarsacie wciąż nadal umowa wypełniania serwisów publicznych bezpieczeństwa (PSA – Public Services Agreement), czyli realizacji usług GMDSS. Obecnie IMO uznaje, że wymogi GMDSS spełniają systemy: Inmarsat-C, Inmarsat-B oraz Fleet77, który jest uważany za rozwiązanie wzorcowe w tym zakresie.

Na początku roku 2007, zgodnie z informacjami Inmarsatu, liczba wszystkich terminali morskich zarejestrowanych w różnych systemach wynosiła ponad 170 tysięcy, w tym ponad 13 tysięcy to terminale nowej generacji pracujące na platformie Fleet (Fleet77, Fleet55 i Fleet33). W drugiej połowie roku 2007 poinformowano, że liczba zarejestrowanych terminali Inmarsat-C (wraz z mini-C) przekroczyła 100 tysięcy, a liczba zarejestrowanych terminali Fleet77 przekroczyła 10 tysięcy. Na koniec roku 2007 liczba wszystkich zarejestrowanych terminali szerokopasmowych Inmarsat (segment lądowy – BGAN, segment morski – Fleet i segment lotniczy – Swift64) przekroczyła 65 tysięcy.

Z zaobserwowanych trendów wynika jednoznacznie, że bardzo dynamicznie rozwija się platforma Fleet, a najbardziej rozpowszechnionym terminalem zapewniającym korzystanie z nowoczesnych usług telekomunikacyjnych na statkach handlowych (jednostki podlegające konwencji SOLAS) staje się Inmarsat Fleet77. Jednocześnie, w opinii pracowników Inmarsatu przyszłość satelitarnej radiokomunikacji morskiej należy do FleetBroadband uruchomionego 19 listopada 2007r. Obecnie na rynku dostępne są terminale FleetBroadband FB-500 i FB-250. Najliczniej na jednostkach morskich, szczególnie mniejszych występują terminale Inmarsat-C. W celu poprawienia jakości usług w 2005 roku wprowadzono do systemu dwie znaczące modyfikacje: nowy protokół EDR (Enhanced Data Reporting) oraz multiocean DNID (Data Network Identifier), który pozwala śledzić obiekty bez utrudnień związanych ze zmianą obszarów satelitarnych pracy. Planowane jest również wprowadzenie nowego protokołu, który podniesie zasadniczo pojemność systemu w zakresie transmisji raportów danych – EPADR (Enhanced Pre-Assigned Data Reporting). Mimo, że system ten jest nadal modernizowany, spełnia one coraz częściej funkcje pomocnicze jako tani system do alarmowania w GMDSS, system stanowiący bazę do SSAS (Ship Security Alert System) czy też system do monitoringu jednostek lub realizacji prostych sieci typu SCADA. System ten będzie sukcesywnie wypierany przez systemy Fleet55 i Fleet-Phone.

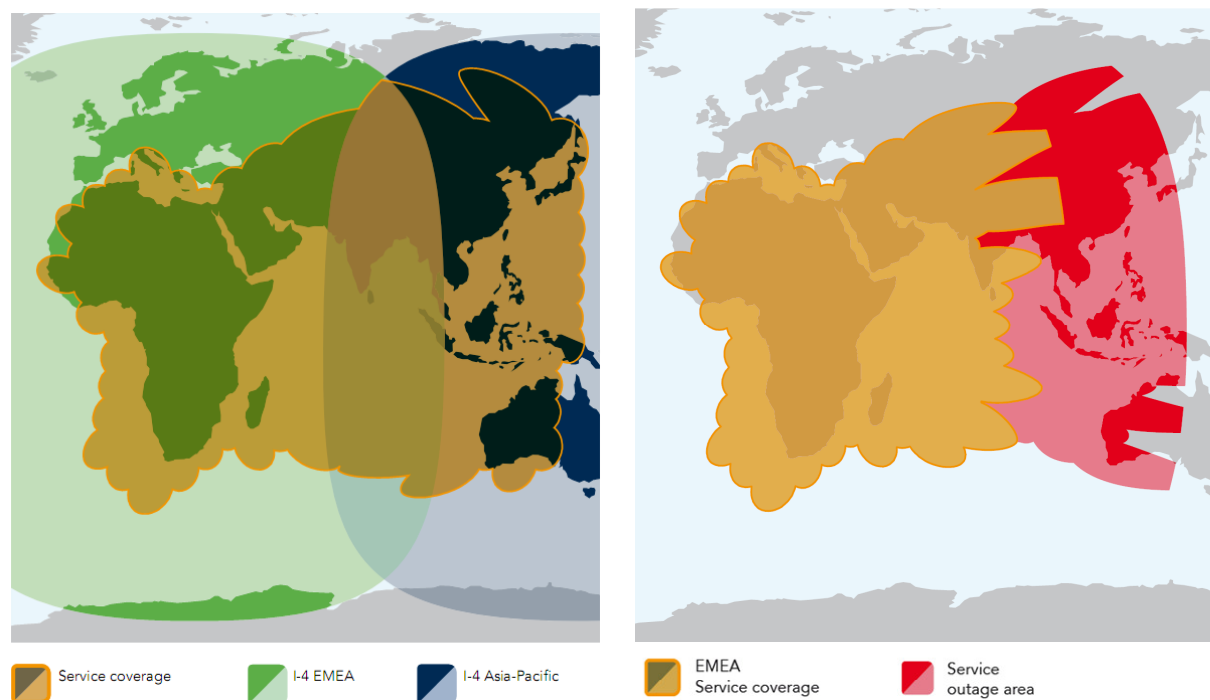
Absolutnie martwym system jest system Inmarsat-B. Miał on być następcą Inmarsatu-A, ale zanim go wyłączono pojawił się system Fleet77. Inmarsat-B, mimo że jest to system w pełni cyfrowy, nie został dostosowany ani do sieci lądowych ISDN ani do sieci typu IP. Pojawiły się już rekomendacje, aby wymieniać terminale Inmarsat-B na terminale innych systemów. Wiele instytucji, w szczególności rządowych rozpoczęło już ten proces.

Platforma Fleet (F77, F55 i F33) działa w oparciu o trzy różne rodzaje kanałów dedykowanych: fonii cyfrowej, transmisji telefaksów oraz transmisji danych. Platforma umożliwia realizację łączności fonicznej cyfrowej (pasmo 3,1 kHz, wokoder AMBE 4,8 kb/s) w wiązce globalnej, transmisję telefaksów G3 i G4 dla F77 z szybkością 64 kb/s, dla F55 i F33 odpowiednio 64 kb/s i 9,6 kb/s w wiązkach regionalnych. Umożliwia również transmisję danych: z szybkością 64 kb/s i 128 kb/s odpowiednio w wiązkach globalnych i regionalnych dla F77 oraz 64 kb/s i 9,6 kb/s odpowiednio dla F55 i F33 w wiązkach regionalnych. Ponadto transmisja danych może być realizowana z komutacją łączy (w przypadku szybkości 64 kb/s, w standardzie ISDN) i komutacją pakietów MPDS (Mobile Packet Data System) nazywanym również Mobile IP. Większość terminali umożliwia transmisje wiadomości w formacie SMS.

Wszystkie stosowane w terminalach ruchomych Fleet anteny są stabilizowanymi antenami kierunkowymi o średnicach 70-90 cm (F77), 50-60 cm (F55) i 30-40 cm (F33). Wszystkie z wymienionych terminali umożliwiają realizację funkcji monitorowania i raportowania, ponadto F77 ma bardzo rozbudowane funkcje priorytetyzacji łączności i alarmowania.

Kolejnym krokiem w rozwoju jest platforma Fleet-BroadBand realizowana w oparciu o satelity Inmarsat-4. Jest to rozwiązanie technologiczne typu „all IP”, maksymalna (łączna) szybkość transmisji w jednym kanale (obecnie dostępne są urządzenia jednokanałowe) wynosi 492 kb/s. W tym pakietowa transmisja danych IP 432 kb/s, równocześnie z cyfrową transmisją sygnałów mowy (VoIP lub GSM) i telefaksu G4. Ponadto można realizować łączność typu „IP streaming” z gwarantowaną szybkością transmisji 256 kb/s, a w wiązce globalnej łączność w standardzie ISDN z szybkością 64 kb/s. Obecnie łączność można realizować przy wykorzystaniu dwóch rodzajów terminali: FB-500 i FB-250. FB-500 to tzw. terminal klasy 8 „High Gain” z anteną kierunkową o średnicy 55 cm. FB-250 to terminal klasy 8 „Low Gain” o antenie kierunkowej o średnicy 25 cm i maksymalnej szybkości transmisji pakietowej IP wynoszącej 284 kb/s.

Ostatnim systemem uruchomionym przez Inmarsat w oparciu o satelity Inmarsat-4 (punktowe wiązki regionalne) jest Satellite Phone Service (SPS). Serwis w segmencie lądowym, działający w oparciu o terminale noszone nosi nazwę IsatPhone oraz LandPhone dla terminali stacjonarnych. Ten sam system wykorzystywany na morzu uzyskał z kolei nazwę FleetPhone. Zasięg działania usług SPS został przedstawiony na poniższym rysunku, wraz z przewidywanym zasięgiem podczas operacji pozycjonowania na orbicie satelitów I-4, gdzie kolorem czerwonym zaznaczono obszary czasowej niedostępności usług. Należy tu jednak podkreślić, że przedstawione zasięgi nie odzwierciedlają pełnej dostępności usługi, szczególnie na granicach obszaru, gdzie na dostępność może wpływać wiele czynników.



Rys. 13. Zasięg działania usługi Satellite Phone Service nominalnie oraz w okresie pozycjonowania satelitów I-4.

Aby zrozumieć, jak ogromny postęp dokonał się w dziedzinie technologii należy wspomnieć, że przeciętny statkowy terminal Inmarsat-A (zestaw z anteną) ważył ok. 200 kg, Inmarsat-B 80-100 kg, najlżejszy FB-500 waży 15 kg, najlżejszy FB-250 2,5 kg, FleetPhone ok. 1,5 kg a IsatPhone 210g.

Najbardziej istotne zmiany dokonał się w dziedzinie usług. Obecnie platforma Fleet i FleetBroadband (odpowiednik R-BGAN na lądzie) oferują zgodnie z nomenklaturą Inmarsatu:

- Aplikacje łączności mostka: fonia (VoIP, GSM), E-mail, mapy pogodowe i nawigacyjne na żądanie, videokonferencje, VPN/transfer plików;
- Aplikacje socjalne (dla załogi): fonia (VoIP, GSM), E-mail, SMS/MMS, MSN, www;
- Aplikacje operacyjne: dostęp do sieci zdalnych (Office networks), monitoring siłowni, śledzenie ładunku, zdalne utrzymanie infrastruktury IT/aktualizacja oprogramowania.

W 2008 roku zostały wprowadzone testowe rozwiązania pozwalające na integrację terminali FleetBroadband ze stacjami mikrobazowymi GSM/3G na pokładach statków oraz samolotów pasażerskich. Rozwiązania te komercyjnie zostały wdrożone w 2009 roku m.in. przez linie lotnicze Emirates, Air France, Malaysia Airlines, Ryanair, Wataniya Airways. Członkowie załóg i pasażerowie mogą korzystać z własnych telefonów komórkowych nie odczuwając różnicy pomiędzy korzystaniem z sieci komórkowej na lądzie.

4.1.3. Terminale

IsatPhone

Segment lądowy IsatPhone działa w oparciu o małe, dwudomowe terminale noszone (zaprojektowane przez firmę Ericsson), ważące 210 gramów. Są to najmniejsze geostacjonarne terminale ruchome na świecie. Terminal może działać w modzie satelitarnym (transmisja cyfrowa sygnałów mowy 2,4 kb/s) lub w modzie GSM 900. Terminal IsatPhone posiada m.in. takie funkcje jak książka adresowa, możliwość przekierowywania i zapamiętywania połączeń, blokowanie połączeń wychodzących, poczta głosowa, połączenia konferencyjne, wysyłanie wiadomości SMS (tylko w trybie GSM) oraz transmisja danych z szybkością 2,4 kb/s (Inmarsat) lub 9,6 kb/s (GSM) umożliwiającą obsługę e-mail czy wysyłanie faksów. Niewielki rozmiar, lekkość a przy tym niezwykle łatwość obsługi oraz możliwość 2h 40 min. połączeń lub 42h aktywności w trybie standby sprawiają, że terminal ten cieszy się dużym uznaniem użytkowników na całym świecie.



Rys. 14. Terminal IsatPhone.

LandPhone

W odróżnieniu od terminali noszonych terminal stacjonarny segmentu lądowego LandPhone, jest wyposażony w zewnętrzną antenę o zysku 9dBi. Terminal umożliwia korzystanie z tych samych usług dodatkowych co terminal noszony, tj.: poczta głosowa, zawieszanie i przekierowanie połączeń, blokada połączeń, połączenia konferencyjne oraz transmisja danych z szybkością 2,4 kb/s.



Rys. 15. Terminal LandPhone.

FleetPhone

Z kolei segment morski FleetPhone działa w oparciu o terminal ruchomy dostosowany do standardów morskich, ze stacjonarną anteną dookólną (helikalną) o zysku 5dBi, umożliwiającą łączność przy przechyłach do +/- 20 stopni. Podobnie jak terminale lądowe, terminal morski umożliwia korzystanie z tych samych usług dodatkowych: poczta głosowa, zawieszanie i przekierowanie połączeń, blokada połączeń, połączenia konferencyjne oraz transmisja danych z szybkością 2,4 kb/s.



Rys. 16. Terminal FleetPhone.

4.2. System IRIDIUM

Iridium to jedyna w pełni globalna sieć telefonii satelitarnej, której usługi dostępne dosłownie na całym świecie.

Iridium rozpoczęło swoje działanie 1 listopada 1998 roku, a bankructwo przedsiębiorstwa ogłoszono 13 sierpnia 1999. Przyczyn niepowodzenia tego systemu upatrywano w wysokich kosztach i niewygodzie użytkowania oraz w silnej konkurencji ze strony usług roamingowych operatorów GSM. Także nie bez wpływu były błędy w zarządzaniu firmą.

Satelity systemu Iridium pozostały jednak na orbicie i w 2001 roku firma prywatnych inwestorów pod nazwą Iridium Satellite LLC wznowiła działanie systemu.

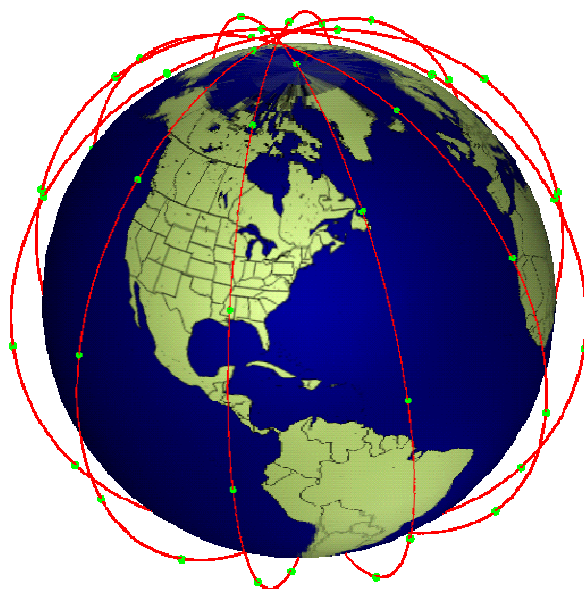
Dziś do najważniejszych klientów Iridium Satellite LLC należy amerykański Departament Obrony, który płaci za bezprzewodową komunikację 20 tys. pracowników. Nowy operator oferuje usługi telefonii satelitarnej również indywidualnym klientom. Oprócz transmisji głosu, firma świadczy także usługi dostępu do Internetu praktycznie z dowolnego miejsca na ziemi.

4.2.1. Segment satelitarny

Iridium jest systemem 66 sztucznych satelitów telekomunikacyjnych rozmieszczonych na orbicie okołoziemskiej 485 mil nad Ziemią. Nazwa systemu wywodzi się od pierwiastka chemicznego irydu, którego liczba atomowa wynosi 77 i tyle system pierwotnie miał posiadać satelitów.

System Iridium komunikuje się obecnie z sieciami naziemnymi za pomocą 250 stacji naziemnych i dwóch stacji kontroli. Takie rozwiązanie pozwala na działanie systemu z zachowaniem odpowiedniego stopnia bezpieczeństwa. W ramach unowocześniania sieci, przewiduje się otwarcie jeszcze piętnastu stacji. Każda z nich będzie dysponować dwoma antenami komunikacyjnymi działającymi w paśmie 20-30 GHz, pierwsza będzie utrzymywała kontakt z bieżącym satelitą, a druga z nadchodzącym.

Każda z satelitów może komunikować się z dwoma sąsiadującymi satelitami na swojej orbicie oraz z dwoma najbliższymi z orbit sąsiednich. Wszystkie satelity wyposażone są w 48 anten, obejmujących na Ziemi obszary (komórki) o średnicy 700 km. Pozwala to na całkowite wyeliminowanie naziemnych przekaźników w przypadku połączeń pomiędzy dwoma telefonami Iridium. Dzięki już funkcjonującym stacjom naziemnym istnieje możliwość komunikacji z sieciami stacjonarnym lub komórkowym na ziemi. Na poniższych rysunkach przedstawiono konstelację satelitów Iridium oraz zasięg działania systemu.



Rys. 17. Konstelacja Iridium.

Dzięki zastosowanym przy budowie satelitów trzech anten, które prawie bez strat odbijają promienie słoneczne, mogą one utworzyć na niebie silny błysk (flarę) podczas przelotu, które może być widoczny nawet w dzień. Flara Iridium jest jednym z piękniejszych zjawisk na nocnym niebie, trwającym jednak bardzo krótko (kilka sekund). Flary te są jednak problemem dla astronomów, ze względu na to, że są one nadzwyczaj jasne. Czuła aparatura teleskopów może ulec uszkodzeniu, gdy w polu widzenia pojawi się tak jasny obiekt. Na szczęście flary Iridium można przewidywać. Powstało kilka specjalistycznych programów, które na podstawie danych o orbicie, pochyleniu płaszczyzn anten, oraz pozycji słońca potrafią z bardzo dużą dokładnością przewidzieć moment błysku. Do grona tych programów należy między innymi polski Orbitron. Istnieje też kilka stron internetowych, które po podaniu dokładnego położenia obserwatora potrafią przewidzieć widoczne błyski.

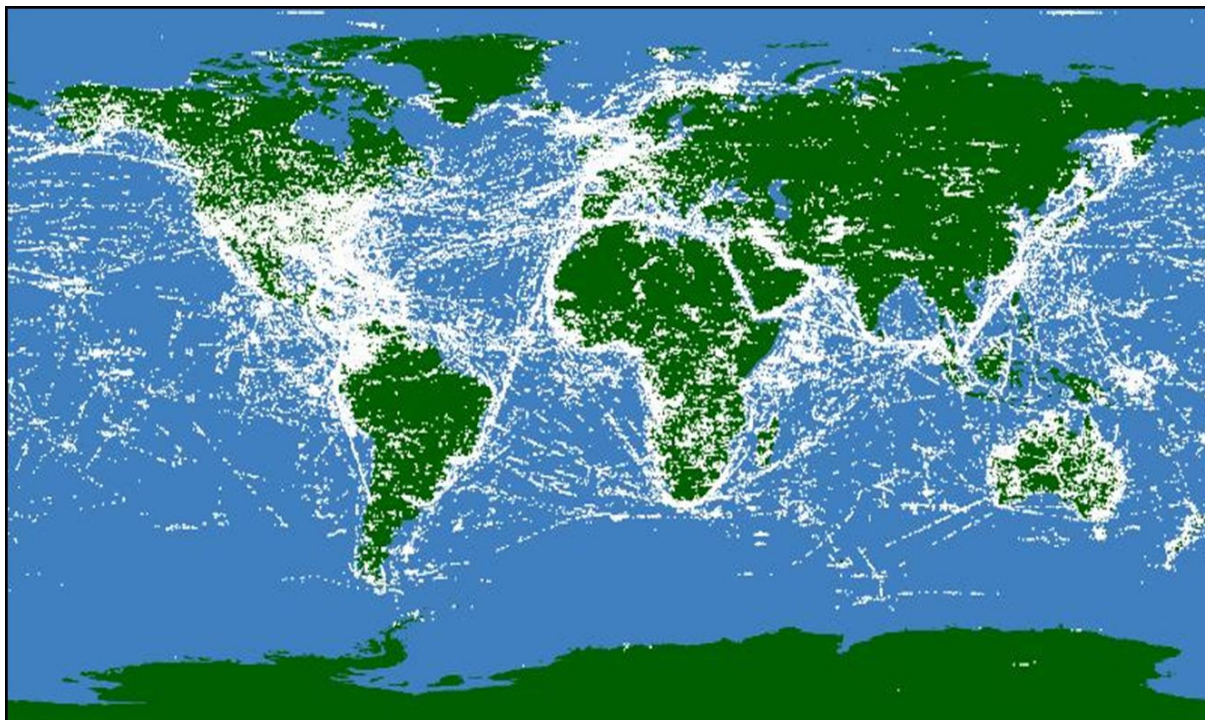


Rys. 18. Zasięg Iridium.

Iridium rozpoczęło intensywny program Badań i Rozwoju (RD) mający za zadanie zdefiniowanie i opracowanie konstelacji satelitów najnowszej generacji, która powinna zostać ukończona do roku 2016. Nazwana "Iridium NEXT", nowa sieć będzie dźwignią najnowszych technologii satelitarnych i bezprzewodowych, umożliwiającą wykorzystanie nowych, zaawansowanych urządzeń przez rządy państw i w celach komercyjnych. Iridium ma zamiar wyposażyć swoje nowe satelity w m.in. czujniki pogodowe (do monitorowania m.in. temperatury i wilgotności powietrza), wysokościomierze (do monitorowania powierzchni mórz, wysokości fal, prędkości wiatru czy grubości pokryw lodowych), szerokopasmowe przyrządy pomiarowe (do pomiaru promieniowania emitowanego z Ziemi) oraz wysokiej rozdzielczości przetworniki obrazu (do obrazowania lądu i mórz).

4.2.2. Oferowane usługi

Iridium umożliwia komunikację głosową oraz przesyłanie danych na całym świecie za pomocą urządzeń przenośnych.



Rys. 19. Wizualizacja połączeń głosowych wykonanych z terminali Iridium w ciągu jednego tygodnia w lipcu 2007r.

4.2.3. Terminale

Obecnie dostępne na rynku terminale systemu Iridium umożliwiające zarówno komunikację poprzez sieć satelitarną jak i za pośrednictwem sieci GSM900, AMPS, CDMA800, PDS.

Iridium 9505a

Telefon satelitarny IRIDIUM 9505A firmy Motorola cechuje się małymi rozmiarami i odpornością na zanieczyszczenia. Terminal jest większy niż typowy telefon komórkowy, ale jego rozmiary i waga (375g) pozwalają nosić go przy sobie. Obsługa telefonu jest bardzo prosta, podobna do obsługi telefonu komórkowego GSM. Terminal umożliwia wysyłanie wiadomości SMS oraz transmisję danych po zakupieniu dodatkowego modułu łączącego go z komputerem. Bateria wystarcza na użytkowanie telefonu przez czas do 3,2 h rozmów oraz do 30 h w trybie czuwania. Terminal przeznaczony jest tylko do użytku na zewnątrz pomieszczeń przy zakresie temperaturowym od -10°C do $+55^{\circ}\text{C}$.



Rys. 20. Terminal Iridium Motorola 9505a.

Iridium 9555

Iridium 9555 jest najmniejszym terminalem w sieci Iridium, ważącym zaledwie 266g. W odróżnieniu od poprzednika, modelu Iridium 9505a, zewnętrzna antena jest chowana do wnętrza obudowy, przez co terminal bardziej przypomina zwykły telefon komórkowy GSM. Jest on też zdecydowanie lżejszy, mniejszy oraz bardziej odporny na warunki atmosferyczne i uszkodzenia niż model 9505a. Funkcjonalność terminala podnoszą m.in. intuicyjny interfejs użytkownika, zintegrowany zestaw głośnomówiący, rozszerzone obsługa SMS oraz email, port Mini-USB do komunikacji z komputerem, szybkie połączenie z pocztą głosową Iridium, skrzynka głosowa i tekstowa, konfigurowane przez użytkownika liczniki kosztów rozmów telefonicznych oraz blokada klawiatury oraz blokada PIN dla dodatkowej ochrony terminala. Pomimo mniejszych rozmiarów od modelu 9505a, bateria wystarcza na użytkowanie telefonu przez czas do 4 h rozmów oraz do 30 h w trybie czuwania.



Rys. 21. Terminal Iridium 9555.

Motorola 9500 Multi-mode

Motorola 9500 jest dwumodowym terminalem, który posiada możliwość pracy zarówno w sieci Iridium jak i w sieciach telefonii komórkowej GSM 900 lub CDMA/AMPS/NAMS 800. Terminal swoją konstrukcją przypomina popularne telefony komórkowe firmy Motorola a jego waga wynosi 380g. Terminal umożliwia, obok usług transmisji sygnałów mowy, transmisję danych z szybkością 2,4 kb/s. Bateria wystarcza na użytkowanie telefonu przez czas do 2 h rozmów oraz do 24 h w trybie czuwania.



Rys. 22. Terminal Motorola 9500 Multi-mode.

Kyocera Iridium Multi-Mode Phone

Terminal Kyocera Iridium Multi-mode jest typowym terminalem telefonii komórkowej obsługującym AMPS, CDMA 800 and PDC standards, który po podłączeniu specjalnej przystawki zmienia się w telefon satelitarny Iridium. Sam telefon waży ok. 100g, natomiast przystawka satelitarna ok. 400g. Terminal umożliwia, obok usług transmisji sygnałów mowy, transmisję danych z szybkością 2,4 kb/s poprzez łącza satelitarne oraz 9,6 kb/s poprzez sieć komórkową. Bateria wystarcza na użytkowanie telefonu w trybie sieci komórkowej przez czas do 2 h rozmów oraz do 160 h w trybie czuwania oraz w trybie satelitarnym przez czas do 1,6 h rozmów oraz do 24 h w trybie czuwania.



Rys. 23. Terminal Kyocera Iridium.

4.3. System GLOBALSTAR

Projekt Globalstar otworzono w 1991 roku, jako przedsięwzięcie joint-venture firm Loral Corporation i Qualcomm. 24 marca 1994 ogłosili oni powstanie spółki partnerskiej (Globalstar LP) z ograniczoną odpowiedzialnością z wkładem finansowym jeszcze ośmiu innych firm, m.in. Alcatel, AirTouch, Deutsche Aerospace, Hyundai i Vodafone. Szacowano wtedy, że system zacznie działać w 1998, kosztem 1,8 mld. USD.

W lutym 1995, Globalstar Telecommunications Ltd. zebrało 200 mln USD z emisji akcji w ofercie publicznej podczas wchodzenia na giełdę NASDAQ. Po dwóch podziałach akcji, akcja o początkowej cenie 20 USD, była teraz odpowiednikiem akcji za 5 USD. Po podziałach, w styczniu 2000, notowania sięgnęły 50 USD za udział, ale inwestorzy instytucjonalni zaczęli wróżyć firmie bankructwo do czerwca 2000. Notowania spadły w końcu do kwoty poniżej dolara za aukcje i firma została usunięta z giełdy NASDAQ w czerwcu 2001. Po emisji oferty publicznej, głównym źródłem finansowania Globalstar LP były firmy dostarczające jej sprzęt, Loral i Qualcomm.

Po zainwestowaniu i zadłużeniu się na 4,3 mld. USD, 15 lutego 2002, Globalstar Telecommunications rozpoczęło proces upadłościowy. Miało wtedy aktywa warte 570 mln USD i zobowiązania na kwotę 3,3 mld USD. Aktywa zostały wykupione za 43 mln USD przez Thermo Capital Partners LLC. Nowo utworzona spółka, na bazie upadłej, w kwietniu

2004, była własnością Thermo Capital Partners (81,25%) i pierwotnego wierzyciela, Globalstar L.P. (18,75%).

Podobnie jak Iridium, Globalstar otrzymał od amerykańskiej Federalnej Komisji Łączności (FCC) koncesję na użytkowanie pasma częstotliwości w styczniu 1995 i od tego czasu negocjował z innymi krajami możliwość użytkowania tego samego pasma na ich terytorium.

Pierwsze satelity zostały wystrzelone 14 lutego 1998. Budowa konstelacji została jednak poważnie opóźniona przez serię kosztownych i szkodliwych dla wizerunku firmy nieudanych startów. Największą stratę spowodował nieudany start rakiety Zenit 2, 9 września 1998, w którym utracono aż 12 satelitów. 8 lutego 2000 ukończono budowę konstelacji satelitów: 48 głównych i 4 zapasowych (zamiast planowanych 8).

Pierwsza rozmowa telefoniczna wykorzystująca system Globalstar odbyła się 1 listopada 1998, między Irwinem Jacobsem, prezesem Qualcomm, będącym w San Diego, a Bernardem Schwartzem, prezesem Loral Space and Communications, będącym w Nowym Jorku.

W październiku 1999, system zaczął przechodzić pierwsze próby użytkowe z udziałem 44 satelitów. W grudniu 1999, rozpoczęła się faza ograniczonego funkcjonowania komercyjnego (200 użytkowników; brak satelitów zapasowych). W lutym 2000, Globalstar zaczął normalną pracę komercyjną, z 52 satelitami, na terenie Ameryki Północnej, Europy i Brazylii. Początkowe stawki za rozmowy wynosiły 1,79 USD/minutę, podczas gdy Iridium liczyło sobie 9 USD za minutę rozmowy.

W 2005 pierwsze satelity z konstelacji zaczęły osiągać maksymalny czas działania, 7,5 roku. W grudniu tego samego roku, Globalstar zaczął przemieszczać owe satelity na orbity tzw. "cmentarne", powyżej orbity LEO.

18 kwietnia 2007 Globalstar oświadczył, że wyśle dodatkowe 8 satelitów w celu wzmocnienia działania dotychczasowych satelitów pierwszej generacji. 29 maja tego samego roku, konsorcjum Starsem wystrzeliło 4 pierwsze zapasowe satelity.

W grudniu 2006, Globalstar ogłosił, że kontrakt na budowę satelitów drugiej generacji, wartości 661 mln USD, wygrała firma Alcatel Alenia Space. Satelity te będą zaprojektowane do pracy przez 15 lat. 3 kwietnia 2007 Globalstar poinformował także o przyznaniu Alcatel Alenia Space kontraktu, na ok. 12 mln USD, na usprawnienie działania satelitów Globalstar, w tym wykonanie ulepszeń w sprzęcie i oprogramowaniu w ośrodkach kontroli konstelacji.

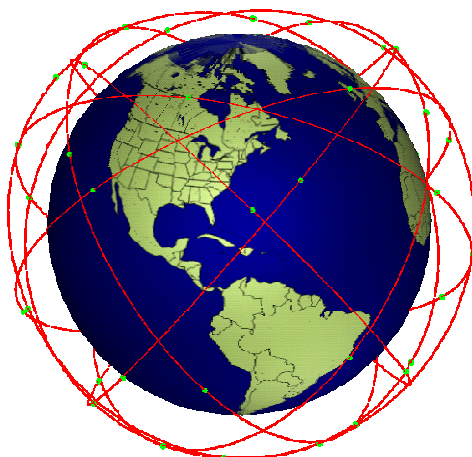
4.3.1. Segment satelitarny

System Globalstar w swoim założeniu ma pokryć obszar kuli ziemskiej w zakresie $\pm 70^\circ$ szerokości geograficznej, prócz północnej części Grenlandii, wysp północnej Kanady i Spitsbergenu.

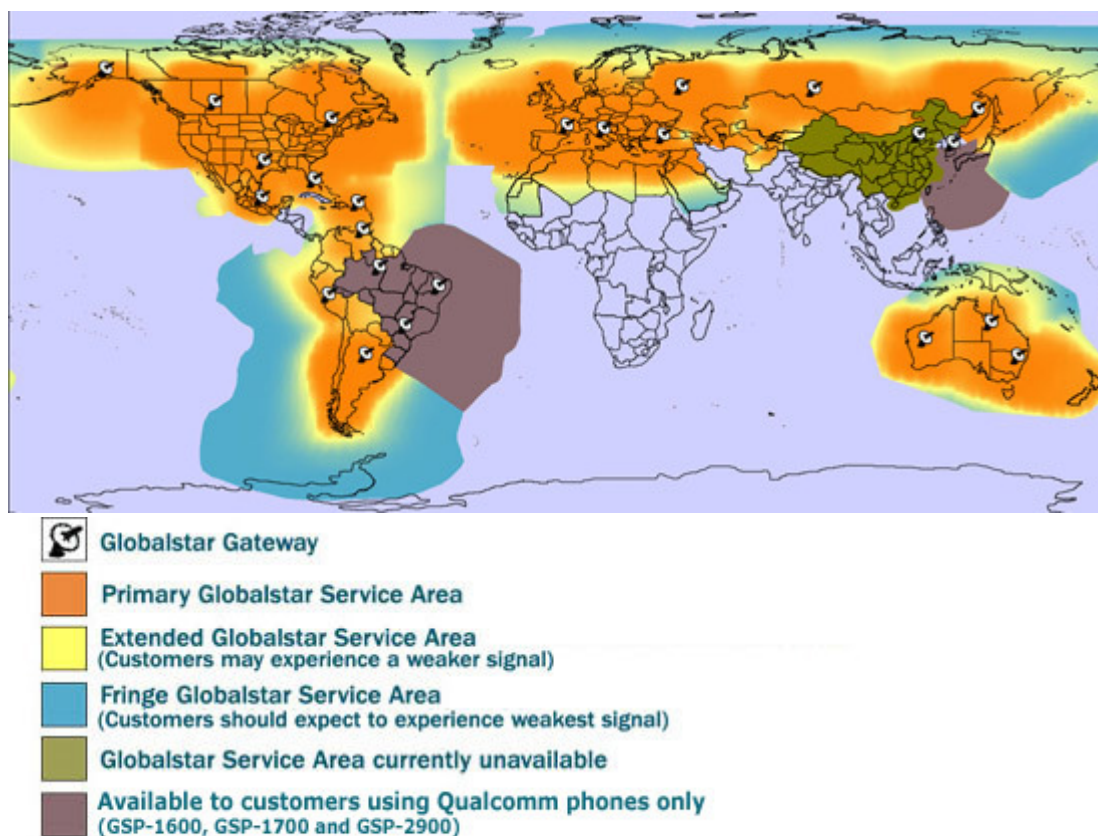
Satelity Globalstar są jedynie przekaznikami nawiązywanych rozmów i sesji przesyłania danych; nie występują w systemie połączenia między satelitami. Sieć naziemnych bramek dostępowych zapewnia połączenie satelitów z ogólnodostępną siecią telefoniczną. Użytkownicy posiadają przypisany numer telefoniczny w systemie numeracji Ameryki Północnej lub kraju, w którym znajduje się przypisana im bramka dostępową. Ponieważ satelity nie przekazują sygnałów między sobą, aby przekazać połączenie, satelita musi być w

zasięgu bramek dostępowych obu stron połączenia. Niektóre niedostępne tereny, takie jak tereny morskie położone daleko od lądu, nie objęte bramkami dostępowymi, nie są objęte działaniem sieci Globalstar, mimo że przelatują nad nimi satelity.

Orbity satelitów systemu Globalstar są nachylone pod kątem 52° do równika, przez co nie obejmują regionów polarnych i podbiegunowych. Satelity krążą w ośmiu płaszczyznach na wysokości 1 414 km (orbita LEO) z przesunięciem faz między płaszczyznami o $7,5^\circ$. Okres, w jakim okrążają kulę ziemską wynosi 114 min. Konstelacja satelitów systemu Globalstar zapewnia równoczesną widzialność dwóch satelitów. Zapewnia to zachowanie ciągłości działania systemu mimo możliwej awarii pojedynczych satelitów.



Rys. 24. Konstelacja satelitów Globalstar



Rys. 25. Zasięg systemu Globalstar.

4.3.2. Oferowane usługi

System Globalstar oferuje swoim użytkownikom wysoką jakość oraz niezawodność usług transmisji sygnałów mowy oraz transmisji danych. Nawet klienci korzystający z mobilnych terminali satelitarnych o niskiej mocy mogą oczekiwać cyfrowej jakości głosu, porównywalnej z sieciami komórkowymi. Biorąc pod uwagę prędkość poruszania się oraz liczbę satelitów na orbitach, braki zasięgu są minimalne i zazwyczaj czas ich trwania nie przekracza kilku minut.

Wysoka jakość połączeń jest uzyskiwana dzięki temu, że terminale utrzymują bezpośrednie połączenia z maksimum trzema satelitami jednocześnie, a te z kolei komunikują się z najbliższą bramą naziemną. Dodatkowo wykorzystywana jest opatentowana metoda odbioru sygnału Path Diversity™, która dzięki odbiorowi sygnałów z kilku satelitów, pozwala na znaczącą redukcję opóźnień w transmisji i podniesieniu jej jakości. Metoda ta zmniejsza ryzyko zerwania połączenia, nawet w środowisku miejskim. Duża liczba satelitów na orbicie LEO gwarantuje, że w przypadku chwilowej awarii jednego z nich, sąsiednie mogą szybko go zastąpić, bez znaczących strat w zasięgu działania systemu.

Obok usługi transmisji sygnałów mowy w systemie funkcjonuje usługa poczty głosowej oraz przekierowywania połączeń. Niektóre modele terminali umożliwiają również określenie swoich pozycji geograficznej, co może być szczególnie przydatne w przypadkach, gdy wymagana jest szybka pomoc.

4.3.3. Terminale

Terminale noszone obok realizacji usług transmisji sygnałów mowy umożliwiają, poprzez opcjonalne przystawki, podłączenie komputerów przenośnych lub PDA do sieci Internet dzięki usłudze transmisji danych. Dostępne są również zestawy morskie i samochodowe, dzięki którym użytkownicy mogą korzystać ze swoich telefonów wewnątrz jachtów, samochodów i budynków.

The GSP-2900 and FAU-200 fixed satellite phone systems connect vessels, offices and residences to the global telephone network using standard equipment and wiring. They provide the vital link that enables customers to use traditional phones in remote and underserved locales. The GSP-2900 also offers the added benefit of data capabilities. Maritime customers depend on this system for secure data, e-mail and Web services to exchange vital ship-to-shore information, for emergency communications, and to stay connected to family and friends. In addition, the GSP-2900 can be installed remotely from the antenna for added versatility.

Globalstar GSP-1700 Handheld Phone

GSP-1700 jest najmniejszym i najlżejszym (200g) terminalem noszonym systemu Globalstar, który dzięki ergonomicznej konstrukcji jest komfortowy i wygodny w użyciu. Przy użyciu opcjonalnego zestawu, można łatwo stworzyć kompletny system telefonii satelitarnej w samochodzie lub na statku. Terminal umożliwia też współpracę z opcjonalnymi zestawami słuchawkowymi przewodowymi oraz bezprzewodowymi Bluetooth. Opcjonalny

moduł pozwala również na podłączenie terminala z komputerem. Obok usługi cyfrowej transmisji sygnałów mowy o wysokiej jakości oraz transmisji danych z szybkością 9,6 kb/s, terminal umożliwia korzystanie z poczty głosowej oraz obsługę wiadomości SMS, e-mail oraz dostęp do Internetu. Ponadto dzięki usłudze lokalizacyjnej możliwe jest szybkie określenie położenia geograficznego terminala. Bateria wystarcza na użytkowanie telefonu przez czas do 4 h rozmów oraz do 36 h w trybie czuwania.



Rys. 26. Globalstar GSP-1700 Handheld Phone.

Globalstar SAT-550 Handheld Phone

SAT-550 jest większy i cięższy (415g) od modelu GSP-1700, ale do jego zalet należy możliwość pracy zarówno w sieci Globalstar jak i w sieciach telefonii komórkowej GSM 900 MHz. Telefon jest przyjazny dla użytkownika, jego obudowa jest solidna i zwarta, dzięki czemu łatwo go nosić i używać na morzu i na lądzie. Terminal umożliwia obsługę wiadomości SMS oraz transmisję danych z szybkością 9,6 kb/s. Dzięki dodatkowemu modułowi można do niego podłączyć komputer lub PDA i korzystać z dostępu do Internetu. Opcjonalny zestaw samochodowy umożliwia korzystanie z terminala w samochodzie lub wewnątrz budynków. Bateria wystarcza na użytkowanie telefonu w trybie satelitarnym przez czas do 3,5 h rozmów oraz do 10 h w trybie czuwania oraz w trybie GSM przez czas do 9,5 h rozmów oraz do 83 h w trybie czuwania.



Rys. 27. Globalstar SAT-550 Handheld Phone.

Globalstar GSP-1600 Handheld Phone

GSP-1600 to drugi dwumodowy terminal systemu Globalstar, który posiada możliwość pracy zarówno w sieci Globalstar jak i w sieciach telefonii komórkowej CDMA 800 (IS-95) i AMPS 800 (IS-41). Terminal umożliwia obsługę wiadomości e-mail oraz transmisję danych z szybkością 9,6 kb/s. Ponadto dzięki usłudze lokalizacyjnej możliwe jest szybkie określenie położenia geograficznego terminala. Dzięki dodatkowemu modułowi można do niego podłączyć komputer lub PDA i korzystać z dostępu do Internetu. Opcjonalny zestaw samochodowy umożliwia korzystanie z terminala w samochodzie lub wewnątrz budynków. Bateria wystarcza na użytkowanie telefonu w trybie satelitarnym przez czas do 3,75 h rozmów oraz do 19 h w trybie czuwania, w trybie CDMA 800 przez czas do 4,7 h rozmów oraz do 75 h w trybie czuwania oraz w trybie AMPS 800 przez czas do 2,8 h rozmów oraz do 15 h w trybie czuwania.



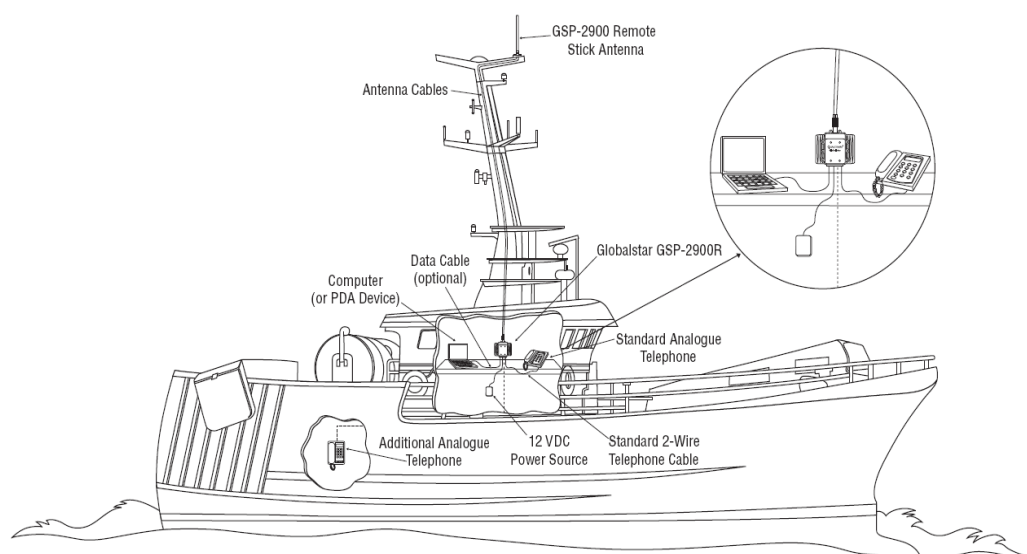
Rys. 28. Globalstar GSP-1600 Handheld Phone.

Globalstar GSP-2900 Fixed Phone System

GSP-2900 jest terminalem stacjonarnym systemu Globalstar przeznaczonym dla użytkowników na lądzie i morzu. Terminal może być montowany bezpośrednio na pokładzie statku (na dachu), gdzie zapewniona jest bezpośrednia widoczność z satelitami, lub montowany pod pokładem (wewnątrz budynków) z wykorzystaniem zewnętrznej anteny. Terminal można podłączyć do większości systemów telefonicznych poprzez liniowe wejście analogowe RJ11 ze względu na kompatybilność ze standardowymi telefonami i automatycznymi sekretarkami. Terminal umożliwia obsługę poczty głosowej, przekierowywanie połączeń, obsługę wielu telefonów oraz za pomocą dodatkowego adaptera transmisję danych z szybkością 9,6 kb/s. Oprócz tego użytkownicy na morzu mogą wykorzystać ten terminal do komunikacji w relacji statek-ląd oraz do łączności w niebezpieczeństwie.



Rys. 29. Globalstar GSP-2900 Fixed Phone.



Rys. 30. Przykład instalacji terminalu Globalstar GSP-2900 na jednostce pływającej.

Globalstar FAU-200 Fixed Phone System

FAU-200 jest terminalem stacjonarnym systemu Globalstar przeznaczonym tylko do obsługi połączeń głosowych dla użytkowników na lądzie i morzu. Terminal jest wodoodporny i przystosowany do montażu na zewnątrz, w miejscach umożliwiających bezpośrednią widoczność z satelitami. Terminal można podłączyć do większości systemów telefonicznych poprzez liniowe wejście analogowe RJ11 ze względu na kompatybilność ze standardowymi telefonami i automatycznymi sekretarkami. Terminal umożliwia obsługę poczty głosowej, przekierowywanie połączeń oraz obsługę do trzech telefonów.



Rys. 31. Globalstar FAU-200 Fixed Phone System.

4.4.System THURAYA

Thuraya (po arabsku „plejady”) to regionalny operator telefonii satelitarnej. Zasięg sieci obejmuje większość Europy, Bliski Wschód, Afrykę Północną, Środkową i Wschodnią, Azję i Australię. Operator ma siedzibę w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Dystrybucja produktów i usług odbywa się poprzez przedstawicieli regionalnych. Udziałowcami Thuraya są firmy telekomunikacyjne działające na Bliskim Wschodzie i w Afryce Północnej (z których największą jest Etisalat) oraz firmy inwestycyjne. Liczba abonentów Thuraya przekroczyła 250.000 już w marcu 2006. Od wprowadzenia usługi w 2001 r. uruchomiono około ponad 360,000 telefonów Thuraya (dane z 2007).

4.4.1. Segment satelitarny

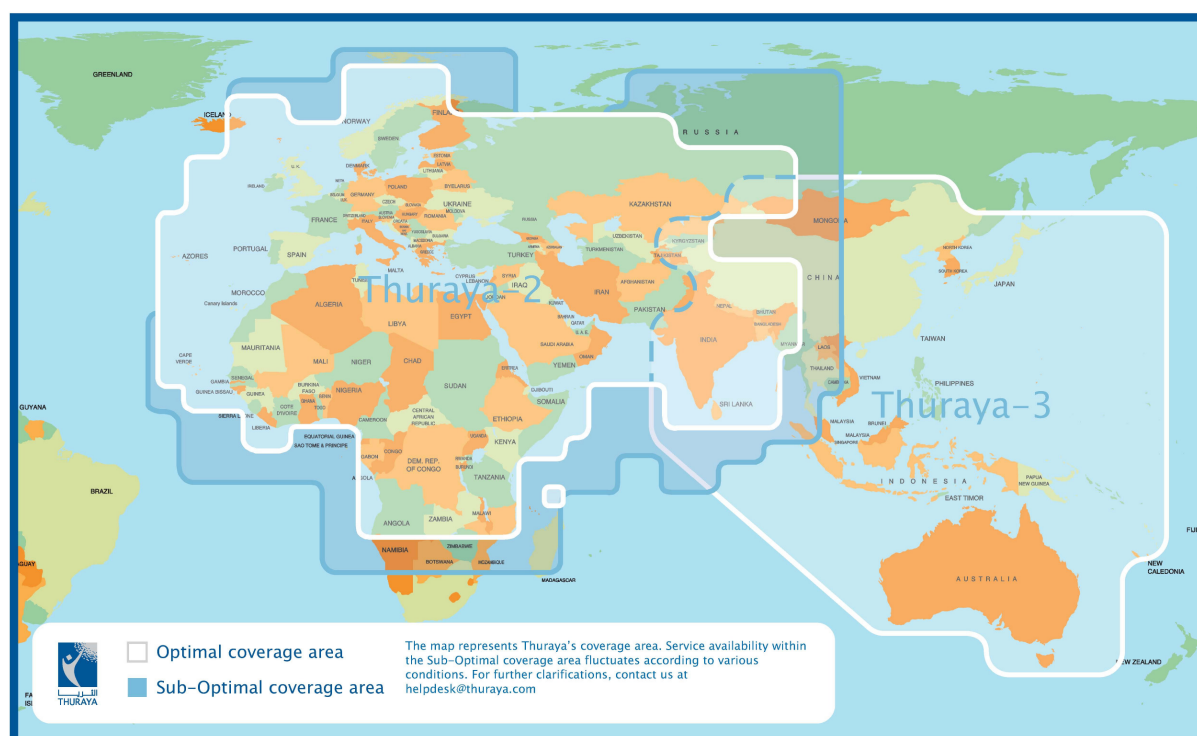
Thuraya ma trzy satelity telekomunikacyjne zbudowane przez Boeing.

Pierwszy satelita, Thuraya 1, ma niesprawne panele solarne i nie działa prawidłowo. Satelita ten jest obecnie umiejscowiony nad Koreą w celach testowych. Został on wyniesiony 21.10.2000 przez SeaLaunch na rakiecie Zenit 3SL. Ważył wówczas 5250 kg. Satelita służył celom testowym i pomocniczym do maja 2007 r., kiedy to zakończył swoją techniczną przydatność i został przeniesiony na specjalną orbitę.

Thuraya 2 został wyniesiony przez SeaLaunch dnia 10.06.2003. Znajduje się on na orbicie geosynchronicznej na 44 st. dł. wschodniej i jest nachylony pod kątem 6,3 st. Obecnie obsługuje on większość Europy, Bliski Wschód, Afrykę i część Azji. Jego waga przy starcie wynosiła 3200 kg, a przewidywana żywotność 12 lat. Na obu jego skrzydłach umieszczono 5 paneli solarnych, które generują 11 KW mocy (pod koniec przydatności). Satelita ma dwa

systemy antenowe: okrągła antena na pasmo C o średnicy 1,27 m, oraz 128-elementowa antena z reflektorem 12 x 16 m na pasmo L. Anteny obsługują do 200 oddzielnych wiązek punktowych i można je skonfigurować tak, by koncentrowały moc, gdy zajdzie taka potrzeba. Satelita może jednocześnie obsłużyć do 13.500 indywidualnych połączeń.

Trzeci satelita Thuraya 3 miał być wyniesiony przez SeaLaunch w pierwszym kwartale 2007, a obsługę połączeń na Dalekim Wschodzie i w Australii zaplanowano na 15.10.2007. Niepowodzenie rakiety NSS-8 w styczniu 2007 r. spowodowało znaczne opóźnienie w wyniesieniu satelity, które przełożono na 14.11.2007, jednak nie odbyło się ono i wtedy ze względu na trudne warunki na morzu. Okręt SeaLaunch opuścił ponownie port 20.01.2008 i dnia 15.02.2008 o godzinie 11:49 GMT nastąpiło pomyślne wyniesienie satelity. Satelita Thuraya 3 jest pod względem technicznym taki sam jak Thuraya 2



Rys. 32. Zasięg system Thuraya.

4.4.2. Oferowane usługi

Telefonia satelitarna Thuraya obok komunikacji głosowej umożliwia obsługę wielu innych usług, takich jak :

- funkcja wysyłania faksów i dostępu do sieci Internet (prędkość 9.6 kbit/s),
- transmisja danych GmPRS (Geo Mobile Packet Radio Service) (60 kbit/s downlink i 15 kbit/s uplink),
- szereg dodatkowych usług takich jak wiadomości SMS, usługa call back (oddzwanianie), oczekiwanie, nieodebrane połączenia, poczta głosowa, WAP, itp.
- szybki przesył danych (384 kbit/s dane, 444 kbit/s Internet) przez terminal ThurayaIP,
- usługa „high power alert” – informowanie użytkownika o przychodzącym połączeniu, kiedy ścieżka sygnału satelitarnego jest zablokowana (np. w budynku),

- system Thuraya Marine: kombinacja specjalnej (stałej) stacji bazowej i abonamentu, dzięki której można korzystać z połączeń głosowych i systemów transmisji danych, wysyłać fakсы oraz swobodnie łączyć się z Internetem (stały dostęp). Przycisk alarmowy pozwala na wysłanie licznych wiadomości SMS z sygnałem alarmowym i informacją o położeniu jednostki do wcześniej wpisanych do systemu osób i instytucji.
- możliwość telefonowania do sieci Inmarsat A/B/Mini/ Iridium,
- informacje o porach modłów: po podaniu pozycji GPS na specjalny numer przysyłana jest odpowiedź z dokładnymi porami modłów i z podaniem kierunku na Mekkę. Usługa dostępna dla Sunnitów i Szytów,
- karty prepaid i aktywacje abonamentowe postpaid.

Poza wymienionymi powyżej usługami Thuraya oferuje urządzenia do celów specjalnych: aparaty telefoniczne na karty chipowe oraz telefony publiczne w obszarach, gdzie nie ma innej komunikacji (np. po klęsce żywiołowej).

4.4.3. Terminale

Thuraya XT

Thuraya XT to jeden z najbardziej wytrzymałych telefonów, który przy wadze 193g spełnia wysokie normy standardu IP54/IK03 i jest odporny na wilgoć i zachlapania oraz zabezpieczony przed piaskiem, pyłem i wstrząsami. Telefon posiada wbudowany odbiornik GPS, umożliwia obsługę wiadomości SMS, fax (9,6 kb/s) oraz dostęp do Internetu dzięki usłudze GmPRS (Geo Mobile Packet Radio Service) zapewniającej szybkość pobierania i wysyłania danych odpowiednio 60 kb/s (download) i 15 kb/s (upload). Bateria wystarcza na użytkowanie telefonu przez czas do 6 h rozmów oraz do 80 h w trybie czuwania,



Rys. 33. Terminal Thuraya XT.

Thuraya SG-2520

Thuraya SG-2520 jest przełomem w telefonach satelitarnych. Jest on najmniejszym i najlżejszym na świecie (170g) dwu modowym telefonem, który posiada możliwość pracy zarówno w sieci Thuraya jak i w trzech zakresach sieci telefonii komórkowej GSM 900/1800/1900 MHz. Jego wydajność, niepowtarzalny styl i nowatorskie funkcje przewyższają wszystkie inne dostępne telefony satelitarne. Telefon jest ponadto wyposażony w odbiornik GPS, kolorowy wyświetlacz, wbudowaną kamerę wideo (1,3 Mpix), posiada przy tym port komunikacyjny USB i Infrared oraz łączność bezprzewodową Bluetooth. Telefon umożliwia dostęp do Internetu dzięki usłudze GmPRS w trybie satelitarnym (z szybkościami odpowiednio 60 kb/s download oraz 15 kb/s upload) oraz dzięki usłudze GPRS w trybie GSM (z szybkościami odpowiednio 85,6 kb/s download oraz 42,8 kb/s upload). Oprócz tego telefon obsługuje wiadomości SMS, MMS i email oraz fakсы i transmisję danych do 9.6 kbps (CSD). Telefon działa pod kontrolą systemu operacyjnego Windows CE i umożliwia uruchamianie aplikacji Java (J2ME). Bateria wystarcza na użytkowanie telefonu w trybie satelitarnym przez czas do 2,4 h rozmów oraz do 40 h w trybie czuwania oraz w trybie GSM przez czas do 4 h rozmów oraz do 75 h w trybie czuwania.



Rys. 34. Terminal Thuraya SG-2520.

Thuraya SO-2510

Thuraya SO-2510 to najmniejszy i najlżejszy (130g) telefon satelitarny o rozmiarach typowego terminala GSM. Telefon jest wyposażony w odbiornik GPS oraz posiada port komunikacyjny USB. Telefon umożliwia dostęp do Internetu dzięki usłudze GmPRS z szybkościami odpowiednio 60 kb/s download oraz 15 kb/s upload. Oprócz tego telefon obsługuje wiadomości SMS oraz fakсы i transmisję danych do 9.6 kb/s (CSD). Telefon działa pod kontrolą systemu operacyjnego VXWORKS. Bateria wystarcza na użytkowanie telefonu przez czas do 2,4 h rozmów oraz do 50 h w trybie czuwania.



Rys. 35. Terminal Thuraya SO-2510.

4.5. System ACeS

ACeS (Asia Cellulare Satellite) to azjatyckie przedsiębiorstwo telekomunikacyjne, z siedzibą w Dżakarcie w Indonezji, działające na regionalnym rynku telefonii satelitarnej. System ACeS wykorzystuje tylko jednego satelitę geostacjonarnego Garuda 1, umieszczonego na orbicie na początku 2000 roku. Drugi satelita Garuda 2 był planowany, jednak plany te nie zostały zmaterializowane. ACeS oferuje swoje usługi na rynku azjatyckim, obejmując swoim zasięgiem Indonezję, Malezję, Tajlandię, Filipiny, Sri Lankę, Wietnam, Chiny i część Indii.

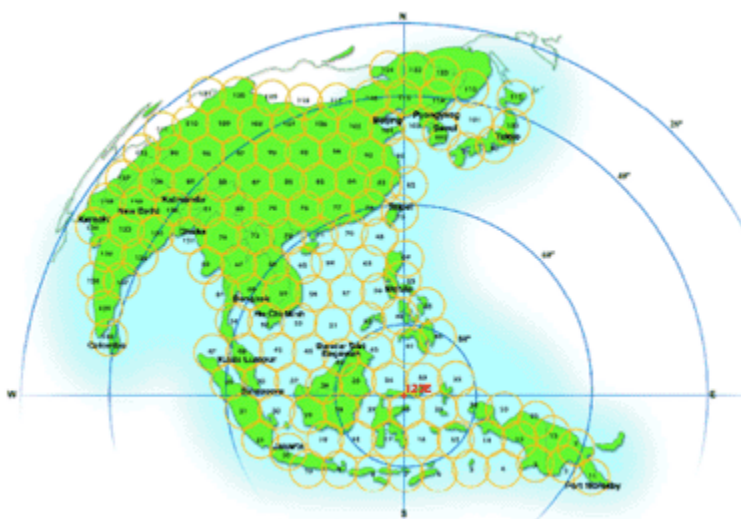
ACeS został założony jako spółka joint venture pomiędzy PT. Pasifik Satelit Nusantara (PSN), Lockheed Martin Global Telecommunication (LMGT), Jasmine International Overseas Ltd of Thailand oraz Philippine Long Distance Telephone Co. (PLDT). Usługi ACeS są sprzedawane przez narodowych providerów National Service Providers (NSPs) w sześciu krajach: Indonezji, Tajlandii, Filipinach, Malezji, Nepalu oraz Sri Lance.

Kontrolę nad satelitą oraz większością operacji sieciowych sprawuje centrum ACeS Network Control Center w Batam Island w Indonezji. Narodowi providerzy (NSPs) zarządzają stacjami naziemnymi, które łączą system satelitarny z naziemnymi sieciami telefonicznymi.

Założeniem systemu ACeS była obsługa 2 mln abonentów na obszarach pozbawionych naziemnych sieci komórkowych. Firma nie zdobyła jednak tak dużej liczby abonentów (w 2008r. miała ich zaledwie niecałe 20 tys abonentów), co w parze z ogromnym zadłużeniem groziło bankructwem. Aby tego uniknąć we wrześniu 2006r. ACeS podpisała z Inmarsatem porozumienie o szeroko zakrojonej współpracy, które miało doprowadzić do rozszerzenia i uatrakcyjnienia ofert obu partnerów. Dzięki temu porozumieniu ACeS zmienił się z regionalnego w globalnego operatora, który miał teraz do dyspozycji, oprócz swojego satelity Garuda 1, satelity czwartej generacji Inmarsat 4.

4.5.1. Segment satelitarny

System ACeS wykorzystuje jednego satelitę geostacjonarnego (GEO) Garuda 1, który jest jednym z najpotężniejszych komercyjnych satelitów. Satelita ten jest w stanie obsłużyć jednocześnie 11 000 połączeń telefonicznych i został zaprojektowany do obsługi 2 mln abonentów. Garuda 1 został wyniesiony na orbitę 12 lutego 2000r z Kosmodromu Bajkonur w Kazachstanie. Przewidywany czas życia tego satelity to 12 lat. Garuda 1 posiada dwie 12-metrowe anteny umożliwiające komunikację w 140 wiązkach regionalnych (spot beams) oraz jest wyposażony w procesor sygnałowy, zapewniający routing i przełączanie obsługiwanych połączeń do poszczególnych wiązek regionalnych.



Rys. 36. Zasięg systemu ACeS uzyskiwany z satelity Garuda 1.

4.5.2. Oferowane usługi

ACeS jest członkiem międzynarodowej organizacji handlowej GSM Association, zrzeszającej operatorów sieci telefonii komórkowej drugiej i trzeciej generacji, która powstała w 1987 roku, a jej celem jest rozwój usług GSM oraz obrona interesów oraz promocja operatorów na arenie międzynarodowej. Dzięki międzynarodowej umowie roamingowej (International Roaming Agreements) z operatorami sieci GSM, abonenci sieci ACeS mogą korzystać z dowolnej sieci GSM na całym świecie. Natomiast użytkownicy sieci GSM z całego świata mogą korzystać z systemu ACeS, przy wykorzystaniu dwumodowych terminali ACeS, podczas podróży do Azji.

ACeS oficjalnie współpracuje z 68 operatorami sieci GSM na całym świecie.

4.5.3. Terminale

ACeS R190

Terminal ACeS R190, produkowany przez Ericsson, posiada wiele komponentów ze starszej serii GH688. Przy wadze ok. 210g, R190 jest terminalem dwumodowym, obsługującym sieć ACeS oraz sieci komórkowe GSM 900, który automatycznie przełącza się

w tryb satelitarny, gdy naziemne sieci GSM są niedostępne. Telefon akceptuje standardowe karty SIM i dzięki międzynarodowej umowie roamingowej może być użytkowany w każdej sieci GSM. Telefon obsługuje najbardziej standardowe usługi takie jak przekierowywanie połączeń czy połączenia oczekujące, jednak nie umożliwia obsługi wiadomości SMS w trybie satelitarnym. Terminal jest odpowiednikiem terminalu IsatPhone systemu Inmarsat, a jego bateria wystarcza na użytkowanie telefonu przez czas do 2 h 40 min rozmów (GSM/ACeS) oraz w trybie czuwania do 47 h dla GSM i do 42 h dla ACeS.



Rys. 37. Terminal ACeS R190.

ACeS FR-190 Fixed User Terminal

Terminal stacjonarny ACeS FR-190 umożliwia korzystanie z usług sieci ACeS i może być zasilany z dowolnego źródła zasilania, np. z baterii słonecznych. Do terminala dołączona jest zewnętrzna antena, posiada on możliwość zainstalowania na ścianie, przy czym instalacja jest bardzo prosta. Terminal posiada dwa liniowe wejście analogowe RJ11, dzięki którym można podłączyć praktycznie dowolny terminal stacjonarny.



Rys. 38. Terminal ACeS FR-190.

5. Podsumowanie

Rozległa analiza przeprowadzona w czasie realizacji pracy wskazuje, że integracja segmentu (systemów satelitarnych) postępuje, odbywa się jednak w innej nieco formie niż to wcześniej planowano. Prace 3GPP dotyczące głównie S-UMTS, jak na ten moment, są zamrożone. Opracowano jednak wiele interfejsów, rozwiązań dot. architektury, integracji systemów komórkowych naziemnych z systemami satelitarnymi w warstwie IP oraz protokołów międzysystemowego handover'u. Jest oczywiste, że nie jest dzisiaj możliwe, (głównie ze względu na koszty i liczbę abonentów zainteresowanych tego rodzaju usługami) zbudowanie dedykowanego segmentu satelitarnego, jako segmentu satelitarnego dla systemów komórkowych 2G/3G/4G.

Cały czas postępuje integracja systemów satelitarnych „drugą drogą”. Po kryzysie w końcu lat 90tych główni gracze na rynku systemów satelitarnych ruchomych MSS PCS upatrują w tego rodzaju integracji ogromną szansę dla swoich przedsięwzięć. Ponadto rozwój technologiczny systemów obecnych na rynku dopiero teraz umożliwia tego rodzaju integrację.

Najważniejsze firmy i systemy realizujące integrację z naziemnymi systemami komórkowymi można podzielić na dwie grupy:

- Systemy globalne – i są to Inmarsat, Iridium i Globalstar oraz
- Systemy regionalne – Thuraya, ACeS.

Systemy te wykorzystują konstelacje satelitów geostacjonarnych (GEO – Inmarsat, Thuraya, ACeS) lub na niskich orbitach Ziemi (LEO – Iridium, Globalstar). Firma ICO przygotowywała konstelację na orbitach pośrednich (MEO), lecz obecnie ze względu na trudności finansowe wstrzymała jej realizację. Jednak wszystko wskazuje, że w przyszłości powstanie również konstelacja tego rodzaju w celu świadczenia usług MSS.

Należy nadmienić, że w Unii Europejskiej zrealizowano największą liczbę projektów badawczo-rozwojowych dotyczących integracji sieci satelitarnych z naziemnymi systemami komórkowymi, głównie systemem UMTS. W ramach tych projektów rozwiązano wiele istotnych problemów technicznych oraz zbudowano kilka demonstratorów. Wyniki tych projektów z całą pewnością zostaną wykorzystane w przyszłości. Ostatnie analizy zrealizowane przez ESA wskazują, że integracja będzie postępować, będzie to integracją wielosystemową, tzn. opracowane rozwiązania umożliwią integrację z systemami komórkowymi 2G/3G/4G zarówno systemów GEO jak i LEO i MEO. W opinii ESA głównymi systemami satelitarnymi z którymi postępować będzie integracja to Inmarsat (w oparciu o technologię Inmarsat-4, technologię ACeS oraz planowane satelity HylasOne i Alphasat) i Iridium (technologia Iridium NextGeneration czasami nazywane Iridium2).

Integracja segmentu satelitarnego z systemami komórkowymi naziemnymi została praktycznie zrealizowana w systemach regionalnych Thuraya i ACeS. Z jej profitów mogą jednak korzystać jak dotąd tylko abonenci oraz posiadacze terminali tych systemów. Ciągłe nie jest możliwy na dużą skalę roaming międzysystemowy. Abonenci obu tych systemów są ramowani w wielu sieciach komórkowych, problem występuje z roamingiem abonentów innych systemów do segmentu satelitarnego. Trwają jednak prace nad rozwiązaniem tego problemu.

Integracja naziemnych systemów komórkowych 2G/3G z systemami satelitarnymi MSS PCS jest obecnie utrudniona również ze względu na brak powszechnego dostępu do odpowiednich terminali multi-systemowych oraz ich wysoką cenę. Można się jednak spodziewać, że w najbliższym czasie ta bariera zostanie przełamana.

Spośród zaprezentowanych w pracy terminali tylko 7 umożliwia, obok łączności satelitarnej, obsługę naziemnej telefonii komórkowej. Ich zestawienie prezentuje poniższa tabela.

Tab. 9. Terminale satelitarne umożliwiające pracę z naziemnymi sieciami komórkowymi.

System satelitarny	Typ terminala	Obsługiwane sieci komórkowe
Inmarsat	IsatPhone	GSM 900
Iridium	Motorola 9500 multi-mode	GSM 900, CDMA/AMPS/NAMS 800
Iridium	Kycera Iridium multi-mode	GSM 900, AMPS, CDMA 800, PDS
Globalstar	Globalstar SAT-550	GSM 900
Globalstar	Globalstar GSP-1600	CDMA 900 (IS-95), AMPS 900 (IS-41)
Thuraya	Thuraya SG-2520	GSM 900/1800/1900
ACeS	ACeS R1900	GSM 900

Przedstawione w pracy zestawienie parametrów terminali pokazuje, że najbardziej zaawansowanym terminalem jest Thuraya SG-2520 (m.in. obsługa 3 pasm GSM, GPS). Można się więc spodziewać, że wkrótce terminale Thuraya będą gotowe do obsługi systemów 3G (UMTS, IMT-2000).

Wszystko wskazuje na to, że oferta terminali z interfejsem satelitarnym będzie się powiększać i pojawiać u wielu operatorów systemów komórkowych. Jak dotąd doskonałe pokrycie zasięgiem naziemnych sieci komórkowych w państwach wysokorozwiniętych było hamulcem w rozwoju i integracji segmentu satelitarnego z sieciami komórkowymi. Obecnie postępująca, w każdym aspekcie naszego życia, globalizacja sprzyja postępom w tej kwestii. Może się również okazać, że gdy wreszcie Inmarsat i Iridium będą gotowe do masowej integracji swoich systemów satelitarnych z systemami komórkowymi wielu operatorów uczyni z tej możliwości wehikuł marketingowy.

Pełna integracja zmaterializuje się dopiero wtedy, gdy każdy abonent u swojego operatora będzie mógł wybrać terminal multi-systemowy z satelitarnym interfejsem radiowym i identyfikując się jednym numerem będzie rozliczany, również za połączenia przez interfejs satelitarny, na jedno konto abonenckie.

W opinii autorów zmiany w tym obszarze będą ewolucyjne, ale już w najbliższych latach będziemy świadkami zasadniczego postępu w dziedzinie integracji systemów satelitarnych MSS PCS i systemów komórkowych 2G/3G/4G a oferta korzystania z tego rodzaju możliwości będzie wreszcie coraz powszechniej dostępna. Tak więc plany dostępu satelitarnego w systemach komórkowych poczynione kilkanaście lat temu materializują się dopiero teraz.

6. Bibliografia

- [1] 3GPP Technical Specification.
- [2] ACTS Programme Overview, <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/actsline/docs/pov1.8.pdf>
- [3] ACTS Project AC229, *Integrated Satellite-UMTS Real Environment Demonstrator (INSURED)*, <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/infowin/docs/fr-229.pdf>
- [4] Andrikopoulos I., *Demonstrator with Field trials of a Satellite-Terrestrial Synergistic Approach for Digital Multimedia Broadcasting to Mobile Users*, IEEE Communications Magazine, October 2005
- [5] Ananasso F., Delli Priscoli F., *Satellite Personal Communications: Integration Scenarios with Terrestrial Networks*, Proc. of the 4th IEEE International Conference on Universal Personal Communications (ICUPC '95)
- [6] Annoni M., Boiero G., Salis N., *Security Issues in the BRAHMS System*, Proc. IST Mobile & Wireless Telecommunications Summit 2002
- [7] Aziz H.M., et al., *Emulation of Transmission Links for Future S-UMTS Constellations: The SUMO Testbed*, VTC 1999 Fall
- [8] Barani B., *Satellite Communications in the European Union R&D Programmes: An Overview*, Initiatives in Satellite Communications – Mobile, 1997
- [9] Blaydes A., et al., *Results of the TOMAS Satellite-UMTS Service Trials*, ACTS Mobile Summit, Sorrento, Italy, 1999
- [10] *BRAHMS (Broadband Access for High Speed multimedia via Satellite)*, ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/ka4/mob_brahms.pdf
- [11] Brand H., et al., *Inter-segment Handover Results in the INSURED Project*, Proc. of the 4th ACTS Mobile Communication. Summit '99
- [12] Brian Mullan, *Full ahead to a broadband future*, prezentacja, Londyn 2007
- [13] Carter W, Stewart H., *Multimedia on the move – overview of relevant ACTS projects*, EBU Technical Review – Autumn 1999
- [14] Chris Wortham, *Maritime Satellite Communications*, Satellite Communication and Information Technology Seminar, World Maritime University, Malmo, Sweden 2003
- [15] Delli Priscoli F., Faggiano A., *VIRTUOUS: A project to favour the migration from GPRS to terrestrial and satellite UMTS*, 3G Mobile Communication Technologies, 2000.
- [16] Del Sorbo F., Lombardi G., Pompili D., *SIP based services and Virtual Home UMTS environment in the IST research project „FUTURE”*, University of Rome 2003
- [17] Dres D., et al., *INSURED Project (Integrated Satellite UMTS Real Environment Demonstrator)*, Vehicular Technology Conference, 1998
- [18] Du H., et al., *A Cross-Layer Packet Scheduling Scheme for Multimedia Broadcasting via Satellite Digital Multimedia Broadcasting System*, IEEE Communications Magazine 2007
- [19] Ethymiou N., et al., *Inter-Segment Handover Algorithm for an Integrated Terrestrial/satellite-UMTS Environment*, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1998
- [20] Efthymiou N., et al., *Service Dependent Resource Allocation in Hybrid Mobile-Satellite Networks*, <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/ka4/10056.pdf>
- [21] Evans B.G., et al., *Satellite UMTS IP-Based Network SATIN*, University of Surrey, UK

- [22] F.D. Priscoli, *UMTS Architecture Integrating Terrestrial and Satellite Systems*, IEEE Multimedia, Vol. 6, Iss. 4, 1999.
- [23] *Final Report S-UMTS*, ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/ka4/asms_02_t03_0.pdf
- [24] Fraietta, G., et al., *A DiffServ-IntServ Integrated QoS Provision Approach in BRAHMS Satellite System*, University of Rome 2008
- [25] Giambene G., et al., *HSDPA and MBMS transmissions via S-UMTS*, www.cost290.org/td2006/tds/td06013.pdf
- [26] Guntch A., et al., *EU's R7D Activities on Third-Generation Mobile Satellite Systems (S-UMTS)*, IEEE Communications Magazine 1998
- [27] H. Holma, A. Toskala, *WCDMA for UMTS Radio Access for Third Generation Mobile Communications*, Wiley & Sons, 2000.
- [28] Ibnkahla M., Castanie F., Roviras D., *NEWTEST project and the impact of neural networks on S-UMTS communications*, <http://ieeexplore.org>
- [29] *IST FUTURE Project – Demonstrating Satellite End-to-End QoS for Advanced Multimedia Services*, ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/ka4/asms_03_t08_0.pdf
- [30] Karaliopoulos M., *Packet Scheduling for the delivery of multicast and broadcast services over S-UMTS*, International Journal of Satellite Communications and Networking, 2004
- [31] Karaliopoulos M., et al., *Radio Resource Management Strategy in SATIN*, 12th IST Summit on Mobile and Wireless Communications
- [32] Losquadro G., Schena V., *The SECOMS Project Satellite Service Demonstration Results*, VTC 2009 Fall
- [33] Losquadro G., *SECOMS: Advanced Interactive Multimedia Satellite Communications for a Variety of Compact Terminals*, IEE 1997
- [34] Lugil N., et al., *CDMAx: A 3G Baseband Solution with S-UMTS and Navigation Capabilities*, conferences.esa.int/01C14/papers/6.7.pdf
- [35] Martin B., *IMT-2000 satellite Radio Interface for UMTS Communications over Mobile Satellite Systems*, Advanced Satellite Mobile Systems, 2008
- [36] Mazella M., *Development of Novel Satellite Mobile Applications: the SINUS Project*, IEE 1997
- [37] Mort R.J., *Satellite Mobile Multimedia Services in the UMTS – the SUMO Project*, VTC 1999 Fall
- [38] Musso M., *On the Coexistence of Satellite-UMTS and Galileo with SDR Receiver*, <http://www.sdrforum.org/pages/sdr04/2.6%20Space%20Communications%20%20Reinhart/2.6-3%20Gandetto.pdf>
- [39] Neri M., et al., *Multiuser Detection for S-UMTS and GMR-1 Mobile Systems*, Spread Spectrum Techniques and Applications, 2006
- [40] Nordloh H., Timm A., *TOMAS – Inter-Trial Testbed of Mobile Applications for Satellite Communications – Project Overview*, Initiatives in Satellite Communications – Mobile, 1997
- [41] Oh S.H., *QoS guaranteeing in VIRTUOUS and FUTURE IST projects*, www.comnets.rwth-aachen.de/fileadmin/publikationen/pdfs/ohkofst02.pdf
- [42] Papaleo M. et al., *Using LTE in 4G Satellite Communications: Increasing Time Diversity through Forced Retransmission*, Signal Processing for Space Communications, 2008. SPSC 2008

- [43] Paxal V., *The SINUS Project, Satellite communication in the UMTS*, Teletronikk 3.1997
- [44] Ramjee Prasad editor, *Towards a global 3G system: advanced mobile communications in Europe*,
- [45] S. Ohmori, H. Wakana, S. Kawase, *Mobile Satellite Communications*, Artech House, 1998.
- [46] Schulz D.Ch., et al., *IST FUTURE Project – Extended Service Capabilities in a Multi-Segment Environment*, Proc. Of the IST Mobile Summit 2001, Barcelona
- [47] SATIN (Satellite-UMTS IP-based Network),
ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/ka4/mob_satin.pdf
- [48] Selier C., Chuberre N., *Satellite Digital Multimedia Broadcasting (SDMB) System Presentation*, www.eurasip.org/Proceedings/Ext/IST05/papers/223.pdf
- [49] Sumanasena M.A.K., et al., *SATIN Approach in W-CDMA Adaptation for Broadcast and Multicast Based S-UMTS*, Proceedings VTC 2002-Fall
- [50] Schubert A., Timm A., *The TOMAS Satellite-UMTS Inter-Trial Platform*, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1998
- [51] Stojce Dimov Ilcev, *Global Mobile Satellite Communication for Maritime, Land and Aeronautical Applications*, Springer, Dordrecht, the Netherlands, 2005
- [52] Vanelli-Coralli A., et al., *Satellite Communications: Research Trends and Open Issues*, Satellite and Space Communications, 2007. IWSSC '07.
- [53] “Via Satelite” magazine of mobile satellite communications, USA, 1995r. – 2000r.
- [54] “Via Inmarsat” magazine of mobile satellite communications, UK, 2005r. – 2009r.
- [55] VIRTUOUS Virtual Home UMTS on Satellite,
ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/ka4/asms_03_t07_0.pdf
- [56] <http://www.inmarsat.com/>
- [57] <http://www.iridium.com/>
- [58] <http://www.globalstar.com/>
- [59] <http://www.thuraya.com/>
- [60] <http://www.acesinternational.com/>
- [61] <http://www.SatMagazine.com/>