



Global Infrastructure & Security Solutions

Seria

Wprowadzenie do technologii łączności satelitarnej.

Temat

***Budowa sieci satelitarnej – segment naziemny.
Zagadnienia podstawowe.***

Opracowali:

Mgr inż. Emilia Dobek, Dyrektor Pionu Rozwiązań Satelitarnych, GISS Sp. z o.o.

Inż. Piotr Suchorab, Główny Architekt Systemów Łączności Satelitarnej, GISS Sp. z o.o.

Nowy Konik
12 czerwca 2024 r.

Spis treści

1. Wstęp	3
1. Budowa terminala	4
2. Klasyfikacja terminali satelitarnych	6
3. Podsumowanie.....	8

Spis rysunków

Rys. 1 SatPack COBALT - przedstawiciel rodziny modułowych terminali plecakowych klasy Manpack..	4
Rys. 2 Terminale do pracy z orbitą GEO – SatPack COBALT, SMART, stacja HUB-Master.....	7
Rys. 3 SatPack AutoMate – terminal do pracy z orbitą GEO, MEO, LEO.....	7
Rys. 4 Feniks – terminal z anteną płaską.....	7
Rys. 5 SatPack COBALT – terminal z anteną paraboliczną centralną.....	7
Rys. 6 SMART – terminal z anteną paraboliczną offsetową.....	7
Rys. 7 SatPack COBALT – terminal plecakowy klasy MANPACK.....	8
Rys. 8 SMART – terminal przewoźny klasy FlyAway.....	8
Rys. 9 SkyRay – wóz łączności do komunikacji On-The-Pause.....	8

1. Wstęp

Łączność satelitarna, chociaż często niezauważana pośród mnogości innych technologii przesyłania informacji takich jak połączenia światłowodowe, Wi-Fi czy LTE, odgrywa kluczową rolę w życiu codziennym całych społeczności. Umożliwia szybką i niezawodną komunikację na dużych odległościach, nawet w miejscach, gdzie inne formy łączności są niedostępne lub niewystarczające. W wielu odległych lub trudno dostępnych rejonach świata, gdzie budowa infrastruktury telekomunikacyjnej jest nieopłacalna lub technicznie niemożliwa, satelity jako jedyne oferują możliwość dostępu do Internetu, a co za tym idzie: szansę na edukację online, zdalną pracę, dostęp do informacji i usług cyfrowych. Systemy takie jak GPS (Global Positioning System) opierają się na satelitach do zapewnienia usług lokalizacyjnych i nawigacyjnych, które są nieodzowne w nawigacji samochodowej, lotnictwie, żegludze oraz w codziennym życiu, na przykład w mapach na smartfonach. Transmisja satelitarna umożliwia globalną dystrybucję treści telewizyjnych i radiowych, umożliwiając dostęp do programów, filmów i muzyki. W końcu, satelity umieszczone na różnych orbitach okołozemskich wykorzystywane są do monitorowania zmian klimatycznych, zarządzania podczas katastrof naturalnych i reagowania na nie, zapewniając kluczowe informacje potrzebne do szybkiego działania i minimalizacji szkód, a także dostarczając usługi telekomunikacyjne, takie jak telefonia satelitarna, która jest kluczowa w przypadku awarii sieci naziemnych.

W związku z tym, że łączność satelitarna jest często używana jako niezawodna forma komunikacji, tego rodzaju systemy powinny być budowane ze szczególnym zwróceniem uwagi na nieprzerwany dostęp do usług. Jako rozwiązanie tej kluczowej kwestii przychodzą terminale multiorbitalne i multipasmowe, a także terminale z możliwością szybkiej rekonfiguracji do pracy z innymi zakresami (pasmami) częstotliwości czy orbitami. Aby powyższe wymagania mogły zostać spełnione, istotnym aspektem w konstruowaniu terminali satelitarnych jest zachowanie niezależności poszczególnych komponentów. I tak, modemy satelitarne, z uwagi na to, że pracują na częstotliwościach pośrednich, mogą być używane w terminalach przeznaczonych na dowolne pasmo satelitarne (C, X, Ku, Ka). Natomiast zadanie konwersji częstotliwości z pasma satelitarnego do pasma pośredniego spoczywa na module radiowym, który przy użyciu odpowiednich odbiorników i nadajników dobranych do wykorzystywanego pasma satelitarnego dopasowuje strumień przesyłanych danych do dowolnego modemu.

Jedną z istotnych cech łączności satelitarnej jest relatywnie mniejsza przepustowość łącza w porównaniu do innych rodzajów łączności. Można zatem zadać pytanie, dlaczego w takim razie ta forma łączności jest potrzebna lub jakie jest przeznaczenie terminali satelitarnych? Przede wszystkim dostarczana (z wykorzystaniem własnych produktów) przez GISS łączność satelitarna jest bardziej niezawodna i umożliwia nawiązanie komunikacji nawet w trudnych warunkach atmosferycznych. W rezultacie daje ona możliwość dotarcia z usługami telekomunikacyjnymi do obszarów o słabo rozwiniętej naziemnej infrastrukturze sieciowej (obszary kuli ziemskiej o trudnym klimacie, mocno oddalone od centrów komunikacyjnych). Szczególnie ważna jest jej rola w czasie sytuacji kryzysowych i katastrof naturalnych. Służby ratunkowe mogą nawiązać szybko łączność (natychmiast po dotarciu do miejsca incydentu) używając małych, przenośnych terminali plecakowych, a następnie rozwinąć większą infrastrukturę opartą o większe przewoźne terminale VSAT, aby przywrócić pełną łączność i funkcjonowanie danego obszaru dotkniętego katastrofą. Jedną z istotniejszych zalet łączności satelitarnej jest jej wysoka mobilność. Z tego powodu jest bardzo często wykorzystywana przez wojsko i inne służby do przesyłania kluczowych informacji, wymiany danych rozpoznawczych oraz innych strategicznych dla powodzenia misji. W rozwiązaniach, w których kluczowy jest nieprzerwany dostęp do usług (np. synchronizacja informacji pomiędzy centrami danych), pełni ona rolę wysoce

niezawodnej łączności zapasowej. Należy podkreślić, że wszystkie wymienione aspekty są rozważane podczas projektowania oraz produkcji urządzeń opracowywanych w GISS, jako kluczowe dla ergonomii i niezawodności produktu.

1. Budowa terminala

Terminale satelitarne różnią się od siebie konstrukcją w zależności od przeznaczenia i wykorzystanych technologii, jednak wszystkie posiadają kluczowe elementy umożliwiające nawiązanie łączności. Głównymi modułami funkcjonalnymi terminala są: system antenowy, modem satelitarny, sterownik (kontroler terminala), system montażowy, moduł zasilania. Szczegółowa budowa terminala zostanie przedstawiona na przykładzie plecakowego terminala satelitarnego SatPack COBALT produkcji GISS.



Rys. 1 SatPack COBALT - przedstawiciel rodziny modułowych terminali plecakowych klasy Manpack

W skład **systemu antenowego** wchodzi reflektor, promiennik, OMT (przetwornik ortomodowy), filtry, izolatory, odbiornik (LNB – Low Noise Block Down Converter), nadajnik (BUC – Block Up Converter lub RFT Radio Frequency Transmitter, pojęcia używane zamiennie) oraz połączenia kablowe i falowodowe.

Reflektor w antenie pełni kluczową rolę w kształtowaniu i ukierunkowaniu promieniowania elektromagnetycznego. Nadaje on całej antenie właściwości kierunkowe zwiększając jej zysk, co w praktyce oznacza możliwość odbioru słabszych sygnałów oraz nadawania sygnałów o większej mocy przy zachowaniu tych samych parametrów odbiornika i nadajnika. Specjalna konstrukcja reflektora pozwala na ograniczenie odbioru sygnałów przychodzących z niepożądanych kierunków, co przyczynia się do redukcji zakłóceń i poprawy jakości sygnału.

Promiennik, czyli źródło oświetlające promieniowaniem elektromagnetycznym, w przypadku anteny parabolicznej umieszcza się w ognisku reflektora. Zapewnia to przychwycenie prawie całej energii padającej na reflektor oraz przekłada się na duży zysk energetyczny anteny.

Przetwornik ortomodowy służy do rozdzielania lub łączenia sygnałów (fal elektromagnetycznych) o dwóch ortogonalnych polaryzacjach. Pozwala to na efektywniejsze wykorzystanie pasma satelitarne poprzez obsługę dwóch niezależnych kanałów komunikacyjnych na tej samej częstotliwości (fale ułożone ortogonalnie nie wpływają na siebie).

Filtry w systemie antenowym wykorzystywane są w celu poprawy jakości sygnału odbieranego i nadawanego, redukcji zakłóceń oraz ochrony przed wnikaniem niepożądanych sygnałów do wnętrza toru radiowego. Istnieją różne rodzaje filtrów o różnorodnych cechach fizycznych i elektromagnetycznych, a ich dobór do konkretnego systemu zależy od miejsca ich wykorzystania (tor nadawczy lub tor odbiorczy) oraz oczekiwanych parametrów końcowych systemu. Starannie dobrane elementy filtrujące zapobiegają mieszanii się sygnałów z obu torów i pozwalają utrzymać dobre parametry całego zestawu antenowego pomimo degradacji jakości innych elementów z upływem czasu (np. nadajników czy odbiorników).

Odbiornik (LNB - Low Noise Block) oraz nadajnik (BUC - Block Up Converter) są dwoma kluczowymi komponentami systemu antenowego. Odbiornik instalowany jest w torze odbiorczym zestawu antenowego i odpowiada za odbiór sygnału, konwersję częstotliwości z satelitarnej na częstotliwość pośrednią i wzmocnienie sygnału. Z uwagi na to, że sygnał docierający z satelity do Ziemi jest bardzo słaby, w przypadku odbiorników stosuje się wzmacniacze niskoszumowe, które pozwalają na zachowanie lepszej jakości sygnału. Nadajnik stanowi natomiast część toru nadawczego i odpowiada za konwersję częstotliwości z pośredniej na odpowiednią częstotliwość satelitarną oraz wzmocnienie sygnału. Podczas doboru nadajnika jedną z najistotniejszych kwestii jest odpowiedni dobór jego wzmocnienia, co zapewni wzmocnienie sygnału nadawanego do poziomu wystarczającego do dotarcia do satelity pomimo dużych strat związanych z odległością satelity od ziemi i wpływem atmosfery na tłumienie sygnału. W parze z nadajnikiem stosowany jest izolator, którego główną rolą jest zabezpieczenie nadajnika przed uszkodzeniem jego stopnia wyjściowego spowodowanym odbiciem się wypromieniowywanej fali elektromagnetycznej o dużej mocy.

Ostatnim elementem systemu antenowego jest **okablowanie i falowody** zapewniające połączenie pozostałych elementów toru radiowego zapewniając przesyłanie fal elektromagnetycznych. Przy doborze tych elementów pasywnych również należy zwracać uwagę na ich właściwości takie jak tłumienność, deklarowany współczynnik fali stojącej lub przenoszona moc.

Kolejnym elementem, bez którego nie może zajść komunikacja satelitarna jest **modem satelitarny**. Są to skomplikowane urządzenia sieciowe, które realizują zadania przełączników sieciowych, routerów, filtrów pakietowych. Potrafią realizować m.in. takie zadania jak: trasowanie pakietów, separacja ruchu sieciowego zarówno w warstwie drugiej modelu ISO/OSI (VLAN) i warstwie trzeciej (VRF), zarządzanie jakością usług (QoS), zapewnienie bezpieczeństwa łącza danych (filtrowanie pakietów, autoryzacja, autentykacja, monitorowanie). Są one także wyposażone w modulatory i demodulatory, które kształtują sygnał, zapewniając możliwość kodowania i dekodowania informacji cyfrowej, a co za tym idzie - przesłanie informacji z naziemnej infrastruktury sieciowej przez satelitę.

Ponadto, każdy terminal satelitarny przed nawiązaniem łączności musi zostać odpowiednio skonfigurowany, dostosowany do istniejącej infrastruktury sieciowej, a także musi odnaleźć na horyzoncie wybranego satelitę, za pośrednictwem którego będzie realizowana komunikacja. Do zarządzania poszczególnymi modułami terminala służy **kontroler anteny**. Zapewnia on możliwość ustawienia wymaganych parametrów radiowych modemu satelitarnego, takich jak częstotliwość

odbiorcza i nadawcza, modulacja, korekcja. Umożliwia sterowanie elementami aktywnymi terminala (wybór odpowiedniego napięcia dla odbiornika, włączenie/ /wyłączenie nadajnika, ustawienie częstotliwości nośnej) oraz monitorowanie parametrów pracy terminala (wskazania sensorów, odbiornika GPS, jakość odbieranego i nadawanego sygnału i wiele innych). Większość terminali satelitarnych, w tym SatPack COBALT, wyposażonych jest w oprogramowanie asystujące operatora podczas procesu wizowania anteny na sygnał z satelity.

Jednakże, aby system miał możliwość zadziałać, musi zostać na czymś postawiony oraz zasilony. Do zorientowania terminala w przestrzeni służy **system montażowy** (podstawa terminala). Musi on umożliwiać precyzyjne sterowanie anteną, co jest kluczowe dla dokładnego naprowadzenia się na wybrany satelitę. W przypadku omawianego terminala, podstawę stanowi rozkładany trójnóg z możliwością regulacji długości nóg oraz z głowicą manualną pozwalającą na obracanie terminala w azymucie i elewacji. Polaryzacja, w zależności od pasma pracy, zmieniana jest ręcznie poprzez zmianę orientacji promiennika lub automatycznie przy użyciu silnika DC zintegrowanego z modułem radiowym. Elementem zapewniającym ciągłą pracę terminala jest **system zasilania**. Z uwagi na fakt, iż niniejsze systemy często pracują w trudnych warunkach, z przerywanym dostępem do sieci energetycznej lub przy jego braku, konstruowane zasilacze powinny potrafić zasilić terminal z różnych dostępnych źródeł energii, a także powinny spełniać rolę zasilacza buforowego, aby podtrzymać łączność w razie zaniku zasilania. Zasilacz znajdujący się w ofercie GISS posiada kilka wejść, dedykowanych różnym źródłom napięcia: zmiennemu (AC, z sieci), stałemu (DC, na przykład z akumulatora samochodowego lub maty słonecznej) oraz baterijnemu, dedykowanemu standardowym akumulatorom wojskowym BB-2590. Pozwala to na automatyczną zmianę źródła zasilania oraz uniknięcie przerw w komunikacji.

2. Klasyfikacja terminali satelitarnych

Ze względu na dużą różnorodność usług wykorzystujących łączność satelitarną, w obecnych czasach istnieje konieczność posiadania wielu rodzajów terminali satelitarnych różniących się od siebie budową, sposobem dostępu do łącza satelitarnego oraz wielkością. Tak różne kryteria podziału wymusiły opracowanie różnych klasyfikacji sprzętu, na przykład terminale rodziny SMART produkcji GISS są jednocześnie terminalami mobilnym klasy FlyAway z anteną paraboliczną offsetową, dedykowanymi do pracy z orbitą geostacjonarną oraz multi-pasmowymi. Najważniejsze sposoby klasyfikacji terminali opisano poniżej.

Podział ze względu na orbitę

Terminale satelitarne mogą współpracować z satelitami na różnych orbitach: GEO (geostacjonarnej, np. SatPack COBALT), MEO i LEO (średniej i niskiej, np. SatPack AutoMate). Terminalami o najmniej skomplikowanej architekturze sprzętowo-programowej są te przeznaczone do pracy z orbitą geostacjonarną. Wynika to z faktu, że satelity GEO nie poruszają się względem Ziemi (nie bierzemy tutaj pod uwagę zmiany inklinacji satelitów, która jest istotna dla anten o dużych aperturach), co w większości przypadków eliminuje problem śledzenia, jednak duża odległość od Ziemi wprowadza znaczące opóźnienia w przesyłaniu danych. Niższe orbity okołoziemskie, takie jak MEO i LEO charakteryzują się mniejszym opóźnieniem i możliwością przesłania większych ilości danych, ale wymagają użycia terminali potrafiących śledzić satelity przelatujące po zadanej trajektorii nad horyzontem.



Rys. 2 Terminale do pracy z orbitą GEO – SatPack COBALT, SMART, stacja HUB-Master.



Rys. 3 SatPack AutoMate – terminal do pracy z orbitą GEO, MEO, LEO.

Podział ze względu na rodzaj anteny

W zależności od indywidualnych potrzeb systemu, najczęściej stosowanymi w terminalach satelitarnych antenami są anteny płaskie (ze stałą lub elektrycznie sterowaną wiązką) oraz paraboliczne: centralne (np. rodzina SatPack) lub offsetowe (np. SMART).



Rys. 4 Feniks – terminal z anteną płaską.



Rys. 5 SatPack COBALT – terminal z anteną paraboliczną centralną.



Rys. 6 SMART – terminal z anteną paraboliczną offsetową.

Podział ze względu na budowę sieci

Pojedyncze terminale pracują w większych sieciach satelitarnych, które budowane są w oparciu o różne topologie i mogą wykorzystywać kilka sposobów dostępu do linku satelitarnego. Możliwe do wykorzystania topologie to m.in. łączność punkt-punkt, czyli bezpośrednie połączenie ze sobą dwóch terminali, oferująca z reguły większe przepustowości; topologia gwiazdy, gdzie występuje stacja centralna, z którą komunikują się wszystkie terminale w sieci; topologia pełnej siatki (ang. Full Mesh), gdzie każdy terminal może nawiązać łączność z każdym innym oraz sieci hybrydowe, korzystające z

możliwości wszystkich opisanych wcześniej topologii w zależności od zastosowania.

Podział ze względu na sposób dostępu do łącza

Najprostszym rodzajem dostępu do łącza jest pojedynczy kanał dostępowy na każdą częstotliwość nośną. Wymaga on użycia większej ilości pasma satelitarne, ale jest prosty do zestawienia i gwarantuje zakładaną przepływność dla każdego terminala. W bardziej rozbudowanych sieciach używa się wielodostępu z podziałem czasu bądź częstotliwości, co pozwala na zaoszczędzenie pasma.

Podział ze względu na mobilność rozwiązania

Terminale satelitarne można podzielić na stacjonarne i mobilne (przenośne). Do rozwiązań stacjonarnych zalicza się Teleporty oraz pojedyncze stacje HUB-Master, stanowiące część infrastruktury telekomunikacyjnej podmiotów. Wyzwania dzisiejszego świata często wymagają użycia terminali wysoko mobilnych, takich jak terminale SatPack COBALT – plecakowe rozwiązanie klasy manpack, przewoźnych terminali VSAT, takich jak rozwiązanie SMART czy wozów łączności, np. rozwiązanie SkyRay również opracowane przez Spółkę.



Rys. 7 SatPack COBALT – terminal plecakowy klasy MANPACK.



Rys. 8 SMART – terminal przewoźny klasy FlyAway.



Rys. 9 SkyRay – wóz łączności do komunikacji On-The-Pause.

3. Podsumowanie

Jak można zauważyć, różnorodność terminali do łączności satelitarnej jest ogromna, a dobór rozwiązania dopasowanego do potrzeb użytkownika końcowego – nietrywialny. Z tego powodu kluczowe jest posiadanie rzetelnego wsparcia inżynierskiego, co ułatwi proces konfiguracji własnej sieci oraz pomoże uniknąć wielu błędów.