

Szerokopasmowe systemy łączności satelitarnej w sieciach telekomunikacyjnych

Janusz Zygierewicz

W artykule dokonano przeglądu metod stosowanych w sieciach satelitarnych z satelitami geostacjonarnymi i niegeostacjonarnymi w celu realizacji szerokopasmowych służb łączności z naziemnymi stacjami stacjonarnymi i przenośnymi. Rozpatrzono różne aspekty rozwoju systemów, zwłaszcza zagadnienia transmisji multimedialnych i szybkich połączeń internetowych przy zastosowaniu szerokopasmowych metod dostępu, wspólnej pracy systemów GSO i NGSO i metod efektywnego zarządzania systemami satelitarnymi.

GSM, UMTS

Wprowadzenie

Trudności z zaspokajaniem stałego wzrostu zapotrzebowania na dostęp do szerokopasmowych systemów multimedialnych i sieci Internet przez sieci ziemskie powodują coraz większe zainteresowanie wykorzystaniem połączeń satelitarnych. Szerokopasmowe, bezpośrednie połączenia z indywidualnymi użytkownikami za pomocą prostych urządzeń odbiorczych lub nadawczo-odbiorczych z małymi antenami umożliwiają już nie tylko odbiór programów telewizyjnych za pomocą konwencjonalnych odborników, ale w coraz szerszym zakresie umożliwiają wykorzystanie komputerów do interaktywnej telewizji, szerokopasmowego dostępu do sieci Internet oraz dostarczania różnego rodzaju informacji (wiadomości, wizja, muzyka, dane potrzebne konkretnemu użytkownikowi) na zasadzie rozprowadzenia informacji w systemie punkt – wiele punktów (*point-to-multipoint*). Systemy satelitarne są przy tym z natury rzeczy predestynowane do dystrybucji sygnałów w bezpośredni i znacznie łatwiejszy sposób niż systemy łączności ziemskiej, zwłaszcza przewodowej. Zapewniają bowiem równoczesne pokrycie dużych obszarów kraju i możliwości szybkiej realizacji połączeń przez bardzo dużą liczbę użytkowników.

Dąży się przy tym do integracji systemów łączności satelitarnej i ziemskiej, czego końcowym wynikiem ma być powstanie uniwersalnego systemu IMT/2000 (rys. 1).

Szerokopasmowe systemy łączności satelitarnej są obecnie realizowane w zakresach częstotliwości mikrofalowych przy wykorzystaniu satelitów geostacjonarnych (GSO) i niegeostacjonarnych (NGSO), zazwyczaj rozmieszczonych w dużej liczbie na różnych niskich orbitach (konstelacje satelitów). Ze względu na coraz większe wykorzystanie przestrzeni kosmicznej oraz ograniczone pasma częstotliwości przeznaczone dla systemów łączności satelitarnej, możliwość efektywnego wykorzystania tych systemów zależy przede wszystkim od działalności regulacyjnej Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego (ITU) oraz ścisłego przestrzegania szczegółowych postanowień. Podstawowe charakterystyki realizowanych systemów obejmują takie parametry, jak: obszary pokrycia, kształt wiązki promieniowania anteny satelitarnej, moce nadajników pokładowych, sposób wykorzystania dysponowanych pasm częstotliwości, a zwłaszcza możliwość wykorzystania tych samych pasm w wielu wiązках (*frequency reuse*), sposób współpracy z naziemnymi stacjami centralnymi i oddalonymi oraz sposób rozwiązań technologicznych wiążący się z optymalizacją ekonomiczną. Bardzo ważne

są charakterystyki operacyjne systemów, takie jak: minimalne stosowane kąty elewacji, sterowanie wiązkami, automatyczna regulacja poziomów mocy, dopuszczalne graniczne moce promieniowania równoważnego EIRP (moc nadajnika + zysk anteny). W przypadku satelitów niskoorbitalnych także sposób pokrycia obszaru przez satelity oraz sposób przejmowania transmisji przez kolejne satelity w trakcie trwania połączenia. Konieczność uniknięcia interferencji pomiędzy różnymi systemami łączności satelitarnej oraz pomiędzy tymi systemami a systemami łączności na powierzchni Ziemi, pracującymi przy wykorzystaniu tych samych lub sąsiednich pasm częstotliwości, zmusza do ograniczenia dopuszczalnych poziomów mocy na powierzchni Ziemi, stosowania specjalnych technik redukujących możliwości wzajemnego szkodliwego oddziaływania, szczegółowego określenia charakterystyk promieniowania anten systemów ziemskich i satelitalnych, stosowania odpowiednich procedur koordynacyjnych w przypadku wprowadzania satelity na określoną orbitę lub budowy nowej stacji linii satelitarnej lub ziemskiej (w tym przypadku odnosi się to zazwyczaj do stacji radarowych i stacji linii radiowych, które w większości przypadków muszą być podporządkowane wymaganiom systemów satelitalnych).

Wszystkie poruszone zagadnienia wymagały stosowania ścisłych ustaleń już w okresie realizacji tylko różnych systemów GSO. Trudności wzrastają jednak niepomierne z chwilą dodatkowego wprowadzenia systemów NGSO, ze względu na ciągłe przemieszczanie się satelitów po orbicie wokół powierzchni Ziemi oraz w wielu przypadkach dodatkową zmianę kierunków promieniowania i mocy nadawania z anten pokładowych. Można zaryzykować twierdzenie, że sposób rozwiązania zagadnień koegzystencji systemów GSO i NGSO będzie rzutować na możliwości wykorzystania dostępnych pasm częstotliwości i zakresy zastosowań systemów.

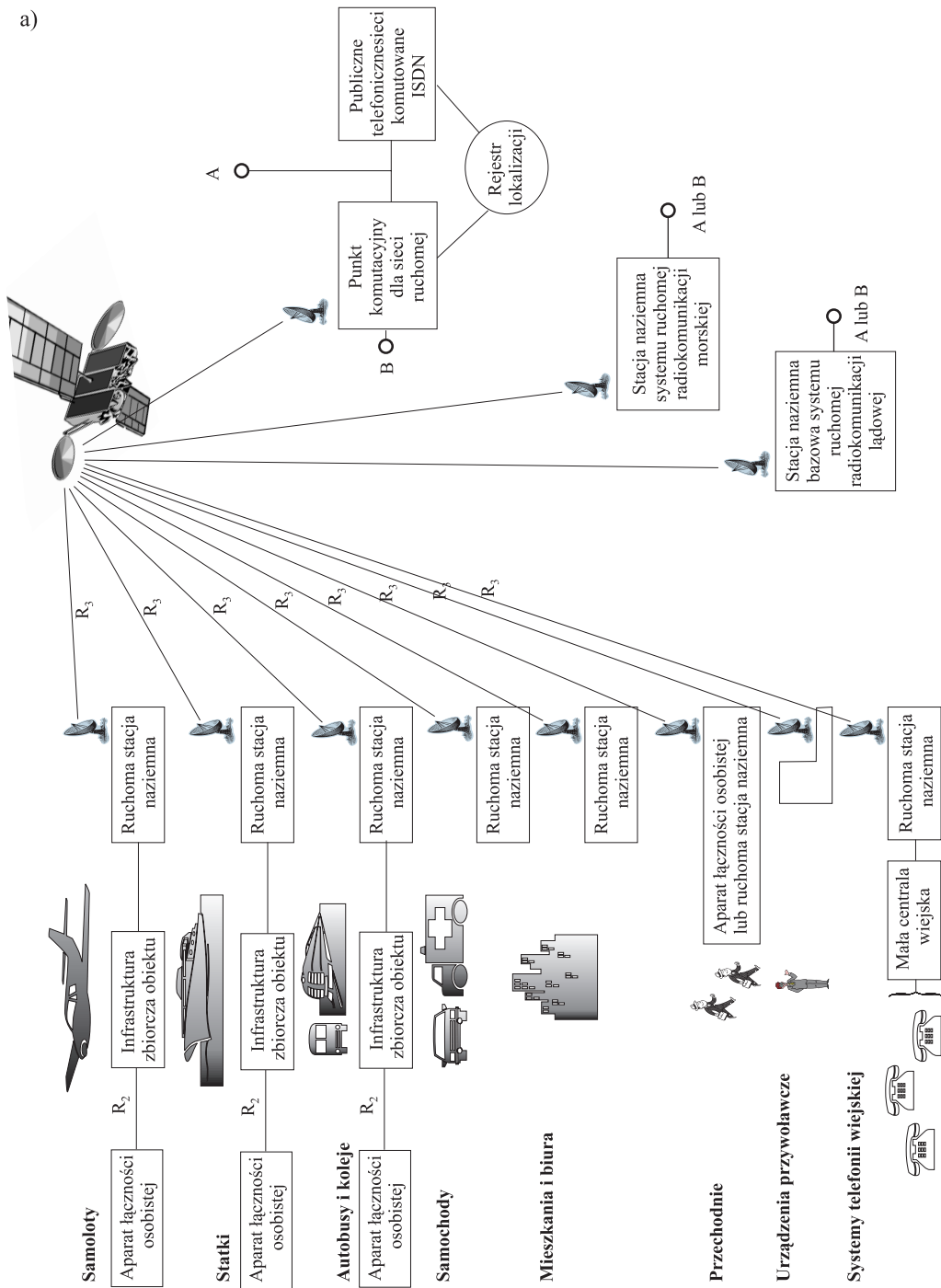
Ze względu na dysponowane zakresy częstotliwości można odróżnić systemy pracujące w pasmach C (6/4 GHz), Ku (14/12 GHz) i Ka (30/20 GHz). Systemy GSO pracują przy wykorzystaniu wszystkich wymienionych pasm, przy czym pasma C i Ku są już tak zajęte, że dla celów łączności szerokopasmowej rozwój jest możliwy tylko przy wykorzystaniu pasma Ka. Systemy NGSO obecnie realizowane lub projektowane będą pracowały przy wykorzystaniu częstotliwości pasm Ku i Ka (na przykład systemy ICO, Skybridge, Teledesic, składowa satelitarne systemów globalnych UMTS) z tendencją do coraz większego wykorzystania pasma Ka ze względu na szerokość pasma i łatwiejsze dopasowywanie parametrów nowych systemów do aktualnych potrzeb w miarę wprowadzania coraz doskonalszych rozwiązań technologicznych.

Jako ilustracja do wymienionych wyżej zagadnień omówione poniżej zostaną najważniejsze właściwości i zakresy zastosowań systemów łączności satelitarnej typu GSO i NGSO oraz poruszone i wskazane kierunki rozwiązań sposobów ograniczenia wzajemnych interferencji między tymi systemami, umożliwiającymi równocześnie ich wykorzystywanie.

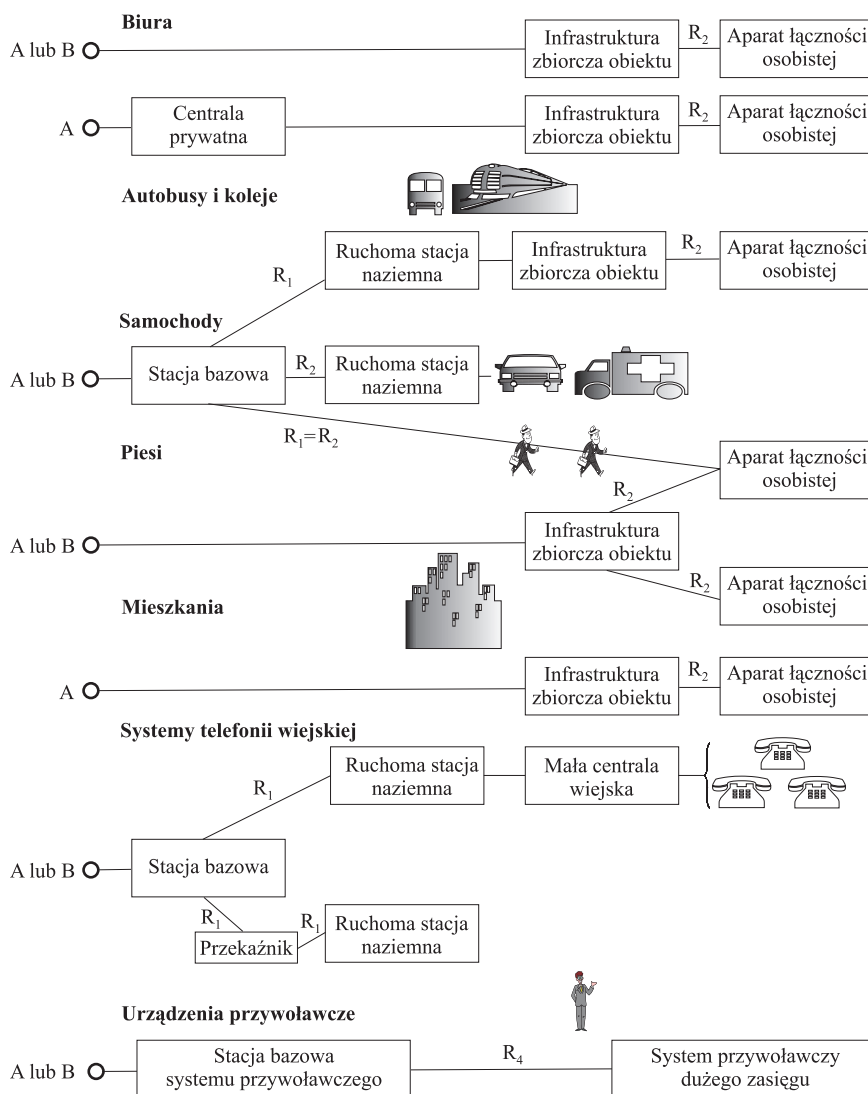
Właściwości systemów satelitalnych GSO

Obecne systemy szerokopasmowe pracują przy wykorzystaniu pasm Ku i Ka i obejmują duże satelity, wyposażone w kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt (od 12 do 48) urządzeń retransmisyjnych o pasmach przenoszenia od 24 do 74 MHz (najbardziej typową jest szerokość pasma 36 MHz). Zazwyczaj wymagania narzucone przez przepisy międzynarodowe określają tylko sumaryczną moc nadawania i sumaryczną szerokość pasma, które dzieli się między poszczególne fale nośne w zależności od potrzeb ruchu i z punktu widzenia optymalnego wykorzystania zasobów. W większości przypadków były i są aktualnie wykorzystywane tzw. „przezroczyste” urządzenia retransmisyjne, w których urządzenia odbiorcze i nadawcze stosują tylko przesuw częstotliwości.

a)



b)



Rys. 1. Zastosowania i przewidywane drogi realizacji połączeń systemu IMT/2000: a) składowe satelitarne; b) składowe ziemskie

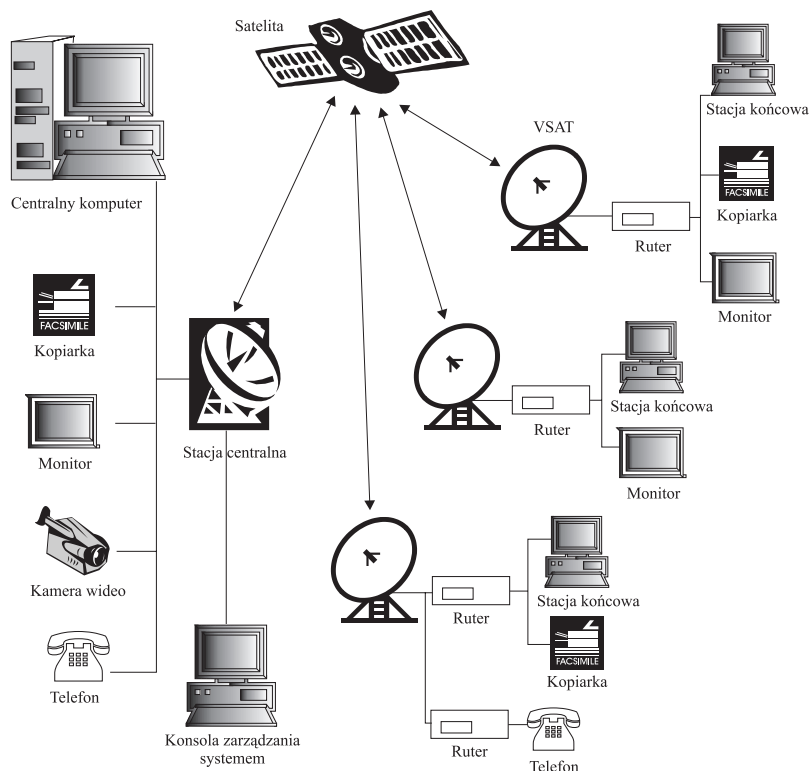
Przetwarzanie sygnałów na satelicie wprowadzane jest stopniowo, zwłaszcza w miarę przechodzenia na transmisję sygnałów cyfrowych (pierwszy satelita szerokopasmowy z przetwarzaniem sygnałów Hot Bird 4 został wprowadzony na orbitę w 1998 r.).

Na pokładzie takich satelitów są stosowane albo anteny szerokopasmowe pokrywające duże obszary powierzchni Ziemi, albo anteny wielowiązkowe do pokrycia mniejszych sąsiednich lub oddalonych obszarów. Ze względu na łatwiejsze skupienie promieniowania, węższe wiązki stosuje się na ogół w pasmie Ka. Zazwyczaj są one określane „punktowymi wiązkami promieniowania”. Coraz częściej są również stosowane wiązki sterowane, „zamiatające” w krótkim czasie obszar, który w tradycyjnych rozwiązaniach byłby pokryty jedną wiązką (dzięki temu uzyskuje się lepsze bilanse energetyczne realizowanych połączeń). Stosuje się również wiązki oświetlające okresowo, w miarę zapotrzebowania, różne odległe obszary powierzchni Ziemi. Umożliwiają one tylko okresową realizację połączeń przy wykorzystaniu metod przełączania i magazynowania sygnałów. Stosowanie wąskich wiązek umożliwia wielokrotne wykorzystywanie tych samych kanałów częstotliwości w różnych wiązkach dzięki separacji kątowno-przestrzennej. Dodatkowe korzyści w wykorzystywaniu pasm można uzyskać przez stosowanie polaryzacji ortogonalnych i kształtowanych wiązek.

Wymiary anten pokładowych w wielu przypadkach muszą być dość duże, przekraczając tradycyjnie dotychczas stosowaną granicę 3 m. Dlatego coraz częściej stosuje się anteny z rozwijanym reflektorem w postaci „parasola” lub nadmuchiwanego „półksiężycy”. Zwiększenie wymiarów anten umożliwia nie tylko uzyskanie węższych wiązek, ale również zmniejszenie mocy nadawania przy tym samym poziomie EIRP, co jest bardzo istotne ze względu na kłopoty z zasilaniem urządzeń pokładowych (ciągłe trudności z brakiem efektywnych źródeł zasilania i usuwaniem nadmiaru ciepła).

W najczęściej stosowanych systemach łączności dystrybucyjnej typu VSAT małe stacje naziemne mogą być albo bezpośrednio wykorzystywane przez indywidualnych użytkowników, albo obsługiwać wielu lokalnych użytkowników poprzez wydzielone sieci radiowe lub przewodowe (rys. 2). W zależności od mocy nadawania i zakresu wykorzystywanych częstotliwości wymiary anten takich stacji są od 0,5 do 5 m, zazwyczaj do 2 m. Wykorzystywanie coraz wyższych zakresów częstotliwości, zwłaszcza w pobliżu 30 GHz, wiąże się jednak z dużym tłumieniem propagacji, zwłaszcza podczas silnych opadów. Wpływ opadów zależy od geograficznej lokalizacji stacji naziemnych oraz drogi rozchodzenia się promieniowania, a zwłaszcza kąta elewacji anteny stacji, ponieważ przy małych kątach ta droga wydłuża się. Pożądane jest utrzymanie tego kąta powyżej 10°, a nawet 15 stopni. Modele statystyczne tłumień na skutek opadów dla różnych obszarów Ziemi i różnych zakresów częstotliwości oraz różnej intensywności opadów zostały opracowane i przyjęte w odpowiednich dokumentach ITU (zwłaszcza ITU-R Rec. P618). Przy braku innych konkretnych danych są one powszechnie przyjmowane do obliczeń bilansów energetycznych linii, ale należy zwrócić uwagę, że badania eksperymentalne potwierdzają znaczną rozbieżność wpływu opadów od lokalnych warunków mikroklimatycznych. W zakresie częstotliwości 10 ÷ 30 GHz statystyczne dodatkowe tłumienie na skutek opadów dla typowej wartości 0,001% czasu zmienia się w przedziale 2,5 ÷ 12,5 dB, przy kącie elewacji 10° i w przedziale 1,5 ÷ 7 dB przy kącie elewacji 20°. Skutkiem zaników spowodowanych opadami można przeciwdziałać przez zwiększenie mocy EIRP na stałe lub tylko w okresach występowania dodatkowego tłumienia albo przez odpowiednie techniki przestrzennego lub częstotliwościowego odbioru zbiorczego na bardziej rozbudowanych stacjach naziemnych. Wynika z tego również znaczenie odpowiedniego doboru pozycji satelity na orbicie geostacjonarnej i umieszczenia stacji naziemnej (wpływ opadów i przesłaniających przeszkód terenowych).

W przypadku realizacji połączeń globalnych na duże odległości zamiast systemu łączności satelitarnej z dwoma lub więcej skokami korzystniejsze są połączenia międzysatelitowe, to jest między satelitami



Rys. 2. Struktura sieci satelitarnej VSAT

zapewniającymi bezpośrednią widoczność z utrzymującymi łączność stacjami naziemnymi. Wiąże się to jednak ze znacznymi trudnościami technicznymi, zwłaszcza ze względu na niestabilność położenia satelitów oraz wykorzystywanie do tych połączeń górnych zakresów pasm mikrofalowych, a nawet w przyszłości fal świetlnych (brak dodatkowych tłumień na trasach kosmicznych).

Stosowanie połączeń międzysatelitowych, jak również połączeń wieloskokowych, poza pogorszeniem jakości transmisji oraz jej zwiększoną niestabilnością (różne konfiguracje występowania zakłóceń na różnych odcinkach), jest niepożądane ze względu na zwiększenie opóźnień czasowych. Opóźnienia te i tak w połączeniach jednoskokowych systemów GSO wynoszą ponad 0,5 s i stwarzają znaczne trudności przy realizacji połączeń, zwłaszcza w aspekcie sygnałów sygnalizacji i protokołów transmisji internetowych IP, stosowanych w sieciach ziemskich.

Coraz szersze zastosowanie znajdują w zakresie Ka anteny wielowiązkowe, umożliwiające utworzenie nawet ponad stu wiązek promieniowanych z jednej anteny z wieloma promiennikami, w tym promiennikami ze zmiennym zasilaniem pozwalającymi na kształtowanie wiązek i zmiany kierunków ich promieniowania. Do stałego lub zmiennego pokrycia danego obszaru wieloma wiązkami służą specjalne matryce sterujące elementami promieniującymi. Obecnie są stosowane wiązki punktowe o szerokościach jednego, lub poniżej jednego, stopnia. Co najmniej czterokrotne wykorzystanie tych samych częstotliwości w wąskich wiązkach umożliwia wzajemne niezakłócone pokrycie dużego obszaru wieloma wiązkami, powiększając w ten sposób czterokrotnie dysponowane pasmo częstotliwości przy niezmienionej sumarycznej mocy promieniowania.

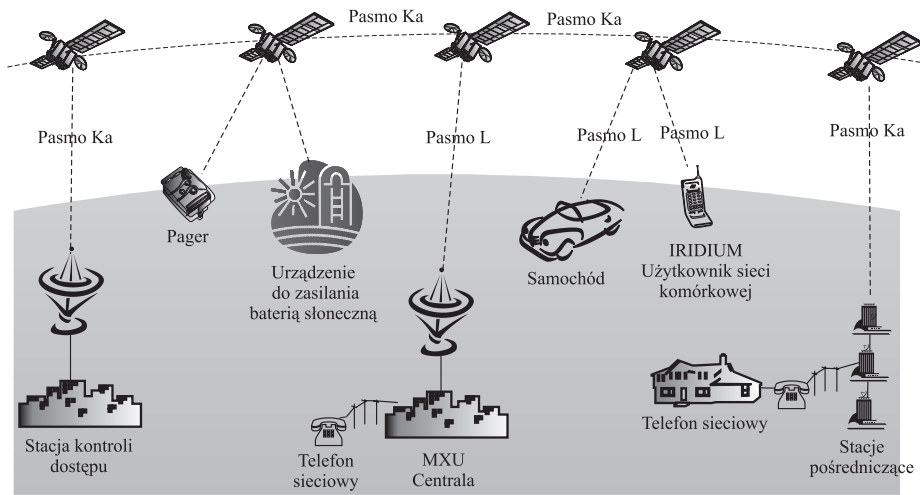
Innym sposobem zwiększenia efektywności wykorzystania dysponowanej mocy i dostępnych pasm częstotliwości jest automatyczne dopasowywanie mocy promieniowania stacji naziemnej i (lub) szerokości zajmowanego pasma do aktualnych potrzeb i warunków propagacyjnych na trasach transmisji. Może się to odbywać indywidualnie na każdej stacji na podstawie oceny mocy odbieranych sygnałów lub być sterowane zdalnie przez centralną stację zarządzająco-dyspozycyjną systemu (*gateway*) na podstawie oceny warunków propagacji w poszczególnych rejonach odbioru (specjalne pomocnicze stacje kontrolne) oraz oceny bieżącego zapotrzebowania na połączenie szerokopasmowe. W przypadku tłoku w eterze stacja centralna może decydować o kolejności realizacji połączeń oraz wprowadzić klasyfikację pilności i ważności połączeń, przesuwając na przykład transmisje mniej istotne na późne godziny nocne lub wprowadzić zróżnicowanie kosztów transmisji od czasu nadawania oraz liczby klientów, którzy zgodzą się na nadawanie tego samego rodzaju informacji w ściśle określonych porach (w tych warunkach obsługa użytkowników kosztuje prawie tyle samo niezależnie od ich liczby).

Na sprawność działania samych połączeń satelitarnych oraz możliwość ich wszechstronnego wykorzystania mają ponadto wpływ dobór odpowiednich metod modulacji, kodowania i korekcji błędów oraz sposobów współpracy stacji centralnych lub stacji lokalnych z innymi systemami na różnych płaszczyznach sieci. W związku z coraz powszechniejszym stosowaniem transmisji cyfrowych i kluczowaniem fali nośnej, można ogólnie powiedzieć, że im wyższy stopień kluczowania (np. 16 QAM zamiast QPSK), tym lepsze wykorzystanie dysponowanego pasma, ale tym większe wymagania na stosunek sygnału do szumów i w związku z tym surowsze wymagania na większą i stabilną moc równoważną EIRP, którą przy obecnie stosowanych technologiach nieraz trudno uzyskać. Z punktu widzenia współpracy z sieciami ziemskimi, szczególne znaczenie ma stosowanie tych samych warunków transmisji, w szczególności metod ATM oraz protokołów transmisji typu IP, a to ze względu na cechy transmisji satelitarnej (duże i zmienne opóźnienia czasowe, wahania mocy sygnałów) napotyka na wiele trudności i wymaga stosowania skomplikowanych rozwiązań. W celu coraz lepszego wykorzystania orbity geostacjonarnej dąży się również do coraz mniejszych odstępów między satelitami różnych systemów.

Właściwości systemów satelitarnych NGSO

Omówione i konieczne do rozwiązania zagadnienia występujące przy realizacji i użytkowaniu systemów satelitarnych GSO komplikują się jeszcze bardziej w przypadku systemów NGSO. Podstawową zaletą systemów NGSO jest niewystępowanie ograniczeń wynikających z braku wolnych pozycji na unikalnej orbicie geostacjonarnej i znaczne zmniejszenie mocy nadawania stacji satelitowych i naziemnych. Jednak w trakcie dłuższego seansu połączenia, łączność musi być przejmowana przez kolejne satelity pojawiające się w zakresie widzialności stacji naziemnych. Jest też niezbędne stosowanie sterowanych lub dość szerokich wiązek anten stacji naziemnych i połączeń międzysatelitowych do połączeń na odległościach większych niż niewielki obszar pokrycia jednego satelity. Znacznie komplikuje się również realizacja systemu złożonego z wielu satelitów krążących po różnych orbitach przy zapewnieniu odpowiedniego wzajemnego rozmieszczenia satelitów na tej samej i przynajmniej sąsiednich orbitach (rys. 3). Może być przy tym realizowany system o zasięgu lokalnym, regionalnym lub globalnym, ze szczególnym zwróceniem uwagi na gęsto zamieszkałe obszary Ziemi przez odpowiedni dobór orbit, ich odległości od powierzchni Ziemi i liczbę zastosowanych satelitów. Głównym zadaniem projektantów takich systemów jest zapewnienie określonych warunków łączności przy minimalnej liczbie potrzebnych satelitów i możliwie minimalnych prawdopodobieństwach interferencji z innymi systemami. System z zasady będzie tym bardziej rozbudowany, im zasięg jego ma obejmować

obszary położone na większych szerokościach geograficznych (dlatego podstawowym parametrem systemu jest zasięg określony szerokością geograficzną) i im większe wiązki informacji pomiędzy wieloma użytkownikami mają być przesyłane. Ze względu na stosowanie techniki wielowiązkowej dopuszcza się wahania liczby abonentów obsługiwanych w poszczególnych wiązkach przy niezmiennym sumarycznym obciążeniu. Obecnie proponowane rozwiązania przewidują stosowanie do kilkudziesięciu wiązek kierunkowych w obu kierunkach transmisji, przy czym szerokość ich niezależnie od wybranej orbity odpowiada obszarowi pokrycia na powierzchni Ziemi o średnicy rzędu kilkuset kilometrów, co dodatkowo ułatwia wielokrotne wykorzystanie tych samych pasm częstotliwości na niezbyt odległych obszarach.



Rys. 3. System łączności satelitarnej stacjonarnej i ruchomej z satelitami NGSO

Jednym z istotnych czynników wpływających na jakość połączeń jest częstość konieczności przełączania transmisji z jednego satelity na drugi (*handover*). W przypadku nieruchomych wiązek promieniowania anten satelity oznacza to, że im niższa orbita i mniejsza szerokość wiązki, tym częstsze przełączanie w trakcie połączenia. Można temu przeciwdziałać przez sterowanie wiązką anteny pokładowej (długie utrzymywanie anteny ukierunkowanej na dany obszar) lub anteny stacji naziemnej (długie ukierunkowanie anteny na danego satelitę), ale powoduje to oczywiście dalsze komplikacje i podwyższa koszty budowy systemu. Innym rozwiązaniem jest stosowanie do pokrycia tego samego obszaru wiązek punktowych, które są kolejno włączane w trakcie trwania seansu łączności i przemieszczania się satelity na danej orbicie. Jednocześnie jednak w takim przypadku zwiększa się niebezpieczeństwo zakłóceń na skutek odbić od lokalnych ukształtowań terenu oraz infrastruktury.

W systemach NGSO, ze względu na znacznie mniejszą odległość od Ziemi, są wymagane mniejsze moce równoważnego promieniowania EIRP niż w systemach GSO. Można więc stosować znacznie nowocześniejsze rozwiązania, na przykład wzmacniacze z elementami ciała stałego zamiast lamp o fali bieżącej. Zapewniają one większą liniowość i niezawodność przy znacznie mniejszych wymiarach i ciężarze, a małe anteny pokładowe oświetlają niewielkie obszary powierzchni Ziemi. W urządzeniach

naziemnych można stosować nie tylko anteny reflektorowe, ale również anteny czynne w postaci zespołu promienników.

Jak już wspomniano dla optymalizacji parametrów transmisji i oszczędzania mocy promieniowania przewiduje się powszechnie automatyczną regulację mocy promieniowanej z satelitów i ze stacji naziemnych, zwiększoną głównie w momentach występowania silnych zaników. W tym samym celu dąży się do zapewnienia stałego poziomu gęstości mocy na powierzchni Ziemi objętej wiązką promieniowania z satelity w odróżnieniu od tradycyjnych systemów, w których gęstość ta na obrzeżach obszaru była od 3 do 6 dB mniejsza niż w punkcie odpowiadającym środkowi wiązki.

Stan zastosowań systemów satelitarnych NGSO

W praktyce rozróżniamy konstelacje satelitów rozmieszczonych na orbitach niskich LEO (*Low Earth Orbit*) w odległości od około 500 do 2500 km od powierzchni Ziemi i na orbitach średnich MEO (*Medium Earth Orbit*) w odległości około 10 000 km od powierzchni Ziemi. Dodatkowo można uwzględnić tzw. satelity Little-LEO, o wyjątkowo małej przepustowości do zastosowań lokalnych oraz systemy wykorzystujące obiekty umieszczone w stratosferze HAP (*High Altitude Platforms*) jako stacje przekaźnikowe.

Systemy MEO i LEO mają podobne zalety i wady, zmieniające się proporcjonalnie do wysokości i parametrów orbit satelitów. Są to takie czynniki jak: odległość satelity od powierzchni Ziemi i szybkość jego ruchu po orbicie oraz związane z tym tłumienia propagacji, opóźnienia czasowe, zjawisko Dopplera i częstość przechodzenia z satelity na satelitę w trakcie trwania połączenia. Dodatkowo, parametry te zmieniają się podczas połączenia. Dlatego niezbędny jest dobór parametrów urządzeń z punktu widzenia najmniej korzystnych warunków transmisji oraz konieczność stosowania skomplikowanych i niezawodnych metod sterowania całym systemem. Szczególnie istotne jest zapewnienie ciągłości połączenia przy przejmowaniu roli stacji przekaźnikowych przez kolejne satelity, położone na tych samych lub sąsiednich orbitach. Utrudnia to również możliwości efektywnego wykorzystania wąskich wiązek i wielokrotnego wykorzystania tych samych kanałów radiowych. Satelity niskoorbitalne są znacznie mniejsze od geostacjonarnych, a muszą zapewnić połączenia przynajmniej z sąsiednimi satelitami. Dlatego też są raczej przystosowane tylko do retransmisji sygnałów bez ich przetwarzania i komutacji, co ma coraz częściej miejsce w przypadku satelitów geostacjonarnych.

Jak wiadomo, powstałe w latach dziewięćdziesiątych liczne projekty autonomicznych systemów osobistej ruchomej łączności satelitarnej, spośród których można wymienić Iridium, Globalstar, Skybridge i Teledesic, wykorzystujące wiele niskoorbitalnych satelitów, albo w ogóle nie zostały w pełni zrealizowane albo okazały się nieefektywne pod względem ekonomicznym i zaprzestały swojej działalności. Przyczyną tego nie były trudności techniczne, lecz finansowe i do pewnego stopnia operacyjne. Ze względu na wysokie koszty realizacji połączeń zainteresowanie potencjalnych użytkowników okazało się znacznie mniejsze od oczekiwanego, tym bardziej, że systemy te adresowano głównie do słabo rozwiniętych krajów o niedostatecznie rozbudowanej strukturze telekomunikacji. Do tego doszło opóźnienie dostaw na rynek radiotelefonów powszechnego użytku oraz zła reklama systemów. Jednocześnie okazało się, że dzięki nowym rozwiązaniom można łatwiej niż dotychczas wykorzystywać do tych celów również satelity na orbicie geostacjonarnej, co znacznie obniża koszty połączeń zarówno ze względu na ograniczenia liczby wykorzystywanych satelitów, jak i koszty operacyjne związane z zapewnieniem właściwej i zsynchronizowanej pracy wielu satelitów na niskich orbitach. Dodatkowym atutem było też duże doświadczenie firm i organizacji w eksploatacji systemów z satelitami geostacjonarnymi.

Nic więc dziwnego, że zainteresowano się szybkim rozwojem, od wielu już lat wykorzystywanego, systemu Inmarsat o zasięgu globalnym oraz budową nowych systemów o zasięgu regionalnym, jak THURAYA dla obszaru Afryki i Środkowego Wschodu, ACES dla obszaru Chin i Indii. Przewiduje się również budowę podobnych systemów dla pokrycia zapotrzebowań mieszkańców Ameryki Południowej i Australii.

System satelitarny Inmarsat obejmuje szereg satelitów umieszczanych stopniowo na orbicie geostacjonarnej, oznaczonych coraz to wyższymi numerami (od roku 1995 są to satelity INMARSAT-3) i odznaczających się coraz lepszymi wskaźnikami technicznymi. Pod względem formalnym ważnymi wydarzeniami było podpisanie w roku 1976 konwencji o utworzeniu systemu łączności satelitarnej dla potrzeb morskich oraz sprywatyzowanie systemu w 1999 roku, przy czym rolę operatora systemu przyjęła nowa organizacja pod nazwą IMSO (*International Maritime Satellite Organization*). System został przewidziany do celów radiokomunikacji morskiej, ale stopniowo zaczął być wykorzystywany w coraz szerszym zakresie przez ruchomą łączność lądową i lotniczą. W jej skład wchodzi stacje centralne (zwane często stacjami brzegowymi), satelity oraz urządzenia końcowe naziemne w postaci stacji przesyłnych lub noszonych.

System jest wykorzystywany przez około 170 krajów do celów cywilnych oraz wiele krajów i organizacji wojskowych do potrzeb militarnych. Wchodzi również w skład międzynarodowego systemu bezpieczeństwa i zapobiegania zagrożeniom GMDSS.

W ostatnim czasie Inmarsat zaproponował możliwość realizowania szerokopasmowych połączeń w ramach regionalnych sieci satelitarnych BGAN (*Broadband Global Area Network*), w których połączenia mogą być realizowane za pomocą przenośnych urządzeń końcowych o maksymalnej przepływności 144 kbit/s przy zastosowaniu protokołu IP, czyli o szybkości większej niż w istniejących systemach komórkowych. Warto zaznaczyć, że pierwsze kilkaset sztuk tego typu urządzeń końcowych zakupiły małe kraje nadbałtyckie byłego bloku wschodniego oraz regionalne ośrodki w Rosji. Operator systemu przewiduje znaczne zainteresowanie innych krajów Europy Wschodniej oraz krajów Bliskiego Wschodu.

Inmarsat uruchomił również nową służbę łączności internetowej „SWIFT 64” dla samolotów pasażerskich, umożliwiając z pokładu transmisję z szybkością 64 kbit/s. Służba ta jest stopniowo wprowadzana do eksploatacji na samolotach Boeing i Airbus. Pasażerowie mogą korzystać z połączeń poprzez odpowiednie urządzenia interfejsowe przy wykorzystaniu własnych aparatów.

Wszystkie wymienione systemy, jak również szereg innych o zastosowaniach lokalnych zamierzają stopniowo przechodzić z wykorzystania satelitów na orbicie GEO na satelity rozmieszczone na różnego typu orbitach MEO (z punktu widzenia liczby orbit, ich nachylenia względem płaszczyzny równika i liczby wykorzystywanych satelitów). Pozwoli to na znaczne polepszenie warunków transmisji, zwłaszcza dla indywidualnych użytkowników. Postęp technologiczny zaś doprowadzi do stosowania urządzeń końcowych o strukturach przewidywanych w systemach LEO.

Szczególnym przypadkiem jest system HAP będący na granicy między systemami linii radiowych i linii satelitarnych. Stacje retransmisyjne są umieszczone na nieruchomym sterowcu (sterowany balon) lub samolocie krążącym w obszarze o niewielkim promieniu w stratosferze na wysokości od kilkunastu do kilkudziesięciu kilometrów od powierzchni Ziemi. W przypadku sterowców istnieje potrzeba wyposażenia ich w niewielkie silniki do korekcji zmian położenia na skutek wiatru, co pozwala na pracę ich bez kontroli przez okres kilku miesięcy. Natomiast samoloty krążące po okręgu o średnicy kilku kilometrów musiałyby zmieniać się co $8 \div 12$ godzin.

Brany pod uwagę obszar działania systemu miałby średnicę kilkudziesięciu kilometrów. Statek powietrzny mógłby być wykorzystywany do wielu celów, dla radiodyfuzji, połączeń stacji lokalnych ze stacją centralną, połączeń stacji bazowych radiokomunikacji ruchomej itp. Przewiduje się pracę z wieloma wiązkami obejmującymi obszary o różnym natężeniu ruchu. Zasadnicze zastosowania, to objęcie dość szerokim zasięgiem łączności obszarów pozbawionych innych możliwości połączeń, realizacja systemów zastępczych w razie awarii i zagrożeń oraz jako dodatkowy środek łączności do obsługi dużych metropolii, zwłaszcza stacjonarnych i ruchomych abonentów telefonicznych. System jest jeszcze w sferze planowania i dotychczas realizowano tylko systemy eksperymentalne, ale sprawa traktowana jest poważnie, o czym świadczą dokumenty i postanowienia ITU, dotyczące możliwości wykorzystania wydzielonych pasm częstotliwości i zastosowania systemu jako uzupełnienia systemu IMT/2000.

Warunki koegzystencji systemów GSO i NGSO

Regulamin Radiokomunikacyjny zezwala na wykorzystywanie w systemach GSO i NGSO części pasm częstotliwości Ku i Ka przewidzianych dla systemów łączności satelitarnej. Koegzystencja taka jest możliwa przy spełnieniu wielu szczegółowo określonych warunków, dotyczących dopuszczalnych gęstości mocy promieniowania, charakterystyk promieniowania anten, dopuszczalnych poziomów zakłóceń dla służb różnej ważności i stosowania w skrajnych przypadkach specjalnych metod redukcji wzajemnych zakłóceń oraz okresowej zmiany częstotliwości promieniowania, na przykład z satelitów NGSO w miarę przemieszczania się ich w stosunku do pozornie nieruchomych satelitów GSO, innych służb i systemów. Sprawy wzajemnych zakłóceń między systemami GSO i NGSO są przy tym znacznie bardziej skomplikowane niż w przypadku wzajemnego oddziaływania systemów GSO i systemów na powierzchni Ziemi, ze względu na swój zmienny charakter. Zmienność ta dotyczy zarówno czasu, jak przestrzeni i nie mogą być w tym przypadku stosowane metody koordynacji opracowane dla systemów GSO, lecz trzeba każdorazowo szczegółowo zagadnienia te analizować w zależności od konkretnych struktur i parametrów systemów NGSO. Należy uwzględniać zwłaszcza fakt, że w przypadku tych ostatnich systemów są to nie tylko zakłócenia na stacji naziemnej lub satelicie od satelity innego systemu, ale od wielu satelitów tego samego systemu, na przykład zwłaszcza satelitów krążących na tej samej orbicie, których obszary objęte promieniowaniem muszą się czasowo pokrywać przy przejmowaniu łączności (*handover*).

Sprawy związane z technicznymi metodami zmniejszania możliwości wzajemnych zakłóceń sprowadzają się do różnych metod zapobiegania okresowego pokrywania się wiązek promieniowania obu systemów, pracujących przy wykorzystaniu wspólnych pasm częstotliwości. Zwykle polega to na zaprzestaniu promieniowania z danego satelity NGSO w momentach pokrywania się wiązek i przejmowaniu łączności przez innego satelitę tego samego systemu, przy zachowaniu tej samej częstotliwości lub zmiany chwilowej częstotliwości pracy danego satelity.

Procedury te są jednak związane z mniejszą efektywnością wykorzystania systemu NGSO, albo ze względu na zajęcie dodatkowych pasm częstotliwości, albo konieczność stosowania większej liczby satelitów. We wszelkich rozważaniach na temat kompatybilności systemów GSO i NGSO należy brać pod uwagę takie czynniki, jak: charakterystyki promieniowania anten stacji pokładowych i satelitarnych oraz możliwość ich okresowej zmiany, rodzaje i liczbę podlegających rozważaniu systemów NGSO, stosowanie anten wielowiązkowych oraz ewentualnie sposób ich sterowania. Natomiast wpływ szkodliwości tych samych nawet poziomów zakłóceń zależy od stosowanych metod transmisji, zwłaszcza wielokanałowego dostępu i kodowania.

Metody transmisji analogowej i cyfrowej

Transmisja i przetwarzanie sygnałów mogą się odbywać na płaszczyźnie analogowej lub cyfrowej, przy czym transmisja cyfrowa jest coraz bardziej szeroko stosowana ze względu na następujące zalety:

- przetwarzanie cyfrowe pozwala na większą elastyczność manipulowania sygnałem i zmniejszenie wpływu zakłóceń;
- można uzyskać wysoką jakość transmisji przy mniejszych mocach nadawania, co jest szczególnie ważne z punktu widzenia satelity;
- można stosować stosunkowo łatwo metody kompresji sygnałów, umożliwiając lepsze wykorzystanie pasm;
- rozwój technologiczny zmierza do transmisji i przetwarzania cyfrowego.

Stosowane metody przetwarzania sygnałów analogowych na cyfrowe obejmują znane metody kodowania PCM, DPCM, DM i ADPCM. Do przesyłania większej liczby informacji w tym samym kanale radiowym stosuje się metody zwielokrotnienia częstotliwościowego FDM, czasowego TDM lub kombinację obu metod. Dla polepszenia jakości transmisji, zwłaszcza sygnałów wizji i fonii, stosuje się metody kompresji, emfazy i kompandowania.

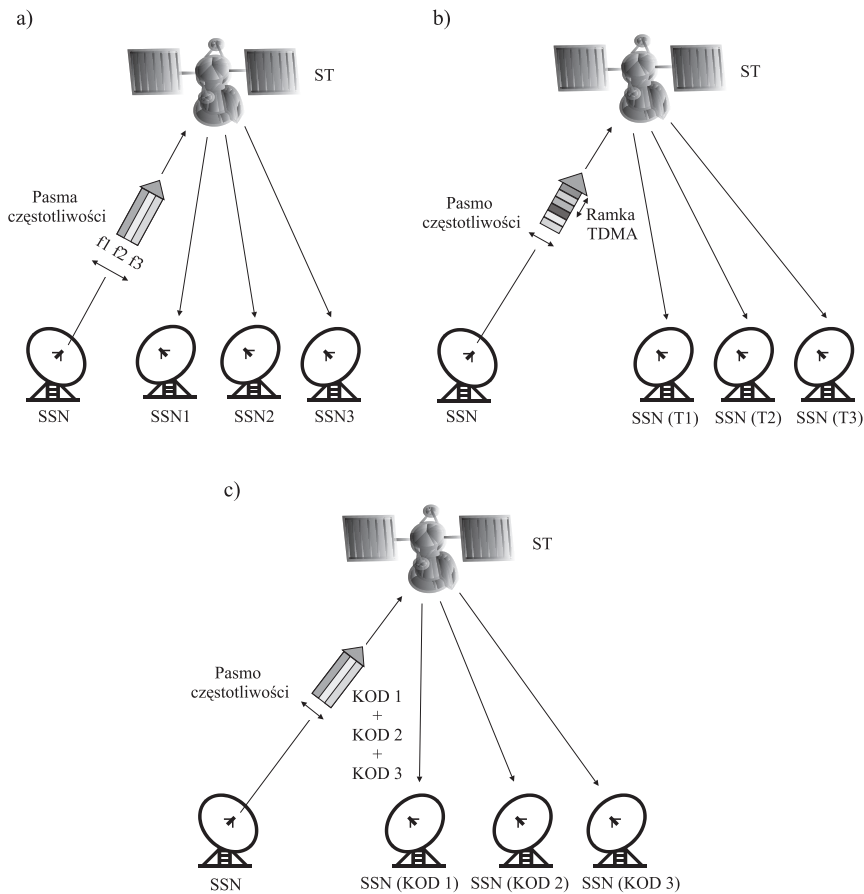
Transmisja sygnałów cyfrowych może się odbywać na zasadzie wielopoziomowego kluczowania fazy, częstotliwości lub amplitudy fali nośnej, przy czym obecnie najczęściej stosuje się różne typy kluczowania fazy, na przykład QPSK, 8 – PSK, 16 – PSK lub kluczowanie amplitudy 16 QAM i 64 QAM. Zagadnienie doboru optymalnej metody kluczowania ma istotne znaczenie ze względu na wykorzystanie dysponowanego pasma (im wyższy stopień kodowania, tym lepsze wykorzystanie, ale jednocześnie wyższe wymagania co do precyzji przesyłania i synchronizacji sygnałów zmuszające do zwiększenia stosunku sygnału do szumów), odporność na zakłócenia i zaniki oraz warunki użytkowania systemu. Ostatnio zainteresowano się również stosowaniem kompatybilnych metod kluczowania, na przykład kluczowania amplitudowo-fazowego APK.

Bardzo ważnym zagadnieniem, dotyczącym zresztą i innych systemów łączności, jest zrealizowanie efektywnych metod kodowania przy samym źródle sygnału i określenie optymalnych metod dla różnych rodzajów tego sygnału.

Dostęp wielokrotny i asynchroniczna metoda transmisji

W celu umożliwienia równoczesnej pracy wielu stacji naziemnych ze wspólnym satelitą stosuje się metodę wielokrotnego dostępu, w której każda ze stacji, w sposób stały lub na żądanie, wykorzystuje do transmisji tylko niewielką część zdolności retransmisyjnych satelity w postaci szczeliny czasowej, częstotliwościowej lub kodowej. Typowym przykładem takiego zastosowania jest praca w jednym kanale radiowym wielu małych stacji naziemnych, nadawczo-odbiorczych lub tylko odbiorczych typu VSAT. Każda ze stacji może odbierać albo wszystkie nadawane sygnały i wydzielać tylko jej potrzebne lub jest przystosowana tylko do odbioru sygnałów dla niej przeznaczonych. Satelita pełni więc rolę głównego punktu węzłowego, współpracującego albo bezpośrednio z wieloma indywidualnymi użytkownikami, albo grupowymi użytkownikami za pośrednictwem nieco większych stacji naziemnych, obsługujących większą liczbę użytkowników za pomocą lokalnej sieci radiowej lub przewodowej typu LAN.

System umożliwia zarówno rozsyłanie informacji z centralnych źródeł, jak i realizację połączeń między określonymi użytkownikami na stałe lub okresowo na żądanie (DAMA) w sposób regulowany i sterowany przez stację centralną. W zależności od istniejących bilansów energetycznych w systemie stacja ta bierze albo cały czas udział w realizacji połączeń, albo tylko w trakcie ich zestawienia (i wystawienia rachunków).



Rys. 4. Dostęp wielokrotny z podziałem: a) częstotliwościowym FDMA; b) czasowym TDMA; c) kodowym CDMA

Rozróżniamy trzy metody dostępu (rys. 4), a mianowicie:

- FDMA, w którym każda stacja naziemna pracuje w wydzielonym, wąskim kanale radiowym;
- TDMA, w którym każda stacja naziemna pracuje w wydzielonej szczelinie czasowej we wspólnym szerokopasmowym kanale radiowym;
- CDMA, w którym wszystkie stacje pracują przy wykorzystaniu wspólnej fali nośnej i wspólnego pasma na zasadzie stosowania różnych kodów transmisji, jest to tzw. technika widma rozproszonego z zastosowaniem nieskorelowanych kodów, z których każdy charakterystyczny jest tylko dla konkretnej stacji.

Do transmisji różnego rodzaju sygnałów cyfrowych, zwłaszcza w systemie jednokierunkowej transmisji do wielu użytkowników, który zwrotne połączenia interaktywne realizuje na innej drodze, coraz częściej są wykorzystywane kanały radiowe przewidziane w zasadzie do transmisji sygnałów telewizji cyfrowej typu MPEG. Zapewnia to zarówno możliwość oglądania telewizji, jak i odbiór informacji na komputerze przez dostawienie do typowego urządzenia odbiorczego telewizji satelitarnej dodatkowego urządzenia zwanego popularnie *top-set-box*.

W systemach przystosowanych do transmisji sygnałów cyfrowych o dużej szybkości transmisji, zwłaszcza w sieciach szerokopasmowych do potrzeb multimedialnych i internetowych, jest stosowany asynchroniczny typ pracy ATM. Umożliwia on transmisję i komutację dowolnego rodzaju sygnałów o różnych szybkościach transmisji dzięki zastosowaniu zasady podziału takich sygnałów na stałe pakiety cyfrowe i ich asynchronicznej multipleksacji z podziałem czasu. Wykorzystanie mechanizmów zwielokrotniania i komutacji pakietów umożliwia doprowadzenie do wielu różnych użytkowników informacji pochodzących z wielu różnych źródeł. Przesyłany zwielokrotniony strumień informacji zawiera krótkie bloki sygnałów cyfrowych o jednakowej długości, zwane komórkami, co pozwala na transmisję na zasadzie „każdy z każdym” przy zastosowaniu standardowych urządzeń komutacyjnych, niezależnie od rodzaju przesyłanego sygnału. Równoczesne nadawanie informacji z wielu źródeł jest możliwe dzięki temu, że komórki pochodzące od różnych użytkowników tworzą wspólny strumień, przy czym nie jest wymagane zachowanie ciągłości informacji pochodzącej z każdego źródła. Jedyną wadą systemu w odniesieniu do transmisji internetowych, wymagającą ciągle wprowadzania zmian i uzupełnień, jest trudność ze stosowaniem w połączeniach satelitarnych protokołów transmisji TCP/IP, obowiązujących w konwencjonalnych sieciach. Powodem tego jest znaczne, dodatkowo w wielu przypadkach zmienne, opóźnienie czasowe, zmiany tłumienia trasy oraz zmiany częstotliwości na skutek efektu Dopplera. Prowadzone są badania w tym zakresie zmierzające albo do konwersji protokołów przy przechodzeniu transmisji z linii ziemskich na satelitarne, albo wprowadzanie nowego uniwersalnego protokołu, który mógłby być stosowany w obu rodzajach systemów.

W dobie dążenia do rozszerzenia usług internetowych zwłaszcza w obszarach wiejskich, celowe jest wykorzystanie satelitów do tworzenia sieci dostępowych i szkieletowych, na ogół silnie zintegrowanych. Sygnały nadawane z małych stacji końcowych są przesyłane przez satelity z przetworzeniem sygnałów do pośredniczących stacji naziemnych *gateway* i dalej do indywidualnych adresatów za pośrednictwem normalnej ziemskiej sieci telekomunikacyjnej.

Wymagane przepływności szerokopasmowych satelitarnych systemów multimedialnych i ich dostępność

Na podstawie danych doświadczalnych, w rozważaniach nad wymaganą przepływnością przyjmuje się zazwyczaj zależność o postaci:

$$\text{Przepływność [kbit/s]} = x \cdot y \cdot Q \cdot K$$

gdzie:

x – przewidywana przepływność na jednego abonenta;

y – całkowita liczba potencjalnych abonentów;

Q – współczynnik obciążenia systemu:

0,1 dla abonentów domowych (*unicast*),

0,07 dla abonentów domowych (*multicast*),

0,25 dla abonentów przemysłowych (*unicast*),

0,20 dla abonentów przemysłowych (*multicast*);

K – współczynnik określający prawdopodobieństwo równoczesnej pracy:

0,1 dla abonentów domowych,

0,2 dla abonentów przemysłowych.

Tabl. 1. Czas potrzebny do przesyłania różnego rodzaju sygnałów dla indywidualnych abonentów i dla grupy przy przepływności 512 kbit/s

Przesyłanie sygnałów na zasadzie <i>point-to-point</i> [godz.]								
Megabajty	Liczba użytkowników							
	10	50	100	500	1000	1500	2000	5000
1	0,04	0,22	0,43	2,17	4,34	6,51	8,68	21,70
5	0,22	1,09	2,17	10,85	21,70	32,55	43,40	108,51
10	0,43	2,17	4,34	21,70	43,40	65,10	86,81	217,01
20	0,87	4,34	8,68	43,40	86,71	130,21	173,61	434,03
50	2,17	10,185	21,70	108,51	217,01	325,52	434,03	1085,07
100	4,34	21,70	43,40	217,01	434,03	651,04	868,06	2170,14
200	8,68	43,40	86,71	434,03	868,06	1302,08	1736,11	4340,28
300	13,01	65,10	130,21	651,04	1302,08	1953,13	2604,17	6510,42
Przesyłanie sygnałów na zasadzie <i>point-to-multipoint (multicast)</i> [min.]								
Megabajty	Liczba użytkowników							
	10	50	100	500	1000	1500	2000	5000
1	0,2604	0,2604	0,2604	0,2604	0,2604	0,2604	0,2604	0,2604
5	1,3021	1,3021	1,3021	1,3021	1,3021	1,3021	1,3021	1,3021
10	2,6042	2,6042	2,6042	2,6042	2,6042	2,6042	2,6042	2,6042
20	5,2083	5,2083	5,2083	5,2083	5,2083	5,2083	5,2083	5,2083
50	13,0208	13,0208	13,0208	13,0208	13,0208	13,0208	13,0208	13,0208
100	26,0417	26,0417	26,0417	26,0417	26,0417	26,0417	26,0417	26,0417
200	52,0833	52,0833	52,0833	52,0833	52,0833	52,0833	52,0833	52,0833
300	78,1250	78,1250	78,1250	78,1250	78,1250	78,1250	78,1250	78,1250

Niezawodność pracy A całej linii satelitarnej jest określona następującą zależnością:

$$A_{\text{sys.sat}} = A_{\text{propag}} + A_{\text{stacja naziemna 1}} + A_{\text{stacja naziemna 2}} + A_{\text{satelita}}$$

A_{propag} – uwzględnia zaniki i interferencje i wynosi około 99,8% czasu dowolnego miesiąca,

$A_{\text{stacja naziemna}}$ – wyraża niezawodność sprzętu radiowego, nadawczego i odbiorczego systemu ziemskiego i wynosi około 99,95% (dla każdej stacji).

A_{satelita} – odnosi się do całego sprzętu pokładowego i wynosi około 99,99%.

Sumaryczna dostępność sprzętu wchodzącego w skład połączenia satelitarne, włącznie z wchodzącymi w skład łącza połączeniami ziemskimi, wynosi około 99,8%. Oznacza to, że jest ona równoważna niezawodności wynikającej ze zmian warunków propagacyjnych. W dokumentach międzynarodowych podaje się osiąganą sumaryczną dostępność linii satelitarnej w granicach 99,7% ÷ 99,8%, bez uwzględnienia możliwości rezerwowania, odbioru zbiorczego oraz konieczności stosowania ewentualnych przerw na utrzymanie sprzętu.

Zagadnienia związane z usprawnieniem zarządzania i zwiększeniem opłacalności eksploatacji systemów łączności satelitarnej

W celu zwiększenia wykorzystania obecnych i potencjalnych przepustowości istniejących oraz rozwijanych systemów łączności satelitarnej operatorzy tych systemów dążą do zwiększenia zakresu i zmniejszenia kosztów oferowanych usług, jak również do specjalizacji w rodzajach oferowanych usług dla zdobycia klientów o różnych potrzebach. Odnosi się to przede wszystkim do operatorów systemów z satelitami geostacjonarnymi o stałej renomie ponieważ operatorzy systemów z satelitami niskoorbitarnymi albo w ogóle nie weszli dotychczas na rynek (Skaybridge, Teledesic), albo po początkowym załamaniu z trudem zdobywają nowych klientów, którzy uzasadniliby ich istnienie (Iridium, Globalstar). Ponadto nieco inna jest sytuacja w odniesieniu do systemów i operatorów na rynkach amerykańskim i europejskim, ponieważ rządy amerykańskie są bardziej zainteresowane finansowym wsparciem rozwoju jakościowego i ilościowego systemów.

W każdym przypadku można przyjąć, że podstawowym zadaniem systemów łączności satelitarnej jest zaspokajanie na dużych obszarach potrzeb związanych z radiodyfuzją i dystrybucją sygnałów, przy czym w tym drugim przypadku coraz częściej idzie o szerokopasmowe systemy interaktywne, do realizacji których potrzebne są indywidualne małe stacje nadawczo-odbiorcze. Koszt takiej stacji wiąże się ściśle z wielkością produkcji, a ta z kolei z zapotrzebowaniem. Początkowe koszty jednostkowe urządzeń, około 1000 dolarów, zostały ostatnio obniżone do około 500 dolarów, a w najbliższym czasie nie powinny przekroczyć 300 dolarów. O ile taka suma, jak wykazują doświadczenia systemu Echo Star, nie jest zbyt wygórowana na rynku amerykańskim, o tyle w krajach europejskich stanowi już poważny wydatek i dlatego na przykład operatorzy systemu Eutelsat zwrócili się do rządów europejskich o partycypowanie w tych kosztach przez obniżenie podatków i innych opłat nakładanych na sprzedaż tych urządzeń lub też finansowanie prac badawczych w tym zakresie, podkreślając szczególną rolę cywilizacyjną jaką byłoby powszechne stosowanie tego typu urządzeń – głównie w obszarach wiejskich. Jednocześnie operatorzy systemów satelitarnych dążą do polepszenia współpracy technicznej i ekonomicznej z operatorami lokalnych sieci przewodowych w celu przewycięzenia problemu „ostatniej mili” lub nawet stają się właścicielami takich sieci odpowiedzialnymi za doprowadzenie sygnału do każdego indywidualnego użytkownika przez stosowanie wspólnych zbiorczych urządzeń nadawczo-odbiorczych. Innym krokiem naprzód jest wyposażenie satelitów, które dotychczas pracowały głównie przy wykorzystaniu zakresu częstotliwości Ku, w dodatkowe urządzenia w zakresie Ka.

Poważnym problemem rzutującym na koszty i odpowiedzialność za uruchomienie nowych systemów jest duża zawodność raket przeznaczonych do wprowadzenia satelitów na orbitę geostacjonarną, jak nieudane wystrzelenie rakiety Ariane w grudniu 2002 roku i strata specjalnie opracowanego nowego typu satelity Eutelsat, Hotbird.

Operatorzy systemów koncentrują się na różnych odbiorcach i różnych rozwiązaniach technicznych.

Operatorzy systemu Eutelsat dążą przede wszystkim do zaspokojenia potrzeb indywidualnych klientów przez rozbudowę radiodyfuzji i dystrybucji sygnałów do wielu użytkowników na dużych obszarach, przy zastosowaniu różnych konfiguracji stacji końcowych VSAT, dostarczając informacje od najprostszych typu przepowiednie pogody do szerokopasmowych transmisji o szybkościach do kilkuset kilobitów na sekundę.

Operatorzy systemu Intelsat są zainteresowani głównie połączeniami między operatorami dużych sieci oraz zaspokajaniem potrzeb klientów raczej zbiorowych niż indywidualnych. Jednym z podstawowych

założeń jest doprowadzenie do integracji sieci satelitarnych i ziemskich, oraz zarządzania nimi przez wspólnego operatora, z cichą nadzieją na stworzenie konkurencji dla sieci światłowodowych.

Operatorzy systemu Inmarsat, oprócz znanego zakresu dotychczas oferowanych usług dla klientów ruchomych i stacjonarnych, w końcu 2001 roku wprowadzili do użytku szerokopasmową służbę internetową oraz rozszerzyli zakres połączeń telefonicznych na obszary o mało rozbudowanych sieciach ziemskich, zastępując w dużym stopniu niezrealizowane dążenia systemów typu Iridium. Było to możliwe dzięki postępowi technologicznemu i pojawieniu się stosunkowo małych aparatów końcowych, nawet przy wykorzystywaniu satelitów geostacjonarnych.

Podobne zakresy specjalizacji dają się zauważyć na rynku amerykańskim, natomiast systemy obsługujące obszary Azji, a zwłaszcza Afryki, ze względu na duże potencjalne zapotrzebowanie, są bardziej uniwersalne i właściwie każdy rodzaj transmisji znajduje zapotrzebowanie.

Niezależnie od sposobu i rodzaju przesyłanych sygnałów w multimedialnych sieciach Internet, realizowanych za pośrednictwem satelitów coraz bardziej rozpowszechnia się magazynowanie sygnałów zarówno po stronie nadawczej – w centrali wytwarzania programów, jak i po stronie odbiorczej – w urządzeniach indywidualnych użytkowników. Doświadczenia amerykańskie wykazują, że jedynie około 20% programów jest przesyłane na żywo, około 30% jest magazynowane w centrali w celu nadania w odpowiednim momencie do wielu użytkowników w ściśle określonych okresach czasu i około 50% jest magazynowane w urządzeniach abonenckich w celu odtwarzania w odpowiednim dla użytkownika czasie. Umożliwia to znaczne oszczędzanie wykorzystywanego pasma, decydującego o kosztach połączenia, pozwalając albo obsłużyć wielu abonentów równocześnie, albo przysłać sygnały w okresach mniejszego obciążenia ruchu. Ponadto w przypadku przepływności linii za małej do przesyłania danego rodzaju sygnału „na żywo”, można przesłać go do urządzenia magazynującego abonenta w odpowiednio dłuższym czasie, a następnie odtwarzać z wymaganą jakością. Stosowane obecnie na rynku urządzenia zapisująco-magazynujące pozwalają na zapis danych o pojemnościach do 20 GBajtów przy wykorzystaniu twardych dysków i jedynym problemem jest odpowiednie skatalogowanie informacji, aby umożliwić użytkownikowi łatwe do nich „dotarcie” i odtworzenie w odpowiedni sposób.

Podsumowanie

Systemy łączności satelitarnej przestały być traktowane jako mało ważne uzupełnienie sieci telekomunikacyjnych i obecnie stanowią znaczną, a w wielu przypadkach przeważającą część szerokopasmowych sieci. Zastosowania obejmują nie tylko dalekosiężne systemy łączności globalnej i regionalnej, ale również połączenia o charakterze lokalnym, zwłaszcza w krajach o słabej strukturze telekomunikacyjnej, na przykład do połączeń ze sobą lokalnych sieci LAN, połączeń stacji bazowych w systemach radiokomunikacji ruchomej itp. O zastosowaniu systemu ziemskiego lub satelitarnego decydują obecnie wyłącznie względy organizacyjne i finansowe. Zagadnienie, który system jest lepszy, zarówno z punktu widzenia niezawodności, jak i jakości transmisji, stało się kwestią drugoplanową. Każdy z systemów ma swoje wady i zalety, które należy brać pod uwagę w konkretnym przypadku projektowania i zastosowania.

Literatura

- [1] Bem D.: *Rola satelitów we współczesnej telekomunikacji*. Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne, 2002, nr 8 i 9
- [2] Dzierżak W., Raczek T.: *TPSA Centrum Usług Satelitarnych w Psarach*. Telcom Forum, 1999, nr 10

- [3] Hołubowicz W., Matuszczak P.: *Co nowego w technice satelitarnej*. Świat Telekomunikacji, 1995, nr 10
- [4] Jansky D.: *The challenge of satellite communications at WRC-03*. ITU News, 4/2003
- [5] Kirtay S.: *Broadband satellite system technologies for effective use of the 12–30 GHz radio spectrum*. Electronics and Communication Engineering Journal, April 2002
- [6] Le-Ngoc T. i inni: *Interactive multimedia satellite access communications*. IEEE Communications Magazine, July 2003
- [7] Zygierewicz J.: *Gdziekolwiek jesteś*. Świat Telekomunikacji, 1995, nr 1
- [8] Zygierewicz J.: *Satelite a Internet*. Telcom Forum, 1999, nr 9 i 10
- [9] Zygierewicz J.: *Satelite niegeostacjonarne NON-GSO*. Telcom Forum, 2000, nr 5
- [10] Zygierewicz J.: *System IMT/2000*. Telcom Forum, 2000, nr 3
- [11] Zygierewicz J.: *Systemy łączności satelitarnej*. Telcom Forum, 1996, nr 1
- [12] Zygierewicz J.: *Systemy satelitarne VSAT*. Świat Telekomunikacji, 1995, nr 10
- [13] Zygierewicz J.: *Sieć satelitarna systemu UMTS*. Radioelektronik, 2001, nr 10 i 12
- [14] Zygierewicz J.: *Tani Internet z satelity*. Telcom Forum, 2001, nr 1
- [15] Zygierewicz J.: *Usługi multimedialne i Internet w sieciach satelitarnych*. Telcom Forum, 2000, nr 2
- [16] Zygierewicz J.: *Zagadnienia związane z transmisją sygnałów ATM w liniach satelitarnych*. Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne, 2000, nr 4

Janusz Zygierewicz



Dr inż. Janusz Zygierewicz – absolwent Wydziału Łączności Politechniki Warszawskiej (inż. – 1951, mgr inż. – 1995, dr inż. – 1968); pracownik Instytutu Łączności od 1951 r.; powołany na stanowisko docenta w 1973 r.; kierownik Zakładu Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji w latach 1982–1995; wieloletni wykładowca na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej i członek Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN; autor książki i kilkudziesięciu artykułów na temat różnych aspektów łączności satelitarnej i mikrofalowych linii radiowych.