

BIBLIOTEKA
POLSKIEGO KRÓTKOFALOWCA

7

KRZYSZTOF DĄBROWSKI
OE1KDA

PACKET RADIO

WIEDEŃ 2011

© Krzysztof Dąbrowski OE1KDA
Wiedeń 2011

Opracowanie niniejsze może być rozpowszechniane i kopiowane na zasadach niekomercyjnych w dowolnej postaci (elektronicznej, drukowanej itp.) i na dowolnych nośnikach lub w sieciach komputerowych pod warunkiem nie dokonywania w nim żadnych zmian i nie usuwania nazwiska autora.

Na rozpowszechnianie na innych zasadach konieczne jest uzyskanie pisemnej zgody autora.

Packet radio

Krzysztof Dąbrowski OE1KDA

Wydanie 1
Wiedeń, listopad 2011

Spis treści

WSTĘP.....	6
ROZDZIAŁ 1. WIADOMOŚCI OGÓLNE.....	8
Sygnały cyfrowe	8
Rodzaje transmisji.....	9
Parametry transmisji.....	9
Złącze szeregowo	10
Błędy transmisji	10
Protokoły	11
Model ISO	11
Systemy modulacji.....	12
Modulacja podnośnej akustycznej.....	12
Modulacja sygnału w.cz.....	13
Protokół AX.25.....	15
Sieć Packet Radio	17
Przełączniki cyfrowe	17
Stacje węzłowe	17
Skrzynki elektroniczne.....	19
ROZDZIAŁ 2. WYPOSAŻENIE.....	21
Modemy TNC i PTC	21
TNC-2	22
Oprogramowanie.....	22
Obsługa TNC-2	23
Połączenie TNC z komputerem	25
Połączenie TNC z radiostacją.....	26
Przełączenie nadawanie-odbiór	27
Wyjście głośnikowe	27
Blokada szumów	28
Sygnał wyjściowy modemu	28
Modele.....	29
Rodzina PK-232	30
TNC-3	31
TNC zawarte w radiostacjach	32
Rodzina PTC.....	33
Modem dźwiękowy	33
Programy terminalowe.....	35
Paxon	36
Flexnet i sterowniki sprzętowe.....	37
ROZDZIAŁ 3. HAMNET	40
Łączy sieci	42
Dostęp dla stacji indywidualnych.....	44
Stan sieci w Europie.....	47
ROZDZIAŁ 4. ROBUST PACKET RADIO	50
INSTRUKCJA DO PROGRAMU PAXON	54
Wstęp.....	55
Instalacja	55
Uruchomienie	56
Dalsze karty konfiguracyjne	60
Pierwsze kroki	65
Obsługa	66

Okno główne.....	66
Menu.....	67
Pasek narzędziowy.....	67
Okno odbiorcze	68
Okno nadawcze	68
Pasek kanałów	68
Okno monitora.....	69
Linia informacyjna.....	69
Łączności ze skrzynkami elektronicznymi	69
Zdalne sterowanie	70
Transmisja plików	71
Transmisja tekstów	74
Baza danych	75
Metasymbole.....	77
Rozkazy dla sterowników TNC.....	78
INSTRUKCJA DO PROGRAMU FLEXNET	79
Wstęp.....	80
Instalacja do pracy emisją AX.25	81
Konfiguracja do pracy AX.25.....	82
Sterowniki sprzętowe Flexnetu	84
Sterowniki dodatkowe.....	85
Sterownik dla modemu dźwiękowego	85
Konfiguracja TCP/IP pod Windows 9x.....	87
Konfiguracja TCP/IP pod Windows XP	92
Trasy połączeń	94
Hierarchia tras AX.25	96
Wykorzystanie programu.....	97
Dodatkowe programy pakietu FlexNet32.....	97
Połączenie komputera z radiostacją.....	99

Wstęp

System Packet-Radio jest oparty o protokół AX.25 będący przystosowaną do potrzeb krótkofalarskich wersją profesjonalnego protokołu X.25. System ten został opracowany na początku lat 1980-tych a od połowy dekady był już powszechnie stosowany w wielu krajach świata. Jest to więc jeden z najdłużej używanych w krótkofalarstwie systemów cyfrowej transmisji danych. Dłużej od niego w użyciu były jedynie amatorskie dalekopisy (RTTY) i Amtor.

W odróżnieniu od RTTY, PSK31 i innych cyfrowych systemów łączności dane w systemie packet radio nie są przesyłane w sposób ciągły a dzielone na bloki danych o ściśle ustalonej strukturze – tzw. pakiety (podobnie jak w internecie gdzie pakiety takie noszą nazwę datagramów). Dla umożliwienia wykrycia i skorygowania przekłamań transmisji pakiety te zawierają obliczaną w specjalny sposób sumę kontrolną. W jednym z dwu podstawowych sposobów łączności stacje korespondentów nawiązują ze sobą połączenie, w trakcie którego wymieniają między sobą pakiety numerowane i w zależności od tego czy zostały one prawidłowo odebrane czy też nie kwitują ich otrzymanie albo żądają powtórzenia pakietu. W drugim trybie pracy wymieniane są pakiety nienumerowane, które też nie są ani kwitowane ani powtarzane. Tryb ten może służyć do nadawania informacji przeznaczonej dla szerszego grona odbiorców (rozgłaszania) i w ten właśnie sposób jest wykorzystywany w systemie APRS. Pakiety nienumerowane mogą przenosić dowolne informacje m.in. pod nadzorem protokołów wyższego rzędu i są w ten sposób wykorzystywane w amatorskich transmisjach TCP/IP.

Dla zwiększenia zasięgu stacji (emisja packet radio jest stosowana głównie na UKF-ie) każda ze stacji może dodatkowo do prowadzenia własnej łączności retransmitować pakiety innych stacji. W miarę wzrostu liczby użytkowników metoda ta okazała się niewystarczająca dlatego też z biegiem lat powstały sieci specjalnych przekaźników cyfrowych (ang. *digipeater*) i inteligentnych węzłów (ang. *node*) retransmitujących dane w sposób bardziej efektywny. Stacje te są połączone między sobą za pośrednictwem łączy radiowych a niektóre z nich (tzw. bramki internetowe) korzystają również z łączy internetowych. Pozwala to na osiągnięcie zasięgów światowych podobnie jak w łącznościach fonicznych w sieciach Echolinku i D-Star.

Cyfrowe stacje przekaźnikowe i bramki internetowe występują także w sieci APRS i pozwalają na śledzenie w internecie na bieżąco pozycji nawet odległych stacji. W miarę rozbudowy sieci przemienników D-Star jego cennym uzupełnieniem staje się cyfrowy system D-PRS. Dzięki bramkom internetowym (ang. *gateway*) meldunki D-PRS są dostępne w tych samych witrynach internetowych co i meldunki APRS (np. aprs.fi).

Ponieważ pakiety AX.25 zawierają znaki wywoławcze nadawcy i adresata możliwe jest prowadzenie w tym samym kanale fizycznym (radiowym) większej liczby łączności równoległe. Każda z nich odpowiada oddzielnemu kanałowi logicznemu (kanałowi wirtualnemu).

Znacznego przyspieszenia wymiany danych w sieci AX.25 (packet radio) można oczekiwać po uruchamianych obecnie w niektórych krajach łączach hamnetowych. W pierwszej fazie rozbudowy sieć Hamnetu zapewni szybsze połączenia nie tylko między cyfrowymi przemiennikami packet radio ale również i przemiennikami fonicznymi Echolinku i D-Star. Oprócz tego pozwoli ona na korzystanie z szeregu innych dodatkowych usług jak np. dostęp radiowy do amatorskich serwerów www i skuteczniejszą wymianę poczty elektronicznej. W późniejszej fazie rozbudowy przeważająca część użytkowników będzie mogła korzystać z bezpośredniego szybkiego dostępu do sieci zamiast typowych obecnie kanałów dostępowych o szybkościach transmisji 1200 i 9600 bit/s. Zapewne jednak w okresie przejściowym przez dłuższy czas obie sieci będą istniały równoległe obok siebie. Częstotliwości dostępu do klasycznej sieci packet radio leżą obecnie przeważnie w pasmach 2 m i 70 cm (w niektórych krajach likwiduje się dostęp w paśmie 2 m) a kanały łączy od 70 cm wzwyż. Łącza sieci Hamnetu leżą natomiast już obecnie w paśmie 6 cm a kanały wejściowe w pasmach 13 i 6 cm. Wyższe częstotliwości pracy pozwalają z jednej strony na korzystanie z kanałów o większej szerokości pasma i dzięki temu z wyraźnie większych szybkości transmisji ale jednocześnie uzyskiwane zasięgi stacji są znacznie mniejsze co wymaga budowy sieci o większej gęstości.

W zakresie fal krótkich w łącznościach AX.25 od początku stosowana była przepływność 300 bit/s jednak w praktyce emisja packet radio nie zdała egzaminu w tych pasmach głównie z powodu przekłamań

spowodowanych odbiorem wielodrożnym. Jest on obecnie stosowany w niewielkim zakresie w daleko-
siężnych łączach packet radio i w transmisji APRS. Opracowany przed kilku laty przez firmę SCS
udoskonalony system „Robust Packet Radio” daje jednak w pasmach krótkofalowych znacznie lepsze
rezultaty.

Ważnym elementem amatorskiej sieci AX.25 (packet radio) były przez długi czas elektroniczne skrzyn-
ki pocztowe (ang. *BBS*) umożliwiające zarówno wymianę prywatnych listów elektronicznych jak i wia-
domości lub biuletynów przeznaczonych dla szerokich kręgów odbiorców. W ostatnim czasie ze wzglę-
du na powszechne wykorzystanie internetu ich znaczenie trochę zmalało. Być może sytuacja ta ulegnie
zmianie po upowszechnieniu się amatorskich usług typu internetowego w wyniku rozbudowy sieci
Hamnetu.

Innym rozpowszechnionym w sieci packet radio rodzajem automatycznych stacji były specjalne skrzyn-
ki typu *dx-cluster* przeznaczone do rozpowszechniania informacji DX-owych i dotyczących propagacji
fal radiowych. Również i one w wyniku rozpowszechnienia się dostępu do internetu przeniosły się tam
i tylko część jest połączona z siecią packet radio.

Swego rodzaju konkurencją dla sieci packet radio może stać się w miarę rozbudowy sieci system D-
Star. Pozwala on również i na transmisję danych, równoległe do cyfrowej transmisji głosu, i to przy wy-
korzystaniu tych samych przemienników i radiostacji bez żadnego wyposażenia dodatkowego poza
komputerem. Uzyskiwane efektywne szybkości transmisji są zbliżone do najczęściej spotykanych w ka-
naach wejściowych sieci packet radio i są w wielu przypadkach wystarczające zarówno do przekazy-
wania tekstów jak i obrazów w stylu SSTV.

Niektóre koncepty stanowiące podstawę systemu packet radio legły także u podłoża opracowanego
później systemu Pactor.

W opracowaniu wykorzystano fragmenty książki „Nie tylko fonia i CW” autorstwa OE1KDA zacho-
wując stosowaną tam numerację ilustracji i niektóre podpisy.

Ze względu na obszerność tematu systemowi APRS zostanie poświęcona oddzielna publikacja.

Tom obecny zawiera tłumaczenia instrukcji do niektórych popularnych programów nadawczo-dbior-
czych dla packet radio. Zamieszczenie we wspólnym opracowaniu kilku instrukcji powoduje, że nie-
które zawarte w nich informacje powtarzają się. Autor zrezygnował jednak z ich usuwania aby ułatwić
czytelnikom korzystanie z wybranych instrukcji bez konieczności szczegółowego zapoznania się
z opisami nie używanych przez nich programów.

Krzysztof Dąbrowski OE1KDA
Wiedeń
Listopad 2011

Rozdział 1. Wiadomości ogólne

Transmisja informacji w postaci cyfrowej nie jest zasadniczo nowością. W początkowym okresie, jeszcze przed rozpowszechnieniem się telefonu i radiowych łączności fonicznych stosowana była telegrafia Morse'a. Następnym, do dziś rozpowszechnionym systemem była transmisja dalekopisowa a także transmisje faksymile i Hella. Systemy łączności fonicznych rozwinęły się dopiero w nieco późniejszym okresie – częściowo wypierając lub ograniczając znaczenie telegrafii. Obecnie w związku z rozpowszechnieniem się komputerów systemy łączności cyfrowych zyskują ponownie na znaczeniu. Z jednej strony opracowano nowsze i doskonalsze systemy łączności, z drugiej – techniki cyfrowe wkroczyły w dziedziny transmisji analogowych pozwalając na zastąpienie tradycyjnych metod generacji, filtracji i transmisji sygnałów przez ich cyfrowe przetwarzanie. Techniki te znane są jako cyfrowa obróbka sygnałów – COS. Cyfrowe metody transmisji pozwalają także na lepsze wykorzystanie widma częstotliwości i zwiększenie odporności transmisji na szумы i zakłócenia. Najbardziej rozpowszechnionym w krótkofalarstwie systemie w pełni cyfrowej transmisji głosu jest D-STAR.

Komunikacja telegraficzna i dalekopisowa uległy w ostatnich czasach daleko idącym przemianom. W związku ze wzrostem ilości informacji wymienianych w sieciach komputerowych lub ogólnie za pośrednictwem komputerów zostały one wyposażone w mechanizmy wykrywania i korekcji błędów i przekłamań transmisji przez dodanie odpowiednich sum kontrolnych, kwitowanie i w miarę potrzeby powtarzanie błędnie odebranych bloków danych (metoda ARQ; systemy X.25, AX.25 – packet radio), zastosowanie odpowiednich alfabetów (systemy ARQ – SITOR, AMTOR-A) albo dodawanie nadmiarowych danych korekcyjnych FEC czy też w najprostszym przypadku powtarzanie transmitowanych danych np. dwukrotnie (AMTOR-B, NAVTEX, PACTOR FEC).

Sygnały cyfrowe

W przeciwieństwie do techniki analogowej, w technice cyfrowej występują sygnały o jedynie dwóch poziomach logicznych i napięciowych: zero i jeden, co może przykładowo odpowiadać napięciom 0 V i 5 V albo +/-12 V. W układach komputerowych dane reprezentowane są za pomocą słów złożonych z 8, 16 lub 32 bitów i są przetwarzane równolegle tzn. wszystkie bity wchodzące w skład słowa są przetwarzane w tym samym momencie czasowym. Również przesyłanie danych na niewielkie odległości odbywa się często równolegle. Transmisja danych na większe odległości musi być jednak ze względów ekonomicznych i praktycznych dokonywana szeregowo tzn. bity wchodzące w skład słowa transmitowane są po kolei jeden po drugim. W emisji dalekopisowej w kodzie Baudota (RTTY) nadawane są słowa pięciobitowe, w innych – ośmiobitowe, zwane bajtami lub oktetami.

Dla zapewnienia prawidłowej komunikacji konieczne jest ustalenie pewnych norm. Po pierwsze niezbędne jest przypisanie literom alfabetu ustalonych ciągów zer i jedynek, czyli zdefiniowanie kodu. Najczęściej używanymi kodami są "Międzynarodowy Alfabet Telegraficzny Nr. 2", czyli kod Baudota, "Międzynarodowy Alfabet Telegraficzny Nr. 5" – kod ASCII oraz "Międzynarodowy kod telegraficzny CCITT Nr. 476" – kod AMTOR/SITOR. W systemach amatorskich stosowane są też specjalnie do tego celu opracowane alfabety o stałej lub zmiennej (*Varicode*) długości znaku. Poszczególne impulsy tworzące znak nazywane są bitami. Stanowią one jednocześnie podstawową jednostkę ilości przekazywanej informacji. Liczba bitów składających się na znak określa liczbę możliwych znaków zawartych w danym kodzie. Pięciobitowy kod Baudota składałby się więc z 32 znaków (2^5). Nie wystarcza to dla przedstawienia wszystkich liter alfabetu, cyfr i najważniejszych znaków przestankowych. Dlatego też zbiór znaków został podzielony na dwie grupy: grupę liter i grupę cyfr wraz ze znakami przestankowymi. Wybór grupy dokonywany jest za pomocą znaków przełączających. Efektywnie więc kod Baudota zawiera 62 znaki (2^6 , minus powtarzające się znaki przełączające).

Znak w kodzie ASCII składa się z ośmiu bitów, z których siedem zawiera właściwą informację, natomiast ósmy może być wykorzystywany do kontroli przekłamań transmisji. Liczba możliwych znaków wynosi więc 128. Oprócz liter (dużych i małych), cyfr i znaków przestankowych występują tam specjalne znaki sterujące. W technice komputerowej stosowany jest też rozszerzony kod ASCII o długości ośmiu bitów pozwalający na przedstawienie dodatkowych 128 znaków, najczęściej znaków graficznych i znaków alfabetów narodowych (znaków diakrytycznych). Ta część zbioru ASCII jest znormalizowana na wiele różnych sposobów.

Znak w kodzie AMTOR składa się wprawdzie z siedmiu bitów, ale w związku z przyjętym stałym stosunkiem zer do jedynek wynoszącym 3 : 4 liczba możliwych kombinacji wynosi 35, a zbiór znaków pokrywa się ze zbiorem kodu Baudota. Odbiór znaku o innym stosunku liczby zer do jedynek sygnalizuje wystąpienie przekłamania.

Rodzaje transmisji

Prawidłowy odbiór sygnałów cyfrowych wymaga aby stacja odbiorcza odczytywała stan sygnału w równomiernych odstępach czasu zależnych od przyjętej szybkości transmisji, a więc znajdowała się w synchronizmie ze stacją nadawczą.

Jednym ze sposobów zapewnienia synchronizacji stacji odbiorczej przez stację nadawczą jest poprzedzenie każdego znaku specjalnym bitem startu, na zakończenie nadawana jest pewna liczba bitów stopu (jest to transmisja asynchroniczna start-stop). W kodzie Baudota znak stopu ma czas trwania 1,5 raza większy od czasu trwania bitu, w kodzie ASCII – długość jednego lub dwóch bitów.

W systemach pakiet radio, AMTOR i PACTOR komunikacja odbywa się (mniej lub bardziej) synchronicznie, zbędne jest więc nadawanie bitów startu i stopu w każdym znaku, przy czym w systemie packet radio synchronizacja stacji odbiorczej dokonywana jest na początku pakietu i tylko jego zawartość transmitowana jest synchronicznie, natomiast komunikacja AMTOR i PACTOR jest w pełni synchroniczna (po zsynchronizowaniu się stacji na początku łączności pozostają one w synchronizmie aż do jej zakończenia).

Parametry transmisji

Jednym z najważniejszych parametrów transmisji jest szybkość wymiany danych w łączu. Dokładniej rzecz biorąc mamy tu do czynienia z dwiema wielkościami: szybkością modulacji wyrażaną w bodach i szybkością transmisji, której jednostką jest liczba bitów nadawanych w ciągu sekundy – bit/s (w literaturze angielskojęzycznej stosowane jest oznaczenie bps – *bit per second* nie odpowiada ono jednak normom stosowanym w innych krajach w tym również i w Polsce). Pojęcia te i obie jednostki są niestety często mylone i dlatego różnica pomiędzy nimi wymaga dokładniejszego omówienia. W przypadku bezpośredniego połączenia komputerów (za pomocą łącza kablowego) transmisja w całym łącu odbywa się z jednakową szybkością – obie wspomniane powyżej wielkości przyjmują tą samą wartość liczbową. Dopiero rozważenie wpływu modemów włączanych w kanał transmisyjny pozwala na zauważenie różnic. Szybkość przepływu strumienia danych pomiędzy komputerem i modemem odpowiada w dalszym ciągu szybkości transmisji i wyraża się w bit/s, natomiast szybkość przepływu danych pomiędzy modemami odpowiada odwrotności czasu trwania najkrótszego elementu transmitowanego w tym odcinku łącza (stanu łącza), nazywana jest szybkością modulacji. Ogólnie wielkości te przyjmują różne wartości, powiązane ze sobą według następującego wzoru:

$$R [\text{bit/sek}] = V [\text{bod}] * \log W / \log 2$$

gdzie R – szybkość transmisji, V – szybkość modulacji równa 1/T (T – czas trwania najkrótszego stanu), a W – liczba stanów przyjmowanych przez sygnał w łącu.

W systemach modulacji, w których każdemu z poziomów logicznych odpowiada dokładnie jeden stan sygnału wyjściowego modemu (przykładowo przyporządkowanie tonów znaku i odstępu (*mark* i *space*) w transmisji FSK – RTTY) obie szybkości są równe sobie liczbowo. W systemach, w których każdy ze stanów przyporządkowany jest grupie bitów (przykładowo w wielostanowej modulacji fazy – PSK lub wielostanowym kluczowaniu częstotliwości) szybkość modulacji jest mniejsza od szybkości transmisji. W systemie 4-stanowej modulacji fazy (W = 4) każdemu ze stanów odpowiada grupa dwóch bitów, a szybkość transmisji jest dwa razy większa od szybkości modulacji.

W radioamatorskich łącznościach dalekopisowych w kodzie Baudota najczęściej stosowane są szybkości modulacji 45,45 bodów (standard amerykański), 50 bodów (standard europejski), czasami także 75 i 100 bodów. W systemie AMTOR stosowana jest szybkość 100 bodów, a w systemie PACTOR I i II – 100 lub 200 bodów. Używana tu dwutonowa modulacja FSK powoduje, że szybkość transmisji jest równa liczbowo szybkości modulacji.

W łącznościach w kodzie ASCII używane są szybkości transmisji: 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 i 19200 bit/s, z tego w łącznościach amatorskich w systemie packet radio najczęściej występują szybkości 300 (KF), 1200, 9600, 19200 bit/s (UKF), 38,4 kbit/s, 56 kbit/s, 78,8 kbit/s, 115,3 kbit/s

i 1,2 Mbit/s (w zakresach mikrofalowych), a w łącznościach dalekopisowych – 110 bit/s. W tym przypadku podane są używane szybkości transmisji ze względu na zastosowanie różnych systemów modulacji.

Złącze szeregowe

Znormalizowana musi być również elektryczna reprezentacja poziomów logicznych zero i jeden, używane wtyki i znaczenie poszczególnych kontaktów we wtykach. W technice dalekopisowej poziom jedynek logicznej – znaku (ang. *mark*) – odpowiada przepływowi prądu o natężeniu ok. 20 mA, zeru – odstępowi (ang. *space*) – przerwa w przepływie prądu. Znana z techniki komputerowej norma RS-232C definiuje napięcie odpowiadające poziomowi znaku jako leżące w zakresie -25 do -3 V, a odstępowi – od +3 do +25 V. Norma RS-232C definiuje też sygnały występujące na wtyku i ich przypisanie do poszczególnych nóżek (kontaktów). Oprócz podstawowych sygnałów przenoszących informację nadawaną i odbieraną występują inne, których zadaniem jest sterowanie przebiegiem transmisji danych pomiędzy komputerami lub komputerem i urządzeniem peryferyjnym (modemem). Dla uproszczenia zostaną omówione tylko najważniejsze z nich. Sygnał RTS (nóżka 4 na wtyku 25-nóżkowym komputera, 7 na 9-nóżkowym) sygnalizuje rozpoczęcie nadawania danych przez komputer (jest to swego rodzaju przełączanie nadawanie-odbior), w stanie aktywnym na wyjściu występuje napięcie +12 V, to samo dotyczy dalszych sygnałów sterujących. Gotowość modemu (sterownika TNC dla pakietu radio) do odbioru danych sygnalizowana jest za pomocą sygnału CTS (odpowiednio nóżki 5 lub 8). Przełączając poziom sygnału CTS na -12 V modem TNC może więc wstrzymać transmisję danych z komputera np. w momencie wypełnienia bufora odbiorczego. Sygnał DSR (inna nazwa: modem ready, MR) informuje komputer lub terminal o włączeniu modemu, jest on często połączony z napięciem zasilania modemu (są to nóżki 6 w obu przypadkach). Sygnał DCD (nóżki 8 lub 1) informuje komputer o odebraniu podnośnej (danych), można go porównać z sygnalizacją stanu blokady szumów odbiornika FM. Jest on wykorzystywany przez wiele programów terminalowych przewidzianych do komunikacji telefonicznej. Gotowość do odbioru danych przez komputer sygnalizowana jest za pomocą sygnału DTR (nóżka 20 lub 4). Na nóżce 22 lub 9 (w zależności od rodzaju wtyku) występuje sygnał RI informujący o pojawieniu się sygnału dzwonienia. Jest on rzadziej wykorzystywany nawet w modemach telefonicznych i nie znajduje prawie wogóle zastosowania w praktyce amatorskiej. Niestety nie wszystkie, nawet znane, programy komunikacyjne pozwalają na korzystanie z sygnałów sterujących, tam gdzie to jest możliwe należy ich używać w celu zwiększenia niezawodności transmisji danych. Niektóre z amatorskich programów komunikacyjnych wykorzystują sygnały sterujące do zupełnie innych, własnych celów (są to przykładowo programy BayCom, TFPCX, JVFX).

Błędy transmisji

W trakcie transmisji większej ilości danych mogą wystąpić przekłamania spowodowane zakłóceniami. Konieczne są więc mechanizmy umożliwiające ich wykrycie, a w bardziej rozbudowanych systemach także korekcję.

Jednym z najprostszych sposobów jest ustalenie w znaku pewnej stałej liczby bitów o wartości jedynek logicznej. Przyjęta może być dowolna parzysta lub nieparzysta liczba jedynek albo też ich pewna stała liczba. Nadawane znaki uzupełniane są w miarę potrzeby dodatkowymi bitami o wartości jeden lub zero dla spełnienia przyjętego warunku. Bity uzupełniające noszą nazwę bitów parzystości (ang. *parity*). Znak w kodzie ASCII składa się w takim przypadku z 7 bitów użytkowych i ósmego bitu parzystości uzupełniającego znak tak aby zawierał on ustaloną (parzystą lub nieparzystą) liczbę jedynek. Sposób ten stosowany jest m.in. w transmisjach dalekopisowych ASCII. Odebranie znaku o niezgodnej z przyjętą liczbą jedynek oznacza, że uległ on przekłamaniu.

Drugi ze sposobów polega na przyjęciu stałego stosunku liczby zer do liczby jedynek w znaku, np. w kodzie AMTOR stosunek ten wynosi 3 : 4. Odebranie znaku o innym stosunku liczb zer i jedynek oznacza również wystąpienie przekłamania na trasie.

Dodanie jednego bitu uzupełniającego umożliwia wykrycie przekłamania jednego bitu lub nieparzystej liczby bitów w odbieranym słowie (bajcie, okciecie), parzysta liczba przekłamań nie zostaje wykryta. Nie wystarcza to również do automatycznej korekcji przekłamania. Bardziej złożone kody umożliwiają nie tylko wykrycie ale i automatyczną korekcję większej liczby przekłamań.

Pewniejszym sposobem wykrycia przekłamań transmisji jest obliczanie sumy kontrolnej. Nadawana informacja dzielona jest na bloki (pakiety, datagramy) o standardowej długości lub zakończone umownym znakiem (np. CR), ostatni bajt lub dwa w bloku zawiera sumę kontrolną wartości dwójkowych (szesnastkowych) znaków składających się na treść bloku. Suma obliczana jest na bieżąco w trakcie nadawania bloku i obcinana do pożądanej długości 8 lub 16 bitów (modulo 256 lub 65536). W niektórych systemach nadawane jest uzupełnienie dwójkowe tzn. wartość uzyskana po odjęciu obliczonej sumy od zera. Strona odbiorcza oblicza na bieżąco sumę wartości odebranych znaków. Suma ta porównywana jest następnie z odebraną (w przypadku nadawania uzupełnienia wystarczy dodawanie – wynik musi być równy zeru), nierówność obu sum sygnalizuje wystąpienie przekłamań transmisji. W praktyce zwykle sumowanie wartości znaków nie zapewnia jeszcze dostatecznej pewności wykrycia przekłamań. Zmiana wartości parzystej liczby bitów może nie spowodować zmiany wartości sumy. Doskonalszą metodą jest obliczanie sumy kontrolnej za pomocą wielomianu 16-go rzędu. Jest on szeroko stosowany w transmisji danych na łączach kablowych i radiowych oraz między jednostkami centralnymi a pamięcią masową komputerów. Tak obliczana cykliczna suma kontrolna nazywana jest *Cyclic Redundancy Checkword* – w skrócie CRC.

Protokoły

Rozpoznanie przekłamań w odebranych znaku lub bloku danych powoduje podjęcie przez stację odbiorczą z góry ustalonej reakcji. Intuicyjnie nasuwa się tu jako sposób reakcji zażądanie ponownego przesłania ostatnich danych – jest to sposób stosowany np. automatycznie w trakcie rozmowy telefonicznej, kiedy prosimy rozmówcę o powtórzenie. Stacja odbiorcza nadaje umowny blok danych (lub znak) oznaczający żądanie powtórzenia. Aby stacja nadawcza mogła stwierdzić, że pozostałe dane dotarły prawidłowo a nie zaginęły gdzieś po drodze bezbłędnie odebrane bloki danych mogą być kwitowane za pomocą innych umownych znaków lub bloków. Te i wszystkie inne sposoby reagowania na sytuacje występujące w trakcie transmisji danych regulują tzw. protokoły transmisji. W dużym uproszczeniu można porównać protokoły transmisji do kodeksu drogowego dla danych, z tą jedynie różnicą, że ich nieprzestrzeganie nie powoduje utraty prawa jazdy a jedynie utratę danych i w najlepszym wypadku przerwanie własnego połączenia a przeważnie także i zakłócenie łączności prowadzonych przez innych. W praktyce ze względu na stopień skomplikowania spraw mamy do czynienia z całą grupą kodeksów – protokołów – zamiast jednego uniwersalnego. Dla porządku konieczne jest też przyjęcie pewnej hierarchii protokołów.

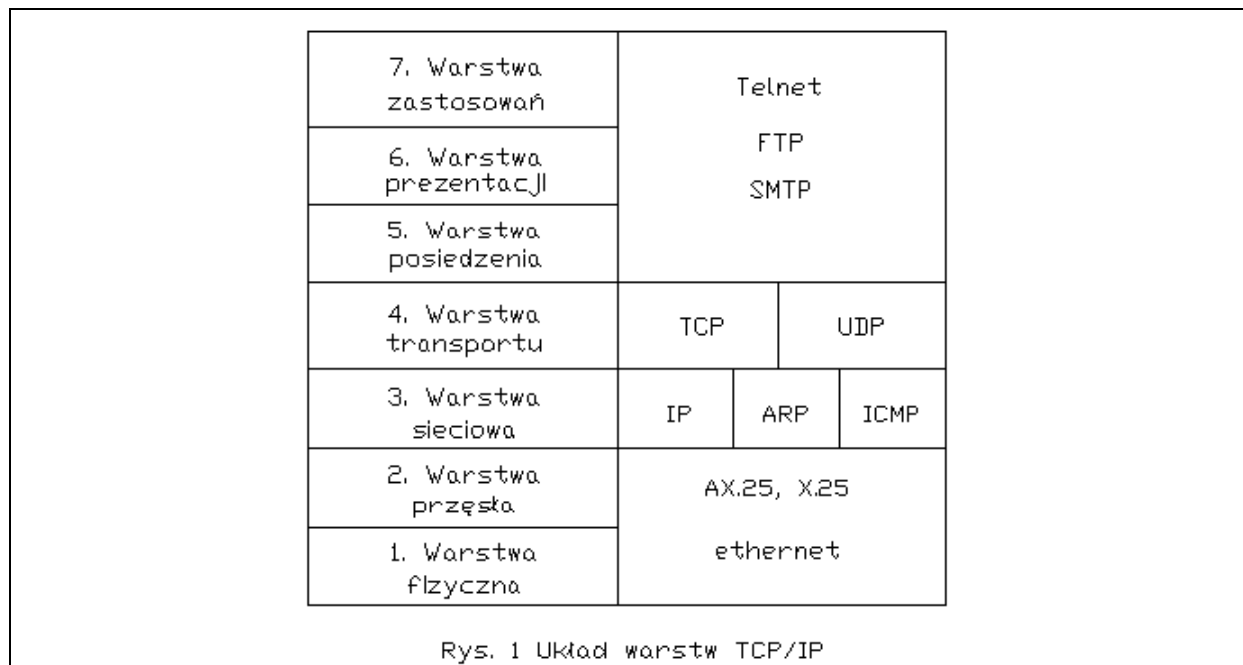
Model ISO

Dla usystematyzowania trudnej materii komunikacyjnej został więc opracowany siedmiowarstwowy model ISO. Każda z warstw odpowiada pewnemu zespołowi zadań lub funkcji realizowanych w trakcie transmisji danych. Umożliwia to modułarną konstrukcję programów komunikacyjnych oraz współpracę różnych programów i protokołów transmisji. Obrazowo można to przedstawić jako przekazywanie danych przez programy (protokoły) warstw wyższych warstwom niższym po stronie nadawczej lub odwrotnie u adresata. Znormalizowane są zadania wypełniane przez poszczególne warstwy i sposób ich współpracy, sposób wykonania zadania pozostaje dowolny i jest ukryty przed programami innych warstw. Można tu wysunąć dość luźną analogię do podziału funkcji między wzmacniacz mocy nadajnika i antenę oraz znormalizowanego połączenia za pomocą kabla 50-omowego. W przypadku prawidłowej pracy obu członów energia w.cz. jest transmitowana niezależnie od konstrukcji wzmacniacza, typu anteny i zastosowanych po obu stronach obwodów dopasowujących. Przyjęty model pozwala na łatwą wymienialność poszczególnych części systemu (programów, protokołów) pod warunkiem przestrzegania zasad ich połączenia (sprzężenia). W podanej analogii możliwe jest przełączanie anten (np. o różnych charakterystykach kierunkowych) bez konieczności wymiany lub przestrajania nadajnika.

W modelu ISO warstwa pierwsza (najniższa) jest warstwą fizyczną, tzn. zajmującą się transmisją sygnału między korespondentami. Zajmuje się ona definicjami sygnałów elektrycznych, złączy, wtyków, zakresów częstotliwości pracy itp.

Warstwa druga jest warstwą transportu, w warunkach amatorskich odpowiadają jej przykładowo protokoły AX.25 (pakiet radio), AMTOR lub PACTOR. Warstwa trzecia (sieciowa) zajmuje się trans-

misją danych w sieci i wyszukiwaniem tras połączeń. W komunikacji amatorskiej są to protokoły sieciowe NET/ROM, Flexnet lub IP (z grupy TCP/IP). Warstwy wyższe nie są w zastosowaniach amatorskich jeszcze dokładnie dopracowane. W grupie protokołów TCP/IP warstwie czwartej odpowiada protokół TCP zajmujący się przygotowaniem danych do wysyłki i podziałem ich na bloki (datagramy). Zadaniem warstw 5 - 7 jest współpraca programów z użytkownikiem, prezentacja danych itp. Odpowiadają im wyższe protokoły z grupy TCP/IP, np. protokoły TELNET, FTP czy HTTP.



Systemy modulacji

Modulacja podnośnej akustycznej

Sygnały występujące na złączu RS-232 lub impulsy prądowe na wyjściu dalekopisu zawierają składową stałą, nie mogą więc być bezpośrednio transmitowane przez urządzenia radiowe lub łącza telefoniczne. Konieczna jest zamiana ich na sygnały czysto zmienne, np. na tony akustyczne, które mogą być bez kłopotu transmitowane drogą radiową i telefoniczną. Zamiana sygnałów logicznych na odpowiadające im tony akustyczne następuje w tzw. modemie. Jest to skrót słów MODulator-DEModulator, które wystarczająco dobrze opisują jego działanie. Teoretycznie można tu stosować dowolne ze znanych sposobów modulacji: amplitudy, częstotliwości lub fazy lub ich sensowne kombinacje. Ze względu na swoje zalety stosowane są modulacje częstotliwości (FSK) i fazy (PSK). Są to modulacje impulsowe, a więc polegające na przełączaniu sygnału podnośnej w jeden z ograniczonej liczby (dykretnych) stanów. W najprostszym przypadku w systemie modulacji FSK występuje para tonów przyporządkowanych poziomom logicznymi sygnału modulującego. Dewiacja częstotliwości odpowiada tu połowie przesuwu częstotliwości (odstępu pomiędzy częstotliwościami obu tonów). Podstawowa częstotliwość modulująca równa jest połowie szybkości modulacji. Zależność ta jest może w pierwszym momencie trudniejsza do zrozumienia, dlatego też wyjaśniono ją dokładniej. Sygnał cyfrowy składa się z ciągu impulsów o różnej długości np. jeśli kilka kolejnych bitów przyjmuje tę samą wartość. Maksymalną częstotliwość zmian sygnału uzyskuje się w przypadku następowania po sobie naprzemian bitów o wartościach jeden i zero. Sygnał przedstawia sobą wówczas w przybliżeniu falę prostokątną o okresie równym czasowi trwania dwóch bitów, a więc jej częstotliwość podstawowa równa jest połowie szybkości modulacji wyrażonej w bodach.

Pary tonów przyporządkowane sygnałom *mark* i *space* w modulacji FSK są również znormalizowane. W amatorskich łącznościach dalekopisowych RTTY najczęściej ton 1275 Hz przyporządkowany jest poziomowi znaku a 1445 Hz, 1700 Hz lub 2125 Hz – poziomowi odstępu. Daje to standardowe odstępy (ang. *shift*) odpowiednio 170, 425 i 850 Hz. Spotykane jest też odwrotne (ang. *reverse*) przyporządkowanie tonów. Stacje amerykańskie stosują inne zestawy częstotliwości: 2125 Hz - odpowiada po-

ziomowi znaku i odpowiednio 2295 Hz, 2550 Hz lub 2975 Hz – poziomowi odstepu. Niższy (europejski) zestaw tonów określany jest angielskim terminem "*low-tone*". Termin ten używany jest często w opisach modemów i sterowników emisji cyfrowych. Europejski zestaw tonów pozwala na korzystanie z filtrów p.cz. o szerokości pasma 2,4 kHz natomiast zestaw amerykański wymaga korzystania z filtrów o szerszych charakterystykach przenoszenia.

W łącznościach emisją packet radio stosowany jest m.in. standard BELL202: tony 1200 Hz i 2200 Hz, odstęp 1000 Hz (dla szybkości 1200 bit/sek). Rozróżnienie pomiędzy poziomami *mark* i *space* następuje w momentach zmian tonów bez stałego przyporządkowania ich obu wspomnianym wyżej wartościom. Na zakresach KF stosowana jest para tonów 1600/1800 Hz.

W systemach wielostanowej modulacji FSK stosowana jest większa liczba podnośnych przypisanych odpowiednio grupom bitów.

Oprócz modulacji częstotliwości stosowana jest również modulacja fazy: zmiana poziomu sygnału cyfrowego powoduje tu skok fazy podnośnej. Faza podnośnej może przyjmować dwa, cztery lub więcej stanów. Przebieg sygnału dwustanowego (skok fazy 180 stopni – BPSK) jest identyczny z przebiegiem sygnału dwuwstęgowego AM z wytłumioną falą nośną – sygnału DSB (występującego m. in. na wyjściu modulatora zrównoważonego w układach SSB), również jego widmo jest identyczne z widmem sygnału DSB. Sygnał BPSK zajmuje więc przy danej szybkości transmisji pasmo węższe niż sygnał FSK. Wielofazowa modulacja PSK pozwala na dalsze zmniejszenie szerokości pasma lub równolegle przesyłanie wielu kanałów cyfrowych (albo nadmiarowych danych korekcyjnych FEC). Czterostanowa modulacja fazy pozwala na jednoczesne przekazanie wartości pary bitów ponieważ jak wiadomo para bitów może przyjmować 4 różne stany (2^2). Dalsze zwiększanie liczby stanów pozwala na jednoczesną transmisję zawartości większych grup bitów przy czym wymagana liczba stanów sygnału rośnie wykładniczo – dla jednoczesnej transmisji trójki bitów konieczne jest 8 stanów sygnału np. 8 położeń jego fazy lub 8 wartości amplitudy w przypadku modulacji amplitudowej. W systemie PSK31 używana jest podnośna 1000 Hz kluczowana dwu- lub czterostanowo.

Modulację o większej liczbie stanów uzyskuje się za pomocą modulacji kombinowanej amplitudowo-fazowej tzw. modulacji kwadraturowej (QAM). Dwa sygnały podnośnej przesunięte względem siebie o 90° (kwadraturowe) modulowane są amplitudowo, a sygnał wypadkowy przyjmuje szereg stanów o różnych amplitudach i fazach.

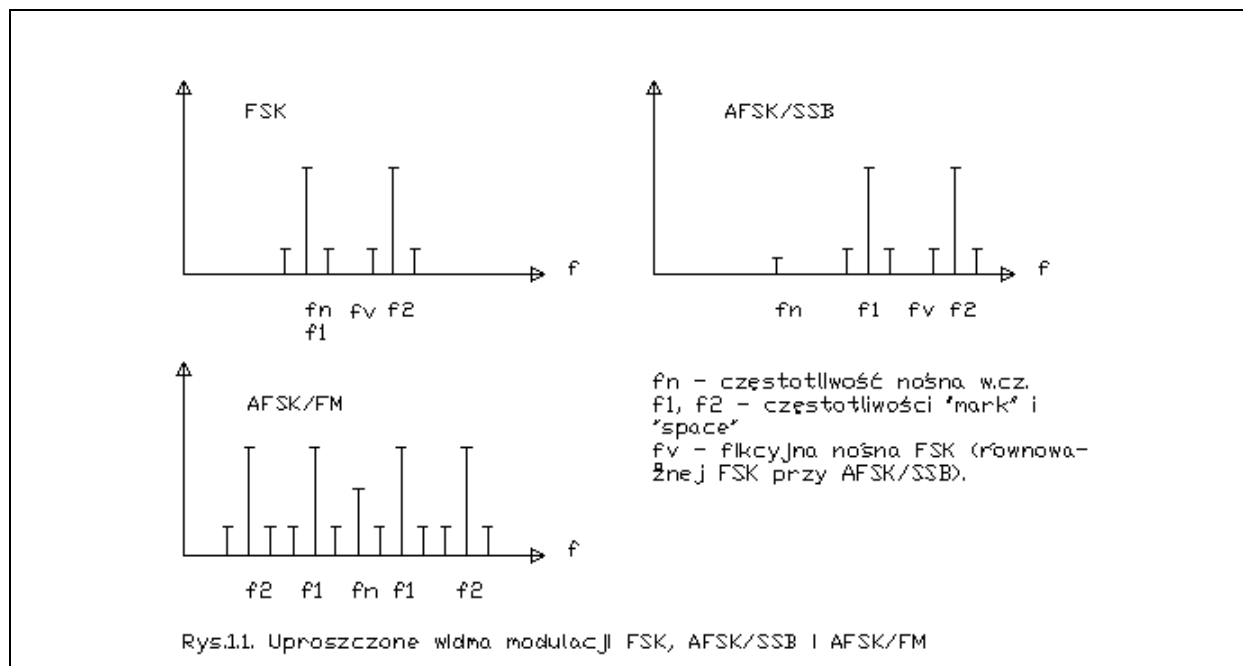
Zwiększanie liczby stanów sygnału powoduje, że przy stałej szybkości transmisji (szybkości zmian stanów), a więc i stałej szerokości kanału transmisyjnego możliwe jest zwiększenie szybkości modulacji czyli liczby bitów przekazywanych w jednostce czasu. Ta b. atrakcyjna możliwość ma jednak i swoją słabą stronę. Zwiększanie liczby dozwolonych stanów sygnału powoduje zmniejszenie odstępów między nimi. I tak np. pełny okres sygnału sinusoidalnego obejmuje 360° . Oznacza to, że w przypadku modulacji dwustanowej skok fazy wynosi 180° , w przypadku modulacji 4-stanowej – 90° , 8-stanowej – 45° itd. Analogicznie dla modulacji amplitudy maksymalna amplituda sygnału musiałaby być podzielona odpowiednio na 2, 4, 8 itd. zakresów. Mniejsze odstęp między dozwolonymi stanami ułatwiają zafałszowanie sygnału w wyniku zakłóceń. Tak więc zwiększenie szybkości przekazywania danych bez powiększania szerokości kanału transmisyjnego wymaga zapewnienia coraz wyższego stosunku sygnału do szumu. W przyrodzie nie ma nic za darmo.

Modulacja sygnału w.cz.

Dla przesłania sygnału podnośnej drogą radiową konieczne jest zmodulowanie nim nośnej w.cz. W przeciwieństwie do cyfrowej modulacji zachodzącej w modemie, w nadajniku radiostacji mamy do czynienia z modulacją analogową. Sygnał w.cz. jest wypadkowo zmodulowany modulacją złożoną cyfrowo-analogową, a na wypadkowe właściwości toru transmisyjnego wywierają wpływ właściwości obu stadiów modulacji.

W zależności od sposobu doprowadzenia sygnału z modemu do nadajnika rozróżniamy modulację FSK i AFSK. Doprowadzając sygnał akustyczny do wejścia mikrofonowego nadajnika FM lub SSB otrzymujemy modulację AFSK (ang. Audio Frequency Shift Keying). Jest to sposób najprostszy i nie wymagający modyfikacji nadajnika (przy szybkościach nie przekraczających 1200/2400 bit/s). Kluczując częstotliwość generatora wzbudzającego nadajnika bezpośrednim sygnałem cyfrowym otrzymujemy modulację FSK (ang. *Frequency Shift Keying*). Widmo sygnału AFSK/FM odpowiada widmu modulacji FM.

Widmo czystej modulacji FSK w trakcie transmisji ciągu znaków składa się z widm dwu podnośnych (odpowiadających poziomom znaku i odstępów) kluczowanych amplitudowo, a stosunek sygnału do szumu na wyjściu jest w przypadku odbioru dwukanałowego o 3 dB wyższy niż dla kluczowania AM jednej podnośnej. Stosowany często w praktyce amatorskiej odbiór jednokanałowy RTTY sprowadza kluczowanie FSK do zwykłego kluczowania AM (ASK). W stanie spoczynkowym (transmisja dłuższego ciągu bitów stopu) emitowana jest tylko nośna odpowiadająca częstotliwości dostrojenia nadajnika. Sygnał FSK może być też odbierany za pomocą odbiornika SSB po jego odstrojeniu o częstotliwość równą średniej obu tonów a więc 1700 Hz dla emisji packet radio lub 1900 Hz dla emisji faksymile/SSTV (stosowane są tam tony 1500 i 2300 Hz). Odebrany sygnał przetworzony jest (po zdudnieniu z generatorem lokalnym – ang. BFO) na sygnał AFSK i wymaga dalszej demodulacji w modemie. Widmo sygnału AFSK/SSB jest zbliżone do widma sygnału FSK z tą zasadniczą różnicą, iż położone jest po jednej stronie rzeczywistej (wytłumionej) nośnej w.cz. a jego oś symetrii (nie uwzględniając nośnej w.cz.) odpowiada średniej obu nadawanych tonów w czasie transmisji ciągu znaków, w stanie spoczynkowym emitowana jest częstotliwość różniącą się od nośnej w.cz. o wartość odpowiadającą sygnałowi *mark*. Sygnał AFSK/SSB może być odbierany również za pomocą odbiornika FSK po uwzględnieniu różnicy ich widm przy dostrajaniu odbiornika. W praktyce amatorskiej nośna w.cz. jest stosunkowo silnie wytłumiona i dlatego może być pominięta. Przyporządkowanie tonów sygnałom *mark* i *space* – normalne lub odwrotne może być zmienione w zależności od dostrojenia odbiornika SSB do górnej lub dolnej wstęgi (ang. USB lub LSB).



W odróżnieniu od emisji dalekopisowej w systemie packet radio występują mechanizmy pozwalające na wykrycie i korektę przekłamań, a nadawane dane organizowane są w bloki (pakiety) wyposażone w znaki wywoławcze nadawcy i adresata. Ze względu na małą długość pakietów i możliwość ich odróżnienia na podstawie zawartych w nich adresów w jednym kanale radiowym może być prowadzony szereg niezależnych łączności. Oprócz tego każda ze stacji może służyć innym jako stacja przekąźnikowa (przekąźnik cyfrowy – ang. *digipeater*). Mamy tu więc do czynienia z dosyć rozbudowanym protokołem transmisji. Stosowany w łącznościach amatorskich protokół AX.25 wywodzi się bezpośrednio z profesjonalnego protokołu X.25 (HDLC). Najważniejsze z różnic między obydwoimi protokołami spowodowane są przez specyficzne potrzeby łączności amatorskich: m.in. przedłużeniu uległo pole adresowe, tak aby mogły się w nim zmieścić znaki wywoławcze stacji korespondentów i stacji przekąźnikowych oraz przewidziana została możliwość nasłuchu nieselektywnego (monitorowania pasma). Użycie rozbudowanego protokołu transmisji oznacza, że stacje pracujące emisją packet radio muszą być wyposażone w inteligentne urządzenia obsługujące protokół – są to omówione dalej modemy TNC, PTC lub komputery wyposażone w specjalne programy naśladujące działanie takiego inteligentnego modemu.

W systemie packet radio stosuje się wiele sposobów modulacji w zależności od stosowanej szybkości transmisji oraz zakresów częstotliwości. W pasmach UKF ciągle jeszcze najbardziej rozpowszechniona jest szybkość 1200 bit/s (w systemie APRS jest ona jedyną stosowaną). Systemem modulacji jest tu modulacja z przesuwem częstotliwości (FSK, a właściwie AFSK, ponieważ zmodulowana podnośna akustyczna doprowadzana jest do wejścia mikrofonowego). Przesuw częstotliwości wynosi 1000 Hz i używane są częstotliwości 1200 Hz i 2200 Hz (odpowiada to standardowi BELL 202). Nie ma tu stałego przyporządkowania tonów niskiej częstotliwości wartościom logicznym a ich rozróżnienie polega na detekcji przejść z jednego tonu na drugi (jest to kodowanie różnicowe NRZ-I). Na zakresach krótkofalowych szybkość transmisji wynosi 300 bit/s, stosowany jest przesuw 200 Hz, a odpowiednio tony równe są 1600 i 1800 Hz. Przy szybkościach 9600 bit/s i większych stosowana jest bezpośrednia modulacja generatora sterującego nadajnika (FSK). Możliwe byłoby tu także zastosowanie wielofazowej modulacji PSK lub kwadraturowej modulacji AM (QAM - standard V.29).

Protokół AX.25

Informacja transmitowana przy wykorzystaniu protokołu AX.25 składana jest w pakiety, które wyposażone są w adresy korespondentów (ich znaki wywoławcze) oraz w sumę kontrolną pozwalającą na stwierdzenie prawidłowości lub błędnego odbioru pakietu. Prawidłowo odebrane pakiety potwierdzane są za pomocą pakietu kwitującego, po czym możliwa jest transmisja dalszych pakietów. Pakiety odebrane błędnie lub nieodebrane z powodu braku miejsca w buforze stacji adresata muszą być powtórzone. W przypadku braku pokwitowania pakiety powtarzane są po upływie zadanego czasu dzięki czemu zaginięcie pakietu lub pokwitowania nie przerywa wymiany danych.

Pakiety AX.25 składają się z bajtu synchronizującego (ang. *flag*) zawierającego kombinację bitów 01111110, pola adresowego o długości dochodzącej do 70 bajtów i zawierającego znaki wywoławcze nadawcy i adresata oraz w miarę potrzeby do ośmiu znaków stacji przekaźnikowych retransmitujących pakiet. Znaki stacji zakodowane w kodzie ASCII mają długość 6 bajtów, siódmy zawiera ewentualnie dodatkowe rozszerzenie oraz informację o tym czy pakiet był retransmitowany. Rozszerzenie jest liczbą leżącą w zakresie od 0 do 15, jest ona oddzielona myślnikiem od głównego znaku (np. SP5GBK-2), a w polu adresowym jest ona kodowana za pomocą czterech bitów. Wszystkie bajty pola adresowego mają najwyższy bit równy zero z wyjątkiem ostatniego, gdzie wartość jeden stanowi sygnalizację końca obszaru. Następnie nadawany jest obszar danych kontrolnych o długości jednego bajtu. Bajt ten określa typ pakietu i zawiera w miarę potrzeby kolejny numer nadawanego pakietu i pakietu oczekiwanego. Rozróżniamy tu następujące typy pakietów:

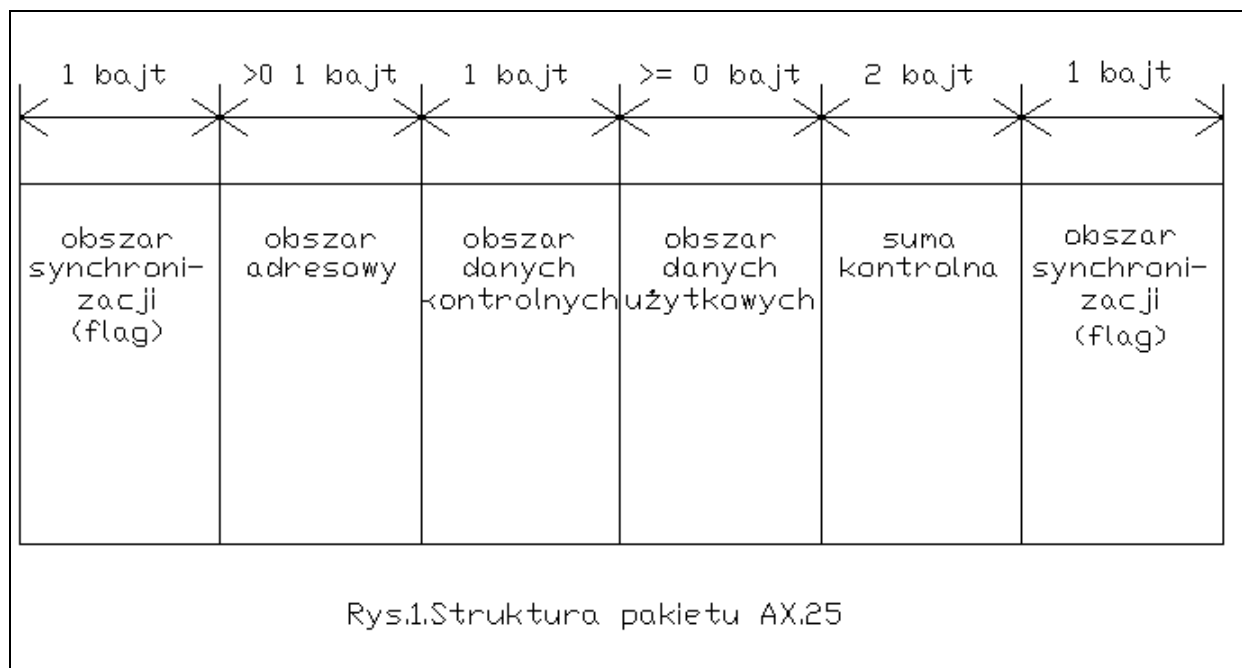
- numerowane pakiety informacyjne I – używane w trakcie połączenia,
- nienumerowane pakiety informacyjne UI – używane do transmisji danych bez nawiązania połączenia,
- inicjujące połączenie – SABM,
- inicjujące rozłączenie – DISC,
- pakiety kwitujące poprawnie odebraną informację – RR (ang. *receiver ready*),
- pakiety kwitujące rozkaz nawiązania połączenia – UA (ang. *unnumbered acknowledge*),
- pakiety sygnalizujące brak miejsca w buforze adresata – RNR (ang. *receiver not ready*),
- sygnalizacja błędnie odebranego pakietu – REJ (ang. *reject*),
- sygnalizacja pakietu niezgodnego z protokołem – FRMR – np. pakietu o niewłaściwym numerze (ang. *frame reject*),
- - pokwitowanie rozłączenia – DM.

Oprócz numerowanych pakietów informacyjnych I wymienianych i kwitowanych w trakcie połączenia protokół przewiduje też transmisję pakietów nienumerowanych i nie potwierdzanych, zawierających np. tekst radiolatarni, komunikaty APRS lub wykorzystywanych do transmisji datagramów TCP/IP albo innych wyższych protokołów. Są to pakiety UI (ang. *unnumbered information*).

Pakiety przenoszące informację zawierają następnie pole informacyjne o długości do 256 bajtów. Pierwszy bajt pola informacyjnego pakietów I oraz UI zawiera identyfikację protokołu. Dla protokołu AX.25 jest to wartość 0xF0 szesnastkowo a dla protokołu sieciowego NET/ROM – 0xCF. W dalszym ciągu pakietu zawarta jest szesnastobitowa suma kontrolna CRC pozwalająca na stwierdzenie wystąpienia przekłamań w transmisji. Algorytm CRC jest bardziej skomplikowany od zwykłego sumowania

wartości bajtów, ale też zapewnia większe prawdopodobieństwo wykrycia błędu. Zakończeniem pakietu jest bajt o zawartości identycznej z zawartością pola synchronizującego.

Pole synchronizujące, jak sama nazwa wskazuje, służy do synchronizacji strony odbiorczej, dalsza zawartość pakietu transmitowana jest synchronicznie, a więc nie zawiera bitów start-stop. Dla zapewnienia jednoznaczności ciąg sześciu jedynek może występować jedynie w polach synchronizujących. Wewnątrz pakietu po wystąpieniu pięciu jedynek wstawiane jest dodatkowe zero, usuwane automatycznie przez stronę odbiorczą. Wstawianie zera określane jest angielską nazwą *bit stuffing*.



Po nawiązaniu połączenia pakiety informacyjne są kwitowane przez adresata. Potwierdzenie prawidłowego odbioru pakietu pozwala nadawcy na transmisję dalszych pakietów, pakiety odebrane błędnie muszą być powtórzone. Pakiety nie muszą być kwitowane pojedynczo, ale maksymalna liczba niepokwitowanych pakietów nie może przekraczać siedmiu. Jeden pakiet kwitujący może zarazem pokwitować odbiór do siedmiu pakietów. Umożliwia to lepsze wykorzystanie kanału aniżeli w przypadku kwitowania pojedynczo. Po wyczerpaniu dopuszczalnej liczby powtórzeń połączenie zostaje przerwane jako nieużyteczne. W przypadku zakłóceń nierównomiernie rozłożonych w czasie (np. impulsowych) istnieje jednak duże prawdopodobieństwo odebrania niezakłóconego pakietu przy którymś z kolejnych powtórzeń. Tak więc nawet w dosyć trudnych warunkach odbiorczych możliwa jest niezakłócona łączność. Ponieważ pakiety zawierają adresy obu uczestniczących w łączności stacji, mogą one być jednoznacznie identyfikowane przez adresata. Jednocześnie, zależnie od używanej szybkości transmisji i przyjętej długości pakietu, czas jego trwania wynosi od ułamka sekundy do kilku sekund. W przerwach pomiędzy pakietami kanał radiowy jest więc wolny, co pozwala na prowadzenie w nim wielu niezależnych łączności (jest to więc multipleks czasowy). Mamy tu do czynienia z tzw. kanałem wirtualnym, w odróżnieniu od kanału zarezerwowanego występującego w łącznościach RTTY, AMTOR, PACTOR lub fonicznych.

Oprócz tego możliwe jest nadawanie pakietów przeznaczonych dla wszystkich (typu UI) oraz nie-selektywny odbiór wszystkich odebranych pakietów (monitorowanie kanału).

Sieć Packet Radio

Przełączniki cyfrowe

Protokół AX.25 przewiduje możliwość retransmisji pakietów przez każdą ze stacji, niezależnie od prowadzenia własnych łączności. Dopuszczalne jest użycie do ośmiu stacji pośredniczących. Możliwość ta, aczkolwiek bardzo pożyteczna w zakresach UKF, wykorzystywana jest jednak jedynie w początkowych fazach rozwoju sieci packet radio i w rejonach peryferyjnych (obecnie jest ona wykorzystywana w APRS). Pożądane trasy łączności podawane są przez operatora stacji w oparciu o obserwację sytuacji na paśmie lub informacje otrzymane od korespondentów. Funkcja przełącznikowa TNC jest częścią protokołu AX.25, odpowiada więc warstwie drugiej modelu ISO. Sieć złożona ze stacji przełącznikowych poziomu drugiego (przełączników cyfrowych) wykazuje jedną zasadniczą wadę. Zgodnie z protokołem AX.25 każdy z pakietów musi być pokwitowany przez stację odbiorczą: pozytywnie w przypadku bezbłędneho odbioru lub negatywnie co oznacza, że pakiet musi być powtórzony jeszcze raz. Przy zwykłej łączności dwustronnej zalety tego systemu są wyraźnie widoczne. W czasie łączności przez stację pośredniczącą ta sama zasada obowiązuje dla obu odcinków trasy: stacja pośrednicząca kwituje pakiety odebrane od nadawcy (lub domaga się ich powtórzenia) następnie sama nadaje je do odbiorcy oczywiście reagując jak wyżej na jego pokwitowania. Widać więc, że liczba powtórzeń rośnie, a czas transmisji pakietu pomiędzy stacjami docelowymi wydłuża się. Inne stacje będące w korzystniejszych (lub tylko podobnych do stacji retransmitującej) warunkach odbierają pakiety co najmniej dwukrotnie, co z kolei ogranicza ich możliwości aktywnej pracy. Poza tym, ponieważ stacja nadawcza nie słyszy wszystkich stacji słyszalnych w rejonie przełącznika, rośnie niebezpieczeństwo kolizji pakietów, a co za tym idzie rośnie liczba powtórzeń. W pewnych niekorzystnych warunkach może dojść do poważnego ograniczenia przepustowości kanału, zwłaszcza jeżeli odbywa się na nim więcej łączności retransmitowanych. Wraz ze zwiększeniem się liczby stacji retransmitujących wspomniane wyżej problemy zaostrzają się i w praktyce nie jest możliwe skorzystanie z dopuszczalnej ich liczby – ośmiu. Sytuację można zobrazować za pomocą następujących obliczeń.

Załóżmy prawdopodobieństwo bezbłędnej transmisji pakietu wynoszące 90%. Korzystając z czterech stacji przełącznikowych (pięciu odcinków transmisyjnych) otrzymujemy prawdopodobieństwo dotarcia pakietu bez powtórzeń do stacji docelowej wynoszące $0,9^5 = 0,6$. Prawdopodobieństwo dotarcia pakietu bez powtórzeń wynosi również 0,6, czyli 60%. Wypadkowe prawdopodobieństwo wynosi już tylko $0,6 \times 0,6$, czyli 0,36. Mimo bardzo dobrej jakości łącza, średnio co trzeci pakiet musi być powtórzony. Nie uwzględniono tu jeszcze wzrostu prawdopodobieństwa wystąpienia kolizji z innymi stacjami, co spowoduje dalszy wzrost liczby powtórzeń (obniżenie się jakości łącza). W praktyce więc przy większej liczbie stacji przełącznikowych i bardziej zakłóconym łączu nawiązanie połączenia nie będzie możliwe. W rzeczywistości rzadko zdarza się przekroczenie liczby trzech stacji pośredniczących. Stanowi to obecnie również istotny problem w sieciach APRS co spowodowało przyjęcie różnych rozwiązań technicznych mających na celu ograniczenie liczby powtórzeń komunikatów.

Również zainstalowanie specjalnych, korzystnie położonych stacji przełącznikowych przynosi niewielkie korzyści. Dzięki ich większemu zasięgowi zmniejsza się wprawdzie liczba stacji pośredniczących niezbędna dla pokonania określonej odległości i potencjalnie wzrasta jakość łącza, ale jednocześnie większa liczba korzystających i wzajemnie się nie słyszających stacji doprowadza do zwiększenia liczby kolizji na wejściu przełącznika i w efekcie do jego zablokowania. Zbyt duża liczba powtórzeń i zagłuszanie stacji słabiej słyszalnych przez przełącznik przez stacje silniejsze szybko ogranicza przydatność takiego rozwiązania.

Stacje węzłowe

Wady tej pozbawione są sieci packet radio złożone ze stacji węzłowych pracujących w wyższych protokołach (na poziome warstwy trzeciej modelu ISO) i połączonych pomiędzy sobą odcinkami linii radiowych – łączami – pracującymi w wyższych pasmach częstotliwości (od 70 cm wzwyż) albo łączami internetowymi (są to wówczas bramki internetowe; ang. *gateway*) lub Hamnetowymi. Każda z takich stacji stanowi punkt węzłowy (ang. *node*) nadrzędny w stosunku do lokalnego modemu TNC (stacji użytkownika) i umożliwia nawiązywanie łączności przez wszystkie inne punkty sieci. Połączenia między punktami sieci są niewidoczne dla stacji prowadzącej łączność. Sieć taka pozwala oprócz nor-

malnych łączności również na przekazywanie wiadomości w formie listu oraz komunikatów pomiędzy skrzynkami elektronicznymi. Dla zmniejszenia liczby kolizji zasięgi stacji węzłowych powinny być raczej niewielkie i zmniejszane w miarę rozbudowy sieci. Metoda ta stosowana jest w sieciach profesjonalnych (np. sieciach telefonów komórkowych).

Korzystanie z sieci charakteryzuje się szeregiem różnic w stosunku do pracy przez zwykłe przekazniki. Stacja inicjująca łączność nawiązuje kontakt z najbliższym węzłem sieci. Od tego momentu stacja węzłowa kwituje nadawcy wszystkie pakiety w imieniu swoim i dalszych stacji. Oczekiwanie na pokwitowanie od stacji docelowej staje się zbędne. Stacja węzłowa dysponuje listą osiągalnych węzłów, tak że użytkownik musi jedynie zażądać połączenia z pożądanym węzłem docelowym. Pośrednie stacje węzłowe nie muszą być podawane przez użytkownika, są więc dla niego w trakcie połączenia niewidoczne (ukryte). Również pokwitowania pakietów przekazywanych pomiędzy stacjami węzłowymi nie docierają do użytkownika i nie obciążają go. Sposób kwitowania jest też trochę zmieniony w stosunku do protokołu AX.25. Stacje węzłowe wymieniają między sobą całe wiązki pakietów, a jednocześnie są w stanie, w miarę potrzeby powtórzyć tylko przekłamaną pakiet bez powtarzania całego bloku. Ten specjalny protokół sieciowy różni się od protokołu stosowanego przez użytkownika i odpowiada poziomowi trzeciemu modelu ISO. W sieci amatorskiej stosowane są obecnie trzy rodzaje protokołów sieciowych: NET/ROM, Flexnet oraz internetowy protokół IP.

Po połączeniu z węzłem docelowym użytkownik przekazuje mu polecenie połączenia ze stacją odbiorczą i w przypadku uzyskania go nawiązana zostaje łączność dwustronna. Wszelkie kolizje pakietów na łączu między stacjami węzłowymi względnie na ostatnim odcinku między odbiorcą i końcową stacją węzłową są już dla nadawcy nieistotne. Dla niego sprawa zakończyła się w momencie pokwitowania pakietu przez najbliższy węzeł. Również poszczególne pośrednie stacje węzłowe kwitują pakiety pomiędzy sobą i nie muszą oczekiwać pokwitowań od następnych, w przeciwieństwie do zwykłych przekazników cyfrowych. Transmisja danych odbywa się szybciej i skuteczniej. Wracając do poprzedniego przykładu obliczeniowego, przy założeniu prawdopodobieństwa dotarcia pakietu bez powtórzeń równemu 90% mamy tu dla każdej z uczestniczących stacji prawdopodobieństwo wynoszące $0,9 \times 0,9$ czyli 0,81.

Biorąc pod uwagę korzystanie przez użytkowników z najbliższych i przez to najlepiej odbieranych stacji węzłowych jest to wartość dużo bardziej realna niż poprzednio obliczona wartość teoretyczna dla łańcucha przekazników cyfrowych. Większą efektywność sieci można osiągnąć również przez stosowanie większych szybkości transmisji na łączach międzywęzłowych. Rozdział częstotliwości wejściowych i łączy przyczynia się również do zmniejszenia liczby kolizji pakietów.

Jak wynika z powyższego opisu, stacja węzłowa jest stacją inteligentną, najczęściej wyposażoną we własny komputer sterujący jej pracą. Oprócz tego konieczne są przynajmniej dwa sterowniki TNC lub modemy, jeden pracujący w protokole AX.25 na wejściu użytkowym, drugi w protokole sieciowym oraz dwie radiostacje na oba wspomniane kanały. Każdy następny kanał (łącza lub użytkowy) wymaga rozbudowy stacji o następny modem lub sterownik i radiostację. Skromniej wyposażone stacje, używające częstotliwości pracy również jako łącza, potrzebują tylko jednej radiostacji (przykładem mogą być węzły X1J). Stacje systemu RMNC-Flexnet nie wymagają zastosowania komputera PC i składają się z głównego modułu sterującego oraz odpowiedniej liczby modułów kanałowych wyposażonych we własne mikroprocesory i modemy. Każdy z modułów jest zbudowany na własnej płycie drukowanej.

Podstawową zaletą pracy w sieci packet radio jest możliwość zastosowania przez stacje indywidualne małych mocy nadawania (między innymi tanich radiostacji przenośnych) i prostych anten (często tylko anten pokojowych, okiennych lub balkonowych). Pozwala to na ograniczenie poziomu zakłóceń powodowanych przez stację nadawczą i jednoczesne osiągnięcie znacznych efektywnych zasięgów łączności, w przypadku dostępu do węzłów krótkofalowych, satelitarnych lub bramek internetowych także zasięgów międzykontynentalnych. Dalszą atrakcyjną możliwością jest praca za pomocą stacji ruchomych z urlopowego QTH lub w trakcie podróży służbowych kiedy niemożliwe jest zabranie ze sobą dużego i ciężkiego wyposażenia krótkofalowego. Uwaga ta dotyczy oczywiście nie tylko sieci packet radio ale tak samo łączności echolinkowych czy D-STAR.

Istnieje kilka wersji oprogramowania sterującego pracą stacji węzłowej. Historycznie pierwszą z nich jest oprogramowanie NET/ROM. Stacja NET/ROM prowadzi własną ewidencję punktów węzłowych, sprawdzając w regularnych odstępach czasu stan połączenia i w miarę potrzeby usuwając nieczynne stacje z ewidencji lub wciągając na ewidencję nowe. Jednocześnie jest ona też w stanie wyszukiwać automatycznie najkorzystniejszą trasę połączenia z węzłem docelowym. Połączenia ze stac-

jami węzłowymi figurującymi w ewidencji nawiązywane są w oparciu o protokół sieciowy, z innymi – w protokole AX.25. Jednocześnie może być obsługiwane 15 do 20 stacji amatorskich. System NET/ROM wyparty został stosunkowo szybko przez system TheNet i występuje głównie w programach TCP/IP. Dalszymi, powszechnie stosowanymi systemami oprogramowania stacji węzłowych są Flex-net, TheNet-Node (TNN) i X1J.

Do najważniejszych i najczęściej występujących poleceń dla stacji węzłowych należą (szczegóły zależą od rodzaju oprogramowania): polecenie **C (CONNECT)** służące do nawiązania połączenia z pożądaną stacją węzłową lub indywidualną, rozkazy **L (LINK)** lub **R (ROUTES)** informujące o łączach do najbliższych stacji węzłowych, **D (DEST)** lub **N (NODES)** powodujące wyświetlenie listy wszystkich osiągalnych w danym momencie węzłów i rozkaz **CONV (CONVERS)** pozwalający na nawiązanie konwersacji w kółeczku (w trybie konferencyjnym). Do przerywania połączenia służy najczęściej rozkaz **B (BYE)** albo **Q (QUIT)**. Prawie wszystkie systemy oprogramowania wyposażone są w rozkaz **H** lub **? (HELP)** powodujący nadanie pełnej listy rozkazów wraz z ich parametrami. Lista użytkowników aktualnie połączonych z węzłem wywoływana jest za pomocą rozkazu **U (USERS)**, a lista stacji odbieranych w ostatnim czasie – za pomocą **MH**, **J** lub **JH**. Jeżeli węzeł sprzężony jest ze skrzynką elektroniczną, połączenie z nią uzyskiwane jest najczęściej za pomocą rozkazu **MAIL (M)**. Aktualne wiadomości (wprowadzone przez operatora węzła) mogą być odczytane przeważnie za pomocą rozkazu **A**, natomiast ogólne informacje o węźle i jego wyposażeniu za pomocą rozkazu **I**.

Szybszym sposobem przerywania połączenia ze stacją węzłową jest podanie lokalnego (tzn. przeznaczonego dla własnego sterownika TNC lub programu terminalowego) rozkazu **DI (DISCONNECT)**.

Dla uniknięcia zbędnej blokady pasma i zbędnych opóźnień w transmisji pakietów zalecane jest uzyskiwanie połączeń ze stacją węzłową w pożądanym obszarze, nawet jeżeli trasa połączeń jest znana użytkownikowi. Większość istniejących obecnie stacji węzłowych pracuje w zakresie UKF. Częstotliwości wejścia/wyjścia leżą przeważnie w pasmach 2 m lub 70 cm, częstotliwości łączy w tych samych lub wyższych pasmach – dla łączy hamnetowych są to pasma 6 lub 13 cm. Sprzężenia skrośne KF/UKF są dozwolone, niestety, tylko w nielicznych krajach. Niektóre ze stacji węzłowych wyposażone w oprogramowanie TCP/IP są sprzężone z kablową siecią Internetu. Są to tzw. bramki internetowe (ang. *gateway*). Możliwość wykorzystania Internetu stanowi cenne uzupełnienie sieci pakiet radio. Zbytne oparcie się jednak na połączeniach internetowych niesie ze sobą niebezpieczeństwo uzależnienia sieci amatorskiej od profesjonalnych dostawców usług, niebezpieczeństwo obciążenia finansowego przekraczającego możliwości amatorskie a także uniemożliwia wykorzystanie sieci amatorskiej do łączności w przypadku katastrof ponieważ unieruchomienie sieci profesjonalnej pociągnie za sobą także unieruchomienie sieci amatorskiej. Uwagi te odnoszą się w równym stopniu i do innych sieci amatorskich jak Echolink i D-Star ale mimo wszystko autor uważa, że nie powinniśmy się dystansować od takich możliwości a jedynie nie dopuścić aby zawładnęły one nadmiernie łącznością amatorską i sam także chętnie z nich korzysta.

Skrzynki elektroniczne

Kolejnym ważnym elementem sieci są elektroniczne skrzynki pocztowe (ang. *BBS*). Umożliwiają one przechowywanie wiadomości, które mogą być odczytane przez adresata w dowolnym późniejszym momencie. Łączność dwustronna zmienia się w takim wypadku w komunikację za pomocą listów elektronicznych, nadawanych w porze dogodnej dla nadawcy i odczytywanych przez adresata w dogodnym dla niego czasie. Oprócz tego typu listów rozpowszechniane są różnego rodzaju biuletyny i komunikaty interesujące szersze grono adresatów. Oczywiście treść wyżej wspomnianych informacji musi ograniczać się do tematów dopuszczalnych w komunikacji amatorskiej i nawet listy prywatne mogą być czytane przez wszystkich, podobnie jak treść każdej innej łączności amatorskiej może być odbierana przez wszystkich prowadzących w danym momencie nasłuch. Informacje mogą być kasowane jedynie przez ich nadawcę, adresata lub przez operatora skrzynki. Ze względu na ograniczoną pojemność pamięci systemu informacje stare, nieaktualne lub przez dłuższy czas nie odczytywane muszą być co pewien czas kasowane. Przeważnie są one kasowane automatycznie po upływie zadanego czasu.

Elektroniczne skrzynki pocztowe są połączone ze sobą przez sieć stacji węzłowych i dzięki temu informacje nadane w jednej z nich są przekazywane automatycznie do skrzynki adresata lub rozprowadzane szerzej jeżeli są przeznaczone dla wszystkich. W zależności od podanego typu informacji są one

kasowane automatycznie po przekazaniu ich dalej lub też nie. Cały ten system magazynowania i retransmisji informacji nosi angielską nazwę *Store and Forward* (S&F). Ze względu na zajętość pasma i samych stacji retransmisja odbywa się zasadniczo w godzinach mniejszego ruchu, a więc przeważnie w nocy.

Wyposażenie skrzynki składa się z komputera, odpowiedniej liczby sterowników TNC lub modemów i takiej samej liczby radiostacji. Ze względu na dosyć kosztowne wyposażenie, jak też i przepisy obowiązujące w wielu krajach, stacje takie są uruchamiane przez kluby lub lokalne zarządy związków krótkofalowców, a nie przez indywidualnych amatorów. Podobnie jak w przypadku sieci przekaźnikowych istnieje i tu szereg wersji oprogramowania sterującego pracą takiej stacji. Do popularnych systemów należą: BayCom-Box, F6FBB i DieBox.

Podobnie jak w przypadku stacji węzłowych korzystanie ze skrzynek wymaga zasadniczo poznania niewielkiej liczby podstawowych rozkazów a wiele innych potrzebnych jest jedynie w wyjątkowych sytuacjach. We wszystkich systemach występuje rozkaz **H (HELP)** lub **?** pozwalający na wywołanie aktualnej listy rozkazów. Zestawy wiadomości zawartych w skrzynce podzielone są przeważnie na rubryki, których spis wywoływany jest za pomocą rozkazu **W (WHAT)**, **DIR** lub „**D B**” (**DIR BOARDS**). Zawartość rubryk odczytywana jest za pomocą rozkazów "**DIR nazwa_rubryki**" (powoduje to jednocześnie zmianę rubryki roboczej) lub **L (LIST)**. Do odczytania wiadomości służy wszędzie rozkaz **R (READ)** (z podaniem numeru na liście) lub "**R M**" (**READ MINE**) dla odczytania własnych wiadomości, kasuje je rozkaz "**K numer**" (**KILL**) lub "**K M**" (**KILL MINE**). Wiadomości mogą być kasowane jedynie przez nadawcę, adresata lub operatora skrzynki albo automatycznie przez oprogramowanie skrzynki po przekroczeniu zadanego czasu składowania. Do nadania wiadomości przeznaczony jest rozkaz **S (SEND)**. W tym przypadku konieczne jest podanie znaku (i ewentualnie skrzynki docelowej) adresata albo rubryki oraz tytułu wiadomości. Do zarejestrowania się w skrzynce (podania własnego imienia) służy rozkaz "**N imię**". Przerwanie połączenia dokonywane jest najczęściej za pomocą rozkazu **B (BYE)** lub lokalnego rozkazu (rozkazu dla własnego TNC lub programu) **DI (DISCONNECT)**. Jeżeli skrzynka sprzężona jest z węzłem, rozkaz **G (GATE)** umożliwia połączenie z nim. W niektórych systemach do nadania lub odczytu zbioru stosowane są rozkazy **U (UPLOAD)** i **D (DOWNLOAD)**. W celu wywołania operatora skrzynki (o ile znajduje się on w pobliżu) służy rozkaz **T (TALK)**. Podobnie jak w przypadku węzłów rozkaz **I** pozwala na wywołanie najważniejszych informacji o węźle i jego wyposażeniu. Zbiory dwójkowe transmitowane są przeważnie w postaci zakodowanej za pomocą kodera 7PLUS (w wersji dla systemu operacyjnego WINDOWS – WIN7PL) lub programów *UUECCODE/UUDECODE* (dla systemu operacyjnego UNIX), albo w oparciu o protokół YAPP (tylko niektóre ze skrzynek elektronicznych pozwalają na korzystanie z niego, przykładowo są to skrzynki F6FBB i TSTHOST). W zestawieniu rozkazów jednoczęłowe podano wyłącznie tłustym drukiem natomiast wieloczęłowe dodatkowo w cudzysłowie dla uniknięcia pomyłek.

Zasadniczą różnicą między skrzynkami wchodzącymi w skład sieci i skrzynkami indywidualnymi zawartymi w oprogramowaniu sterowników TNC lub w popularnych programach pakiet radio jest możliwość retransmisji danych. Skrzynki wchodzące w skład sieci retransmitują dane automatycznie, kierując się adresem hierarchicznym lub znakiem skrzynki adresata. Skrzynki prywatne przeważnie nie mają tej możliwości i dlatego są przeznaczone jedynie do deponowania wiadomości dla jej posiadacza lub wąskiego grona użytkowników mających bezpośredni dostęp do skrzynki. Poza tym skrzynki prywatne czynne są jedynie w czasie dogodnym dla ich właściciela (operatora). W przeciwieństwie do skrzynek wchodzących w skład sieci nie wymagają one uzyskania osobnego zezwolenia.

Skrzynki prywatne zawarte są w niektórych wersjach sterowników TNC-2 (np. produkcji MFJ, PacComm i Timewave), w PK-232, w sterownikach TNC-3 i PTC-II (skrzynka dostępna jest nie tylko w systemie pakiet radio). Poza jednym z rozwiązań MFJ dla sterowników MFJ-1270/74 również i one nie retransmitują poczty automatycznie. Sterowniki TNC-2 produkcji krajowej wyposażone są w omówione dalej oprogramowanie TF nie zawierające skrzynki. Możliwa jest jednak wymiana oprogramowania na wersję TAPR wyposażoną w skrzynkę.

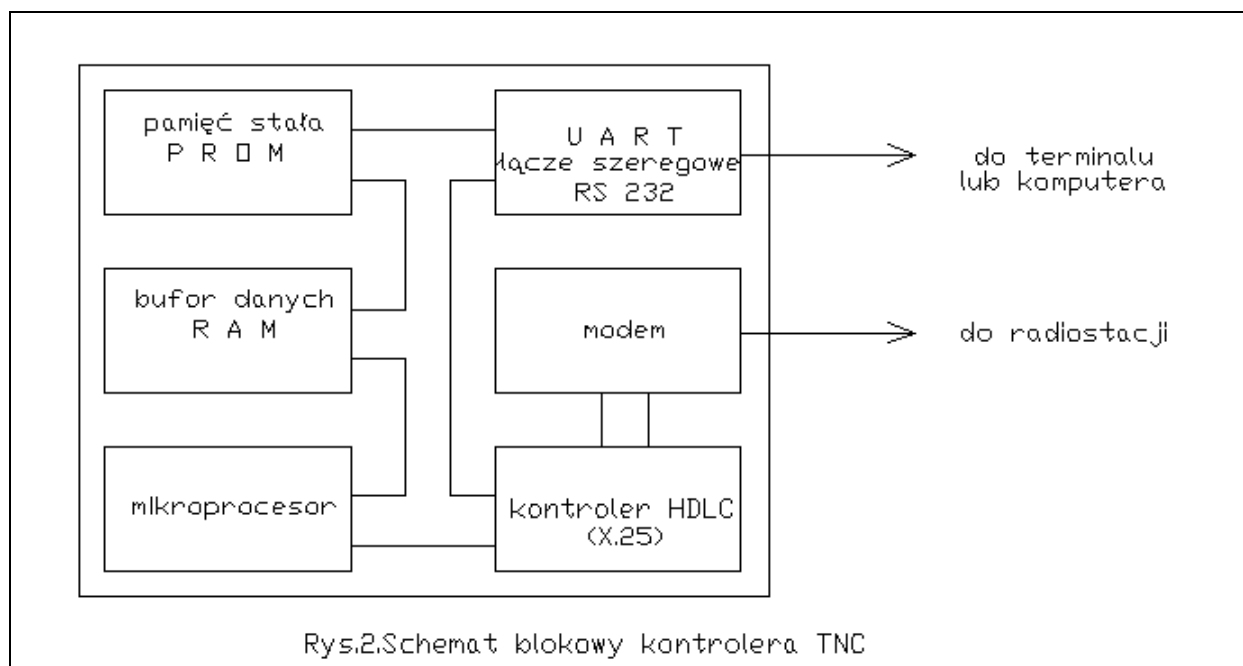
Rozdział 2. Wyposażenie

Modemy TNC i PTC

W latach 1980-tych i 1990-tych niezbędnym wyposażeniem stacji packet radio był inteligentny modem (sterownik węzła sieci) TNC. Modemy te były masowo produkowane w wielu krajach, w tym również i w Polsce. Obecnie w związku z rozpowszechnieniem się programów korzystających z modemu dźwiękowego (podsystemu dźwiękowego komputera analogicznie jak w przypadku innych znanych emisji cyfrowych) modemy te są coraz rzadziej używane. Mają one jednak liczne zalety, dzięki którym nie powinny pójść w odstawkę. Wiele modeli jest wyposażonych w prywatną elektroniczną skrzynkę pocztową a w zasadzie wszystkie również w funkcję przekaźnika cyfrowego. Pozwala to na uruchomienie lokalnych sieci lub stacji na potrzeby łączności kryzysowych, ćwiczeń, pracy w plenerze np. w czasie ekspedycji krótkofalarskich itp. Funkcja przekaźnikowa protokołu i TNC pozwala także na uruchomienie lokalnych stacji wspomagających sieć APRS i nie wymagających użycia komputera (co odbija się korzystnie zarówno na kosztach instalacji jak i zużywanej energii elektrycznej). W zależności od rodzaju oprogramowania modemy te mogą automatycznie nadawać wprowadzone przez operatora stacji komunikaty, a więc mogą to być w szczególnym przypadku również komunikaty APRS. Uniwersalne modemy wielosystemowe (j.np. SP-232, PK-232) pozwalają także na pracę innymi rodzajami emisji w tym i emisją Pactor 1 (przez co stanowią w pewnym ograniczonym zakresie konkurencję dla drogich modemów PTC). Mogą więc również znaleźć zastosowanie i w tych dziedzinach łączności amatorskich. Po wyposażeniu w specjalne oprogramowanie węzła (NET/ROM, X1J) mogą one pracować także jako lokalne węzły (ang. *node*) sieci AX.25.

Sterownik TNC jest urządzeniem inteligentnym obsługującym protokół AX.25. Pakuje on informacje otrzymane z komputera w pakiety o opisanej już strukturze, jak również dekoduje informację zawartą w prawidłowo odebranych pakietach i przekazuje ją do komputera w celu wyświetlenia na ekranie, wydruku albo rejestracji na dysku. Modem samoczynnie sprawdza też zajętość kanału i steruje przełączaniem nadawanie-odbioru radiostacji. Oprócz prowadzenia własnych łączności może on też retransmitować pakiety stacji trzecich (retransmisja na poziomie drugim modelu ISO). Wiele modemów TNC jest też wyposażonych w prywatną skrzynkę elektroniczną o pojemności od 3 kB do 16 kB, w niektórych modelach TNC-2 możliwa jest rozbudowa pojemności do 128 kB albo nawet 512 kB, a w TNC-3 nawet do 2 MB. Protokół AX.25 pozwala także na nadawanie w regularnych odstępach czasu standardowego tekstu radiolatarni (ang. *beacon*). Tekst radiolatarni nadawany jest przez modem automatycznie w zadanych odstępach czasu. Funkcja ta może obecnie znaleźć zastosowanie w transmisjach APRS stacji stałych. W tym przypadku wystarczy jedynie zaprogramowanie komunikatu o treści zgodnej ze strukturą komunikatów APRS i podanie odstępu czasu pomiędzy kolejnymi transmisjami. Tak skonstruowana stacja APRS pracuje autonomicznie wymagając połączenia z komputerem jedynie w celu zmiany komunikatu. Wiele nowszych modeli TNC jest wyposażonych w złącze służące do podłączenia odbiornika GPS i oprogramowanie nadające komunikaty APRS zawierające odczytane z niego dane. Sterownik TNC może służyć także jako lokalny przekaźnik cyfrowy dla APRS lub zwykłej komunikacji Packet Radio.

TNC (ang. *Terminal Node Controller*) jest urządzeniem dosyć skomplikowanym. Wyposażony jest we własny mikroprocesor, od 64 kB do 2 MB pamięci, obwód HDLC lub procesor komunikacyjny (realizujący większość funkcji protokołu AX.25) i oczywiście przynajmniej jeden modem. Uproszczony schemat blokowy TNC przedstawiono na rysunku poniżej.



W rozwiązaniach sterowników opartych na konstrukcji TAPR (TNC-2) stosowany jest mikroprocesor Z-80, w nowszych (TNC-3) mikroprocesor firmy Motorola typu 68302. W TNC-X funkcje sterujące i układu HDLC spełnia mikroprocesor PIC 16F628. Sterowniki TNC-2 wyposażone są w 32 kB pamięci roboczej RAM i 32 kB pamięci programu EPROM, TNC-3 w nawet do 2 MB pamięci RAM i do 1 MB pamięci EPROM lub EEPROM. W najprostszym przypadku sterowniki wyposażone są w modem dla szybkości transmisji 1200 bit/s i wewnętrzny wtyk pozwalający na podłączenie dowolnego innego np. szybszego modemu. Niektóre są wyposażone fabrycznie także i w modem dla szybkości 9600 bit/s. W okresie przejściowym stosowana była także szybkość 2400 bit/s ale dość szybko zrezygnowano z niej, zwłaszcza że w użyciu były dwa różne standardy – z modulacją PSK (standard stosowany przez firmy amerykańskie np. MFJ) i AFSK podobnie jak dla 1200 bit/s (standard stosowany w Niemczech i opracowany przez tamtejszych krótkofalowców).

Komunikacja komputera z TNC wymaga użycia specjalnego programu naśladującego terminal. W najprostszym przypadku może to być któryś z popularnych programów stosowanych w komunikacji telefonicznej (PROCOMM PLUS, Hyperterminal). Ponieważ TNC posiada własną pamięć buforową, szybkość wymiany danych między komputerem i modemem może być różna od szybkości transmisji w kanale radiowym. Znacznie wygodniej jest jednak użyć programu terminalowego opracowanego specjalnie dla potrzeb łączności Packet Radio. Najpopularniejszym z nich jest obecnie Paxon.

Sterowniki TNC można podzielić na dwie zasadnicze grupy. Do pierwszej z nich należą rozwiązania przeznaczone wyłącznie do pracy w systemie packet radio, do drugiej – wielofunkcyjne, pozwalające także na pracę innymi rodzajami emisji, jak telegrafia (CW), RTTY, AMTOR, PACTOR, SSTV, faksymile itd. Do tej drugiej grupy należą również opisane dalej modemy PTC.

TNC-2

Oprogramowanie

Modemy TNC-2 wyposażone są w jeden z dwóch rodzajów oprogramowania: TAPR albo The Firmware (TF), stanowiący udoskonalenie oprogramowania opracowanego przez WA8DED.

Modem TNC z oprogramowaniem TAPR (są to przeważnie modele produkcji amerykańskiej i na nich wzorowane) znajduje się po włączeniu w trybie rozkazowym sygnalizowanym za pomocą zgłoszenia "cmd:". Wszystkie przekazywane do niego informacje interpretowane są jako rozkazy. Po nawiązaniu połączenia za pomocą rozkazu C (CONNECT) wszystkie otrzymywane przez TNC teksty są nadawane w postaci numerowanych pakietów informacyjnych. Znaki specjalne jak CR (ang. *Carriage Return* – powrót wózka), CTRL-S, CTRL-Q, CTRL-V itd. są w dalszym ciągu interpretowane jako odpowiednie rozkazy. Uniemożliwia to transmisję plików dwójkowych (programów, obrazów). Powrót na

poziom interpretacji rozkazów dokonywany jest za pomocą znaku CTRL-C (kombinacji klawiszy CTRL i C). Do transmisji plików dwójkowych przewidziany jest specjalny tryb transparentny włączany za pomocą rozkazu TRANS. W trybie tym żaden z transmitowanych znaków nie jest interpretowany, a powrót na poziom interpretacji rozkazów wymaga odczekania kilku sekund po zakończeniu transmisji i 3-krotnego nadania znaku CTRL-C przez komputer. Przy braku połączenia rozkaz CONV (CONVERS) pozwala na nadawanie tekstów w postaci pakietów nienumerowanych UI (tryb bezpołączeniowy). Powrót na poziom interpretacji rozkazów dokonywany jest podobnie jak poprzednio za pomocą znaku CTRL-C. Transmitowane automatycznie teksty radiolatarni nadawane są również w postaci pakietów nienumerowanych.

Aktualne wersje oprogramowania TAPR wyposażone są dodatkowo w tzw. tryb KISS. W trybie tym sterownik pracuje tylko jako półinteligentny modem. Odebrane dane nadawane są do komputera w postaci bloków o specjalnym formacie, podobnie dane nadawane przekodowywane są w sterowniku z formatu bloków KISS na pakiety AX.25. Całej obsługi protokołu AX.25 dokonuje program terminalowy. Tryb ten przewidziany jest do współpracy ze specjalnymi programami terminalowymi, programami APRS takimi jak UI-VIEW oraz oprogramowaniem TCP/IP.

TNC wyposażony w oprogramowanie TF (w oprogramowanie to wyposażone są modele produkcji niemieckiej i dawniejszej krajowej poza SP-232) pracuje przeważnie w trybie podporządkowanym (ang. *host mode*). Odebrane dane przekazywane są do komputera jedynie na rozkaz otrzymany od programu terminalowego. Tryb ten wykorzystywany jest przez programy terminalowe opracowane specjalnie dla Packet Radio jak Paxon. Modemy wyposażone w oprogramowanie TF nie zawierają skrzynki elektronicznej i nie mogą nadawać samoczynnie tekstów radiolatarni (funkcje te o ile są potrzebne musi wypełniać za niego program terminalowy). Podobnie jak sterowniki z oprogramowaniem TAPR zawierają one jednak tryb KISS. Tryb ten stosowany jest przez niektóre programy komunikacyjne i programy dla APRS j.np. UI-View.

W obu przypadkach TNC może obsługiwać 10 kanałów logicznych, co pozwala na prowadzenie do 10 niezależnych łączności (TNC-3 nawet do 200) na tej samej częstotliwości (w tym samym fizycznym kanale radiowym).

Obsługa TNC-2

Pełny zestaw rozkazów oprogramowania TAPR jest zawarty w instrukcji obsługi sprzętu, dlatego też ograniczono się tutaj jedynie do krótkiego omówienia najważniejszych z nich.

Duża liczba rozkazów może w pierwszym momencie przestraszyć użytkownika. Jednak większość parametrów nie wymaga zmian, zwłaszcza w czasie pierwszych prób. Zasadniczo wystarczy tylko wprowadzić swój znak wywoławczy (rozkaz **MYCALL**), ewentualnie tekst powitalny (rozkaz **CTEXT**, włączenie za pomocą rozkazu **CMSG ON**) i tekst radiolatarni (rozkaz **BTEXT**, włączenie za pomocą rozkazu **BEACON** ...) i po krótkiej obserwacji sytuacji na paśmie przeprowadzać pierwsze łączności, posługując się rozkazami **CONNECT** i **DISCONNECT**. Od czasu do czasu dobrze jest wywołać listę odbieranych stacji za pomocą rozkazu **MHEARD**. Wartości innych parametrów mogą być zmieniane i dopasowywane później w miarę zdobywania doświadczenia lub po dyskusjach z bardziej zaawansowanymi kolegami. Do obsługi lokalnej skrzynki elektronicznej przewidziane są rozkazy **MAILBOX ON/OFF** i **SYSOP**, oraz rozkazy wymienione na liście zgłoszenia skrzynki: **"L"** – spis wiadomości, **"R numer"** – odczyt wiadomości, **"K numer"** – skasowanie wiadomości, **"S adresat tytuł"** – nadanie wiadomości, **"B"** – zakończenie połączenia ze skrzynką. Korzystne (choć niekonieczne) byłoby nastawienie zegara za pomocą rozkazu **DAYTIME**. Jeżeli konieczne jest dokonanie zmiany wartości któregoś z parametrów w trakcie łączności, należy przejść na poziom rozkazowy za pomocą CTRL-C, dokonać pożądanej zmiany i powrócić do łączności za pomocą rozkazu **CONV**.

Dla ułatwienia orientacji modem wyposażony jest co najmniej w następujące wskaźniki (diody świecące):

- **PWR** – wskaźnik włączenia.
- **CON** – wskaźnik połączenia z korespondentem, po włączeniu funkcji diagnostycznej **HEALLED** miga cały czas przypadkowo. Funkcja diagnostyczna dostępna jest tylko w oprogramowaniu TAPR.

W trybie KISS miga trzykrotnie po włączeniu, a następnie sygnalizuje transmisję danych do komputera.

- **STA** – wskazuje, że w buforze znajdują się nienadane pakiety, po włączeniu funkcji diagnostycznej **HEALLED** miga cały czas przypadkowo; zależnie od wartości parametru **MAILED** może sygnalizować też obecność nowych wiadomości w skrzynce.
W trybie **KISS** miga trzykrotnie po włączeniu **TNC**, a następnie sygnalizuje transmisję danych z komputera do **TNC**. Stałe świecenie się diody **STA** w trybie **KISS** może oznaczać zawieszenie się sterownika.
- **PTT** – sygnalizuje przejście **TNC** na nadawanie.
- **DCD** – sygnalizuje odbiór danych.

Niektóre z modemów wyposażone są dodatkowo we wskaźnik dostrojenia przydatny do pracy na falach krótkich. W przypadku pracy na **UKF** (**AFSK/FM**) jest on zbędny. Czasami na płycie czołowej znajdują się też wskaźniki sygnalizujące tryb pracy **CMD**, **CONV** i **TRANS**, włączenie szybkiego modemu **TURBO** albo dodatkowa dioda **MAIL** sygnalizująca obecność wiadomości w skrzynce.

Przed przystąpieniem do pracy należy oczywiście połączyć modem z komputerem i radiostacją. Należy też dobrać odpowiednie parametry transmisji na złączach komputera i radiowym. Szybkości transmisji na złączu **RS-232** zmienia się najczęściej za pomocą przełącznika znajdującego się na tylnej ścianie urządzenia lub zwieraczy znajdujących się wewnątrz obudowy. Szybkość ta nie ma nic wspólnego z szybkością transmisji w łączu radiowym i może być od niej różna. W niektórych wersjach do jej zmiany służy rozkaz **ABAUD** (**TBAUD**). Pozostałymi parametrami transmisji są długość słowa (7/8 bitów) i rodzaj bitu parzystości. Mogą one być zmieniane za pomocą rozkazów **AWLEN** i **PARITY**. Początkowo ustawione są wartości 7 bitów i bit przysty (7E1). Po ewentualnej zmianie wartości **AWLEN** na 8 i wartości **PARITY** na 0 otrzymujemy kombinację 8N1. Zestaw ten należy oczywiście ustawić w posiadanym programie komunikacyjnym. Liczba bitów stopu zawsze wynosi jeden. Wybór zestawu zależy od upodobań i potrzeb użytkownika, a sposób wprowadzania zmian w programie komunikacyjnym (terminalowym) opisany jest w jego instrukcji. Jeżeli w łącznościach używane są znaki specjalne lub diakrytyczne leżące w górnej połowie tabeli **ASCII** należy wybrać kombinację 8N1, w przeciwnym przypadku znaki te ulegają zafałszowaniu.

Wybór szybkości pracy w łączu radiowym (o ile jest on wogóle przewidziany, występują tu duże różnice między poszczególnymi rozwiązaniami) dokonywany jest za pomocą przełącznika na tylnej płycie lub rozkazu **HBAUD** (w niektórych przypadkach jest to rozkaz **MODE VP**). Dodatkowo należy przełączyć modem wewnętrzny na wybraną szybkość pracy lub podłączyć odpowiedni modem zewnętrzny. W większości rozwiązań wewnątrz urządzenia znajduje się odpowiedni wtyk przewidziany do tego celu i przeważnie oznaczony symbolem **J4** (na schematach występuje nazwa "modem disconnect", oznaczenia te dotyczą modeli amerykańskich). Fabrycznie ustawiana jest szybkość 1200 bit/s i do tej szybkości dostosowane są wszystkie modemy wewnętrzne. Niektóre z nich pozwalają na przełączenie na 300 bit/s (**KF**), natomiast praca z szybkością 9600 bit/s możliwa jest jedynie po dołączeniu dodatkowego modemu (**FSK**). Do łączności satelitarnych stosowane są m.in. modemy **PSK/MSK** 1200 bit/s albo modemy 9600 bit/s wg. standardu **G3RUH**.

Jeżeli linie na ekranie pisane są jedna na drugiej, należy dodać znaki **LF** (rozkaz **AUTOLF**), przy podwójnym odstępie należy wyłączyć to dodawanie. Wyświetlanie podwójnych liter na ekranie lub ich brak wymaga dokonania odpowiedniej zmiany parametru **ECHO** – echa lokalnego. W oprogramowaniu **TF** jest to parametr **E**. Inną przyczyną występowania podwójnego odstępu linii może być nieprawidłowa wartość parametru **SCREENLN**. Można tu spróbować wartości 0.

Dalszymi parametrami, które muszą być zmieniane w zależności od szybkości pracy, poziomu zakłóceń na łączu lub posiadanego wyposażenia są (na końcu w nawiasach podano rozkazy dla oprogramowania **TF**):

- **DWAIT** – określający czas oczekiwania przed przejściem na nadawanie po stwierdzeniu braku nośnej, parametr ten podawany jest w dziesiątkach milisekund;
- **DIGIPEAT ON/OFF** – włączający funkcję przekaźnikową sterownika, (**R**);
- **FRACK** – podający czas oczekiwania na pokwitowanie pakietu, czas ten podawany jest w sekundach, a jego długość zależna jest od liczby wykorzystywanych stacji retransmitujących poziomu 2, (**F**);
- **MAXFRAME** – ustalający maksymalną dopuszczalną liczbę niepotwierdzonych pakietów, praktyczną wartością jest 4, w zakresach **UKF** można stosować większe wartości, w zakresach **KF** konieczne jest użycie wartości 1 do 3, (**O**);

- **PACLEN** – ustalający maksymalną długość pola informacyjnego transmitowanych pakietów, w łączach o wyższym poziomie zakłóceń korzystniejsze jest stosowanie pakietów krótszych (np. KF – 64 oktetów), łącza o niskim poziomie zakłóceń w zakresach UKF są lepiej wykorzystane w przypadku użycia pakietów dłuższych (nawet do 256 oktetów), niektóre ze starszych typów TNC nie mogą jednak odbierać pakietów dłuższych niż 128 oktetów;
- **RETRY** – ustalający maksymalną liczbę powtórzeń pakietu przed przerwaniem połączenia, wartością maksymalną jest 15. Zero oznacza nieograniczoną liczbę powtórzeń, (**N**);
- **TXDELAY** – ustalający odstęp czasu od momentu włączenia nadajnika do czasu rozpoczęcia nadawania pakietu, podawany w dziesiątkach milisekund, jego wartość zależy od sposobu łączenia nadawanie-odbior (przekaznikowy lub elektroniczny), przed rozpoczęciem nadawania pakietu transmitowane są oktetów synchronizujące, (**T**).

W przypadku pracy przez satelity lub użycia TNC w łączach dwuplexowych między stacjami węzłowymi sieci należy ustawić parametr **FULLDUP** na **ON**, normalnym stanem jest **OFF**, (**@D**).

Do transmisji zbiorów dwójkowych konieczne jest włączenie **8BITCONV** na **ON** i **AWLEN** na 8 bitów. Należy także wyłączyć bit przystość (kombinacja 8N1).

Omówione rozkazy należą do zbioru rozkazów oprogramowania TAPR. Rozkazów trybu podporządkowanego (ang. *host mode*; oprogramowanie WA8DED, TF) nie wykorzystuje bezpośrednio operator stacji, a jedynie programy komunikacyjne. Operator posługuje się w tym przypadku zestawem rozkazów posiadanego programu i powinien zapoznać się dokładnie z jego instrukcją. W większości programów terminalowych dla trybu podporządkowanego naciśnięcie klawisza ESC (escape) powoduje otwarcie okienka dialogowego, w którym można podawać rozkazy dla modemu, a więc np. rozkaz **I** służący do wprowadzenia własnego znaku, rozkazy **C (connect)** i **D (disconnect)** i inne. Większość parametrów konfiguracyjnych (włącznie ze znakiem wywoławczym) może być jednak zapisana w konfiguracji programu i wykorzystywana przez niego automatycznie. W celu nawiązania połączenia używane są specjalne przyciski ekranowe naciskane za pomocą myszy a programy wyposażone są w możliwości zapamiętywania nawet bardziej skomplikowanych tras połączeń albo korzystania z tras zapisanych przez operatora w specjalnych plikach. W przeciwieństwie do telefonicznych programów terminalowych stosowanych do obsługi sterowników wyposażonych w oprogramowanie TAPR programy dla trybu podporządkowanego dysponują oddzielnymi oknami dla każdego z kanałów logicznych i pozwalają dzięki temu na bardziej komfortowe prowadzenie równoległych łączności i automatyczny odbiór wybranych uprzednio wiadomości ze skrzynek sieci. Ogólnie można powiedzieć, że programy terminalowe dla trybu podporządkowanego oferują większy komfort pracy w porównaniu z programami do użytku ogólnego co spowodowało ich znaczne rozpowszechnienie w kręgach amatorskich.

Połączenie TNC z komputerem

Na wtyku D-25 sterownika TNC-2 występują następujące sygnały RS-232:

- **kontakt 1** – ekran;
- **kontakt 2** – TXD – wejście danych nadawanych przez komputer;
- **kontakt 3** – RXD – wyjście danych nadawanych przez TNC;
- **kontakt 5** – CTS – wyjście sterujące przepływem danych z komputera;
- **kontakt 6** – DSR – wyjście sygnalizujące włączenie i gotowość TNC; Naogół jest połączone z napięciem zasilania;
- **kontakt 7** – masa;
- **kontakt 8** – DCD – wyjście sygnalizujące nawiązanie połączenia; W niektórych rozwiązaniach jego stan odpowiada stanowi diody CONNECT w innych jest połączone na stałe z napięciem dodatnim lub jest przełączane za pomocą zwieracza.
- **kontakt 20** – DTR – wejście sygnalizujące gotowość komputera do odbioru danych.

W modelach produkcji niemieckiej i wzorowanych na nich zamiast sygnału DTR stosowany jest sygnał RTS występujący na kontakcie 4. Pomimo powszechnego wejścia do użytku złącza USB modemy TNC wyposażone w to złącze stanowią wyjątki. Przykładem może być model MFJ-1270X.

Synchronizacja wymiany danych może się więc odbywać za pomocą sygnałów CTS/DTR, o ile używany program terminalowy przewiduje taką możliwość (np. PROCOMM PLUS). Większość telefonicznych programów terminalowych pozwala w każdym razie na użycie protokołu XON/XOFF (tzn. znaków CTRL-Q i CTRL-S w celu wstrzymania lub powtórnego podjęcia transmisji danych w złączu).

Niektóre z programów skrzynek elektronicznych (np. PROCOMM, PROCOMM PLUS w trybie zdalnym) wymagają sygnalizacji nawiązania połączenia za pomocą sygnału DCD. W najprostszym przypadku sterownik z komputerem można połączyć za pomocą kabla trójżyłowego zawierającego sygnały TXD, RXD i masę; lepszym rozwiązaniem jest jednak połączenie wszystkich wymienionych sygnałów, zwłaszcza jeżeli przewidziane jest korzystanie z trybu transparentnego. Synchronizacja elektryczna zapewnia krótszy czas reakcji, jest przez to pewniejsza w działaniu i dlatego powinna być stosowana w pierwszym rzędzie. W trybie KISS wystarcza połączenie trójżyłowe, a ponieważ nie stosowany jest także protokół XON/XOFF, w trakcie transmisji dłuższych zbiorów może dojść do przepełnienia wewnętrznego bufora w modemie i straty danych, a także do zawieszenia się sterownika. Modemy wyposażone w 32 KB RAM posiadają w trybie KISS bufor o pojemności ok. 28 kB, wyposażone w 16 kB – około 12 kB. Udoskonaloną wersją trybu KISS jest protokół SMACK, bloki danych typu KISS są uzupełnione sumą kontrolną CRC. Sposób połączenia podano w tabeli.

Modem TNC Wtyk 25 nóżkowy	Komputer (RS-232)	
	Wtyk 25 nóżkowy	Wtyk 9 nóżkowy
2	2	3
3	3	2
5	5	8
6	6	6
7	7	5
8	8	1
20	20	4

W przypadku połączenia trójżyłowego konieczne może być zwarcie nóżek 4 i 5 oraz 6, 8 i 20 po stronie komputera (numeracja na wtyku 25-nóżkowym), a także nóżek 6 i 20 po stronie TNC.

Połączenie powinno być dokonane kablem ekranowanym, a ekran połączony z nóżką 1 (wtyk 25-nóżkowy) po stronie komputera.

Oprogramowanie trybu podporządkowanego TF nie korzysta wogóle z sygnałów sterujących przepływem danych dlatego też wystarcza tutaj połączenie 3-żyłowe.

Połączenie TNC z radiostacją

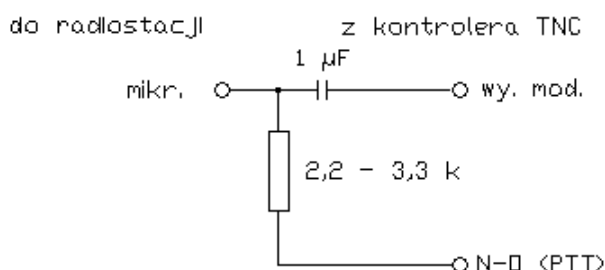
Połączenie z radiostacją sprowadza się do podłączenia wyjścia głośnikowego lub słuchawkowego odbiornika z wejściem modemu, jego wyjścia z wejściem mikrofonowym nadajnika oraz wyjścia PTT modemu z wejściem nadawanie-odbiór. Połączenie to powinno być dokonane za pomocą 4-żyłowego kabla ekranowanego lub odpowiednich pojedynczych kabli ekranowanych w zależności od rodzaju wtyków w posiadanej radiostacji. Ekran kabla powinien być połączony z masą radiostacji. Po ustawieniu pokrętki siły głosu w pozycji środkowej i zamknięciu blokady szumów (w przypadku odbiornika FM) dioda DCD powinna zapalać się jedynie w momentach odbioru sygnału. W zależności od rozwiązania układowego modemu dioda ta może migać przy otwartej blokadzie szumów, świecić ciągle lub zapalać się tylko w momencie odbioru sygnału. Jeżeli i w tym przypadku dioda zapala się jedynie w trakcie odbioru sygnału pakiet radio, blokada szumów może pozostać otwarta. Zakładając prawidłową współpracę modemu TNC z komputerem, na ekranie powinny pojawić się odbierane teksty. W razie ich braku lub pojawiania się tylko niektórych pakietów należy w pierwszym rzędzie dokonać regulacji siły głosu aż do uzyskania normalnego odbioru. Następnie można przystąpić do kontroli toru nadawczego, próbując nawiązać łączność z dobrze odbieraną stacją.

Nowsze modele radiostacji wyposażone są często w specjalne gniazdo danych przeznaczone do podłączenia modemu TNC lub PTC. W zależności od modelu radiostacji gniazdo to może zawierać wyjście danych wyłączane przez blokadę szumów lub też nie albo czasami obie alternatywy.

Mimo, że połączenie TNC z radiostacją wydaje się być zasadniczo prostsze niż połączenie z komputerem, może tu wystąpić szereg problemów, które przedstawiono poniżej. Część z nich dotyczy zresztą nie tylko emisji Packet radio i nie tylko modemów TNC ale również i innych emisji cyfrowych i stosowanych dla nich układów łączących komputer z radiostacją oraz ustawień poziomów sygnałów na wejściach i wyjściach podsystemu dźwiękowego komputera.

Przełączenie nadawanie-odbiór

Sterownik (modem) TNC wyposażony jest w wyjście tranzystorowe typu otwarty kolektor zwierające wejście nadajnika do masy w momencie nadawania. Jest to sposób przełączania stosowany w wielu typach radiostacji fabrycznych. W niektórych starszych lub nietypowych rozwiązaniach konieczne było podanie odpowiedniego napięcia o polaryzacji dodatniej lub ujemnej. Wymagałoby to dodania na wyjściu sterownika stopnia odwracającego polaryzację lub przesuwającego poziom napięcia wyjściowego. Osobną grupę stanowią radiostacje przenośne. Wiele z nich nie posiada oddzielnego wejścia przełączającego na nadawanie, a samo przełączanie odbywa się przez stałoprądowe zwarcie obwodu mikrofonu do masy (jest to m.in. typowe rozwiązanie stosowane w radiostacjach przenośnych firmy YAESU). Podłączenie TNC wymaga włączenia dodatkowego kondensatora o pojemności ok. $1\ \mu\text{F}$ w przewód wyjściowy fonii z TNC tzn. pomiędzy TNC a wyjście mikrofonowe i podłączenie przewodu N-O z wejściem mikrofonowym przez opornik $2,2 - 3,3\ \text{k}$. Niektóre modele TNC wyposażone są w drugie wyjście zawierające opisany układ.



Rys. 3. Układ przełącznika N-O dla radiostacji przenośnych

Wyjście głośnikowe

Zbyt niski poziom sygnału akustycznego z odbiornika może spowodować błędne dekodowanie sygnału przez modem, natomiast za wysoki poziom powodujący zniekształcenia nieliniowe we wzmacniaczu m.cz. odbiornika lub modemie jest niepożądany z tych samych względów. Dlatego też warto poeksperymentować trochę z położeniem regulatora siły dźwięku. Inną przyczyną zniekształceń nieliniowych może być niedostateczne obciążenie wyjścia wzmacniacza m.cz. odbiornika. Impedancja wejściowa modemu jest znacznie większa od impedancji głośnika w związku z czym wzmacniacz m.cz. pracuje praktycznie bez obciążenia. W przypadku stwierdzenia występowania zniekształceń nieliniowych należy obciążyć wyjście głośnikowe opornikiem $8 - 10\ \Omega$ lub słuchawką.

Dalszym źródłem błędów w odbiorze sygnałów packet radio może być niewłaściwa charakterystyka amplitudowa lub fazowa odbiornika. Nieliniowa charakterystyka fazowa powoduje różne opóźnienia czasowe obu tonów, jednak w praktyce jej ujemny wpływ występuje dopiero przy szybkościach przekraczających $1200\ \text{bit/s}$. Inną przyczyną błędów jest nieliniowość charakterystyki amplitudowej, powodująca znaczną różnicę poziomów sygnału dla obu częstotliwości (można to sprawdzić za pomocą oscyloskopu). Wrażliwość modemu na różnicę poziomów sygnałów wejściowych zależy od jego konstrukcji. Modemy wyposażone w dawniej produkowany obwód scalony AM7911 tolerują różnice poziomów rzędu 2:1, wyposażone w obwód TCM3105 – rzędu 3:1. Jeżeli różnica poziomów będzie rzeczywiście powodować błędny odbiór, należy włączyć na wejście modemu filtr korekcyjny RC dol-

no- lub górnoprzepustowy w zależności od zaobserwowanych efektów lub dokonać odpowiednich przeróbek w torze akustycznym odbiornika.

Blokada szumów

Pewnych problemów może przysporzyć także blokada szumów. W niektórych urządzeniach, zwłaszcza w radiostacjach przenośnych jej czas reakcji może być zbyt długi i powodować obcinanie początków pakietu. W takim przypadku konieczne jest skrócenie jej stałej czasu lub zastosowanie dodatkowego układu cyfrowej blokady szumów. Zastosowanie cyfrowej blokady szumów pozwala na pracę z otwartą blokadą szumów odbiornika. Jak wspomniałem wyżej niektóre rozwiązania modemów pozwalają na pracę z otwartą blokadą szumów, inne nie są odporne na szumy. Jeżeli otwarcie blokady szumów odbiornika powoduje stałe świecenie diody DCD sterownika lub bardzo częste migotanie oznacza to wrażliwość modemu na szumy i konieczność zastosowania jednego ze wspomnianych rozwiązań, po stwierdzeniu obcinania pakietów.

Stosowane w wielu typach radiostacji przenośnych układy oszczędności baterii powodują również czasami obcięcie początków odbieranych pakietów. Jeżeli niemożliwe jest ich wyłączenie, konieczna jest praca z otwartą blokadą szumów i ewentualne użycie blokady cyfrowej w modemie lub TNC.

Sygnal wyjściowy modemu

Skontrolowania wymagać może także poziom sygnału wyjściowego. Zbyt słabe wysterowanie lub przesterowanie nadajnika jest również niekorzystne. Podobnie jak w przypadku odbioru, ujemnie może odbić się tu także nieliniowość charakterystyki amplitudowej modulatora. W niektórych przypadkach konieczne może być włączenie odpowiedniego filtra korekcyjnego: dolno- lub górnoprzepustowego. Należy także zwrócić uwagę na wartość dewiacji częstotliwości. Zbyt duża dewiacja powoduje zniekształcenia nieliniowe sygnału nadawanego, co może utrudnić odbiór u korespondenta, a także zakłócenia w sąsiednich kanałach.

Pomiary dewiacji częstotliwości są nieco bardziej skomplikowane – w praktyce może wystarczyć porównanie siły sygnału własnej stacji z sygnałami innych stacji za pomocą odbiornika kontrolnego.

Opisane powyżej trudności najłatwiej zaobserwować, nawiązując łączność z blisko położonym korespondentem w godzinach mniejszego ruchu lub na mniej używanym kanale, tak aby zminimalizować wpływ zakłóceń zewnętrznych. Częste występowanie błędów powodujące więcej powtórzeń lub nawet przerywanie połączenia będą sygnalizowały konieczność dokładniejszego zbadania sprawy.

Modele

Klasycznym rozwiązaniem modemu jest TNC-2 oparty na konstrukcji amerykańskiej grupy krótkofalowców TAPR z Tucson. Modem ten był i jest produkowany przez wiele firm – np. MFJ – modele MFJ-1270B/1270C/1274, Timewave – PK-96 itp.



W wykonaniu tym TNC umożliwia pracę z szybkością 300 bit/s na falach krótkich i 1200 bit/s na UKF-ie. Po dołączeniu dodatkowego modemu możliwa jest praca z szybkością 9600 bit/s. Modem dołączany jest do wtyku oznaczonego symbolem J4. Szybkości pracy przełączane są miniaturowym przełącznikiem typu DIL, a częstotliwości filtrów modemu dodatkowym przyciskiem.

Na płycie czołowej znajduje się, wspomniane już, pięć diod świecących sygnalizujących stan pracy. Model MFJ-1274 ma także rząd 16 diod świecących służący jako wskaźnik dostrojenia (przydatny do pracy SSB na falach krótkich). W nowszych wersjach oprogramowania sterowniki TNC-2 mogą pracować w trybie KISS, pozwalają na odbiór faksymile – map pogody (ang. WEFAX) i są często wyposażone w prywatną skrzynkę elektroniczną.

Po wymianie oprogramowania na NET/ROM, Thenet lub X1J mogą one pracować jako (pomocnicze) węzły sieci. Szczególnie interesująca jest wersja X1J programu Thenet. Pozwala ona na retransmisję datagramów TCP/IP równolegle do komunikacji międzywęzłowej w protokole NET/ROM. Wymienione programy dostępne są w postaci pamięci EPROM lub plików przeznaczonych do zaprogramowania pamięci. Modemy TNC-2 produkcji niemieckiej i krajowej mimo trochę odmiennej konstrukcji elektrycznej są kompatybilne ze wzorcem TAPR a główną różnicę w stosunku do modeli amerykańskich stanowi wyposażenie w oprogramowanie TF zamiast typowego dla amerykańskich modeli oprogramowania TAPR. Kompatybilność pozwala jednak na wymianę oprogramowania na TAPR, TheNet, X1J i inne w miarę potrzeby. Wśród modeli niemieckich wyróżnia się sterownik TNC-2H firmy "Symek". Jest on wyposażony w modem G3RUH przeznaczony do pracy z szybkością 9600 bit/s. W nowszych rozwiązaniach możliwe jest dołączenie modemu zewnętrznego dla szybkości 1200 bit/s. Jako jedyny znany mi model produkcji niemieckiej jest on wyposażony w pamięć EPROM o pojemności 64 kB zawierającą zarówno oprogramowanie TF jak i TAPR, niestety zainstalowana tam wersja nie zawiera skrzynki elektronicznej. Wybór programu dokonywany jest za pomocą miniaturowego przełącznika na płycie czołowej.

Do rozwiązań klasycznych zaliczają się także modele TNC-21S firmy „Symek” (zawiera oprogramowanie TF) i KPC-3+ firmy Kantronics (zawiera oprogramowanie TAPR z dodatkowym węzłem KA-Node). Model KPC-9612+ tej samej firmy zawiera modemy dla szybkości transmisji 1200 i 9600 bit/s podobnie jak PK-96. Produkowany w Niemczech EuroTNC-3 jest również dostosowany do pracy z tymi dwoma szybkościami transmisji. Jest on fabrycznie wyposażony w oprogramowanie TF dla trybu podporządkowanego i wolne gniazdko pamięci dla alternatywnego oprogramowania np. X1J.



Ciekawym rozwiązaniem jest miniaturowy model TNC-μ21 firmy Telereader. Sterownik ten rozmiarów paczki papierosów wyposażony we własną skrzynkę elektroniczną i zasilany z wbudowanego akumulatora pozwala na pracę z samochodu lub z urządzenia przenośnego pod warunkiem posiadania odpowiedniego przenośnego komputera lub łatwe uruchomienie stacji w dowolnym wyposażonym

w komputer pomieszczeniu (np. QRL). I tu możliwa jest także praca w trybie KISS. Nadaje się on również dobrze do uruchomienia stacji APRS w plenerze.

Ze względu na fakt, że w posiadaniu krótkofalowców znajduje się znaczna liczba egzemplarzy zakupionych dawniej, w tym krótkim przeglądzie uwzględniono także modele już obecnie nie produkowane.

Rodzina PK-232

Osobną grupę stanowią sterowniki wielofunkcyjne pozwalające dodatkowo na pracę telegraficzną, dalekopisową w kodach Baudota i ASCII, AMTOR a także w niektórych przypadkach także faksymile, PACTOR, NAVTEX i telewizją wąskopasmową SSTV. Są to modele PK-232 firmy AEA (SP-232 firmy MUEL, HK-232 (Heathkit), PK-900, PK-232/DSP, DSP-1232/2232/232, Kantronics-KAM (Plus), MFJ-1276 i MFJ-1278 oraz MFJ-1278T - turbo.

Modele PK-232 i KAM (Plus) wyposażone są w podwójne modemy umożliwiające równoległą pracę w zakresach KF i UKF. Wszystkie trzy urządzenia posiadają wbudowany wskaźnik dostrojenia i szereg dodatkowych wskaźników sygnalizujących wybrany rodzaj pracy.

Model PK-232, podobnie jak TNC-2, zawiera wewnątrz wtyk przeznaczony do dołączenia modemu zewnętrznego, sterownik KAM pozbawiony jest tej możliwości.

Praca emisją faksymile możliwa jest na sterowniku PK-232 i MFJ-1278(T), a emisją SSTV na sterowniku MFJ-1278(T).

Najbardziej uniwersalnymi urządzeniami z tej grupy są urządzenia wyposażone w procesor sygnałowy i pracujące na zasadzie cyfrowej obróbki sygnałów. Są to modele DSP-1232, DSP-2232, DSP-232 i PK-232/DSP. Modemy układowe są tutaj zastąpione przez program pracujący na procesorze sygnałowym i realizujący matematycznie wszystkie funkcje filtrów i modemów dla różnych rodzajów emisji. Wymiana modemu lub rozbudowa sterownika wymaga więc jedynie wymiany pamięci zawierającej program. Sterowniki te pozwalają na pracę wszystkimi rozpowszechnionymi w praktyce amatorskiej rodzajami emisji, wyposażone są w skrzynki elektroniczne pakiet radio, AMTOR i PACTOR, oprogramowanie węzła "Gateway" a model DSP-2232 jest wyposażony w dwa wyjścia radiowe. Niestety są to urządzenia dosyć drogie nawet jak na warunki zachodnie.



Szczególnie interesującą możliwością urządzeń z tej grupy jest możliwość pracy emisją Pactor. Jest ona wprawdzie ograniczona do wariantu Pactor I i to bez wykorzystania jednej z istotnych funkcji a mianowicie kumulacji pakietów w pamięci (ang. *memory ARQ*) ale stanowi mimo to cenną alternatywę w stosunku do dość drogich modemów PTC.

TNC-3



Ze względu na zastosowanie procesorów ośmiobitowych zakres szybkości pracy modemów TNC-2 jest ograniczony do 9600 bit/s lub 19200 bit/s w łączu radiowym. Maksymalną szybkością wymiany danych z komputerem może być 38400 bit/s. Wiele z obecnych rozwiązań nie jest jednak dostosowanych nawet do tych szybkości pracy. Związane jest to z ograniczoną szybkością przetwarzania procesorów ośmiobitowych. Z tego samego powodu nie można też zainstalować w sterowniku oprogramowania pracującego w wyższych protokołach, automatycznego wyboru tras itp. Obszar adresowy procesorów ośmiobitowych ograniczony jest do 64 kB, co stanowi dodatkowe utrudnienie.



Sterowniki TNC-3S i TNC-31S zawierają szesnastobitowy procesor firmy Motorola (MC68302) charakteryzujący się większą szybkością przetwarzania i większym obszarem adresowym. Procesor ten zawiera dodatkowo kontroler DMA, kontroler przerwań, trzy kanały komunikacyjne HDLC/SDLC oraz pomocniczy procesor RISC. Procesor ten może niezależnie przetwarzać transmitowane dane, odciażając w ten sposób jednostkę główną. Dzięki temu możliwa jest równoległa obsługa dwóch kanałów HDLC (dwóch modemów packet radio) i kanału łączności z komputerem z szybkościami do 1 Mbit/s. Fabrycznie dostępne są modemy dla szybkości 1200

bit/s i 9600 bit/s, z tym że ten ostatni może po dokonaniu niewielkich przeróbek pracować również z szybkością 19200 bit/s. Brak jest natomiast modemu krótkofalowego dla szybkości 300 bit/s.

Konstrukcja sterownika TNC-3S wykorzystuje w znacznym stopniu wspomniane możliwości. Przewidziano w nim możliwość równoległej pracy w dwóch kanałach radiowych z szybkościami dochodzącymi do 1 Mbit/s i wymiany danych z komputerem z szybkością maksymalną 115 kbit/s. Pamięć wewnętrzna urządzenia może mieć pojemność do 2 MB. Sterownik wyposażony jest w obwód zegarowy, dzięki czemu odpada konieczność nastawiania zegara każdorazowo po włączeniu TNC. Jest to duża niedogodność sterowników TNC-2. Całość skonstruowana jest w technice CMOS i charakteryzuje się małym poborem prądu.

Oprogramowanie TNC-3S jest udoskonaloną wersją oprogramowania TF i zawiera dodatkowo skrzynkę elektroniczną wzorowaną na systemie DieBox (wymagane jest wówczas wyposażenie sterownika w minimum 256 kB pamięci RAM). W trybie podporządkowanym sterownik TNC-2 musiał być stale odpytywany przez komputer w celu stwierdzenia napływu nowych danych (ang. *polling*). Sterownik TNC-3S sygnalizuje samoczynnie napływ danych z podaniem numeru kanału logicznego. Komputer musi jedynie odczytać te dane. Dzięki temu zmniejszyło się znacznie obciążenie złącza szeregowego RS-232 komputera. Zmniejszenie obciążenia złącza ma istotne znaczenie jeżeli komputer pracuje pod wielozadaniowym systemem operacyjnym (ang. *multitasking*) – przykładowo Windows XP, UNIX lub OS/2. Oprogramowanie TNC-3S może samoczynnie rozpoznać szybkość transmisji każdego z zainstalowanych modemów. W zależności od wielkości zainstalowanej pamięci sterowniki TNC-3 pozwalają na prowadzenie łączności w 30 do 200 kanałach logicznych, z tym jednak, że 10 z nich jest zawsze zarezerwowanych dla prywatnej skrzynki elektronicznej. Oprócz oprogramowania TF i skrzynki TNC3BOX sterowniki TNC-3S są wyposażone w program diagnostyczny i oprogramowanie trybu KISS.

TNC-3S może pracować jako stacja węzłowa 3NET, a dzięki wyposażeniu w dwa wejścia także jako stacja skrośna. Oprogramowanie 3NET będące odmianą oprogramowania XNET jest dostępne w Internecie i musi być zainstalowane dodatkowo w miejsce standardowego. Oprócz węzła zawiera ono skrzynkę TNC3BOX i wszystkie inne wymienione powyżej programy.

Możliwe jest także połączenie większej liczby (do 32) TNC-3 w sieci.

Nowsze wersje oprogramowania mogą być ładowane z komputera bezpośrednio do pamięci RAM lub do kasowanej elektrycznie pamięci EEPROM (ang. *flash PROM*). Odpada więc konieczność wymiany pamięci EPROM. Opracowana została także biblioteka programów dla kompilatorów firmy Borland i AZTEC-C pozwalająca na samodzielne pisanie programów. Oprogramowanie sterownika może być kompilowane za pomocą skrośnych kompilatorów języka C pracujących na komputerach PC. Ponieważ sterowniki TNC-3S są wyposażone we własny system operacyjny programy te mogą być ładowane do ich pamięci i uruchamiane w sposób podobny jak na komputerach PC.

W sprzedaży znajdują się także modele TNC-31S(X), które różnią się od TNC-3S jedynie pojemnością zainstalowanej pamięci i tym, że zawierają tylko jeden modem. TNC-31S są wyposażone w po 128 kB pamięci RAM i EPROM lub EEPROM natomiast TNC-31SX – w po 512 kB każdej z nich.

Na rynku niemieckim dostępny jest także model TNC-4E wzorowany na TNC-3 i różniący się głównie tym, że zamiast złącza RS-232 jest on wyposażony w złącze sieciowe Ethernet. Ma to ułatwić wykorzystanie go w sieciach lokalnych zawierających komputery PC i większą liczbę sterowników np. w bardziej rozbudowanych stacjach węzłowych.

TNC zawarte w radiostacjach

We wbudowany modem TNC są wyposażone niektóre modele radiostacji firmy Kenwood i Alinco. Są to TM-D700E, TM-D710E, TH-D7E, TH-D72E, TS2000 i DR-135. Wbudowane modemy TNC są wprawdzie zasadniczo przeznaczone do pracy APRS lub do odczytu komunikatów skrzynek *dx-cluster* i mogą dekodować odebrane komunikaty lub nadawać komunikaty przygotowane przez operatora stacji ale dzięki osobnemu gniazdu danych można je także wykorzystywać do komunikacji packet radio i to zarówno z szybkościami transmisji 1200 jak i 9600 bit/s. Ich zbiór rozkazów nie obejmuje jednak wszystkich rozkazów oprogramowania TAPR a niektóre ustawienia należy wprowadzać każdorazowo po włączeniu radiostacji. Nie oferują one więc takiego komfortu jak urządzenia zewnętrzne ale nie wymagają dodatkowych połączeń i zasilania.

TH-D72E jest wyposażona w złącze USB natomiast pozostałe modele w standardowe złącze szeregowe RS-232. Złącze to może służyć do połączenia z komputerem w trakcie zwykłych łączności packet radio lub do podłączenia odbiornika GPS w trakcie pracy w systemie APRS (TH-D72E posiada wbudowany odbiornik GPS). Szczegóły dotyczące połączenia wbudowanego TNC z komputerem, parametrów transmisji i zalecanych parametrów konfiguracyjnych TNC zawarte są w instrukcjach radiostacji.

Ze względu na to, że programy terminalowe packet radio takie jak Paxon wymagają TNC pracującego w trybie podporządkowanym i nie współpracują bezpośrednio z oprogramowaniem TAPR konieczne jest przełączenie wewnętrznego TNC w do pracy trybie KISS i wykorzystanie biblioteki *Kiss.dll* z pakietu programów Flexnet32.

Alternatywą jest wykorzystanie zwykłego programu terminalowego np. Hyperterminala dla Windows.

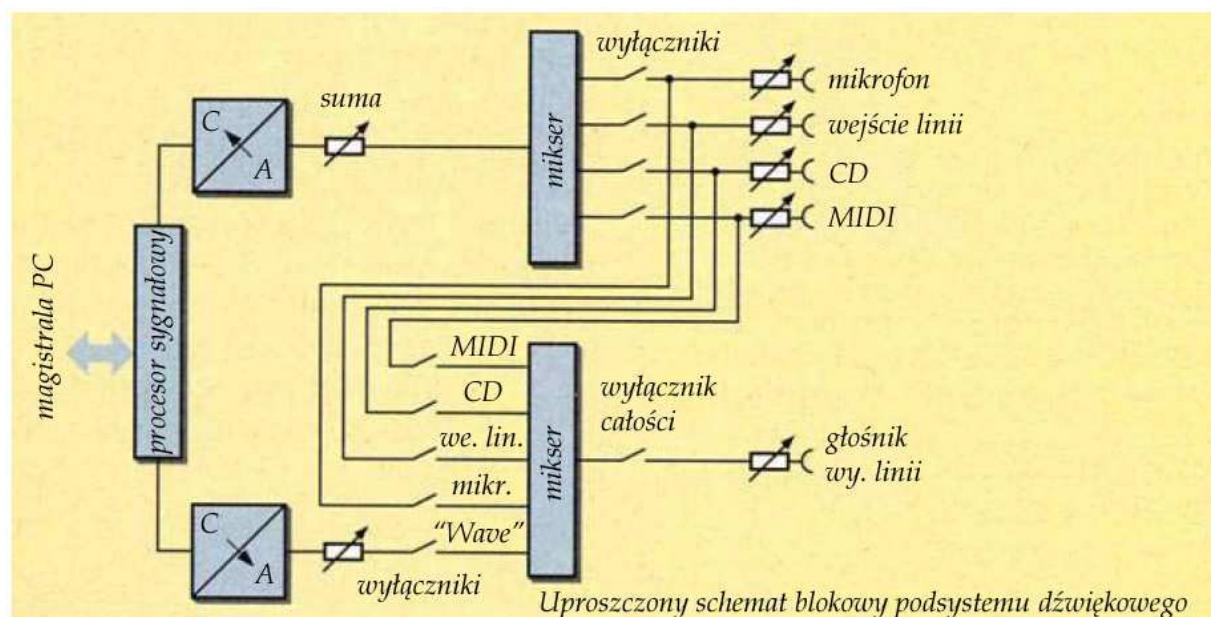
Rodzina PTC



Modemy PTC niemieckiej firmy SCS (www.scs-ptc.com) – konstruktorami, autorami systemu Pactor i właścicielami firmy są niemieccy krótkofalowcy – są urządzeniami uniwersalnymi skonstruowanymi wprawdzie w pierwszym rzędzie do komunikacji w systemach Pactor i Amtor ale obsługującymi również wiele innych emisji amatorskich. Modemy z serii PTC-II są dostosowane do pracy emisjami Pactor 1, 2, i 3 (po wykupieniu dodatkowej licencji), Amtor, packet radio z szybkościami transmisji 300 – 19200 bodów, robust packet radio z szybkością 600 bodów, faksymile i SSTV (współpracując z programem JVCOMM), NAVTEX, RTTY oraz PSK31. Do pracy w systemie APRS można do nich podłączyć odbiornik GPS. Są one wyposażone w 2 MB pamięci RAM zasilanej z baterii podtrzymującej. Ich oprogramowanie zawiera skrzynki elektroniczne dla emisji Pactor i packet radio a niektóre z nich pozwalają także na pracę emisją Robust Packet Radio. W zależności od modelu mogą one zawierać jeden lub dwa modemy i w ten sposób służyć do komunikacji także w dwóch kanałach radiowych równoległe (np. packet radio na UKF i Pactor lub Amtor na KF). PTC-II posiadają przeważnie także oddzielne złącze szeregowe do sterowania radiostacjami znanych firm.

Oprócz modelu wyposażonego w standardowe złącze szeregowe RS-232 dostępne są również modele posiadające złącza USB i sieciowe (Ethernet) służące do połączenia z komputerem. Seria modemów PTC oferuje użytkownikom wiele atrakcyjnych możliwości i jest stosowana szeroko również w łącznościach profesjonalnych (w tym morskich) ale ich cena jest dość wysoka jak na możliwości wielu krótkofalowców.

Modem dźwiękowy



Od czasu pojawienia się programów wykorzystujących jako modem do emisji cyfrowych podsystem dźwiękowy komputerów PC znaczenie modemów TNC wyraźnie zmalało. Korzystanie z modemu dźwiękowego analogicznie jak w przypadku wielu innych amatorskich emisji cyfrowych jest wygodniejsze (mniejsza liczba połączeń kablowych i zasilaczy) i tańsze aniżeli w przypadku dodatkowych urządzeń zewnętrznych. Funkcjonalność takiego rozwiązania i jego możliwości są w praktyce ograniczone jedynie możliwościami komputera i przewyższają znacznie możliwości oferowane przez zewnętrzne TNC. Programy korzystające z modemu dźwiękowego oferują także przeważnie większy komfort obsługi w tym możliwość dostrajania się do korespondentów za pomocą myszy w oknie programu.

W przypadku packet radio możliwości te oferują MultiPSK, AGWPE oraz kombinacja Paxonu z biblioteką *soundmodem.dll* z pakietu programów Flexnet32 (korzystanie z niej wymaga zainstalowania Flexnetu, który zarządza sterownikami i pośredniczy między nimi a programami terminalowymi korzystającymi z nich).

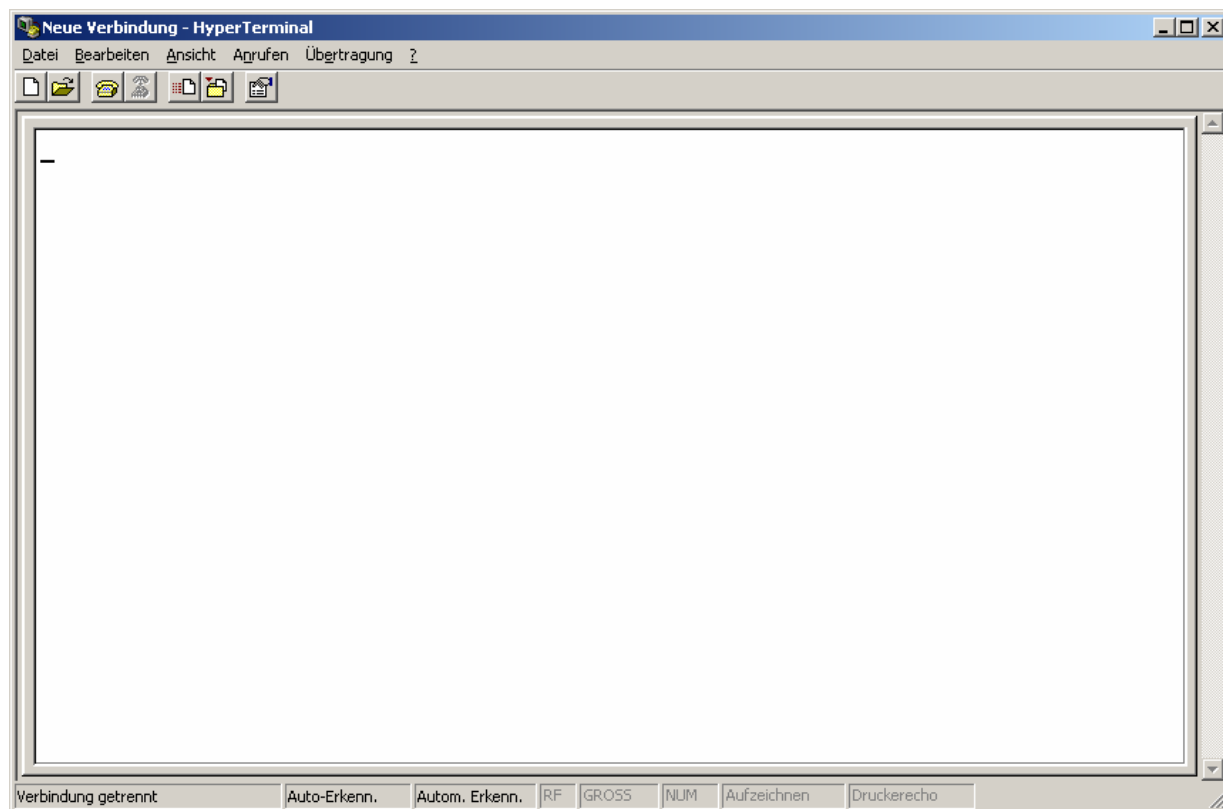
Sposób połączenia modemu dźwiękowego z radiostacjami podano w dalszym ciągu niniejszego opracowania. Dalsze przykłady rozwiązań układowych zawarte są także w tomach poświęconych emisjom cyfrowym dla fal krótkich.

Na ilustracji powyżej przedstawiony jest uproszczony schemat blokowy podsystemu dźwiękowego komputerów PC. Dla uproszczenia nie uwzględniono tutaj faktu, że jest to system stereofoniczny i każdy z jego elementów jest reprezentowany w postaci pojedynczego bloku.

Programy terminalowe

Terminalowe programy nadawczo-odbiorcze można podzielić na kilka grup.

Do pierwszej z nich należą programy wykorzystujące standardowe tryby pracy oprogramowania TAPR modemu TNC. Mogą to być zwykłe programy terminalowe np. PROCOMM PLUS, Hyperterminal i inne pracujące na komputerach PC lub dowolne inne pracujące na wszystkich pozostałych typach komputerów i pod różnymi systemami operacyjnymi. Zaletą oprogramowania TAPR jest to, że może ono być obsługiwane przez standardowe programy terminalowe.



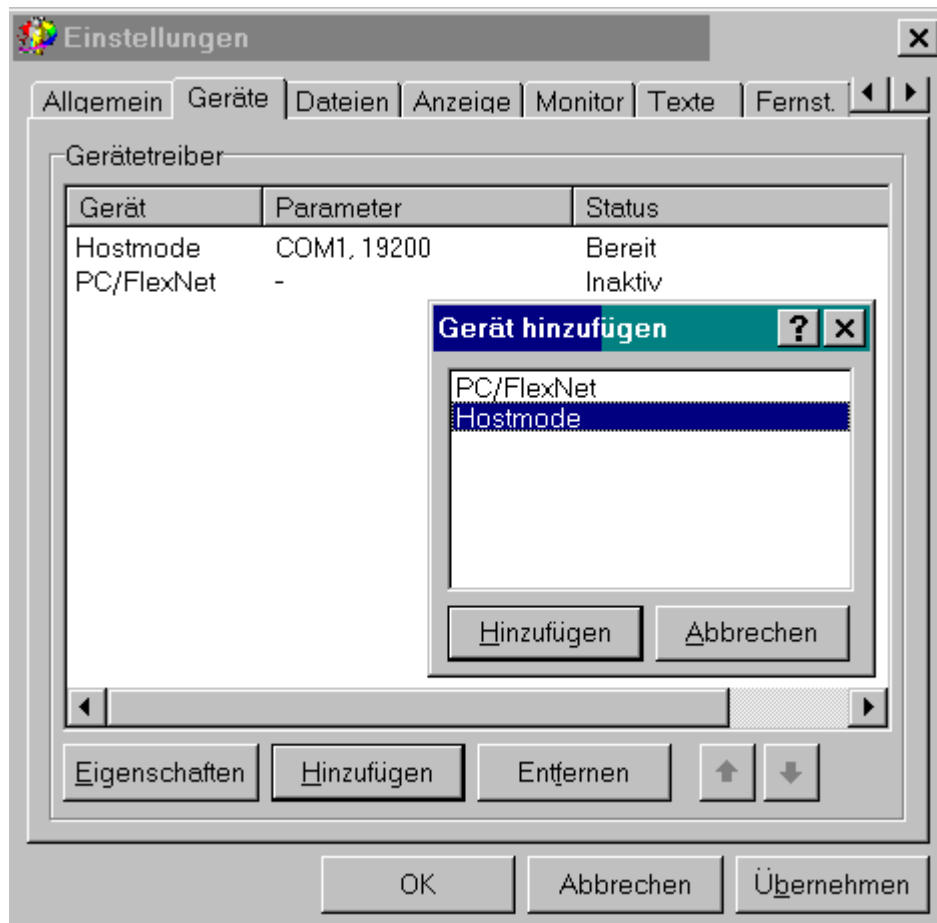
Do drugiej grupy można zaliczyć programy współpracujące z TNC w trybie podporządkowanym (ang. *host mode*) oprogramowania TF. Programy te przeznaczone specjalnie do obsługi modemów TNC charakteryzują się większym komfortem obsługi. Dla każdego z dziesięciu (lub więcej) kanałów logicznych przewidziane są oddzielne okienka nadawczo-odbiorcze. Programy te dekodują pola adresowe pakietów, są w stanie zapamiętywać trasy łączności wiodące przez wiele stacji węzłowych, a poza tym mogą też rozpoznawać częstotliwość pracy w oparciu o tabelę znanych stacji węzłowych lub skrzynek. Obecnie najbardziej rozpowszechnionym programem z tej grupy jest Paxon.

Oprócz niego dużą popularnością cieszy się pakiet programów opracowany przez SV2AGW i dostępny w internecie pod adresem www.sv2agw.com. Jego aktualne wersje pracują pod systemami Windows XP, Vistą i Windows 7. Pozwala on na korzystanie m.in. różnych typów modemów w tym z modemem dźwiękowego a także z protokołów TCP/IP.

Trzecia grupa programów współpracuje ze sterownikami TNC w trybie KISS. Jej najbardziej znanym reprezentantem jest oprogramowanie TCP/IP (NOS), program SUPERKISS oraz programy dla APRS jak UI-View.

Paxon

Paxon jest ostatnim z serii programów terminalowych opracowanych specjalnie dla potrzeb łączności packet radio. Wiele z uprzednio stosowanych programów wyszło już obecnie z użycia czasami również i z tego powodu, że ich autorzy zaprzestali modernizacji i dostosowywania programów do nowych wersji



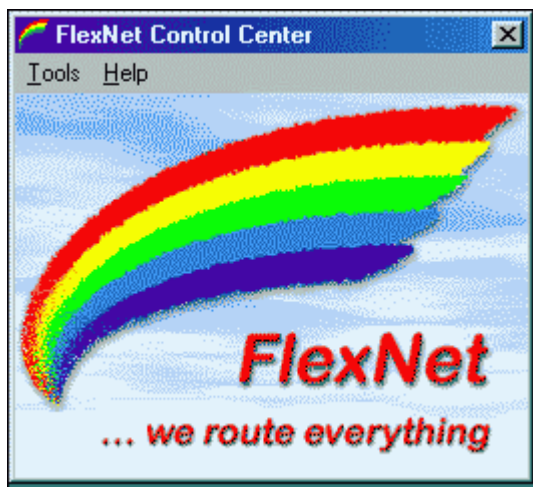
Windows i do zmieniających się potrzeb krótkofalowców.

Paxon jest zasadniczo przewidziany do współpracy z modemami TNC pracującymi w trybie podporządkowanym ale przy wykorzystaniu odpowiednich sterowników może korzystać i z innych wariantów sprzętowych w tym także z TNC w trybie KISS i z modemu dźwiękowego. W tym celu wykorzystywane są najczęściej sterowniki z pakietu Flexnetu. Ilustracja po lewej przedstawia przykład konfiguracji dla obu wymienionych wariantów: TNC i Flexnetu. Więcej szczegó-

łów dotyczących konfiguracji podano w instrukcji obsługi programu. Pracuje on pod każdą z obecnie używanych wersji Windows włącznie z Windows 7. Może on współpracować także z pakietem AGWPE.

Archiwum instalacyjne Paxona jest dostępne w internecie pod adresem www.paxon.de.

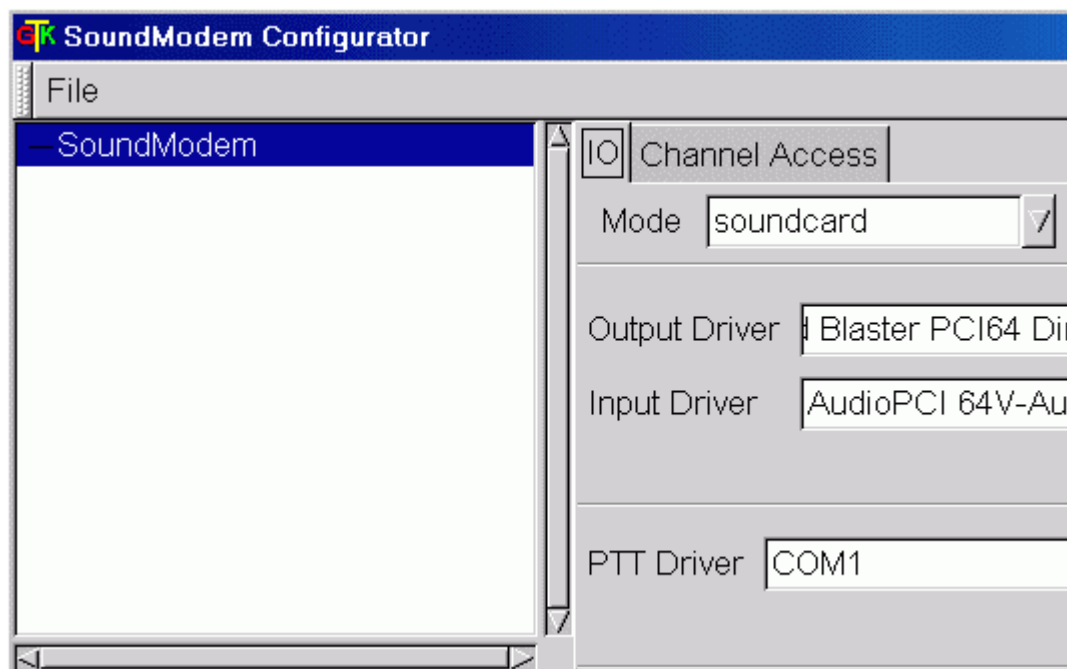
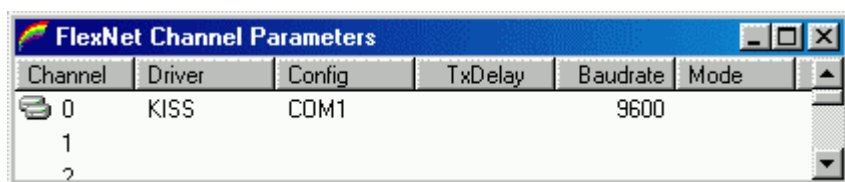
Flexnet i sterowniki sprzętowe



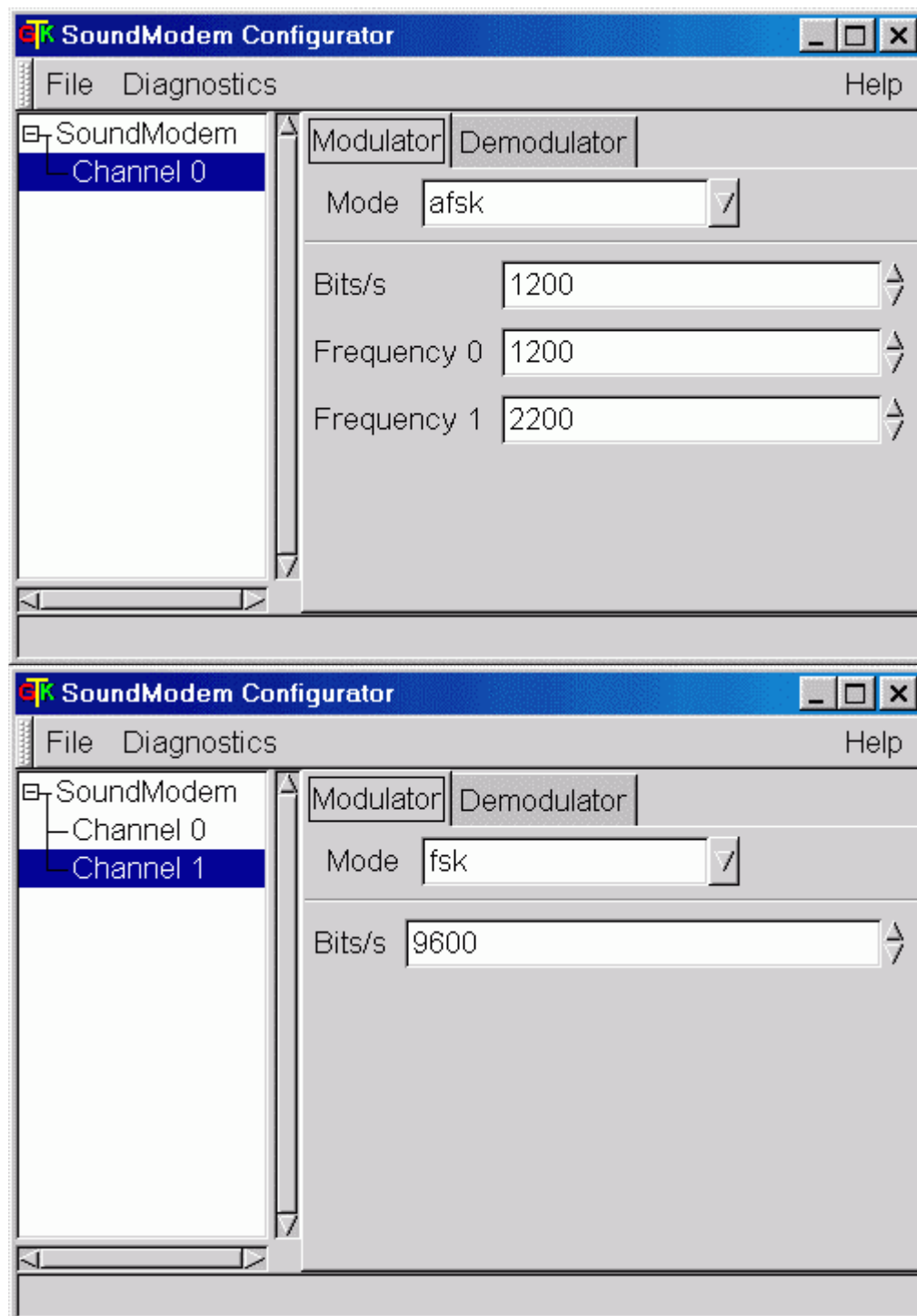
Pakiet programów Flexnet zawiera biblioteki DLL pozwalające na korzystanie z różnego rodzaju modemów. Dla modemu dźwiękowego jest to biblioteka *Soundmodem.dll* (do kluczowania nadajnika konieczne jest jak zwykle złącze szeregowe COM) a dla TNC w trybie KISS – biblioteka *Kiss.dll*. Biblioteka ta pozwala na korzystanie z TNC wyposażonych w oprogramowanie TAPR (po ich przełączeniu na tryb KISS) w tym m.in. z wbudowanych do kilku typów radiostacji Kenwooda. W obu przypadkach Flexnet symuluje modem TNC a program terminalowy korzysta z niego tak jak w przypadku urządzenia istniejącego fizycznie. Do zarządzania bibliotekami i konfiguracji służy program *Flexcntl.exe*, którego okno główne przedstawia ilustracja po lewej stronie.

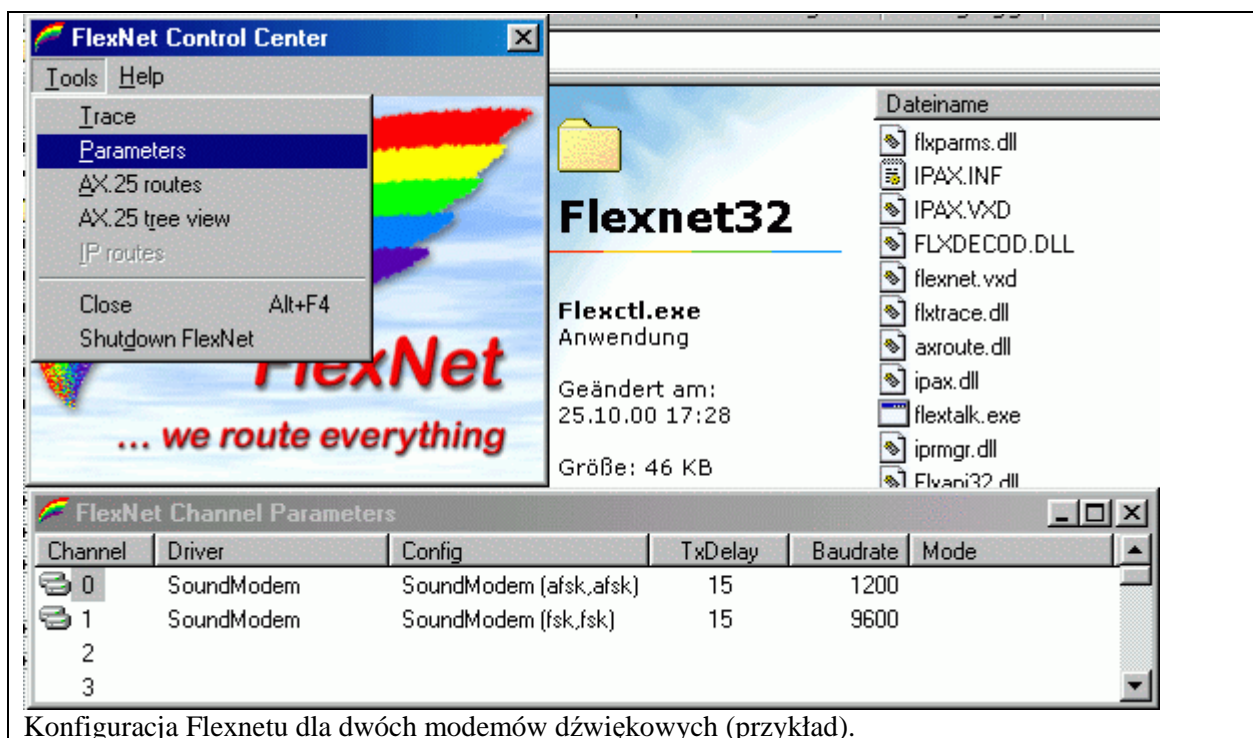
W przedstawionym poniżej oknie widoczny jest przykład konfiguracji dla sterownika TNC pracującego w trybie KISS i podłączonego do złącza COM1 komputera.

Oprócz tego Flexnet pozwala na korzystanie ze specjalnie opracowanych dla potrzeb packet radio radiostacji PR430, rzadziej już obecnie używane modemy typu Baycom i umożliwia komunikację TCP/IP.



Ilustracja przedstawia przykład konfiguracji dla modemu dźwiękowego. W oknie wybiera się pożądaný podsystem dźwiękowy (jeśli komputer posiada tylko jeden wybór staje się formalnością) oraz złącze szeregowe służące do kluczowania nadajnika. Kolejne okna poniżej obrazują przykłady konfiguracji dla modemów AFSK (1200 bit/s) i FSK (9600 bit/s).





Więcej szczegółów na temat instalacji i konfiguracji Flexnetu podano w jego instrukcji obsługi. Archiwum Flexnetu *Flex32.zip* można pobrać z internetu z adresu **www.flexnet.info**.

Rozdział 3. Hamnet

Hamnet jest szybką amatorską siecią TCP/IP czyli amatorskim bezprzewodowym odpowiednikiem internetu. Jej zadaniem nie jest jednak zastępowanie internetu ani też oferowanie krótkofalowcom dodatkowego radiowego dostępu do niego a treść dostępnych w Hamnecie informacji ma charakter czysto krótkofalarski. Jest ona siecią czysto radiową integrującą funkcje dotychczas dostępnych sieci amatorskich takich jak packet radio z usługami czysto internetowymi (poczta elektroniczna, dostęp do serwerów www) oraz oferuje dodatkowo łącza dla sieci przemienników echolinkowych, D-Star i telewizyjnych. W praktyce może ona służyć do transmisji dowolnego rodzaju danych, o ile nadają się one do transmisji za pośrednictwem pakietów IP. Jej zasadniczym zadaniem jest uniezależnienie (przynajmniej w pewnym stopniu) służby amatorskiej od komercyjnych sieci kablowych. Projekt – noszący początkowo nazwę ALAN (Austria LAN) – został zainicjowany w 2005 roku przez krótkofalowców austriackich i do chwili obecnej rozrósł się na szereg krajów stając się najpoważniejszą akcją przebudowy cyfrowych sieci amatorskich w Europie Środkowej i nie tylko.

Sieć Hamnetu oparta jest na standardzie ethernetowym IEEE 802.11 i składa się z węzłów połączonych za pośrednictwem linii radiowych pracujących głównie w paśmie 6 cm (standard IEEE 802.11a) a czasami również i w paśmie 13 cm. Sieć zapewnia w pierwszym rzędzie połączenie razem amatorskich przemienników fonicznych, echolinkowych i systemu D-Star, przemienników telewizyjnych oraz węzłów sieci packet-radio i przemienników APRS. Sposób korzystania z nich nie ulega w tym przypadku żadnej zmianie. Dodatkowo w miarę rozbudowy sieci udostępniane są bezpośrednie wejścia dla użytkowników indywidualnych pracujące najczęściej (w Austrii przyjęto to jako normę) w paśmie 13 cm (standard IEEE 802.11g). W paśmie 13 cm stosowana jest modulacja OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) i ewentualnie także rozpraszanie widma z kluczkowaniem fazy (DSSS) natomiast w paśmie 6 cm kluczkowanie BPSK, QPSK lub wielostanowe QAM w zależności od szybkości transmisji.

Do budowy sieci wykorzystano standardową aparaturę dla bezprzewodowych sieci komputerowych WLAN. Nadaje się ona do tego celu dzięki temu, że części pasm przemysłowych ISM 2,3 oraz 5,6 GHz pokrywają się z amatorskimi pasmami 6 i 13 cm co pozwala (po wybraniu odpowiednich kanałów transmisji) na ich pracę zgodną z zasadami określonymi przez przepisy o służbie amatorskiej a nie w oparciu o przepisy regulujące pracę w pasmach nielicencjonowanych – dotyczy to w szczególności dozwolonej mocy nadajników. Szerokość pasma sygnałów jest przeważnie ograniczona do 5 MHz (w paśmie 2,4 GHz) lub 10 – 20 MHz (w paśmie 5,6 GHz) a szybkość transmisji wynosi najczęściej 1 – 17 Mb/s w zależności od długości trasy (jest to wielokrotnie więcej aniżeli najwyższe szybkości osiągane w dotychczasowej sieci Packet-Radio). Częstotliwości pracy w sieci podane są w tabelach na końcu rozdziału. Część z podanych w tabelach częstotliwości pasma 6 cm jest dostępna tylko w niektórych modelach punktów dostępowych (ang. *router*) WLAN.

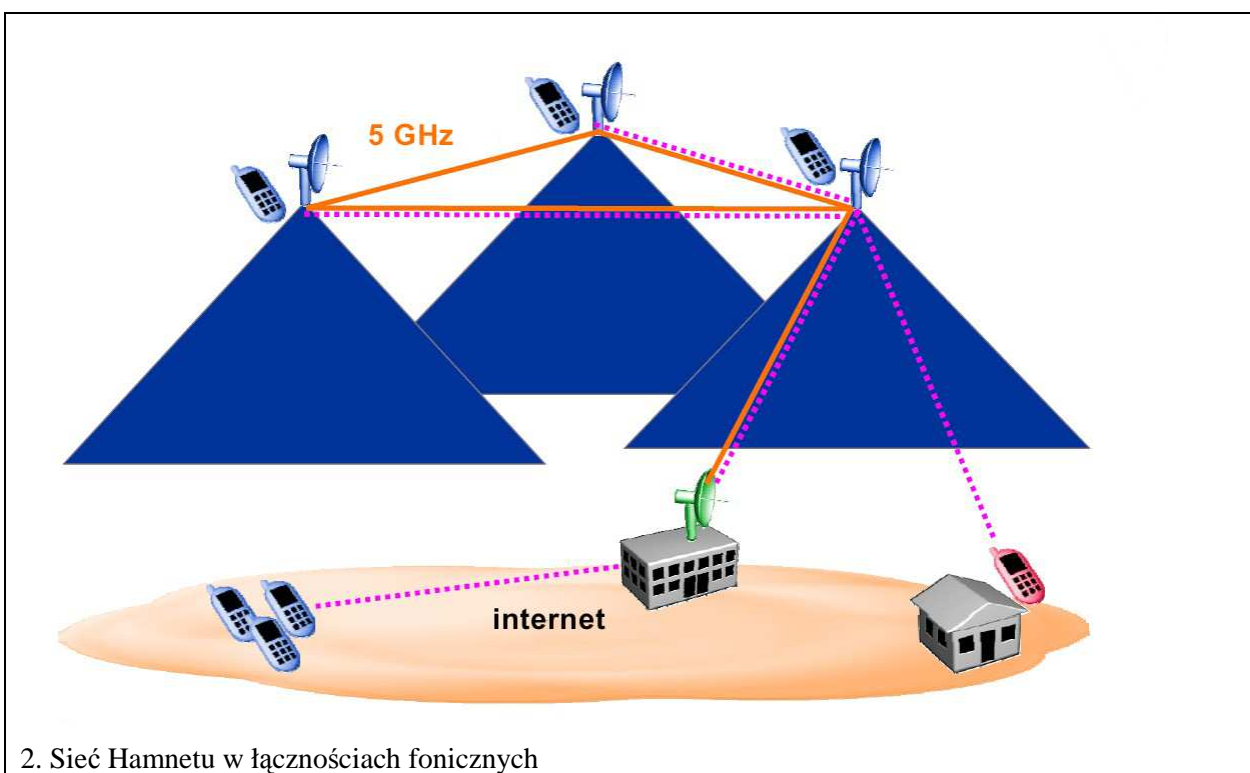
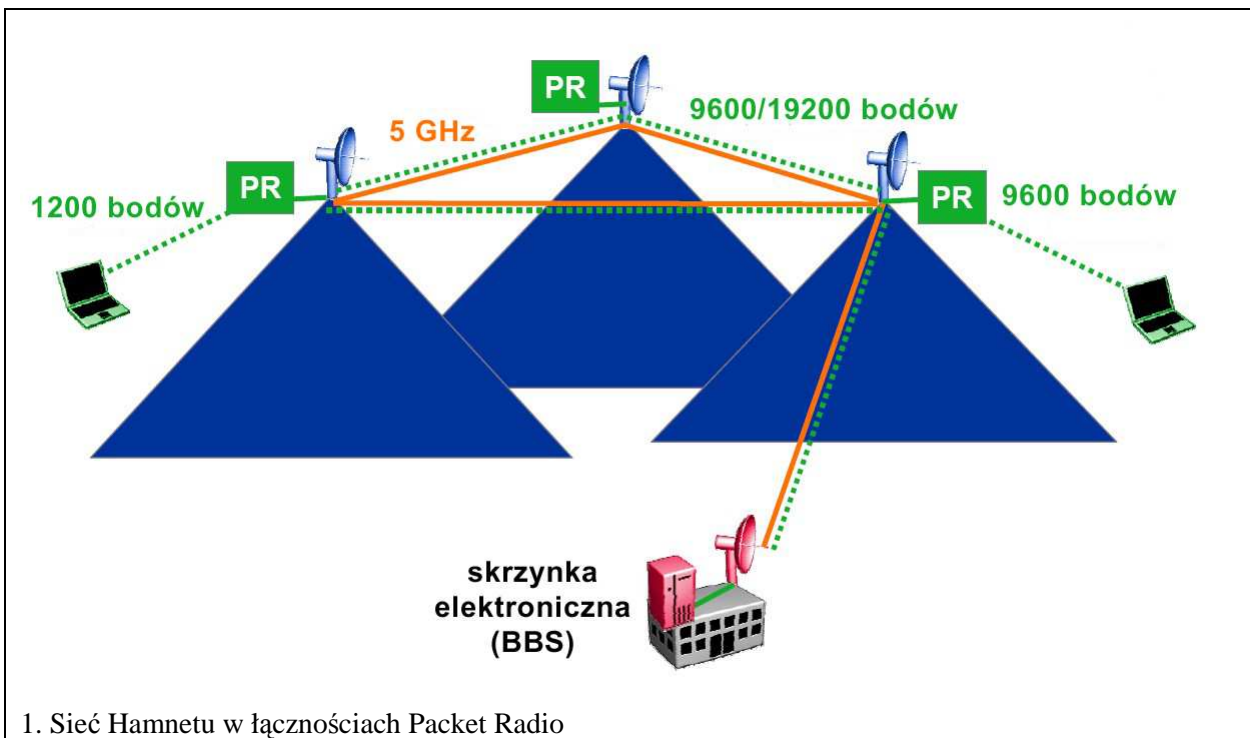
Transmisja danych w sieci Hamnetu odbywa się w oparciu o protokół IP przy czym stosowane są adresy z sieci amatorskiej 44.xx.xx.xx.

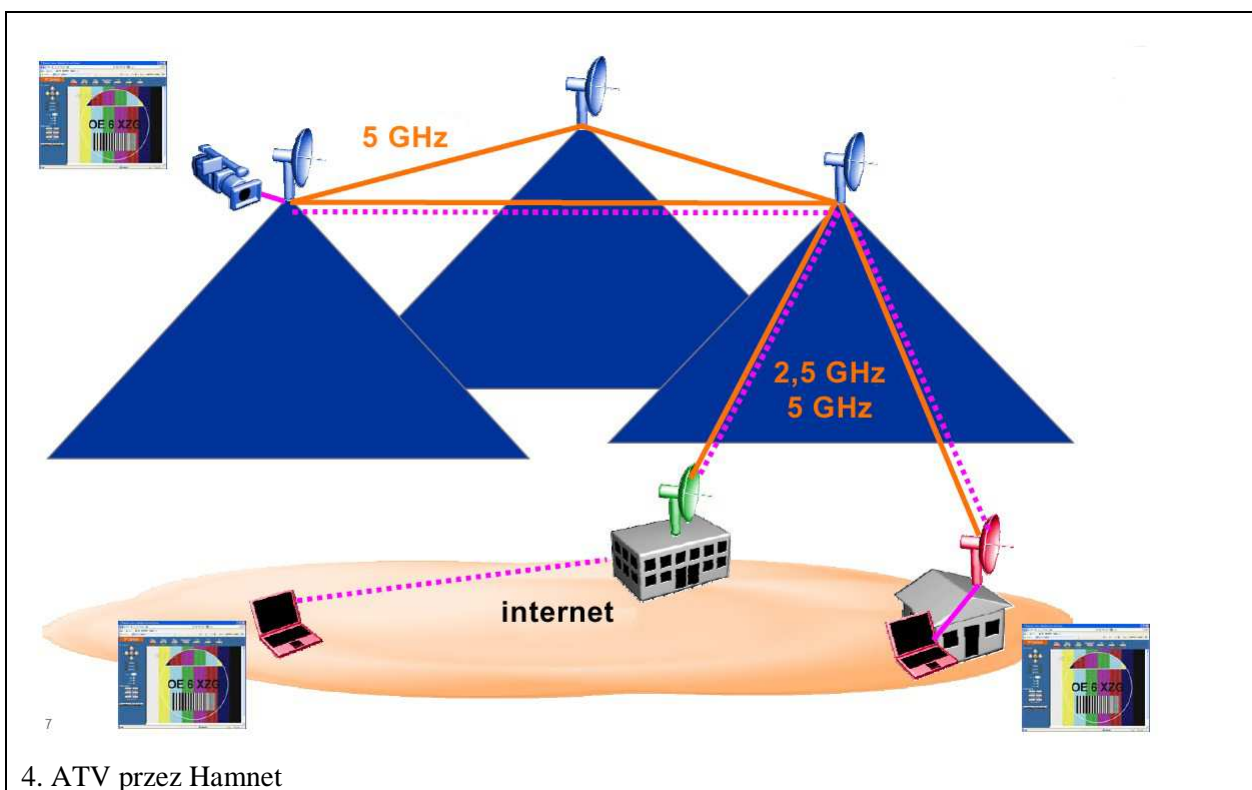
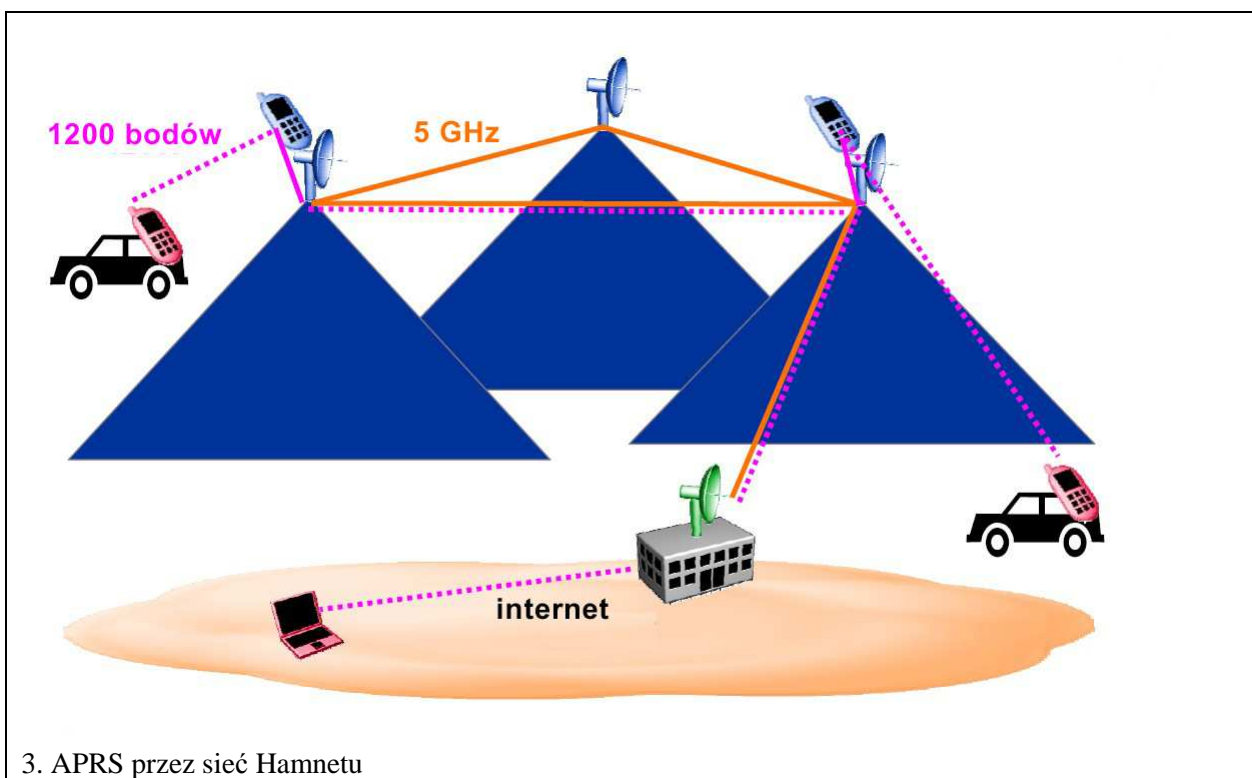
W obecnym stanie realizacji sieć może zapewniać następujące usługi:

- Transmisję danych packet-radio z dużymi szybkościami, w tym transmisję danych APRS.
- Łącza echolinkowe.
- Łącza pomiędzy przemiennikami systemu D-Star.
- Transmisję poczty elektronicznej w systemie WinLink2000.
- Transmisję obrazów amatorskiej telewizji analogowej (ATV) i cyfrowej (DATV).
- Transmisję głosu – VOIP (np. Skype i podobne rozwiązania) przez serwer „Mumble”.
- Wymianę informacji w systemie „Instant messaging” lub innym podobnym.
- Dostęp do amatorskich witryn WWW oraz dostęp przez przeglądarkę internetową do skrzynek *dxcluster*.
- Zastąpienie analogowych linii radiowych przez cyfrowe. Pozwala to na połączenie we wspólnej sieci również analogowych przemienników FM i skrzynek głosowych.
- Zdalny dostęp do odbiorników i radiostacji sterowanych internetowo.
- Zdalne sterowanie przemienników amatorskich.

Ogólnie rzecz biorąc można wyróżnić dwa rodzaje dostępnych usług: usługi pośrednie oferowane przez Hamnet w ramach korzystania z systemów łączności na dotychczasowych zasadach i usługi wymagające bezpośredniego połączenia z siecią. Do grupy pierwszej można zaliczyć przykładowo szybką

transmisję danych pomiędzy dostępnymi w zwykły sposób przemiennikami fonicznymi, telewizyjnymi albo cyfrowymi Packet-Radio i APRS a do grupy drugiej – bezpośredni szybki dostęp radiowy Packet-Radio, dostęp do sieci za pomocą przeglądarki internetowej, klienta poczty elektronicznej, klienta „Instant messaging” albo VOIP. Kilka przykładów wykorzystania sieci Hamnetu przedstawiają ilustracje 1 – 4.



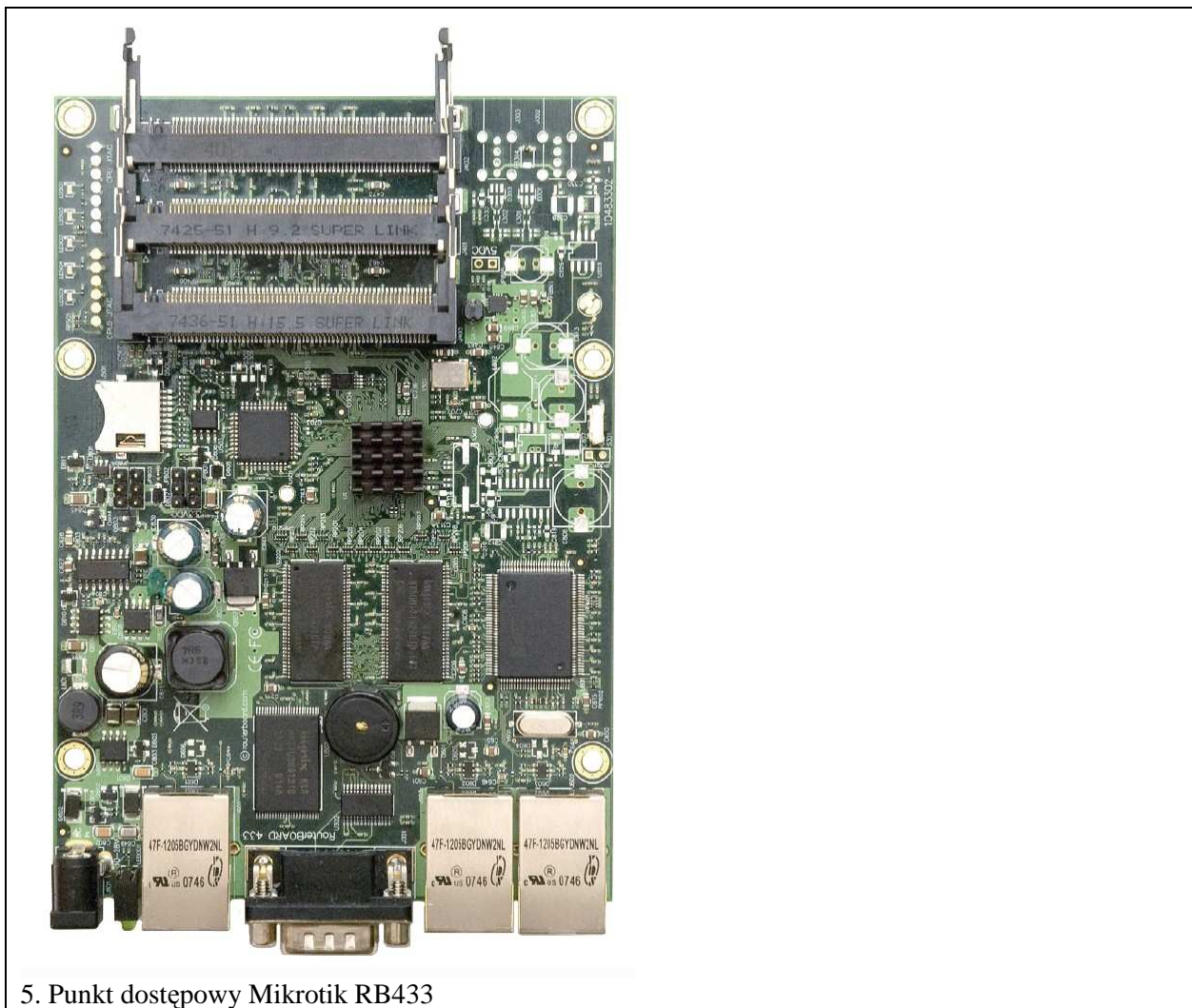


Łączy sieci

W łączach Hamnetu używane jest standardowe wyposażenie bezprzewodowych sieci WLAN – radiowe punkty dostępowe (ang. *router*) pracujące w segmentach pasm ogólnie dostępnych 6 i 13 cm pokrywających się z zakresami amatorskimi. Dzięki temu dopuszczalne są zarówno modyfikacje sprzętu jak i praca z mocami wyższymi aniżeli dozwolone dla sprzętu nielicencjonowanego (oczywiście pod warunkiem, że tak zmodyfikowany sprzęt będzie pracował wyłącznie w pasmach amatorskich).

Przepisy o służbie amatorskiej nakładają jednak ograniczenia odnośnie szerokości pasma dlatego też szerokość pasma transmisji ograniczona jest przeważnie do 5 MHz w paśmie 13 cm i do 10 lub 20 MHz w paśmie 6 cm. Ma to jednakże tę zaletę, że zwykle prywatne sieci komputerowe nie mogą nawiązać połączenia z siecią amatorską a ponadto węższe pasmo ułatwia uzyskanie większych zasięgów łączności. Dopuszczalne szerokości pasma transmisji amatorskich w Austrii podaje tab. 6.

Modelami najczęściej stosowanymi w obecnym stadium rozbudowy są punkty dostępowe Mikro-
tik RB411(AH) i RB433(AH) łotewskiej firmy MikroTiks (fot. 5). Wymagają one dodatkowego wypo-
sażenia w modemy radiowe (fot. 6), przy czym RB411(AH) posiada jedno gniazdo do podłączenia mo-
demu natomiast RB433(AH) – trzy. Modele AH charakteryzują się większą mocą obliczeniową i są sto-
sowane w węzłach o dużym natężeniu ruchu.



5. Punkt dostępowy Mikrotik RB433



6. Modem radiowy R52

Oprócz modemów radiowych (*miniPCI WLAN*) typu MikroTik R52, R52-350 i R52H można stosować także modemy DCMA82 firmy Wistron. Moce nadajników wynoszą przeważnie 100 – 200 mW, nadajnik R52-350 dysponuje mocą 350 mW a DCMA82 – 800 mW.

Jako anteny stosowane są najczęściej fabryczne anteny planarne lub sektorowe o zyskach rzędu 20 – 23 dBi. Z takim wyposażeniem uzyskiwane są zasięgi od kilkudziesięciu do ponad 100 km – przy stosunku sygnału do szumów równym co najmniej 30 dB – a rekordowy odcinek łącz (między Sardinia i Włochami) osiągnął długość 304 km.

Już w okresie planowania sieci wiadomo było, że będzie ona miała dość skomplikowaną i niejednorodną topologię dlatego też jako protokół wyboru tras (ang. *routing*) wybrano protokół BGP („Border Gateway Protocol”) [18] – opisany szczegółowo w dokumencie RFC 4271. Zapewnia on prawidłowy transport pakietów danych w obie strony między korespondentami i automatycznie uwzględnia zmiany stanu sieci (przykładowo dostępność lub niedostępność poszczególnych odcinków łącz). Mówiąc krótko spełnia on to samo zadanie co protokół Flexnet w klasycznych sieciach Packet-Radio.

Oczywiście dokładna znajomość protokołu BGP i wogóle sposobu konfiguracji stacji węzłowej jest niezbędna tylko operatorom tych stacji. Użytkownicy indywidualni znajdują się w dużo dogodniejszej sytuacji i w najprostszym dla nich przypadku mogą korzystać tylko z dobrze im znanego wyposażenia Packet-Radio albo w zwykły sposób z innych systemów łączności np. przekazników fonicznych, D-STAR czy Echolinku nie zaprzatając sobie głowy rodzajem łączącej je sieci.

Dostęp dla stacji indywidualnych.

W zamyśle projektodawców Hamnet ma stanowić rozszerzenie dotychczasowej sieci Packet-Radio i w przyszłości zastąpić ją całkowicie. Dlatego też dotychczasowe stacje dostępne (węzły) Packet-Radio pozostaną jeszcze przez dłuższy czas w użyciu. Miłośnicy Packet-Radio nie potrzebują więc w najbliższym czasie zmieniać wyposażenia a jedynie w sposób pozytywny odczuwają wzrost przepustowości łącz. Oczywiście w miarę rozbudowy sieci Hamnet i uruchamiania wejść mikrofalowych będą mogli korzystać z nich bezpośrednio i to nie tylko w połączeniach Packet-Radio ale i w ramach wszystkich uprzednio wymienionych usług. Korzystanie z takich usług jak dostęp do witryn www czy „Instant messaging” wymaga ewentualnej instalacji dodatkowych programów i dokonania ich odpowiedniej konfiguracji.

Dotychczas uruchomione wejścia dla użytkowników pracują przeważnie w paśmie 13 cm ale ponieważ zakres ten jest w wielu rejonach poważnie obciążony pracującymi tam prywatnymi sieciami komputerowymi, kamerami bezprzewodowymi i transmisjami wielu innych urządzeń w przyszłości należy spodziewać się uruchamiania wejść do sieci także w paśmie 6 cm. W niektórych krajach j.np. w Austrii i Szwajcarii amatorskie pasmo 13 cm jest już w znacznym stopniu obciążone i w niektórych jego

podzakresach nie wolno nawet uruchamiać stacji automatycznych a więc pasmo 6 cm powinno coraz bardziej zyskiwać na znaczeniu.

Wyposażenie stacji indywidualnej korzystającej z dostępu mikrofalowego różni się w znacznym stopniu od opisanego powyżej wyposażenia łączy sieci.

Ogólnie rzecz biorąc możemy rozróżnić dwa rodzaje dostępu do sieci, dostęp bezpośredni i pośredni. W pierwszym przypadku stacje indywidualne (zwane w definicji sieci *Poweruser*) znajdują się w bezpośrednim zasięgu węzła sieci natomiast w drugim (zwane *Meshuser*) korzystają z indywidualnych stacji innych użytkowników pośredniczących w kontakcie z węzłem sieci na zasadzie przemienników cyfrowych (analogicznie jak to było w pierwszym okresie rozwoju sieci AX.25). W tym drugim przypadku sieć lokalna sama uwzględnia zachodzące w jej ramach zmiany: dostępność lub wyłączenie stacji, konieczne dostosowanie tras transmisji danych do zmiennej sytuacji. Wyposażenie stacji indywidualnych w obu przypadkach znacznie się różni między sobą i nie jest wzajemnie kompatybilne.

Jako wyposażenie stacji indywidualnych z grupy pierwszej (mających bezpośredni dostęp do sieci) stosowane są najczęściej punkty dostępowe firmy Ubiquiti: Bullet2 (fot. 7), Bullet M2HP i Nanostation M2. Zawierają one zarówno sam punkt dostępowy jak i modem bezprzewodowy WLAN a Nanostation posiada również wbudowaną antenę o zysku 10 dBi. Bullet2 i Bullet M2HP wymagają natomiast podłączenia anteny zewnętrznej, co zwiększa swobodę jej wyboru w zależności od warunków lokalnych i pozwala także na korzystanie z anten własnej konstrukcji. Urządzenia powinny być zainstalowane na zewnątrz w pobliżu anteny i są połączone z komputerem za pomocą kabla ethernetowego, który służy również do ich zasilania. Moc wyjściowa nadajników wynosi 16–20 dBm dla modelu Bullet2, 26 dBm dla Nanostation M2 i 28 dBm dla M2HP.



Oprogramowanie wszystkich trzech modeli pozwala na ograniczenie pasma nadawanego sygnału do 5 lub 10 MHz. Są one dostępne zarówno w wersjach 2,4 jak i 5,7 GHz (są to przykładowo modele Bullet M5HP lub Nanostation M5 – z anteną o zysku 13–14 dBi). Oferowany przez firmę Ubiquiti model Nanostation 3 pracujący w zakresie 3,4 – 3,65 GHz może znaleźć zastosowanie w krajach gdzie dostępne jest pasmo 9 cm. Jest on wyposażony w nadajnik o mocy 24 dBm i w antenę o zysku 13 dBi. Przykładowy sposób konfiguracji tego sprzętu zawiera dokument [13].

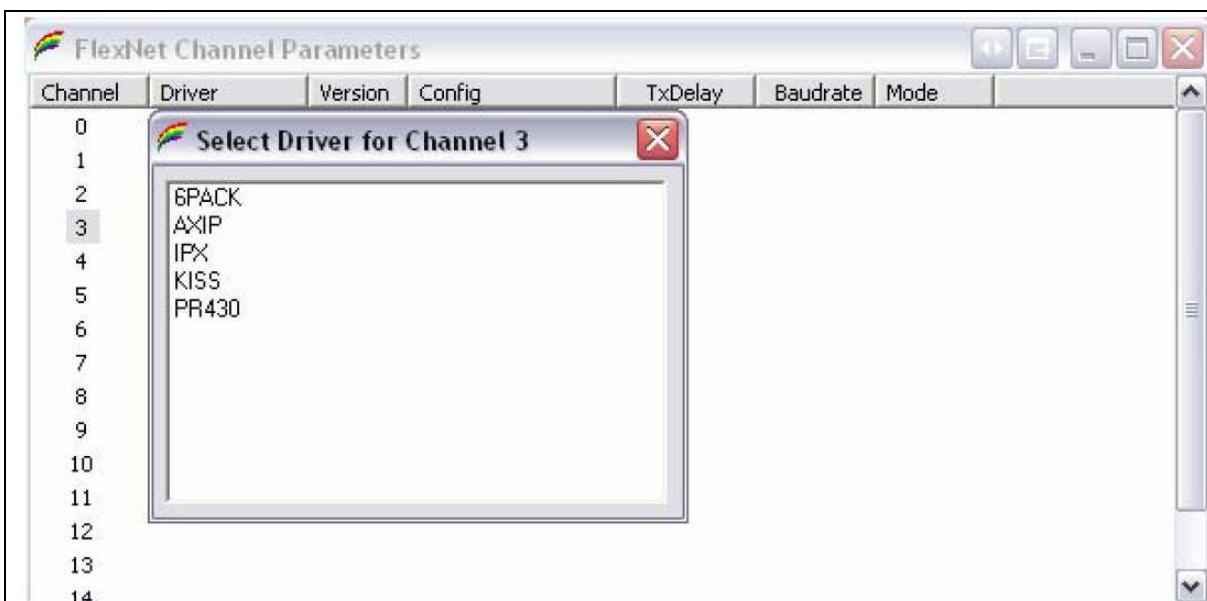
Wyposażeniem zalecanym dla użytkowników drugiej grupy jest zmodyfikowany punkt dostępowy Linksys WRT54GL (G, GS), ASUS WL500gp lub podobny (rys. 8), na którym można zainstalować oprogramowanie *Openwrt*.

Po wymianie kwarcu generatora zegarowego z 20 MHz na 19,6608 MHz zmianie ulegają zarówno szerokość pasma (z 18 na 17,695 MHz dla standardu 802.11g) jak i odstęp podnośnych w kanale (z 200 na 196 kHz) co skutecznie zapobiega kontaktom między siecią amatorską a niezmodyfikowanym wyposażeniem użytkowników zwykłych lokalnych sieci komputerowych. Modyfikacja i konfiguracja sprzętu jest szczegółowo opisana w [11] a niezbędne oprogramowanie jest dostępne pod adresem [12]. Maksymalna użyteczna moc nadajnika WRT54GL wynosi około 170 mW. Nadajnik może wprawdzie dostarczyć większych mocy wyjściowych ale odbywa się to kosztem wzrostu poziomu szumów w nadawanym sygnale co utrudnia jego dekodowanie.

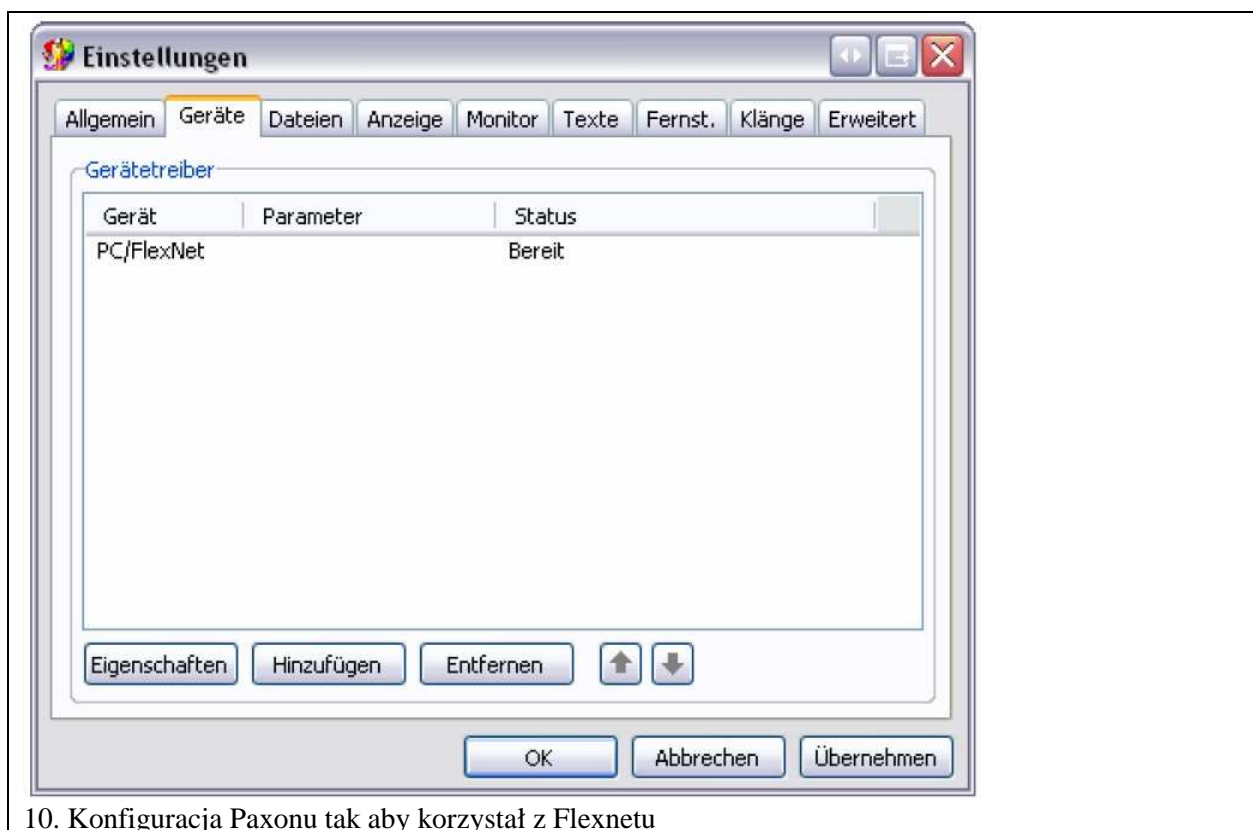


8. Punkt dostępowy Linksys WRT54GL na pasmo 2,4 GHz

Bezpośrednie wykorzystanie sieci Hamnet w łącznościach Packet-Radio wymaga zainstalowania Flexnetu [16] służącego jako sterownik sprzętowy oraz programu terminalowego Paxon [17] a następnie skonfigurowanie obu programów [15]. W konfiguracji dla Hamnetu Flexnet pracuje jako sterownik AXIP natomiast Paxon korzysta z niego jako z kanału logicznego (modemu programowego).



9. Konfiguracja Flexnetu – wybór sterownika AXIP



10. Konfiguracja Paxonu tak aby korzystał z Flexnetu

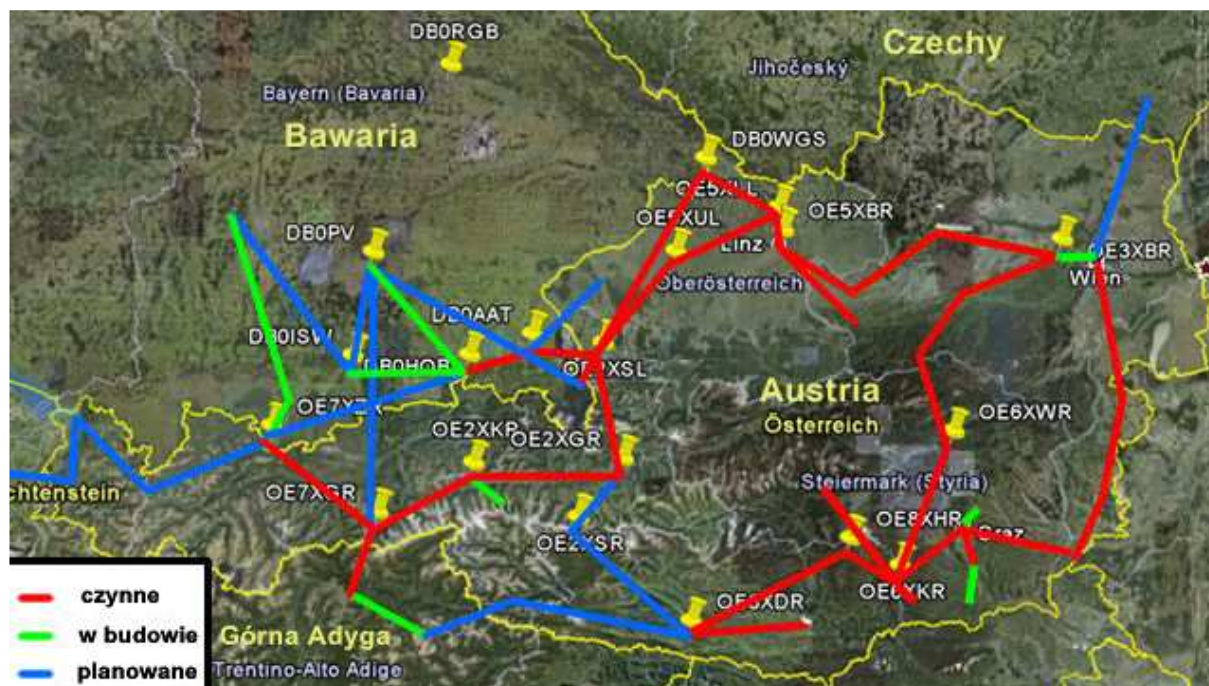
Stan sieci w Europie

Stan rozbudowy sieci Hamnet w Austrii w maju 2010 r. ilustruje rys. 11 Jak wynika z mapy połączyła ona już najważniejsze rejony kraju, a w planie jest uruchomienie dalszych odcinków. W rejonie Salzburga na węźle OE2XZR czynny jest nie tylko szybki dostęp Packet-Radio w paśmie 13 cm dla użytkowników indywidualnych ale także i serwer systemu „Instant messaging”. Dostęp do sieci możliwy jest także w rejonie węzłów OE3XAR (Kaiserkogel), OE4XSB (Brenntenriegel), OE5XBR i OE5XLL w Linzu, OE5XUL (Ried) oraz w kilkanastu innych miejscach w okręgach 6 – 8. W sieci austriackiej dostępne są również: skrzynka DXCLUSTER (dxcluster.oe1xhq.ampr.at/), serwer www.oevsv.ampr.at/ oraz serwery APRS: aprs.oe7xgr.ampr.at:14577, aprs.oe7xgr.ampr.at:14574, OE6XPR (<http://44.143.153.50/>) i OE3XAR (44.143.56.31).

Węzeł OE5XLL jest wyposażony w serwer wizyjny z własną kamerą internetową dostępną również przez OE5XBR.

W okręgu OE4 za pomocą łącza Hamnet połączone są ze sobą dwa zwykłe analogowe przemieniki foniczne Brenntenriegel (OE4XSB) i Hirschenstein (OE4XRA). Austriacka sieć ma już połączenia z Niemcami oraz kilkoma stacjami pracującymi na terenie północnych Włoch (w Górnej Adydze).

W Niemczech czynne są sieci Hamnet w Bawarii i w Dolnej Saksonii a w przyszłości planowane jest rozciągnięcie sieci na cały kraj. Rozbudowa postępuje również w Szwajcarii i tam także planowane jest rozciągnięcie sieci na cały obszar. Ze względu na obowiązujące tam ograniczenia w dostępie do pasma 13 cm znaczna większość ruchu odbywać się będzie w paśmie 6 cm. Kolejnymi krajami, w których uruchamiane są eksperymentalne sieci Hamnetu są Francja, Hiszpania i Słowenia.



Częstotliwości w paśmie 13 cm w Austrii i Szwajcarii (kanały simpleksowe)

Kanał	Częstotliwość [MHz]
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437

Częstotliwości w paśmie 13 cm w Niemczech

Zakres [MHz]	Uwagi
2355 – 2357	Kanały simpleksowe
2357 – 2359,5	Kanały dwupięksove łączy i dostępu dla użytkowników, z odstępem + 35 MHz
2362 +/- 2,5	Dostęp dla użytkowników (WLAN, pol. pionowa)
2364,5 – 2365	Kanały dwupięksove łączy i dostępu dla użytkowników, z odstępem + 35 MHz
2392 – 2394,5	Kanały dwupięksove łączy i dostępu dla użytkowników, z odstępem - 35 MHz
2397 +/- 2,5	Dostęp dla użytkowników (WLAN, pol. pionowa) lub łączy (pol. pozioma)
2395,5 – 2400	Kanały dwupięksove łączy i dostępu dla użytkowników, z odstępem - 35 MHz

Częstotliwości w paśmie 6 cm w Szwajcarii

Odstęp międzykanałowy [MHz]	Częstotliwości [MHz]
20	5730, 5735, 5740, 5745, 5750, 5775, 5780, ... itd. do 5850
10	5725, 5730, 5735, 5740, 5745, 5750, 5755, 5775, 5780, 5785, ... itd. do 5850

Częstotliwości w paśmie 6 cm w Austrii

Odstęp międzykanałowy [MHz]	Częstotliwości [MHz]
20	5680, 585, 5690, 5695, 5700, 5705, 5710, 5720, 5725, 5730, 5735, 5740, 5745, 5750, 5775, 5780
10	5675, 5680, 5685, 5690, 5695, 5705, 5715, 5725, 5730, 5735, 5740, 5745, 5750, 5755, 5775, 5780, 5785

Częstotliwości w paśmie 6 cm w Niemczech

Zakres [MHz]	Uwagi
5675 +/- 5	Łączy dwupiękrowe z odstępem +140 MHz
5685 +/- 5	Łączy dwupiękrowe z odstępem +140 MHz
5695 +/- 5	Łączy simpleksowe
5815 +/- 5	Łączy dwupiękrowe z odstępem -140 MHz
5825 +/- 5	Łączy dwupiękrowe z odstępem -140 MHz

Dopuszczalne szerokości pasma transmisji amatorskich w zakresach UKF i mikrofalowym

Zakres [MHz]	Dopuszczalna szerokość pasma [MHz]		Uwagi
	Sygnały modulowane amplitudowo	Sygnały modulowane kątowno	
300 – 3000	9	20	Mod. kątowna powyżej 440 MHz
powyżej 3000	10	20	

Rozdział 4. Robust Packet Radio

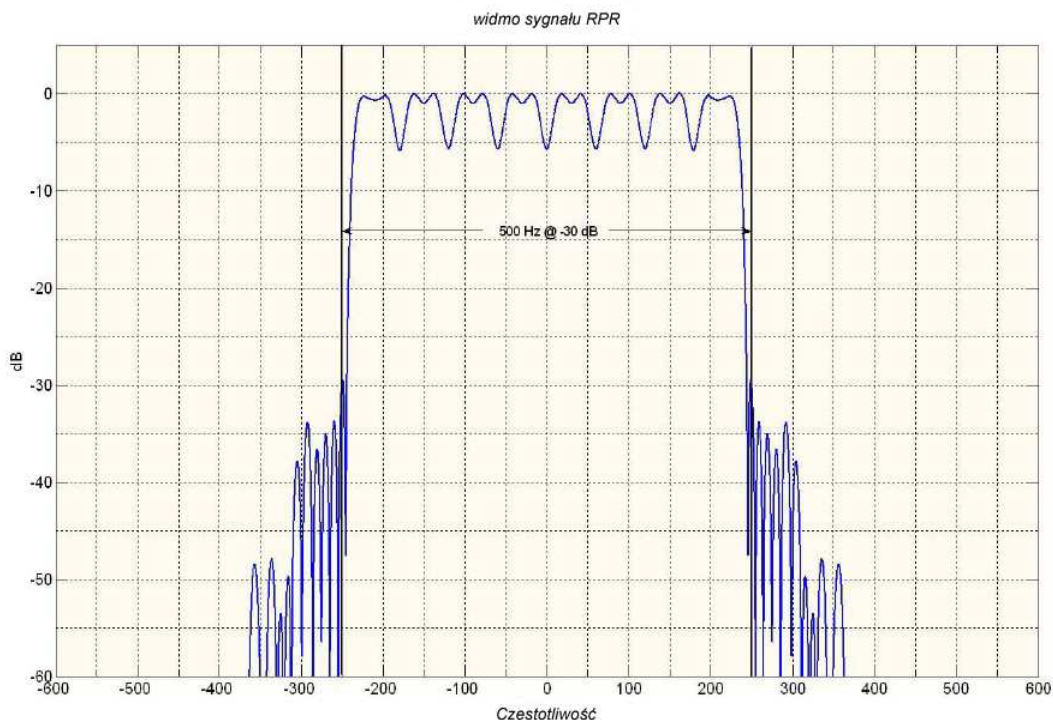
W systemie Packet Radio dla transmisji krótkofalowych przewidziano kluczkowanie AFSK (lub FSK) z szybkością 300 bit/s. W praktyce jednak emisja Packet Radio na falach krótkich jest stosowana rzadziej niż inne systemy cyfrowe. Próbą zaradzenia tej sytuacji jest system Robust Packet Radio – RPR – opracowany przez firmę SCS.

Sygnały emisji cyfrowych są narażone na falach krótkich na zakłócenia powstające w wyniku odbioru wielodrożnego. Nakładanie się na siebie sygnałów nadchodzących różnymi drogami i w związku z tym z różnym opóźnieniem może powodować rozmycie i zafałszowanie kolejnych symboli (np. bitów) danych o ile różnice opóźnień są porównywalne z czasem trwania symbolu lub dłuższe. Z tego też powodu szybkość transmisji na falach krótkich nie powinna przekraczać 300 bodów (symboli/sek.) a w praktyce i to czasami jest już za dużo. Dla zwiększenia odporności na tego rodzaju zakłócenia dąży się do wyraźnego przedłużenia czasu trwania symbolu a jednocześnie aby otrzymać wystarczającą szybkość netto rozdziela się dane na większą liczbę podnośnych rozmieszczonych w tak dobranych odstępach aby się wzajemnie nie zakłócały – czyli ortogonalnie. Stosowanie większej liczby podnośnych pozwala na proporcjonalne przedłużenie czasu trwania symbolu. Metoda ta jest obecnie stosowana w wielu systemach krótkofalowych transmisji cyfrowych m.in. w systemie PACTOR III i w cyfrowej radiofonii DRM.

Kolejnymi rodzajami zakłóceń szkodliwych dla emisji cyfrowych są zakłócenia impulsowe i zaniżki. Powodują one zafałszowanie pewnej liczby kolejnych symboli co może uniemożliwić odbiór całego bloku (pakietu) danych i w niektórych systemach (w tym i w Packet Radio) powoduje jego powtórzenie nawet wtedy gdy zakłócona jest jego drobna część. Również i na to niekorzystne zjawisko jest rada. Przez zastosowanie przepłotu bitów – czyli mówiąc potoczniej ich przemieszczania ale z pewną metodą – powoduje się rozłożenie wpływu zakłóceń na większą liczbę symboli przez co łatwiej jest skorygować powstałe przekłamania. Korekcja danych użytkowych bez konieczności ich powtórzenia wymaga dodania do nich pewnej ilości danych nadmiarowych – oczywiście nie przypadkowych a obliczonych zgodnie z pewną zasadą (czyli algorytmem). Jest to tzw. mechanizm korekcyjny FEC (ang. *forward error correction*) stosowany w wielu różnych systemach transmisji cyfrowej m.in. także i w telewizji satelitarnej. Dodawany do oznaczenia FEC ułamek określa stosunek liczby bitów użytkowych do całości (resztę stanowią dane nadmiarowe), a więc przykładowo FEC 2/3 oznacza, że dane użytkowe stanowią 2/3 całości a dane korekcyjne 1/3; dla FEC 1/2 ilości informacji użytkowej i nadmiarowej są sobie równe. Stosunki ilości obu rodzajów informacji są dobierane m.in. w zależności od spodziewanej jakości kanału transmisyjnego – czym niższy poziom zakłóceń tym ułamek może być bliższy jedności. Również i ten sposób korekcji danych jest szeroko stosowany m.in. w systemach AMTOR-B (FEC), PACTOR-FEC i w cyfrowej telewizji satelitarnej.

Obie wspomniane metody zwiększenia odporności na zakłócenia typowe dla fal krótkich zastosowano też w systemie Robust Packet Radio – RPR.

Do transmisji danych używa się tutaj ośmiu podnośnych rozmieszczonych w odstępach 60 Hz od siebie wokół częstotliwości środkowej 1500 Hz. Podnośne te są modulowane fazowo (DBPSK lub DQPSK) z szybkością 50 bodów a wypadkowa szybkość transmisji wynosi w zależności od używanego wariantu 200 lub 600 bodów. Całkowita szerokość pasma sygnału jest równa 500 Hz a średnia długość symbolu wynosi 20 msek w porównaniu z 3,3 msek dla 300 bodów (A)FSK. Widmo sygnału przedstawione jest na rys. 1.



W zależności od jakości kanału transmisyjnego system wybiera automatycznie jeden z dwóch wariantów. W wariancie pierwszym stosowane jest kluczkowanie DBPSK z FEC 1/2 i z wypadkową szybkością transmisji 200 bodów, natomiast w wariancie drugim – DQPSK z FEC 3/4 i wypadkową szybkością transmisji 600 bodów. Szerokość pasma sygnału jest w obu przypadkach taka sama.

W wariancie pierwszym możliwy jest prawidłowy odbiór danych nawet przy stosunku sygnału do szumu równym -6 dB natomiast przy -8 dB łączność urywa się, za wartość graniczną można więc uznać -7 dB. W obu przypadkach korygowane są automatycznie odchyłki częstotliwości dochodzące do ± 240 Hz.

Oprócz tego w systemie występują oczywiście też standardowe mechanizmy protokołu AX.25 jak zabezpieczenie pakietów danych przy użyciu sumy kontrolnej CRC, kwitowanie i powtarzanie pakietów (ARQ) w trybie połączenia oraz bufor pakietów pozwalający zbieranie bezbłędnie odebranych pakietów i oczekiwanie na powtórzenie jedynie części z nich odebranej z przekłamaniami.

Analogicznie jak w klasycznym wariancie możliwa jest praca w trybie bezpołączeniowym – stosowanym m.in. w transmisji danych APRS.

Dzięki wyposażeniu pakietów w 64-bitowe nagłówki o czasie trwania 160 msek uzyskano odporną na zakłócenia synchronizację pakietów. Dodatkowo dla zwiększenia odporności na zakłócenia pola adresowe pakietów są komprimowane a grupy pakietów są na czas transmisji składane w jedną ramkę zbiorczą – tzw. multiramkę zawierającą wspólne pole adresowe i wspólną sumę kontrolną CRC. Pola adresowe i CRC poszczególnych pakietów są rekonstruowane po stronie odbiorczej. Daje to ok. 30% zysk efektywnej szybkości transmisji. Poza wymienionymi różnicami RPR jest kompatybilny z klasycznym systemem Packet Radio, zawiera także funkcję przekaźnika cyfrowego (ang. *digipeater*) i pozwala oczywiście na pracę wielu stacji na tej samej częstotliwości.

Na przyszłość planowane jest też uzupełnienie RPR o znaną z systemu PACTOR kumulację pakietów w pamięci (*Memory ARQ*) co pozwoliłoby na dalsze zmniejszenie liczby powtórzeń pakietów.

RPR znalazło już zastosowanie w transmisji współrzędnych geograficznych i danych telemetrycznych APRS – zwłaszcza w żeglarskim, rajdach turystycznych itp, wymianie poczty elektronicznej w sposób analogiczny do Winlinku, Sailmail lub Bushmail (PACTOR), w krótkofalowym dostępie do sieci Packet Radio a także w bezpośrednich dialogach.

Dostępne obecnie wyposażenie do pracy RPR obejmuje specjalny modem firmy SCS „DSP-TNC Tracker” (fot. 1), do którego można podłączyć bezpośrednio odbiornik GPS, i nowsze wersje modemów PACTOR z rodziny PTC-II – pro, ex, usb i net – (z oprogramowaniem od wersji 3.6 począwszy i dodatkową płytką modemu RPR).



Najczęściej używaną częstotliwością pracy jest 10147,6 kHz (wstęga USB) a oprócz tego szereg bramek radiowych pracuje także w pasmach 80 i 20 m (tabela 1). Podane w tabeli częstotliwości są częstotliwościami wytłumionej nośnej SSB dla górnej wstęgi bocznej (USB) o ile nie podano inaczej.

Krótkofalowe bramki RPR i (A)FSK (Packet Radio, 300 bodów)

Znak	Częstotliwość	Uwagi
DB0UAL	3610,0 kHz	Przełącznik cyfrowy i bramka APRS
DB0UAL	14102,0 kHz	Przełącznik cyfrowy i bramka APRS
DH1TI	10147,3 kHz	Bramka APRS
OE3XUR-4	10147,3 kHz	Bramka APRS
OE3XUR-3	10147,3 kHz	Bramka APRS. (A)FSK 300 bodów.
OE3XUR-6	14103,3 kHz LSB	Bramka APRS.
OE3XUR-5	14103,3 kHz LSB	Bramka APRS. (A)FSK 300 bodów.
OE3JKN	10147,3 kHz	Bramka APRS
ZS1AAZ	10147,3 kHz LSB	Bramka APRS
Różne	10147,3 kHz	Bramki APRS
Różne	14103,3 kHz LSB	Bramki APRS

Wyznaczony dla RPR kanał w paśmie 30 m leży obok kanału Paket Radio dla transmisji (A)FSK z szybkością 300 bodów (rys. 2) i jest od niego odległy o 500 Hz. Obie możliwości będą z pewnością w równoległym użyciu przez dłuższy czas ponieważ RPR pomimo swoich bezspornych zalet technicznych ma jedną słabą stronę – wymaga stosowania sprzętu wytwarzanego przez jednego tylko producenta, firmę SCS. Są to urządzenia wysokiej klasy wprawdzie ale też i zaliczające się do droższych.