

MOŻLIWOŚCI ZDALNEJ KONFIGURACJI RADIOSTACJI WYKORZYSTYWANYCH W POLSKICH SIŁACH ZBROJNYCH

dr inż. Marek SUCHAŃSKI, m.suchanski@wil.waw.pl
ppłk dr inż. Paweł KANIEWSKI, p.kaniewski@wil.waw.pl
dr inż. Robert MATYSZKIEL, r.matyszkiel@wil.waw.pl
kpt. mgr inż. Jarosław MILEWSKI, j.milewski@wil.waw.pl

WOJSKOWY INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
ul. Warszawska 22 A, 05-130 ZEGRZE
ZAKŁAD RADIOKOMUNIKACJI I WALKI ELEKTRONICZNEJ

Streszczenie:

W artykule omówiono możliwości konfiguracji radiostacji wykorzystywanych w polskich siłach zbrojnych pod kątem ich podatności na zdalną zmianę danych radiowych (częstotliwości, trybu pracy, rodzaju emisji itp.). W chwili obecnej wobec wysokiego nasycenia środkami radiowymi przewidywanego obszaru działań, jedynie dynamiczny sposób zarządzania zbiorem dostępnych częstotliwości może doprowadzić do prawidłowego funkcjonowania systemów radiowych. Aby systemy te mogły działać w sposób optymalny, potrzebny jest zarządca (broker częstotliwości), którego praca w czasie quasi-rzeczywistym prowadzić będzie do szybkich zmian danych radiowych w środkach występujących w rejonie odpowiedzialności brokera. W artykule dokonano oceny obecnie funkcjonujących w siłach zbrojnych środków radiowych pod kątem możliwości zmiany ich parametrów pracy oraz przedstawiono wymagania, jakie muszą zostać spełnione, aby możliwe było wykorzystanie brokera częstotliwości. Omówiono również architektury systemu realizującego dynamiczny dostęp do widma częstotliwości przedstawiając główne ich właściwości. Artykuł kończy się wnioskami na temat działania brokera częstotliwości wykorzystującego obecnie funkcjonujące środki radiowe. Koncepcja i demonstrator takiego brokera częstotliwości powstaje w ramach projektu badawczo rozwojowego OR 000187 12 pod tytułem „Koncepcja koordynowanego dynamicznego systemu zarządzania widmem dla infrastruktury bezprzewodowej wykorzystywanej w systemach zapobiegania zagrożeniom terrorystycznym”, którego wykonawcą jest konsorcjum w składzie WIŁ – lider oraz WAT i RADMOR.

1. Wprowadzenie

Ze względu na dużą dynamikę działań realizowanych w ramach operacji wojskowych, systemy bezprzewodowe stają się głównym narzędziem komunikacji. W większości

przypadków działania te prowadzone są w otoczeniu, w którym środowisko elektromagnetyczne charakteryzuje się dużym nasyceniem środków emitujących fale radiowe. Systemy bezprzewodowe narażone są na wysoki poziom interferencji, prowadzących do wzajemnych, elektromagnetycznych kolizji systemów własnych. Zjawiska takie są wynikiem zarówno niedostatków widma stanowiącego zasób naturalny o ograniczonej pojemności, jak i obecnej praktyki zarządzania nim - bazującej na statycznych metodach przeznaczeń i przydziału częstotliwości (ang. *allotment and assignment*). Jednocześnie okazuje się, że czasowy poziom wykorzystania widma nie przekracza 10 %.

Spostrzeżenia te stały się przyczyną podjęcia badań nad zwiększeniem efektywności wykorzystania widma poprzez stosowanie tzw. dynamicznego dostępu do niego (ang. *Dynamic Spectrum Access - DSA*). Koncepcja DSA jest ucieleśnieniem idei współdzielenia widma przez różne systemy bezprzewodowe.

W literaturze przedmiotu rozważa się dwie architektury DSA, a mianowicie:

- koordynowany dynamiczny dostęp do widma (ang. *Coordinated Dynamic Spectrum Access - CDSA*), polegający na wykorzystaniu pewnej infrastruktury z brokerem widma, jako jej głównym elementem,
- oportunistyczny dostęp do widma (ang. *Opportunistic Spectrum Access - OSA*), który realizuje ideę oportunistycznego wykorzystania nieużywanych chwilowo fragmentów widma ("*spectrum holes*"), z przestrzeganiem zasady niezakłócania innych środków radiowych. W tej filozofii przewiduje się konieczność stworzenia zaawansowanych metod badania zajętości widma. Filozofia ta znajdzie w przyszłości ucieleśnienie w nowej generacji systemów - tzw. *Cognitive Radio* (radio samouczące się środowiska elektromagnetycznego).

Praktyczna implementacja idei DSA wymaga wprowadzenia odpowiednich metod zarządzania widmem, uwzględniających dynamikę zmian środowiska, mobilność systemów i ewentualny wpływ systemów walki elektronicznej. Bez względu na przyjętą filozofię zarządzania widmem, każda koncepcja prowadzi do częstych zmian (przeprogramowania) parametrów wykorzystywanych urządzeń nadawczo – odbiorczych.

W SZ RP stosowanych jest wiele rodzajów środków łączności radiowej, które na uzbrojenie wprowadzано w różnych okresach czasu. Wprawdzie obecnie dominują radiostacje cyfrowe, to jednak nadal spotykane są analogowe radiostacje starszej generacji. Ich wykorzystanie jest już niewielkie, ograniczone do nielicznych relacji.

W artykule wyróżniono dwa zagadnienia. Pierwsze dotyczy koncepcji zautomatyzowanego systemu zarządzania widmem dla sieci i urządzeń bezprzewodowych znajdujących się w eksploatacji obecnie lub przewidzianych do wdrożenia w najbliższej przyszłości. W ramach drugiego zagadnienia przedstawiono możliwości techniczne zdalnej konfiguracji radiostacji dominujących w polskich siłach zbrojnych - radiostacji UKF rodziny PR4G firmy Radmor oraz KF firmy Harris.

2. Koordynowane dynamiczne zarządzanie widmem

Koncepcja zautomatyzowanego systemu zarządzania widmem dla sieci i urządzeń bezprzewodowych jest obecnie opracowywana w ramach projektu realizowanego przez konsorcjum, w skład którego wchodzi Wojskowy Instytut Łączności, Wojskowa Akademia Techniczna oraz firma Radmor. Założono w niej, że możliwe jest zastosowanie koordynowanego dynamicznego dostępu do widma, a zatem odpowiednio koordynowanego dynamicznego zarządzania widmem (CDSA).

Istotą i wspólną cechą CDSA jest stosowanie centralnego (regionalnego) brokera widma.

W literaturze przedmiotu rozważa się różnorodne implementacje tej filozofii zarządzania, mieszczące się między koncepcjami reprezentowanymi przez dwie następujące idee:

- idea planowania falowego z wykorzystaniem narzędzi generujących w czasie quasi-rzeczywistym bezkolizyjne plany częstotliwości, zapewniających ich automatyczną dystrybucję do nadzorowanych (zarządzanych) sieci i urządzeń,
- idea wydzielania specjalnych fragmentów widma w pasmach przeznaczonych dla konkretnych służb i urządzeń przeznaczonych do eksploatacji w filozofii CDSA. Właścicielem tych zasobów widma jest regionalny broker udostępniający je w czasie rzeczywistym poszczególnym użytkownikom do wykorzystania w ograniczonych przedziałach czasu. Implementacja tej filozofii wymaga modernizacji systemów bezprzewodowych, mającej na celu zapewnienie ich łączności służbowej niezbędnej do wymiany informacji koordynacyjnych z regionalnym brokerem częstotliwości.

Wynikiem omawianego projektu będzie koncepcja systemu oraz demonstrator realizujący ideę koordynowanego dynamicznego zarządzania widmem obejmującego zarówno metodologię tworzenia bezkolizyjnych planów częstotliwości (pasm), jak i

dystrybucji ich do użytkowników. Automatyczny broker częstotliwości powinien umożliwić konstruowanie planów częstotliwości oraz dystrybucję wypracowanych planów do zainteresowanych użytkowników z zapewnieniem realizacji opracowanych wcześniej algorytmów w czasie quasi-rzeczywistym.

Osiągnięcie w/w celu wymaga opracowania algorytmu planowania falowego zapewniającego bezkolizyjną eksploatację różnych systemów bezprzewodowych oraz dokonania analizy podatności eksploatowanych systemów łączności bezprzewodowej na zdalną zmianę danych radiowych.

3. Sposób dystrybucji danych radiowych i typy obecnie wykorzystywanych w siłach zbrojnych RP radiostacji

W SZ RP stosowanych jest wiele rodzajów środków łączności radiowej. Obok radiostacji wąskopasmowych, pracujących w zakresie częstotliwości KF, UKF, jak również szerokozakresowych (najczęściej o zakresie częstotliwości do 512 MHz), pojawiają się również radiostacje szerokopasmowe.

Radiostacje wykorzystywane w SZ RP:

- Urządzenia zakresu HF i VHF (1 ÷ 300 MHz):
 - Radiostacje serii RF - 5000 (Harris);
 - Radiostacja RF - 5200 (Harris);
 - Radiostacja AN/PRC - 138 (Harris);
 - Radiostacje serii RKS - 8000 (Centrum Techniki Morskiej);
 - Radiostacje XK - 2500 i XK - 2900 (Rohde-Schwarz);
 - Radiostacje RF - 5800H (Harris);
 - Radiostacja RRC - 9200 (Radmor);
 - Radiostacja RRC - 9500 (Radmor);
 - Radiostacja RRC - 9210 (F@stnet) (Radmor);
 - Radiostacja RRC - 9310AP (F@stnet) (Radmor);
 - Radiostacja R - 3501 (Radmor);
 - Radiostacja V3501 (Radmor);
 - Radiostacja RF - 7800V (Harris);
 - Radiostacja analogowa R - 105;
- Urządzenia zakresu UHF (300 ÷ 3000 MHz):
 - Radiostacja osobista RF - 7800S (Harris);
 - Radiolinia R - 450A (Transbit);

- Szerokopasmowy System Dostępowy R - 450C (Transbit);
- Podsystem Dostępu Bezprzewodowego PDB (Wojskowy Instytut Łączności);
- Radiostacja R - 35010 (Radmor);
- Radiostacja osobista PNR 500;
- Urządzenia zakresu SHF (3 GHz ÷ 30 GHz):
 - Samolotowa cyfrowa linia radiowa ARL (Transbit);
 - Radiolinia R - 450B (Transbit);
 - Radiolinia R - 450B1 (Transbit);
- Urządzenia szerokozakresowe:
 - Radiostacje serii RF - 7800M (Harris);
 - Radiostacje rodziny M3TR (R&S);
 - AN/PRC - 148 (Thales);
 - Radiostacje serii RKP - 8100 (Centrum Techniki Morskiej);
 - Radiostacja RF - 5800M (Harris);
 - Radiostacja AN/PRC - 117C (Harris);
 - Radiostacja AN/VRC - 103(V)1 (Harris);
 - Radiostacja AN/PRC - 117G (Harris);
 - Radiostacja R - 3505 (Radmor).

Podstawowymi środkami łączności wykorzystywanymi w siłach zbrojnych RP na polu walki są radiostacje UKF rodziny PR4G (w tym F@stNet) firmy Radmor oraz KF firmy Harris. W celu zapewnienia prawidłowego funkcjonowania sieci radiowych, urządzenia należy odpowiednio przygotować do pracy.

Radiostacje rodziny PR4G mogą pracować w różnych trybach pracy – od podstawowych trybów analogowych nie wykorzystujących żadnych mechanizmów bezpieczeństwa, poprzez tryb cyfrowy na ustalonej częstotliwości dostarczający ochrony z wykorzystaniem kluczy COMSEC oraz tryby zabezpieczające przed skutkami walki elektronicznej, takie jak FH, FCS i MIX - tryby te dostarczają ochrony z wykorzystaniem zarówno kluczy COMSEC, jak również TRANSEC.

Radiostacje KF firmy Harris mogą pracować w różnych trybach pracy (od trybu *Fixed Frequency*, poprzez tryb *HOP* po tryby *ALE* i *3G* w wybranych typach radiostacji). Wybór odpowiedniego trybu pracy i wybór odpowiedniego modemu może znacząco poprawić jakość transmisji w kanale radiowym KF.

Aby system łączności radiowej był w stanie pracować w trybie ze skaczącą częstotliwością musi od regionalnego zarządcy częstotliwości (na terenie Polski jest to Wojskowe Biuro Zarządzania Częstotliwościami) otrzymać plany częstotliwości wygenerowane w formacie SFAF uwzględniające pracę sieci radiowych w trybie FH. Aby WBZC wygenerowało przydział częstotliwości uwzględniający pracę sieci radiowych w trybie FH musi otrzymać zapotrzebowanie na częstotliwości w odpowiednim formacie.

Po otrzymaniu zbioru dostępnych częstotliwości organizator łączności może przystąpić do generacji odpowiednich danych radiowych uwzględniających:

- strukturę organizacyjną sieci radiowych (numery sieci radiowych) oraz rodzaje środków radiowych występujących w danej sieci radiowych;
- w celu zapewnienia kompatybilności systemu, najbliższe możliwe odległości między poszczególnymi korespondentami sieci radiowych;
- parametry pracy radiostacji (zakres pracy, tryby pracy, szerokość pracy, moc nadajnika, czułość odbiornika).

Po wygenerowaniu optymalnego planu częstotliwości radiowych uwzględniającego kompatybilność wewnętrzną systemu, jak również pracę systemu w trybie FH, należy przystąpić do wygenerowania dla każdej sieci UKF wykorzystującej radiostacje rodziny PR4G kluczy COMSEC i TRANSEC.

Wynika z tego, że proces generacji planów częstotliwości jest zadaniem skomplikowanym. Podczas operacji prowadzonych na obecnym i przyszłym teatrze działań wojennych, zakłada się dynamiczne zmiany sytuacji taktycznej, prowadzące do zmian struktur sieci radiowych oraz lokalizacji korespondentów. Wskazane jest aby system łączności bezprzewodowej dysponował optymalnymi planami częstotliwości radiowych, był w stanie w sposób dynamiczny generować kolejne plany reagując na aktualne potrzeby użytkowników systemu oraz aby zmieniające się parametry pracy radiostacji maksymalnie szybko wprowadzać w urządzeniach nadawczo – odbiorczych. Koncepcja systemu CDSA idealnie wpisuje się w wymienione wymagania.

Dane radiowe do radiostacji pola walki można wprowadzić ręcznie, co jest zadaniem czasochłonnym i pracochłonnym, a w niektórych sytuacjach wręcz niemożliwym. Dużym usprawnieniem jest zautomatyzowanie procesu ładowania danych do radiostacji poprzez wykorzystanie urządzeń *FillGun*. Obecnie eksploatowane systemy łączności bezprzewodowej w głównej mierze opierają się o statyczny model dystrybucji danych radiowych (kurierzy), w którym dane radiowe wprowadzone są ręcznie lub za pomocą dedykowanego urządzenia.

Wydaje się, iż należy w najbliższym czasie zmierzać do automatyzacji i usprawnienia tego systemu.

4. Zdalna konfiguracja radiostacji

Dla pełnego wykorzystania możliwości koordynowanego dynamicznego systemu zarządzania widmem, wykorzystywane środki radiowe muszą być podatne na zdalną zmianę danych radiowych. Obecnie w WIŁ wykonywana jest analiza możliwości realizacji dynamicznej dystrybucji danych radiowych do systemów bezprzewodowych wykorzystywanych w akcjach zapobiegania zagrożeniom terrorystycznym (radiostacje KF, UKF, sieci dostępowe WLAN, WIMAX, radiotelefony, relacje radioliniowe).

Poniżej zaprezentowano możliwości zdalnej konfiguracji wybranych radiostacji UKF i KF.

4.1 Konfiguracja radiostacji UKF rodziny PR4G

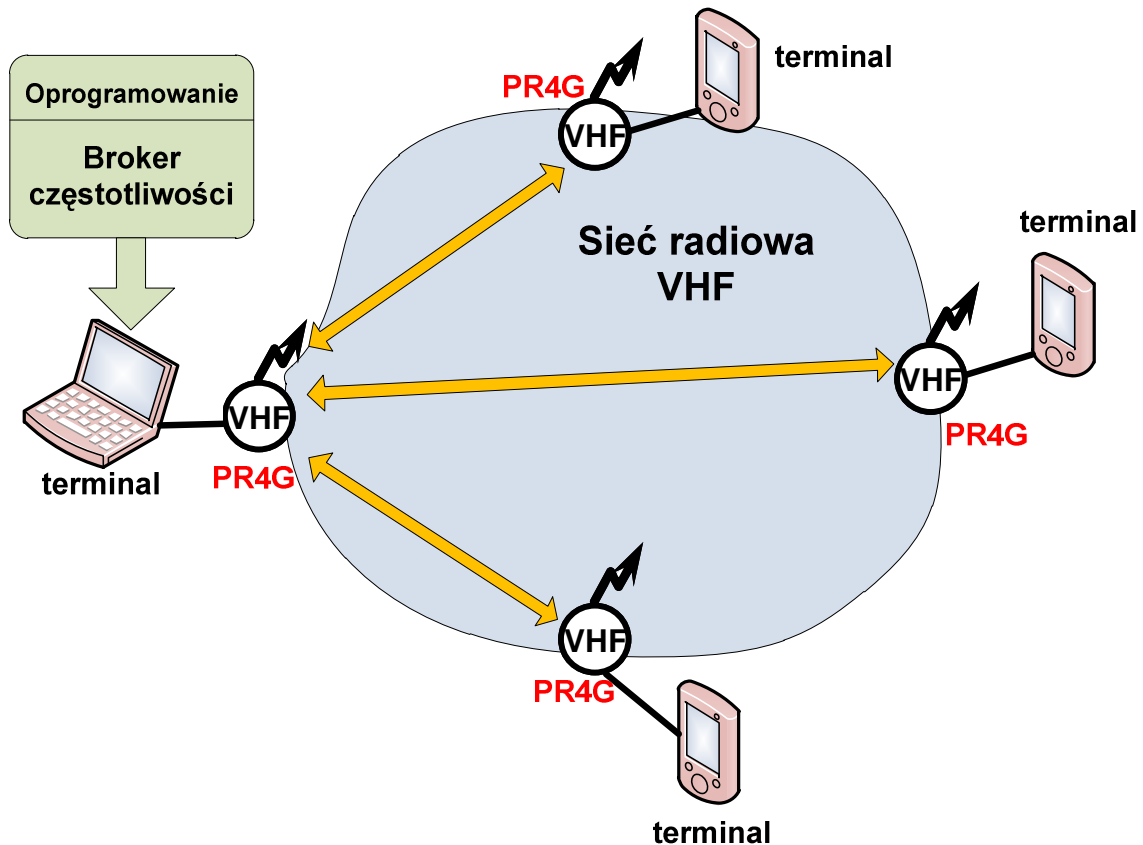
a) zmiana danych radiowych radiostacji

W chwili obecnej zmiana danych radiowych w radiostacjach rodziny PR4G może odbywać się ręcznie przy wykorzystaniu interfejsu radiostacji lub też dane radiowe mogą być ładowane z wcześniej przygotowanego programatora „*filgun*”. Radiostacje rodziny PR4G umożliwiają także zdalne programowanie danych radiowych za pomocą dołączonego do radiostacji komputera z odpowiednim oprogramowaniem obsługującym protokół sterowania radiostacji. Funkcja ta jest niezwykle istotna ze względu na wykorzystanie DSA, ponieważ umożliwia odpowiednie przygotowanie danych radiowych (stworzenie odpowiedniego pliku z danymi) przez brokera częstotliwości.

Broker częstotliwości jest specjalizowaną aplikacją posadowioną na komputerze dołączonym do radiostacji (Rys. 4-1). W procesie generowania danych radiowych broker uwzględnia zdefiniowane wcześniej kryteria zakłócalności (separacja współbieżna i współmiejscowa), jak również wzajemną koegzystencję wielu systemów łączności bezprzewodowej. W dalszej kolejności następuje wysłanie tak stworzonego pliku do pozostałych korespondentów sieci radiowej w celu zmiany danych radiowych. Zmiana danych w radiostacji adresata następuje automatycznie po odebraniu pliku i odbywa się to poprzez uruchomienie odpowiedniego oprogramowania znajdującego się w terminalu dołączonym do radiostacji. Aby możliwa była zmiana danych radiowych, wszyscy

korespondencji sieci radiowej muszą być wyposażeni w dołączone do radiostacji terminale z właściwym oprogramowaniem.

Zastosowanie we wszystkich radiostacjach zewnętrznego modułu kryptograficznego (np. Radiowego Modułu Kryptograficznego - RMK) wzmacni ochronę danych przesyłanych drogą radiową do klauzuli zapewnianej przez ten moduł. Na rysunku zamieszczonym poniżej przedstawiono ideę wykorzystania brokera częstotliwości do zdalnej zmiany danych radiowych.



Rys. 4-1 Idea zdalnej konfiguracji radiostacji rodziny PR4G

b) wykorzystanie funkcji OTAR

W rodzinie radiostacji PR4G istnieje również możliwość zmiany danych drogą radiową z wykorzystaniem funkcji OTAR (*Over The Air Rekeying*). W ramach realizacji procedury OTAR-3 przesyłane są dane pomiędzy radiostacją dołączoną do komputera z zainstalowanym oprogramowaniem FKLU (*Frequency Key Load Unit*), a pozostałymi radiostacjami sieci radiowej.

W celu dokonania zmian danych w radiostacjach drogą radiową na komputerze realizującym funkcję brokera częstotliwości (Rys. 4-2) należy uruchomić odpowiednie oprogramowanie (OTAR) umożliwiające:

- odczytywanie danych z programatora (*fillgun*);

- odczytywanie danych z plików programatora znajdujących się na dysku twardym komputera;
- realizacja procedury OTAR – 3;
- rejestracja ważniejszych zdarzeń.

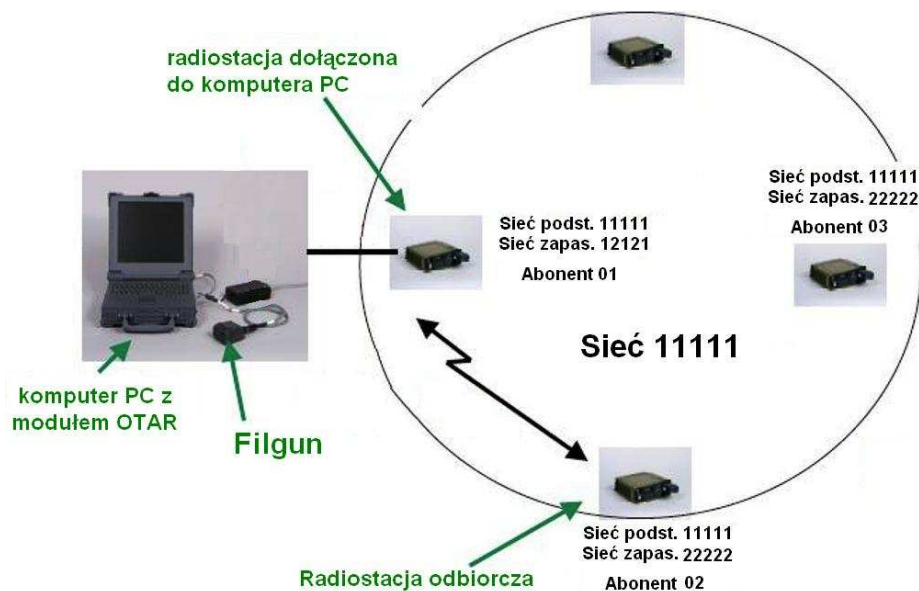
W celu inicjalizacji procedury OTAR należy do brokera częstotliwości wprowadzić następujące dane:

- kod dostępu do programatora lub do pliku;
- numer sieci radiowych, numery docelowych radiostacji;
- numer sieci zapasowej.

Po wprowadzeniu powyższych danych uruchomiona zostanie procedura OTAR. Jej realizacja odbywa się w trzech następujących fazach:

- 1) sprawdzenie czy wybrane zostały właściwe dane inicjujące;
- 2) ładowanie do radiostacji bezpośrednio podłączonej do brokera częstotliwości plików inicjujących;
- 3) transmisja plików inicjujących do zdefiniowanych wcześniej odbiorców.

Sposób wykorzystania funkcji OTAR przedstawiono na Rys. 4-2.



Rys. 4-2 Sposób wykorzystania funkcji OTAR

4.2 Konfiguracja radiostacji KF firmy Harris

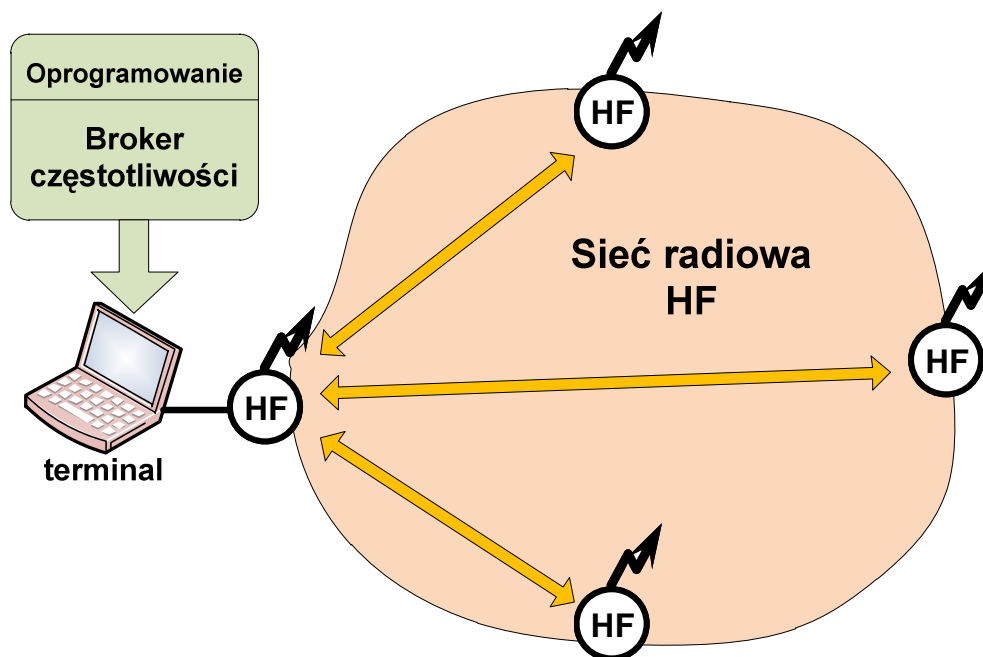
a) wykorzystanie aplikacji RPA (Radio Programming Application)

Wykorzystując radiostacje KF firmy Harris (RF-5800H, RF-5200H) oraz oprogramowanie RPA (*Radio Programming Application*) można w sposób zdalny zmieniać dane radiowe w tych radiostacjach. Aplikacja RPA oferuje interfejs graficzny, dzięki któremu można definiować wszystkie parametry radiostacji takie jak:

- definiowanie trybów pracy radiostacji (FIX, FHOP, ALE - 3G RF-5800H);
- definiowanie kanałów pracy i grup kanałów (numerów kanałów, podstawowa i zapasowa częstotliwość nadawcza i odbiorcza, rodzaj modulacji, szerokość kanału, grupowanie kanałów w grupy (ALE, 3G));
- definiowanie radiostacji (nazwy radiostacji, typu radiostacji, rodzaju modemu, konfiguracja trybu IP);
- definiowanie sieci (grupowanie radiostacji w sieci radiowe, definiowanie nazw sieci, parametrów sieci, trybu IP dla sieci itp.);
- definiowanie parametrów modemów.

Wynikiem działania aplikacji RPA jest zapisanie wszystkich danych radiowych w odpowiednim pliku tekstowym i wysłanie tego pliku do radiostacji.

Wygenerowanie takiego pliku jest także możliwe bez wykorzystania aplikacji RPA firmy Harris. Znając bowiem szczegółowe komendy sterujące radiostacji, istnieje możliwość zaimplementowania w brokerze częstotliwości dodatkowej funkcjonalności odpowiadającej możliwościom aplikacji RPA. Aby dokonać zmiany danych w pozostałych radiostacjach sieci radiowej, należy tak utworzony plik zapisać w pamięci radiostacji dołączonej do brokera częstotliwości, a następnie przesłać do pozostałych korespondentów sieci radiowej. Zmiana danych radiowych wywoływana jest w sposób automatyczny w radiostacjach adresatów.



Rys. 4-3 Idea zdalnej konfiguracji radiostacji HF firmy Harris

5. Podsumowanie i wnioski

W artykule omówiono możliwości zdalnej konfiguracji powszechnie wykorzystywanych w polskich siłach zbrojnych radiostacji pod kątem zmiany w czasie quasi-rzeczywistym ich danych radiowych. Dzięki tym możliwościom realna staje się idea upowszechnienia dynamicznego zarządzania widmem przez brokera częstotliwości a tą drogą znaczne zwiększenie efektywności wykorzystania widma. Idea brokera częstotliwości powstaje obecnie w ramach projektu badawczo rozwojowego OR 000187 12 pod tytułem „Koncepcja koordynowanego dynamicznego systemu zarządzania widmem dla infrastruktury bezprzewodowej wykorzystywanej w systemach zapobiegania zagrożeniom terrorystycznym”, którego wykonawcą jest konsorcjum w składzie WIŁ – lider oraz WAT i RADMOR.

W artykule omówiono ideę zdalnej konfiguracji radiostacji UKF rodziny PR4G firmy Radmor (wykorzystanie funkcji OTAR oraz funkcji polegającej na przesłaniu danych i automatycznym wywołaniu aplikacji do zmiany danych radiowych znajdującej się w terminalu dołączonym do radiostacji) oraz radiostacji KF (RF-5800H) firmy Harris (wykorzystanie możliwości przesłania pliku z danymi radiowymi do systemu operacyjnego radiostacji i automatyczne wywołanie funkcji zmiany danych radiowych).

W artykule przedstawiono również przesłanki jakie towarzyszyły podjęciu badań nad zwiększeniem efektywności wykorzystania widma częstotliwości poprzez zastosowanie dynamicznego dostępu do widma (DSA). Przedstawiono również różnice między dwiema

dominującymi architekturami DSA oraz argumenty przemawiające za podjęciem prac nad systemem realizującym funkcje koordynowanego dynamicznego dostępu do widma częstotliwości.

Ważnym zagadnieniem, które należy rozważyć projektując system wykorzystujący DSA, jest odpowiednie zabezpieczenie przesyłanych informacji. Obecnie eksploatowane w SZ RP radiostacje umożliwiają transmisję danych do klauzuli „ZASTRZEŻONE”. Potrzeba przesyłania informacji o wyższej klauzuli, oraz tendencja do zapewnienia integracji sieci radiowych z polowymi sieciami teleinformatycznymi (przeznaczonymi do przesyłania informacji o klauzuli do „TAJNE”), pociąga za sobą konieczność zastosowania dodatkowych rozwiązań. Wydaje się, że kompleksowe wykorzystanie w sieciach radiowych dedykowanych zewnętrznym urządzeń kryptograficznych, pozwoli rozwiązać ten problem.