

DYNAMICZNY DOSTĘP DO WIDMA JAKO ELEMENT ZWIĘKSZAJĄCY ODPORNOŚĆ NA ZAKŁÓCENIA WOJSKOWYCH SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI RADIOWEJ¹

Marek SUCHAŃSKI*, Piotr GAJEWSKI**, Paweł KANIEWSKI*,
Robert MATYSZKIEL*, Adam WORONOWICZ*

* Zakład Radiokomunikacji i Walki Elektronicznej
Wojskowy Instytut Łączności
05-130 Zegrze, ul. Warszawska 22 A

** Instytut Telekomunikacji Wydziału Elektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna
00-908 Warszawa, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2

Streszczenie

Współczesne systemy walki elektronicznej dysponują możliwościami szybkiego wykrycia, namierzenia i zakłócenia emisji elektromagnetycznych w przypadku kiedy źródła emisji pracują na pojedynczym nominalnie częstotliwości. Sytuacja zmienia się w przypadku kiedy źródła sygnału wykorzystują tryb ze skaczącą częstotliwością. W takim przypadku proces wykrycia i namierzenia emisji wymaga dłuższego czasu, zakłócenie ma niską skuteczność, a w przypadkach szczególnych jest niemożliwe. Aby systemy łączności radiowej były w stanie odpowiednio wykorzystać tryb ze skaczącą częstotliwością, sieciom i kierunkom radiowym muszą być prawidłowo przydzielone nominały częstotliwości. W zależności od możliwości wykorzystywanych środków radiowych rozpatrywane są dwie główne idee. W koordynowanym dostępie do widma elementem centralnym jest broker częstotliwości, którego zadaniem jest wygenerowanie planów częstotliwości zapewniających kompatybilną pracę systemu i dystrybucję ich do odpowiednich środków radiowych. Obecnie w ramach projektu rozwojowego p.t. "Koncepcja koordynowanego dynamicznego systemu zarządzania widmem dla infrastruktury bezprzewodowej wykorzystywanej w systemach zapobiegania zagrożeniom terrorystycznym" nr OR 000187 12 powstaje demonstrator brokera. W przypadku oportunistycznego dostępu do widma wykorzystane są chwilowo nieużywane częstotliwości z zachowaniem zasady niezakłócania innych środków radiowych. Zastosowanie tej idei powoduje 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).

W artykule przedstawione zostaną założenia, opis głównych modułów funkcjonalnych oraz sposób realizacji brokera częstotliwości na bazie demonstratora opracowanego w ramach projektu rozwojowego. W oparciu o udział autorów w projektach międzynarodowych przedstawiona zostanie definicja, wymagania oraz aktualny stan zaawansowania prac nad stworzeniem radia kognitywnego.

1. WSTĘP

Namierzanie radiowe (radionamierzenie, radiopelengacja, ang. Radio direction finding) jest dziedziną radioelektroniki zajmującej się technicznymi problemami określania położenia źródeł promieniowania fal radiowych, do których należą: radiostacje, stacje radiolokacyjne, telefonia GSM, sieci WLAN, radiolinie, nadajniki zakłóceń itp. Źródła te zainstalowane są w różnych obiektach, przez co możliwe jest określenie ich lokalizacji. Właściwość ta jest szczególnie istotna w zastosowaniach wojskowych, ponieważ umożliwia zlokalizowanie sztabów i stanowisk dowodzenia oraz innych obiektów przeciwnika w celu przeprowadzenia skutecznego ich obezwładnienia (zakłócenie łączności radiowej). Jednym ze skutecznych sposobów uodpornienia systemów łączności radiowych na zakłócenia celowe jest

¹ Artykuł jest wynikiem prac prowadzonych w projekcie badawczym NR OR 000187 12 „Koncepcja koordynowanego dynamicznego systemu zarządzania widmem dla infrastruktury bezprzewodowej wykorzystywanej w systemach zapobiegania zagrożeniom terrorystycznym” ustanowionym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

odpowiednie zastosowanie emisji z rozproszonym widmem. W systemach wojskowych główną metodą rozpraszania widma jest skokowa zmiana częstotliwości (emisja FH).

Wykorzystanie tej emisji z jednej strony wydatnie zmniejsza prawdopodobieństwo skutecznego rozpoznania systemu łączności radiowej i uodparnia system na zakłócenia celowe, z drugiej strony uodparnia system łączności radiowej na zakłócenia ze strony środków własnych (zapewnienie kompatybilności wewnętrznej systemu).

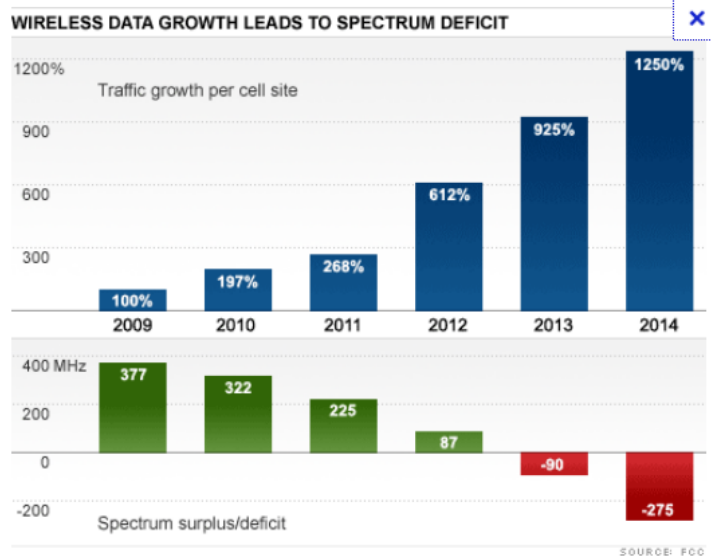
Podczas prowadzonych w Wojskowym Instytucie Łączności prac projektowych i badań systemów łączności radiowej pola walki oraz systemów walki elektronicznej potwierdzono wyraźne korzyści płynące z wykorzystania trybu FH. Współczesne systemy WE szybko i z dużą dokładnością wykrywają źródła pracujące na ustalonej częstotliwości (nawet w cyfrowym trybie DFF), jak również skutecznie je obezwładniają. Skuteczność zakłóceń zmniejsza się, gdy środki radiowe pracują w trybie FH w nieciągłych pasmach częstotliwości. W takiej sytuacji samo wykrycie źródła zajmuje znacznie więcej czasu, zaś ewentualne zakłócenie jego pracy jest zdecydowanie bardziej złożone. W przeważającej części prób następuje degradacja relacji łączności, a nie jej całkowite obezwładnienie.

Dla zapewnienia systemom łączności radiowej efektywnie pracy w trybie ze skaczącą częstotliwością należy odpowiednio zdefiniować dane radiowe dla wszystkich sieci i kierunków. Dane radiowe do radiostacji pola walki można wprowadzić ręcznie, co jest zadaniem czasochłonnym i pracochłonnym, a w niektórych sytuacjach wręcz niemożliwym lub też wykorzystać ich zdalną dystrybucję. Skutecznym rozwiązaniem może być wykorzystanie możliwości oferowanych przez broker częstotliwości, zapewniający generację niezakłóconych planów częstotliwości w oparciu o zdefiniowaną topologię sieci i kierunków radiowych, określony przez zarządcę widma częstotliwości zbiór dostępnych częstotliwości, zdefiniowane miary i kryteria zakłócalności. Wygenerowany plan zawiera wszystkie niezbędne dane potrzebne do prawidłowego funkcjonowania sieci i kierunków radiowych. Plan taki następnie jest dystrybuowany do określonych środków radiowych systemu łączności radiowej.

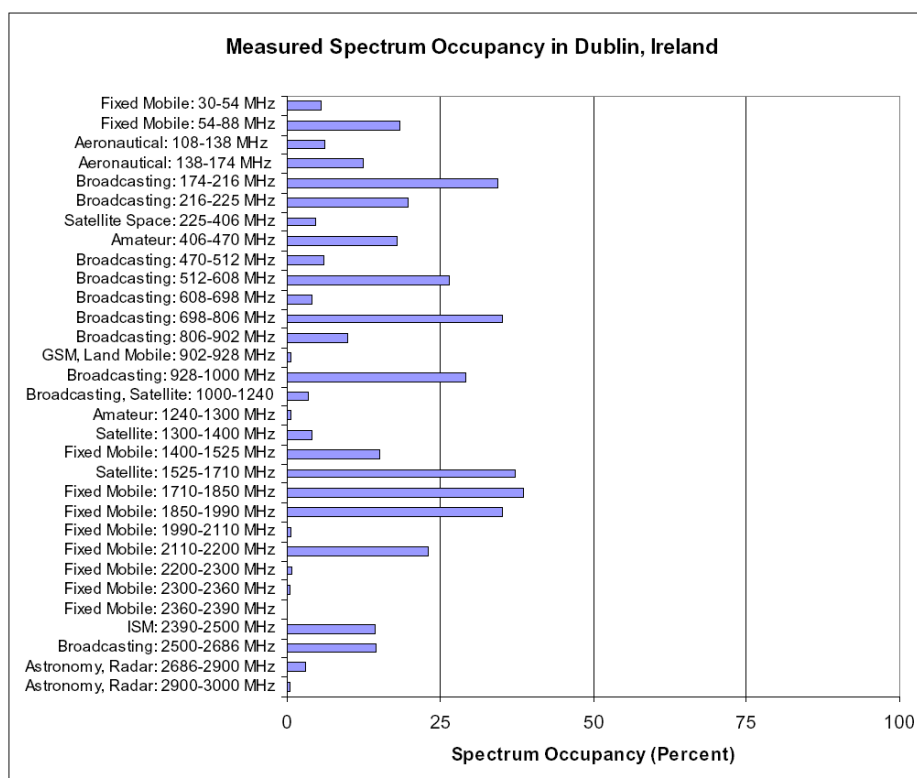
2. DYNAMICZNY DOSTĘP DO WIDMA

Jednym z głównych wyzwań jakie stają przed środowiskami regulatorów i zarządców widma jest zwiększenie efektywności wykorzystania widma poprzez optymalny dynamiczny przydział częstotliwości zapewniający korespondentom sieci radiowych realizację usług z określonym poziomem jakości. Nasycenie urządzeniami emitującymi fale radiowe narasta, powodując przeciążanie widma częstotliwości, a zatem zwiększenie poziomu zakłóceń. Ilustracją tego zjawiska może być prognoza wzrostu wykorzystania fragmentu widma przeznaczonego dla szerokopasmowych systemów mobilnych, opracowana przez narodowego regulatora USA (*FCC – Federal Communications Commission*), przewidująca pojawienie się już w 2014 roku znaczącego deficytu widma dla tych systemów Rys 1 [1].

Stosowane dotychczas statyczne metody zarządzania i użytkowania widma prowadzą do drastycznie niskiej efektywności jego wykorzystania. Na podstawie pomiarów przeprowadzonych w różnych częściach świata stwierdzono, że w zakresie częstotliwości poniżej 3 GHz średni poziom wykorzystania widma nie przekracza 10 % Rys 2 [2].



Rys 1 Prognozy wzrostu ruchu w sieciach bezprzewodowych i zapotrzebowania na częstotliwości według FCC.



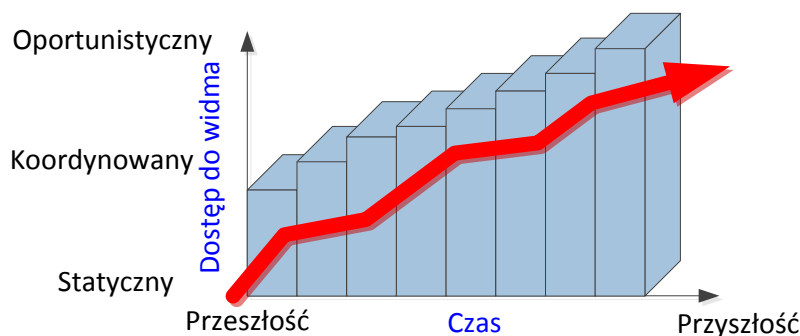
Rys 2 Zmierzona zajętość widma w Dublinie, Irlandia

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).

Rys 3 opisuje ogólną taksonomię systemów dostępu do widma – od obecnie wykorzystywanego statycznego dostępu do widma, poprzez bardziej elastyczne wykorzystanie widma, aż do najbardziej elastycznego oportunistycznego dostępu do widma (OSA).



Rys 3 Taksonomia systemów dostępu do widma

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

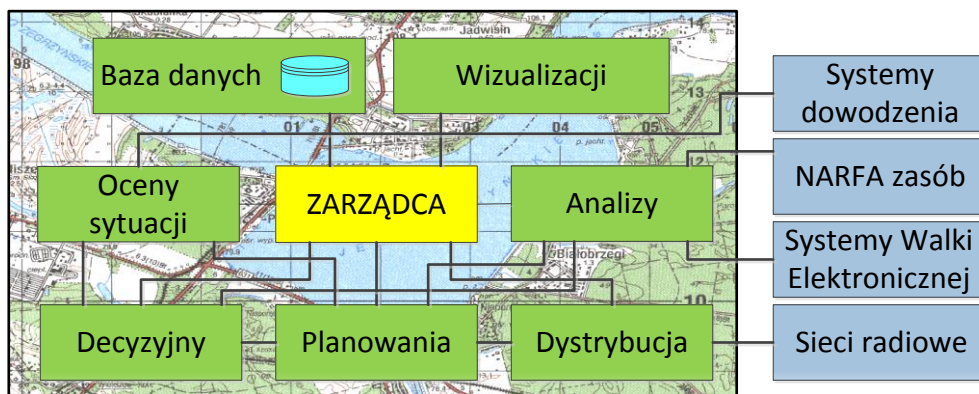
3. BROKER CZĘSTOTLIWOŚCI JAKO UCIELEŚNIENIE KOORDYNOWANEJ IDEI DOSTĘPU DO WIDMA

Jednym ze sposobów uodpornienia systemów łączności radiowej na zakłócenia celowe jest zastosowanie koordynowanego dostępu do widma zapewniającego generację i dystrybucję bezkolizyjnych planów częstotliwości radiowych umożliwiających pracę radiostacji z wykorzystaniem emisji z rozproszonym widmem.

W celu prawidłowej generacji danych radiowych zapewniających bezkolizyjną pracę sieci i kierunków radiowych, broker częstotliwości musi pozyskać dane określające zbiór dostępnych częstotliwości od regionalnej jednostki odpowiedzialnej za gospodarkę częstotliwościową. W warunkach polskich jednostką taką jest Wojskowe Biuro Zarządzania Częstotliwościami. W celu określenia struktury organizacyjnej systemu łączności radiowej broker częstotliwości powinien współpracować ze zautomatyzowanymi systemami

dowodzenia, z których otrzymuje informacje o położeniu i rodzaju wszystkich środków radiowych pogrupowanych w sieci i kierunki radiowe. Dodatkowo w celu bieżącej weryfikacji otrzymanego zbioru częstotliwości wskazana jest ścisła współpraca z systemami walki elektronicznej. Współpraca taka umożliwi dokonanie oceny rzeczywistego stanu środowiska elektromagnetycznego w określonych węzłach systemu łączności radiowej.

Schemat blokowy aplikacji brokera częstotliwości przedstawia Rys 4.



Rys 4 Schemat blokowy brokera częstotliwości

Poszczególne moduły tej aplikacji realizują następujące funkcje:

- **Moduł Zarządcy** – odpowiedzialny za prawidłową komunikację oraz właściwą wymianę danych pomiędzy poszczególnymi modułami brokera częstotliwości;
- **Moduł Oceny sytuacji** – odpowiedzialny za określenie struktury organizacyjnej systemu łączności radiowej (położenie wszystkich środków radiowych pogrupowanych w sieci i kierunki radiowe). Moduł ten umożliwia ręczne wprowadzanie niezbędnych danych oraz współpracuje z zautomatyzowanymi systemami dowodzenia, z których otrzymuje informacje o położeniu i rodzaju wszystkich środków radiowych pogrupowanych w sieci i kierunki radiowe;
- **Moduł Baza danych** - zawiera dane niezbędne w procesie generacji planu częstotliwości, a w szczególności topologię systemu łączności radiowej, definicję danych radiowych (moc, tryb pracy, prędkości transmisji, częstotliwości pracy), miary i kryteria zakłócalności oraz plan częstotliwości;
- **Moduł Analizy** – odpowiedzialny za określenie zbioru dostępnych częstotliwości, które mogą być wykorzystane przez brokera częstotliwości do generacji niezakłóconych planów częstotliwości. Moduł ten współpracuje z regionalnym zarządcą widma (NARFA), od którego otrzymuje zbiór częstotliwości do wykorzystania oraz ma możliwość współpracy z systemami walki elektronicznej w celu określenia aktualnego stanu środowiska elektromagnetycznego w rozpatrywanej lokalizacji.
- **Moduł Wizualizacji** - stanowiący interfejs użytkownika umożliwiający definicję i weryfikację wprowadzanych parametrów, pozwalających na podkładzie mapowym zilustrować rozmieszczenie środków radiowych pogrupowanych w sieci i kierunki radiowe jak również umożliwiający pracę brokera częstotliwości w trybie manualnym (ręczne wywoływanie poszczególnych funkcji);
- **Moduł Planowania** - odpowiedzialny za generację i weryfikację planów częstotliwości w oparciu o wcześniej zdefiniowane kryteria zakłócalności, lokalizację środków radiowych pogrupowanych w sieci i kierunki radiowe oraz zbiór częstotliwości do wykorzystania wraz z aktualnym stanem środowiska

elektromagnetycznego (poziom sygnału zakłócającego na określonych częstotliwościach);

- **Moduł Dystrybucji** - odpowiedzialny za bezpieczną dystrybucję, wygenerowanych w module planowania, danych radiowych zawierających wszystkie niezbędne parametry potrzebne do prawidłowej pracy środków radiowych. Moduł ten współpracuje z radiostacją umożliwiającą zdalną zmianę parametrów radiowych wybranych radiostacji w systemie łączności radiowej;
- **Moduł Decyzyjny** – odpowiedzialny za określenie kryteriów (prawdopodobieństw zakłócenia się sieci radiowych) przy których niezbędna jest generacja nowych planów częstotliwości. Moduł ten otrzymuje dane wejściowe od modułu Analizy oraz modułu Oceny sytuacyjnej (aktualny stan środowiska elektromagnetycznego, zbiór częstotliwości do wykorzystania oraz rozmieszczenie środków radiowych) i na tej podstawie określa prawdopodobieństwo zakłócenia sieci radiowej. Jeżeli oszacowane prawdopodobieństwo zakłócenia przekroczy założoną wartość progowa, wówczas moduł ten automatycznie uruchomi moduł Planowania w celu wygenerowania nowego planu częstotliwości i dystrybucji do określonych środków radiowych.

4. RADIO INTELIGENTNE

Innym sposobem uodpornienia systemów łączności radiowej na zakłócenia celowe jest zastosowanie oportunistycznego dostępu do widma polegającego na wykorzystaniu środków radiowych wyposażonych w zaawansowane metody badania zajętości widma w celu chwilowego wykorzystania wolnych fragmentów. Filozofia ta znajdzie w przyszłości ucieleśnienie w nowej generacji systemów - tzw. *Cognitive Radio* (radio samouczące się środowiska elektromagnetycznego).

Radio kognitywne (*ang. Cognitive Radio*) jest postrzegane jako najbardziej obiecujące rozwiązanie problemu współistnienia wielu technik dostępu radiowego przez zastosowanie inteligentnego zarządzania widmem oraz mechanizmów kooperacji w telekomunikacyjnych systemach przyszłości. Radio kognitywne jest systemem, w którym parametry transmisji są dynamicznie dostosowywane od zmian zachodzących w otaczającym środowisku elektromagnetycznym oraz zmieniających się preferencji użytkownika. Ta interakcja z otoczeniem obejmuje pasywne metody rozpoznawania widma oraz aktywne mechanizmy zarządzania radiem kognitywnym. Celem tych metod jest zwiększenie wydajności widmowej, pojemności sieci oraz prędkości transmisji przez skoordynowanie jej w czasie, miejscu i pasmach częstotliwości.

Z punktu widzenia zabezpieczenia sieci przed zakłóceniami celowymi radio kognitywne charakteryzują następujące właściwości:

- elastyczność – zapewniająca zmiany struktury sygnału i konfiguracji sieci;
- sprawność – zapewniająca zmiany wykorzystywanych pasm częstotliwości roboczych;
- rozpoznanie – zapewniające obserwację stanu systemu;
- rekonfigurowalność – zapewniająca łączność między wieloma węzłami z relatywnie dużą pojemnością sieci;

Badanie architektur i funkcjonalności radia kognitywnego jak również dynamicznego zarządzania widmem stanowi przedmiot wielu studiów i analiz. W NATO powołano grupę zadaniową IST-104/RTG-050 „*Cognitive Radio in NATO - II*” której celem jest dokonanie

oceny wpływu wprowadzenia do eksploatacji urządzeń kognitywnych na ogólną efektywność działania systemów łączności – w tym na system zarządzania widmem.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Stosowane dotychczas statyczne metody zarządzania i użytkowania widma prowadzą do drastycznie niskiej efektywności jego wykorzystania i uświadamiają, że w niedalekiej przyszłości nastąpi brak wymaganej ilości nominalów częstotliwości. Jedynym sposobem rozwiązania tego problemu jest stosowanie dynamicznego dostępu do widma.

W artykule poruszono problem dynamicznego dostępu do widma jako elementu zwiększającego odporność na zakłócenia wojskowych systemów łączności radiowej. W przypadku koordynowanego systemu dostępu do widma opisano opracowywany przez autorów broker częstotliwości, przedstawiono jego schemat blokowo wraz z opisem poszczególnych modułów. Innym sposobem realizacji dynamicznego dostępu do widma jest wykorzystanie radiostacji inteligentnych pozwalających użyć zaawansowane metody badania zajętości widma w celu chwilowego wykorzystania jego wolnych fragmentów.

Przedstawione w artykule rozwiązania pozwalają wydatnie zwiększyć odporność systemu łączności radiowej na zakłócenia wewnętrzne (pochodzące od środków własnych) i zewnętrzne (oddziaływanie systemów walki elektronicznej przeciwnika) poprzez zastosowanie mechanizmów umożliwiających generację i dystrybucję niezakłóconych planów częstotliwości umożliwiających pracę środków radiowych w trybach wykorzystujących skokową zmianę częstotliwości (FH).

6. LITERATURA

1. http://blogs.uco.edu/graduate/files/2012/02/chart_wireless_data_2.gif
2. T. Erpek, K. Steadman, D. Jones – “Dublin Ireland Spectrum Occupancy Measurement Collected On April 16 – 18, 2007”, Shared Spectrum Company 2007
3. Marek Suchański, Paweł Kaniewski, Robert Matyszekiel, Adam Woronowicz – *Broker częstotliwości w procesie automatycznego przydziału danych radiowych na przykładzie wybranych systemów łączności bezprzewodowej*. "Przegląd Telekomunikacyjny-Wiadomości Telekomunikacyjne" 2011, Nr 11, s. 1564- 1567.
4. Marek Suchański, Paweł Kaniewski, Robert Matyszekiel, Adam Woronowicz - *Possibilities of using a frequency broker in radio data assignment process for combat radios* Communication and Information Technologies: 6th International Scientific Conference [CD-ROM], 2011. ISBN 978-80-8040-426-0.
5. Marek Suchański, Paweł Kaniewski, Robert Matyszekiel, Adam Woronowicz – *Dynamiczne zarządzanie widmem jako metoda zwiększenia efektywności systemów radiowych wykorzystywanych w sytuacjach kryzysowych* XXVI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna EKOMILITARIS 2012 Inżynieria bezpieczeństwa – ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń. ISBN: 978-83-7798-042-2.