

Marek SUCHAŃSKI, Paweł W. KANIEWSKI
Robert MATYSZKIEL, Adam WORONOWICZ
Wojskowy Instytut Łączności, Zegrze

DYNAMICZNE ZARZĄDZANIE WIDMEM JAKO METODA ZWIEKSZENIA EFEKTYWNOŚCI SYSTEMÓW RADIOWYCH WYKORZYSTYWANYCH W SYTUACJACH KRYZYSOWYCH*

Streszczenie

W referacie omówiono zasady funkcjonowania brokera częstotliwości stanowiącego urzeczywistnienie koncepcji koordynowanego, dynamicznego dostępu do widma (ang. CDSA – Coordinated Dynamic Spectrum Access). Zadaniem brokera częstotliwości jest generacja bezkolizyjnych planów częstotliwości i dystrybucja ich do podległych środków radiowych.

Abstract

The paper discusses the principles of operation of the frequency broker which is the realization of the concept of coordinated dynamic spectrum access (called CDSA - Coordinated Dynamic Spectrum Access). The task of the broker is to generate collision-free frequency plans and to distribute them to subordinate radio resources.

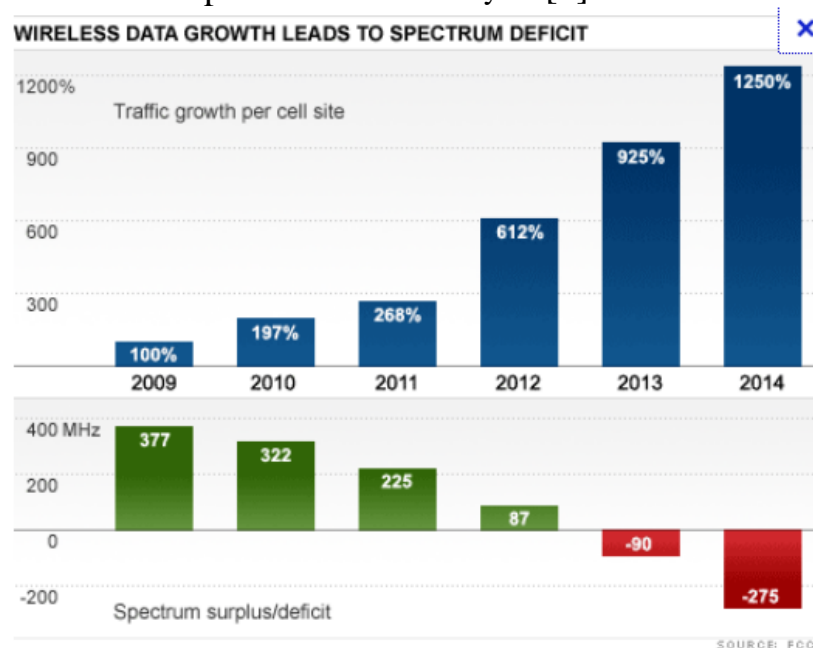
1. WPROWADZENIE

Jednym z głównych problemów jaki staje przed środowiskami regulatorów i zarządców widma jest 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

* 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

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.

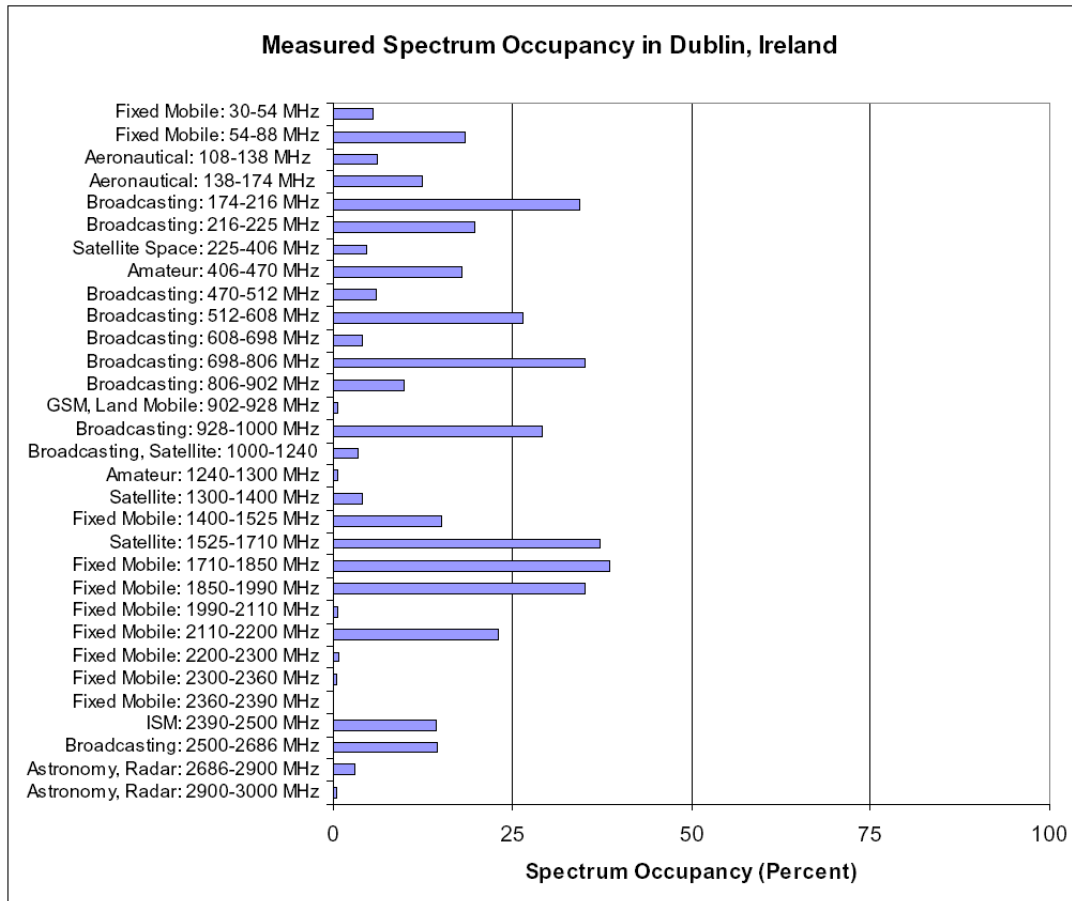
Z kolei w sytuacjach kryzysowych na niewielkim obszarze operują różne służby ratunkowe, które posiadają zwiększone zapotrzebowanie na transfer danych oraz ilość i czas połączeń, przez co dochodzi do obniżenia jakości bądź nawet niedostępności usług. Takie spostrzeżenia i doświadczenia spowodowały narastanie powszechnej świadomości o potrzebie racjonalizacji wykorzystania widma m.in. drogą stosowania bardziej efektywnych metod zarządzania nim.

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:

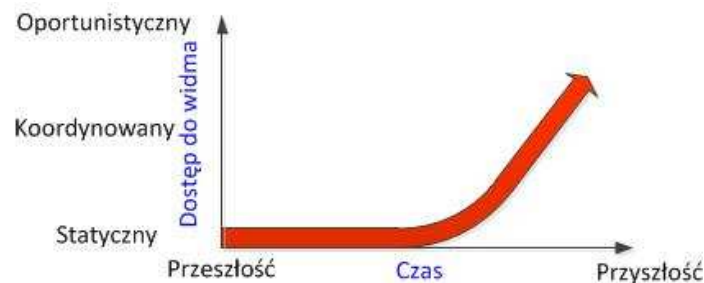
- koordynowany dynamiczny dostęp do widma (ang. *Coordinated Dynamic Spectrum Access* - CDSA), polegający na wykorzystaniu pewnej infrastruktury z brokerem widma, jako jej głównym elementem,
- oportunistyczny dostęp do widma (ang. *Opportunistic Spectrum Access* - OSA), który realizuje ideę oportunistycznego 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 2 Zmierzona zajętość widma w Dublinie, Irlandia

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.

W referacie przedstawiono koncepcję brokera częstotliwości umożliwiającego generację planów częstotliwości w oparciu o przyjęte kryteria zakłócalności oraz automatyczną dystrybucję wygenerowanych planów do odpowiednich środków radiowych.

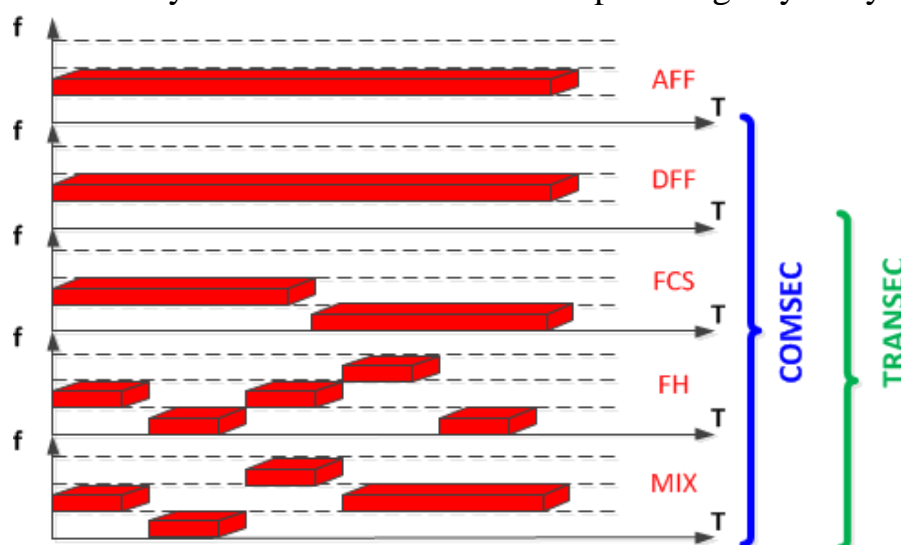
2. ŚRODKI RADIOWE I SPOSÓB ICH WYKORZYSTANIA

W chwili obecnej w SZ RP zdecydowanie dominują radiostacje cyfrowe, jednak nadal spotykane są analogowe radiostacje średniej mocy starszej generacji. Ich wykorzystanie jest już ograniczone. Wprowadzane radiostacje nowej generacji oferują większe możliwości w zakresie transmisji danych oraz w obszarze przeciwdziałania elektromagnetycznego (ECCM).

Podstawowymi radiostacjami pola walki w SZ RP są radiostacje UKF, które mogą pracować w różnych trybach:

- analogowych nie wykorzystujących żadnych mechanizmów bezpieczeństwa,
- cyfrowym na ustalonej częstotliwości dostarczającym ochrony informacji z wykorzystaniem kluczy COMSEC,
- FH (ang. Frequency Hopping), FCS (ang. Free Channel Search) i MIX (ang. MIXED) – zabezpieczających przed skutkami walki elektronicznej z wykorzystaniem kluczy TRANSEC. Tryby te dostarczają ochrony informacji z wykorzystaniem kluczy COMSEC.

Na Rys 4 przedstawiono w sposób poglądowy różnice między poszczególnymi trybami pracy radiostacji UKF używanych w SZ RP oraz wykorzystanie kluczy COMSEC i TRANSEC w poszczególnych trybach pracy.



Rys 4 Tryby pracy radiostacji pola walki zakresu UKF

Wykorzystanie trybów ze skaczącą częstotliwością (FCS, FH, MIX) 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).

Współczesne systemy WE potrafią szybko i z dużą dokładnością wykrywać radiostacje pracujące na jednej częstotliwości (także w cyfrowym trybie DFF), jak również skutecznie je obezwładnić. Skuteczność zakłóceń wyraźnie zmniejsza się, gdy środki radiowe pracują w trybie FH w nieciągłych pasmach częstotliwości. Wtedy samo wykrycie źródła emisji zajmuje znacznie więcej czasu, zaś ewentualne zakłócenie jego pracy jest bardziej złożone. W przeważającej części prób zakłócenia systemów łączności pracujących w trybie FH następuje degradacja relacji łączności, a nie jej całkowite obezwładnienie.

Uwzględnienie dynamiki zmian zachodzących w środowisku elektromagnetycznym możliwe jest wyłącznie pod warunkiem istnienia efektywnych mechanizmów przeprogramowania urządzeń radiowych czyli podatności radiostacji na zdalną zmianę danych radiowych.

3. BROKER CZĘSTOTLIWOŚCI

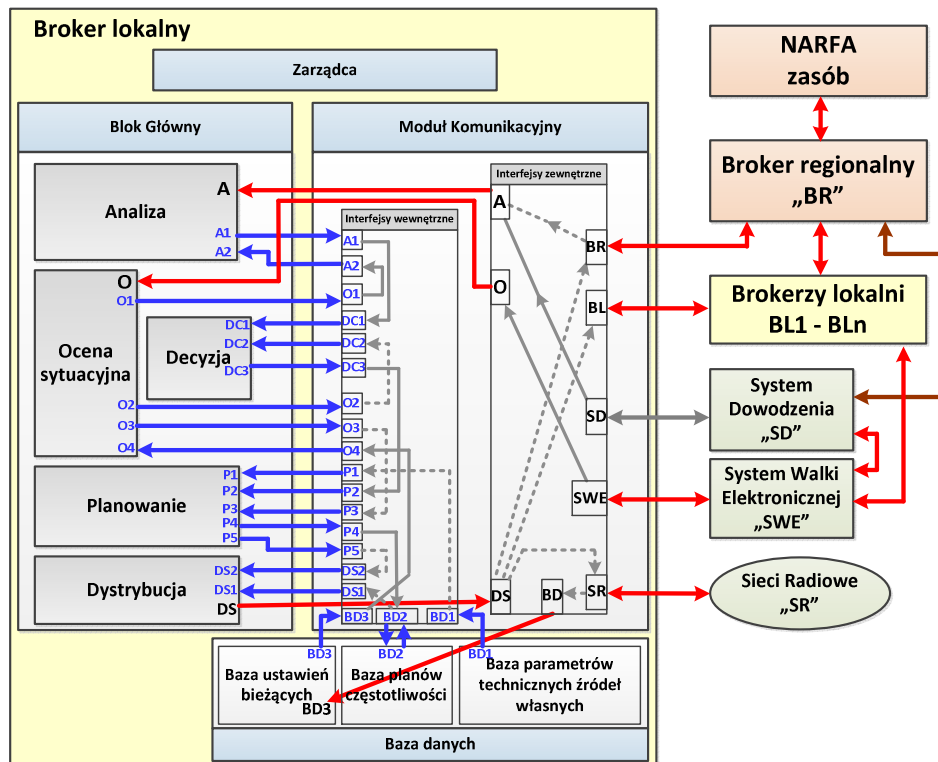
Broker częstotliwości posiada budowę modułową. Moduł jest to oddzielna aplikacja lub komponent aplikacji, realizujący ściśle określoną funkcję/grupę funkcji. Wszystkie moduły będą udostępniały interfejsy wejściowe i/lub wyjściowe przewidziane do wymiany informacji z innymi modułami. Rys 5 przedstawia architekturę funkcjonalną brokera lokalnego oraz jego powiązania z elementami zewnętrznymi.

W celu realizacji dynamicznego zarządzania widmem częstotliwości broker częstotliwości posiada następujące główne moduły funkcjonalne:

Moduł oceny sytuacyjnej – odpowiedzialny za prowadzenie rozpoznania i klasyfikację środków radiowych w rejonie objętym nadzorem brokera częstotliwości. Ocena sytuacyjna dokonywana jest na podstawie informacji pozyskiwanych z systemu rozpoznania oraz danych zapisanych w lokalnej bazie (baza ustawień bieżących).

Moduł analizy – odpowiedzialny za prowadzenia analizy widmowo-przestrzennej i realizacji funkcji DSA w zakresie obejmującym efekty walki elektronicznej. W module przeprowadzana jest analiza widmowo-przestrzenna pozwalająca określić aktualne miary degradacji łączności w sieciach radiowych.

Rezultaty wykonanych analiz przekazywane są do modułu decyzyjnego w bloku głównym brokera częstotliwości.



Rys 5 Architektura brokera i jego powiązania funkcjonalne

Moduł decyzji – odpowiedzialny za podjęcie decyzji o ewentualnej inicjacji zmiany danych radiowych na podstawie wyników analiz wykonanych w module analizy widmowo-przestrzennej oraz wybranych danych wypracowanych w module oceny sytuacyjnej.

Moduł planowania – odpowiedzialny za generację w czasie quasirzeczywistym bezkolizyjnych planów częstotliwości na podstawie opracowanych wcześniej kryteriów zakłócalności (separacja współbieżowa i współmiejscowa), jak również wzajemną koegzystencję systemów łączności bezprzewodowej. Rezultatem działania modułu planowania jest plan częstotliwości zawierający wszystkie dane radiowe niezbędne do prawidłowego funkcjonowania radiostacji.

Moduł dystrybucji - odpowiedzialny za przekazanie informacji o wypracowanych planach częstotliwości do pozostałych brokerów (lokalnych i regionalnego) oraz za realizację i nadzór procesu dystrybucji i zmiany danych radiowych w radiostacjach objętych nadzorem.

Moduł komunikacyjny - odpowiedzialny za wymianę informacji pomiędzy wszystkimi modułami brokera oraz za komunikację brokera z urządzeniami/systemami zewnętrznymi.

4. PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA BROKERA CZĘSTOTLIWOŚCI W REALIZACJI ŁĄCZNOŚCI W SYTUACJACH KRYZYSOWYCH

Poprawność funkcjonowania brokera częstotliwości została sprawdzona w oparciu o opracowany scenariusz operacyjny. Wyboru scenariusza dokonano według następujących kryteriów:

- scenariusz opisujący atak terrorystyczny w środowisku miejskim,
- udział w usuwaniu skutków katastrofy wszystkich służb ratowniczych i pomocniczych,
- najbardziej złożona sytuacja elektromagnetyczna – największa liczba sieci i kierunków radiowych,
- różnorodność usług realizowanych w czasie akcji ratowniczej.

Według przyjętego scenariusza zdarzenie powstało w wyniku zamachu terrorystycznego. W usuwaniu skutków wybuchu uczestniczą wszystkie służby ratownicze i pomocnicze wspierane pododdziałem wojska. W apogeum akcji zorganizowano 16 sieci i 4 kierunki radiowe. Dodatkowo w każdej sieci radiowej przeznaczonej do kierowania grupami wykonawczymi zakłada się możliwość dokonywania połączeń wewnątrz sieci na wspólnej częstotliwości. To powoduje szczególnie złożoną sytuację elektromagnetyczną w rejonie centrum miasta. Powszechnie realizowaną usługą jest transmisja głosu, dodatkowo przewiduje się transmisję szerokopasmową dla przesyłania obrazu z miejsca prowadzenia akcji przez grupy poszukiwawczo-ratownicze PSP.

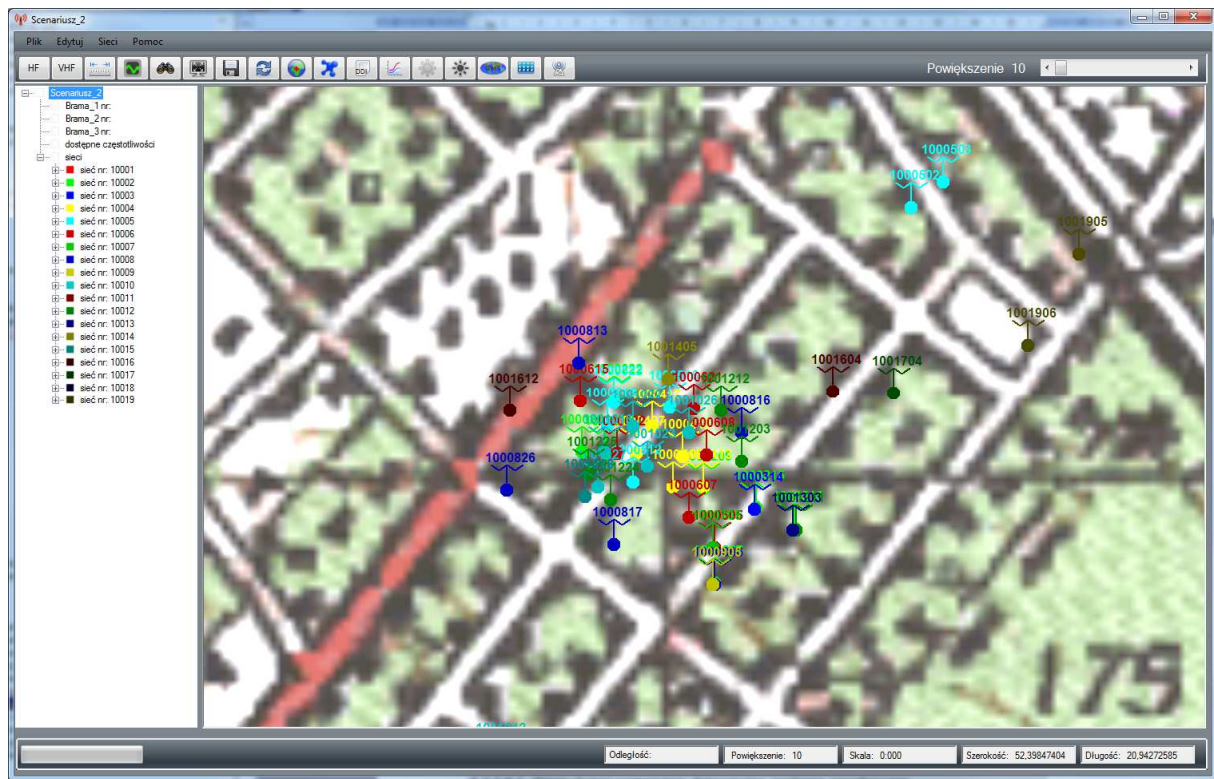
Zdarzenie wystąpiło w centralnej części miasta w godzinach porannych. Jest to pora dnia, w którym notuje się duże natężenie ruchu. Stacjonarne stanowiska kierowania służb ratowniczych i pomocniczych rozmieszczone są w rejonie centrum miasta. Odległość ich stacjonowania wraz z grupami wykonawczymi wynosi od 2,5 do 6 km do miejsca zdarzenia. Konieczna jest odpowiednia organizacja objazdów dla pozostałych pojazdów z wyłączeniem ruchu w centrum miasta i na drogach dojazdowych do szpitali.

Przykładowe rozmieszczenie stacjonarnych stanowisk dyspozytorskich i kierowania w odniesieniu do miejsca wystąpienia zagrożenia przedstawiono na Rys 6.

Dla realizacji celu zadania przedstawiono dynamikę narastania złożoności elektromagnetycznej. W tym celu przedstawiono rozmieszczenie punktów dyspozytorskich i kierowania wraz z ich elementami wykonawczymi dla trzech momentów (tzw. stop-klatek) obrazujących rozwój akcji ratowniczej wraz z nasycaniem relacji bezprzewodowych. Opisano rozwój akcji ratowniczej wraz z relacjami bezprzewodowymi:

- w 11 minucie akcji od wybuchu budynku,
- w 150 minucie akcji od wybuchu,

- w 5 godzinie prowadzenia akcji po rozwinięciu wszystkich elementów wykonawczych przy użyciu maksymalnej liczby środków bezprzewodowych.



Rys 6 Przykładowe rozmieszczenie stanowisk dyspozytorskich i kierowania w 150 minucie od wybuchu

Funkcjonujący broker częstotliwości umożliwił generację bezkolizyjnych planów częstotliwości dla wszystkich zdefiniowanych scenariuszy opisujących rozwój akcji ratowniczej oraz dystrybucję utworzonych planów częstotliwości do odpowiednich środków radiowych. Głównym czynnikiem wpływającym na czas potrzebny na zmianę danych radiowych w poszczególnej relacji radiowej (sieć lub kierunek radiowy) był wykorzystany protokół dynamicznej zmiany danych radiowych (OTAR) zaimplementowany w środkach radiowych.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dotychczasowy statyczny sposób przydziału częstotliwości uświadamia że w niedalekiej przyszłości nastąpi brak wymaganej ilości nominałów częstotliwości. Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu jest przedstawiony w artykule koordynowany sposób przydziału częstotliwości bazujący na brokerze. Broker częstotliwości umożliwia efektywny podział dostępnego widma przy zapewnieniu kompatybilności wewnętrznej systemu łączności radiowej. Elastyczna architektura brokera częstotliwości umożliwia jego wykorzystanie do dynamicznego zarządzania widmem dla systemów łączności radiowej wykorzystujących różne środki radiowe. Szczególnie przydatny opracowany broker częstotliwości jest w realizacji łączności radiowej

w sytuacjach kryzysowych gdzie występuje duże nasycenie środków radiowych którym należy zapewnić niezakłócone warunki pracy.

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 Matyszkiel, 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 Matyszkiel, 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.