

Prof. dr hab. inż. Hanna Bogucka,
Katedra Radiokomunikacji
Politechnika Poznańska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej por. mgr. inż. Mateusza Kustry
pt. „Hybrydowy sensing widma w mobilnych sieciach ad-hoc”

Tematyka i cel rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza Kustry dotyczy zastosowania metod detekcji obecności sygnału w systemach radia kognitywnego, w szczególności metod korzystających z dwóch faz detekcji, tzw. sensingu hybrydowego, w celu poprawy jakości (czułości, wiarygodności, czasu detekcji).

Detekcja wolnych pasm częstotliwości w systemach radia kognitywnego jest krytycznym problemem przy wdrażaniu tej technologii ze względu na konieczność ochrony transmisji sygnałów systemu licencjonowanego (priorytetowego lub pierwszorzędnego). W nowoczesnych systemach radiowych opartych na dynamicznym i oportunistycznym dostępie do widma wymagana jest jej wysoka niezawodność przy możliwie niskim koszcie (energetycznym, czasowym, obliczeniowym).

Mgr inż. Mateusz Kustra w swej pracy zajął się połączeniem metody detekcji energii (ang. energy detection – ED) z metodą detekcji kowariancji (ang. Covariance Absolute Value detection – CAV) lub też z metodą detekcji cech cyklostacjonarnych (ang. Cyclic Autocorrelation Function – CAF) w sieciach mobilnych. Oczekuje się, że metody hybrydowe podniosą jakość detekcji zajętości pasm częstotliwości radiowych w stosunku do tzw. ślepych metod jednofazowych (autonomicznych i bazujących na jednym sposobie sensingu przy braku znajomości charakterystycznych cech sygnału).

Teza rozprawy została sformułowana następująco: „**Hybrydowy sensing widma zapewnia zwiększenie efektywności wykrywania użytkowników priorytetowych w sieciach kognitywnych typu ad-hoc.**” Uważam, że została ona sformułowana trafnie, choć uszczegółowienie typu sieci: „ad-hoc”, nie jest konieczne. Cele jakie postawił sobie Doktorant są istotne naukowo i aktualne, mogą też prowadzić do zastosowania praktycznego opracowanych metod dla zwiększenia efektywności działania systemów radia kognitywnego.

Charakter rozprawy

Praca składa się z wprowadzenia, czterech rozdziałów i podsumowania. W rozdziale pierwszym, służącym sformułowaniu obszaru badawczego i przedmiotu rozprawy, Doktorant przytacza tematykę pracy, definiuje główny problem badawczy oraz problemy szczegółowe. Formułuje też cel i główną tezę pracy.

Rozdział drugi zawiera omówienie metod detekcji zajętości pasma (sensingu) oraz ich szczególnych wyzwań i problemów. W szczególności Doktorant omawia wspomniane metody ED, CAF i CAV, których połączeniem zajmuje się w swej pracy badawczej. Przedstawia też zalety sensingu hybrydowego w porównaniu do metod jednofazowych. W rozdziale trzecim Doktorant omawia środowisko radiowe, w którym przeprowadzone zostały badania symulacyjne i pomiary, tj. modele kanałów radiowych, parametry dwóch systemów

licencjonowanych: WiMAX i radiostacji R-450C, a także metryki służące do oceny jakości proponowanych metod sensingu hybrydowego: czułość, wiarygodność i szybkość. W rozdziale czwartym Doktorant prezentuje wyniki swoich badań dla dwóch wspomnianych systemów priorytetowych oraz porównuje otrzymane wyniki z rezultatami otrzymanymi dla standardowych (jednofazowych) detektorów widma.

Ostatni rozdział, piąty, to Podsumowanie, w którym Doktorant wymienia najważniejsze wnioski z przeprowadzonych badań.

Przedstawiona rozprawa ma charakter teoretyczny oraz eksperymentalny. Świadczy ona o dostatecznej wiedzy autora, o jego pewnym doświadczeniu w optymalizacji metod detekcji zajętości widma oraz o znajomości współczesnej literatury z obszaru systemów radia kognitywnego i algorytmów sensingu.

Sposób przeprowadzenia analizy źródeł

Analiza źródeł w pracy to przede wszystkim przegląd literaturowy. Źródła bibliograficzne dobrane są prawidłowo, a spis literatury obejmuje 116 pozycji będących kluczowymi dla rozważanego zagadnienia.

Rozwiązanie przedstawionego zadania, właściwości przyjętych metod i założeń

Do oceny jakości proponowanych algorytmów Doktorant stosuje metody symulacji cyfrowej oraz pomiarów w rzeczywistym środowisku radiowym. Są to właściwe metody umożliwiające zmianę parametrów oraz warunków transmisji w celu szerokiego zbadania ich wpływu na jakość rozważanych metod.

Doktorant zbadał dwie istotne metody sensingu hybrydowego służące zwiększeniu czułości i wiarygodności detekcji dwóch rozważanych transmisji OFDM (ang. Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Za pomocą symulacji komputerowych wykazał przewagę połączonych metod detekcji sygnału WiMAX: ED-CAV oraz ED-CAF, w kanale z addytywnym białym szumem gaussowskim (AWGN) oraz w kanale z zanikami Rayleigha i m-Nakagami. Korzystając z wniosków dotyczących detekcji widma sygnału w systemie WiMAX, zastosował metodę hybrydową ED-CAV dla detekcji sygnału radiostacji R-450C i porównał ją z metodami jednofazowymi. W przypadku detekcji tego rodzaju sygnału Doktorant założył występowanie jedynie szumu AWGN, zauważając, że występowanie zaników krótkookresowych (szybkich, związanych z wielodrogowością) wpływa na pogorszenie jakości detekcji w takim samym stopniu jak w przypadku systemu WiMAX i że dotyczyć będzie wszystkich testowanych metod, zatem nie wpłynie na ich porównanie.

Oceniane metody mogą mieć zastosowanie praktyczne w radiowych sieciach mobilnych (w tym w sieciach MANET) w sytuacjach typowych dla zastosowań wojskowych. Zatem otrzymane w rozprawie rezultaty są dość znaczące.

Oryginalność rozprawy

Rozprawa zawiera oryginalne badania działania układów hybrydowej detekcji zajętości widma oraz ich wnikliwą analizę i ocenę jakościową na podstawie wyników uzyskanych w eksperymencie symulacyjnym.

Poprawność przedstawienia uzyskanych wyników (zwięzłość, jasność, umiejętność przekonywania, poprawność redakcyjna)

Praca jest zredagowana bardzo starannie, logicznie ułożona i napisana w mojej ocenie poprawnym językiem polskim. Styl jest przejrzysty, pozwala na łatwe zrozumienie przekazywanych treści. Literatura przytoczona w rozprawie obejmuje pozycje w całości

związane z tematyką rozprawy. W zamieszczonej w rozprawie bibliografii w 5 pozycjach Doktorant jest pierwszym współautorem, w jednej - jednym z kolejnych współautorów. Są to artykuły w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym w języku angielskim oraz w materiałach znaczących konferencji międzynarodowych.

Słabe strony rozprawy

W pracy Doktorant zajął się metodami sensingu sygnałów OFDM. Ponieważ w sygnałach tych występuje duża korelacja próbek z końca symbolu z powtórzonymi próbkami z cyklicznego przedrostka, metody wykorzystujące tę korelację i cykliczność wydają się oczywistym rozwiązaniem dla ich detekcji. W pracy zabrakło dyskusji na temat ich zastosowania w przypadku innych sygnałów systemów priorytetowych, np. sygnałów z modulacją pojedynczej nośnej i rozproszonym widmem (ang. spread-spectrum - SS) stosujących sekwencje rozpraszające Walsh-Hadamarda, które również charakteryzują się wysoką autokorelacją. Może zamiast badania metod hybrydowych ED-CAV i ED-CAF dla dwóch systemów OFDM warto byłoby zbadać je dla dwóch diametralnie innych sygnałów (OFDM i SS), które jednak posiadają cechy wykorzystywane pozytywnie przez wspomniane metody hybrydowe.

Rozwijając dalej powyższą uwagę należy stwierdzić, że formułowanie dość ogólnych wniosków w Podsumowaniu (cyt. na str. 122 „1. Hybrydowe metody zwiększają czułość (...), wiarygodność ...”, itd.) na podstawie badań dotyczących dwóch metod hybrydowych zastosowanych do dwóch dość podobnych sygnałów systemów licencjonowanych, jest trochę na wyrost, tj. nieco optymistyczne.

W podsumowaniu brakuje też dyskusji, dlaczego metoda hybrydowa ED-CAV daje lepsze wyniki od ED-CAF. Ponadto, interesująca byłaby odpowiedź na pytanie, czy istnieje sytuacja (jakieś specyficzne cechy sygnału pochodzącego z systemu priorytetowego lub szczególne cechy środowiska radiowego lub parametry badanych metod), dla których metoda jednofazowa byłaby pod jakimś względem lepsza od metody hybrydowej?

Wydaje mi się, że w pracy w przypadku porównań zastosowanych metod hybrydowych z detektorem ED, zastosowano zasadę wykorzystania w tym drugim stałej liczby próbek. Tymczasem nowocześniejszą i bardziej wiarygodną metodą sensingu opartego na detekcji energii jest przyjęcie stopniowo (elastycznie) zwiększanej liczby próbek do momentu uzyskania wiarygodnej decyzji (ang. sequential energy detector - SED). Czas detekcji jest w tym przypadku zmienny, podobnie jak w sensingu hybrydowym, gdzie albo stosuje się jedną fazę albo dwie, co wpływa na czas detekcji. Warto byłoby prezentowane w pracy wyniki (czas detekcji, wiarygodność, czułość) porównywać właśnie z detektorem SED.

Przy okazji dyskusji badań jakości metod sensingu hybrydowego dla sygnału wygenerowanego przez radiostację R-450C, Doktorant wskazuje, że jest to odebrany sygnał rzeczywisty. Można by domniemywać, że sygnał został wygenerowany i odebrany w rzeczywistym środowisku radiowym. Jednakże, w pracy stwierdzono, że sygnał ten jest zakłócony wyłącznie przez szum AWGN. Jak to możliwe? W rzeczywistym naziemnym środowisku radiowym zawsze występuje wielodrogowość i związane z nią zaniki. Nie wyjaśniono tego w pracy.

Nagłówki kolumn w tabeli 3-2 nie są jasno definiowane. Np. co oznacza „Poziom ochrony”, czy „Współczynnik interferencji”? Jak mają się te parametry do często stosowanego pojęcia współczynnika ochrony (z angielskiego „protection ratio”), który zdefiniowany jest jako stosunek minimalnej czułości odbiornika PU do mocy interferencji pochodzących od SU?

W jaki sposób zmierzono widmo fragmentów sygnału HAS i LAS przedstawione na rysunku 3-11 i 4-34? Czy z sygnału radiostacji R-450C wyodrębniono poszczególne części (próbki) sygnału? Wtedy należałoby założyć, że wiemy jaki sygnał jest nadawany i detekcja jest niepotrzebna.

W przypadku badań metod sensingu hybrydowego w kanale z zanikami (podrozdziały 4.1.2.2 i 4.1.3.2) na wykresach nie przedstawiono (dla porównania) wyników metod

jednofazowych. Powstaje pytanie, czy detektor ED poprzez uśrednienie wpływu zaników krótkookresowych nie dawałby lepszych rezultatów jeśli chodzi o prawdopodobieństwo detekcji dla średnich wartości SNR?

Podpis pod rysunkiem 4-4 jest błędny (przypuszczalnie omyłkowo powtórzony z rysunku 4-3).

Wymienione powyżej uwagi szczegółowe nie mają wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy zarówno pod względem redakcji, zawartości merytorycznej jak i osiągniętych rezultatów. Wyniki zostały opublikowane w międzynarodowych czasopismach recenzowanych, co zwiększa ich międzynarodową rozpoznawalność i jest dowodem oryginalności prac i jakości uzyskanych wyników.

Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Za najważniejsze osiągnięcia rozprawy uważam gruntowne przeanalizowanie metod sensingu hybrydowego, w których w drugiej fazie występują mechanizmy wykorzystujące autokorelację w sygnale odebranym OFDM. Ponieważ tego rodzaju sygnały występują dość powszechnie w nowoczesnych systemach radiowych (IEEE 802.11, IEEE 802.16, IEEE 802.22, LTE, 5G, Tetra, itd.) przebadane przez Doktoranta algorytmy z pewnością są przydatne zarówno w sieciach MANET, jak i w innych (przyszłych) sieciach radia kognitywnego.

Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza Kustry zawiera oryginalne i znaczące osiągnięcia badawcze Doktoranta i spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o Stopniach i Tytułach Naukowych. Wnoszę też o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Hanna Bogucka