

Poznań, dnia 13 lutego 2017 r.

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

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Bednarczyka
pt. **„Zastosowanie zmodyfikowanych ukrytych modeli Markowa do dynamicznego zarządzania widmem w sieciach radia kognitywnego”**

Tematyka i cel rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Wojciecha Bednarczyka dotyczy zastosowania modeli Markowa o ukrytych stanach w systemach radia kognitywnego dla predykcji stanu sieci i kanałów.

Jak wiadomo, technika radia kognitywnego z dynamicznym dostępem do zasobów widmowych jest obecnie intensywnie badana i uznana za właściwą dla przyszłych systemów radiokomunikacji ruchomej 5 generacji (5G) z uwagi na konieczność wykorzystania tych zasobów w większym niż dotychczas stopniu.

Mgr inż. Wojciech Bednarczyk w swej pracy zajął się przede wszystkim algorytmami pozwalającymi na ocenę dostępności zasobów częstotliwościowych (kanałów) w systemach radia kognitywnego w oparciu o modele ukryte Markowa oraz opracowaniem i analizą algorytmu przydziału tych zasobów w sieciach mobilnych ad-hoc (MANET).

Teza rozprawy została sformułowana następująco: **„Zastosowanie adaptacyjnego układu automatycznego wyboru algorytmu trenującego zwiększa efektywność wykorzystania widma.”** Uważam, że została ona sformułowana trafnie. 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 będącym wprowadzeniem Doktorant przytacza tematykę pracy oraz wyjaśnia znaczenie technologii radia kognitywnego, a także omawia wagę podjętego problemu. W tym rozdziale przedstawiono też cele i główną tezę oraz trzy tezy szczegółowe rozprawy.

Rozdział drugi zawiera omówienie algorytmów predykcji wykorzystujących modele Markowa oraz sposób implementacji jednego z nich. W rozdziale trzecim Doktorant omawia algorytmy uczące (trenujące) służące dopasowaniu paramentów ukrytych modeli Markowa i w efekcie poprawie jakości predyktora. Omawia również sposoby implementacji niektórych z nich. Kolejne rozdziały przedstawiają główne osiągnięcia Doktoranta. W rozdziale czwartym Doktorant prezentuje nowy, własny algorytm dynamicznego zarządzania widmem wykorzystujący wspomniany predyktor stanu kanału. Z kolei w rozdziale 5 przedstawia wyniki badań symulacyjnych.

Ostatni rozdział to Podsumowanie i wnioski, w którym Doktorant wymienia najważniejsze jego zdaniem osiągnięcia pracy oraz wskazuje na przydatność uzyskanych wyników w organizacji sieci typu MANET stosujących technikę radia kognitywnego.

Przedstawiona rozprawa ma przede wszystkim charakter teoretyczny. Świadczy ona o dostatecznej wiedzy autora, o jego pewnym doświadczeniu w projektowaniu i optymalizacji systemów radiokomunikacyjnych, w szczególności sieci typu MANET oraz o znajomości współczesnej literatury z obszaru systemów radia kognitywnego i algorytmów uczenia maszynowego.

Sposób przeprowadzenia analizy źródeł

Analiza źródeł w pracy to przede wszystkim przegląd literaturowy. Źródła bibliograficzne dobrane są prawidłowo, a spis literatury obejmuje 53 pozycje będące kluczowymi dla rozważanego zagadnienia.

Rozwiązanie przedstawionego zadania, właściwości przyjętych metod i założeń

Do oceny jakości proponowanych algorytmów Doktorant stosuje metodę symulacji cyfrowej. Jest to właściwa metoda umożliwiająca łatwą zmianę parametrów oraz warunków transmisji w celu szerokiego zbadania ich wpływu na jakość rozważanych metod.

Uważam, że Doktorant zbadał istotne metody predykcji dostępności/zajętości kanałów częstotliwościowych dla transmisji w mobilnych sieciach ad-hoc służące zwiększeniu jakości transmisji na skutek odpowiedniego zarządzania przydziałem kanałów. Za pomocą symulacji komputerowych wykazał, że zastosowanie predykcji z wykorzystaniem ukrytych modeli Markowa i algorytmów uczących, umożliwia dużą poprawę jakości detekcji zajętości kanałów przez użytkownika pierwotnego obecnego w systemie.

Oceniane metody mogą mieć zastosowanie praktyczne w sieciach MANET w sytuacjach typowych dla działań wojskowych. Zatem otrzymane w rozprawie rezultaty są dość znaczące.

Oryginalność rozprawy

Rozprawa zawiera oryginalne rozwiązania w zakresie zarządzania zasobami radiowymi w sieciach radia kognitywnego 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 dość starannie, logicznie ułożona i napisana w mojej ocenie poprawnym językiem polskim. Literatura przytoczona w rozprawie obejmuje pozycje w całości związane z tematyką rozprawy. W zamieszczonej w rozprawie bibliografii w 4 pozycjach Doktorant jest pierwszym autorem. Są to artykuły w czasopiśmie „Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne” oraz materiałach konferencji międzynarodowej: *Progress in Electromagnetics Research Symposium*.

Słabe strony rozprawy

W rozdziale 1., na stronie 21 Doktorant przedstawia główne tezy pracy, jej cele oraz omawia strukturę pracy. W tym miejscu często używane są sformułowania: „algorytm trenujący”, „algorytm predykcji” czy też „predykcja”. Brakuje w tym miejscu uściślenia, okolicznika, wskazującego na to, czego dotyczy predykcja (co jest poddawane predykcji) oraz jaki układ poddawany jest uczeniu (czego dotyczy wspomniany „trening”). Jedyne w jednym

miejscu wcześniej na stronie 15 napisano, że chodzi o predykcję stanu kanału, lecz nie opisano jak stan kanału jest zdefiniowany (np. czy przez SNR, efektywny SNR, czy za przez współczynniki kanału, czy przez hipotezę o jego zajętości lub dostępności). Jednocześnie z uwagi na tytuł rozprawy dotyczący zarządzania zasobami, można by się spodziewać, że chodzi albo o predykcję wielu kanałów (wielu użytkowników wtórnych) systemu radia kognitywnego, albo o predykcję dostępności zasobów (wówczas dotyczy użytkowników pierwotnych lub wtórnych). Z tego powodu sformułowanie też rozprawy jest nieco nieścisłe.

W tym miejscu (na stronie 21) przy omawianiu zawartości rozdziałów przydałoby się też wskazanie, które z rozdziałów zawierają oryginalne osiągnięcia doktoranta, a które są przeglądem istniejących rozwiązań. Przykładowo, czy algorytm prezentowany w punkcie 2.2. jest własnym osiągnięciem autora, czy też jedynie jego implementacją?

Na Rysunku 12 przedstawiono schemat funkcjonalności predyktora i powiązania z dodatkowymi modułami. Rysunek ten, choć wydaje się kluczowy dla pracy, nie został szczegółowo wyjaśniony. Większość strzałek (powiązań) jest dwustronna, tj. uwidacznia wzajemny wpływ poszczególnych funkcjonalności na siebie. Przykładowo, czy rzeczywiście przydział kanałów częstotliwościowych wpływa na zarządzanie widmem, czy jest raczej odwrotnie? Czy działanie predyktora wpływa na algorytm sensingu? Jeśli tak, to w jaki sposób?

W rozdziale 4 brakuje wprowadzenia – opisu podstaw zastosowania algorytmu MPAT. Na czym on dokładnie polega? Na stronie 49 Doktorant używa wyrażenia „opracowany algorytm”, lecz nie do końca jest pewne, czy algorytm został opracowany przez doktoranta, czy dotyczy metody MPAT, oraz jak on dokładnie działa. Czy Rysunek 13 dotyczy właśnie tego, czy jakiegoś innego algorytmu?

Podrozdział 5.1 rozpoczyna się od zdania „Klasyfikacja niezależnie od tego jaką metodą jest przeprowadzana wymaga oceny.” Jest to słuszne, lecz bardzo ogólne zdanie. Jak ma się on do tematyki rozdziału? O jaką klasyfikację chodzi? Czy o podjęcie decyzji co do zakwalifikowania kanału jako zajętego lub wolnego (dostępnego)? Dalej Doktorant wspomina o krzywych ROC nie definiując ich. Jak mają się te krzywe do klasyfikacji kanałów?

Na Rysunkach 16-25 przedstawiono aktywność użytkownika pierwotnego w poszczególnych kanałach. Czy jest to aktywność symulowana (założona), czy zmierzona, czy też są to decyzje układu predyktora co do aktywności tego użytkownika. Nie zostało to jasno wytłumaczone.

Zabrakło też oceny wpływu mobilności węzłów sieci na jakość jej działania. W szczególności można by ocenić prawdopodobieństwo kolizji związane z dezaktualizacją wiedzy o stanie kanału i nienadążaniem algorytmów uczących za zmianami związanymi z mobilnością. (W końcu w pracy mówi się o sieciach mobilnych MANET.) Jedynie w Podsumowaniu Doktorant wspomina, że „warunki mobilności stanowią poważny problem w opracowaniu skutecznego algorytmu predykcji...” Z drugiej strony w przypadku sieci scentralizowanej mobilność może służyć pozyskaniu dodatkowej informacji o stanach w różnych lokalizacjach, a także dywersyfikacji pozyskiwanych zasobów.

Choć praca w mojej opinii jest napisana dość poprawnym językiem, w niektórych miejscach tekstu można spotkać niezbyt stylistycznie poprawne wyrażenia, np. na stronie 52 cyt.: „Otrzymane na wyjściu algorytmu dane (...) mogą zostać wykorzystane w modelu czasowo-przestrzennym (...) w zależności od przyjętej polityki kontrolowania interferencji.” Po pierwsze: *dane* to raczej dane wejściowe, nie pojawiają się na wyjściu algorytmu (tu mówimy raczej o wynikach lub wartościach wyjściowych). Po drugie, Doktorant ma chyba na myśli

zasadę wykorzystania zasobów częstotliwości i czasu na określonej przestrzeni, niż model czasowo-przestrzenny. Po trzecie: trudno „kontrolować” interferencję. W języku polskim raczej stosujemy słowo „sterowanie” jako odpowiednik angielskiego „control”. Równie niejasne jest sformułowanie na tej samej stronie: „Model czasowo-przestrzennym, składa się z regionalnych brokerów widma...”. Broker widma to pewna jednostka realizująca algorytm przydziału zasobów widmowych, nie „model czasowo-przestrzenny”.

W wielu miejscach interpunkcja nie jest poprawna (przypomina nieco interpunkcję z języka angielskiego). Często występuje zbyt wiele przecinków, np. na stronie 26: „Zaimplementowany algorytm, przewiduje kolejny stan kanału, na podstawie porównania prawdopodobieństwa...” . Sformułowania są niekiedy nieprecyzyjne, np. na stronie 21: „W zależności od tego, które (przyp. HB: chyba „która”?) wartość prawdopodobieństwa będzie wyższa (przyp. HB: od czego? A może niższa?) predyktor będzie wskazywał na przyszłą zajętość bądź zwolnienie kanału...”

Wymienione powyżej uwagi szczegółowe nie mają wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy zarówno pod względem redakcji, zawartości merytorycznej jak i osiągniętych rezultatów. Szkoda, że wyniki nie zostały opublikowane w międzynarodowych czasopismach lub też w czasopismach krajowych w języku angielskim, co zwiększyłoby ich międzynarodową rozpoznawalność.

Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Za najważniejsze osiągnięcia rozprawy uważam opracowanie przez Doktoranta algorytmu przydziału zasobów radiowych w sieciach MANET, a także ocenę różnych strategii przydziału zasobów w tych sieciach w oparciu o różne algorytmy predykcji zajętości i dostępności kanałów częstotliwościowych oraz stosowne algorytmy uczące.

Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Wojciecha Bednarczyka 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