

Poznań, dnia 22 maja 2019 r.

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

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Malona
pt. „Efektywne zarządzanie dostępem do widma w radiowych sieciach doraźnych
z węzłami kognitywnymi”

Tematyka i cel rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Krzysztofa Malona dotyczy metod detekcji zajętości pasm częstotliwości przez systemy radiowe oraz możliwości ich wykorzystania dla dynamicznego dostępu do zasobów radiowych, a w szczególności oceny przydatności rozważanych kanałów częstotliwościowych dla potencjalnej transmisji w systemach radia kognitywnego.

Teza rozprawy została sformułowana następująco: „**Rozproszone zarządzanie dostępem do widma z wykorzystaniem uczenia wzmocnionego Q-learning zapewnia efektywniejsze wykorzystanie zasobów widmowych oraz zmniejszenie wpływu zakłóceń i interferencji w radiowych sieciach doraźnych z węzłami kognitywnymi.**” Została ona dość dobrze sformułowana, choć brak w niej sprecyzowania, o jaki rodzaj zakłóceń i interferencji chodzi. Cele jakie postawił sobie Doktorant są istotne i aktualne, mogą też prowadzić do zastosowania praktycznego opracowanych metod dla zwiększenia efektywności działania systemów radia kognitywnego.

Charakter rozprawy

Praca składa się z wprowadzenia (wstępu), rozdziału omawiającego tezy i cele pracy, czterech rozdziałów głównych i podsumowania. W rozdziale drugim Doktorant przedstawia cel pracy wraz z zastosowaną metodologią oraz formułuje cele i tezę pracy.

Rozdział trzeci zawiera stosunkowo ogólne przedstawienie technologii radia programowalnego, radia kognitywnego, metod uczenia maszynowego oraz dynamicznego dostępu do widma. W rozdziale czwartym Doktorant prezentuje wyniki własnych pomiarów zajętości pasma częstotliwości na wybranym obszarze. W rozdziale piątym Doktorant analizuje możliwości detekcji transmisji użytkowników priorytetowych, a w szczególności detekcji kooperacyjnej. Z kolei w rozdziale szóstym omówiono algorytm oceny przydatności kanałów radiowych w rozważonym zakresie częstotliwości i czasu oraz w przestrzeni, tj. na określonym obszarze.

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

Przedstawiona rozprawa ma charakter teoretyczny oraz eksperymentalny. Świadczy ona o dostatecznej wiedzy autora w zakresie pomiarów oraz algorytmicznego podejścia do metod detekcji zajętości widma i dynamicznego dostępu do wolnych pasm częstotliwości.

Sposób przeprowadzenia analizy źródeł

Analiza źródeł w pracy to przede wszystkim przegląd literaturowy. Źródła bibliograficzne

dobrane są prawidłowo, a spis literatury obejmuje 92 pozycje kluczowe dla rozważanego zagadnienia. Doktorant często powołuje się na cytowaną literaturę nieczęsto dokonując podsumowania cytowanej pozycji i w ten sposób stawia czytelnika przed koniecznością zapoznania się z tą pozycją.

Rozwiązanie przedstawionego zadania, właściwości przyjętych metod i założeń

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

Doktorant zbadał zajętość pasma częstotliwości w zakresie 100 MHz – 1,057 GHz za pomocą stanowiska pomiarowego przedstawionego na rysunku 16. Następnie, wykorzystując funkcję celu zdefiniowaną we wzorze (5.6) (ważony procent wykrywanych transmisji w danym kanale) zaproponował algorytm wyboru optymalnej liczby oraz położenia sensorów (detektorów widma) maksymalizujący tę funkcję. Kolejnym, znaczącym osiągnięciem rozprawy jest zaproponowanie i analiza działania algorytmu Q-learning dla wyboru akcji polegającej na realizacji sensingu w stosownym (najlepszym lub losowo wybranym jednym z najlepszych) kanale.

Oceniane metody mogą mieć zastosowanie praktyczne w radiowych sieciach mobilnych wykorzystujących dynamiczny dostęp do widma (*Dynamic Spectrum Access – DSA*) w przyszłych systemach radiokomunikacyjnych. Zatem otrzymane w rozprawie rezultaty są dość znaczące.

Oryginalność rozprawy

Rozprawa zawiera oryginalne badania detekcji zajętości widma, optymalizacji położenia współpracujących węzłów realizujących detekcję i oceny potencjału wykorzystania kanałów częstotliwościowych na podstawie detekcji. Przedstawiono też autorską analizę i ocenę jakościową zaproponowanych algorytmów.

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

Praca jest zredagowana dość starannie i logicznie ułożona. Styl języka jest bardzo dobry. Rysunki i tabele są bardzo estetyczne i klarownie przedstawiają zawarte idee i wyniki. Jednakże zrozumienie przekazywanych treści nie jest zbyt łatwe. Doktorant moim zdaniem zbyt komplikuje przedstawiane metody oraz w niektórych miejscach wyraża się niezbyt jasno. Miejsca te w rozprawie wyszczególnione są poniżej w sekcji „Słabe strony rozprawy”. Literatura przytoczona w rozprawie obejmuje pozycje w całości związane z tematyką rozprawy. W zamieszczonej w rozprawie bibliografii w 3 pozycjach Doktorant jest pierwszym współautorem, w 3 - jednym z kolejnych współautorów. Są to artykuły w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym w języku angielskim (z listy A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego) oraz w materiałach znaczących konferencji międzynarodowych. (Doktorant ma jednak na koncie znacznie więcej publikacji – łącznie 17 indeksowanych w Google Scholar).

Słabe strony rozprawy

W pracy w wielu miejscach stosowane są nieprecyzyjne lub niejasne sformułowania. Na przykład we wstępie pojawia się zdanie: „kwestie wpisują się w (...) wymiary”. Jakie kwestie, w jakie wymiary? Na rysunku 1 przedstawiono strukturę pracy. Powstaje pytanie, co oznaczają przedstawione na nim strzałki? Na czym polega struktura wertykalna i horyzontalna na tym

rysunku? Nie jest to wyjaśnione. W tezie pracy nie wspomniano, do czego użyto Q-learning? Do wykrywania zajętości? Do DSA? Teza sugeruje, że do wykorzystania kanałów, dalej jednak przy okazji przedstawiania celów pracy mówi się o ocenie jakości kanałów.

Na rysunku 6 – metody teorii gier wymieniono jako metody uczenia nienadzorowanego, jednak, gry wielokrotnie rozgrywane biorą pod uwagę wypłaty (nagrody) z kolejnych edycji i mogą być rozpatrywane jako metody uczenia nadzorowanego.

Na stronie 22 występuje nieścisłość w zdaniu przed wzorem (3.1) „... (funkcja Q) przyporządkowuje określonemu stanowi i wybranej akcji (decyzji), oczekiwaną wartość zdyskontowanej sumy przyszłych wypłat” – we wzorze (3.1) nie występuje wartość oczekiwana.

Na stronie 23 w miejscu wyszczególnienia zasad wyboru akcji nie jest jasne, jak to możliwe, że zysk, który jest skutkiem wyboru akcji może mieć odwrotne prawdopodobieństwo $(1-\varepsilon)$ niż sama podjęta akcja (ε) ? Jak określony jest ten zysk? Czy to nagroda zdefiniowana we wzorze (3.1)? Czy akcja wybierana jest losowo, czy służy maksymalizacji zysku. Na czym polega dokładnie algorytm ε -greedy? Brakuje opisu matematycznego w podrozdziale 3.3. Uważam, że podrozdział 3.3 powinien być rozbudowany kosztem pozostałych ogólnych informacji nt. SDR i CR.

Z kolei w rozdziale 4, na stronie 31, pod pojęciem „czas integracji”, autor ma chyba na myśli czas obserwacji lub uśredniania - obliczania wartości energii. Na stronie 39 wspomina się o zmiennej G dla oznaczenia zbioru. Czy zbiór może być zmienną? Pod wzorem (5.1) występują oznaczenia, w których litera „g” jest pisana różnymi czcionkami. Czy to ta sama zmienna? Ponadto, skoro „g” jest indeksem nadajnika, jak może należeć do G będącego zbiorem lokalizacji (współrzędnych położenia)? Oczywiście recenzent domyśliła się, że piksele oznaczające lokalizacje ponumerowano i te numery stanowią wspomniane indeksy, jednak dobrze byłoby, gdyby domysły i analiza dalszej części pracy nie były konieczne czytając kolejne jej fragmenty.

W pracy pojawia się w kilku miejscach sformułowanie „wynik kooperacyjny” bez wyjaśnienia znaczenia tego terminu. Ponadto nie nazwałabym wartości określonej wzorem (5.5) „współczynnikiem pokrycia”. Jest to, według mojego rozumienia, procent transmisji (użytkowników priorytetowych) wykrywanych przez co najmniej ρ sensorów.

Na rysunku 42 występuje sformułowanie „lista przydzielonych kanałów”. Wydaje mi się, że chodzi o listę potencjalnych, możliwych do wykorzystania kanałów. Dalej na stronie 58 występuje sformułowanie „Klasyczne rozwiązania (...) skupiają uwagę na maksymalizacji jednego rozwiązania”. Maksymalizuje się funkcję, a wynikiem tego działania jest rozwiązanie problemu optymalizacyjnego. W pracy jest wiele takich nieścisłości lub niejasnych sformułowań stanowiących pewne wyzwanie dla czytelnika.

Przechodząc do uwag merytorycznych, pragnę zwrócić uwagę na następujące kwestie oraz pytania. W rozdziale 4 przedstawiono wyniki pomiarów w dość małym zakresie pomiarowym: 100 – 1057 MHz. Zakres ten nie obejmuje nawet systemu GSM 1800. Na rysunkach 17 i 18 wygląda na to, że transmisja GSM 900 odbywa się praktycznie tylko w łączu w dół. Czy można to wyjaśnić?

Algorytm do analizy możliwości detekcji emisji radiowych oraz wyznaczenia optymalnych położenia sensorów z rysunku 23 wydaje się być algorytmem typu „brute-force”, tj. sprawdzającym wszystkie kombinacje położenia sensorów i w związku z tym przypuszczalnie charakteryzuje się dużą złożonością obliczeniową. Czy można rozważyć metodę heurystyczną – uproszczoną?

Jeśli chodzi o rysunki 26-29, dla jakich funkcji wagowych $w(\rho)$ uzyskano te wyniki?

Na stronie 57, Doktorant kontynuuje omawianie rysunku 44 i pisze, że „Pierwszym typem danych są wyniki sensingu”. W jakiej postaci przekazywane są te wyniki? Czy jest to twarda (binarna) decyzja, tj. czy kanał jest zajęty, czy wolny? Jak zastosowanie decyzji miękkiej, np. poziomu zmierzonej mocy lub liczby węzłów zgłaszających zajętość kanału wpłynęłoby na jakość metody WoLF (wzór 6.4)?

Czy N_f we wzorze (6.14) oznacza liczbę rezultatów (decyzji) wskazujących na brak zajętości kanału w czasie przekazanych przez jeden węzeł (sensor), czy liczbę sensorów zgłaszających dostępność kanału?

W końcu analizując wyniki przedstawione w podrozdziałach 6.6.1 – 6.6.2 na rysunkach 78-88 powstaje pytanie, jak uzyskane wyniki (wartości funkcji użyteczności) odnoszą się do rzeczywistej (tj. symulowanej lub zmierzonej) zajętości i wynikającej z niej użyteczności kanału?

Wymienione powyżej uwagi szczegółowe, w dużej mierze dotyczące pewnych niejasności, nie mają wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy zarówno pod względem zawartości merytorycznej jak i osiągniętych rezultatów. Zawartość tę oceniam bardzo wysoko. Wyniki zostały opublikowane w międzynarodowym czasopiśmie recenzowanym, co zwiększa ich międzynarodową rozpoznawalność i jest dowodem oryginalności prac i jakości uzyskanych wyników.

Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Za najważniejsze osiągnięcia rozprawy uważam zaproponowanie algorytmów: wyboru optymalnej liczby oraz położeń sensorów oraz wyboru akcji polegającej na realizacji sensingu w stosownym kanale bazującego na metodzie Q-learning oraz ich gruntowne przeanalizowanie.

Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Krzysztofa Malona 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 i rozważanie jej wyróżnienia warunkowanego dobrym poziomem obrony.



Prof. dr hab. inż. Hanna Bogucka