POLITECHNIKA
GDAŃSKA
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI,
TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI

Gdańsk, 28.02.2019 r.

Dr hab. inż. Jacek Rak, prof. PG
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska

# Recenzja rozprawy doktorskiej

**Tytuł:** **Strict-sense and Wide-sense Non-blocking W-S-W Switching Fabrics for Elastic Optical Networks**

**Autor:** **Mgr inż. Mustafa Abdulsahib**

Rozprawa doktorska mgr. inż. Mustafy Abdulsahiba dotyczy zagadnień transmisji w elastycznych sieciach optycznych (ang. elastic optical networks – EONs) ze szczególnym uwzględnieniem wpływu właściwości pól komutacyjnych na uzyskane charakterystyki. Kandydat w niniejszej pracy rozpatruje dwie architektury pól komutacyjnych określone w rozprawie skrótami WSW1 i WSW2 stanowiące rozszerzenia trzysekcyjnego pola Closa. Dla rozpatrywanych architektur w rozprawie zaproponowano po pięć algorytmów sterowania zestawieniem połączeń w oparciu o funkcjonalną dekompozycję szczelin częstotliwościowych w łączach międzysekcyjnych (dla architektury WSW1) oraz przy wykorzystaniu dekompozycji komutatorów sekcji drugiej (w przypadku architektury WSW2). Autor wykazuje w niniejszej pracy, że proponowane metody prowadzą do istotnej poprawy charakterystyk objawiającej się m.in. redukcją o ponad 80% stopnia wykorzystania szczelin częstotliwościowych (architektura WSW1), jak i ograniczeniem o ponad 90% liczby niezbędnych komutatorów (dla architektury WSW2) w stosunku do pól nieblokowalnych w wąskim sensie (SSNB).

Rozprawa będąca przedmiotem niniejszej recenzji została napisana w języku angielskim i dotyczy tematu ważnego i aktualnego m.in. z uwagi na rosnące znaczenie elastycznych sieci optycznych w realizacji efektywnego przydziału zasobów sieci do obsługi żądań transmisji o zróżnicowanych charakterystykach przepływnościowych.

1. **Jaki jest problem naukowy (teza) rozprawy i czy został on trafnie i jasno sformułowany?**

Obszarem badawczym niniejszej rozprawy jest efektywność pól komutacyjnych stanowiących rozszerzenie trójsekcyjnego pola Closa dla obsługi ruchu w elastycznych sieciach optycznych. W szczególności, celem rozprawy jest wykazanie tezy, iż możliwe jest zaprojektowanie układów przełączających charakteryzujących się nieblokowalnością działania o ile liczba komutatorów/szczelin częstotliwościowych sekcji środkowej pola komutacyjnego jest dobrana w sposób właściwy, jak i stwierdzenia, że ilość niezbędnych zasobów może być ograniczona dzięki zastosowaniu algorytmów dekompozycji, a liczba elementów przełączających niezbędnych do skonstruowania pola komutacyjnego może być zredukowana w następstwie optymalizacji dotyczącej parametrów projektowych.

Teza pracy składa się de facto z trzech części, lecz mimo swojej obszerności, została trafnie i wystarczająco jasno sformułowana. Jednocześnie stopień złożoności problemów poruszanych w pracy jest odpowiedni dla rozprawy doktorskiej, ich rozwiązanie powodowało konieczność przeprowadzenia szeregu prac badawczych popartych weryfikacją właściwości uzyskanych rozwiązań.

2. **Na czym polega oryginalny dorobek autora i jakie jest znaczenie poznawcze lub przydatność praktyczna dla nauki bądź techniki?**

W mojej ocenie, do oryginalnego dorobku autora ukazanego w ocenianej rozprawie należy zaliczyć:

a) osiągnięcia opisane w rozdziale 5, w tym:
   - wykazanie dla architektury WSW1 warunków nieblokowalności w sensie wąskim (SSNB) oraz szerokim (WSNB),
   - propozycję pięciu algorytmów kontrolnych dla architektury WSW1, tj. 2sFixFSU, 2sVarFSU, 3sFixFSU, 3sVarFSU, XsVarFSU,
   - analizę numeryczną dotyczącą liczby szczelin częstotliwościowych wymaganych w łączach międzysekcyjnych w celu spełnienia warunków SSNB oraz WSNB dla zaproponowanych algorytmów kontrolnych,

b) zawartość rozdziału 6, prezentująca w kontekście drugiej z rozpatrywanych architektur (WSW2):
   - dowód warunków nieblokowalności w sensie wąskim i szerokim,
   - zasadę działania proponowanych pięciu algorytmów kontrolnych bazujących na funkcjonalnej dekompozycji komutatorów sekcji środkowej,
   - propozycję pięciu algorytmów kontrolnych tj. 2sFixSWITCH, 2sVarSWITCH, 3sFixSWITCH, 3sVarSWITCH, XsVarSWITCH,
   - analizę numeryczną charakterystyk architektury WSW2,

c) przedstawione w rozdziale 7 rezultaty optymalizacji dla architektur WSW1 i WSW2 dotyczącej liczby niezbędnych komutatorów.

Poza tym należy także pozytywnie ocenić:

- zawartość rozdziału 1 prezentującego w przystępny sposób koncepcję elastycznych sieci optycznych, w szczególności ich zdolność efektywnego gospodarowania pasmem w zależności od wymaganej przepustowości, odległości między kolejnymi węzłami sieci czy schematu modulacji,
- klasyfikację odmian pól komutacyjnych wraz z odpowiednim rysem historycznym rozwoju układów przełączania w dziedzinie optycznej wykorzystujących m.in. technologię MEMS, jak i ciekłych kryształów i poprzedzoną zwięzłym opisem układów przełączania w dziedzinie elektrycznej – ukazane w rozdziale 2 (w szczególności w podrozdziałach 2.1-2.3),
- przejrzysty opis charakterystyk wielosekcyjnych pól komutacyjnych ukazany w rozdziale 2.4 dotyczący architektur Banyan, Clos oraz technik zwielokrotnienia transmisji (rozdział 2.5), w tym przestrzennego (space division multiplexing – SDM) oraz z podziałem czasu (TDM), częstotliwości (WDM) lub zwielokrotnieniem kodowym (CDM),
- zwięzłą klasyfikację właściwości strategii przełączania pod względem nieblokowalności (rozdział 2.6) dotyczących pól nieblokowalnych w wąskim sensie (strict-sense nonblocking) oraz szerokim (wide-sense nonblocking), jak i pól umożliwiających zmianę konfiguracji przełączania ruchu przy przyjmowaniu nowych żądań transmisji (pola typu rearrangable non-blocking) i zmianę doboru tras po zakończeniu obsługi pewnych żądań (pola typu repackably non-blocking),
- zawartość rozdziału 3 w tym opis charakterystyk częstotliwościowych łączy światłowodowych i ich wykorzystania do konstrukcji kanałów optycznych (rozdział 3.1); szczegółową klasyfikację wariantów zwielokrotnienia (opisaną w rozdziale 3.2) z podziałem długości fali (wavelength division multiplexing) w wariantach CDWM (do 18 kanałów transmisji) oraz DWDM (40 lub 80 kanałów transmisji); architekturę przełączników WSS umożliwiających dołączanie / odłączanie danego kanału transmisji (rozdział 3.3); cechy konwerterów długości fal (rozdział 3.4) zarówno tych wymagających konwersji sygnału O-E-O, jak i całkowicie optycznych,
- opis wybranych architektur przełączników optycznych przedstawiony w rozdziale 4, w tym w szczególności architektur oznaczonych jako NA-I, NA-II, NA-III, i NA-IV opisanych w pracy referencyjnej [125] i dwóch wersji trójsekcyjnych przełączników W-S-W oraz dwóch odmian przełączników S-W-S.

**3. Czy autor rozwiązał postawiony problem i czy użył do tego celu właściwych metod?**

W mojej ocenie, problem ukazany w rozprawie dotyczący konstrukcji nieblokowalnych pól komutacyjnych dla obsługi ruchu w elastycznych sieciach optycznych został rozwiązany, a zastosowane metody z zakresu konstrukcji rozwiązania, weryfikacji formalnej, jak i analizy charakterystyk są właściwe. W szczególności, rezultaty przedstawione w rozprawie, w tym co najmniej osiemdziesięcioprocentowa redukcja stopnia wykorzystania szczelin częstotliwościowych (dla architektury WSW1), czy ograniczenie o ponad 90% liczby niezbędnych komutatorów (dla architektury WSW2) w stosunku do pól nieblokowalnych w wąskim sensie dowodzą, że poprzez odpowiedni dobór liczby komutatorów/szczelin częstotliwościowych sekcji środkowej pola komutacyjnego możliwe jest zaprojektowanie pól komutacyjnych charakteryzujących się nieblokowalnością działania przy jednoczesnej redukcji ilości niezbędnych zasobów. Tym samym teza rozprawy została wykazana.

Należy ponadto podkreślić, że konstrukcja oraz zawartość rozprawy doktorskiej, jak i dobór literatury ukazują szeroką wiedzę i umiejętności Kandydata z zakresu projektowania nieblokowalnych pól komutacyjnych oraz weryfikacji ich właściwości. Również osiągnięcia Kandydata dotyczące publikacji wyników w:

- trzech artykułach w czasopismach z listy JCR (dwie prace w czasopiśmie Optical Switching and Networking, Elsevier i jedna praca w czasopiśmie IEICE Transactions on Communications),
- jednej pracy w Przeglądzie Telekomunikacyjnym i Wiadomościach Telekomunikacyjnych,
- dwóch pracach opublikowanych w materiałach konferencji międzynarodowych (konferencje HPSR 2015 w Budapeszcie i RTUWO 2018 w Rydze)

poparte także nagrodą za najlepszy artykuł (konferencja RTUWO 2018) świadczą o zdolności Kandydata do prowadzenia badań naukowych na poziomie międzynarodowym.

**4. Jakie są słabsze strony rozprawy?**

W rozdziale 3.1 opisano różne konfiguracje kanałów transmisji uwarunkowane zastosowaniem odstępów 100 GHz, 50 GHz, 33 GHz, jak i 12.5 GHz (ostatni przypadek dotyczący pojedynczej szczeliny częstotliwościowej sieci EON). Dla spójności prezentacji treści w rozdziale 3.1 brakuje informacji o czynnikach, które umożliwiają zastosowanie odstępów 50 GHz (str. 25 rozprawy).

Opis zasad działania konwerterów długości fal występujący w podrozdziale 3.4 wydaje się dosyć pobieżny w porównaniu z formą prezentacji informacji w pozostałych trzech podrozdziałach rozdziału 3. W szczególności, w podrozdziale 3.4 brakuje rysunków prezentujących ilustracje architektur/przykładów działania omawianych w nim konwerterów.

W rozdziałach 5-6 rozprawy zawierających opis proponowanych algorytmów kontrolnych (strony 54-58 oraz 77-80 rozprawy) zasadne byłoby przeprowadzenie dyskusji dotyczącej dostępności w literaturze innych algorytmów kontrolnych.

Wyniki zaprezentowane w rozdziałach 5-6 dotyczące charakterystyk proponowanych w rozprawie algorytmów kontrolnych ukazują skuteczność tych algorytmów. Jednakże dla kompletności przekazu informacji w rozdziałach 5 i 6 zasadne byłoby przedyskutowanie także kwestii optymalności rezultatów uzyskanych w wyniku zastosowania tych algorytmów (a w szczególności tego, czy poprzez wprowadzenie zmian projektowych możliwe jest uzyskanie jeszcze lepszych charakterystyk od tych ukazanych w rozprawie).

W pracy brakuje krótkich podsumowań na końcu rozdziałów rozprawy.

Strony rozprawy 72-74 są omyłkowo oznaczone w ich górnej części (nagłówkowej) jako przynależące do rozdziału 6, podczas gdy należą one do rozdziału 5.

Rozprawa doktorska została napisana ogólnie bardzo dobrze pod względem językowym. Występują jedynie nieliczne niewielkie błędy np.:

- dotyczące odmiany w trzeciej osobie – np. „...a device that separate...and forward..." → „...a device that separate**s**...and forward**s**..." (str. 2); „Digital optical switches exhibit**s**..." → „Digital optical switches exhibit**s**..." (str. 15)
- dotyczące przedimka dla liczby pojedynczej/mnogiej – np. „...share **a** scarce resurces..." → „...share **a** scarce resurces..." (str. 20); „...capacity limit of **a** single mode fibers..." → „...capacity limit of **a** single mode fibers" (str. 25)

Powyższe uwagi w obliczu rangi uzyskanych przez Kandydata rezultatów oraz zastosowanej metodologii przeprowadzenia badań nie rzutują jednak na pozytywną ocenę całościową.

**5. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:**

**a/ nie spełniająca wymagań,**
**b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,**
**c/ zadowalająco spełniająca wymagania,**
**d/ wykraczająca poza poziom przeciętny (spełniająca wymagania z nadmiarem),**
**e/ wybitna?**

Z powodu wartości rezultatów ukazanych w niniejszej rozprawie dla zyskującej coraz większego znaczenia architektury elastycznych sieci optycznych popartych wartościowymi publikacjami z listy JCR, niniejszą rozprawę zaliczam do kategorii **d/ wykraczająca poza poziom przeciętny (spełniająca wymagania z nadmiarem)**.

Jako, że w mojej ocenie Kandydat spełnił wymogi Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgra inż. Mustafy Abdulsahiba do publicznej obrony.

Z uwagi na wysoki poziom naukowy rozprawy poparty m.in. trzema publikacjami w czasopismach z listy JCR oraz nagrodą za najlepszy artykuł na jednej konferencji, wnoszę o rozpatrzenie możliwości wyróżnienia rozprawy.