

Wrocław, 7 luty 2024

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Walkowiak  
Wydział Informatyki i Telekomunikacji  
Politechnika Wrocławska

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY DYSCYPLINY INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA  
POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ**

**Autor rozprawy doktorskiej: mgr inż. Bartosz Musznicki**  
**Tytuł rozprawy doktorskiej: „*Multicast communication in wireless sensor networks with the use of uncontrolled mobile relay node*”**  
**Promotor: dr hab. inż. Piotr Zwierzykowski, prof. uczelni**

**1. Zakres i charakter rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Bartosza Musznickiego dotyczy aktualnych i ważnych zagadnień związanych z sieciami teleinformatycznymi, w szczególności w rozprawie poruszane są zagadnienia dotyczące bezprzewodowych sieci sensorowych (ang. *wireless sensor network*) nazywanych również bezprzewodowymi sieciami czujników. Bezprzewodowa sieć sensorowa to sieć składająca się z wielu urządzeń umieszczanych na ustalonym obszarze w celu realizacji określonych zadań. Podstawowym elementem urządzenia wchodzącego w skład bezprzewodowej sieci sensorowej jest czujnik (sensor) umożliwiający obserwację pewnych warunków fizycznych lub środowiskowych otoczenia (np. dźwięk, obraz, ciśnienie powietrza, temperatura, wilgotności, zanieczyszczenie powietrza). Ponadto, urządzenia wchodzące w skład bezprzewodowej sieci sensorowej są wyposażone w procesor, który zarządza całym urządzeniem, moduł sieciowy umożliwiający komunikację bezprzewodową oraz baterię lub inne źródła energii zapewniające zasilanie. Jako najważniejsze obszary zastosowań bezprzewodowych sieci sensorowych należy wymienić: inteligentne budynki, inteligentne miasto, nadzór ruchu drogowego, ochrona zdrowia i mienia, automatyzacja procesów produkcyjnych i przemysłowych, ochrona środowiska naturalnego, zastosowania militarne. Bezprzewodowe sieci sensorowe są ważnym elementem koncepcji internetu rzeczy (ang. Internet of Things) oraz przemysłu 4.0, które w ostatnich latach zyskują dużą popularność i zastosowanie w wielu dziedzinach życia i gospodarki. W konsekwencji badania naukowe realizowane w kontekście bezprzewodowych sieci sensorowych mają bardzo duże znaczenie w wielu obszarach .

Rozprawa doktorska ma charakter zarówno poznawczy jak i użyteczny. W zakresie rozważań teoretycznych, mgr inż. Bartosz Musznicki po dokładnej analizie rozwiązań dostępnych w bezprzewodowych sieciach sensorowych opracował metody modelowania zmiennych w czasie struktur odpowiadających łączności sieciowej oraz nowe autorskie mechanizmy transmisji rozgałęznej (ang. *multicast*). Natomiast aspekt użyteczny rozprawy doktorskiej jest związany z zebraniem i opracowaniem bardzo dużej ilości rzeczywistych danych dotyczących bezprzewodowych sieci sensorowych w obszarach miejskich, implementacją zaproponowanych mechanizmów w środowisku symulacyjnym oraz przeprowadzeniem szerokich badań eksperymentalnych pokazujących jakość działania oraz najważniejsze właściwości zaproponowanych mechanizmów.

## **2. Zawartość rozprawy**

Rozprawa składa się z 7 rozdziałów. Pierwszy rozdział to bardzo krótkie wprowadzenie zawierające cel rozprawy i opis zawartości kolejnych rozdziałów rozprawy. Rozdział 2 zawiera opis bezprzewodowych sieci sensorowych obecnie stosowanych w środowiskach miejskich. W rozdziale 3 Doktorant przedstawił analizę rodzajów schematów rozmieszczenia węzłów w bezprzewodowych sieciach sensorowych, jakie można spotkać w środowisku miejskim. Rozdział 4 zawiera opis zaproponowanej autorskiej metody modelowania rzeczywistych miejskich sieci sensorów w oparciu o dane otwarte (ang. *open data*). W rozdziale 5 mgr inż. Bartosz Musznicki przedstawia nowy mechanizm transmisji rozgałęznej odpornej na opóźnienia w środowisku miejskim wykorzystujący niekontrolowany przekaźnik mobilny. Rozdział 6 opisuje wyniki badań symulacyjnych pokazujących efektywność i najważniejsze właściwości zaproponowanych autorskich rozwiązań. Ostatni rozdział zawiera podsumowanie rozprawy. W mojej ocenie struktura rozprawy doktorskiej jest generalnie prawidłowa. Doktorant w przejrzysty sposób przedstawił kolejne zagadnienia, co ułatwia lekturę i analizę zawartości rozprawy. Ponadto, pragnę podkreślić wysoką jakość rozprawy pod kątem językowym, stylistycznym i edycyjnym. Pewien niedosyt budzi bardzo krótki i lakoniczny rozdział 1, w którym brakuje wprowadzenia w tematykę rozprawy, motywacji badań naukowych podjętych w rozprawie oraz definicji podstawowych pojęć używanych w rozprawie.

## **3. Poprawność i oryginalność postawionej tezy**

Rozprawa doktorska nie zawiera tezy. Doktorant w pierwszym rozdziale przedstawił jedynie cel rozprawy:

*The objective of this dissertation is to present new algorithms that enable modeling of multicast communication in urban wireless sensor networks in which uncontrolled mobile relay node is used. An important related research task is to introduce a consistent simulation-*

*based investigation procedure which enables the evaluation of the algorithms in urban environment.*

W mojej opinii cel rozprawy jest sformułowany w poprawny sposób. Mgr inż. Bartosz Musznicki na podstawie przeglądu literaturowego i własnej wiedzy prawidłowo określił zakres swojej rozprawy doktorskiej, koncentrując się na aktualnych i ważnych aspektach związanych ze współczesnymi sieci teleinformatycznymi.

Cel rozprawy został osiągnięty w rozprawie doktorskiej poprzez:

- Obszerne omówienie szerokiego spektrum zagadnień dotyczących bezprzewodowych sieci sensorowych, ze szczególnym uwzględnieniem środowisk miejskich.
- Opracowanie rzeczywistych danych dotyczących bezprzewodowych sieci sensorowych w środowiskach miejskich z wykorzystaniem zbiorów danych otwartych.
- Opracowanie metody modelowania bezprzewodowych sieci sensorowych.
- Opracowanie algorytmów komunikacji rozgałęznej dla bezprzewodowych sieci sensorowych.
- Implementację środowiska symulacyjnego.
- Przeprowadzenie obszernych eksperymentów symulacyjnych i analizę uzyskanych wyników.

Według mojej opinii mgr inż. Bartosz Musznicki rozwiązał postawiony problem naukowy stosując prawidłowe metody badawcze. Dla osiągnięcia celu rozprawy Doktorant użył eksperymentów symulacyjnych, w których zaimplementował zaproponowane rozwiązania. Następnie dla stworzonych scenariuszy badawczych stworzonych w oparciu o rzeczywiste dane przeprowadził obszerne badania symulacyjne. Wyniki przedstawione w rozprawie zostały opatrzone analizą i dyskusją.

#### **4. Analiza źródeł (w tym literatury światowej i stanu techniki) świadcząca o dostatecznej wiedzy autorki w danej dyscyplinie naukowej**

Rozprawa doktorska mgr inż. Bartosza Musznickiego dotyczy aktualnych zagadnień związanych z bezprzewodowymi sieciami sensorowymi. Doktorant przeprowadził dokładny przegląd literaturowy. Lista pozycji bibliograficznych umieszczona w rozprawie zawiera 214 publikacji naukowych. Wśród nich znajdują się prace dotyczące tematyki bezprzewodowych sieci sensorowych oraz transmisji rozgałęznych. Wiele pozycji na liście literatury dotyczy otwartych danych, którymi Doktorant posłużył się w czasie eksperymentów symulacyjnych. Generalnie, przedstawione źródła stanowią dobre wprowadzenie do dalszej części rozprawy prezentującej oryginalne koncepcje Doktoranta. Moim zdaniem, Doktorant posiada dostateczną wiedzę i znajomość współczesnej literatury z zakresu związanego z tematyką rozprawy. Jednak pewien niedosyt budzi brak szerszego omówienia aspektów związanych z

modelowaniem i optymalizacją transmisji rozgałęźnych za pomocą metod programowania matematycznego ILP (ang. *Integer Linear Programming*).

## **5. Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i stanu techniki reprezentowanych przez literaturę światową**

Tematyka rozprawy doktorskiej jest związana z aktualnie rozwijanymi kierunkami badań w zakresie sieci teleinformatycznych. Zagadnienia dotyczące stosowania bezprzewodowych sieci sensorowych w środowisku miejskim są od wielu lat ważnym tematem badawczym. Wynika to z rosnącej liczby różnorodnych zastosowań koncepcji internetu rzeczy oraz koncepcji inteligentnego miasta. Rozprawa doktorska zawiera zarówno aspekty teoretyczne związane z opracowaniem oryginalnych rozwiązań dotyczących modelowania i optymalizacji transmisji rozgałęźnych w bezprzewodowych sieciach sensorowych, jak i aspekty praktyczne związane z implementacją opracowanych mechanizmów w środowisku symulacyjnym, opracowaniem scenariuszy badań uwzględniających rzeczywiste dane z czterech dużych miast w Polsce oraz przeprowadzeniem obszernych eksperymentów symulacyjnych.

## **6. Znaczenie uzyskanych wyników dla danej dyscypliny naukowej**

Jako najważniejsze oryginalne osiągnięcia rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartosza Musznickiego w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja pragnę wymienić:

- Zebranie i opracowanie rzeczywistych zbiorów otwartych danych dotyczących bezprzewodowych sieci sensorowych dla wybranych obszarów w czterech polskich miastach.
- Opracowania metody grafowego modelowania zmiennych w czasie struktur odpowiadających łączności sieciowej w bezprzewodowych sieciach sensorowych.
- Opracowanie architektury i środowiska symulacyjnego do badania bezprzewodowych sieci sensorowych w środowiskach miejskich.
- Opracowanie algorytmów komunikacji rozgałęźnej dla bezprzewodowych sieci sensorowych.
- Realizacja obszernych badań symulacyjnych dla bezprzewodowych sieci sensorowych i transmisji rozgałęźnych zrealizowane dla wybranych obszarów w czterech polskich miastach na podstawie rzeczywistych otwartych danych.
- Opracowanie i dokładna analiza uzyskanych wyników badań symulacyjnych.

## 7. Główne wady rozprawy, słabe stron wraz z krytycznymi uwagami szczegółowymi

### Uwagi natury ogólnej:

- Jednym z głównych mankamentów rozprawy jest brak przedstawienia tezy rozprawy (pytania badawczego). Doktorant nie sformułował tezy rozprawy, sformułowany został jedynie główny cel rozprawy bez podania celów szczegółowych.
- Doktorant w rozdziale 1 przedstawił jedynie cel pracy oraz opisał zawartość kolejnych rozdziałów. Moim zdaniem, w rozdziale 1 powinny być także przedstawione także: ogólne wprowadzenie w tematykę rozprawy, motywacja podjętych badań, teza rozprawy, cele szczegółowe.
- W rozdziale 6.1 Doktorant pisze: "Multicast tree could be alternatively modeled as directed Steiner tree (DST) which minimizes the overall cost of the tree but there exists no known exact algorithm to solve this problem [193], and hence, to be used to model optimal baseline solution." Nie do końca zgadzam się z tą opinią Doktoranta. Faktycznie, nie ma dostępnych algorytmów konstrukcyjnych, które gwarantowałyby rozwiązanie problemu wyznaczania drzew Steinera w sposób optymalny. Ale problem wyznaczania drzew Steinera można rozwiązać w sposób optymalny za pomocą programowania całkowitoliczbowego. W tym celu rozważany problem optymalizacyjny należy opisać za pomocą modelu ILP i następnie go rozwiązać z wykorzystaniem algorytmu podziału i oszacowań (ang. *branch and bound*) lub algorytmu podziału i odcięć (ang. *branch and cut*). Nie ma potrzeby rozwijania własnych algorytmów, wystarczy posłużyć się dostępnymi oprogramowaniem (np. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio lub Gurobi Optimizer), które jest dostępne za darmo do zastosowań akademickich. W recenzowanej rozprawie doktorskiej opisana powyżej metoda optymalnego wyznaczania drzew Steinera nie została wykorzystana.

### Uwagi polemiczne:

- Rozprawa zawiera bardzo dużo wyników opracowanych w oparciu o rzeczywiste dane z czterech dużych miast w Polsce. Analiza tych danych jest niewątpliwie ciekawa. Jednak moim zdaniem w rozprawie zabrakło pokazania jednego lub więcej zastosowań lub usług ilustrujących na konkretnym przykładzie (przykładach) wykorzystania zaproponowanych w rozprawie metod modelowania i optymalizacji transmisji rozgałęznej w bezprzewodowych sieci sensorowych.
- W rozdziale 5.1.5 Doktorant pisze: „In case of simpler and battery-powered devices, though, advanced power-efficiency mechanisms will most likely have to be utilized. Such mechanisms might involve, e.g., data aggregation, advanced buffer management, as well as, collision avoidance, message scheduling and duty-cycle management. They are out of

the scope of discussed high-level multicast message dissemination design.” W bezprzewodowych sieci sensorowych stosowanie ograniczonego źródła zasilania (baterii) jest bardzo ważnym ograniczeniem. Brak uwzględnienia tego aspektu w rozprawie budzi pewien niedosyt.

- W rozdziale 6.1.3 Doktorant pisze: „Only stationary nodes are considered as destination candidates since their location does not change over time and can be known when recorded at the time of their deployment. In this way, they can be addressed in destination regions (geocast) scenario when no other network knowledge is available.” W mojej ocenie ograniczenie węzłów odbierających (węzłów końcowych w drzewie rozgałęzonym) wyłącznie do węzłów stacjonarnych ogranicza zakres rozważanych scenariuszy. Czy Doktorant rozważył uwzględnienie jako węzłów odbierających także innych rodzajów węzłów? W jaki sposób poszerzenie rodzajów węzłów odbierających wpłynie na działanie całego systemu?

#### Uwagi szczegółowe:

- Drobne błędy językowe, np. „Related check is performed for “regions” but in this case each *destination* region of *incomingMessage* is checked one by one to test if current locatin of the *router* is located within multicast destination region.”
- Rysunek 6.33 byłby moim zdaniem bardziej czytelny jeżeli w każdym wierszu wartości osi pionowej byłyby w takim samym zakresie, podobnie jak to jest realizowane na kolejnych podobnych rysunkach.

## 8. Konkluzja

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie jednoznacznie sformułowanego zagadnienia naukowego. Mgr inż. Bartosz Musznicki wykazał w tej rozprawie w przekonujący sposób umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a także ich prawidłowej i wnikliwej interpretacji. Wymienione powyżej uwagi ogólne, polemiczne oraz szczegółowe nie mają znaczącego wpływu na pozytywną ocenę rozprawy. W związku z powyższym uważam, iż przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Bartosza Musznickiego spełnia wymogi zawarte w Ustawie dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r, nr 1669) oraz w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. z 2003 r., nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

W. K.