

# RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Autorka rozprawy: mgr Anna Strzoda

Tytuł rozprawy: Dobór lokalizacji węzłów pośredniczących w sieci LoRa oraz ich wpływ na efektywność sieci

Promotor: dr hab. inż. Krzysztof Grochla, prof. IITiS PAN

Promotor pomocniczy: dr inż. Konrad Potys

Autor recenzji: dr hab. inż. Szymon Szott, prof. AGH

## 1. Aktualność tematyki rozprawy

Rozprawa dotyczy poprawy działania bezprzewodowych rozległych sieci telekomunikacyjnych działających według standardu LoRa. Tematyka ta jest bezpośrednio związana z rozwojem dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. O jej aktualności świadczą m.in. znaczący wzrost liczby urządzeń Internetu rzeczy (potwierdzony w licznych, niezależnych raportach), działalność standaryzacyjna organizacji LoRa Alliance (dwie nowe specyfikacje techniczne opublikowane w 2024 r.) oraz liczba publikacji w ostatnich latach (baza IEEE Xplore zwraca 770 publikacji za rok 2024 dla kwerendy „LoRa”).

## 2. Problem naukowy

Problem naukowy podjęty w rozprawie dotyczy doboru lokalizacji węzłów pośredniczących (ang. *relays*) w sieci LoRa i został on trafnie sformułowany. Standardy LoRa co prawda definiują funkcjonalność węzłów pośredniczących ale nie precyzują w jaki sposób dobrać lokalizację tych węzłów. Jak Autorka słusznie zauważa we wstępie, stosowanie planowania radiowego (takiego jak w sieciach komórkowych) jest mniej efektywne w tym przypadku a większość prac badawczych z zakresu LoRa pomija ten problem. Zasadność stosowania węzłów pośredniczących potwierdzają również badania przedstawione w rozdziale 3 rozprawy.

## 3. Teza i metodologia

Uważam, że teza rozprawy została udowodniona, tzn. wykazano w jaki sposób można tak dobrać lokalizację węzłów pośredniczących w sieci LoRa aby poprawić efektywność energetyczną sieci. Zaproponowano dwie metody wyboru lokalizacji węzłów pośredniczących, dla obydwu wykazano poprawę efektywności energetycznej.

Metodologia zastosowana w pracy została bardzo dobrze dobrana do postawionego problemu. Zastosowano połączenie metod analitycznych (algorytmy optymalizacyjne), eksperymentalnych (dane z rzeczywistych wdrożeń), oraz symulacyjnych (zapewniających elastyczność i powtarzalność wyników badań). W badaniach symulacyjnych użyto topologii zarówno losowych jak i opartych o dane pochodzące z rzeczywistych wdrożeń. Dzięki wielokrotnym powtórzeniom licznych badań, zastosowaniu uznanego symulatora zdarzeń dyskretnych, walidacji opracowanego modelu symulacyjnego oraz porównaniu wyników do szeroko cytowanej w literaturze metod [32] wyniki badań są wiarygodne.

## 4. Oryginalny wkład w dyscyplinę

Główny oryginalny wkład Autorki jest następujący:

- 1) Analiza danych z rzeczywistych i wielkoskalowych wdrożeń LoRa (rozdział 3)
- 2) Model symulacyjny sieci LoRa wdrożony w symulatorze OMNeT++ (rozdział 4)
- 3) Metoda wyboru lokalizacji węzłów pośredniczących oparta na algorytmie optymalizacji kolonii mrówek wraz z analizą wydajności sieci LoRa (rozdział 5)
- 4) Metoda wyboru lokalizacji węzłów pośredniczących oparta na algorytmie zachłannym wraz z analizą wydajności sieci LoRa (rozdział 6)

O oryginalności powyższych modeli, metod i analiz świadczą publikacje Autorki [37-39] oraz analiza stanu wiedzy przedstawiona przez Autorkę w rozdziale 2 rozprawy (która wykracza poza tematykę sieci LoRa). Również moja własna analiza literatury potwierdza oryginalność rozprawy w tym zakresie.

## 5. Znaczenie poznawcze oraz praktyczne

Znaczenie poznawcze rozprawy obejmuje wszystkie wnioski z przeprowadzonych analiz, w tym m.in. zasadność stosowania węzłów pośredniczących oraz poprawa wydajności energetycznej sieci LoRa dzięki zastosowanym metodom. Znaczenie praktyczne dotyczy wdrożeń sieci LoRa, gdzie opracowane metody mogą poprawić wydajność sieci jednocześnie obniżając koszty operacyjne.

## 6. Znajomość tematyki

Treść rozprawy świadczy o znaczącej wiedzy Autorki zarówno ogólnie w zakresie nauk technicznych oraz szczegółowo z zakresu sieci LoRa. Należy podkreślić, że rozprawa stanowi rozszerzenie trzech opublikowanych prac naukowych. Dodatkowo, Autorka jest współautorką 10 kolejnych artykułów z tematyki LoRa.

## 7. Słabe strony rozprawy

Moim zdaniem praca ma trzy główne niedociągnięcia:

- A. Brak porównania metod. W rozdziale 5 i 6 zaproponowano dwie metody, które nie zostały ze sobą porównane. Jakie są podobieństwa oraz różnice metod od strony teoretycznej (np. założenia, wymagania, zapewniona funkcjonalność)? Czy da się te dwie metody porównać ze sobą w praktyce? Jeśli nie, to dlaczego?
- B. Brak omówienia wad i wymagań metod. Jakie są koszty obu metod (oprócz obliczeniowych)? W jaki sposób można pozyskać dane wejściowe wymagane przez metody?
- C. Niepełna analiza dostarczania pakietów. Analiza efektywności działania sieci LoRa pod względem dostarczania pakietów ograniczona jest do analizy przedstawionej w rozdziale 3. Czy metody zaproponowane w rozdziałach 5 i 6 poprawiają prawdopodobieństwo dostarczenia pakietów? Jakiego powinno być to prawdopodobieństwo? W rozdziale 3.1.1 wartość 50% jest wymieniona jako próg. Z czego on wynika?

Ponadto, do słabszych stron rozprawy zaliczyłbym następujące, mniej istotne niedociągnięcia:

- W rozprawie są fragmenty, w których opis mógłby być lepszy bądź pełniejszy. Przykłady:
  - Współczynnik SF nie jest wyjaśniony przy pierwszym użyciu (str. 7).
  - Opis pracy [76] (str. 24) nie zawiera wniosków.
  - Równania (5.7)-(5.9) opisujące funkcję celu powinny być słownie wyjaśnione, ułatwiłoby to ich zrozumienie.
  - Nie wiadomo jak zostało wyznaczone rozwiązanie optymalne, o którym mowa w (5.13).
  - Brakuje uzasadnienia dla następującego stwierdzenia: „Zaproponowane podejście wykazuje potencjał do zastosowań dla wdrożeń, gdzie urządzenia stosunkowo często transmitują pakiety (np. systemy parkingowe).”
  - Kluczowe założenie („Po upływie pozostałego czasu działania, urządzenie zostanie zdemontowane, a jego nadmiar energii zostanie zmarnowany”) pojawia się dopiero w rozdziale 6 (na str. 94) a dotyczy też metody z rozdziału 5.
- W rozprawie występują drobne błędy językowe: „ze względu na zasilane baterią”, „efektywne zarządzanie”, „w oparciu o” (powinno być „w oparciu na”), „technologię LoRa” (powinno być „technikę LoRa”), „okres czasu” (to pleonazm), „tak np. duże budynki”, błędne formatowanie jednostek, np. „ $b_v = 30000 [mAs]$ ” (str. 62) powinno być „ $b_v = 30000 \text{ mAs}$ ”

- W rozprawie występują drobne błędy edytorskie: referencje [19], [30], [47], [48], [55], [67], [78], [95], [103] i [108] nie mają podanego roku publikacji, referencja [95] nie ma też miejsca wydania, błędne odwołania wewnątrz dokumentu, np. „w ramach projektu SCIoT (7)” (str. 46) albo „w projekcie SCIoT 7” (str. 53), które odwołują do dodatku na str. 144 gdzie punkt siódmy nie występuje, ruchome elementy (ang. *floats*) powinny być umieszczone na górze strony, np. Algorytm 2 (str. 70) jest umieszczony wewnątrz paragrafu, na rysunku 5.3 znajduje się zbędny pytajnik.

## 8. Podsumowanie i ocena końcowa

Mimo wymienionych uchybień, uważam, że praca dotyczy aktualnej tematyki, a problem naukowy oraz metodologia zostały dobrane odpowiednio. Postawiona teza została udowodniona a oryginalny wkład Autorki w dyscyplinę jest znaczący. Podsumowując, uważam, że przedłożona rozprawa doktorska mgr Anny Strzody pt. „Dobór lokalizacji węzłów pośredniczących w sieci LoRa oraz ich wpływ na efektywność sieci” spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja i wnioskuję o dopuszczenie mgr Anny Strzody do dalszych etapów przewodu doktorskiego.