

*dr hab. inż. Sławomir Hausman, prof. uczelni*

Instytut Elektroniki  
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki  
Politechnika Łódzka  
Al. Politechniki 10  
93-590 Łódź

### **Recenzja rozprawy doktorskiej**

Autor rozprawy: **mgr inż. Vitomir Djaja-Joško**

Tytuł: "**Nowe metody bezprzewodowej synchronizacji w ultraszerokopasmowych systemach lokalizacyjnych**"

Promotor: **prof. dr hab. inż. Józef Modelski**

Praca wykonana na **Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej**

Poniższa recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej dra hab. inż. Jarosława Arabasa, prof. uczelni, datowane na 20 września 2021 r.

**1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza pracy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Badania prowadzone przez mgra inż. Vitomira Djaja-Joško wpisują się w bardzo ważną i aktualną tematykę projektowania systemów lokalizacji wewnątrzbudynkowej, gdzie nie mogą być stosowane systemy lokalizacji satelitarnej typu GNSS (ang. Global Navigation Satellite Systems). Do dzisiaj nie ma w tym zakresie powszechnie uznanych i dostępnych rozwiązań, które spełniałyby oczekiwania potencjalnych użytkowników – choć zmierzające do tego prace prowadzone są od kilkudziesięciu lat. Jednym z obiecujących kierunków jest zastosowanie systemów ultraszerokopasmowych, które pozwalają określać lokalizację poprzez wyznaczanie odległości od punktów referencyjnych z wykorzystaniem pomiaru różnicy czasu propagacji fal radiowych, która jest znacznie mniej zależna od środowiska propagacji wewnątrzbudynkowej niż pomiar poziomu sygnału lub kierunku przybycia sygnału odebranego. Jednym z wyzwań w metodach wymagających pomiaru różnicy czasu jest synchronizacja wzorców czasu w węzłach systemu lokalizacyjnego. Tym właśnie, bardzo ważnym, zagadnieniem zajął się Autor. W swojej pracy opisał on zaproponowane przez siebie dwie metody synchronizacji bezprzewodowej, tj. z wyzwalaną transmisją pakietów referencyjnych oraz z okresową transmisją pakietów referencyjnych. Doktorant prowadził swoje badania m.in. w ramach projektów NITICS i IONIS. Praca dotyczy organizacji bezprzewodowej transmisji pakietów referencyjnych oraz związanych z nimi metod korekcji wyników pomiarów czasów przybycia pakietów w węzłach.

Do transmisji sygnałów synchronizacyjnych można stosować rozwiązania: przewodowe – najczęściej spotykane obecnie w systemach dostępnych komercyjnie lub bezprzewodowe – widoczne obecnie głównie w badaniach naukowych, ale dynamicznie się rozwijające i bardziej perspektywiczne ze względu na łatwość implementacji.

Autor w swojej dysertacji sformułował dwie tezy:

- A. *Możliwe jest bezprzewodowe synchronizowanie węzłów w ultraszerokopasmowym systemie lokalizacyjnym z wykorzystaniem węzłów referencyjnych.*
- B. *Opracowane metody są skutecznym środkiem do synchronizacji węzłów w praktycznych realizacjach ultraszerokopasmowych systemów lokalizacyjnych.*

Wydaje się, że teza A, w tak ogólnej postaci, została już wcześniej udowodniona. Natomiast teza B nie jest precyzyjnie sformułowana, ponieważ określenie „opracowane metody” nie precyzuje nawet klasy metod i zrozumienie sensu tej tezy wymaga przestudiowania dysertacji. Być może lepiej byłoby sformułować tylko jedną tezę np. tak:

*W ultraszerokopasmowych systemach lokalizacyjnych możliwa jest skuteczna realizacja bezprzewodowej synchronizacji węzłów przy użyciu metod wykorzystujących wyzwalaną lub okresową transmisję pakietów referencyjnych.*

Niezależnie od powyższych uwag, cel i zakres pracy zostały wystarczająco jasno opisane w rozdziale 4, a podanie tez nie jest wymogiem formalnym w pracach doktorskich.

Autor prowadził swoją pracę przy użyciu metod teoretycznych, symulacji komputerowych oraz badań empirycznych. Opiniowana praca ma więc charakter teoretyczno- doświadczalny.

2. **Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczącej o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

Bibliografia zawiera 98 pozycji (artykuły i książki naukowe oraz materiały firmowe), w tym 29 pozycji ze współautorskim udziałem Doktoranta. Źródła są, moim zdaniem, reprezentatywnie i poprawnie dobrane, a także są powoływane w dysertacji we właściwym kontekście. W rozdziałach 2 i 3 rozprawy Doktorant przedstawił obecny stan wiedzy, koncentrując się na omówieniu ograniczeń rozwiązań znanych z literatury, które miałyby być wyeliminowane dzięki rozwiązaniom proponowanym w dysertacji. W tym kontekście ważny jest podrozdział 3.5, w którym Autor przedstawił zwięźle i jasne podsumowanie stanu wiedzy, z którego wynikają cele podjętych przez niego badań. Warto zauważyć, że dostrzega on np. przyczyny trudności w porównaniu dokładności, czy skuteczności różnych metod opisanych w literaturze, np. ze względu na zróżnicowane warunki prowadzenia opisywanych tam pomiarów, tj. różne położenie węzłów i etykiet, wykorzystanie innych modułów radiowych lub innych algorytmów lokalizacyjnych.

3. **Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?**

Autor prowadził swoją pracę przy użyciu metod teoretycznych, symulacji komputerowych i badań empirycznych. Tam gdzie było to możliwe, np., do analizy niepewności wyznaczania TDOA (ang. *Time Difference of Arrival*) użył metod analitycznych (rozdział 6). Wpływ niepewności pomiaru czasu w węzłach na niepewność wartości TDOA oraz wpływ liczby lokalizowanych etykiet na skuteczność odbioru pakietów mierzona stosunkiem liczby pakietów odebranych do nadanych badań także przy użyciu symulacji komputerowych. Skuteczność opracowanych metod i ich implementację sprzętowo-programową Autor badał również empirycznie. Wszystkie te metody zastosował z dużą wiedzą w zakresie podstaw teoretycznych, jak i z inżynierską sprawnością w prowadzeniu badań eksperymentalnych. Istotne i moim zdaniem poprawne założenia Doktorant przyjął np. w p. 7.3.1.,



który dotyczy parametrów symulacji. Przyjęte tam czasy trwania pakietów (inne dla etykiet i inne dla węzłów) wydają się realistyczne.

Podsumowując ten punkt recenzji uważam, że Doktorant zastosował właściwe metody badawcze, a tam gdzie było to potrzebne przyjął uzasadnione założenia.

**4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową ?**

Do oryginalnych wyników pracy zaliczam:

1. Zaproponowanie dwóch metod bezprzewodowej synchronizacji węzłów w ultraszerokopasmowych systemach lokalizacyjnych wykorzystujących pomiary TDOA, tj. metody z wyzwalaną transmisją pakietów referencyjnych oraz metody z okresową transmisją pakietów.
2. Przeprowadzenie teoretycznej i symulacyjnej analizy błędów wyznaczania TDOA z wykorzystaniem ww. metod synchronizacji.
3. Przeprowadzenie badań eksperymentalnych dla obu opracowanych metod, tj. z wyzwalaną i okresową transmisją pakietów referencyjnych.

Opisane wyniki są oryginalne i znaczące w skali światowej.

**5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?**

Zawarte w dysertacji omówienie badań przeprowadzonych przez Autora jest moim zdaniem wyczerpujące, w tym sensie, że pozwala na ich ocenę przez recenzenta. Rozprawa, wraz z dziesięcioma dodatkami, bibliografią, wykazem rysunków i spisem tabel, ma objętość 151 stron. Jej układ uważam za dostosowany do tematyki i zakresu badań opisywanych przez Autora. Rozprawa podzielona jest na dziesięć rozdziałów, włączając w to wstęp i podsumowanie. Rozprawa jest przygotowana w języku polskim. Jest napisana jasno i poprawnie pod względem językowym, dzięki czemu czyta się ją z łatwością. Ogólny poziom językowy dysertacji jest bardzo dobry, dlatego komentowanie drobnych błędów np. łącznej pisowni „niemniejszym”, czy omyłki pisarskiej w sformułowaniu „okresu transmisji pakietów przez etykiet”, uważam za całkowicie zbędne.

**6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?**

Nie dostrzegłem w rozprawie istotnych usterek merytorycznych. Z recenzenckiego obowiązku wskażę tylko drobne niedostatki:

1. Str. 30: „Nie znaleziono również analizy wpływu liczby nadawanych pakietów na skuteczność ich odbioru,” Co oznacza skuteczność odbioru? Skuteczność tę zdefiniowano w dysertacji dopiero w innym miejscu (str. 69), jako „skuteczność odbioru pakietów K, definiowana na potrzeby pracy jako stosunek liczby poprawnie odebranych pakietów do liczby wszystkich nadanych pakietów”
2. Str. 34: Mam wątpliwości dotyczące określenia „synchronizacja skali czasu wzorców w węzłach pomiarowych”. Można się domyślać znaczenia, ale nie znalazłem w pracy definicji tego pojęcia.

3. Str. 70: „Na potrzeby symulacji przyjęto, że czas niezbędny na wstępne przetworzenie pakietu przez węzeł wynosi 2,5 ms.” Nie wyjaśniono skąd wynika to oszacowanie.
4. Str. 71: Biorąc pod uwagę drugi składnik prawej strony równania (40) oraz to, że tłumienności są w tym wzorze sumowane (a nie mnożone), wnioskuję że ma on być prawdziwy dla miary decybelowej, czego nie wyjaśniono. Tymczasem wzór (41) jest w mierze liniowej. Tak więc tłumienność  $L_0$  z (41) nie może być podstawiona do (40). W tym kontekście właściwą postacią (41) byłoby więc  $L_0=10\log((4pdofc)^2/(G_T G_R c^2))$ . Należałoby wówczas dodać, że  $G_T$  i  $G_R$  są zyskami w odniesieniu do anteny izotropowej. Ponadto, Autor pisze, że  $L_s$  to maksymalna wartość wahań poziomu sygnału wynikającego np. z przysłaniania, a wartość tego parametru jest opisana rozkładem lognormalnym. Ten rozkład nie ma wartości maksymalnej, chyba, że jest obcięty. Ogólnie, nie uzasadniono przyjęcia powyższego modelu propagacji i nie wskazano dla jakich środowisk jest on prawdziwy. Nie wyjaśniono też jak uwzględnione są odbicia sygnału od ścian pomieszczenia na rysunku 24 i w jakich warunkach można je pominąć. Ponieważ najważniejszym obszarem zastosowań omawianych przez Autora metod lokalizacji są wnętrza budynków, uważam, że przyjęte założenia powinny być omówione przez Doktoranta podczas publicznej obrony.
5. Str. 78: Autor pisze: „W symulacjach przyjęto, że są cztery węzły pomiarowe, co jest minimalną liczbą węzłów niezbędną do lokalizacji etykiety w trzech wymiarach z wykorzystaniem techniki TDOA. Oczywiście węzłów może być więcej, nie będzie to miało wpływu na samą skuteczność odbioru pakietów, ale może zapewnić pewien stopień nadmiarowości wyników pomiarów TDOA, co może pozytywnie wpływać na wyznaczanie lokalizacji...”. Zabrakło komentarza w jaki sposób taka nadmiarowość może „pozytywnie wpływać na wyznaczanie lokalizacji”. Tu również oczekuję wyjaśnienia podczas publicznej obrony.
6. Str. 86: „Na rysunku 31 przedstawiono przykładowy histogram błędu wyznaczania TDOA w punkcie P6 dla pary węzłów 1 i 3 dla metody z wyzwalaną transmisją pakietów referencyjnych, na tle którego wykreślono przebieg rozkładu normalnego, o parametrach  $\mu = 45,99$  ps i  $\sigma = 382,07$  ps (wyznaczonych na podstawie wyników pomiarów).” W jaki sposób „wykreślono”, a właściwie w jaki sposób wyznaczono parametry wykreślonego rozkładu normalnego na podstawie wyników pomiarów? To samo pytanie dotyczy wyników pokazanych na rys. 34 i rys. 36.
7. Str. 94: Co Autor rozumie pod pojęciem „standardowe rezonatory kwarcowe”?
8. Str. 99: Przypuszczam, że ukryty sens stwierdzenia: „Ponadto w ramach dodatkowych symulacji zbadano skuteczność odbioru pakietów, zdefiniowaną w rozprawie jako stosunek liczby poprawnie odebranych pakietów, do całkowitej liczby nadanych pakietów. Autorowi nie są znane publikacje poruszające tę tematykę.” jest mniej więcej taki: „Analiza stanu wiedzy utwierdza Autora w przekonaniu, że przeprowadzona analiza skuteczności odbioru pakietów jest osiągnięciem oryginalnym”. Sformułowanie „Autorowi nie są znane publikacje...” może sugerować niedostatki wiedzy, czego nie podejrzewam.

Powyższe uwagi i wątpliwości nie wpływają na moją bardzo wysoką ocenę dysertacji.



## 7. Podsumowanie oceny rozprawy i oceny wiedzy doktoranta

Opisane badania odpowiadają na ważne i aktualne zainteresowanie lokalizacją wewnątrzbudynkową. Praca zawiera oryginalne wyniki, które rozszerzyły wiedzę w przedmiotowym zakresie. Autor omawia zagadnienia ujęte w pracy kompetentnie i z uwzględnieniem aktualnego stanu wiedzy. O wartości pracy Autora świadczy, między innymi, jego dorobek publikacyjny, który obejmuje autorstwo lub współautorstwo 29 recenzowanych artykułów w czasopismach (w tym dwóch w czasopiśmie *Sensors* i jednego w *IEEE Sensors Journal* – każdy za 100 pkt w ministerialnym wykazie czasopism) i oraz doniesień konferencyjnych. Ich listę przytaczam poniżej, ponieważ Doktorant nie wyodrębnił swoich publikacji w bibliografii.

- [1] J. Kołakowski, V. Djaja-Josko, M. Kolakowski, "UWB Monitoring System for AAL Applications", *Sensors*, vol. 17, no. 9, 2017, s. 2092.
- [2] J. Kołakowski, V. Djaja-Josko, M. Kolakowski, K. Broczek, "UWB/BLE Tracking System for Elderly People Monitoring", *Sensors*, vol. 20, no. 6, 2020, s. 1574.
- [3] J. Kołakowski, A. Consoli, V. Djaja-Joško [i in.], "Indoor UWB Positioning in EIGER Localization System", *International Journal of Computing*, open access journal, vol. 15, nr 2, 2016, s. 119-126.
- [4] M. Kołakowski, V. Djaja-Joško, "TDOA-TWR based Positioning Algorithm for UWB Localization System", *Proc. 21st International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications*, 2016, IEEE, s. 175-178.
- [5] J. Kołakowski, V. Djaja-Joško, "A New Transmission Scheme for Wireless Synchronization and Clock Errors Reduction in UWB Positioning System", *Proc. Indoor Positioning and Indoor Navigation*, 2016, IEEE, s. 1-6.
- [6] J. Kołakowski, V. Djaja-Joško, "First Path Component Delay Measurements in UWB Positioning System", *Proc. IEEE International Conference on RFID Technology and Applications*, 2017, s. 1-4.
- [7] V. Djaja-Joško, „Wykorzystanie filtru Kalmana do wyznaczania pozycji węzłów w ultraszerokopasmowym systemie lokalizacyjnym”, *Przegląd Telekomunikacyjny - Wiadomości Telekomunikacyjne*, SIGMA NOT, vol. LXXXVI, nr 6, 2017, s. 429-432.
- [8] V. Djaja-Joško, J. Kołakowski, "A New Method for Shifted Anchor Coordinates Retrieval in UWB Positioning System", *Proc. IEEE International Conference on RFID Technology and Applications*, 2017, s. 1-1.
- [9] V. Djaja-Joško, "A new anchor nodes position determination method supporting UWB localization system deployment", *Proc. Signal Processing Symposium SPSympo*, 2017, s. 289-293.
- [10] V. Djaja-Joško, J. Kołakowski, "A new map based method for NLOS mitigation in the UWB indoor localization system", *Proc. TELFOR 2017*, Telecommunications Society, 2017, ss. 1-4.
- [11] V. Djaja-Joško, J. Kołakowski, „Badanie wpływu poziomu odbieranego sygnału na wynik pomiaru TDOA w układzie DW1000”, *Przegląd Telekomunikacyjny - Wiadomości Telekomunikacyjne*, vol. LXXXVII, nr 6, 2018, s. 257-260.
- [12] M. Kołakowski, V. Djaja-Joško, J. Kołakowski, „Static LiDAR Assisted UWB Anchor Nodes Localization”, *IEEE Sensors Journal*, 2020, s. 1–8.
- [13] V. Djaja-Joško, „Metoda korekcji pozycji węzłów w ultraszerokopasmowym systemie lokalizacyjnym”, *Mat. XIIth International Electronic, Telecommunication and Energetic Conference of Students and Young Scientists SECON2017*, Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej, 2017, ss. 1-9.
- [14] J. Kołakowski, M. Berezowska, K. Radecki, V. Djaja-Joško, R. Michnowski, J. Cichocki, A. Badawika, Ł. Malicki, „System do monitorowania ruchu i zachowań osób starszych”, *Przegląd Telekomunikacyjny - Wiadomości Telekomunikacyjne*, t. 6, nr LXXXIV, 2015, s. 603–610.
- [15] J. Kołakowski, V. Djaja-Joško, M. Kołakowski Marcin, [i in.], "Localization System Supporting People with Cognitive Impairments and Their Caregivers", *International Journal of Electronics and Telecommunications*, vol. 66, nr 1, 2020, s. 125-131.
- [16] J. Kołakowski, V. Djaja-Joško, M. Kołakowski, [i in.], „System lokalizacyjny do monitorowania osób z zaburzeniami poznawczymi”, *Przegląd Telekomunikacyjny - Wiadomości Telekomunikacyjne*, vol. LXXXVIII, nr 6, 2019, s. 453-456.
- [17] V. Djaja-Joško, J. Kołakowski, "UWB Positioning System for Elderly Persons Monitoring", *TELFOR 2015*, Telecommunications Society, 2015, s. 169-172.



- [18] J. Kořakowski, V. Djaja-Jořko, M. Kořakowski, [i in.], „Podsystem lokalizacyjny w platformie IONIS”, Przegląd Telekomunikacyjny - Wiadomości Telekomunikacyjne, SIGMA NOT, vol. LXXXVI, nr 6, 2017, s. 493-496. J. Kořakowski, V. Djaja-Josko, “UWB positioning system for elderly persons tracking in IONIS AAL platform”, Proc. TELFOR 2017, Telecommunications Society, 2017, ss. 1-4.
- [19] V. Djaja-Jořko, “A new anchor nodes position determination method supporting UWB localization system deployment”, Proc. Signal Processing Symposium SPSympo, 2017, s. 289-293.
- [20] V. Djaja-Jořko, J. Kořakowski, “A new map based method for NLOS mitigation in the UWB indoor localization system”, Proc. TELFOR 2017, Telecommunications Society, 2017, ss. 1-4.
- [21] V. Djaja-Jořko, J. Kořakowski, „Badanie wptywu poziomu odbieranego sygnału na wynik pomiaru TDOA w układzie DW1000”, Przegląd Telekomunikacyjny - Wiadomości Telekomunikacyjne, vol. LXXXVII, nr 6, 2018, s. 257-260.
- [22] M. Kořakowski, V. Djaja-Jořko, J. Kořakowski, „Static LiDAR Assisted UWB Anchor Nodes Localization”, IEEE Sensors Journal, 2020, s. 1–8.
- [23] V. Djaja-Jořko, „Metoda korekcji pozycji węzłów w ultraszerokopasmowym systemie lokalizacyjnym”, Mat. XIIIth International Electronic, Telecommunication and Energetic Conference of Students and Young Scientists SECON2017, Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej, 2017, ss. 1-9.
- [24] J. Kořakowski, M. Berezowska, K. Radecki, V. Djaja-Jořko, R. Michnowski, J. Cichoeki, A. Badawika, Ł. Malicki, „System do monitorowania ruchu i zachowań osób starszych”, Przegląd Telekomunikacyjny - Wiadomości Telekomunikacyjne, t. 6, nr LXXXIV, 2015, s. 603–610.
- [25] J. Kořakowski, V. Djaja-Jořko, M. Kořakowski Marcin, [i in.], “Localization System Supporting People with Cognitive Impairments and Their Caregivers”, International Journal of Electronics and Telecommunications, vol. 66, nr 1, 2020, s. 125-131.
- [26] J. Kořakowski, V. Djaja-Jořko, M. Kořakowski, [i in.], „System lokalizacyjny do monitorowania osób z zaburzeniami poznawczymi”, Przegląd Telekomunikacyjny - Wiadomości Telekomunikacyjne, vol. LXXXVIII, nr 6, 2019, s. 453-456.
- [27] V. Djaja-Jořko, J. Kořakowski, “UWB Positioning System for Elderly Persons Monitoring”, TELFOR 2015, Telecommunications Society, 2015, s. 169-172.
- [28] J. Kořakowski, V. Djaja-Jořko, M. Kořakowski, [i in.], „Podsystem lokalizacyjny w platformie IONIS”, Przegląd Telekomunikacyjny - Wiadomości Telekomunikacyjne, SIGMA NOT, vol. LXXXVI, nr 6, 2017, s. 493-496.
- [29] J. Kořakowski, V. Djaja-Josko, “UWB positioning system for elderly persons tracking in IONIS AAL platform”, Proc. TELFOR 2017, Telecommunications Society, 2017, ss. 1-4.

Osiągnięcia publikacyjne uważam za znaczące i w pełni wystarczające przy ubieganiu się o stopień doktora. Podsumowując tę część recenzji, uważam że p. mgr inż. Vitomir Djaja-Jořko wykazał się dużą wiedzą z zakresu dyscypliny *informatyka techniczna i telekomunikacja*, w której prowadzony jest przewód.

## 8. Konkluzja

Po zapoznaniu się z przedłożoną mi do recenzji dysertacją mgr inż. Vitomira Djaja-Jořko, stwierdzam z przekonaniem, że spełnione są wymagania art. 13 ust. 1 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, gdzie mowa o oryginalnym rozwiązaniu problemu naukowego, ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W związku z tym, stawiam wniosek o przyjęcie tego opracowania jako rozprawy doktorskiej w dyscyplinie *informatyka techniczna i telekomunikacja* i dopuszczenie mgr inż. Vitomira Djaja-Jořko do publicznej obrony.

Łódź, 3 listopada 2021 r.



Sławomir Hausman