

prof. dr hab. Grzegorz Marcin Wójcik
Kierownik Katedry Neuroinformatyki i Inżynierii Biomedycznej
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
ul. Akademicka 9, 20-033 Lublin
gmwojcik@umcs.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Sebastiana Pokucińskiego

Tytuł rozprawy: Hybrydowa wizyjno-radiowa metoda wspomagania rozpoznawania i pozycjonowania komponentów inteligentnego środowiska domowego oparta na uczeniu maszynowym

Promotor w przewodzie: prof. dr hab. inż. Dariusz Mrozek

Promotor pomocniczy: dr inż. Marek Koźlak

Przedłożona do oceny rozprawa p. mgr. inż. Sebastiana Pokucińskiego została zrealizowana w ramach przewodu doktorskiego prowadzonego na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej i dotyczy opracowania hybrydowej metody łączącej wizję komputerową i pozycjonowanie radiowe do automatycznego rozpoznawania, lokalizowania i nadawania semantycznego znaczenia obiektom w cyfrowych modelach inteligentnych budynków..

Problematyce cyfrowej reprezentacji otoczenia człowieka oraz automatycznego nadawania jej znaczenia semantycznego poświęcono w literaturze coraz więcej uwagi, jednak wyraźny wzrost zainteresowania tym obszarem w ostatnich latach jest bezpośrednio związany z dynamicznym rozwojem metod uczenia maszynowego, wizji komputerowej i technologii Internetu Rzeczy. Szczególne znaczenie ma tu postęp w dziedzinie głębokich sieci neuronowych, systemów detekcji obiektów, estymacji głębi oraz algorytmów pozycjonowania radiowego (m.in. BLE, UWB), które w połączeniu z rosnącą dostępnością tanich urządzeń akwizycji danych, takich jak smartfony czy kamery sferyczne, tworzą zupełnie nowe możliwości automatycznej digitalizacji przestrzeni. Integracja tych technologii w postaci rozwiązań hybrydowych pozwala nie tylko na tworzenie trójwymiarowych modeli środowiska, lecz także na odzyskiwanie ich semantyki, czyli informacji o rodzaju, funkcji i lokalizacji obiektów, co otwiera nowe perspektywy rozwoju inteligentnych budynków, cyfrowych bliźniaków oraz systemów zarządzania zasobami w zastosowaniach prywatnych i przemysłowych.

Pan mgr inż. Sebastian Pokuciński jest doświadczonym badaczem z zacinającym być zauważalnym dorobkiem publikacyjnym. W jego bibliografii można

znaleźć artykuły naukowe potwierdzające jej znajomość tematu i wysoki poziom wiedzy eksperckiej z zakresu podejmowanego zagadnienia. Do najważniejszych prac autora mógłbym zaliczyć:

1. Filus, Katarzyna, and Sebastian Pokuciński. "SPHEREA: Synthetic dataset generation for equirectangular panoramas of home environments." *Knowledge-Based Systems* (2025): 114751. (200 pkt)
2. Pokuciński, Sebastian, and Dariusz Mrozek. "YOLO-based Object Detection in Panoramic Images of Smart Buildings." *2023 IEEE 10th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*. IEEE, 2023. (140 pkt.)
3. Pokuciński, Sebastian, and Dariusz Mrozek. "Methods and Applications of Space Understanding in Indoor Environment—A Decade Survey." *Applied Sciences* 14.10 (2024): 3974.
4. Pokuciński, Sebastian, and Dariusz Mrozek. "Object detection with YOLOv5 in indoor equirectangular panoramas." *Procedia Computer Science* 225 (2023): 2420-2428.
5. Pokuciński, Sebastian, Katarzyna Filus, and Dariusz Mrozek. "Finding the perfect cut: Selection of the best cutting point in equirectangular panoramas for object detection." *Procedia Computer Science* 246 (2024): 519-528.
6. Grzechca, Damian, et al. "On fundamental issues on creating autonomous platform for UWB navigation system." *Journal of Control Engineering and Applied Informatics* 22.1 (2020): 84-93.
7. Grzechca, Damian, et al. "Monitoring the Gait process during the rehabilitation of patients using computer vision techniques and UWB technology." *European, Mediterranean, and Middle Eastern Conference on Information Systems*. Cham: Springer International Publishing, 2019.

W dniu pisania recenzji p. mgr inż. Sebastiana Pokucińskiego ma 8 cytowań i indeks Hirscha $h=2$ według Web of Science, w Google Scholar 25 cytowań i indeks Hirscha $h=4$ odpowiednio.

Oprócz publikacji w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym Pan Sebastian Pokuciński jest autorem kilkunastu prac o charakterze popularnonaukowym.

Cele i struktura pracy

Praca została napisana w języku polskim, obejmuje 309 stron. Główna jej część składa się z sześciu ponumerowanych rozdziałów (razem z numerowanymi wstępem oraz podsumowaniem). Pracę opatrzone również sekcją dedykacji i podziękowań, streszczeniem, spisem treści, spisem tabel, spisem rysunków oraz wykazem użytych skrótów. Bibliografia obejmuje 334 dobrze dobranych pozycji.

Praca została bardzo dobrze złożona w środowisku L^AT_EXco nadaje jej dodatkowe walory.

Motywacją pracy jest potrzeba rozwiązania praktycznego problemu zgłoszonego przez partnera przemysłowego – firmę Simlab Sp. z o.o., rozwijającą platformę SIM-ON do zarządzania nieruchomościami w oparciu o ideę cyfrowego bliźniaka. Pomimo zaawansowanych modeli 3D, kluczową barierą pozostaje ręczne, czasochłonne nadawanie semantycznego znaczenia obiektom, co zniechęca użytkowników i ogranicza realną użyteczność systemu. Celem rozprawy jest więc zwiększenie automatyzacji rozpoznawania i lokalizacji zasobów poprzez integrację metod pozycjonowania radiowego i wizji komputerowej wspomaganą uczeniem maszynowym, tak aby ograniczyć pracę użytkownika, podnieść jakość cyfrowego modelu oraz zwiększyć jego wartość użytkową i biznesową.

Problemy naukowe podejmowane w rozprawie koncentrują się na transformacji praktycznego wyzwania automatycznej digitalizacji przestrzeni w spójny, formalny problem badawczy, możliwy do systematycznej analizy eksperymentalnej. Doktorant podejmuje próbę zdefiniowania i zbadania, w jakim stopniu możliwe jest stworzenie uniwersalnego, hybrydowego systemu fuzyjnego, który integruje dane wizyjne i radiowe w celu automatycznego rozpoznawania, lokalizowania oraz semantycznego opisu obiektów w inteligentnym środowisku domowym. Kluczowym zagadnieniem nie jest tu jedynie skuteczność pojedynczych algorytmów, lecz ich współdziałanie w ramach jednego spójnego modelu poznawczego przestrzeni, zdolnego do łączenia informacji o obrazie, odległości, topologii oraz komunikacji radiowej w jedną reprezentację semantyczną.

Istotnym problemem badawczym jest określenie granic automatyzacji tego procesu – zarówno od strony technologicznej, jak i użytkowej. Praca eksploruje, czy pełna automatyzacja rozpoznawania i pozycjonowania obiektów jest realnie osiągalna w warunkach domowych, czy też optymalnym rozwiązaniem jest model hybrydowy, w którym system przejmuje większość zadań poznawczych, pozostawiając użytkownikowi jedynie minimalną rolę nadzorczą. Z tym związane są pytania o użyteczność, akceptowalność i ergonomię takich systemów, a więc nie tylko o ich poprawność algorytmiczną, lecz również o realną wartość poznawczą i operacyjną dla człowieka.

Równolegle rozprawa podejmuje problem naukowy wiarygodności i jakości danych wejściowych, analizując możliwość zastępowania tradycyjnych, kosztownych i czasochłonnych procesów akwizycji danych (np. ręcznego pozyskiwania i etykietowania obrazów) rozwiązaniami syntetycznymi oraz automatycznym przetwarzaniem wstępnym. Dotyczy to zarówno danych wizyjnych, jak i radiowych, gdzie badana jest przydatność powszechnie dostępnych technologii komunikacyjnych do precyzyjnej estymacji dystansu i pozycjonowania w złożonych przestrzeniach budynków. W tym sensie praca stawia hipotezę, że możliwe jest osiągnięcie jakości lokalizacji i rozpoznawania porównywalnej z rozwiązaniami specjalistycznymi, przy użyciu tańszych, masowych komponentów oraz otwartych narzędzi programistycznych.

Całość problematyki naukowej spina nadrzędna teza, że integracja metod wizji komputerowej i pozycjonowania radiowego w jednym systemie fuzyjnym nie tylko zwiększa dokładność lokalizacji i rozpoznawania obiektów, lecz przede

wszystkim umożliwia odzyskiwanie semantyki przestrzeni – czyli przejście od „surowych danych” do znaczącej, interpretowalnej reprezentacji cyfrowego środowiska. Rozprawa nie ogranicza się więc do pytania „czy to działa”, lecz bada „dlaczego działa”, „w jakich warunkach działa najlepiej” oraz „jakie są granice skalowalności i praktycznego zastosowania” takiego podejścia, budując naukowe podstawy dla rozwoju inteligentnych budynków i cyfrowych bliźniaków opartych na automatycznej percepcji środowiska.

Struktura pracy jak i rozkład treści są w mojej ocenie poprawne.

Rozdział pierwszy (Roz. 1) wprowadza czytelnika w problematykę rozprawy, przedstawiając jej kontekst, motywacje biznesowe i naukowe oraz uzasadnienie podjęcia tematu badawczego. Zawiera on również definicję celów pracy, sformułowanie pytań badawczych i hipotez oraz ogólną koncepcję proponowanego rozwiązania hybrydowego.

Rozdział drugi koncentruje się na analizie literatury, badań rynku oraz identyfikacji potrzeb użytkowników końcowych. Tworzy on teoretyczne i praktyczne podstawy pracy poprzez zestawienie stanu wiedzy naukowej z realnymi oczekiwaniami rynku i użytkowników platform cyfrowych bliźniaków.

Rozdział trzeci poświęcony jest systemom pozycjonowania radiowego, w tym estymacji dystansu i lokalizacji przestrzennej z wykorzystaniem technologii BLE, UWB oraz protokołu Matter. Przedstawiono w nim zarówno podstawy teoretyczne, jak i autorskie eksperymenty, prototypy oraz ocenę przydatności tych technologii w środowisku inteligentnego budynku.

Rozdział czwarty dotyczy systemów wizyjnych opartych na uczeniu maszynowym, w szczególności detekcji obiektów, estymacji głębi i przetwarzania obrazów sferycznych. Zaprezentowano w nim badania nad skutecznością algorytmów YOLO, autorskie metody przetwarzania danych oraz prototyp systemu wizyjnego do lokalizacji obiektów w przestrzeni.

Rozdział piąty stanowi rdzeń pracy i opisuje syntezę systemów radiowych i wizyjnych w jeden system fuzyjny. Przedstawiono w nim hybrydową metodę rozpoznawania i pozycjonowania obiektów, jej implementację w środowisku eksperymentalnym oraz wyniki kompleksowych badań skuteczności.

Rozdział szósty zawiera podsumowanie rozprawy, weryfikację hipotez badawczych oraz omówienie uzyskanych rezultatów. Rozdział ten przedstawia również aspekty wdrożeniowe projektu, kierunki dalszego rozwoju oraz naukowy dorobek autora związany z tematyką pracy.

Na szczególną uwagę zasługuje interdyscyplinarność pracy. Oprócz dyscypliny wiodącej i popularnej obecnie tematyki związanej z gwałtownym rozwojem sztucznej inteligencji i jej metod, mamy tu do czynienia z bardzo zaawansowaną elektrotechniką. W podejściu tym widać bez wątpienia doświadczenie i profesjonalizm autora.

Najważniejsze osiągnięcia rozprawy

Jednym z kluczowych osiągnięć rozprawy jest identyfikacja i wypełnienie luki badawczo-przemysłowej pomiędzy zaawansowanymi, lecz kosztownymi i trudno dostępnymi rozwiązaniami komercyjnymi a realnymi potrzebami użytkowników

końcowych systemów cyfrowych bliźniaków. Autor opracował koncepcję oraz kompletną realizację hybrydowego systemu wizyjno-radiowego, który umożliwia automatyczne rozpoznawanie i pozycjonowanie obiektów w typowym środowisku domowym przy wykorzystaniu powszechnie dostępnych komponentów sprzętowych. Osiągnięciem pracy jest nie tylko sama integracja technologii wizyjnych i radiowych, lecz także zaprojektowanie spójnej metody postępowania obejmującej digitalizację przestrzeni, konstrukcję dedykowanych urządzeń lokalizacyjnych, wykorzystanie cyfrowego modelu środowiska w projektowaniu eksperymentów oraz przeprowadzenie kompleksowych testów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych wdrożeń przemysłowych. W efekcie powstało rozwiązanie, które umożliwia przejście od surowych danych przestrzennych do semantycznie wypełnionego, funkcjonalnego cyfrowego bliźniaka, eliminując konieczność ręcznej, żmudnej identyfikacji i lokalizacji obiektów przez użytkownika.

Drugim istotnym osiągnięciem rozprawy jest eksperymentalne wykazanie, że proces nadawania semantycznego znaczenia komponentom cyfrowego modelu nieruchomości może zostać w dużym stopniu zautomatyzowany w warunkach rzeczywistego środowiska domowego. Autor udowodnił, że zaproponowany system pozwala znacząco ograniczyć udział pracy manualnej użytkownika w konfiguracji cyfrowego bliźniaka, zarówno poprzez automatyczną detekcję i lokalizację obiektów, jak i możliwość elastycznego wdrażania rozwiązań półautomatycznych, dostosowanych do możliwości technicznych i ekonomicznych odbiorców. Kluczowym osiągnięciem jest także praktyczna użyteczność uzyskanych wyników – precyzja lokalizacji umożliwia realne odnajdywanie obiektów w przestrzeni fizycznej, a integracja systemu z modelem cyfrowym pozwala na jego funkcjonalne wykorzystanie, a nie jedynie wizualizację. Jednocześnie rozprawa wnosi istotny wkład poznawczy, pokazując ograniczenia obecnych metod trenowania na danych syntetycznych oraz wskazując na konieczność dalszego rozwoju w obszarze generacji danych, ochrony prywatności i kosztów przygotowania zbiorów treningowych, co wyznacza konkretne kierunki przyszłych badań.

Trzecim zasadniczym osiągnięciem rozprawy jest bogaty i wielowymiarowy wkład autorski, obejmujący zarówno nowe metody, algorytmy, jak i usystematyzowane wyniki poznawcze o charakterze aplikacyjnym i teoretycznym. Autor zaproponował kompletną metodę automatyzacji nadawania semantycznego znaczenia surowym modelom cyfrowym nieruchomości poprzez hybrydowe połączenie analizy wizyjnej i pozycjonowania radiowego, tworząc spójny system lokalizacji i identyfikacji obiektów. Oryginalność pracy przejawia się w opracowaniu komplementarnych algorytmów lokalizacji – zarówno ogólnego pozycjonowania radiowego opartego na BLE, umożliwiającego identyfikację pomieszczeń, jak i precyzyjnego pozycjonowania z wykorzystaniem UWB i trilateracji, pozwalającego na wyznaczanie współrzędnych 3D w układzie odniesienia modelu cyfrowego.

Istotnym wkładem naukowym jest również autorski algorytm pozycjonowania wizyjnego, który integruje detekcję obiektów, estymację głębi oraz przekształcenia sferyczne w celu określania położenia obiektów we względnych układzie odniesienia kamery, a także algorytm optymalnego doboru południka rozcięcia w procesie rzutowania obrazów sferycznych na panoramy ERP. Rozprawa

wnosi także ważne rezultaty poznawcze w obszarze danych uczących, empirycznie wykazując ograniczoną przydatność w pełni syntetycznych zbiorów generowanych przez sieci generatywne jako substytutu danych rzeczywistych. Uzupełnieniem tych osiągnięć są rozbudowane, autorskie zbiory panoramicznych danych obrazowych, taksonomie porządkujące wiedzę z zakresu danych wejściowych, metod ich przetwarzania i realizowanych zadań, a także wyniki analiz technologicznych i rynkowych (BLE, UWB, Matter, SWOT, konkurencja), które nadają pracy charakter kompleksowy, łączący nowość naukową z realną użytecznością wdrożeniową.

W ramach rozprawy potwierdzono główną hipotezę, że zastosowanie hybrydowego systemu wizyjno-radiowego umożliwi automatyzację procesu nadawania semantycznego znaczenia komponentom cyfrowego modelu inteligentnego środowiska domowego. Eksperymenty przeprowadzone w dwupokojowym mieszkaniu z kuchnią i łazienką wykazały, że 62% wszystkich obiektów zostało wykrytych przynajmniej raz, a ponad 55% było zawsze klasyfikowanych poprawnie; jednocześnie ich lokalizacja w przestrzeni 3D umożliwiała odnalezienie większości obiektów w promieniu poniżej jednego metra, co potwierdziło praktyczną użyteczność opracowanego systemu.

Pierwsza hipoteza dodatkowa, dotycząca wykorzystania cyfrowego modelu środowiska do radiowej estymacji odległości pomiędzy punktami, została zweryfikowana dzięki eksperymentom z systemem UWB i BLE; maksymalna różnica w stosunku do pomiarów manualnych wyniosła zaledwie 5 cm (około 3%), co potwierdza wysoką precyzję cyfrowego modelu jako podstawy dla radiowego pozycjonowania.

Druga hipoteza dodatkowa, zakładająca, że przetwarzanie wstępne zbiorów zdjęć poprzez optymalny dobór południka rozcięcia sfery poprawia efektywność detektora obiektów, również znalazła potwierdzenie w testach eksperymentalnych. Zastosowanie autorskiego algorytmu AutoMin zwiększyło skuteczność wykrywania w większości konfiguracji, a różnica wskaźnika mAP między najlepszym a najgorszym scenariuszem wyniosła 8 punktów procentowych, podkreślając znaczenie przetwarzania wstępnego danych dla działania systemu w środowisku domowym.

Aspekt wdrożeniowy rozprawy przejawia się w pełnym wykorzystaniu opracowanych rozwiązań w produktach przemysłowych partnera doktoratu, przede wszystkim w platformie chmurowej SIM-ON do zarządzania inteligentną przestrzenią domową. Wdrożona została dostosowana wersja hybrydowej metody rozpoznawania i pozycjonowania komponentów cyfrowego bliźniaka, z interaktywnym panelem umożliwiającym automatyczną detekcję obiektów i ich lokalizację w modelu 3D, przy czym system działa również w pełni w oparciu o zdigitalizowaną nieruchomość bez konieczności posiadania komponentów radiowych. Dodatkowo prace nad doktoratem pozwoliły firmie Simlab zbudować własny, uniwersalny schemat postępowania przy tworzeniu i wdrażaniu rozwiązań bazujących na sztucznej inteligencji, obejmujący cały cykl życia produktu – od identyfikacji potrzeb i analizy konkurencji, przez gromadzenie danych i tworzenie prototypów, aż po utrzymanie i rozwój produktu. W efekcie firma zyskała nowe kompetencje w zakresie AI oraz systematyzację procesów R&D, co zwiększyło

sza efektywność przyszłych projektów i pozwala na skuteczniejsze wdrażanie innowacyjnych funkcjonalności w produktach.

Pytania i uwagi krytyczne

Niewdzięcznym obowiązkiem recenzenta jest za to wytknięcie spostrzeżonych uchybień i uwag technicznych.

Podczas lektury rozprawy nie zauważyłem uchybień, które miałyby jakiś szczególnie istotny wpływ na jej jednoznacznie pozytywną ocenę.

Natomiast pojawiło się u mnie kilka pytań, do których chciałbym by doktorant ustosunkował się w przypadku dopuszczenia do obrony. Pytania te wynikają z ciekawości, nie zaś z zastrzeżeń do treści:

1. W jaki sposób hybrydowy system wizyjno-radiowy radzi sobie z identyfikacją obiektów w środowiskach o większej liczbie pomieszczeń lub niestandardowym układzie mieszkania niż testowe dwupokojowe mieszkanie?
2. Czy przeprowadzone badania nad skutecznością syntetycznych zbiorów danych sugerują konkretne kierunki dalszego rozwoju metod generatywnych, które mogłyby częściowo zastąpić zdjęcia rzeczywiste?
3. Jakie ograniczenia i wyzwania związane z implementacją systemu w warunkach rzeczywistych, np. w prywatnych domach klientów, autor przewiduje w kontekście urządzeń IoT i dostępnych technologii radiowych?
4. W jaki sposób opracowany schemat postępowania w procesie R&D i wdrożeń AI może być adaptowany do innych projektów firmy, niezwiązanych bezpośrednio z cyfrowymi bliźniakami?
5. Czy autor rozważa możliwość dalszej automatyzacji procesu konfiguracji cyfrowego bliźniaka, np. poprzez integrację detekcji obiektów z innymi źródłami danych lub zaawansowanymi algorytmami śledzenia?
6. Wszystkie powyższe pytania i uwagi mają charakter pytań z natury dociekliwych i nie zmieniają mojego jednoznacznie pozytywnego wrażenia z lektury pracy doktorskiej pani mgr. inż. Sebastiana Pokucińskiego.

Rekomendacja

Moja ocena rozprawy doktorskiej p. mgr. inż. Sebastiana Pokucińskiego jest zdecydowanie pozytywna.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Sebastiana Pokucińskiego spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668), dlatego zwracam się do Wysokiej Rady Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej o dopuszczenie mgr. inż. Sebastiana Pokucińskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

W związku z zademonstrowanym przez autora w przedłożonej do recenzji rozprawy znakomitym aparatem programistycznym i warsztatem elektronicznym, którym sprawnie posługuje się w realizacji interdyscyplinarnego projektu oraz wysokopunktowanymi artykułami (200 pkt. i 140 pkt.) wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.

Lublin, 29 stycznia 2026 r.