

Warszawa, 03.03.2026

dr hab. inż. Tomasz Gambin, prof. uczelni
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska
ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa
tomasz.gambin@pw.edu.pl

**Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana mgr. inż. Sebastiana Pokucińskiego
pt. "Hybrydowa wizyjno-radiowa metoda wspomagania rozpoznawania i
pozycjonowania komponentów inteligentnego środowiska domowego oparta
na uczeniu maszynowym"**

Tematyka i układ pracy

Recenzowana rozprawa doktorska osadzona jest w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja. Jej problematyka charakteryzuje się dużym znaczeniem naukowym i wdrożeniowym. Przedmiotem pracy jest rozwój i walidacja hybrydowego, wizyjno-radiowego systemu wspomagającego cyfryzację, pozycjonowanie i klasyfikację elementów środowiska domowego. Podejmuje ona tym samym próbę zniwelowania istotnej luki obecnej podczas tworzenia reprezentacji wirtualnych w ramach tzw. cyfrowych bliźniaków nieruchomości.

Układ pracy jest przejrzysty i nie budzi zastrzeżeń. Rozprawa składa się z 6 spójnych logicznie rozdziałów. W rozdziale pierwszym został nakreślony kontekst problemu, motywacje badawcze oraz główne hipotezy. W rozdziale drugim zaprezentowano rzetelny, systematyczny przegląd literatury wraz z dogłębną analizą rynku. Część trzecia i czwarta to szczegółowe omówienie odpowiednio podsystemu pozycjonowania radiowego (wykorzystującego technologie BLE, UWB) i podsystemu wizyjnego (działającego z wykorzystaniem głębokich sieci neuronowych oraz analizy obrazów sferycznych). W rozdziale piątym Doktorant dokonał docelowej syntezy tych mechanizmów w hybrydowy system fuzyjny i omówił eksperymenty końcowe. Rozdział szósty zamyka pracę podsumowaniem wyników oraz weryfikacją hipotez.

Cel rozprawy

Celem nadrzędnym tej rozprawy jest zwiększenie stopnia automatyzacji procesu konfiguracji cyfrowych bliźniaków środowisk domowych i komercyjnych. Mgr inż. Sebastian Pokuciński trafnie zidentyfikował barierę wejścia w zaawansowanych systemach zarządzania dokumentacją elektroniczną budynku, polegającą na długotrwałym, manualnym etykietowaniu poszczególnych obiektów w trójwymiarowych skanach przestrzeni. Zbudowany przez Doktoranta hybrydowy system wizyjno-radiowy redukuje konieczność manualnej pracy użytkownika poprzez zautomatyzowanie procesu rozpoznawania obiektów i określenia ich pozycji.

Doktorant sformułował jasno określoną hipotezę główną, wykazującą, że fuzja owych podsystemów usprawni odzyskiwanie semantyki zasobów. Zdefiniowano również dwie hipotezy dodatkowe: na temat wiarygodności estymacji dystansu w cyfrowym modelu oraz możliwości poprawy jakości działania detektora i klasyfikatora obiektów poprzez odpowiedni dobór południka rozcięcia sfery obrazów sferycznych.

Wszystkie powyższe założenia naukowe służą realizacji celu przemysłowego rozprawy (osadzonej w formule doktoratu wdrożeniowego), jakim jest usprawnienie platformy SIM-ON

rozwijanej przez firmę Simlab, czyli kompleksowego środowiska przeznaczonego do przestrzennego zarządzania nieruchomościami.

Ocena piśmiennictwa

Wykonany przez Doktoranta przegląd bieżącego stanu wiedzy jest kompleksowy. Analiza literatury oparta została na formalnej, rygorystycznej metodyce systematycznego przeglądu literatury (SLR). Przegląd zaowocował powstaniem trzech unikalnych taksonomii: podział pod kątem typów danych wejściowych, kategorii przetwarzania oraz realizowanych zadań.

W sposób rzetelny Doktorant zaprezentował otoczenie biznesowe i odniósł się do niego. Na szczególne uznanie zasługuje przeprowadzona przez niego analiza SWOT (diagnozująca mocne i słabe strony, a także szanse oraz zagrożenia) dla rozwijanej przez firmę Simlab platformy SIM-ON. Stanowi ona znakomite narzędzie, które pozwoliło Doktorantowi nie tylko na krytyczną ewaluację obecnych ograniczeń technologicznych, ale również na wykazanie potencjału komercyjnego i wdrożeniowego proponowanych rozwiązań.

Doktorant udowodnił, że zna zarówno historyczny fundament wizji komputerowej, jak i najnowocześniejsze, ugruntowane protokoły dla obszaru Internet of Things (IoT). Zestawienia te świadczą o wielkiej dojrzałości naukowej oraz znakomitej orientacji w badanej dziedzinie.

Ocena zastosowanych metod badawczych

Dobór zastosowanych przez Doktoranta metod stoi na wysokim poziomie inżynierskim i naukowym. Podsystem radiowy został oparty na samodzielnie skonstruowanych i zaprogramowanych węzłach z mikrokontrolerami ESP32 dla technologii UWB oraz BLE. Tym samym Doktorant uniknął stosowania zamkniętych rozwiązań, samodzielnie implementując również metody trójwymiarowej trilateracji pozwalającej na precyzyjną lokalizację obiektów.

W warstwie wizyjnej Doktorant podjął się oceny niezawodności detektorów typu YOLO (różnych generacji i modeli od Nano do Extra-Large) na obrazach formatu ERP (panoram równokątnych). Zastosowanie nowego, oryginalnego algorytmu doboru "południka rozcięcia" sfery stanowi w pełni autorską metodę minimalizującą liczbę rozcinanych obiektów, co pozwala na poprawę ich detekcji przez algorytmy YOLO. W toku prac posłużono się bogatymi, autorskimi bazami zdjęć.

Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Opis wyników badań stanowi zasadniczą, obszerną i bardzo rzetelnie udokumentowaną część rozprawy. Został on logicznie podzielony na sekwencyjną weryfikację poszczególnych komponentów (rozdziały trzeci i czwarty), która ostatecznie prowadzi do ewaluacji kompletnego systemu fuzyjnego (rozdział piąty). Taki układ jest niezwykle przejrzysty i ułatwia śledzenie toku rozumowania Doktoranta.

W rozdziale trzecim przedstawiono dogłębną analizę działania podsystemu radiowego. Wykorzystując starannie przygotowane środowisko testowe, zintegrowane w postaci cyfrowego modelu, Doktorant zgromadził obszerny materiał badawczy obejmujący 264 serie pomiarowe. Badania precyzji pozycjonowania dostarczyły jednoznacznych wniosków. Doktorant wykazał, że podsystem oparty na technologii UWB osiągnął średni błąd bezwzględny estymacji dystansu na bardzo dobrym poziomie rzędu kilkunastu centymetrów, przy błędzie względnym nieprzekraczającym 7%. W kontraście do tego, dla technologii BLE błąd ten wahał się od 2 do ponad 5 metrów przy bardzo dużym odchyleniu standardowym i błędach względnych przekraczających 300%. Autor wyciąga z tego faktu trafny inżyniersko wniosek, że wysoce

niestabilny protokół BLE doskonale nadaje się jedynie do zgrubnego pozycjonowania (identyfikacji na poziomie pomieszczenia), natomiast technologia UWB sprawdza się w zadaniu precyzyjnej lokalizacji w przestrzeni trójwymiarowej. Bardzo cennym elementem tej analizy jest również weryfikacja stabilności pomiędzy różnymi egzemplarzami sprzętu pomiarowego.

Rozdział czwarty koncentruje się na walidacji modułu wizyjnego, testowanego w oparciu o detektory z rodziny YOLO operujące na obrazach sferycznych w formacie panoramy równokątnej (ERP). Znaczącym osiągnięciem tej sekcji jest ewaluacja autorskiego algorytmu doboru południka rozcięcia sfery. Zgromadzone wyniki jednoznacznie udowadniają poprawę skuteczności detekcji (mierzonej za pomocą metryki mAP) poprzez wyeliminowanie efektu nienaturalnego "rozcinania" obiektów znajdujących się na krawędziach rzutowanej panoramy.

Istotnym elementem modułu wizyjnego, omówionym w tej części pracy, jest problematyka metrycznej estymacji głębi. Doktorant z sukcesem zaimplementował w potoku przetwarzania nowoczesny model szacowania głębokości Depth Anything V2. W toku badań kalibracyjnych Doktorant wykazał, że kluczowym zabiegiem optymalizacyjnym w zamkniętych środowiskach jest ustawienie parametru `max_depth` na średnią szerokość pomieszczenia.

Dodatkowo Doktorant podjął ambitną próbę zastąpienia danych z rzeczywistego środowiska domowego obrazami wygenerowanymi całkowicie syntetycznie z wykorzystaniem metod generatywnej sztucznej inteligencji. Autor wykazał, że detektory typu YOLO trenowane na syntetycznie wygenerowanych obrazach charakteryzują się znacząco niższą jakością od modeli trenowanych na danych rzeczywistych.

Choć opis uzyskanych wyników w obszarze analizy obrazów jest wyczerpujący, w mojej opinii ta część zyskałaby na wartości, gdyby wnioski dotyczące różnic w skuteczności detektorów poparto odpowiednimi testami istotności statystycznej. Zabrakło również głębszej analizy przypadków brzegowych, tzn. sytuacji, w których sieć systematycznie zwracała fałszywie negatywne detekcje (np. dla obiektów częściowo przysłoniętych lub niewyraźnych).

Kluczowa z punktu widzenia wdrożeniowego dyskusja wyników została zaprezentowana w rozdziale piątym, gdzie dokonano syntezy technologii radiowej i wizyjnej. Przeprowadzone na docelowym systemie fuzyjnym eksperymenty wykazały, że wypracowana metoda zdołała automatycznie wykryć 62% wszystkich komponentów wyposażenia testowego środowiska. Co więcej, aż 95% z tych zidentyfikowanych obiektów zostało poprawnie zlokalizowanych przestrzennie ze średnią precyzją wynoszącą 71,8 cm. Jest to wynik niezwykle obiecujący, który w sposób bezpośredni potwierdza główną hipotezę pracy doktorskiej.

Podsumowując, prezentacja i dyskusja wyników są dogłębne, co pozwala zrozumieć zarówno możliwości, jak i ograniczenia zbudowanej architektury.

Słabe strony rozprawy

Głównym ograniczeniem pracy w wymiarze praktycznym jest skupienie kompleksowych badań ostatecznej platformy fuzyjnej na jednym referencyjnym środowisku testowym (dwupokojowym mieszkaniu o określonej, zamkniętej strukturze). Rozszerzenie bazy testowej o przestrzenie biurowe typu open-space czy hale logistyczne z pewnością dostarczyłoby szerszego rozeznania na temat granic użyteczności estymacji sygnałów radiowych względem zakłóceń generowanych przez infrastrukturę budynku.

W części dotyczącej uzyskanych wyników zauważalne są pewne nieścisłości dotyczące doboru i ewaluacji modeli detekcyjnych. W rozdziale 4 Doktorant w sposób wyczerpujący ewaluuje

architektury YOLO w wersjach v5 oraz v8. Jednak w końcowej fazie pracy, podczas testowania docelowego systemu fuzyjnego (rozdział 5), pojawiają się odniesienia do zastosowania modelu YOLO v11. Wprowadzenie nowej wersji architektury na etapie testów końcowych, bez uprzedniego sprawdzenia jej metryk w rozdziale poświęconym samej wizji komputerowej, utrudnia czytelnikowi zrozumienie podjętych przez Doktoranta decyzji projektowych.

Powyższe uwagi mają charakter polemiczny i w żadnym stopniu nie umniejszają ogromu włożonej pracy oraz ogólnej, bardzo wysokiej oceny merytorycznej zrealizowanego systemu.

Zastosowania praktyczne

Jedną z najważniejszych cech rozprawy jest jej ukierunkowanie na zastosowania praktyczne. Ścisła współpraca z firmą Simlab doprowadziła do opracowania modułu, który wprost podnosi skalowalność oraz automatyzację środowiska SIM-ON. Przedłożone w pracy wyniki pozwalają zmniejszyć nakład pracy użytkownika końcowego systemu poprzez automatyzację detekcji, klasyfikacji i określenia położenia obiektów w budynku.

Ocena czy rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego?

Prezentowaną rozprawę uważam za oryginalne i wyjątkowo udane rozwiązanie problemu badawczego. Doktorant osiągnął użyteczne rozwiązanie dzięki połączeniu wyników z dwóch obszarów badawczych, tj. zaawansowanych metod z obszaru wizji komputerowej oraz wykorzystania metod radiowych do precyzyjnej lokalizacji wewnątrz budynku. Pionierskie jest również użycie modeli wymiany wiadomości dla lokalizacji po ujednoliconym nowo powstającym standardzie IoT.

Ocena czy rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

Proces planowania kolejnych faz z rygorystycznym rzutowaniem wymagań komercyjnych na hipotezy naukowe stanowi demonstrację umiejętności projektowania badań przez Doktoranta. W swoich badaniach wykorzystuje on metody i narzędzia m.in. z obszarów przetwarzania sygnałów, algebry i analizy obrazów. Umiejętne użycie i połączenie tych metod dowodzi ugruntowanej, głębokiej wiedzy teoretycznej i biegłości warsztatowej Doktoranta. O bezsprzecznych walorach naukowych świadczy także fakt opublikowania wyników pracy m.in. w czasopiśmie Applied Sciences czy materiałach konferencyjnych KES i DSAA.

Wniosek końcowy

Wystawiam pozytywną ocenę rozprawie doktorskiej mgr. inż. Sebastiana Pokucińskiego pt. „Hybrydowa wizyjno-radiowa metoda wspomagania rozpoznawania i pozycjonowania komponentów inteligentnego środowiska domowego oparta na uczeniu maszynowym”. Stwierdzam, że praca w mojej opinii spełnia z wyraźnym nadmiarem wszystkie wymagania oraz warunki nakładane przez ustawę i zasługuje na wyróżnienie. Wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do obrony pracy w celu uzyskania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.



Tomasz Gambin