

dr hab. inż. Remigiusz Wiśniewski, prof. UZ
Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych
Uniwersytet Zielonogórski

Zielona Góra, 23.10.2023

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Wachowicz

Monitorowanie rodzin pszczelich z wykorzystaniem urządzeń IoT w celu wykrywania sytuacji zagrażających życiu pszczół

(podstawą opracowania recenzji jest uchwała nr 89/2023 Rady Dyscypliny Informatyka
Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Śląskiej z dnia 12 września 2023r.)

1. Przedstawienie informacji o ocenianej rozprawie doktorskiej

Praca doktorska Pani mgr. inż. Anny Wachowicz koncentruje się wokół zagadnień związanych z zastosowaniem Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things, IoT*) do monitorowania rodzin pszczelich. W szczególności, doktorantka skupiła się na detekcji potencjalnych sytuacji (np. dręcza pszczelego), które mogą zagrażać życiu pszczół. W tym celu opracowany został model systemu IoT, który następnie zaimplementowano z zastosowaniem mikrokomputera. Zaproponowane rozwiązanie wykorzystuje techniki sieci neuronowych, które wspomagają proces wykrywania dręcza pszczelego. Doktorantka podjęła się ambitnego zadania opracowania algorytmu adaptacyjnego, który umożliwi przetwarzanie analizowanego obrazu w czasie rzeczywistym. Należy również podkreślić wyjątkowo wnikliwą analizę problemu (choroba wywołana poprzez dręcze pszczele) oraz bardzo rozległą wiedzę Autorki z zakresu pszczelarstwa, co – moim zdaniem – w dużym stopniu przyczyniło się do praktycznej realizacji oraz walidacji opracowanego rozwiązania.

Uważam, że temat recenzowanej rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Anny Wachowicz jest aktualny, interesujący i ważny technicznie. Teza oraz cel pracy zostały sformułowane precyzyjnie, a stopień złożoności, znaczenie naukowe i zakres zadań odpowiadają ustawowym i zwyczajowym wymogom stawianym rozprawie doktorskiej.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa stanowi tematycznie spójną całość. Składa się z 6 rozdziałów oraz bibliografii. Zasadniczą część rozprawy stanowi rozdział 4, w którym przedstawiono opracowane rozwiązanie, oraz rozdział 5, zawierający omówienie wyników eksperymentalnych.

Rozdział 1 uzasadnia celowość podjęcia tematu, formułuje cel, tezę pracy oraz pięć wymagań pomocniczych dotyczących opracowanego rozwiązania. Należy podkreślić, że zarówno cel, jak i tezę oraz wymagania pomocnicze sformułowano precyzyjnie. Czytelnik nie ma wątpliwości, co Autorka chce uzyskać i jakie techniki zastosować.

Rozdział 2 przedstawia aktualny stan wiedzy, dotyczący zarówno pszczelarstwa, jak i systemów IoT. W pierwszej części rozdziału Autorka wnikliwie prezentuje rolę pszczół w przyrodzie, podkreślając możliwe zagrożenia. Szczegółowo omówiono chorobę wywoływaną przez dręcz pszczeli, wskazano jak istotne jest jego wykrycie na wczesnym etapie w celu ochrony przed rozprzestrzenianiem pośród rodzin pszczelich. Druga część rozdziału koncentruje się wokół zagadnień związanych z systemami IoT oraz mechanizmami przetwarzania informacji. Przedstawiono tzw. „czwartą rewolucję przemysłową”, omówiono systemy cyber-fizyczne, zaprezentowano również mechanizmy związane ze sztuczną inteligencją oraz uczeniem maszynowym.

Rozdział 3 przedstawia aktualny stan wiedzy związany z tematyką rozprawy. Doktorantka dokonała przeglądu literatury światowej związanej z monitorowaniem rodzin pszczelich. Analiza istniejącego stanu wiedzy została przeprowadzona bardzo dokładnie i starannie. Należy również podkreślić sposób prezentowania zagadnień, który jest przystępny i zrozumiały dla osób, które nie zajmują się na co dzień tematyką pszczelarstwa.

Rozdział 4 prezentuje opracowane i zrealizowane rozwiązanie umożliwiające monitorowanie rodzin pszczelich z zastosowaniem systemu IoT. Zaprezentowano architekturę systemu, a także przedstawiono opracowane oraz zastosowane algorytmy umożliwiające detekcję dręcza pszczelego. Jest to niewątpliwie najistotniejszy i najbardziej wartościowy rozdział pracy. Na szczególne podkreślenie zasługuje precyzyjne i jednocześnie zrozumiałe określenie parametrów oceny detekcji obiektów pszczół i dręcza pszczelego (m.in. dokładność, precyzja, czułość), stanowiących podstawę przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Co istotne, opracowane, autorskie rozwiązania zaimplementowano w postaci rzeczywistego systemu IoT.

Wyniki badań eksperymentalnych zaprezentowano w rozdziale 5. Najpierw omówiono wykorzystane dane oraz sposób przeprowadzenia eksperymentów. Następnie, Doktorantka szczegółowo przedstawiła uzyskane wyniki, wnikliwie je analizując. Badania eksperymentalne przeprowadzono bardzo rzetelnie, dlatego w mojej opinii stanowią one istotne potwierdzenie słuszności koncepcji zaproponowanych w rozprawie.

Rozdział 6 podsumowuje rozprawę, syntetycznie prezentując opracowane rozwiązanie oraz uzyskane wyniki. W rozdziale zawarto również możliwe dalsze kierunki prac naukowo-badawczych związanych z dysertacją doktorską.

Za najważniejsze, oryginalne elementy rozprawy uważam:

- Opracowanie oraz realizacja autorskiego systemu IoT, umożliwiającego detekcję dręcza pszczelego.
- Opracowanie autorskiego algorytmu umożliwiającego wykrywanie sytuacji zagrażających życiu pszczół (*Algorytm 1*).
- Opracowanie autorskich algorytmów adaptacyjnego przetwarzania danych (*Algorytm 2* oraz *Algorytm 3*).

- Opracowanie autorskich technik naukowo-badawczych umożliwiających detekcję dręcza pszczelego (w tym m.in. *Algorytmu 4*).
- Zgromadzenie zbioru danych testowych oraz przeprowadzenie gruntownych badań eksperymentalnych.
- Wyjątkowo rzetelny przegląd istniejącego stanu wiedzy, zarówno z zakresu pszczelarstwa, jak i systemów IoT (pod kątem monitorowania rodzin pszczelich).

Podsumowując ten fragment recenzji stwierdzam, że założony cel pracy został osiągnięty.

Dodatkowo, w kontekście oceny merytorycznej chciałbym również wypunktować pozytywne aspekty pracy. Elementy te nie wiążą się bezpośrednio z wyżej wymienionymi osiągnięciami, niemniej w mojej opinii zasługują na uwypuklenie:

- bardzo dobrze i przystępnie przedstawiony aktualny stan wiedzy, który jest zrozumiały nawet dla osób niezaznajomionych z tematyką pracy (pszczelarstwo);
- bardzo dobrze sformułowane tytuły poszczególnych rozdziałów, które w znaczny sposób ułatwiają lekturę rozprawy (np. w celu odnalezienia potrzebnych informacji);
- wartościowe i przemyślane rysunki, które w sposób ciekawy ilustrują opisywane informacje (przykładowo rys. 7 przedstawiający historię monitorowania pszczoł);
- precyzyjne i zrozumiałe określenie parametrów oceny detekcji obiektów pszczoł i dręcza pszczelego (m.in. dokładność, precyzja, czułość), stanowiących podstawę przeprowadzonych badań eksperymentalnych;
- gruntowne i rzetelne badania eksperymentalne (rozdział 5).

3. Uwagi krytyczne, wątpliwości, pytania

Rozprawa doktorska ma również swoje słabe strony i pewne niedociągnięcia, które podzieliłem na dwie części, grupując je w postaci uwag krytycznych oraz uwag szczegółowych. Jednocześnie chciałbym wyraźnie zaznaczyć, że sekcja „uwagi krytyczne” ma charakter dyskusyjny i dotyczy moich pytań oraz wątpliwości, które pojawiły się w trakcie recenzji rozprawy.

1. Rozdział 4, *Algorytm 1*: mam sporo uwag/pytań odnośnie przedstawionego algorytmu:
 - przede wszystkim brakuje ogólnego opisu poszczególnych kroków algorytmu;
 - w algorytmie brakuje informacji, co jest jego wyjściem (wynikiem) działania;
 - jaka jest rola zmiennej wejściowej *czestotliwoscPowtorzenAA* w samym algorytmie? Ta zmienna nie jest w ogóle wykorzystywana w algorytmie, nie jest też wejściem do żadnej z podfunkcji/podprocedury;
 - jaką złożoność obliczeniową ma algorytm (jego kroki) i jaki ma to wpływ na funkcjonowanie systemu?

- w algorytmie brakuje informacji (kodu, pseudokodu?) użytych funkcji/procedur *WykonajAlgorytmAdaptacyjny()*, *WczytajObraz(f)*, itp.;
- linia zawierająca operację „*licznik++*” – brakuje średnika;

Poza tym od strony edycyjnej brakuje numeracji poszczególnych wierszy (co znacznie ułatwiłoby odniesienie się do prezentowanych operacji), a sam algorytm jest niewyraźny; zdecydowanie lepszym pomysłem byłaby wersja tekstowa zamiast rysunku (przy okazji: czy funkcja „*WyobrebniejObiektyPszczol()*” jest na pewno poprawnie zapisana - „*wyobrebniej*”)?

2. Rozdział 4, *Algorytm 2*: jest opisany lepiej niż poprzedni, jednakże i tu mam pytania: co oznacza zmienna (funkcja?) *len*? Czym jest *lp*? Czy algorytm na pewno jest zapisany poprawnie (chodzi o warunek *if* – wynika z niego, że *liczba Siatek* będzie wynosić 4 (jeśli *liczbaPszczol* ≤ *lp*), lub 1 - w przeciwnym wypadku)?
3. Rozdział 4, *Algorytm 3*: podobnie jak poprzednio:
 - zmienna *i* przechowuje wartości całkowite, więc nie może być inicjowana zbiorem pustym (podobnie zmienna *liczbaPszczol*);
 - dlaczego pierwsza pętla zapisana jest jako *while..do*, skoro wykonywany jest klasyczny *for*, czy nie wystarczy (używając notacji przedstawionej w doktoracie): *for i ← 0 to m do*?
 - jaka jest złożoność obliczeniowa algorytmu i jaki ma to wpływ na funkcjonowanie (czas obliczeń) systemu?
 - czy cztery ostatnie przypisania w algorytmie są na pewno poprawne? Z algorytmu wynika, że zmienna *okna_z* jest listą (operacja/funkcja „*append*”)?
4. Rozdział 5.1: do wytrenowania modelu umożliwiającego klasyfikację pszczoł na zdrowe i chore zastosowano transformacje obrazów:
 - obrót o 90°, zastosowany z prawdopodobieństwem 0.5,
 - odbicie lustrzane w pionie, zastosowane z prawdopodobieństwem 0.5,
 - odbicie lustrzane w poziomie, zastosowane z prawdopodobieństwem 0.5,
 - zmiana kontrastu obrazu, zastosowana z prawdopodobieństwem 0.2.

Tego typu zabieg (zwiększenie bazy modeli testowych) wydaje się być jak najbardziej zasadny, jednakże w rozprawie brakuje wyjaśnienia, dlaczego wykorzystano akurat tego typu transformacje i dlaczego zastosowano takie wskaźniki prawdopodobieństwa?
5. Strona 99: stwierdzenie: „Z wykresu przedstawionego na Rys. 34 można również zauważyć, że średni czas działania samego algorytmu wyznaczania okna zagęszczenia jest bardzo mały – wynosi od 14,1 do 31,2 ms, i rośnie wraz z liczbą przetwarzanych klatek” jest oczywiste i wynika ze złożoności obliczeniowej algorytmów. Natomiast brakuje powiązania uzyskanych wyników z analizą złożoności obliczeniowej opracowanych algorytmów (vide moje uwagi powyżej, zwłaszcza 1 oraz 3).

4. Uwagi szczegółowe

1. Od strony językowej praca została napisana poprawnie i starannie. Nie dostrzegłem poważniejszych błędów językowych, a nawet literówek. Drobnym mankamentem jest składnia zdań, które – moim zdaniem – są czasami zbyt rozbudowane i powodują powtórzenia.
2. Cel pracy jest określony precyzyjnie i zrozumiale, niemniej zdanie jest mocno rozbudowane (użyte dwa razy słowo „który”) – wydaje się, że można było te zdanie ułożyć nieco inaczej.
3. Algorytmy użyte w rozprawie (w odróżnieniu od rysunków i tabel, które w większości są niemal wzorcowe) są nieczytelne. Zdecydowanie lepszym (i naturalnym) pomysłem byłoby umieszczenie algorytmów w formie tekstowej zamiast wklejania rysunków w niskiej rozdzielczości.
4. Strona 4: „Modele detekcji pszczoł oraz ich klasyfikacji, użyte do...” -> „Modele detekcji pszczoł oraz ich klasyfikacji użyte do...” (bez przecinka).
5. Strona 17: brak konsekwencji w nazewnictwie angielskim; „*real-time capability*” jest napisane z małej litery, pozostałe określenia angielskie z wielkiej.
6. Strona 18: zdanie „Wprowadzenie dodatkowych zabezpieczeń, takich jak szyfrowanie przesyłanych informacji może wiązać się z większymi kosztami poszczególnych komponentów oraz regularnymi aktualizacjami sterowników” w kontekście *Przemysłu 4.0* jest moim zdaniem zbyt stanowcze, a wręcz mylące i wprowadzające czytelnika w błąd. Sam sens zdania jest oczywisty (tzn. dodatkowe zabezpieczenia wiążą się z kosztami), ale tego typu informacja przedstawiona w kontekście wad *Przemysłu 4.0* jest w mojej opinii nadużyciem. Jest wręcz przeciwnie: zwiększenie bezpieczeństwa systemu to zaleta, nie wada modernizacji danej technologii. Natomiast niewątpliwą „wadą” (choć tu chyba lepiej pasuje termin „ograniczenie”) *Przemysłu 4.0* jest niedobór specjalistów (strona 19) i z tym się w pełni zgadzam.
7. Strona 25: brak konsekwencji w wypunktowaniu: „uczenie z nadzorem”, „uczenie przez wzmacnianie” oraz „bez nadzoru”, „z częściowym nadzorem” (brak słowa „uczenie”).
8. Strona 27: zdanie „Zgodnie z jego założeniami, dane pobierane z czujników, zamiast być przesyłane i przetwarzane w chmurze, są poddawane analizie na urządzeniach zlokalizowanych na końcu (brzegu) sieci, „bliżej” czujników – najczęściej są to urządzenia, z którymi te czujniki są bezpośrednio połączone [64].” jest zbyt długie i przez to trudne do zrozumienia.
9. Strona 34: „Na przykład, w 2016 roku [80] zaproponowali rozwiązanie (...)” – kto zaproponował rozwiązanie?
10. Strona 58, rys. 14: słowo „Nvidia” jest podkreślone na czerwono (?).
11. Strona 58: coś jest nie tak ze sformułowaniem zdania „W ujęciu całościowym, system działa według Algorytm 1” – zdanie jest urwane i niepoprawne gramatycznie, poza tym pojawia się odstęp pionowy (na co najmniej kilka linii).

12. Strona 72: „Po zgromadzeniu odpowiednio dużej liczby klatek K (której wartość została opisana i uzasadniona w rozdziale 5.2), rozpoczyna się (...)” - w rozdziale 5.2 nie ma opisu i uzasadnienia „dużej liczby klatek” (parametru K).
13. Strona 73: „(...) które na dalszym etapie (...)” -> „(...) które w dalszym etapie (...)”.
14. Strona 80: „W tym celu, przy pomocy pszczelarzy, zebrane zostały znalezione w ulu (martwe) osobniki dręcza pszczelego, następnie naniesiono je na zdrowe pszczoły.” – z tego zdania wynika, że naniesiono [bezpośrednio] „osobniki dręcza pszczelego” „na zdrowe pszczoły” – jak rozumiem, chodzi tu o „naniesienie” graficzne obiektów pszczół (z zastosowaniem obrazu/obrazów)?
15. Strona 86: „(...) ciężko jest jednoznacznie określić (...)” -> „(...) trudno jest (...)”.
16. Strona 89: czy wartość procentowa „0,003%” jest na pewno poprawna? Jeśli testowanych obiektów było 1100, to 3 obiekty z tej wartości stanowi 0,27% (0,3%)?
17. Strona 96: ostatnie zdanie jest bardzo złożone (zawiera aż 9 przecinków) i trudne do zrozumienia, lepsze byłoby przeformułowanie i rozbicie np. na kilka zdań.
18. Strona 104/105: „Dla tego filmu przetwarzanie co 3 klatki filmu (...) pozwoli przetworzenie film w czasie poniżej 60 sekund.” - zdanie jest niepoprawne gramatycznie.
19. Strona 105: „Już dla pomijania co 10 klatki i zrównoleglenia wykonywanych operacji możliwe będzie przetworzenie filmu w czasie poniżej minuty” -> „...możliwe jest przetworzenie...” (skoro są to wnioski z wyników badań eksperymentalnych).

Należy jednoznacznie stwierdzić, że powyższe uwagi szczegółowe wyspecyfikowano z opiniodawczego obowiązku i nie obniżają one wartości merytorycznej rozprawy.

5. Ocena końcowa rozprawy

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anny Wachowicz stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i spełnia warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*. Autorskie osiągnięcia przedstawione w rozprawie wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, wobec czego wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Remigiusz Wisniewski