

dr hab. inż. Wiesław Wszolek, prof. uczelni
Akademia Górniczo Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Kraków, 17.10.2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska zatytułowana *Zastosowanie metody symulowanego genomu do modelowania komunikatów zwierząt w celu tajnej komunikacji podwodnej*. Autorem opiniowanej rozprawy jest mgr inż. **Krzysztof Władysław Zuber**, a jego promotorem był Pan **prof. dr hab. inż. Krzysztof Opieliński**.

Podstawy formalne opracowania recenzji:

Recenzję pracy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Władysława Zuberu opracowano podstawie zlecenia (umowy o dzieło nr 06.08/PRR/2024 na opracowanie recenzji) Prorektora ds. Nauki Politechniki Wrocławskiej.

Uwagi o wyborze tematyki pracy

Komunikacja w podwodnym środowisku akustycznym wykorzystująca sygnał akustyczny jako nośnik informacji jest szczególnie trudnym zadaniem. Wielu badaczy próbowało w rozmaity sposób utajniać te informacje, wykorzystując różnorakie techniki kodowania najczęściej w dziedzinie częstotliwości. Skuteczność komunikacji zależała od SNR, a jej duża wartość stwarzała duże prawdopodobieństwo wykrycia przesyłanej informacji. Tym zupełnie innym podejściem do zapewniania ukrytej komunikacji jest mimikra. Zamiast redukować wartość SNR transmisji do minimum, to chodzi o zaprojektowanie fali akustycznej,

która wydaje się występować naturalnie w podwodnym środowisku akustycznym. Zasadne są więc wysiłki służące do usprawnienia tego procesu.

Uwagi wstępne

Przedstawiona do oceny praca liczy 72 strony, ma klasyczny układ, a jej treść jest logicznie podzielona na 6 rozdziałów, wliczając w to Wprowadzenie i Podsumowanie oraz cztery załączniki. Pracę ładnie uzupełniają: Wykaz stosowanych symboli i oznaczeń, wykaz wykorzystywanych źródeł („Biografia”) obejmujący 33 pozycji literatury dobrze dobranych, streszczenia w języku polskim i w języku angielskim. W pracy zamieszczone są trzy tabele przedstawiające typy modeli stosowanych do modelowania komunikatów zwierzęcych, wartości symboli tworzących sekwencje i względne siły oddziaływania określone poprzez funkcję XOR na bitach, charakterystyczne typy cech gwizdów delfinów (charakterystyki identyfikacyjne), a także 25 rysunków przedstawiające wyniki badań zrealizowanych przez Doktoranta. Strukturę pracy oceniam jako bardzo dobrą.

Zagadnienie badawcze

Opiniowanie rozpraw doktorskich zwykle rozpoczyna się od oceny tezy naukowej, którą Doktorant chce udowodnić swoją rozprawą, wprowadzając w ten sposób nowy wynik do zasobów nauki. To oczekiwanie zostało spełnione na stronie 6, umożliwiło to recenzentowi ustalenie, do czego Autor zmierza, a także które fragmenty treści rozprawy zmierzają do określenia prawdziwości postawionej tezy. Doceniam także to, że Pan Mgr inż. Krzysztof Władysław Zuber wystarczająco klarownie przedstawił cel i zakres swoich badań. Na podstawie formalnie przedstawionej tezy rozprawy i zdecydowanie jasno wyartykułowany cel i sposób jego realizacji nie ulega wątpliwości, że zagadnienie badawcze, podjęte w opiniowanej rozprawie doktorskiej, pod względem znaczenia naukowego zaproponowanych badań i praktycznej przydatności ich wyników, odpowiada ustawowym i zwyczajowym oczekiwaniom stawianym procom doktorskim, które je w pełni akceptują.

Analiza źródeł literaturowych

Autor ocenianej rozprawy doktorskiej wykazał się dużą erudycją i umiejętnością łączenia wielu dziedzin nauki, niewątpliwie ma obszerną i nowoczesną wiedzę w obszarze problemowym, które są podstawą badań naukowych, które podjął w swoim doktoracie. Potwierdzenie tej szerokiej wiedzy zostało przedstawione w rozdziale pierwszym i drugim. W pierwszej kolejności przedyskutowane są te pozycje literaturowe dotyczące realizacji tajnej komunikacji podwodnej, zagadnień mimikry. W dalszej kolejności przedstawiono informacje zaczerpnięte z literatury dotyczące analizy sposobu komunikacji zwierząt podwodnych wykorzystujących złożone struktury dźwiękowe, które przekazują złożone informacje za pomocą skomplikowanych systemów kodowania sygnałów w jednostki, a także elementy interdyscyplinarnej dziedziny nauki określanej pojęciem bioinformatyki. Po przestudiowaniu tego materiału zawartego w początkowych rozdziałach rozprawy, mogę stwierdzić, że Doktorant ma wiedzę dotyczącą prac innych autorów zajmujących się problematyką podobną do tej, jaką realizuje własnymi badaniami. Potrafi także z tej literatury wyciągać właściwe wnioski, czerpiąc z niej inspiracje do własnych koncepcji naukowych i dalszych badań.

Analiza oryginalnej części rozprawy

Prezentując badania własne i ich wyniki mgr inż. Krzysztof Władysław Zuber, najpierw przedstawił metodę symulowanego genomu (w rozdziale 3) w jej podstawowym kształcie, a także zaproponował schemat działania własnej zmodyfikowanej metody, w której algorytm przetwarzania informacji bazuje na sposobie przetwarzania danych (metodzie sekwencjonowania) DNA. W tej metodzie Doktorant zaproponował uzależnić prawdopodobieństwo utworzenia wiązania między dwiema sekwencjami od wartości zawartych w nich symboli. Opis tej metodyki jest rzetelny i solidny, ale mam do tego rozdziału pewne zastrzeżenia edytorskiej natury (które przedstawione zostaną w końcowej części recenzji). Generalnie moja ocena tego rozdziału jest zdecydowanie pozytywna. Ocenę zawartości tego rozdziału rozpocząłem po zapoznaniu się z zawartością podrozdziałów 3.1 do 3.4, w których autor przedstawił własny algorytm zaproponowanej metody, ze szczególnym naciskiem na obliczanie

prawdopodobieństwa utworzenia wiązania między dwiema sekwencjami. Do obliczenia prawdopodobieństwa utworzenia wiązania, Doktorant zaproponował wykorzystanie własności alternatywy wykluczającej XOR, działającej na bitach wartości kolejnych symboli wchodzących w skład sekwencji. Działanie tej metody Pan mgr inż. Zuber przedstawił na przykładzie generowania gwizdów identyfikacyjnych delfinów oraz modelowania pieśni wielorybów (płetwala błękitnego), projektując algorytm genetyczny rekonstruujący i generujący sygnały emitowane przez delfiny, a także modyfikacje tych sygnałów np. występujące pod wpływem stresu. W podrozdziale 3.4 autor przedstawił przykład modelowania pieśni płetwala błękitnego w którym też potwierdził, że zaproponowaną metodą można symulować nie tylko proces zmian dźwięków (jednostek komunikatu) ale także jego strukturę. Podsumowując, w rozdziale 3 opiniowanej rozprawy przedstawił metodę która pozwala na modelowanie struktury zwierzęcej komunikacji dźwiękowej opartej na składni albo gramatyce za pomocą jednego ciągu znaków. Doktorant na tyle dokładnie opisał stosowane metody, że możliwe jest prowadzenie badań porównawczych przez inne osoby. Jest to warunek uzyskania naukowej wiarygodności. Generalnie moja ocena tego rozdziału jest zdecydowanie pozytywna.

Kluczowym dla ocenianej rozprawy doktorskiej jest też rozdział 4, w którym Doktorant przedstawił własną metodę ukrytej komunikacji podwodnej opartą na niskopoziomowej symulacji genetycznej i ewolucyjnym generowaniu składni. Jednym z najbardziej pomysłowych rozwiązań problemu niskiego prawdopodobieństwa wykrycia (LPD) ukrytej komunikacji podwodnej jest mimikra zwierzęca, w której ukryty sygnał jest zamaskowany jako komunikacja zwierzęca. Komunikacja akustyczna zwierząt, zwłaszcza gatunków z rozbudowanymi metodami komunikacji, posiada złożoną strukturę. Brak tej struktury w generowanym sygnale jest znakiem rozpoznawczym, że sygnał nie może być wiarygodnym przykładem prawdziwej komunikacji zwierzęcej, nawet jeśli składa się z wiarygodnych elementów (syllab).

Mając powyższe na uwadze doktorant zaproponował algorytm tworzenia gramatyki, generowania składni posiadającą strukturę niezbędną do skutecznej mimikry. Szczegółowo proponowaną metodę mgr inż. Zuber przedstawił w publikacji [9] „K. W. Zuber and K. Opieliński, Animal Mimicry in Covert Underwater Communication: Application of Syntax Generation and Simulated Genome Method, IEEE Xplore Digital Library, 2018.”, którą opracował bazując na pracy przedstawionej w publikacji

[17] (R. Ferrer i Cancho and R. V. Solé, "Least effort and the origins of scaling in human language," PNAS, pp. 788–791, 4 II 2003.). Usystematyzowany opis własnej metody generowania składni Doktorant potwierdził rzetelną analizą matematyczną, której wiarygodność została potwierdzona również w cytowanej publikacji [9]. Zagadnienia przedstawione w tym rozdziale bardzo doceniam.

Kolejnym ważnym elementem ocenianej jest rozdział 5. Zagadnienia które Pan mgr inż. Zuber „wziął na warsztat” w tym rozdziale, to była odpowiedź na pytanie, czy można modelować oddziaływanie nici symboli między sobą i między swoimi elementami, ale w przestrzeni innej niż zwykle opisywanej w fizyce przestrzeni euklidesowej, a dodatkowo przestrzeni opisanej za pomocą bitów. Doktorant słusznie zauważył, że w procesie modelowania oddziaływania nici symboli reprezentujących genom między sobą i między swoimi parametrami, potrzebna jest znajomość modelu przestrzeni w której wyliczamy te oddziaływania. Autor przedstawił ogólną postać modelu przestrzeni, w której funkcję jej współrzędnych uzależnił od parametru α (taka nazwa parametru podana jest w opiniowanej pracy). Przedstawiony model tej przestrzeni dla różnych parametrów α (za wyjątkiem $\alpha=2$) nie jest przestrzenią euklidesową. Doktorant przedstawił propozycje definiowania współrzędnych przestrzeni, by można w niej definiować metryki, wykorzystując metody analizy matematycznej w niej działające. Zastosowanie tej metody mgr inż. Zuber przedstawił na przykładzie przestrzeni trójwymiarowej we współrzędnych prostokątnych, cylindrycznych i sferycznych. W wymienionych współrzędnych wyznaczył także tensor metryczny, przedstawiony w postaci macierzowej, której elementy są funkcjami parametru α . Przykłady symulacji oddziaływań zrealizowane w przestrzeni zmodyfikowanej dla wybranych parametrów α , Doktorant pokazał na wybranych przykładach z elektrostatyki, mechaniki i mechaniki płynów. Na przykładzie symulacji rozkładu pola elektrostatycznego Doktorant przedstawił analizę wpływu modelu oddziaływania z różnymi parametrami α na metodę symulowanego genomu. Materiał zawarty w tym rozdziale jest ważnym wkładem naukowym Doktoranta, który bardzo doceniam.

Oczywiście najważniejszym elementem ocenianej rozprawy są Wnioski zawarte w rozdziale 6. Generalnie przyjęto w ocenach rozpraw doktorskich, że wnioski przedstawiane w rozdziale podsumowującym osiągnięcia w realizowanej pracy, są potwierdzeniem hipotez w niej zawartych. Niestety w opiniowanej rozprawie hipotezy pracy nie zostały w jawny sposób przedstawione. W efekcie czytelnik musi ponownie studiować rozdziały (1, 3, 4, np. *...zmodernizowana metoda generowania składni pozwala na podstawową mimikrę strukturalną..*) by te hipotezy odczytać. Przedstawione wnioski potwierdzają ich wykonanie.

Podsumowując stwierdzam, że cel pracy został osiągnięty. Dodatkowo Doktorant sformułował trzy wnioski, które także są warte szerokiego ogłoszenia

Uwagi redakcyjne

Rozprawa jest napisana poprawnie, ale w kilku miejscach zauważyłem drobne usterki redakcyjne, które mam obowiązek wskazać.

- Podpis na rysunku 2.2 (str. 12) „*Przebiegi częstotliwościowe ...* „. W nazewnictwie polskim najczęściej używamy sformułowań – spektrogram sygnału czy też widmo czasowo częstotliwościowe. Pomijając sprawy nazewnictwa (co jest też bardzo ważne, bo praca Pana Zuberera jest napisana po polsku i jest adresowana do czytelnika znającego polską terminologię naukową), będę uprzejmie prosił Doktoranta aby zechciał zinterpretować co w rzeczywistości te rysunki przedstawiają.
- Na stronie 16, autor nie informuje czytelnika o źródle pochodzenia wzoru 3.1, w domyśle jest to opracowanie własne autora. Podobna uwaga dotyczy także wzorów 4.12, 4.13. Takich przypadków jest więcej. Wymieniłem tylko te, co do których miałem wątpliwości.
- Przy opisie wzorów (str. 24) 4.1, 4.4, 4.5 autor używa sformułowania *częstotliwość występowania*, moim zdaniem lepiej by było użyć *prawdopodobieństwo występowania*. Bo jeżeli określamy częstotliwość „czegoś” to ta wartość powinna być zdeterminowana.

- Na stronie 25 Doktorant sformułował kawałek tekstu który cytuję *W zależności od użytej miary częstotliwości sylaby (λ jest parametrem względnej wagi wysiłku nadawcy i odbiorcy i przybiera wartość od 0 do 1)*. Ten fragment nie jest zdaniem dokończonym. Doktorant również nie określa jaka to jest miara. Będę uprzejmie prosił Doktoranta aby zechciał przedstawić myśl, jaką miał zamiar w tym zdaniu przekazać czytelnikowi.
- Na stronach od 26 do 29 Doktorant umieścił rysunki 4.1 do 4.4, nie określa także wg jakiego algorytmu te rysunki zostały wygenerowane. W podpisie tych rysunków istnieje sformułowanie *optymalizacja Ω'* . Autor nic nie wspomina (nie znalazłem tego w tekście rozprawy), jakie zastosował kryterium optymalizacji. Będę uprzejmie prosił Doktoranta aby zechciał omówić ten algorytm, a także podać kryterium optymalizacji Ω i Ω' (miary ogólnego wysiłku w komunikacji).
- Na stronie 34 Doktorant przedstawił operator gwiazdy Hodge'a (wzór 5.18), autor w tekście nie zdefiniował symboli w nim występujących. Utrudnia to czytelnikowi analizę przekształceń zrealizowanych w dalszej części rozprawy.
- Na stronach 51 do 53 autor zamieścił rysunki 5.5 do 5.8 przedstawiające rozkład potencjału pola elektrostatycznego na płaszczyźnie xy, przy czym każdy z nich jest wykonany w innej skali oznaczającej poziom potencjału. Byłoby dokładniej, gdyby autor wartości potencjału na każdym z rysunków przedstawił w jednej skali.

Ocena rozprawy

Przechodząc do finalnej oceny rozprawy stwierdzam, że (Biorąc powyższe pod uwagę) opiniowana rozprawa doktorska mgra. inż. Krzysztofa Zuberę „*Zastosowanie metody symulowanego genomu do modelowania komunikatów zwierząt w celu tajnej komunikacji podwodnej.*” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z art.187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”, Dziennik Ustaw z 2022.06.07. Wyliczając kolejno warunki ustawowe mogę stwierdzić co następuje:

1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej. **Spełnione.**

2. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne. **Spełnione.**
3. Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej. **Spełnione.**
4. Do rozprawy doktorskiej dołącza się streszczenie w języku angielskim, a do rozprawy doktorskiej przygotowanej w języku obcym również streszczenie w języku polskim. W przypadku gdy rozprawa doktorska nie jest pracą pisemną, dołącza się opis w językach polskim i angielskim. **Spełnione**

Biorąc po uwagę powyższe konstatacje wnioskuję do wysokiej Rady Dyscypliny Naukowej, Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej o **przyjęcie** rozprawy i dopuszczenie jej Autora, mgr inż. Krzysztofa Zuberę do jej publicznej obrony, a po jej pozytywnym zakończeniu będę głosował za nadaniem mu stopnia naukowego doktora.

