

Recenzja

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pana magistra inżyniera Michała Pielki zatytułowana: "*Nowatorska metoda optymalizacji transmisji danych dla ubieralnych systemów akwizycji ruchu*". Recenzja jest sporządzona na zlecenie p. dr. hab. Sebastiana Stacha, Dyrektora Instytutu Inżynierii Biomedycznej Wydziału Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Śląskiego, na podstawie uchwały Rady Naukowej Instytutu z dnia 18 września 2023 i przedstawione pismem z dnia 22 września 2023. Recenzowana rozprawa została napisana w 2023 roku pod kierownictwem panów prof. dr. hab. inż. Zygmunta Wróbla i dr. Pawła Janika.

1. Zawartość rozprawy

Przedstawiona rozprawa jest napisana w języku polskim i składa się z 8 rozdziałów, dodatku, spisu bibliograficznego, spisu rysunków i tabel zestawienia definicji i słownika skrótów oraz słownika symboli. W rozdziale pierwszym autor przedstawia cel i strukturę rozprawy, oraz formułuje tezy dowodzone przez badania opisywane w rozprawie. Rozdział drugi poświęcony jest technologiom sprzętowym stosowanym w systemach analizy ruchu. Autor dokonuje tutaj analizy stanu wiedzy i techniki w zakresie metodologii i sprzętu służącego do rejestracji i analizy ruchu człowieka w zastosowaniach naukowych, sportowych, diagnostycznych i rehabilitacyjnych. Autor omawia koncepcję architektury zredukowanej polegającej na wykorzystaniu mikroprocesora sterującego transmisją radiową sygnału także do jego konwersji na postać cyfrową, kondycjonowania, a nawet wstępnej interpretacji. Ta interpretacja jest następnie wykorzystana jako podstawa do modulacji częstotliwości transmisji sygnału, co jest zasadniczą nowością prezentowanej rozprawy. Autor omawia tu także sensory przyspieszenia, prędkości kątowej i pola magnetycznego zrealizowane w technologii mikroukładów elektromechanicznych. Rozdział trzeci poświęcony jest przeglądowi technologii i protokołów komunikacyjnych w szczególności wykorzystywanych w bezprzewodowej transmisji informacji. Szczegółowo omówione są tutaj standard Ethernet oraz jego pochodna standard WiFi, a także bezpołączeniowy protokół UDP charakteryzujący się znacznie krótszym nagłówkiem niż wymienione poprzednio. Autor przedstawia tu także wybrane metody kontroli transmisji radiowej mając na uwadze przede wszystkim optymalizację energetyczną nadajnika oraz redukcję ruchu sieciowego. Rozdział ten kończy przegląd literatury dotyczącej optymalizacji wykorzystania kanału transmisyjnego i zapotrzebowania na energię w rozmaitych sensorach bezprzewodowych. Rozdział czwarty poświęcony jest metodom optymalnej reprezentacji rotacji i przemieszczania w przestrzeni trójwymiarowej. Autor przedstawia reprezentację obrotów za pomocą kątów Eulera, reprezentację kąt-oś oraz reprezentację z użyciem kwaternionów. W dalszej części rozdziału przedstawione są algorytmy wyznaczania położenia i kursu prowadzące do jednoznacznego wskazania orientacji obiektów w przestrzeni. Punktem wyjścia tego opisu są filtry Kalmana

powszechnie używane do przetwarzania danych z sensorów inercyjnych w zastosowaniach komercyjnych, ale następnie autor przedstawia filtry komplementarne, których złożoność obliczeniowa jest istotnie mniejsza kosztem nieznacznego pogorszenia dokładności pomiarowej.

Rozdział piąty zawiera opis prostego systemu rehabilitacyjnego wyposażonego w pojedynczy trójwymiarowy sensor przyspieszenia i rotacji służącego do monitorowania ruchów tułowia powiązanego z grą. System ten był rodzajem stanowiska testowego dla zaimplementowanego adaptacyjnego algorytmu transmisji pozwalającego na przeprowadzenie pomiarów efektywności energetycznej nadajnika i ruchu sieciowego. Rozdział szósty przedstawia znacznie bardziej złożony system, w skład którego wchodzi 10 sensorów bezprzewodowych testowanych na stole rotacyjnym w zakresie prędkości obrotowej wystarczającym do adaptacji transmisji danych w zakresie od 4 do 60 pakietów na sekundę. Autor wykazał jednoznacznie wydłużenie czasu pracy akumulatora o 64% w przypadku agregacji informacji w większe pakiety wysyłane rzadziej. Tym samym wskazał wymienną częstość aktualizacji informacji z czujników na czas autonomicznej pracy sensorów. W rozdziale siódmym opisano inny system przeznaczony do akwizycji ruchu dłoni złożony z 16 sensorów inercyjno-żyroskopowych obsługiwanych wspólnie przez moduł transmisji z optymalizacją pakietów danych. Również w tym przypadku optymalizacja polegała na częstszym wysyłaniu mniejszych pakietów danych w przypadku szybkich ruchów dłoni lub rzadszym wysyłaniu większych pakietów danych gdy ruchy dłoni były wolniejsze. Również w tym przypadku zastosowanie adaptacyjnej transmisji umożliwiło znaczne oszczędności energii oraz redukcję ruchu sieciowego związanego z pomiarem. Zastosowana metoda optymalizacji zapewniała bezstratną transmisję sygnału, a jedynym kosztem uzyskanych oszczędności były opóźnienia aktualizacji mierzonych pozycji.

Rozdział ósmy zawiera wnioski i podsumowania, w tym przywołanie 4 publikacji naukowych, których doktorant jest pierwszym autorem, odnoszących się bezpośrednio do tematyki rozwijanej w rozprawie. Trzy z nich to publikacje konferencji międzynarodowych odbywających się w Polsce, a jedna jest publikacją w czasopiśmie Sensors (MDPI). W rozdziale tym przedstawiona jest też krótka dyskusja otrzymanych wyników i nakreślone kierunki dalszych prac.

2. Znaczenie dokonań Autora dla rozwoju dyscypliny

Biorąc pod uwagę fakt, że w medycynie i rehabilitacji coraz częściej używa się sieci sensorycznych, dokonania autora, a w szczególności demonstracja możliwości oszczędności energii i redukcji ruchu sieciowego poprzez adaptacyjny format transmisji danych mają wielkie znaczenie praktyczne. Autor zaproponował proste ale skuteczne kryterium optymalizacyjne w postaci wypadkowego wektora obrotu, którego zmienność była podstawą wyboru jednego z czterech wariantów rozmiaru i częstotliwości przesyłania pakietu zarejestrowanych danych pomiarowych. Najważniejszymi osiągnięciami Autora rozprawy są:

- Zaproponowanie metody optymalizacji transmisji gwarantującej bezstratne odwzorowanie informacji, w której częstość aktualizacji informacji nadawanej zależy od wykrytej zmienności sygnału mierzonego.
- Zidentyfikowanie roli jaką pełni mechanizm ‘modem sleep’ w uzyskaniu redukcji zapotrzebowania na energię przez nadajnik.
- Zidentyfikowanie ograniczenia wynikającego z długości nagłówka w standardach transmisji WiFi Ethernet i UDP.
- Zaproponowanie protokołu adaptacyjnej transmisji informacji w systemie złożonym z wielu zależnych sensorów przeznaczonym do rejestracji ruchów dłoni.

Podczas realizacji badań Autor opracował, zbudował i przetestował autorskie prototypy trzech systemów pomiarowych, z których dwa były złożone z wielu sensorów. Prototypom tym towarzyszy wielopoziomowe oprogramowanie zarządzające akwizycją i transmisją danych, analizą danych w zakresie kryterium adaptacji, a także odbiorem informacji i sterowaniem przykładową grą. Rozprawa ma charakter implementacyjny, a przeprowadzone badania mogą przynieść konkretne zastosowania praktyczne.

Rozprawa prezentuje szeroką wiedzę jej autora dotyczącą zagadnień związanych z systemami transmisji danych cyfrowych zarówno przewodowymi jak i bezprzewodowymi. Autor jest specjalistą w zakresie budowy i wykorzystania technologii mikroukładów elektromechanicznych, umie projektować i prototypować układy elektroniczne, także przeznaczone do pracy w kontakcie z człowiekiem. Wreszcie, warta docenienia jest wiedza Autora dotycząca matematycznej reprezentacji położenia i kierunku wykorzystywanej w systemach nawigacji.

Główne osiągnięcia Autora mogą być docenione przez specjalistów w zakresie automatyki elektroniki i elektrotechniki oraz informatyki technicznej i telekomunikacji. Wybrane zastosowanie, a także użyte kryterium optymalizacji lokują te osiągnięcia w dyscyplinie inżynieria biomedyczna, w której uznają je za znaczące i wartościowe.

3. Zagadnienia do dyskusji

Rozprawa jest we wzorcowy sposób podzielona na część zawierającą opis zastanego stanu techniki oraz opis dokonań Autora w proporcjach idealnie 50 – 50%. Nie zgadzam się jednak ze stwierdzeniem Autora, że druga część dotyczy prac badawczych ponieważ tylko niektóre z opisanych działań prowadzą do uzyskania nowej wiedzy. Pozostałe to prace konstruktorskie, w których Autor dowodzi biegłości w projektowaniu i uruchamianiu pomiarowych układów elektronicznych, dodajmy: niezbędnych dla udowodnienia postawionych tez, ale nie jest to w sensie dosłownym działalność badawcza. Innym zagadnieniem do dyskusji jest ‘prezentacja cyklu autorskich publikacji w postaci monograficznej’. To stwierdzenie dość ryzykowne wobec faktu, że publikacje [161 – 164] są w istocie współautorskie, a oprócz Doktoranta i Jego Promotora mają jeszcze innych autorów, których wkład nie został jednoznacznie określony. Zdaniem recenzenta teza główna jest oczywista i znacznie lepiej w tej roli sprawdziłaby się pierwsza teza szczegółowa. Natomiast druga teza szczegółowa zawiera odniesienie do niezdefiniowanej ‘jakości odwzorowania ruchu’. Zgadzam się, że Autorowi chodziło o bitową dokładność strumienia danych, ale w przypadku jeśli pod tym pojęciem rozumiemy natychmiastowość odwzorowania (a w wielu aplikacjach jest ona ważniejsza niż dokładność) to zastosowana adaptacja, poprzez wprowadzane opóźnienia, tą natychmiastowość pogarsza. Autor nadaje specyficzne znaczenie wybranym pojęciom. Do takich zaliczam ‘ruch motoryczny’ (czy istnieje ruch niemotoryczny?), ‘sensor’ (pod pojęciem tym Autor rozumie przetwornik pomiarowy), ‘sensor inteligentny’ (którego ‘inteligencja’ sprowadza się do prostych wyliczeń), ‘transceiver’ (w którym wykorzystywana jest tylko część nadawcza), czy wreszcie ‘taktowanie zegarem’ zamiast po prostu ‘taktowanie’.

Poproszę żeby podczas obrony Autor ustosunkował się do następujących spostrzeżeń:

- Na str. 22 Autor opisuje wykorzystanie magnetometrów do korekcji orientacji, natomiast w swoich konstrukcjach, nawet tych zawierających sensor 9DoF (LSM9DS1) nie wykorzystuje magnetometru.
- Autor kilkakrotnie wspomina o standardzie Bluetooth Low Energy, ale nie stosuje go w swoich konstrukcjach. Czy szybsza procedura usypiania/wybudzania nadajnika oraz

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Michała Pielki

rozmiar nagłówka pakietu nie przemawiają za tym standardem? Czy wówczas oszczędność energii nie byłaby największa?

- Autor proponuje użycie czterech częstości wysyłania pakietów, z których tylko dwa wykorzystują tryb usypiania. Jakie ograniczenia powodują, że nie zastosowano jeszcze niższych częstości? Czy byłby możliwy 'płynny' dobór częstości raportowania?
- Czy w przypadku transmisji sygnału z wielu sensorów (rękawica, Rozdział 7) Autor rozważał priorytetową transmisję bitów z poszczególnych sensorów, albo hierarchiczną alokację informacji z sensorów w zależności od indywidualnego wskaźnika ich prędkości kątowej?

Pozostałe komentarze i uwagi:

- Pod względem edytorskim praca napisana jest poprawnym językiem polskim, zwroty żargonowe występują sporadycznie, usterki językowe zdarzają się, ale są rzadsze niż w innych podobnych pracach.
- Staranność i przejrzystość rysunków stanowczo należą do mocnych stron rozprawy, i choć wiele z nich zostało przygotowanych na potrzeby publikacji [164], doceniam, że w rozprawie mają polskojęzyczne opisy.
- W języku polskim separatorem pól dziesiętnych jest przecinek, Autor systematycznie używa kropki w tej roli.

Wymienione zagadnienia dyskusyjne i pozostałe uwagi nie umniejszają osiągnięcia naukowego, a moje spostrzeżenia formułuję tu przede wszystkim w celu wykorzystania ich przez Kandydata do poprawy Jego przyszłych publikacji.

4. Wniosek końcowy

Kandydat poprawnie sformułował i rozwiązał problem naukowy istotny z punktu widzenia rozwoju systemów sensorycznych, w szczególności bezprzewodowych, przeznaczonych do nieinwazyjnego monitorowania ruchu człowieka. W związku z badaniami publikował szereg prac konferencyjnych i jedną w czasopiśmie o zasięgu światowym. Główny pomysł rozprawy dotyczy zagadnienia telekomunikacyjnego, ale zarówno biologiczne źródło argumentu optymalizacji transmisji, jak i planowane wykorzystanie prototypów do pomiarów biomechanicznych uzasadniają wkład rozprawy do rozwoju dyscypliny inżynieria biomedyczna.

Przedstawiona rozprawa doktorska zatytułowana: „*Nowatorska metoda optymalizacji transmisji danych dla ubieralnych systemów akwizycji ruchu*”, spełnia wszystkie wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478) Art. 186 i 187 w zakresie nadawania stopnia naukowego doktora. Recenzent wnioskuje do Komisji **o dopuszczenie rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Michała Pielki do publicznej obrony.**