

Prof. dr hab. inż. Marek Gorgoń
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
Akademia Górniczo-Hutnicza
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
MGR INŻ. SYLWESTRA BŁASZCZYKA
ZATYTUŁOWANEJ
„METODYKA PROJEKTOWANIA SYSTEMU INTERAKCJI CZŁOWIEK-ROBOT
DEDYKOWANEGO DLA ZDALNEJ NAWIGACJI BEZZAŁOGOWĄ PLATFORM JEZDĄ”

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska zatytułowana „Metodyka projektowania systemu interakcji człowiek-robot dedykowanego dla zdalnej nawigacji bezzałogową platform jezdną”, napisana w roku 2015, której autorem jest mgr inż. Sylwester Błaszczyk.

Promotorem pracy jest prof. dr hab. Dominik Sankowski z Politechniki Łódzkiej. Niniejsza ocena została przygotowana na zlecenie prof. dr hab. inż. Andrzeja Bartoszewicza, Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej, zawarte w piśmie z dnia 22.04.2015 roku, w związku z decyzją Rady Wydziału z dnia 21.04.2015 r.

Omówienie treści rozprawy

Rozprawa doktorska mgra inż. Sylwestra Błaszczyka napisana jest w języku polskim i liczy 165 stron. Tekst rozprawy podzielono na 11 rozdziałów poprzedzonych spisami treści, rysunków i tabel, wykazem skrótów i wstępem. Dopelnienie stanowią zamieszczone na końcu bibliografia i Dodatek A.

Tematyka pracy dotyczy problemu budowy interaktywnego systemu człowiek-robot. Założonym przez Autora celem pracy jest opracowanie metodyki projektowania systemu interaktywnego dla zdalnie sterowanego robota, przeznaczonego do realizowania różnych zadań o charakterze wojskowym, sterowanego przez operatora za pomocą wysokopoziomowych rozkazów nawigacyjnych. We wstępie Autor zwraca uwagę na nierozwiązany problem nadmiernego skupienia uwagi operatora – żołnierza na robocie w trakcie realizowanych zadań. Dzięki wyposażeniu robota w odpowiednie algorytmy i interfejs, zmniejszyć się ma ryzyko zagrożenia życia żołnierza.

W rozdziale 1 wskazano cel pracy, a następnie Autor omówił zawartość rozprawy, wskazując, że rozdziały pogrupowane zostały w trzy części: rozdziały 2-4 – „Stan wiedzy”, rozdział 5 „Robot mobilny pola walki” oraz rozdziały 6-10 „Algorytmy autorskie”.

W podrozdziale 1.3 zamieszczono tezę pracy w następującym brzmieniu:
„Możliwe jest opracowanie metodyki projektowania systemów interakcji człowiek-robot pozwalającej uzyskać semi-autonomię bezzałogowych mobilnych platform robotycznych.

Zrealizowane to zostało z wykorzystaniem opracowanych w rozprawie autorskich algorytmów i protokołów komunikacyjnych.”

W podrozdziale tym wskazano również, w jaki sposób Autor będzie dążył do udowodnienia tezy, specyfikując listę zadań i algorytmów, które zostaną opracowane oraz zweryfikowane w działaniu z użyciem konsoli operatora wyposażonej w odpowiedni interfejs użytkownika.

W kolejnych rozdziałach 2, 3, 4, stanowiących część pierwszą rozprawy, dokonano przeglądu literatury i omówiono stan wiedzy.

W rozdziale 2 wskazano podstawy teoretyczne w dziedzinie interakcja człowiek-maszyna i wskazano zadania, które wymagają rozwiązania w trakcie projektowania interfejsu.

W rozdziale 3 bardzo obszernie zaprezentowano z kolei metodykę projektowania komputerowych systemów interaktywnych (*Human Computer Interaction* (HCI)), wskazując na liczne pozycje zarówno z nieco starszej jak i najnowszej literatury naukowej. Dobrze uzasadniona konkluzja zawarta w tym rozdziale, wskazuje, że w dziedzinie projektowania komputerowych systemów interaktywnych nie wypracowano jednolitego, standardowego podejścia, a projektant systemu w dużej mierze musi uwzględnić specyficzne wymagania środowiska, w którym wykorzystywany będzie projektowany system. Recenzent odczytuje tu intencję Autora rozprawy, który w ten sposób uzasadnia, że zaprojektowanie interfejsu człowiek-komputer dla zastosowań wojskowych wymaga opracowania odrębnej metodyki, przy uwzględnieniu zasad opisanych w literaturze, zebranych i bardzo obszernie omówionych w rozprawie.

Tematyka rozdziału 4 skupiona została w dużej mierze na dziedzinie interakcji człowieka z robotem – *Human Robot Interaction* (HRI). W pierwszym podrozdziale wskazano na specyfikę zagadnienia HRI, uzasadniając, że jest to wydzielona grupa problemów w tematyce „interakcja człowiek-maszyna” (*Human Machine Interaction* – HMI) oraz, że częściowo jej tematyka pokrywa się ze wcześniej omawianą dziedziną HCI. Kolejny podrozdział poświęcono ogólnym zasadom budowy systemu HRI. W podrozdziale 4.3 Autor, odwołując się do literatury naukowej, skupił się na szczegółowej analizie zadań i wytycznych projektowych, relacjach użytkownik-robot i klasyfikacji interfejsów dla robotów mobilnych. Podrozdział odzwierciedla stan wiedzy dotyczący metodyki projektowania interfejsu robota mobilnego, czyli dziedziny, do której odwołuje się teza rozprawy. Ostatni z podrozdziałów – 4.4 – zawiera spis zagadnień istotnych z punktu widzenia oceny rozwiązań HRI. Należą do nich: dostępność oraz sposób prezentacji informacji operatorowi, wydajność języka komunikacji oraz wymagana skuteczność i wydajność metod komunikacji robota i operatora, elastyczność interfejsu zapewniająca możliwość sterowania robotem przez wielu operatorów, jak również sterowania przez jednego operatora wieloma robotami i w końcu, zapewnienie możliwości dalszego rozwoju platformy robotycznej.

Rozdział 5 stanowi opis mobilnego robota pola walki. Jak zaznaczono i sprecyzowano już we Wstępie, robot został skonstruowany w ramach większego projektu badawczego MNiSW realizowanego w Politechnice Łódzkiej pod kierownictwem promotora rozprawy prof. dr hab. inż. Dominika Sankowskiego. Autor rozprawy podkreśla, że był współautorem 15 artykułów naukowych z tej tematyki, między innymi kilku rozdziałów monografii wydanej w wydawnictwie World Scientific w roku 2014. W rozdziale 5 wskazano, że robot przeznaczony jest w głównej mierze do zadań zwiadu i wykrywania min, określono cele projektowe i wyspecyfikowano moduły funkcjonalne oraz zastosowane czujniki telemetryczne. W opisie zwrócono uwagę na architektury komunikacyjne i stosowane protokoły komunikacyjne w ramach poszczególnych modułów. Omówiono też stawiane wymagania, parametry i funkcjonalności realizowane przez poszczególne podzespoły robota. Rozdział zilustrowano zdjęciami pokazującymi wygląd gotowego robota i jego kluczowych podzespołów, między innymi systemu wizyjnego i konsoli.

Kolejne trzy rozdziały, stanowiące trzecią część rozprawy, odnoszą się bezpośrednio do dorobku Autora.

Rozdział 6 rozpoczęto od zaprezentowania w formie graficznej metodyki projektowania konsoli operatora bezzałogowego robota mobilnego pola walki. Schemat algorytmiczny pokazuje kolejne kroki począwszy od koncepcji do komercjalizacji. Metodyka sformułowana jest prawidłowo, choć na tym etapie bardzo ogólnie i dość typowo. W dalszych podrozdziałach Autor pokazuje kolejne fazy realizacji zadania tworzenia systemu konsoli operatora, mocno akcentując wątki metodyczne.

W podrozdziale 6.1 wskazano dwa rozwiązania konsoli operatora oferowane dla robotów mobilnych stosowanych do rozbrajania ładunków wybuchowych: robota IBIS skonstruowanego w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów z Warszawy oraz rozwiązania firmy Allen Vanguard. Zwrócono uwagę, że oba urządzenia umożliwiają jedynie wykonanie podstawowych rozkazów nawigacyjnych i nie posiadają żadnych modułów decyzyjnych wspierających operatora, co powoduje, że uwaga musi być nieustannie skupiona na sterowaniu robotem.

W rozdziale 6.2 wskazano na wymagania odnośnie systemu konsoli operatora. Można ocenić, że są to wymagania, których realizacja wymaga wykorzystania nowoczesnych technologii, a z kolei ich spełnienie daje możliwość skonstruowania urządzenia o szerokiej funkcjonalności, przeznaczonego do późniejszej komercjalizacji.

W podrozdziale 6.3 zatytułowanym „Projektowanie” pokazano w sposób horyzontalny zakres zagadnień niezbędnych do rozwiązania, w celu skonstruowania informatycznego systemu konsoli operatora.

W podrozdziałach 6.4 – 6.6 omówiono zwięźle, w sposób ogólny, kolejne etapy wykonanych prac: konstruowanie urządzenia, implementacja algorytmów, uruchamianie i testowanie robota.

Rozdział 7 zawiera opis trójwarstwowego modelu architektury składający się z warstwy algorytmów obsługi urządzeń konsoli, pośredniej warstwy komunikacji – zarządzającej pamięcią systemu oraz przechowywaniem i dostępem do danych, jak również warstwy algorytmów, która kontroluje realizację określonych trybów pracy robota i komunikację z platformą jezdnią. Warto zwrócić uwagę, że w warstwie odpowiadającej za obsługę urządzeń zapewniona została wielowątkowa realizację zadań, co pozwoliło wykorzystać wielordzeniową architekturę procesora i uzyskać równoległe wykonywanie procedur obsługujących poszczególne urządzenia umieszczone w konsoli.

Rozdział 8 rozprawy zawiera opis procedur sterowania robotem z poziomu interfejsu graficznego. Autor rozważa aspekt sposobu prezentacji danych dla modułu konsoli operatora, zwracając uwagę na trudności związane z dopasowaniem interfejsu graficznego do preferencji użytkownika. Chcąc zapewnić elastyczność interfejsu graficznego, Autor opracował blok algorytmiczny ustawień „Settings”, dzięki któremu istnieje możliwość konfigurowania sposobu prezentacji danych na konsoli.

W rozdziale 9 opisano rozwiązanie umożliwiające wyświetlenie na konsoli operatora obrazów otrzymanych z dwóch kamer umieszczonych na ramieniu robota. Autor opracował sposób wyświetlania i przetwarzania obrazów w trybie umożliwiającym równoczesny podgląd obu pomniejszonych obrazów, wykorzystując moduł akwizycji obrazu wyposażony w procesor sygnałowy TMS320DM642. Przedstawiono dwa sposoby realizacji zadania: pierwszy z wykorzystaniem jednostki ALU procesora sygnałowego, drugi korzystający z kanałów EDMA (ang. *Enhanced Direct Memory Access*). W tabeli odnotowano, że pobór energii w obu przedstawionych wariantach jest niemal identyczny. Zwrócono uwagę, że gdy system obsługuje dwie kamery, wykonanie zadania przy pomocy EDMA zmniejsza obciążenie jednostki ALU z ponad 50% do ok. 25%, co stwarza potencjalną możliwość rozbudowania systemu, tak by obsługiwał nawet 8 kamer.

Kolejny algorytm opracowany przez Autora i zaimplementowany w procesorze DSP, to algorytm obliczający odległość do obiektów znajdujących się w jego bezpośrednim otoczeniu i prędkość poruszania się tych obiektów, przedstawiony w rozdziale 10. Algorytm wykorzystuje dane pomiarowe uzyskane z dwóch zestawów czujników podczerwonych, złożonych z emiterów i rejestratorów CCD, umożliwiających obliczenie kąta odbicia wiązki promieniowania od obiektu. W rozdziale przedstawiono algorytm służący do wyliczania przesunięcia oraz prędkości obiektu znajdującego się w otoczeniu robota. Przedstawiono również wyniki testów i ocenę wiarygodności pomiaru.

Rozdział 11 zawiera podsumowanie, wnioski końcowe oraz dalsze kierunki rozwoju.

Aktualność tematyki rozprawy i ocena stanu wiedzy

Tematyka rozprawy bez wątpienia jest bardzo aktualna. Podnoszenie autonomii urządzeń jest jednym z wiodących tematów naukowych m.in. silnie akcentowanych w programie Horyzont 2020 w ramach zagadnień *cyber-physical systems* (CPS). Również zagadnienia interakcji człowieka z maszyną, interakcji człowiek-robot, akceleracji obliczeń, systemów równoległych omawiane w tej pracy, znajdują się w centrum uwagi (ang. *hot topics*).

Generalnie pracę należy klasyfikować w obrębie dyscypliny informatyka, choć jak często się to zdarza, można odnaleźć w niej powiązania z innymi dyscyplinami, w tym przypadku elektroniką oraz automatyką i robotyką.

Stan wiedzy został bardzo obszernie omówiony w pierwszej części rozprawy tj. w rozdziałach 2-4 i zdaniem Recenzenta jego zawartość i aktualność jest na dobrym poziomie. Pewnym ubogaceniem i uatrakcyjnieniem mogłoby być co prawda przytoczenie przykładów ciekawych rozwiązań w zakresie interakcji człowiek-robot zaczerpniętych z literatury naukowej lub popularno-naukowej, nieco mniej związanych z tematyką doktoratu, ale z drugiej strony mogłoby to nieco wykraczać poza przyjęty kanon rozprawy doktorskiej.

Mocne strony rozprawy i realizacja tezy

Zdaniem recenzenta najbardziej wartościowe osiągnięcia naukowe Autora opisane zostały w rozdziałach 6 dotyczącym metodyki oraz 7 dotyczącym architektury systemu konsoli operatora.

W rozdziale 6 Autor odnosi się bezpośrednio do tezy rozprawy i rozważa zagadnienia metodyki projektowania systemów interakcji człowiek-robot. Na początku rozdziału zaprezentowano ogólny schemat metodyki projektowania modułu konsoli operatora, a w podrozdziale 6.3 (strona 83) Autor wymienia opracowany przez niego zestaw reguł projektowych dla interaktywnego systemu konsoli. Reguły te powstały w wyniku pogłębionej analizy zasad projektowania w dziedzinach HCI i HRI, przedstawionych we wcześniejszych rozdziałach oraz zaadaptowania tych zasad do specyfiki realizowanej aplikacji. Należy uznać, że zbiór reguł zaproponowany przez Autora stanowi oryginalne osiągnięcie w zakresie metodyki projektowania konsoli operatora robota mobilnego do zastosowań wojskowych. Recenzent jest przekonany, że sformułowanie tych reguł nie byłoby możliwe, bez zdobycia praktycznego doświadczenia i bardzo aktywnego udziału Autora w zrealizowanym projekcie.

To czym różni się opisany w pracy robot mobilny od rozwiązań konkurencyjnych to osiągnięcie poziomu semi-autonomii. Kluczem do osiągnięcia semi-autonomii jest stworzenie algorytmów, dających możliwość sterowania robotem przy pomocy wysokopoziomowych poleceń określających pewne czynności lub zadania, jednocześnie uwalniających operatora od konieczności ciągłego sterowania ręcznego. Autor rozprawy wnosi swój wkład do tego zadania poprzez opracowanie algorytmów i protokołów

komunikacyjnych konsoli operatora (rozdział 7), a więc serca systemu sterowania. Jak wynika z rysunku 2, zamieszczonego we Wstępie rozprawy, spośród pięciu algorytmów konsoli operatora Autor był twórcą trzech i współtwórcą pozostałych dwóch.

Należy odnotować również kilka szczegółowych rozwiązań opracowanych przez Autora, będących jego wkładem w całość prac związanych z powstaniem robota:

- w rozdziale 8 opisano opracowany i zaimplementowany przez Autora algorytm patrolowania terenu,
- interesującym pomysłem było zaimplementowanie w procesorach sygnałowych metod opisanych w rozdziałach 9 i 10 tj. systemu wyświetlania obrazu w obrazie (ang. *Picture in Picture*) oraz algorytmu detekcji ruchu w oparciu o czujniki bliskiego zasięgu.

Biorąc pod uwagę wymienione powyżej elementy rozprawy, zarówno z zakresu metodyki jaki i opracowania algorytmów oraz protokołów komunikacyjnych, należy uznać, że teza rozprawy została w pełni wykazana.

Uwagi krytyczne

1. Pewne wątpliwości budzi opis algorytmu detekcji ruchu w oparciu o czujniki bliskiego zasięgu przedstawiony w rozdziale 10:

- we wzorze 10.4 wartości odległości dla poszczególnych par czujników indeksowane są tym samym wskaźnikiem „j”. Czy przy pomocy tak sformułowanego wzoru, możliwe jest znalezienie przesunięcia w czasie pomiędzy danymi z par czujników i znalezienie dopasowania zbiorów pomiarowych zgodnie z ideą przedstawioną na rys. 10.5?
- w dalszej części rozważań w tym rozdziale, po prawidłowym zdefiniowaniu wzoru na prędkość obiektu (wzór 10.5), niezrozumiałym jest zaproponowany wzór 10.6 – gdyby dokonać w nim podstawienia za prędkość (zgodnie ze wzorem 10.5), wartość obliczonej odległości pokonanej przez obiekt byłaby odwrotnie proporcjonalna do kwadratu przesunięcia (*shift*),
- za usterkę mniejszej wagi należy uznać podanie w rozdziale 10 nieprawidłowego symbolu czujnika pomiaru odległości – podany symbol dotyczy czujnika o odpowiedzi binarnej (typu „D”), zaś charakterystyka przedstawiona na rys. 10.3 i całe rozumowanie dotyczy czujnika typu „A” (*nota bene* fragment symbolu zastosowanego czujnika typu „A” widoczny jest w pracy na rys. 5.7).

2. W kilku fragmentach rozprawy znajdują się wzmianki odnotowujące wykonanie przez Autora analiz parametrów lub pomiarów, których wyniki miały wpływ na podejmowane decyzje. W pracy jednak podano wyłącznie konkluzje. W rozdziale 7.2 wspomniano o analizie parametrów modułów sprzętowych konsoli operatora. W rozdziale 7.3 wzmiankowano o porównywaniu czasów uruchomienia urządzeń konsoli. W rozdziale 9.1 znajduje się informacja o porównaniu implementacji metod składania obrazów w dwóch różnych zasobach sprzętowych. Wydaje się, że w każdym z tych przypadków, podanie tabel z danymi z pomiarów bądź obliczeń oraz szczegółów dokonanych analiz uzasadniałoby proces wnioskowania oraz mogłoby okazać się przydatne i wartościowe dla czytelników rozprawy.

Uwagi językowe

1. Str. 17. jest: „...zajmujących projektowaniem” powinno być: „zajmujących się projektowaniem”
2. Str. 25, 27, 32, 33, 34. W rozdziale 3 kilkakrotnie Autor używa słowa satysfakcja jako dosłownego tłumaczenia słowa „*satisfaction*”, zaczerpniętego z angielskiego opracowania (ISO 2013a), mającego jednak, jak się wydaje, oznaczać poziom spełnienia oczekiwań użytkownika. W tej sytuacji w trakcie tłumaczenia należało się posłużyć innym znaczeniem słowa „*satisfaction*” np. – za Słownikiem PWN – zadowolenie, ukontentowanie lub terminem opisowym „spełnienie oczekiwań”.
3. W kilku miejscach rozprawy Autor niepotrzebnie lub nieprawidłowo używa zaimków dzierżawczych:
 - str. 26. „...które będą umożliwiały komunikację z robotem w jak najbardziej naturalny sposób dla *jego* operatora.
 - str. 32. „oprogramowanie musi dostarczać *jego* użytkownikom...”
 - str. 33. „...określa jak szybko użytkownik jest w stanie korzystać z produktu, który już *go* wcześniej poznał”
 - str. 38. „następuje faza projektowania *jego* prototypu”
 - str. 68. „poła widzenia *jego* operatora.”
 - str. 97. „zastosowana architektura warstwowa umożliwia *jego* skalowalność...”
4. Str. 36. błąd stylistyczny: „Głównym zadaniem prototypu jest funkcja komunikacyjna.”
5. Str. 38. „...deweloper oprogramowania” – nowomowa, żargon.
6. Str. 38. błąd gramatyczny: „...podejście projektowania zorientowanego na systemie.
7. Str. 39. błąd gramatyczny/literówka: „... wpływu ostatnio wykonanych operacji na aktualnym stan systemu.”
8. Str. 41. sformułowanie niezrozumiałe: „możliwość organizacji do działania zorientowanego na użytkownika.”
9. Str. 60. literówka: jest „wykrywania m.in.” powinno być „wykrywania min”
10. Str. 61. Nieprawidłowy dobór określenia: „...poruszanie się w sposób cichy i niezauważony,” (propozycja: niezauważalny)
11. Str. 68. nieprecyzyjne nazewnictwo: „poruszać się za operatorem w sposób autonomiczny” sugerowane: podążać za operatorem
12. Str. 73. długie zdanie: „Dzięki temu operator z jednej strony posiada możliwość nawigacji robotem przy pomocy naturalnych, łatwo zrozumiałych dla człowieka rozkazów, a z drugiej może zlecić realizację pewnych zadań systemowi sterowania platformy jezdnej, a samemu większą uwagę poświęcić szczególnie realizowanej misji.”
13. Str. 92. błąd stylistyczny: „Patrząc na przeznaczenie oprogramowania konsoli, kolejnym istotnym parametrem, który należy uwzględnić...”
14. Str. 94. błędny dobór pojęcia: „program musiałyby w sposób szeregowy, jeden za drugim nawiązywać połączenie” zalecane: „w sposób sekwencyjny”

15. Str. 114. kilka błędów językowych w zdaniu: „Metoda ta opiera swe działanie o zainstalowany w platformie robota system nawigacji...” – sugestia: „Metoda ta opiera *swoje* działanie *na zainstalowanym na platformie robota systemie* nawigacji...”
16. Str. 114. niezrozumiałe wyrażenie: „Sieć działań algorytmu...”
17. Str. 131. błąd gramatyczny: “...oparty o procesor sygnałowy...” (oparty *na*)
18. Str. 139. błąd stylistyczny: „Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie tego algorytmu dla czujników umożliwiających pomiar odległości w przestrzeni trójwymiarowej...”

Podsumowanie i konkluzja:

Zdaniem recenzenta, pomimo przedstawionych w ocenie uwag krytycznych, które nie mają decydującego znaczenia dla jednoznacznie pozytywnej oceny pracy, wobec znacznego dorobku Autora pracy i wykazania tezy, należy uznać, że **rozprawa spełnia stosowne kryteria określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym** stawianym pracom na stopień doktora nauk technicznych. Recenzent wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Sylwestra Błaszczyka do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w tym do publicznej obrony pracy.

Kraków, 15 października 2015.

