



Kraków, 20 kwietnia 2015

Recenzja

Przedmiotem recenzji jest rozprawa **doktorska mgr inż. Artura Zawadzkiego** zatytułowana „*Rekonfigurowalny sterownik urządzenia ruchomego oparty na sprzężeniu wizyjnym wykorzystującym algorytm śledzenia obiektu*”. Opiniowana praca przygotowana została pod kierunkiem naukowym **dr hab. inż. Marka Gorgonia, prof. nadzw. AGH**. Recenzję przygotowano na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH (pismo nr WEAlIB-b/Sekr/51/15 z dnia 30.01.2015r.) działającego w oparciu o uchwałę Rady Wydziału z dnia 29.01.2015.

Opiniowana praca jest obszernym, bo aż 164 stronic liczącym studium problemu możliwości wykorzystania nowoczesnych metod sterowania tak zwaną inteligentną kamerą przeznaczoną do śledzenia ruchomego obiektu, przy czym istnym składnikiem rozważanego problemu jest okoliczność, że kamera jest zdolna do podążania za śledzonym obiektem. Tak zdefiniowany obszar problemowy recenzowanej rozprawy lokuje ją w dyscyplinie naukowej Automatyka i Robotyka, chociaż dla osiągnięcia głównego celu, jakim było sterowanie inteligentną kamerą, Doktorant musiał włożyć spory wysiłek w dyscyplinach pokrewnych: w Informatyce (bo trzeba było opracować szereg algorytmów) i w Elektronice (bo trzeba było te algorytmy implementować w postaci odpowiednich układów FPGA). Jednak prymat Automatyki jest w ocenianej rozprawie widoczny.

Doktorant we wstępie do pracy przekonująco uzasadnia, że inteligentne urządzenie, jakim jest *smart camera*, może znaleźć liczne i ważne zastosowania, między innymi w zadaniach monitoringu miejsc publicznych, nadzoru samotnie mieszkających osób starszych i w innych zastosowaniach telemedycyny. Mgr Zawadzki bardzo trafnie wskazuje na fakt, że celem finalnym zaplanowanych przez Niego badań jest określenie, w jakim stopniu kamera inteligentna będzie przydatna w zadaniach śledzenia w czasie rzeczywistym, a także ustalenie, jakie ograniczenia niesie za sobą takie rozwiązanie. Równocześnie Doktorant wskazuje, że w trakcie zaplanowanych badań możliwe będzie przeanalizowanie różnych architektur systemu

obliczeniowego i konfiguracji układu reprogramowalnego – co dodatkowo wzbogaci wiedzę naukową na ten temat.

Zaletą pracy jest niewątpliwie bardzo wczesne zasygnalizowanie przez Doktoranta, jakie są jego cele i jaką tezę pracy formułuje. W ocenianej rozprawie elementy te znalazłem już na 4. stronie, co bardzo wysoko cenię jako rzecz godną pochwały, a niestety w ocenianych doktoratach raczej rzadką. Zdarza się bowiem nieraz w rozprawach doktorskich, że ogólne wprowadzenie do problemu i dyskusja tła literaturowego zajmuje kilkadziesiąt początkowych stron, a recenzent czytając to wszystko nie wie, do czego doktorant dąży i co właściwie chce wnieść od siebie, jako swój własny wkład intelektualny do uprawianej dyscypliny naukowej. Dlatego ważne jest, żeby możliwie wcześnie wskazać, co jest celem pracy, a także jakie elementy rozprawy stanowią jej zasadniczy szkielet koncepcyjny. Zadaniem każdego Doktoranta jest sformułowanie tezy, stanowiącej naukową konstatację jakichś wcześniej nieznanych naukowych faktów, oraz udowodnienie tej tezy w sposób teoretyczny lub empiryczny.

Mgr Zawadzki z tego zadania wywiązał się wzorowo. Na wspomnianej czwartej stronie rozprawy zadeklarował rzeczowo i konkretnie, że jego celem jest skonstruowanie i zbadanie możliwości wykorzystania, w zadaniach śledzenia obiektu ruchomego, zintegrowanego urządzenia wizyjnego, które również znajdujące się w ruchu. Realizację tego celu Doktorant powiązał z dowodem tezy naukowej o następującym brzmieniu:

Adaptacja i zrównoleglenie algorytmów śledzenia obiektów i ich implementacja na rekonfigurowalnej platformie obliczeniowej, pozwoli na realizację sprzężenia wizyjnego w sterowniku kontrolującym w czasie rzeczywistym urządzenie ruchome.

Zdecydowanie akceptuję tę tezę – jest konkretna, dobrze sformułowana, dowodliwa (w treści pracy można konkretnie sprawdzić, czy udało się wykazać jej prawdziwość) a ponadto definiuje zadanie badawcze, którego stopień ważności i stopień trudności dobrze odpowiada ustawowym i zwyczajowym wymaganiom stawianym rozprawom na stopień naukowy doktora nauk technicznych.

W uzupełnieniu przytoczonej wyżej tezy naukowej mgr Zawadzki przedstawia w swej rozprawie konkretne i dobrze przemyślane wymagania praktyczne, dotyczące tego, co w ramach doktoratu chciał zbudować i przebadać. I tak wskazuje na to, że rozważane

rozwiązanie inteligentnej kamery powinno być tanie i łatwe w produkcji, zwarte gabarytowo i energooszczędne. Wymagania te także układają się w logiczny ciąg zmierzający do osiągnięcia obok naukowych celów rozprawy – rozwiązania technicznego mającego potencjalnie bardzo liczne zastosowania praktyczne.

Treść rozprawy stanowi opis konsekwentnego dążenia od realizacji wyżej wymienionych celów. Przechodząc kolejno poszczególne rozdziały pracy znajdujemy w nich następujące treści:

- najpierw (w rozdziale 2.) bardzo dobrze i kompetentnie sporządzony przegląd literatury;
- potem (w rozdziale 3.) podstawy teoretyczne, na których oparta została przedstawiona w rozprawie koncepcja oraz szczegóły tej koncepcji;
- dalej (w rozdziale 4.) opis konstrukcji autorskiego urządzenia, które zbudowano w celu przeprowadzenia badań zmierzających do udowodnienia postawionej tezy;
- następnie (w rozdziale 5.) prezentację technologii FPGA użytej w pracy do wytworzenia systemu podlegającego badaniom;
- potem (w rozdziale 6.) opis przeprowadzonych badań;
- na koniec (w rozdziale 7.) podsumowanie uzyskanych wyników.

Pracę uzupełniają dodatki zawierające szczegółowe schematy ideowe części elektronicznej, projekty płytek PCB oraz protokół komunikacyjny interfejsu nadzorczego.

Ogólnie zawartość pracy oceniam zdecydowanie pozytywnie. W rozdziale 2. mgr Zawadzki wykazał się swoją wiedzą i erudycją, przedstawiając znakomite opracowanie literaturowe na temat inteligentnych kamer. Przyznam się, że chociaż poruszona w ocenianym rozdziale nie jest mi obca, sam się wiele z tego tekstu nauczyłem, z uznaniem odnotowując przy okazji, że Doktorant posiada w uprawianej przez siebie dziedzinie obszerną i nowoczesną wiedzę, co jest zresztą jednym z warunków przyznania Mu stopnia naukowego doktora. Jedyne, czego mi brakowało w tym rozdziale, to wskazania źródeł pochodzenia używanych w nim rysunków. Fotografie różnych inteligentnych kamer, które Doktorant obficie przytacza, nie są Jego autorstwa. A jeśli tak, to w podpisie każdego obrazu powinna

się znaleźć wskazówka określająca źródło, z którego ten obraz pobrano, w przeciwnym przypadku bowiem twórca obrazu (wykonawca fotografii) może się upomnieć o swoje prawa autorskie, zarzucając w skrajnym przypadku nawet plagiat osobie niefrasobliwie korzystającej z „pozyskanych” obrazków. W ocenianej pracy sygnalizowany problem nie jest aż tak poważny, ponieważ na każdy z zamieszczonych rysunków ma omówienie w tekście, a każdemu umówieniu towarzyszy wskazanie źródła literaturowego, na którym to omówienie oparto – więc pochodzenie fotografii przedstawionych na rysunkach jest w gruncie rzeczy znane. Ale na zasadzie „dmuchania na zimne” doradzam magistrowi Zawadzkiemu, żeby w swoich przyszłych pracach pochodzenie rysunków starannie zaznaczał także w ich podpisach. Oczywiście w opracowaniu wewnętrznym, jakim jest praca doktorska, można do tego problemu podchodzić z pewną wyrozumiałością, gdyby jednak mgr Zawadzki chciał na podstawie drugiego rozdziału swojej rozprawy **opublikować** na przykład przeglądowy artykuł albo rozdział w książce – do gorąco zalecam **bardzo staranne** zbadanie, czy zamieszczając te obrazki nie narusza praw autorskich ich wykonawców. Z formalnego punktu widzenia bowiem Doktorant powinien każdorazowo powołać się na materiał źródłowy, z którego korzystał, a nawet uzyskać na piśmie pozwolenie od autora zdjęcia, że ten godzi się na wykorzystanie jego dzieła. Inaczej sprawa może się skończyć nawet w sądzie!

Prawidłowo natomiast przywołuje mgr Zawadzki źródła literaturowe w podrozdziale 2.2, poświęconym omówieniu proponowanych w literaturze algorytmów śledzenia.

Bardzo pozytywnie oceniam zawartość rozdziału 3. rozprawy. Omówienie budowy układów FPGA można uznać za wręcz **wzorcowe** opracowanie na ten temat, dyskusja geometrycznych przekształceń obrazu też jest na wysokim poziomie, a opisy algorytmów (detekcji krawędzi Canny oraz śledzenia obiektu) w kontekście ich realizacji w technologii FPGA zawierają liczne oryginalne twórcze dokonania Doktoranta, które oceniam bardzo wysoko. Oczywiście jak w każdej pracy o charakterze konstrukcyjnym przy tworzeniu poszczególnych modułów FPGA realizujących proces analizy obrazu i śledzenia obiektu Autor musiał podejmować wiele szczegółowych decyzji, wybierając spośród wielu możliwości tę jedną, którą realizował. I tu nasuwa mi się pewna uwaga do opiniowanej rozprawy doktorskiej mgra Zawadzkiego. Otóż w pracy jest dokładnie opisane, co i jak zrealizowano. Jest to opisane bardzo dobrze, profesjonalnie i szczegółowo. Natomiast brakuje mi zapisu na temat alternatywnych rozwiązań, które z pewnością także w wielu miejscach rozważano, a także na temat kryteriów wyboru, którymi się posługiwano przy wyborze tych a nie innych rozwiązań.

W pracy jest przytoczonych sporo argumentów przemawiających za tą właśnie wybraną realizacją, ale brakuje krótkiej chociażby analizy porównawczej tego, co można było zrobić inaczej, oraz argumentów, dlaczego tego inaczej nie zrobiono.

Przechodząc po tej uwadze polemicznej do oceny zawartości dalszych części trzeciego rozdziału ocenianej rozprawy z dużym uznaniem odnotowuję zawartość podrozdziału 3.6, w którym opisano to, jak zaproponowane przez Doktoranta algorytmy zostały przebadane za pomocą ich implementacji programowej na komputerze PC. Było to postępowanie ze wszech miar celowe, gdyż taka weryfikacja 'software'owa algorytmu przed jego „zaszyciem” w postaci układu FPGA jest ze wszech miar celowa. Eksperyment zaplanowano i przeprowadzono poprawnie, a wyniki (opisane w podrozdziale 3.6.3) pozwoliły na ostateczne domknięcie koncepcji systemu przed jego realizacją hardwareową, potwierdzając równocześnie konieczność sięgania w rozważanym systemie do rozwiązań sprzętowych, bowiem realizacja software'owa algorytmu pokazała, że w tej formie o śledzeniu w czasie rzeczywistym nie ma mowy. Po prostu pojedynczy komputer klas PC nie jest w stanie wykonać wszystkich wymaganych operacji w czasie rzeczywistym – nawet gdyby go zasilić zoptymalizowanym programem napisanym specjalnie w C++ lub nawet w assemblerze (choć badania opisane w ocenianym rozdziale pracy prowadzone były w środowisku Matalab, co dodatkowo spowalniało działanie modelu).

Również w środowisku Matalab/Simulink badano symulacyjnie zagadnienia związane z dynamiką ruchomej kamery. Udało się przy tym zidentyfikować część problemów (statyczny uchyb sterowania związany z zastosowaniem regulacji typu P, drgania po każdym skoku silnika krokowego) co ukierunkowało wysiłki w następnym etapie badań, w którym została fizycznie zrealizowana konstrukcja badanego urządzenia i były na nim prowadzone rzeczywiste badania.

Opis konstrukcji stworzonej przez Doktoranta inteligentnej kamery zawarty w rozdziale 4. rozprawy oceniam bardzo pozytywnie. Mówiąc skrótowo jest to naprawdę dobra inżynierska robota. Szczególnie część elektroniczna, związana z modułami FPGA wykonana została w sposób profesjonalny, z dbałością o wszystkie szczegóły (schematy modułów elektronicznych, ich współpraca, 6 warstwowa płytki PCB, zasilanie, montaż – wszystko zrobione bardzo starannie i mądrze). Z kolei tworząc osnowę mechaniczną swojej inteligentnej kamery Doktorant wykorzystał mechanizm oprawy oświetleniowej Swing Pathfinder produkcji ES-SYSTEM, której zresztą był głównym konstruktorem.

Implementacja w FPGA opisana w rozdziale 5. została także przemyślana i zrealizowana **perfekcyjnie**. Trafna była w szczególności decyzja konstrukcyjna przewidująca umieszczenie toru wizyjnego w całości jako implementacji sprzętowej, oraz lokalizująca pozostałe zadania (konfiguracja kamery, sterowanie silników krokowych, analiza wektora ruchu, komunikacja, kontrola transmisji I²C itd.) w części programowej realizowanej w softprocesorze Microblaze. Dobrym założeniom towarzyszyła dobra realizacja. Bardzo ładnie opracowany został projekt VHDL, poprawnie zaplanowano przepływ danych obrazowych, w przemyślany sposób rozwiązana została generacja sygnałów zegarowych oraz obsługa pamięci SRAM a także problem zarządzania pamięcią. Osobną część piątego rozdziału pracy stanowi projekt modułu kamery, podglądu obrazu oraz poszczególnych etapów przetwarzania obrazu (aż do wyznaczania wektora przesunięcia włącznie) - także bardzo profesjonalnie rozwiązany.

Ogólnie rozdział 5. oraz uzupełniające jego treść Załączniki A, B i C stanowią prawdziwy „majstersztyk” inżynierski, dowodzący, że mgr Zawadzki perfekcyjnie opanował sztukę projektowania i wykonywania złożonych systemów łączących elementy elektroniki, informatyki i automatyki. Naprawdę jestem pod wrażeniem!

Trochę mniej mi się podoba rozdział 6. zatytułowany „Uruchamianie i testowanie” i zawierający dokładnie to, co ten tytuł zapowiada – opis uruchomienia i testowania zbudowanego urządzenia. W dodatku jest to bardzo dobry, znowu użyję tego słowa: **profesjonalny** opis uruchomienia i testowania zbudowanej inteligentnej kamery.

Dlaczego więc mimo tak wysokiej oceny opisu (i wynikającego z tego opisu procesu) uruchomienia i testowania zbudowanego urządzenia napisałem, że ten rozdział mniej mi się podoba?

Otóż ocena taka wynika z celu rozważanej pracy doktorskiej. Celu naukowego, który powinien przynieść wzbogacenie **wiedzy**. Wydaje się, że Doktorant zmagając się z kolejnymi problemami dotyczącymi budowy inteligentnej kamery zapomniał trochę o postawionej na wstępie **tezie** pracy, która brzmiała:

Adaptacja i zrównoleglenie algorytmów śledzenia obiektów i ich implementacja na rekonfigurowalnej platformie obliczeniowej, pozwoli na realizację sprzężenia wizyjnego w sterowniku kontrolującym w czasie rzeczywistym urządzenie ruchome.

Doktoraty zwykle tak się redaguje, żeby stanowiły one **naukowy dowód** postawionej tezy. Wcześniejsze części ocenianej pracy do takiego dowodu zmierzały, gdyż budowa inteligentnej kamery w której zastosowano *zrównoleglenie algorytmów śledzenia obiektów i ich implementację na rekonfigurowalnej platformie obliczeniowej* była warunkiem koniecznym konstruktywnego dowodzenia sformułowanego przypuszczenia naukowego. Natomiast gdy już tę kamerę zbudowano – należało skupić się na wykazaniu drugiej części tezy, to znaczy na przekonującym udowodnieniu, że takie właśnie urządzenie *pozwoli na realizację sprzężenia wizyjnego w sterowniku kontrolującym w czasie rzeczywistym urządzenie ruchome*. Tymczasem w rozdziale 6., w którym taki dowód powinien być przeprowadzony, mamy kolejno badania: energochłonności zbudowanego urządzenia, jego wydajności i prędkości nadszania – a dopiero potem opisane są testy śledzenia, które mogą odpowiadać potrzebnemu dowodowi prawdziwości sformułowanej tezy rozprawy. W dodatku wyniki tych testów przedstawiono wyłącznie w postaci serii zdjęć – nie bardzo zrozumiałych i mało czytelnych. Na rysunku 6-8 jakiś tajemniczy przedmiot (dysk CD?) jakos się przemieszcza (co go napędza i kieruje?), narysowane niebieskie kreski zwykle (ale nie zawsze) pokazują kierunek jego ruchu, natomiast ruchu kamery śledzącej ten obiekt nie dostrzegam. Zatem ten test to **nie jest** dowód na *realizację sprzężenia wizyjnego w sterowniku kontrolującym w czasie rzeczywistym urządzenie ruchome* - albo ja czegoś tutaj nie rozumiem.

Lepszy pod tym względem jest rysunek 6-9, gdzie rzeczywiście widać śledzenie, chociaż moim zdaniem polepszenie jakości tych obrazów (na przykład metodą równoważenia histogramu) byłoby lepsze niż tłumaczenie (str. 114), czemu są one takie brzydkie wraz z zapewnieniem, że układy elektroniczne inteligentnej kamery otrzymują obraz lepszej jakości, a tylko wyjście VGA tak go zubaża. Również obrazy na rysunkach 6-11 i 6-12 pokazują efekt śledzenia – a o to przecież chodzi (w kontekście tezy rozprawy). Natomiast rysunek 6-14 jest ładny, ciekawy – ale w sensie naukowym pracy nie wzbogaca.

Dlatego gdy czytam w rozdziale 7. (podsumowanie) stwierdzenia Doktoranta: *Celem zrealizowanych prac było wykazanie, że wyposażenie urządzenia w układ reprogramowalny FPGA pozwoli na zbudowanie urządzenia zdolnego do aktywnego śledzenia poruszających się obiektów* i dalej: *Cele te zostały w pełni potwierdzone przez osiągnięte wyniki*, to po pierwsze chcę stwierdzić, że cele nie mogą być „potwierdzone” tylko „osiągnięte” („potwierdzona” powinna być teza pracy), a ponadto głęboko wierząc w sukces zamierzeń Autora stwierdzam, że dobór zamieszczonych w rozprawie wyników badań pracownice

zbudowanej inteligentnej kamery dla mnie wcale nie stanowi **pełnego potwierdzenia**, że cele pracy zostały osiągnięte i teza została dowiedziona. Podkreślam: nie kwestionuję **prawdziwości** stwierdzenia zawartego w tezie rozprawy ani nie podaję w wątpliwość tego, że mgr Zawadzki poprzez zbudowanie swojej kamery tezę tę udowodnił. Kwestionuję natomiast strukturę pracy, w której to, co było **środkiem** do osiągnięcia naukowego celu (konstrukcja i budowa kamery) przesłoniło mocno cel jako taki.

Przechodząc do całościowej oceny rozprawy stwierdzam, że moja ocena jest pozytywna, nawet więcej, niż pozytywna (choć jako „recenzent domowy” nie mam prawa wnioskować o wyróżnienie tej rozprawy). W całej pracy widać niezwykle rozległą **wiedzę** Doktoranta, a także jego **innowacyjność**, **talent konstruktorski** oraz godną pochwały **pracowitość**. Dodatkowo tym, co wyróżnia ocenianą pracę mgra Zawadzkiego na tle większości przedkładanych obecnie prac doktorskich, jest jej bardzo konkretny, w najlepszym znaczeniu tego słowa **inżynierski** charakter. Tam, gdzie większość doktorantów ucieka obecnie w kierunku symulacji komputerowych lub (rzadziej) rozważań teoretycznych – mgr Zawadzki buduje unikatowe urządzenie badawcze i przeprowadza z nimi konkretne doświadczenia w warunkach laboratoryjnych i w warunkach rzeczywistych. To jest godne pochwały i to zdecydowanie popieram.

Pracę oceniam więc w całości jednoznacznie pozytywnie. Zarówno **koncepty teoretyczne** inteligentnej ruchomej kamery, jak i **budowa** tej kamery oraz **eksperymenty** przeprowadzone w ramach pracy są zdecydowanie oryginalnym wkładem mgra Zawadzkiego do uprawianej dyscypliny naukowej. Zawarta w tych koncepcjach, konstrukcjach i weryfikujących je doświadczeniach oryginalna myśl Doktoranta stanowi jeden z najwartościowszych elementów opiniowanej pracy, który doceniam i który zdecydowanie pochwalam.

Przytoczone w tekście rozprawy uwagi polemiczne w najmniejszym stopniu nie umniejszają wartości naukowej ocenianej pracy. Uważam, że praca **zawiera** wartościowy i oryginalny dorobek naukowy Kandydata, a zakres i poziom uzyskanych wyników badawczych stanowczo odpowiada ustawowym i zwyczajowym wymaganiom, stawianym rozprawom na stopień doktora nauk technicznych. Wnioskuje zatem do Wysokiej Komisji wyłonionej z Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH o **przyjęcie** rozprawy i dopuszczenie jej Autora, **mgr inż. Artura Zawadzkiego** do jej publicznej obrony.

