PRZEWODNICZĄCY RADY DYSCYPLINY
Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika

prof. dr hab. inż. Andrzej Kasiński

Szczecin, 29.04.2020 r.

dr hab. inż. Krzysztof Okarma, prof. ZUT
Katedra Przetwarzania Sygnałów i Inżynierii Multimedialnej
Wydział Elektryczny
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

WYDZIAŁ AUTOMATYKI, ROBOTYKI I I ELEKTROTECHNIKI POLITECHNIKA POZNAŃSKA
07 -05- 2020
WPŁYNĘŁO

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
dla Rady Dyscypliny *Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika*
Politechniki Poznańskiej

opracowana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Andrzeja Kasińskiego z dnia 3.03.2020 r.

Tytuł rozprawy:	**Architektury sprzętowo-programowe jako procesory kamer inteligentnych pracujących w sieciach automatycznego nadzoru**
Autor rozprawy:	**mgr inż. Michał Fularz**
Dyscyplina naukowa:	**automatyka i robotyka**
Promotor:	**prof. dr hab. inż. Andrzej Kasiński**

I. TEMATYKA, TEZA NAUKOWA I CEL ROZPRAWY

Systemy wizyjne pełnią coraz istotniejszą rolę w wielu zastosowaniach związanych z automatyką i robotyką, integrując często osiągnięcia z pogranicza dyscyplin pokrewnych, takich jak elektronika, informatyka, czy telekomunikacja, biorąc pod uwagę wzrost zapotrzebowania na efektywną transmisję danych obrazowych i multimedialnych. Recenzowana rozprawa, stanowiąca zwieńczenie przewodu doktorskiego wszczętego 21 października 2014 r. w dziedzinie nauk technicznych w ówczesnej dyscyplinie *automatyka i robotyka*, integruje wiele zagadnień z tych obszarów działalności naukowej, co w mojej opinii doskonale wpisuje się w nową dyscyplinę naukową *automatyka, elektronika i elektrotechnika*, w której stanowić ma ona podstawę nadania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych.

Postępująca automatyzacja oraz informatyzacja wielu dziedzin życia, w szczególności wzrost ilości przetwarzanych i przechowywanych informacji, w znacznej mierze pozyskiwanych za pomocą coraz powszechniejszych kamer, stanowi nieodłączny element rozwoju współczesnego przemysłu, a także sektora usług, czy nawet rolnictwa. Jednym z łatwo dostrzegalnych tego symptomów jest niewątpliwie wszechobecność kamer stanowiących elementy systemów automatycznego zdalnego nadzoru, czy też rosnące znaczenie systemów wizyjnych w rozwiązaniach sektora *automotive,*

stanowiących często rozwinięcie metod znanych i stosowanych wcześniej np. w robotyce mobilnej. Rozwój metod analizy obrazów i systemów wizyjnych ma aktualnie charakter wielokierunkowy – jednym z dynamicznie eksplorowanych obszarów badawczych jest w ostatnich latach zastosowanie głębokich sieci neuronowych, które jednakże nie zawsze jest możliwe do implementacji w systemach automatyki i robotyki, czy też rozwiązaniach sprzętowych o ograniczonych zasobach pamięci oraz możliwościach obliczeniowych. Z tego względu rozwijane są także metody bazujące na bardziej „tradycyjnym" modelu analizy obrazów z użyciem cech określanych jako *hand-crafted features*, a także klasycznego uczenia maszynowego. Poza poszukiwaniem nowych metod i algorytmów związanych zarówno z tworzeniem deskryptorów, jak również dotyczących klasyfikacji, istotnym wyzwaniem jest często prędkość przetwarzania danych, warunkująca pracę w czasie rzeczywistym, czy też osiągnięcie wymaganej prędkości sterowania robotem lub śledzenia obiektów. W ten właśnie nurt badań, powiązany z efektywną sprzętową implementacją metod przetwarzania i analizy obrazu, wpisuje się rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Fularza. Podjęta przez Doktoranta tematyka badawcza jest zatem aktualna i ważna nie tylko w aspekcie naukowym, ale także z utylitarnego punktu widzenia, dobrze wpisując się w trendy rozwojowe współczesnej automatyki i robotyki w zakresie systemów wizyjnych.

Autor rozprawy postawił dwie komplementarne tezy, iż *„zastosowanie architektur sprzętowo-programowych i układów reprogramowalnych w projekcie kamery inteligentnej pozwala na istotne pogłębienie lokalnej analizy strumienia obrazów przy jednoczesnym znacznym obniżeniu zapotrzebowania na energię zasilania"* oraz *„realizacja zadań przetwarzania obrazu bezpośrednio w kamerze inteligentnej pozwala na stworzenie skalowalnej sieci automatycznego nadzoru wizyjnego"*. Tezy te, sformułowane są jasno, podobnie jak problematyka podjętych badań oraz uzasadnienie jej wyboru. Doktorant trafnie uzasadnił podjęcie tematyki badań rosnącym zapotrzebowaniem na urządzenia monitoringu wizyjnego stosowanego w różnych celach, wskazując m.in. zwiększenie bezpieczeństwa w przestrzeni publicznej, ochronę mienia, czy nadzór przebiegu procesów przemysłowych. Wskazując kłopotliwość stosowania algorytmów stratnej kompresji wideo, wskazał zalety podejścia opartego na idei sieci rozproszonych kamer inteligentnych, motywując tym zasadność implementacji sprzętowej algorytmów analizy obrazu bezpośrednio w kamerze inteligentnej, co umożliwia uniknięcie konieczności transmisji dużej ilości danych.

Zasadniczym celem pracy wskazanym pośrednio przez Autora (choć nie jest to wskazane bezpośrednio w podrozdziale 1.3 „Tezy i cel rozprawy") jest *„określenie architektury sprzętowo-programowej kamery inteligentnej zbudowanej w oparciu o heterogeniczny układ reprogramowalny"*, a co się z tym wiąże implementacja wydajnych algorytmów analizy sekwencji wideo w układzie tej kamery, co umożliwia poprawę efektywności wykorzystania ograniczonych zasobów (przepustowość sieci, zużycie energii). Przedstawione w pracy rozwiązanie potwierdza w mojej opinii osiągnięcie postawionego celu oraz zweryfikowanie hipotez badawczych sformułowanych w pracy.

II. ZAWARTOŚĆ MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska pt. *„Architektury sprzętowo-programowe jako procesory kamer inteligentnych pracujących w sieciach automatycznego nadzoru"* została podzielona na 7 rozdziałów, z czego pierwszy – o charakterze wprowadzającym – zawiera ogólny opis problematyki rozprawy, motywację podjęcia badań oraz krótki opis jej zawartości, opartej częściowo na wskazanych

w końcowej części pracy dziewięciu współautorskich publikacjach, w większości w materiałach konferencyjnych. Nie ma wśród wymienionych prac publikacji z ostatnich dwóch lat, czego przyczyną jest zapewne redakcja tekstu rozprawy doktorskiej. Zasadniczą część rozprawy stanowią rozdziały 2-6, natomiast ostatni ma charakter podsumowujący, wskazując także potencjalne kierunki dalszych badań.

Rozdział 2. zawiera przegląd rozwiązań dotyczących kamer inteligentnych oraz systemów nadzoru wizyjnego realizowanego w sposób automatyczny, uwzględniający w szczególności architektury rozproszone, a także metody zarządzania przepływem danych w sieciach kamer. Opis ten jest dość wyczerpujący, ze wskazaniem wad i zalet kamer inteligentnych oraz możliwości ich realizacji z użyciem różnych technologii – począwszy od mikrokontrolerów lub mikroprocesorów, przez procesory sygnałowe lub jednostki CPU powszechnego użytku, po układy FPGA.

W kolejnym rozdziale zawarty został przegląd układów reprogramowalnych, wraz z rozwojem architektur sprzętowo-programowych, ze szczególnym uwzględnieniem układów Xilinx Zynq-7000 użytych do praktycznej realizacji układu kamery inteligentnej przedstawionego w rozprawie. Poza omówieniem budowy wewnętrznej i przeglądem dostępnych układów, przedstawiono także metody projektowania układów reprogramowalnych m.in. z użyciem języka VHDL, Verilog, czy podział zadań pomiędzy sprzęt i oprogramowanie (hardware-software codesign). Wydaje się, iż wzbogaceniem tego rozdziału mogłoby być nieco bliższe przedstawienie specyfiki i składni języków opisu sprzętu poparte kilkoma przykładami z zakresu tematyki pracy.

Rozdział 4. rozprawy dotyczy opisu wybranych algorytmów przetwarzania i analizy obrazów stosowanych w systemach automatycznego nadzoru, w którym przedstawiono ogólny schemat przepływu i analizy danych w kamerze inteligentnej, jak również poszczególne etapy przetwarzania wstępnego, detekcji cech oraz wykrywania i śledzenia obiektów. Dokładniej przedstawione zostały algorytmy użyte w celu weryfikacji możliwości efektywnej implementacji sprzętowej – na uwagę zasługuje algorytm przybliżonej mediany używany do estymacji i usuwania tła, przedstawiono także szczegółowo zasadę działania detektora FAST (*Features from Accelerated Segment Test*) oraz deskryptora BRIEF (*Binary Robust Independent Elementary Features*) zaimplementowanych w układzie FPGA, a także krótki przegląd wybranych innych deskryptorów. Doktorant przedstawił również klasyfikację obiektów z użyciem deskryptora Local Binary Patterns (LBP), drzew decyzyjnych (*Decision Trees*) oraz tzw. lasu losowego (*Random Forest*). Przedstawione metody zostały opisane w sposób jasny i precyzyjny, z uwzględnieniem aspektów istotnych dla ich realizacji sprzętowej.

W rozdziale 5. Autor przedstawił sposób implementacji składowych elementów kamery inteligentnej, bazującej na układzie FPGA z rodziny Xilinx Zynq wraz ze szczegółowym przedstawieniem zaproponowanej architektury sprzętowej. Opisano także metody sterowania przepływem danych na poziomie pojedynczej kamery, jak również całej sieci zdalnego nadzoru. Przyjęte założenia zostały dobrze umotywowane, przy czym wskazano na uwarunkowania dotyczące zużycia energii, a także trudności związane z efektywnym zrównoleglaniem niektórych algorytmów analizy obrazów. Przedstawione założenie dotyczące realizacji sprzętowej kosztownych obliczeniowo zadań zostało dobrze umotywowane, a przestawione rozwiązanie dobrze je wypełnia, m.in. dzięki wykorzystaniu bezpośredniego dostępu do pamięci (*Direct Memory Access* – DMA) oraz przetwarzania potokowego.

Dzięki przyjętej modułowej architekturze możliwa jest dalsza rozbudowa opracowanego systemu, co – poza zwiększeniem prędkości przetwarzania oraz efektywności zużycia energii i dostępnej przepustowości transmisji – uznać należy za jedną z zasadniczych zalet zaproponowanego rozwiązania.

W rozdziale tym przedstawiono szczegółowo sprzętową implementację algorytmów omówionych w poprzednim rozdziale (przybliżona mediana, FAST, BRIEF) wraz z uzasadnieniem wyboru zastosowanych rozwiązań, podobnie jak binarnego deskryptora regionów LBP, modułu drzew decyzyjnych oraz sterowania przepływem informacji w sieci kamer oraz w pojedynczej kamerze. W końcowej części rozdziału znajduje się krótki opis bazy danych obrazowych pozyskanych na potrzeby weryfikacji działania opracowanego rozwiązania, które zostało omówione w rozdziale 6.

Weryfikacja eksperymentalna została dokonana w kilku etapach, co jest podejściem właściwym ze względu na przyjęcie podstawowego założenia dotyczącego zgodności wyników uzyskiwanych za pomocą rozwiązań software'owych oraz sprzętowych. Po tej walidacji, obejmującej także analizę ewentualnych różnic i jej wpływu na końcowy wynik analizy obrazu, dokonana została analiza jakościowa działania zaimplementowanych algorytmów. Przedstawiono wyniki dotyczące zużycia zasobów i prędkości działania poszczególnych bloków funkcjonalnych układu kamery inteligentnej wraz z odniesieniem do podobnych prac. Na uwagę zasługuje dodatkowo porównanie wydajności podsystemu DMA w zależności od użycia systemu operacyjnego (w tym przypadku Linuksa) lub jego braku, co pozwoliło na określenie potencjalnych problemów występujących przy przesyłaniu mniejszych ilości danych.

Kolejnym przedstawionym w tym rozdziale etapem weryfikacji eksperymentalnej jest pomiar zużycia energii w zależności od sterowania przepływem informacji w sieci kamer inteligentnych. Jako platformę testową wybrano zestaw pięciu modułów PiCam bazujących na popularnej platformie RaspberryPi. Przeprowadzono ponadto testy dla pojedynczych kamer z użyciem trzech różnych rozwiązań sprzętowych.

Rozdział 7. zawiera wnioski wyciągnięte na podstawie zrealizowanych prac, potwierdzające słuszność przyjętych założeń. Wskazano w nim także potencjalne zastosowania, także ściśle związane z robotyką mobilną, jak odometrię wizyjną czy też Visual SLAM, a także systemy wspomagania pracy kierowcy ADAS coraz częściej stosowane w branży *automotive*. Ponadto nakreślone zostały kierunki dalszych badań i rozwoju zaproponowanego w rozprawie rozwiązania.

III. OGÓLNA OCENA ROZPRAWY i UWAGI DYSKUSYJNE

Rozprawa ma charakter zarówno teoretyczny, jak również w znacznym stopniu doświadczalny, co wiąże się z dużymi możliwościami praktycznego wykorzystania zaproponowanego w niej rozwiązania. Została ona zredagowana w dość staranny sposób, choć w tekście pracy zdarzają się dość liczne usterki typograficzne, a także powtarzające się potknięcia językowe. W mojej opinii rozprawa prezentuje jednakże wysoki poziom merytoryczny poparty dużą wiedzą Autora oraz znajomością publikacji z zakresu tematyki pracy. Świadczy o tym m.in. licząca 232 pozycje bibliografia, zawierające trafnie dobrane pozycje, w większości z ostatnich kilku lat, ściśle związane z tematyką rozprawy.

Zaproponowana w pracy koncepcja architektury sprzętowo-programowej kamery inteligentnej na potrzeby rozproszonych systemów automatycznego nadzoru wizyjnego stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe, będąc jednocześnie ambitnym zadaniem implementacyjnym, wymagającym bardzo dobrej znajomości rozwiązań z zakresu elektroniki programowalnej. Przyjęte założenia spowodowały konieczność wyboru określonych metod przetwarzania wstępnego obrazu, detekcji cech oraz deskryptorów, przez co pewien niedosyt budzić może brak głębszej analizy porównawczej z alternatywnymi rozwiązaniami np. innymi deskryptorami. Motywacja wyboru algorytmów jest dość uogólniona – szkoda, iż nie została poparta wynikami porównawczej weryfikacji eksperymentalnej, nawet w realizacji software'owej.

Do oryginalnych osiągnięć naukowych zaliczyć należy:

- zaproponowanie nowej architektury sprzętowo-programowej kamery inteligentnej,
- implementację i optymalizację proponowanego rozwiązania oraz jego przetestowanie dla bazy pozyskanych obrazów,
- zaproponowanie i weryfikację eksperymentalną metody sterowania przepływem danych umożliwiającą efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów, tj. przepustowości sieci oraz ograniczenie zużycia energii,
- adaptację i efektywną implementację sprzętową wybranych algorytmów przetwarzania obrazu z uwzględnieniem uwarunkowań wynikających z zastosowanego rozwiązania sprzętowego.

Stworzona w ramach pracy baza obrazów testowych może stanowić podstawę rozwoju sprzętowych i programowych metod używanych do celów monitoringu wizyjnego także dla innych badaczy ze względu na jej publiczne udostępnienie, podobnie jak kody zamieszczone w repozytorium GitHub.

Podczas lektury rozprawy pojawiają się pewne wątpliwości, a także inne uwagi o charakterze dyskusyjnym, które w mojej opinii zasługują na nieco szerszy komentarz Autora pracy.

- Na str. 69 nie zostało sprecyzowane, czy właściwym rozwiązaniem jest równoległe stosowanie detektora FAST oraz deskryptora BRIEF, jeśli stosunkowo niewielka liczba pikseli zostanie uznana za „interesujące" i zapisana. Czy nie warto byłoby rozważyć wyznaczania deskryptora BRIEF tylko dla nich i jaki byłby tego ewentualny wpływ na działanie kamery?
- W detektorze FAST przyjęto 16 pikseli na okręgu Bresenhama, zatem nasuwa się pytanie, jak wygląda kwestia skalowalności algorytmu w przypadku zmiany rozmiaru obiektów (czy też np. grubości linii krawędzi) widocznych na obrazie lub rozdzielczości obrazu. Jaki byłby wpływ na wartości *corner score*? Czy wymagane byłoby przeskalowanie obrazu wejściowego do zadanego rozmiaru?
- Na str. 73 Autor posłużył się pojęciem „maski okrągłej" – z tekstu nie wynika jednak, co Autor ma na myśli w kontekście prostokątnej siatki pikseli. Nie jest również jasne, na jakiej podstawie określony został rozmiar okna 33 × 33 piksele.
- Na str. 74 w niedokończony, zdaniu *„Szerokość opóźnianego sygnału to jeden bit, w związku z czym zastosowane podejście wykorzystuje minimalną ilość logicznych."* nie jest jasne, czy chodzi np. o bramki logiczne, czy operacje logiczne (pomijając nieprawidłowe użycie słowa „ilość" zamiast „liczba").
- Na str. 77 wskazany został sposób przyspieszenia obliczeń wykorzystujący modyfikację wartości uzyskiwanej dla obszaru tylko dla pikseli „opuszczających" obszar i do niego „wchodzących". Czy

Autor rozważał zastosowanie do tego celu rozwiązania bazującego na obrazach całkowych (*integral images*)?

- Na str. 103 Autor posłużył się pojęciem „własnościowe interfejsy" – co ono dokładnie oznacza?
- W tablicach 6.10 – 6.12 zaprezentowano wartości wskaźnika f1. Czym kierował się Autor wybierając ten wskaźnik zamiast np. accuracy?
- Czy pomiary czasu wykonywania algorytmów, w szczególności w realizacji software'owej, stanowią wartości średnie z pewnej liczby powtórzeń (ew. jakiej?), czy były wykonywane jednokrotnie?
- Odnosząc się do metody uczenia omówionej na str. 82, nasuwa się pytanie, czy proces oceny jakości działania, czy też zużycia zasobów, można zautomatyzować. Warto byłoby w tym przypadku przedstawić wykres ilustrujący uzyskiwane wyniki w kolejnych etapach, także w kontekście wskazanej możliwości optymalizacji dla lasów losowych.

IV. UWAGI SZCZEGÓŁOWE

Praca jest napisana dość starannie, zrozumiałym i na ogół poprawnym językiem. Pod względem edytorskim zauważyć można nieliczne usterki wynikające ze specyfiki środowiska LaTEX, wśród których wymienić można np. niewłaściwe justowanie tekstu w kilku miejscach pracy (np. na str. 7, 34, 35, 36, 50, 80 czy 82), którego można byłoby uniknąć np. używając polecenia *hyphenation* do podziału słów na sylaby. W wielu miejscach powtarzają się także pozostawione na końcach wierszy jednoliterowe spójniki i przyimki. W przypadku cytowani kilku pozycji bibliograficznych nie zawsze zachowana jest rosnąca kolejność (np. [161][6][27] na str. 10). Czytanie pracy utrudnia nieco niewłaściwa lokalizacja niektórych rysunków i tabel, np. pojedynczego wiersza tekstu na str. 110 można byłoby łatwo uniknąć zmniejszając nieco rysunek 6.6 (podobna sytuacja ma miejsce na str. 100), pewne zaskoczenie budzi też lokalizacja rysunku 6.11 na str. 119. W pracy zdarzają się dość liczne błędy typograficzne – najczęściej niewłaściwe końcówki fleksyjne wyrazów, przykładowe inne usterki to „w trackie", „samoogranizujące się", „transciver", „reporgamowalnym", „wzorocowym", „uproszcza", itp.

Autor rozprawy ma tendencję do pewnego nadużywania słowa „dziedzina" w odniesieniu do stosunkowo „wąskich" pojęć (np. „w dziedzinie kamer", „w dziedzinie zastosowania układów" itp.). W pracy zdarzają się też dość liczne błędy interpunkcyjne – głównie nadmiarowe lub brakujące przecinki (np. „jako, że zapewnia, że" na str. 62). Czytelniejsze byłoby też konsekwentne używanie symbolu × zamiast litery x przy podawaniu rozmiarów obrazów lub bloków, np. 1920 × 1080 zamiast 1920 x 1080 (np. tablice 6.2-6.4 czy rysunek 4.4).

Rysunek 6.3. oraz tablica 6.5 powielają te same informacje, być może czytelniejsze byłoby zastosowanie etykiet na rysunku zawierających wartości numeryczne. W podpisach tabel 6.7 czy też 6.8 zupełnie niepotrzebnie używane są anglojęzyczne liczby mnogie (LUTs, BRAMs, FFs). Podpis rysunku 6.8. budzi również pewne wątpliwości w odniesieniu do użycia sformułowania „bezwzględne wartości". Niezbyt fortunne jest również ostatnie zdanie na str. 96, dużo czytelniejsze byłoby w wielu miejscach pracy użycie słowa „rysunek" zamiast „obraz" w odniesieniu do ilustracji w tekście pracy.

Niestety Autor nie ustrzegł się też pewnych błędów językowych, czy też stylistycznych (np. „tyczą się" na str. 12 – zamiast „dotyczą", „oparty o" zamiast „oparty na" lub „w oparciu o", „przekonywującą" zamiast „przekonującą" lub „przekonywającą", „send by the cameras" zamiast

„sent by the cameras"). Sformułowanie na str. 92 *„strumień wejściowy ma natężenie 25 klatek na sekundę i rozwiązanie oferujące przetwarzania z prędkością 200 obrazów na sekundę nie ma uzasadnienia"* również nie wydaje się najszczęśliwsze z punktu widzenia użycia słów „natężenie" i „prędkość" w tym samym kontekście. Użycie słowa „dylacja" w odniesieniu do operacji morfologicznej jest również pewnego rodzaju „kalką językową" angielskiego słowa „dilation" – lepszym słowem jest powszechniej używana „dylatacja".

Zamieszczony w pracy spis skrótów również nie jest pełny, gdyż w tekście można znaleźć sporo akronimów, które w nim nie występują, a czasem nie są również rozwinięte przy pierwszym wystąpieniu w tekście rozprawy (np. HOG, KAZE, QCIF, CIF, QVGA).

Wzór (5.2) dotyczący filtru Gaussa jest oderwany od tekstu, niezbyt czytelny jest również wzór w tekście na str. 101 (z brakującą literą w mianowniku), brak także spójności w odniesieniu do odniesień do numerów podrozdziałów – czasem są cytowane w nawiasach kwadratowych, czasem bez nich – w niektórych miejscach dość trudno się zorientować, czy odniesienie dotyczy rysunku, tabeli czy podrozdziału. Nie jest też jasne określenie „rozdzielczość 720HD" (str. 105) – być może Autor miał na myśli „720p".

Pomimo sporej liczby usterek (nie wszystkie zostały wymienione w recenzji), można uznać, iż w zdecydowanej większości nie są to błędy szczególnie rażące, zwłaszcza iż często zdarza się kilkukrotne wystąpienie usterek tego samego rodzaju, w szczególności interpunkcyjnych, czy typograficznych.

Zauważone błędy edytorskie i językowe można uznać za usterki drobne, nie utrudniające w istotnym stopniu lektury i zrozumienia zagadnień przedstawianych w rozprawie. Z tego względu nie umniejszają one mojej ogólnej pozytywnej oceny rozprawy.

V. WNIOSKI KOŃCOWE

Opiniowana rozprawa stanowi samodzielne rozwiązanie zadania badawczego mieszczącego się w zakresie dotychczasowej dyscypliny naukowej *automatyka i robotyka*, zawierając także istotne elementy interdyscyplinarne, bardzo dobrze wpisujące się w zakres aktualnej dyscypliny *automatyka, elektronika i elektrotechnika.* W pracy Autor wykazał się biegłą znajomością zagadnień związanych zarówno z detekcją i śledzeniem obiektów w systemach automatycznego nadzoru, jak również elektroniki programowalnej i systemów rozproszonych, potwierdzając umiejętność rozwiązywania problemów naukowych z tego zakresu.

Stwierdzam, iż przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska **mgr. inż. Michała Fularza** pt. ***Architektury sprzętowo-programowe jako procesory kamer inteligentnych pracujących w sieciach automatycznego nadzoru***, której promotorem jest prof. dr hab. inż. Andrzej Kasiński, spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. nr 65 poz. 595, z późn. zm.). **Wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.**