

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY NAUKOWEJ  
INSTYTUTU PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

Tytuł rozprawy: **Lokalizacja robota mobilnego względem automatycznie wybieranych obiektów**

Autor rozprawy: **mgr inż. Ireneusz Hallmann**

### **1. Obszar problemowy rozprawy**

Przedmiotem rozprawy są metody automatycznej lokalizacji położenia i orientacji kamery przemieszczonej w płaszczyźnie poziomej, w otoczeniu, w którym umieszczono prosty, pasywny znak orientacyjny (landmark) o znanych charakterystykach (kształt, barwa, wymiary liniowe). Praca zawiera rozważania nad identyfikacją takiego znaku oraz nad wyznaczaniem pozycji (współrzędnych położenia i orientacji) kamery na podstawie obrazu zarejestrowanego przez nią. Istotną część rozprawy stanowią rozważania nad sposobami kalibracji kamery. Skalibrowana kamera umożliwia określanie wymiarów liniowych obiektów pojawiających się w jej polu widzenia. W szczególności rozważany jest problem korekcji zniekształceń obrazu wprowadzanych przez kamerę. Następnie wyprowadzono proste zależności trygonometryczne wiążące dane uzyskiwane z obrazu z parametrami wyznaczającymi chwilowe położenie i orientację kamery w płaszczyźnie jej ruchu. Zależności te odnoszą się do poszczególnych tzw. obszarów dobrej widoczności w otoczeniu znaku orientacyjnego. Obszary te pokrywają powierzchnię roboczą przed znakiem i gwarantują uzyskiwanie informacji z ograniczonym błędem metody. Warto podkreślić, że pojedyncza kamera jest tu zasadniczym elementem systemu nawigacyjnego mobilnego robota kołowego poruszającego się po płaszczyźnie (poziomej).

### **2. Ogólna ocena wyników**

Autor przeprowadził analizę teoretyczną i doświadczalną problemu detekcji znaku na obrazie, sformułował szczególne zadanie kalibracji kamery, przeprowadził rozważania nad wyborem użytecznych charakterystyk znaku orientacyjnego oraz wyprowadził zależności, wg których przeliczane są dane uzyskiwane bezpośrednio z zarejestrowanego obrazu na wielkości fizyczne charakteryzujące pozycję kamery. Analiza ta obejmuje wyznaczenie funkcji wrażliwości uzyskanych wyrażeń, co umożliwia ocenę wpływu błędów pomiarowych systematycznych i losowych na dokładność wyników. Obok wyprowadzeń wzorów stanowiących rozwiązanie podstawowego zadania rozprawy, autor przeprowadził szereg eksperymentów weryfikujących praktycznie elementy zaproponowanej metody samolokalizacji kamery (robota), co pozwala ocenić jej skuteczność i granice jej zastosowań.

Centralne miejsce w rozprawie zajmuje wyprowadzenie dwóch metod samolokalizacji, wykorzystujących elementarne zależności trygonometryczne pomiędzy położeniem wyekstrahowanych cech na obrazie, a parametrami charakteryzującymi współrzędne środka kamery i jej orientację w układzie odniesienia związanym ze sceną działań. Chodzi tu o:



- metodę opartą o pojedynczy pomiar odległości od znaku orientacyjnego,
- metodę opartą o pomiar dwóch odległości od znaku.

Zasadnicze znaczenie ma przyjęcie silnego założenia o znanych *a priori* charakterystykach znaku takich jak rodzaj kształtu (prostokątny), barwa pola wypełniającego, czy jego szerokość. Założenia te istotnie ograniczają praktyczną przydatność zaproponowanych metod. Z drugiej strony, zaletą zaproponowanego podejścia jest jego niezależność od znajomości trudno dostępnych tzw. wewnętrznych (*intrinsic*) parametrów kamery. Obie zaproponowane metody są wzajemnie komplementarne w tym sensie, że gwarantują prawie pełne pokrycie obszaru nawigacji w otoczeniu znaku grawitacyjnego, przy jednoczesnym zagwarantowaniu ograniczenia względnego błędu samolokalizacji do założonego przedziału wartości.

Istotnym elementem rozprawy jest staranna analiza właściwości statystycznych błędów zaproponowanych metod przeprowadzona na podstawie statystycznie znaczącej liczby powtórzeń pomiaru w wybranych punktach na płaszczyźnie nawigacji. Punkty te dobrano celowo, w taki sposób, aby możliwa była ocena wpływu wzajemnego położenia kamery i znaku na rozkład błędów mamy więc do czynienia z zaplanowanym eksperymentem. W wyniku analizy wrażliwości metody i badań statystyk błędów, płaszczyznę nawigacji podzielono na „obszary dobrej widoczności znaku”. Określenie „dobra widoczność” odnosi się do właściwości ciągłych zależności funkcyjnych wiążących współrzędne obrazowe i współrzędne rzeczywiste. Podział przestrzeni nawigacji jest w przypadku każdej z dwóch zaproponowanych metod istotnie różny, ale w sumie dobrze pokrywa obszar w otoczeniu znaku nawigacyjnego, którego rozległość jest istotna z punktu widzenia praktycznego zastosowania metody.

Teza rozprawy jest sformułowana dość ostrożnie i zakłada jedynie możliwość wykorzystania do lokalizacji obserwatora (kamery, robota mobilnego z kamerą pokładową) danych dostarczonych przez pojedynczą kamerę, odnoszących się do pojedynczego (szczególnego rodzaju) znaku nawigacyjnego. Dodatkowo dopuszcza się rotację kamery względem unoszącej ją platformy (bez sprecyzowania osi rotacji).

Uzyskana przez autora analityczna postać transformacji współrzędnych obrazowych we współrzędne sceny umożliwia w przypadku obu metod wyprowadzenie wyrażeń na współczynniki funkcji wrażliwości na wnoszące błędy metody, realistycznie określone, czynniki eksperymentu rejestracji obrazu. Wyznaczone pochodne cząstkowe 1-go rzędu dobrze charakteryzują wrażliwość z uwagi na ciągłość w/w transformat jednak są dość złożone.

Dużą zaletą rozprawy jest skonfrontowanie wyników obliczeń wrażliwości teoretycznej z wynikami badań statystycznych (pomiarów będących elementami zaproponowanych metod) w kontekście zadania samolokalizacji robota kołowego wyposażonego w system odometryczny. Test ten, tzw. UMB Benchmark, przeprowadzono wg standardowej metodologii, szeroko stosowanej do oceny jakości zewnętrznych systemów sensorycznych kołowych robotów mobilnych. Niestety, przedstawione wyniki eksperymentu nie potwierdziły w pełni oczekiwanych zalet zaproponowanej metody samolokalizacji. We wnioskach rozprawy brakuje wnikliwej analizy ewentualnych przyczyn uzyskanego rezultatu eksperymentu.

### 3. Uwagi szczegółowe.

W dalszej części recenzji odniosę się systematycznie do treści kolejnych rozdziałów rozprawy, jednocześnie zwracając uwagę na dostrzeżone usterki i błędy.

Rozdział pierwszy określa cel pracy, zawiera tezę rozprawy i ogólną charakterystykę zaproponowanej w dalszej części metody lokalizacji kamery. Wymienione cele, których osiągnięcie ma świadczyć o prawdziwości tezy, moim zdaniem nie wszystkie są konieczne lub zostały sformułowane nadmiernie ogólnie. W szczególności: przesłanki wyboru prostokątnego kształtu znaku orientacyjnego nie są ostre (wybór jest w istocie arbitralny), kwalifikacja obiektów i wybór ich cech ze względu na kryterium ich użyteczności w systemach automatycznej identyfikacji została



sformułowana zbyt ogólnie, a samo zagadnienie identyfikacji obiektu na podstawie wyznaczonych jego cech opisowych jest problemem znacznie szerszym niż problem rozwiązany w rozprawie. Jedyne cele wymienione jako nr 4 i nr 5 można uznać za trafne i ściśle związane z tezą. Ich osiągnięcie zostało w rozprawie udokumentowane w sposób przekonywujący.

Charakterystyka zagadnień nawigacji właściwych różnorodnym typom robotów mobilnych jest nadmiernie ogólna, bowiem przedstawione w rozprawie przykładowe roboty zasadniczo różnią się między sobą ze względu na zakres automatyzacji procesu nawigacji, stopień trudności zadania nawigacyjnego i zastosowaną metodę samolokalizacji. Metody będące przedmiotem rozprawy odnoszą się bowiem do najprostszego zadania nawigacji w pomieszczeniach, gdzie wymagania odnośnie jakości danych z sensorów nie są wysokie, a istotne ograniczenie stanowi jedynie koszt systemu nawigacyjnego. Niepotrzebnie silnie akcentuje się założenie, że w polu widzenia kamery występuje pojedynczy znak orientacyjny. Wystarczy powiedzieć, że rozwiązywany jest lokalny problem samolokalizacji, w przypadku którego to ograniczenie jest oczywiste. W systemach nawigacji rozległej jest ono jednak zbyt ostre.

W tym momencie pragnę odnieść się do usterek terminologicznych przewijających się w całej treści rozprawy:

- na str. 8: „...ilość znanych technik kalibracji...”, na str. 11: „...ilość śledzonych znaczników...”, na str. 18: „...układ równań nieliniowych z ilością równań...”, itd. Generalnie autor stosuje określenie „ilość” w odniesieniu do wielkości policzalnych.
- Konsekwentnie w rozprawie słowo „piksel” jest odmieniane jako „piksła”, „piksłowi”, piksli, co uznaję za niezgodne z zasadami spolszczania terminów obcych. Powinno być: piksel, pikselowi, pikseli. Nie mówimy przecież decybla.
- Nazwa „filtr cząstkowy” wprowadzona na str. 18 jest myląca (ma inny źródłosłów niż np. cząstkowość pochodnej) – powinna brzmieć: „filtr cząsteczkowy” od tzw. cząsteczki błędzącej (*ang. particle filter*).

Autor niesłusznie wyraża pogląd, że systemy stereowizyjne wyznaczają głębię sceny z wysoką rozdzielczością (w ich przypadku błąd względny wynosi 5-10%, a to oznacza niską rozdzielczość w osi Z).

Rozdział 2 zawiera obszerny i w miarę kompletny przegląd znanych technik lokalizacji wykorzystywanych w robotyce i opartych o kamery. Systematyka jest prawidłowa. Niektóre sformułowania budzą jednak sprzeciw ze względu na brak precyzji lub zbyt daleko idący skrót myślowy. Dotyczy to takich sformułowań na str. 10 jak w w.8g „...przemieszczenie nadzoruje system centralny...”, w w. 12g „...bez efektów pamięciowych...”, w w. 14-15g: „...co może być niewykonalne w niektórych warunkach...”. Wzór (2.3) w istocie nie określa wartości średniej, ale większą wartość w parze, z których każda może być charakterystyką uśrednioną. Na str. 14 wzór (2.4) jest błędny – brakuje iloczynów mieszanych  $z_i z_j$  przed symbolem funkcji cosinus. Uwaga u dołu str. 14 jest zbyt daleko idąca. Powszechnie dostępne narzędzia umożliwiają bowiem bardzo szybkie numeryczne rozwiązanie równań (2.4). Referowanie powszechnie znanej metody Newtona-Raphsona w p. 2.3.1. mija się z celem, tym bardziej, że wzór (2.5) nie został wyprowadzony z równań (2.4) i nie określono współrzędnych wektora X. Jak np. rozumieć warunek zbieżności równań (2.5)? Równanie (2.7) nie określa obliczeń iteracyjnych.

W p. 2.3.2 na str. 16, na liście symboli występuje  $z_2$  nie wykorzystywane w obliczeniach i nie zaznaczone na rys. 2.3, zaś we wzorach (2.14-2.17) nie zostały zdefiniowane zmienne  $v_{ijx}$  oraz  $v_{ijy}$ . Pragnę uzyskać wyjaśnienie w jakim sensie implementacja filtru Bayesa jest „testowaniem hipotez” (str. 18 w.4). We wzorze (2.18) na str.18 nie wyjaśniono jaką rolę w rozważanym kontekście spełnia wektor sterowań  $\underline{u}$ . Podobnie na str. 18 w.5 macierz B ma wymiary  $n \times m$  a nie  $n \times l$ , zaś macierz  $C_T$  (w.6) opisuje odwzorowanie wektora stanu na wektor obserwacji a nie odwrotnie, jak to zaznaczono w objaśnieniach. Charakteryzując zakłócenia losowe  $\varepsilon_i$  i  $\delta_i$  niczego nie zakłada się o ich wartościach oczekiwanych. Na str. 2.19 wzór (2.20) w wykładniku winno być  $n/2$  zamiast  $d/2$ . Nie zdefiniowano symbolu „\*” we wzorze (2.22) i nie wprowadzono w porę



symboli  $bel(.)$  występujących w (2.23 – 2.24). Jaką rolę pełni  $\eta$ ? Definicja funkcji  $bel(.)$  w kontekście wzoru (2.25) wymaga komentarza, gdyż macierz wyjścia filtra Kalmana  $C_T$  niekoniecznie musi być kwadratowa. Kreska nad zmienną (którą kojarzę z symbolem estymaty) może być mylnie brana za znak operacji uśredniania. Opis filtra cząsteczkowego (str. 24 p.2.4.1.) jest niepełny i enigmatyczny (zupełnie nie odniesiony do problemu rozważanego w dalszej części rozprawy). Na str. 21 błędnie poprowadzono linie epipolarne na rys. 2.5 (nie powinny być one poziome w sytuacji wyraźnie zbieżnych osi optycznych kamer). Związek p. 2.5 a zwłaszcza p. 2.6 z treścią rozprawy jest dość słaby biorąc pod uwagę wykorzystanie jego treści w dalszej jej części. System z kamerami monitorującymi wzmiankowany w p. 2.7 zbudowano w Instytucie Automatyki i Inżynierii Informatycznej Politechniki Poznańskiej, a nie na nie istniejącym Wydziale Automatyki i Robotyki. Przedstawiony przegląd technik wizyjnych znajdujących zastosowanie w systemach pokładowych eksperymentalnych robotów mobilnych jest dość kompletny. Niestety nie zachowano zrównoważonego standardu ich prezentacji. Raz są to tylko komentarze ogólne i oceny jakościowe, innym razem podawane są podstawowe zależności matematyczne, wiążące w danym modelu współrzędne obrazowe i współrzędne przestrzenne.

Rozdział 3 zawiera zestawienie wybranych i powszechnie znanych informacji o cyfrowej reprezentacji obrazu barwnego oraz metodach jej przetwarzania. Uwagi w p. 3.1.1 można było, z uwagi na ich oczywistość, pominąć. Podobnie podpunkty 3.1.2 – 3.1.5 zawierające wiadomości powszechnie znane. Nie podano literatury źródłowej do tych punktów. Uwagę o zależności zakresów nasycenia  $S$  od barwy  $H$  najlepiej można wyjaśnić przez odniesienie do bryły Munsela. Omawianie przestrzeni CMYK w kontekście obrazów z kamery jest niecelowe. Nie podkreślono niejednoznaczności odwzorowania HSV na RGB. Na str. 32 w.1 (pod Tablicą) zamiast „jasności” powinno być *wartości*. W p. 3.2 odniesiono się do problemu filtracji obrazów w bardzo elementarny sposób. Dlaczego np. ograniczono się do filtrów liniowych, a pominięto znacznie efektywniejsze w praktyce filtry nieliniowe?

W kontekście przetwarzania obrazów lepiej jest mówić o „częstości przestrzennej” zamiast o „częstotliwości”. We wzorze (3.5) w wykładniku funkcji Gaussa opuszczono znak „+”. Uwagi o zależności stopnia rozmycia obrazu od wartości liczbowych wag filtru są nieprecyzyjne. Chodzi tu w istocie o stosunki tych wag. Znaczenie ma również rozmiar okienka (suportu) filtru. Uwaga na wstępie p. 3.3 jest nieprawdziwa. Techniki detekcji krawędzi wymagają w istocie uprzedniego usunięcia z obrazu szumu o składowych o wysokich częstościach przestrzennych, a nie filtracji (w szczególności) liniowej. Natomiast najprostsze detektory splotowe w istocie nie różnią się od filtrów liniowych. Detektor Prewitta jest szczególnym przypadkiem detektora Sobela i podobnie jak detektor Marr-Hildretha ma znaczenie głównie historyczne. Od 1980 r. Opracowano wiele skuteczniejszych metod wykrywania krawędzi na obrazach (np. Canny, SUSAN, metody dyfuzyjne). Referowanie elementarnych metod detekcji w rozprawie wydaje się niecelowe. W zupełności wystarczające byłoby przedstawienie własnych rezultatów detekcji w konkretnych warunkach eksperymentu. Odniesienie w tekście do rysunków ilustrujących efekty detektorów Prewitta i Sobelaj est błędne. W p. 3.4 Autor użył sformułowania „nieregularność perspektywy” proszę o wyjaśnienie.

Moim zdaniem nie należy utożsamiać zmiany skali analizy obrazu (możliwej w sposób ciągły) z podpróbkowaniem obrazu cyfrowego. To nie jest to samo, gdyż w drugim przypadku na wynik (obraz o zredukowanej rozdzielczości) wpływa również na swój sposób przyjęta zasada agregacji pikseli. Na str. 37 w.4d jest mowa o długości fali o częstości... (przestrzennej). W kontekście przestrzennych zmiennych obrazowych operowanie pojęciem fali wydaje się niefunkcjonalne (kłopoty z określeniem kierunku propagacji, kwestia dwuargumentowości). W p. 3.7 opisano zmodyfikowaną transformację Hougha z interpolacją w przestrzeni oryginału i głosowaniem w przestrzeni akumulatorowej. Brakuje szerszej oceny skutków użytych modyfikacji.

W rozdziale 4, poświęconym metodom kalibracji kamer zaskakuje brak w omówieniu znanych, klasycznych metod kalibracji w pracach Tsai, Hartleya, Lenza i Faugerasa. Nie odnotowano



również dostępnego od kilku lat w środowisku MATLAB przybownika do kalibracji autorstwa Bougueta z JPL. N.B. daje on wyniki lepsze niż te przytoczone w rozprawie. Na str. 45 w.20 zamiast „*estymacja*” powinno być „*estymata*”. W podpunkcie 4.2.1 wprowadzono symbol  $W$ , który jest w konflikcie np. z symboliką wzorów (4.4) i (4.5). Nie określono symboli  $F_x$  i  $F_y$ , zaś prawidłowo powinno być:  $p^i = (x \ y)^T$ . Na ogół w literaturze współrzędne kamerowe oznaczają się  $[x, y, z]$  a współrzędne obrazowe jako  $[u \ v]$ . Na str. 46 nie podano źródła z którego pochodzi model zniekształceń soczewkowych (wz. (4.6) i (4.7)). Styl fragmentu zdania „...*każda kamera musi zgodzić się z estymacją położenia ...*” budzi sprzeciw. Trudno uznać przedstawioną w rozprawie metodę kalibracji modelu wewnętrznego kamery za oryginalną. Na str. 55 we wz. (4.11) występują symbole  $d_i$  gdy poprawnie powinny to być  $x_i$ .

Rozdział 5. We wz. (5.1) nie określono dziedziny, w której obliczany jest moment, a we wz. (5.2) błędnie zapisano rozkład jasności  $p(x,y)$ . Wzór (5.5) jest słuszny jedynie w przypadku obrazów zbinaryzowanych. Wzór (5.15) na str. 61 podano błędnie (za Gonzalesem). W rozważaniach nad momentami niezmienniczymi brakuje uwagi o względności właściwości niezmienniczości (w praktyce zachodzi ona w określonych granicach zmian skali i kąta obrotu wzorca). Niezmienniki AIM sprawdzają się w zastosowaniach typu OCR, natomiast w odniesieniu do obrazów scen 3D o dużej dynamice głębi sprawdzają się znacznie gorzej.

Rażą liczne odnośniki do treści następnych rozdziałów (7 i 8) w treści tego rozdziału. Jest to konsekwencja nie najszcześniejszej koncepcji redakcyjnej, w której po rozdziałach wprowadzających (3, 4, 5) następują rozdziały 6,7,8 w których użyto omówionych w nich technik. Powoduje to niepotrzebne powtórzenia wzorów, rysunków i wniosków i nie przyczynia się do zwartości rozprawy.

Rozdział 6. Interesuje mnie dlaczego Autor nie zastosował bezpośrednich detektorów narożników zaproponowanego znacznika (np. Harrisa, SUSAN, FAST) w sytuacji, gdy narożniki są niezmiennikami szerokiej klasy widoków znacznika. Ich użycie uprościłoby procedurę detekcji.

Rozdział 7. Zawiera interesujące pomysły godne dalszych badań. Idea dyskryminowania w układzie współrzędnych H-S w połączeniu z warunkiem wielkości wyekstrahowanego w ten sposób segmentu jest interesująca sama w sobie. Doświadczenia należałoby przeprowadzić dla szerszego repertuaru obrazów celem sformułowania wniosków ogólnych.

Na str. 83 wymienione są warunki wpływające na czas segmentacji. Interesuje mnie jak można w szczególności określić wspólną długość brzegu przylegających segmentów rozłącznych (war. 3) reprezentowanych różnymi etykietami. W tablicy 7.2 występują przy odpowiednich znakach badanych wzorców indeksy *minima/maxima*. Należałoby je precyzyjniej wyjaśnić. Nie znalazłem informacji o rozdzielczości obrazu na którym przeprowadzono obliczenia testujące niezmienniczość. Przy ocenie niezmienniczości celowe wydaje się operowanie pojęciem wektora cech i stosowną metryką liczbową niż stabelaryzowanymi wartościami poszczególnych momentów. Podkreślana w rozprawie jest rola dokładności obliczeń numerycznych (str. 85) - istotniejszy wydaje się wpływ szumu dyskretyzacji przestrzennej obrazu. Dlaczego autor nie operuje pojęciem *sylwetki* obszaru w miejsce określenia „*funkcja binarna*”? Algorytm przedstawiony na rys. 7.17 str. 88 nie jest algorytmem obliczania momentów, ale klasycznym algorytmem etykietowania składników spójnych na obrazie. Scalenie składników spójnych na pewno nie sprowadza się do sumowania ich odpowiednich momentów (str.88 w. 10g). Zależności są bardziej złożone.

Kombinacja kwantyzacji przestrzeni barw w połączeniu z transformatą Hougha w zadaniu detekcji znacznika wydaje się dość mocnym kryterium identyfikacji znacznika. Jednak uwaga na str. 76 w. 5d jako odnosząca się do konkretnego obrazu nie ma waloru ogólności. Wybór najdłuższej linii jako krawędzi znacznika jest hipotezą dość ryzykowną biorąc pod uwagę wiele możliwości przesłaniania znacznika (np. przez cienką długą przeszkodę – zwisający przewód).



Określenie „...filtracja linii drugą pochodną...” (str. 90) jest niezrozumiałe. Podobnie zamiast „...filtrem jest odległość...” winno być „kryterium jest odległość”. Zamieszczenie podstawowych zależności regresji liniowej w rozprawie jest niepotrzebne. Predykaty klasyfikacji wykrytych linii znacznika str. 96 rys. 7.27 są dość arbitralne.

Wadą podejścia jest konieczność stosowania znaczników o znacznych rozmiarach w stosunku do innych elementów sceny. Pewnym obejściem tego warunku może być zastosowanie kamery ze skalibrowaną funkcją zoom. Podobnie warunek pionowości krawędzi znacznika w kontekście mobilnej kamery jest niezwykle silny. Warto byłoby rozważyć skutki jego relaksacji.

Rozdział 8 zawiera niepotrzebne w istocie powtórzenia rysunków z rozdz. 6 (6.3 i 8.4 oraz 6.3b i 8.6). w zdaniu na str. 100 w. 3d brakuje dopełnienia. Na rys. 8.5 nie oznaczono ważnych w dalszych rozważaniach kątów  $\beta_1$  oraz  $\beta_2$  (str. 102-103). Natomiast opisy metod lokalizowania kamery są bardzo szczegółowe, a analiza źródeł i charakteru błędów pomiarowych jest staranna. We wz. (8.3) występują niezdefiniowane zmienne  $X_{\text{img}}$  oraz  $X$ . We wz. (8.33) na str. 121 znak przy  $\gamma_1$  jest nieprawidłowy, co ma konsekwencje we wz. (8.34). Zdanie na str. 123 pod wz. (8.57) jest niedokończone. Brakuje rys. 8.31d, do którego odwołuje się komentarz na str. 128. Wiązanie asymetrii wykresów błędu z asymetrią właściwości kamery (str. 136) wydaje się twierdzeniem „na wyrost”.

#### 4. Strona formalna rozprawy

Rozprawa jest obszerna i liczy 173 str. maszynopisu. W treści występują pewne choć nie dosłowne powtórzenia a więc redundancja. Bibliografia obejmuje 94 pozycje dobrze zacytowane, jakkolwiek brak w niej pewnych źródeł, z których autor w widomy sposób korzystał. W 9 przypadkach dane bibliograficzne są niekompletne. Rozprawa składa się z 9 rozdziałów, w których treść została rozłożona nierównomiernie i które nie są wolne od częściowych powtórzeń. Napisana jest w jasny sposób i językiem komunikatywnym, aczkolwiek niewolnym od niezręczności stylistycznych w kilku wymienionych wyżej miejscach.

#### 5. Konkluzja:

Uważam, że opiniowana dysertacja Pana mgr. inż. Ireneusza Hallmanna, pomimo uwag krytycznych sformułowanych w recenzji, spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą *Ustawę o stopniach i tytułach naukowych* (Dz.U. Nr 65 z dn. 16.04.2003), gdyż zawiera oryginalne rozwiązanie istotnego acz szczególnego problemu w obszarze robotyki. Uzyskane wyniki nawiązują do wciąż aktualnego nurtu badań w dziedzinie zastosowania automatycznych systemów rozpoznawania obrazów do nawigacji autonomicznej i mają znaczenie dla praktyki. Zaproponowane metody, sformułowanie problemu, sposób przeprowadzenia badań oraz analiza ich wyników świadczą o niezbędnej erudycji i przygotowaniu kandydata do pracy naukowej. Wnioskuje zatem o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.

*Andrzej Świrski*