

KONCEPCJA STANOWISKA LABORATORYJNEGO CYFROWEGO PRZETWARZANIA OBRAZÓW W ROBOTYCE

Leszek RAFIŃSKI¹, Dariusz ŚWISULSKI²

1. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk
tel: (+48) (58) 347 29 45 fax: (+48) (58) 347 17 26 e-mail: lrafin@ely.pg.gda.pl
2. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk
tel: (+48) (58) 347 13 97 fax: (+48) (58) 347 24 87 e-mail: dswis@ely.pg.gda.pl

Streszczenie: Przedstawiono projekt stanowiska laboratoryjnego przeznaczonego do zapoznania studentów z wybranymi metodami cyfrowego przetwarzania obrazów oraz ich zastosowaniem w robotyce. Zaprezentowano informacje o metodach wykorzystywanych w systemach wizyjnych robotów stacjonarnych jak i mobilnych do nauki których służyć ma stanowisko.

Słowa kluczowe: komputerowa wizja, przetwarzanie obrazów

1. WSTĘP

Obrazy są bardzo specyficzną formą danych i ich specyfika nie jest w pełni zbadana. Ciągłe trwają badania poświęcone studiowaniu widzenia przez człowieka i zwierzęta. Wszelkiego rodzaju systemy wizyjne zyskują w ostatnich latach coraz większą popularność. Znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach – stosowane są w robotyce, medycynie, przy nadzorowaniu procesów przemysłowych, jako narzędzie kontroli dostępu itp. Przez zastosowanie odpowiednich operacji przetwarzania obrazu można uzyskać informacje normalnie nierozróżnialne przez system wzrokowy człowieka.

Zbiór operacji cyfrowego przetwarzania oraz rozpoznawania obrazu, które odpowiednio zastosowane prowadzą do uzyskania wymaganych informacji określa się mianem komputerowej wizji. Cyfrowe przetwarzanie obrazu jest porównywalne do procesów zachodzących w ludzkim oku oraz nerwie wzrokowym, rozpoznawanie obrazu jest analogiczne do percepcji wizualnej zachodzącej w ludzkim mózgu [1].

Większość zadań komputerowej wizji sprowadza się do rozwiązania następujących problemów:

- określenie jakie obiekty znajdują się w polu widzenia,
- określenie położenia tych obiektów,
- określenie sytuacji, tzn. dlaczego obiekty znajdują się w takim położeniu.

Zadania te przekraczają ramy klasycznego rozpoznawania obrazów, przy określonym alfabecie klasyfikacji, modelu obiektu i regule decyzyjnej. Człowiek dokonujący interpretacji widzianego obrazu korzysta nie

tylko z aktualnie odbieranej informacji, ale także z wcześniej znanych informacji przechowywanych w pamięci.

W pracy przedstawiono podstawowe z metod cyfrowego przetwarzania obrazów stosowane w robotyce. Przedstawiono także projekt stanowiska laboratoryjnego, pozwalającego na przekazanie wiedzy o tych metodach studentom.

2. KOMPUTEROWA WIZJA W ROBOTYCE

Specyfika stosowanych w robotyce systemów komputerowej wizji pozwala podzielić je na dwa rodzaje:

1. Systemy stosowane w robotyce mobilnej,
2. Systemy stosowane w robotyce stacjonarnej (manipulatorów).

Systemy stosowane w robotyce mobilnej wykorzystywane są głównie jako systemy orientacji w terenie a polegają na tym, że obraz uzyskiwany jest za pomocą przetwornika wizyjnego umieszczonego na platformie mobilnej robota, a jego analiza dostarcza informacji o otoczeniu wykorzystywanej następnie do celów nawigacji, wyznaczania trasy itp.

W systemach takich wymuszone niejako jest stosowanie bezpośredniej metody otrzymywania obrazów, tzn. takiej, w której wykorzystywane źródło światła znajduje się po stronie przetwornika, a nie za badanym obiektem jak to ma miejsce w przypadku metody cieniowej.

Stosowane metody przetwarzania uzyskanego obrazu powinny ostatecznie zapewnić otrzymanie wymaganych danych, takich jak: odległości do najbliższej przeszkody, kształt przeszkody, liczba i położenie przeszkód w otoczeniu robota, położenie obiektów nie będących przeszkodami (np. w przypadku robotów grających w piłkę będzie to położenie piłki i bramek) itp.

W przypadku systemów stosowanych w robotyce manipulatorów możliwe jest zastosowanie cieniowej metody otrzymywania obrazów, gdyż najczęściej cały system jest stacjonarny. Wizję komputerową stosuje się głównie do określania położenia obiektów na które

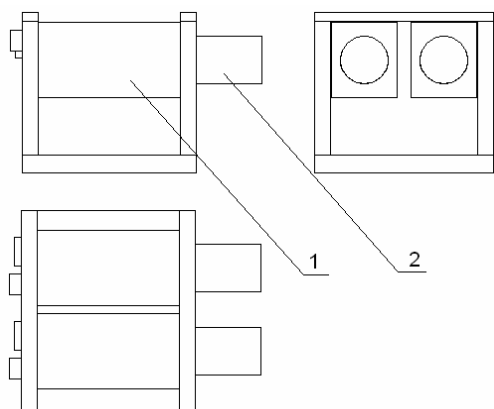
oddziałuje lub ma oddziaływać manipulator, np. w przypadku systemu kontroli jakości określane jest położenie wadliwych elementów na taśmie produkcyjnej.

3. STANOWISKO LABORATORYJNE

W ramach przygotowywanego otwarcia Laboratorium Akwizycji i Przetwarzania Sygnałów Wizyjnych i Dźwiękowych w katedrze Metrologii i Systemów Informacyjnych Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej opracowany został projekt stanowiska „Komputerowa wizja”, służącego do zapoznawania studentów z zagadnieniami akwizycji i cyfrowego przetwarzania obrazów.

W projekcie zakłada się wykorzystanie przetworników obrazu w postaci dwóch kamer MARLIN F-201B połączonych w moduł układu stereowizji dwukamerowej (rys. 1). Konstrukcja modułu pozwoli na zamontowanie go na stacjonarnym stanowisku do badania przetworników wizyjnych (rys. 2) lub na platformie robota mobilnego Mobot-A1 (rys. 3).

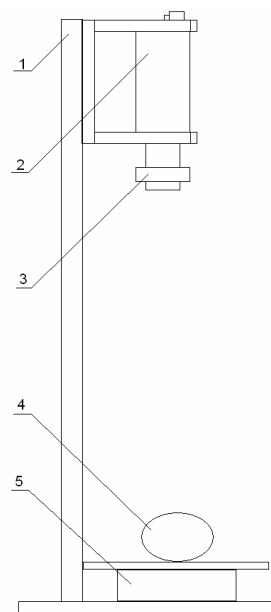
Akwizycję obrazu do komputera klasy PC umożliwi zamontowana w nim karta akwizycji firmy National Instruments NI PCI-8254R. Kamery zostaną podłączone do niej przy pomocy łącza IEEE 1394a. Użyte oprogramowanie to pakiet LabVIEW. Jako elementy oświetlające użyte zostaną zespoły diod LED.



Rys. 1. Moduł układu stereowizji dwukamerowej;
1 – korpus kamery, 2 – obiekttyw

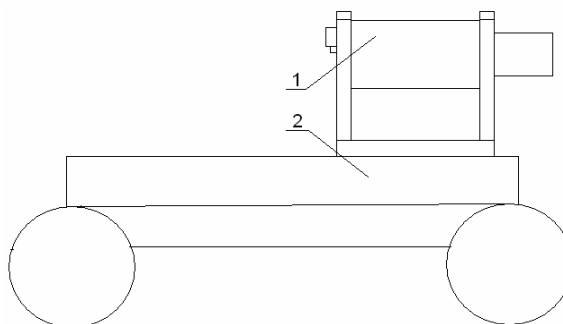
Zaprojektowane stanowisko stacjonarne posiada możliwość zmiany odległości przetworników wizyjnych od badanego obiektu oraz możliwość zamontowania zespołów oświetleniowych i pozwala na akwizycję zarówno metodą cieniową, jak i bezpośrednią a także modyfikację jasności oświetlenia obserwowanego obiektu. Pozwoli to na przeprowadzenie szerokiej gamy ćwiczeń laboratoryjnych. Dzięki zastosowaniu platformy mobilnej zakres ten zostanie poszerzony o zagadnienia związane z robotyką mobilną. Zastosowanie układu stereowizji dodatkowo rozszerza zakres możliwości stanowiska.

Robot mobilny Mobot-A1 to konstrukcja zaprojektowana w firmie Wobit na potrzeby uczelni technicznych planujących wprowadzenie do zajęć zagadnień związanych z technologią robotów mobilnych. Jest to w pełni wyposażona w konieczne elementy konstrukcyjne i oprogramowanie gąsienicowa platforma mobilna.



Rys. 2. Stacjonarne stanowisko do badania przetworników wizyjnych; 1 – stojak, 2 – moduł układu kamer, 3 – oświetlacz światła bezpośredniego, 4 – badany obiekt, 5 – oświetlacz metody cieniowej

Układ stereowizji dwukamerowej pozwala na zapoznanie studentów z podstawowymi problemami związanymi z zastosowaniem takiej technologii, tzn. dopasowywaniem obrazów, kalibracją kamer w takim układzie i rekonstrukcją triangulacyjną sceny. Jednocześnie studenci zapoznają się z możliwościami, jakie daje zastosowanie stereowizji w różnych zastosowaniach [4].



Rys. 3. Moduł zamontowany na platformie mobilnej;
1 – moduł układu kamer, 2 – platforma mobilna

Dzięki zastosowaniu oprogramowania LabVIEW, możliwe jest przekazanie studentom wiedzy o wszystkich opisanych dalej metodach cyfrowego przetwarzania obrazów w różnych zastosowaniach w sposób intuicyjny, korzystając z gotowych modułów. Pozwala to na efektywną naukę bez potrzeby tworzenia od podstaw oprogramowania służącego do zastosowania danej metody.

4. AKWIZYCJA OBRAZU

Operacje cyfrowego przetwarzania obrazów wymagają użycia przetworników wizyjnych w celu otrzymania obrazu w formie cyfrowej. Takie przetworniki stanowią różnego rodzaju urządzenia wykorzystujące specyficzne dla każdego rozwiązania elementy światłoczułe, np. kamery. Na taki element rzutowany jest strumień świetlny. Tworzące ten strumień fotony oddziałują na elektrony atomów elementu światłoczułego. W wyniku tych oddziaływań uwolnione zostają nośniki ładunku elektrycznego. Jeśli nośniki te zostają w strukturze wewnętrznej materiału światłoczułego to mówi się o zjawisku fotoelektrycznym wewnętrznym, w przeciwnym przypadku mówi się o zjawisku fotoelektrycznym zewnętrznym. Oba z tych zjawisk znalazły zastosowanie w przetwornikach wizyjnych.

Stosowane obecnie kamery, także te wykorzystywane w robotyce, produkowane są w jednej z następujących technologii: CCD (Charge-Coupled Device) lub CMOS (Complimentary Metal-Oxide Semiconductor).

W technologii CCD foton padający na krzemową płytkę złożoną z elementów światłoczułych, na skutek zjawiska fotoelektrycznego wewnętrznego, wytrąca elektron. Elektrony takie zbierane są w studniach potencjału wytworzonych przez podanie dodatniego napięcia na elektrody znajdujące się na płycie. Po zakończeniu ekspozycji zgromadzony sygnał trafia do zewnętrznego wzmacniacza i po odpowiednim przeliczeniu zostaje przekształcony w przetworniku analogowo-cyfrowym na odpowiedni dla komputera czy innego urządzenia zewnętrznego. Rozwiązanie takie pozwala na uzyskanie dużej czułości urządzenia.

Technologia CMOS różni się tym, że elektrony nie są zbierane przez zewnętrzny układ zliczający, lecz każdy element matrycy posiada własny licznik i przetwornik. Pozwala to na uzyskanie większej swobody odczytu danych, gdyż możliwe jest odczytanie wartości każdego piksela obrazu (pojedynczego elementu matrycy) oddzielnie. Ponadto technologia CMOS charakteryzuje się niższym poborem energii niż CCD [3].

Najczęściej wykorzystywaną w robotyce klasą obrazów są obrazy monochromatyczne. Przedstawione są za pomocą funkcji jasności $J(x,y)$, gdzie x, y oznaczają współrzędne punktu na obrazie, J oznacza jasność. Wartość $J=0$ oznacza punkt czarny.

Aby obraz mógł być analizowany przez urządzenie cyfrowe musi być przetworzony z postaci analogowej na cyfrową. Aby tego dokonać należy wykonać dyskretyzację i kwantyzację obrazu.

Operacja dyskretyzacji polega na dwuwymiarowym próbkowaniu, polegającym na pobieraniu jasności w ściśle określonych miejscach na płaszczyźnie XY obrazu. Jasność każdej takiej próbki jest wartością ciągłą, więc podlega kwantyzacji. Kwantyzacja polega na podzieleniu całego zakresu jasności na przedziały, którym następnie przyporządkowane są wartości dyskretne. Ostatecznie obraz reprezentowany jest poprzez zbiór punktów (pikseli) opisanych za pomocą położenia x, y oraz dyskretną jaskrawość J .

5. PRZETWARZANIE OBRAZÓW

Wstępne przetwarzanie obrazu związane jest z modyfikacjami jego jaskrawości oraz różnego rodzaju filtracją obrazu lub wydzieleniem zmian jaskrawości. Operacje takie można podzielić na operacje dokonywane na pojedynczym pikselu bez uwzględniania jego sąsiedztwa (operacje bezkontaktowe) oraz operacje kontekstowe, czyli przeprowadzane na grupie pikseli w celu otrzymania jaskrawości pojedynczego piksela.

Do operacji bezkontekstowych zalicza się operacje arytmetyczne przeskalowania jasności. Często wykorzystywaną w robotyce mobilnej operacją jest odejmowanie obrazów. Operację taką wykonuje się w celu usunięcia z obrazu zakłóceń, np. stałego poziomu, ale także do wykrywania ruchu na obserwowanej scenie. W takim przypadku obraz wynikowy jest podstawą dalszych algorytmów analizy zmian sceny.

Wykorzystuje się także operacje nieliniowe. Przykładem takiej operacji jest potęgowanie, powodujące zróżnicowanie poziomów jasności ujawniając niewidoczne wcześniej szczegóły. Operację taką wykorzystuje się np. w systemach kontroli jakości przed bezpośrednią analizą obrazu.

Osobną klasą operacji cyfrowego przetwarzania obrazów są operacje na histogramie obrazu. Histogram przedstawia rozkład liczbowy występowania w obrazie poszczególnych poziomów jasności [2]. Analizując histogram można uzyskać wiele informacji o obrazie, np. średni poziom jasności czy kontrast. Możliwy jest także podział pikseli obrazu na piksele należące do „tła” oraz do „obrazu” czyli tzw. progowanie. Dokonuje się tego poprzez znalezienie wartości progowej jasności, np. wykorzystując analogię histogramu do funkcji gęstości prawdopodobieństwa w statystyce [1]. Podobną operacją, często wykorzystywaną w systemach robotycznych jest binaryzacja obrazu.

Innym narzędziem operacji cyfrowego przetwarzania obrazu, często wykorzystywanym, są filtry cyfrowe. Są to operacje kontekstowe, a więc z reguły nie dotyczą pikseli znajdujących się na brzegu obrazu. Filtry wykorzystuje się w celu [2]:

- stłumienia niepożądanego szumu,
- poprawy ostrości obrazu,
- usunięcia określonych wad,
- poprawy obrazu o złej jakości technicznej,

- rekonstrukcji obrazu, który uległ częściowemu zniszczeniu.

Z matematycznego punktu widzenia filtr jest funkcją wieloargumentową przekształcającą jeden obraz w drugi metodą „piksel po pikselu” [2]. Wyróżnia się filtry liniowe oraz nieliniowe. Filtr możemy zdefiniować jako tablicę (maskę) współczynników. Przykładem filtru jest filtr wykrywający krawędzie.

Ważnym zagadnieniem cyfrowego przetwarzania obrazu jest także przygotowanie danych otrzymanych z obrazu, aby możliwa była ich późniejsza analiza za pomocą specjalizowanych algorytmów. Przygotowanie takie polega na wydzieleniu specyficznych cech obrazu, na podstawie których może być zrealizowany jego opis, wystarczający do przeprowadzenia analizy. Do określania parametrów opisujących obiekty na obrazie stosuje się informację o jasności oraz kształcie obiektów. W idealnym przypadku te parametry powinny być niezależne od położenia i orientacji obiektu, i powinny umożliwiać rozróżnienie poszczególnych obiektów obrazu [1].

W celu otrzymania odpowiednich informacji z obiektu wykorzystuje się m.in. metody oparte na histogramie. Można przy ich pomocy zdefiniować szereg cech obrazu, np. moment.

Obiekty znajdujące się na obrazie są całkowicie określone przez swoje kontury, dlatego też ważnymi operacjami cyfrowego przetwarzania obrazów są operacje wyodrębniania konturów. Kontury obiektów składają się z odcinków linii prostych i elips. Istnieje wiele algorytmów wykrywania krawędzi, ale najbardziej popularna jest tzw. transformacja Hough'a polegająca na transformacji współrzędnych pikseli obrazu do przestrzeni parametrów. Lokalne maksima określają różne odcinki linii prostych tworzące kontury obiektów.

W celu wyodrębnienia z obrazu wymaganych cech wykorzystuje się ponadto wiele innych narzędzi, jak np. teorię morfologii matematycznej. Opisane metody są podstawowymi i najczęściej wykorzystywanymi w robotyce.

6. PODSUMOWANIE

Komputerowa wizja jest narzędziem wciąż rzadko wykorzystywanym w robotyce, lecz jej wartość wzrasta wraz ze wzrostem mocy obliczeniowej stosowanych procesorów. Nauczanie jej jest zatem inwestycją w przyszłość.

Opracowane w Katedrze Metrologii i Systemów Informacyjnych Politechniki Gdańskiej stanowisko pozwala na zapoznanie studentów z różnymi aspektami tego zagadnienia. Umożliwia przedstawienie akwizycji obrazu, zarówno przy wykorzystaniu pojedynczej kamery, jak i zespołu kamer w układzie stereowizji; dla kamer znajdujących się na linii produkcyjnej jak i na platformie robota mobilnego. Zastosowane oprogramowanie prezentuje różne możliwości przetwarzania obrazu.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Choraś Ryszard S.: Komputerowa wizja. Metody interpretacji i identyfikacji obiektów., Akademicka oficyna wydawnicza EXIT, Warszawa 2005, ISBN 83-87674-89-3
2. Malina W., Smiatacz M.: Metody cyfrowego przetwarzania obrazów, Akademicka oficyna wydawnicza EXIT, Warszawa 2005, ISBN 83-87674-93-1
3. Littwiller D.: CMOS vs. CCD: Maturing Technologies, Maturing Markets, Photonics Spectra, Sierpień 2005
4. Liu Junchuan, Zhang Yuru, Li Zhen: Selection of Cameras Setup Geometry Parameters in Binocular Stereovision, 2006 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, ISBN: 1-4244-0025-2

LABORATORY STAND FOR TEACHING OF DIGITAL IMAGE PROCESSING IN ROBOTICS

The project of a laboratory stand for teaching students on the digital image processing techniques used in robotics stationary as well as mobile is presented as well as a short overview of those techniques.