ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1982

Seria: AUTOMATYKA z. 64 Nr kol. 736

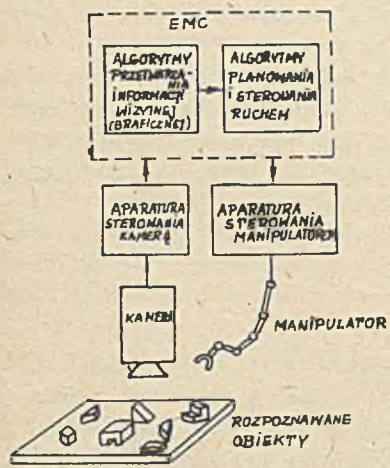
Ryszard S. CHORAŚ
Instytut Telekomunikacji i Elektrotechniki
ATR Bydgoszcz

SYSTEM WIZYJNY ROBOTA PRZEMYSŁOWEGO

Streszczenie. W referacie przedstawiono system wizyjny robota przemysłowego umożliwiający rozpoznawanie różnych złożonych części maszynowych i pomiar pewnych parametrów tych części. Prezentowany system realizuje to w dwóch etapach: w pierwszym wykrywa proste cechy obiektów obrazu, które są kluczem do rozpoznania obiektów, w drugim wykrywa złożone cechy obiektów, wykorzystując informację o cechach poprzednich oraz dokonuje identyfikacji obiektów obrazu.

1. WSTĘP

Ogólna zasada pracy robota przedstawiona została na rys. 1. Kamera telewizyjna przekazuje informację do maszyny cyfrowej, która traktując ją jako dane wejściowe, wypracowuje opis obrazu znajdującego się w polu widzenia kamery. Opis ten jest przetwarzany przez specjalistyczne programy, umożliwiające znalezienie na jego podstawie równania, zapewniającego prawidłowy ruch mechanicznego manipulatora.



Rys. 1. Ogólna zasada pracy robota

Można wyróżnić dwa sposoby wykorzystania informacji wizyjnej.

Pierwszy polega na wstępnym przetwarzaniu danych o obrazie, doprowadzanych z kamery. Po wypracowaniu opisu obrazu rozpoczyna się proces sterowania, w trakcie którego sprzężenie robota z przestrzenią roboczą (wizualne) jest przerwane i robot pracuje "na ślepo".

Drugi sposób polega na stałym sprzężeniu z otoczeniem, tak że można korygować ruch manipulatora zgodnie z informacją wizualną. W większości przypadków, ze względu na fakt, że sposoby i algorytmy przetwarzania informacji wizualnej są trudne i skomplikowane oraz że szybkość maszyn cyfrowych jest niedostateczna, żeby realizować proces operacyjnego przetwarzania tej informacji, stosuje się sposób pierwszy.

System wizyjny robota przemysłowego opisywany w tym referacie jest rozwiązaniem pewnego aspektu przetwarzania obrazów, polegającego głównie na rozpoznawaniu złożonych części maszynowych. Jest to nie tylko interesujący temat z dziedziny automatycznego przetwarzania obrazu, lecz także problem mający ważne znaczenie praktyczne. System wizyjny robota przemysłowego ma rozpoznawać złożone części maszynowe i zastąpić zdolność rozpoznawania systemu wzrokowego człowieka. W dalszej części referatu części maszynowe znajdujące się w polu widzenia kamery nazywać będziemy obiektami. Referat jest rozwinięciem wcześniejszych prac z dziedziny rozpoznawania złożonych części maszynowych [1, 2].

Proponowany system składa się z trzech głównych układów:

- układu analizującego obraz znajdujący się w polu widzenia kamery,
- układu strukturalnego modelu obiektu,
- układu analizy wydzielonych cech obiektu.

Układ analizy obrazu wydziela pewne cechy, które mogą być w prosty sposób znalezione w obrazie i które służą jako klucz do rozpoznawania wejściowego obiektu. Wykorzystując tę początkową informację o obiekcie, układ analizatora obrazu rozpoznaje złożone obiekty w następujących etapach:

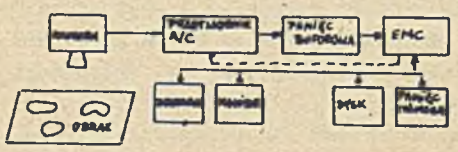
i) wybór, spośród licznego zbioru, podobnych do obiektu modeli poprzez analizę podobieństwa między wydzieloną informacją i modelami obiektu,

ii) analiza struktury wybranych modeli i podjęcie decyzji o wyborze cech pozwalających na rozpoznanie za ich pomocą następnych spośród zbioru cech opisujących w sposób heurystyczny wybrane modele.

Układ analizujący określa również, które z wydzielonych cech będą wykorzystane i obszar, który trzeba przeszukać w celu wykrycia dalszych cech, wykorzystując strukturalne modele i położenie cech już odnalezionych. Analiza tych cech przeprowadzana jest przez indywidualne układy analizy cech, przy czym jeden układ stosowany jest do cech jednego typu.

2. SYSTEM ROZPOZNAWANIA

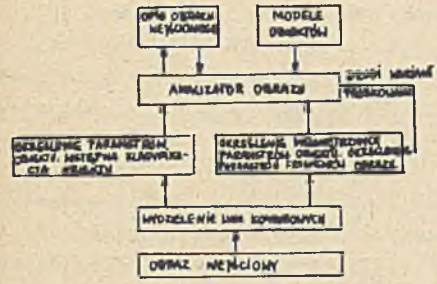
Na rys. 2 przedstawiono system wizyjny robota. Obiekty są położone dowolnie w obrazie. Dla uproszczenia będziemy przyjmować, że żaden z obiektów nie styka się z innymi obiektami (obiekty nie mają części wspólnych). Założenie to nie jest rygorystyczne. Sygnał z kamery jest próbkowany, a następnie kwantowany na 64 poziomy za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego (A/D).



Rys. 2. System wizyjny robota

Możliwe są dwa rodzaje pracy przy próbkowaniu obrazu; pierwszy

to dokładne próbkowanie wybranego fragmentu obrazu, drugi to zgrubne próbkowanie obrazu. Przy obu rodzajach pracy otrzymujemy obraz wymiaru 128 x 128 elementów,który jest przechowywany w pamięci buforowej. Na rys.3 przedstawiony jest układ blokowy systemu rozpoznawania.



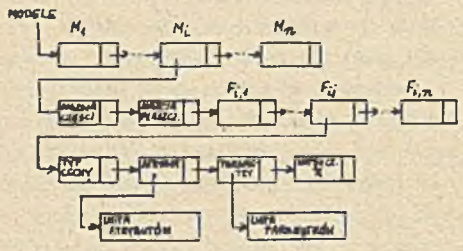
Rys. 3. Układ blokowy systemu rozpoznawania

Ponieważ obiekty są dowolnie położone w obrazie, pierwszy krok w procesie rozpoznawania, to ustalanie położenia każdego obiektu.Wstępnie przetwarzamy wejściowe dane o obrazie i wykrywamy linie zewnętrzne obiektów w obrazie,tj.linie konturowe. Dokładne określenie linii konturowych nie jest konieczne do ustalenia położenia obiektu w obrazie. Za punkty linii zewnętrznych obiektu (linii konturowych) przyjmowane są punkty posiadające wartości jaskrawości przekraczające określony próg G. Wartość G określana jest na podstawie histogramu jaskrawości wszystkich punktów obrazu - zazwyczaj przyjmowana jest średnia wartość jaskrawości obrazu lub też najniższa wartość jaskrawości po pierwszym "max" histogramu. Dalsze przetwarzanie obrazu ma na celu otrzymanie dodatkowych informacji o obiektach obrazu, takich jak dokładne linie konturowe obiektów i ich rozmiary oraz uzyskanie wstępnej klasyfikacji obiektu. W celu wydzielenia dokładnych linii konturowych obiektu, niekiedy bardzo skomplikowanych, stosujemy wariant dokładnego próbkowania obrazu i wykorzystujemy podobne procedury do stosowanych poprzednio. Główna różnica polega na tym, że do określenia progu G stosujemy histogram jaskrawości pewnych lokalnych obszarów o wymiarach 16 x 16 elementów zawierających już fragmenty linii konturowych. Lokalny histogram umożliwia wykrycie bardziej precyzyjnych i skomplikowanych linii konturowych obiektu poprzez adaptację dynamicznego progu do wariancji jaskrawości tła i obiektu.

Po wydzieleniu linii konturowych obliczane są takie parametry obiektów, jak: rozmiar, współczynnik kształtu, szerokość obiektu, współrzędne środka obiektu, odległość linii konturowych od środka obiektu przy określonych kątach. Właściwości i parametry otrzymane w wyniku przetwarzania wejściowego obrazu są porównywane z przechowywanymi parametrami modeli $\{M_i, i = 1,\dots,n\}$ w celu przeprowadzenia wstępnej klasyfikacji obiektu. Model i obiekt będą podobne, jeżeli odpowiednio wszystkie parametry różnią się co do wartości bezwzględnej od siebie o mniej niż pewien próg (dla każdego parametru ustalany oddzielnie).

Na rys. 4 przedstawiono diagram struktury modelu $\{M_i, i = 1,\dots,n\}$. Ponieważ każdy obiekt znajdujący się w polu widzenia kamery może być oglądany od strony różnych jego płaszczyzn, dla każdego obiektu mamy szereg

modeli w zależności od płaszczyzny, od której oglądany jest obiekt. Przyjmujemy jednolitą strukturę każdego modelu M_i, zawierającą nazwę obiektu, nazwę płaszczyzny, od której oglądany jest obiekt, listę cech $\{F_{ij}, j = 1,\dots,n_i\}$, gdzie n_i jest liczbą cech w modelu M_i. Cechy są klasyfikowane na dwa zbiory, nazwane zbiorami cech rozpoznawania i identyfikacji. Zbiór cech rozpoznawania jest stosowany przy rozpoznawaniu lub klasyfikacji obiektu. Ponieważ niekonieczne jest sprawdzenie wszystkich cech obiektu w celu rozpoznania go, model jest dostatecznie dobrze opisany przez zbiór cech do rozpoznawania, które umożliwiają odróżnienie jego kształtu od kształtów innych obiektów. Zbiór cech do identyfikacji zawiera cechy, które nie są ważne w procesie rozpoznawania obiektu, ale są konieczne do całkowitej identyfikacji obiektu, jak np.: położenie małych otworów, specyficznych wyfrezowań itp. i które są umieszczone na liście cech po cechach rozpoznawania.



Rys. 4. Diagram struktury modelu M_i

Z każdą cechą F_{ij} związana jest cecha typu, lista atrybutów, lista parametrów i tzw. współczynnik poprawności R. Obiekty opisywane są przez cechy omówione wyżej i w [4]. Lista parametrów jest określona tylko dla wewnętrznych cech obiektów i określa przestrzenne położenie obiektu we współrzędnych biegunowych. Pierwszym parametrem określającym położenie obiektu jest parametr określający położenie środka obiektu.

Cechy wydzielone z obrazu wejściowego są pamiętane i na ich podstawie tworzy się opis obrazu wejściowego o strukturze podobnej do struktury opisu modelu. Jeżeli oznaczymy m-tą cechę obiektu wydzieloną z obrazu wejściowego przez F_m i j-tą cechę modelu M_i przez F_{ij}, to cechy te są podobne, jeżeli mają:

i) taki sam typ cechy,
ii) podobne wartości atrybutów,
iv) podobne wartości parametrów.

Atrybuty F_m i F_{ij} oznaczymy przez $\{A_{mk}, k = 1,\dots,n\}$ i $\{A_{ijk}, k = 1,\dots,n\}$, gdzie n jest liczbą atrybutów związaną z każdą cechą. Wtedy $|A_{mk} - A_{ijk}| < A_k$ dla $k = 1,\dots,n$, gdzie A_k jest pewną stałą określoną a priori dla każdego atrybutu każdej cechy typu, jest miarą podobieństwa.

Analogicznie, jeżeli parametry F_m i F_{ij} są określone odpowiednio przez $\{r_{mk}, \Theta_{mk}, k = 1,\dots,n\}$ i $\{r_{ijk}, \Theta_{ijk}, k = 1,\dots,n\}$, gdzie n jest liczbą parametrów związanych z każdą cechą, to są one podobne, jeżeli:

$$|r_{mk} - r_{ijk}| < r_c \quad i \quad |\theta_{mk} - \theta_{ijk}| < \theta_c$$

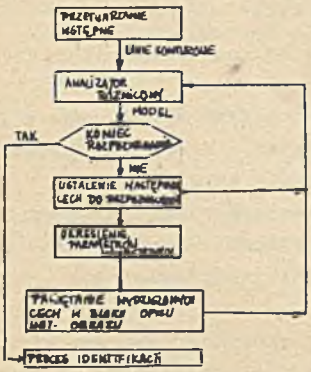
dla $k = 1,\ldots,n$,

gdzie r_c, θ_c są stałymi określonymi a priori i $\tilde{\theta}_{ijk} = \theta_{ijk} - \theta_M$, gdzie θ_M - kąt przesunięcia pomiędzy obiektem i modelem M_i.

Wybór modelu obrazu (obiektu) jest przeprowadzany w układzie analizatora różnicowego w następujący sposób:

i) analizator różnicowy wytwarza tablicę różnic, na podstawie której można ocenić podobieństwo między bieżącą informacją otrzymaną od obiektu wejściowego i modelami obiektów,

ii) analizator różnicowy sprawdza cechy opisane w modelu pod względem podobieństwa do cech obiektu F'. Dla tych modeli, które nie posiadają cech podobnych do F', wartość współczynnika R związana z F' jest wpisywana do tablicy różnic,



Rys. 5. Blokowy diagram pracy analizatora obrazu

iv) analizator różnicowy kontroluje tablicę różnic i wybiera ten model, dla którego różnice są mniejsze od wcześniej określonej stałej C.

Po wyborze modelu obiektu analizator obrazu, którego główną częścią jest analizator różnicowy, kontroluje proces wydzielania wewnętrznych cech obiektu (zgodnie z listą cech opisanych w wybranym modelu), wykorzystując strukturalne modele obiektów i bieżącą informację o obiekcie.

Na rys. 5 przedstawiono blokowy diagram pracy analizatora obrazu.

3. ZAKOŃCZENIE

Prezentowany system wizyjny robota może służyć do rozpoznawania różnych złożonych części maszynowych i pomiaru pewnych parametrów tych części. Ideę jego pracy można sprowadzić do dwóch kroków: w pierwszym wykrywa proste cechy obiektów obrazu, w drugim wykrywa i sprawdza bardziej złożone cechy obiektów, wykorzystując informację o cechach wcześniej wykrytych i rozpoznanych. Umożliwia to znaczną redukcję czasu koniecznego do rozpoznania i identyfikacji obiektu.

Możliwe jest rozszerzenie i rozbudowanie systemu wizyjnego robota do tzw. systemu uczącego się, mogącego generować modele nowych obiektów przy udziale człowieka-operatora.

LITERATURA

[1] EJIRI M., UNO T. at all: A prototype intelligent robot that assembles objects from plan drawings, IEEE Trans. on Computers vol. C-20, ss. 161-170, Feb. 1971.

[2] YACHIDA M., TSUJI S.: A versatile machine vision system for complex industrial parts, IEEE Trans. on Computers vol. C-26,ss.882-894,sept. 1977.

[3] DUDA R.O., HART P.E.: Pattern classifications and scene analysis, NY: Wiley, 1973.

[4] CHORAŚ R.S.: Przetwarzanie informacji graficznej w systemie wizyjnym robota przemysłowego, Mat. 3 KKADPP 1982.

Recenzent: Prof. dr inż. Henryk KOWALOWSKI

Wpłynęło do Redakcji 15.05.1982 r.

СИСТЕМА ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Р е з ю м е

В статье представлена система зрительного восприятия промышленного робота, способного опознавать объекты и вести измерения некоторых параметров этих объектов. Предложенная система реализует это в двух этапах: в первом призводится определение простых признаков объектов,образ которых становится исходной информацией для опознавания объектов, второй - заключается в выделении сложных признаков и идентификации объектов.

MACHINE VISION SYSTEM FOR INDUSTRIAL ROBOT

S u m m a r y

This paper describes a versatile machine vision system that can recognize industrial parts and measure the necessary parameters. The system proposed consists of two major components: a scene analyzer and structural models of objects. The scene analyzer proposes the most promising strategy recognizing the objects.