

Ośrodek Automatyzacji

074

Procesów Produkcji

A

Zespół Sprzętu Cyfrowego

Główny wykonawca

Wykonawcy

dr inż. Bohdan Kontrymowicz
mgr inż. Stanisław Marszałek
mgr inż. Alfred Nowicki
mgr inż. Andrzej Zasucha

Konsultant

Nr zlecenia

RP-61

System wizyjny dla robotów IRp.

Zadanie nr 1.1

Prace studialne

Zleceniodawca

CPBR 7.1 "Roboty przemysłowe"

Prace rozpoczęto dnia

1986.09.01

zakończono dnia 1987.02.27

Kierownik Zespołu

Z-ca Dyrektora
d/s Automatyki

Kierownik Ośrodka

dr inż. B. Kontrymowicz

mgr inż. A. Aderek

dr inż. T. Gałązka

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron

Egz. 1

BOINTE

rysunków

Egz. 2

OAP

fotografii

Egz. 3

OAE

tabel

Egz. 4

tablic

Egz. 5

załączników

Egz. 6

Nr rejestr. 5836

Analiza deskryptorowa

Systemy wizyjne
Analiza sceny
Rozpoznawanie obrazów
Struktura systemów wizyjnych
Roboty przemysłowe

Analiza dokumentacyjna

W sprawozdaniu przedstawiono materiał uzyskany w wyniku studiów literaturowych w zakresie struktury, sprzętu, oprogramowania oraz możliwości zastosowania systemów wizyjnych.

Tytuły poprzednich sprawozdań

UKD

PIAP-252/53-6000

strona _____
stron _____
nr rej. 5836 _____

SPIS TRESCI

1. Wstęp.....
2. Zastosowania systemów wizyjnych - stan obecny i prognoza.
3. Zadania systemów wizyjnych stosowanych do współpracy z robotami przemysłowymi.....
4. Architektura układów wizyjnych.....
5. Analiza możliwości zastosowania w układach wizyjnych mikrokomputerów jednoukładowych rodziny 8051.....
6. Szybkie przetworniki a/c.....
7. Systemy wizyjne i pakiety przetwarzania wizji oferowane na rynku.....
8. Podsumowanie.....
9. Spis literatury.....

1. WSTĘP.

Rozwój systemów wizyjnych dla potrzeb automatyzacji datuje się od drugiej połowy lat siedemdziesiątych. W tym czasie nastąpił gwałtowny rozwój techniki mikroprocesorowej i w efekcie znaczna obniżka kosztów sprzętu mikrokomputerowego w stosunku do minikomputerów. Z drugiej strony istniał już spory dorobek naukowy z zakresu przetwarzania i rozpoznawania obrazów udokumentowany w literaturze /46, 49, 91, 92/. Podejmowane wówczas prace teoretyczne były prowadzone głównie z myślą o zadaniach teledetekcji i zagadnieniach militarnych. Opracowywane w tym celu algorytmy były z reguły implementowane na dużych komputerach i w pewnym zakresie na minikomputerach. Były to głównie systemy przewidziane do pracy w trybie interaktywnym.

Wspomniany już rozkwit mikroelektroniki i automatyzacji procesów dyskretnych /głównie robotyki/ zrodził zapotrzebowanie na względnie tanie systemy wizyjne zdolne do pracy w trybie czasu rzeczywistego. W pierwszej połowie lat osiemdziesiątych pojawiło się w literaturze sporo publikacji na temat systemów wizyjnych dla robotów oraz na potrzeby kontroli jakości wyrobów przemysłowych /58, 72/. W takich zastosowaniach można już mówić o wizyjnych systemach pomiarowych względnie o sensorach wizyjnych.

Trudno jest obecnie powiedzieć w jakim stopniu siłą motoryczną rozwoju wizyjnych systemów czasu rzeczywistego były potrzeby militarne. W każdym razie znalazły one z pewnością zastosowanie w amerykańskich pociskach manewrujących typu Cruise i rakietach typu Pershing. Uzyskanie jakichkolwiek informacji o tych systemach było z oczywistych względów niemożliwe.

Poczynając od połowy lat osiemdziesiątych coraz rzadziej pojawiały się w literaturze publikacje o konkretnych rozwiązaniach technicznych w zakresie systemów wizyjnych. Systemy te stały się po prostu przedmiotem oferty handlowej różnych firm, które nie były rzecz jasna zainteresowane w ujawnianiu szczegółów technicznych. Pojawiły się za to publikacje książkowe o charakterze podręcznikowym mające istotne znaczenie przy

dobrze najbardziej właściwych metod dla potrzeb konkretnych zagadnień /48, 71/. Szerokim nurtem popłynęły też oferty handlowe producentów systemów wizyjnych /56,54, 93...103/. Na podstawie ich lektury można określić parametry techniczno-użytkowe oferowanych systemów, a zatem stan techniki w tej dziedzinie.

2. ZASTOSOWANIA SYSTEMÓW WIZYJNYCH. STAN OBECNY I PROGNOZA.

Ostatni raport "Industrial Vision Systems Market in Europe" firmy marketingowej Frost Sullivan /84/ mówi o rosnącym rynku systemów wizyjnych w Europie. Pierwsze handlowe oferty na systemy wizyjne pojawiły się w Europie w roku 1980. W r. 1983 obroty na tym rynku wynosiły 137 mln dolarów, a do roku 1989 powinny osiągnąć wartość 327 mln dolarów, wykazując roczny wzrost o 15,7%.

Udział w nim urządzeń wizyjnych z ^{diko} ~~wielokanałowymi~~ lampami analizującymi zmniejszy się z 43% w roku 1983 do 26% w r. 1989. Około 60% zastosowań obecnie stanowią systemy wizyjne przeznaczone do kontroli ale raport mówi, że w r. 1989 inne zastosowania takie jak sortowanie, montaż, wyjmowanie elementów z pojemników będą stanowiły 51%.

Raport opracowany przez University of Michigan /78/ mówi o rynku systemów wizyjnych w Stanach Zjednoczonych. Jest on jeszcze bardziej dynamiczny niż rynek europejski i wykazuje 62% stopę wzrostu. Obroty na tym rynku w r. 1985 wynosiły 58 mln dolarów, a w roku 1990 powinny osiągnąć 457 mln dolarów. Największym odbiorcą tych systemów jest przemysł samochodowy - 49% ale jego udział w r. 1990 zmniejszy się do 31% ustępując pierwszego miejsca przemysłowi elektronicznemu /36%/. Obecnie 27% wszystkich systemów wizyjnych stosowanych w przemyśle wykorzystywane jest do pomiarów a 20% do inspekcji. Inne zastosowania to weryfikacja części, identyfikacja, sortowanie, czytanie znaków, wykrywanie przepływu.

W roku 1990 50% systemów wizyjnych będą stanowiły systemy dedykowane do wykonywania określonych, pojedynczych zadań, a 25% elastyczne systemy ogólnego zastosowania.

Dziedzina wizji maszynowej jest tą dziedziną techniki, w której efektywnie będą wykorzystane najnowsze osiągnięcia w zakresie sztucznej inteligencji. Obecnie prowadzone są prace nad kilkoma projektami dotyczącymi praktycznego stosowania maszynowej inteligencji i maszynowej wizji. Jednym z przykładów jest opracowany w Izraelu przez przodującą w dziedzinie robotów firmę Elbit Computers Company system przeznaczony do sortowania pomarańczy, różniący wielkość, kształt i kolor owoców /84/. Co prawda jest to projekt pionierski pracujący w pilotującym zakładzie to sądzi się, że takie inteligentne systemy będą miały zastosowanie w zakładach przemysłu owocowego a na prace nad tym projektem przeznaczają się fundusze rządu 30-40 mln dolarów.

W systemie przetwarzania obrazów VIKING Autoview XA /68/ zastosowano liniowy procesor macierzowy /oddzielny procesor dla każdego elementu obrazu w linii/ służący do szybkiego przetwarzania obrazów. Do programowania systemu stosowane są dwa języki: VIKING wykorzystywany do obróbki obrazu /wyk^{ryw}ywanie krawędzi, regionów/ oraz symboliczny język sztucznej inteligencji PROLOG działający na symbolach dotyczących opisu obiektu /np. duży, mały, okrągły/ i związku między obiektami /np. większy, prostopadły, pod, nad/ wykorzystywany w technice rozpoznawania do porównywania obiektów.

System Wizard firmy Computer Recognition Systems jest systemem uczącym się przez oglądanie przykładów /84/. Stosowany jest do 100% kontroli jakości części.

Jednym z rejonów zastosowań sztucznego wzroku jest bezdotykowa inspekcja i kontrola wymiarów obrabianych elementów. System Autovision zainstalowany w zakładach Alliance Tool Corp. korzystający z obrazu podświetlonych elementów kontroluje wymiary z prędkością 1500 elementów /min /84/. Elastyczne oprogramowanie pozwala na kontrolę 15 typów elementów, w których mierzone może

być 14 różnych wymiarów. Systemy Autovision programowane w języku RAIL znajdują szerokie zastosowanie począwszy od przemysłu spożywczego do aeronautyki.

Zainstalowany w linii montażu samochodów ROVER 800 pomiarowy system wizyjny opracowany przez Automatix International UK wykonuje pomiary 148 różnych wymiarów korpusu samochodu z dokładnością do 0,1mm wykorzystując do tego celu 62 moduły laserów i kamer wizyjnych/74/. System wizyjny Automatix AV4 stosowany jest w tych samych zakładach przy montażu przednich i tylnych szyb sterując robotem wykonującym tę czynność.

Systemy wizyjne stosowane są w przemyśle elektronicznym przy montażu płytek drukowanych, szczególnie w przypadku stosowania techniki montażu powierzchniowego gdzie wymagane jest bardzo dokładne pozycjonowanie /81,76/. Stosując analizę skali szarości można lokalizować obserwowane elementy z dokładnością większą niż rozdzielczość elementu analizującego obraz. Teoretycznie dokładność ta wynosi 1/16 elementu obrazowego, praktycznie wskutek istniejących zakłóceń dokładność ta ograniczona jest do $1/4 + 1/4$ elementu obrazu.

System wizyjny SAAB zainstalowany w komórce FMS produkowanej przez Torstechnik AB i służącej do wycinania za pomocą palnika plazmowego elementów chassis ciężarówek na podstawie analizy otworów rozmieszczonych na elementach obrabianych wybiera jeden z 200 programów wycinania /84/.

Firma Meta Machines produkuje systemy Meta Torch służące do sterowania procesem spawania /75/. W systemie, który najpierw znajduje miejsce spawania, a następnie śledzi szczelinę spawu stosuje się technikę triangulacji laserowej. Zastosowanie pamięci DMA z magistralą VME pozwoliło uzyskać czas przetwarzania obrazu rzędu $30 + 50$ msek.

Opracowany przez Automatix dla General Motors system nakładania kleju na klejone części samochodu kontroluje ciągłość warstwy kleju zapobiegając zarówno powstawaniu przerw w ścieżce kleju jak i jego nadmiernym zużyciu.

Firma DEC stosuje opracowany przez Nek system wizyjny do kontroli płytek drukowanych wykrywający przerwy, nadmierne zwężenia wytrawionych ścieżek lub elementy niedotrawione /58/.

Systemy wizyjne firmy Machine Vision International stosowane są do kontroli powierzchni lakierowanych samochodów, montażu szyb i reflektorów do samochodów, kontroli pakietów z elementami do montażu powierzchniowego /66/.

Opracowany przez ośrodek badawczy British Leyland Technology system wizyjny VICTER stosowany jest do kontroli prawidłowego działania wskaźników samochodowej deski rozdzielczej. Sprawdza on dokładność pomiarów około dwudziestu różnych mierników, których wskaźniki umieszczono na tej desce w czasie ich jednoczesnej pracy /79/. W zakładach samochodowych Forda w USA system wizyjny wykorzystywany jest do kontroli działania zegarów z wyświetlaczami ciekłokrystalicznymi wmontowanymi do samochodów. W zakładach Volkswagena systemy wizyjne stosowane są do kontroli bębnow hamulcowych /62/. Systemy wizyjne znajdują zastosowanie do kontroli żarówek, samochodowych świec zapłonowych, w przemyśle cukierniczym, w przemyśle spożywczym do kontroli czystości i napełniania butelek z napojami, poprawności naklejania etykiet, w przemyśle farmaceutycznym do kontroli opakowań oraz wszędzie tam, gdzie stosuje się szeroko pojętą kontrolę jakości.

Przy pomocy systemów wizyjnych z siatką Moore'a można badać odkształcenia powierzchni elementów. Systemy przetwarzania obrazów stosowane są do interpretacji hologramów uzyskiwanych w badaniach wytrzymałościowych czy też obrazów uzyskiwanych w rentgenowskich badaniach

połączeń spawanych i lutowanych /np. kontrola montażu powierzchniowego elementów elektronicznych/.

8. ZADANIA SYSTEMÓW WIZYJNYCH STOSOWANYCH DO WSPÓŁPRACY
Z ROBOTAMI PRZEMYSŁOWYMI.

Najważniejszym zadaniem systemów wizyjnych we współpracy z robotem przemysłowym jest rozpoznawanie położenia detalu celem określenia geometrycznych parametrów chwytu. To samo zadanie ma szereg różnych stopni trudności w zależności od tego czy detale leżą pojedynczo na płaskiej powierzchni, stykają się ze sobą, nakładają się wzajemnie, czy też są wreszcie chaotycznie wrzucone do pojemnika. W tym ostatnim najtrudniejszym przypadku rozpoznawanie wymaga dużej mocy obliczeniowej i do zastosowań przemysłowych jest narazie za drogie.

W systemach wizyjnych stosowanych do robotów przemysłowych i generalnie w automatyzacji procesów dyskretnych przyporządkowanie obserwowanego obiektu do danej klasy sprowadza się z reguły do rozpoznawania jednego z kilku możliwych stabilnych położenia detalu. Taka sytuacja dotyczy większości przypadków za wyjątkiem wspomnianego już swobodnego chwytu z pojemnika. Skończona i niewielka liczba stabilnych położenia /klas/ jest zasadniczym ułatwieniem dla systemu wizyjnego. W przypadku obiektów występujących rozłącznie lub pojedynczo w polu widzenia kamery problem polega na obliczeniu z obrazu parametrów położenia detalu i jego orientacji w układzie współrzędnych związanych z kamerą. Transformacja tego układu do układu współrzędnych związanych z podstawą robota lub jeszcze dalej do układu współrzędnych wewnętrznych robota nie należy do systemu wizyjnego. W szczególności zadanie to może być realizowane przez układ sterowania robota.

Kolejnym ważnym zadaniem dla systemów wizyjnych jest korekcja trajektorii ruchu ramienia robota. Przykładem takiego zastosowania jest śledzenie linii spawu w procesie spawania łukowego.

M

Dalszym rozwinięciem zagadnienia korekcji trajektorii ruchu na podstawie analizy obrazu jest chwyt przedmiotu będącego w ruchu np. na taśmie lub podajniku. Jest to zagadnienie o tyle trudne, że wymaga przetwarzania obrazu w czasie rzeczywistym wyznaczonym przez kinematykę robota. Stąd też dynamiczna analiza sceny wymaga rozbudowanego układu wizyjnego, w którym wiele funkcji musi być realizowanych na drodze hardware'owej przy wykorzystaniu wysoce specjalizowanego sprzętu.

Jeśli do przedstawionego wyżej zadania dodać umiejętność rozpoznawania obiektów o dość dużym zróżnicowaniu w obrębie jednej klasy, wówczas możliwe będzie zastosowanie robota do celów sortowania i selekcjonowania.

Połączenie w jednym systemie wizyjnym właściwości użytkowych umożliwiających realizację wszystkich wymienionych wyżej zadań jest celem prac naukowo-badawczych wybiegających w przyszłość. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę z tego, że systemy wysoce rozbudowane są bardzo drogie i ich praktyczne zastosowanie w przemyśle jeszcze nieprędko stanie się uzasadnione ekonomicznie. Z tego też powodu istotnego znaczenia nabierają systemy wizyjne względnie proste, dostosowane do konkretnych potrzeb. W określonych przypadkach mogą to być systemy do przetwarzania jednej tylko linii obrazowej np. z kamer liniowych CCD.

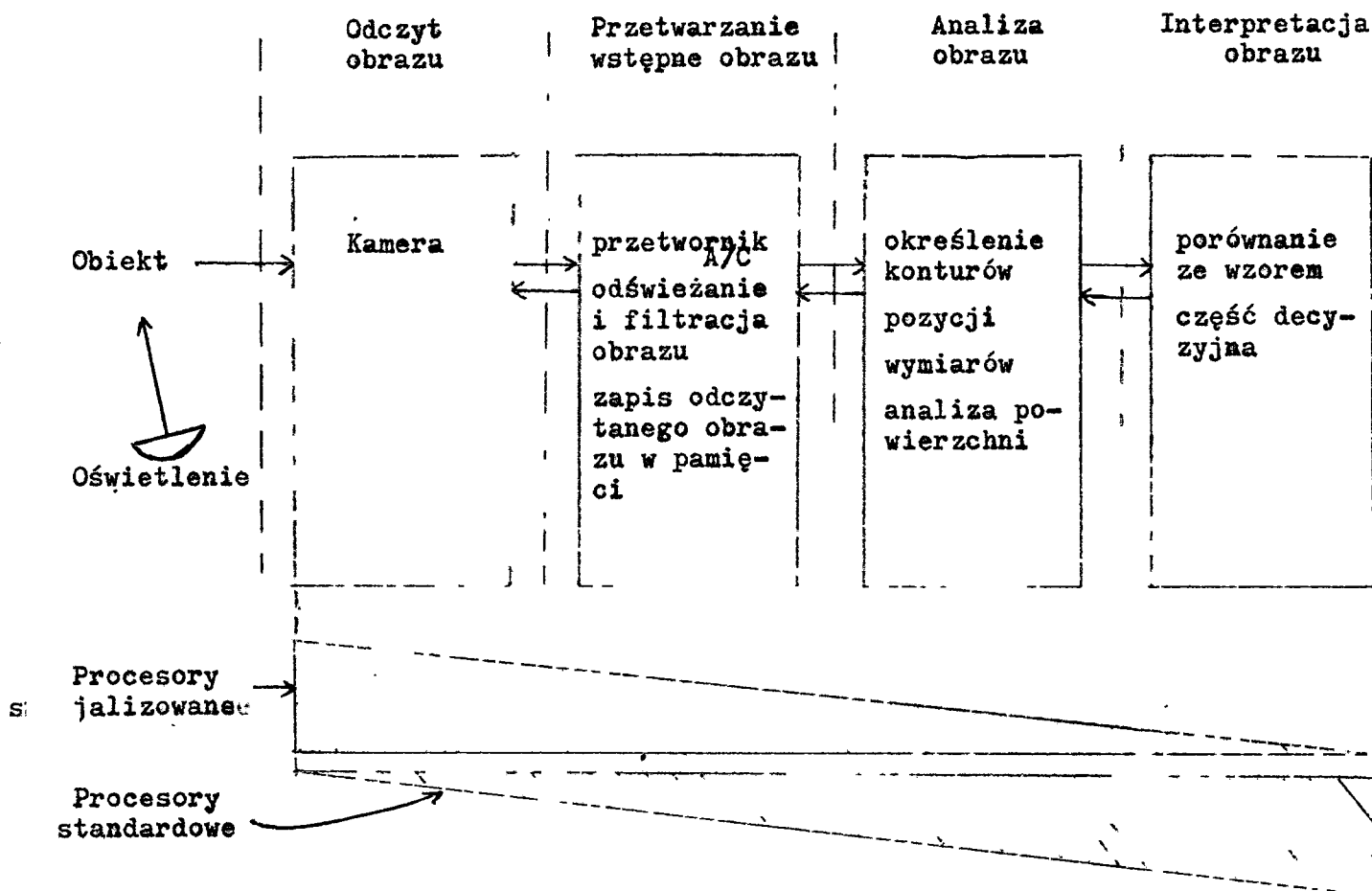
4. ARCHITEKTURA SYSTEMÓW WIZYJNYCH.

Szybki rozwój systemów wizyjnych spowodował, że już obecnie istnieje wiele możliwości zastosowania tych systemów w automatyzacji procesów przemysłowych i kontroli jakości. Ta różnorodność w połączeniu z konieczną oszczędnością kosztów stanowi, że systemy wizyjne projektowane w oparciu o układy mikroprocesorowe budowane są zarówno od strony sprzętowej jak i programowej w postaci modułowej. Umożliwia to ograniczenie nakładu pracy konstruktorów sprzętu wizyjnego oraz kosztów inwestycyjnych użytkowników w przypadku nowego zastosowania istniejącego już systemu. W zastosowaniach przemysłowych dla potrzeb sterowania lub regulacji procesów przemysłowych najbardziej interesujący jest autonomiczny tryb pracy systemu wizyjnego tzn. bez konieczności ciągłej kontroli poprawności przebiegu procesu sterowania lub regulacji przez człowieka oraz bez jego ewentualnych interwencji. Takie systemy dostarczają jako wynik przetwarzania obrazu bardzo silnie zredukowaną informację np. dane o położeniu w określonym układzie współrzędnych rozpoznanej części wykorzystywane przez układy sterowania robota lub jej pewne cechy jakościowe.

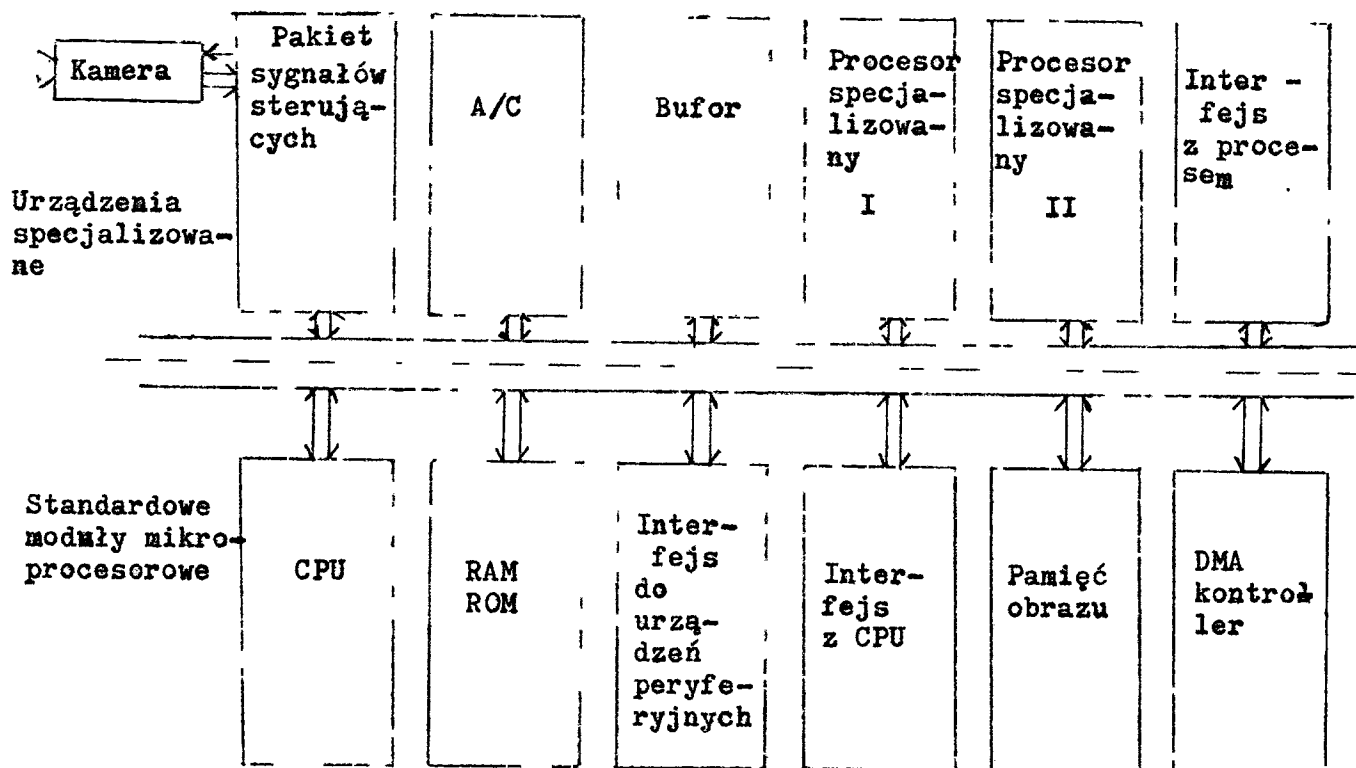
Rysunek 1 przedstawia w uproszczonej postaci budowę systemu rozpoznawania obrazów. W zależności od konkretnego zastosowania przedstawionym tu poszczególnym krokom rozpoznawania może być nadawana różna waga /7,52/.

Oświetlenie rozpoznawanego obiektu podnosi kontrastowość jego poszczególnych elementów względem siebie, co ułatwia odczyt informacji w obrazie w postaci ułatwiającej jej dalszą obróbkę.

Otrzymane z kamery sygnały wizyjne dostarczane są do pakietu wstępnego rozpoznawania obrazu. Układy tego pakietu umożliwiają przetworzenie sygnału wizyjnego na postać cyfrową, a także filtrację i odświeżanie obrazu, redukcję danych, selekcję danych ważnych z punktu widzenia dalszej obróbki odczytanej informacji oraz zapisują je do pamięci.



Rys. 1. Schemat ideowy systemu rozpoznawania obrazów wraz z podziałem zadań na procesory specjalizowane i standardowe.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu rozpoznawania obrazów.

Analiza obrazu ma za zadanie określenie z wstępnie przetworzonej informacji cech charakterystycznych rozpoznawanych obiektów jak np. rozmiary, struktura powierzchni, położenie w określonym układzie współrzędnych itp.

W następnym kroku dokonywana jest interpretacja otrzymanego obrazu przez porównanie ze wzorcem oraz w zależności od otrzymanego wyniku wydawane są decyzje co do reakcji całego systemu /tzn. systemu z którym system wizyjny współpracuje/.

Do realizacji systemów rozpoznawania obrazów stosuje się w miarę możliwości standardowe układy mikroprocesorowe ze względu na łatwość uzyskania tanich rozwiązań oraz możliwość dopasowania systemu do nowego zadania poprzez proste zmiany programów bez konieczności zmian w konfiguracji sprzętowej /5,8,12/. Procesory te są jednak dla realizacji pierwszych operacji przetwarzania obrazu za wolne; muszą być przetwarzane obrazy o rozdzielczości do 1024x1024 punktów z 4 lub 8 bitami dla jednego punktu dla określenia poziomów szarości w czasie kilkudziesięciu milisekund. Stosuje się zatem szybkie procesory specjalizowane wraz z układami zwiększającymi szybkość wstępnej obróbki informacji. W dalszych krokach przetwarzania maleje ilość danych, a rosną wymagania w stosunku do procesorów co do możliwości wykonywania algorytmów. Zastosowanie znajdują tutaj standardowe procesory najczęściej 16-bitowe. Na rysunku 1 przedstawiono podział zadań na procesory specjalizowane oraz standardowe /7/.

Schemat blokowy systemu rozpoznawania obrazów przedstawiono na rys. 2 /7,72/.

Pakiet sygnałów sterujących generuje odpowiednie sygnały wymagane przez elementy światłoczułe CCD. Sygnał zegarowy określający szybkość odczytu informacji otrzymywany jest najczęściej z taktu mikroprocesora. Częstotliwość ta może być ustalana w szerokich granicach. Górną granicę określa czas wybierania jednej linii obrazu w standardzie Θ -IRT-64 μ s, co w zależności od ilości analizowanych punktów ustala tę częstotliwość w przedziale 5 + 20 MHz. Granicę dolną określa najdłuższy możliwy czas

integracji; wynosi ona najczęściej kilkaset kHz. Tak duża rozpiętość pozwala na optymalne dopasowanie częstotliwości odczytu obrazu do szybkości przetwarzania procesorów specjalizowanych /15, 72/.

Przetwornik analogowo-cyfrowy określa ilość możliwych poziomów szarości odczytanego obrazu, przy czym najczęściej stosowane są obecnie przetworniki 8-bitowe pozwalające na rozgraniczenie 256 poziomów. Dostępne są również przetworniki 9-bitowe ale wyższa cena ogranicza ich użycie w zastosowaniach specjalnych np. w technice studyjnej. Nawet jeżeli rozdzielczość 8-bitowa nie jest w pełni wykorzystana w danym zastosowaniu, informacja o poziomach szarości jest kodowana w pamięci obrazu /ang. Frame-Buffer/ w postaci 8-bitowej, ponieważ procesory przetwarzają informację bajtowo /8 lub 16 bitów/. Poza tym zwiększenie rozdzielczości cyfrowej w stosunku do analogowej zwiększa dokładność obliczeń arytmetycznych operacji wstępnej obróbki odczytanego obrazu. Czas przetwarzania przetwornika analogowo-cyfrowego nie powinien być większy niż 100 μ s /2,3,4/.

Pakiet pamięci buforowej służy do czasowego przechowywania informacji wstępnie przetworzonej lub bezpośrednio danych z przetwornika A/C. Najczęściej jednak w pamięci tej przechowuje się dane po obróbce obrazu metodą Run-length-Code, czyli adresy punktów gdzie następują gwałtowne zmiany kontrastu /np. z białego na czarny/ /72/. Zrealizowany dla systemu MAVIS /produkcji NRD/ pakiet pamięci buforowej zapewnia poprawny zapis tak zakodowanych danych z częstotliwością do 10 MHz, co oznacza możliwość zapisu obrazu o formacie 512x512 punktów z przeciętnie 10-cioma przejściami typu biały/czarny dla jednej linii w czasie rzeczywistym tzn. z częstotliwością sygnału video /7,8/.

Procesory specjalizowane pełniące rolę tzw. preprocesora są podłączone bezpośrednio on-line do wyjść kamery lub przetworników A/C. Ich zadaniem jest przetwarzanie dużych ilości danych w krótkim czasie. Wymagało to do tej pory stosowania specjalnych konfiguracji sprzętowych w oparciu o np. Array - lub Bit-Slice - procesory /82/. Układy te są jednak w dalszym ciągu drogie, co ogranicza ich stosowalność do nauki i medycyny.

Przykładem procesora specjalizowanego może być zrealizowany w Instytucie Cybernetyki Akademii Nauk NRD GIPP /Grayscale Image Processor/ do przetwarzania obrazów z 4 bitami dla określenia poziomów szarości. Procesor ten może realizować: operatory maskujące dla odświeżania obrazu, procedury rozszerzające lub zwężające kontury części, określające szkielet części, filtry dolno- i górnoprzepustowe oraz zwiększające ostrość kątów /7/. Większe możliwości wykazuje procesor ZR 34161 amerykańskiego producenta Zoran. Pozwala on na wykonanie takich operacji matematycznych jak: szybka transformacja Fouriera /FTT/, dyskretna transformacja cosinus, korelacja, mnożenie wektorów, analiza spektralna oraz inne operacje na macierzach. Do tej samej rodziny należą procesory nadające się do realizacji filtrów np. filtrów FIR lub adaptacyjnych albo obliczania współczynników korelacji /18/. Innymi przykładami procesorów specjalizowanych mogą być: procesor VFIR /Video Finite Response Processor/ firmy Datacube, który oblicza funkcję splotu dla "okienka" 3x3 lub filtr FM /1x10/ dla całego obrazu w ciągu 0,33 ms oraz od niedawna dostępny moduł z procesorem ADSP /Array Processor/ wykonujący 8 milionów operacji na sekundę /52/. W tańszych rozwiązaniach do wstępnego przetwarzania odczytanej przez kamerę informacji wykorzystuje się jeden lub kilka procesorów jednocukładowych. Uzupełnienie stanowią często specjalne układy hardware'owe zbudowane w oparciu o jednostki arytmetyczno-logiczne /ALU/. Zadaniem tych układów jest wykonywanie konkretnych operacji arytmetycznych w czasie rzeczywistym np. dodawanie lub odejmowanie od siebie dwóch obrazów./jest to równoznaczne z tworzeniem wartości średnich poziomów szarości dla wszystkich punktów/, nieliniową regulację kontrastu itp /3,6,52/. Przy użyciu kamery o rozdzielczości 512x512 punktów z 8 bitami dla poziomów szarości pamięć obrazu wynosi 256 kbajtów. Ponieważ pamięci dynamiczne RAM z czasem dostępu 100 μ s /najczęściej spotykane/ nie "nadążają" przy częstotliwości transmisji danych 10 MHz, można wykorzystać rejestry przesuwane /np. 16x8 w przypadku kamery 512x512 punktów dla dopasowania szybkości transmisji. Oznacza to transformację 2 kanałów

8 bitowych z jednostki arytmetycznej na 2 kanały 128 bitowe. Z drugiej strony oznacza to 16-krotne zmniejszenie częstotliwości zapisów do pamięci RAM, co pozwala na zapis i odczyt rejestrów przesuwanych /nazywanych buforami video/ oraz na obsługę interfejsu w czasie między dwoma zapisami do pamięci RAM /6/.

Dodatkowo przyspieszenie wstępnej obróbki obrazu uzyskuje się za pomocą zbudowanych na bazie pamięci RAM tzw. tablic "Look-up-Table". Służą one do modyfikacji poziomów szarości w czasie rzeczywistym poprzez przyporządkowanie każdemu punktowi obrazu programowany nowy poziom szarości w zależności od jego poprzedniej wartości. Uzyskuje się w ten sposób poprawienie kontrastowości obrazu dzięki wyeliminowaniu bardzo jasnych i bardzo ciemnych obszarów obrazu oraz dzięki liniowym rozszerzeniu różnic w poziomach szarości dla pozostałych punktów obrazu. Wykorzystując trzy tablice "Look-up-Table" można każdemu punktowi z odpowiadającym mu poziomem szarości przyporządkować odpowiednie połączenie trzech kolorów podstawowych. To "pseudo-kolorowe" przedstawienie obrazu jest korzystne w sytuacjach, gdzie odczytany obraz analizowany jest przez człowieka, ze względu na fakt, że oko ludzkie jest bardziej wrażliwe na różnice w kontrastach informacji w kolorze /szczególnie w kolorze niebieskim/ /5,52/.

Wyniki obróbki obrazu /cechy charakterystyczne części, obrazy wstępnie przetworzone/ mogą zostać zapisane w buforze lub poprzez CPU lub kontroler DMA przejęte bezpośrednio do dalszego przetwarzania. Wykorzystanie mechanizmu bezpośredniego dostępu do pamięci przyspiesza transfer danych do pamięci obrazu w stosunku do transmisji pod kontrolą procesora. Wadą tego rozwiązania jest konieczność generowania sygnałów wymaganych przez kontroler DMA zewnętrznie w stosunku do procesora. Oprócz tego pamięć może być zapisywana tylko "komórka po komórce", przy czym jako pamięć obrazu wykorzystuje się najczęściej pamięć statyczną RAM; zastosowanie dynamicznej pamięci RAM znacznie zwiększa trudności projektowe.

Dodatkową trudność stanowi fakt, że nie wszystkie procesory są przygotowane do DMA /tzn. wyjścia adresowe danych oraz wejścia lub wyjścia sygnałów sterujących nie są trójstanowe np. w procesorze 6502/, w związku z czym należy układowi z wejściami trójsta-

nowymi odseparować te wejścia lub wyjścia procesora dla tych sygnałów, które generowane zewnętrznie wykorzystywane są do transmisji z DMA.

Karty CPU realizujące zasadniczą część zadań analizy i interpretacji obrazu są zbudowane na bazie standardowych mikroprocesorów 16-bitowych 8086, 80186, 80286, 68000 lub 32-bitowych np. 68020 z koprocesorami arytmetycznymi w zależności od potrzeb. Karty te sterują również układy robota, szybkie drukarki oraz ewentualnie sieci komputerowe poprzez interfejsy RS-232, RS-422 oraz interfejs do transmisji równoległej, Dodatkowo poprzez układy wejścia/wyjścia mogą być wysterowane np. silniki krokowe lub stacje przekaźników /5,11,17,18,53/.

5. ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA W UKŁADACH WIZYJNYCH
MIKROKOMPUTERÓW JEDNOUKŁADOWYCH RODZINY 8051.

Systemy wizyjne są z reguły skomplikowaną jednostką obliczeniowo-sterującą pracującą współbieżnie w pewnych etapach analizy. Spełniają one różnorakie zadania poczynając od sterowania kamerą i zamiany sygnału na postać cyfrową, poprzez jego wstępną obróbkę i wypracowanie pewnych cech charakterystycznych obrazu aż do właściwej analizy. Wynikiem procesu przetwarzania obrazu i jego rozpoznawania jest wystawienie urządzenia współpracującego z systemem /np. robota/. Procesy związane z analizą obrazu w czasie rzeczywistym przebiegają w ostrym reżimie czasowym. Niektóre operacje muszą przebiegać w czasie kilkudziesięciu nanosekund. Jednocześnie złożoność obliczeń i duży obszar analizy związany z wielkością wczytywanego obrazu znacznie wydłużają cały ten proces. Z tego względu konieczne jest wprowadzenie równoległego wykonywania niektórych operacji hardware'u i software'u. Efektem tego jest wieloprotocowy układ pracujący pod kontrolą jednostki nadrzędnej o bardzo dużej mocy obliczeniowej.

Jednostki podrzędne wykorzystywane są w procesach komunikacji, sterowania i tzw. preprocesingu.

Preprocesory są urządzeniami pracującymi równoległe lub szeregowo w kolejnych fazach analizy. Do ich funkcji można zaliczyć:

- wyostrażanie konturów,
- rozszyfrowanie i eliminację cieni,
- określanie niezmienników kształtów - tzw. procesor cechy,
- ekstrapolację,

- analizę sceny.

Wyniki tych operacji są podstawą określenia merytorycznej zawartości obrazu oraz wypracowanie danych określonych przez użytkownika. Preprocesory mogą wykonywać od kilku do kilkudziesięciu operacji na pojedynczych danych, związanych z filtracją obszarów, transmisją danych, uśrednianiem itp.

Do realizacji tych funkcji stosowane są urządzenia specjalizowane charakteryzujące się dużą szybkością wykonywania prostych operacji. Większość tych cech ma μ C-jednookładowy rodziny MCS51 firmy Intel. Zastosowaniu układu tego typu, w porównaniu z rozwiązaniami opartymi o elementy MSI i LSI, jest gwarancją miniaturyzacji, usprawnienia działania oraz rozszerzenia możliwości urządzenia wizyjnego.

Układ 8051 jest jednym z najszybszych 8 bitowych mikrokomputerów jednookładowych. Posiada zestaw 115 instrukcji, z których 55% jest wykonywana w czasie 1μ s. Układy te mogą również wykonywać operacje mnożenia i dzielenia w czasie 4μ s / 2 najdłuższe instrukcje/. Standardowe procesory 8 bitowe nie wykonują tych operacji.

Poniższa tabela obrazuje pewne cechy charakterystyczne niektórych procesorów i μ C.

| Firma | Typ układu | Często- tliwość zegara /MHz/ | Czas dodawania rejestrów / μ s/ | Liczba instru- kcji | Uwagi |
|-------|------------|---------------------------------------|--|---------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Intel | 8080A | 3 | 1,33 | 78 | μ P 8 bitowy |
| | 8085 | 3 | 1,3 | 78 | |
| | 8086 | 5 | 0,2 | - | μ P 16bitowy inst. mno- żenia i dzielenia |
| | 8051 | 12 | 1 | 115 | μ C 8 bitowy inst. mno- żenia i dzie- lenia |

21

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------|--------|-----|------|-----|--------------|
| Motorola | 6800 | 4 | 2,0 | 72 | μP 8 bitowy |
| | 6802 | 2 | 1,0 | 72 | |
| | 6809 | 5 | 0,4 | 72 | |
| | 68000 | - | - | - | μP 16 bitowy |
| | 6801 | 4,0 | 2,5 | 90 | μC 8 bitowy |
| Zilog | z 80 | 2,5 | 2,5 | 90 | μP 8 bitowy |
| | z 8000 | 4 | 0,25 | 414 | μP 16bitowy |
| | z 8 | 4 | 1,5 | 129 | μC 8 bitowy |

Urządzenia budowane w oparciu o procesory dyskretne wymagają dość dużej obudowy układowej.

Wiąże się z tym rozbudowa i zmniejszenie niezawodności systemów wykorzystujących te układy. Naturalnym wydaje się wybór mikrokomputera jednoukładowego do realizacji niektórych specjalizowanych rozwiązań układowych systemu wizyjnego. Analiza kosztów związanych z projektowaniem i realizacją systemu potwierdza to.

Mikrokomputer jednoukładowy 8051 posiada następujące zbiory instrukcji:

| Typ instrukcji | liczba instrukcji | liczba inst. wyk. w czasie 1 μs | liczba inst. wyk. w czasie 2 μs | Liczba instr. wyk. w czasie 4 μs |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Operacje arytmetyczne | 24 | 21 | 1 | 2 |
| Operacje logiczne | 25 | 22 | 3 | - |
| Operacje przesyłania | 28 | 13 | 15 | - |
| Operacje na zmiennych boolowskich | 17 | 7 | 10 | - |
| Operacje rozgałęzienia podprogramów | 17 | 1 | 16 | - |

Wykorzystując ten układ do realizacji funkcji transmisji i preprocesingu uzyskamy dość szybkie czasy przetwarzania. Zapis obrazu wielkości 256x256 pikseli trwał będzie ok. 100ms /przy założeniu ciągłej transmisji/. Analiza pojedynczych danych związanych z uśrednianiem lub wyostrozaniem konturów w zależności od stosowanego algorytmu trwać może od kilku do kilkudziesięciu μ s. W warunkach nie wymagających zbyt dużego obszaru analizy i wykonywania obszernych programów numerycznych można uzyskać czasy przetwarzania informacji i wypracowywania danych określane jako czasy bieżącej reakcji umożliwiające kontrolę i sterowanie urządzenia użytkownika.

Znamiennym staje się fakt rozwoju produkcji i wykorzystania mikrokomputerów jednokładowych. Są one udoskonalane funkcjonalnie, mają mniejsze czasy wykonywanych operacji oraz wyposażane są w elementy łączące je bezpośrednio ze środowiskiem analogowym. Przykładem może tu być mikrokomputer 80515 firmy Siemens będący rozbudowanym układem 8051 oraz μ C SUPER 8 firmy Zilog będący udoskonaloną wersją mikrokomputera Z8.

W realizacjach systemów uniwersalnych o najwyższych parametrach stosowane są wysoce specjalizowane układy wizyjne. Ze względów technologicznych, finansowych i ograniczeń rynkowych nie jesteśmy w stanie sprowadzać elementów tego typu.

6. SZYBKIE PRZTWORKNIKI A/C.

Istnieją różne metody digitalizacji i zapisu obrazu wizyjnego do pamięci komputera. Dla procesów wolnozmiennych stosuje się zapis polegający na zbieraniu pojedynczych danych z kolejnych linii obrazowych trwających $64\mu s$ /czas trwania zapisu zależy od rozmiaru wczytywanego matrycy. Przykładowo wczytanie obrazu 256×256 pixeli trwa ponad 5 sekund.

Stosując tę metodę można wykorzystać szereg scalonych przetworników a/c o czasie przetwarzania rzędu kilkudziesięciu μs .

Dostępne w RWPG są następujące:

- C 570 D- NRD; 8 bitowy, czas przetwarzania $t_p \ll 25\mu s$;
odpowiednik AD 570 firmy ANALOG DEVICES,
- C 571 D - NRD; K 1113 ПБ1А, K1113 ПБ1Б - ZSRR;
10 bitowy, czas przetwarzania $t_p \ll 25\mu s$;
odpowiednik AD 572.

Procesy wizyjne czasu rzeczywistego wymagają bezpośrednio obróbki kolejnych danych w czasie kilkudziesięciu nanosekund.

Z reguły stosowane są tu szybkie przetworniki a/c od 6 do 12 bitów i częstotliwości przetwarzania od 10 do 100 MHz.

Wykorzystuje się tu technologie pozwalające osiągnąć najszybsze prędkości przełączenia. Przetwarzanie w tych układach odbywa się dla mniejszych częstotliwości z wykorzystaniem metody wagowej. Dla częstotliwości powyżej 10 MHz stosuje się m.in. flash couverter'y oparte o metodę bezpośredniego kodowania z przetwarzaniem. Wymagane jest tutaj stosowanie dla przetwornika u bitowego 2 kparatorów, układów LATCH oraz rozbudowanej logiki dekodera i układów sterowania.

Poniższa tabela przedstawia część z produkowanych przetworników.

| Producent i typ układu | Ilość bitów [bit] | Szybkość konwersji [MHz] | Moc układu [mW] | Cena [\$] | Uwagi |
|----------------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|-----------|---------------------------|
| Analog Devices CAV-1040 | 10 | 40 | 20.000 | 4004 | karta |
| CAV-1020 | 12 | 20 | 20.000 | 4078 | karta |
| Burr-Brown ADC 600 | 12 | 10 | 8.500 | 1795 | karta |
| Micro Power System MP 7682 IN | 6 | 30 | 150 | 15,40 | układ monolityczny CMOS |
| MP 7683 IN | 8 | 5 | 75 | 44,30 | - " - |
| MP 7684 ID | 8 | 20 | 350 | 46,60 | - " - |
| Motorola MC 10319 | 8 | 25 | 995 | 19,97 | układ monolityczny |
| Sony CX 20052A | 8 | 20 | 700 | 27 | układ monolityczny |
| CX 20116 | 8 | 100 | 1200 | 640 | - " - Flash |
| CXA 1066K | 8 | 100 | 12000 | 640 | - " - |
| CXA 1056P | 8 | 50 | 550 | 195 | - " - |
| CXA 1016P | 8 | 30 | 420 | 90 | - " - |
| CX 20220-1 | 10 | 20 | 350 | 750 | układ monolityczny |
| Telefunken U 6754B | 4 | 110 | 810 | 45,75 | układ monolityczny, Flash |
| TeComos TML 1170BI-C24 | 7 | 10 | 150 | 49,95 | C MOS, Flash |
| TML 1173BI-P20 | 7 | 7 | 150 | 31,25 | C MOS, Flash |
| TRW TDC 1147 | 7 | 15M | 1009 | 23 | Video, Flash |
| TDC 1044 | 4 | 25M | 385 | 13,40 | Video, Flash |

| Producent i typ układu | Ilość bitów | Szybkość konwersji M | Moc układu mW | Cena S | Uwagi |
|------------------------|-------------|----------------------|---------------|--------|--------------------------|
| Analog Devices | | | | | |
| AD 9702BW | 4 | 125 | 1.500 | 45 | Video, 3x4 bity |
| AD 9700BW | 8 | 125 | 650 | 32 | Video |
| HDG-0405BW | 4 | 125 | 730 | 30 | Video, ukł. hybrydowy |
| HDG-0605BW | 6 | 125 | 730 | 38 | - " - |
| HDG-0407BW | 4 | 50 | 1.125 | 35 | - " - |
| HDG-0807BW | 8 | 50 | 1.125 | 43 | - " - |
| Analogic | | | | | |
| AH 8308EC | 8 | 150 | 2.500 | 86 | potrójny, Video, hybryd. |
| AH 8304EC | 4 | 150 | 1.250 | 49 | - " - |
| AH 8404TC | 4 | 25 | 600 | 52 | - " - |
| Brooktree | | | | | |
| Bt 101BC | 8 | 50 | 875 | 75 | potrójny, Video CMOS |
| Bt 106BC | 8 | 50 | 500 | 27 | Video, CMOS |
| Bt 452KC | 4 | 40 | 1.200 | 85 | potrójny, Video, hybryd. |
| Bt 453KC | 8 | 40 | 750 | 58 | potrójny, Video, CMOS |
| Ferranti | | | | | |
| ZN 454 | 4 | 100 | | 30 | potrójny, Video |
| Honeywell | | | | | |
| HDAC 97000 | 8 | 200 | 728 | 23 | Video |
| HDAC 34010 | 4 | 200 | 1.794 | 39 | Video, potrójny |
| HDAC 34020 | 4 | 100 | 1.924 | 39 | - " - |
| Intech | | | | | |
| VDAC 1840 | 8 | 40 | 225 | 24 | Video |
| RGBD AC5151 | 4 | 150 | 1.000 | 45 | Video, potrójny |
| Sony | | | | | |
| CX 20202 | 10 | 100 | 430 | 77 | Video |
| CX 20051A | 10 | 30 | 550 | 20 | " |
| Telmos | | | | | |
| TML1840BI | 8 | 25 | 85 | 32,65 | Video, CMOS |
| TML1842EI | 8 | 40 | 85 | 11,55 | - " - |
| TML1850BI | 8 | 85 | 150 | 27,50 | - " - |
| TML1852EI | 8 | 85 | 150 | 7,95 | - " - |
| TWR | | | | | |
| TDC 1012 | 12 | 20 | 1.100 | 58 | Video |
| TDC 1034 | 4 | 125 | 754 | 15 | " |
| TDC 1318 | 8 | 125 | 1.800 | 39 | " potrójny |
| TDC 1334 | 4 | 125 | 1.500 | 29 | " potrójny |

26

Przedstawione niektóre parametry prezentowanych układów oddają charakter różnorodności produkcji, problemów związanych z mocą układów, wpływem rozdzielczości przetwarzanego sygnału analogowego na częstotliwość tego przetwarzania. Odbiciem tych problemów jest cena układu i możliwości scalenia.

Przetworniki a/e o dużych szybkościach przetwarzania nie są produkowane w krajach socjalistycznych. Nasze możliwości finansowe i ograniczenia rynkowe nie zawsze pozwalają na prowadzenie tych układów w szczególności do produkcji seryjnej. W zastosowaniach nie wymagających więcej niż 16 poziomów rozdzielczości /4 bity/ można budować układy oparte o scalone elementy mniejszej skali integracji.

7. SYSTEMY WIZYJNE I PAKIETY PRZETWARZANIA WIZYJI OFEROWANE

OBECNIE NA RYNKU.

Oferowane przez wielu producentów pakiety przetwarzania obrazów, oprogramowanie i sprzęt pomocniczy pozwalają wykonywać na ogólnie dostępnych mikrokomputerach szereg zadań związanych z przetwarzaniem obrazów, które do tej pory wymagały większych, specjalizowanych komputerów. Najliczniejszą grupę stanowią stosunkowo proste układy wizyjne, których funkcje ograniczają się do digitalizacji obrazu, prostego przetwarzania obrazu przez operacje na pojedynczych elementach obrazu /zmiana kontrastu, eliminacja zakłóceń/ oraz powtórnego przekształcania na postać analogową /53/.

Najtańsze z tych pakietów PC-EYE firmy Chorus Data Systems przeznaczone dla komputerów IBM PC są stosunkowo wolne, czas przetwarzania obrazu wynosi ok. 300 msek. Nie posiadają one pamięci obrazu lecz wykorzystują do tego celu pamięć operacyjną komputera, nie posiadają również własnego mikroprocesora ani wejściowych tablic LUT, tak więc wszystkie operacje związane z przetwarzaniem obrazu realizowane są w sposób programowy przez mikroprocesor komputera. Inne, droższe pakiety lub komplety pakietów posiadają pamięć jednego lub kilku obrazów, wejściowe tablice LUT dla wykonywania pewnych operacji przetwarzania obrazów, niektóre z nich mają własny mikroprocesor lub jednostkę ALU odciążającą mikrokomputer od intensywnych obliczeń arytmetycznych. Wszystkie one przetwarzają obrazy w czasie rzeczywistym. Systemy takie jak MIP512, MIP1024 firmy Matrox, CDS640 firmy Scion, PC Vision firmy Imaging Technology pozwalają na uzyskiwanie obrazów pseudo-kolorowych.

W tablicy nr. 1 przedstawiono podstawowe parametry kilkunastu układów przetwarzania obrazu produkowanych przez firmy amerykańskie, w większości przeznaczonych do współpracy z komputerami osobistymi IBM PC. Typowe zastosowanie tego typu układów to analiza ruchu, tworzenie obrazów trójwymiarowych, analiza multispektralna oraz wideokonferencje.

Drugą grupę stanowią pakiety lub komplety pakietów dodatkowych dla mikrokomputerów z magistralami PC/AT, VME, Multibus i Qbus przeznaczone do przetwarzania obrazów w czasie rzeczywistym

Tabl. ...1....

| PRODUCENT / MODEL | Magistrala | Rozdzielczość | wejście | | wejściowe tabl. LUT | Pamięć obrazu | Procesor obrazu | wyjściowe tabl. LUT | Cena /dolary US/ |
|--|-----------------------------------|---------------|--------------|--------------|------------------------|---------------|--------------------|------------------------|------------------|
| | | | il.kanałów | bity/element | | | | | |
| Chorus DATA SYST/ PC - EYE PC-1000 | IBM PC | 640x512 | 1 | 4 | - | - | - | 1 | 495 |
| PC-1100 | IBM PC | 640x512 | 1 | 6 | - | - | - | 1 | 695 |
| PC-12000 | IBM PC | 640x512 | 1 | 8 | - | - | - | 1 | 1495 |
| CORECO/OCULLUS-100 | IBM PC | 512x480 | 1 | 1 | - | 32k bajty | - | - | 995 |
| OCULLUS-150 | IBM PC | 512x480 | 1 | 1 | - | 32k bajty | - | - | 1495 |
| OCULLUS-200 | IBM PC | 512x480 | 1 | 7 | 4 | 256k bajty | - | - | 2495 |
| DATA TRANSLATION/ DT 2803 | IBM PC | 256x256 | 1 | 6 | 8 | 64 k bajty | 8 bit μ P | 4 | 1495 |
| DATA CUBE/ IVG-128 | IBM PC MULTIBUS Qbus VME | 384x485 | 1 | 8 | 2 | 192k bajtów | - | 6 | 2995 |
| DIGITAL GRAPMIC SYSTEMS/1611 | S-100 | 512x484 | 1 | 8 | - | 256k bajtów | μ P8086 | 4 | 11116 |
| /1631 | S-100 | 512x484 | 1 | 8 | - | 768k bajtów | μ P8086 | 4 | 15800 |
| /1633 | S-100 | 512x484 | 3 | 8 | - | 768k bajtów | μ P8086 | 4 | 19700 |
| EPIX/SILICON VIDEO | IBM PC | 752x480 | 1 | 8 | - | 64k x 32 | - | 3 | 2495 |
| IMAGING TECHNOLOGY PC Vision | IBM PC MUL TIBUS | 512x480 | 1 | 6 | 4 | 64 x 4 | - | 3 | 2995 |
| IPS12 | Qbus | 512x512 | 1 lub 3 | 8 | 4 | 256k bajtów | 16 bit ALU | 4 | 5000 |
| MATROX ELECTRONIC SYSTEMS/MIP512 | MULTIBUS | 512x512 | 1 z czterech | 8 | 8 | 256k bajtów | 8 bit ALU | 4 | 2995 |
| MIP1024 | MULTIBUS | 1024x1024 | 1 z czterech | 8 | 8 | 1024k bajtów | 8 bit ALU | 8 | 3995 |
| SCION/CDS 640 | IBM PC | 640x408 | 1 lub 3 | 4 | - | 256k bajtów | - | 1 | 3190+6630 |

o znacznie większych możliwościach niż wyroby z poprzedniej grupy. /52, 54, 56/.

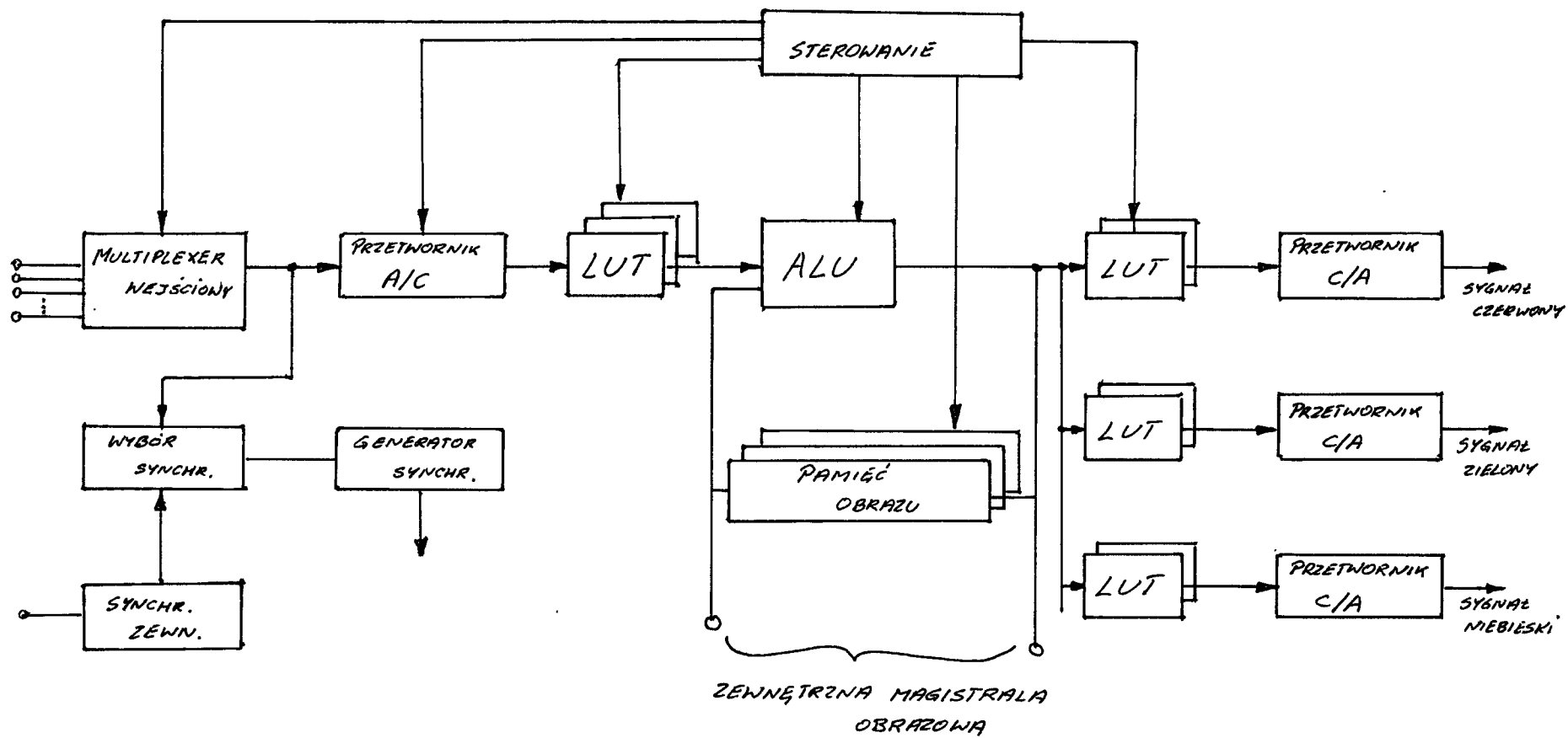
Schemat blokowy tego typu układów przetwarzania obrazów przedstawiono na rys. .3...

Programowo sterowany multiplekser wejściowy pozwala na podłączenie kilku źródeł sygnału wideo, przy czym układy synchronizacji pozwalają na korzystanie zarówno ze standardowych /RS-170, CCIR/ jak i niestandardowych źródeł takich jak: kamery wideo, magnetowidy czy urządzenia o małej częstotliwości skanowania. Ponieważ układy przetwarzania obrazów pracują na obrazach monochromatycznych o 256 odcieniach szarości to w niektórych systemach wizyjnych dla umożliwienia korzystania ze źródeł obrazu stosuje się filtry eliminacyjne z sygnału wizyjnego sygnał chrominacji.

Szybki 8-bitowy przetwornik A/D przetwarza w czasie rzeczywistym analogowy sygnał wizji w postaci cyfrowej. Binarny sygnał wizyjny przesyłany jest to tablic LUT w których może być dokonywane wstępne przetwarzanie obrazów polegające na zamianie określonych poziomów szarości elementów obrazu według zaprogramowanego przez układ sterujący wzoru. Sprzężenie zwrotne pozwalające na wielokrotne przesyłanie binarnego sygnału obrazu przez tablice LUT umożliwia dokonywanie np. zmiany kontrastowości obrazu. Operację przesuwania obrazu w pionie i w poziomie dokonywane są w przeznaczonych do tego celu rejestrach. Operacje powiększania /ZOOM/ pozwala na 2-, 4- lub 8-krotne powiększenie obrazu

Dla wykonywania bardziej złożonych zadań przetwarzania obrazu takich jak filtrowanie, uśrednianie czy wykrywanie krawędzi służy jednostka arytmetyczno-logiczna /ALU/. W pakietach firm Matrox, Data Translation i Data Cube stosowane są układy ALU wykonujące 32 podstawowe operacje arytmetyczne i logiczne takie jak układy ALU typu 74181. Firma Recognition Technology w pakiecie procesora PX401V stosuje 16 bitową jednostkę ALU oraz układ mnożący 12x12 bitów.

Inne rozwiązanie stosuje firma EPIX, w swoim pakiecie 4Meg-Video stosuje cyfrowy sygnałowy TMS31020 wraz z 8k-bajtową pamięcią danych programów ładowanych z komputera nadrzędnego. Pamięć obrazu lokowana jest albo na tych samych pakietach co ukła-



Rys. 3.

dy przetwarzania /Metrox, Data Translation, EPIX/ lub na oddzielnych pakietach /Data Cube, Imaging Technology, Recognition Technology/

Po przetworzeniu obrazu jest on wyświetlany na monitorze w postaci monochromatycznej o 256 odcieniach szarości lub kolorowej o 256 pseudokolorach.

Pseudokolory przypisywane są poszczególnym elementom obrazu w trzech tablicach LUT dla poszczególnych kolorów podstawowych. Wyjściowe przetworniki D/A zapewniają sygnał wizyjny odpowiadający standardowi RS-170, RS-330 lub CCIR. W tabeli ..².. przedstawiono podstawowe parametry układów przetwarzania obrazów zaliczanych do tej grupy.

System przetwarzania obrazów składający się z dwóch pakietów DT2651 i DT2658 produkowany przez firmę Data Translation Inc. przeznaczony jest dla mikrokomputerów z magistralą Qbus /Micro VAX II, Micro PDP-11 i LSI-11/ /56/.

Na pakiecie DT2651 umieszczono 8 bitowy przetwornik A/D, układy synchronizacji pozwalające na korzystanie zarówno ze standardowych jak i nie standardowych źródeł sygnału video /kamery video, magnetowidy, urządzenia o małej częstotliwości skanowania/, programowo sterowany multiplekser umożliwiający korzystanie z czterech źródeł obrazu, dwie pamięci obrazu o pojemności 512x512x8 bitów oraz procesor LUT złożony z tablic LUT oraz 8 bitowej, szybkiej /100ms /element/ jednostki ALU wykonującej operacje na pojedynczych elementach obrazu. Typowe funkcje przetwarzania obrazu wykonywane przez DT2651 to łączenie obrazów, odejmowanie, zmiana kontrastu, mnożenie lub dzielenie obrazów przez stałą. DT2651 może współpracować z pomocniczym procesorem obrazowym DT2658. Jest to 16 bitowy, potokowy /ang.: pipeline/ procesor przyspieszający wykonywanie operacji związanych z intensywnymi obliczeniami matematycznymi. Spł6t 3x3 , operację podstawową dla wykrywania krawędzi obiektu wykonuje on w czasie 0,85 sek., to jest 25 razy szybciej niż robi to procesor Micro VAX II. Inne operacje wykonywane przez ten procesor to wyznaczanie histogramów, powiększanie obrazu, przesuwanie oraz operacje arytmetyczne i logiczne na grupach elementów obrazu. Pakiety połączone są ze sobą szybką magistralą niezależnie od magistrali Q22.

Tabl: ..2....

| Producent | Model | Magi- strala | Sygnal wejść | Liczba kan.we | Rozdziel- czość | wejście LUT | Liczba obrazów | Typy wykonywanych operacji | wyjście LUT | Cena (dolary US) |
|---------------------------|--------------------|--------------------------------------|---|------------------|-------------------------------|----------------|-------------------|---|----------------|---------------------|
| DATA CUBE | MAXVIDEO | VME | RS-170 CCIR | 8 | 512 x 512 | 8 | 3 | Przesuwanie, powiększanie, splot, filtr FIR, histogram, standard ALU, układ mnożący 8x8 bit | 8 | 3700 |
| DATA TRANSLATION | DT2851 i DT2858 | PC/AT | RS-170 CCIR RS-330 NTSC PAL SLOW- SCAIV | 1 | 512 x 512 lub 512 x 480 | 8 | 2 | Uśrednianie, przesuwane, powiększanie, splot, standardowe ALU | 8 | 4490 |
| | DT2651 i DT2658 | Qbus | - " - | -"- | - " - | -"- | -"- | - " - | -"- | 4590 |
| EPIX | 4Meg Video | PC | RS-170 CCIR RS-330 | 4 | zmienna | 1 | zmienna | Operacje uproszosa TMS32020 | 1 | 3995 |
| IMAGING TECHNOLO- GY | Series- 100 | VME Q PC/AT MULTI- BUS 1 | RS-170 CCIR RS-330 VGR | 3 | 512 x 512 lub 512 x 480 | 16 | 1 | Uśrednianie, przesuwane, powiększanie, okienkowanie | 16 | 3995 |
| | Series- 150 | VME | RS-170 CCIR RS-330 | 4 | 512 x 512 | 16 | 2 | 16-bit ALU, splot, 3x3 i 4x4, filtr FIR, układ mnożący 8x8b. | 16 | 4990 |
| MATROX | MIP-512 | MULTI- BUS | RS-170 RS-330 | 4 | 512 x 512 | 16 | 1 | Uśrednianie, przesuwane, powiększanie, splot, standardowe operacje ALU | 8 | 2995 |
| RECOGNITION Technology | AS501M i PX501M | MULTI- BUS | RS-170 CCIR RS-330 | 4 | 512 x 512 | 4 | 9 | 16 bit ALU, układ mnożący 8x8 bitów, splot, filtrowanie | 2 lub 4 | 5990 |
| | AS401Vi PX401V | VME | RS-170 CCIR RS-330 | 4 | 512 x 512 | 4 | 4 | Przesuwanie, powiększanie, 16 bit ALU, układ mnożący 12x12bitów, przetwarzanie warunkowe | 4 | 6490 |

Holenderska firma High Technology Holland BV. oferuje kamery i systemy wizyjne. /87/. Kamery w których zastosowano elementy CCD mają rozdzielczość 604 x 575 elementów, wymagają minimalnego oświetlenia o natężeniu 1 lux, Wyjściowy sygnał wizyjny odpowiada standardowi CCIR lub EIA. System wizyjny zbudowany jest na bazie magistrali VME i procesora 68000, posiada cztery pakiety pamięci i przetwarzania obrazów /Image Processing Memory/ w których zastosowano procesory o architekturze RISC o prędkości przetwarzania 15 MIPS i pamięci o pojemności 1 M-bajtów. Do systemu można podłączyć do 64 kamer.

IVS-100 produkowany przez firmę Analog Devices jest systemem przetwarzania obrazów dla robotów przemysłowych wyposażonych w kamery.

System przetwarza obraz z rozdzielczością 512 x 512 punktów o 256 stopniach szarości, co wymaga ok. 0,5 Mbajtów pamięci. Dla zapewnienia odpowiednio szybkiej analizy danych system jest wyposażony w kartę wstępnego opracowywania obrazu / ang. Image Acquisition Board, 117B/, w kartę CPU i w zależności od zastosowania szybki 16 bitowy procesor modułowy. Konfiguracja ta pozwala dodatkowo analizować oddzielne wycinki całego obrazu o powierzchni do 5%. System jest wyposażony w przetwornik A/C, który umożliwia dołączenie do 8 kamer z szybkością analizy 30 obrazów na sek. Wszystkie 8 obrazów mogą być przetwarzane quasi-równolegle dzięki multipleksowaniu kanałów wejściowych.

Przetwornik znajduje się na karcie IAB, która zawiera również pamięć obrazu 0,5 Mbajtów, podzieloną na dwa obszary 250 k-bajtów oraz pamięć dodatkową o wielkości 512 x 512 x 1 bit dla operacji na pojedynczych punktach obrazu. Obróbka wstępna zapewnia w czasie rzeczywistym zwiększenie kontrastu, obniżenie poziomu zakłóceń, poprzez interfejs PS-170 istnieje możliwość podłączenia monitora. Karta CPU składa się z procesorów 80286, 80287, 80186. Karta ta steruje układami robota, szybką drukarkę i ewentualne sieci /Netzwerke/ poprzez interfejsy RS-232, RS-422 oraz interfejs do transmisji równoległej. Poprzez 16 I/O kanałów mogą zostać wysterowane silniki krokowe lub stacje przekazników.

Dodatkowo może być dołączone do systemu 16-bitowy procesor modułowy, który zwiększa szybkość przetwarzania 5 razy.

Jako pamięć masowa służy stacja dysków elastycznych $5\frac{1}{4}$ calowych o pojemności 1 Mbajtów oraz pamięć typu : Winchester 15 Mbajtów.

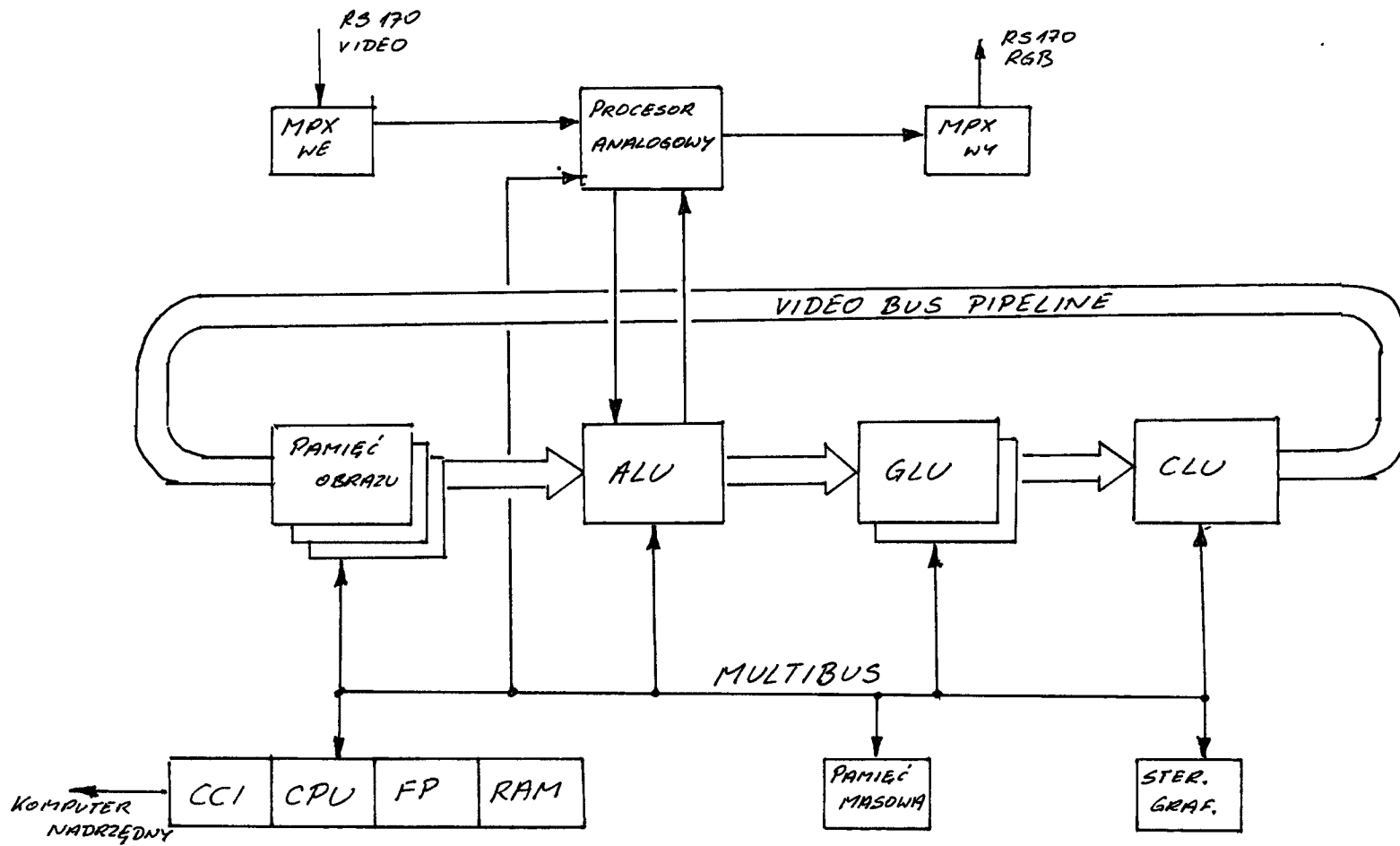
Jako system operacyjny zastosowano CP/M-86. Oprogramowanie dostarczane z systemem jest "zorientowane" na dane zastosowanie.

System wizyjny Model 2000 firmy Cognex oferowany jest wraz z oprogramowaniem służącym do identyfikacji obiektów, prowadzenia robotów i pomiarów rezydujących w pamięci EPROM. W systemie tym stosowane są własne algorytmy wizyjne zrealizowane sprzętowo przez koprocesor wizyjny współpracujący z jednostką CPU, którą jest mikroprocesor 68000 z zegarem 12MHz. System wizyjny posiada rozdzielczość 576 x 448 elementów i 64 odcienie szarości, może pracować z czterema kamerami. Unikalną własnością tego systemu sprawiającą, że posiada on dużą elastyczność a nie wymaga przy tym od programistów dużego doświadczenia w dziedzinie programowania systemów wizyjnych jest możliwość programowania go w języku C przy czym skomplikowane programy wizyjne zrealizowane są jako funkcje języka C.

Schemat blokowy specjalnego komputera Image Flow Computer stosowanego w systemach wizyjnych produkowanych przez Machine Vision International przedstawiono na rys./66/.

W systemie tym zastosowano wyspecjalizowane moduły przetwarzania obrazu: 4 pamięci obrazu, jednostkę arytmetyczno-logiczną, jednostkę geometryczno-logiczną i licznik adresowy, połączone szybko /10 Mhz/ magistralą obrazową niezależną od magistrali VME do której podłączone są pozostałe elementy systemu. W jednostce geometryczno-logicznej realizowane są operacje arytmetyczne i logiczne na figurach geometrycznych.

Modułową budowę charakteryzuje się również system CRS-1000 firmy Computer Recognition System /82/. Komputer tego systemu posiada magistralę VME z procesorem 68000, natomiast pamięć obrazu i moduły specjalne służące do wykonywania takich operacji jak wykrywanie krawędzi, analiza danych, filtrowanie, splot połączone są szybko magistralą obrazową.



Rys. 4

8. PODSUMOWANIE.

Na podstawie przeprowadzonych studiów literaturowych można z całą pewnością stwierdzić, że przetwarzanie i rozpoznawanie obrazów stało się już uzasadnioną przez praktykę osobną gałęzią wiedzy. Obszerną część techniki wizyjnej stanowią zastosowania do automatyzacji dyskretnych procesów przemysłowych. Są to w szczególności zrobotyzowane procesy obróbcze, montażowe i transportowe oraz procesy kontroli jakości, automatycznego segregowania i selekcji obiektów.

Wynikiem obecnego etapu pracy jest obszerny zbiór literatury wraz z zawartą w niej wiedzą inżynierską w zakresie konstrukcji i programowania układów wizyjnych. Na tej podstawie zostanie wykonana następna część pracy "Opracowanie założeń i wybór algorytmów", co jest przedmiotem zadania 1.2.

9. SPIS LITERATURY.

- /1/ Fohry D., Hege G., Strohmaier K.: Digitale Bildverarbeitung mit Tischkomputer. Elektronik 1985 nr 12 s. 52-56
- /2/ Aulbach B.: Verfahren zur A/D Umsetzung von Fernsehbil-der. Elektronik 1982 nr 24 s. 63-68
- /3/ Ernst H.: Digitale Bildverarbeitung. Elektronik 1985 nr 20 s. 96-102
- /4/ Köditz W.: Elektronische Bildanalyse in der Mikroelek-tronik. Elektronik 1985 nr 20 s. 105-110
- /5/ Interaktive Bildverarbeitung. Flexibilität ist gefragt. Elektronik 1985 nr 20 s. 112-114
- /6/ Bildverarbeitung mit dem PC. Elektronik 1985 nr 20 s. 114
- /7/ Schönborn W., Neumann A., Schröder U.: Teile-und Lage-erkennung mit dem System MAVIS. Bild und Ton 1985 nr 12 s. 357-360
- /8/ Fimmel B., Schonert H., Schmidt F., Wurmus H.: Ein Bau-gruppensystem zur mikrorechnergesteuerten Bildaufnahme-und-verarbeitung für die Automatisiertechnik. Bild und Ton 1985 nr 12 s. 361-363
- /9/ Schwarz W.: Visuelle Qualitätsprüfung und-sicherung nach dem Binärbildverfahren. Bild und Ton 1985 nr 12 s. 364-366
- /10/ Ansorg J., Großer Ch., Zschweigert V.: Einsatz einer CCD-Kamera in der Justage optischer Bauelemente. Bild und Ton 1985 nr 12 s. 370-374
- /11/ Schwarze G., Tröger K.: Digitale Bildverarbeitung und-auswertung für die Bruchkontrolle von Schneidwerkzeu-gen. Bild und Ton 1985 nr 12 s. 375-378
- /12/ Brückner P., Geffe J.: CCD-Linienkamera mit Einchip-rechner. Radio Fernsehen Elektronik 1986 nr 1 s. 14-15
- /13/ Ulrich L.: Probleme beim Einsatz von CCD-Zeilenkameras zur berührungslosen Längemessung. Feingerätetechnik 1984 nr 5 s.196-200

- /14/ Rösler U.: Anwendung der digitalen Bildverarbeitung in der Fertigungsmeßtechnik. Feingerätetechnik 1984 nr 5 s. 201-203
- /15/ Bendel Ch.: Optoelektronische Erfassung geometrischer Größen im Echtzeitbetrieb. Feingerätetechnik 1985 nr3 s. 101-102
- /16/ Gerhardt H.: Geschwindigkeits- und Positionsmessungen mit der CCD-Zeile. Feingerätetechnik 1985 nr 3 s. 103-104
- /17/ Signalverarbeitung digital. Elektronik 1987 nr 2 s. 114
- /18/ Bildverarbeitung in Echtzeit. Elektronik 1987 nr 2 s. 29
- /19/ Meisel K.-H., Becker P.-J.: Verarbeitung von Sensorsignalen in Robotersteuerungen. Robotersysteme 1985 nr 1 s. 83-86
- /20/ Ahrens U., Drunk G., Langen A.: Sensorschnittstellen für Robotersteuerungen. Robotersysteme 1986 nr 1 s. 37-45
- /21/ Doll T.J.: Nichttaktile Sensoren für Roboter und Sensoreinsatzplanung. Robotersysteme 1986 nr 1 s. 55-62
- /22/ Purbrick J.A.: A force transducer employing conductive silicone rubber. 1. Conference of Robot Vision
- /23/ Abele E.: Adaptive controls for fettling of castings with IR. 1. Conference of Robot Vision
- /24/ Becker E.: Sensoren als Automatisierungsmittel. etz 1983 nr 11 s. 534-528
- /25/ Ossenberk K.: Sensortechnik für Industrieroboter. etz 1983 nr 11 s. 529-533
- /26/ Schraft R.D.: Industrieroboter - Stand der Technik, neue Einsatzfelder und Grenzen der Automatisierung. etz 1983 nr 11 s. 519-523
- /27/ Neske E., Landsberg B.: Meßverfahren zur berührungslosen Verfolgung von Konturen. Technisches Messen 1982 nr 11 s. 399-402
- /28/ Melchior K., Pavesl G.: Automatisieren von Prüfvorgängen mit bildverarbeitenden Sensoren. Technisches Messen 1983 nr 5 s. 185-190, nr 6 s. 225-231
- /29/ Barke E.: Vergleich einfacher Verfahren zur Kantenerkennung in Videosignalen. Technisches Messen 1981 nr 5 s. 165-169

- /30/ Asmussen R.: Sensoren - ein Innovationsschwerpunkt der Elektroniker. Technisches Messen 1981 nr 10 s. 8-14
- /31/ Rembold U., Blume Ch., Dillman R., Mörtel G.: Technische Anforderungen an zukünftige Montageroboter. VDI-Z 1981 nr 123 s. 763-795
- /32/ Spur G., Kraft H.R.: Optisches Erkennungssystem mit Halbleiterbildsensoren zur Steuerung von Industrierobotern. ZWF 1978 nr 7 s. 363-366
- /33/ Bruchmann K.: Maschinen lernen elektronisch sehen. Messen + Prüfen / Automatik 1979 nr 6 s. 543-544, 558
- /34/ Schuricht K.: Sensoren für Schweißroboter - ergänzende Wirkprinzipien. Schweißtechnik 1983 nr 11 s. 489-492
- /35/ Schuricht K.: Sensoren für Schweißroboter - ausgewählte Wirkprinzipien. Schweißtechnik 1983 nr 11 s. 323-326
- /36/ Brune W., Bittner K.-H.: Optoelektronische Bildsentechnik in einer flexiblen Montageanlage. Feinwerktechnik 1982 nr 2
- /37/ Olada T.: Development of an optical distance sensor for robots. The International Journal of Robotics Research. 1982 nr 4
- /38/ Drews P., Frassek B., Willms K.: Optisches Sensorsystem zur Werkstückerkennung. VDI-Z 1984 nr 3 s. 40-43
- /39/ Abele E., Bäuler R., Wolf E.M.: Einsatzmöglichkeiten flexibel automatisierter Montagesysteme. VDI-Z 1984 nr 5 s. 465-473
- /40/ Roth D.H.: Optoelektronische Halbleiter-Sensoren. etz 1982 nr 10 s. 510-516
- /41/ Meyer-Ebrecht D., Schröder D.: Intelligente Sensoren-Aufgaben und Möglichkeiten. etz 1982 nr 10 s. 507-509
- /42/ Allan R.: Industrial electronics: Robotics Hardware. Electronic Design 1983 nr 12
- /43/ Breitmeier U.: Einsatz opto-elektronischer Sensoren in der Fertigungsmeßtechnik sowie zum Steuern von Robotern. VDI-Z 1983 nr 21 s. 873-879
- /44/ Dillman E.: A sensor controlled gripper with tactile and non-tactile sensor environment. 2. Conference of Robot Vision
- /45/ Hanneberg, van der, J.G., Vredenberg J.: Ein Versuchsmontageroboter. etz 1982 nr 20 s. 1146-1151
- /46/ Pratt W.K.: Digital image processing. Willey Interscience Publishing N.Y. 1978

- /47/ Gonzalez R.C., Winz P.: Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Comp. 1982
- /48/ Ballard D.H., Brown Ch.M.: Computer vision. Prentice Hall Inc. 1982
- /49/ Duda R.O., Hart P.E.: Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. Commun. ACM 1972 nr 1 s. 11
- /50/ Samet H.: Data structures for quadtree approximation and compression. Commun. ACM 1985 nr 9
- /51/ Scott D.: A new data structure for efficient storing of images. Pattern Recognition Letters 1985 nr 3
- /52/ Titus J.: Versatile add-in boards acquire and process video images and graphics in real time. EDN-Magazine 1986 nr 16
- /53/ Powers D.: Microcomputers handle image-processing tasks with help from boards and software. EDN Magazine 1985 nr 14
- /54/ Titus J.: VME-Bus-compatible modules provide a variety of image processing operations. EDN Magazine 1985 nr 6
- /55/ Image processors. EDN Magazine 1986 nr 9
- /56/ Frame grabber system for MicroVAX II provides 512x512x8 bit image processing. EDN Magazine 1986 nr 13
- /57/ Versatile add-in boards acquire and process video images and graphics in real time. EDN Magazine 1986 nr 16
- /58/ Kochan A.: Automatic inspection detects PCB faults. Sensor Review 1986 nr 4
- /59/ Coordinating vision and tactile sensing with robotics. Sensor Review 1986 nr 2
- /60/ Robot and vision system desing as a package. Sensor Review 1985 nr 2
- /61/ Automated inspection guarantees quality. Sensor Review 1985 nr 2
- /62/ Geyer G.: Quality assurance achieved with vision systems. Robotics World 1986 nr 6
- /63/ Carmel D.: Guidance methods boast productivity. Robotic World 1986 nr 13
- /64/ Ahlers J.: Robot quided image sensors for quality testing. Sensor Review 1986 nr 1

- /65/ Williams T.: Machine vision guides robots and inspection. Computer Design 1986 nr 13
- /66/ Hollingum J.: The shape of thing to come. Sensor Review 1986 nr 1
- /67/ Cotter S.: Deriving range maps at real time video rates Sensor Review 1986 nr 4
- /68/ Development tool for artificial intelligence in vision. Sensor Review 1985 nr 1
- /69/ Hindin H.: Artificial intelligence the key to human-like vision systems. Computer Design 1985 nr 6
- /70/ Gini G., Gini M.: Software laboratory for visual inspection and recognition. Pattern Recognition 1985 nr 1
- /71/ Pugh A.: Robot sensors. Vol. 1 - Vision 1986 IFS Publications Ltd.
- /72/ Baxes G.A.: Digital image processing. Prentice Hall 1984
- /73/ Hindin H.J.: Algorithms still key to computer vision systems. Computer Design 1985 nr 5
- /74/ Rooks B: Advanced technology shines on the Rover 800 line. The Industrial Robot 1986 nr 4
- /75/ Rooks B.: Advanced technology gives entry into new markets. The Industrial Robots 1986 nr 3
- /76/ Hardley J.: Focus on electronics as growth slows. The Industrial Robot 1986 nr 3
- /77/ Rooks B.: META takes on second product line. Assembly Automation 1985 nr 1
- /78/ Machine vision sales up, up, up in 1985. Robotic World 1986 nr 6
- /79/ Robot vision checks out correct time. Robot News International 1985 nr 51
- /80/ Schnedler D.: Vision counts in disc drive assembly. Robotics World 1986 nr 11
- /81/ Garakani A.: Machine vision meets the challenge for small measures. Robotic World 1986 nr 4
- /82/ Rooks B.: Tackling the speed-cost problem of machine vision. Sensor Review 1986 nr 1

- /83/ Hollingum J.: Window on Japanese vision sensing. Sensor Review 1986 nr 2
- /84/ Machine vision. Robotica 1986 Vol. 4 Part 1
- /85/ Carbone J.: A camera for all systems. Robotic World 1986 nr 4
- /87/ Camera, vision system win on price and performance. Electronic Design 1986 nr 26
- /88/ Harold P.: Solid-state area-scan image sensors vie for machine-vision application. EDN Magazine 1986 nr 10
- /89/ Faugeras O.D.: Hebert M.: The representation, recognition and locating of 3-D objects. Robotics Research 1986 nr 3
- /90/ Bolles R.C., Horaud P.: 3 DPO: A three-dimensional part orientation system. Robotics Research 1986 nr 3
- /91/ Steinhagen H.E., Fuchs S.: Objekterkennung. VEB Verlag Technik Berlin 1976
- /92/ Bretsch J.: Intelligente Meßsysteme zur Automatisierung technischer Prozesse. Oldenbourg Verlag 1979
- /93/ Machine vision hardware and software provide speed and computational power. EDN Magazine 1986 nr 11
- /94/ Reston G.: Frame grabber boards acquire and process images in real time. EDN Magazine 1986 nr 19
- /95/ Rose C.: Cards manipulate complex images without a computers. Electronics 1986 nr 1
- /96/ Vision system offers ease-of-use while retaining flexibility. Computer Design 1986 nr 19
- /97/ Data-Acquisition Datablock 1982 Analog Devices
Vol. I - Integrated Circuits
Vol. II- Modules, Subsystems
- /98/ Aktive elektronische Bauelemente. Mikroelektronik - RFT 1987
- /99/ Microcontroller Handbook. Intel 1986
- /100/ Badzmirowski K.: Systemy mikroprocesorowe. WNT 1981
- /101/ Katalog elementow i kamer CCD firmy Fairchild.
- /102/ Oferta handlowa HDS-23 firmy Honeywell.
- /103/ Oferta handlowa systemu l-Sight 32 firmy Electronic Automation Limited.
- /104/ Oferta handlowa systemu Optokator firmy Selcom..

- /105/ Oferta handlowa systemu robotronic 500 firmy AEG.
- /106/ Oferta handlowa systemu IVS-100 firmy Analog Devices.
- /107/ Oferta handlowa systemu Image-III firmy Eltime Ltd.
- /108/ Katalog kamer i urządzeń wizyjnych firmy Zettler.
- /109/ Katalog kamer i urządzeń wizyjnych firmy Hamamatsu.
- /110/ Katalog urządzeń wizyjnych firmy Colorado Video Inc.
- /111/ Katalog urządzeń wizyjnych firmy Quantex.
- /112/ Jasiobędzki P., Falkowski J.L., Kaczmarek W., Koba A.:
Opracowanie systemu wizyjnego do współpracy z adaptacyjnymi robotami przemysłowymi przeznaczonymi w szczególności do spawania łukowego. Prace Instytutu Automatyki Politechniki Warszawskiej nie publikowane wykonane w ramach problemu węzłowego.
- /113/ Greisselman M.: Bildsensor zur Mustererkennung und Positionierung bei programmierbaren Handhabungsgeräten. Dissertation an der Universität Stuttgart, Springer Verlag 1981
- /114/ Perkins W.A.: Using circular symmetry and intensity profiles for computer vision inspection. Computer Graphics and Image Processing. 1981 nr 17 s. 161-172
- /115/ Kontrymowicz B.: Układy sensoryczne robotów przemysłowych. Biuletyn PIAP 1984 nr 5/106 s. 3-16