

METODYKA PROJEKTOWANIA PRZEMYSŁOWYCH SYSTEMÓW WIZYJNYCH

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z projektowaniem przemysłowych systemów wizyjnych. Pokróćce przedstawione są rodzaje systemów wizyjnych, obszar ich zastosowania oraz sprzęt wykorzystany do ich zbudowania. Prawidłowy dobór sprzętu oraz oprogramowania wizyjnego pozwala na obniżenie kosztów systemu wizyjnego.

METHODS OF DESIGN OF INDUSTRIAL VISION SYSTEMS

In the paper, there are presented the main problems connected with design of industrial vision systems. The kinds of vision systems, area of their usage and also the equipment needed for their building are presented briefly. Correct selection of vision hardware and software allows drop of cost of industrial vision systems.

1. WSTĘP

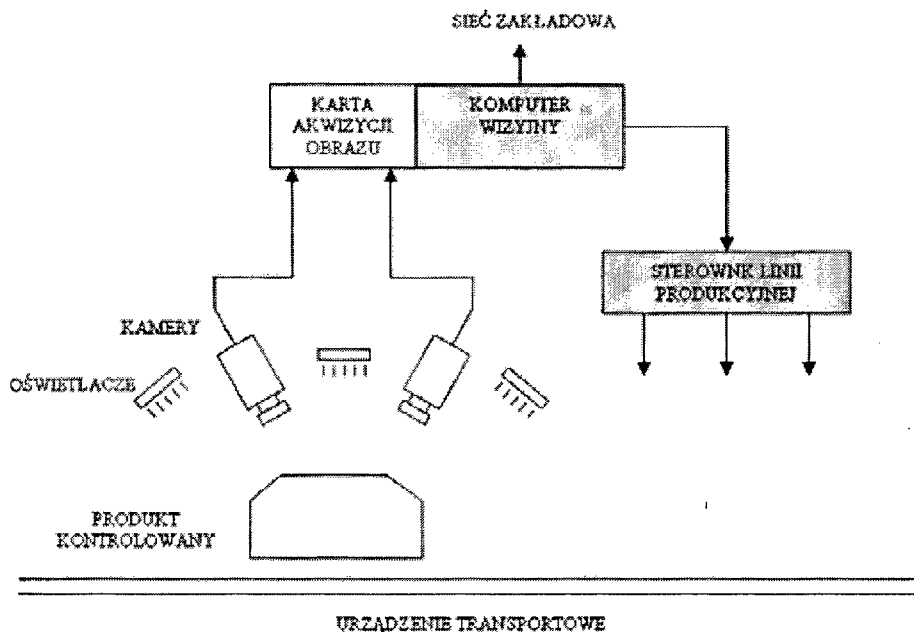
Ostatnie lata przyniosły zwiększenie zainteresowania przemysłowymi systemami wizyjnymi. Wzrost automatyzacji oraz zaostrzenie norm jakościowych wymogły na zakładach przemysłowych stosowanie automatycznej stuprocentowej kontroli jakości oraz zapisywanie i przechowywanie wyników kontroli w bazach danych. Wyklucza to więc wykonywanie takiej kontroli przez personel. Jedynym rozwiązaniem jest stosowanie przemysłowych systemów wizyjnych, które w pewny i szybki sposób dokonują kontroli oraz zapisują wyniki kontroli oraz zdjęcia wadliwych detali w bazach danych.

Jedyną barierą powstrzymującą zakłady produkcyjne przed instalowaniem systemów wizyjnych jest ich cena, która waha się od kilkunastu tysięcy złotych za proste systemy do nawet kilkuset tysięcy złotych za systemy wielokamerowe. Poprzez odpowiedni dobór sprzętu oraz oprogramowania można obniżyć koszty systemu do ceny umożliwiającej jego zakup.

2. BUDOWA PRZEMYSŁOWYCH SYSTEMÓW WIZYJNYCH

Klasyczne przemysłowe systemy wizyjne składają się z kamery wraz z obiektywem, zestawu oświetlaczy, komputera PC wyposażonego w kartę akwizycji obrazu oraz kartę wejść/wyjść. Do obróbki obrazu i przeprowadzania kontroli stosuje się wyspecjalizowane oprogramowanie wizyjne. Systemy wizyjne są w stanie komunikować się z linią produkcyjną na wiele sposobów. Najczęściej odbywa się to za pomocą karty wejść/wyjść lub portu szeregowego. Istnieje również możliwość zaimplementowania połączenia za pomocą sieci Ethernet lub sieci Modbus.

Rysunek 1 przedstawia schemat blokowy przykładowego systemu wizyjnego. Uwzględnia on również takie elementy jak mechanizmy transportujące i pozycjonujące kontrolowany przedmiot.



Rysunek 1. Schemat blokowy klasycznego systemu wizyjnego.

Coraz częściej klasyczne przemysłowe systemy wizyjne wypierane są przez kamery inteligentne. Kamery te pozwalają na pracę bez komputera PC. Po wgraniu programu wizyjnego mogą być odłączone od komputera i pracować samodzielnie komunikując się z urządzeniem za pomocą karty I/O, Ethernetu TCP IP, RS422, Modbusa.

Rozwój procesorów DSP pozwala na produkowanie kamer o dużej rozdzielczości (1280x1024, 8 fps) dla wolnych procesorów oraz mniejszej rozdzielczości (640x480, 75 fps) dla szybkich procesorów. Początkowo kamery inteligentne służyły do prostych aplikacji nie wymagających dużej mocy obliczeniowej procesora. Obecnie są one w stanie sprostać większości wymagań stawianym przemysłowym systemom wizyjnym, a w niektórych przypadkach są wręcz niezastąpione.

2. GŁÓWNE KIERUNKI ZASTOSOWAŃ SYSTEMÓW WIZYJNYCH

Przemysłowe systemy wizyjne mają szerokie spektrum zastosowań. W głównej mierze wykorzystywane są do kontroli jakości. Wśród nich największy udział mają aplikacje realizujące kontrolę powierzchni, sprawdzanie kompletności montażu oraz pomiary.

2.1. Zastosowania systemów wizyjnych do kontroli powierzchni

Widoczne wady powierzchni, mimo że nie wpływają na pogorszenie użyteczności i funkcjonalności produktu, powodują kosztowne reklamacje lub wpływają na uznanie

takiego produktu za brak. Kontrola wzrokowa powierzchni jest kosztowna i nie zapewnia stuprocentowej pewności. Konieczne jest więc wprowadzenie systemów wizyjnych. Systemy wizyjne zapewniają rzeczywistą, stuprocentową kontrolę, nawet przy wielkich powierzchniach, jak to ma miejsce przy sprawdzaniu produktów ciągłych – tkanin, folii plastikowych i metalowych, tafli szkła czy płyt drewnianych.

Przy wizyjnej kontroli powierzchni najczęściej stosowane są dwie metody:

- gdy mamy do czynienia z jednorodną strukturą powierzchni wykorzystuje się zaprogramowany opis wyglądu wad, np. rys, plam, dziur, itd. Za pomocą specjalnego oprogramowania komputer szuka takich form w obrazach kontrolowanego produktu,
- gdy produkt ma stałą, powtarzającą się geometryczną fakturę, komputer porównuje obraz pobrany obraz z zaprogramowanym wzorcem, czyli zapamiętanym obrazem odniesienia.

2.2. Sprawdzanie montażu za pomocą systemów wizyjnych

Również sprawdzanie poprawności montażu w obecnych czasach nie powinno być wykonywane przez ludzi, gdyż nie zapewnia ona obiektywności kontroli oraz stuprocentowej pewności. Automatyczna kontrola montażu obejmuje sprawdzanie kompletności, czyli obecności wszystkich przewidzianych części oraz sprawdzanie usytuowania i zmontowania każdej z nich. Kontrola może odbywać w czasie wykonywania montażu lub po jego ukończeniu. Po kontroli końcowej produkt może być oznakowany i zapakowany.

Pełna kontrola wizyjna jest często powiązana z dokumentowaniem kontroli. Wyniki każdej kontroli mogą być wprowadzone do bazy danych, co umożliwi potwierdzenie faktu kontroli przy dostawach i przy reklamacjach. Archiwizowanie wyników kontroli pozwala na prowadzenie polityki podnoszenia jakości i realizowanie systemowych pętli sterowania jakością. W przemyśle związanym z bezpieczeństwem (np. produkcja poduszek powietrznych) wręcz jest wymagana stuprocentowa kontrola i jej dokumentacja. Może to zostać osiągnięte tylko i wyłącznie poprzez zastosowanie systemów wizyjnych.

2.3. Wykorzystanie systemów wizyjnych w technice pomiarowej

Systemy wizyjne umożliwiają wykonywanie pomiarów bezdotykowo i szybko, często bez konieczności zatrzymywania ruchu produktu. Systemy specjalizowane do celów pomiarowych mogą w zakresie mikrometrycznym sprawdzać np. dokładność wymiarów modułów elektronicznych, a na drugim krańcu zakresu swoich możliwości potrafią odtwarzać trójwymiarowo kształt karoserii samochodu.

Za pomocą wizyjnych systemów pomiarowych uzyskuje się rezultaty zbliżone do przemysłowych systemów z czujnikami dotykowymi. Nawet, jeśli systemy wizyjne mają nieco niższe dokładności, to przewyższają systemy dotykowe szybkością i elastycznością w zastosowaniach.

2.4. Wykorzystanie systemów wizyjnych do identyfikacji produktów

Systemy wizyjne są coraz częściej stosowane w przemyśle do automatycznej kontroli strumieni materiałów. Uzyskuje się płynność przepływów, zapobieganie brakom i lokalnym nasyceniom linii i węzłów transportu lub magazynowania. Dzięki indywidualnej identyfikacji, można rejestrować przepływy i stany, a także zagwarantować prawidłowe zaopatrzenie każdego miejsca produkcji czy montażu. W systemach wizyjnych

stosowane są dwie metody identyfikacji: rozpoznawanie znaków i kodów oraz rozpoznawanie części i jej pozycjonowanie.

Przy rozpoznawaniu kodów kamera pobiera obraz, który jest następnie dekodowany w komputerze. Spośród metod kodowania w przemyśle maszynowym, na produktach i częściach metalowych najszerzej stosowane są kody powierzchniowe, w tym kody DataMatrix, podczas gdy w obrocie materiałowym powszechnie stosowane są kody kreskowe.

Do wizyjnego rozpoznawania i określania pozycji części wykorzystuje się metody porównywania obrazów rozpoznawanych obiektów z obrazami wzorców. Rozpoznanie obiektu najczęściej daje nam też informacje o jego pozycji.

3. KOMPONENTY PRZEMYSŁOWYCH SYSTEMÓW WIZYJNYCH

3.1. Kamery.

Kamery są głównym składnikiem systemów wizyjnych. Prawidłowy ich dobór pozwala na uproszczenie tworzenia programu wizyjnego oraz minimalizuje problemy związane z doбором oświetlenia.

Ze względu na sposób przesyłania sygnału z kamery do komputera PC, kamery można podzielić na analogowe i cyfrowe. Kamery analogowe wykorzystują przewód BNC oraz specjalną kartę akwizycji obrazu, która zamienia sygnał analogowy na sygnał cyfrowy. Taki sposób przesyłania danych nie jest zbyt szybki. Kamery te również nie pozwalają na zmianę czasu ekspozycji. Wszelkie ustawienia kamery dokonywane są manualnie za pomocą przycisków umieszczonych na korpusie kamery.

Kamery cyfrowe mogą być podłączone do komputera za pomocą specjalizowanego przewodu oraz karty akwizycji obrazu lub za pomocą złącza IEEE1394 (FireWire). Druga opcja pozwala na bezpośrednie podłączenie kamery do komputera i pominać problemy wynikające z konfiguracji sprzętu. Umożliwia również szybsze przesyłanie danych.

Ze względu na budowę płytki CCD kamery dzielimy na powierzchniowe i linijkowe. Kamery powierzchniowe składają się z kilkuset wierszy i kolumn pikseli. Przy pikselach kwadratowych jest to z reguły format VGA (640x480) lub XGA (1024x768). Dla pikseli kwadratowych ilość pikseli w matrycy się różni od standardowego rozmiaru.

Również wielkość matrycy CCD jest zróżnicowana. W kamerach z reguły wykorzystuje się cztery rodzaje matryc: 1/3", 1/2", 2/3" oraz 1". Prędkość kamery powierzchniowej zależy od jej rozdzielczości. Im większa jest rozdzielczość, tym mniej klatek na sekundę kamera jest w stanie wysłać do komputera. Standardowe kamery przesyłają od około 70 klatek dla małych rozdzielczości do poniżej 10 klatek dla dużych rozdzielczości. Istnieją również specjalne wykonania kamer o bardzo dużej rozdzielczości rzędu kilku tysięcy pikseli, jednak są one wykorzystywane do bardzo dokładnych pomiarów. Ich wysoka cena nie pozwala na powszechne stosowanie przemysłowych systemów wizyjnych.

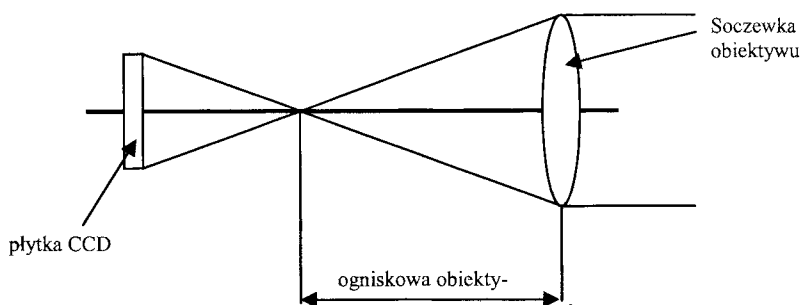
Matryca w kamerach linijkowych posiada od jednej do trzech linii pikseli. Ilość pikseli w matrycy jest różna i zawarta jest między tysiąc a dziesięć tysięcy. Kamery te używane są do sprawdzania powierzchni walcowych lub ciągłych. Wymagają one synchronizacji z układem napędowym transportera obiektu badanego, tak aby otrzymać całkowity

obraz. Prędkość przesyłania danych w tym przypadku również zależy od ilości pikseli i waha się między kilka a kilkadziesiąt tysięcy linii na sekundę.

Ze względu na otrzymywany obraz rozróżniamy kamery monochromatyczne oraz kolorowe. Kamery kolorowe wykorzystywane są jedynie w aplikacjach wymagających rozróżniania koloru obiektów badanych. Prędkość tych kamer jest znacznie mniejsza od prędkości kamer monochromatycznych, gdyż analizowany jest każdy składnik koloru.

Oddzielną grupę kamer stanowią kamery inteligentne. Wyposażone są one również we własny procesor analizujący obraz, pamięć ROM i RAM oraz moduły komunikacji Ethernetowej i kartę wejść/wyjść. Pracują one niezależnie od komputera PC. Specjalne oprogramowanie wgrywane jest do pamięci ROM. Komputer potrzebuje jest jedynie do stworzenia programu wizyjnego i przesłania go do kamery.

3.2. Obiektywy.



Rysunek 2. Schemat obiektywu.

Na rysunku 2 przedstawiony jest schemat obiektywu. Głównym parametrem obiektywu jest jego ogniskowa. Jest to odległość od soczewki do punktu w którym przecinają się wszystkie promienie padające na soczewkę, po jej przejściu. Pole widzenia kamery zależy od długości ogniskowej. Im krótsza jest ogniskowa obiektywu, tym większy jest kąt widzenia kamery, a o za tym idzie większe pole widzenia. Obiektywy do systemów wizyjnych powinny być tak dobrane, aby w jak największym stopniu obiekt badany wypełniał pole widzenia kamery. W systemach wizyjnych wykorzystywane są obiektywy o ogniskowych 6, 8, 12, 16, 25, 35, 50, 75 oraz 100 mm. W przypadku gdy kontrola wizyjna wymaga zmiany ogniskowej wykorzystywany jest obiektyw typu zoom, który pozwala w sposób automatyczny lub manualny zmieniać ogniskową.

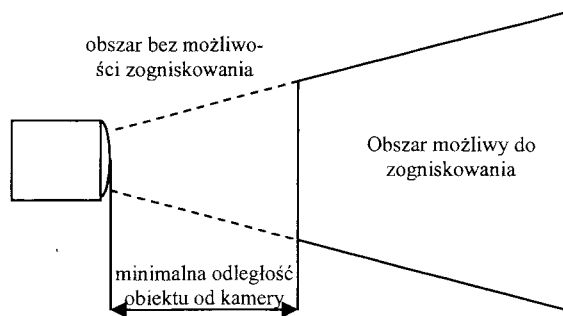
Specjalną odmianą obiektywu wykorzystywaną do bardzo dokładnych pomiarów jest obiektyw telecentryczny. Jego pole widzenia ograniczone jest tylko do pola przed nim. Obraz padający na matrycę CCD jest dokładnym odwzorowaniem tego co znajduje się przed obiektywem. W tym przypadku pozycja obiektu mierzzonego jest ściśle określona. Ważnymi parametrami obiektywów są jasność oraz przesłona. Jasność decyduje o maksymalnej ilości światła wpadającego przez obiektyw. Jasność zależy od modelu obiektywu i użytej w nim przesłony. Największą jasność mają obiektywy stałogniskowe. Przesłona jest to element obiektywu, który reguluje ilość światła docierającego do elementu światłoczułego. Przesłona zbudowana jest z blaszek, które w miarę domykania przesłony zachodzą na siebie powodując zmniejszanie otworu przepuszczającego świa-

łto. Ilość światła jaki przepuszcza ustawiony otwór przesłony jest wyrażany liczbą przesłony. Liczba przesłony jest to stosunek średnicy otworu przesłony do długości ogniskowej obiektywu. Wg aktualnych norm, liczba przesłony rozpoczyna się od 1 a kolejne jej wartości stanowią pierwiastek, z kolejnych potęg liczby 2 co daje : 1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22, 32, 45, 64, 90. Skok liczb przesłony następuje o pełne wartości, co 1/2 wartości lub co 1/3 wartości. Na podstawie liczby przesłony i ogniskowej jest określana średnica otworu przesłony. Liczba przesłony, a właściwie jej odwrotność, stanowi o ilości światła przechodzącego przez obiektyw. Zmniejszenie średnicy otworu przesłony o jedną wartość liczby przesłony, powoduje zmniejszenie o połowę ilości światła docierającego przez obiektyw.

Ze względu na rodzaj montowania obiektywu istnieją dwa główne typy: C i CS. Istnieją różne pierścienie pośredniczące które zamieniają typ C na CS i odwrotnie.

Należy również pamiętać, że obiektyw dobierany jest do typu kamery. Tak więc dla takiej samej ogniskowej istnieje kilka rodzajów obiektywu przystosowanych do wielkości matrycy CCD zamontowanej w kamerze.

Każdy obiektyw posiada obszar, w którym otrzymanie ostrego obrazu nie jest możliwe. Przedstawione jest to na rysunku 3.



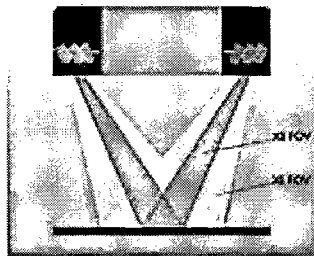
Rysunek 3. Obszar widzenia kamery.

Skrócenie minimalnej odległości obiektu od kamery możliwe jest poprzez zastosowanie pierścieni dystansujących. Pierścienie dystansujące wprowadzają jednak maksymalną odległość obiektu od kamery. Wprowadza to obustronne ograniczenia co do ustawienia obiektu badanego.

3.3. Oświetlacze.

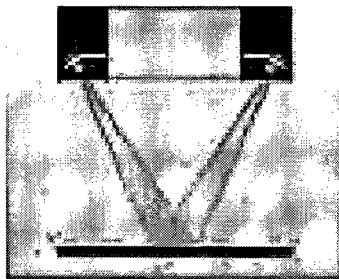
Oświetlenie jest bardzo istotną częścią przemysłowego systemu wizyjnego. Prawidłowo dobrane oświetlenie pozwala na podkreślenie tych cech obiektu badanego, które są sprawdzane. Tak więc możliwe jest oświetlenie krawędzi, płaszczyzn lub otrzymanie jedynie cienia badanego przedmiotu.

W zależności od źródła światła rozróżnia się oświetlacze diodowe oraz halogenowe. Istotniejsza jest jednak budowa oświetlacza. Oświetlacz typu „Ring” posiada wewnątrz otwór, przez który patrzy kamera. Zamontowany jest przeważnie na wysokości lub tuż poniżej obiektywu. Stosowany jest głównie tam, gdzie nie jest wymagane otrzymanie konkretnych efektów. Oświetlacz ten przedstawiony jest na rysunku 4.



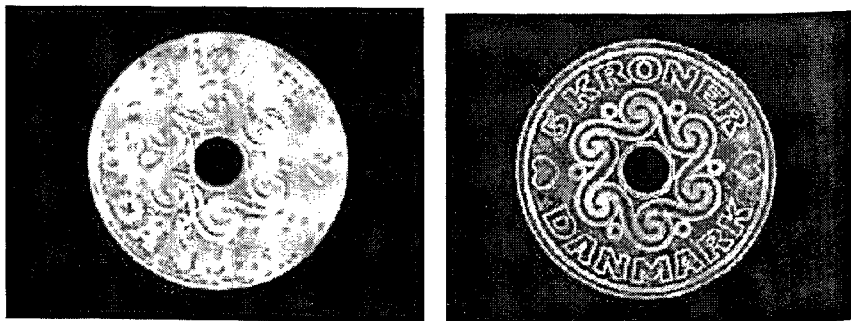
Rysunek 4. Oświetlacz typu „ring”.

Odmianą oświetlacza typu „Ring” jest oświetlacz „Dark Field”. Diody w tym oświetlaczu zamontowane są pod kątem. Pozwala to na wyeksponowaniu w obiekcie badanym wszystkich krawędzi przy jednoczesnym lekkim zaciemnieniu płaszczyzn. Oświetlacz ten przedstawiony jest na rysunku 5.



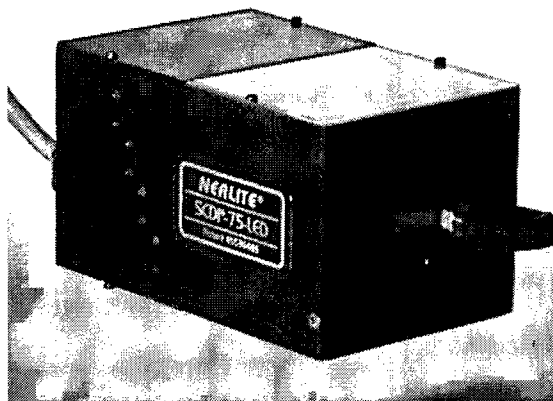
Rysunek 5. Oświetlacz typu „Dark Field”.

Na rysunku 6, z lewej strony pokazana jest moneta oświetlona oświetlaczem typu „Ring”, natomiast po prawej oświetlaczem „Dark Field”. Zdjęcia monety pochodzą z materiałów firmy SICK/IVP.



Rysunek 6. Porównanie oświetlacza „Ring” z oświetlaczem „Dark Field”.

Kolejnym typem oświetlacza jest „Diffuse On-Axis”. Oświetlacz ten posiada półprzezroczyste lustro, które odbija światło i kieruje je wzdłuż osi optycznej kamery. Kamera zamontowana jest od góry. Oświetlacz ten służy do oświetlania płaszczyzn. Ten sposób oświetlenia nie powoduje odbłasków na obiekcie badanym. Oświetlacz ten przedstawiony jest na rysunku 7.



Rysunek 7. Oświetlacz typu „Diffuse On-Axis”.

Również oświetlacze typu „Dome” oświetlają przedmiot badany światłem odbitym. Jednak kierunek padania światła nie pokrywa się z osią optyczną kamery.

Aby uzyskać tylko cień badanego przedmiotu stosuje się oświetlacz typu „Backlight”. Jest on umieszczany za przedmiotem badanym. Dzięki niemu możliwe jest uzyskanie konturów zewnętrznych obiektu. Pomaga to w dokonywaniu pomiarów.

Gdy w aplikacji wykorzystywany jest obiektyw telecentryczny należy zastosować również oświetlacz telecentryczny. Rzuca on wiązkę równoległego światła wprost do obiektywu.

Istnieje również wiele typów oświetlaczy, które umieszczane są w zależności od potrzeb aplikacji. Zazwyczaj są one okrągłe lub prostokątne.

Do oświetlaczy czasami są dodawane filtry polaryzacyjne. W zależności od potrzeb można stosować oświetlacze różnego koloru: czerwone, zielone, niebieskie oraz białe. W aplikacjach rozpoznających kolor wykorzystuje się tylko i wyłącznie oświetlacze białe.

3.4. Oprogramowanie wizyjne.

Istnieje wiele programów umożliwiających obróbkę oraz analizę obrazu. Mają one wbudowane filtry, funkcje dokonujące pomiaru, wyszukujące zadane elementy, pozwalające na definiowanie wyszukiwanych wzorców. Wybór aplikacji zależy od stopnia trudności aplikacji. Jednym z bardziej zaawansowanych programów jest Neurocheck®. Pozwala on na komunikację z różnego rodzaju kartami wejść/wyjść, najpopularniejszymi kamerami, oraz umożliwiającą bezpośrednią konfigurację kamer FireWire.

Gdy aplikacje są mniej skomplikowane wystarczające jest użycie programu Ni VISION firmy National Instruments. Pozwala to na zintegrowanie systemu wizyjnego z panelem operatorskim stworzonym w LabView.

Kamery inteligentne wykorzystują własne oprogramowanie wizyjne. Za pomocą tych programów wgrywany jest zarówno program wizyjny jak i firmware kamery.

4. DOBÓR KOMPONENTÓW DO APLIKACJI WIZYJNYCH

4.1 Aplikacje wizyjne do kontroli powierzchni.

Jeżeli gabaryty sprawdzanej powierzchni są stosunkowo małe, a dokładność sprawdzania niezbyt wygórowana możliwe jest zastosowanie kamery powierzchniowej oraz oświetlaczy dyfuzyjnych. Gdy natomiast powierzchnia sprawdzana stanowi jakąś ciągłość stosowane są kamery linijkowe. W zależności od wielkości wykrywanych wad dobierana jest rozdzielczość kamery. Wielkość przedmiotu badanego ma wpływ na dobór ogniskowej obiektywu.

4.2 Aplikacje wizyjne do sprawdzania montażu.

W takich aplikacjach stosowane są zazwyczaj kamery powierzchniowe o małej rozdzielczości oraz oświetlacze typu „Ring”. Aplikacje te zazwyczaj nie wymagają specjalnego typu oświetlenia oraz dużych rozdzielczości obrazu. Obiektywy dobierane są zazwyczaj w zależności od gabarytów sprawdzanego obiektu. W większości przypadków konieczne jest stosowanie wielu kamer oraz programu, który umożliwia tworzenie wielokamerowych aplikacji.

4.3 Aplikacje wizyjne do pomiarów.

Do pomiarów mało dokładnych stosowane są kamery powierzchniowe oraz obiektywy stałogniskowe. Przedmiot oświetlany jest za pomocą „Backlight’a”. Umożliwia to dokonywanie pomiaru gabarytów zewnętrznych oraz otworów przelotowych. Do dokładnych pomiarów stosowane są kamery o bardzo dużej rozdzielczości oraz obiektywy i oświetlacze telecentryczne. Są to najdroższe przemysłowe systemy wizyjne.

4.4 Aplikacje wizyjne do identyfikacji produktów.

W aplikacjach do identyfikacji produktów, odczytu kodów kreskowych, kodów Data-Matrix oraz napisów najczęściej stosowane są kamery inteligentne. Pozwalają one na kontrolę nawet do kilkudziesięciu detali na sekundę.

5. WNIOSKI

Prawidłowy dobór komponentów do systemu wizyjnego ułatwia tworzenie programu wizyjnego oraz pozwala na obniżenie kosztów tego systemu. Cena kamery uzależniona jest od jej rozdzielczości, więc stosowanie kamer o dużej rozdzielczości w każdej aplikacji nie jest uzasadnione zarówno potrzebami aplikacji jak i ze względów ekonomicznych. Również ceny oświetlaczy są zróżnicowane i nie zawsze jest celowe stosowanie oświetlaczy specjalizowanych tam, gdzie zwykły oświetlacz jest wystarczający.

Oprogramowanie wizyjne również powinno być dobrane do potrzeb aplikacji, gdyż jego koszt również jest bardzo zróżnicowany. Różnice w cenie dochodzą nawet do kilku tysięcy euro.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] *Ekspertyza na zamówienie Ministerstwa Gospodarki: Metody wizyjne w systemach kontroli wytwarzania*, A. Syrczyński, J. Dunaj, Z. Wawerek, A. Ciesiński, Warszawa 2004;
- [2] *Zintegrowany system wizyjny kontroli wytwarzania*, PAR 12/2001 str. 51-56, A. Syrczyński, J. Dunaj, Z. Wawerek, A. Szawłowski;
- [3] *NeuroCheck: User-Manual*, www.neurocheck.com;
- [4] *Machine Vision Introduction*, www.sick.com;