

3

WYKORZYSTANIE SYSTEMÓW WIZYJNYCH W TECHNOLOGIACH ZROBOTYZOWANYCH

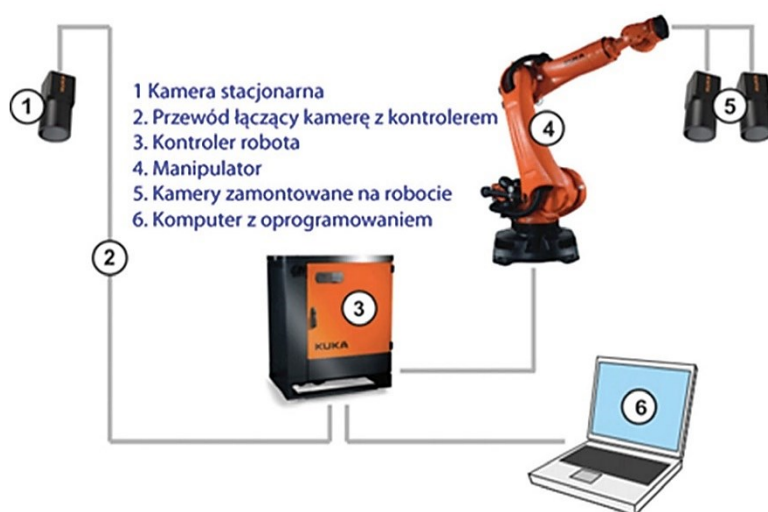
3.1 WPROWADZENIE

Dla zwiększenia elastyczności stanowisk zrobotyzowanych wyposażane są one w całą gamę czujników, takich jak czujniki odległości, czujniki siły, czy systemy wizyjne. Dla nieskomplikowanych czynności wykonywanych przez robota wystarczająca ilość informacji do systemu sterowania trafia za pośrednictwem prostych czujników (np. czujników dwustanowych). Możliwość rozpoznawania i reagowania na stan otoczenia przez system nadzorujący pracę robota ma jednak kluczowe znaczenie przy wykonywaniu skomplikowanych zadań, czy w przypadku współpracy robota z człowiekiem, do czego zmierzają prace badawcze i rozwojowe realizowane na całym świecie, w zakresie robotyzacji technologii wytwarzania, czy też dla potrzeb rozwoju robotów autonomicznych.

Wykorzystanie systemów wizyjnych w robotyce nie jest czymś nowym. Rozwój oprogramowania i sprzętu komputerowego pozwala jednak na zaimplementowanie coraz to bardziej zaawansowanych algorytmów przetwarzania obrazu. Dzięki temu system wizyjny jest w stanie analizować zbierane informacje coraz szczegółowiej, w coraz krótszym czasie. Z tego powodu systemy wizyjne znajdują obecnie szerokie zastosowanie w przemyśle. Robot, który jest w stanie odbierać i przetwarzać informacje pochodzące z kamery lub kamer może reagować w „inteligentny” sposób na zaistniałe zdarzenie. Wraz z chęcią zrobotyzowania coraz bardziej dokładnych bądź skomplikowanych czynności konieczne jest rozwijanie metod monitorowania przebiegu realizowanych procesów, z wykorzystaniem między innymi systemów wizyjnych. Rozwój algorytmów przetwarzania obrazu pozwala na skuteczną identyfikację obiektów (przez porównanie ze wzorcem lub przez analizę ich charakterystycznych cech), pomiary wymiarów geometrycznych, odczyt kodów, analizę znaków ASCII, kontrolę jakości wytwarzania, analizę obecności (w tym zliczanie obiektów) analizę pozycji i orientacji, analizę stanu powierzchni, ocenę barwy, czy sortowanie wyrobów [15]. Możliwe jest też, dzięki wykorzystaniu systemów wizyjnych, wykonywanie przez robota wielu różnych czynności na jednym stanowisku. Zrobotyzowany system może ponadto na bieżąco korygować algorytm sterowania pod wpływem zauważonych zmian otoczenia (sterowanie adaptacyjne).

Zastosowanie systemów wizyjnych na stanowisku zrobotyzowanym wymaga zintegrowania wielu podzespołów (rys. 3.1). Jest to zadanie skomplikowane. W artykule dokonano przeglądu systemów wizyjnych stosowanych w zrobotyzowanych technologiach wytwarzania oraz innych aplikacjach z wykorzystaniem robotów. Omówiono etapy przetwarzania obrazów pozyskiwanych z kamer dla potrzeb sterowania robotem.

Przedstawiono przykładowe aplikacje systemów wizyjnych wykorzystywanych dla potrzeb sterowania robotami w przemyśle oraz rolnictwie.

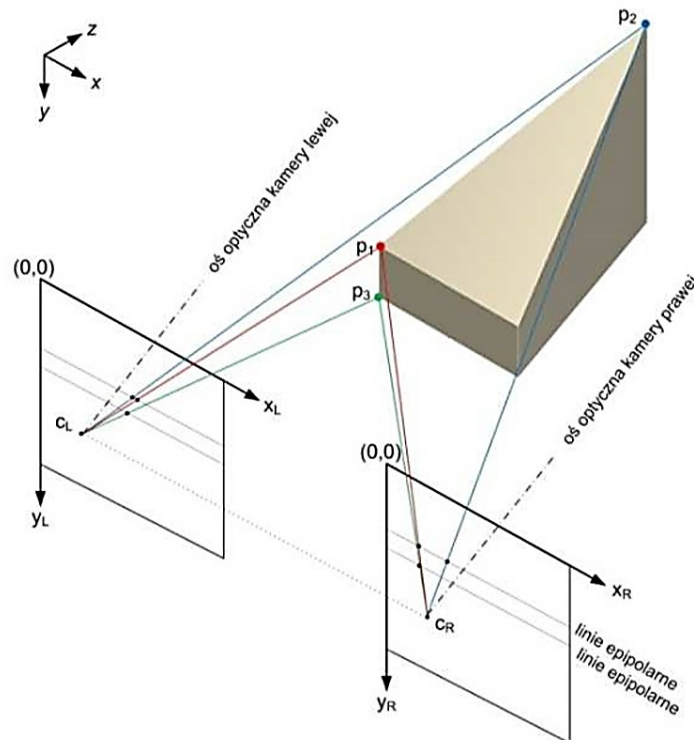


Rys. 3.1 Komunikacja systemu wizyjnego z układem sterowania robota przemysłowego

Źródło: [16]

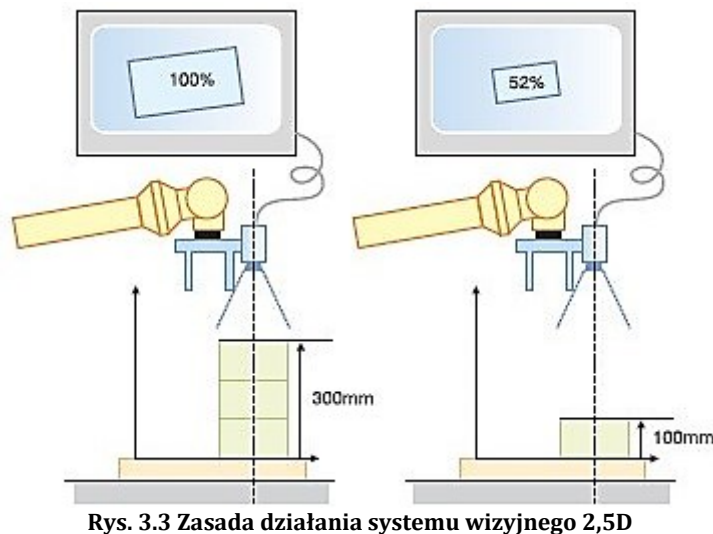
3.2 SYSTEMY WIZYJNE STOSOWANE W ROBOTYCE

Możliwe jest zastosowanie systemu składającego się z dwóch kamer dla wizji 3D (w trzech wymiarach) lub jednej kamery – systemy wizyjne 1D, 2D, 2,5D i 3D. Obrazowanie 3D przy użyciu jednej kamery jest realizowane poprzez akwizycję dwóch zdjęć z dwóch różnych stanowisk, choć pozycje kamery podczas robienia poszczególnych zdjęć nie muszą znacznie się od siebie różnić, ponieważ zaawansowane techniki komputerowe z łatwością połączą wykonane zdjęcia w przestrzenny obraz. Oczywiście zastosowanie systemu z jedną kamerą na potrzeby obrazowania 3D wiąże się z dłuższym czasem wykonywania danego zadania niż w przypadku zastosowania dwóch kamer, kiedy obraz trójwymiarowy jest uzyskiwany na podstawie zdjęć rejestrowanych jednocześnie. Systemy wizyjne 3D pozwalają na wyznaczenie objętości obiektów, czy odnajdowanie obiektów przy niskiej wartości kontrastu. Przy odpowiednim skalibrowaniu kamer można uzyskać bardzo dużą szybkość pomiarów przy zapewnieniu wysokiej dokładności. W zastosowaniu systemów wizyjnych w technologiach zrobotyzowanych, zwłaszcza przy wykonywaniu precyzyjnych czynności konieczne jest by otrzymywana informacja była obarczona jak najmniejszym błędem pomiarowym. System stereowizyjny umożliwia wyznaczanie przestrzennych współrzędnych punktów z bardzo dużą dokładnością. W swoim działaniu naśladuje on działanie oczu człowieka. Dzięki zastosowaniu dwóch kamer, poza możliwością uzyskania informacji na temat głębi na obrazie, możliwy jest pomiar odległości pomiędzy punktami, a co za tym idzie określenie odległości pomiędzy obiektami (rys. 3.2) [4]. W systemach wizyjnych 2,5D obraz płaski uzupełniany jest o trzeci wymiar (głębść), który określa się na podstawie znanych wymiarów fotografowanego obiektu, w oparciu o zależności geometryczne rzutowania perspektywistycznego (rys. 3.3).



Rys. 3.2 Odzworowanie stereoskopowe

Źródło: [14]



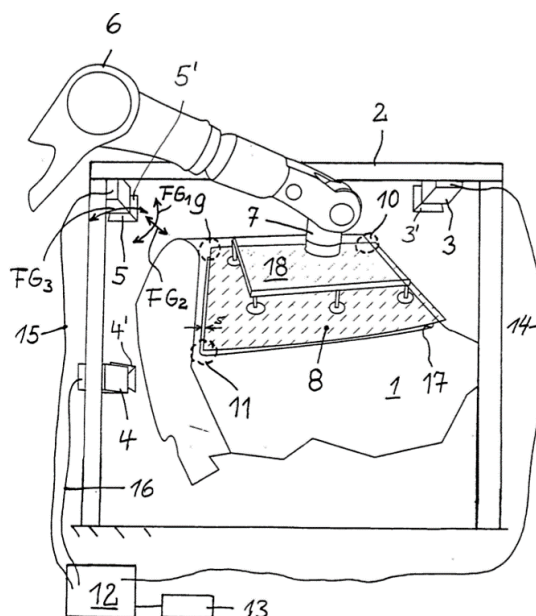
Rys. 3.3 Zasada działania systemu wizyjnego 2,5D

Źródło: [8]

System wizyjny 2D pozwala na identyfikację przedmiotów, rozpoznawanie położenia, analizę kształtów figur płaskich (np. rzutu elementu), analizę barwy, analizę kodów 2D (np. QR). Zadania systemu wizyjnego 1D ograniczają się z kolei jedynie do analizy kodów paskowych.

W przypadku bardzo zaawansowanych aplikacji możliwe jest zastosowanie nawet kilku kamer na stanowisku zrobotyzowanym (rys. 3.4), co znacznie zwiększa ilość informacji przetwarzanych przez system wizyjny. W tym przypadku współrzędne punktów pomiarowych są wyznaczane dzięki informacjom z dwóch lub większej liczby rzutów środkowych przy znajomości wzajemnego położenia kamer. W tym celu należy

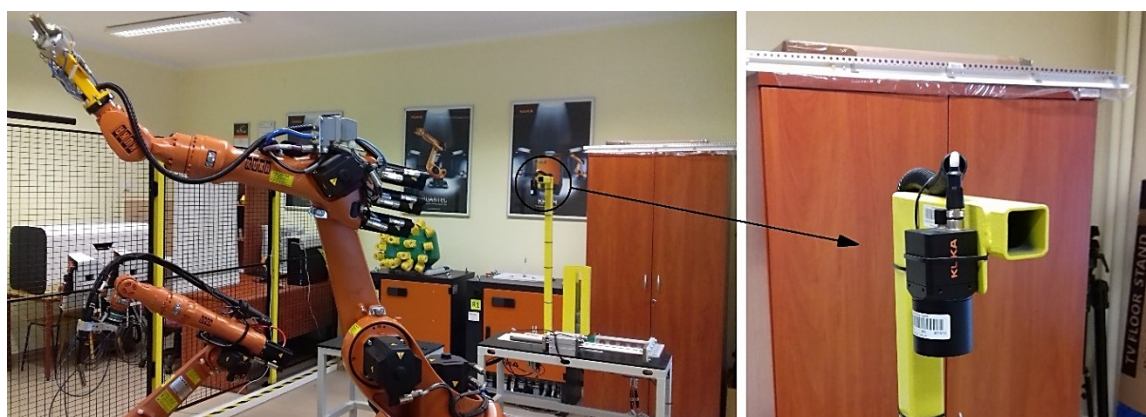
przeprowadzić proces rektyfikacji i kalibracji. Rektyfikacja oznacza dopasowanie kątów i odległości pomiędzy kamerami. Pod pojęciem kalibracji kryje się natomiast wyznaczenie zależności pomiędzy układami współrzędnych kamer a układem podstawowym [14]. Przed wyborem odpowiedniego rozwiązania należy rozważyć jakie korzyści chcemy uzyskać, w tym, czy na rzecz redukcji kosztów inwestycyjnych jesteśmy gotowi poświęcić szybkość i dokładność działania danej aplikacji [1].



Rys. 3.4 Zrobotyzowane stanowisko do montażu szyby przedniej w karoserii samochodu wyposażone w system wizyjny 3D z trzema kamerami:

- 1 - karoseria samochodu; 2 - konstrukcja portalowa; 3, 4, 5 - kamery;
 - 3', 4', 5' - obrotowe głowice kamer; 6 - ramie robota; 7 - chwytak; 8 - szyba;
 - 9, 10, 11 - obszar znajdujący się w polu widzenia kamery;
 - 12 - urządzenie do przetwarzania obrazu; 13 - urządzenie do połączenia systemu z komputerem ; 14, 15, 16 - kable; 17 - krawędź otworu w karoserii na szybę;
 - 18 - chwytak pneumatyczny; FG1, FG2, FG3 - stopnie swobody w których kamery mają możliwość obrotu
- Źródło: [6]

Kamery można montować bezpośrednio na kiści robota (rys. 3.3), wówczas mamy do czynienia z systemem wizyjnym mobilnym lub nad stanowiskiem roboczym, w przypadku systemu wizyjnego stacjonarnego (rys. 3.5).



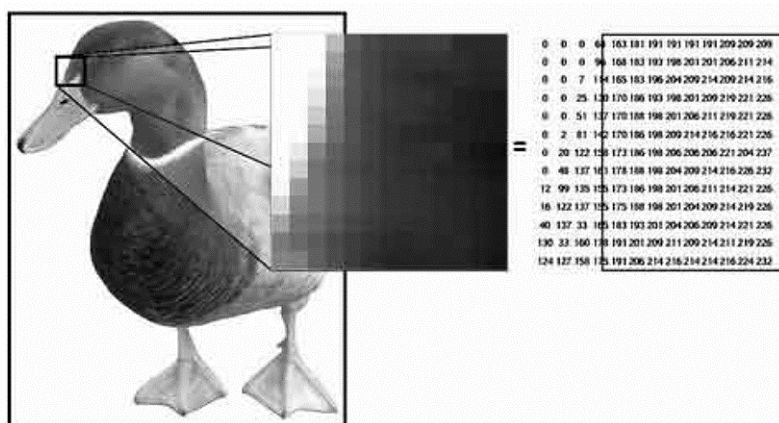
Rys. 3.5 Stacjonarny system wizyjny na stanowisku zrobotyzowanym z kamerą umieszczoną nieruchomo nad stanowiskiem pracy

Manipulowanie ustawieniem kamer systemu stacjonarnego jest niemożliwe, co w przypadku skomplikowanych kształtów fotografowanego obiektu, bądź ograniczonej jego widoczności może wykluczyć jego zastosowanie. System mobilny daje szereg korzyści, takich jak możliwość manipulowania ustawieniem kamery, czy na przykład podążanie kamery za narzędziem. W niektórych przypadkach montuje się kamery na końcówce drugiego robota.

3.3 PRZETWARZANIE I ANALIZA OBRAZU W SYSTEMIE WIZYJNYM

Pierwszym etapem w procesie wizyjnym jest akwizycja zdjęć (obrazów), które poddane muszą być procesowi przetwarzania i analizy w celu wyodrębnienia istotnych, z punktu widzenia realizowanego procesu na stanowisku zrobotyzowanym, informacji. Przetwarzanie polega na zamianie jego formy: z fizycznej na cyfrową, a następnie zamianie formy cyfrowej na matematyczny opis obrazu. Analiza oznacza natomiast rozpoznanie i opisanie poszczególnych obiektów na obrazach uzyskanych z kamer [12].

W trakcie przetwarzania pozyskany obraz jest przekształcany do postaci cyfrowej, w formie macierzy $M \times N$, w której każdy element stanowi element obrazu (piksel) przechowujący skwantowany poziom szarości, spośród E poziomów (rys. 3.6). Macierz $M \times N$ określa rozdzielczość, która jest definiowana jako poziom rozróżnialności detali. Każdy element cyfrowego obrazu określany jest dwuwymiarową funkcją intensywności światła $f(x,y)$, opisującą jasność w danym punkcie. Przedział wartości, jakie osiąga funkcja f zwany jest poziomem szarości. Na wartość funkcji $f(x,y)$ wpływ mają dwa elementy. Wielkość promieniowania świetlnego źródła i ilość światła odbitego przez obiekty w scenie (iluminacja i odbicie, opisane jako $i(x,y)$ i $r(x,y)$). Funkcja obrazu $f(x,y)$ musi być dyskretyzowana zarówno przestrzennie (próbkowanie obrazu), jak i amplitudowo (kwantyzacja poziomu szarości) [13].



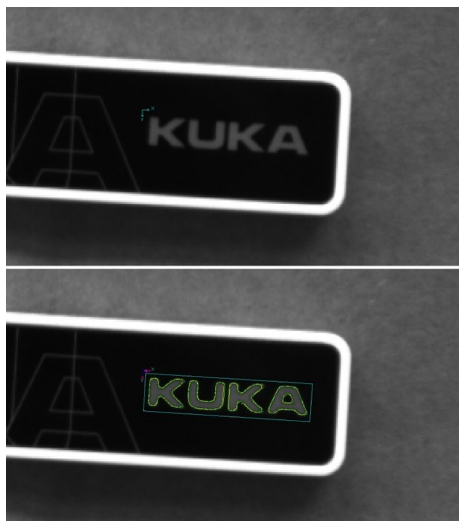
Rys. 3.6 Obraz cyfrowy oraz sposób jego zapisu

Źródło: [18]

Kolejnym etapem przetwarzania obrazu cyfrowego jest filtracja. Stosowane są metody: przestrzenne i częstotliwościowe – liniowe i nieliniowe. Filtracji obrazu dokonuje się, aby pomimo zniekształcenia obrazu można było go poprawnie zinterpretować. Przyczyny zniekształceń mogą być różne – na przykład niewłaściwe oświetlenie, zakłócenia lub wadliwie nastawiona ostrość.

Po wykonanej filtracji następuje globalny opis obrazu. Tu też stosowanych jest kilka

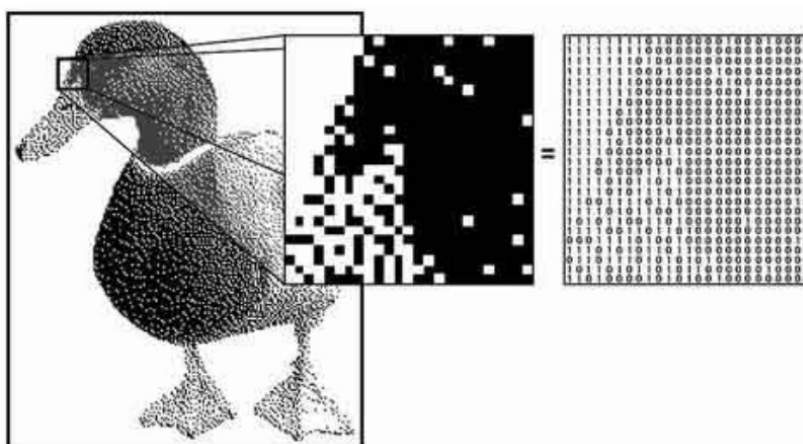
metod, które różnią się między sobą skutecznością odnajdywania detali, stopniem zaawansowania i szybkością przetwarzania obrazu. Metody te podzielić można na dwie grupy [13]: jednopunktowe, gdzie algorytmy przetwarzające odnoszą się do pojedynczych pikseli i metody obejmujące pewien kontekst analizowanego punktu. Bez względu na zastosowaną metodę celem jest uwypuklenie ważnych elementów obrazu.



Rys. 3.7 Przykład zastosowania narzędzia do odnajdywania krawędzi na obrazie w środowisku KUKA VisionTech

Oprogramowanie do przetwarzania obrazu, wyposażone jest w narzędzia do detekcji linii i ich śledzenia (rys. 3.7). Techniki detekcji krawędzi mają na celu znalezienie nieciągłości odwzorowujących granice obiektów znajdujących się na fotografowanej scenie. Tu również stosowanych jest wiele metod, które w zależności od rodzaju wyszukiwanych obiektów i ich otoczenia charakteryzują się różną skutecznością [12].

Ostatnią czynnością w procesie przetwarzania obrazu jest binaryzacja (rys. 3.8). Jej celem jest znaczna redukcja ilości informacji zawartych w obrazie, poprzez wymazanie danych, które nie spełniają założonych kryteriów i zostały uznane jako mało istotne. W zależności od wartości funkcji $f(x,y)$ piksele, dla których przekroczono pewną wartość progową są kwalifikowane jako istotne, reszta zaś zostaje usunięta.



Rys. 3.8 Obraz binarny

Źródło: [18]

Proces analizy obrazu rozpoczyna segmentacja, mająca na celu wyodrębnienie widocznych na obrazie obiektów. Polega ona na rozbiciu obrazu na fragmenty odpowiadające poszczególnym, widocznym na obrazie obiektom. Równocześnie rozróżnianym obiektom przypisywany jest zróżnicowany poziom szarości. Proces ten zwany jest indeksacją. Segmentacja umożliwia wydzielenie obszarów obrazu spełniających pewne kryteria jednorodności, takie jak kolor, poziom jasności, czy faktura. Można wyróżnić dwie techniki segmentacji: segmentacja przez podział obszaru oraz segmentacja przez rozrost obszaru. W zależności od metody obrazu przeszukiwane są w różny sposób w poszukiwaniu obiektów [12].

Kolejnym etapem w procesie analizy obrazu jest identyfikacja cech obiektów i ich pomiar. Celem analizy kształtów jest wyznaczenie cech obiektów, które dobrze charakteryzują ich kształt. Ponieważ obiekty na obrazie często są zdeformowane, interesują nas takie wielkości geometryczne, które nie zmieniają się w czasie realizacji transformacji obrazów, takich jak obroty, przesunięcia i zmiany skali [13].

Lokalizacja obiektów w systemie wizyjnym robota jest ostatnim działaniem podczas podstawowej analizy obrazu. Przez lokalizację rozumie się podanie współrzędnych opisujących położenie obiektu w pewnym układzie odniesienia dwu- lub trójwymiarowym [2]. Zwykle system wizyjny przypisany ma własny układ współrzędnych. Ponieważ sterownik robota operuje w układzie współrzędnych związanym na ogół z podstawą robota, zachodzi konieczność transformacji jednego układu współrzędnych na drugi. Konieczne jest w tym celu eksperymentalne zestrojenie obu układów współrzędnych, czemu służy kalibracja.

Priorytetowym problemem jest poprawne rozpoznanie cech obiektu na obrazie (np. kształtu, barwy, czy położenia). W tym celu stosowanych jest szereg algorytmów analizy obrazu. W praktyce, w zaawansowanych systemach wizyjnych każdy obraz analizowany jest kilkakrotnie za pomocą różnych algorytmów realizowanych kolejno po sobie. Ze względu na zróżnicowaną jakość zdjęć jest to konieczne ponieważ system analizy obrazu może błędnie identyfikować poszczególne elementy obrazu. Wielokrotne przetwarzanie zdjęć zmniejsza więc ryzyko popełnienia błędu. Mając informacje na temat kształtu, pozycji lub innych interesujących cech danego obiektu robot może wykonywać odpowiednią, uprzednio zaprogramowaną czynność.

Do budowy systemów wizyjnych w aplikacjach zrobotyzowanych stosuje się czujniki wizyjne, kamery inteligentne lub kamery współpracujące z komputerem PC (rys. 3.9), które posiadają wbudowane oprogramowanie umożliwiające programowanie procesu wizyjnego [11].

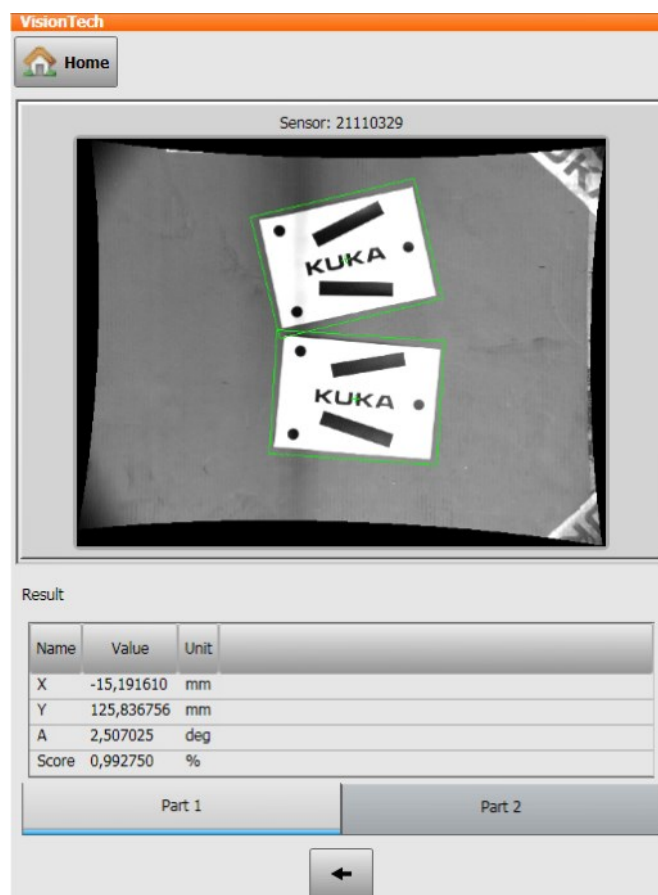
Mało kto podejmuje się konstruowania własnych algorytmów przetwarzania i analizy obrazu, ponieważ jest to bardzo zaawansowany technicznie proces wymagający wysokiej wiedzy z zakresu wielu dyscyplin naukowych, takich jak elektronika, informatyka, czy optyka. Zamiast tego sięga się po gotowe oprogramowanie do obsługi systemów wizyjnych. Na rynku wiele firm oferuje takie oprogramowanie. Często sami producenci kamer do systemów wizyjnych dają możliwość zakupu odpowiedniego oprogramowania wraz z kamerą.

Zazwyczaj kamery lub oprogramowanie do programowania procesu wizyjnego zawierają wbudowane narzędzia do identyfikacji na obrazie cech obiektów, które mogą być następnie porównywane z zapisanymi w bibliotece wzorcami (rys. 3.10).



Rys. 3.9 Czujniki wizyjne, kamery i kamery inteligentne firmy Datalogic

Źródło: [17]



Rys. 3.10 Przykład wyszukiwania elementów według wzorca w systemie VisionTech (KUKA)
Źródło: [10]

W ten sposób system jest w stanie rozpoznawać przedmioty i określać ich pozycję względem centralnego punktu narzędzia (TCP) zamontowanego na robocie. Możliwe jest ustalenie współczynnika skali podobieństwa i skali rozmiaru dla wyszukiwanych obiektów w porównaniu do wzorca. W zależności od potrzeb można narzucić ograniczenia, co do położenia i rozmiaru wyszukiwanych na obrazie obiektów. W tym przypadku najpierw wykonuje się szereg zdjęć obiektów, które mają później zostać odszukane, następnie te zdjęcia należy zapisać oraz przetworzyć w programie do projektowania procesu wizyjnego. Proces programuje się w taki sposób, aby program odnajdywał jedynie interesujące nas elementy. Jest to czynność pracochłonna, ale tylko odpowiednio skonfigurowany program będzie rozpoznawał obiekty z wymaganą dokładnością. W razie potrzeby, na podstawie informacji z systemu wizyjnego, robot może korygować położenie manipulowanych obiektów, jeżeli odbiega ono od założonego. Ponadto posiadając informacje na temat stanu otoczenia może on zmienić (korygować) trajektorie ruchu w przypadku wystąpienia na przykład niebezpieczeństwa kolizji [3].

Czynnikami mającym największy wpływ na poprawne działanie systemu wizyjnego jest oświetlenie. W przypadku złego oświetlenia system może mieć trudności w poprawnej analizie zdjęć, gdyż mogą one być niedoświetlone lub prześwieczone. Oprogramowanie do przetwarzania obrazu posiada zazwyczaj jednak wbudowane narzędzia do korygowania światła. Pomimo tego na etapie budowy systemu wizyjnego należy zapewnić odpowiednie warunki oświetleniowe. Jeżeli naturalne oświetlenie występujące w danym miejscu jest złe, można do tego użyć oświetlaczy.

3.4 PRZYKŁADOWE APLIKACJE

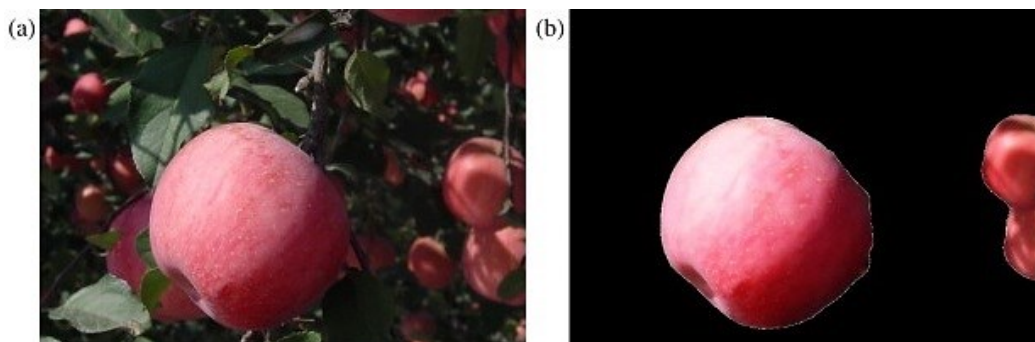
Zastosowanie systemów wizyjnych w zrobotyzowanych technologiach wytwarzania jest coraz bardziej powszechne. Mimo ciągłego rozwoju tej dziedziny systemy wizyjne wspomagają jednak dosyć proste procesy. Najczęściej ich zadania ograniczają się do aplikacji typu pick-and-place, gdzie system rozpoznaje i ustala pozycję danego obiektu, a następnie na podstawie tych informacji manipulator pobiera i odkłada obiekt w określonym miejscu.



Rys. 3.11 Robot do zbierania jabłek

Źródło: [9]

Rozwiązania takie stosowane są nie tylko w przemyśle, lecz również na przykład w rolnictwie. Przykładem takiej aplikacji jest robot do zbierania jabłek (rys. 3.11), który na podstawie barwy jabłka zalicza je do określonej grupy (rys. 3.12) [9].



Rys. 3.12 Sposób w jaki robot do zbierania jabłek widzi rozpoznane jabłka:

a) oryginalny obraz, b) obraz po zastosowaniu algorytmów przetwarzania obrazu (usuwanie tła)
Źródło: [9]

Przykładem zastosowania systemu wizyjnego na stanowisku roboczym robota przemysłowego jest montaż szyb samochodowych (rys. 3.5) [6]. Tutaj zadaniem systemu wizyjnego jest lokalizacja podczas montażu narożników otworu w karoserii na szybę i samej szyby. Najpierw manipulator, umieszczony na jednostce liniowej, pobiera szybę z magazynu. Następnie na podstawie informacji z systemu wizyjnego robot pozycjonuje szybę w miejscu, w którym ma w następnym etapie zostać ona zamontowana w karoserii. W rozwiązaniu tym zastosowano trzy kamery rozmieszczone na konstrukcji portalowej w taki sposób, aby ich pola widzenia obejmowały poszczególne narożniki szyby i otworu na szybę w karoserii. Dla zwiększenia elastyczności stanowiska użyto kamer specjalnej konstrukcji, które posiadają obrotowe głowice umożliwiające ich obrót w wszystkich trzech kierunkach oraz soczewki o zmiennej ogniskowej. Takie rozwiązanie umożliwia adaptację systemu wizyjnego do różnej wielkości monitorowanych obiektów. Kamery pracują we wspólnym przestrzennym układzie współrzędnych, a śledzony (szyba i otwór w karoserii) przedmiot jest umieszczony w przestrzeni przed nimi.

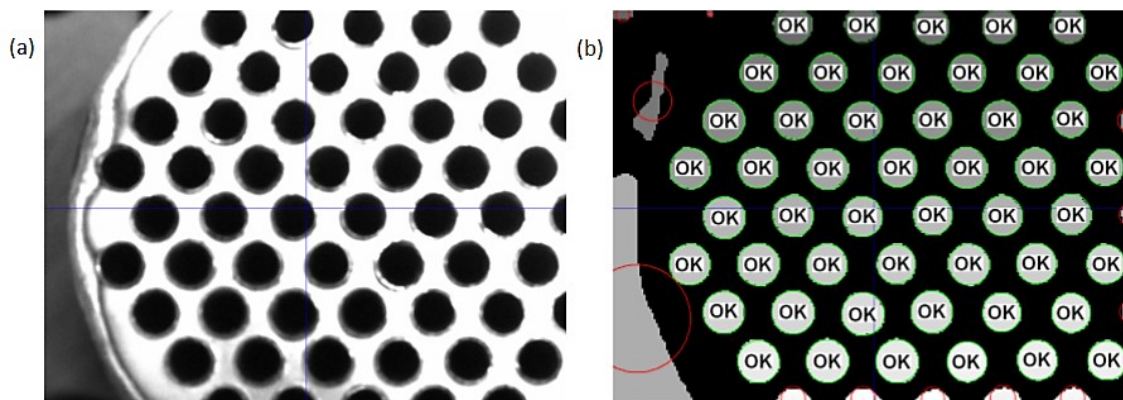
Znane są też bardziej zaawansowane zastosowania systemów wizyjnych. Przykładem jest wspomaganie procesu spawania, w którym zastosowanie systemu wizyjnego pozwala automatyzować czynności wymagające bardzo wysokiej precyzji lub czynności powtarzających się przy zmiennych warunkach początkowych [7]. Zastosowanie systemu wizyjnego pozwala na bieżąco korygować proces spawania w zależności od położenia spawanych elementów, rodzaju materiału łączonych elementów, rodzaju głowicy spawalniczej. Przykładem takiego rozwiązania jest zrobotyzowane stanowisko do spawania gęsto upakowanych rurek do sita wymiennika ciepła [5]. W tym przypadku system wizyjny ma kilka zadań. Pierwszym jest rozpoznanie danego rodzaju sita – na podstawie kształtu i rozstawu otworów. W kolejnym etapie dokonywane jest rozpoznanie kształtu poszczególnych otworów. Posiadając informacje na temat kształtu i wymiarów otworów wyznaczana jest trajektoria palnika. W opisywanym rozwiązaniu użyto jednej kamery zamontowanej na ramieniu robota razem z palnikiem spawalniczym (rys. 3.13). Oś kamery ustawiona jest równolegle do osi palnika. Obraz jest przetwarzany i analizowany przez komputer PC.



Rys. 3.13 System wizyjny wyznaczający położenie spawanych rurek wymiennika ciepła

Źródło: [5]

Dla zapewnienia optymalnego oświetlenia zastosowano oświetlacz w obudowie, która dodatkowo zabezpiecza obiektyw kamery przed promieniowaniem cieplnym. W pierwszym etapie system wizyjny dokonuje wstępnej lokalizacji otworów. Kamera jest ustawiana prostopadłe do osi wymiennika ciepła w pewnej odległości od spawanego elementu, tak aby pole widzenia kamery obejmowało wszystkie otwory. Ze względu na zastosowanie obiektywu ze stałą ogniskową zdjęcia zrobione z odległości mogą być niewyraźne. Nie ma to jednak większego wpływu dla wstępnego rozpoznania sita. Identyfikacja sita wymaga zrobienia kilku częściowo nakładających się zdjęć. System identyfikuje otwory na obrazie i na podstawie informacji na temat ustawienia ramienia robota określa współrzędne otworów w płaskim układzie współrzędnych. Wykonuje się kilka zdjęć i porównuje ze sobą w celu uniknięcia błędów. Ponadto zidentyfikowane sito jest porównywane ze wzorcem zapisanym w bibliotece. Po zastosowaniu algorytmów przetwarzania i analizy obrazu otrzymuje się wartości parametrów opisujących obiekty. Na tej podstawie dokonywana jest identyfikacja poszukiwanych otworów (rys. 3.14).



Rys. 3.14 Przykładowe zdjęcie otrzymywane na etapie wstępnego rozpoznania wymiennika ciepła (a) oraz wynik analizy obrazu – znalezione otwory (b)

Źródło: [5]

Drugim zadaniem systemu wizyjnego w opisywanej aplikacji jest realizacja trajektorii spawania. Spawanie odbywa się tu metodą TIG. Zadanie to jest dość skomplikowane, ponieważ wykonane wcześniej spoiny mogą nachodzić na krawędzie pozostałych otworów. Tu ponownie w pierwszej kolejności dochodzi do globalnego rozpoznania sita, następnie system przechodzi do rozpoznania otworu najbliższego środka obrazu. Wyznaczany jest zbiór punktów leżących na krawędzi badanego otworu. Punkty odnajdywane są przy założeniu, że krawędź znajduje się w miejscu przejścia między obszarem białym i obszarem czarnym. Obszar biały reprezentuje powierzchnię sita, krawędzie rurki. Czarny obszar-wnętrze rurki, wnętrze otworu, przerwy pomiędzy sitem i rurkami wymiennika ciepła. System poszukuje czarnych obszarów pomiędzy otworem i rurką. Na podstawie uzyskanych konturów obrazu otworu przeprowadzana jest identyfikacja otworu na podstawie wzorca otworu. Punkt startowy spawania jest wybierany poza krawędzią otworu. Robot w czasie wykonywania ruchu narzędziem wydłuża ją o połowę obwodu otworu ze względu na wymagania technologii spawania (wykonanie nakładki spawu, wygaszenie łuku palnika).

3.5 PODSUMOWANIE

Funkcjonalność systemów wizyjnych pozwala na budowanie skomplikowanych zrobotyzowanych aplikacji, znacznie bardziej zaawansowanych niż jedynie identyfikowanie obiektów czy kontrola jakości wytwarzania. Na podstawie wbudowanych opcji system ten jest w stanie rozpoznawać obiekty, zliczać elementy, a także dokonywać pomiarów zarówno znalezionych obiektów, jak również odległości pomiędzy nimi.

Rozwój oprzyrządowania i technik akwizycji, przetwarzania i analizy obrazu prowadzi do ich rozpowszechnienia w coraz bardziej zaawansowanych aplikacjach. Robotyzacja skomplikowanych procesów produkcyjnych nie byłaby możliwa bez rozwoju tej dziedziny techniki. Proces przetwarzania i analizy obrazu jest skomplikowany i wymaga realizacji bardzo dużej ilości obliczeń. Wykorzystywane algorytmy matematyczne choć znane od lat wymagają szybkich procesorów, które są w stanie przetwarzać coraz większe ilości informacji. Rozwój elektroniki sprawił, że możliwości takie dają nawet układy wbudowane w kamery. Możliwości dostępnych dzisiaj systemów wizyjnych pozwalają na ich integrację z robotami przemysłowymi oraz wykorzystanie do realizacji złożonych algorytmów sterowania w oparciu o informacje o stanie sceny, w której roboty te pracują. Systemy wizyjne stanowią uzupełnienie układów sensorycznych robotów pracujących na liniach produkcyjnych. Są one także niezbędnym wyposażeniem robotów autonomicznych wykorzystywanych w transporcie przemysłowym oraz innych zastosowaniach – w autonomicznych samochodach, pojazdach latających (dronach) czy jednostkach pływających (nawodnych i podwodnych).

LITERATURA

1. M. Aftewicz. Metodyka projektowania przemysłowych systemów wizyjnych [www.systemywizyjne.pl]
2. K. Antczak. Kamery 3D w systemach wizyjnych [https://www.automatyka.pl/].
3. M. Bieńkowski. Systemy wizyjne w sterowaniu napędami, Automatyka 1-2/2016, s. 68-73.
4. P. Cheluszka. Metrologia organów roboczych górniczych maszyn urabiających, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2012.
5. P. Fiertek, M. Niedźwiecki. System wizyjny sterujący zrobotyzowanym stanowiskiem spawania otworów, rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska 2015.

6. F. Grunewald, H.M.G. Mikeska. Einrichtung und Verfahren zur Bestimmung der Position eines Werkstücks unter Verwendung einer Schwenkneigekopfkamera, patent europejski, EP 1 431 705 A1, listopad 28, 2003 [C.A., 2004, 26, 03027227.2]
7. P. Handzlik. Systemy wizyjne w zastosowaniach zrobotyzowanych [www.automatykaonline.pl].
8. M. Jaworowska. Roboty nowej ery Część 1: Systemy wizyjne w robotach przemysłowych [https://automatykab2b.pl].
9. Ji W., Zhao D., Cheng F., Xu B., Zhang Y., Wang J.: *Automatic recognition vision system guided for apple harvesting robot*, Computers & Electrical Engineering Vol. 38, Iss. 5, 2012, P. 1186-1195.
10. KUKA System Technology, KUKA.VisionTech 2.1 for KUKA System software 8.2.
11. J. Panasiuk, W. Kaczmarek. Wykorzystanie systemu wizyjnego na stanowiskach zrobotyzowanych, *Mechanik* 7/2013 str. 591-601, XVII Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji.
12. T. Pavlidis. *Grafika i przetwarzanie obrazów*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1987.
13. R. Tadeusiewicz. *Systemy wizyjne robotów przemysłowych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992.
14. http://home.agh.edu.pl/~hyla/Downloads/ASiUT/Cwiczenie_2/ASiUT_2.pdf, (dostęp 03.01.2018).
15. <http://systemy-wizyjne.pl/pl/systemy-wizyjne-zastosowania>, *Zastosowania systemów wizyjnych*.
16. http://www.controlengineering.pl/uploads/RTEmagicP_wizyjne05.jpg (dostęp 03.01.2018).
17. <http://www.datalogic.com/eng/products/industrial-automation/vision-systems-pc-16.html> (dostęp 03.01.2018).
18. http://www.unicat.webd.pl/cyfr_abc_b1.htm (dostęp 03.01.2018).

Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2018

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 05.2018

WYKORZYSTANIE SYSTEMÓW WIZYJNYCH W TECHNOLOGIACH ZROBOTYZOWANYCH

Streszczenie: W artykule dokonano przeglądu rozwiązań systemów wizyjnych na stanowiskach zrobotyzowanych. Zaprezentowano urządzenia wchodzące w skład takiego systemu. Dokonano klasyfikacji systemów wizyjnych ze względu na rodzaj rejestrowanego obrazu oraz ze względu na rozmieszczenie kamery lub kamer na stanowisku roboczym. Omówiono możliwości systemów wizyjnych w zależności od konfiguracji sprzętowej. Przedstawiono przebieg procesu wizyjnego rozpoczynając od akwizycji obrazu. Omówiono stosowane metody przetwarzania i analizy obrazu pochodzącego z kamer systemu wizyjnego. Pokazano także przykładowe aplikacje zrealizowane z wykorzystaniem systemów wizyjnych.

Słowa kluczowe: technologie zrobotyzowane, systemy wizyjne, przetwarzanie obrazu, sterowanie adaptacyjne, proces wizyjny.

THE USE OF VISION SYSTEMS IN ROBOTIZED TECHNOLOGY

Abstract: The article presents an issue related to the use of vision systems at robotic stands. Devices included in such a system have been presented. The classification of vision systems was made due to the type of image being recorded and due to the location of the camera or cameras at the workstation. The capabilities of vision systems are discussed depending on the hardware configuration. The course of the video process was presented starting from image acquisition. The methods of image processing and analysis originating from video camera cameras are discussed. Also shown are examples of applications implemented using vision systems.

Key words: robotic technologies, vision systems, image processing, adaptive control, vision process.

dr hab. inż. Piotr Cheluszka, prof. PŚ
Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska
e-mail: Piotr.cheluszka@polsl.pl

mgr inż. Amadeus Jagieła-Zajac
Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska