

Czujniki i układy sensoryczne robotów przemysłowych

Czujniki stosowane w robotach możemy podzielić na czujniki dostarczające informacji o parametrach charakteryzujących stan robota (wewnętrzne) i czujniki dostarczające informacji o stanie środowiska (zewnętrzne). Parametrami stanu robota są: położenie i prędkość jego członów oraz siły wywierane na poszczególne człony. Do parametrów stanu otoczenia robota zalicza się: położenie i orientację w przestrzeni chwytanych przedmiotów, rozpoznawanie ich barwy, parametry zaburzeń pracy robota oraz różnego rodzaju specyficzne cechy środowiska, które należy znać przy wykonywaniu określonej operacji. Czujniki robota mogą być umieszczone w samym robocie lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie (np. czujniki wizyjne). Najwięcej czujników jest jednak w chwytaku [I.1].

Nowoczesne roboty przemysłowe do kontroli ruchów wykorzystują czujniki zewnętrzne.

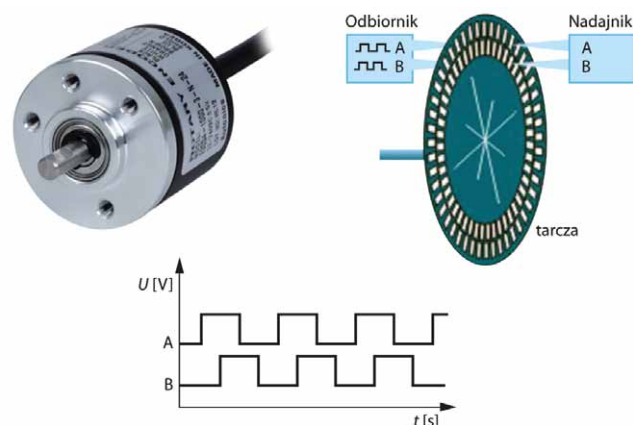
Jeśli czujniki wykryją błąd, zatrzymują pracę kontrolera lub wpływają na zmianę trajektorii ruchu robota. Ponadto czujniki pełnią bardzo ważną funkcję w procesach zautomatyzowanych. To dzięki nim możliwa jest synchronizacja pracy poszczególnych maszyn wykonujących kolejne kroki montażu. Ze względu na liczbę i złożoność dostarczanej informacji czujniki występujące na stanowiskach zrobotyzowanych dzieli się na czujniki dostarczające informacji binarnej oraz układy sensoryczne, z których najbardziej zaawansowane i mające coraz większe znaczenie praktyczne są układy sensoryczne zmysłu wzroku, potocznie zwane systemami wizyjnymi.

1. Czujniki pomiarowe

Czujniki położenia

Do pomiaru położenia są przeznaczone czujniki przemienne linowych i kątowych. Szczególne miejsce zajmują przetworniki obrotowo-impulsowe, które umożliwiają wykonywanie pomiarów przemieszczeń kątowych (pomiar kąta i prędkości kątowej), a za pomocą napędu paskowego, zębatego lub koła ciernego – pomiarów przemieszczeń liniowych. Można wyróżnić dwa typy czujników obrotowo-impulsowych:

- Przetworniki inkrementalne (przyrostowe), które są urządzeniami generującymi określoną liczbę impulsów na jeden obrót. Służą one do określania przemieszczeń kątowych, prędkości obrotowej, przemieszczenia liniowego, do pomiaru kąta kluczowych elementów mechanizmów maszyn, robotów, komparatorów oraz do ustanowienia połączenia informacyjnego ze sterownikiem, licznikiem lub urządzeniem odczytowym. Przykład sposobu funkcjonowania enkodera inkrementalnego przedstawiono na rysunku 1. Podczas obrotu tarczy enkodera odbiornik zlicza impulsy na kanale A, przy czym kierunek ruchu może być rozpoznawany dzięki przesunięciu fazowemu dwóch kanałów: A i B. Dodatkowo



Rys. 1. Enkoder inkrementalny, tarcza enkodera i przebieg sygnału:

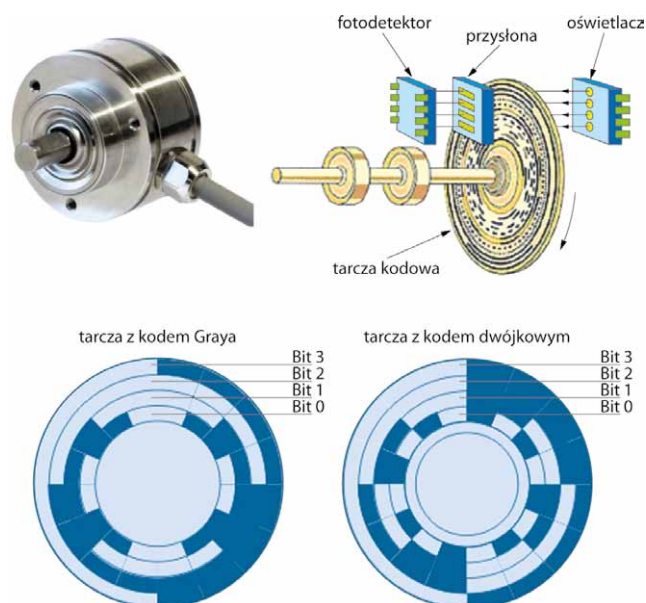
A – sygnał prostokątny o określonym napięciu;

B – sygnał prostokątny przesunięty względem sygnału A

(Źródło: <http://automatyka4u2.pl> i opracowanie własne)

można dołączyć kanał zerowy C, którego zadaniem będzie wskazywanie pozycji absolutnej przy każdym obrocie przetwornika.

- Przetworniki absolutne, tzw. kodowe, są urządzeniami, które działają na zasadzie podawania pozycji położenia kąowego za pomocą kodu odczytywanego z tarczy kodowej (rys. 2). Położenie może być podawane na przykład w kodzie



Rys. 2. Enkoder absolutny firmy Hengstler, tarcza kodowa enkodera

i oznaczenia kodowe (Źródło: <http://www.controlengineering.pl> i opracowanie własne)

reklama

binarnym lub GRAYA, BCD. Informacja o położeniu przetwornika zostaje podana po włączeniu zasilania i jest kontrolowana przez cały czas jego działania. W przypadku zaniku zasilania lub po przekroczeniu częstotliwości granicznej i jej zmniejszeniu przetwornik „nie traci orientacji” i wskazuje prawidłowe położenie. Przetworniki absolutne są oferowane na rynku jako jedno- i wieloobrotowe.

Czujniki prędkości

Czujniki prędkości są stosowane w celu zwiększenia dokładności utrzymania zaprogramowanej prędkości. Najczęściej stosuje się przyrostowe enkodery optyczne (tachogeneratory) oraz czujniki położenia z elektronicznym urządzeniem różniczkującym.

Czujniki siły

Czujniki siły znalazły zastosowanie w ogranicznikach zabezpieczających przed przeciążeniem mechanicznym, w układach sterowania prędkością i pomiarach masy. Szeroko rozpowszechnione są czujniki tensometryczne.

Czujniki zewnętrzne

Czujniki zewnętrzne nie są standardowym wyposażeniem robota i są dołączane do robota najczęściej po to, aby dostarczać informacji o otaczającym go środowisku.

Wśród nich wyróżnia się czujniki:

- elektroniczne;
- optyczne;
- akustyczne.

Czujniki dotyku

Czujniki dotyku (tensometry) mogą mierzyć pojedyncze siły i momenty obrotowe lub wielowymiarowe siły i momenty obrotowe. Są one umieszczane między chwytakiem a ramieniem robota lub wewnątrz palców chwytaka.

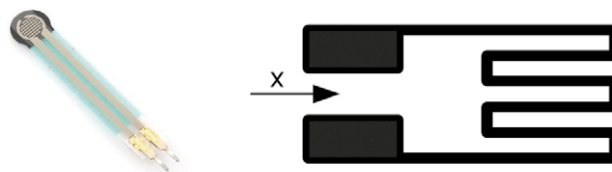
Roboty przemysłowe z czujnikami dotyku są używane do montażu (zadań łączeniowych) oraz do obróbki elementów. Mogą być również wykorzystywane do kontroli chropowatości powierzchni.

Czujniki pochodnej siły są stosowane do ochrony przed uszkodzeniem, a nawet zniszczeniem zarówno elementów montażu, jak i samego robota. Ma to szczególne znaczenie w przypadku, kiedy pozycja i orientacja obiektów manipulacji nie są jednoznacznie określone lub kiedy tolerancje wykonania obiektów są zbyt duże.

Wykrycie i uniknięcie kolizji może być zrealizowane dzięki wykorzystaniu czujnika siła – moment obrotowy; stosuje się jedną z dwóch technik pomiarowych:

- odkształcenie narzędzia;
- przemieszczenia lustra lub układu optycznego.

Czujnik (siła – moment/tensometr) nie mierzy bezpośrednio sił i momentów obrotowych, lecz spowodowane przez nie deformacje. Działanie tensometrów opiera się na zjawisku fizycznym polegającym na tym, że przewodnik elektryczny podczas zmiany swej długości zmienia swoją oporność. Na rysunku 3 przedstawiono przykładową budowę tensometru.



Rys. 3. Rezystancyjny czujnik siły FSR400 firmy Interlink Electronics i budowa tensometru foliowego (x - kierunek odkształcenia)

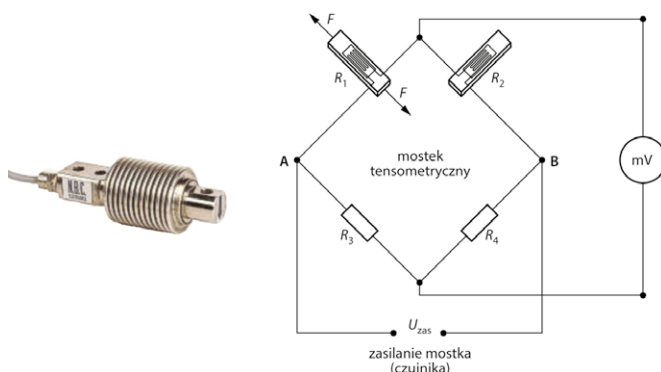
Można powiedzieć, że przewodnik z materiału o dużej oporności właściwej i niewielkich współczynnikach temperaturowych jest naniesiony na nośnik foliowy.

Ułożenie przewodnika powoduje, że jego całkowita długość zmienia się kilka razy w stosunku do wydłużenia nośnika foliowego (rys. 3). Wydłużenia w kierunku poprzecznym, z powodu małej długości i większego przekroju odcinków przewodnika leżących w tym kierunku, tylko nieznacznie wpływają na pomiar.

Do głównych zalet czujników tensometrycznych zalicza się:

- dużą czułość i dużą dokładność;
- małe wymiary;
- odporność na drgania i wstrząsy;
- możliwość pracy w wysokich temperaturach i ciśnieniach;
- możliwość umieszczania na powierzchniach zakrzywionych.

Do pomiaru momentów są stosowane czujniki skrętne. Składają się one z pręta lub rury, na której są przyklejone dwa lub cztery tensometry pod kątem 45° do osi tensometru w ten sposób, że podczas skręcenia pręta (rury) pod wpływem momentu doznają one naprężeń o różnych znakach (rys. 4). Tensometry w technice pomiarowej pracują najczęściej w układzie tzw. mostka Wheatstone'a. Mostek ten składa się z czterech gałęzi utworzonych z czterech elementów. Zazwyczaj są to: tensometr o oporności R1, tensometr kompensacyjny o oporności R2 (do kompensacji wpływu czynników ubocznych, a szczególnie temperatury i wilgoci) oraz dwa oporniki R3 i R4.



Rys. 4. Przetwornik tensometryczny zginany – model GX firmy Q&W i układ mostka tensometrycznego (Źródło: Q&W)

Czujniki elektroniczne

Indukcyjne i pojemnościowe czujniki odległości mogą mierzyć odległość między samym czujnikiem a obiektem w określonym zasięgu. Używa się ich do wykrywania pozycji detali

względem chwytaka. Najczęściej do tego celu jest wykorzystywany współrzędny układ bazowy robota lub układ narzędzia. Dzięki temu możliwe jest osiągnięcie przez robota odpowiedniej – do uchwycenia detalu – pozycji i orientacji.

Czujniki odległości mają zdefiniowany zasięg. Należy zaznaczyć, że czujniki indukcyjne i pojemnościowe mogą wykrywać jedynie detale mające pewne cechy elektryczne lub magnetyczne.

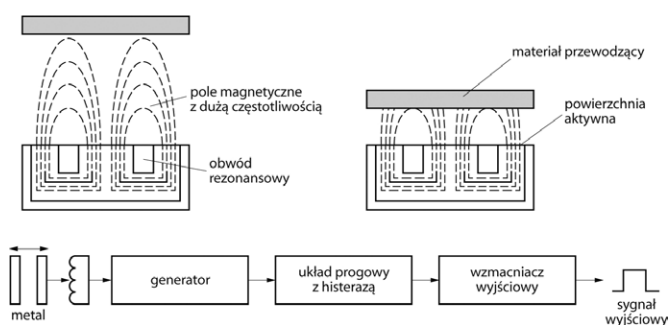
Indukcyjne czujniki zbliżeniowe

Indukcyjne czujniki zbliżeniowe są powszechnie stosowane w układach automatyki przemysłowej i sterowania do kontroli położenia, przemieszczeń i ruchu mechanizmów związanych ze sterowanymi urządzeniami (rys. 5). Są elementami automatyki reagującymi na wprowadzenie metalu w ich strefę działania. Powszechnie są wykorzystywane w układach automatyki przemysłowej do precyzyjnego określania położenia ruchomych części maszyn i urządzeń. Charakteryzują się dużą pewnością działania i niezawodnością w trudnych warunkach środowiskowych, jak na przykład nadmierne zapylenie, wilgotność.



Rys. 5. Czujniki indukcyjne firmy SICK (Źródło: <https://www.sick.com>)

W indukcyjnych czujnikach zbliżeniowych jest wykorzystywany efekt prądów wirowych powstający w materiałach przewodzących (rys. 6). Cewka tworzy pole magnetyczne o wysokiej częstotliwości. Jeśli przewodzący przedmiot jest przemieszczony w zasięg czujnika, pole magnetyczne indukuje napięcie wewnątrz przedmiotu. Napięcie to wywołuje prądy wirowe, które wytwarzają przeciwne pole magnetyczne, a ono z kolei powoduje zmniejszenie pierwotnego pola. Całość pochłania energię z obwodu rezonansowego i zmniejsza amplitudę oscylacji. Czujnik przekształca te dwa stany: „dużą amplitudę” i „małą amplitudę” na sygnał cyfrowy (rys. 6). Dwustanowy sygnał wyjściowy czujników umożliwia ich współpracę



Rys. 6. Zasada działania indukcyjnego czujnika zbliżeniowego (Źródło: [1,9])

z programowalnymi sterownikami PLC lub bezpośrednio sterowanie pracą przekaźników, elektrozaworów i innych elementów wykonawczych.

Indukcyjne czujniki zbliżeniowe znajdują zastosowanie w:

- urządzeniach mechanicznych;
- przemyśle metalowym;
- przemyśle spożywczym;
- automatyce przemysłowej.

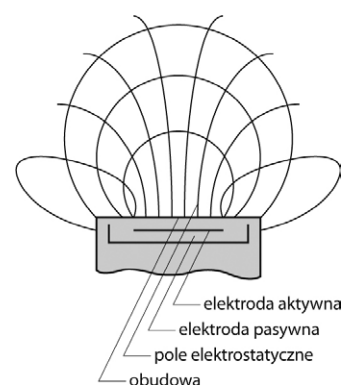
Pojemnościowe czujniki zbliżeniowe

Pojemnościowe czujniki zbliżeniowe służą m.in. do kontroli poziomu cieczy w zbiornikach, wykrywania materiałów ziarnistych i proszkowych, wykrywania elementów z tworzyw sztucznych, szkła, drewna i metalu (rys. 7).



Rys. 7. Czujniki pojemnościowe CS-16 firmy SIMEX (Źródło: SIMEX)

Czujniki tego typu mierzą zmianę pojemności między sobą a obiektem poddawanym detekcji. Kondensator utworzony przez układ obiekt – czoło sensora ma pojemność zależną od odległości między okładzinami. Jednocześnie jest elementem obwodu regulującego częstotliwość oscylatora wbudowanego w czujnik. Pojawienie się obiektu (a w efekcie zwiększenie pojemności) powoduje, że oscylator zaczyna pracować. Wzrost lub spadek częstotliwości jest identyfikowany przez obwody detekcji i wyzwala wzmacniacza zasilającego obciążenie lub załączającego styki przekaźnika. Innymi słowy, pojemnościowy pomiar odległości jest oparty na elektrycznych zmianach pola wtedy, kiedy pojawia się w nim obiekt (następuje zmiana pojemności elektrody czujnika). Obwód rezonansowy jest wówczas rozstrojony i następują spadki amplitudy oscylacji. Układ przekształca te dwa stany („dużą amplitudę” i „małą amplitudę”) na sygnał binarny (rys. 8).



Rys. 8. Zasada działania pojemnościowego czujnika zbliżeniowego

(Źródło: [1,9])

Czujniki pojemnościowe bardzo często są wyposażone w elementy regulacyjne, które umożliwiają nastawę czułości, co wpływa na nastawę dystansu roboczego.

Jest to cecha bardzo użyteczna w takich aplikacjach, jak na przykład detekcja napełnienia zbiornika cieczą (do określenia stanu zbiornika: pusty/pełny). Dystans roboczy jest związany z rozmiarami czujnika oraz właściwościami materiału, z którego jest wykonany obiekt.

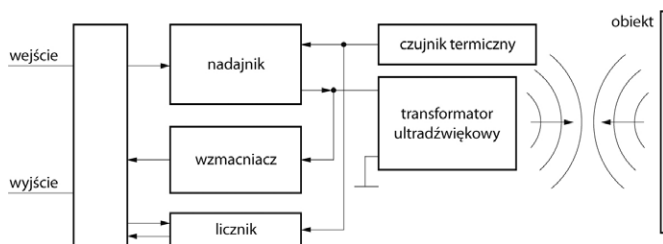
Czujniki akustyczne

Odległości mogą być mierzone również za pomocą czujników ultradźwiękowych (rys. 9). Działanie czujników ultradźwiękowych polega na wykrywaniu obecności obiektu w wiązce ultradźwiękowej wysyłanej przez czujnik (rys. 10). Obiekty wprowadzane do wiązki ultradźwiękowej powodują zmianę sygnału wyjściowego w chwili, gdy znajdują się one w zakresie załączenia czujnika. Wyjście może być typu dwustanowego lub analogowego.



Rys. 9. Czujnik ultradźwiękowy M30 firmy SICK (Źródło: SICK)

Odległość między czujnikiem a obiektem docelowym, który odbija sygnał, jest proporcjonalna do czasu między wysłaniem sygnału a jego otrzymaniem po odbiciu (rys. 10).



Rys. 10. Akustyczny system pomiarowy

(Źródło: [1,9])

Do zalet rozwiązań przemysłowych wyposażonych w czujniki akustyczne można zaliczyć:

- rezultat pomiaru nie zależy od materiału oraz charakterystyk powierzchni;
- rozwiązanie jest tanie przy małej rozdzielczości (2–4 mm). Główną wadą jest natomiast:
- wysoka cena przy dużej rozdzielczości (nawet poniżej 0,18 mm).

Czujniki akustyczne znalazły zastosowanie w takich aplikacjach, jak:

- monitorowanie;
- lokacja dużych obiektów.

Czujniki optyczne

Czujniki optyczne łączą w sobie kilka czujników o różnych metodach pomiaru oraz kilka obszarów stosowania. Istnieje wiele różnych czujników optycznych: od prostych barier światła, które tylko wykrywają przerwę wiązki światła, do systemów kamer ze specjalnymi układami przetwarzania obrazu, umożliwiającymi rozpoznawanie przedmiotów.

Wśród czujników optycznych wyróżnia się:

- pojedynczą barierę świetlną;
- odbijającą barierę świetlną;
- czujnik odległości;
- czujnik koloru;
- skaner 2D;
- kurtynę świetlną;
- czytnik kodu paskowego;
- kamerę.

Działanie prostych czujników optycznych opiera się na zasadzie wysyłania wiązki promieni świetlnych przez nadajnik i ich odbieraniu przez odbiornik. Czujniki optyczne reagują na obiekty, które znajdują się na drodze przebiegu wiązki światła, a ich główną zaletą jest duży zasięg działania uzyskiwany nawet przy małych gabarytach czujników.

Czujniki optyczne są wykorzystywane m.in. do:

- kontroli położenia ruchomych części maszyn;
- identyfikacji obiektów znajdujących się w zasięgu działania czujników, na przykład przesuwających się na przenośnikach;
- określania poziomu cieczy i materiałów sypkich.

Duże znaczenie w czujnikach optycznych odgrywa długość fali świetlnej emitowanej przez nadajnik. W większości rozwiązań stosuje się modulowane światło z zakresu bliskiej podczerwieni, co zapewnia małą wrażliwość na światło widzialne.

Synchronizacja nadajnika i odbiornika gwarantuje dużą odporność na zakłócenia i możliwość pracy w warunkach zanieczyszczenia powietrza oraz przy zabrudzeniu układu optycznego. Nadajnik czujnika optycznego generuje impuls świetlny o dużej mocy, co sprawia, że nawet osłabiony rozproszeniem sygnał dociera do odbiornika.

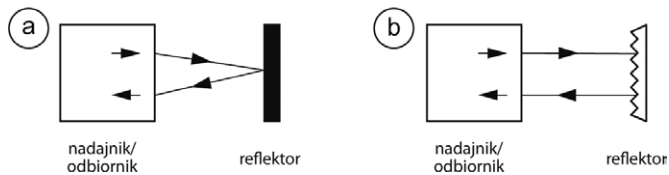
Po jego wzmocnieniu i analizie możliwe jest poprawne działanie czujnika. Czujniki optyczne są wyposażone w systemy soczewek optycznych wysokiej jakości, które dokładnie ukierunkowują promień świetlny w nadajniku i odbiorniku, umożliwiając realizację różnych funkcji zależnie od aplikacji i przeznaczenia czujników.

Należy jednak pamiętać, że zanieczyszczenie powietrza i zabrudzenie układu optycznego skraca strefę działania czujników optycznych.

Czujniki optyczne odbiciowe i refleksyjne

Optyczne czujniki odbiciowe i refleksyjne wymagają montażu reflektora umieszczonego na osi wiązki optycznej wysyłanej przez czujniki. Wykrywają obiekty pojawiające się między czujnikiem a reflektorem. Zaletą tych czujników jest zasięg (do 2 m – odbiciowe; 4 m – refleksyjne) oraz brak wrażliwości na kolor obiektu.

W odróżnieniu od pojedynczej bariery światła, w tym przypadku nadajnik i odbiornik znajdują się w tej samej obudowie



Rys. 11. Zasada działania czujników optycznych odbiciowych (a) i refleksyjnych (b)

(rys. 11). Promień świetlny wyemitowany przez nadajnik odbija się od reflektora i wraca do odbiorcy. Zaletą tego rozwiązania jest zasilanie jednego elementu systemu czujnika.

W przypadku czujników odbiciowych ważne są parametry:

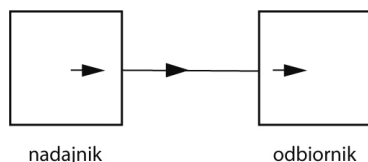
- strefa czułości – maksymalna odległość od czoła czujnika karty pomiarowej (biały karton o wymiarach 20×20 cm) zbliżonej wzdłuż osi wiązki świetlnej, przy której następuje przełączenie obwodu wyjściowego czujnika;
- strefa robocza – maksymalna odległość kontrolowanego obiektu od czoła czujnika; zależy od wielkości obiektu, barwy i faktury powierzchni oraz kąta, pod którym obiekt jest widziany przez czujnik.

Dla czujników refleksyjnych głównym parametrem jest:

- zasięg – maksymalna odległość reflektora odblaskowego od czoła czujnika, która zapewnia poprawne działanie czujnika w warunkach przerwania promieni świetlnych przez obiekt znajdujący się wewnątrz zasięgu.

Pojedyncza (jednowiązkowa) bariera świetlna

Czujniki optyczne typu pojedyncza (jednowiązkowa) bariera świetlna składają się z dwóch niezależnie zasilanych elementów: nadajnika i odbiorcy, które są umieszczone w oddzielnych obudowach (rys. 12). Nadajnik i odbiornik są usytuowane wzdłuż jednej osi wyznaczonej przez wiązkę nadajnika. Czujniki tego typu wykrywają obiekty pojawiające się między nadajnikiem a odbiornikiem. W porównaniu z optycznymi czujnikami odbiciowymi i refleksyjnymi mają one dłuższe strefy działania (do 12 m). Czujników tego typu najczęściej używa się do sprawdzania pozycji detali, choć czasami są wykorzystywane do kontroli obszarów krytycznych lub do zliczania obiektów nieprzezroczystych lub odbijających promienie świetlne.



Rys. 12. Zasada działania pojedynczej bariery świetlnej

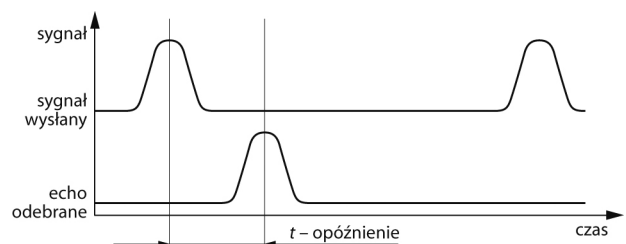
Dla czujników typu pojedyncza bariera świetlna głównym parametrem jest:

- zasięg – maksymalna odległość odbiorcy od czoła nadajnika, która zapewnia poprawne działanie czujnika w warunkach przerwania promieni świetlnych przez obiekt znajdujący się wewnątrz zasięgu.

Czujniki odległości

Metoda pomiaru czasu powrotu impulsu wiązki laserowej

W metodzie tej są wykorzystywane impulsy lasera, które po wygenerowaniu uderzają w przedmiot i odbijają się od niego. Z powodu odbicia rozproszonego część promienia laserowego jest odbita w kierunku lasera. Pryzmat wewnątrz głowicy czujnika rozdziela wiązkę przychodzącą od wiązki emitowanej. Czujnik mierzy czas t , w jakim wiązka przebyła drogę czujnik – przedmiot – czujnik. Dzięki znajomości prędkości światła istnieje możliwość obliczenia drogi przebytej przez światło (rys. 13).



Rys. 13. Wykres pomiaru czasu powrotu impulsu wiązki laserowej

Przykładem jest czujnik fotoelektryczny serii E3C-LDA z osobnym wzmacniaczem, obsługujący szeroki wachlarz laserowych głowic detekcyjnych do stosowania przy pozycjonowaniu o najwyższej precyzji i przy wykrywaniu obiektów (rys. 14).



Rys. 14. Laserowe czujniki odległości serii E3C-LDA

(Źródło: Omron)

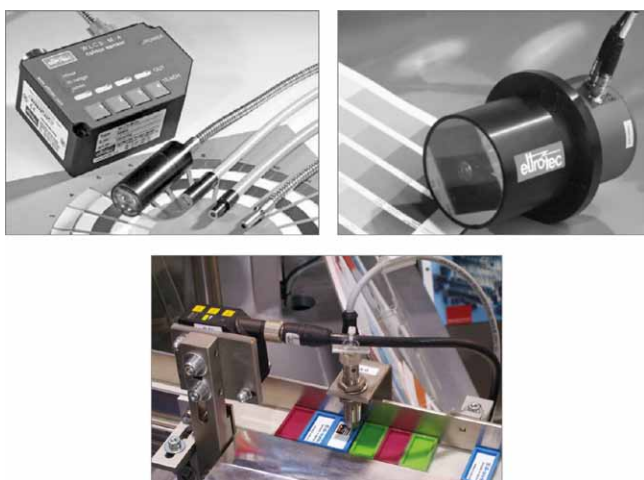
Czujniki koloru

Czujniki kontrastu umożliwiają wykrywanie kontrastowego koloru badanego obiektu w stosunku do tła, czujniki koloru natomiast wykrywają dowolny kolor badanego obiektu (rys. 15).

Proste sensory koloru składają się z fotodiod i korespondujących filtrów, żeby filtrować światło o pożądanej długości fali lub oczekiwanym kolorze. Czujniki złożone mają jedną lub dwie tablice fotodiod. Nie mierzą one koloru w jednym punkcie, ale średni kolor na małym obszarze. Typowymi obszarami zastosowania sensorów koloru w zautomatyzowanych systemach produkcyjnych są nadzór procesu i kontrola zabarwionych produktów (produktów z kolorowymi powierzchniami).

Dzięki nim mogą być realizowane takie zadania, jak:

- wykrywanie zmian koloru;
- wykrywanie barwnych znaków;
- sortowanie kolorowych przedmiotów;
- nadzór procesów malujących obiekty;
- kontrola pojawienia się produktu.

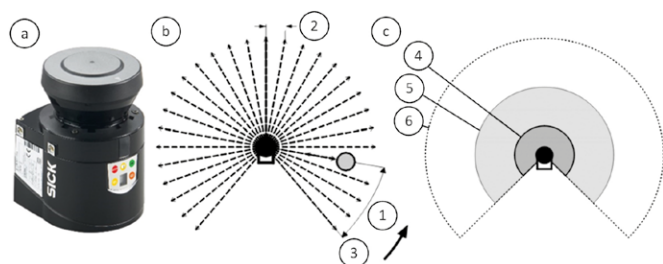


Rys. 15. Czujniki koloru WLCS-M-40 i WLCS-LD-800 oraz fragment taśmy wyposażonej w czujnik koloru (Źródło: Wobit)

Skanery 2D

Skanery 2D (rys. 16) są systemami pomiarowymi bazującymi na laserach. Skanują one otaczającą przestrzeń w dwóch wymiarach. Obracające się lustro odchyła pulsującą wiązkę laserową i dzięki temu skanuje płaszczyznę otaczania. Przedmioty znajdujące się w skanowanym otoczeniu odbijają wiązkę laserową, a ich analiza umożliwia utworzenie mapy otaczającej płaszczyzny. Skanery 2D mają bardzo dużą rozdzielczość i mogą być użyte do:

- pomiarów obiektów;
- pomiarów pozycji;
- dozoru obszaru.



Rys. 16. Skaner laserowy S100 firmy SICK (a) i jego zakres pracy (b, c) (Źródło: www.sick.com)

Przedstawiony na rysunku skaner laserowy S100 firmy SICK, podobnie do innych urządzeń tego typu, wykorzystuje lustro wirujące ze stałą prędkością, które odchyła promień lasera, umożliwiając pokrycie pola o kącie rozbieżności 270° (1 na rys. 16). Pierwszy promień lasera jest generowany z tyłu skanera (-45° - 3 na rys. 16). Promienie są generowane ze stałą rozdzielczością 0,5°, ale można ją zmienić na 1° (co umożliwi konfigurację więcej niż ośmiu pól przełączania - 2 na rys. 16). Urządzenie jest przeznaczone do monitorowania maszyn i pojazdów za pomocą przełączających się pól (4 i 5 na rys. 16)

oddalonych od skanera na odległość mniejszą niż maksymalny zasięg (6 na rys. 16). Po wykryciu obiektu w polu detekcji (4 lub 5 na rys. 16) zostaje wygenerowany sygnał na odpowiednim wyjściu (Q1 lub Q2) [III.11].

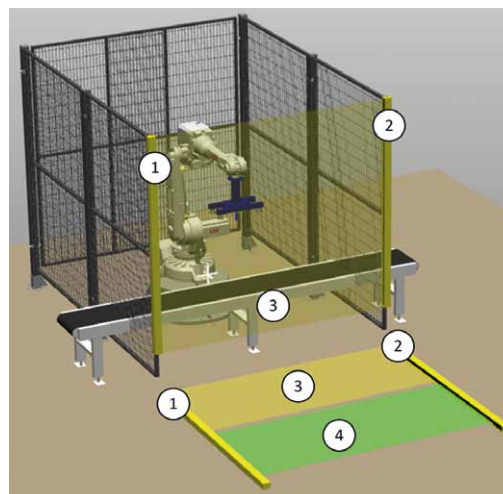
Kurtyna świetlna

Ochronne kurtyny świetlne są nowoczesną metodą ochrony osób obsługujących niebezpieczne maszyny i urządzenia. W porównaniu z poprzednimi metodami ochrony (mechaniczne bariery, przesuwane bramki i ograniczniki) są wygodne i łatwo można je dostosować do konkretnych potrzeb użytkowników. Kurtyny świetlne (rys. 17) są zbudowane z przetworników fotoelektrycznych w postaci barier świetlnych rozłożonych równomiernie w małych odległościach. Przetworniki fotoelektryczne (diody) wysyłają w sposób zsynchronizowany równoległe wiązki promieni w paśmie podczerwieni do zespołów odbiorczych (fototranzystorów) tego światła. Sterowanie pracą diod oraz odbiorem jest wykonywane za pomocą układu logicznego sterowania kurtyną wyposażonego w zegar.

Kurtyny świetlne są najczęściej wykorzystywane do ochrony niebezpiecznych stref przed nieupoważnionym wejściem lub podejściem do maszyny roboczej (rys. 17). Wśród ich głównych zadań można wyróżnić:

- ochronę rąk i palców przy prasach mechanicznych, przebijakach lub maszynach tnących;
- ochronę niebezpiecznych stref przy spawaniu lub na liniach montażowych w przemyśle samochodowym;
- kontrolę wejścia w strefę pracy robotów, maszyn przetwarzania automatycznego czy maszyn pakujących palety;
- zliczanie i rejestrowanie obiektów o nieregularnych kształtach;
- pomiar i sortowanie obiektów o różnej wysokości;
- wykrywanie obecności obiektów oraz elementów wystających;
- monitorowanie materiałów sypkich.

Kurtyny bezpieczeństwa są integrowane z systemem bezpieczeństwa stanowiska zrobotyzowanego. Oprócz wymienionych zadań mogą realizować funkcje bardziej złożone. Na rysunku 17 przedstawiono przykład z wykorzystaniem dwóch kurtyn. Strefy detekcji (3 na rys. 17) mogą być wykorzystane jako strefy zatrzymujące automatyczną pracę stanowiska w przypadku przecięcia kurtyny przez operatora.



Rys. 17. Zastosowanie kurtyn świetlnych na stanowisku:
1 - nadajnik;
2 - odbiornik;
3 - strefa detekcji;
4 - strefa ostrzeżenia

Strefa ostrzeżenia (4 na rys. 17) uprzedza pracowników, aby zapobiec niezamierzonemu zatrzymaniu stanowiska przez przecięcie strefy detekcji [III.12].

Czytnik kodu paskowego

Kody kreskowe jedno- i dwuwymiarowe stały się jednym z istotnych elementów wspomagających funkcjonowanie systemów zarządzania produkcją oraz całym zapleczem produkcyjnym (rys. 18). Dzięki wykorzystaniu rozwiązań opartych na automatycznej identyfikacji menedżerowie otrzymali narzędzia, dzięki którym mogą precyzyjnie zarządzać procesami produkcyjnymi, łańcuchem dostaw, powierzchnią magazynową towarów gotowych, półproduktów oraz surowców przeznaczonych do produkcji. Rozwiązania takie zapewniają dostarczanie informacji dotyczących wymienionych zagadnień w czasie rzeczywistym, dzięki czemu przeprowadzane analizy zapewniają lepsze planowanie zachodzących procesów.



Rys. 18. Wykorzystanie czytnika kodu paskowego na linii produkcyjnej: 1 – czytnik kodu paskowego
(Źródło: Cosimir)

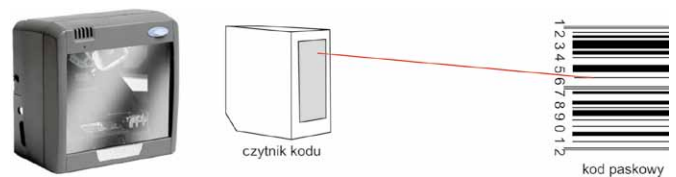
Czytniki kodu paskowego (rys. 19) nie są czujnikami, lecz częścią systemów przetwarzania i zbierania danych. „Nadawca” koduje dane i drukuje je na etykiecie jako kod kreskowy, który jest odczytywany przez czytnik kodu. Kod kreskowy może zawierać dodatkowe informacje o procesie produkcyjnym, w którego wyniku powstał dany produkt. Podczas zautomatyzowanego procesu czytnik kodu kreskowego skanuje kod kreskowy, zanim detal zostanie umieszczony w komórce roboczej, a kontroler robota wykorzystuje tę informację do odróżniania poszczególnych detali.

2. Systemy wizyjne

Analizując systemy wizyjne wykorzystywane w przemyśle, można je podzielić na trzy zasadnicze grupy:

- czujniki wizyjne (składające się ze zintegrowanej kamery i prostego procesora realizującego podstawowe operacje na obrazie w celu porównania lub odczytu pewnych parametrów) [I.25];
- kamery inteligentne (składające się z kamery i komputera zintegrowanych w jednej obudowie i mających znacznie bardziej zaawansowane funkcje w porównaniu z czujnikami wizyjnymi);
- kamery z zewnętrznymi komputerami wyposażonymi w procesory wizyjne (systemy charakteryzujące największe możliwości i najlepsze parametry).

Powyższy podział znajduje swoje odzwierciedlenie w rozwiązaniach zaimplementowanych na stanowiskach zrobotyzowanych. Zrobotyzowany proces produkcyjny wiąże się



Rys. 19. Czytnik kodu paskowego Magellan 2200 VS i odczyt kodu paskowego
(Źródło: KONCEPT-L)

nierozzerwalnie z manipulacją detalami będącymi podmiotem procesu przemysłowego lub też manipulacją narzędziem operującym na detalu obrabianym.

W związku z tym konieczne jest powiązanie przestrzeni, w których są realizowane operacje związane z manipulacją robota i działaniem systemu wizyjnego.

Wymusza to wykorzystanie układów współrzędnych użytkownika lub narzędzia powiązanych z systemem wizyjnym, w których jest określana lokalizacja i orientacja obiektów poddawanych procesom wizyjnym.

W wielu przypadkach, gdy konieczne jest określenie położenia detalu w przestrzeni obrazowej, niewystarczające jest wykorzystanie prostych czujników wizyjnych.

Większość czujników nie ma nawet odpowiednich narzędzi do precyzyjnej lokalizacji obiektów wykrytych przez czujnik. Są oczywiście pewne operacje, takie jak kontrola jakości polegająca na kontroli obecności elementów zaprogramowanych w czujniku, które mogą oczywiście być zrealizowane na prostych czujnikach wizyjnych. W takim przypadku, znając położenie całego obiektu, na którym mają być skontrolowane pewne elementy (części, nadruki, kody itp.), wystarczy przemieścić kamerę trzymaną przez robota i uruchomić inspekcję zaprogramowaną w czujniku. Rozwiązania takie stanowią jednak mały fragment zagadnień dotyczących wykorzystania systemów wizyjnych i robotów na liniach technologicznych.

Prawdziwe możliwości i synergię systemów wizyjnych i robotów przemysłowych można dostrzec dopiero w przypadku rozwiązań wykorzystujących kamery inteligentne lub kamery z kontrolerami zewnętrznymi. Jest to nierozzerwalnie związane z tym, że w obu przypadkach jest oferowany zarówno szeroki pakiet narzędzi zaimplementowanych w komputerze przetwarzającym obraz, jak też zaawansowana wymiana informacji między systemami wizyjnymi a kontrolerami robotów.

Pozwala to więc nie tylko na wykrycie obecności elementu poddawanego rozpoznaniu, ale również na przesłanie dokładnych informacji określających jego lokalizację, orientację oraz wielu innych parametrów uzyskanych w wyniku zastosowania określonych operacji obróbki obrazu. Aby uzyskane informacje mogły być wykorzystane przez robota, na przykład do pobrania elementu z podajnika za pomocą chwytaka, konieczne jest określenie położenia wspomnianego już układu współrzędnych związanego z przestrzenią obrazową i przeprowadzenie kalibracji systemu wizyjnego.

W zależności od tego, gdzie jest zamontowana kamera (stacjonarnie, na robocie) i w jaki sposób jest realizowana inspekcja,

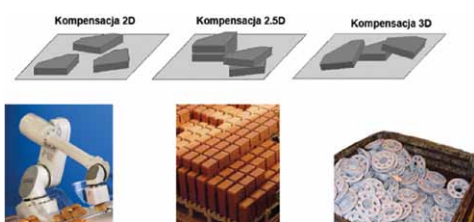
Tabela 1. Zestawienie parametrów przykładowych czujników wizyjnych

Firma	Balluff	Cognex	Keyence	Omron	Sick
Model czujnika	BVS	Checker 4	IV-500	FQ2	Inspector PI
Rozdzielczość maksymalna	640 × 480 CMOS - BW - VGA	752 × 480 (4G7) 128 × 101 (4G1) CMOS - BW - VGA	752 × 480 CMOS - BW/Color - VGA	752 × 480 CMOS - BW/Color - VGA	640 × 480 CMOS - BW - VGA
Komunikacja	EtherNet TCP/IP RS232 w wersji BVS-E Identification	EIP w/AOP TCP/IP UDP Profi net FTP	EtherNet/IP Profinet FTP	Ethernet/TCP EtherNet/IP Ethernet FINS/TCP PLC Link	TCP/IP EtherNet/IP Web server/Web API UDP FTP
Maksymalna prędkość kontroli	Standard 3-15 Hz Advanced 3-50 Hz Identification Universal	30 Hz (4G7S) 400 Hz (4G1) 60 Hz (4G7/4G7X)	b.d.	b.d.	40-200 Hz
Narzędzia programowe do analizy i obróbki obrazu	Lokator: - Position - Pattern Match - 360° Match - 360° Contour Match - Barcode - Data Matrix Narzędzia: - Brightness - Contrast - Position - Width - Edge Count - Pattern Match - 360° Contour Counter - 360° Defect Finder - Barcode Reader - Matrix Reader - OCV	Presence: - Brightness - Contrast - Pattern - Edge Measurement: - Width - Height - Diameter Position: - Pattern - Object - Edge	- Search - Colour area - Position adjustment	- Search - Shape search II - Sensitive search - Edge position - Edge width - Edge pitch - Area - Color data - Labeling Filtry cyfrowe do obróbki obrazu: - Color Gray Filter - Weak Smoothing - Strong Smoothing - Dilate - Erosion - Median	- Object locator - Circle - Edge - Blob - Pattern - Polygon - Pixel counter - Edge pixel counter - Distance - Angle
Opcje oświetlenia	Wbudowany oświetlacz LED: - światła czerwonego - IR	Wbudowany oświetlacz LED: - światła białego - kolorowe (czerwone, niebieskie, zielone) - IR - UV	Wbudowany oświetlacz LED: - światła czerwonego - światła białego - IR Nasadka Dome	Wbudowany oświetlacz LED: - światła białego	Wbudowany oświetlacz LED: - światła białego - IR - UV - UV (LUT) Nasadka Dome
Filtry	brak	- polaryzacyjne - filtry kolorowe (pasmowo-przepustowe do długości fal widocznych i podczerwonych 470, 525, 590, 635 i 850 nm)	- polaryzacyjne - filtr IR	- polaryzacyjne - filtr IR	- polaryzacyjne - filtr IR - filtry kolorowe
Obiektywy	Ogniskowe 6, 8, 12, 16 mm	Ogniskowe 3, 6, 8, 16 i 25 mm	50-150 mm 50-500 mm 300-2000 mm	Ogniskowe 6, 8, 12, 16, 25, 35, 50, 75, 100 mm	Ogniskowe 6, 8, 10, 16 (Inspector PIM 60 - 2,5, 3,6, 4,3, 25 mm)
Oprogramowanie PC	Oprogramowanie na PC z funkcją symulatora	Oprogramowanie na PC z funkcją symulatora	Oprogramowanie na PC z funkcją symulatora	Oprogramowanie na PC zgodne z aplikacją na monitor	Oprogramowanie na PC z funkcją symulatora

wybiera się inny wariant układu współrzędnych wykorzystywanego do określenia położenia obiektu wykrywanego przez system wizyjny. Gdy położenie obiektu jest mierzone w nieruchomym układzie współrzędnych, korzysta się z układu współrzędnych użytkownika. Jeśli realizowany jest przypadek umieszczania obiektu trzymanego przez robota w polu widzenia systemu wizyjnego, używa się układu współrzędnych narzędzia. Właściwe przyjęcie układów współrzędnych pozwala na poprawny odczyt konkretnych wartości parametrów lokalizacji i orientacji w znormalizowanym układzie współrzędnych, dzięki czemu informacja o położeniu obiektu poddawanego manipulacji może być wykorzystana do przemieszczania manipulatora zgodnie z intencją programisty [I.25].

Systemy wizyjne 2D, 2,5D i 3D

Przyzwyczajeni jesteśmy do określeń 2D i 3D. Szczególnie 3D stało się w ostatnich latach bardzo popularne ze względu na rozwój tego formatu w telewizji. Znaczenie poszczególnych zapisów w przypadku stanowisk zrobotyzowanych ma jednak nieco inne znaczenie. System wizyjny 2D jest rozwiązaniem najczęściej spotykanym i polegającym na zastosowaniu pojedynczej kamery lub zestawu kamer pokrywających większą powierzchnię podczas realizacji procesu. Systemy 2D dają informację zwrotną o położeniu i orientacji (obrót wokół osi Z) części zlokalizowanej jedynie w płaszczyźnie X, Y. W przypadku obiektów o znaczących gabarytach istnieje możliwość poszerzenia zakresu systemu 2D o nową funkcjonalność, pozwalającą na



Rys. 20. Warianty systemu wizyjnego 2D, 2,5D i 3D
(Źródło: FANUC)

pobieranie detali znajdujących się na różnych wysokościach (poziomach względem robota i kamery). Rozwiązanie takie, uzyskujące estymację odległości na podstawie zdjęcia wykonanego w klasyczny sposób, nazywane jest systemem 2,5D. Najważniejszą korzyścią jego zastosowania jest brak konieczności używania dodatkowych czujników w celu wykrywania poziomu warstwy do pobierania.

Dobry stosunek jakości do ceny spowodował, że systemy 2,5D stały się powszechne w operacjach paletyzacji i depaletyzacji [I.20, I.21, I.23].

Najbardziej zaawansowanym rozwiązaniem jest system 3D pozwalający na rozpoznawanie pozycji (X, Y, Z) oraz orientacji (W, P, R) detali. W takim przypadku możliwe jest wykorzystanie robota nie tylko do pobierania elementów umieszczonych na dwuwymiarowej powierzchni podajnika, ale również wtedy, gdy ich położenie jest losowe i znajdują się one w pojemniku lub kontenerze. Wówczas wykorzystywane są dodatkowe opcje systemu wizyjnego, mające na celu eliminację niebezpieczeństwa kolizji z krawędziami kontenera.

Poziom integracji systemów wizyjnych w robotyce

Jak wspomniano na początku rozdziału, można wyróżnić kilka typów przemysłowych systemów wizyjnych. Chcąc je racjonalnie wykorzystać w konkretnych aplikacjach przemysłowych, należy poważnie zastanowić się nad wyborem zarówno rozwiązania, jak i sposobu jego integracji z systemem robota. W przypadku kamer inteligentnych bardzo często wiąże się to z określeniem zasad wymiany informacji i wyborem protokołu komunikacyjnego. W wariantcie obecnie najczęściej spotykanym – integrując system wizyjny z kontrolerem robota, inżynier posługuje się dwoma różnymi środowiskami programistycznymi: jednym do zaprogramowania systemu wizyjnego, drugim zaś

umożliwiającym opracowanie aplikacji dla robota.

Przykładem tego typu rozwiązania jest wykorzystanie systemu wizyjnego In-Sight firmy Cognex, która opracowała i udostępniła przewodniki prezentujące sposób integracji systemu wizyjnego z robotami produkcyjnymi na rynku światowym firm.

Miało to decydujący wpływ na szeroką popularyzację tego systemu w aplikacjach zrobotyzowanych. Na rynku można spotkać bardziej zaawansowane rozwiązania charakteryzujące się wyższym poziomem integracji. Pierwszym typem takich rozwiązań jest integracja środowisk programistycznych inteligentnego systemu wizyjnego i robota, czego przykładem jest rozwiązanie proponowane przez firmę ABB. W rozwiązaniu tym, w środowisku RobotStudio, istnieje możliwość konfigurowania, programowania i testowania poprawności funkcjonowania zarówno robotów, zintegrowanego systemu wizyjnego (dla którego tworzony jest odrębny program – job), jak również całej stacji.

Innym rozwiązaniem jest wariant, w którym kontroler systemu wizyjnego jest zintegrowany z kontrolerem robota, a kamera odgrywa jedynie rolę sensora odpowiedzialnego za rejestrację obrazu. Rozwiązanie takie pozwala na minimalizację gabarytów kamery oraz wykorzystanie wspólnej pamięci do wymiany danych między systemem wizyjnym a systemem sterowania robota. Czujnik wizyjny w tym przypadku jest integralnym elementem robota przemysłowego. W tym rozwiązaniu jest również zrealizowana integracja w warstwie oprogramowania pozwalającego na programowanie robota w trybie offline. Pozwala to z jednej strony na łatwiejsze zapoznanie się z systemem wizyjnym i dostępnymi narzędziami, a z drugiej umożliwia programowanie systemu w jednym wspólnym środowisku. ■

Bibliografia dostępna pod linkiem:
nis.com.pl/bibliografia.html

Fragment pochodzi z książki:
Robotyzacja procesów produkcyjnych
W. Kaczmarek, J. Panasiuk,
Wydawnictwo Naukowe PWN, 2017