

KONCEPCJA STANOWISKA BADAWCZEGO APLIKACJI PICK AND PLACE

W artykule przedstawiono koncepcję stanowiska badawczego algorytmów wizyjnych aplikacji pick and place. Stanowisko oparto o robota równoległego typu delta. Zaproponowano podajnik tarczowy jako rozwiązanie techniczne przemieszczania obiektów. Użyto notacji DH do transformacji układów współrzędnych kamery do układu globalnego względem środka obrotu tarczy. Podejście takie skróciło czas przetwarzania danych. Dokonano również obliczeń zniekształceń optycznych kamery cyfrowej, wysokości zamocowania jak również częstotliwości próbkowania obrazu.

WSTĘP

Robot przemysłowy może zastąpić człowieka w środowisku pracy które, ze względu na występujące zagrożenia lub wymagania sanitarne, nie jest przyjazne dla człowieka. Roboty stosuje się na przykład na stanowiskach, gdzie występuje bezpośredni kontakt z żywnością, lub do pakowania leków w przemyśle farmaceutycznym. Roboty stosuje się również w celu poprawy dokładności lub zwiększenia szybkości operacji technologicznych. Jednym z typowych zadań realizowanych przez roboty jest pakowanie (paletyzacja) nieregularnie rozmieszczonych obiektów, napływających w obszar pracy robota na transporterze (operacja typu pick and place). Prezentowane w pracy stanowisko testowe, składające się z robota równoległego typu delta, przenośnika i kamery, służy do symulacji operacji pakowania typu pick and place.

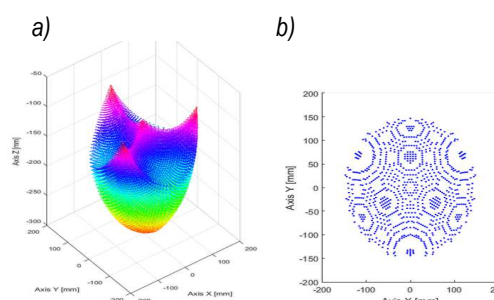
Na stanowisku testowane są algorytmy identyfikacji wizyjnej i pomiaru elementów napływających w obszar pracy robota, procedury pobierania i odkładania (sterowanie napędami robota) oraz strategię pobierania i pakowania elementów.

1. KONCEPCJA STANOWISKA

Zadaniem badawczym był dobór parametrów stanowiska służącego do demonstracji problemu lokalizacji obiektów w ruchu na podstawie obrazu z kamery – typowego dla przemysłowych aplikacji typu pick and place. Stanowisko składa się z: modelu transportera, systemu wizyjnego (kamera oraz oprogramowanie wykonane przy użyciu funkcji OpenCV), robota równoległego typu delta. Postanowiono zastosować podajnik tarczowy w celu badań powtarzalności systemu wizyjnego. Projekt opracowano w aplikacji CAD. Wykorzystano ku temu przestrzeń roboczą robota równoległego typu delta [1]. Założono że do budowy prototypu zostaną wykorzystane metody rapid prototyping które, służą do skrócenia czasu wytwarzania prototypów. W tym celu postanowiono wykorzystać druk przestrzenny.

1.1. Konstrukcja podajnika

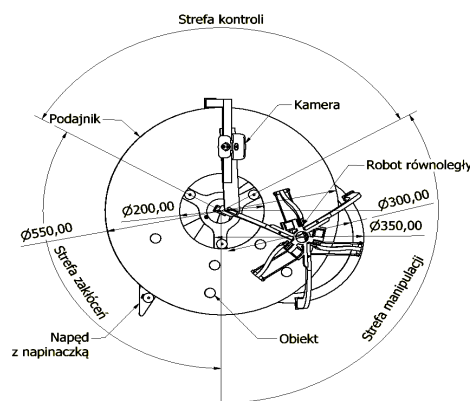
Do manipulacji obiektami systemu wizyjnego zastosowano prototypowy robot równoległy typu delta. Na podstawie wymiarów geometrycznych przy pomocy aplikacji Matlab wykreślono przestrzeń roboczą manipulatora (Rys.1.a) [1],[2], oraz obszar przypadający środkowej wartości zakresu osi Z=-180 (Rys. 1.b), na poziomie transportera. Na podstawie Rys(1.b) oszacowano zakres roboczy robota opisany okręgiem o średnicy 150 [mm].



Rys. 1.Przykładowa przestrzeń robocza manipulatora typu delta; a) w przestrzeni kartezjańskiej XYZ, b) w rzucie płaskim XY dla $Z=[180,-179]$ [mm], $\Delta\theta=2^\circ$ [1]

Wstępna koncepcja rozmieszczenia elementów.

Przy pomocy środowiska modelowania bryłowego opracowano wstępną koncepcję zespołu urządzeń (Rys. 2). Transporter podzielono na trzy strefy opisane jako: strefa kontroli, strefa manipulacji oraz strefa zakłócenia. Z założenia każda strefa miała pełnić następujące role: -manipulacji- strefa w której obiekty zostają przemieszczane przy pomocy robota, -kontroli – strefa obserwacji poruszających się obiektów, -zakłóceń – wymuszenie zmiany pozycji obiektów.



Rys. 2. Koncepcja stanowiska

Do napędzania transportera użyto silnik prądu stałego z przyłożoną rolką do ściany bocznej podajnika. W celu rejestracji obiektów znajdujących się na ruchomym transporterze użyto kamerę cyfrową oraz komputer PC. Algorytm systemu wizyjnego ma za zadanie klasyfikować oraz lokalizować obiekty.

Dobór napędu podajnika.

Doboru napędu podajnika dokonano poprzez wyznaczenie przełożenia geometrycznego (1) na podstawie znanych wymiarów tarczy podajnika oraz średnicy rolki napędowej. Przełożenie geometryczne:

$$i_g = \frac{d_2}{d_1} = \frac{550}{32} \cong 17,18 \quad (1)$$

gdzie: d_2 – średnica podajnika [mm], d_1 – średnica koła napędowego [mm], i_g – przełożenie geometryczne.

Przełożenie kinematyczne:

Gdy nie następuje poślizg pomiędzy kołami zachodzi zależność (2).

$$i_k = \frac{\omega_1}{\omega_2} = i_g \quad (2)$$

gdzie:

ω_2 – prędkość obrotowa tarczy podajnika [obr/min],
 ω_1 – prędkość obrotowa koła napędowego [obr/min],
 i_k – przełożenie kinematyczne.

Założona prędkość obrotowa podajnika wynosi:

$$\omega_2 = 2 \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \quad (3)$$

Wyznaczenie prędkości obrotowej koła napędowego:

$$\omega_1 = i_g \cdot \omega_2 = 17,18 \cdot 2 = 34,36 \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \quad (4)$$

Na podstawie obliczeń dobrano miniaturowy silnik wysokiej mocy firmy Pololu z przekładnią 1000:1 [3]. Dane techniczne napędu przedstawia (Tab. 1). Założono że prędkość napędu będzie regulowana napięciem, w celu kompensacji obciążenia.

Tab. 1. Parametry silnika Pololu HP 1000:1

Specyfikacja dla napięcia (6 V)	
Napięcie zasilania	3-9 [V]
Prąd bez obciążenia	70 [mA]
Prąd przy zatrzymanym wale	1600 [mA]
Prędkość bez obciążenia	32 [obr/min]
Moment obrotowy	0,882 [Nm]
Przełożenie	1000:1
Średnica wału	3 [mm]

Współrzędne robocze

Do wyznaczenia współrzędnych roboczych użyto notacji Denavita-Hartenberga [4],[5] stosowanej w robotyce w celu uproszczenia opisu transformat układów odniesienia ramion robotów. W rozważanym przypadku zastosowano notację DH w celu przejścia ze współrzędnych uzyskanych podczas obserwacji kamerą przestrzeni roboczej ruchomych obiektów do globalnego układu podajnika tarczowego co przedstawia (Rys. 3.)

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

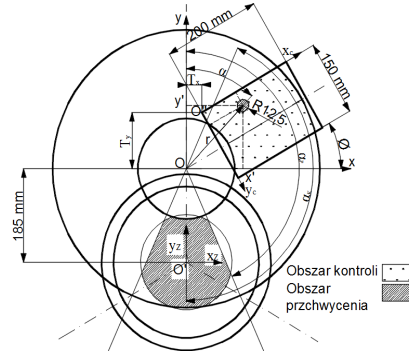
gdzie: x', y' współrzędne obiektu względem głównego układu współrzędnych O, x_c, y_c – współrzędne obiektu znajdujące się w lokalnym układzie współrzędnych O'' , M – macierz translacji układów odniesienia.

Na początku następuje odbicie układu współrzędnych względem osi x_c , następnie rotacja układu współrzędnych o kąt θ , a na

końcu przesunięcie układu współrzędnych o wektor $[T_x T_y]$. Poszczególne transformaty prezentują następujące macierze.

$$M_{TxTy} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

gdzie: M_{TxTy} jest macierzą przesunięcia układu współrzędnych o wektor $[T_x, T_y]$,



Rys. 3. Schemat przedstawiający sposób transformacji układu współrzędnych kamery O'' do układu globalnego O

$$M_{\theta} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

gdzie: M_{θ} jest macierzą obrotu układu współrzędnych o kąt θ ,

$$M_{S_{ox}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

gdzie: $M_{S_{ox}}$ jest przekształceniem symetrii wykonanym względem osi x_c .

Macierz translacji całkowitej przedstawia zależność (4.6).

$$M = M_{TxTy} \cdot M_{\theta} \cdot M_{S_{ox}} \quad (9)$$

Wynik translacji (9) po podstawieniu wyrażeń (6), (7), (8) przedstawia wyrażenie (10).

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & T_x \\ \sin(\theta) & -\cos(\theta) & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Po podstawieniu do wyrażenia (5) otrzymano końcową postać.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & T_x \\ \sin(\theta) & -\cos(\theta) & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

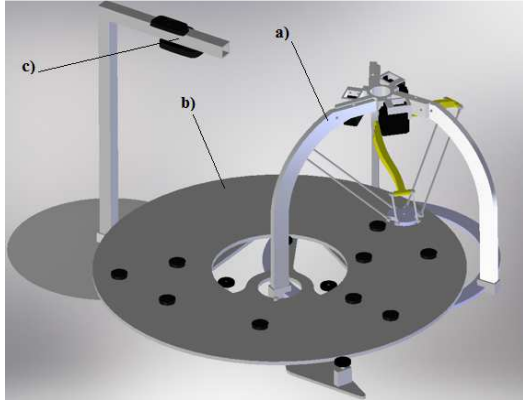
Współrzędne biegunowe uzyskuje się poprzez następujące wyrażenia (12).

$$\begin{cases} x' = r \cdot \sin \alpha \\ y' = r \cdot \cos \alpha \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = \tan^{-1} \frac{x'}{y'} \\ r = \frac{x'}{\sin \alpha} = \frac{x'}{\sin \tan^{-1} \frac{x'}{y'}} \end{cases} \quad (12)$$

Współrzędne manipulatora w odniesieniu do globalnego układu współrzędnych O przedstawiają wyrażenia:

$$\begin{cases} x_z = x' \\ y_z = y' + 185 \end{cases} \quad (13)$$

Na podstawie uzyskanych informacji powstał model złożeniowy (Rys. 4) w aplikacji Inventor przedstawiający usytuowanie urządzeń zespołu maszyn wykorzystanych w projekcie.

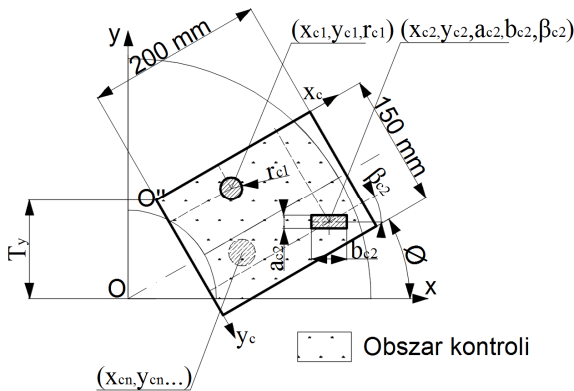


Rys. 4. Model złożeniowy zawierający podzespoły użyte w projekcie. a) robot równoległy, b) podajnik tarczowy, c) kamera cyfrowa

2. SYSTEM WIZYJNY

2.1. Problem inspekcji

W zautomatyzowanych liniach pakowania, występuje problem lokalizacji obiektów znajdujących się w ruchu. W przypadkach kiedy jest to możliwe technologicznie pod względem mechanicznym, lub zastosowanie techniki wizyjnej jest nie opłacalne lub nie możliwe



Rys. 5. Koncepcja klasyfikowania obiektów

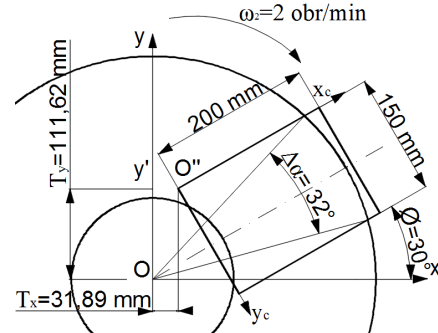
technologicznie, stosuje się rozwiązania pozycjonowania mechanicznego np. nakładanie nakrętek na szyjki butelek. Z punktu widzenia technicznego, zadaniem systemu wizyjnego jest wyodrębnienie własności przetwarzanego obrazu w celu uzyskania pożądanych informacji, którymi mogą być współrzędne szukanych obiektów, ich rozmiary, kierunki nachylenia itp.

Problem niniejszej pracy został przedstawiony na (Rys. 5), który ukazuje przestrzeń kontroli usytuowaną w lokalizacji przestrzeni transportera. Z punktu widzenia systemu wizyjnego, czynnikami wyjściowymi (końcowymi algorytmów) są poszukiwane własności obiektów ($O''_{c1}, O''_{c2}, \dots, O''_{cn}$), i są zależne od typu poszukiwanego obiektu np. dla obiektu O''_{c1} poszukiwanymi własnościami jest lokalizacja obiektu oraz jego promień opisanymi parametrami (x_{c1}, y_{c1}, r_{c1}), zaś dla obiektu O''_{c2} środek ciężkości, kąt nachylenia (kierunek

obrotu), wymiary obiektu opisanymi parametrami ($x_{c2}, y_{c2}, \beta_{c1}, a_{c2}, b_{c2}$). Różnorodność pozyskiwanych informacji wymusza na programiście stosowania indywidualnych algorytmów zoptymalizowanych dla poszczególnych rodzajów obiektów.

2.2. Dobór kamery

W systemie wizyjnej lokalizacji obiektów będących w ruchu najistotniejszym problemem, który należy rozwiązać, jest sposób pobierania danych pomiarowych [6]. W przypadku aplikacji pick and place ważny jest parametr fps określający ilość klatek zarejestrowanych w ciągu sekundy, ponieważ jego zbyt niska wartość może powodować obserwację nie całkowitej przestrzeni roboczej. Wyznaczenie wartości minimalnej fps opracowano na znanych parametrach usytuowania kamery co przedstawia (Rys. 6),



Rys. 6. Schemat przedstawiający parametry usytuowania kamery w celu wyznaczenia minimalnej częstotliwości próbkowania obrazu

gdzie: $\Delta\alpha$ - maksymalny przyrost kąta przypadający na klatkę obrazu (1 fps), ω_2 - prędkość obrotowa podajnika.

Na podstawie założonej prędkości obrotowej oraz maksymalnego przyrostu kąta ($\Delta\alpha$) wyznaczono minimalną wartość klatek obrazu (fps) za pomocą wyrażenia (14).

$$fps = \frac{\omega_2 \cdot 360^\circ}{60s \cdot \Delta\alpha} = \frac{720}{60 \cdot 32} = 0,375 \left[\frac{1}{s} \right] \quad (14)$$

Na podstawie wyniku (14) założono minimalną wartość fps wynoszącą 1. Kolejnym ważnym aspektem jest rozdzielczość obrazu umożliwiająca uchwycenie cech specyficznych przepływającego obiektu. Wielkość nadzorowanej przestrzeni oraz wielkość lokalizowanych obiektów ukazane na (Rys. 5), przedstawiono w (Tab. 2).

Tab. 2. Wytyczne dotyczące obserwowanych obiektów

Wielkość lokalizowanych obiektów	20-40 mm
Rozmiar pola nadzoru [w,h]	200 x 150 mm
Minimalna dokładność	1 mm

Na podstawie powyższych danych oraz zależności (15),(16) oszacowano minimalny rozmiar matrycy pikseli kamery cyfrowej. Aby uzyskać obraz, dzięki któremu będzie można przeprowadzić pomiar lokalizacji obiektu z tolerancją wynoszącą $T_{oy}=T_{ox}=1$ [mm], w celu redukcji wpływu błędu dyskretyzacji założono minimalną ilość pikseli wynoszącą 5. Wielkość tą określono jako skala. Podejście takie umożliwiło pokrycie przestrzeni roboczej pikselami o pięciokrotnie większej gęstości niż wymaga uzyskanie żądanej tolerancji. Wyliczone zostały dwie rozdzielczości: - R_H w pionie i R_W - poziomie.

$$R_H = \frac{h}{T_{oy}} \cdot skala = \frac{150}{1} \cdot 5 \text{ pikseli} = 750 \text{ pikseli} \quad (15)$$

$$R_w = \frac{w}{T_{ox}} \cdot skala = \frac{200}{1} \cdot 5 \text{ pikseli} = 1000 \text{ pikseli} \quad (16)$$

Kamera spełniająca założenia powinna mieć minimalną rozdzielczość wynoszącą

$$R_w \cdot R_H = 1000 \cdot 750 (4 : 3) \quad (17)$$

Na podstawie uzyskanej minimalnej rozdzielczości dobrano kamerę Logitech C270.

2.3. Zamiana współrzędnych obrazu na współrzędne układu odniesienia

Współrzędne (x_o, y_o) opisują usytuowanie punktu w układzie współrzędnych macierzy obrazu, zaś punkt (x_c, y_c) rzeczywiste współrzędne układu odniesienia O (Rys. 5). Biorąc pod uwagę uwzględnienie skali do uzyskania lepszej dokładności oraz żądanej tolerancji pomiaru wynoszącej $T_{oy}=T_{ox}=1$ [mm] na uzyskanie współrzędnych układu odniesienia O" można zapisać zależnościami:

W przypadku równości tolerancji $T_{oy}=T_{ox}$ zależnościami (18), (19).

$$(x_o, y_o) = \frac{skala}{T_{ox}} \cdot (x_c, y_c) \quad (18)$$

$$(x_c, y_c) = \frac{(x_o, y_o) \cdot T_{ox}}{skala} \quad (19)$$

W przypadku nierówności tolerancji $T_{oy} \neq T_{ox}$, zależnościami (20), (21).

$$x_c = \frac{x_o \cdot T_{ox}}{skala} \quad (20)$$

$$y_c = \frac{y_o \cdot T_{oy}}{skala} \quad (21)$$

W rozważanym przypadku $T_{oy}=T_{ox}=1, skala = 5$ a więc zależność na wyznaczenie współrzędnych układu odniesienia przyjmuje postać (22).

$$(x_c, y_c) = \frac{(x_o, y_o)}{5} \quad (22)$$

2.4. Ocena zniekształceń obrazu z kamery

Próbkowanie obrazu przy pomocy kamery cyfrowej wprowadza zniekształcenia do uzyskanego obrazu, do których jako główne można zaliczyć promieniowe oraz styczne.

Zniekształcenia promieniowe powodują że proste linie będą wyświetlane jako zakrzywione, a występowanie tego zjawiska powiększa się w raz z oddaleniem od środka obrazu. Powyższe zjawisko można zostać opisane zależnościami (4.18), (4.19), [7].

$$x_c = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (23)$$

$$y_c = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (24)$$

Podobnie, zniekształcenia styczne wynikają z budowy soczewki kamery która nie jest idealnie dopasowana równolegle do płaszczyzny obrazu, co powoduje że niektóre obszary obrazu mogą wyglądać bliżej niż się spodziewano. Powyższe zjawisko można opisać zależnościami (25), (26).

$$x_c = x + [2p_1 xy + p_2 (r^2 + 2x^2)] \quad (25)$$

$$y_c = y + [p_1 (r^2 + 2y^2) + 2p_2 xy] \quad (26)$$

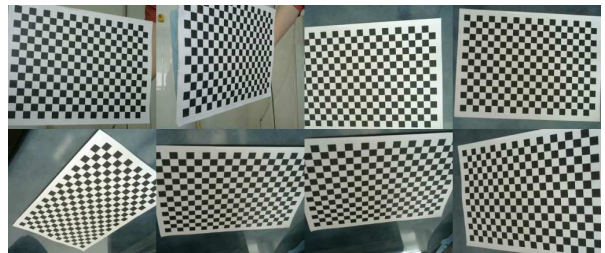
Z powyższych zależności niewiadome określają tak zwany współczynnik zniekształcenia obrazu.

$$D = (k_1 \quad k_2 \quad p_1 \quad p_2 \quad k_3) \quad (27)$$

Aby wyznaczyć powyższe współczynniki należy znać parametry wewnętrzne oraz zewnętrzne kamery. Parametry wewnętrzne zawierają informacje takie jak długość ogniskowej (f_x, f_y) , środek optyczny (c_x, c_y) , które są określane i opisane następującą macierzą:

$$M_c = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Parametry zewnętrzne określają rotację oraz translację wektorów które odnoszą się do rzutu punktów przestrzennych na układ odniesienia. Biblioteka funkcji obróbki obrazu OpenCV posiada dedykowane służące do wyznaczania współczynników zniekształcenia obrazu oraz daje jednocześnie możliwość użycia wyznaczonych współczynników do naniesienia poprawki na uzyskany obraz w czasie rzeczywistym. Proces ten polega na analizie obrazów zawierających wzorec o postaci szachownicy usytuowany niepowtarzalnie w przestrzeni. Na podstawie funkcji biblioteka wyznacza punkty przecięcia poszczególnych pól i zapisuje je w formie tablicy. Na podstawie z tablicowanych danych funkcja wyznacza współczynniki zniekształcenia obrazu. Dokonano kalibracji kamery na podstawie poniższych obrazów przedstawionych na (Rys. 7).



Rys. 7. Przykład obrazów użytych w procesie kalibracji kamery

Do kalibracji wykorzystano gotowy program napisany w języku python znajdujący się w przykładach biblioteki OpenCV. Program zwrócił współczynniki (29), (30), które zostały użyte do korekcji obrazu.

$$M_c = \begin{bmatrix} 1752.73 & 0 & 605.21 \\ 0 & 1762.87 & 548.05 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$D = (-0,104 \quad 1,433 \quad 0,001 \quad -0,003 \quad -6,629) \quad (30)$$

2.5. Oszacowanie wysokości umocowania kamery

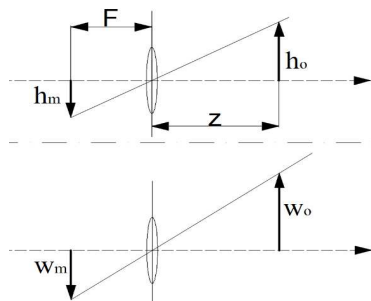
W poprzedniej części wyznaczono następujące współczynniki kamery: $f_x=1762,73$ $f_y=1762,87$. W książce [7] autor przedstawia ideę wyznaczenia powyższych współczynników, oraz przedstawia ich zastosowanie: "Długość ogniskowej f_x jest iloczynem długości fizycznej ogniskowej obiektu F [mm] i wielkości poszczególnych elementów macierzy kamery S_x [piksel/mm], oznacza to że parametr f_x wyrażony jest za pomocą liczności pikseli. Ważne jest, aby pamiętać że S_x oraz S_y są wielkościami fizycznymi, nie mogą zostać oszacowane bezpośrednio za pomocą jakiegokolwiek procesu kalibracji kamery. Zademonstrowana zależność służy do wyznaczenia fizycznej ogniskowej obiektu F , dla znanych parametrów S_x , S_y , oraz oszacowanej wielkości parametrów f_x oraz f_y , poprzez kombinację $f_x=F \cdot S_x$ oraz $f_y=F \cdot S_y$ "

Obliczenie fizycznej ogniskowej kamery.

$$f_x \equiv f_y = 1758 \text{ [piksel]} \quad (31)$$

$$R_w \times R_h = 960 \times 720 \quad (32)$$

$$x_p = y_p = 2,8 \text{ [\mu m]} \quad (33)$$



Rys. 8. Interpretacja graficzna rzutowania obrazu na matrycę kamery

Obliczenie zagęszczenia matrycy przedstawia zależność (34), zaś fizycznej ogniskowej zależność (35).

$$S_x = S_y = \frac{1}{x_p} = \frac{1}{0,0000028} = 357142,85 \left[\frac{\text{piksel}}{\text{m}} \right] \quad (34)$$

$$F = \frac{f_x}{S_x} = \frac{1758}{357142,85} = 0,0049 \text{ [m]} \quad (35)$$

Zależność na określenie wysokości usytuowania wyznaczono na podstawie (Rys. 8.),

gdzie: h_m, w_m - wymiary matrycy kamery [mm],

– h_o, w_o - wymiary rzutowanego obrazu [mm],

– z - odległość/wysokość usytuowania kamery [mm],

– F - długość ogniskowej [mm].

$$\frac{-h_m}{F} = \frac{h_o}{z} \Rightarrow z = \frac{h_o \cdot F}{-h_m} = \frac{h \cdot F}{R_h \cdot x_p} = \frac{150 \cdot 0,004922}{-720 \cdot 0,0000028} = 366,25 \text{ [mm]} \quad (36)$$

Oszacowano wysokość umocowania kamery (36) wynoszącą 366,25 mm nad obszarem kontrolnym.

PODSUMOWANIE

W wyniku prowadzonych prac uzyskano projekt koncepcyjny stanowiska służącego do badania algorytmów wizyjnych aplikacji pick and place.

Zaproponowano metodę translacji układów współrzędnych począwszy od współrzędnych kamery do globalnego układu współrzędnych. Dokonano doboru parametrów członu napędowego.

Dobrano kamerę systemu wizyjnego, przeprowadzono ocenę zniekształceń optycznych jak również wyznaczono współczynniki korekcji obrazu. W ostatniej fazie prac dokonano obliczeń punktu zamocowania kamery cyfrowej w systemie wizyjnym.

Przeprowadzone prace mogą posłużyć jako pomoc projektową do podobnych aplikacji, Wykorzystanie notacji DH umożliwiło proste translacje układów odniesienia, co przyczyniło się do skrócenia czasu trwania obliczeń.

BIBLIOGRAFIA

1. K. Łygas, P. Wolszczak, T. Klepka, i D. Ghiculescu, „Kinematic Design of Parallel Delta System in Matlab”, *Appl. Mech. Mater.*, t. 844, ss. 7–12, lip. 2016.
2. K. Łygas i M. Paszko, „Dokładność pozycjonowania końcówki roboczej robota równoległego typu delta na podstawie analizy «chmury punktów»”, *Autobusy Tech. Eksploat. Syst. Transp.*, t. R. 17, nr 12, 2016.
3. Pololu - 1000:1 Micro Metal Gearmotor HP”. [Online]. Dostępne na: <https://www.pololu.com/product/1595>. [Udostępniono: 25-cze-2015].
4. J. J. Craig, *Wprowadzenie do robotyki: mechanika i sterowanie*. Wydawn. Naukowo-Techniczne, 1995.
5. H. W. Stone, *Kinematic Modeling, Identification, and Control of Robotic Manipulators*. Springer Science & Business Media, 2012.
6. E. R. Davies, *Computer and Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. Academic Press, 2012.
7. A. Kaehler i G. Bradski, *Learning OpenCV: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library*, Second Edition edition. Beijing ;Köln: O'Reilly Media, 2015.

Conception of research position of pick and place application

The paper presents the concept of a research station for vision systems algorithms of pick and place application. The position is based on a parallel delta robot. A spinning feeder has been proposed as a technical solution for moving objects. The DH notation was used to transform the camera coordinate systems to the global system with respect to the center of rotation of the feeder. This approach has shortened the processing time. The optical distortion of the digital camera, the mount height and the image sampling rate were also calculated.

Autor:

mgr inż. Krystian Łygas – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Automatykacji, k.lygas@pollub.pl