

Andrzej POLAŃSKI

OKREŚLENIE PARAMETRÓW RUCHU W PRZESTRZENI TRÓJWYMIAROWEJ
NA PODSTAWIE OBRAZÓW Z DWÓCH KAMER^{x)}

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę wyznaczania parametrów ruchu obiektu w przestrzeni trójwymiarowej na podstawie sekwencji obrazów przekazywanych jednocześnie przez dwie umieszczone na nim kamery. W algorytmie wielokrotnie wyznacza się pola przemieszczeń. Dzięki posiadaniu obrazów z dwóch kamer jednocześnie obliczanie pól przemieszczeń jest prostsze i dokładniejsze niż w sytuacji, gdy pracuje jedna kamera. Otrzymano też analityczne wzory określające parametry ruchu.

1. Wstęp

Układy, w których maszyna cyfrowa odbiera i przetwarza obrazy rejestrowane przez kamerę TV są coraz szerzej stosowane w różnych dziedzinach. W literaturze dotyczącej tych zagadnień oprócz algorytmów obróbki obrazu lub serii obrazów z jednej kamery [1] - [7], pojawiają się prace na temat przetwarzania informacji przekazywanych jednocześnie przez więcej niż jedną kamerę [8] - [10].

Motywojąc do rozwijania metod przetwarzania obrazów otrzymywanych jednocześnie z kilku kamer jest możliwość uzyskiwania w takich układach szeregów danych o położeniu i orientacji przedmiotów sceny, odtwarzania głębi sceny, a także redundancja informacji pozwalająca na lepszą eliminację zakłóceń. Tłumaczy to duże zainteresowanie układami, w których pracuje kilka kamer, mimo że są one kosztowniejsze oraz wymagają większej pojemności pamięci i szybkości obliczeń. Publikowane algorytmy są często złożone, mają cechy sztucznej inteligencji, oprócz obliczania położenia i orientacji ujmują efekty przesłaniania, a także rozpoznają i klasyfikują obserwowane przedmioty [10].

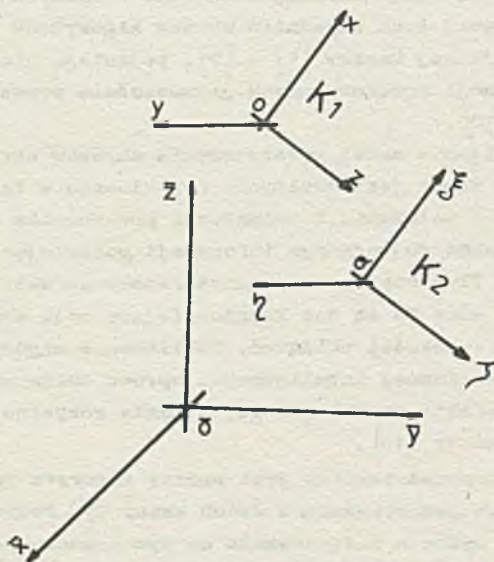
W niniejszej pracy przedstawiony jest prosty algorytm przetwarzania obrazów przekazywanych jednocześnie z dwóch kamer TV. Proponowana metoda została opracowana z myślą o zastosowaniu do wyznaczania parametrów ruchu obiektu poruszającego się w przestrzeni trójwymiarowej. Położenie obiektu w kolejnych chwilach czasu są obliczane na podstawie sekwencji obrazów przekazywanych jednocześnie przez dwie, umieszczone na nim kamery.

^{x)} Praca finansowana z Centralnego Programu Badań Podstawowych CPBP 02.13 "Układy ze sztuczną inteligencją do maszyn roboczych i pojazdów"

Algorytm wymaga wielokrotnego obliczania pól przemieszczeń, tzn. wyznaczenia na dwóch obrazach zbioru odpowiadających sobie punktów. Jednak dzięki temu, że dysponuje jednocześnie obrazami z dwóch kamer, obliczanie pól przemieszczeń jest dość proste, znacznie łatwiejsze niż dla jednej kamery [11], [12].

2. Podstawowe założenia

W całej pracy obowiązywać będzie założenie, że obserwowana scena jest nieruchoma. Układ współrzędnych sceny oznaczać będziemy przez $\bar{O} \bar{x} \bar{y} \bar{z}$. Aby wprowadzić rozróżnienie oznaczymy kamery przez K1 i K2. Niech $Ox_1y_1z_1$ będzie układem współrzędnych związanym z kamerą K1, a $Ox_2y_2z_2$ układem związanym z kamerą K2. Będziemy zakładać, że środki tych układów znajdują się w ogniskach soczewek kamer, a osie Oz_1 i Oz_2 są osiami soczewek - odpowiednio kamery K1 i K2, tak jak to przedstawiono na rys. 1. Dla uproszczenia będziemy też przyjmować, że ogniskowe obu soczewek są takie same i wynoszą F .



Rys. 1. Układy współrzędnych kamer K1 i K2

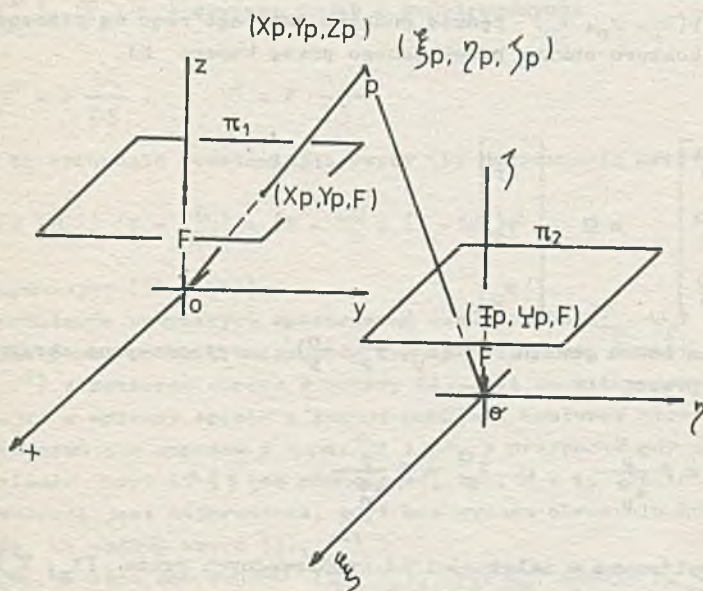
Fig. 1. Coordinates systems K1 and K2

Punkty widoczne na obrazach przesyłanych przez kamery K1 i K2 powstają przez transformację perspektywiczną odpowiednio punktów przestrzeni $Oxyz$ i $\psi \xi \zeta$. Transformacja perspektywiczna jest rzutem przestrzeni trójwymiarowej na płaszczyznę obrazu. Płaszczyznę obrazu dla kamery K1 oznaczamy będziemy przez π_1 , a dla kamery K2 przez π_2 . Niech współrzędne pewnego punktu sceny p wynoszą w układzie $Oxyz$ - (x_p, y_p, z_p) , a w układzie $\psi \xi \zeta$ - (ξ_p, η_p, ζ_p) , jak na rys. 2. Współrzędne obrazów punktu p wynoszą odpowiednio - dla kamery K1

$$X_p = F \frac{x_p}{z_p}, \quad Y_p = F \frac{y_p}{z_p}, \quad (1)$$

oraz dla kamery K2

$$\mathbb{U}_p = F \frac{\xi_p}{\zeta_p}, \quad \Psi_p = F \frac{\eta_p}{\zeta_p} \quad (2)$$



Rys. 2. Transformacje perspektywiczne dla dwóch kamer, na rysunku przyjęto macierz obrotu Ω równą macierzy jednostkowej

Fig. 2. Perspective transformations for two cameras

Zakładamy też, że znana jest macierz obrotu Ω oraz wektor translacji $[\Delta \xi, \Delta \eta, \Delta \zeta]^T$, które opisują wzajemne położenie kamer K1 i K2. Współrzędne (ξ_p, η_p, ζ_p) i (x_p, y_p, z_p) związane są zależnością:

$$\begin{bmatrix} \xi_p \\ \eta_p \\ \zeta_p \end{bmatrix} = \Omega \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \xi \\ \Delta \eta \\ \Delta \zeta \end{bmatrix} \quad (3)$$

W dalszych rozważaniach na temat obliczania parametrów ruchu będziemy też przyjmować, że na otrzymywanych obrazach została wykonana operacja konturowania [12].

3. Obliczanie współrzędnych punktów konturu

W punkcie tym zostanie opisany sposób obliczania współrzędnych punktów konturu dwóch obrazów przekazanych jednocześnie przez kamery K1 i K2. Przedstawiona metoda wykorzystuje znajomość względnego położenia kamer, określonego wzorem (3).

Niech $p(x_p, y_p, z_p)$ będzie punktem, którego rzut na płaszczyznę \mathcal{P}_1 należy do konturu obrazu przekazanego przez kamerę K1.

Oznaczmy:

$$\begin{bmatrix} x_p^\Omega \\ y_p^\Omega \\ z_p^\Omega \end{bmatrix} = \Omega \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} \quad (4)$$

Współrzędne rzutu punktu $p^\Omega(x_p^\Omega, y_p^\Omega, z_p^\Omega)$ na płaszczyznę obrazu \mathcal{P}_1 , określone przez:

$$X_p^\Omega = F \frac{x_p^\Omega}{z_p^\Omega}, \quad Y_p^\Omega = F \frac{y_p^\Omega}{z_p^\Omega} \quad (5)$$

mogą być wyliczone w zależności od współrzędnych rzutu (X_p, Y_p) (1) w następujący sposób:

$$X_p = F \frac{\omega_{11} X_p + \omega_{12} Y_p + F \omega_{13}}{\omega_{31} X_p - \omega_{32} Y_p + F \omega_{33}} \quad (6)$$

$$Y_p = F \frac{\omega_{21} X_p + \omega_{22} Y_p + F \omega_{23}}{\omega_{31} X_p + \omega_{32} Y_p + F \omega_{33}} \quad (7)$$

Współczynniki ω_{ij} we wzorach (6), (7) są elementami macierzy obrotu Ω

$$\Omega = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Obecnie celem jest znalezienie na konturze obrazu z kamery K2 punktu $(\mathbb{T}_p, \mathbb{U}_p)$, który odpowiada punktowi (X_p, Y_p) . Punkt $(\mathbb{T}_p, \mathbb{U}_p)$ można wyznaczyć, korzystając z faktu, że wektor $(X_p^{\Omega}, Y_p^{\Omega})$, $(\mathbb{T}_p, \mathbb{U}_p)$ jest wektorem pola translacji [4], [7]. A zatem prosta wyznaczana przez punkty $(X_p^{\Omega}, Y_p^{\Omega})$, $(\mathbb{T}_p, \mathbb{U}_p)$ zawiera punkt o współrzędnych:

$$x^0 = F \frac{\Delta \xi}{\Delta \zeta}, \quad y^0 = F \frac{\Delta \eta}{\Delta \zeta} \quad (9)$$

(można to sprawdzić podstawiając wzory (9) do równania prostej

$$(x - \mathbb{T}_p)(y - Y_p^{\Omega}) = (x - x_p^{\Omega})(y - \mathbb{U}_p), \quad (10)$$

i uwzględniając (3) i (4)).

Na podstawie powyższych spostrzeżeń współrzędne $(\mathbb{T}_p, \mathbb{U}_p)$ otrzymują się znajdując punkt przecięcia prostej wyznaczonej przez punkty $(X_p^{\Omega}, Y_p^{\Omega})$ i (x^0, y^0) z konturem obrazu z kamery K2. Jest to zilustrowane na rys. 3. Postępując w opisany sposób z innymi punktami konturów otrzymuje się pole przemieszczeń dla obrazów z kamer K1 i K2. W przypadku gdy odpowiednie osie układów $Oxyz$ i $\mathbb{T}\xi\eta\zeta$ są równoległe, tzn. $\Omega = I$, obliczanie pola przemieszczeń jest najprostsze, gdyż nie wymaga obracania konturu obrazu z kamery K1 według wzoru (6), (7).

Znając współrzędne rzutów (X_p, Y_p) , $(\mathbb{T}_p, \mathbb{U}_p)$ punktu p, łatwo jest wyznaczyć współrzędne punktu p w układzie $Oxyz - (x_p, y_p, z_p)$ oraz w układzie $\mathbb{T}\xi\eta\zeta - (\xi_p, \eta_p, \zeta_p)$. Wyrażają się one następującymi wzorami:

$$\Omega = \frac{F \Delta \eta - \mathbb{U}_p \Delta \zeta}{\mathbb{U}_p - Y_p^{\Omega}} = \frac{F \Delta \xi - \mathbb{T}_p \Delta \zeta}{\mathbb{T}_p - X_p^{\Omega}} \quad (11)$$

$$x_p^{\Omega} = \frac{1}{F} x_p^{\Omega} z_p^{\Omega},$$

$$y_p^\Omega = \frac{1}{F} Y_p^\Omega z_p^\Omega, \quad (13)$$

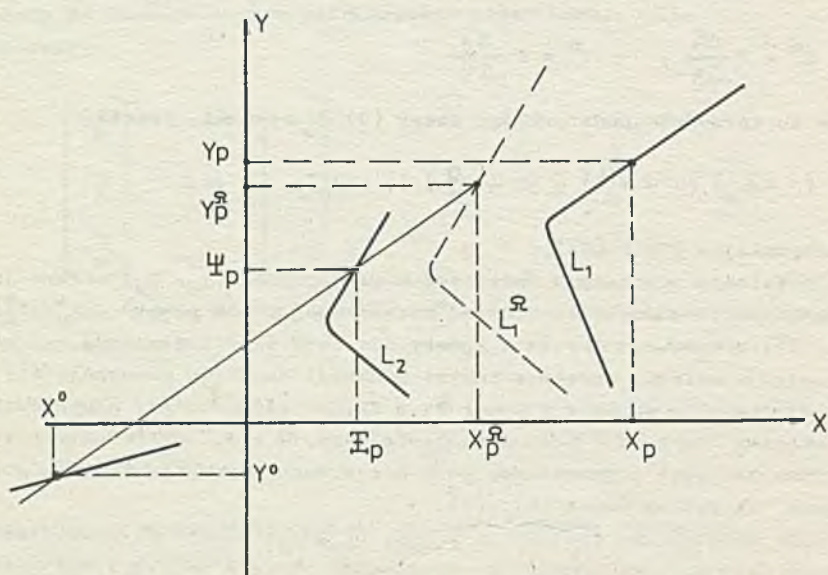
$$\xi_p = x_p^\Omega + \Delta\xi \quad (14)$$

$$\varrho_p = y_p^\Omega + \Delta\varrho \quad (15)$$

$$\zeta_p = z_p^\Omega + \Delta\zeta \quad (16)$$

oraz

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = \Omega^T \begin{bmatrix} x_p^\Omega \\ y_p^\Omega \\ z_p^\Omega \end{bmatrix} \quad (17)$$



Rys. 3. Obliczanie współrzędnych punktów konturu:
 l_1 - fragment konturu obrazu z kamery K_1 , l_1^Ω - obrócony według (6),(7)
 fragment l_1 , l_2 - fragment konturu obrazu z kamery K_2

Fig. 3. Computation of the coordinates of contour points

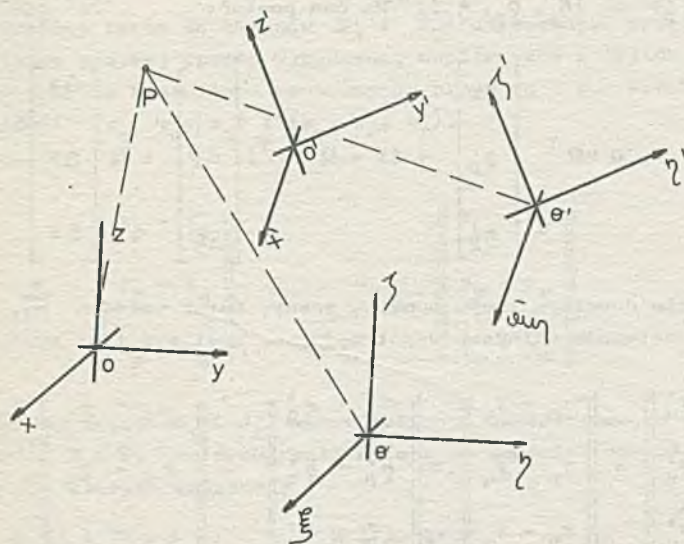
W przypadku gdy $\Omega = I$, we wzorach (11) - (17) mamy:

$$x_p^\Omega = x_p, \quad y_p^\Omega = y_p, \quad z_p^\Omega = z_p, \quad x_p^\Omega = x_p, \quad y_p^\Omega = y_p, \quad z_p^\Omega = z_p.$$

4. Obliczanie pola przemieszczeń wynikającego z ruchu obiektu na podstawie warunku zgodności

Rozpatrzmy teraz sytuację, gdy obiekt, na którym umieszczone są kamery, porusza się. Przyjmujemy, że dysponujemy czterema obrazami przekazanymi przez kamery K1 i K2 w dwóch chwilach czasu. Niech p będzie pewnym nieruchomym punktem sceny. Oznaczmy współrzędne punktu p w czterech układach związanych z kamerami, przedstawionych na rys. 4, następująco:

- (x_p, y_p, z_p) - współrzędne punktu p w układzie związanym z kamerą K1 - przed przemieszczeniem,
- (x'_p, y'_p, z'_p) - współrzędne punktu p w układzie związanym z kamerą K1 - po przemieszczeniu,
- (ξ_p, η_p, ζ_p) - współrzędne punktu p w układzie związanym z kamerą K2 - przed przemieszczeniem,
- $(\xi'_p, \eta'_p, \zeta'_p)$ - współrzędne punktu p w układzie związanym z kamerą K2 - po przemieszczeniu.



rys. 4. Współrzędne nieruchomego punktu sceny p , w czterech układach wy-soszą odpowiednio (x_p, y_p, z_p) , (x'_p, y'_p, z'_p) , (ξ_p, η_p, ζ_p) , $(\xi'_p, \eta'_p, \zeta'_p)$

Fig. 4. Coordinates of the fixed point of the scene p

Niech ponadto:

- π_1 - oznaczą płaszczyznę obrazu w układzie związanym z kamerą K1, przed przemieszczeniem,
 π'_1 - płaszczyznę obrazu w układzie związanym z kamerą K1, po przemieszczeniu,
 π_2 - płaszczyznę obrazu w układzie związanym z kamerą K2, przed przemieszczeniem,
 π'_2 - płaszczyznę obrazu w układzie związanym z kamerą K2, po przemieszczeniu.

Przyjmijmy, że ruch obiektu jest opisany za pomocą transformacji, która wiąże ze sobą współrzędne (x'_p, y'_p, z'_p) i (x_p, y_p, z_p) . Oznaczmy macierz obrotu tej transformacji przez R, a wektor translacji przez $[\Delta x, \Delta y, \Delta z]^T$, tzn.

$$\begin{bmatrix} x'_p \\ y'_p \\ z'_p \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (18)$$

Ponieważ względne położenie kamer nie zmienia się w czasie ruchu, ze wzorów (18) i (13) wynika transformacja, która wiąże ze sobą współrzędne $(\xi'_p, \varrho'_p, \zeta'_p)$ i $(\xi_p, \varrho_p, \zeta_p)$. Ma ona postać:

$$\begin{bmatrix} \xi'_p \\ \varrho'_p \\ \zeta'_p \end{bmatrix} = \Omega R \Omega^T \begin{bmatrix} \xi_p \\ \varrho_p \\ \zeta_p \end{bmatrix} + (\mathbf{I} - \Omega R \Omega^T) \begin{bmatrix} \Delta \xi \\ \Delta \varrho \\ \Delta \zeta \end{bmatrix} + \Omega \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (19)$$

Niech q będzie dowolnym innym punktem sceny. Norma wektora \overline{pq} , liczona we wszystkich czterech układach współrzędnych, musi być taka sama, tzn.:

$$\left\| \begin{bmatrix} x'_p - x'_q \\ y'_p - y'_q \\ z'_p - z'_q \end{bmatrix} \right\| = \left\| \begin{bmatrix} x_p - x_q \\ y_p - y_q \\ z_p - z_q \end{bmatrix} \right\| = \left\| \begin{bmatrix} \xi'_p - \xi'_q \\ \varrho'_p - \varrho'_q \\ \zeta'_p - \zeta'_q \end{bmatrix} \right\| = \left\| \begin{bmatrix} \xi_p - \xi_q \\ \varrho_p - \varrho_q \\ \zeta_p - \zeta_q \end{bmatrix} \right\| \quad (20)$$

Warunek (20) będzie nazywany warunkiem zgodności.

Zajmiemy się teraz problemem wyznaczania pola przemieszczeń wynikającego z ruchu opisanego przez transformację (18). Do obliczenia tego pola przemieszczeń metoda opisana w poprzednim punkcie nie może być bezpośrednio wykorzystana, ponieważ parametry ruchu R i $[\Delta x, \Delta y, \Delta z]^T$ są nieznanymi. Opiszemy metodę wyznaczania tego pola przemieszczeń, wykorzystującą warunek zgodności (20). Wymaga ona minimalizacji funkcji jednej zmiennej.

Niech poszukiwanym polem przemieszczeń będzie pole Π_1, Π_1' wynikające z obrazów przesłanych przez kamerę K1 w dwóch chwilach czasu, przed i po przemieszczeniu. Rozpatrzmy dwa obrazy przekazywane przez kamery K1 i K2 w chwili przed przemieszczeniem. Przy zastosowaniu metody z poprzedniego paragrafu możemy znaleźć współrzędne dowolnego punktu, którego rzuty na płaszczyzny Π_1 i Π_2 należą do konturów obrazów. Niech p będzie pierwszym wyznaczonym punktem, a jego współrzędne w układzie Oxyz niech wynoszą (x_p, y_p, z_p) .

Celem naszym jest wyznaczenie położenia rzutu punktu p na konturze obrazu Π_1' przekazanym przez kamerę K1 w chwili po przemieszczeniu. Punkt ten będzie wyznaczony przez zastosowanie procedury minimalizacji pewnej funkcji. Wybierzmy na konturze obrazu Π_1' punkt, który będzie startowym do procedury minimalizacji, (może to być np. punkt położony najbliższej rzutu punktu p na płaszczyznę obrazu Π_1 , [11], [12]). Jednocześnie z obrazem Π_1' dysponujemy obrazem Π_2' , zatem korzystając z metody z poprzedniego punktu możemy obliczyć współrzędne, w układzie $O'x'y'z'$, punktu \tilde{p} , którego rzutem jest założony punkt startowy. Oznaczmy je przez $(\tilde{x}'_p, \tilde{y}'_p, \tilde{z}'_p)$.

Powróćmy teraz do obrazów Π_1 i Π_2 otrzymanych przed przemieszczeniem. W opisanym powyżej sposób wyznaczamy współrzędne w układzie Oxyz jeszcze dwóch punktów konturów - oznaczmy je przez q i r . Niech wynoszą one odpowiednio (x_q, y_q, z_q) i (x_r, y_r, z_r) .

Niech:

$$d_1 = \left\| \begin{array}{c} x_p - x_q \\ y_p - y_q \\ z_p - z_q \end{array} \right\| \quad d_2 = \left\| \begin{array}{c} x_p - x_r \\ y_p - y_r \\ z_p - z_r \end{array} \right\| \quad (21)$$

Znając wartości d_1 i d_2 można obliczyć współrzędne, w układzie $O'x'y'z'$ punktów \tilde{q} i \tilde{r} , których rzuty należą do konturów obrazów Π_1' i Π_2' oraz dla których zachodzi:

$$\left\| \begin{array}{c} \tilde{x}'_p - \tilde{x}'_q \\ \tilde{y}'_p - \tilde{y}'_q \\ \tilde{z}'_p - \tilde{z}'_q \end{array} \right\| = d_1, \quad \left\| \begin{array}{c} \tilde{x}'_p - \tilde{x}'_r \\ \tilde{y}'_p - \tilde{y}'_r \\ \tilde{z}'_p - \tilde{z}'_r \end{array} \right\| = d_2 \quad (22)$$

Gdyby punkt \tilde{p} pokrywał się z punktem p , to na podstawie warunku zgodności (20) powinna mieć miejsce równość:

$$\begin{vmatrix} x_q - x_r \\ y_q - y_r \\ z_q - z_r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x'_q - x'_r \\ y'_q - y'_r \\ z'_q - z'_r \end{vmatrix} \quad (23)$$

Możemy teraz zmieniać położenie punktu startowego na konturze obrazu \mathcal{T}'_1 i wykorzystywać warunek (23) do badania stopnia zbliżenia punktu \tilde{p} do punktu p .

5. Obliczanie parametrów ruchu

Metoda opisana powyżej pozwala obliczać wszystkie współrzędne przestrzenne punktów, których obrazy przekazywane są przez kamery. Dzięki temu można podać analityczne wzory określające parametry ruchu R i $[\Delta x, \Delta y, \Delta z]^T$. Z równania (18) widać, że do wyznaczenia tych parametrów wystarczy obliczyć współrzędne, w układach $Oxyz$ i $O'x'y'z'$, trzech niewspółliniowych punktów należących do konturów. Oznaczmy te punkty przez p, q, r . Przedstawmy macierz obrotu R w postaci:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \psi \cos \varphi - \sin \varphi \sin \varphi & \sin \varphi \cos \psi \cos \varphi + \cos \varphi \sin \varphi & -\sin \psi \cos \varphi \\ -\cos \varphi \cos \psi \sin \varphi - \sin \varphi \cos \varphi & -\sin \varphi \cos \psi \sin \varphi + \cos \varphi \cos \varphi & \sin \psi \sin \varphi \\ \cos \varphi \sin \psi & \sin \varphi \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \quad (24)$$

Równania (18) zapisano dla punktów p, q, r , mimo że są nieliniowe względem zmiennych φ, ψ, φ , mogą być łatwo rozwiązane. Poniżej podane są przykładowe formuły określające kąty φ, ψ, φ .

$$\cos \psi = [0, 0, 1] \Delta^{-1} \begin{bmatrix} z'_p - z'_q \\ z'_q - z'_r \\ z'_r - z'_p \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sin \psi} [1, 0, 0] \Delta^{-1} \begin{bmatrix} z'_p - z'_q \\ z'_q - z'_r \\ z'_r - z'_p \end{bmatrix}, \quad \text{dla } \psi \neq 0, \quad (26)$$

$$\sin \varphi = \frac{1}{\sin \vartheta} [0, 0, 1] \Delta^{-1} \begin{bmatrix} y'_p - y'_q \\ y'_p - y'_r \\ y'_r - y'_p \end{bmatrix}, \quad \text{dla } \vartheta \neq 0, \quad (27)$$

przy czym

$$\Delta = \begin{bmatrix} x_p - x_q & y_p - y_q & z_p - z_q \\ x_q - x_r & y_q - y_r & z_q - z_r \\ x_r - x_p & y_r - y_p & z_r - z_p \end{bmatrix} \quad (28)$$

Znając kąty φ , ϑ , ψ można natychmiast otrzymać wektor translacji $[\Delta x, \Delta y, \Delta z]^T$.

6. Podsumowanie

W porównaniu z algorytmami obliczania parametrów ruchu na podstawie sekwencji obrazów z jednej kamery [1] - [7] przedstawiona metoda, dzięki temu, że zakłada się większą ilość informacji dopływających do maszyny cyfrowej, wykazuje szereg zalet. Algorytmy obliczania pól przemieszczeń są prostsze. Należy też oczekiwać, że w obliczeniach osiągać się będzie lepszą dokładność. Wzory określające kąty φ , ϑ , ψ mają analityczną postać, możliwe też jest określenie wszystkich współrzędnych wektora translacji $[\Delta x, \Delta y, \Delta z]$, podczas gdy w algorytmach bazujących na obrazach z jednej kamery wektor translacji otrzymywany jest z dokładnością do współczynnika skali, a kąty obliczane są na drodze numerycznych procedur minimalizacji [3], [4], [7].

7. LITERATURA

- [1] Tsai R.Y., Huang T.H., Wei-Le Zhu: Estimating three dimensional motion parameters of a rigid planar patch, II Singular value decomposition, IEEE Trans. Acoust.Speech. Signal Processing, vol. ASSP-29, 1981, pp. 1147-1152.
- [2] Tsai R.Y., Huang T.H.: Estimating three-dimensional motion parameters of a rigid planar patch, III : Finite Point correspondence and the three-view problem. IEEE Trans. Acoust.Speech. Signal Processing, vol. ASSP-32, 1984, pp.213-220.
- [3] Fang I.Q., Huang T.S.: Solving three-dimensional small - rotation motion equations: Uniqueness, algorithms and numerical results, Comput. Vision Graphics and Image Processing, vol.26, 1984, pp. 183-206.

- [4] Prazdny K.: Determining the instantaneous direction of motion from optical flow generated by curvilinearly moving observer, *Comput. Graphics Image Processing*, vol. 17, 1981, pp. 238-248.
- [5] Świerniak A.: Wyznaczenie parametrów ruchu obiektu na podstawie długiego ciągu obrazów, praca złożona w redakcji ZN. Pol. Śl.
- [6] Simek K., Wojciechowski K.: Zagadnienie jednoznaczności wyznaczania parametrów ruchu w przestrzeni trójwymiarowej, praca złożona w redakcji ZN Pol. Śl.
- [7] Polański A.: Algorytm wyznaczania parametrów ruchu na podstawie pola przemieszczeń, praca złożona w redakcji ZN. Pol. Śl.
- [8] Wu C.K., Wang D.Q., Bajosy R.K.: Acquiring 3-D spatial data of a real object, *Comput. Vision Graphics Image Processing*, vol. 28, 1984, pp. 126-133 m.
- [9] Yachimowsky Y., Cunningham R.: A system for extracting three-dimensional measurements from a stereo pair of TV cameras, *Comput. Graphics Image Processing*, vol. 7, 1978, pp. 195-210.
- [10] Shapira R., Freeman H.: Computer description of bodies bounded by quadratic surfaces from a set of imperfect projections, *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-27, 1978, pp.841-854.
- [11] Ordys A., Wojciechowski K.: Metody wyznaczania pola prędkości na podstawie sekwencji obrazów, praca złożona do ZN. Pol. Śl.
- [12] Ordys A., Wojciechowski K.: Wybrane algorytmy przetwarzania wstępnego w zagadnieniach wyznaczania pola prędkości, praca przygotowana do druku.

Recenzent: Doc. dr inż. Bogdan Woźniak

Wpłynęło do Redakcji 2.01.87 r.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ
В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ
НА ОСНОВЕ ОБРАЗОВ ИЗ ДВУХ КАМЕР

Р а з в е с т

В работе представлен метод определения параметров движения объекта в трехмерном пространстве на основе последовательности образов одновременно передаваемых двумя камерами находящимися на объекте. В алгоритме многократно определяются поле перемещений. Благодаря наличию образов из двух камер одновременно, расчет полей перемещений более прост и точен нежели в случае работы одной камеры. Получены также аналитические формулы, определяющие параметры движения.

ASSIGNMENT OF MOTION PARAMETERS
IN THE 3 D SPACE BASING ON THE IMAGES
OF TWO CAMERAS

S u m m a r y

A method of motion parameters estimation in the 3 D space basing on a sequence of images transmitted simultaneously by two cameras placed on the plant is presented. In the algorithm multiple assignment of the displacement field is performed. Due to the images obtained simultaneously from two cameras computations are much simpler and much more accurate than in the case of one camera. Analytical formulae are found for the motion parameters.