ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
Seria: INFORMATYKA z. 35 Nr kol. 1402

Dariusz POJDA, Przemysław KOWALSKI
Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej, PAN

KRYTERIA PASOWANIA PUNKTÓW CHARAKTERYSTYCZNYCH W STEREOWIZJI *

Streszczenie. Istotnym problemem, występującym w zagadnieniu stereowidzenia, z wykorzystaniem obrazu z dwu kamer, jest pasowanie punktów charakterystycznych. W artykule przedstawiamy zestaw pięciu testów, służących do pasowania punktów. Jest to test jasnościowy, dokonujący właściwego pasowania, oraz cztery testy geometryczne, dokonujące weryfikacji poprawności spasowania par punktów.

CRITERIA FOR FEATURE POINT MATCHING IN STEREOVISION

Summary. The characteristic points matching is the real problem, in stereovision from two cameras view. In the article we present some tests useful for feature-points matching. One of them is intensity-test, used to matching, all others are geometric tests, which verify the matching results.

Wstęp

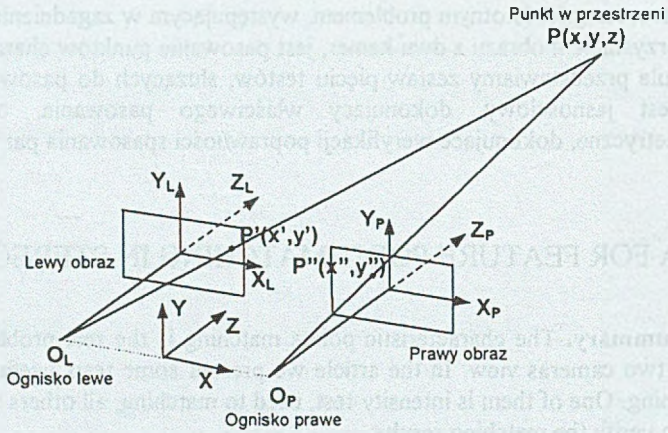
W niniejszym opracowaniu omówiono test jasnościowy oraz serie testów geometrycznych stosowanych do pasowania punktów, dla obrazów z dwu różnych kamer. Test jasnościowy opiera się na badaniu poziomów szarości dla punktu charakterystycznego i jego otoczenia; natomiast testy geometryczne opierają się na badaniu zachowania geometrycznego podobieństwa w dwu- lub trójwymiarowym obrazie.

* Praca częściowo finansowana z grantu KBN nr 8 T11C 049 12, "Aktywne stereowidzenie w zastosowaniu do identyfikacji kształtów i relacji przestrzennych".

1. Wprowadzenie

Człowiek, wyposażony w parę kamer – oczu, potrafi z dużą dokładnością określić odległość od widzianych przedmiotów, ocenić ich głębię czy też wzajemne położenie w każdym z trzech wymiarów. Od początku prac nad komputerowymi systemami wizyjnymi inspiracją twórców był ludzki organizm.

Problem widzenia trójwymiarowego przy wykorzystaniu komputera nie został, jak dotąd, w pełni rozwiązany w praktyce. Istniejące dziś systemy stereowizyjne wykorzystują dwie lub więcej kamer umieszczonych w pewnej odległości od siebie. Tu jednak kończy się podobieństwo do organizmu człowieka. Jak bowiem nie byłyby precyzyjne kamery użyte do akwizycji obrazów, przetwarzający je system nie jest i długo jeszcze nie będzie tak doskonały, jak ludzki mózg.



Rys. 1. Schemat układu stereowizyjnego
Fig. 1. Scheme of stereovision system

Większość metod komputerowego wyznaczania głębi na podstawie pary obrazów stereo polega na wykrywaniu w każdym z tych obrazów pewnych cech charakterystycznych, a następnie określeniu zmiany położenia danej cechy na jednym obrazie względem jej położenia na obrazie drugim.

Jak pokazano na rysunku 1, punkt P o współrzędnych (x,y,z) w przestrzeni jest rejestrowany przez układ dwóch kamer jako P'(x',y') na obrazie lewym oraz P''(x'',y'') na obrazie prawym. Dla uproszczenia rozważań przyjmijmy, że obie kamery są identyczne i przesunięte są względem siebie o wektor [d,0,0]. Przy takim założeniu przesunięcie pomiędzy obrazami wystąpi jedynie w osi X. Ogniskową kamer oznaczmy jako f. Z podobieństwa trójkątów wynika, że:

$$\frac{x'}{f} = \frac{x + \frac{d}{2}}{z}, \quad \frac{y'}{f} = \frac{y}{z}$$

$$\frac{x''}{f} = \frac{x - \frac{d}{2}}{z}, \quad \frac{y''}{f} = \frac{y}{z}$$

Współrzędne punktów na obrazach opisane są więc zależnościami:

$$(x', y') = \left(\frac{f\left(x + \frac{d}{2}\right)}{z}, \frac{fy}{z} \right)$$

$$(x'', y'') = \left(\frac{f\left(x - \frac{d}{2}\right)}{z}, \frac{fy}{z} \right)$$

Oznaczmy odległość pomiędzy P' a P" jako:

$D_{X,Y} = x' - x''$

Stąd przesunięcie punktu P w osi Z wyznaczamy jako:

$$z = \frac{fd}{D_{X,Y}}$$

Jak więc wynika z powyższego równania, problem wyznaczenia głębi na podstawie pary obrazów stereo sprowadza się do tego, aby znaleźć na każdym obrazie pewien zbiór cech (punktów charakterystycznych), spasować odpowiadające sobie cechy w obu obrazach, a następnie obliczyć ich wzajemne przesunięcie.

2. Wprowadzenie danych

W procesie akwizycji obrazów wykorzystano dwie nieskalibrowane kamery CCD, zamontowane na wspólnej platformie. Sygnał z kamer digitalizowano przy użyciu karty akwizycji obrazu MATROX, na komputerze klasy PC. Obrazy zostały zapisane w formacie 256x256 punktów w ośmiobitowej skali szarości.

3. Detekcja punktów charakterystycznych

Wybór właściwego algorytmu detekcji jest warunkiem poprawnego spasowania obrazów. Spośród wielu, opisanych w literaturze, metod ekstrakcji punktów charakterystycznych wybrano algorytm SUSAN (ang. *Smallest Univalue Segment Assimilating Nucleus*). Jest to obecnie jeden z najszybszych algorytmów detekcji rogów oraz krawędzi. Charakteryzuje się przy tym także znaczną odpornością na szumy oraz zakłócenia wynikające z nierównomiernego oświetlenia sceny. Algorytm ten został zaproponowany w 1995 roku przez S.M.Smitha i J.M.Brady'ego [7].

W algorytmie SUSAN jasność każdego piksela w obrazie porównywana jest z jasnościami pikseli leżących w jego bezpośrednim otoczeniu.

$$n(\vec{r}_0) = \sum_{r} c(\vec{r}, \vec{r}_0)$$

każde takie porównanie opisuje wzór:

$$c(\vec{r}, \vec{r}_0) = e^{-\left(\frac{I(\vec{r}) - I(\vec{r}_0)}{t}\right)^6}$$

gdzie: $\vec{r}_0$ – współrzędne badanego piksela (jądra) w obrazie,

$\vec{r}$ – współrzędne piksela należącego do otoczenia,

$I(\vec{r}_0)$ – jasność badanego piksela,

$I(\vec{r})$ – jasność piksela należącego do otoczenia,

t – zadana wartość progowa (ang. *treshold*).

Piksele należące do otoczenia, dla których zachodzi warunek $|I(r) - I(r_0)| \le t$, tzn. o jasności podobnej do jasności badanego piksela (czyli jądra, ang. *nucleus*) stanowią obszar, który określamy jako USAN (ang. *Univalue Segment Assimilating Nucleus*), $n(\vec{r}_0)$ reprezentuje natomiast wielkość tego obszaru.

Odpowiedź rogu w punkcie $\vec{r}_0$ wyznacza się, porównując wyznaczoną wartość $n(\vec{r}_0)$ z geometryczną wielkością progową g (ang. *geometric treshold*).

$$R(\vec{r}_0) = \begin{cases} g - n(\vec{r}_0) & \text{dla } n(\vec{r}_0) < g \\ 0 & \text{dla } n(\vec{r}_0) \ge g \end{cases}$$

Wartość g została dobrana jako:

$$g = \frac{1}{2} n_{\max}$$

gdzie $n_{\max}$ jest największą możliwą wielkością badanego otoczenia (wartością $n(\vec{r}_0)$).

Współczynnik 1/2 wynika z faktu, że w punkcie rogowym wielkość USAN powinna być mniejsza niż połowa wielkości otoczenia. Nie jest to jednak warunek wystarczający, by zakwalifikować punkt jako rogowy, gdyż podobny warunek spełniają także punkty należące np. do linii o szerokości jednego piksela. Dlatego też dla punktu, który spełnił poprzedni warunek, oblicza się środek ciężkości USAN, a następnie jego odległość od jądra. Zakłada się, iż dla poprawnie wykrytych rogów odległość ta będzie największa. Musi zostać także spełniony warunek ciągłości USAN. Oznacza to, że wszystkie piksele należące do otoczenia, leżące na linii prostej łączącej jądro ze środkiem ciężkości, muszą należeć do USAN.

4. Cel pasowania

Pasowanie jest procesem operującym na dwu różnych ujęciach, a mającym za cel ustalenie, że dany punkt w jednym obrazie odpowiada innemu punktowi na drugim obrazie.

Procesy detekcji cech i ich pasowania stanowią poważny problem ze względu na znaczną ilość zakłóceń, jakie mogą występować w obrazach cyfrowych. Zakłócenia, takie jak szumy wnoszone podczas akwizycji przez przetwornik CCD czy nierównomierny rozkład oświetlenia, mogą bowiem prowadzić do niepoprawnej detekcji punktów charakterystycznych. Stosowanie filtracji cyfrowej jedynie częściowo rozwiązuje ten problem. Nadal bowiem istnieje niebezpieczeństwo pominięcia niektórych punktów lub też zakwalifikowania szumu jako punktu charakterystycznego. Mimo to proces pasowania powinien prowadzić do znalezienia zbioru takich par punktów, o których z dużym prawdopodobieństwem można powiedzieć, że są rzutami tego samego punktu w przestrzeni rzeczywistej.

Otrzymane związki mogą być wykorzystywane w praktyce do wykrywania ruchu, wyznaczania jego parametrów, znajdowania odległości między elementami dowolnej sceny itd.

5. Test jasnościowy

Test jasnościowy jest próbą pasowania punktów, opartą na badaniu lokalnej intensywności otoczenia.

Mając dane punkty charakterystyczne, w dwóch obrazach, pasowanie jasnościowe rozpoczynamy od wyznaczenia tzw. współczynników zniekształcenia, liczonych dla wszystkich możliwych par punktów takich, że pierwszy punkt należy do zbioru punktów charakterystycznych w pierwszym obrazie, a drugi w drugim. Wartość współczynnika dla danego punktu wyznacza się opierając się na otoczeniu punktu o wymiarach n x n.

Jeśli $I_i(x,y)$ jest poziomem szarości i-tego punktu, a I_i wartością średnią z poziomu szarości w otoczeniu W, to $P_i(x,y)$ (opisujące intensywność dla $(x,y)\in W$) jest obliczane według wzoru:

$$P_i(x,y) = I_i(x,y) - I_i(x,y) \in W$$

Wówczas współczynnik zniekształcenia *M(i,j)* dla dwóch pikseli jest określany jako wartość bezwzględna różnicy między P_i obliczoną dla i-tego punktu w pierwszym obrazie oraz P_j wyznaczoną dla j-tego punktu w drugim obrazie. Przyjmuje ona postać:

$$M(i,j) = \frac{1}{n^2} \sum_{(x,y)\in W} \left| P_i(x,y) - P_j(x,y) \right|$$

Następnie poszukujemy minimalnej wartości M(i,j), gdzie n jest liczbą punktów w oknie. Przyjmując istnienie N_1 punktów charakterystycznych w pierwszym obrazie i N_2 w drugim tworzona jest macierz $M_{N1 \cdot N2}$. Jest ona wypełniona wartościami *M(i,j)* obliczanymi dla i-tego punktu w pierwszym i j-tego w drugim obrazie. Para punktów *(i, j)* odpowiada sobie i jest pasowana z sobą, jeżeli:

- wartość *M(i,j)* jest mniejsza od zakładanego progu δ_1,
- *M(i,j)* jest jednocześnie najmniejszą wartością w i-tym wierszu i j-tej kolumnie,
- *M(i,j)* jest mniejsze od drugiej najniższej wartości *M(i,j₁)* w i-tym wierszu o więcej niż określony próg δ_2,
- *M(i,j)* jest mniejsze od drugiej najniższej wartość *M(i₁,j)* w j-tej kolumnie o więcej niż określony próg δ_2.

	1	j_1	kolumny	j	N_2
1					
wiersze					
i		$M(i,j_1)$		$M(i,j)$	
i_1				$M(i_1,j)$	
N_1					

Rys. 2. Struktura macierzy M wykorzystywanej w algorytmie pasowania jasnościowego
Fig. 2. Structure of matrix M, used in the intensity matching algorithm

Aby wykryć punkty znajdujące się blisko krawędzi lub na granicy styku dwóch przedmiotów, można zastosować ideę przesuwania okna w ten sposób, że jego środek umieszczany jest w rogach okna standardowego. Dla każdego z tych okien oblicza się współczynnik zniekształcenia M, a następnie analizując otrzymanych pięć wartości (po jednej dla każdego okna dodatkowego oraz jedną dla okna standardowego), wybiera się wartość najmniejszą. Wybrana wartość jest jednocześnie jakością pasowania dla danej pary.

Wynikiem jest zbiór punktów, które zostały przypisane sobie (spasowane) jako odpowiadające.

6. Testy geometryczne

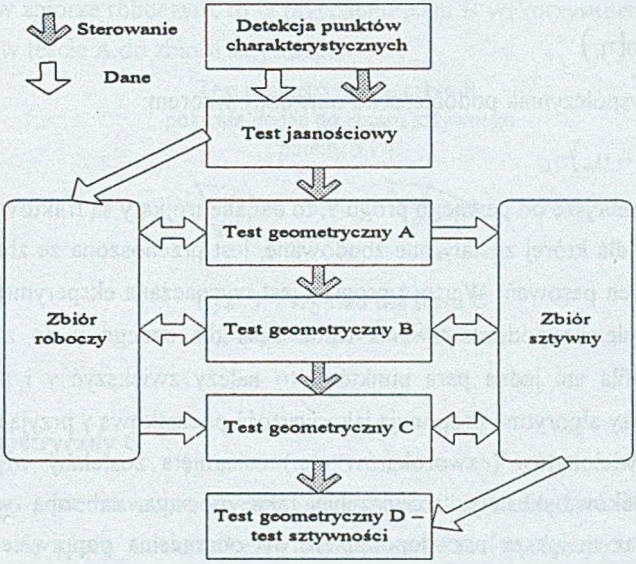
Wadą pasowania jasnościowego jest możliwość spasowania punktów charakterystycznych nie mających odpowiedników w drugim obrazie (np. wystąpienia błędne punktów charakterystycznych czy też błędne spasowanie dla elementów powtarzających się), gdy tylko współczynnik zniekształcenia M będzie miał odpowiednią wartość. Stąd idea testów geometrycznych – polegających na sprawdzeniu, czy punkty charakterystyczne w różnych obrazach zachowują podobieństwo we wzajemnym położeniu.

Najwłaściwsze byłoby przeprowadzenie tego porównania w przestrzeni 3D. Niestety – pasowanie jest etapem poprzedzającym ekstrakcję informacji o głębi – początkowo informacja ta jest więc niedostępna. Dlatego w testach geometrycznych A, B oraz C bada się wzajemne położenie punktów na płaszczyźnie obrazu.

Testy geometryczne polegają na tworzeniu trójkątów zgodnie ze spasowanymi w teście jasnościowym parami, a następnie badaniu ich podobieństwa.

Przeprowadzenie testów geometrycznych rozpoczyna się od utworzenia zbioru roboczego (ang. *Working Set*), zawierającego pary spasowane po teście jasnościowym. W kolejnych testach geometrycznych przenosimy pary punktów, które uznajemy za poprawnie spasowane, do zbioru sztywnego (ang. *Rigid Set*).

Po przeprowadzeniu testów geometrycznych A, B i C, spasowane pary są badane w teście sztywności – z wykorzystaniem informacji o głębi.



Rys. 3. Schemat wykonywania testów
Fig. 3. Tests executing scheme

6.1. Test geometryczny A

W teście A, dla każdego punktu charakterystycznego spośród punktów wykrytych w danym obrazie, poszukujemy dwóch najbliższych sąsiadów, by zbudować, opierając się na tych trzech punktach, trójkąt. Drugi trójkąt buduje się opierając się na punktach spasowanych z nimi w teście jasnościowym. Kolejnym krokiem jest zbadanie podobieństwa tych dwóch trójkątów. Jeżeli przesunięcie w obrazie jest małe (co zakładamy), to zniekształcenia wynikające z przesunięcia są również małe. W takim przypadku trójkąty zbudowane na trzech dobrze spasowanych parach punktów będą zachowywały podobieństwo na płaszczyźnie obrazu.

W celu wyznaczenia współczynnika podobieństwa wyliczamy:

$$\eta_i = \frac{|l_i - l_i'|}{\max(|l_i, l_i'|)}$$

gdzie:

l_i – długość boku w trójkącie (dla pierwszego obrazu),

l_i' – długość boku w trójkącie (dla drugiego obrazu),

i – numer boku trójkąta (1, 2 lub 3).

Znajdując:

$$\eta_M = \max_i(\eta_i)$$

oraz:

$$\eta_m = \min_i(\eta_i)$$

Wyliczamy współczynnik podobieństwa określony wzorem:

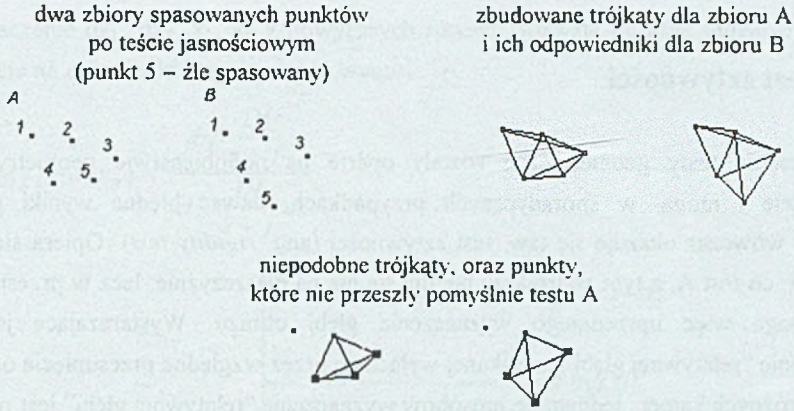
$$S = (\eta_M - \eta_m)\eta_M$$

Jeżeli S jest mniejsze od pewnego progu γ, to badane trójkąty są traktowane jako podobne, a para punktów, dla której zostały one zbudowane, jest przenoszona ze zbioru roboczego do zbioru poprawnych pasowań. Wartość progu γ jest wyznaczana eksperymentalnie i może być zmieniana dynamicznie podczas trwania testu. Jeśli dla danego γ do zbioru poprawnych pasowań nie trafiła ani jedna para punktów, to należy zwiększyć γ i przeprowadzić test ponownie. Autorzy algorytmu proponują jako wartość początkową γ przyjąć 0,33 [1, 2].

Dla innych wielokątów (czworokątów etc.) osiągnięta zostałaby większa poprawność uzyskanych wyników, niestety, rozwiązanie takie pociąga za sobą większą złożoność obliczeniową oraz zwiększa prawdopodobieństwo odrzucenia poprawnie spasowanej pary punktów.

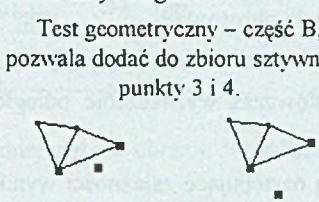
6.2. Test geometryczny B

Test B służy do eliminacji błędów wywoływanych przez zjawisko złego sąsiedztwa. Zjawisko to polega na pojawieniu się wśród wierzchołków trójkąta pary źle spasowanych punktów – powoduje to eliminację ze zbioru wynikowego innych – poprawnie spasowanych punktów, jeśli tylko jeden z dwóch najbliższych sąsiadów został źle spasowany.



Rys. 4. Efekt złego sąsiedztwa dla testu A
Fig. 4. Bad neighborhood effect in Test A

Test B jest podobny do testu A – różnice tkwią w sposobie określania sąsiadów – podczas gdy w teście A najbliższego sąsiada szukamy wśród wszystkich punktów dla danego obrazu, znajdujących się w zbiorze roboczym; to w przypadku testu B wykorzystujemy jedynie punkty zakwalifikowane w teście A do zbioru sztywnego.



Rys. 5. Przykład dla testu B
Fig. 5. Example for Test B

6.3. Test geometryczny C

Zjawisko złego sąsiedztwa nie wyczerpuje listy możliwych błędów. Kolejnym źródłem błędu mogą stać się spore zniekształcenia perspektywiczne (występujące np. przy dużych różnicach głębokości), wywołujące tzw. efekt najbliższego sąsiedztwa. Aby wyeliminować ten błąd, należy postawić dodatkowy warunek wyboru jedynie sąsiadów o małych różnicach

przesunięcia. Jeżeli jest dany punkt p o wektorze przesunięcia $\underline{d}$, to należy znaleźć jego najbliższych sąsiadów wśród punktów, dla których wektor przesunięcia mieści się w przedziale $(\underline{d}-\underline{\varepsilon}, \underline{d}+\underline{\varepsilon})$, gdzie $\underline{d}$ i $\underline{\varepsilon}$ są wektorami na płaszczyźnie obrazu. Część C testu różni się od części B w zasadzie wyłącznie doborem najbliższych sąsiadów. Ta część testu ma sens jedynie w przypadku dużych różnic głębi w obrazie bądź silnych zniekształceń perspektywicznych. Przyjmuje się, że wektor $\underline{\varepsilon}$ powinien mieć wartość $\underline{\varepsilon}=[5,5]$.

7. Test sztywności

Poprzednie testy geometryczne zostały oparte na podobieństwie geometrycznym na płaszczyźnie i mogą, w sporadycznych przypadkach, dawać błędne wyniki pasowania. Pomocny wówczas okazuje się tzw. test sztywności (ang. *rigidity test*). Opiera się on na tej samej idei, co test A, z tym że trójkąty buduje się nie na płaszczyźnie, lecz w przestrzeni. Test ten wymaga więc uprzedniego wyznaczenia głębi obrazu. Wystarczające jednak jest wyznaczenie "relatywnej głębi", uzyskanej wyłącznie przez względne przesunięcie osi obrazów z dwóch różnych kamer. Jednym ze sposobów wyznaczenia "relatywnej głębi" jest rozwiązanie równania należącego do rodziny równań pływu optycznego (ang. *optical flow*):

$$\begin{bmatrix}\Delta x\\ \Delta y\end{bmatrix}=\frac{1}{Z}\begin{bmatrix}-1 & 0 & x\\ 0 & -1 & y\end{bmatrix}\begin{bmatrix}T_x\\ T_y\\ T_z\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}xy & -(1+x^2) & y\\ (1+y^2) & -xy & -x\end{bmatrix}\begin{bmatrix}R_x\\ R_y\\ R_z\end{bmatrix}$$

gdzie Δx i Δy są wartościami przesunięcia odpowiednio dla współrzędnej x i y, T jest prędkością liniową, a R prędkością obrotową.

Ze względu na ułożenie kamer można przyjąć, że jedynie współrzędna pozioma przesunięcia jest niezerowa. Wówczas wyznaczenie odległości odbywa się jak dla układu przedstawionego na rysunku 6.

Dla punktu P prawdziwe są następujące zależności wynikające z podobieństwa trójkątów zbudowanych dla lewego i prawego obrazu:

$$\frac{z}{\frac{D}{z}-x_L+x}=\frac{f}{x_L}$$

$$\frac{z}{\frac{D}{z}-x_R+x}=\frac{f}{x_R}$$

Analogiczne dla punktu P':

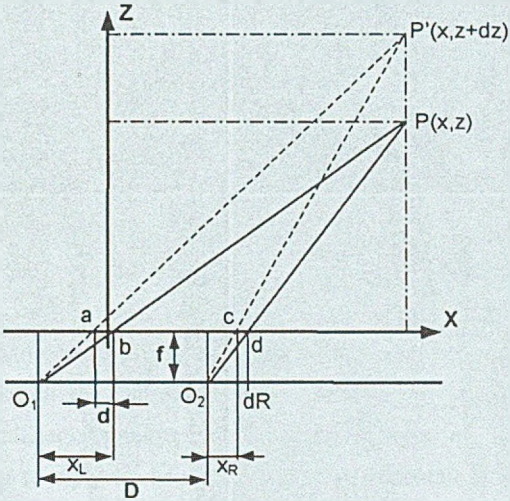
$$\frac{z+dz}{\frac{D}{z}-(x_L-d(x_L))+x}=\frac{f}{x_L-d(x_L)}$$

oraz:

$$\frac{z+dz}{\frac{D}{z}-(x_R-d(x_R))+x}=\frac{f}{x_R-d(x_R)}$$

Wyznaczenie dx_L, dx_R, x_L, x_R z powyższych równań pozwala określić możliwe względne przesunięcie na obrazie, którego wartość wynosi:

$$d(x_L)-d(x_R)=\frac{dzf\frac{Df}{z+f}}{fd+\frac{Df}{z+f}dz}$$



Rys. 6. Wyznaczanie względnej głębi w obrazie dla układu kamer z równoległymi osiami optycznymi

Fig. 6. Detecting relative depth of the image, from two cameras with parallel optical axis

Oznaczenia:

f – ogniskowa kamer,

D – baza stereo,

O_1 – ośrodek obrazu lewej kamery,

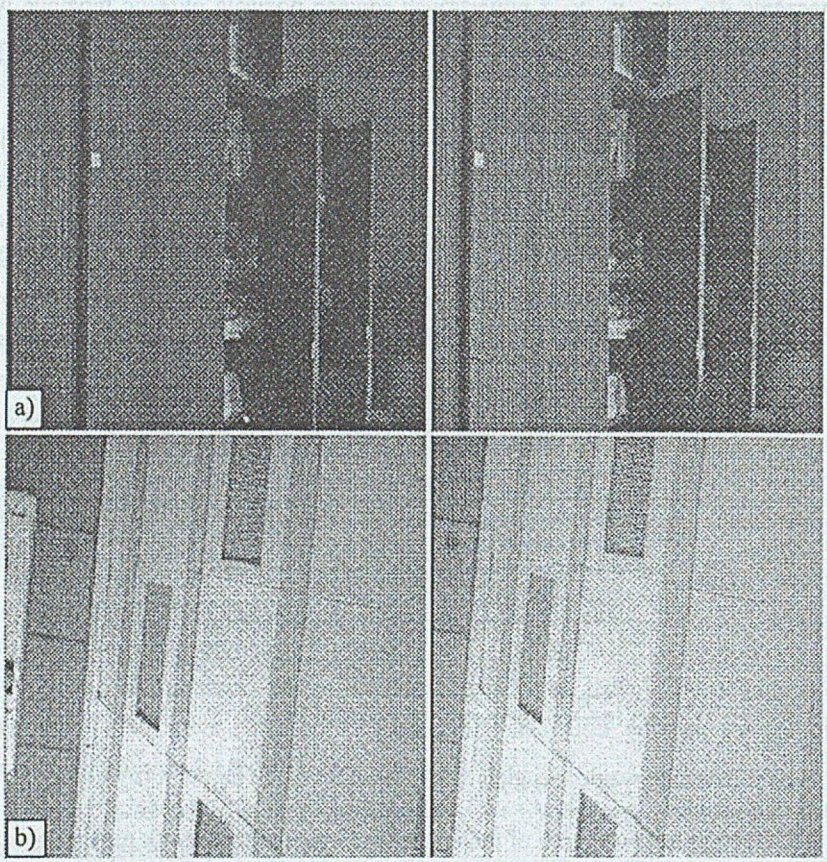
O_2 – ośrodek obrazu prawej kamery,

P – punkt w przestrzeni współrzędnych (x,z),

P_1 – punkt do przesunięcia w przestrzeni odległości dz.

8. Wyniki badań

Poniżej przedstawiono wyniki testów przeprowadzonych dla dwóch przykładowych zestawów obrazów. Z uwagi na wspomniane wcześniej nieskalibrowanie kamer, pomiędzy obrazami występowały znaczne przesunięcia, a także niewielkie różnice jasności i ostrości, co dodatkowo utrudniało proces detekcji i pasowania punktów charakterystycznych.



Rys. 7. Zestawy obrazów testowych, a) zestaw 1 – "szafy", b) zestaw 2 – "sufit"

Fig. 7. Sets of test images, a) set 1 – "cases", b) set 2 – "ceiling"

Przyjęto następujące parametry dla wykonywanych testów:

- detekcję punktów charakterystycznych wykonywano ze stałą wartością progową t=20;
- w teście jasności przyjęto wartości parametrów δ_1=20, δ_2=1; test wykonywano dla różnej wielkości okna W, zmiennej w zakresie 15x15 – 21x21 pikseli;

- dla parametru γ w testach geometrycznych przyjęto wartość 0,033, przy czym dopuszczono możliwość jego zwiększenia, o ile liczba uzyskanych spasowań była niezadowalająca.

Tabela 1

Liczba punktów spasowanych w kolejnych testach

	Zestaw 1 "*szafy*"	Zestaw 2 "*sufit*"
Liczba punktów wykrytych	52 i 59	75 i 58
Liczba par punktów spasowanych w teście jasnościowym	30	31
Liczba par punktów odrzuconych w teście geometrycznym A	17	2
Liczba par punktów ponownie przyjętych w teście B	11	0
Liczba par punktów ponownie przyjętych w teście C	2	2
Liczba par punktów odrzuconych w teście sztywności	0	0
Końcowa liczba spasowanych par punktów	26	31

Uzyskane wyniki świadczą o tym, iż decydujące znaczenie dla poprawnego pasowania punktów charakterystycznych ma test jasnościowy, przy czym rozmiar okna W oraz jego położenie względem badanego punktu ma niewielki wpływ na uzyskane wyniki (dla przykładowych danych był to wpływ rzędu 1-2 spasowań). Pozostałe testy służą do weryfikacji uzyskanych w teście jasnościowym spasowań. Na uwagę zasługuje niewielka liczba odrzuconych par punktów po serii testów geometrycznych dla pierwszego zestawu obrazów oraz ich całkowity brak dla zestawu drugiego.

9. Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu przedstawiono metodę służącą do pasowania punktów charakterystycznych za pomocą zestawu testów jasnościowych i geometrycznych. Wykonano także serię doświadczeń mających na celu weryfikację przydatności prezentowanej metody na potrzeby aktywnego stereowidzenia.

W praktyce niezwykle istotny okazał się dobór odpowiednich warunków akwizycji danych (właściwe ustawienie przesłony i obiektywu kamery) oraz ekstrakcji cech charakterystycznych. Potwierdził się więc fakt, że czynniki te w decydujący sposób wpływają na liczbę i jakość wykrytych punktów, a co za tym idzie, na skuteczność ich pasowania.

Niezależnie od powyższych czynników należy podkreślić, że przeprowadzone testy wykazały przydatność prezentowanej metody. Spasowania uzyskiwane w teście jasnościowym były w większości wypadków poprawne. Błąd bliskiego sąsiedztwa okazał się wyjątkowo rzadki, natomiast występujący tam efekt złego sąsiedztwa był pomyślnie eliminowany w teście geometrycznym B. Zgodnie z twierdzeniami spotykanymi w literaturze [1, 2, 6], pary bardzo rzadko zostawały źle spasowane, co czyniło test sztywności niemal niepotrzebnym.

LITERATURA

1. Hu X., Ahuja N.: Matching Point Features with Ordered Geometric, Rigidity and Disparity Constraints, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 16, No. 10, 1994.
2. Hu X., Ahuja N.: Feature Extraction and Matching as Signal Detection, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Inteligence, Vol. 8, No. 6, 1994.
3. Aggarwal J.K.: Multisensor Fusion for Computer Vision, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1993.
4. Weng J., Huang T.S., Ahuja N.: Motion and Structure from Two Perspective Views: Algorithms, Error Analysis, and Error Estimation, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1993.
5. Cofałka P., Philipp M., Cabestain F.: Detection of Feature Points Using the Moving Contours Detection Operators, 4th International Conference on Computer Graphics and Image Processing GKPO'96, Kielce, 1996.
6. Beauchemnin S.S., Barron J.L.: The Computation of Optical Flow, ACM Computing Surveys, Vol. 27, No. 3, 1995.
7. Smith S.M., Brady J.M.: SUSAN – A New Approach to Low Level Image Processing, Defence Research Agency Report TR95SMS5, Farnborough, Hampshire, 1995.

Recenzent: Dr inż. Katarzyna Stąpor

Wpłynęło do Redakcji 1 czerwca 1998 r.

Abstract

Two-view matching is a central problem in three-dimensional perception. Correct matching is needed to recover depth from a pair of stereo images, or to estimate object motion in the scene. In this work we describe a method, which can be used for matching of feature points.

The matching problem can be formally stated as: Given two images of a scene, register a point in one image to another points corresponding to the same scene point. Two points are matched if a measure of their smiliarity passes a preset threshold. For good localisation we use only well-defined features (such as edges or corners). We present a set of intensity and geometric tests useful for feature-points matching (fig. 3).

The first test is based on neighborhood intensity. The intensity test can be used to find the potential corect matches. However, these potential matches, though unique, may not be correct, e.g. because of noise. Such mismatching causes a distortion in the geometric structures defined by the matched point pairs.

To correct possibly mismatches, we propose some tests, based on geometric similarity.

In test A, we compare the triangles defined by each feature point X and its two closest neighbors. If the corresponding triangle in the other image is similar, the initial matching of point X is confirmed (fig. 4). Otherwise, it is given another chance (Test B) by building a new triangle defined by X and two closest points confirmed by Test A (fig. 5).

Tests A and B can reject some correct matches which due to so-called bad neighbourhoods. To overcome this effect, we use Test C, which is similar to B, except the fact that we are looking for those two, confirmed by Tests A or B, point pairs which disparity is closest to disparity of pair we want to verify.

The matched point pairs confirmed by Tests A, B or C are then required to pass another geometric test (Test D or rigidity test), which verifies triangle similarity in the 3D space.

In this work we present some experimental results, which confirm these tests utility for matching point features.