ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: AUTOMATYKA z.97 Nr kol. 975

Konrad WOJCIECHOWSKI
Andrzej POLAŃSKI

WYNIKI NUMERYCZNYCH BADAŃ ALGORYTMU WYZNACZANIA PARAMETRÓW RUCHU[x)]

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań numerycznych algorytmu wyznaczania parametrów ruchu. Podano sposób generowania danych wejściowych, kryteria oceny pracy algorytmu oraz sklasyfikowano zbiór czynników wpływających na jego pracę. Dla wyróżnionych czynników wybrano zbiory wartości, w zakresie których prowadzono badania numeryczne. Badania wykazały poprawną pracę algorytmu w przypadku idealnego pola przemieszczeń, dużą wrażliwość na zakłócenia pola oraz zawartą w nim wielkość translacji.

1. Wprowadzenie

Wyznaczanie parametrów ruchu na podstawie pola przemieszczeń jest zadaniem trudnym. W aspekcie teoretycznym wiąże się to z brakiem dowodu na istnienie i jednoznaczność rozwiązania. Rezultaty przedstawione w [1] uzyskano dla zlinearyzowanej macierzy rotacji, stąd istnienie i jednoznaczność są zagwarantowane jedynie dla niewielkich wartości kątów. Problemem numerycznym jest podanie efektywnego algorytmu rozwiązania zadania. Algorytm nazywany dalej MP, podany w [3], opiera sie na dekompozycji pola przemieszczeń na pole rotacji i pole translacji oraz wykorzystuje procedurę minimalizacji względem wyznaczonych kątów funkcji określającej "jakość" składowego pola translacji. Na obecnym etapie badań brak jest danych teoretycznych odnośnie do minimalizowanej funkcji. Dotyczy to w szczególności warunków jej unimodalności oraz zależności od ewentualnych zakłóceń pola.

Podane powyżej fakty stanowią przesłankę do podjęcia badań numerycznych. Ich wyniki przedstawione w pracy potwierdzają ogólną poprawność badanego algorytmu MP. Wskazują również na istnienie tzw. przypadków trudnych, pojawiających się w szczególności przy jednoczesnym wyznaczaniu trzech kątów i niewielkich wartościach translacji. Wyniki te ukierunkowują dalsze teoretyczne badania nad algorytmem.

---

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

2. Algorytm wyznaczania parametrów ruchu

Informacją wejściową algorytmu wyznaczania parametrów ruchu jest pole przemieszczeń. Pole to jest określone przez parę macierzy (X, X'), gdzie:

$$X = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 \\ \multicolumn{2}{c}{\cdots\cdots} \\ X_n & Y_n \end{bmatrix} \qquad X = \begin{bmatrix} X_1' & Y_1' \\ \multicolumn{2}{c}{\cdots\cdots} \\ X_n' & Y_n' \end{bmatrix}$$

Wierszami macierzy X, X' są współrzędne rzutów zbioru punktów p_i, $i = 1, \ldots, n$ na płaszczyznę obrazu kamery przed i po jej przemieszczeniu.

Idea algorytmu polega na:

- rozkładzie, dla przyjętych kątów φ, ϑ, ψ, pola przemieszczeń (X, X') na pole obrotu (X, X^R) i pole translacji (X^R, X'), gdzie:

$$X^R = \begin{bmatrix} X_1^R, & Y_1^R \\ \multicolumn{2}{c}{\cdots\cdots\cdots} \\ X_n^R, & Y_n^R \end{bmatrix}$$

oraz

$$X_i^R = F \frac{(\cos\varphi\cos\vartheta\cos\psi - \sin\varphi\sin\psi)\, X_i + (\sin\psi\cos\vartheta\cos\psi - \cos\varphi\sin\psi)\, Y_i -}{\cos\varphi\sin\vartheta\, X_i + \sin\varphi\,\sin\vartheta\, Y_i + \cos\vartheta\,\cos\varphi\sin\vartheta X_i +} \tag{1}$$

$$\frac{-\ \sin\vartheta\cos\varphi}{+\ \sin\varphi\,\sin\vartheta\, Y_i + \cos\vartheta}$$

$$Y_i^R = F \frac{(-\cos\varphi\cos\vartheta\sin\psi - \sin\varphi\cos\psi)X_i + (-\sin\varphi\cos\vartheta\sin\psi)Y_i +}{\cos\varphi\sin\vartheta\, X_i + \sin\varphi\sin\vartheta\, Y_i + \cos\vartheta} \tag{2}$$

$$+ \frac{(\cos\varphi\cos\psi)\, Y_i + \sin\vartheta\sin\psi}{\cos\varphi\sin\vartheta\, X_i + \sin\varphi\sin\vartheta\, Y_i + \cos\vartheta}$$

$i = 1, \ldots, n$

- ocenie stopnia niezgodności pola (X^R, X') z polem translacji.

Miarą oceny jest kwadrat normy euklidesowej różnicy $E = \Delta - M\,W$ w punkcie $W^o = (M^TM)^{-1}\,M^T\Delta$. Macierze Δ i M określone są jako:

$$\Delta = \begin{bmatrix} X_1^R\,Y_1' - Y_1\,X_1' \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ X_n^R\,Y_n' - Y_n^R\,X_n' \end{bmatrix} \qquad M = \begin{bmatrix} Y_1' - Y_1^R, & Y_1^R - X_1' \\ \ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots \\ Y_n' - Y^R, & X^R - X_n' \end{bmatrix} \tag{3}$$

W przypadku gdy pole (X^R, X') jest polem translacji zachodzi, [3],

$\|E\|^2 = 0$

- poszukiwaniu minimum funkcji

$$f(\varphi, \vartheta, \psi, (X, X'), F) = \|E(W^o)\| = \|\Delta^T(I - M(M^TM)^{-1}M^T)\Delta\| \tag{4}$$

względem kątów φ, ϑ, ψ przy ustalonych (X, X'), F.

Podsumowując algorytm MP w sensie funkcjonalnym sprowadza się do minimalizacji funkcji (4) względem φ, ϑ, ψ przy podstawieniach (1), (2), (3) dla zadanego pola przemieszczeń (X, X') oraz ogniskowej F.

Przedstawiony powyżej skrótowy opis algorytmu MP miał na celu podkreślenie złożoności funkcji $f(\varphi, \vartheta, \psi, (X, X'), F)$.

3. Idea i organizacja badań numerycznych

Jak przypomniano w p.2, informację wejściową dla badanego algorytmu MP stanowi pole przemieszczeń (X, X'). W przeprowadzonych badaniach numerycznych pole to było generowane przez losowy wybór punktów p_i, $i = 1, \ldots, NPK$ w przestrzeni trójwymiarowej, stosowano generator o rozkładzie jednostajnym, wartości x_i, y_i, współrzędnych losowych punktów ograniczone były do przedziału $[-5, 5]$, $z_i \in [5, 10]$. Współrzędne punktów p_i przeliczono na współrzędne ich rzutów w płaszczyźnie obrazu według zależności:

$$X_i = F\,\frac{x_i}{z_i} \qquad Y_i = F\,\frac{y_i}{z_i} \qquad i = 1, \ldots, NPK \tag{5}$$

Współrzędne x_i', y_i', z_i' $i = 1, \ldots, NPK$ punktów p_i wyznaczano dla przyjętych wartości kątów φ_T, ϑ_T, ψ_T i przyjętego wektora translacji Δx, Δy, Δz według zależności:

$$\begin{bmatrix} x_i' \\ y_i' \\ z_i' \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix}, \tag{6}$$

a następnie przeliczano na współrzędne ich rzutów X_i, Y_i $i = 1,\dots,$ NPK, w płaszczyźnie obrazu kamery.

Informację wejściową dla algorytmu MP stanowią również początkowe wartości kątów φ, ϑ, ψ. W przeprowadzonych badaniach przyjmowano je zawsze jako zerowe.

Działanie algorytmu MP oceniano na podstawie:

- różnic $\varphi_T - \varphi$, $\vartheta_T - \vartheta$, $\psi_T - \psi$ pomiędzy rzeczywistymi wartościami kątów φ_T, ϑ_T, ψ_T a wartościami φ, ϑ, ψ wyznaczonymi z algorytmu,
- różnic $\Delta x_T/\Delta z_T - \Delta x / \Delta z$, $\Delta y_T/\Delta z_T - \Delta y / \Delta z$ pomiędzy rzeczywistymi względnymi wartościami składowych wektora translacji a wartościami wyznaczonymi z algorytmu, (wo1, wo2).
- wartości funkcji określającej jakość składowego pola translacji, (F)
- charakteru zbieżności kolejnych iteracji algorytmu MP.

W przypadku badanego algorytmu MP jego działanie, oceniane według wymienionych powyżej kryteriów, zależy od wielu parametrów (czynników). Są nimi:

- struktura wektora kątów. Określa ona, względem których z kątów φ, ϑ, ψ prowadzona jest minimalizacja, a które należy traktować jako dane,
- wartości kątów. Ze względu na nieliniowość minimalizowanej funkcji (4) wartości kątów φ_T, ϑ_T, ψ_T mają wpływ na przebieg procesu minimalizacji,
- struktura wektora translacji, Określa ona, które ze składowych wektora translacji są różne od zera. Ogólnie badana wersja algorytmu wymaga założenia $\Delta z \neq 0$,
- wartości składowych wektora translacji.

Ze względu na nieliniowość minimalizowanej funkcji (4) wartości Δx_T, Δy_T, Δz_T mają wpływ na przebieg procesu minimalizacji,

- liczba wektorów pola. Decyduje ona w połączeniu z ich przestrzennym rozkładem o uwarunkowaniu macierzy M^TM występującej w minimalizowanej funkcji,
- ogniskowa. Minimalizowana funkcja (4) jest nieliniowa również względem ogniskowej F kamery, stąd jej wpływ na działanie algorytmu,
- zakłócenia. Wprowadzono je dodając do wektorów wygenerowanego dla danych $\varphi_T, \vartheta_T, \psi_T$, Δx_T, Δy_T, Δz_T idealnego pola przemieszczeń (X, X') wielkości losowe,
- metoda minimalizacji. Podstawowym elementem algorytmu MP jest procedura minimalizacji funkcji (4). Jej wybór ma decydujący wpływ na działanie algorytmu.

Opisane powyżej czynniki warunkujące działanie algorytmu MP wraz z przyjętymi dla nich zbiorami wartości przedstawia tab. 1.

Na podstawie tab. 1 widać, że nie jest możliwe przebadanie działania algorytmu dla wszystkich możliwych kombinacji "wartości" wyróżnionych czynników. Stąd w przedstawionych dalej wynikach badań ograniczono się do pewnych tylko przypadków.

Tabela 1

Czynnik	Zbiór wartości
Struktura wektora kątów [-]	$(\varphi, 0, 0)$, $(\varphi, \vartheta, 0)$, $(\varphi, \vartheta, \psi)$
Wartość kąta [rad]	0.0, 0.05, 0.1, 0.2
Struktura wektora translacji [-]	$(0, 0, \Delta z)$, $(\Delta x, 0; \Delta z)$, $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$
Wartość składowej [cm]	0.0, 1.0, 4.0, 5.0
Liczba wektorów pola [-]	30, 60
Ogniskowa [cm]	1, 5, 20
Metoda minimalizacji [-]	Fletchera-Powella, Neldera-Meada

4. <u>Wyniki badań numerycznych</u>

Przedstawiane dalej wyniki ujęte są w postaci kolejnych tabel. Nagłówek każdej tabeli podaje "wartości" czynników, przy których prowadzono obliczenia.

1. <u>Wyznaczanie pojedynczego kąta w przypadku idealnym i przy występowaniu zakłóceń</u>

- Wartości kątów ϑ_T i ψ_T są ustalone, procedura minimalizacji prowadzona jest względem φ.
- Pole przemieszczeń jest dodatkowo zakłócane ze względną intensywnością $\sqrt{0.5}$ Dis/10.
- Metoda minimalizacji: Fletchera-Powella, dopuszczalna tolerancja EPS.

Tabela 1.1

$\vartheta_T = 0.0$; $\psi_T = 0.0$; NPK = 30, FOC = 1.0; DIS = 0.0; $\Delta x = 0.0$
$\Delta y = 0.0$; $\Delta z = 1.0$; EPS = 10^{-4}

φ_T \ Wyniki	φ	wo1	wo2	xF	Uwagi
0.0	0.00	-8.5e -8	-1.58e-7	1.67e-12	
0.05	0.05	1.85e-7	1.04e-7	2.17e-12	
0.1	0.10	-1.05e-7	-1.88e-7	7.47e-12	
0.15	0.15	-3.13e-8	-2.56e-7	3.78e-12	
0.2	0.20	1.41e-7	-6.01e-8	8.1e- 12	

Tabela 1.2

$\vartheta_T = 0.0, \quad \varphi_T = 0.0, \quad NPK = 30, \quad FOC = 1.0, \quad DIS = 0.1$
$\Delta x = 0.0, \quad \Delta y = 0.0, \quad \Delta z = 1.0, \quad EPS = 10^{-4}$

Wyniki / φ_T	φ	wo1	wo2	F	Uwagi
0.0	-.000491	-4.04e-2	4.29e-2	2.89e-1	
0.05	.04765	5.46e-2	1.14e-1	2.95e-1	
0.1	0.10024	1.08e-2	-3.76e-2	4.91e-1	
0.15	0.151369	7.22e-2	3.41e-2	2.09e-1	
0.2	0.20062	-4.03e-2	-1.20e-1	2.32e-1	

Wprowadzenie losowego zakłócenia o amplitudzie względnej $0.01\sqrt{5}$ (~0.7%) zakresu zmienności składowych wektora pola powoduje pojawienie się błędu wyznaczania kąta φ. Algorytm pracuje poprawnie.

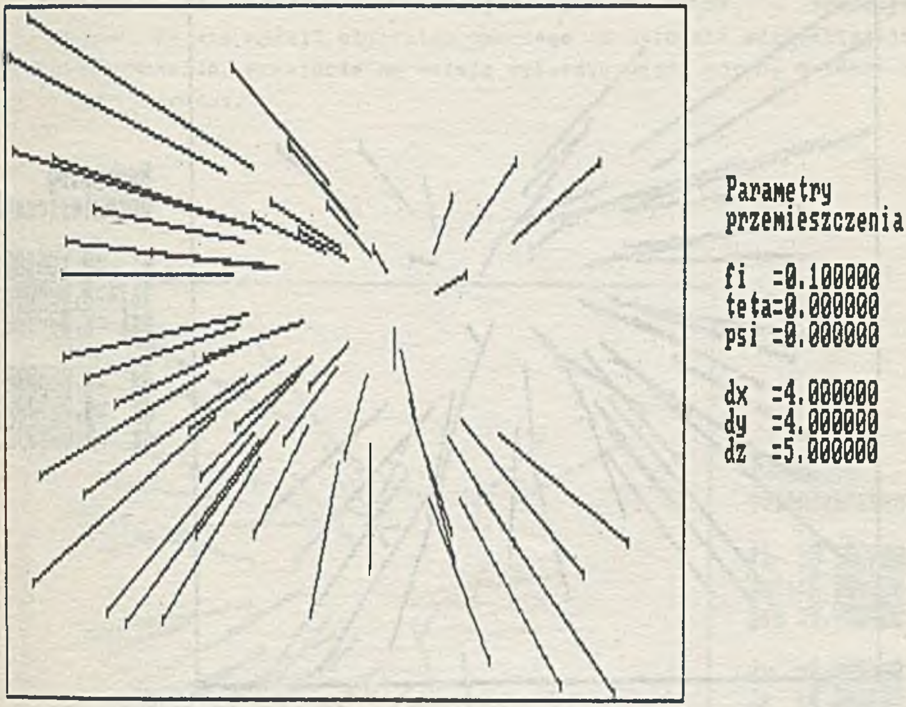
Tabela 1.3

$\vartheta_T = 0.0, \quad \varphi_T = 0.0, \quad NPK = 30, \quad EDC = 1.0$
$DIS = 1.0, \quad \Delta x = 0.0, \quad \Delta y = 0.0 \quad \Delta z = 1.0 \quad EPS = 10^{-4}$

Wyniki / φ_T	φ	wo1	wo2	F	Uwagi
0.0	0.008404	-7.875e-2	-5.97e-1	3.24e1	
0.05	0.01404	7.88e-1	-3.77e-1	1.72e1	
0.1	-	-	-	-	Nie uzyskano zbieżności po 50 iteracjach
0.15	0.181885	5.88e-1	3.53e-1	2.16e1	
0.2	0.2054	-1.313-1	-1.57e-1	1.53e1	

Wprowadzenie losowego zakłócenia o amplitudzie względnej $0.1\sqrt{5}$ (~7%) zakresu zmienności składowych wektora pola powoduje wyznaczanie kąta φ ze znacznym błędem, zaś w jednym z przypadków nie zaobserwowano zbieżności algorytmu.

Dla zilustrowania efektu losowego zakłócenia pola przemieszczeń na rys. 1, 2, 3 przedstawiono wektory tego pola uzyskane odpowiednio dla przypadku idealnego oraz przy zakłóceniach o amplitudach względnych $0.5\sqrt{0.5}/10$, $1\sqrt{0.5}/10$.

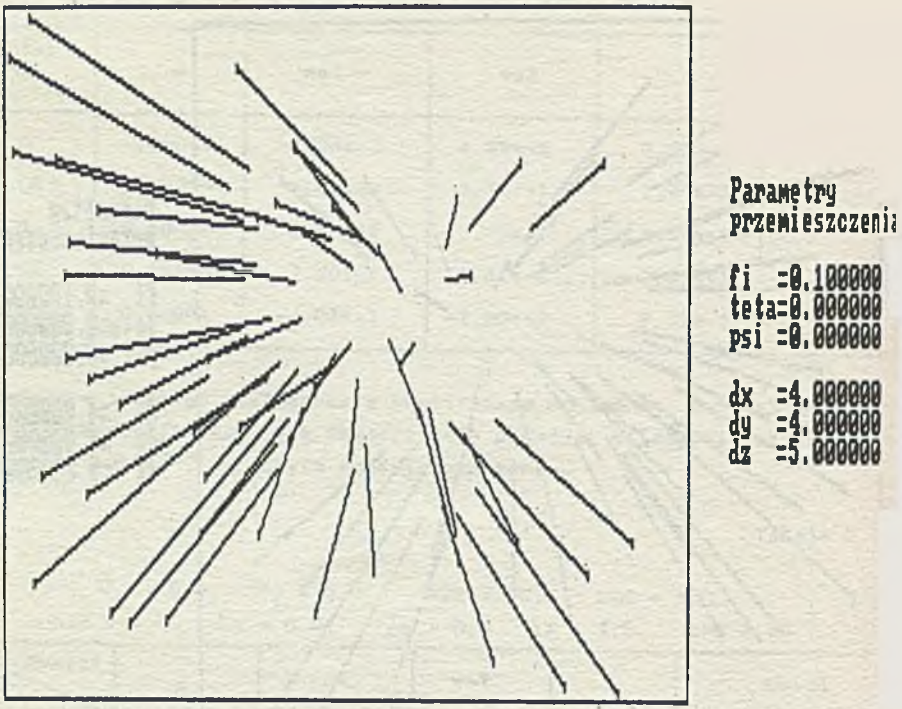


Rys. 1. Obraz idealnego pola przemieszczeń
Fig. 1. The image of the ideal displacement field

2. Wyznaczanie dwu kątów. Wpływ wielkości translacji na zbieżność procesu

- Wartość kąta ψ_T jest ustalona, procedura minimalizacji prowadzona jest względem φ i ϑ
- Pole przemieszczeń dodatkowo zakłócane ze względną intensywnością $\sqrt{0.5}$ DIS/10.
- Metoda minimalizacji : Fletchera-Powella, dopuszczalna tolerancja EPS.

W przypadku niezadowalającej zbieżności stosowano metodę minimalizacji Neldera-Meada (N.M.) z odnotowaniem w uwagach.



Rys. 2. Obraz pola przemieszczeń zakłócanego z intensywnością $0.5\sqrt{0.5}/10$
Fig. 2. The image of the ideal displacement field disturbed with intensity $\sqrt{0.5}/10$

Tabela 2.1

$\varphi_T = 0.0$, NPK = 30, FOC = 10, DIS = 0.0
$\Delta x = 0.0$, $\Delta y = 0.0$, $\Delta z = 1.0$, EPS = $1e^{-4}$
REQMIN = $1.0\ 10^{-10}$, STEP = 0.1

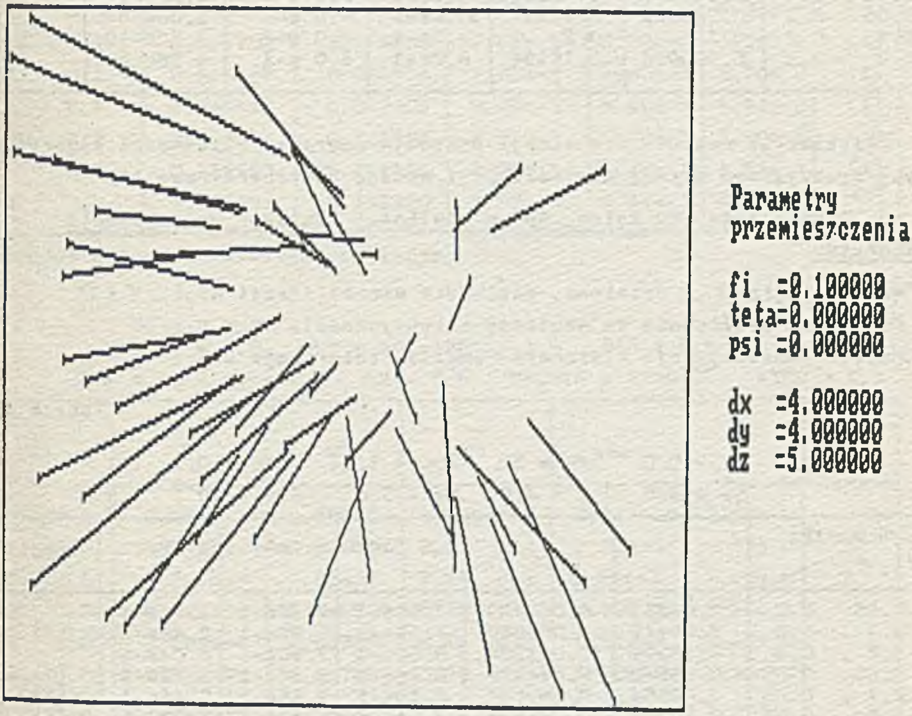
Wyniki / $\varphi_T\ \vartheta_T$	φ	ϑ	wo1	wo2	*F	Uwagi
0.0 ; 0.0	0.0	0.0	7.77e-8	-2.07e-7	1.80e-12	
0.02; 0.0	0.020006	0.003403	1.49e-2	-7.79e-4	7.00e-5	(1).
0.05; 0.0	0.05001	0.001789	8.09e-3	-4.09e-4	1.55e-5	(1)
0.1 ; 0.0	0.100052	0.005811	2.49e-2	-4.76e-4	2.62e-4	(1)
0.0 ; 0.02	-0.000102	-0.000056	-9.51e-2	1.18e-2	3.05e-3	(1)
0.0 ; 0.1	-0.012390	-0.00328	-8.05e-1	-9.46e-1	4.41e-1	(1)
0.02; 0.02	0.019966	-0.003135	-9.12e-2	-3.89e-3	7.30e-3	(1)
0.0 ; 0.02	0.00	0.0198991	-4.62e-4	-1.81e-5	4.89e-8	N.M
0.0 ; 0.02	0.00	0.099899	-4.22e-4	-1.58e-5	5.65e-8	N.M
0.02; 0.02	0.02	0.0199021	-4.46e-4	9.34e-6	4.74e-8	N.M.

gdzie:

N.M - zastosowano metodę minimalizacji Neldera-Meada

1) - proces iteracji wykazuje oscylacje

Zerowa wartość składowych translacji w kierunkach Ox, Oy powoduje złe zachowanie się wersji algorytmu opartego na metodzie minimalizacji Fletchera-Powella. Przejście na wersję wykorzystującą metodę Neldera-Meada usuwa trudności.



Rys. 3. Obraz pola przemieszczeń zakłócanego z intensywnością $\sqrt{0.5}/10$

Fig. 3. The image of the ideal displacement field disturbed with intensity $\sqrt{0.5}/10$

Tabela 2.2

ψ_T = 0.0, NPK = 30 FOC = 1.0, DIS = 0.0
Δx = 4.0, Δy = 4.0 Δz = 5.0 EPS = 10^{-4}

Wyniki / φ_T, ϑ_T	φ	ϑ	w01	w02	*F	Uwagi
0.05, 0.0	0.050002	-0.00003	8.0e-1	7.99e-1	2.25e-9	
0.1 0.0	0.10001	-0.00001	8.0e-1	8.0 e-1	4.61e-10	
0.2 0.0	0.20001	-0.00001	8.0e-1	8.0 e-1	2.62e-10	
0.0 0.05	0.0	0.05	8.0e-1	8.0 e-1	9.39e-12	
0.0 0.1	0.0	0.1	8.0e-1	8.0 e-1	1.28e-11	
0.0 0.2	0.0	0.2	8.0e-1	8.0 e-1	1.09e-10	
0.05 0.05	0.05	0.05	8.0e-1	8.0 e-1	1.65e-12	
0.05 0.1	0.049997	0.10000	8.0e-1	8.0 e-1	3.52e-9	
0.05 0.2	0.049999	0.19999	8.0e-1	8.0 e-1	2.08e-8	
0.1 0.2	0.1	0.2	8.0e-1	8.0 e-1	2.32e-10	
0.2 0.2	0.200003	0.19994	8.0e-1	8.0 e-1	1.88e-6	

Zwiększenie wektora translacji powoduje poprawę zbieżności algorytmu wykorzystującego metodę minimalizacji według Fletchera-Powella.

3. Wyznaczanie dwu kątów. Wpływ wielkości zakłóceń na działanie algorytmu

- Wartość kąta ψ_T ustalona, procedura minimalizacji wzgl. φ i ϑ
- Dodatkowe zakłócenie ze względną intensywnością 0.5 DIS/10
- Metoda minimalizacji Fletchera-Powella, tolerancja EPS

Tabela 3.1

ψ_T = 0.0 NPK = 30 FOC = 1.0, DIS = 0.1
Δx = 4.0 Δy = 4.0 Δz = 5.0 EPS = 10^{-3}

Wyniki / φ_T, ϑ_T	φ	ϑ	w01	w02	*F	Uwagi
0.05, 0.0	0.05253	-0.004729	7.55e-1	7.72e-1	1.75e-1	
0.1 , 0.0	0.09142	0.005880	7.99e-1	7.98e-1	2.42e-1	(1)
0.2 , 0.0	0.19999	10.001204	8.06e-1	7.90e-1	6.04e-1	
0.05, 0.05	0.05540	0.038825	8.14e-1	8.14e-1	1.79e-1	(1)
0.1 , 0.05	0.09964	0.049034	8.30e-1	7.95e-1	5.81e-1	(1)
0.2 , 0.05	0.19187	0.056676	7.91e-1	8.12e-1	3.57e-1	(1)
0.05, 0.1	0.05328	0.093200	7.79e-1	8.39e-1	1.84e-1	
0.1 , 0.1	0.10550	0.106197	8.30e-1	7.50e-1	9.10e-1	(1)
0.2 , 0.1	0.19323	0.107327	7.60e-1	8.06e-1	4.02e-1	
0.05, 0.2	0.07798	0.181059	9.37e-1	7.103-1	3.78e-e	(1)
0.1 , 0.2	0.08743	0.187554	8.22e-1	8.76e-1	1.28e o	(1)
0.2 , 0.2	0.22168	0.182898	9.17e-1	7.17e-1	3.81e o	(1)

Tabela 3.2

$\varphi_T = 0.0$ NPK = 30   FOC = 1.0   DIS = 0.5
$\Delta x = 4.0$ $\Delta y = 4.0$ $\Delta z = 5.0$ EPS = 10^{-3}

Wyniki φ_T, ϑ_T		φ	ϑ	w01	wo2	*F	Uwagi
0.05,	0.0	0.057275	-0.003882	8.17e-1	7.32e-1	1.52e 1	(1)
0.1	0.0	0.136396	-0.073868	9.03e-1	7.38e-1	4.55e 0	(1)
0.2	0.0	0.237301	-0.05775	6.78e-1	7.22e-1	8.68e 0	(1)
0.05	0.05	0.092407	0.002794	8.64e-1	8.48e-1	5.36e 0	(1)
0.1	0.05	0.120519	0.029608	8.67e-1	8.11e-1	6.67e 0	(1)
0.2	0.05	0.266211	-0.015220	8.53e-1	7.76e-1	9.29e 0	(1)
0.05	0.1	0.068700	0.106900	8.85e-1	8.70e-1	7.58e 0	(1)
0.1	0.1	0.141438	0.022461	7.27e-1	7.40e-1	1.70e 0	(1)
0.2	0.1	0.234417	0.047109	9.09e-1	8.59e-1	4.94e 0	(1)
0.05	0.2	0.163581	0.551626	4.52e-1	1.30e-1	2.70e [illegible]	(1)
0.1	0.2	0.138127	0.101828	9.96e-1	9.27e-1	1.34e 1	(1)
0.2	0.2	0.231991	0.192460	9.92e-1	9.64e-1	4.63e 1	(1)

1) proces iteracji wykazuje oscylację.

Tabela 3.3

$\varphi_T = 0.0$ NPK = 30   FOC = 1.0   DIS = 0.5
$\Delta x = 4.00$ $\Delta y = 4.0$ $\Delta z = 5.0$ REQMIN = 1.10^{-10} STEP = 0.1

φ_T, ϑ_T		φ	ϑ	w01	w02	*F	Uwagi
0.05	0.0	0.055722	0.00006	1.026 e 0	9.21e-10	1.62e 0	
0.1	0.0	0.088524	-0.[illegible]2005	8.01 e-1	7.61e-1	6.15e 0	
0.2	0.0	0.223146	-0.03412	7.39 e-1	6.84e-1	7.07e 0	
0.05	0.05	0.077398	0.020529	8.50 e-1	6.89e-1	1.74e 1	
0.1	0.05	0.086906	0.017577	8.05 e-1	8.12e-1	7.45e 0	
0.2	0.05	0.226897	0.017060	7.79 e-1	6.40e-1	7.19e 0	
0.05	0.[illegible]	0.069820	0.022342	8.40 e-1	8.92e-1	1.37e 1	
0.1	0.1	0.125254	0.051907	6.87 e-1	7.91e-1	1.19e 1	
0.2	0.1	0.246064	0.068770	9.31 e-1	4.32e-1	1.08e 1	
0.05	0.2	0.082251	0.128888	7.35 e-1	9.34e-1	8.44e 0	
0.1	0.2	0.163712	0.114989	8.79 e-1	7.46e-1	9.32e 0	
0.2	0.2	0.268406	0.140894	8.25 e-1	6.19e-1	9.59e 0	

Zastosowanie metody minimalizacji Neldera-Meada powoduje uzyskanie zadowalającej zbieżności przy wartościach błędów zbliżonych jak w metodzie minimalizacji F-P.

4. <u>Wyznaczanie trzech kątów. Wpływ wielkości zakłóceń na działanie algorytmu</u>

- Procedura minimalizacji względem φ, ϑ, ψ
- Dodatkowe zakłócanie pola ze względną intensywnością 0.5 DIS/10.
- Metoda minimalizacji Neldera-Meada.

Tabela 4.1

NPK = 3.0 FOC = 1.0 DIS = 0.1

Δx = 4.0 Δy = 4.0 Δz = 5.0 ROMIN = 10^{-10} STEP = 0.1

φ_T, ϑ_T, ψ_T	φ	ϑ	ψ	wo1	wO2	*F
0.0 0.0 0.1	-1.035359	0.009774	1.132297	8.24e-1	8.05e-1	5.72e-1
0.0 0.0 0.2	0.141971	0.001820	0.058926	8.73e-1	7.29e-1	2.72e-1
0.0 0.1 0.0	-0.262777	0.085904	0.269338	8.55e-1	7.62e-1	4.62e-1
0.0 0.1 0.1	-0.206815	0.1117216	0.2943727	7.85e-1	7.86e-1	7.44e-1
0.0 0.1 0.2	0.021906	0.104212	0.164605	7.98e-1	8.31e-1	3.80e-1
0.0 0.2 0.0	0.028094	0.189744	-0.018951	8.32e-1	7.77e-1	6.51e-1
0.0 0.2 0.1	-0.061756	0.193145	0.170416	7.96e-1	7.46e-1	1.04e 0
0.0 0.2 0.2	0.027997	0.190498	0.1810188	8.52e-1	8.40e-1	1.02e 0
0.0 0.1 0.0	-0.120080	0.108309	0.2078433	7.86e-1	7.89e-1	7.47e-1
0.1 0.1 0.1	0.243352	0.104464	-0.043388	7.92e-1	7.96e-1	9.13e-1
0.1 0.1 0.2	0.122003	0.081761	0.18771	7.70e-1	8.08e-1	6.30e-1
0.1 0.2 0.2	0.07878	0.175635	0.218659	8.69e-1	8.53e-1	1.34e 0

Tabela 4.2

NPK = 30 FOC = 1.0 DIS = 0.0

Δx = 4.0 Δy = 4.0 Δz = 5.0 RQMIN = 10^{-10} STEP = 0.1

φ_T; ϑ_T, ψ_T	φ	ϑ	ψ	wo1	wo2	*F	Uwagi
0.0 0.0 0.1	0.050000	0.000000	0.050000	7.99e-1	8.00e-1	1.52e-5	
0.0 0.0 0.2	0.076853	0.000014	0.123034	7.99e-1	8.00e-1	2.11e-5	
0.0 0.1 0.0	0.000275	0.100053	-0.000353	7.99e-1	8.00e-1	4.65e-6	
0.0 0.1 0.1	0.000235	0.100037	0.099670	7.99e-1	8.00e-1	1.24e-5	
0.0 0.1 0.2	0.000397	0.100019	0.199534	8.01e-1	8.01e-1	9.97e-6	
0.0 0.2 0.0	0.000030	0.199997	-0.000117	8.00e-1	8.0 e-1	1.98e-5	
0.0 0.2 0.1	-0.000891	0.199787	0.100860	7.99e-1	8.00e-1	-	(1)
0.0 0.2 0.2	-0.000006	0.199917	0.199993	8.00e-1	8.00e-1	1.31e-5	
0.1 0.1 0.0	0.099969	0.100012	-0.000009	7.99e-1	8.00e-1	1.51e-5	
0.1 0.1 0.1	0.100000	0.100000	0.099900	7.99e-1	8.00e-1	1.08e-5	
0.1 0.1 0.2	0.099834	0.100018	0.200047	7.89e-1	8.00e-1	1.36e-5	
0.1 0.2 0.2	0.10000	0.199997	0.19982	8.00e-1	8.00e-1	2.13e-5	

5. Wnioski końcowe

Przeprowadzone badania numeryczne potwierdzają poprawne działanie algorytmu MP. Najłatwiejszy jest przypadek wyznaczania jednego kąta przy braku zakłóceń oraz dużych wartościach składowych wektora translacji.

W przypadku wzrostu poziomu zakłóceń wersja algorytmu wykorzystująca metodę minimalizacji F-P wykazuje tendencję do zatrzymywania się w punktach nie będących minimum globalnym. Proces kolejnych iteracji wykazuje duże oscylacje związane prawdopodobnie ze skomplikowanym kształtem minimalizowanej funkcji. Powyższe zjawiska znikają w wyniku zastosowania metody minimalizacji Neldera-Meada.

W przypadku wyznaczania trzech kątów, wartości φ, ψ są wzajemnie substytutywne. Zjawisko to jest poprawne i wiąże się to z przyjętą definicją kątów φ, ϑ, ψ.

LITERATURA

[1] Fang J.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.

[2] Horn B.K.P., Schunck B.G.: Determining optical flow. Artificial Intelligence, vol. 17, 1981, pp.185-203.

[3] Polański A.: Algorytm wyznaczania parametrów ruchu na podstawie pola przemieszczeń. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., (przyjęte do druku).

[4] Prazdny K.: Determining the instantaneous direction of motion from optical flow generated by courvilineary moving observer. Comput Graphics and Image Processing, vol. 17, 1981, pp.238-248.

[5] Tsai R.Y., Hwang T.H., Zha Wei-le: Estimating three-dimensional motion parameters of a rigid planar patch, II: Singular value decomposition. IEEE Trans., Acoust., Speed, Signal Processing, vol. ASSP-29, 1981, pp.1147-1152.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Mariusz Nieniewski

Wpłynęło do Redakcji 3.11.1987 r.

РЕЗУЛЬТАТЫ МАШИННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНЯ

Р е з ю м е

В работе представляются результаты машинных исследований алгоритма определения параметров движения. Дан способ генерирования входных данных, критерии оценки действия алгоритма а также классификация множества факторов влияющих на его работу. Для указанных факторов выбраны множества величин, в диапазоне которых производились машинные исследования. Исследования показали исправную работу алгоритма в случае идеального поля перемещений, большую чуствивтельность на возмущения поля а также имеющуюся в нем величину трансляции.

RESULTS OF NUMERICAL TESTS OF THE ALGORITHM
FOR MOTION PARAMETERS ESTIMATION

S u m m a r y

Results of numerical tests of the algorithm for motion parameters estimation are presented. A way of input data generation, performance criteria of the algorithm and classification of factors effecting its operation are discussed. The ranges of values for indicated factors are chosen for the numerical experiments. The test indicate a correct operation of the algorithm in the case of an ideal displacement field, grat sensitivity to the field disturbances and the enclosed value of translation.