

Andrzej ORDYS

NUMERYCZNE WYZNACZANIE POLA PRĘDKOŚCI
NA PODSTAWIE ANALIZY PRZESUNIĘTYCH
W CZASIE OBRAZÓW BINARNYCH^{x)}

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań nad możliwością wyznaczenia pola prędkości - na podstawie sekwencji obrazów uzyskanych za pomocą kamery Micron-Eye i analizowanych za pomocą komputera IBM PC. Metoda, której idea pochodzi z pracy [1], została opisana w [5]. Badania przeprowadzono dla dwóch przypadków:

- 1) komputerowa symulacja ruchu obrazu,
- 2) fotografowanie rzeczywistego ruchu obiektów na scenie.

Uzyskane rezultaty wskazują z jednej strony na możliwość detekcji parametrów ruchu obiektu na podstawie pola prędkości, z drugiej strony jednak na duże trudności obliczeniowe wynikające głównie z ograniczeń sprzętowych.

1. Wstęp

Przez pole prędkości będziemy rozumieć odwzorowanie przyporządkowujące każdemu punktowi obrazu wektor prędkości tego punktu. Pojęcie to, pochodzące z mechaniki klasycznej, pojawia się w teorii rozpoznawania obrazów w związku z problemem ruchu obiektów na scenie. W pracy [3] wysunięto tezę, że analiza pola prędkości jest mechanizmem umożliwiającym widzenie ruchu organizmom żywym. Teza ta sugerowała wykorzystanie analogicznego sposobu postępowania dla układów ze sztuczną inteligencją automatycznie rozpoznających obrazy.

Uwaga: W literaturze na określenie pola prędkości, stosuje się także czasem pojęcie "przepływ optyczny".

Przeniesienie pojęcia pola prędkości na grunt teorii rozpoznawania obrazów wymaga jego pewnej modyfikacji. Otóż detekcja ruchu możliwa jest tylko w tych punktach obrazu, w których następuje wyraźna zmiana stopnia szarości. Punkty te to zazwyczaj krawędzie obiektów występujących na scenie. Tak więc pole prędkości może być przyporządkowane tylko punktom krawędzi poruszającego się obiektu. Wynika stąd natychmiast wniosek, że nie jest możliwa detekcja ruchu obiektu wzdłuż swojej krawędzi.

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

Problem ten był omawiany w pracach [1], [4]. W konsekwencji obserwacja przesuniętych w czasie obrazów dostarcza informacji jedynie o składowej wektora prędkości prostopadłej do krawędzi. Wyznaczenie pełnego wektora prędkości wymaga dodatkowych założeń, takich jak na przykład:

- założenie o znajomości wektora prędkości w kilku punktach krawędzi,
- założenie o znajomości odpowiedniości punktów na obrazach: pierwotnym i przesuniętym,
- założenie o maksymalnej gładkości pola prędkości.

Założenia te były omawiane w pracach [1], [4].

W pracy [5] przedstawiono propozycję algorytmu wyznaczania pola prędkości w układach ze sztuczną inteligencją. Propozycja ta wykorzystywała pewne idee zawarte w pracy [1], dotyczącej mechanizmu detekcji ruchu przez organizmy żywe.

Praca niniejsza stanowi sprawozdanie z prób nad praktyczną implementacją algorytmu przedstawionego w pracy [5]. Do prób wykorzystywano stanowiska złożone z kamery Micron-Eye, połączonej z komputerem IBM-PC. W celu uzyskania efektu ruchu obiektu stosowano dwie techniki:

- obraz sfotografowany przez kamerę był przesuwany przy użyciu specjalnej procedury komputerowej,
- porównywane były dwa zdjęcia pochodzące z kamery i przedstawiające dwie fazy ruchu.

Treść pracy jest następująca.

Rozdział drugi zawiera opis algorytmu określania składowej prostopadłej pola prędkości. Wskazuje też na ograniczenia związane z numeryczną realizacją algorytmu.

Rozdział trzeci stanowi krótkie omówienie programu komputerowego, który został napisany w języku C.

W rozdziale czwartym przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań.

Wreszcie rozdział piąty stanowi podsumowanie i pewną próbę wyciągnięcia wniosków odnośnie do przydatności prezentowanego algorytmu.

2. Opis algorytmu

W pracy [2] sugeruje się, że użytecznym operatorem przetworzenia wstępnego obrazu dla potrzeb detekcji przemieszczeń jest laplasjan z funkcji Gaussa. Laplasjan z dwuwymiarowej funkcji Gaussa wyraża się wzorem:

$$I(x,y) = e^{(-ax^2-ay^2)} [1 - a(x^2+y^2)] \quad (1)$$

Odpowiada to następującej, przeskalowanej funkcji Gaussa:

$$G(x,y) = -\frac{1}{4a} e^{(-ax^2-ay^2)} \quad (2)$$

W realizacji komputerowej konieczna jest dyskretyzacja funkcji danej wzorem (1) i dokonanie jej splotu z funkcją obrazu. Zakłada się, że odległe składniki splotu mają bardzo niewielki wpływ na wartość sumy i mogą być pominięte. W konsekwencji spłot ogranicza się do maski o niewielkim wymiarze przesuwanej się po obrazie. W programie zastosowano dwa alternatywne wymiary maski: 9×9 i 17×17 . Z wymiarem maski związany jest zakres przemieszczeń, które są prawidłowo analizowane przez algorytm. W celu ilustracji tego problemu rozważmy uproszczony przypadek jednowymiarowego obrazu. Spłot laplasjanu z funkcji Gaussa z funkcją skoku jednostkowego (obrazującą idealną krawędź obiektu) ma postać:

$$s(x) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-at^2} \left[\frac{1}{2} - at^2 \right] \mathbf{1}(x-t) dt = \frac{1}{2} x e^{-ax^2} \quad (3)$$

Zakres przemieszczeń prawidłowo analizowanych przez algorytm rozciąga się między minimum i maksimum funkcji, to znaczy między wartościami:

$$x_{\min} = -\frac{1}{\sqrt{2a}}, \quad x_{\max} = \frac{1}{\sqrt{2a}} \quad (4)$$

Jak widać, zakres ten jest zależny od współczynnika a . Z kolei wartość współczynnika a wynika z przyjętego rozmiaru maski, gdyż musi być dobrana tak, by pomijana część splotu była mała. W przypadku dyskretnym warunek ten realizuje się poprzez "zbilansowanie" maski, to znaczy zapewnienie, że suma wszystkich elementów w masce wynosi zero. Dla masek o wymiarach 9×9 i 17×17 zakresy prawidłowo analizowanych przemieszczeń wynoszą odpowiednio:

$$x_1 = \pm 3 \text{ pixele}, \quad x_2 = \pm 4 \text{ pixele} \quad (5)$$

W przeprowadzonych badaniach używano także, dla porównania, innego operatora przetwarzania wstępnego obrazu, a mianowicie operatora uśredniania. Operator ten zrealizowano za pomocą maski o wymiarach 9×9 pixeli, złożonej z samych jedynek. Można łatwo pokazać, że dla takiego operatora zakres dopuszczalnych przemieszczeń obiektu wynosi:

$$\Delta x = \pm \frac{1}{2} d, \quad (6)$$

gdzie d jest rozmiar maski. Dla $d = 9$ dopuszczalne były przemieszczenia o ± 4 pixele.

Następnym elementem algorytmu jest wyznaczanie krawędzi obiektów znajdujących się na scenie. Wstępnie testowane były dwie metody wyznaczania krawędzi opisane w pracy [5]. Pierwsza z nich polega na wyznaczeniu punktów, w których funkcja obrazu (powstała w wyniku splotu funkcji szarości

z laplasjanem z funkcji Gaussa) przechodzi przez zero (zmienia znak). Analiza wzoru (3) prowadzi do wniosku, że wyznaczone w ten sposób punkty należą do krawędzi obiektu. Drugą metodą była metoda uśrednionego gradientu z izotropowymi funkcjami wagowymi. W metodzie tej przynależność punktu do krawędzi stwierdza się po obliczeniu w tym punkcie splotów funkcji obrazu z dwiema maskami reprezentującymi idealne elementy brzegowe (poziomy i pionowy). Po przeprowadzonych testach wybrano drugą z metod określania krawędzi obiektów z następujących powodów:

- punkty krawędzi uzyskane metodą pierwszą zawsze należały do zbioru punktów uzyskanych metodą drugą;
- metoda druga umożliwia jednocześnie z wyznaczeniem współrzędnych punktu krawędzi określenia kierunku prostopadłego do krawędzi;
- metoda pierwsza nie nadaje się do przypadku, gdy operacją wstępnego przetwarzania jest uśrednianie.

Po dokonaniu wstępnego przetwarzania obrazu pierwotnego i obrazu przesuniętego w czasie oraz po wyznaczeniu krawędzi obrazu pierwotnego można przystąpić do obliczenia składowej prostopadłej pola prędkości. W tym celu należy odjąć wartości funkcji obrazu pierwotnego od wartości funkcji obrazu przesuniętego. Wielkość tej różnicy świadczy o chwilowej prędkości obiektu w danym punkcie pod warunkiem, że punkt znajduje się w zakresie liniowości operatora zastosowanego do przetwarzania wstępnego, co znaczy, że znajduje się na krawędzi obiektu lub w jej pobliżu. Szczegóły są opisane w pracy [5]. Dla każdego z punktów krawędzi obrazu pierwotnego długość składowej wektora prędkości prostopadłej do krawędzi oblicza się ze wzoru:

$$v = - \frac{\frac{\partial f(x,y)}{\partial t}}{|\nabla f(x,y)|} \approx - \frac{f_2(x,y) - f_1(x,y)}{\Delta t \cdot |\nabla f_1(x,y)|} \quad (7)$$

gdzie:

- $f_1(x,y)$ - funkcja obrazu pierwotnego,
- $f_2(x,y)$ - funkcja obrazu przesuniętego,
- $|\nabla f_1(x,y)|$ - wielkość gradientu funkcji obrazu pierwotnego na kierunku prostopadłym do krawędzi,
- Δt - przesunięcie w czasie między analizowanymi obrazami.

3. Program komputerowy

Program realizujący opisany wyżej algorytm został napisany w języku C na komputer osobisty IBM PC. Program umożliwia wybór fragmentu obrazu, który zostanie poddany dalszej analizie oraz wybór jednej z trzech opisanych wyżej funkcji przetwarzania wstępnego obrazu.

Program realizuje następującą sekwencję operacji:

- a) wyznaczenie krawędzi na wybranym fragmencie obrazu pierwotnego oraz wyznaczenie w każdym punkcie krawędzi kierunku prostopadłego do krawędzi;
- b) spłot wybranego fragmentu obrazu pierwotnego z wybraną maską;
- c) dyskretyzacja krawędzi uzyskanych w punkcie a);
- d) obliczenie gradientu funkcji obrazu pierwotnego na kierunku prostopadłym do krawędzi w punktach zdyskretyzowanej krawędzi;
- e) spłot odpowiedniego fragmentu obrazu przesuniętego z wybraną maską;
- f) odjęcie funkcji obrazu pierwotnego od funkcji obrazu przesuniętego;
- g) obliczenie i narysowanie składowej prostopadłej pola prędkości w punktach zdyskretyzowanej krawędzi.

Uwaga 1: Dyskretyzacja krawędzi, o której mowa w punkcie o, polega na eliminacji pewnych punktów krawędzi tak, by pozostałe były równomiernie rozłożone wzdłuż brzegu obiektu. Ma to na celu ułatwienie wizualnego odbioru narysowanego pola prędkości. Dyskretyzacja została przeprowadzona zmodyfikowaną metodą hierarchiczną analizy skupień.

Uwaga 2: W grafice stosowanej na komputerach IBM PC punkty w osi poziomej są około 2,3 raza bardziej zagęszczone niż punkty w osi pionowej. Rezultatem tego jest deformacja rysowanych kątów. Zdecydowano się nie usuwać tego efektu w programie, gdyż uważano, że wartość kąta na rysunku jest wielkością wtórną, natomiast wielkością podstawową jest rzeczywisty kierunek przemieszczenia obiektu.

4. Opis przeprowadzonych badań

Stanowisko badawcze składało się z kamery Micron-Eye połączonej z komputerem IBM PC. Kamera przesyła do komputera obraz, który jest umieszczony w pamięci ekranu. Wymiary obrazu mogą być różne, jednakże we wszystkich przeprowadzonych doświadczeniach stosowano maksymalny wymiar, który wynosi 640x128 pixeli.

Przeprowadzone próby można podzielić na dwie grupy.

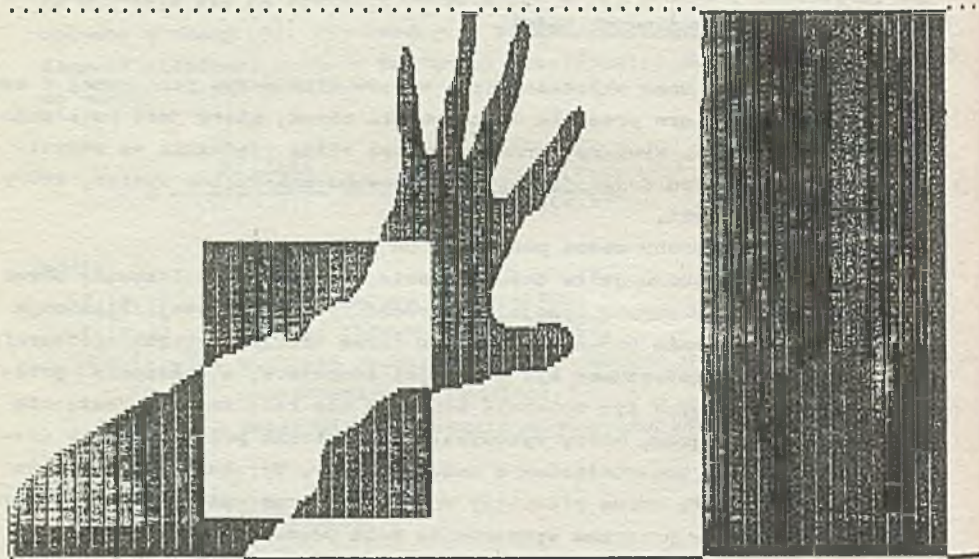
Grupa pierwsza obejmuje te doświadczenia, w których analizowany obraz był przesuwany przy użyciu specjalnej procedury komputerowej. Eliminuje to wszelkie zakłócenia pojawiające się w torze wizyjnym. Obraz sfotografowany przez kamerę umieszczony był w pamięci komputera, a następnie przesyłany na dyskietkę. W tym momencie kończyła się rola kamery. Następnie wywoływany był program, który wykonywał kopię obrazu pochodzącego z dyskietki, jednakże z przesunięciem o zadany wektor. Uzyskane w ten sposób dwa obrazy stanowiły obraz pierwotny oraz obraz przesunięty i były informacją wejściową dla programu wyznaczania pola prędkości.

Grupa druga obejmuje te doświadczenia, w których zarówno obraz pierwotny jak i obraz przesunięty pochodziły z kamery. W tym przypadku obraz sfotografowany przez kamerę umieszczony był na dyskietce i stanowił obraz pierwotny. Po pewnym czasie, w którym następowało przemieszczenie

pewnych obiektów na scenie, wykonywano ponownie fotografię za pomocą kamery i uzyskany obraz zapamiętywano na dyskietce jako obraz przesunięty.

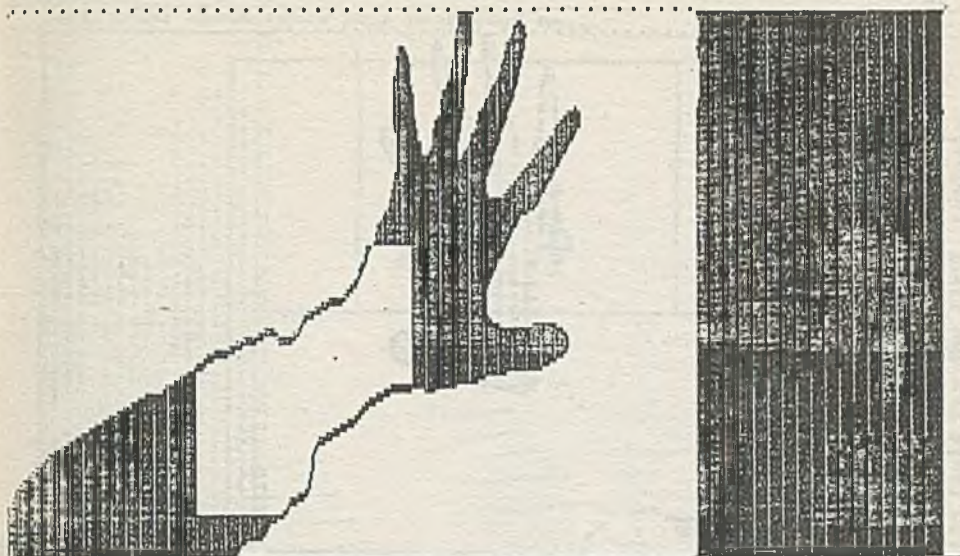
We wszystkich doświadczeniach zastosowano wstępnie uśrednianie i progowanie obrazu w celu zmniejszenia wpływu zakłóceń w torze wizyjnym. Obrazy zapamiętywane na dyskietce miały dwa poziomy szarości 0 - 1. Wynika to z możliwości graficznych komputera IBM PC i z własności kamery Micron-Eye.

Rysunki od 1 do 8 ilustrują pierwszą wersję doświadczenia - z przesunięciem obrazu symulowanym przez komputer. Cały obraz został przesunięty o jeden pixel pionowo w górę. Rysunek 1 przedstawia obraz pierwotny z zaznaczonym fragmentem, który podlegał dalszemu przetwarzaniu. Na rys. 2 pokazano krawędzie wyznaczone przez program w wybranym fragmencie obrazu. Te same krawędzie w powiększeniu widzimy na rys. 3. Rysunki 4 i 5 przedstawiają wynik dyskretyzacji krawędzi. Pola prędkości zaznaczono na rysunkach 6,7,8. Rysunek 6 przedstawia przypadek, gdy do wstępnego przetwarzania obrazu zastosowano laplasjan z funkcji Gaussa w masce o wymiarach 9×9 . Efekt zastosowania maski 17×17 przedstawia rys. 7. Wreszcie na rys. 8 pokazano pole prędkości dla przypadku, gdy obraz został spleciony z maską o wymiarach 9×9 , złożoną z samych jedynek. Jak widać, uzyskane wyniki są niemal identyczne. Przesunięcie mieściło się w zakresie dopuszczalnych przesunięć dla każdego z operatorów. Sposób prowadzenia doświadczenia wykluczy możliwość zakłóceń. Uzyskane pole prędkości odpowiada oczekiwaniom wynikającym z rozważań teoretycznych.



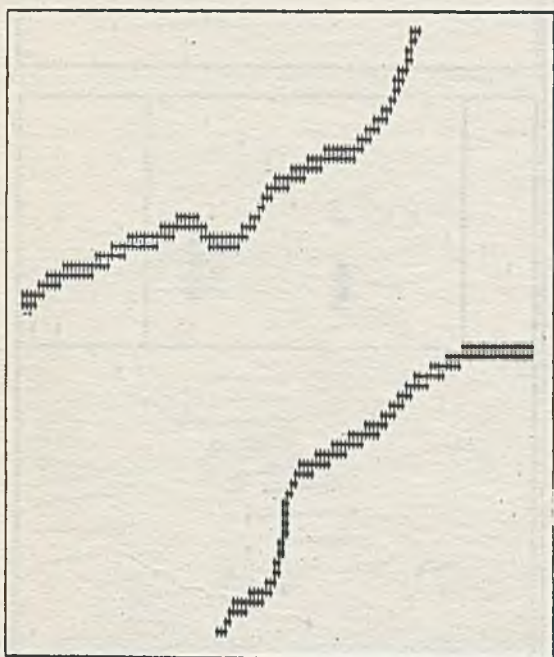
Rys. 1. Symulacja przesunięcia obrazu w komputerze. Obraz pierwotny, wybór fragmentu

Fig. 1. Simulation of image displacement in the computer. Primary image, choice of a fragment



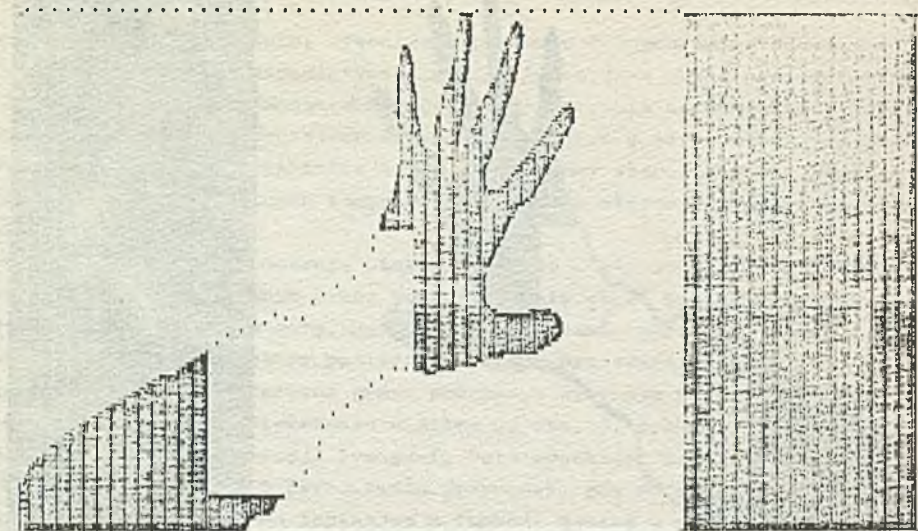
Rys. 2. Symulacja przesunięcia obrazu w komputerze. Krawędzie w wybranym fragmencie

Fig. 2. Simulation of image displacement in the computer. Edges in chosen fragment

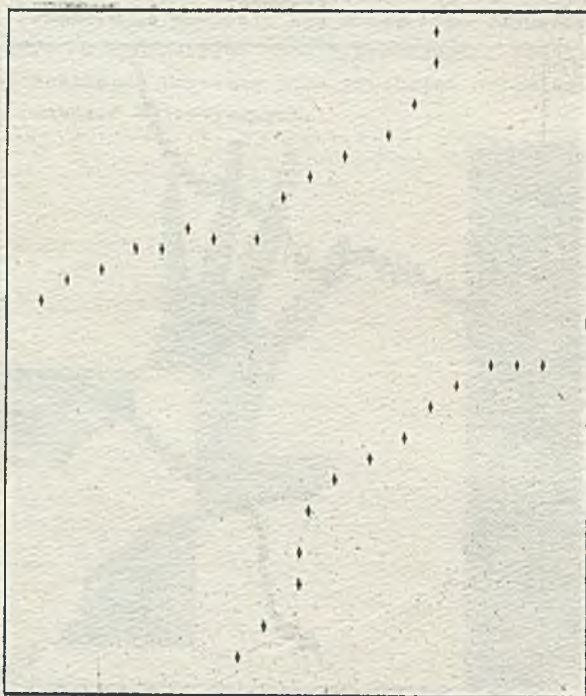


Rys. 3. Symulacja przesunięcia obrazu w komputerze. Powiększenie krawędzi

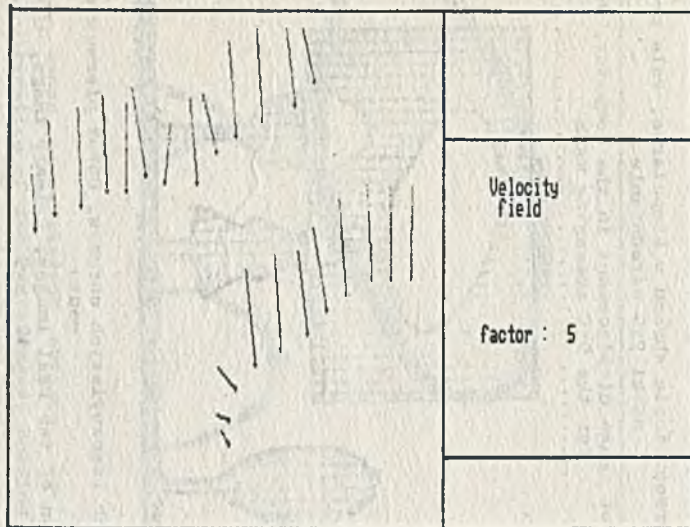
Fig. 3. Simulation of image displacement in the computer. Edges zooming



Rys. 4. Symulacja przesunięcia obrazu w komputerze. Dyskretyzacja krawędzi
 Fig. 4. Simulation of image displacement in the computer. Edges discretization

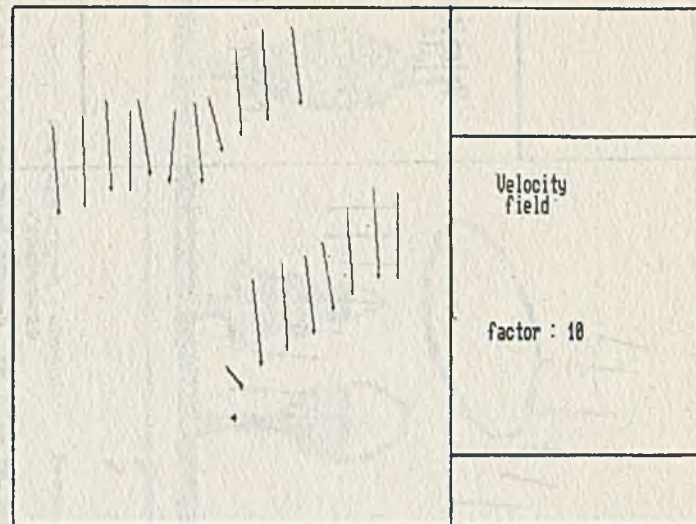


Rys. 5. Symulacja przesunięcia obrazu w komputerze. Dyskretyzacja krawędzi - powiększenie
 Fig. 5. Simulation of image displacement in the computer. Edges discretization-zooming



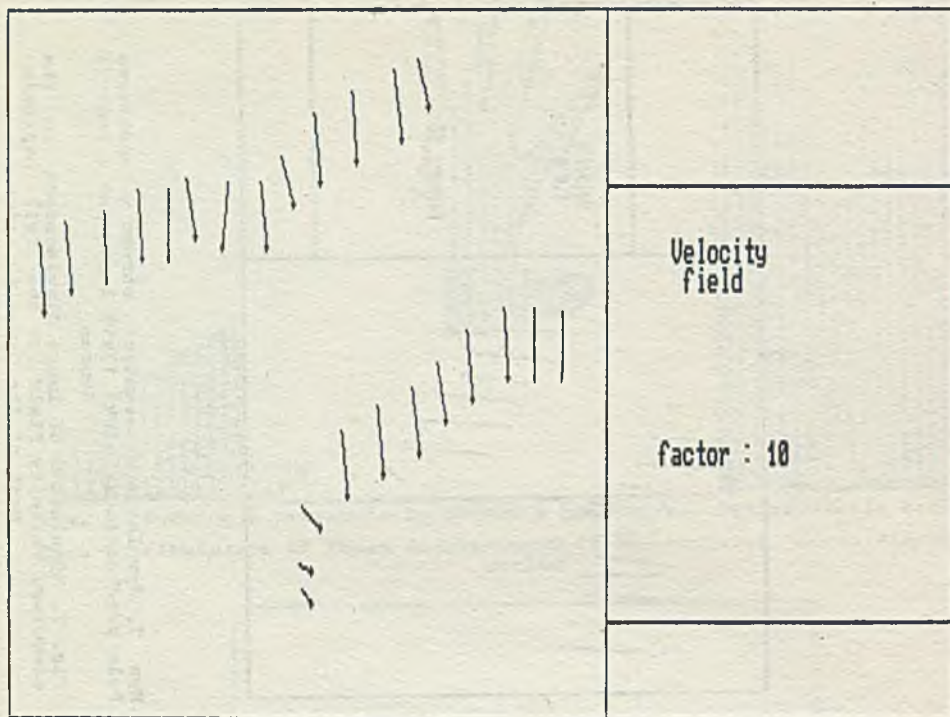
Rys. 6. Symulacja przesunięcia obrazu w komputerze
Pole prędkości dla maski 9x9 laplasjan z funkcji
Gausa

Fig. 6. Simulation of image displacement in the
computer. Velocity field for the 9x9 Laplasian
mask of the Gauss function



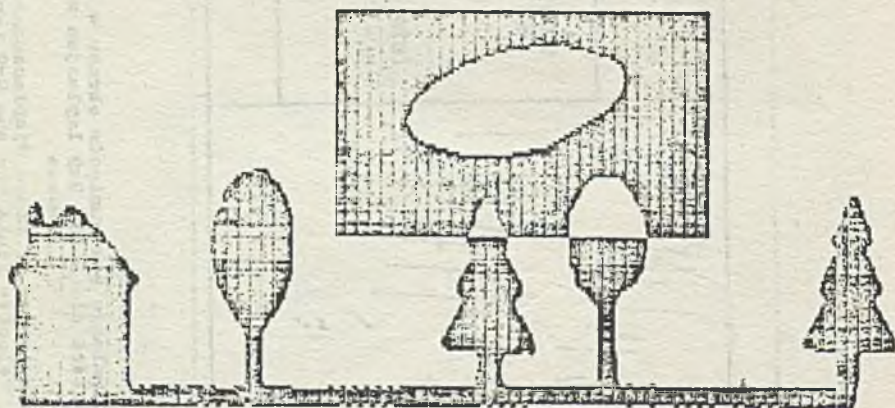
Rys. 7. Symulacja przesunięcia obrazu w komputerze
Pole prędkości dla maski 17x17 laplasjan z funkcji
Gausa

Fig. 7. Simulation of image displacement in the
computer. Velocity field for the 17x17 Laplasian
mask of the Gauss function



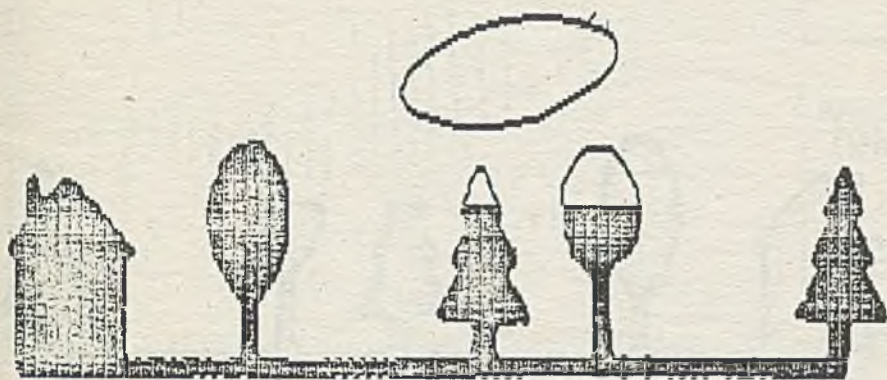
Rys. 8. Symulacja przesunięcia obrazu w komputerze. Pole prędkości dla maski 9x9 uśrednianie

Fig. 8. Simulation of image displacement in the computer. Velocity field for the 9x9 averaging mask



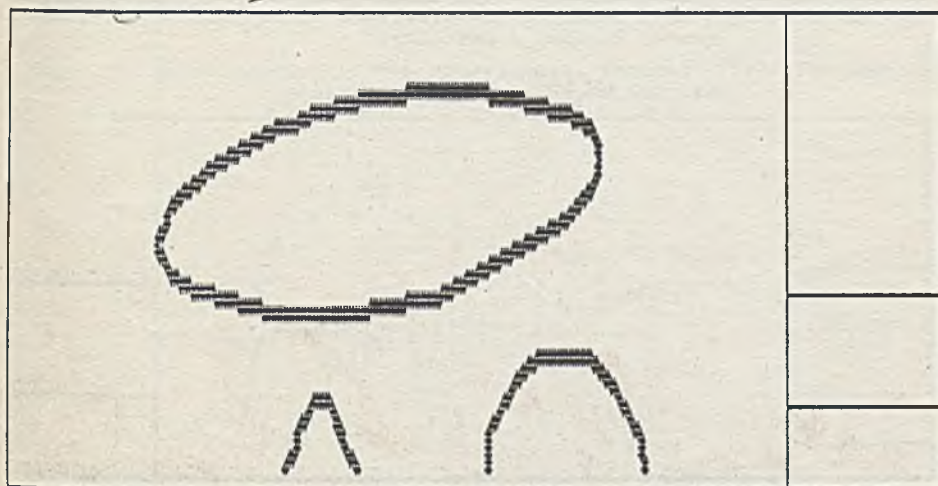
Rys. 9. Badania dwóch rzeczywistych obrazów. Obraz pierwotny, wybór fragmentu

Fig. 9. Investigation of two real images. Primary image, the choice of the 9x9



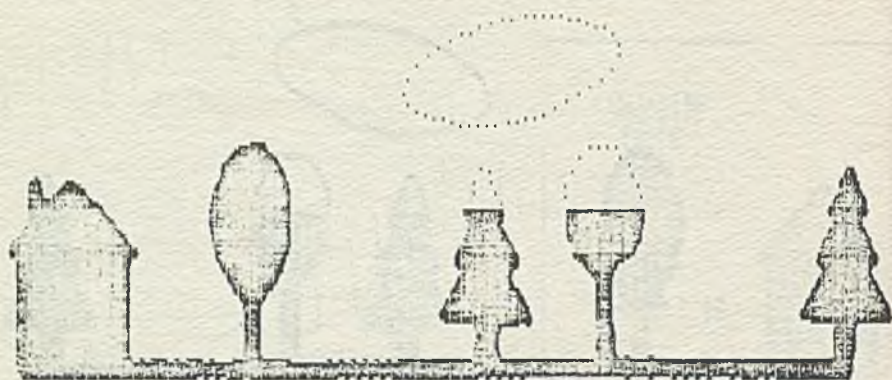
Rys. 10. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów. Krawędź w wybranym fragmencie

Fig. 10. Investigation of two real images. An edge in the chosen fragment

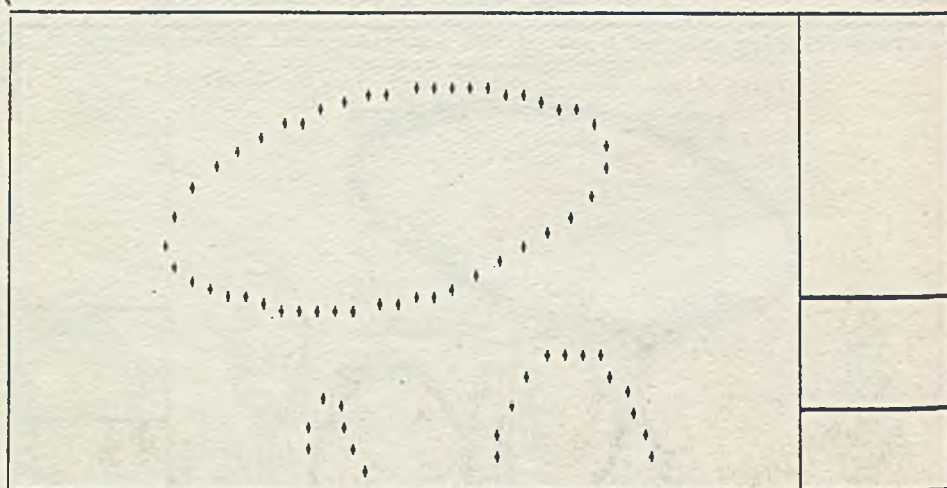


Rys. 11. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów. Powiększenie krawędzi

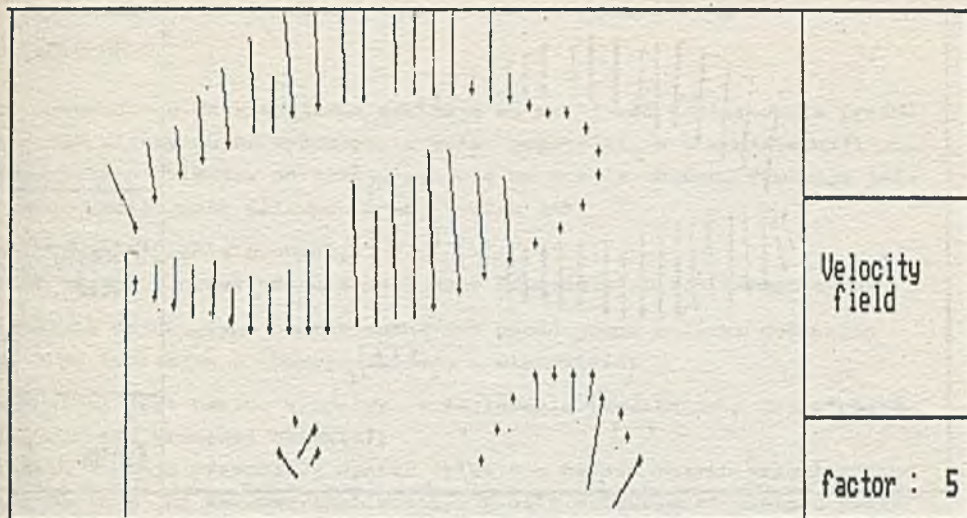
Fig. 11. Investigation of two real images. Zooming of the edge



Rys. 12. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów. Dyskretyzacja krawędzi
Fig. 12. Investigation of two real images. Edges discretization

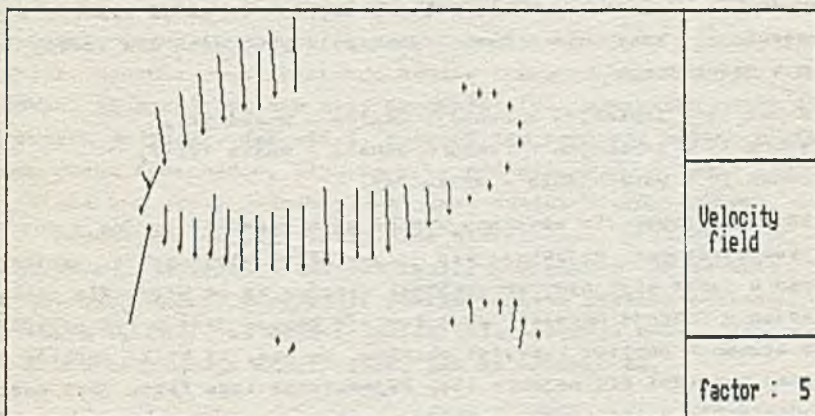


Rys. 13. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów. Dyskretyzacja krawędzi - powiększenie
Fig. 13. Investigation of two real images. Edges discretization-zooming



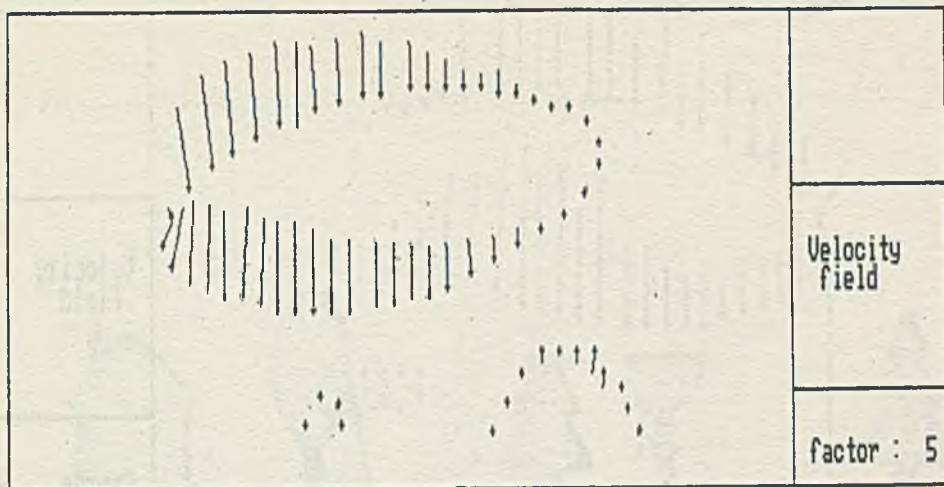
Rys. 14. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów. Pole prędkości dla maski 9x9 laplasjan z funkcji Gaussa

Fig. 14. Investigation of two real images. Velocity field for the 9x9 Laplacian mask of the Gauss function



Rys. 15. Badania dwóch rzeczywistych obrazów. Pole prędkości dla maski 17x17 Laplasjan z funkcji Gaussa

Fig. 15. Investigation of two real images. Velocity field for the 17x17 Laplacian mask of the Gauss function



Rys. 16. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów. Pole prędkości dla maski 9x9 uśrednianie

Fig. 16. Investigation of two real images. Velocity field for 9x9 averaging mask

Rysunki Od 9 do 16 ilustrują drugą wersję doświadczenia - z rzeczywistym przesunięciem obiektu na scenie. Scena została sfotografowana dwukrotnie, przy czym w czasie między pierwszą i drugą fotografią obiekt widoczny ponad koronami drzew wykonał obrót o kąt około 3° wokół punktu umieszczonego w pobliżu swojego prawego brzegu. Kierunek obrotu był zgodny z ruchem wskazówek zegara.

Rysunek 9 przedstawia fragment obrazu pierwotnego wybrany do dalszego przetwarzania. Kolejne rysunki: 10, 11, 12, 13 obrazują krawędź i jej dyskretyzację. Następnie pokazane jest pole prędkości dla trzech stosowanych w doświadczeniu masek:

Rysunek 14 - laplasjan z funkcji Gaussa - maska 9x9,

Rysunek 15 - laplasjan z funkcji Gaussa - maska 17x17,

Rysunek 16 - uśrednianie - maska 9x9.

Również w tym przypadku uzyskane wyniki są w zasadzie zgodne z rozważaniami teoretycznymi. Pojawiają się jednak pewne błędy grube, wynikające z zakłóceń w torze wizyjnym. Szczególnie wyraźne są te błędy dla operatora "laplasjan z funkcji Gaussa", gdyż funkcja obrazu jest w tym przypadku bardzo stroma w pobliżu krawędzi obiektu. Na rys. 15 kilka punktów zdyskretyzowanej krawędzi nie pojawia się. Wyjaśnienie tego faktu jest następujące: dekonanie splotu funkcji szarości obrazu z maską o wymiarze $d \times d$ powoduje zmniejszenie wynikowego obrazu o $d-1$ w każdej osi. W rezultacie, gdy rozmiar maski jest duży, niektóre punkty krawędzi znajdują się poza zakresem wynikowego obrazu i nie mogą być analizowane.

5. Wnioski

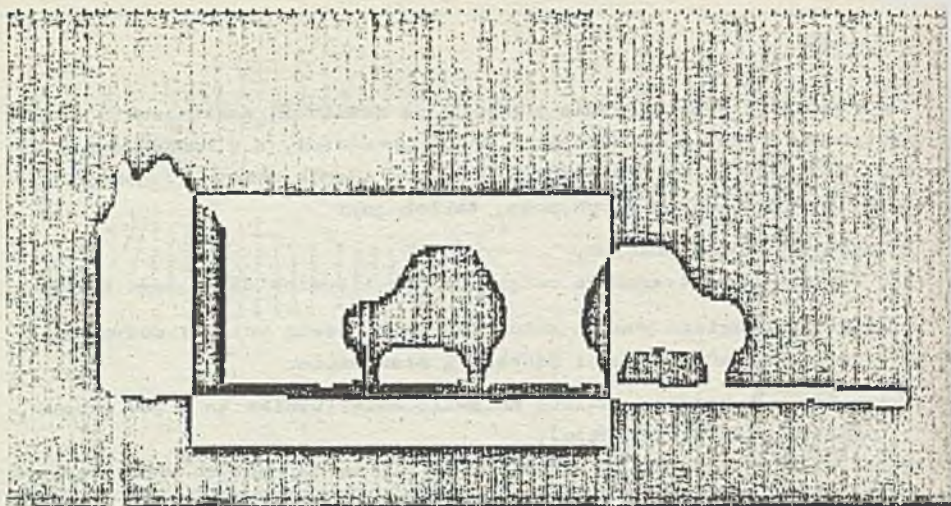
Przeprowadzone doświadczenie wskazują na możliwość zastosowania przedstawionego algorytmu do wyznaczenia pola prędkości, a w konsekwencji parametrów ruchu obiektów poruszających się na scenie obrazu. Sugerują jednak także konieczność dalszych prac, takich jak:

- eliminowanie błędów grubych,
- dobór operacji przetwarzania wstępnego odpowiednich dla danego obrazu.

Odnosnie do drugiego punktu można już podać pewne wnioski dotyczące maski typu laplasjan z funkcji Gaussa, a mianowicie:

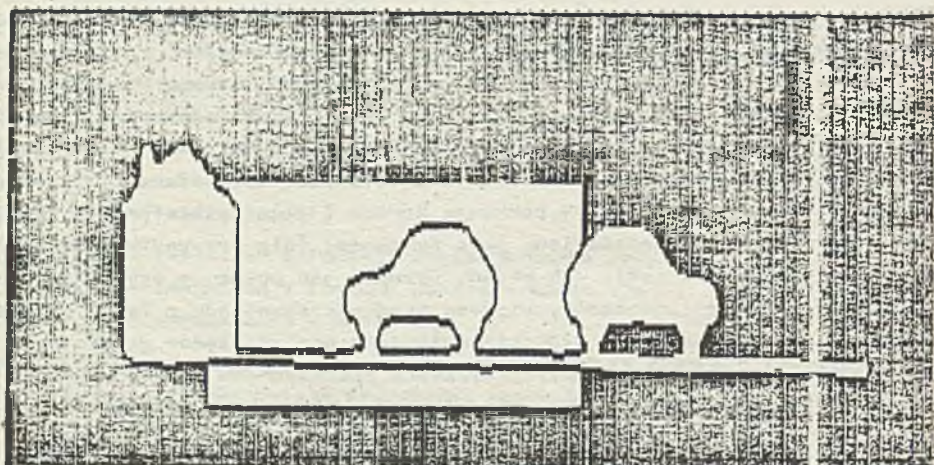
- funkcja ta jest bardzo wrażliwa na zakłócenia (wynika to z jej stromości w pobliżu krawędzi obiektu);
- funkcja ta daje prawidłowe wyniki tylko dla bardzo małych przemieszczeń (wynika to z jej zakresu liniowości). W celu zwiększenia zakresu przemieszczeń należałoby zwiększyć wymiar maski, co jednak wywołuje niepożądane efekty opisane w zakończeniu rozdziału 4;
- funkcja ta nadaje się do analizy małych przemieszczeń dla obiektów, których krawędzie położone są blisko siebie (interakcja sąsiadujących krawędzi jest wówczas minimalna).

Należy także stwierdzić, że uzyskiwanie prawidłowych pól prędkości dla rzeczywistych przemieszczeń jest na granicy możliwości zastosowanego sprzętu, a zwłaszcza kamery Micron-Eye. Ilustrują to rysunki 17-22, stanowiące dokumentację eksperymentu zakończonego niepowodzeniem. W doświadczeniu dokonano dwóch zdjęć poruszających się samochodów. Obraz pierwotny pokazuje rysunek 17. Na obrazie przesuniętym samochód umieszczony z lewej strony był przemieszczony w lewo, natomiast samochód umieszczony z prawej strony był przemieszczony w prawo. Przemieszczenie samochodu z lewej strony było większe. Rysunki 18-21 pokazują kontur i jego dyskretyzację. Natomiast na rysunku 22 przedstawiono pole prędkości (dla przypadku maski 9×9 złożonej z samych jedynek). Jak widać, rysunek ten pokazuje ogólne tendencje (kierunek ruchu samochodów, większa prędkość samochodu z lewej strony, nieruchoma ściana budynku), jednakże duży jest udział błędów grubych, a także wektory prędkości zostały przypisane nieruchomemu podłożu. Przyczyną takiego stanu rzeczy są własności kamery Micron-Eye. Progowanie realizowane wewnątrz kamery przypisuje pewnym punktom podłoża poziom szarości 1, innym 0. Chwilowa zmiana oświetlenia powoduje zmianę tego przypisania i w konsekwencji efekty takie jak na rysunku 22.



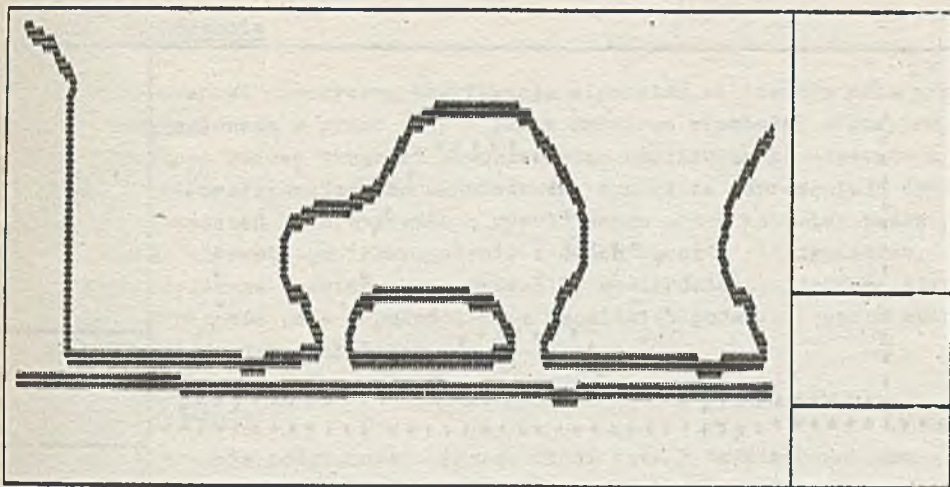
Rys. 17. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów - eksperyment zakończony niepowodzeniem. Obraz pierwotny, wybór fragmentu

Fig. 17. Investigation of two real images. Experiment finished by the failure. Primary image, choice of the fragment



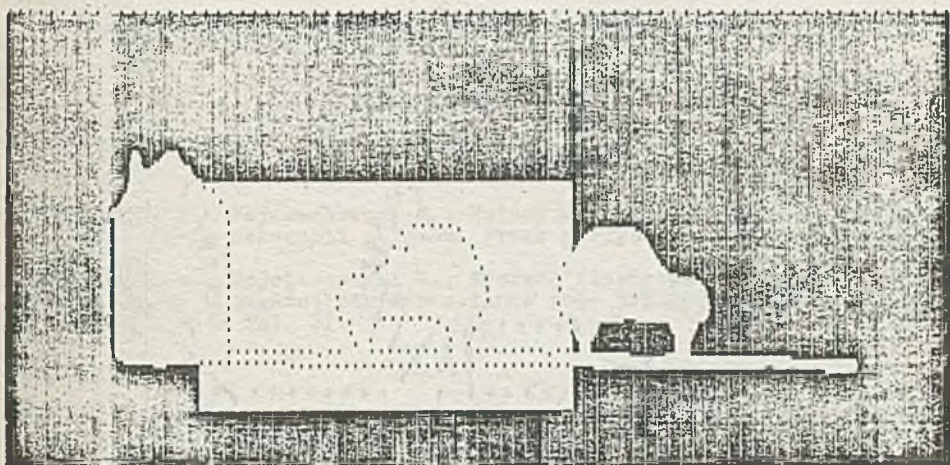
Rys. 18. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów - eksperyment zakończony niepowodzeniem. Krawędzie w wybranym fragmencie

Fig. 18. Investigation of two real images. Experiment finished by the failure. Edges in the chosen fragments



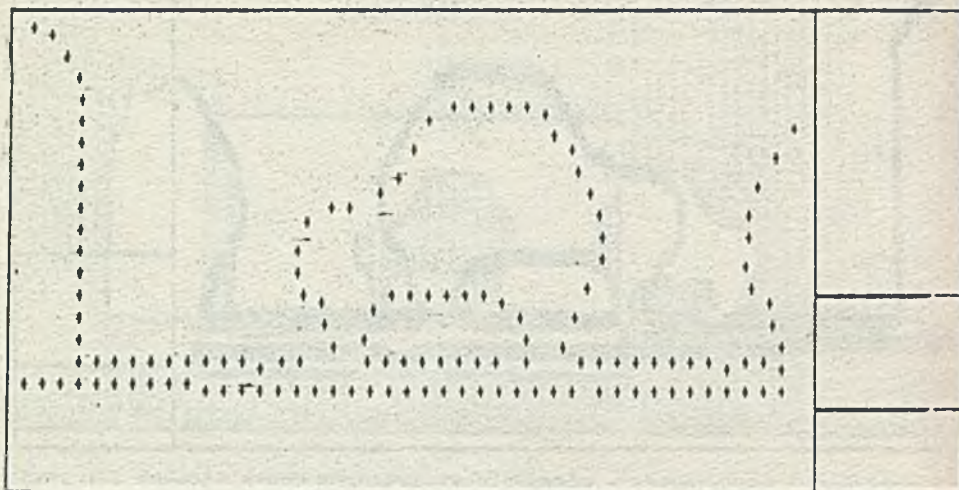
Rys. 19. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów - eksperyment zakończony niepowodzeniem. Powiększenie krawędzi

Fig. 19. Investigation of two real images, Experiment finished by the failure. Edges zooming



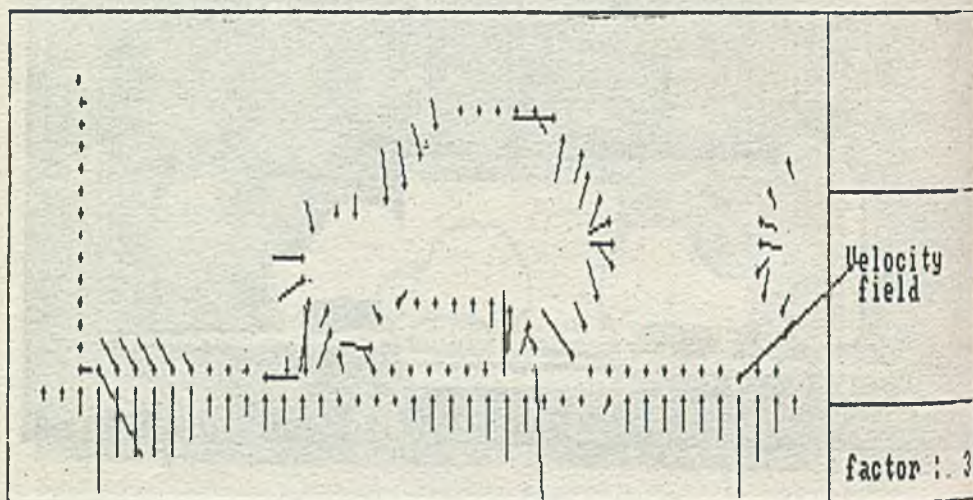
Rys. 20. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów - eksperyment zakończony niepowodzeniem. Dyskretyzacja krawędzi

Fig. 20. Investigation of two real images. Experiment finished by the failure. Edges discretization



Rys. 21. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów - eksperyment zakończony niepowodzeniem. Dyskretyzacja krawędzi - powiększenie

Fig. 21. Investigation of two real images. Experiment finished by the failure. Edges discretization - zooming



Rys. 22. Badanie dwóch rzeczywistych obrazów - eksperyment zakończony niepowodzeniem. Pole prędkości dla maski 9x9 uśrednianie

Fig. 22. Investigation of two real images. Experiment finished by the failure. Velocity field for the 9x9 averaging mask

6. Zakończenie

Praca stanowi numeryczną weryfikację algorytmu obliczania pola prędkości przedstawionego w pracy [5]. W pracy omówiono własności algorytmu, przedstawiono budowę programu komputerowego realizującego algorytm i podano wyniki przeprowadzonych doświadczeń. Wyniki te reprezentują dwa rodzaje doświadczeń - korzystanie z symulowanego przez komputer przesunięcia obrazu pierwotnego i korzystanie z dwóch obrazów rzeczywistych.

Przeprowadzone doświadczenia pozwoliły stwierdzić przydatność algorytmu do wyznaczania pola prędkości oraz umożliwiły podanie pewnych wniosków przydatnych do dalszych badań.

Podziękowanie

Autor pragnie podziękować Panom: drowi inż. K. Wojciechowskiemu i mgrowi inż. A. Polańskiemu za rady pomocne w budowie algorytmu oraz drowi inż. K. Wojciechowskiemu za przeczytanie rękopisu i cenne uwagi merytoryczne.

LITERATURA

- [1] Hildreth E.C.: The Measurement of Visual Motion, MIT Press 1984, Cambridge Massachusetts.
- [2] Marr, D., Hildreth E.C.: Theory of edge detection. Proc. of the Royal Society of London, B.207, 1980.
- [3] Marr D., Ullman S.: Directional Selectivity and its Use in Early Visual Processing, Proc. of the Royal Society of London, B.211, 1981.
- [4] Ordys A., Wojciechowski K.: Metody wyznaczania pola prędkości na podstawie sekwencji obrazów. Praca przyjęta do druku w ZN Pol. Śl.
- [5] Ordys A., Wojciechowski K.: Wybrane algorytmy przetwarzania wstępnego obrazu w zagadnieniu wyznaczania pola prędkości. Praca przyjęta do druku w ZN Pol. Śl.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Mariusz Nieniewski

Wpłynęło do Redakcji 3.11.1987 r.

МАШИННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТИ
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПЕРЕМЕЩЕННЫХ ВО ВРЕМЕНИ ОБРАЗОВ

Р е з ю м е

В работе представляются результаты исследований над возможностью определения поля скорости на основе последовательности образов полученных при помощи камеры Микрон-ЕИ и анализируемых при персонального компьютера IBM PC. Метод, идея которого восходит к работе [1], описана в работе [5]. Исследования проведены для двух случаев:

- 1) компьютерная имитация движения образа,
- 2) фотографирование действительного движения объекта на сцене.

Полученные результаты показывают на возможность детекции параметров движения объекта на основе поля скорости, но также и на большие расчетные трудности, возникающие образом из-за нехватки соответствующего оборудования.

NUMERICAL ASSIGNMENT OF THE VELOCITY FIELD BASING
ON THE ANALYSIS OF IMAGES DISPLACED IN TIME

S u m m a r y

In the paper results of investigations of the possibility of in velocity fields assignment basing on the images sequences obtained by the camera Micron-Eye and analyzed on the IBM PC are presented. Two cases are investigated:

- 1) Computer simulation of the image motion
- 2) Photographing real plant motions on the scene

Obtained results indicate the possibility of detection of the motion parameters basing on the velocity field as well as great difficulties resulting mainly of the equipment constraints.