

Dominik Sankowski*, Sławomir Jeżewski*, Piotr Duch*,
Zbigniew Stolarski*, Sylwester Błaszczyk*

Algorytmy ustawiania ostrości kamer w systemie stereowizyjnym robota mobilnego

1. Wprowadzenie

Produkcja robotów mobilnych staje się jedną z istotnych gałęzi przemysłu wojskowego. Analiza tej gałęzi gospodarki, pozwala stwierdzić, że państwem wiodącym prym w produkcji robotów typu SUGV (*Small Unmanned Ground Vehicle*) są Stany Zjednoczone. Największym zainteresowaniem cieszą się tanie, lekkie i proste w obsłudze roboty zwiadowcze i patrolowej [8]. Skomplikowane jednostki robotów potrafią wykonywać bardziej złożone zadania nawigacyjne, lecz budowa w pełni autonomicznego robota mobilnego nadal pozostaje poza możliwościami pojedynczych zespołów projektowych.

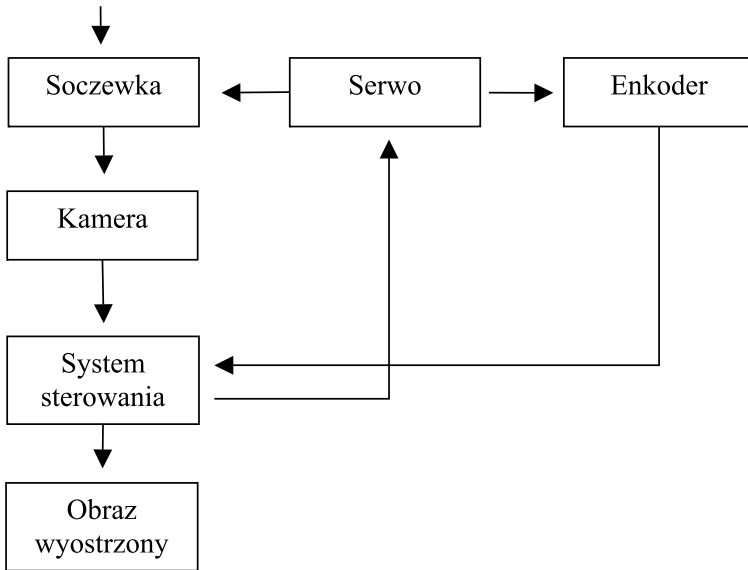
Odpowiedzią na zapotrzebowanie przemysłu wojskowego w roboty mobilne do celów zwiadowczych i saperskich jest projektowana w Politechnice Łódzkiej 6-kołowa jednostka jezdna wyposażona w nowatorski system sterowania [1]. W systemie zastosowano otwartą 7-warstwową architekturę sprzętu i oprogramowania. Warstwa czwarta systemu odpowiedzialna jest za zbieranie danych z systemu wizyjnego robota. Całość zebranych danych ma być analizowana i integrowana przez osobne procesory warstwy piątej. Zadaniem istnienia systemu analizy danych obrazowych jest wytworzenie mapy otoczenia z wykrytymi przeszkodami znajdującymi się na torze jazdy robota.

Zadania stawiane projektowanemu robotowi wymagają opracowania algorytmów analizy i przetwarzania danych obrazowych pracujących w ścisłym czasie rzeczywistym. Jednym z nich są algorytmy stereowizyjne oraz algorytmy ustawiania ostrości obrazu. Niniejszy artykuł traktuje o procedurach ustawiania ostrości obrazu w układzie kamer umieszczonych na dwuprzegubowym ramieniu robota.

2. Algorytmy ustawiania ostrości kamer znane z literatury

Proces akwizycji obrazu we wstępnym etapie kontrolowany jest przez algorytmy wyostrzenia obrazu pracujące na podstawie danych z kamer i serwonapędów (rys. 1).

* Katedra Informatyki Stosowanej, Politechnika Łódzka



Rys. 1. Schemat ideowy systemu sterowania ostrością obrazu

Większość współczesnych kamer dostępnych na rynku posiada wbudowane mechanizmy ustawiania ostrości, jednakże są one poza kontrolą programisty. Również wynik ich działania, czyli wartość ogniskowej soczewki nie jest podawana poza kamerę. Badania przeprowadzone w Katedrze Informatyki Stosowanej na aparatach fotograficznych Pentax wykazały, że powtarzalność procesu ustawiania ogniskowej jest za niska dla potrzeb systemów analizy i przetwarzania obrazu. Potrzebna jest większa kontrola nad procesem ustawiania ostrości obrazu, w związku z tym w ramach grantu KBN z 2009 roku opracowano układ zmotoryzowanych soczewek przeznaczonych do kamer megapikselowych oraz przystąpiono do opracowania algorytmów ustawiania ostrości obrazu.

W literaturze zaprezentowano wiele algorytmów ustawiania ostrości kamer cyfrowych. Można je podzielić na metody aktywne i pasywne. Metody pasywne dokonują pomiaru współczynnika autofocusu dla każdego położenia soczewki w kamerze. Na podstawie dokonanych pomiarów algorytm ustawia soczewkę w położeniu dla najlepszej wartości obliczonego współczynnika. Natomiast metody aktywne wykorzystują bardziej wyrafinowane metody obliczania współczynnika ostrości obrazu, które nie wymagają przemieszczania soczewki w całym zakresie jej pracy.

Ze względu na rodzaj wyznaczanego współczynnika autofocusu można wyróżnić trzy główne podejścia do zagadnienia wyostrażania obrazu. Najprostsze są metody bazujące na wykrywaniu krawędzi na obrazie [1, 2, 3]. Równie popularnym podejściem są metody oparte na analizie dziedziny częstotliwościowej obrazu [4, 5]. Najbardziej stosowanym podejściem są metody statystyczne [6].

3. Ustawianie ostrości na ruchomym ramieniu robota

Wszystkie wymienione algorytmy automatycznego ustawiania ostrości obrazu opracowane zostały dla układu nieruchomej kamery. W związku z czym przetestowano je pod kątem zastosowania na ruchomym ramieniu obserwacyjnym robota.

3.1. Derivative base approach

Algorytm wykrywania ostrości oparty na wykrywaniu krawędzi za pomocą maski Sobela, zaproponowany przez Tenenbauma [2], jest jednym z popularniejszych podejść używających progowania. Dwa operatory M_x, M_y są poddawane operacji splotu z obrazem w celu wyznaczenia różnicy między sąsiadującymi pikselami w poziomym i pionowym kierunku.

$$M_x = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad M_y = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

Miarą jakości obrazu jest ilość pikseli krawędziowych wykrytych w obrazie. Ustawienie ostrości polega na maksymalizacji tego wskaźnika.

3.2. Transformata DCT

Transformata DCT jest algorytmem przekształcającym obraz z dziedziny przestrzennej do dziedziny częstotliwościowej. Wejściowy obraz jest dzielony na bloki 8×8 pikseli. Dla każdego takiego obszaru stosowana jest transformata DCT (2)

$$S_{i,j} = \frac{1}{4} \cdot C_i \cdot C_j \cdot \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 P_{x,y} \cdot \cos \left[\frac{(2x+1) \cdot i \cdot \pi}{16} \right] \cdot \cos \left[\frac{(2y+1) \cdot j \cdot \pi}{16} \right] \quad (2)$$

gdzie:

$$C_i = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{dla } i = 0 \\ 1 & \text{dla } i \neq 0 \end{cases} \quad C_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{dla } j = 0 \\ 1 & \text{dla } j \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$S_{i,j}$ – współczynnik DCT,
 $P_{x,y}$ – piksel obrazu.

Otrzymane współczynniki można uporządkować rosnąco według częstotliwości:

$$S_{00} < S_{01} < S_{10} < S_{20} < S_{11} < S_{02} < \dots < S_{77} \quad (4)$$

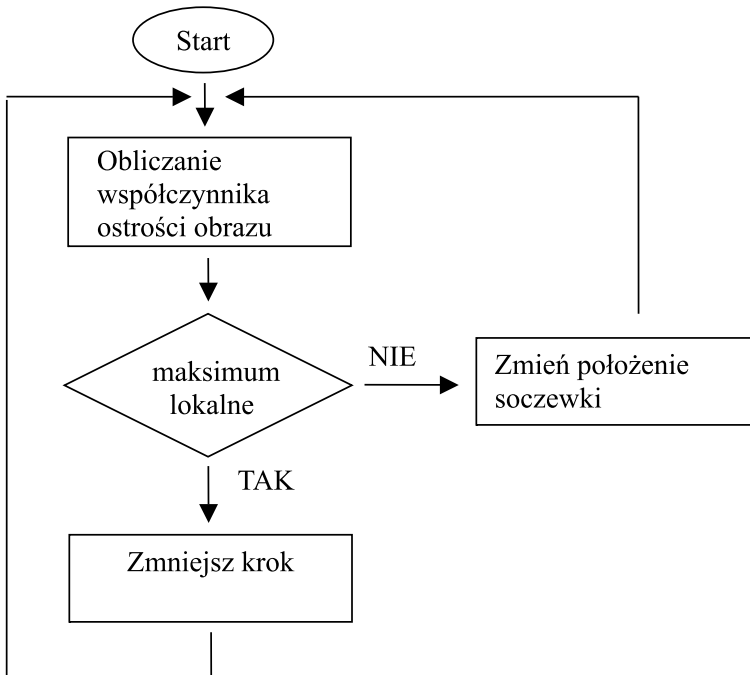
W literaturze pierwszy współczynnik transformaty DCT nazywany jest DC, natomiast pozostałe współczynniki nazywane są AC. Z punktu widzenia energii, kilka początkowych współczynników posiada przeważającą część całkowitej energii. Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że 6 pierwszych współczynników DC i 5 pierwszych współczynników AC zawierają 99% całkowitej energii sygnału. Z powyższego powodu do wyznaczenia współczynnika ostrości obrazu możemy użyć wzoru upraszczającego (5):

$$F = \sum \frac{(S_{01}^2 + S_{10}^2 + S_{20}^2 + S_{11}^2 + S_{02}^2)}{S_{00}^2} \quad (5)$$

Ustawienie ostrości polega na maksymalizacji tego wskaźnika.

3.3. Praktyczna implementacja algorytmu ustawiania ostrości

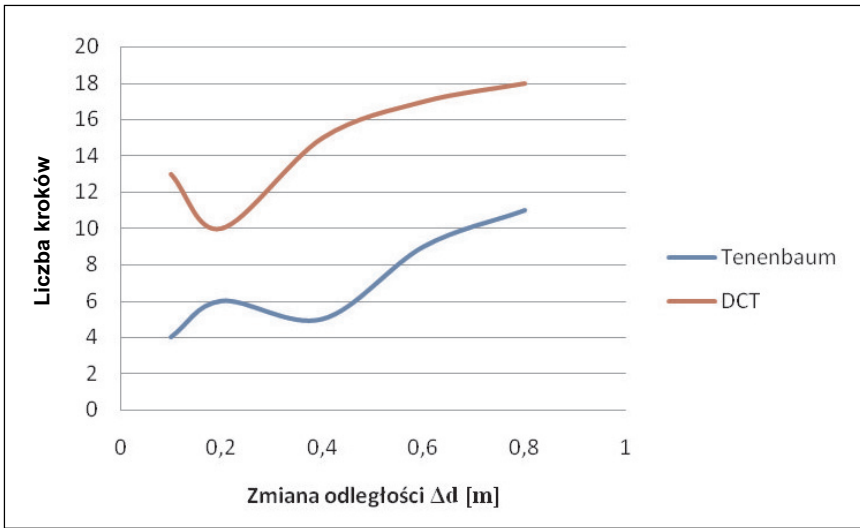
Implementacja wykorzystuje ideę aktywnego wyostrzania obrazu. Zamiast ustawiać soczewkę we wszystkich możliwych pozycjach algorytm szuka wystąpienia pierwszego maksimum lokalnego (rys. 2) i później oscyluje w okolicach tego maksimum. W celu pozbycia się szumów zastosowano uśrednianie wartości współczynnika dla kilku sąsiadujących położeń soczewki.



Rys. 2. Schemat algorytmu ustawiania ostrości obrazu z kamery

4. Eksperyment ustawiania ostrości

Eksperyment ustawiania ostrości został przeprowadzony dla obrazów pozyskiwanych z kamer Basler zamontowanych na dwuprzegubowym ramieniu robota. Manipulacja położenia soczewki odbywała się przez zastosowanie prototypowego systemu sterowania zawierającego silnik krokowy oraz enkoder absolutny (rys. 1 i 2). Celem eksperymentu było zbadanie, ile kroków musi wykonać soczewka aż do momentu ustawianiu ostrości obrazu w trakcie ruchu ramienia robota w zależności od przemieszczenia się kamery od obserwowanego obiektu. Przetestowane zostały obydwaj algorytmy: DCT i Tenenbaum.



Rys. 3. Liczba kroków wykonanych przez soczewkę w zależności od zmiany położenia kamery względem filmowanego otoczenia

Tabela 1

Liczba kroków wykonanych przez soczewkę w zależności od zmiany położenia kamery względem filmowanego otoczenia

Zmiana odległości Δd [m]	Liczba kroków	
	Tenenbaum	DCT
0,1	4	13
0,2	6	10
0,4	5	15
0,6	9	17
0,8	11	18

Zamieszczone dane w tabeli ukazują liczbę kroków, jakie soczewka wykonała do wyostrzenia obrazu w zależności od wartości przemieszczenia się kamery względem obiektu.

5. Podsumowanie

W niniejszej publikacji zostały przedstawione algorytm DCT [8] i algorytm Tenenbauma [2] w zastosowaniu do ogniskowania obrazu w układzie ruchomej kamery umieszczonej na przegubie robota. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że obydwa algorytmy dobrze ogniskują obraz przy niezbyt szybkim ruchu. Czas ustawiania ostrości obrazu jest krótszy dla algorytmu Tenenbauma. Obydwa algorytmy nie wykorzystują zewnętrznej informacji o kierunku i prędkości ruchu do heurystycznego przyspieszenia czasu zbieżności. Istnieje potrzeba opracowania dedykowanego algorytmu opartego o powyższe informacje.

Podziękowania

Współautorzy Piotr Duch, Sylwester Błaszczyk są stypendystami projektu „Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń – zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej – zarządzanie uczelnią, nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacnianie zdolności do zatrudniania, także osób niepełnosprawnych” współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Literatura

- [1] Jeżewski S., Sankowski D., Dadan W., *Koncepcja autonomicznego robota pola walki przeznaczonego do zadań zwiadu i wykrywania min*. Automatyka (półrocznik AGH), ISSN: 1429-3447, 2009, 1107–1116.
- [2] Krotkov E., *Focusing*. Int. Journal of Computer Vision, vol. 1, No. 3, October 1987, 223–237 (Reprinted in *Physics-Based Vision*, Jones and Bartlett, 1992).
- [3] Nayar S.K., Nakagawa Y., *Shape from focus*. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 18, No. 8, Aug. 1994, 824–831.
- [4] Subbarao M., Choi T., Nikzad A., *Focusing techniques*. J. Opt. Eng., vol. 32, No. 11, 1993, 2824–2836.
- [5] Shen C.H., Chen H.H., *Robust focus measure for low-contrast images*. In Proc. IEEE Int. Conf. Consumer Electronics, 2006, 69–70.
- [6] Kristan M., Pers J., Perse M., Kovacic S., *A bayes-spectral-entropy- based measure of camera focus using a discrete cosine transform*. Pattern Recognition Lett., vol. 27, No. 13, 2006, 1431–1439.
- [7] Sun Y., Duthaler S., Nelson B.J., *Autofocusing in computer microscopy: Selecting the optimal focus algorithm*. Microscopy Res. Tech., vol. 65, No. 3, 2004, 139–149.
- [8] Sang-Yong Lee, Jae-Tack Yoo, Yogendera Kumar, Soo-Won Kim, *Reduced Energy-Ratio Measure for Robust Autofocusing in Digital Camera*. Ieee Signal Processing letters., vol. 16, No. 2, February 2009.
- [9] <http://www.irt-robotics.com/> [10.06.2010].