

Katedra Systemów Decyzyjnych
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska
Narutowicza 11/12
80-952 Gdańsk
Poland

**ALGORYTM STEREOSKOPOWEJ WIZUALIZACJI
OTOCZENIA**

Zdzisław KOWALCZUK, Tomasz MERTA

Raport nr 01/2013

Algorytm stereoskopowej wizualizacji otoczenia

Raport nr 01/2013

Z. Kowalczuk*, T. Merta**

Politechnika Gdańska, Wydział ETI, Katedra Systemów Decyzyjnych

* kova@pg.gda.pl, ** tommerta@gmail.com

Streszczenie. Raport prezentuje algorytm SWO stereoskopowej wizualizacji otoczenia robota. Podejście opisywanej metody zasadza się na inteligentnym wykorzystaniu zmiennej bazy stereo, które pozwala na zwiększenie zakresu rozdzielczości głębi obrazu dla odległych obiektów. Przy różnych bazach, wyznaczana jest mapa (stopnia) dysparycji, na podstawie której obraz stereoskopowy dostosowywany jest do możliwości ludzkiego operatora lub innej osoby obserwującej odległe obiekty. W ten sposób uzyskuje się taką wizualizację obrazu 3D, która umożliwia poprawne postrzeganie i odczuwanie głębi. Algorytm SWO oparty jest na założeniu współpracy w zespole robotów mobilnych zaopatrzonych w kamery.

Algorithm of stereoscopic visualization of environment

Technical report No. 01/2013

Z. Kowalczuk*, T. Merta**

*Gdańsk University of Technology, ETI Faculty, Decision Systems Department

* kova@pg.gda.pl, ** tommerta@gmail.com

Abstract. This report describes a SWO algorithm of stereoscopic visualization of a robotic environment. The approach consists in an intelligent use of variable stereo baselines that results in increasing the depth resolution for distant objects. Variable baseline stereo imaging is realized based on images taken at different robot's locations. The resulting disparity (degree) maps, obtained at various baselines, leads to a corresponding visualization in the form of stereoscopic pictures that ensure a proper perception and sensation of depth adapted to the human operator or other person observing distant objects. The SWO algorithm is dedicated to a team of co-operating mobile robots provided with cameras.

1. Wprowadzenie

Raport opisuje procedurę SWO i przedstawia wynikami przetwarzania w postaci map dysparycji i obrazów stereoskopowych. Aby móc prawidłowo oglądać obraz stereo potrzebne są okulary anaglifowe oraz odpowiednia odległość obserwacji.

Głębina w obrazie, czyli odległość danego punktu 3D od układu kamer (bazy stereo), jest wyznaczana następująco [4]:

$$z = \frac{Bf}{d} \quad (1)$$

- z – głębina obrazu [m]
- B – szerokość bazy stereowizyjnej [m]
- f – ogniskowa [piksele]
- d – dysparycja [piksele].

Błąd wyznaczania głębiny obrazu Δz [m] uwarunkowany jest dodatkowo błędem dysparycji Δd [piksele] zgodnie z równaniami:

$$\Delta z = \frac{z^2}{Bf} \Delta d \quad (2)$$

gdzie :

$$f = \rho \cdot \Theta \quad (3)$$

- Θ – rozmiar jednego piksela [m]
- ρ – rozdzielczość kamery $\left[\frac{\text{piksele}}{m} \right]$.

Należy przy tym pamiętać, że poprawne postrzeganie obrazu stereoskopowego przez obserwatora zgodnie z [2] wymaga, aby maksymalna dysparycja nie przekraczała pewnej wartości progowej $d_{max} = W_s / 30$ (w pikselach), gdzie W_s jest szerokością matrycy kamery.

2. Zmiana zakresu głębiny obrazu

Wartość z zgodnie z (1) i (3) jest zależna od ustawień ogniskowej f oraz wymaga znajomości rozmiaru pojedynczego Θ piksela w metrach. Im większa jest dysparycja tym dany element znajduje się bliżej układu kamer. Błąd pomiaru odległości rośnie wraz z kwadratem odległości. Dlatego zachowanie stałej dokładności pomiaru wymaga liniowego zwiększenia jednocześnie parametrów B oraz f wraz z liniowym wzrostem z [1]. Wyznaczenie odległości w obrazie z o większej dokładności, można uzyskać dzięki zwiększeniu zakresu ogniskowej f poprzez faktyczną jej zmianę, zmianę rozdzielczości kamery lub zwiększenie szerokości bazy stereo B .

Optyka z dużym zakresem zoomu, tj. dużym zakresem zmian ogniskowej f wymaga zastosowania kosztownego i dokładnego obiektywu. Ponadto duży zoom ogranicza pole widzenia kamery (ang. *field of view*) tylko do środkowego obszaru obserwacji (środku matrycy kamery). Rozdzielczość matrycy ρ jest ustalona dla konkretnej kamery, dlatego rozdzielczość obrazu można jedynie zmniejszyć dla małych odległości z , co zmniejsza zapotrzebowanie na moc obliczeniową przy dalszym przetwarzaniu obrazu. Zgodnie z [3] próba zwiększenia rozdzielczości poprzez interpolację jest nieskuteczna.

Poszerzenie bazy stereo B można uzyskać poprzez oddalenie od siebie kamer. Dla robota mobilnego z przesuwanymi kamerami dostępny zakres zmian B może być niewystarczający. Przy założeniu pracy w statycznym otoczeniu, efekt zmiany bazy można uzyskać poprzez przemieszczanie się robota i uzyskać duże wartości bazy B .

3. Algorytm SWO

Opisywane podejście zakłada, że otoczenie robota jest nieruchome. Stereopara jest wizualizowana dla operatora w postaci obrazu 3D z możliwością uzyskania ‘pogłębienia przestrzennego’ (zwiększającego rozdzielczość głębi). Przemieszczenie kamer i złożenie obrazów z poprzedniego i aktualnego położenia robota umożliwia uzyskanie różnych szerokości bazy stereo B .

Aby wyznaczyć B konieczny jest dodatkowy sensor służący do wyznaczenia aktualnego położenia robota. Sensor ten musi podawać aktualne położenie kamery a także kąty elewacji i azymutu kamery. Dane o położeniu i ułożeniu kamery zapewnia np. zintegrowany sensor, który zawiera 3-osiowy akcelerometr, grawimetr i magnetometr.

Podstawą działania algorytmu SWO jest para obrazów stereo oraz dane z sensora. Algorytm na początku generuje mapę głębi dla ustalonego (małego) B . (w testach przyjęto $B_0 = 10$ cm). Obraz stereo jest analizowany w celu wyznaczenia konturów. Każdy wyznaczony kontur, z pewnym zakresem tolerancji, zawiera piksele o takiej samej wartości dysparycji (jednakowej odległości od kamer z). Dla wstępnie przetworzonego obrazu operator robota zaznacza obszar zainteresowania (kontur o danym $d=d_0$), który chce obserwować z większą rozdzielczością głębi.

Należy tutaj zauważyć, iż poza racjonalnym przypadkiem, gdzie dla zaznaczonego konturu dysparycja jest ograniczona $1 < d < d_{max}$, możliwy jest przypadek graniczny, gdzie $z = \infty$ i $d = 0$ (gdyż $zd = Bf = const$). Na mapie dysparycji jest to czarny punkt. Jeśli dysparycja jest już mniejsza niż 1 piksel ($d_0 \approx 0$), ani nie można ocenić odległości z , ani nie można dobrać nowej bazy stereo B , przy której nowe d nie przekroczy wartości d_{max} .

Zakładając zatem, że ów „czarny punkt” ma swoją określoną odległość z , która została hipotetycznie uzyskana przy poprzedniej bazie B . uzyskujemy przybliżoną relację:

$$B_- \approx \frac{1 \cdot z}{f} \text{ lub } z = fB_-$$

Korzystając z powyższego i przekształconego wzoru (2) przy założeniu na d_{max} uzyskujemy:

$$B_{max} = \frac{d_{max}}{f} z = d_{max} \cdot B_-$$

Zatem maksymalna baza stereo B_{max} wyznaczana jest jako:

$$B_{ma} = \begin{cases} \frac{d_{max}}{f} z \Leftrightarrow d_0 > 1 \\ B_- \cdot d_{max} \Leftrightarrow d_0 \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

Zwiększenie szerokości bazy w jednym kroku z $B=B_0$ do $B=B_{max}$, może powodować błędne wyniki, ze względu na błędy podczas wyznaczania mapy dysparycji. Dlatego należy zwiększać bazę w kolejnych iteracjach algorytmu, np. o $\Delta B=B_0$.

Dla aktualnej, zwiększonej szerokości bazy stereo robot przemieszcza się o wyznaczoną wartość w określonej (lewą albo prawą) stronę. Następnie, w oparciu o aktualne dane z sensora

(położenie i ułożenie robota) wyznaczone są parametry zewnętrzne kamery. Na podstawie aktualnie uzyskanego obrazu oraz obrazu z kroku poprzedniego algorytm SWO oblicza aktualną wartość z dla zaznaczonego wcześniej konturu.

Algorytm kończy pracę, jeśli kontur zaznaczony przez operatora ma maksymalną dysparycję $d = d_{\max}$. Ponadto przed wyświetleniem obrazu stereoskopowego algorytm sprawdza, czy w obrazie nie występują kontury, dla których $d > d_{\max}$. Obszary w obrazie o zbyt dużej dysparycji nie są wyświetlane operatorowi.

Procedura 1. Algorytm SWO.

Ustaw wartość początkową szerokości bazy $B=B_0$
 generuj mapę dysparycji dla aktualnej B
 wyznacz kontury dla obszarów jednakowej dysparycji
 oblicz z dla wszystkich wyznaczonych konturów
 czekaj na wskazanie konturu (przez operatora)
 ustal B_{\max}
 zwiększ bazę stereo o ΔB
 wyznacz mapę dysparycji (oraz d dla zaznaczonego obszaru)
 sprawdź, czy $d = d_{\max}$
 jeśli tak to ukryj kontury o $d > d_{\max}$ i zakończ.
 wykonaj transversalne przemieszczenie robota o zadany krok
 odczytaj aktualne położenie i ułożenie kamer z sensora
 uaktualnij parametry zewnętrzne kamery.

4. Wyniki przetwarzania obrazu

Poprawność działania algorytmu SWO (Procedura 1), można sprawdzić oglądając w okularach anaglifowych przy uwzględnieniu odpowiedniej odległości od wyświetlacza. Przyjmując granicę prawidłowego postrzegania obrazu stereoskopowego zgodnie z [4], obraz należy tak oglądać, aby spełniona była zależność: $z_D/W_D \approx 1,67$, gdzie z_D jest odległością ekranu od obserwatora [m], zaś W_D - określa szerokość wyświetlacza.

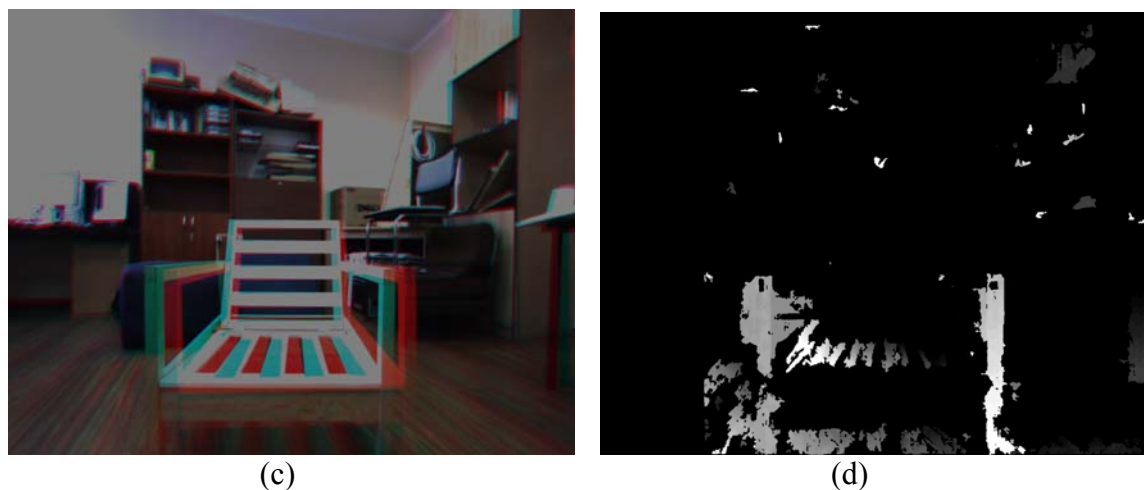
Jak widać na rys. 1, elementy w obrazie znajdujące się blisko są dobrze postrzegane w przypadku małej bazy (rys. 1c) i źle postrzegane w przypadku większej bazy (rys. 2c). Można także zauważyć, iż odległości między tłem a pierwszym planem są większe przy większej bazie stereo (większa rozdzielczość głębi).



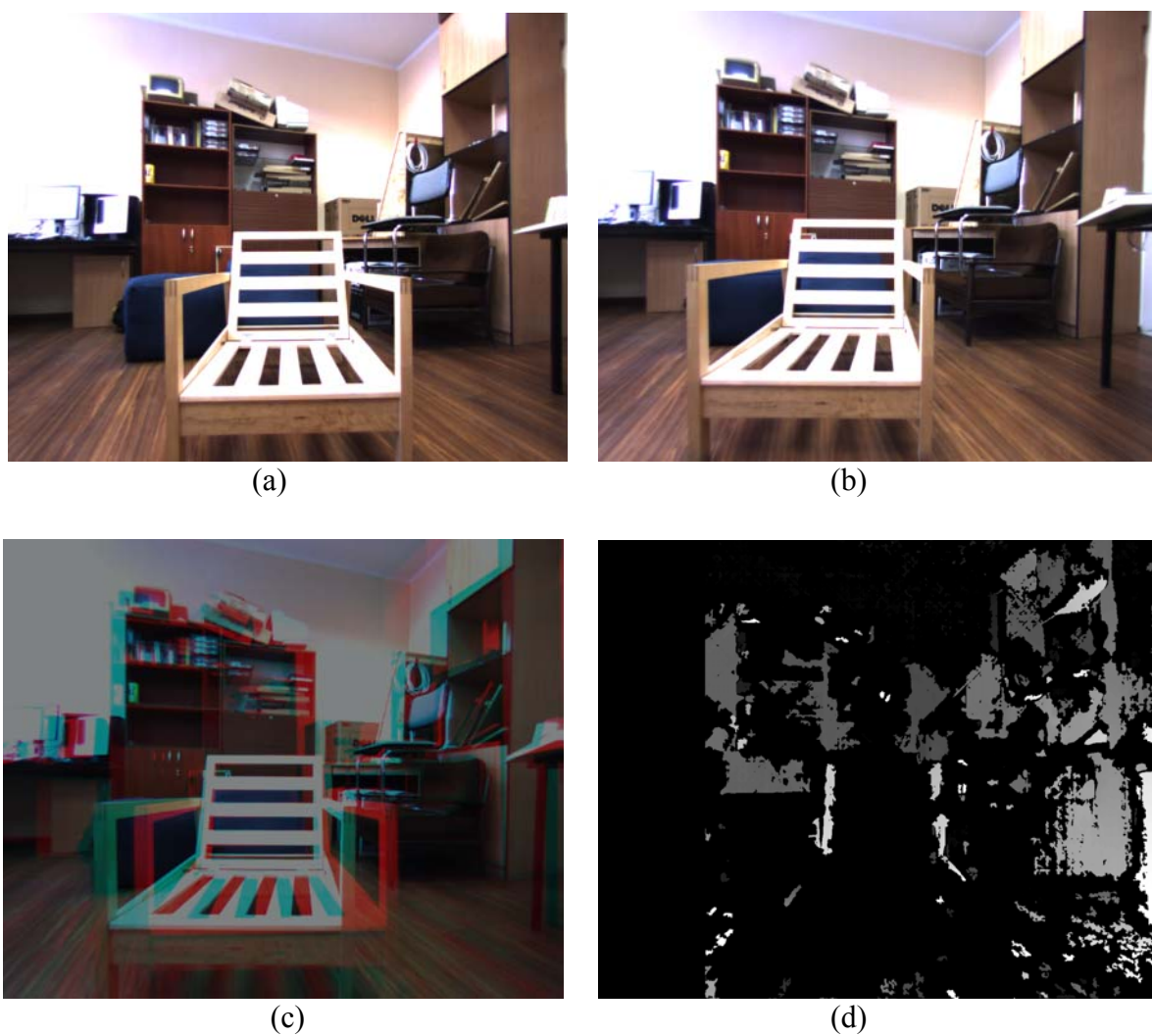
(a)



(b)



Rys. 1. Zobrazowanie obiektu dla bazy stereo $B = 7\text{cm}$: (a) obraz lewy; (b) prawy obraz; (c) dysparycja – obraz anaglifowy; (d) ‘bliska’ mapa głębi.



Rys. 2. Zobrazowanie obiektu dla bazy stereo $B = 20\text{cm}$: (a) obraz lewy; (b) prawy obraz; (c) dysparycja – obraz anaglifowy; (d) ‘daleka’ mapa głębi.

Aby możliwe było zaobserwowanie bez używania okularów, jak zmienia się rozdzielczość głębi obrazu przy różnych bazach stereoskopowych, przedstawiono także mapy dysparycji dla obu przypadków. Czarny kolor oznacza, że odległość punktu od układu kamer jest nieznana. Jasny kontur (duża luminancja) oznacza, że dany punkt znajduje się blisko układu kamer. Oprócz rzeczywistego zdjęcia obiektu z kamery lewej (a) i prawej (b) oraz dysparycji (c), rys. 1 przedstawia ‘bliską’ mapę głębi (d) przy bazie stereo $B=7\text{cm}$. Analogicznie, na rys. 2 zobrazowano ten sam obiekt przy $B=20\text{cm}$. Porównując rys. 1d i 2d można zauważyć, że przy małej bazie stereo rozdzielczość głębi jest mała. Dla poprawienia czytelności obrazu jasność oraz kontrast obrazu zostały zmodyfikowane, dlatego głębia na rys. 1d ma inną skalę niż głębia na rys. 2d).

Porównując luminancje na rys. 1d i 2d można zaobserwować, iż duża baza lepiej odwzorowuje elementy znajdujące się daleko. Świadczy to o większej rozdzielczości głębi. Widać, że obiekty bliskie są dobrze widoczne przy małej bazie. Należy podkreślić, iż z rys. 2d usunięto elementy, które mają bardzo dużą dysparycję (gdyż obrazy 2c i 2d dla obiektów bliskich nie są poprawne). Problem ten uwzględnia Procedura 1, która pozwala operatorowi na ingerencję umożliwiającą poprawną percepcję obrazu stereoskopowego.

5. Podsumowanie

W raporcie opisano wyniki przetwarzania obrazu przez algorytm SWO. Kolorowe zdjęcia obserwowanego obiektu, mapy głębi oraz dysparycje obrazów (obraz anaglifowy) opisują, jak zmienia się obraz przy różnych wartościach bazy stereo. Poprzez zapewnienie odpowiednio dużej szerokości bazy stereo można uzyskać ‘pogłębienie przestrzenne’, przez co można lepiej określać położenie obiektów znajdujących się na dalszym planie. Na bieżąco można także wizualizować obraz stereoskopowy użyteczny dla operatora.

Bibliografia

- [1] Gallup D., Frahm J.M., Mordohai P., Pollefeys M.: Variable baseline/resolution stereo. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, ss 1 – 8, 2008.
- [2] Jones G., Lee D., Holliman N., Ezra D.: Controlling perceived depth in stereoscopic images. *Proceedings of 8th Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems*, ss. 42 – 53, 2001.
- [3] Szeliski R., Scharstein D.: Sampling the disparity space image. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, no. 3, ss. 419 – 425, 2004.
- [4] Zilly F, Kluger J., Knauff P.: Production rules for stereo acquisition. *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 4, ss. 590 – 606, 2011.