

FALKOWY KORELATOR POŁĄCZONEJ TRANSFORMATY FOURIERA

Niniejsza praca stanowi próbę dyskusji występujących często kłopotów technicznych w dziedzinie korelacyjnych metod rozpoznawania ze scen z wieloma zaszumionymi obiektami. Wskazano na nieuniknione problemy jakich należy oczekiwać w wielu praktycznych zastosowaniach metod korelacyjnych. Szybkie metody optoelektroniczne skutecznie eliminują nieostrość pików korelacyjnych. Symulacje komputerowe metod korelacyjnych mogą istotnie obniżyć koszty budowy układów połączonej transformaty Fouriera.

WSTĘP

W optoelektronicznym rozpoznaniu obiektów dość skuteczną jest metoda połączonych transformat Fouriera (JTC - Joint Transform Correlators). Jakkolwiek konfiguracja JTC oferuje wiele atrakcyjnych zalet w porównaniu z metodą Vander Lugta to tradycyjna metoda JTC daje niskiej jakości piki korelacyjne (1-5).

Wiele prac badawczych wskazuje, że transformata falkowa jest powszechnie uznawana jako efektywne narzędzie do ekstrakcji cech charakterystycznych, ponieważ falki doskonale uwypuklają lokalne cechy charakterystyczne analizowanych sygnałów. Zastosowanie transformaty falkowej w rozpoznawaniu obrazów może znacznie podwyższyć zdolność dyskryminacji pików korelacyjnych w porównaniu z klasyczną metodą połączonych transformat Fouriera (JTC). Rozpoznanie optoelektroniczne (6-10) obiektów wykorzystujące transformaty falkowe jest skuteczne w detekcji pojedynczych obiektów. Technika korelacyjna z filtrami falkowymi była szeroko stosowana do pojedynczych obiektów. Niewiele prac poświęcono próbą zaadaptowania jej do detekcji wielu zaszumionych obiektów. W tym artykule podjęto dyskusję rozpoznania w płaszczyźnie Fouriera wielu obiektów i problemów z nimi związanych. Technika ta wykorzystuje falki typu „kapelusz meksykański” do ekstrakcji cech charakterystycznych obrazu aby podwyższyć dyskryminację pików korelacji. W tej technice moc widmowa obiektów nakładana jest na serie generowanych filtrów a następnie zastosowana jest odwrotna transformata Fouriera w celu pozyskania sygnału autokorelacji. Aplikacja filtrów falkowych pozwala uzyskiwać ostre piki korelacji dla detekcji obiektów przy obecności podobnych jak i zaszumionych obiektów. W rezultacie pojawia się możliwość: eliminacji niepożądanych pików zerowego rzędu, tłumienia efektów związanych z szumem obrazów i eliminacji fałszywych alarmów generowanych przez podobne obiekty.

1. IDEA FALKOWEJ METODY KORELACYJNEJ

1.1. Piki korelacyjne dla wielu obiektów

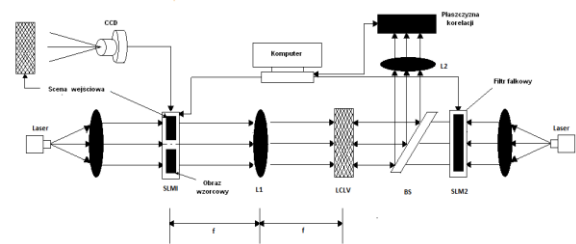
Schemat ideowy optoelektronicznego układu realizującego falkową metodę korelacyjną rozpoznawania wielu zaszumionych obiektów zilustrowano na rys. 1.

Scena wejściowa zawierająca wiele obiektów $\sum_{i=1}^n t_i(x, y - y_i)$ oraz znany obraz wzorcowy $r(x, y + y')$ wyświetlane są równocześnie na przestrzennym modulatorze światła (SLM1).

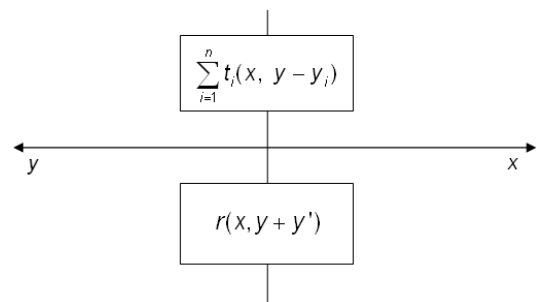
Obraz wzorcowy $r(x, y + y')$ reprezentujący obraz odniesienia i obraz rozpoznawany $t(x, y + y')$ reprezentujący scenę (rys. 2) lokowane są w odległości $2y'$ wzdłuż osi y przestrzennego modulatora światła (SLM1).

Wypadkowy obraz w płaszczyźnie wejściowej można przedstawić w postaci:

$$f(x, y) = r(x, y + y') + \sum_{i=1}^n t_i(x, y - y_i) \quad (1)$$



Rys. 1. Schemat optoelektronicznego falkowego korelatora połączonej transformaty Fouriera (WJTC)



Rys. 2. Schemat płaszczyzny wejściowej falkowego korelatora połączonej transformaty Fouriera (WJTC) złożonej z wielu nieznanymi obrazów $\sum_{i=1}^n t_i(x, y - y_i)$ i znanego obrazu wzorcowy $r(x, y)$

Intensywność w klasycznym korelatorze połączonej transformaty Fouriera $|F(u, v)|^2$ - mocy widmowej połączonej transformaty Fouriera) obrazu wyjściowego można przedstawić w postaci (2). Moc ta rejestrowana jest najczęściej przez kwadratowy detektor w postaci matrycy ciekłokrystalicznej (LCLV).

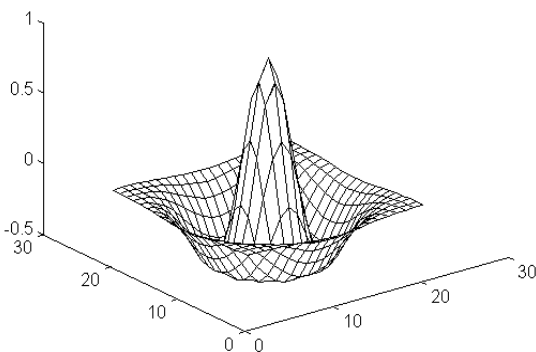
W technice rozpoznawania wzorców, cechy charakterystyczne w postaci krawędzi pozwalają na szybką identyfikację obiektów.

$$|F(u, v)|^2 = |R(u, v)|^2 + \sum_{i=1}^n |T_i(u, v)|^2 + 2 \sum_{i=1}^n |R(u, v)| \cdot |T_i(u, v)| \cdot \cos[\phi_i(u, v) - \phi_0(u, v) + v(y' + y_i)] + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1, k \neq i}^n |T_i(u, v)| \cdot |T_k(u, v)| \cdot \cos[\phi_i(u, v) - \phi_k(u, v) - v(y_i - y_k)] \quad (2)$$

gdzie $|T_i(u, v)|$ oraz $\phi_i(u, v)$ są amplitudą i fazą transformaty Fouriera dla obiektu $t_i(x, y)$.

Aplikacje transformaty falkowej do detekcji krawędzi są niezwykle skuteczne w praktyce. Mallat wykazał, że falka $h(x, y)$ w postaci „kapelusza meksykańskiego” (rys. 3) jest użyteczna w ekstrakcji krawędzi:

$$h(x, y) = [1 - (x^2 + y^2)] \cdot \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2}\right) \quad (3)$$



Rys. 3. Falka $h(x, y)$ w postaci „kapelusza meksykańskiego”

Łatwo zauważyć, że falka w postaci „kapelusza meksykańskiego” jest drugą pochodną funkcji Gaussa.

Wygenerujemy serie filtrów falkowych z falki matki $h(x, y)$ z zerową translacją i dylatacją a . Falkę córkę $h_a(x, y)$ wygenerowaną z falki matki można opisać r-niem:

$$h_a(x, y) = \frac{1}{a} h\left(\frac{x}{a}, \frac{y}{a}\right) \quad (4)$$

Dokonyjmy następnie transformaty Fouriera dla falek $h_a(x, y)$:

$$H(u, v) = 4\pi^2 (u^2 + v^2) \cdot \exp[-2\pi(u^2 + v^2)] \quad (5)$$

Jeżeli potraktujemy transformatę Fouriera falki w postaci „kapelusza meksykańskiego” jako serię filtrów dla mocy widmowej połączonej transformaty Fouriera funkcji obrazu wyjściowego to otrzymamy zmodulowaną intensywność $E(u, v)$ w postaci:

$$E(u, v) = |H_a(u, v)|^2 \cdot |F(u, v)|^2 \quad (6)$$

Zmodulowaną falkowo moc widmową połączonej transformaty Fouriera można opisać r-niem:

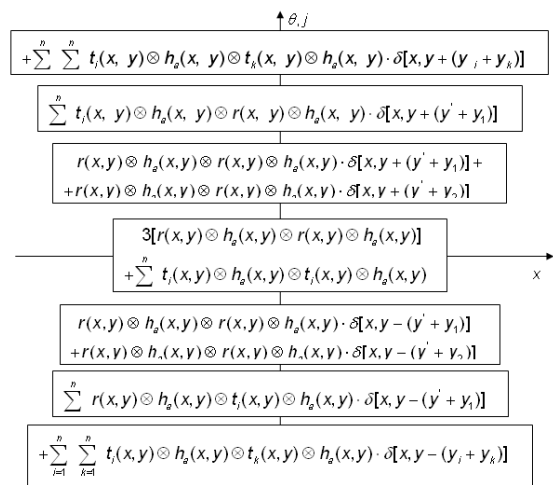
$$E_j(u, v) = |H_a(u, v)|^2 \cdot |F(u, v)|^2 = |H_a(u, v)|^2 \cdot (|R(u, v)|^2 + \sum_{i=1}^n |T_i(u, v)|^2 + 2 \sum_{i=1}^n |R(u, v)| \cdot |T_i(u, v)| \cdot \cos[\phi_i(u, v) - \phi_0(u, v) + v(y' + y_i)] + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1, k \neq i}^n |T_i(u, v)| \cdot |T_k(u, v)| \cdot \cos[\phi_i(u, v) - \phi_k(u, v) - v(y_i - y_k)]) \quad (7)$$

Przykładowo jeżeli obiekty w scenie wyjściowej $t_1(x, y - y_1)$, $t_2(x, y - y_2)$ są identyczne jak obraz obiektu wzorcowego $r_1(x, y - y_1)$ to zmodulowana falkowo moc widmowa połączonej transformaty Fouriera (r-nie 7) staje się:

$$E_j(u, v) = |H_a(u, v)|^2 \cdot |F(u, v)|^2 = |H_a(u, v)|^2 \cdot (3 \cdot |R(u, v)|^2 + \sum_{i=3}^n |T_i(u, v)|^2 + 2 |R(u, v)| \cdot \{\cos[v(y' + y_1)] + \cos[v(y' + y_2)]\} + 2 \sum_{i=3}^n |R(u, v)| \cdot |T_i(u, v)| \cdot \cos[\phi_i(u, v) - \phi_0(u, v) + v(y' + y_i)] + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1, k \neq i}^n T_i(u, v) \cdot T_k(u, v) \cdot \cos[\phi_i(u, v) - \phi_k(u, v) - v(y_i - y_k)]) \quad (8)$$

W praktyce moc widmowa połączonej transformaty Fouriera nałożona na serie filtrów wyświetlanych na drugim przestrzennym modulatorze światła (SLM2) kierowana jest na soczewkę L2, która realizuje odwrotną transformatę Fouriera dla uzyskania informacji o korelacji obrazu rozpoznawanego i obrazu wzorcowego.

Korelację θ_j w płaszczyźnie wyjściowej, czyli odwrotną transformatę Furiera funkcji (8) zilustrowano na rys. 4.



Rys. 4. Schemat płaszczyzny wyjściowej (θ_j) falkowego korelatora połączonej transformaty Fouriera (WJTC) dla wielu nieznanymi obrazów $\sum_{i=1}^n t_i(x, y - y_i)$ i znanego obrazu wzorcowy $r(x, y)$

Powyższy rysunek (rys. 4) ilustruje, że w płaszczyźnie wyjściowej mamy cztery piki korelacyjne rzędu zerowego, cztery piki korelacyjne jedynie od obiektu wzorcowego $r(x, y)$, oraz dwa piki korelacji krzyżowej od obiektu $t_i(x, y)$ oraz obiektu wzorcowego $r(x, y)$ i dwa piki korelacji krzyżowej pomiędzy różnymi obiektami ($t_i(x, y)$ a $t_k(x, y)$).

Autokorelacja pomiędzy obiektami podobnymi $t_i(x, y)$ w scenie wyjściowej generuje fałszywe piki korelacyjne czyli generuje fałszywe alarmy. Jeśli scena wyjściowa zanieczyszczona jest szumem, wtedy pojawiają się dodatkowe człony. Aby wyeliminować fałszywe alarmy, stłumić piki rzędu zerowego i zmniejszyć wpływ szumu w

scenie wejściowej proponuje się technikę wyróżniania płaszczyzny wyjściowej (np. odejmowania obrazów korelacyjnych w płaszczyźnie korelacyjnej). Skorzystajmy z zestawu trzech wyjść korelacyjnych (θ_j , θ_t , θ_r) dla: (1) tylko połączony obraz w płaszczyźnie wejściowej (obraz rozpoznawany t i wzorcowy r), (2) tylko obraz rozpoznawany t , (3) tylko obraz wzorcowy r a następnie odpowiednio je wykorzystajmy (dokonajmy ich operacji odejmowania).

Ponieważ scena składa się z n obiektów $t_1(x, y - y_1)$, $t_2(x, y - y_2)$, ..., $t_n(x, y - y_n)$, zatem fakt ten można zapisać w postaci:

$$t(x, y) = \sum_{i=1}^n t_i(x, y - y_i) \quad (9)$$

Odpowiednio moc widmową transformaty Fouriera tylko dla sceny złożonej z n obiektów można przedstawić w postaci:

$$|T(u, v)|^2 = \sum_{i=1}^n |T_i(u, v)|^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1, k \neq i}^n |T_i(u, v)| \cdot |T_k(u, v)| \cdot \cos[\phi_{\theta_i}(u, v) - \phi_{\theta_k}(u, v) - v(y_i - y_k)] \quad (10)$$

$(i \neq k)$

Po operacji falkowego filtrowania otrzymujemy:

$$E_j(u, v) = |H_{\theta_j}(u, v)|^2 \cdot |T(u, v)|^2 = |H_{\theta_j}(u, v)|^2 \cdot \{2|R(u, v)|^2 + \sum_{i=3}^n |T_i(u, v)|^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1, k \neq i}^n |T_i(u, v)| \cdot |T_k(u, v)| \cdot \cos[\phi_{\theta_i}(u, v) - \phi_{\theta_k}(u, v) - v(y_i - y_k)]\} \quad (11)$$

$i \neq k$

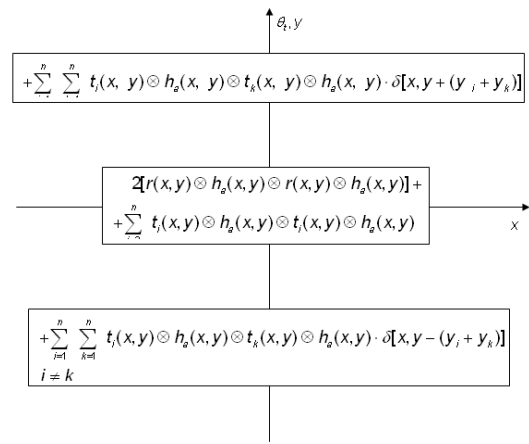
Odwrotna transformata Fouriera powyższego r-nia stanowi wyjście korelacyjne (rys. 6) tylko dla sceny wejściowej.

Zauważmy że rys. 6 ilustruje fakt gdzie dwa obiekty są identyczne jak obraz rozpoznawany. Dwa środkowe wyrażenia reprezentują trzy piki korelacyjne rzędu zerowego (dwa pierwsze piki pochodzące od korelacji krzyżowej obiektu rozpoznawanego r i trzeci pik korelacji od obiektu t_i). Kolejne dwa wyrażenia reprezentują ją piki korelacji krzyżowej pomiędzy różnymi obiektami (t_k oraz t_i).

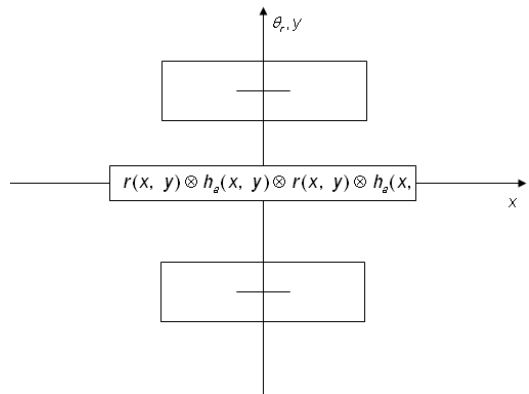
Podobnie wyjście korelacyjne θ_r (pik rzędu zerowego) otrzymywane tylko dla obrazu wzorcowego w płaszczyźnie wejściowej zilustrowano na rys. 7

Jeżeli funkcja obrazu wzorcowego $r(x, y)$ jest znana to θ_r może być obliczone *a priori* i przechowywane w komputerze. Ostatecznie wyjście korelacyjne θ (rys. 8) jest otrzymane po odjęciu θ_r oraz θ_i od θ_j .

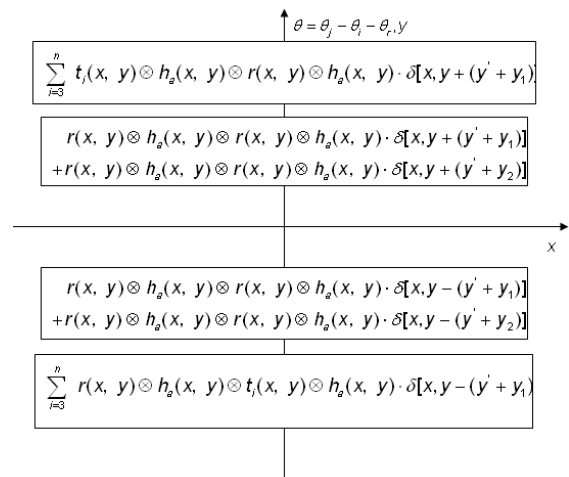
Z rysunku 8 widać, że technika różnic obrazów korelacyjnych w płaszczyźnie wyjściowej falkowego korelatora eliminuje fałszywe alarmy generowane przez podobne obiekty w scenie wejściowej oraz tłumi niepożądane piki zerowego rzędu.



Rys. 6. Schemat płaszczyzny wyjściowej (θ_t) falkowego korelatora połączonej transformaty Fouriera (WJTC) tylko dla wielu nieznanych obrazów ($\sum_{i=1}^n t_i(x, y - y_i)$)



Rys. 7. Schemat płaszczyzny wyjściowej (θ_r) falkowego korelatora połączonej transformaty Fouriera (WJTC) tylko dla obrazu wzorcowego



Rys. 8. Schemat płaszczyzny wyjściowej ($\theta = \theta_j - (\theta_i + \theta_r)$) falkowego korelatora połączonej transformaty Fouriera (WJTC) dla wielu różnych obrazów

PODSUMOWANIE

Stosowanie metod korelacyjnych do identyfikacji obiektów z obrazów zaszumionych wiąże się z problemami nieostrości pików korelacyjnych. Jednym ze sposobów rozwiązania tego typu proble-

mów może być technika różnic obrazów korelacyjnych lub różnic obrazów Fourierskich. Symulacje komputerowe (wykorzystujące powyższe zależności) mogą być drogą do optymalizacji budowy układów laboratoryjnych.

BIBLIOGRAFIA

1. Ahmed F., Alam M. S., Karim M. A., *Multireference joint transform correlator for distortion estimation*, Optical Engineering – Reporting on Research and Development in Optical Science and Engineering, SPIE, 37, 1, 38-42, 1998.
2. Alam M. S., *Deblurring using fringe-adjusted joint transform correlation*, Optical Engineering, SPIE, 37, 2, 556-564, 1998.
3. Davis J. A., Haavig L. L., Cottrell D. M., *Direction sensing rotational filter for an optical correlator*, Optical Engineering, SPIE, 37, 1, 93-98, 1998.
4. Michel H. E., Awwal A. A. S., *Joint Fourier transform correlation with phase thresholding in the Fourier domain*, Optical Engineering, SPIE, 37, 1, 33-38, 1998.
5. Feng W. Yan Y., Huang G., Jin G., *Micro-optical multiwavelet element for hybrid texture segmentation processor*, Optical Engineering, SPIE, 37, 1, 185-188, 1998.
6. Niedziela T., Szymczak R.: *Optoelektroniczne metody rozpoznawania obrazów*. Prace Naukowe Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, 9, s. 93-105, 2000.
7. Cyran K. A., Niedziela T.: *Automatic recognition of the type of road vehicles with the use of optimised ring-wedge detector and neural network*, Archives of Transport, XVIII, 3, s. 23-36, 2006.
8. Cyran K. A., Niedziela T.: *Infrared images in automatic recognition of the type of road obstacle in a fog*, Archives of Transport, XVIII, 4 s. 29-38, 2006.

Wavelet transform correlator for Fourier joint transform purposes

The paper discusses the technical disadvantages of correlation methods as they are referred to recognition scenes with the multi noisy objects. There are shown the problems of correlation methods difficult to be avoided in practice. In course of that the fast optoelectronic methods eliminating non sharpness of correlation picks and advantages of computer simulations are proposed. Such procedures allow to reduce the costs of application of the joint Fourier Transform methods.

Autor:

Prof. dr hab. inż. **Tadeusz Niedziela** – Uniwersytet Techniczno – Humanistyczny w Radomiu, Wydział Informatyki i Matematyki, Katedra Informatyki.