

Grzegorz T. Kolecki
Pracownia Modelowania Systemów
Komputerowego Wspomagania
ORT IPPT PAN Warszawa

ZASTOSOWANIE METOD OPTYKI KOHERENTNEJ W SYSTEMACH WIZJI MASZYNOWEJ

1. Wstęp

Procesy produkcji, ze względu na rosnące skomplikowanie technologii, wymagają podejmowania rozmaitych decyzji i czynności na poszczególnych ich etapach. Mogą to być np. : pozycjonowanie detali, montaż oraz najczęściej spotykana - kontrola jakości. Dotychczas wykonywał je człowiek, jednak w przypadku wysokowydajnych zautomatyzowanych linii produkcyjnych czas na to przeznaczony jest zbyt krótki jak na ludzkie możliwości i człowieka zastępuje maszyna. Ilość danych niezbędnych do jej prawidłowej, automatycznej pracy jest zazwyczaj dość duża i często najwygodniejszym sposobem ich pozyskiwania jest obróbka informacji wizyjnej, co wynika z olbrzymiej pojemności informacyjnej obrazów. Zadanie otrzymania danych (zazwyczaj zespołu wartości pewnych cech charakterystycznych) na podstawie obrazu przekazanego przez kamerę spełniają systemy modelujące procesy rozpoznawania, nazywane systemami wizji maszynowej czy też wizji komputerowej. Prace nad nimi były początkowo rozwijane w ramach badań nad sztuczną inteligencją, jednak ze względu na specyfikę i duży stopień skomplikowania obróbki obrazów są one coraz częściej traktowane jako odrębna dziedzina wiedzy.

Generalnie, przemysłowy system wizji maszynowej powinien

umożliwić :

(a) pozyskanie i obróbkę obrazu, tzn. poprawianie jego jakości, filtrację, detekcję pewnych charakterystycznych elementów (krawędzi, kątów, itd.),

(b) wyodrębnienie z obrazu poszczególnych przedmiotów,

(c) rozpoznanie tych przedmiotów, tj. przydzielenie do klas już znanych obiektów,

(d) określenie położenia i orientacji przedmiotów,

(e) przekazanie wyników do dalszego przetwarzania.

Ze względu na bardzo dużą ilość informacji zawartej w obrazie, algorytmy powyższych operacji są zazwyczaj skomplikowane i pracochłonne, toteż ich numeryczna realizacja wymaga niezwykle szybkich procesorów i dużych pamięci komputerów. Bardzo często jedynie specjalistyczne rozwiązania sprzętowe umożliwiają pracę systemu wizji w czasie rzeczywistym. Rozwiązaniem alternatywnym jest wykorzystanie metod optycznego przetwarzania obrazów i to właśnie one oraz korzyści wynikające z ich stosowania są przedmiotem niniejszego opracowania.

2. Optyczne metody przetwarzania informacji

Metody optyczne wykorzystują do przetwarzania informacji zawartej w obrazie fizyczną naturę światła, co dzięki ołbrzymiej prędkości oraz szczególnym cechom jego propagacji powoduje, że czas optycznej realizacji obróbki obrazu jest zanedbywalnie mały. Podstawowym, wykorzystywanym tu zjawiskiem jest fakt wykonywania przez soczewkę dwuwymiarowej, zespolonej transformaty Fouriera, a co za tym idzie, możliwość łatwej implementacji optycznej dwuwymiarowego spłotu, korelacji i wielu innych operacji całkowych [1,2,3,4]. Łatwość i szybkość całkowania przy pomocy światła stanowi o głównej sile metod optycznych w porównaniu z ich numerycznymi odpowiednikami.

2.1 Możliwości

Można wyodrębnić trzy klasy zagadnień przetwarzania obrazu, w których mają zastosowanie metody optyczne. Są to :

(A) Poprawianie i globalne przetwarzanie obrazu, w tym wykonywanie różnego rodzaju transformacji całkowych.

Zadaniem jest tu filtracja, poprawianie ostrości, detekcja krawędzi (działające zwykle na zasadzie splotu funkcji obrazu z odpowiednią funkcją wygładzającą lub modyfikującą [2,3,4,5,6,7,8]) czy też implementacja nieliniowych operacji lokalnych (operator Sobela [9], filtr adaptacyjny lokalnie [10]). Realizuje się też rozmaite transformaty : Walsha, Radona, Mellina i inne [4,11,12,13,14].

(B) Rozpoznawanie i lokalizacja obiektów.

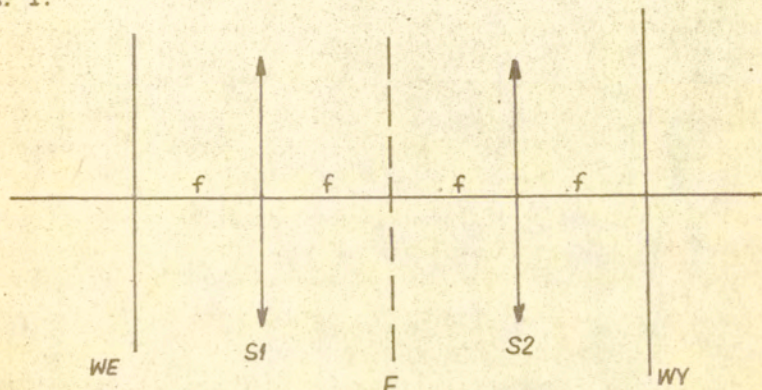
W tych zagadnieniach wykorzystuje się tzw. filtry dopasowane w układzie korelatora Vander Lugta [15,2,3,4] (rys. 1.). W przypadku rozpoznania przedmiotu położenie plamki autokorelacyjnej w płaszczyźnie WY odpowiada jednocześnie rzeczywistemu położeniu obiektu. Taki korelator optyczny działa jak klasyfikator minimalnoodległościowy i umożliwia jednoczesną lokalizację obiektu [3,4].

(C) Wyodrębnianie cech charakterystycznych obiektów dla potrzeb dalszego, numerycznego przetwarzania.

Ta klasa problemów zawiera w sobie obliczanie dla danego obiektu współczynników różnych transformacji (por. (A)), jego momentów dowolnego rzędu [16,17], rozkładu długości cięciw łączących jego poszczególne punkty brzegowe [18] i innych cech charakterystycznych [19].

Duża część powyższych operacji może być realizowana przez filtrację zespoloną (amplitudowo-fazową) w układzie, którego najprostszy schemat przedstawiono na rys. 1.

Rys. 1.



Cały układ pracuje w świetle koherentnym. Wejście i wyjście znajduje się w płaszczyznach WE, WY. Soczewki S1 i S2, oddalone od płaszczyzn WE, F i WY o odległość ogniskową f , wykonują odpowiednio prostą i odwrotną transformację Fouriera. Istota implementowanej operacji zawiera się w działaniu filtra F. Jest on wykonywany holograficznie lub syntetyzowany komputerowo [20,21,22] i zazwyczaj zapisywany na odpowiedniej kliszy fotograficznej. Ostatnio badane są również inne możliwości zapisu filtrów [23,24,25].

2.2 Zalety i wady

Głównymi zaletami optycznych metod przetwarzania obrazów są :

- (a) olbrzymia szybkość działania, związana z równoległością przetwarzania nieosiągalną metodami cyfrowymi,
- (b) łatwość wykonywania operacji całkowych, trudnych do

implementacji numerycznej,

(c) niezmienniczość względem translacji,

(d) możliwość jednoczesnego rozpoznawania i lokalizacji przedmiotu,

(e) możliwość zapisania kilku filtrów F_1, \dots, F_n na tej samej kliszy F i jednoczesnego badania przynależności przedmiotu do kilku różnych klas obiektów,

(f) możliwość dokładnego określenia orientacji obiektu, ze względu na dużą czułość na obrót [26],

(g) możliwa do osiągnięcia duża zwartość układu [27] i jego nieczułość na zakłócenia przemysłowe.

Jak wszystkie metody, także i optyczna obróbka obrazów nie jest pozbawiona wad. Należy tu wymienić :

(a) brak elastyczności z powodu związanej z wykonaniem filtrów konieczności wcześniejszego dopasowania układu do konkretnego zadania - układ nie jest w stanie "uczyć się" na bieżąco,

(b) duża czułość na rotację i przeskalowanie [28], którą można jednak zmniejszać [29,30,31],

(c) bardzo duża czułość filtrów dopasowanych na zmiany przedmiotu, wymagająca często pewnego "odczulenia" układu, tzn. zmniejszenia czułości filtru, gdyż czasem przedmioty identyczne dla człowieka są przedmiotami różnymi dla korelatora,

(d) potrzebę pracy w świetle spójnym (choć nie zawsze [32,33,34,35,36]).

3. Układy hybrydowe

Jednym ze stosowanych sposobów usunięcia niedogodności czysto optycznego układu przetwarzania obrazów jest budowa optyczno - elektronicznej hybrydy. Polega to na wykorzystaniu jako źródła danych przetworników obrazu w płaszczyźnie WE i/lub modulatorów światła jako dynamicznych cyfrowych filtrów zespolonych [23,24,25,37,38] w płaszczyźnie F układu (Rys. 1.).

Takie rozwiązanie łączące korzystne cechy obu systemów ma wiele zalet. Dzięki sterowaniu wejścia przez układ cyfrowy można obrabiać optycznie całość lub fragmenty obrazu, zaś zastosowanie sterowanego komputerem, dynamicznego filtra F umożliwia przestrajalność układu i jego dopasowywanie się do zmiennych wymagań systemu [23,24,25]. Z kolei wykorzystanie optyki zapewnia szybkość działania, czyli wykonywanie zaimplementowanych operacji w czasie rzeczywistym niezależnie od stopnia skomplikowania rozpoznawanych przedmiotów, a także umożliwia połączenie kilku operacji w jedną, np. jednoczesne rozpoznanie i lokalizacja obiektu.

Pewnymi ograniczeniami w budowie układów hybrydowych są wymagania technologiczne stawiane poszczególnym elementom [39], należy mieć jednak nadzieję, że wraz z rozwojem techniki ich spełnienie nie będzie kłopotliwe, gdyż już teraz wiele z istniejących systemów wizji maszynowej jest hybrydami [3,4].

4. Podsumowanie

Wysokie wymagania stawiane systemom wizyjnym pod względem szybkości działania są bodźcem do poszukiwań nowych rozwiązań i jedno z nich przedstawiono w bardzo ogólnym zarysie powyżej. Metody optyki koherentnej, mając wiele własności niemożliwych do tak łatwego uzyskania innymi sposobami, są potężnym narzędziem przetwarzania informacji. Rozwój i rosnąca ilość ich zastosowań, zarówno w klasycznej obróbce obrazów [3,4,7,8,41], jak i w sytuacjach zdawałoby się nietypowych [40], pozwala przypuszczać, że hybrydowe układy optyczno-cyfrowe będą w niedługim czasie istotnym elementem większości systemów wizji maszynowej.

LITERATURA

1. J.W. Goodman, *Introduction to Fourier optics*, McGraw-Hill, New York, 1968

2. W.T. Cathey, *Optyczne przetwarzanie informacji i holografia*, PWN, Warszawa, 1978
3. G.I. Vasilenko, *Golografičeskoe opoznavanie obrazov*, Sovetskoe Radio, Moskva, 1977
4. G.I. Vasilenko, M.C. Cybul'kin, *Golografičeskie raspoznajuščie ustrojstva*, Radio i svjaz', Moskva, 1985
5. D.C. Lai, J. Potenza, K. Verfaillie, *Opt. Eng.*, 23, 794, 1986
6. R.J. Marks II, *Opt. Eng.*, 23, 745, 1984
7. V.N. Parygin, V.I. Balakšij, *Optičeskaja obrabotka informacii*, Izdatel'stvo Moskovskogo Universiteta, Moskva, 1987
8. G.B. Gurevič, G.A. Gavrilov (red.), *Optičeskaja obrabotka izobraženij*, Nauka, Leningrad, 1985
9. D. Casasent, J. Chen, *Appl. Opt.*, 22, 808, 1983
10. G. Indebetouw, *Opt. Eng.*, 23, 073, 1984
11. R.L. Easton, Jr., A.J. Ticknor, H.H. Barrett, *Opt. Eng.*, 23, 738, 1984
12. G.R. Gindi, A.F. Gmitro, *Opt. Eng.*, 23, 499, 1984
13. B. Gu, G. Yang, B. Dong, *Appl. Opt.*, 25, 3197, 1986
14. J.R. Leger, S.H. Lee, *Proc. SPIE*, 154, 210, 1978
15. A. Vander Lugt, *IEE Trans. Inf. Theory*, IT-10, 139, 1964
16. D. Casasent, R.L. Cheatham, D. Fetterly, *Appl. Opt.*, 21, 3292, 1982
17. B.V.K. Vijaya Kumar, C.A. Rahenkamp, *Appl. Opt.*, 25, 997, 1986
18. D. Casasent, W.-T. Chang, *Appl. Opt.*, 22, 2087, 1983
19. Z.-H. Gu, S.H. Lee, *Opt. Eng.*, 23, 727, 1984
20. D. Casasent, W. Rozzi, D. Fetterly, *Opt. Eng.*, 23, 716, 1984
21. J. Riggins, S. Butler, *Opt. Eng.*, 23, 721, 1984
22. D.M. Cottrell, R.A. Lilly, J.A. Davis, T. Day, *Appl. Opt.*, 26, 3755, 1987
23. D. Psaltis, E.G. Paek, S.S. Venkatesh, *Opt. Eng.*, 23, 698, 1984
24. B. Loiseaux, G. Illiaquer, J.P. Huignard, *Opt. Eng.*, 24, 144, 1985
25. D.L. Flannery, A.M. Biernacki, J.S. Loomis, S.L. Cartwright, *Appl. Opt.*, 25, 466, 1986
26. E. Bonet, C. Ferreira, P. Andres, A. Pons, *Opt. Comm.*, 58, 155, 1986

27. J.G.Duthie, J.Upatnieks, Opt. Eng., 23, 007, 1984
28. P.D.Glanino, J.L.Horner, Opt. Eng., 23, 695, 1984
29. H.H.Arsenault, Y.N.Hsu, K.Chalasincka-Macukow, Opt. Eng., 23, 705, 1984
30. M.P.Levesque, H.H.Arsenault, Opt. Comm., 58, 161, 1986
31. K.Merсерau, G.M.Morris, Appl. Opt., 25, 2338, 1986
32. F.T.S.Yu, Opt. Eng., 23, 690, 1984
33. E.N.Leith, D.K.Angell, Appl. Opt., 25, 499, 1986
34. D.Psaltis, Opt. Eng., 23, 012, 1984
35. B.Javidi, F.T.S.Yu, Appl. Opt., 25, 2365, 1986
36. B.Javidi, Appl. Opt., 26, 3762, 1987
37. D.A.Gregory, Appl. Opt., 25, 467, 1986
38. T.Hara, K.Shinoda, T.Kato, M.Sugiyama, Y.Suzuki, Appl. Opt., 25, 2306, 1986
39. A.R.Tanguay, Jr., Opt. Eng., 24, 002, 1985
40. C.Warde, J.Kottas, Appl. Opt., 25, 940, 1986
41. D.Casasent, Opt. Eng., 24, 026, 1985