ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1999
Seria: TRANSPORT z. 38 Nr kol.1433

Zbigniew CZAPLA

REPREZENTACJA OBRAZÓW CYFROWYCH WYKORZYSTUJĄCA FRAGMENTACJĘ DETERMINOWANĄ WZORCEM KWADRATOWYM POCZWÓRNYM

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę reprezentacji obrazów cyfrowych. Metoda ta opiera się na wykorzystaniu kwadratowych poczwórnych fragmentów przetwarzanego obrazu. Ich wyodrębnianie realizowane jest na podstawie zdefiniowanych wzorców kwadratowych poczwórnych. Reprezentacja obrazu tworzona jest poprzez określenie współczynników transformacji afinicznych, przetwarzających wzorzec w wyodrębniany fragment obrazu.

THE DIGITAL IMAGE REPRESENTATION USING A PARTITIONING DETERMINED OF A STANDARD SQUARE QUAD PART

Summary. The paper presents a method of representing digital images. This method is based on quad partitioning of the image with tiles. The tiles are derived from a priori defined square quad standard parts. The coefficients of affinic transforms of the standard parts to the quad tiles of image constitute the representation of the digital image.

1. WPROWADZENIE

Do automatycznego określania parametrów ruchu drogowego wykorzystywane są komputerowe systemy wizyjne wykorzystujące cyfrową postać obrazu. Obraz cyfrowy może być traktowany jako funkcja ciągu dwuwymiarowego. Można go przekształcać i analizować geometrycznie, metodami częstotliwościwymi, a także za pomocą przekształceń morfologicznych [10,11,16,17]. Obrazy cyfrowe często poddawnane są procesom kompresji. W zależności od potrzeb wykorzystuje się algorytmy kompresji stratnej lub bezstratnej. Większość algorytmów kompresji oparta jest na przetwarzaniu ciągów pikseli, a tylko nieliczne wykorzystują dwuwymiarowe fragmenty obrazu [3,7].

Istnieją obszary zastosowań, w których kompresja stratna, bez możliwości wiernego odtworzenia informacji, jest nie do przyjęcia. Dotyczy to w szczególności przypadków kompresji plików zawierających teksty lub programy komputerowe w kodzie maszynowym. Kompresja stratna jest niedopuszczalna również dla niektórych plików graficznych, co podyktowane jest różnego rodzaju czynnikami (np. brakiem wystarczająco pewnych metod oceny jakości odtwarzanych obrazów, wymogami archiwizacji czy obowiązującymi uregulowaniami prawnymi).

Do algorytmów kompresji bezstratnej zalicza się: kodowanie długości ciągów [7], kodowanie metodą Huffmana [7,13,14], algorytmy typu słownikowego [7,13,14] (LZW stosowany w standardzie GIF oraz LZ77 stosowany w standardzie PNG), kodowanie arytmetyczne [7,13]. Algorytmy te bazują na przetwarzaniu ciągów pikseli i nie korzystają z fragmentacji obrazu.

Algorytmy kompresji stratnej pozwalają na znaczne zmniejszenie liczby bitów potrzebnych do reprezentacji obrazu kosztem utraty części informacji zawartej w obrazie przed przeprowadzeniem kompresji. Współczynniki kompresji osiągane za pomocą tych algorytmów są znacznie większe niż współczynniki kompresji otrzymywane w wyniku stosowania algorytmów kompresji bezstratnej, jednak jakość obrazu uzyskanego po zdekodowaniu może ulec nawet znacznemu pogorszeniu. W celu określenia jakości obrazu po zdekodowaniu stosowane są różne metody oceny: obliczeniowo obiektywne miary zniekształceń, subiektywne miary obserwacyjne, a także miary oparte na symulacji i analizie statystycznej [14].

Do algorytmów kompresji stratnej należą: metody wykorzystujące dyskretną transformatę kosinusową DCT [7,13,14], kompresja fraktalna (której podstawą są geometria fraktalna, przekształcenia afiniczne i iterowane systemy funkcji) [1,2,4,5,6,8,12,13,14], kompresja falkowa (oparta na transformacjach pasmowych) [9,14], metody wykorzystujące kwantyzację wektorową [14]. Fragmentacja obrazu wykorzystywana jest przez metody bazujące na transformatach DTC oraz przez kompresję fraktalną.

Znacznie częściej, niż w przypadku kompresji, fragmentacja obrazu wykorzystywana jest w algorytmach analizy obrazu, przy czym wydzielanie obszarów odbywa się na podstawie kryteriów jednorodności, a więc podział obrazu dokonywany jest za pomocą segmentacji. Najczęściej segmentacja realizowana jest za pomocą następujących technik [16]: przez podział obszaru, przez rozrost obszaru, metodą wykrywania krawędzi oraz w oparciu o statystykę. Stosowane są również inne techniki, na przykład metoda drzewa poczwórnego [15].

2. OGÓLNY OPIS METODY

Obraz cyfrowy A o M wierszach i N kolumnach może zostać podzielony na k prostokątnych obszarów A_i o rozmiarach $m \times n$ każdy, gdzie m może przybierać wartości z zakresu $[1,M]$, a n wartości z zakresu $[1,N]$. Obraz ten można zapisać w postaci:

$$A = \bigcup_{i=1}^{k} A_i .$$

Jeżeli zostanie określony zbiór W, zawierający s wzorców w_r oraz przekształcenie F, odwzorowujące wzorzec w_r na obszar A_i, wówczas:

$$A = \bigcup_{i=1}^{k} F_i(w_r) \qquad r \in \{1,\ldots,s\} .$$

Układ współrzędnych wzorca OXY jest tak dobrany, aby była zachowana symetria wzorca zarówno w kierunku osi X, jak i osi Y. Wzorzec jest umieszczany w układzie współrzędnych obrazu $O'X'Y'$ tak, aby pokryły się osie X, X' oraz osie Y, Y'. Przekształcenie F jest transformacją afiniczną, przekształcającą każdy punkt (x,y) wzorca w punkt obrazu (x',y'). Przekształcenie to jest opisane na płaszczyźnie zależnością:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ax + by + e \\ cx + dy + f \end{bmatrix}$$

Współczynniki a, b, c i d reprezentują skalowanie i obrót, współczynniki e i f przesunięcie. Skalowanie i obrót muszą być wykonane przed przesunięciem. Złożenie operacji skalowania, obrotu i przesunięcia można zapisać:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1 & 0 \\ 0 & \delta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\phi) & -\sin(\phi) \\ \sin(\phi) & \cos(\phi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1 \cos(\phi)x - \delta_1 \sin(\phi)y + t_x \\ \delta_2 \sin(\phi)x + \delta_2 \cos(\phi)y + t_y \end{bmatrix},$$

gdzie: δ_1, δ_2 – współczynniki skalowania w kierunkach osi X', Y' układu współrzędnych,

ϕ – kąt obrotu wokół środka układu współrzędnych $O'X'Y'$,

t_x, t_y – współrzędne wektora przesunięcia.

Postać ta jest bardziej dogodna do określania współczynników transformacji afinicznej.

Opracowywane rozwiązanie nie ma obecnie swojego bezpośredniego odpowiednika opisanego w dostępnej literaturze. Rozwiązanie to jest zbliżone do kompresji fraktalnej (obie te metody bazują na przekształceniach afinicznych), jednak różni się od niej w sposób istotny, nawet jeżeli nie zostaną uwzględnione zagadnienia stratności informacji. W odmienny sposób realizowane jest przetwarzanie (stosowana jest segmentacja przez rozrost obszaru a nie algorytmy iteracyjne), a także inny jest mechanizm wyboru obszarów, które są przekształcane

(obszarami tymi są definiowane wzorce, a nie fragmenty przetwarzanego obrazu, jak w przypadku kompresji fraktalnej).

Aby opracować algorytm reprezentacji obrazu na podstawie przedstawionej koncepcji należy:

- uwzględnić dyskretne wartości reprezentacji obrazu cyfrowego,
- określić wzorce, ich rozmiary i zawartość,
- dobrać współczynniki transformacji afinicznych,
- określić sposób fragmentacji obrazu za pomocą wzorców i ich odwzorowań afinicznych,
- ustalić format zapisu obrazu po fragmentacji,
- porównać efektywność opracowanej metody ze stosowanymi rozwiązaniami.

3. REPREZENTACJA OBRAZU WYKORZYSTUJĄCA WZORZEC KWADRATOWY POCZWÓRNY

Jednym z wariantów przedstawionej metody jest reprezentacja bezstratna obrazu oparta na wzorcu kwadratowym poczwórnym. Przyjęto, że przetwarzany jest obraz o rozmiarze 256×256 pikseli w postaci mapy bitowej. Obrazy większe są dzielone na podobrazy o wymaganych rozmiarach, obrazy mniejsze są uzupełniane pikselami o wartości 0 do wymaganego rozmiaru. Piksele mogą przybierać wartości z zakresu $[0\text{-}255]$.

Każdy wydzielony obszar jest reprezentowany przez dwie grupy bajtów: grupę bajtów sterujących, decydujących o sposobie przetwarzania i grupę bajtów informacyjnych, określających wartości pikseli wyodrębnionego obszaru. W prezentowanym rozwiązaniu jako zbiór wzorców ustalono zbiór tablic o rozmiarach 2×2, których elementy n_{11}, n_{12}, n_{21}, n_{22}, reprezentują wartości pikseli kodowanego fragmentu obrazu. W tabeli 1 przedstawiono opis zbioru wzorców.

Pierwszy bajt sterujący zawiera:

- typ wzorca (7 wariantów, 3 bity),
- kąt obrotu (co 90°, 2 bity),
- wykładnik współczynnika skalowania (3 bity).

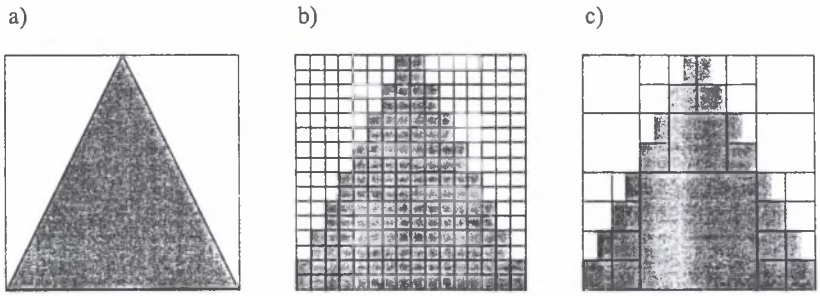
Przyjęto, że współczynnik skalowania jest potęgą liczby 2, a więc każdy z wydzielonych obszarów będzie kwadratem o boku długości $d \in \{1,2,4,8,16,32,64,128,\}$. Z uwagi na to, że najmniejszy wydzielany obszar ma bok o długości 2, to jeżeli zajdzie taka potrzeba, można przypisać stanowi 000 dodatkową funkcję sterującą.

Tabela 1

Zestaw wzorców

Lp.	Wzorzec	Opis wzorca	Liczba bajtów informacyjnych
1	w_1	$n_{11}=n_{12}=n_{21}=n_{22}$	1
2	w_2	$n_{11}=n_{12}=n_{21}$	2
3	w_3	$n_{11}=n_{12}$, $n_{21}=n_{22}$	2
4	w_4	$n_{11}=n_{12}$, $n_{21}\neq n_{22}$	3
5	w_5	$n_{11}=n_{22}$, $n_{12}=n_{21}$	2
6	w_6	$n_{11}=n_{22}$, $n_{12}\neq n_{21}$	3
7	w_7 °	$n_{11}\neq n_{12}$, $n_{11}\neq n_{21}$, $n_{11}\neq n_{22}$ $n_{12}\neq n_{21}$, $n_{12}\neq n_{22}$, $n_{21}\neq n_{22}$	4

Układ realizujący funkcję kompresji posiada tylko jeden bajt sterujący, a parametry przesunięcia generowane są dynamicznie. Dla układów będących częścią systemów rozpoznawania obrazu celowe wydaje się wprowadzenie dodatkowych bajtów sterujących, zawierających informację o położeniu poszczególnych wyodrębnionych fragmentów przetwarzanego obrazu (przy założeniu, że w takim przypadku zagadnienia wielkości reprezentacji obrazu mają charakter drugorzędny). Na rys. 1 przedstawiono przykład fragmentacji części obrazu.



Rys. 1. Przykład fragmentacji części obrazu (rozmiar16 x 16 pikseli); a) obraz oryginalny, b) cyfrowa postać obrazu, c) sposób fragmentacji

Fig. 1. The sample of partitioning a part of image (size 16 x 16 pixels); a) original image, b) image digital form, c) method of partitioning

Tak otrzymana reprezentacja obrazu może być poddana kompresji metodą Huffmana lub za pomocą algorytmów słownikowych. Można się spodziewać, że uzyskiwane współczynniki kompresji bezstratnej będą porównywalne lub lepsze w stosunku do metod obecnie stosowanych. Wynika to z tego, że realizowana jest kompresja dwustopniowa, a więc każdy ze stan-

dardowych algorytmów stosowany jest do już skompresowanej reprezentacji obrazu. Może się zdarzyć, że klasy obrazów zawierających dużą ilość szczegółów nie będą się nadawały do przetwarzania tą metodą (wzorzec w_7 dla współczynnika skalowania *1* daje współczynnik kompresji mniejszy od jedności). Przyjęto jednak założenie, że metoda ta przeznaczona jest do układów, w których z obrazów odfiltrowano zbędne szczegóły. W tabelach 2 i 3 przedstawiono współczynniki kompresji uzyskiwane dla poszczególnych wzorców dla współczynników skalowania $s=1$ (tabela 2) i $s=2$ (tabela 3).

Tabela 2

Współczynniki kompresji dla współczynnika skalowanie $s=1$

Lp.	Wzorzec	Liczba bajtów reprezentacji	Liczba bajtów kodowanych	Współczynnik kompresji
1	w_1	1+1	4	2,0
2	w_2	1+2	4	1,3
3	w_3	1+2	4	1,3
4	w_4	1+3	4	1,0
5	w_5	1+2	4	1,3
6	w_6	1+3	4	1,0
7	w_7	1+4	4	0,8

Tabela 3

Współczynniki kompresji dla współczynnika skalowanie $s=2$

Lp.	Wzorzec	Liczba bajtów reprezentacji	Liczba bajtów kodowanych	Współczynnik kompresji
1	w_1	1+1	16	8,0
2	w_2	1+2	16	5,3
3	w_3	1+2	16	5,3
4	w_4	1+3	16	4,0
5	w_5	1+2	16	5,3
6	w_6	1+3	16	4,0
7	w_7	1+4	16	3,2

Założono, że w reprezentacji występuje jeden bajt sterujący, a liczba bajtów informacyjnych jest zgodna z danymi przedstawionymi w tabeli 1. Liczba kodowanych bajtów obrazu określona jest poprzez skalowanie wzorca czteroelementowego. Dla większych wartości współczynników skalowania uzyska się większe wartości współczynników kompresji.

Istnieją dwie odmiany opisywanej metody. Pierwsza korzysta z tego samego zbioru wzorców, wprowadzając rozmieszczenie wyodrębnianych fragmentów na siatce 2^n (metoda drzewa

poczwórnego). Uzyskuje się wówczas bardziej regularną fragmentację, ale pogorszą się współczynniki kompresji, a obszary jednorodne mogą ulec większemu rozdrobnieniu. Druga odmiana również korzysta z tego samego zbioru wzorców wprowadzając dowolny parzysty współczynnik skalowania (niezbędny drugi bajt sterujący do określenia współczynnika skalowania lub ograniczenie liczby dopuszczalnych wartości współczynnika skalowania). Pogorszeniu ulegną wprawdzie parametry kompresji, ale uzyskuje się wtedy mniejsze rozdrobnienie obszarów jednorodnych, co ma istotne znaczenie w układach rozpoznawania obrazu.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione metody fragmentacji obrazu będą miały zastosowanie w procesach kompresji obrazów cyfrowych. Tylko nieliczne obecnie stosowane algorytmy kompresji bazują na przetwarzaniu dwuwymiarowych obszarów obrazu. Opracowywane rozwiązania są przewidywane do zastosowań w procesach kompresji bezstratnej.

Znane algorytmy kompresji bezstratnej nie są szczególnie efektywne. Z uwagi na to, że rozmiary plików graficznych są zazwyczaj duże i istnieją dziedziny, w których stosowanie kompresji stratnej jest niewskazane lub niedopuszczalne, opracowanie nowych rozwiązań w tym zakresie jest celowe.

Rozpatrywane w pracy metody fragmentacji obrazu cyfrowego uwzględniają jego zawartość. Cecha ta ma duże znaczenie w procesach analizy sceny, a tym samym opracowane rozwiązania mogą znaleźć zastosowanie w technikach rozpoznawania obrazów.

Literatura

1. Barnslay M.F.: Fractals Everywhere. Academic Press Professional, 1993.
2. Bedford T., Dekking F.M., Breeuwer M., Keane M.S. van Schoolneveld D.: Fractal Coding of Monochrome Images. Signal Processing: Image Communication, 1994, no. 6, s. 405-419.
3. Czapla Z.: Metody fragmentacji obrazów cyfrowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport z. 30, Gliwice 1998, s. 147-157.
4. Falconer K., Fractal Geometry, Mathematical Foundations and Applications. John Wiley & Sons, New York 1990.
5. Fisher Y.: Fractal Image Compression. Springer Verlag, New York 1995.
6. Jacquin A.E.: Fractal Image Coding: A Review. Proceedings of the IEEE, 1993, vol. 81, no. 10, s. 1451-1465.

7. Levine J.: Programming for Graphic Files in C and C++. John Wiley & Sons, New York 1994.
8. Martyn T.: Fraktale i obiektowe algorytmy ich wizualizacji. Nakom, Poznań 1996.
9. Meyer F.G., Coifman R.R.: Brushlets: A Tool for Directional Image Analysis and Image Compression. Applied and Computational Harmonic Analysis, 1997, no. 4, ss. 147-187.
10. Nieniewski M.: Morfologia matematyczna w przetwarzaniu obrazu. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998.
11. Oppenheim A.V., Schaffer R.W.: Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. WKŁ, Warszawa 1979.
12. Peitgen H.-O., Jurgens H., Saupe D.: Granice chaosu, Fraktale, cz. 1. PWN, Warszawa 1995, cz. 2. PWN, Warszawa 1996.
13. Skarbek W.: Metody reprezentacji obrazów cyfrowych. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1993.
14. Skarbek W. (edytor): Multimedia, Algorytmy i standardy kompresji. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998.
15. Szeliski R., Shum H.-Y.: Motion Estimation with Quadtree Splines. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, vol. 18, no. 12, s. 1196-1210.
16. Tadeusiewicz R., Korohoda P.: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997.
17. Watkins C.D., Sadun A. Marenka S.: Nowoczesne metody przetwarzania obrazu. WNT, Warszawa 1995.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Konrad Wojciechowski

Wpłynęło do Redakcji 19.05.1999 r.

Abstract

The paper presents a method of representing digital images. This method is based on quad partitioning of the image with tiles. The presented algorithm may be used in a compressing image data. There is a possibility to use the described method in computer image analysis.

The quad partitioning is guided by the contents of the image parts. The image tiles are derived from a priori defined square quad standard parts. These standard parts must be a representative of the class of the images, which are being processed. The scope of transform functions is limited to affinic functions. Also the ranges of the transform coefficients are bounded to limit the amount of computations. The coefficients of affinic transforms of the standard parts to the quad tiles of image constitute the representation of the digital image.

The proposed algorithm was developed for the compression of the images of road traffic scenes. It may be use in compressing other image date providing, that an appropriate set of standard parts and transform coefficient ranges is prepared.