

Artur RATAJ

Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN

EKSTRAKCJA CECH TEKSTUR POPRZEZ ANALIZĘ WIDMA

Streszczenie. Tematem opracowania jest ekstrakcja cech tekstur poprzez analizę właściwości fraktalnych tych tekstur. Omówiony jest przykładowy algorytm analizujący składowe widma tekstury, poprzez tworzenie histogramu składowych widma względem ich częstotliwości i jego przekształcanie funkcją jakości.

TEXTURE FRACTAL FEATURES EXTRACTION BY SPECTRUM ANALYSIS

Summary. The object of the paper is a feature extraction of textures by analysis of fractal properties of the textures. Example algorithm analyzing components of spectrum of a texture, by creating their frequency histogram and transforming it using a quality function, is discussed.

1. Wstęp

Za właściwość fraktalną tekstury możemy uznać, analogicznie jak w przypadku fraktali, podobieństwo pomiędzy różnymi jej elementami, występującymi w różnych skalach [1][2][3][4]. Jedną z cech takiego podobieństwa jest proporcja wielkości elementów podobnych. Przykładową metodą analizy właściwości fraktalnych tekstury może być znalezienie częstości występowania elementu danego typu dla różnych wielkości tego elementu, a następnie badanie proporcji tych częstości. W ten sposób można wyróżnić różne typy samopodobieństwa tekstury ze względu na proporcje wielkości elementów podobnych. Proporcje te wiąże się z wymiarem fraktalnym tekstury. Jeżeli tekstura wykazuje wiele wymiarów fraktalnych, jej cechy można określić jako multifraktalne. Istnieje wiele metod wyznaczania wymiaru fraktalnego. W opisywanej metodzie nie wyznaczamy końcowych

wartości wymiaru fraktalnego, ale szacujemy proporcje ilości elementów tekstury o różnych wielkościach.

2. Znajdowanie własności fraktalnych

Pierwszym etapem analizy właściwości multifraktalnych tekstury może być budowa funkcji liczby elementów należących do pewnej klasy, której elementy będziemy uważali za podobne.

Niech będzie to funkcja dyskretna, której argumentem będzie jeden z n przedziałów związanych z wielkością elementu, a wartością liczba elementów N_n w odpowiednim przedziale, lub liczba elementów N_n po odpowiednim nieliniowym przekształceniu, w zależności od rodzaju przetwarzanych tekstur. Badając wzajemne proporcje różnych współczynników N_n , można znaleźć niektóre własności fraktalne tekstury.

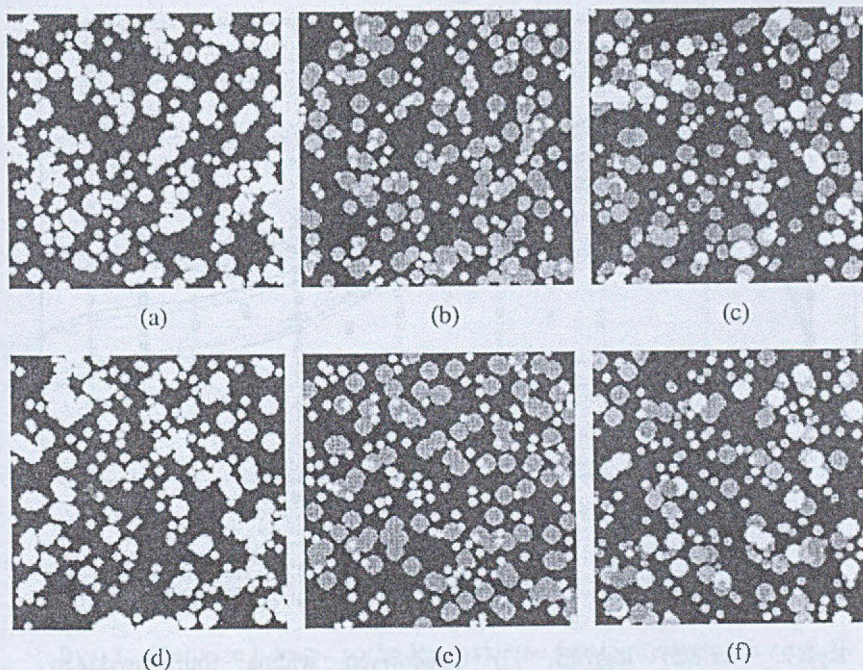
W przypadku wielu tekstur możemy nie chcieć stosować jakiejś ścisłej definicji podobieństwa, jakim jest na przykład izometryczna przekształcalność jednego elementu w drugi. Zamiast tego możemy stosować definicje oparte na heurystycznych i przybliżonych metodach szacowania rodzaju elementu, pasujące dobrze na przykład do odpowiedniego typu tekstur lub mające względnie niską złożoność.

Jedną z metod badania proporcji wartości w omawianej funkcji może być znajdowanie jej pochodnych dyskretnych i odpowiednie ich przekształcanie, na przykład poprzez transformację nieliniową. Na podstawie omawianej funkcji można też zbudować funkcje ciągłe, odpowiednimi metodami interpolacji lub aproksymacji, w zależności od konkretnego zastosowania, i analizować ich pochodne.

Wielkość elementu wiąże się z jego widmem. Do znajdowania wielkości elementów można więc użyć widma tekstury, w opisywanej metodzie będzie to widmo uzyskane dyskretnym przekształceniem Fouriera.

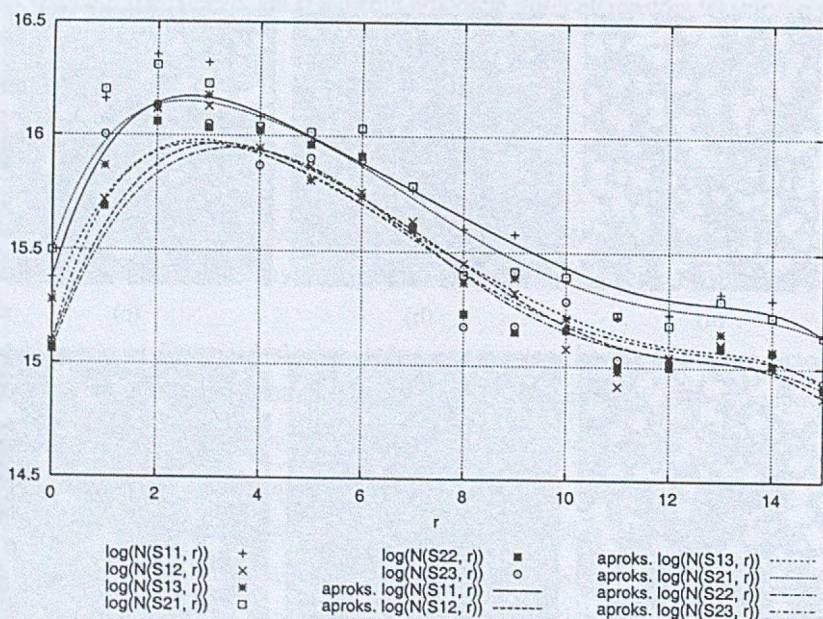
3. Przykładowa analiza tekstur

Rozpatrzmy przykłady tekstur, różniące się proporcjami gęstości elementów o różnych wielkościach i jasnościach. Przykłady takich tekstur są pokazane na rys. 1. W opisie do rysunku znajduje się też ich dokładniejsza specyfikacja. Niech zadaniem będzie rozróżnienie tekstur według proporcji cząstek o różnych wielkościach, reprezentowanych przez



Rys. 1. Rastrowe obrazy tekstur o różnych proporcjach gęstości cząstek o różnych wielkościach m i o różnych jasnościach. Rozmiary obrazów wynoszą 128 na 128 pikseli. Względna częstość występowania w obrębie tekstury i względna jasność cząstek, dla wartości m kolejno 1, 2, 3: (a) tekstura $S11$ – częstości 0.5, 0.3, 0.2, jasności 1, 1, 1, (b) tekstura $S12$ – częstości 0.5, 0.3, 0.2, jasności 1, 0.8, 0.64, (c) tekstura $S13$ – częstości 0.5, 0.3, 0.2, jasności losowe, (d) tekstura $S21$ – częstości 0.7, 0, 0.3, jasności 1, 1, 1, (e) tekstura $S22$ – częstości 0.7, 0, 0.3, jasności 1, 0.8, 0.64, (f) tekstura $S23$ – częstości 0.7, 0, 0.3, jasności losowe

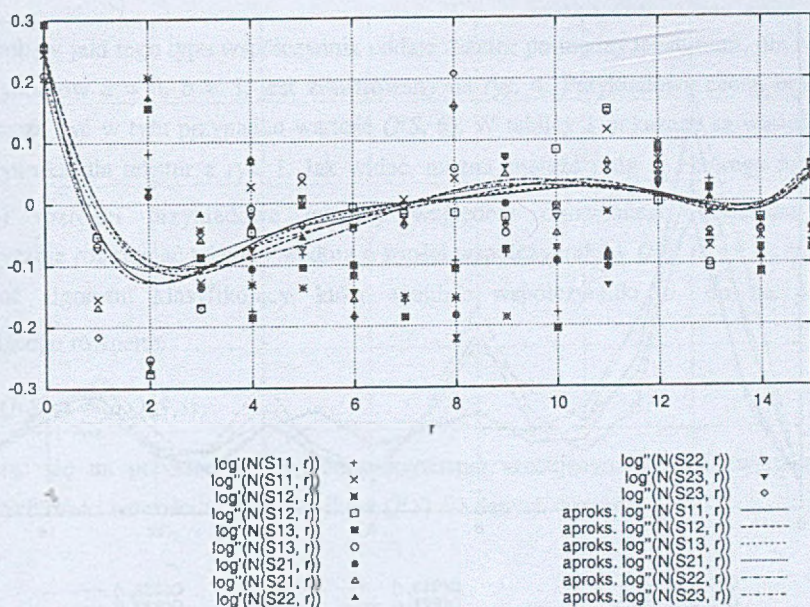
Fig. 1. Textures having various proportions of numbers of particles at various sizes m and various brightness. The relative frequency of occurring and the relative brightness of the particles, for values m subsequently 1, 2, 3: (a) texture $S11$ – frequencies 0.5, 0.3, 0.2, brightnesses 1, 1, 1, (b) texture $S12$ – frequencies 0.5, 0.3, 0.2, brightnesses 1, 0.8, 0.64, (c) texture $S13$ – frequencies 0.5, 0.3, 0.2, random brightnesses, (d) texture $S21$ – frequencies 0.7, 0, 0.3, brightnesses 1, 1, 1, (e) texture $S22$ – frequencies 0.7, 0, 0.3, brightnesses 1, 0.8, 0.64, (f) texture $S23$ – frequencies 0.7, 0, 0.3, random brightnesses



Rys. 2. Wartości $\log(N(S, r))$ składowych widma fourierowskiego względem częstotliwości w 16 przedziałach $\langle 16^{-1}r, 16^{-1}(r+1) \rangle$, $r = 0 \dots 15$, tekstur z rys. 1. Wartości 1 w granicach przedziałów odpowiada składowa o długości 2 pikseli. Współczynnik S oznacza rodzaj tekstury. Dla większej czytelności wykresu wartości te są dodatkowo aproksymowane krzywą Beziera

Fig. 2. Values $\log(N(S, r))$ of Fourier spectrum components, related to frequencies in 16 sections $\langle 16^{-1}r, 16^{-1}(r+1) \rangle$, $r = 0 \dots 15$, of textures from Fig. 1. In the sections limits, the value of 1 denotes a component of length of two pixels. The coefficient S denotes the type of a texture. To increase the chart readability, the values are additionally approximated using Bezier curves

współczynnik m . Zredukowana ma natomiast być zależność od jasności obrazów tych cząstek. Chcemy więc rozróżnić grupę tekstur $S11$, $S12$ i $S13$ od tekstur $S21$, $S22$ i $S23$. Na rys. 2 widać, że tekstury mogą mieć zbliżone widmo mimo wyraźnych różnic w składzie elementów, natomiast średnie natężenie składowych w widmie może silnie zależeć od jasności obrazów cząstek. Tekstura o obniżonej gęstości elementów o średnich rozmiarach ma w widmie, w pewnym przedziale, również obniżone wartości. Naszym zadaniem będzie takie przekształcenie wartości reprezentujących widmo, aby wpływ składu elementów

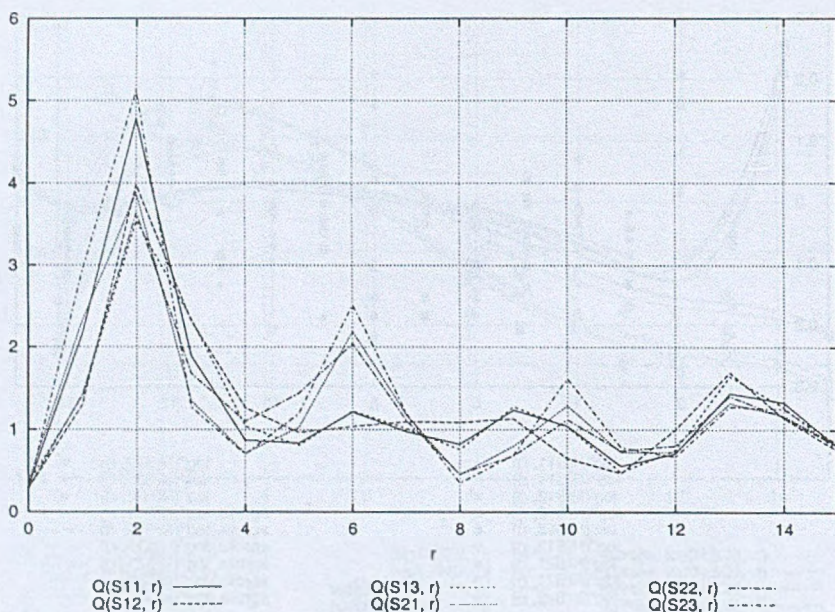


Rys. 3. Pierwsze i drugie pochodne dyskretne funkcji dyskretnych z rys. 2. Dla większej czytelności wykresu wartości drugich pochodnych są dodatkowo aproksymowane krzywą Beziera

Fig. 3. The 1st and 2nd order discrete derivatives of the discrete functions from Fig. 2. To increase the chart readability, the 2nd derivatives values are additionally approximated using Bezier curves

przykładowych tekstur był bardziej widoczny. Utworzymy w tym celu odpowiednią funkcję, której argumentem będzie numer przedziału częstotliwości składowych widma, pokazaną na rys. 2. Wartości tej funkcji będą reprezentować logarytm sumy wartości składowych $N(S, r)$ odpowiedniego przedziału częstotliwości r w dyskretnej transformacji Fouriera obrazu tekstury S . Następnie użyjemy drugiej pochodnej, w tym wypadku dyskretnej, tej funkcji. Jej pierwsze i drugie pochodne dyskretne pokazane są na rys. 3. Niska wartość drugiej pochodnej może wskazywać na wystąpienie jakiejś wyraźnej grupy elementów w teksturze o podobnych rozmiarach. Zbudujmy więc współczynnik jakości, który będzie w jakimś stopniu odzwierciedlał istnienie takich grup, jednocześnie jednak zapobiegając w jakiejś mierze tłumieniu grup względnie małych. Przykładowo, niech współczynnik taki, nazwijmy go $Q(S, r)$, będzie określony następująco:

$$Q(S, r) = \frac{1}{a + \exp(b \log^{(2)} N(S, r))}, \quad (1)$$



Rys. 4. Wykres $Q(S, r)$ dla funkcji z rys. 2, dla $a = 0$ i $b = 5$. Punkty wykresu połączone liniami

Fig. 4. The chart of $Q(S, r)$ for function from Fig. 2, for $a = 0$ and $b = 5$. Points of the chart are connected with lines

Tabela 1
Przybliżone wartości
współczynnika $Q(S, 6)$
dla tekstur z rys. 1

Tekstura S	$Q(S, 6)$
S11	1.21
S12	1.04
S13	1.26
S21	2.19
S22	2.04
S23	2.52

gdzie symbol $f^{(p)}$ oznacza następującą operację na funkcji dyskretnej:

$$f^{(0)}(n) = f(n)$$

$$f^{(p+1)}(n) = \frac{1}{2}(f^{(p)}(n+1) - f^{(p)}(n)) + \frac{1}{2}(f^{(p)}(n) - f^{(p)}(n-1)) \quad (2)$$

Sposób, w jaki tego typu współczynnik oddaje różnice pomiędzy teksturami, dla wartości współczynników $a = 0$, $b = 5$, jest zilustrowany na rys. 4. Przykładową cechą braną pod uwagę może być w tym przypadku wartość $Q(S, 6)$. W tablicy 1 pokazane są wartości tego współczynnika dla tekstur z rys. 1. Jak widać, można znaleźć próg t_6 , którego relacja do $Q(S, 6)$ rozróżni przykładowe tekstury względem omawianego kryterium. Żeby automatycznie rozróżniać tekstury według wartości współczynników $Q(S, i)$, $i = 0 \dots n$, można zbudować algorytm klasyfikujący, który znajdzie współczynniki a_i do na przykład następującego równania

$$Q(S) = \sum_{i=1}^n a_i Q(S, i), \quad (3)$$

posługując się na przykład odpowiednim kryterium szacującym stopień zwartości grup tworzonych przez wartości współczynników $Q(S)$ dla danych wartości a_i .

4. Wnioski

Badając własności fraktalne tekstur, można skutecznie rozpoznawać niektóre ich klasy. W przykładzie klasyfikacji współczynniki były określone dla konkretnego przykładu tekstur. Poprzez automatyzację doboru współczynników można odpowiednio zwiększyć zakres tekstur rozpoznawanych przez przedstawiony algorytm.

Podziękowania

Autor chciałby podziękować dr. inż. Bogdanowi Smolce i prof. dr. inż. Stefanowi Węgrzynowi za pomocne uwagi dotyczące tego artykułu.

LITERATURA

1. Peitgen H.-O. et. al.: *Fractals for the Classroom*, t. 1 i 2, Springer-Verlag, Berlin 1991-92.
2. Chaudhuri B. B. i Sarkar N.: *Texture Segmentation Using Fractal Dimension*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, t. 17, numer 1, styczeń 1995.

3. Barnsley M. F., Devaney R. L., Mandelbrot B. B., Peitgen H-O., Saupe D. i Voss, R. F.: The science of fractal images, Springer-Verlag, Berlin 1988.
4. Edgar G. A.: Measure, Topology and Fractal Geometry, Springer-Verlag, Berlin 1990.

Recenzent: Dr inż. Bogdan Smolka

Wpłynęło do Redakcji 5 kwietnia 2000 r.

Abstract

In this article, feature extraction of textures by analysis of their fractal properties is discussed. Sec. 1 is an introduction. In Sec. 2, finding of fractal features by using texture spectrum is discussed. In Sec. 3, example algorithm is presented. The algorithm analyzes the textures shown in Fig. 1. In Fig. 5, example extracted features of the textures are shown, which may be used for their correct classification. Sec. 4 contains some conclusions.