tfa — textural features analyzer

Zbigniew JERZAK
Adam KOTLIŃSKI

Studenci kierunku Informatyka na Politechnice Śląskiej w Gliwicach

Program zrealizowany na potrzeby Pracowni Komputerowej Analizy Obrazu i Mikroskopii Konfokalnej w Centrum Onkologii w Gliwicach

Gliwice, sobota, 11 października 2003

Streszczenie

Tekstura jest jedną z ważnych cech charakterystycznych używanych w identyfikacji regionów lub obiektów będących przedmiotem zainteresowania badaczy. Bez znaczenia pozostaje przy tym fakt, czy obraz jest fotografią lotnicza, zdjęciem satelitarnym, czy też obrazem spod mikroskopu. Poniższe sprawozdanie opisuje łatwo obliczalne właściwości tekstur oparte na monochromatycznych macierzach sąsiedztwa.

Niniejsze opracowanie i program, który ono opisuje korzysta z pracy profesora Roberta M. Haralick'a, K. Shanmugam'a oraz Its'haka Dinstein'a. Autorzy pragną podziękować dr Miłosławowi Śnieturze z Pracowni Komputerowej Analizy Obrazu i Mikroskopii Konfokalnej w Centrum Onkologii oraz mgr Pawłowi Kaczmarzykowi za cenne uwagi i sugestie, który przyczyniły się do powstania programu w jego obecnym kształcie.

Program TFA (Textural Features Analyzer) jest obecnie wykorzystywany przez Centrum Onkologii – Instytut im. Marie Skłodowskiej-Curie, oddział w Gliwicach.

Wstęp

Większość obrazów przetwarzanych i przechowywanych w komputerach reprezentowana jest jako funkcja dwóch zmiennych *(x, y)*. Obraz w formie cyfrowej zazwyczaj przechowywany jst w pamięci komputera jako dwuwymiarowa tablica. Jeżeli $L_x=\{1, 2, ..., N_x\}$ oraz $L_y=\{1, 2, ..., N_y\}$ są odpowiednio dziedzinami X oraz Y, wtedy $L_x \times L_y$ jest zbiorem komórek obrazu a obraz cyfrowy I jest funkcją przyporządkowującą wartości odcieni szarości $\mathrm{G} \in \{1, 2, ..., N_G\}$ do każdej z jego komórek: I: $L_x \times L_y \rightarrow G$.

W poszukiwaniu odpowiednich współczynników do opisywania informacji zawartej w obrazach naturalnym wydaje się postrzeganie lub próbowanie klasyfikacji informacji w sposób w jaki dokonują jej ludzie. Analiza spektrum barw, tekstury i kontekstu stanowi podstawę do oceny kolorowych obrazów dokonywanej przez ludzi. Spektrum barw opisuje średnie odchylenia barwy w różnych pasmach widzialnego i/lub podczerwonego widma elektromagnetycznego, podczas gdy tekstura zawiera informacje o przestrzennym rozmieszczeniu odchyleń barw w paśmie. Cechy kontekstu zawierają informacje odczytane z bloków jednostek obrazu (np. pikseli) otaczających fragment analizowanego obrazu. Podczas analizy niewielkich czarno – białych zdjęć przetwarzanych niezależnie przez komputer tekstura i barwa odgrywają najważniejszą rolę.

Idea barwy opiera się na zmieniających się odcieniach szarości w jednostkach obrazu, podczas gdy tekstura opiera się na przestrzennemu (statystycznemu) rozmieszczeniu odcieni szarości. Tekstura i barwa nie są niezależne, zależność między nimi przypomina te pomiędzy cząstka i falą. Kontekst, tekstura i barwa są zawsze obecne w obrazie chociaż czasami jedna z nich może dominować nad innymi.

Teksturę można określić jako gładką, ostrą, nieregularną, liniową czy blokową. Jest ona praktycznie obecna we wszystkich obrazach – próbkach materiału, kawałku drewna, wycinku komórki, zdjęciu upraw. Zawiera ona informacje o strukturalnym ułożeniu powierzchni i ich zależności z otaczającym środowiskiem. Chociaż człowiekowi jest bardzo łatwo rozpoznać i opisać teksturę w sposób empiryczny, to jednak zawsze była ona trudna do dokładnego zdefiniowania i dla analizy komputerowej. Ponieważ informacje zawarte w teksturach stanowią cenną informacje dla celów badawczych, bardzo ważne jest określenie jej cech.

Cechy tekstury obliczane są w dziedzinie obrazu jednocześnie pod uwagę brane są cechy statystyczne tekstury – przy założeniu, że informacje o teksturze w obrazie *I* zawarte są we wszystkich lub „średnich" zależnościach które odcienie szarości mają pomiędzy sobą w obrazie. Obliczany jest zestaw monochromatycznych macierzy sąsiedztwa dla danego fragmentu obrazu oraz zbiór 13 współczynników, które mogą być obliczone na podstawie każdej z tych macierzy. Cechy te zawierają informacje o jednorodności, liniowych zależnościach, kontraście, ilości i typie obecnych brzegów i złożoności obrazu. Istotne jest aby pamiętać, że ilość operacji potrzebnych na obliczenie każdego z tych współczynników jest proporcjonalny do rozmiarów i ilości jednostek rozdzielczości obrazu.

Cechy

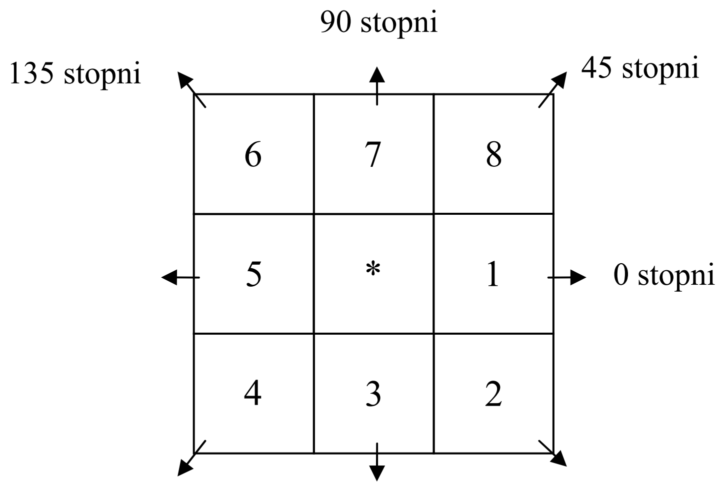
W początkowym założeniu barwa i tekstura są ze sobą nierozerwalnie związane. Są one zawsze obecne w obrazie, choć czasami jedna wartość może dominować nad drugą. Podstawową intuicyjnie rozumianą zależnością pomiędzy barwą i teksturą jest fakt, że w szary o małej powierzchni mających małe odchylenia (tzn. małe różnice w odcieniach szarości) dominuje barwa. Natomiast gdy posiadają one duże zróżnicowanie obszarów o różnych odcieniach szarości dominującą cechą jest tekstura. Istotną cechą jest rozmiar próbki, rozmiar jednostki rozdzielczości i ilość odcieni. W miarę malenia ilości odcieni barwa będzie zaczynała dominować. Jeżeli obraz ma wymiary jednostki rozdzielczości istnieje tylko jedna cecha tego obrazu – jego kolor. I tak w miarę wzrostu ilości odcieni szarości znaczenie cech tekstury będzie coraz większe.

Taki opis jest jednak dużym przybliżeniem. Dyskretne cechy barwy są mocno rozmyte ponieważ nie stanowią wartości na których można się opierać jako same w sobie. Dlatego cechy opisane w tym opracowaniu są bardziej ogólne i makroskopowe w porównaniu z cechami barw.

Macierze sąsiedztwa

Przypuśćmy, ze obraz który chcemy analizować ma N_x komórek w poziomie oraz N_y w pionie. Przypuśćmy również, że w obrazie występuje N_G odcieni szarości. Niech $L_x=\{1, 2, ..., N_x\}$ oraz $L_y=\{1, 2, ..., N_y\}$ są odpowiednio dziedzinami X oraz Y, wtedy $L_x \times L_y$ jest zbiorem komórek obrazu a obraz cyfrowy I jest funkcją przyporządkowującą wartości odcieni szarości $G \in \{1, 2, ..., N_G\}$ do każdej z jego komórek: I: $L_x \times L_y \rightarrow G$.

Macierze sąsiedztwa są tablicami najbliższego sąsiedztwa i aby je opisać musimy określić pojęcie najbliższego sąsiedztwa. Bierzemy pod uwagę komórki, wykluczając te, które znajdują się na brzegach obrazu – tak aby otrzymać osiem komórek sąsiedztwa – jak na rysunku poniżej.



Rysunek 1 - Komórki 1 i 5 w kierunku 135 są najbliższymi sąsiadami komórki *; komórki 2 i 6 w kierunku 0 są najbliższymi sąsiadami komórki *; itd.

Formalnie dla kwantowanych wartości kątów (co 45°) poszczególne nieznormalizowane częstotliwości określone są następująco (# oznacza liczbę elementów w zbiorze):

$P(\text{i, j, d}, 0°) = \#\{((k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_y \times L_x) \mid k - m = 0,\ |l\text{-}n| = d,\ I(k, l)=i, I(m, n)=j\}$

$P(\text{i, j, d}, 45°) = \#\{((k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_y \times L_x) \mid (k - m = \text{d},\ l\text{-}n = \text{-}d),$ lub $(k - m = \text{-d},\ l\text{-}n = d), I(k, l)=i, I(m, n)=j\}$

$P(\text{i, j, d}, 90°) = \#\{((k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_y \times L_x) \mid |k - m| = d,\ l\text{-}n = 0,\ I(k, l)=i, I(m, n)=j\}$

$P(\text{i, j, d}, 135°) = \#\{((k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_y \times L_x) \mid (k - m = \text{d},\ l\text{-}n = d),$ lub $(k - m = \text{-d},\ l\text{-}n = \text{-}d), I(k, l)=i, I(m, n)=j\}$

Zakładamy, że informacje o teksturze w obrazie zawarta jest w ogólnej lub „średniej" zależności pomiędzy poszczególnymi odcieniami szarości w obrazie *I*. Dodatkowo zakładamy, że informacje te są równomiernie określone przez macierze częstotliwości P_{ij} z którymi dwie sąsiadujące komórki (jedna o odcieniu *i,* druga o odcieniu *j*) oddzielone o *d* występują w obrazie. Takie macierze są funkcja kątowej zależności pomiędzy komórkami oraz funkcją odległości pomiędzy nimi. Rysunek 2 ilustruje zbiór wszystkich komórek sąsiadujących ze sobą oddalonych o odległość d=1.

(1, 1)	(1, 2)	(1, 3)	(1, 4)
(2, 1)	(2, 2)	(2, 3)	(2, 4)
(3, 1)	(3, 2)	(3, 3)	(3, 4)
(4, 1)	(4, 2)	(4, 3)	(4, 4)

$L_y = \{1, 2, 3, 4\}$
$L_x = \{1, 2, 3, 4\}$

$R_H = ((k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_y \times L_x) \mid k - m = 0,\ |l\text{-}n| = 1|$
{[(1, 1), (1, 2)], [(1, 2), (1, 1)], [(1, 2), (1, 3)], [(1, 3), (1, 2)],
[(1, 3), (1, 4)], [(1, 4), (1, 3)], [(2, 1), (2, 2)], [(2, 2), (2, 1)],
[(2, 2), (2, 3)], [(2, 3), (2, 2)], [(2, 3), (2, 4)], [(2, 4), (2, 3)],

[(3, 1), (3, 2)], [(3, 2), (3, 1)], [(3, 2), (3, 3)], [(3, 3), (3, 2)],
[(3, 3), (3, 4)], [(3, 4), (3, 3)], [(4, 1), (4, 2)], [(4, 2), (4, 1)],
[(4, 2), (4, 3)], [(4, 3), (4, 2)], [(4, 3), (4, 4)], [(4, 4), (4, 3)]}

Rysunek 2 - Zbiór wszystkich komórek sąsiedztwa poziomego o odległości 1

Rysunek 3(a) pokazuje obraz o wymiarach 4 × 4 z czterema odcieniami szarości od 0 do 3. na rysunku 3(b) widoczna jest macierz sąsiedztwa w formie ogólnej. Na przykład element na pozycji (2, 1) w macierzy P_H reprezentuje całkowitą ilość wystąpień odcieni 2 oraz 1 w sąsiedztwie siebie o promieniu d=1. Aby otrzymać tę liczbę obliczamy liczbę par komórek w R_H takich, że pierwsza z nich ma barwę 2 a druga ma barwę 1. Na kolejnych rysunkach 3(c) do 3(f) obliczone są pozostałe macierze sąsiedztwa.

0	0	1	1
0	0	1	1
0	2	2	2
2	2	3	3

(a)

	0	1	2	3
0	#(0,0)	#(0,1)	#(0,2)	#(0,3)
1	#(1,0)	#(1,1)	#(1,2)	#(1,3)
2	#(2,0)	#(2,1)	#(2,2)	#(2,3)
3	#(3,0)	#(3,1)	#(3,2)	#(3,3)

(b)

$$P_H = \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{pmatrix}$$

(c)

$$P_V = \begin{pmatrix} 6 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

(d)

$$P_{LD} = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

(e)

$$P_{RD} = \begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 4 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

(f)

Rysunek 3 - (a) obrazek 4 x 4 z czterema odcieniami szarości 0-3; (b) ogólna postać macierzy sąsiedztwa dla obrazka z czterama odcieniami szarości 0-3, #(i, j) oznacza liczbę wystąpień sąsiedztwa odcieni i oraz j; (c)-(f) obliczone cztery macierze sąsiedztwa dla odległości 1

W razie potrzeby łatwo można obliczyć współczynnik normalizacji R. Jeżeli rozważamy przypadek gdzie d = 1 oraz kąt wynosi 0 stopni mamy $2(N_x - 1)$ sąsiadujących par komórek w każdym rzędzie. Ponieważ mamy N_y rzędów, więc sumie otrzymamy $2N_y(N_x - 1)$ par sąsiedztwa. Jeżeli rozważamy przypadek sąsiedztwa pod kątem 45 stopni mamy $2(N_x - 1)$ 45° sąsiadujących komórek dla każdego rzędu z wyjątkiem pierwszego. Ponieważ mamy N_y rzędów, więc otrzymujemy $2(N_y\text{-}1)(N_x - 1)$ sąsiadujących par. Symetrycznie otrzymamy

$2N_x(N_y - 1)$ par dla kierunku 90° oraz $2(N_x - 1)(N_y - 1)$ par dla kierunku 135°. O obliczeniu ilości sąsiadujących par i przypisaniu jej do R macierz znormalizowana jest obliczana poprzez podzielenie każdego elementu macierzy P przez R.

Współczynniki obliczone na podstawie macierzy sąsiedztwa

Początkowym założeniem w charakteryzowaniu tekstury jest to, że wszystkie informacje zawarte SA w macierzy sąsiedztwa. Stąd wszystkie współczynniki obliczane są na podstawie tych macierzy. Równania, które definiują zestaw 13 cech podane są w Załączniku I. Niektóre z nich odnoszą się do specyficznych charakterystyk tekstur obrazu – takich jak jednorodność, kontrast i obecność zorganizowanych struktur w obrazie. Inne charakteryzują stopień skomplikowania i naturę przejść odcieni szarości obecnych w obrazie. Pomimo tego, że charakterystyki te zawierają informacje typowe dla danego obrazka, to jednak ciężko jest zidentyfikować, która dokładnie cechę tekstury reprezentuje każda z nich.

Współczynnik ASM (Angular Second Moment) – f_1

Współczynnik ten jest miarą jednorodności obrazu. W obrazie jednorodnym mamy do czynienia z niewielką ilością dominujących przejść pomiędzy różnymi odcieniami szarości. Stąd też macierz P dla takiego obrazka będzie miała mniejsza ilość wpisów o dużej wartości. Dla obrazów jednorodnych macierz P będzie miała dużą ilość małych wpisów, stąd współczynnik ASM (który jest sumą kwadratów wpisów) dla tej macierzy będzie mniejszy.

Współczynnik kontrastu – f_2

Kontrast jest miarą lokalnych odchyleń obecnych w obrazie. Dla obrazów, w których lokalne odchylenia odcieni szarości są duże kontrast będzie przyjmował duże wartości natomiast dla jednolitych obrazów jego wartości będą małe.

Współczynnik korelacji – f_3

Korelacja jest miarą liniowych zależności w obrazie. Dla obrazów, w których występują duże jednolite obszary lub są one lekko zaszumione wartość korelacji będzie niewielka.