Detekcia rohov v binárnom obraze

V obraze sa nachádza mnoho redundantných dát, ktoré človek ani nevníma. Čím viac človek pozná daný obraz, alebo čím menej času má na jeho klasifikovanie, tým menej dát z obrazu použije na klasifikáciu objektov, resp. deja. Podobným spôsobom musíme pristupovať aj k automatizovanému spracúvaniu dát v prípade, že videosekvenciu potrebujeme spracovať v reálnom čase. V tomto článku sú prezentované metódy na detekciu rohov v obraze ako bodov významných pre detekciu objektov.

Úvod

Roh je definovaný ako bod s vysokou krivosťou na určitej krivke. Pomocou týchto rohov možno danú krivku rozdeliť na určité segmenty. Existuje množstvo metód na výpočet krivosti krivky v určitom bode, ktoré môžeme rozdeliť do troch základných skupín:

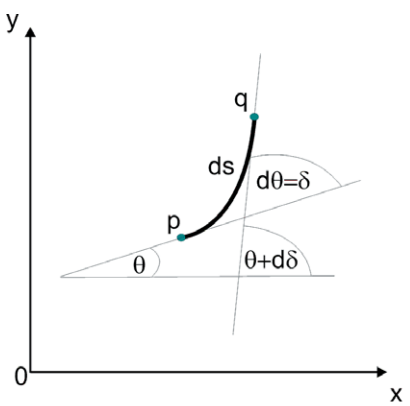
a) zmena sklonu, resp. zmena uhla tangent
b) derivácia
c) veľkosť kruhu obklopujúceho roh hrany (nazývaného aj kruh krivosti)

Metódy zo skupiny a) a b) majú k výpočtu krivosti podobný prístup. Jediný rozdiel je, že metódy zo skupiny a) riešia spôsob konštrukcie uhla tangent (uhol tangent je opísaný v ďalšej kapitole), zatiaľ čo metódy zo skupiny b) sú založené na derivácii bez konštrukcie uhla tangent. Metódy zo skupiny c) sú založené na aproximácii polomeru obklopujúceho kruhu, pričom detegovaný roh a pomocné body ležia na hrane tohto kruhu.

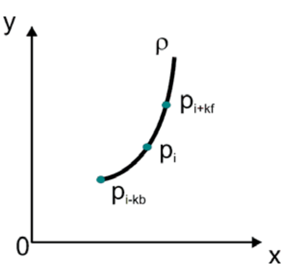
Metóda zmeny sklonu (uhla tangent)

Výpočet krivosti krivky podľa [3] je založený na veľkosti zmien uhla tangent δ (obr. 1). Nech body p a q sú body na danej krivke (obr. 1). Potom krivosť krivky v bode p vypočítame podľa vzťahu (1).

$$k(p) = \lim_{pq \to 0} \frac{\delta}{pq} \qquad (1)$$



Obr.1 Princíp výpočtu krivosti krivky na základe veľkosti zmien uhla tangent δ



Obr.2 Pomocné body pri výpočte krivosti krivky podľa HK2003

Na uvedenom princípe vzniklo niekoľko algoritmov, napríklad algoritmus FD1977 [5], algoritmus BT1987 [6], alebo algoritmus HK2003 [4], ktorý používa ďalšie dva pomocné body ležiace na danej krivke (obr. 2).

Algoritmus HK2003 na výpočet krivosti krivky p v bode p_i spočíva vo výpočte Euklidových vzdialeností l_b, l_f pomocných bodov p_{i-kb}, p_{i-kf} od bodu p_i, výpočte uhlov Θ, δ a následne veľkosti krivosti K podľa vzťahu (2).

$$l_b = \sqrt{(x_{i-kb} - x_i)^2 + (y_{i-kb} - y_i)^2}$$

$$l_f = \sqrt{(x_{i+kf} - x_i)^2 + (y_{i+kf} - y_i)^2}$$

$$\Theta_{kb} = \tan^{-1}\left(\frac{|x_{i-b} - x_i|}{|y_{i-b} - y_i|}\right)$$

$$\Theta_{kf} = \tan^{-1}\left(\frac{|x_{i+f} - x_i|}{|y_{i+f} - y_i|}\right)$$

$$\Theta_i = \frac{\Theta_b}{2} + \frac{\Theta_f}{2}$$

$$\delta_b = |\Theta_b - \Theta_i| \qquad \delta_f = |\Theta_f - \Theta_i| \qquad \kappa(p_i) = \frac{\delta_b}{2l_b} + \frac{\delta_f}{2l_f} \qquad (2)$$

Metóda derivácie krivky

Metóda je založená na derivácii krivky. Na tomto prístupe vznikli algoritmy (napr. algoritmus M2003 [7]), ktoré využívajú parametrizovanú krivku $\gamma(t) = f(x(t),y(t))$. Tá umožňuje vypočítať krivosť na základe derivácie krivky v bode $[x_i,y_i]$ podľa vzťahu (3).

$$K = \frac{\begin{vmatrix} x' & y' \\ x'' & y'' \end{vmatrix}}{(x'^2 + y'^2)^{\frac{3}{2}}} \qquad (3)$$

V práci [2] sa krivka ρ v digitálnej forme aproximovala v bode p_i pomocou polynomických funkcií druhého rádu. Tieto polynomické funkcie sa definujú pomocou pomocných bodov p_{i-kb}, p_{i+kf} ležiacich na krivke ρ v blízkom okolí bodu p_i. Polynomickú aproximáciu funkcie $\gamma(t) = f(x(t),y(t))$ opisuje vzťah (4).

$$x(t) = a_2 t^2 + a_1 t + a_0$$

$$y(t) = b_2 t^2 + b_1 t + b_0 \qquad (4)$$

Uvažujme $t \in [-1,1]$. Pre $t = -1$ definujme p_{i-kb}, pre $t = 0$ definujme p_i a pre $t = 1$ definujme p_{i+kf}. Hodnoty a_1, b_1, a_2, b_2 môžeme teda za uvedených predpokladov prepísať do vzťahov (5).

$$a_2 - a_1 + a_0 = x_{i-kb} \qquad b_2 - b_1 + b_0 = y_{i-kb} \qquad \text{pre } t = -1$$

$$a_0 = x_i \qquad b_0 = y_i \qquad pre\ t = 0$$

$$a_2 + a_1 + a_0 = x_{i+kb} \qquad b_2 + b_1 + b_0 = y_{i+kb} \qquad \text{pre } t = 1 \qquad (5)$$

Analogicky teda uvedené parametre vypočítame podľa vzťahu (6).

$$a_1 = \frac{x_{i+kf} - x_{i-bk}}{2} \qquad a_2 = \frac{x_{i+kf} + x_{i-kb}}{2} - x_i$$
$$b_1 = \frac{y_{i+kf} - y_{i-kb}}{2} \qquad b_2 = \frac{y_{i+kf} + y_{i-kb}}{2} - y_i \tag{6}$$

Vzťah (6) možno prepísať v bode p_i na vzťah (7).

$$\kappa = \frac{2(a_1 b_2 -_1 a_2 b_1)}{\left(a_1^2 + b_1^2\right)^{3}} \tag{7}$$

Teda pre každý pixel p_i na krivke ρ sa vypočíta krivosť κ. O existencii rohu potom rozhodneme podľa pravidla:

$$\text{Ak } \kappa_{i-1} > \kappa_i \text{ a súčasne } \kappa_{i-1} > T \text{ potom } \kappa_{i-1} \text{ je roh} \tag{8}$$

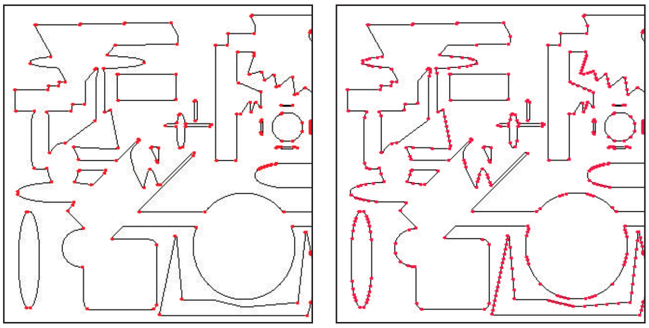
Pričom κ_{i-1} je krivosť v bode p_{i-1} a parameter T je empiricky zvolená prahová hodnota.

Metóda veľkosti kruhu obklopujúceho roh (kruh krivosti)

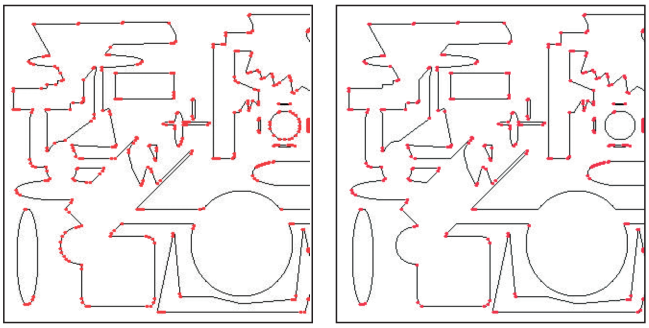
Algoritmy tejto skupiny sa len zriedka používajú pre dvojrozmerné krivky, ide napríklad o algoritmus CMT2001 [8].

Experiment

Algoritmus M2003, založený na derivácii krivky, bol implementovaný do programu vytvoreného v prostredí c#. Testoval sa vplyv parametrov T, kb, kf v tomto algoritme.



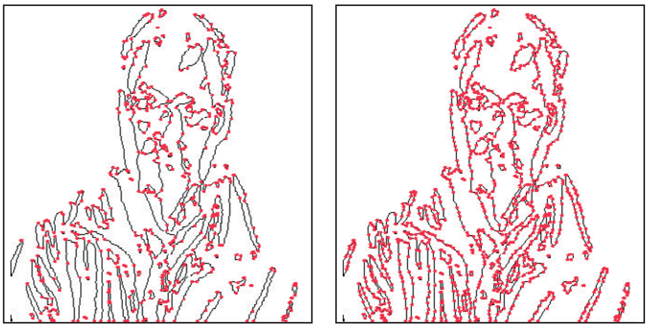
Obr.3 Detegované rohy pri použití parametra $T = 0{,}9$ a parametra $kb = kf = 4$ (vľavo), $kb = kf = 2$ (vpravo)



Obr.4 Detegované rohy pri použití parametra $kb = kf = 9$ a parametra $T = 0{,}5$ (vľavo), $T = 1$ (vpravo)

Na obr. 3 a 4 vidno citlivosť algoritmu na parametre kb, kf a T. V tomto konkrétnom prípade sa dosiahli najlepšie výsledky pri použití parametrov $T = 0{,}9$ a $kb = kf = 4$.

V prípade implementácie detekcie rohov na reálnych obrazoch s väčším výskytom šumu môže vznikať problém významnosti týchto detegovaných rohov. Aj pri detegovaní rohov všeobecne platí, že čím je vo vstupnom obraze vyššia miera šumu, tým majú detegované rohy menší význam. Ako príklad uvedieme vstupný obraz (obr. 5), ktorý vznikol ako diferencia dvoch po sebe idúcich obrazov vo videu (výskyt vyššej miery šumu).



Obr.5 Detegované rohy pri použití parametra $T = 0{,}9$ a parametra $kb = kf = 4$ (vľavo), $kb = kf = 2$ (vpravo)

Záver

Problematika detekcie rohov je už pomerne dobre rozpracovaná a v súčasnosti existuje viac ako 100 algoritmov na detegovanie rohov [2]. Detegované rohy možno použiť na identifikáciu alebo klasifikáciu spracúvaného obrazu, čím sa výrazne zníži redundancia vstupných dát, a tým aj čas potrebný na ďalšie spracovanie. Avšak pri detekcii rohov v reálnych obrazoch získaných z videosekvencie nie sú detegované rohy s konštantnými parametrami T, kb, kf vždy použiteľné na ďalšie spracovanie (napríklad ľudská tvár v rôznych vzdialenostiach), pretože detegované rohy sa stávajú nestabilnými (strácajú svoju výpovednú hodnotu). Pri statických obrazoch však môžeme pomocou empiricky nastavených parametroch pre konkrétny obraz (resp. skupinu obrazov) získať kvalitné rohy so želanou výpovednou hodnotou.

Článok vznikol s podporou grantu VEGA 1/0690/09.

Literatúra

[1] S. HERMANN, R. KLETTE: Global Curvature Estimation for Corner Detection.

[2] M. MARJI: On the detection of dominant points on digital planar curves. PhD práca, Wayne State University, Detroit, Michigan, 2003.

[3] S. HERMANN, R. KLETTE: Multigrid analysis of curvature estimators. In Proc. Image Vision Computing New Zealand, 2003. s. 108 – 112

[4] S. HERMANN, R. KLETTE: Multigrid analysis of curvature estimators. CITR-TR-129, Centre for Image Technology and Robotics, University of Auckland, 2003.

[5] H. FREEMAN, L. S. DAVIS: A Corner-Finding Algorithm for Chain-Coded Curves. IEEE Transactions on Computers, Vol. 26/3, Marec 1977, ISSN: 0018-9340. s. 297 – 303

[6] H. L. BEUS, S. S. H. TIU: An improved corner detection algorithm based on chain-coded plane curves. Pattern Recognition Vol. 20/3, rok 1987, ISSN: 0031-3203. s. 291 – 296

[7] M. MARJI, P. SIY: A new algorithm for dominant points detection and polygonization of digital curves. Pattern Recognition 36(10): 2239-2251, rok 2003.

[8] D. COEURJOLLY, I. D. RENNESSON, O. TEYTAUD: Segmentation and Length Estimation of 3D Discrete Curves. Computer Science Vol. 2243, rok 2001, ISBN: 3-540-43079-2. s. 299 – 317

Ing. Peter Benický
prof. Ing. Ladislav Jurišica, PhD.

44

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ústav riadenia a priemyselnej informatiky
Ilkovičova 3, 81219 Bratislava
e-mail: peter@benicky.info
ladislav.jurisica@stuba.sk