



Térképezés aktív kontúr eljárás segítségével

Tóth Zoltán¹ – Barsi Árpád²

¹ Nyugat-Magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Kar, Geodézia Tanszék

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék



1. Bevezetés

A számítógépes látás (computer vision) irodalmába 1988-ban tört be egy forradalmian új eljárás, amelyet *M. Kass*, *A. Witkin* és *D. Terzopoulos* mutattak be [Kass et al. 1988]. Eljárásuk egy újfajta, energiáminimalizáló (EM) metódus volt, amely a mechanikai spline¹ törvényszerűségeket és a képfeldolgozási eljárásokat ötvözte. Az azóta számos továbbfejlesztésen átment eljárás méltán került be a képelemzési eszköztárba. Ismerőbb változatai a Ribbon snake² (Koutaki 2003), a Ziplock-snake (Neuenschwander 1995) és a GVF-snake (Xu 1997a).

Cikkünkben igyekszünk a fotogrammetriai és távérzékelési felvételek feldolgozása mentén bemutatni működésüket, alapvetően a GVF-változaton keresztül.

2. Az aktív kontúrok elmélete

Az aktív kontúr (snake) olyan parametrikus görbe, melyet a következők szerint definiálhatunk [Kass et al. 1988]: $x(s) = [x(s), y(s)]$, ahol $s \in [0, 1]$. A kontúr a digitális kép terében mozogva minimalizálja az alábbi ún. energia funkcionált:

$$E = \int_0^1 E_{int}(x(s)) + E_{im}(x(s)) + E_{com}(x(s)) ds \quad (1)$$

ahol E_{int} a belső energiát, E_{im} a képi energiát, E_{com} pedig a kényszerek energiáit jelentik. A belső energiákon kívüli energiákat összevonva külső energiának E_{ext} tekintjük.

A belső energia további két tagból áll össze, ezek a nyúlási és a hajlítási energiák. Definíciószerűen

$$E_{int} = \frac{1}{2} (\alpha(s) |x'(s)|^2 + \beta(s) |x''(s)|^2) \quad (2)$$

¹ Eredetileg hajlékony fémvonalzó görbék rajzolásához, mára elterjedt numerikus módszer pl. interpolációhoz

² Snake névvel is illetik gyakran az irodalomban az aktív kontúrokat.

ahol $x'(s) = \frac{dx(s)}{ds}$, tehát a görbe első deriváltja

és $x''(s) = \frac{d^2x(s)}{ds^2}$, vagyis a görbe második deri-

váltja. $\alpha(s)$ és $\beta(s)$ függvények gyakran egyszerűsítettek: α és β . Szerepük a kontúr nyúlási és hajlítási viselkedésének szabályozása.

A képi energia definiálásához tekintsük a képet kétváltozós $I(x,y)$ függvénynek. A tónusos szürkeárnyalatos képre értelmezett leggyakoribb energiafüggvény:

$$E_{im} = -|\nabla I(x,y)|^2 \quad (3)$$

ahol a nabla operátor a képfüggvény gradiensét jelenti valamely élkeresési eljárással kiszámítva. A képi energia előállításakor szokás továbbá a képfeldolgozásban gyakori σ szórássú kétváltozós Gauss-féle kernellel végzett konvolúciós szűrés eredményképét bemenetként tekinteni:

$$E_{im} = -|\nabla G_{\sigma}(x,y)|^2 \quad (4)$$

Bináris kép (pl. szkennelt vonalas rajz) esetén a gradiens operátor elhagyható.

Kényszerek energiája lehet sztereo kényszer, mozgási kényszer; ezek implementációként változhatnak, gyakran elhagyják azt. Cikkünkben mi is elhanyagoljuk.

Az (1) egyenletben felírt energiát akkor minimalizálja a snake, ha kielégíti az erő egyensúlyi egyenletet a belső és külső erőkre, vagyis

$$F_{int} + F_{ext} = 0 \quad (5)$$

Másképp felírva a kontúr kielégíti az Euler-egyenletet [Kass et al 1988]:

$$\alpha x''(s) - \beta x''''(s) - \nabla E_{ext} = 0 \quad (6)$$

Ha a képi energiát külső energiának tekintjük, vagyis élképet vezetünk le:

$$f(x,y) = -E_{ext}(x,y) \quad (7)$$

[Cohen 1989] cikkében a jól bevált éldetektáló algoritmusok használatát javasolja, mint a Canny vagy a Deriche élkeresés.

Felírhatjuk továbbá a gradiens vektor áramot (Gradient Vector Flow – GVF):

$$v(x,y) = [u(x,y), v(x,y)] \quad (8)$$

A fentiek szerint a GVF variációs számítással megkapható az Euler-egyenletekből:

$$\mu \nabla^2 u - (u - f_x)(f_x^2 + f_y^2) = 0 \quad (9)$$

$$\mu \nabla^2 v - (v - f_y)(f_x^2 + f_y^2) = 0 \quad (10)$$

ahol ∇^2 a Laplace-operátor, μ pedig szintén egy súlyfaktor, amely a külső és belső erők egyensúlyát szabályozza. (9) és (10) kifejezésekben sze-

replő további mennyiségek pedig $f_x = \frac{d_f}{d_x}$

és $f_y = \frac{d_f}{d_y}$, vagyis az élkép (a külső energia

irányderiváltjai.

Az aktív kontúr számítása során egy kezdeti (inicializált) állapotból indulunk ki, majd újabb és újabb iteratív számítással folyamatosan módosítjuk a snake pontjainak helyzetét: a snake tehát időtől függő parametrikus görbe, azaz $x_i(s, t)$.

A fentiek alapján (6) egyenletbe helyettesítve a gradiens vektor áramot, megkapjuk az időtől függő GVF-snake összefüggést [Xu 1997a], [Xu 1997b]:

$$x_i(s, t) = \alpha x''(s, t) - \beta x''''(s, t) + v \quad (11)$$

A fenti összefüggések folytonos függvényekre és diszkrét függvényekre egyaránt megoldhatók. A képfeldolgozásban a diszkrét változat használatos: a kontúrt töréspontok sorozatának tekintjük, amelyek egyenesekkel vannak összekötve. A pontok mozgása a számítás során a fenti összefüggések szerint történik.

A (9) és (10) egyenletek megoldása során u és v parciális differenciálegyenletek az ún. általános diffúziós egyenletek, amelyek pl. a folyadékok áramlásában vagy a reaktorfizikában is ismertek.

A numerikus megoldás folyamán az $u_i(x, y, t)$ és $v_i(x, y, t)$ függvények alakjának átalakításával iteratív formula kapható, melyben a számítás végére a konvergáló vektorok megadják a snake pontjainak végleges helyzetét.

Kass et al. 1988 cikkében a diszkrét pontok felhasználásával végzett „klasszikus” snake-számítás kitűnően dokumentált, Xu 1997b cikkében pedig a GVF-módsulat algoritmusát mutatják be részletesen.

Megjegyezzük, hogy az irodalom alapján magasabb dimenziós számú térre is alkalmazható a snake-módszer, így lehetséges a multispektrális képek minden sávjának egyidejű figyelembevétele. A módszer azonban számításintenzív, így bonyolult esetekben sokáig eltart a gradiensképzés és a snake-iteráció.

3. Térképezés aktív kontúrokkal

3.1. A Balaton partvonalának térképezése

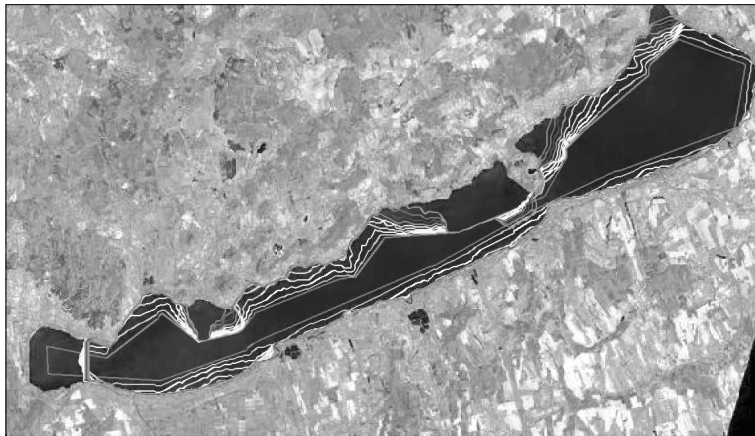
Cikkünk következő részében néhány gyakorlati alkalmazási példán keresztül röviden demonstráljuk az aktív kontúrok (GVF-módsulat) viselkedését. A példákat nyílt forráskódú képfeldolgozási függvénykönyvtár és orvosi képfeldolgozási programcsomag felhasználásával készítettük. Elsőként a Balatont és környezetét ábrázoló úrfelvételen a tó szegmentálásának egy lehetséges implementációját mutatjuk be. Első lépésként az eredetileg színes képet szürkeárnyalattá alakítottuk: mint említettük léteznek magasabb dimenziós számú téren értelmezett kontúrok, a számításigény csökkentése miatt a gyakorlati feladat függvényében célszerű ezt a lépést megtenni.

Ezt követően a tó közepén, a parttól távol elnagyolva, néhány sokszögponttal inicializáltuk a kontúrt (1. ábra). Az iteráció egyes fázisait eltérő árnyalattal jelenítettük meg a képen. Látható, hogy a kontúr végső, „egyensúlyi” állapota nem felel meg a várakozásoknak: nem a tó partvonalával esik egybe.

A 2. ábrán ezzel szemben egy, az előbbinél precízebb, a partvonalat jobban követő inicializálást mutat be. A végeredmény is a várakozásoknak megfelelő: a kontúr gyorsan (kevés iterációs lépésben), pontosan lehatárolja a tó területét.

3.2. Nádtérképezés

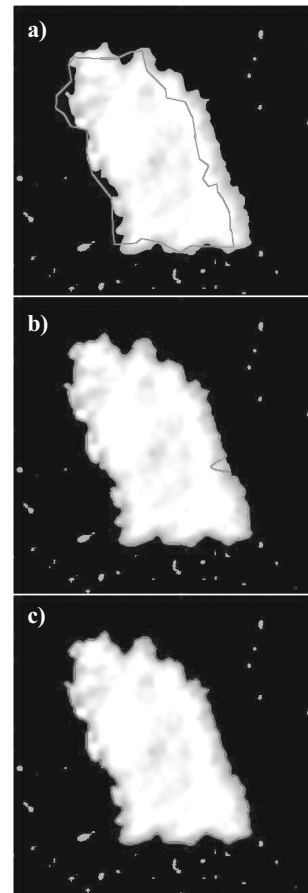
Az előbbi példából is látható a kontúrok gyakorlati alkalmazásának sarkalatos pontja: érzékenyek



1. ábra Példa az aktív kontúrok inicializálási nehézségeire



2. ábra A Balaton területének szegmentálása aktív kontúrral



3. ábra Nádas változás-vezetésnek iterációs lépései

az inicializálásra. A sikeres alkalmazás feltétele, hogy a kontúr kezdeti állapotát a szakirodalomban elérési területnek nevezett képrészen belül kell felvennünk. Az elérési terület növelésére számos eljárás született [Xu 1997a], [Xu 1997b]. A lehetséges alkalmazások számára gyakran maga az inicializálás szükségessége is hátránnyá válhat: ilyen módon „csak” félautomatikus az eljárás, szükség van egy humán operátor közreműködésére. Ez a hátrány nem jelentkezik, ha a kontúrokat változásvezetésre használjuk: a megelőző állapotot gyakran felhasználhatjuk, mint inicializálási helyet.

Számos alkalmazásnál feltételezhetjük továbbá, hogy a térképezendő objektum geometriájában történt változás valóban „elemi” mértékű. Ilyen esetekben lehetőségünk van az eredetileg félautomatikus technikát akár teljesen automatikussá tenni, ezzel a kiértékelés során jelentős

élőmunka-igényt takaríthatunk meg. Példaként egy nádfolt állapotváltozás-térképezés lépéseit mutatjuk be a 3. ábrán. Mindegyik kép egy-egy iterációs lépésben jeleníti meg a kontúr pozícióját az inicializálási helytől egészen a végleges szegmentálásig. A feldolgozás során első lépésként az eredeti képből intenzitásértékek alapján kiemeltük a nádfoltokat jelentő pixeleket, illetve egy előző kiértékelés eredményét is megjelenítettük az így kapott ortofotó-kivágoton (3. a ábra). Ezt az előző felmérést inicializálási helyként használtunk fel a nádfolt új helyének térképezésekor. A következő kép (3. b ábra) egy köztes iterációs lépést ábrázol, míg a 3. c ábra a kontúrt az egyensúlyi helyzetében mutatja be. Látható, hogy a kontúr pontosan szegmentálja. A bemutatott eljárással az eredeti algoritmus szerint félautomatikus technika segítségével nem elképzelhetetlen az akár teljesen automatikus kiértékelés sem.

4. Összefoglalás

Cikkünkben áttekintést adtunk az aktív kontúrok elméleti háttéréről, illetve gyakorlati példákon keresztül röviden szemléltettük felhasználási lehetőségeiket a fotogrammetriai és távérzékelési felvételek feldolgozása területén. Ajánlást tettünk a kontúrok térinformatikai adatbázisok geometriai adatainak változásvezetésben történő alkalmazására. Ebben az esetben az előző állapotot, mint inicializálási helyet fel tudjuk használni, ilyen módon az eredetileg félautomatikus térképezési technika akár teljesen automatikussá is tehető. A cikkben bemutatott képeket a KDT Vízügyi Igazgatóság bocsátotta rendelkezésünkre.

Mapping with active contours

Tóth, Z. – Barsi, Á.

Summary

In the paper the theoretical background of the active contours is presented, followed by easy practical examples demonstrating their possible use in photogrammetry and remote sensing image analysis. A further case study shows the change detection of geometric data stored in GIS databases

IRODALOM

- Caselles, V. (1995): Geometric Models for Active Contours, IEEE International Conference on Image Processing 1995, Vol 3, pp. 9–12
- Chan, T.F. – Vese, L.A. (2001): Active Contours without Edges, IEEE Transactions on Image Processing, Vol 10, No 2, pp. 266–277
- Cohen, L. (1989): On active contour models, INRIA Rapports de Recherche, No. 1075, Le Chesnay Cedex, p. 17
- Kass, M. – Witkin, A. – Terzopoulos, D. (1988): Snakes: Active Contour Models, International Journal of Computer Vision, pp. 321–331
- Koutaki, G. – Uchimura, K. (2003): Automatic road extraction based on cross detection in suburb, SPIE, p. 8
- Neuenschwander, W. – Fua, P. – Székely, G. – Kübler, O. (1995): From Ziplock Snakes to Velcro Surfaces, Ascona, p. 10
- Xu, C. – Prince, J.L. (1997a): Gradient Vector Flow: A New External Force To Snakes, IEEE Proc. Conf. on Comp. Vis. Patt. Recog. (CVPR'97), pp. 66–71
- Xu, C. – Prince, J.L. (1997b): Snakes, Shapes, and Gradient Vector Flow, IEEE Transactions on Image Processing, Vol 7, pp. 359–369

MFTTT FELHÍVÁS



Tisztelt Tagtársak!

**A Geodézia és Kartográfia
132 oldalas jubileumi különszáma**

1000 Ft + áfa áron
a Társaság titkárságán
– előzetes egyeztetés alapján –
megvásárolható.

Érdeklődni Kenderes Dóra
ügyvezető titkárnál lehet.
Telefon: 201–86–42,
e-mail: mail.mfttt@mtesz.hu