



Szkennelt térképek automatikus interpretációja

Katona E.

Szegedi Tudományegyetem, Informatikai Tanszékcsoport, Szeged, 6720 Árpád tér 2.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az automatikus térkép interpretáció olyan számítógépes eljárást jelent, amely minimális humán támogatással értelmezni tudja a térképet, és így automatikusan előállítja annak helyesen strukturált, vektoros megfelelőjét. Ilyen eljárások kidolgozása jelentős anyagi haszonnal kecsegtet, ezért a világon számos kutatóhely és fejlesztő cég foglalkozik a kérdéssel. Jelen dolgozatban először a tágabb szakterületeket (dokumentum-elemzés) tekintjük át, majd a szakirodalomban megjelent fontosabb interpretáló rendszereket és irányzatokat mutatjuk be. Ezután saját rendszerünk, az elsősorban hazai kataszteri térképek feldolgozására készült MAPINT program bemutatása következik. A feldolgozás affin koordináta transzformációval indul, majd előzetes vektorizálás következik, amelynek eredményét egy speciális vektorgráf formátumban tároljuk. Valamennyi felismerési művelet ezen a vektorgráfon történik. A felismert térképi objektumok: szaggatott vonalak, házzszámok és helyrajzi számok, kapcsolójelek, nullkörök, épületek és földrészletek. A dolgozatot a különféle rendszerek összehasonlító értékelése zárja.

(Kulcsszavak: vektorizálás, térinformatika, mesterséges neurális hálózatok, vonalrajz felismerése, alakfelismerés)

ABSTRACT

Automatic interpretation of scanned maps

E. Katona

University of Szeged, Department of Informatics, Szeged, H-6720 Árpád tér 2.

To create a spatial database for some GIS applications, it is a big challenge to recognize all the simple and complex map objects automatically on scanned maps. This research field is generally referred as map interpretation. The first part of the present study shows the place of map interpretation concerning related topics of document analysis, and discusses interpretation systems representing main approaches in the field. The second part gives a detailed discussion of our own interpretation system called MAPINT which has special support from Hungarian cadastral maps. Processing starts with an affine coordinate transform followed by raw vectorization, the result of which is converted into a vectorgraph format. All recognition steps are performed on this format. Recognized objects are: dashed lines, house numbers and parcel numbers, connection signs (a special notation of Hungarian maps expressing the relationship between a building and a parcel), null-circles (denoting measured points), building and parcel polygons. The study is closed with a comparison and evaluation of different systems.

(Keywords: vectorization, GIS, artificial neural network, graphics recognition, pattern recognition)

BEVEZETÉS

Ha a szakember ránéz egy térképre, értelmezni tudja annak struktúráját, jelkulcsait, egyszerűen interpretálja a térképet. Kérdés, hogy szkennelrel digitalizált, raszteres térképi állományon egy számítógépes program meg tudja-e tenni ugyanezt?

A fenti probléma különleges gyakorlati jelentőségű. Világszerte igen sok munkaórát töltenek papírtérképek digitalizálásával, vagyis azzal, hogy az analóg nyersanyagot vektoros digitális formára alakítják, ezzel lehetővé téve annak térinformatikai felhasználását. Az eljárás vagy digitalizáló táblával történik, vagy a szkennelt térképet képernyőn rajzolják át vektoros formátumra. Ezt az eljárást gyakran *vektorizálásnak*, vagyis *raszter-vektor konverzió*nak nevezik, pedig ez megtévesztő. Itt nem egyszerű formátum konverzióról van szó (az rutinfeladat lenne), hanem a térképet *interpretálni* kell, lokális és globális struktúráját felismerni, csak ennek alapján készíthető el a megfelelő vektoros állomány.

A térkép interpretációt az általános *dokumentumelemzés* (document analysis) szakterületbe, ezen belül pedig a *rajzfelismerés* (graphics recognition) témakörbe szokták sorolni. A nagyszámú publikáció (lásd például az irodalomjegyzékben *Graphics Recognition*, 1996-2002) számos olyan alkalmazást fed le, amely többé-kevésbé kapcsolódik a térképek feldolgozásához.

- *Kézzel írott, ill. nyomtatott karakterek felismerése* (OCR=Optical Character Recognition). A publikált eljárások többsége tisztán szöveges dokumentumok (esetleg képekkel illusztrált dokumentumok) feldolgozására készült, így térképi feliratok felismerésére csak elvétve alkalmazható.
- *Nyomtatványok, űrlapok feldolgozása* (form analysis). Itt már fellép a vonalak és szövegek szétválasztásának kérdése, de nem olyan általános formában, mint térképek esetén.
- *Műszaki rajzok feldolgozása*. A műszaki rajzok specialitásai (méretvonalak, körívek stb.) miatt az itt elért eredmények is csak korlátozottan hasznosíthatók térképek esetén.

Jelen dolgozatban először néhány publikált térkép interpretáló rendszer bemutatásával áttekintést adunk a szakterületről, majd saját interpretáló rendszerünket mutatjuk be.

INTERPRETÁLÓ RENDSZEREK ÁTTEKINTÉSE

Az utóbbi évtizedben számos térkép interpretációs rendszerről számolt be a szakirodalom. Ezek többsége *adott térképtípusra specializált*. Jellemzően minden országban a nagy tömegben előforduló, nagyméretarányú térképállományokat célozzák meg, ezek a következők.

- *Földmérési alaptérképek*, más néven *kataszteri térképek*. Elsődleges céljuk a földhivatali ingatlan nyilvántartás, vagyis az épületek és földrészletek (telkek) geometriai viszonyainak ábrázolása. Méretarányuk jellemzően 1:500 és 1:5000 között változik.
- *Topográfiai térképek*. Általános célú térképek, amelyek a domborzat, vízrajz, út- és vasúthálózat, települések ábrázolását tartalmazzák. Méretarányuk 1:10 000 és 1:100 000 között mozog.
- *Közműtérképek*. Az egyes közművállalatok vezetékrendszerét és szerelvényeit ábrázolják (víz, gáz, villany, telefon, kábeltelevízió stb.). Jellemző méretarányuk 1:500.

Az országonként eltérő térképi szabványok miatt az interpretáló rendszerek többsége „nemzeti sajátosságokat” mutat. A rendszerek általában fekete-fehér anyag feldolgozására készültek, de többen próbálkoznak színes térképek interpretációjával is. Véleményünk szerint a színezésválasztás annyi többlet hibát visz a rajzba, hogy színes térképek professzionális feldolgozása csak nyomdai fölíánként külön lehetséges.

A legtöbb rendszer *vektorizálásra épül*: először nyers vektoros adatstruktúrát állít elő, majd ezen végez felismeréseket. Itt is vannak kivételek, elvértve *tisztán raszteres* feldolgozásra is látunk példát.

A fejezet további részében olyan interpretáló rendszereket mutatunk be, amelyek nem csak egy-egy részfeladat megoldását, hanem adott térképtípus többé-kevésbé teljes körű interpretációját tűzik ki célul, és valamennyi fontosabb kutatási/fejlesztési irányt lefednek.

A MARIS rendszer

A rendszer neve a *MAP Recognition Input System* rövidítése, *japán nagyméretarányú térképek* feldolgozására készült (Suzuki és Yamada, 1990). Az első komplex, részletesen dokumentált rendszerek közé tartozik.

A térképek 1:2500 méretarányúak, 60×80 cm méretűek, és jellemzően épületek körvonalait, szintvonalrajzot, vasút- és úthálózatot, valamint vízrajzot tartalmaznak.

A térképeket 16 pixel/mm felbontással szkennelik, majd 70 partícióra bontva tárolják. Ezután vektorizálás, majd automatikus felismerés következik, végül manuális korrekcióval zárul a feldolgozás.

A vektorizálás eredményét a rendszer *három relációs adattáblában* tárolja (csomópont tábla, vonal tábla, vonalszegmens tábla). Ezen vektoros adatstruktúra elemzésére egy *szegélykövető* (border tracing) algoritmust alkalmaz a rendszer, amelynek segítségével minden vonalat „mindkét oldalán” bejár. A eljárás eredményeként önmagába záródó *külső szegélyek* (outer border) és *belső szegélyek* (hole border) keletkeznek.

Ezután a *hosszú vonalak* felismerése következik. Az eljárás adott *L* vastagságú éleken halad végig, elágazásnál azon az élen folytatja, amelyik a legkisebb szögben törik (és a szög kisebb egy adott küszöbnél). Így különíti el a szintvonalakat és vasútvonalakat. A vonalat csak akkor fogadja el, ha teljes hossza nagyobb egy adott *T* küszöbnél.

A japán térképek sajátossága, hogy az épületpoligonok DK irányból napfényrel megvilágított oldalát 0.3 mm, a többi oldalát 0.1 mm vastag vonallal rajzolják. A felismerő algoritmus ezt ki is használja, amikor a „belső szegélyek” vizsgálatával eldönti, hogy melyik tekinthető épületnek.

Az épületek felismerése után töröl minden olyan vonalat, amely csak épülethez tartozik, és nem út/utca határvonalának része. Ennek módja: az épület élekhez folytatást keres a hosszú vonal felismerő algoritmussal, és ha talál olyan folytatást, amely nem része épületnek, akkor ezt a vonalat meghagyja.

A MARIS rendszert ismertető cikk érdeme, hogy részletesen dokumentálja az algoritmusok többségét. Ugyanakkor az eljárások helyenként túlbonyolítottak, például a szegélykövető algoritmus helyettesíthető lenne a jelen dolgozatban ismertetett, sokkal egyszerűbb poligonstruktúra bejárással. A cikk továbbá nem foglalkozik megírások elkülönítésével és felismerésével.

Olasz kataszteri térképek interpretációja

A *Boatto et al.* (1992) által bemutatott komplex interpretáló rendszer olasz földhivatali térképeket dolgoz fel. A térképek egyszínűek, és a szokásos kataszteri objektumokat

(épületek, földrészletek) tartalmazzák – természetesen számos más jelkulccsal kiegészítve. Sajátosságuk, hogy az épületeket vonalkázott területként ábrázolják (1. ábra). Méretarányuk 1:500 és 1:5000 között változik, méretük 100×70 cm.

1. ábra

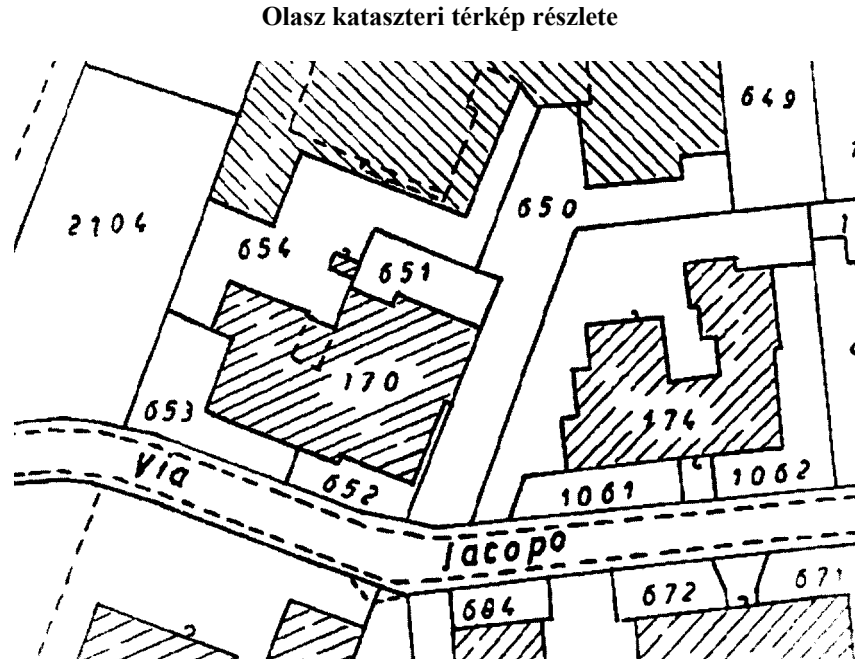


Figure 1: Fragment of an Italian cadastral map

A feldolgozás lépései

Előfeldolgozás. A szkennelt állományt zajsűrésnek vetik alá, majd a futam-gráf vektorizáláshoz (Di Zenzo és Morelli, 1989) hasonló eljárással egy ún. képgráfot állítanak elő: a gráf szögpontjainak és éleinek összefüggő pixelhalmazok felelnek meg a raszterképen. Az így nyert képgráfon végeznek minden további felismerést.

Szegmentálás. Elkülönítésre kerülnek a folytonos vonalak, szaggatott vonalak, szimbólumok és vonalkázott területek (épületek). A részműveletek az alábbiak.

- A vonalkázott részek behatárolása heurisztikus algoritmussal történik (operátori segítséget igényelhet), ezután a vonalkázást törlik és a keretet vektorizálják.
- Összefüggő gráfkomponenseket keresnek, méret alapján választják szét a vonalakat a szimbólumoktól. Ekkor még a szimbólumokhoz sorolódnak a szaggatott vonal darabok is.
- Vonalak vektorizálása. A vonalak minden esetben a raszteren belül maradnak, így nyilvánvalóan megfelelnek az olasz földhivatal által megkövetelt 0.4 mm pontosságnak.

Felismerés. A szaggatott vonalak felismerése egymáshoz közeli, mindkét végén végpontban végződő vektorok keresésére épül. A karakterek felismerése raszteresen történik. Minden egyes karaktertípushoz egyedi jellemzőhalmazt állítanak össze. A

jellemzők között tipikus a (konvex burok részét képező) burkoló vonalak száma, aránya és szöge. A karakter felismerés után már tisztán vektoros adatstruktúrával dolgozik a rendszer (vektorgráf).

Geometriai kapcsolatok meghatározása. A fázis fő célja a földrészetek (telkek) felismerése. Egy földrészet általában több részpoligonból áll, amelyeket kapcsolójel (kis hullámvonal, lásd 1. ábra) köt össze. A feldolgozás lépései a következők.

- Minimális köröket keresnek a vektorgráfban, ezek lesznek a részpoligonok.
- Másodlagos gráf létrehozása, amelynek szögpontjai a fenti poligonok, élei pedig a kapcsolójelek.
- Ezen gráf összefüggő komponensei felelnek meg a földrészeteknek.

Az automatikus feldolgozás teljes ideje szelvényenként kb. 30 perc, ehhez mintegy 3 óra manuális munka társul, mivel hibátlan digitális térkép előállítására csak folyamatos operátori ellenőrzéssel biztosítható. Az eljárás így is lényegesen hatékonyabb a teljesen manuális digitalizáláshoz képest. Az ismertetett rendszer érdekes tulajdonsága a részben raszteres, részben vektoros képgráf adatstruktúra.

Német topográfiai térképek feldolgozása

Az *Ebi* (1995) által publikált FRIMAP (FRame-based Interpretation of MAPs) elnevezésű prototípus rendszer szemantikus hálókat (*Niemann et al.*, 1990) alkalmaz 1:25 000 méretarányú színes topográfiai térképek feldolgozására (2. ábra).

2. ábra

Német topográfiai térkép részlete (a kivágat eredeti mérete 27×22 mm)

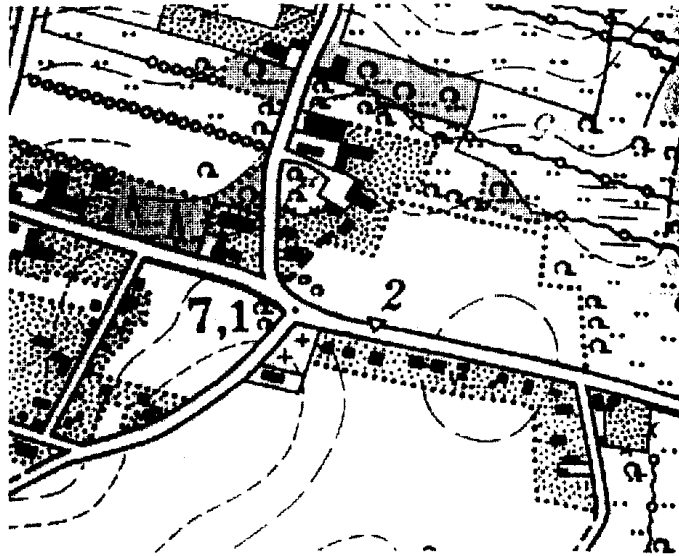


Figure 2: Fragment of a German topographic map (original size is 27×22 mm)

Az előfeldolgozó modul elkülöníti és vektorizálja a fekete, zöld és barna rétegeket. Ezután következik a szemantikus háló modell alapján történő interpretáció. Az alábbi

objektumtípusok (concept) kerülnek definiálásra: rét (legelő), tülevelű erdő, lombhullató erdő, vegyes erdő, cserje, magányos fa, épület, útszakasz, kereszteződés, szintvonal, vízterület. A szerző megoldást ad *rekurzív struktúrák* (például szaggatott vonal, kitöltő minták) leírására a szemantikus háló modellben. A cikk a felismerés két jellegzetes problémájára hívja fel a figyelmet.

- A réteket a német topográfiai térképek kitöltő mintázattal jelölik, de pontos határvonalukat nem adják meg. A felismerő algoritmus ezért az összefüggő kitöltő mintázat minimális befoglaló poligonját képezi, ez azonban nem mindig esik egybe azzal a területtel, amit szakember olvasna le a térképről.
- A szintvonalak helyenként hiányosak. Hosszabb szakadást a rendszer nem képes pótolni, viszont figyelmeztet a vakon végződő szintvonalra. A szükséges korrekciót manuálisan kell elvégezni.

Karakter felismeréssel a rendszer nem foglalkozik. A cikk tárgyalásmódja meglehetősen vázlatos, így a megoldás részleteiről és a rendszer hatékonyságáról nem lehet igazán képet kapni. A fentiekkel inkább a kutatás egyik lehetséges irányát kívántuk bemutatni (szemantikus hálók alkalmazására a későbbiekben is történtek kísérletek), ezzel együtt ez az irányzat nem jellemző a térkép interpretáció világában.

A RoSy rendszer

A rendszert egy müncheni cég fejlesztte (M.O.S.S. Computer Grafik System GmbH, honlap: www.moss.de), amely nagy volumenű digitalizálási munkákkal foglalkozik, ennek támogatására folyamatosan bővítik a RoSy lehetőségeit. A MUSKAR-projekt (Mustererkennung in der Kartographie) keretében hosszú távú kutatási-fejlesztési együttműködést folytattak a Karlsruhei Műszaki Főiskolával. A JATE és a KMF közötti kapcsolat keretében lehetőségünk volt a rendszert közelebbről is megismerni.

A RoSy sok modulból álló, nagy bonyolultságú, nyitott rajzfeldolgozó rendszer. A nyitottság azt jelenti, hogy saját fejlesztő környezetével adott térkép- vagy rajztípushoz testreszabott alkalmazások hozhatók létre. A munka elvégzése azonban komoly programozást és hosszabb betanulási időt igényel.

A feldolgozás nyers vektorizálással indul, majd automatikus felismerés és végül manuális javítás történik. A RoSy fejlett raszter-vektor editálási képességekkel rendelkezik. Ez érthető, hiszen az automatikus felismerés mindig kíván manuális korrekciót, rossz minőségű nyersanyag esetén pedig az automatikus interpretáció egyáltalán nem alkalmazható.

Az RoSy rendszer különféle alkalmazásairól számos diplomamunka és cikk számol be, néhány ezek közül:

- *Klauer* (1993) német kataszteri térképek feldolgozását vizsgálja,
- *Kern et al.* (1997) magyar kataszteri térképek feldolgozási tapasztalatain keresztül mutatja be a rendszert,
- *Hudra és Kern* (1999) párhuzamos vonalak (például utak) felismerésére vonatkozó fejlesztésekről számol be,
- *Hudra* (2001) magyar kataszteri térképek feldolgozásához fejlesztett eljárásokat, ezeket hasonlítja össze a MAPINT rendszerrel (erre a dolgozat végén még visszatérünk).

További rendszerek

A MAGELLAN rendszer (Map Acquisition of GEographic Labels by Legend ANalysis) a térkép jelkulcsainak automatikus megtanulására épül (*Samet és Soffer*, 1998). Ezen megközelítés korlátja, hogy a térképkészítés szabályrendszerét általában komplex

szabályzatok rögzítik, pusztán a jelkulcs alapján csak korlátozott interpretáció lehetséges.

Vektorizálás nélkül, tisztán raszteres algoritmusokkal végez felismeréseket *Yamada et al.* (1994) 1:25 000 méretarányú japán topográfiai térképeken. Vonalak és szimbólumok elkülönítését végzi, továbbá magassági megírásokat ismer fel. A eljárás bitsikok közötti műveletekre épül. Hátránya, hogy ilyen jellegű algoritmusok implementációja hatékonyan csak nagy párhuzamosságú (massively parallel) processzorral lehetséges.

Tan és Ng (1998) szintén raszteres eljárással különíti el a feliratokat a térkép vonalrajzától. Először a nagy, összefüggő alakzatokat eltávolítja (ezek feltehetően nem feliratok), majd multirezolúciós piramist használ. A kicsinyített képen egy felirat karakterei összefüggővé válnak, így detektálhatók.

Li et al. (1999) szintén a feliratok és vonalrajz elkülönítését veszi célba. A vizsgált 1:24000 méretarányú USA topográfiai térképekre jellemzőek a vonalrajzon átirrt utcanevek. A cikk erre a problémára koncentrálna. Szétválasztás után az utcahálózatot vektorosan, a megírásokat raszteres módon dolgozza fel.

Chen et al. (1996) 1:1000 méretarányú kínai kataszteri térképek interpretációjával foglalkozik. A helyrajzi számok arab számmal, a földrészlet jellege kínai írással szerepel a térképen. Vékonyítás után a vázon a végpontok és elágazási pontok sűrűségét vizsgálja, a sűrű területek jelentik a kínai írásjeleket.

Lladós et al. (1999) vonalkázott területek felismerésére használja a digitális képfeldolgozásból ismert Hough-transzformációt, eljárását francia kataszteri térképeken teszteli.

A MAPINT RENDSZER

A MAPINT (MAP INTERpretation) általános célú interpretációs rendszer, amelynek jelenlegi változata elsősorban magyar kataszteri térképek (3. ábra) feldolgozását támogatja (*Katona és Hudra, 1999a*).

A rendszer beépült a Phare HU905.0203 sz. Land Consolidation Project keretében kidolgozott technológiába (*Omaszta és Szabó, 1999*). A program itt elsősorban a szkennelt kataszteri szelvények koordináta-transzformációját és a helyrajzi számok automatikus felismerését támogatja. Ez utóbbi lehetővé teszi a földrészletek geokódolását, és ennek segítségével a szkennelt raszteres állományokhoz való kapcsolását (*Katona és Hudra, 1999b*).

Elsősorban EOVS rendszerű, 10×10 cm-es örkereszt hálózattal ellátott szelvényeket tételezünk fel. Feldolgozáskor mindig egy szkennelt raszteres (szabványos TIFF grafikus formátumú) és egy vektoros (saját DG formátumú) állományt kezelünk együtt, amelyek a képernyőn egymásra vetítve jelennek meg. A DG (*Drawing Graph*) adatstruktúra egy topológikus modell, amely komplex, hierarchikus struktúrák leírására is alkalmas, és jelentősen támogatja a felismerő algoritmusok implementálását (*Katona, 2002*).

A feldolgozás során egy szkennelt (raszteres) térképszelvényből indulunk ki, ilyenkor a DG még üres. A feldolgozás az alábbi fő lépésekből áll.

Koordináta transzformáció. A raszteres állományon meghatározzuk az örkeresztek koordinátáit, amelyek a (most még üres) DG-be kerülnek letárolásra. Ezután affin transzformációval a szelvénykereten kívüli részt levágjuk. Az így transzformált raszteres állományok hézagmentesen illeszthetők majd egymáshoz.

Nyers vektorizálás. Vékonyítás alapú vektorizáló eljárással előállítjuk a rajz nyers vektoros képét (4. ábra), amely gráfként a DG-be kerül.

Felismerések. Az egyes térképi objektumok automatikusan felismerésre kerülnek, minden felismerési lépés utáni interaktív javításra van lehetőség. A műveletek során csak a DG változik.

DXF export. A generált vektoros DG adatstruktúra konverziója DXF formátumra.

3. ábra

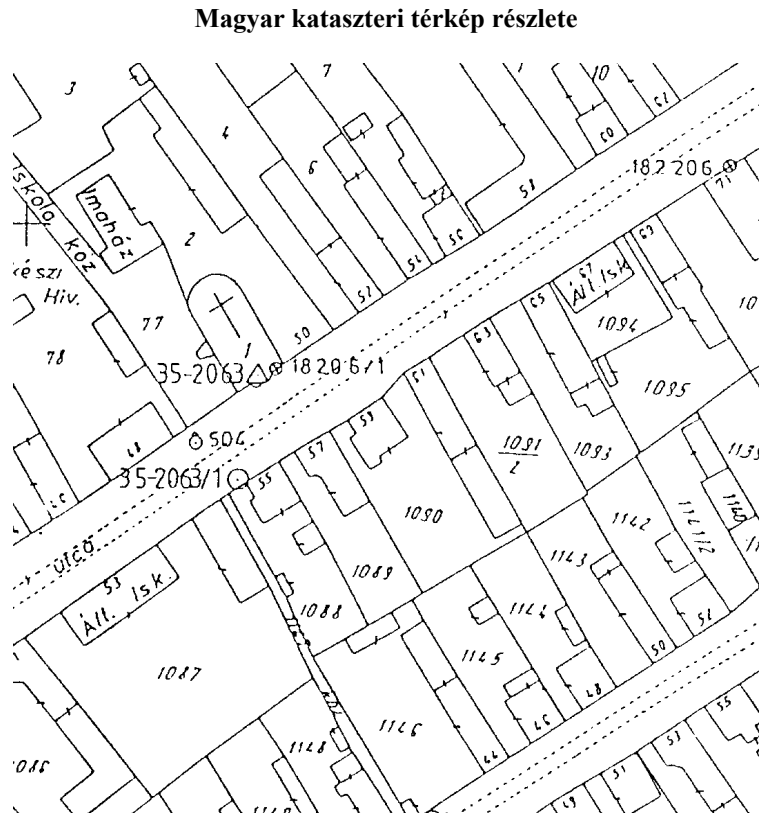


Figure 3: Cutout of a Hungarian cadastral map

A rendszer központi részét a felismerő modul képezi, amely az alábbi műveleteket végzi.

- Szaggatott vonalak felismerése.
- Szimbólumok és megírások leválogatása (külön rétegbe helyezése).
- Számok (elsősorban helyrajzi számok és házsámok) felismerése.
- Kapcsolójelek (vagyis az épületek és földrészetek összetartozását kifejező szimbólumok) felismerése. Ezen felismerés eredményére épül az épületek és földrészetek behatárolása, lásd alább.
- Üregek eltüntetése. (Üregen néhány pixelnyi „lyukat” értünk a rajzon, amely általában szkennelési hibából adódik.)
- Nullkörrel jelölt, állandósított részletpontok felismerése.
- Rajz korrekció: a vékonyítás alapú vektorizálás sajátos hibáinak javítása (lásd 4. ábra).
- Épületek és földrészetek felismerése.

4. ábra

Nyers vektorizálás
(baloldalt a szkennelt raszterkép, jobboldalt a vektorizálás eredménye)

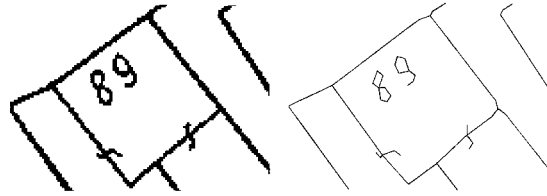


Figure 4: Raw vectorization: scanned raster image (left) and the vectorization result (right)

A fentiekkel a földmérési alaptérképek jellemző és nagy számban előforduló elemeire koncentráltunk, nem volt célunk valamennyi lehetséges jelkulcsi elem felismerése. Jó minőségű szkennelt anyagon a rendszer általában 90% feletti felismerési arányt produkál (Katona és Hudra, 1999a), gyenge minőségű (halvány, utólag javított stb.) anyagon azonban a felismerési arány jelentősen romolhat. A továbbiakban a fontosabb felismerő eljárásokat részletezzük.

Szaggatott vonalak felismerése

Az eljárás paramétereit

T (tolerance): a szaggatott vonal darabok egy egyenesbe esésének vizsgálatánál a megengedett legnagyobb eltérés értéke pixelben. Ha nagyobb értéket adunk meg, akkor „kanyargósabb” szaggatott vonalakat is felismer a rendszer, viszont előfordulhat, hogy más rajzi elemeket is szaggatott vonalnak tekint.

D (distance): két szaggatott vonal szakasz között megengedett maximális távolság pixelben.

Az algoritmus. Egymáshoz közeli A, B végpontokat keresünk. Jelölje A_1 és B_1 az A -ból ill. B -ből induló él másik végpontját, ekkor az él egyenesbe esését a

$$Dev = \max(\text{dist}(A, A_1 B_1), \text{dist}(B, A_1 B_1))$$

értékkel jellemezzük, ahol $\text{dist}(A, A_1 B_1)$ az A pontnak az $A_1 B_1$ egyenesszakasztól való távolságát jelenti. Az (A, B) pontpár akkor felel meg céljainknak, ha $\text{dist}(A, B) < D$ és $Dev < T$ teljesül. Ha adott A ponthoz több ilyen B pontot is találunk, akkor azt választjuk, amelyre a

$$V = \text{dist}(A, B) + 2 \cdot Dev$$

mérszám minimális, vagyis ilyen esetben az egy egyenesbe esést preferáljuk a közelséggel szemben. Az (A, B) pontpárt csak akkor fogadjuk el, ha a fenti kritérium alapján nem csak A -hoz B a legközelebbi, hanem B -hez is A a legközelebbi. Szaggatott vonalnak tekintünk minden olyan vektorsorozatot, ahol a végpontpárok a fenti kritériumrendszernek megfelelnek.

Az algoritmus jellemzői

- Hajlított szaggatott vonalak (például szintvonalak) felismerésére is alkalmas. Ha a szaggatott vonalon éles törés van, akkor több szaggatott vonalként (szaggatott vonalláncként) ismeri fel az algoritmus.
- T-elágazásból induló szaggatott vonalakat is felismer.

Megjegyezzük, hogy *Chen et al.* (1996) részletesen dokumentált eljárást ismertet szaggatott vonalak felismerésére műszaki rajzokon. Ebből az eljárásból itt két jellemzőt emelünk ki.

- Különös gondot fordít szaggatott körök (körívek) felismerésére. (Térkép interpretációnál ennek csekély a jelentősége.)
- A T toleranciaérték helyett maximális szögeltérést vizsgál. Esetünkben azért döntöttünk az egyenestől való eltérés mérése mellett, mert a – magyar kataszteri térképeken gyakran szereplő – rövid szaggatott vonalak esetén már egy pixel eltérés is drasztikus szögváltozást eredményez.

Számok felismerése

Karakterek felismerését általában raszteresen szokták végezni (*Trier et al.*, 1996). Kétségtelen, hogy a vektorizálással információt veszünk, mégis a vektoros felismerés mellett döntöttünk az alábbiak miatt:

- a vektorizálás már egyfajta lényegkiemelést jelent (lásd például *Katona et al.*, 1995, ahol aláírás azonosításra alkalmaztunk vektorizált anyagot),
- a vektoros adat torzulásmentesen transzformálható elforgatott helyzetből alaphelyzetbe,
- így egységes adatstruktúrát (DG) használhat valamennyi felismerő algoritmus.

A felismerés előkészítéseként adott mérethatárok közé eső összefüggő részgráfokat keresünk a DG-ben (ezek a potenciális karakterek), amelyeket külön rétegbe helyezünk. Ezután egy egyenes mentén elhelyezkedő karaktorsorozatokat keresünk klaszterező algoritmus segítségével. Ha ilyen találunk, ezzel a felirat elforgatási szögét is meg tudjuk határozni, és a feliratot alaphelyzetbe visszaforgatni.

A tényleges felismeréshez *feedforward neurális hálózatot* alkalmazunk *back-propagation* tanuló algoritmussal. A hálózat három rétegből épül fel, 17 elemű input vektort fogad és – a 0, 1, ..., 9 számjegyeknek megfelelően – 10 elemű output vektort generál (5. ábra). A felismerés eredményének azt a számjegyet fogadjuk el, amelynek megfelelő neurális kimenet a legnagyobb értéket adja – feltéve, hogy ez az érték elérte a K elfogadási küszöböt.

5. ábra

A felismerést végző neurális háló vázlata

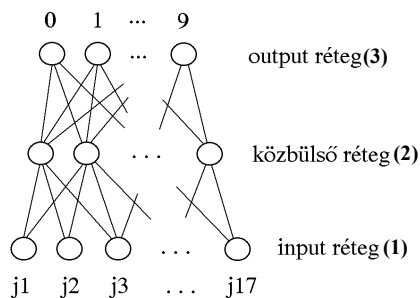


Figure 5: Sketch of the artificial neural network recognizing numbers on the map

Input layer(1), Middle layer(2), Output layer(3)

Poligonstruktúra bejárása

A feldolgozás során többször szükség van olyan algoritmusra, amely zárt poligonokat keres a DG gráfban. Alább ilyet ismertetünk.

Legyen $G=(V,E)$ tetszőleges irányítatlan síkgráf, ahol V a szögpontok halmaza, $E \subseteq V \times V$ pedig az élek halmaza. Az eljárás során minden $e=(v_i, v_j)$ élet kétszer címkézzük, $v_i \rightarrow v_j$ irányú bejárásakor f (forward), $v_j \rightarrow v_i$ irányú bejárásakor b (backward) címkével.

Algoritmus (6. ábra)

1. Keresünk egy élet, amely még nincs címkézve valamelyik irányban. (Ha már minden él mindkét irányban címkézve van, akkor készen vagyunk.)
2. Az élen a címkézetlen irányban indulunk, elágazásnál *jobbkéz-szabály* szerint haladunk tovább. Ez azt jelenti, hogy elágazásnál a leginkább jobbra kanyarodó élt választjuk. (Végpontnál visszafordulunk.) Az érintett éleket a bejárt irányban mindig címkézzük. Addig haladunk, amíg a kiindulási élhez vissza nem érünk.
3. Folytatás 1-gyel.

6. ábra

Példa gráf bejárására

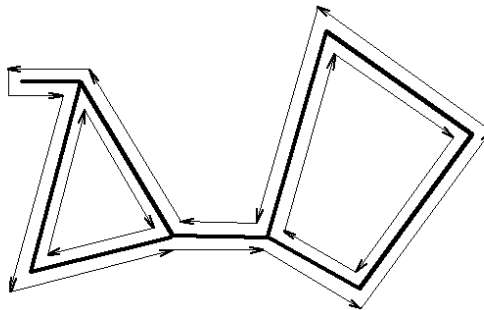


Figure 6: Example of walking along edges of the drawing graph

Belátható, hogy a fenti algoritmus nem akad el, vagyis a 2. lépésében a jobbkéz-szabály garantálja, hogy előrehaladásunk során mindig az adott irányban címkézetlen élt találunk, mindaddig, amíg vissza nem jutunk a kiindulási élhez. (A bizonyítást lásd Katona, 2001.)

Következmények

- Az algoritmus valamennyi zárt poligont pontosan egyszer jár körül az óramutató járása szerint. (Különálló poligonokat az ellenkező irányban is bejárja.)
- Nem csak poligonok, hanem más speciális alakzatok is bejárásra kerülnek (6. ábra).
- Az algoritmus lineáris idejű, mivel E minden elemét pontosan kétszer érintjük.

Természetesen hasonló gráfbejáró algoritmust más interpretáló rendszerek is használnak, de gyakran körülményesebb eljárást választanak, lásd például a Suzuki és Yamada (1990) által alkalmazott szegélykövető algoritmust.

A fenti algoritmust használjuk az üregek eltüntetésénél és a nullkör felismerésnél is, de legfontosabb alkalmazására a épületek és földrészletek felismerésénél kerül sor, amint ezt alább részletezzük.

Épületek, földrészletek felismerése

Az eljárás paramétereit

E_{min} : minimális épület méret

F_{min} : minimális földrészlet méret

A fenti értékek helyes megadásával elkerülhető, hogy különféle fel nem ismert részleteket (például vonallal összeérő betűtöredékeket) épületként, illetve földrészletként ismerjen fel a rendszer. Az algoritmus feltételezi, hogy a *helyrajzi számok*, *kapcsolójelek* és *nullkörök* felismerése és javítása már megtörtént.

Épületek felismerése

Végpontból induló vonalláncok ideiglenes törlése. A végpontból induló éleket addig töröljük, amíg elágazási ponthoz nem jutunk. Ezzel a vonalakra ragadt zajokat, jelkulcsöredékeket stb. kivonjuk a felismerésből.

Poligon struktúra bejárása. Az E_{min} -nél nagyobb átmérőjű poligonok felvétele az „épület” rétegbe.

Sziget-poligonok kezelése. Amint a 7. ábrán látható, a nagyobb poligonban szigetként szereplő poligonokat az óramutató járásával ellentétesen is körüljárja a bejáró algoritmus. Az így keletkező poligon úgy ismerhető fel, hogy a szokásos területszámítással (Márkus, 1994) rá negatív érték adódik. Az ilyen poligont töröljük, és él-listáját a tartalmazó poligonhoz csapjuk, hiszen annak belső határát képezi. Ha nincs tartalmazó poligon, akkor a negatív területű poligon egy speciális „poligon” rétegbe kerül át, amelyet a felhasználónak kell majd ellenőrizni. A fentiek eredményeként az „épület” rétegben csak pozitív területű poligonok maradnak.

„Földrészlet-minusz-épület poligonok” törlése. Az „épület” rétegben olyan poligonok is maradnak, amelyek nem épületet, hanem egy földrészletnek az épületen kívüli részét ábrázolják. Az ilyenek onnan ismerhetők fel, hogy helyrajzi számot tartalmaznak (7., 8. ábra), amely tény pont-poligon algoritmussal detektálható. Az ilyen poligonokat töröljük.

7. ábra

Épületek és földrészletek felismerése

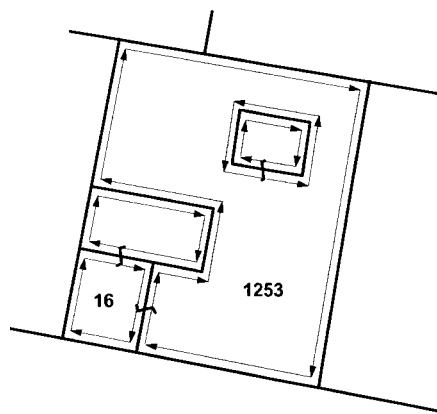


Figure 7: Recognition of buildings and parcels

8. ábra

**Kétértelmű helyzet, kis épület nagy telken, illetve nagy épület kis udvarral
(ilyen esetben a helyrajzi szám dönt, amely mindig az épületen kívüli telekrészen van)**

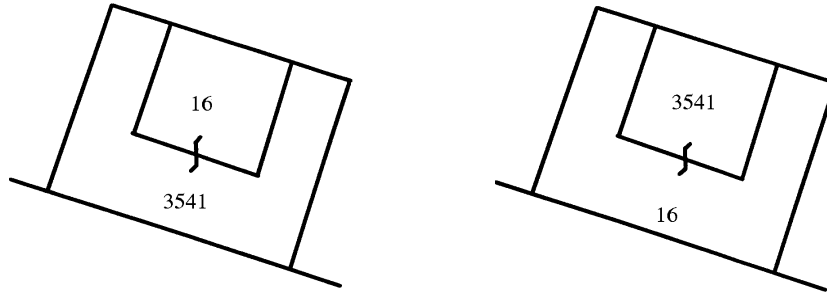


Figure 8: An ambiguous situation: small building on a big parcel, and big building with a small courtyard (with house number 16 and parcel number 3541 in both cases)

Földrészletek (telkek) felismerése

Kapcsolójel-hordozóelek ideiglenes törlése a belőlük kiinduló vonalláncokkal együtt. A kataszteri térkép logikája szerint a kapcsolójellel összekötött objektumokat területileg egyesítve kapjuk a megfelelő földrészlet területét, erre építjük a felismerő eljárást. Két, kapcsolójellel összekötött poligon egyesítése a közös határvonal törlésével lehetséges. Ezért törölünk minden kapcsolójel-hordozóélt, és mindkét irányban a belőle kiinduló vonalláncot addig, amíg elágazási ponthoz nem jutunk.

Poligon struktúra bejárása. Az F_{min} -nél nagyobb átmérőjű poligonok felvétele a "földrészlet" rétegbe.

Sziget-földrészletek kezelése. A negatív területű földrészlet-poligon éleit a tartalmazó poligonhoz csapjuk. Ha ilyen nincs, akkor a „poligon” rétegbe kerül.

Ideiglenesen törölt élek visszaállítása.

Megmutatható (Katona, 2001), hogy alkalmas térbeli indexeléssel a fenti komplex művelet sor lineáris időben végezhető, ami a gyakorlatban néhány másodperces futási időt jelent.

KÖVETKEZTETÉSEK

Bármennyire is kívánatos lenne a különféle interpretáló rendszerek teljesítményének számszerű összehasonlítása, ez meglehetősen nehéz feladat.

Phillips és Chhabra (1999) kísérletet tesz olyan objektív kritériumrendszer kialakítására, amely segítségével műszaki rajzokat feldolgozó rendszerek számszerűen összehasonlíthatók. A tanulmány három rendszer teljesítményét vizsgálja folytonos és szaggatott vonalak, körök, körívek és szöveg felismerésén. Természetesen csak olyan rajzi objektumok felismerése vethető össze, amelyeket mindegyik vizsgált rendszer tud, emiatt például az említett tanulmány eltekint a műszaki rajzokon kulcsfontosságú méretvonalak felismerésétől.

Az összehasonlítást tovább nehezíti a megfelelő tesztanyag kiválasztása (országoként különböző térképszabványok), a szoftver beszerzése, a szoftverek gyakran speciális hardver igényei (pl. gyorsítóprocesszor).

Utalunk viszont Hudra (2001) vizsgálataira, amelyek a MAPINT-et a RoSy rendszerrel hasonlítják össze. A szerző leprogramozta a MAPINT algoritmusok egy részét a RoSy fejlesztő környezetében, így a két rendszer hasonló felismerési eredményeket produkált. A MAPINT viszont lényegesen kedvezőbb futási eredményeket adott, amely a DG adatmodellnek és – szemben a RoSy interpreteres megoldásával – a közvetlen C nyelvű megvalósításnak köszönhető.

Összefoglalva, a különféle interpretáló rendszerek közös jellemzőiként az alábbiakat állapíthatjuk meg.

- A legtöbb rendszer csak adott térképtípusra és jó minőségű szkennelt anyag esetén hatékony.
- Egy rendszer használata során általában nagyszámú paraméter beállítása szükséges, ami speciális szakértelmet és gyakorlatot tételez fel. Ezért gyakori, hogy a fejlesztők maguk használják a rendszerüket, és csak ritkán adják el azt.
- Teljesen automatikus feldolgozást egyetlen rendszertől sem remélhetünk, manuális korrekciókra mindig szükség van. Egy rendszer jó esetben felére/negyedére csökkenti a manuális digitalizálás idejét.

A fenti megállapítások alapján talán érthető, hogy az automatikus interpretáció területén végzett komoly erőfeszítések és figyelemre méltó eredmények ellenére is a digitalizálási munkák jelentős része még mindig manuálisan történik.

IRODALOM

- Boatto, L., Consorti, V., Bueno, M., Zeno, S., Eramo, V., Esposito, A., Melcarne, F., Meucci, M., Morelli, A., Mosciatti, M., Scarci, S., Tucci, M. (1992). An Interpretation System for Land Register Maps. *Computer*, 7. 25-33.
- Chen, Y., Langrana, N.A., Das, A.K. (1996). Perfecting Vectorized Mechanical Drawings. *Computer Vision and Image Understanding*, 2. 273-286.
- Di Zeno, S., Morelli, A. (1989). A useful image representation. *Proc. of 5th Internat. Conf. on Image Analysis and Processing*. World Scientific Publishing, Singapore, 170-178.
- Ebi, N.B. (1995). Image Interpretation of Topographic Maps on a Medium Scale Via Frame-based modelling. *International Conference on Image Processing*, IEEE Press, California, I. 250-253.
- Graphics Recognition (1996-2002). Selected papers of GREC workshops, *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, 1072 (1996), 1389 (1998), 1941 (2000), 2390 (2002).
- Hudra, Gy. (2001). Interpretation of Hungarian Cadastral Maps. *Karlsruher Geowissenschaftliche Schriften, Reihe D, Band 8*, Fachhochschule Karlsruhe, 31.
- Hudra, Gy., Kern, H. (1999). Automatische Erkennung von linienhaften Strukturen auf gescannten Karten. *Horizonte*, Fachhochschule Mannheim, 15. 68.
- Katona, E., Palágyi, K., Tóth, N. (1995). Signature verification using neural nets. *Proceedings of 9th Scandinavian Conference on Image Analysis*, 1115-1122.
- Katona, E., Hudra, Gy. (1999a) An Interpretation System for Cadastral Maps. *Proceedings of 10th Internat. Conf. on Image Analysis and Processing*, IEEE Computer Society, 792-797.
- Katona, E., Hudra, Gy. (1999b). Kataszteri adatfeltöltés automatikus térkép felismeréssel. *Térinformatika*, 8. 12-13.

- Katona, E. (2001). Automatikus térkép interpretáció. Ph.D. értekezés, Szegedi Tudományegyetem.
- Katona, E. (2002). Vector-based map interpretation. Proceedings of the Conference of the Hungarian Association on Image Processing and Pattern Recognition, Von Neumann Computer Society, 192-200.
- Kern, H., Mezősi, G., Garay, G. (1997). Korszerű eszköz segíti a térképek automatikus vektorizálását. Térinformatika, 4. 23.
- Klauer, R. (1993). Untersuchungen zur Optimierung von Verfahren der automatisierten Digitalisierung von Flurkarten. Diplomarbeit, Hannover.
- Lladós, J., Martí, E., Lopez-Krahe, J. (1999). A Hough-based method for hatched pattern detection in maps and diagrams. Internat. Conf. on Document Analysis and Recognition, IEEE Press, Los Alamitos, California, 479-482.
- Li, L., Nagy, G., Samal, A., Seth, Sh., Xu, Y. (1999). Cooperative Text and Line-art Extraction from a Topographic Map. Internat. Conf. on Document Analysis and Recognition, IEEE Press, Los Alamitos, California, 467-470.
- Márkus, B. (1994). (szerk.): NCGIA Core Curriculum, magyar fordítás (az eredeti kiadás szerkesztői Goodchild, M.F. és Kemp, K.K.). EFE FFFK, Székesfehérvár.
- Niemann, H., Sagerer, G.F., Schröder, S., Kummert, F. (1990). ERNEST: A Semantic Network System for Pattern Understanding. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 9. 883-905.
- Omaszta, S., Szabó, J. (1999). TAKAROS lehetőségek az EU csatlakozás tükrében. Geodézia és Kartográfia, 6.
- Phillips, I.T., Chhabra, A.K. (1999) Empirical Performance Evaluation of Graphics Recognition Systems. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 9. 849-870.
- Samet, H., Soffer, A. (1998). MAGELLAN: Map Acquisition of GEographic Labels by Legend ANalysis. International Journal on Document Analysis and Recognition, 89-101.
- Suzuki, S., Yamada, T. (1990). MARIS: Map Recognition Input System. Pattern Recognition, 8. 919-933.
- Tan, C.L., Ng, P.O. (1998). Text Extraction Using Pyramid. Pattern Recognition, 1. 63-72.
- Trier, O.D., Jain, A.K., Taxt, T. (1996). Feature Extraction Methods for Character Recognition – A survey. Pattern Recognition, 4. 641-662.
- Yamada, H., Yamamoto, K., Saito, T., Hosokawa, K. (1994). Recognition of Elevation Value in Topographic Maps by Multi-Angled Parallelism. Int. Journal of Pattern Recogn. and Artif. Intell., 1149-1170.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Katona Endre

SZTE Informatikai Tanszékcsoport

6720 Szeged, Árpád tér 2.

University of Szeged, Department of Informatics

H-6720 Szeged, Árpád tér 2.

Tel.: 36-62-546-195, Fax: 36-62-546-397

e-mail: katona@inf.u-szeged.hu