

AUTOMATICKÁ VEKTORIZÁCIA VSTUPNÝCH DÁT PRE MODELY DOPRAVNÝCH SIETÍ

AUTOMATIC VECTORIZATION OF INPUT DATA FOR MODELS OF TRANSPORTATION SYSTEMS

Peter Tarábek¹

Anotace: Digitálne (vektorové) údaje tvoria základ pre modelovanie dopravných systémov a riešenie optimalizačných úloh. V praxi sú tieto vstupné údaje často reprezentované rastrovými mapami a náčrtkami, ktoré je potrebné vektorizovať. Manuálna a poloautomatická vektorizácia je pomerne časovo a finančne náročná a tak sa otvára priestor pre automatizáciu tohto procesu. V dnešnej dobe existuje pomerne veľa nástrojov pre rozpoznávanie objektov a vzorov v rastrových obrázkoch spadajúcich do problematiky digitálneho spracovania obrazu. Aj keď sa v prípade máp s dopravnou infraštruktúrou jedná o pomerne rozsiahlu problematiku, v prípade kreslených máp je možné pomerne presne definovať základné vlastnosti a požiadavky, ktoré má proces automatickej vektorizácie spĺňať. V tomto príspevku je ukázaný postup procesu automatickej vektorizácie máp s dopravnou infraštruktúrou.

Kľúčová slova: vektorizácia, spracovanie obrazu, stenčovanie, kostra

Summary: Digital (vector) data is essential for modeling of transportation systems and solving of optimization problems. This input data is often represented by raster maps and drawings in practice and it is necessary to vectorize them. Manual and semi-automatic vectorization is expensive and time consuming and that's why the room for automation of this process is opened. Today there are many tools for pattern recognition in raster images which are part of the digital image processing tasks. Although vectorization of maps with transportation infrastructure is complex problem, in case of drawing maps it is possible to define the main features for the process of automatic vectorization. In this paper process of automatic vectorization of maps with transportation infrastructure is shown.

Key words: vectorization, image processing, thinning, skeleton

1. ÚVOD

Pojem vektorizácia vyjadruje proces konvertovania rastrových dát do vektorovej podoby. V prípade vektorizácie máp s dopravnou infraštruktúrou ide o proces rozpoznávania objektov pre potreby tvorby modelov dopravných sietí, ktorého hlavná časť pozostáva zo spracovania a prevodu rastrových dát do vektorového tvaru.

¹ Ing. Peter Tarábek, Žilinská univerzita, Fakulta riadenia a informatiky, Katedra dopravných sietí, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, e-mail: tarabek@frdsa.fri.uniza.sk

V súčasnej dobe neexistuje žiadny jednotný vektorizačný postup, ktorý by umožňoval riešenie širokého množstva úloh existujúcich v tejto oblasti. Najväčším problémom pri vektorizovaní ako takom je rôznorodosť grafickej reprezentácie vstupných dát ako aj široké množstvo úloh, ktoré kladú rôzne a často aj protichodné požiadavky na výsledky. Aj keď v praxi existuje množstvo všeobecných techník a doporučení, ktoré je možné použiť, ak chceme získať presné výsledky je potrebné tento proces špecializovať tak, aby bolo možné čo najpresnejšie definovať jednotlivé vlastnosti vstupných a výstupných dát. Tento článok sa sústreďuje na vektorizáciu máp s dopravnou infraštruktúrou, ktorá je pomerne málo preskúmaná.

2. CHARAKTERISTIKA MÁP S DOPRAVNOU INFRAŠTRUKTÚROU

Vektorizovanie máp s dopravnou infraštruktúrou má svoje špecifiká, na ktoré je pri vyberaní a vytváraní algoritmov potrebné brať ohľad. Objekty v dopravných mapách môžeme rozdeliť na dve skupiny:

- objekty s líniovou charakteristikou
- nelíniové objekty

Líniové objekty sú objekty, ktorých dĺžka je oveľa väčšia ako ich hrúbka a ich tvar je vyjadrený čiarovou grafikou. Väčšina dôležitých objektov v dopravných mapách má práve líniovú charakteristiku. Ide hlavne o objekty, ktoré reprezentujú dopravnú sieť (cestná, železničná, atď.). Pre tieto objekty nie sú až tak podstatné ich presné rozmery, ale ich tvar a topológia, ktorú vytvárajú. Z tohto dôvodu je pri vektorizácii dôležité dodržať 2 základné podmienky:

- zachovanie spojitosti (topológie)
- zachovanie tvaru

Aj keď v prípade zachovania spojitosti ide o striktnú podmienku, v prípade zachovania tvaru nejde o presné zachytenie hrúbky alebo pomeru medzi hrúbkou a dĺžkou objektov, ale o zachovanie všeobecného tvaru a vzdialeností medzi jednotlivými objektmi.

Nelíniové objekty môžeme rozdeliť na bodové a plošné značky. Zatiaľ čo plošné značky skôr vyjadrujú určité terénne vlastnosti (jazera, lesy, kopce,...) v prípade bodových značiek ide väčšinou o doplnujúce informácie k líniovým objektom. Bodové značky môžu vyjadrovať napríklad prítomnosť benzínovej stanice, hotela či odpočívadla v blízkosti cesty (vyjadrenej ako líniový objekt). Pri vektorizovaní nelíniových objektov sú dôležité iné kritéria ako pre líniové objekty. Najdôležitejším kritériom je samotné rozpoznanie typu objektu, ktorý reprezentujú a jeho presnej pozície. Nelíniové objekty väčšinou neposkytujú tak dôležité informácie pre tvorbu modelov dopravných sietí ako líniové objekty. Najčastejšie ide o pomocné údaje, prípadne o informácie, ktoré nemajú pre potreby simulačných a optimalizačných algoritmov veľký význam (označenie lesa, jazera, atď.).

3. VEKTORIZÁCIA

Ako už bolo povedané, líniové objekty reprezentujú najvýznamnejšie objekty v mapách s dopravnou infraštruktúrou a je preto potrebné sa pri vektorizovaní na ne sústrediť. Ich

vlastnosti sa dajú presne definovať a ich grafická reprezentácia v jednotlivých mapách je veľmi podobná čo napomáha vytvoreniu všeobecného vektorizačného postupu.

V tejto práci je použitý princíp stenčovania (bližšie popísaná v kapitole 3.3), ktorému je prispôsobený celý vektorizačný postup. Zjednodušene by sme celý postup mohli rozdeliť do dvoch fáz:

- predspracovanie
- rozpoznávanie dopravnej infraštruktúry

Predspracovanie používa techniky, ktoré majú pripraviť rastrovú mapu na jej ďalšie spracovanie. Tento proces v sebe zahŕňa zjednodušenie mapy (oddelenie objektov záujmu od ostatných), odstránenie chýb (zapríčinených kvalitou vstupných dát a vlastnosťami použitých techník) a zosilnenie požadovaných vlastností (prevencia voči chybám, ktoré môžu v budúcnosti nastať). Jeho výstupom je binárna reprezentácia vstupných dát, ktorá je odolnejšia voči chybám a v ďalšom procese sa dá rýchlejšie spracovávať. Na predspracovanie som použil princípy prahovania (threshold) a binárnej morfológie popísaných v kapitolách 3.1 a 3.2.

Rozpoznávanie dopravnej infraštruktúry sa opiera o princíp stenčovania, ktorý v binárnej reprezentácii nájde kostru, ktorá zachytáva pôvodný tvar a topológiu objektov a kvôli svojim vlastnostiam uľahčuje rozpoznávanie dopravnej infraštruktúry (kapitola 3.3).

3.1. Prahovanie

Prahovanie (thresholding) [1] patrí medzi základné metódy segmentácie obrazu. Jeho úlohou je oddeliť objekty záujmu (označované aj ako popredie) od ostatných objektov (pozadie). Ak je tento proces úspešný, výsledkom je binárny obrázok, ktorý zachováva dôležité vlastnosti objektov a obsahuje menšie množstvo nepotrebných informácií. Vďaka tomu je mapa odolnejšia voči budúcim chybám a v ďalšom procese ju je možné jednoduchšie a rýchlejšie spracovať.

Správne nastavenie parametrov prahovania je kľúčové pre celý proces vektorizovania, pretože ak v tomto kroku vyhodnotíme niektoré dôležité objekty ako nepotrebné a naopak, v ďalších krokoch už väčšinou nie je možné túto chybu napraviť. Parametrom prahovania je prahová hodnota T . Tá určuje farbu, podľa ktorej sa oddeľujú body popredia, ktoré reprezentujú dôležité objekty, od bodov pozadia. Najčastejšie používanou podmienkou pre prahovanie je

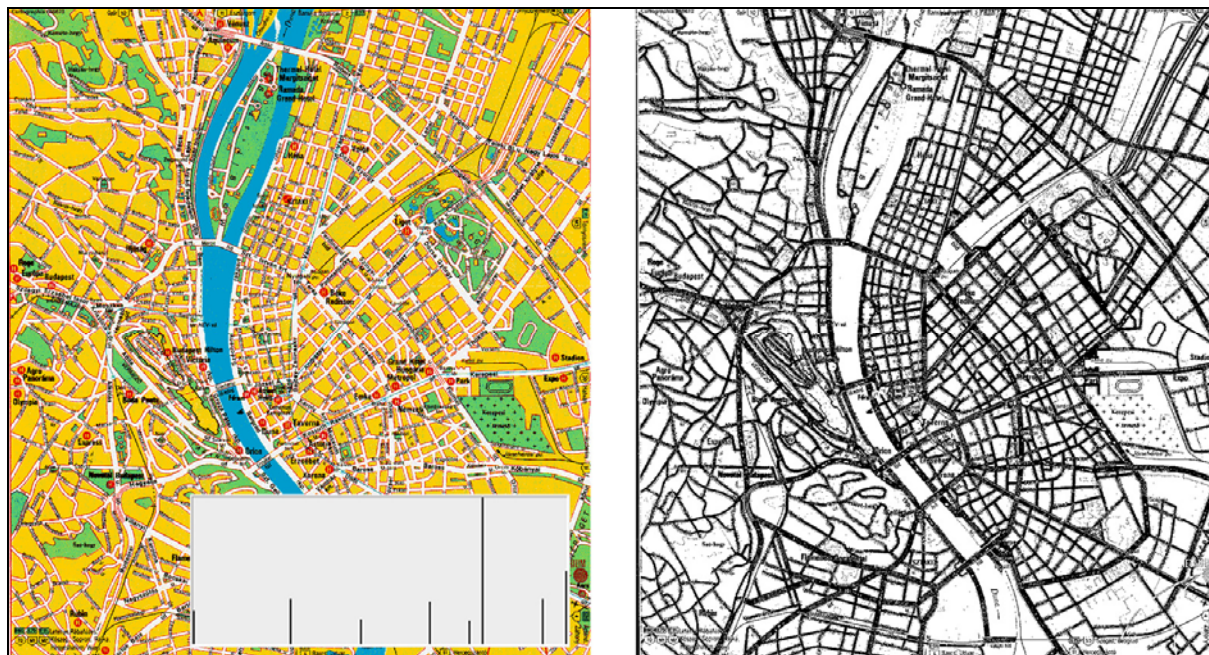
$$g(x,y) = 0 \text{ (resp. 1), ak } f(x,y) < T \\ 1 \text{ (resp. 0), ak } f(x,y) \geq T,$$

kde $g(x,y)$ je hodnota bodu so súradnicami x, y vo výslednom obrázku, $f(x,y)$ je pôvodná hodnota bodu a T je prahová hodnota.

V praxi sa stretávame hneď s niekoľkými problémami pri používaní prahovania. Na grafické vyjadrenie dopravnej infraštruktúry sa v mape môžu používať rôzne farby a ich odtiene a je tak potrebné použiť viacero prahových hodnôt na presné vymedzenie pre nás dôležitých objektov. Taktiež sú v mape znázornené aj iné objekty a často sa v nich stretávame aj s grafickým vyjadrením prostredia (lúky, kopce, atď.). To v praxi spôsobuje nielen

náročnosť výberu vhodných parametrov, ale často môže znemožniť použitie celej metódy prahovania ako takej.

V prípade kreslených máp, ktoré tvoria väčšinu máp s dopravnou infraštruktúrou, sa na grafické vyjadrenie objektov používajú presne zadefinované farby, ktoré sú navyše volené tak aby tieto objekty boli ľahko rozpoznateľné. Histogram [1] týchto máp väčšinou obsahuje viacero lokálnych maxim, ktoré zjednodušujú proces výberu prahových hodnôt.



Zdroj: Autor

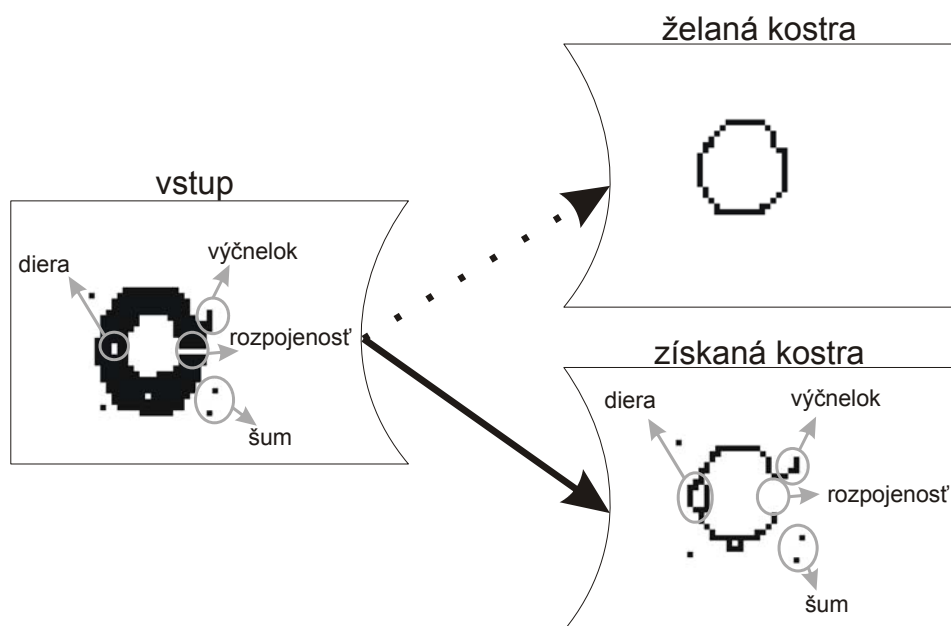
Obr. 1 – Mapa s histogramom (vľavo) a výsledok prahovania (vpravo)

3.2. Binárna morfológia

Morfológia je nástroj na rozpoznanie prvkov obrazu, ktoré sú potrebné pre reprezentáciu a popis tvarov, ako sú hranice, kostra, konvexný obal objektov a iné. Teoretický základ pre morfológiu tvorí teória množín [2].

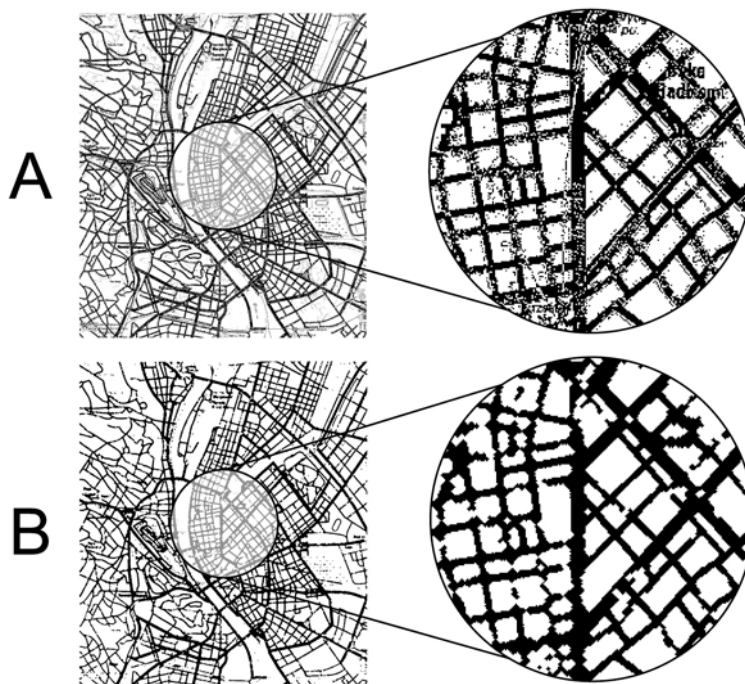
Binárna morfológia [3] je súčasťou morfologického spracovania obrazu a pracuje s binárnou formou dát. Binárnu morfológiu je v procese vektorizovania máp s dopravnou infraštruktúrou možné využiť v dvoch rovinách. Prvá je založená na samotných binárnych operáciách - dilation, erosion, opening a closing [3]. Druhá spočíva v rôznych aplikáciách binárnej morfológie, ktoré je z daných operácií za použitia ďalších techník možné vytvoriť.

Operácie binárnej morfológie umožňujú odstraňovanie veľkej časti chýb, ktoré sa v najväčšej miere podieľajú na nepresných výsledkoch vektorizácie líniových objektov. Tieto chyby môžu v konečnom dôsledku spôsobiť zmenu topologických vlastností a je ich preto potrebné odstrániť ešte pred samotnou fázou rozpoznávania dopravnej infraštruktúry. Podstata týchto chýb vyplýva z rôznorodosti vstupných dát, ich chybovosti, prípadne môžu byť spôsobené ako vedľajší produkt niektorého z algoritmov pre úpravu a spracovanie obrazu. Za najčastejšie chyby môžeme považovať šum, diery v objektoch, rozpojenosť objektov a nerovné okraje objektov, ktoré môžu spôsobiť tvorbu výčnelkov (obr. 2).



Zdroj: Autor

Obr. 2 – Vstupné chyby a ich možné následky pri stenčovaní



Zdroj: Autor

Obr. 3 – Príklad použitia operácií binárnej morfológie

Pomocou vhodnej kombinácie binárnych operácií erosion a dilation, respektíve od nich odvodených operácií opening a closing, je možné pomerne úspešne odstránenie týchto chýb a nepresností. Najdôležitejším rozhodnutím pri použití binárnej morfológie je stanovenie správneho počtu iterácií ako aj postupnosti, v ktorej sa jednotlivé operácie budú vykonávať [3]. Táto úloha z veľkej časti závisí od vlastností konkrétnej mapy. Zatiaľ čo správna

postupnosť a počet binárnych operácií môže pomôcť k odstráneniu mnohých chýb, v prípade ich zlej kombinácie alebo prehnanému počtu môžeme naopak vyvolať ďalšie, oveľa závažnejšie chyby ako je napríklad strata líniovej charakteristiky alebo spojenie oddelených objektov. Príklad použitia operácií binárnej morfológie je zobrazený na obr. 3, kde obrázok A bol získaný použitím metódy prahovania a obrázok B bol získaný z obrázku A pomocou operácií binárnej morfológie.

3.3. Stenčovanie

Stenčovanie [4],[5] je metóda, ktorá sa často využíva v úlohách spracovania binárneho obrazu. Jej výsledkom je kostra, ktorá reprezentuje pôvodný objekt súborom čiar, ktoré zachytávajú podstatné vlastnosti objektu. Existuje množstvo stenčovacích algoritmov a algoritmov na vytváranie kostry [6],[7], ktoré sa používajú v rôznych oblastiach. Aj keď je výsledkom vždy kostra, postupy ako aj parametre výslednej kostry sa často líšia. Základné vlastnosti kostry je možné zhrnúť do niekoľkých bodov:

1. Jeden pixel hrubá kostra.
2. Zachovanie spojitosti.
3. Zachovanie tvaru a pozície spojov.
4. Kostra by mala ležať v strede objektov (stredová kostra)
5. Imunita voči šumu (hlavne šumu na okrajoch objektov)
6. Zachovanie dĺžky objektov.

Existujú aj ďalšie kritéria, ktoré je potrebné pre niektoré špecializované úlohy dodržať, ale hore uvedené požiadavky popisujú najdôležitejšie vlastnosti, ktoré by algoritmy na vytváranie kostry (vrátane stenčovacích algoritmov) mali spĺňať. Je dôležité si uvedomiť, že niektoré z týchto vlastností si môžu navzájom odporovať a tak momentálne neexistuje žiadny algoritmus založený na vytváraní kostry, ktorý by sa dal efektívne použiť na všetky typy úloh.

Tak ako v celom procese vektorizovania máp s dopravnou infraštruktúrou sa najdôležitejšie vlastnosti, ktoré má stenčovací algoritmus v tomto procese spĺňať, dajú rozdeliť do dvoch kategórií:

- zachovanie topológie
- zachovanie tvaru

Zachovanie topológie znamená, že tvar a pozícia všetkých existujúcich spojov (križovatiek) a koncových bodov má byť zachovaná a zároveň nemajú byť vytvorené žiadne nové. Keď sa pozrieme na vyššie uvedený zoznam základných vlastností kostry, ide hlavne o splnenie vlastností 2, 3, 4 a 5. Zachovanie tvaru zahŕňa hlavne vlastnosti 1, 4, 5 a 6, nakoľko porušenie každej s týchto vlastností znamená zmenu tvaru objektu či už priamo vo výslednej kostre alebo v budúcnosti pri rozpoznávaní dopravnej infraštruktúry. Ako už bolo povedané dané vlastnosti si môžu navzájom odporovať a tak je tomu aj v našom prípade. Najväčší problém v tomto ohľade predstavuje určitá miera protichodnosti vlastností „jeden pixel hrubá kostra“ a „zachovanie tvaru a pozície spojov“. V niektorých prípadoch je pre presné zachovanie tvaru spojov potrebné použiť prebytočné body, ktoré by ideálna jeden pixel hrubá kostra nemala obsahovať. To nám potom prináša problémy pri určovaní križovatiek pri rozpoznávaní dopravnej infraštruktúry. V praxi je tak nutné porušiť jednu alebo druhú vlastnosť a následne sa vysporiadať s následkami, ktoré toto rozhodnutie prináša.

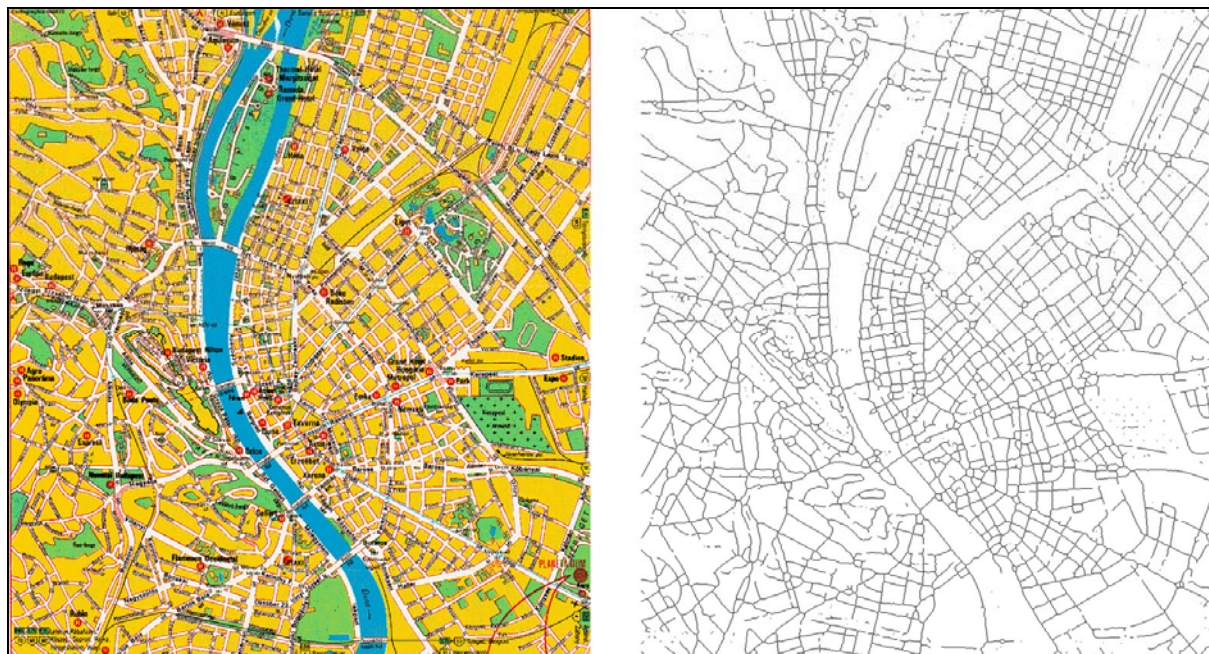
Porušenie tvaru a pozície spojov nám umožňuje zjednodušiť fázu rozpoznávania dopravnej infraštruktúry za cenu malých nepresností. Riešenie týchto nepresností môže spočívať vo vyhľadávaní sporných situácií priamo v kostre alebo v už vytvorených vektorových dátach a ich následnej úprave.

Porušenie hrúbky kostry, nám v niektorých prípadoch umožňuje presnejšie zachytiť tvar križovatiek (ide hlavne o križovatky v tvare „T“ a „+“). To však prináša problémy pri samotnom rozpoznávaní dopravnej infraštruktúry a taktiež kladie vyššie nároky pri tvorbe stenčovacieho algoritmu, ktorý musí vedieť odstrániť všetky prebytočné body okrem tých, ktoré zachytávajú tvar sporných križovatiek. Tento spôsob je síce náročnejší, ale mal by poskytovať lepšie výsledky a je predmetom budúceho výskumu.

4. ZÁVER

V tejto práci bol zjednodušene popísaný proces vektorizácie máp s dopravnou infraštruktúrou a niektoré problémy s ním súvisiace. Na obrázku 4 je možné vidieť výsledok tohto procesu, kde naľavo sa nachádza vstupná mapa a napravo jej zvektorizovaná podoba.

Tento proces sa sústreďuje len na vektorizovanie líniových objektov, ktoré vyjadrujú dopravnú infraštruktúru a tvoria tak základný prvok všetkých máp s dopravnou infraštruktúrou. Aj pri tomto zjednodušení narážame na množstvo problémom vyplývajúcich zo všeobecnosti vstupov a aj keď je ním väčšinou možné dosiahnuť pomerne dobré výsledky, v praxi sa v niektorých prípadoch nevyhneme potrebe špecializovania sa. V tomto prípade môže slúžiť daný postup ako dobrý základ pre vývoj špecializovaného vektorizačného postupu.



Zdroj: Autor

Obr. 4 – Príklad použitia operácii binárnej morfológie

Okrem líniových objektov sa v mapách často stretávame aj s nelíniovými objektmi. Tie nie sú väčšinou tak dôležité a slúžia hlavne ako zdroj doplnkových informácií či už k líniovým objektom alebo k mape ako takej. Tieto objekty sa vyznačujú aj pomerne bohatou grafickou reprezentáciou, ktorá v podstate znemožňuje vytvorenie všeobecného algoritmu a v prípade potreby ich vektorizovania je potrebná často veľmi úzka špecializácia vektorizačného procesu.

Tento príspevok vznikol s podporou výskumného projektu VEGA 1/3775/06.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TARÁBEK, P. Pre-processing road maps with threshold. Proceedings of the 7th international conference Transcom, 2007.
- [2] WAYNE, LIN WEI-CHENG Mathematical Morphology and Its Applications on Image Segmentation, 2007.
- [3] TARÁBEK, P. Morphology image pre-processing for thinning algorithms. Journal of Information, Control and Management Systems, Vol. 5, No. 1, 2007.
- [4] TOMBRE, K. Vectorization in graphics recognition: To thin or not to thin. Proceedings of 15th International Conference on Pattern Recognition. Volume 2, 2000.
- [5] DHARMARAJ, G. Algorithms for Automatic Vectorization of Scanned Maps. 2005.
- [6] G.S NG, R.W.ZHOU AND C.QUEK A Novel Single Pass Thinning Algorithm. IEEE Transaction on System Man and Cybernetics, 1994.
- [7] THIERRY M. BERNARD, ANTOINE MANZANERa Improved Low Complexity Fully Parallel Thinning Algorithm. Proc. 10th Int. Conf. on Image Analysis and Processing, 1999.

Recenzent: RNDr. Miroslav Benedikovič
Univerzita Pardubice, FEI, Katedra softwarových technológií