

Marijan Grgić, mag. ing. geod. et geoinf. ▶ Geofoto d.o.o., Buzinski prilaz 28, 10010 Zagreb, e-mail: marijan911@gmail.com

prof. dr. sc. Nada Vučetić ▶ Katedra za geoinformacije, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: nvucetic@geof.hr

# Sustavi višestrukih agenata u kartografskoj generalizaciji

**SAŽETAK:** Rasprostranjenost korištenja prostornih podataka u okviru geoinformacijskih sustava (GIS) i karata u digitalnom okruženju uvjetovala je i potrebu razvijanja sustava za automatsku kartografsku generalizaciju koji bi omogućili efikasno smanjenje količine/detaljnosti izvornih podataka iz iste baze podataka za prikaze različite detaljnosti. U radu je prikazana automatska kartografska generalizacija temeljena na sustavima višestrukih agenata koji se koriste ograničenjima za definiranje značajki generaliziranog kartografskog prikaza te zadovoljavanje uvjeta čitljivosti u skladu s potrebama korisnika.

**KLJUČNE RIJEČI:** prostorni podaci, automatska kartografska generalizacija, sustavi višestrukih agenata, ograničenja, AGENT

## Multi-agent systems in the cartographic generalisation

**SUMMARY:** The widespread use of spatial data in the context of geoinformation systems (GIS) and maps in digital environment has brought with it the demand for the development of automated cartographic generalisation systems which should enable efficient reduction of data sets and their presentation at different levels of detail from the same spatial database. This paper presents an automation of a cartographic generalisation using multi-agent systems which use map constraints to define the conditions that have to be met in order to make a map legible and compliant with the user's needs

**KEYWORDS:** spatial data, Automated cartographic generalisation, Multi-agent systems, constraints, AGENT

## 1. UVOD

Kartografska generalizacija je proces smanjenja točnosti i/ili rezolucije kartografskog prikaza uz očuvanje glavnih svojstava i strukture prikaza. Taj proces provodi se različitim postupcima generalizacije uz poštivanje redoslijeda njihovog izvođenja te uvažavanje širokog spektra kartografskih načela.

Prema Mackanessu i dr. (2007), osuvremenjavanjem načina života ljudi informatizacijom i globalizacijom, potreba pristupa analognim ili digitalnim kartama bogatih raznovrsnim sadržajem zamijenjena je potrebom pristupa ažurnim, lako dostupnim i specijaliziranim tematskim kartama. Razvijanje sustava za automatsku kartografsku generalizaciju integriranih u aplikacije i servise odgovor je na takve potrebe te zahtjeve većine nacionalnih kartografskih agencija koje imaju za cilj stvaranje kartografskih prikaza različite detaljnosti iz iste baze prostornih podataka.

Automatizacija generalizacije podrazumijeva i smanjenje utjecaja kartografa na izradu kartografskog proizvoda. Za zadovoljavanje tog

kriterija potrebno je stvoriti autonomne sustave, sposobne adekvatno reagirati prema početnim zahtjevima korisnika – sustave koji upotrebljavaju preddefinirane postupke (algoritme), odlučuju o njihovoj upotrebi, koriste umjetnu inteligenciju i sposobni su samostalno riješiti konfliktne situacije u generalizaciji. Jedna mogućnost je primjena sustava višestrukih agenata (višeagentski sustavi, *engl. Multi-Agent Systems, MAS*). Svaki agent može biti promatran kao uvjet ili skup uvjeta koji treba biti zadovoljen nakon provedenog postupka generalizacije nad skupom prostornih podataka (Duchene, 2003).

## 2. SUSTAVI VIŠESTRUKIH AGENATA

Agent je bilo što što može opažati svoju okolinu sensorima i djelovati na okolinu pomoću aktuatora. Sustavi višestrukih agenata su sustavi sastavljeni od više agenata koji međusobno surađuju (Vlassis, 2003). Integracijom takvih sustava u aplikacije moguće je izvršavati složene zadatke koje je nemoguće riješiti pomoću samostalnih age-

nata ili standardnih monolitnih sustava. Upotreba agenata može pojednostaviti različite složene probleme – česta je primjena u grafičkim aplikacijama (računalne igre i slično), animacijama, transportnim sustavima, logistici i drugim znanostima pa tako i u kartografiji za provođenje automatske kartografske generalizacije.

Osnovne karakteristike agenata u sustavu višestrukih agenata jesu: autonomnost – svaki od agenata barem je dijelom autonoman; lokalna orijentiranost – u pojedinom sustavu ne postoji agent koji utječe na cijeli sustav, tj. svaki pojedini sustav previše je kompleksan za kontrolu jednim agentom; decentralizacija – ne postoji jedan određen agent za kontrolu drugih agenata (Russel i Norvig, 2003).

Agenti uključeni u sustav mogu unutar sustava i međusobno komunicirati bilo kojim dogovorenim programskim jezikom u okviru dopuštenih jezika platforme na kojoj je izveden. Primjeri jezika su *Knowledge Query Manipulation Language* (KQML) te *Agent Communication Language* (ACL) (URL-1).

Okolina agenata može biti statična (nepromjenjiva tijekom vremena) ili dinamična (promjenjiva u vremenu). Razvoj sustava zasebnih agenata (*engl. single agent*) značajno je lakši kada je okolina agenta statična jer su takvi sustavi lakše objašnjivi strogim matematičkim formulama, a time i lakši za upravljanje. Sustavi višestrukih agenata sami po sebi stvaraju dinamičko okruženje iz pogleda svakog zasebnog agenta što uzrokuje njihovu težu integraciju u sustave (Vlassis, 2003).

Informacije koje dolaze do senzora pojedinog agenta u sustavu višestrukih agenata razlikuju se po vrsti i načinu prenošenja - agenti mogu promatrati podatke koji se razlikuju prostorno (pojavljuju se na različitim lokacijama), vremenski (dolaze u različito vrijeme), ili čak i semantički (zahtijevaju različita tumačenja). Za dobivanje više razine znanja o trenutnom te željenom stanju sustava vrlo je značajno razvijanje optimalnog načina kombiniranja primljenih informacija svakog agenta te skupa agenata (Duchene, 2003).

Za razliku od sustava zasebnih agenata, u sustavima višestrukih agenata ne postoji agent ili dio sustava za kontrolu u kojem bi se odvijali postupci prikupljanja informacija iz svakog agenta te odlučivanja o postupcima koje bi svaki agent trebao provesti.

Znanje agenata te njihova svjesnost o znanju drugih agenata kručijalna je za razvoj svakog sustava višestrukih agenata te glavna karakteristika cijele tehnologije. U sustavima zasebnih agenata obično se pretpostavlja da agent *zna* koje postupke provodi, ali nije nužno da *zna* kako ti postupci utječu na okolinu u kojoj djeluje. Unutar sustava višestrukih agenata najčešće je nužno da agenti budu *svjesni* svog djelovanja, mogućnosti i djelovanja agenata koji ih okružuju te informacija kojih drugi agenti posjeduju (znanje ostvareno međusobnom komunikacijom).

Međusobna interakcija agenata u sustavu predstavlja komunikaciju agenata koja se u sustavima višestrukih agenata može objasniti kao dvosmjerni proces u kojem svi agenti mogu biti pošiljatelji i primatelji poruka. Sustavi razmjene poruka razvijaju se prema stvarnim potrebama za pojedini sustav.

Vrsta interakcije među agentima ovisi o:

- Ciljevima agenata – ciljevi agenata mogu biti usklađeni ili neusklađeni; ako su ciljevi usklađeni, agenti mogu surađivati – u protivnom slučaju sustav je nedorečen te neće pravilno funkcionirati.
- Resursima agenata – agenti u konfliktu moraju biti u interakciji kako bi osigurali resurse za izvršavanje svojih zadataka. Pod resursima se podrazumijevaju procesor, memorijski prostor, vremenski prostor, mogućnost pristupa informacijama i sl. Konfliktne situacije nastaju kada je skupu više agenata potrebno više istih izvora u isto vrijeme – kako bi se takve situacije riješile, agenti moraju biti koordinirani. Postoje tri osnovne vrste koordinacije: pregovaranja izmjenom informacija između agenata, korištenje pravila hijerarhijskog

poretka agenata u kojem agent više razine ima prednost korištenja resursa te koordinacija kroz okolinu agenata.

- Sposobnostima agenta – u određenim slučajevima, mogućnosti agenata u određenom postupku nisu dovoljne da bi se postigao njima zadani cilj nego je agentima potrebna pomoć koja može biti ostvarena međusobnom interakcijom (AGENT DA2, 1998).

Interakcija između agenata može biti izravna, pri kojoj agenti izravno međusobno komuniciraju, ili indirektna, pri kojoj agenti neizravno komuniciraju putem okoline – posljedice ponašanja pojedinog agenta mijenjaju okolinu te tako stvaraju nove uvjete za ostale agente.

### 3. SUSTAVI AGENATA U KARTOGRAFSKOJ GENERALIZACIJI

Sustavi višestrukih agenata su sustavi koji primjenjuju elemente umjetne inteligencije, a temelje se na pojmu reaktivnih, autonomnih, samostalno određenih i motiviranih entiteta, primijenjenih za prilagođavanje i mijenjanje okoline. Ta okolina može biti prostor kartografskog prikaza s pripadnim objektima. Ako se agentima karakteriziraju objekti na karti nad kojima se provode postupci generalizacije, dobivamo osnove sustava za automatsku generalizaciju.

Razvoju sustava višestrukih agenata u službi kartografije u korist idu i karakteristike primjene agenata za generalizaciju. Takvi sustavi podrazumijevaju:

- hijerarhijski skup pravila i zadataka za izvršenje generalizacije
- važnost slijeda izvođenja kartografskih postupaka
- potrebu za postizanjem kompromisa na lokalnoj razini (odnos manjeg broja objekata) i globalnoj razini (cijeli prostor kartografskog prikaza).

Agente je moguće definirati tako da obavljaju jedan od zadataka prema već navedenim potrebama – akcije agenata moguće je ograničiti prema ciljanim karakteristikama proizvoda pomoću ograničenja (*engl. constraint*). Agenti rade kolektivno, dijele uspjehe u izvršavanju postupaka te pridonose konačnom proizvodu za koji postoje specifikacije (Lamy i dr., 1999).

#### 3.1. OGRANIČENJA

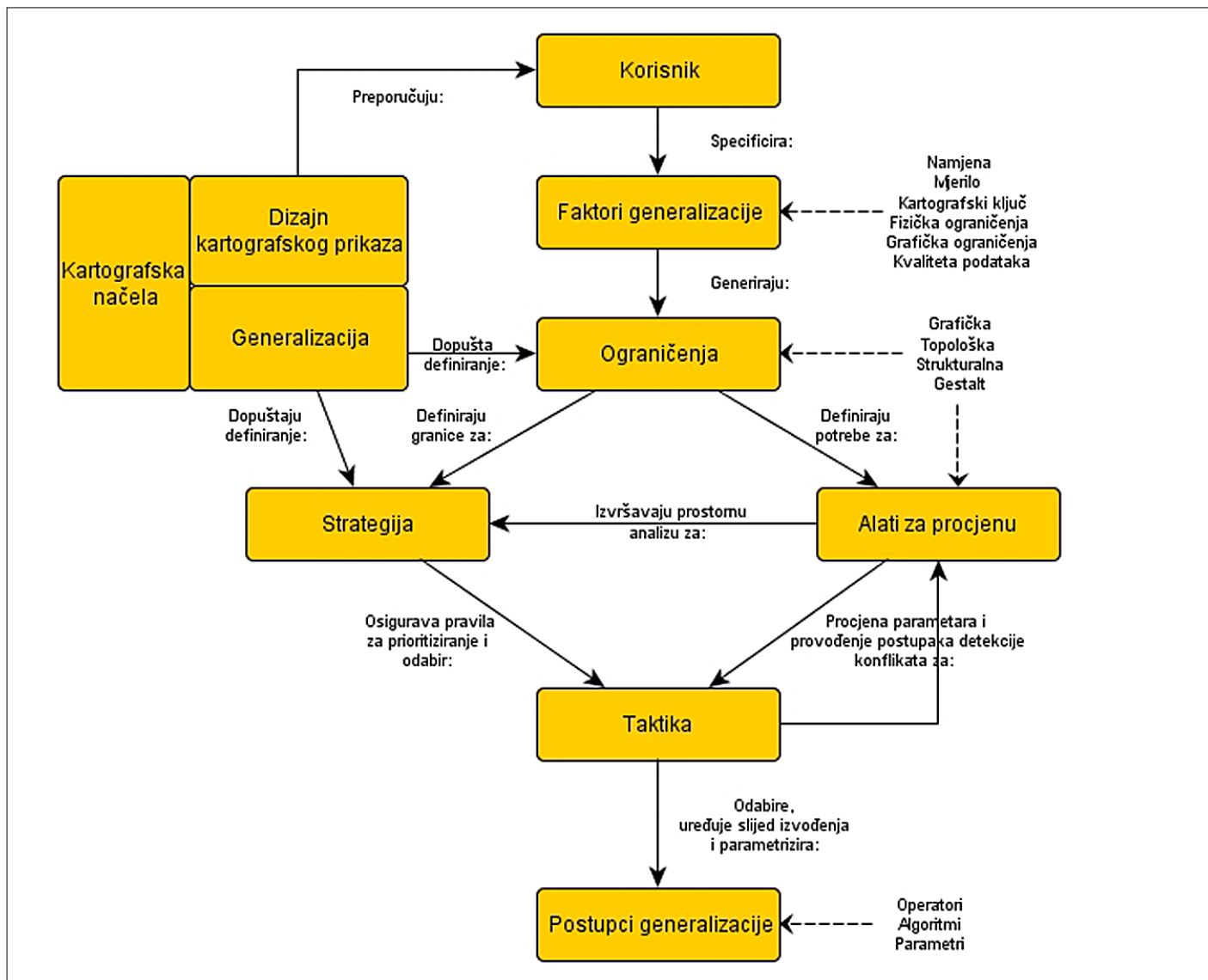
U konceptualnom modelu kartografske generalizacije, koji je razvio Beard 1991. (Buttenfield i McMaster, 1991), ograničenje podrazumijeva cilj koji se može opisati kao predikat pravila. Takvo razumijevanje ne veže ograničenja uz točno definirano djelovanje. Zato se ograničenja mogu razumjeti kao okvir koji smanjuje mogućnosti rješavanja problema nastalog u nekom sustavu (konkretno konflikata nastalih u kartografskoj generalizaciji). Takvo razumijevanje slično je razumijevanju ograničenja u informatičkim znanostima. U projektu AGENT (AGENT DA2, 1998) pojam ograničenja proširen je te se njime objašnjava i definira cijeli konceptualni model za izradu prototipa za generalizacije.

Cilj ograničenja je smanjivanje broja mogućih rezultata postupaka te istovremeno povećanje udjela prihvatljivih rješenja generalizacije. Dvije osnovne kategorije ograničenja jesu:

- geografska i kartografska ograničenja (proizlaze iz karakteristika podataka te specifikacije kartografskih prikaza)
- ograničenja u postupcima (proizlaze iz ograničenja resursa i opsega postupaka).

Shematski prikaz automatizacije procesa generalizacije temeljem sustava agenata prikazan je na slici 3.1.

Komponente procesa su: faktori generalizacije (*engl. generalisation controls*), ograničenja (*engl. constraints*), strategije (*engl. strategies*), taktike (*engl. tactics*), alati za procjenu (*engl. assessment tools*) te alati za izvršavanje kartografske generalizacije (*engl.*



Slika 3.1. Konceptualni model kartografske generalizacije koristeći sustave višestrukih agenata uz ograničenja (AGENT DA2, 1998)

transformation tools) (AGENT DA2, 1998). Navedene komponente sustava za generalizaciju su pod utjecajem vanjskih čimbenika, najčešće uvjetovanih ponašanjem, znanjem i željama korisnika topografske baze podataka.

Većina ograničenja za provođenje postupaka generalizacije povezana je s generalizacijskim faktorima. Faktori generalizacije su mnogostruki te razlikujemo: namjenu kartografskog prikaza, odnosno vrsta karte – npr. topografska, navigacijska, tematska, dio atlasa ili serije karata; mjerilo kartografskog prikaza – generalizacijski faktor koji najviše utječe na vrstu i provođenje generalizacije; kartografski ključ ili vrstu kartografskih znakova kojom su prikazani objekti na kartografskom prikazu; fizička ograničenja medija za ispis kartografskog prikaza – npr. prostornu rezoluciju i rezoluciju ispisa, veličinu, boju i stil, raspon tonova i uzoraka i slično; grafička ograničenja; točnost i količinu sadržaja izvorne baze podataka – npr. različita položajna točnost za pojedine klase; topološke odnose.

Faktorima ograničenja formiraju se ograničenja različite vrste – grafička, topološka, strukturalna, gestalt percepcija. Ograničenja se dodatno mogu razlikovati po svom opsegu. Za zadani kartografski prikaz ili prostornu bazu podataka ograničenja parametriziraju generalizacijske faktore. Ograničenja su uključena u definiranje strategije odnosno tijekom generalizacijskog procesa na globalnoj razini uključujući uspostavljanje osnovnih parametara te određujući značaj klasa objekata te redoslijed izvršenja postupaka generalizacije i područja njihovog djelovanja. Na definiranje ograničenja te

stvaranje strategije za provođenje kartografske generalizacije utječe cjelokupno kartografsko znanje integrirano u sustav odnosno kartografska načela te potrebe estetskog prikaza.

Taktika procesa kartografske generalizacije odnosi se na kontroliranje aplikacije za provođenje automatske generalizacije, a ponekad i na izbor odgovarajućih alata u konfliktnim situacijama. Ona odabire i usklađuje izvođenja postupaka generalizacije. Na taktiku provođenja postupka generalizacije značajno utječu alati za procjenu koji se primjenjuju za otkrivanje konfliktnih situacija u postupcima generalizacije te ocjenjivanje rezultata kartografske generalizacije (Mackaness i dr., 2007). Oni pomažu pokretanje generalizacijskih postupaka analizom početnih prostornih podataka kojom utvrđuju potencijalne probleme u prikazu objekata u ciljanom mjerilu.

Naposlijetku, postupak kartografske generalizacije provodi se primijenjenim postupcima generalizacije. Generalizacijski postupci skupovi su algoritama koji se mogu modificirati parametrima.

Prototip AGENT potvrdio je mogućnosti primjene postupaka generalizacije u automatske sustave omogućivši vrlo kvalitetnu generalizaciju urbaniziranih površina te cesta, ali ipak ostavio i dosta prostora za napredak u generalizaciji ruralnih (slika 3.2).

### 3.2. DALJNI RAZVOJ AUTOMATSKE KARTOGRAFSKE GENERALIZACIJE

Realizacijom projekta AGENT stvoren je kvalitetan model za ge-



Slika 3.2. Generalizacija blokova kuća u ruralnom području prototipom AGENT (Gaffuri i Trévisan, 2004)

neralizaciju čija je integracija u konkretnim slučajevima predstavljala opsežan posao te naposljetku bila korisna samo grupi stručnjaka usko povezanih s razvojem modela.

Trend stvaranja opsežnih vektorskih kartografskih baza prostornih podataka rezultirao je potrebom za stvaranjem robusnijih i univerzalnijih sustava za generalizaciju. Više nacionalnih agencija, potpomognutih sredstvima Europske Unije, ostvarili su daljnji razvoj obećavajućeg prototipa za generalizaciju razvijenog tijekom projekta AGENT (Regnauld i dr., 2007).

Laboratorij COGIT za znanstveno istraživanje, koji vodi Francuski nacionalni geografski institut IGNF, uspješno je primijenio postupke automatske generalizacije korištenjem višestrukih agenata u proizvodnji službenih karata za koje je nadležna nacionalna kartografska agencija (Duchene, 2003). Kao svoju osnovu COGIT upotrebljava platformu razvijenu u projektu AGENT, a brojna istraživanja na području automatske generalizacije usmjerena su u razvoj i nove tehnologije platforme AGIT.

Kartografske agencije Francuske i Danske, IGNF i KMS, odlučile su 2001. godine nastaviti razvoj platforme AGENT. Njima su se 2002. pridružile nacionalne kartografske agencije Belgije (Belgium Institut Géographique National – IGNB) i Velike Britanije (Ordnance Survey of Great Britain – OSGB).

Početna istraživanja u 2002. financirao je IGNF, a plan izrade novog softvera za generalizaciju kao i predviđanje troškova njegove izrade provela je privatna tvrtka Laser-Scan. U svibnju 2002. započeo je projekt MAGNET (Mapping Agencies Generalisation NETWORK), u čiji su se razvoj i financiranje uključile sve četiri nacionalne kartografske agencije – IGNF, KMS, IGNB te OSGB (Regnauld i dr., 2007). Prva verzija softvera za generalizaciju nastalog na prototipu AGENT razvijena je u suradnji s Laser-Scanom u srpnju 2003., pod nazivom Clarity.

Danas na tržištu postoji više komercijalnih softvera nastalih na platformi AGENT, od kojih je najznačajniji i najčešće u upotrebi Radius Clarity – softver tvrtke 1Spatial (bivši Laser-Scan). Iako je mno-

go postupaka automatizirano, platforma se još uvijek razvija, a nje-no korištenje sve je jednostavnije (URL-2).

#### 4. ZAKLJUČAK

Kraj dvadesetog i početak dvadeset prvog stoljeća donio je veliki napredak u razvoju sustava višestrukih agenata. Kartografi su prepoznali korist i uspjeh takvih sustava u automatizaciji procesa generalizacije te osigurali njihov kontinuirani razvoj.

Osnovna ideja nacionalnih kartografskih agencija iskorištavanja je prikupljenih podataka temeljnih baza prostornih podataka za izradu više kartografskih prikaza različitih mjerila i namjena. U Republici Hrvatskoj na osnovi temeljne topografske baze, organizirane sukladno modelu podataka CROTIS, trebale bi se prema Pravilniku o topografskoj izmjeri i izradbi državnih karata izrađivati karte različitih mjerila (NN, 2008). Stoga je vrlo značajno istražiti mogućnosti za ubrzanje procesa njihove izrade automatskom generalizacijom.

#### LITERATURA

- › AGENT DA2 (1998): Constraint Analysis, Report DA2 of the AGENT project, ESPRIT/LTR/24939. <http://agent.ign.fr/deliverable/DA2.pdf> (14. 5. 2011.).
- › Buttenfield, B. P., McMaster, R. B. (ur.) (1991): Map Generalization: Making rules for knowledge representation, Longman, London.
- › Duchene, C. (2003): Automated Map Generalisation Using Communicating Agents, International Cartographic Conference 2003, Institut Geographique National, COGIT Laboratory, France. [http://icaci.org/documents/ICC\\_proceedings/ICC2003/Papers/031.pdf](http://icaci.org/documents/ICC_proceedings/ICC2003/Papers/031.pdf) (18. 2. 2011.).
- › Gaffuri, J., Trévisan, J. (2004): Role of urban patterns for buildings generalisation: An application with AGENT, COGIT Laboratory, Institut Géographique National, France. [https://geoazur.oca.eu/IMG/pdf/pubTrevisan\\_wACI04\\_Gaffuri.pdf](https://geoazur.oca.eu/IMG/pdf/pubTrevisan_wACI04_Gaffuri.pdf) (22. 5. 2011.).
- › Lamy, S., Ruas, A., Demazeau, Y., Jackson, M., Mackaness, W., Weibel, R. (1999): The Application of Agents in Automated Map Generalisation, 19th ICA Meeting, Ottawa, Canada. <http://www.geos.ed.ac.uk/homes/wam/Agent-ICA1999.pdf> (12. 5. 2011.).
- › Mackaness, W. A., Ruas, A., Sarjakoski, L. T. (ur.) (2007): Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications, International Cartographic Association, Elsevier, Amsterdam.
- › NN (2008): Pravilnik o topografskoj izmjeri i izradbi državnih karata, Narodne novine br. 109.
- › Regnauld, N., Féchir, A., Lecordix, F., Rejkjær, D. (2007): NMA's Collaboration on Generalisation the Magnet Consortium, XXIII International Cartographic Conference, Moscow, Russia. [http://icaci.org/documents/ICC\\_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm](http://icaci.org/documents/ICC_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm) (11. 5. 2011.).
- › Russel, S. J., Norvig, P. (2003): Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd ed.), Upper Saddle River, New Jersey, United States of America. <http://aima.cs.berkeley.edu/> (17. 2. 2011.).
- › Vlassis, N. (2003): A Consise Introduction to Multiagent Systems and Distributed AI, University of Amsterdam, Informatics Institute, Netherlands. <http://www.damas.ift.ulval.ca/~coursMAS/ComplementsH10/Vlassis-livredai.pdf> (12. 5. 2011.).
- › URL-1: [http://en.wikipedia.org/wiki/Multi-agent\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Multi-agent_system) (18. 2. 2011.).
- › URL-2: <http://www.1spatial.com/software/sware.php?id=8> (11. 5. 2011.).