

AVTOMATSKA KONTROLA LOGIČNE KONSISTENCE 3D BAZE MESTNEGA JEDRA

mag. Dalibor Radovan, Miran Janežič *

Izvleček

KLJUČNE BESEDE:

3D model mesta,
topologija, geometrija,
kontrola kakovosti,
vizualizacija

Avtomatska kontrola logične konsistence 3D baze mestnega jedra

V urbanističnem planiranju in pri upravljanju nepremičnin je večkrat za vizualizacijo in analizo objektov, predvsem stavb, potrebno uporabiti podatke, geokodirane v treh dimenzijah. Ti morajo biti brez topoloških napak. Mestna občina Ljubljana gradi 3D model mesta, za katerega so bila določena topološka in geometrična pravila za zajem podatkov ter zagotavljanje logične konsistentnosti. S tem namenom je bila izdelana in preverjena programska oprema za avtomatsko kontrolo topologije in geometrije v treh dimenzijah. Vizualizacija 3D modela je predstavljena v MS Internet Explorerju.

Abstract

Logical consistency checking in a city 3D base

Urban planning and real estate GIS applications include visualization and analysis of objects, especially buildings, geocoded in three dimensions. Data must be free of topologic errors. Municipal community of Ljubljana is building 3D city model for which topologic and geometric rules for data acquisition and logical consistency assurance were formed. Computer software for automatic topology and geometry checking in 3D was elaborated and tested. Visualization of 3D city model is presented in MS Internet Explorer.

1. UVOD

Paradoksalno je slišati, da večina današnjih geografskih informacijskih sistemov obravnava geokodirane podatke o prostorskih objektih in pojavih le v ravnini oziroma v dveh dimenzijah, saj pri tem zavestno zanemarimo zelo pomemben atribut - obliko objekta, ki jo poenostavimo zgolj v njegov tloris. Topološko strukturo v GIS-u tako zaključimo z ravninskimi (planarnimi) ploskvami, namesto s telesi v prostoru. S tem posnemamo topografsko kartografijo, ki mora objekte zaradi boljše miselne in vizualne percepcije generalizirati in abstrahirati v ravnini projekcije. Takšen koncept nas na srečo zadovoljuje v večini primerov, saj dodatna tretja dimenzija zapleta in podraži tako postopke kot podatke.

KEYWORDS: 3D city
model, topology,
geometry, quality
control, visualization

2. POSEBNOSTI PRI 3D MODELIRANJU MESTNEGA OKOLJA

Pri nekaterih projektih v urbanističnem, prostorskem in krajinskem planiranju ter pri upravljanju z nepremičninami potrebujemo namesto klasičnih dvodimenzionalnih še tridimenzionalno zajete podatke. Zlasti to velja za mestno okolje, kjer so večino naravnega okolja, vključno z reliefom, močno preoblikovali in zapolnili antropogeni objekti, predvsem stavbe. Ti se od entitet naravnega okolja razlikujejo po več lastnostih (Radovan, Janežič, 1999):

- objekti so oglati in večinoma pravokotni,
- ploskve so ravne in gladke,
- stene so navpične,
- dno objektov je ravno in pod nivojem terena,
- nekateri objekti se tipsko ponavljajo oz. so si zelo podobni,
- objekti imajo notranjo strukturo (etaže in stene),
- nekateri detajli objektov so pomembni (spomeniško varstvo),
- pomembna atributa sta vrednost in lastništvo objektov (nepremičnine).

Razlog za uporabo teh podatkov je lahko izdelava mestnega informacijskega sistema ali pa vizualizacija urbanega okolja z različnimi cilji. Uporaba 3D modelov je tipična pri načrtovanju novih delov naselij, ko je potrebno ohraniti značilno veduto ali simulirati vstavev novogradnje še pred začetkom gradbenih del. Pomembni so lahko tudi kot geoinformacijska podpora pri izdelavi različnih planskih aktov, obračunu površin in volumnov, vrednotenju etažne lastnine, načrtovanju revitalizacije, spomeniškem varstvu, inventarizaciji in vrednotenju (Janežič, 1996a,b,c). Pri uporabi 3D podatkov v vsakem od naštetih primerov posebno vlogo igra grafična predstavitev objektov v projekciji.

3. 3D MODEL LJUBLJANE

V Oddelku za urbanizem in okolje Mestne občine Ljubljana (v nadaljevanju: MOL) želijo celotno urbano območje mesta prekrti s 3D modelom. Prvi mestni kareji so bili modelirani že pred celim desetletjem. Ker so dela opravljali različni izvajalci, vsak po svoji metodi, se posamezni modeli razlikujejo po:

- viru zajema in njegovi kvaliteti,
- načinu in natančnosti zajema,
- načinu interpretacije in generalizacije objektov,
- topološki in geometrični strukturi,
- parametrih kakovosti modela,

- uporabljeni programski opremi in formatu zapisanih podatkov.

Končni cilj MOL je pridobitev modela, ki bo v pomoč pri kompleksnih postopkih odločanja o uporabi mestnega prostora. Ker lahko dela zaupajo več usposobljenim izvajalcem, potrebujejo enotna navodila za zajem, oblikovanje in prenos modelov, hkrati pa tudi inštrument nadzora nad kvaliteto. O tem govori tudi nadaljevanje tega članka.

4. TERMINOLOGIJA

Vsaka zapletenejša strokovna naloga, ki vključuje več partnerjev, mora vsebovati enotno dogovorjene termine, ki olajšajo medsebojno razumevanje. Področje 3D modeliranja nedvomno spada mednje, saj ne spada med rutinske aplikacije v GIS-ih. V treh dimenzijah je najtežji problem zagotovitev pravih topoloških odnosov v podatkih. S spodnjimi definicijami so zato najprej pojasnjeni osnovni topološki gradniki v takšni obliki, ki je sprejemljiva za model Ljubljane (Radovan, Janežič, 1999):

- 3D model (del Ljubljane, kare) je množica poliedrov, ki predstavljajo objekte izbranega območja realnega prostora.
- Polieder (stavba) je oglato zaprto telo poljubne konveksne ali konkavne oblike, obdano z ravnimi ploskvami. Vsak polieder je del natanko enega 3D modela.
- Ploskev (stena, streha ali tla stavbe) je z ravnimi robovi omejen del ravnine v prostoru. Na vsakem robu meji na natanko eno sosednjo ploskev, tj. ima z njo skupen celoten rob. Vsaka ploskev pripada natanko enemu poliedru.
- Rob je ravna črta v prostoru, ki razmejuje natanko dve ploskvi. Rob je povezava začetnega in končnega vozlišča in ne sme nikoli imeti vmesnih lomnih točk. Usmerjenost roba ni pomembna, kar pomeni, da ni pomembno, katero vozlišče je začetno oz. končno. Vsak rob pripada natanko enemu poliedru oz. natanko dvema ploskvama.
- Vozlišče je točka, določena s koordinatami (x,y,z) v prostoru. V vozlišču se vedno stikajo najmanj trije robovi oz. najmanj tri ploskve. Vsako vozlišče pripada natanko enemu poliedru.

Neupoštevanje teh navidezno enostavnih in trivialnih pravil lahko, tako kot v 2D, pripelje do logične nekonsistentnosti baze, kar oteži ali celo onemogoči njeno nadaljnjo uporabo.

5. PRAVILA ZA ZAJEM IN MODELIRANJE 3D PODATKOV

Naročnik modela Ljubljane (MOL) in izvajalci morajo poenotiti organizacijske in tehnične postopke proizvodne linije, saj to omogoči naslednje prednosti:

- nedvoumnost določitve predmeta pogodbe, cen, rokov in tehničnih podrobnosti,
- poenotenje geometrične in topološke oblike podatkov,
- poenotenje stopnje podrobnosti (generaliziranosti),
- povečanje in poenotenje natančnosti ter celovite kakovosti podatkov,
- metapodatkovno spremljanje porekla 3D modela,
- uporabo standardnih programskih paketov na področju, ki je sicer v veliki meri slabo pokrito s komercialnimi izdelki,
- poenostavitev distribucije in uporabe podatkov.

Zaradi navedenega so bile za potrebe zajema in topološke ureditve 3D modela Ljubljane izoblikovana pravila, ki temeljijo na izbrani terminologiji, hkrati pa so enostavna za razumevanje (Radovan, Janežič, 1999):

- Zajem 3D modela se izvaja s stereofotogrametričnim izrednotenjem aeroposnetkov, lahko tudi s pomočjo digitalne baze mestnih topografskih načrtov (Radovan et al., 1996) in reambulacije s terenskimi meritvami.
- 3D model v osnovni obliki ne sme vsebovati prikaza naravnih ali grajenih objektov, ki niso poliedri (npr. mostov, ograj, stolpov, cest, dreves, reliefa).
- Osnovni element pri zajemu podatkov so vozlišča s koordinatami (x,y,z). Predpisana natančnost njihovega položaja je najmanj 0,5 m.
- Stavba v 3D modelu je vedno natanko en, dosledno zaprt polieder, sestavljen iz treh slojev: tal, zidov in strehe objekta. Zaprtost pomeni ujemanje vseh vozliščnih koordinat na vseh registriranih decimalnih mestih. Skupno število vseh slojev 3D modela je zato vedno enako trikratniku števila objektov.
- Notranjih sten stavbe se ne zajema; polieder je vedno prazen.
- Vsaka stavba se zajame v celoti, tudi če se pri gosti pozidavi stika s sosednjo. Izjema so prizidki.
- Stavbe ne smejo imeti skupnih vozlišč (vogalov), robov in ploskev (sten) ter se ne smejo prebadati.
- Pri strehi se zajame vse kapi do stika s steno, vendar brez dimnikov, frčad in podobnih detajlov. Stenske ploskve morajo biti popolnoma navpične, tj. normala mora biti vodoravna.
- Talna osnova objekta se mora natančno stikati s stenami v nivoju terena okrog objekta.
- Talne, zidne in strešne ploskve so lahko po zajemu in v procesu modeliranja poljubni ravninski mnogokotniki, poliedri v končnem 3D modelu pa morajo biti obdani samo s trikotniki. Te se določi s poljubnimi prečnimi povezavami vozlišč preko ploskve. To pravilo zagotavlja test logične konsistentnosti s 100 % zanesljivostjo odkrivanja napak.

6. KONTROLA LOGIČNE KONSISTENTNOSTI MODELA

Celovita kontrola kakovosti se v geografskih informacijskih sistemih izvede s preverjanjem petih osnovnih parametrov (Guptill, Morrison, 1995). Logično konsistentnost, ki je v danem primeru od vseh najpomembnejša, preverjamo s topološkimi kontrolami. V projektu modela Ljubljane se izvedejo avtomatsko, neposredno na oddanih datotekah izvajalcev, s posebnim programskim dodatkom, narejenim za uporabo v AutoCAD-u. Razdeljene so v dve skupini procedur:

a) Analiza risalnih ravnin preverja elemente formalnega zapisa oddanih datotek:

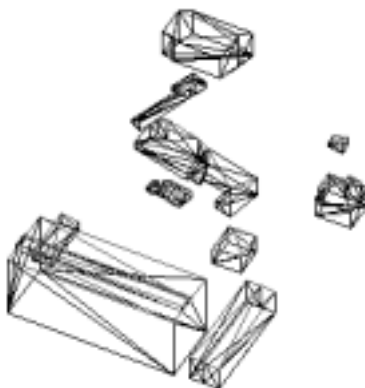
- število stavb,
- število slojev,
- manjkajoče in odvečne sloje,
- sloje z napačno vsebino,
- vrsto in število elementov na posameznem sloju.

b) Analiza poliedrov skladno z navedenimi pravili preverja topološke lastnosti modela:

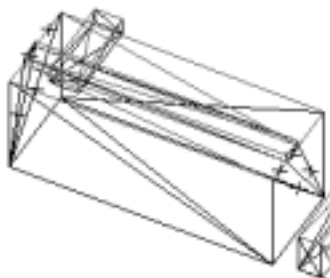
- stikanje robov,
- trikotnost ploskev,
- vertikalnost stenskih trikotnikov,
- neizrojenost trikotnikov,
- unikatnost trikotnikov.

Slika 1 prikazuje model, pripravljen za avtomatsko kontrolo topologije.

Slika 1: 3D model s trikotnimi ploskvami



Rezultat obeh analiz sta datoteki s poročilom o napakah v pisni in grafični obliki. Obe sta v pomoč izvajalcu ob reklamaciji naročnika in seveda služita popravljanju označenih nedoslednosti (slika 2).



Slika 2: Povečava objekta z označenimi napakami (križci)

Po popolni odpravi ugotovljenih napak se komunikacija med partnerji na nivoju produkcije zaključi. Model se MOL-u odda v formatu DXF, datoteke s trikotniki pa se prepíšejo v eno samo skupno bazo trikotnikov v MS Accessu. Baza je v internem upravljanju MOL, vseeno pa jo lahko enostavno in vsestransko uporabljamo:

- trikotnike pregledujemo v MS Accessu z SQL ukazi in si izpisujemo rezultate povpraševanj (osnova za 3D GIS!),
- izbrani del baze izrežemo, trikotnike prepíšemo nazaj v format DXF in model vizualiziramo v projekciji ali posredujemo uporabnikom.

Za izmenjavo podatkov med upravljalcem podatkov in uporabniki se torej uporablja splošno znani AutoCAD-ov format DXF, ki upošteva, da je vsaka stavba iz treh slojev, ti pa iz samih trikotnikov. Tako si lahko s podatki pomagajo tudi uporabniki, ki nimajo posebne opreme in niso strokovnjaki za 3D modeliranje.

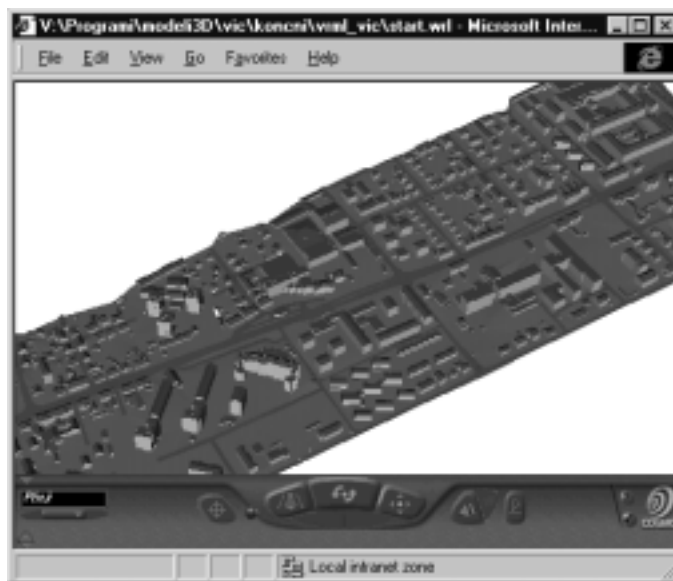
V sklopu projekta so bili vsi postopki in programski moduli preizkušeni na starejšem 3D modelu dela Viča (Radovan, Janežič, 1993).

7. VIZUALIZACIJA 3D MODELA

Vsako 3D modeliranje se skoraj obvezno zaključi z grafičnim prikazom v projekciji. V bližnji preteklosti so bili velika ovira uporabnosti različni formati zapisovanja modelov, saj so omogočali različno stopnjo kompleksnosti zapisa topologije, geometrije in atributov. To je zaradi pasivnosti uporabnika povzročilo premajhno izrabo podatkov glede na stroške.

Z danes dostopno tehnologijo brkljalnikov na internetu lahko 3D podatke prikazujemo hitro, poceni in atraktivno tudi za velike modele (Kosmatin Fras, Janežič, 1999). Uporabnik lahko preprosto modelu dinamično spreminja položaj, smer pogleda in način osvetlitve, pri tem pa premika objekte in izvaja meritve ter proizvodovanja (slika 3).

Slika 3: 3D model prikazan v MS Internet Explorerju



Zaradi velikega vpliva uporabnika na 3D modele tega večkrat enačimo z virtualnim svetom, saj so možnosti oblikovanja prikaza zelo blizu fotografske realnosti. Tovrstna programska oprema uporablja za zapis modela (navidežno resničnega sveta) enoten format VRML (Virtual Reality Modelling Language). Na ta način zapisane modele lahko med seboj spajamo v večje celote ali dopolnjujemo npr. z digitalnim modelom terena (DMR), digitalnim ortofoto načrtom topografije ali fasad objektov, prikazom vegetacije in drugih detajlov (Radovan et al., 1998). Topološko urejen model zato predstavlja ogrodje, na katerega priprnemo ostale elemente, ki s tem postanejo tudi enotno geokodirani.

8. ZAKLJUČEK

Podatki in aplikacije s tridimenzionalno zajetimi podatki so zapleteni predvsem po zaslugi topologije. Če je ne zagotovimo, prihaja do številnih napak, zato je kontrola podatkov po opravljenem zajemu in modeliranju temeljnega pomena za kakovost.

V prihodnosti lahko pričakujemo vedno več zanimanja za to področje, saj je tehnologija že nekaj časa zrela za uporabo. Bistveni problem ostajajo cena podatkov, zahtevnost zajema in nenavajenost uporabnikov, pa tudi dejstvo, da za večino aplikacij ni potrebna tretja dimenzija. Po drugi strani pa so lahko atraktivni prikazi in analize 3D modelov za izkušene uporabnike velika pridobitev, manj izkušenim pa v smislu boljše percepcije pomaga vizualizacija. Multimedijska tehnologija na tem področju vsekakor odpira pot tudi geomatiki.

Viri in literatura:

- Bill, R.**, 1996. *Grundlagen der Geo-Informationen-Systeme, Band 2 - Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen*. Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Bill, R., Fritsch, D.**, 1991. *Grundlagen der Geo-Informationen-Systeme, Band 1 - Hardware, Software und Daten*. Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Bric, V.**, 1994. Fotogrametrija in 3D GIS. *Ljubljana, Geodetski vestnik, letnik 38, št. 4*.
- Bric, V. et al.**, 1994. Towards 3D-GIS: Experimenting with a vector data structure. *Ljubljana, Geodetski vestnik, letnik 38, št. 2*.
- Bric, V.**, 1995. Razvoj digitalne fotogrametrije - zajemanje zgradb. *Ljubljana, Geodetski vestnik, letnik 39, št. 3*.
- Fritsch, D.**, 1996. Three-dimensional geographic information systems - status and prospects. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, part B3 Commission III, Dunaj*.
- Guptill, S.C., Morrison, J.L.**, 1995. Elements of spatial data quality. *International Cartographic Association*.
- Janežič, M.**, 1996a. Izdelava tridimenzionalnih modelov objektov kulturne dediščine iz fotogrametrično zajetih podatkov. *Geodetski vestnik, Ljubljana, št. 15*.
- Janežič, M.**, 1996b. Izdelava prostorskih modelov na osnovi fotogrametrično zajetih podatkov. *CEEPUS, Zagreb*.
- Janežič, M.**, 1996c. Tridimenzionalni fotogrametrični zajem podatkov za izdelavo prostorskih modelov arhitekturnih objektov. *Geodetski dan, Portorož*.
- Kosmatin Fras, M., Janežič, M.**, 1999. Management of Photogrammetric documentation in Internet technology. *Proceedings of Scientific meeting celebrating the 80th anniversary of the University foundation. Krakov*.
- Kosmatin Fras, M., Janežič, M., Radovan, D.**, 1996. Topologija in generalizacija 3D modelov mestnih jeder. *Raziskovalna naloga Mestne občine Ljubljana, Izvajalec IGF, 77 str., Ljubljana*.
- Radovan, D., Bitenc, V., Cerar, S., Pfajfar, T.**, 1996. Definicija vsebine metapodatkovnega sloja in metodologija testiranja kvalitete baze topografskih načrtov velikih meril. *Ekspertiza za Oddelek za stavbna zemljišča pri Mestni upravi Mestne občine Ljubljana, Izvajalci IGF, Geodetski zavod Slovenije in Ljubljanski urbanistični zavod, 47 str., Ljubljana*.
- Radovan, D., Janežič, M.**, 1993. Tridimenzionalni topološki model objektov in situacije dela centra Ljubljane in Viča. *Naročnik Mestna občina Ljubljana, Sklad stavbnih zemljišč in Oddelek za urbanizem in okolje, Izvajalec IGF, Razvoj programske opreme in izvedba. Ljubljana*.
- Radovan D., Janežič M.**, 1999. 3D modeli mest - standardi in kontrola topologije izdelkov. *Raziskovalna naloga Mestne občine Ljubljana, Izvajalec IGF, 27 str. Ljubljana*.
- Radovan, D., Janežič, M., Kosmatin Fras, M.**, 1998. Metodologija vzpostavitve (preciznega) digitalnega modela reliefa za mestno območje Ljubljane. *Raziskovalna naloga Mestne občine Ljubljana, Izvajalec IGF, 35 str. Ljubljana*.
- Radovan, D., Zore, I., Petrovič, D., Pegan Žvokelj, B., Kosmatin-Fras, M., Sever, G., Brajnik, M.**, 1996. Test kvalitete in vzdrževanje generalizirane kartografske baze. *Razvojna naloga MOP in GU RS, Izvajalec IGF, Podizvajalec Academia, 451 str. Ljubljana*.
- Watt, A.**, 1990. *Fundamentals of three - dimensional computer graphics*. Addison-Wesley Publishing Company.

Recenzija: Redakcijski odbor simpozija "GIS v Sloveniji 1999-2000" v Ljubljani

Prispelo za objavo: 2000-10-18