



MODEL PUBLIKOVANJA PODATAKA O PAMETNIM GRADOVIMA

MODEL FOR PUBLISHING SMART CITY DATA

Ilija Pantić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GEODEZIJA I GEOMATIKA

Kratak sadržaj – U radu je objašnjen pojam pametnog grada i formati koji se koriste za razmenu, vizualizaciju i upravljanje 3d modela grada. Eksperimentalni deo rada odnosi se na formiranje 3d modela grada i njegovo skladištenje u formatu CityGML. Modelovan je blok grada Novog Sada koji obuhvata Petrovaradinsku tvrđavu. Obrada podataka je vršena prvenstveno pomoću programa Microstation V8i i FME.

Ključne reči: pametan grad, 3d model grada, FME, CityGML

Abstract – This paper describes the notion of a smart city and formats that can be used for the exchange, visualization and management of the 3d city models. The experimental part refers to the formation of a 3d city model and its storage in the CityGML file format. The block of the city of Novi Sad, which covers the Petrovaradin fortress is modeled. Data processing was done primarily with Microstation V8i and FME.

Keywords: Smart city, 3d city model, FME, CityGML

1. UVOD

Sve više gradova i kompanija ima potrebu za 3d modelima gradova koji nalaze primenu u urbanizmu, 3d katastru, mobilnoj telekomunikaciji, turizmu, navigaciji, upravljanje nekretninama, simulaciji životne sredine i merama za zaštitu od prirodnih nepogoda.

Većina 3D modela gradova su definisana kao čisto grafički ili geometrijski modeli, zanemarujući pri tome semantiku i topologiju. Zbog toga, ovakvi modeli uglavnom imaju samo mogućnost vizualizacije i nad njima se ne mogu vršiti tematski upiti i analize prostornih podataka. Zbog ovih ograničenja bilo je potrebno preuzeti određene mere ne bi li se 3d modeli gradova mogli u potpunosti iskoristiti.

Ovakvi modeli gradova nose naziv pametni gradovi (Smart City) i korišćenjem naprednih tehnologija iz različitih oblasti ovaj koncept je moguće realizovati.

Postoji više formata za skladištenje i prikazivanje 3D podataka za potrebe pametnih gradova: GeoJSON, GLTF, VRML, X3D, Collada, IFC, CityGML, itd.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Miro Govedarica, red. prof.

CityGML je jedno od rešenja ovog problema, jer predstavlja uobičajen semantički informacioni model za predstavu 3d urbanih objekata koji se može koristiti pomoću više različitih aplikacija, od strane klijenata iz različitih oblasti.

2. PAMETNI GRAD (SMART CITY)

Ne postoji jedinstvena definicija pametnog grada. Većina ljudskih aktivnosti se odvija unutar grada te koncept pametnog grada može da uključuje gotovo bilo šta. Razlog nastanka ovog koncepta je da se teži optimalnom razvoju kvaliteta života unutar gradova pri čemu je kriterijum ekonomičnosti na prvom mestu.

Tradicionalno, optimalno rešenje za većinu problema su centralizovani sistemi bazirani na osnovu nečije odluke u ime svih korisnika. Razvojem informacionih i komunikacionih tehnologija omogućava dolaženje drugaćijih optimalnih rešenja. Jedno od takvih je sistem distribuirane proizvodnje koji je bolji od starog centralizovanog sistema ako se njime upravlja pravilno. Sve više se posvećuje paznje konceptima ponude i potražnje. Gradani su u mogućnosti da razviju komunikaciju sa vlasti i učestvuju u donošenju odluka više nego ranije.

U tradicionalnim sistemima podaci su prikupljani na centralnom mestu gde su analizirani, često i sa znatnim kašnjenjem. Zaključci su zatim vraćani nazad do korisnika kao instrukcije. Sa druge strane, u distribuiranim sistemima, podaci se mogu prikupljati i analizirati bilo gde. Ovo omogućava mnogo veću količinu ulaznih parametara i resursa za formiranje zaključaka. Centralizovan donosilac odluke nije uvek potreban. Korisnici sami mogu da pristupe podacima i iz njih izvedu svoj sopstveni zaključak.

Iako ovakvi projekti zahtevaju velike investicije, oni takođe omogućavaju stvaranje novih biznisa. Nije ni čudo što skoro sve velike tehnološke korporacije imaju želju da postanu deo projekta pametnih gradova.

Oblasti koje najviše nalaze primenu pametnog grada su informaciono komunikacione tehnologije, energetika, transport i uređenje okoline.

Pametne gradove možemo posmatrati kao sisteme protoka energije, materijala, usluga, ljudi i finansija. Šta više, urbano planiranje je blisko povezano sa ekonomskim i socijalnim metabolismom zajednice, tj. Tehnologija omogućava bolji život. Identifikacija, integracija i optimizacija različitih energija, trasporta i protoka podataka u upravljanju gradom je od krucialne važnosti za formiranje održivog pametnog okruženja. Pošto je za razvoj urbanog okruženja potrebno vreme, primena bilo

koje nove tehnologije mora da se uklopi u već postojeću strukturu. To znači da tehnologija mora da bude dostupna javnosti, da korisnici imaju svoju privatnost i da mogu zajedno da kroz neki od vidova komunikacije doprinesu razvoju i napretku tehnologije.

3. FORMATI 3D MODELA GRADA

Danas postoji veliki broj različitih formata za skladištenje 3d informacija. Razlog tome je taj što 3d podaci imaju veliki broj primena u različitim oblastima, pa su kompanije formirale svoje tipove podataka koji sadrže informacije korisne za upotrebu u njihovim aplikacijama. 3D model grada može da sadrži podatke o geometriji, topologiji, vizualizaciji i semantici koji se na osnovu aplikacione šeme skladište u konkretni podatak.

3d podaci nalaze primenu u jednoj od 3 grane:

- ◊ Kompjuterska grafika, video igre, simulacije
- ◊ Inženjerstvo i arhitektura
- ◊ GIS

Za kompjutersku grafiku bitni su jedino elementi i osobine objekata koje su vidljive. To znači da je fokus na efikasnoj vizualizaciji gde su samo vidljivi delovi modela kvalitetno formirani. Geometrija i topologija objekata je prosta, dok semantika ne postoji.

Struktura je graf gde je svaki objekat predstavljen kao čvor u tom grafu i funkcije poput agregacije i transformacija se vrše na grupama čvorova. Elemeni u ovakvom formatu su u nekom lokalnom 3D koordinatnom sistemenu. Neki od formata podržavaju i georeferenciranje poput: GeoVRML, X3D, KML, COLLADA, OpenFlight, itd.

Sa druge strane, za potrebe u arhitekturi i inženjerstvu zgrade se prikazuju apstraktno i sačinjene su od više komponenata. Ograničena je vizualizacija i primena tekstura i materijala, i fokus je na geometriji i topologiji podataka. Semantika je zasnovana na building information models (BIM) [1]. Najvažniji format je IFC (Industry Foundation Classes). Koristi se za prikaz objekata koji tek treba da se izgrade. Elementi su povezani unutar projekta. Ovi modeli ne mogu biti georeferencijani i ograničeni su na Euklidski koordinatni sistem.

Za kraj, 3D podaci za potrebe GIS sistema su nastali snimanjem stvarnog sveta pomoću različitih senzora i formiraju semantičke objekte sa geometrijom. Najčešće, vidljive su samo površine objekata sa ograničenim teksturama i materijalima. Format za razmenu je GML. Aplikaciona šema definiše ontologiju, tj. Definiše skup pojmove i kategorija unutar modela koji pokazuje njihova svojstva i odnose između njih. Ontologija za 3d model grada je CityGML. Model je uvek georeferenciran i svaki 3d koordinatni sistem može da se koristi. Koristi se za modelovanje već postojećih objekata. Ostali formati iz ove oblasti su: Shapefiles i KML.

Tabela 1. poredi 7 različitih tipova formata za skladištenje 3d podataka. Može se videti da X3D i Collada koji se koriste za simulacije prednjače u vizualizaciji i brzini renderovanja ali zaostaju po pitanju 3d topologije i semantike naspram CityGML i IFC. CityGML je dodatno najbolji format po pitanju georeferenciranja, mogućnosti

proširivanja i nivou detalja na kom može da prikaže model. IFC ima najbolju predstavu 3d geometrije.

Tabela 1. *Formati 3D podataka sa definisanim nivoom nekih od osnovnih osobina [1]*

| | X3D | COLLADA | KML | Shape | CityGML | IFC | DXF |
|-------------------------------------|-----|---------|-----|-------|---------|-------|-----|
| general purpose / information model | gp | gp | gp | gp | im | im | gp |
| 3D geometry | + | + | • | • | + | ++ | • |
| georeferencing | + | • | • | + | ++ | • | |
| appearance | ++ | ++ | • | | + | • | |
| 3D topology | • | • | | | + | + | |
| semantics | • | • | • | • | ++ | ++ | |
| levels of detail | + | + | • | | ++ | • | |
| links/embedding | + | ++ | ++ | | ++ | | |
| extensibility | + | ++ | + | | ++ | • | |
| fast rendering | ++ | ++ | + | + | + | • / + | + |

Legend: • = basic, + = sophisticated, ++ = comprehensive; empty = not supported

4. CITYGML

CityGML predstavlja XML baziran format za skladištenje i razmenu digitalnih 3D modela gradova. Avgusta 2008. prihvaćen je kao internacionalan standard od strane Open Geospatial Consortium (OGC) i ISO TC211.

CityGML ne predstavlja samo grafičku reprezentaciju modela grada već sadrži geometriju, topologiju, semantiku i atribute različitih 3D objekata grada. Dodatno može da sadrži i teksture objekata ne bi li se ostvarila fotorealističnost modela. Omogućava prikaz 3D urbanih objekata u 5 nivoa detalja (LoD0-LoD4).

4.1. Nivoi detalja

CityGML podržava 5 nivoa detalja, (LOD0 – LOD4). Sa većim nivoom detalja povećava se detaljnost i geometrije i tematike objekata. Objekti unutar jednog fajla mogu da imaju više od jednog nivoa detalja i u zavisnosti od aplikacije i potrebe korisnika moguće je izabrati koji od nivoa će biti prikazan.

LOD0 je najniži nivo detalja i predstavlja 2.5D digitalni model terena na koji može da se postavi tekstura kreirana od fotografije iz vazduha te se ovaj nivo karakteriše kao regionalni model [2].

LOD1 je nivo detalja gde su zgrade prikazane kao blokovi ravnih krovova. Zajedno sa LOD0 predstavlja osnovu kojom ceo grad treba da bude prikazan.

LOD2 predstavlja gradski model sa fasadama i različitim krovnim strukturama. U ovom nivou detalja mogu biti prikazani i vegetacioni objekti kao i objekti poput rasvete, klupa. Važnije teritorije grada trebale bi da imaju ovaj nivo detalja.

LOD3 se klasificuje kao model detaljne arhitekture gde je prikazana struktura krovova, fasade, balkoni, uvale i sl. Ovo je najviši nivo detalja spoljašnosti objekata. Ako je za objekat potrebno imati i model enterijera, odnosno unutrašnju arhitekturu sa nameštajem koristi se LOD4. Zgrade u ovom nivou detalja se sastoje od soba, vrata, stepenica, nameštaja itd.

4.2. Geometrijsko topološki model

Prostorne osobine objekata unutar CityGML su predstavljene geometrijom koja je samo deo paketa GML3 geometrije bazirane na ISO 19107 standardu. To znači da je geometrijski model sačinjen od primitiva, čijom kombinacijom se formiraju kompleksnije geometrije. Za svaku dimenziju postoje primitivi: za nulto dimenzionalan objekat je tačka (Point), za jednodimenzionalan objekat je linija (_Curve), za dvodimenzionalan površ (_Surface) i za trodimenzionalan objekat je _Solid [3]. Složena geometrija sačinjena od više primitiva može biti agregacija, kompleks ili kompozicija.

Za aggregaciju prostorni odnos između primitiva nije ograničen. Oni mogu da se dodiruju, preklapaju, da su razdvojeni. GML3 omogućava aggregaciju za svaku dimenziju pa postoje dodatno geometrije MultiPoint, MultiCurve, MultiSurface, i MultiSolid.

Za razliku od aggregacije, kompleks je topološka struktura. Njegovi delovi moraju da su razdvojeni, ne smeju da se preklapaju ali smeju da se dodiruju na granicama.

Kompozicija je specijalna vrsta kompeksa koja može da sadrži samo elemente istih dimenzija. Njeni elementi moraju da budu razdvojeni ali moraju da se dodiruju graničnim linijama ili površinama.

Kompozicije mogu da budu CompositeSolid, CompositeSurface, ili CompositeCurve.

4.3. Semantički model

U semantičkom modelu, stvaran svet je podeljen u više različitih tematskih klasa. Osnovna klasa svih objekata je _CityObject koja je podklasa GML klase _Feature. Svi objekti nasleđuju osobine iz _CityObject. Svaka od klasa sačinjena je od komponenti potrebnih za modelovanje objekta (zgrada, most, put) ili prirodnih poput vegetacije i vodenih površina [4].

Klasa za zgrade uključuje entitete za modelovanje arhitektonskih struktura i prostora unutar zgrada. Osnovna klasa za zgrade je „AbstractBuilding” koja se deli u podklase „Building” i „BuildingPart”. Ovi entiteti se koriste za modelovanje pojedinačnih zgrada i delova većih zgradnih struktura. Prostor unutar zgrada se modeluje i smešta u klasu “Room”. CityGML skladišti geometriju 3d objekta kao čvrste modele definisanih granica, te su sobe prezentovane pomoću klase “Room” topološki zatvorene i mogu se koristiti za potrebe katastra. Semantičke granice ovih zatvorenih prostora se skladište u klasu “_BoundarySurface” i njene podklase “WallSurface, InteriorWallSurface, CeilingSurface, FloorSurface, RoofSurface, GroundSurface,

OuterCeilingSurface, OuterFloorSurface, i Closure-Surface. Ove klase se koriste za definisanje prostornih odnosa između fizičkih struktura: zidova i plafona [5].

4.4. Model prikaza

Pored geometrije, topologije i semantike, CityGML podaci se sastoje i od komponenti kojima se definije način na koji će model da bude prikazan. Svaki nivo detalja može da ima svoju temu prikaza. Prikazi se sastoje od podataka za svaki objekat (surface data). Jedan objekat može da ima više različitih prikaza, a i više objekata mogu da imaju isti prikaz. CityGML-ov model prikaza je definisan unutar ekstenzije Appearance.

Prikazi se dele na materijale i teksture. Materijali su konstantne osobine površi dok su teksture osobine koje zavise od lokacije unutar same površi.

Svaki geometrijski objekat u modelu može da ima u isto vreme i materijal i tekstuру. Od aplikacije koja koristi model zavisiće koji prikaz će biti korišćen [3].

5. STUDIJA SLUČAJA

Teritorija oko Petrovaradinske tvrđave kao i sama tvrđava poseduju raznolik reljef, strme zidine i različite tipove zgrada i fasada.

Za kreiranje modela grada ovog područja u CityGML formatu korišćen je .dgn fajl sa vektorskom reprezentacijom objekata grada, ortofoto snimak područja u .tiff formatu, .jpeg fotografije zidova zgrada prikupljene fotoaparatom ili preuzete sa interneta, kao i modeli drveća i rasveta preuzeti iz velike baze podataka koju pruža program SketchUp.

Prvi korak je bio prikupljanje fotografija zgrada. Za neke zgrade moguće je bilo preuzeti slike sa interneta dok je za druge bilo potrebno izaći na teren i uslikati ih fotoaparatom. Priključene slike su naknadno obrađene u programu Photoshop kako bi se iz njih mogle izvdjnjiti teksture zgrada.

Kada su svi potrebeni podaci prikupljeni sledeo je korak u kom je pomoću programa FME, od ovih ulaznih podataka, transformatorima formiran model grada u CityGML formatu.

5.1. Kreiranje modela grada u FME Workbench

FME Workbench je primaran alat za prevođenja i transformacije podataka. Unutar njega se kreira Workspace koji se sastoji se od 3 osnovna tipa komponenti: Reader, Writer, Transformator.

Reader je FME termin za komponentu u transformaciji koja učitava izvorni skup podataka. Writer je FME termin za komponentu u transformaciji koji zapisuje ciljni skup podataka. Writer zapisuje jedan format podataka. U slučaju da je CityGML ciljni skup podataka, postojeće više Writer-a pri čemu svaki smešta podatke u različite delove jednog CityGML fajla.

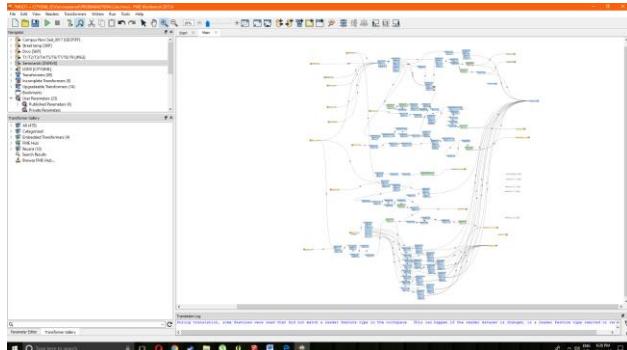
Transformatori su komponente koje sadrže različite operacije koje mogu da se vrše nad ulaznim podacima. Postoji preko 400 različitih transformatora i svi se nalaze u galeriji transformatora i moguće ih je pronaći razvrstane po kategorijama ili jednostavnom pretragom unošenjem neke ključne reči transformatora bilo gde unutar Workspace-a.

U slučaju ovog projekta postoji reader za svaki lejer iz .dgn fajla posebno: vektorski podaci o zidovima i krovovima objekata, položaju drveća i rasvete, i grid mreža tla, reader orto-foto snimka, jedan reader koji sadrži sve teksture .jpeg formata, kao i po reader za 3D model rasvete i drveta formata .skp.

Sledeći korak je dodavanje writer-a, odnosno izlaznog podatka koji je potrebno dobiti. Biranjem formata CityGML kreira se novi .gml fajl. FME daje spisak slojeva za dati format koji je moguće učitati u Workspace.

Za potrebe ovog rada izabrani su sledeći skupovi podataka: TINRelief, RoofSurface, WallSurface, Building, CityFurniture, i _VegetationObject. Ovi skupovi su ustvari writer-i jednog CityGML fajla.

Na kraju su uneseni i transformatori. Na slici 1 je prikazan konačan workspace.



Slika 1. Workspace u FME Workbench

Da bi postupak bio jasniji data je tabeli 2. koja prikazuje ulazne, izlazne podatke i nazine korišćenih transformatora.

Tabela 2. Workspace prikazan pomoću table

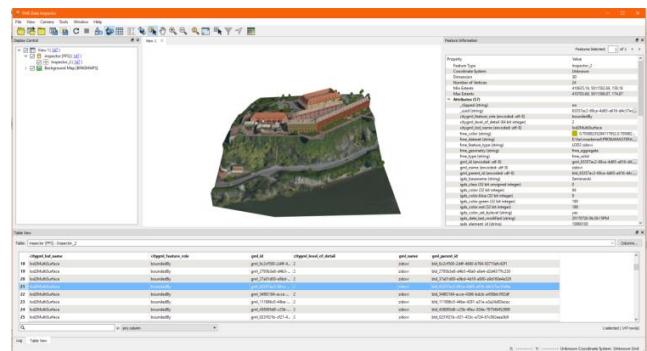
| Readers | Writers | Transformators |
|----------------------------------|-------------------|---|
| GEOTIFF, LOD0, breaklines, Okvir | TINRelief | Clipper, FeatureTypeFilter, Aggregator, TINGenerator, AppearanceSetter, UUIDGenerator, AttributeCreator, CityGMLGeometrySetter |
| Rasveta, Street lamp, Okvir | CityFurniture | Clipper, FeatureTypeFilter, AzimuthCalculator, AttributeCreator, VertexExtractor, AttributeFilter, GeometryRemover, VertexCreator, 2DFacer, Rotator, SharedItemAdder, FeatureMerger, SharedItemDSetter, 3DAffiner, UUIDGenerator, AttributeCreator, CityGMLGeometrySetter |
| Izdvojena stabla, Drvo, Okvir | _VegetationObject | Clipper, FeatureTypeFilter, GeometryFilter, CenterPointExtractor, GeometryRemover, VertexCreator, 2DForcer, SurfaceDraper, Offsetter, Scaler, SharedItemAdder, FeatureMerger, UUIDGenerator, AttributeCreator, CityGMLGeometrySetter |
| LOD2 krov, GEOTIFF, Okvir | RoofSurface | Clipper, FeatureTypeFilter, AppearanceSetter, UUIDGenerator, Orientor, Aggregator, AttributeCreator, CityGMLGeometrySetter, Extruder, Deaggregator, NeighborhoodAggregator, UUIDGenerator |
| LOD2 zidovi, JPEG, Okvir | WallSurface | Clipper, FeatureTypeFilter, Extruder, UUIDGenerator, AttributeCreator, CityGMLGeometrySetter, Tester, AppearanceSetter, AttributeFilter |

6. REZULTAT

Kao rezultat dobijen je digitalni model grada u CityGML formatu. Sačinjen je od terena, zgrada, drveća i rasvete. Svi objekti imaju odgovarajuće CityGML atribute i geometrije.

Svi objekti imaju fotorealističnost zahvaljujući teksturama i nivoa detalja su LOD2. U FME Data Inspector moguće je prikazati rezultat. Model je moguće pomerati, rotirati i zumirati.

U slučaju pritiska na bilo koji od objekata unutar modela otvara se tabela koja sadrži atribute sa sve objekte unutar te klase kao i objekte drugih klasa



Slika 2. Vizualizacija formiranog CityGML modela grada u FME Data Inspector

7. ZAKLJUČAK

Osnovna ideja ovog rada bila je da se prikaže celokupan proces dobijanja foto realističnog virtualnog modela grada u CityGML formatu nivoa detalja LOD2. Za nivo detalja LOD3 u kom objekti imaju detaljniju strukturu sa izraženim fasadama, vratima i prozorima bili bi potrebni dodatni ulazni podaci, poput oblaka tačaka dobijenog snimanjem sa terena ili velikog broja kosih slika nekog objekta slikanog iz više uglova.

Ovako dobijen 3D model grada može dalje da posluži kao osnova za razvijanje različitih aplikacija za potrebe pametnih gradova jer predstavlja odlično rešenje za vizualizaciju i razmenu podataka zahvaljujući interoperabilnosti CityGML formata.

8. LITERATURA

- [1] T. H. Kolbe, BIM, CityGML and Related Standardization
- [2] OGC, Open Geospatial Consortium. (1994-2010), www.opengeospatial.org (pristupljeno u martu 2018.)
- [3] <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0> (pristupljeno u julu 2018.)
- [4] Gröger, G., Plümer, L., *CityGML—Interoperable semantic 3D city models*. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2012, 71, 12–33. [CrossRef]
- [5] Nagel, C., *Spatio-Semantic Modelling of Indoor Environments for Indoor Navigation*. Ph.D. Thesis, Technische Universität Berlin, Berlin, Germany, 2014.

Kratka biografija:



Ilija Pantić rođen je u Novom Sadu 1993. god. Diplomski rad na temu „Izrada modela prostora na osnovu LIDAR podataka“ na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu odbranio je 2016. godine.