

Automatisierte Generalisierungsverfahren von 3D Stadt- und Landschaftsmodellen

Martin OVER, Mohammed EL HACHADI , Arne SCHILLING, Alexander ZIPF

Zusammenfassung

Seit April 2009 steht mit dem OpenStreetMap-3D Projekt (OSM-3D 2010) eine Geodateninfrastruktur zur Verfügung mit der die nutzergenerierten OpenStreetMap (OSM 2010) Geodaten Deutschlands interaktiv in 3D erkundet werden können. Seit Januar 2010 liegt ein erstes Update vor, bei dem nicht nur eine räumliche Erweiterung stattfand, mit der nun zahlreiche Städte Europas abgedeckt werden. Die Komponenten der 3D Geodateninfrastruktur (GDI-3D 2010) basieren auf Standards oder Standardentwürfen des Open Geospatial Consortiums. Für die Kernkomponente der GDI-3D, den Web 3D Service (W3DS 2009) liegt seit Anfang 2010 ein neuer Diskussionsentwurf vor. Die bedeutendste Neuerung ist, dass neben einer *GetScene* Abfrage welche eine 3D Szene gemäß den Request Parametern des Nutzers liefert, eine *GetTile* Anfrage eingeführt wurde. Durch diesen Anfragetyp hat der Nutzer die Möglichkeit auf quadratische Kacheln (*Tiles*) eines Landschaftsmodells in unterschiedlichen Größen und Detailstufen zuzugreifen. Diese können dann in Abhängigkeit von der Distanz zur virtuellen Kamera vom Clienten visualisiert werden. Dieses Verfahren reduziert das Datenübertragungsvolumen und somit auch die Datenmenge welche vom Clienten gerendert werden muss. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Automatisierung der Generalisierung der Detailstufen, welche einerseits durch eine Kantenkontraktion erreicht wurde und andererseits durch „klassische“ GIS Generalisierungsmethoden (Aggregation, Kurvenvereinfachung, Filterung).

1 Einführung

Die 2D Landnutzungsdaten des OpenStreetMap Projektes wurden direkt in das Geländemodell integriert. Dadurch werden die Vektordaten Teil des Dreiecknetzwerkes und es können entsprechende Attribute zugewiesen werden. Dadurch lassen sich die Landnutzungstypen individuell einfärben. Die Höhendaten selbst stammen von der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Für eine flüssige 3D Darstellung auf einem Clienten sollte die durchschnittliche Dateigröße der Detailstufen nicht größer als 200 KB sein. Es wurden 9 quadratische Detailstufen (Level of Details - LODs) von 611,4962 (LOD 16) bis 156543,0339 (LOD 8) Metern berechnet (ESPG:900913). Die Generalisierung der Vektordaten erfolgt automatisch durch PostGIS SQL Skripte (<http://postgis.refractions.net>). Die anschließende Prozessierung der Detailstufen des integrierten Geländemodells erfolgt ebenfalls automatisch über ein Java Programm.

2 Aufbereitung der OpenStreetMap Daten

Die OpenStreetMap Daten liegen in einem XML Format vor. Es gibt Knoten (nodes), Kantenlisten (ways) und Relationen (relations). Aus den einzelnen Geokoordinaten (nodes) werden durch Kantenlisten Liniengeometrien. Haben diese einen gemeinsamen Start- und Endpunkt entstehen Polygoneometrien. Relationen sind Gruppen von Objekten wie beispielsweise Routen. Mittels Relationen und Kantenlisten lassen sich aber auch komplexe Polygoneometrien abbilden, wie z.B. Inselepolygone. Ein eigens entwickeltes Import Tool auf Java Basis exportiert die benötigten OSM Daten in eine PostGIS Datenbank. Das Wege Netz liegt in OSM als Liniengeometrien vor. Zur Darstellung in 3D werden diese Linien mit einer realistischen Breite versehen (Tabelle 1).

OSM Data/ LOD (Buffer in m)/	HEX Farb-Code	LOD 16	LOD 15	LOD 14	LOD 13
Footway	E6D8A3	1,5	1,7	-	-
Cycleway	CFA391	2,0	2,2	-	-
Path	CCCCCC	2,0	2,2	-	-
Roads_No_Value	CCCCCC	3,0	3,3	-	-
Service	CCCCCC	3,0	3,3	-	-
Track	CCCCCC	3,0	3,3	-	-
Unclassified Roads	CCCCCC	3,0	3,3	-	-
Living_Street	CCCCCC	3,0	3,3	-	-
Pedestrian	CCCCCC	4,0	4,4	4,8	-
Residential	CCCCCC	5,0	5,5	6,1	6,7
Railway	CCCCCC	6,0	6,6	7,3	8,0
Tertiary	CCCCCC	7,0	7,7	8,5	9,3
Secondary	EEDD06	7,0	7,7	8,5	9,3
Primary	EEDD06	8,0	8,8	9,7	10,6
Trunk	E45C20	9,0	9,9	10,9	12,0
Motorway	E45C20	10,0	11,0	12,1	13,3

Tabelle 1: Verwendete OSM Wegetypen der Detailstufen 16 bis 13 mit angegebenem Buffer in Metern und Farbgebung.

Allerdings liegen oft beide Fahrspuren als Linien in OSM vor. Deswegen ist es sinnvoll nach dem Buffern die entstandenen Polygone zu vereinigen (PostGIS Funktion ST_Union) um überlappende Bereiche und somit unnötige Datenmengen zu vermeiden. Um die korrekte Überlagerung des Wegenetzes abzubilden werden in OSM bis zu fünf Brückenlevel (layer) berücksichtigt. Entsprechend musste für jedes layer eine eigene Tabelle erstellt werden. Einzelne Gruppen von Straßentypen (Fußgängerwege, Fahrradwege, Verkehr mit regionaler, intraregionaler und überregionaler Bedeutung) wurden einheitlich eingefärbt in der finalen Anwendung (Tabelle 1).

Des Weiteren wurden für die einzelnen Detailstufen die zu verwendenden OSM Wegetypen manuell selektiert. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die für jede Detailstufe verwendeten Wegetypen mit ihrer entsprechenden Bufferbreite. Damit das Wegenetz auch in den weni-

ger detaillierten Detailstufen noch zu erkennen ist, wurde der Buffer sukzessive vergrößert. Da es an den Übergängen der hoch aufgelösten Detailstufen ansonsten zu auffallenden Sprüngen gekommen wäre, wurden für die Detailstufen LOD 15 bis 12 jeweils der Buffer nur um den Faktor 1,1 erhöht. Für die weniger hoch aufgelösten Detailstufen 11 bis 8 wurde der Buffer jeweils sukzessive um den Faktor 0,1 erhöht. Desweiteren wurde eine adaptive Linienausdünnung vorgenommen (PostGIS Funktion ST_Simplify) um das Datenvolumen weiter zu reduzieren. Ab der Detailstufe 12 wurden nur noch die Schnellstraßen (trunks) und Autobahnen (motorways) dargestellt. Da diese mit einem einheitlichen Farbcode gekennzeichnet wurden (siehe Tabelle 1) entfallen hier die einzelnen Brücken-Layer, wodurch das Datenvolumen weiter reduziert werden konnte (siehe Tabelle 2).

LOD	Trunk / Motorway		
	Buffer Trunk/Motorway	Linienvereinfachung	Datenvolumen in MB
Ausgangsdaten ohne ST_Union	9/10	-	30/90
LOD 16	9 / 10	-	11/30
LOD 15	9,9 / 11	-	11/29
LOD 14	10,9 / 12,1	-	11/28
LOD 13	12 / 13,3	-	10/26
Ausgangsdaten ohne Brücken	14,6	-	
LOD 12	14,6	20	
LOD 11	17,6	80	
LOD 10	22,08	320	
LOD 9	32	1480	
LOD 8	47	5920	

Tabelle 2: Vereinfachung der Autobahnen (Motorway) und Schnellstraßen (Trunk) mit dem Datenvolumen der Detailstufen.

Neben dem Wegenetz wurden noch zahlreiche OSM Landnutzungstypen (Waldflächen, Gewässer, Industriegebiete, etc.) in das Gelände integriert. Neben einer Linienvereinfachung und Aggregation wurden die Flächen der Polygone auch noch anhand ihrer Größe selektiert. Dazu müssten zunächst mit der PostGIS Funktion ST_Dump die durch ST_Union entstandenen Multipolygone wieder in einzelne Polygone zerlegt werden. Für diese wurden dann die Flächen berechnet (PostGIS Funktion Area) und anhand dieser Größen selektiert. Tabelle 3 zeigt dies anhand des Landnutzungstypen Wald (OSM landuse: forest & wood). Wichtig ist es auch die PostGIS „cleanGeometry“ Funktion auf den Ausgangsdaten durchzuführen, um zu gewährleisten, dass die Polygone auch dem von PostGIS verwendeten Geometriemodell entsprechen. Ansonsten treten topologische Fehlern auf und die Berechnungen brechen ab. Um kleinere Inseln (holes) innerhalb der Polygone zu eliminieren wurde eine benutzerdefinierte PostGIS Funktion verwendet. Damit die anschließende Integration der Vektordaten in das Geländemodell parallel erfolgen konnte, wurde das Gebiet in 77 quadratische Kacheln aufgeteilt.

Tabelle 3: Generalisierung der OSM Waldflächen für die Detailstufen durch Bufferung und Vereinigung (ST_Union), Eliminierung von Inselgebieten (holes) und anhand der Flächengröße mit resultierendem Datenvolumen.

Landnutzung Wald	Buffer	ST_Union	holes > m2	Simplify	Fläche > m2	Daten volumen
Ohne Aufbereitung	-	-		-	-	
LOD 16 - 13	-	X		-	-	
LOD 12	-	X		20	-	
LOD 11	100	X	500	250	500.000	
LOD 10	500	X	1000	500	5.000.000	
LOD 9	1000	X	5000	1000	10.000.000	
LOD 8	2000	x	10000	5000	100.000.000	

3 Integration der OpenStreetMap Daten in das Geländemodell

Die Parameter der folgenden Generalisierungsverfahren für die einzelnen Detailstufen wurden mit (semi-)automatischen und empirischen Ansätzen ermittelt. Die anschließende Berechnung der Detailstufen erfolgte in einem automatischen Verfahren. Die Vereinfachung des Geländemodells basiert auf dem Kantenkontraktionsalgorithmus von GARLAND UND HECKBERT (1997). Dabei werden benachbarte Knoten kontrahiert, falls die daraus resultierenden Abweichungen einen bestimmten Schwellenwert unterschreiten. Resultat ist eine Verringerung der Punkte und Kanten des Dreiecknetzes und damit entsprechend einer Reduktion der Dateigröße. Der Fehlerwert kann dabei annähernd durch eine lineare Regression beschrieben werden (EL HACHADI 2009). Ein automatisches Verfahren wurde entwickelt bei dem die Fehlerwerte für die Kantenkontraktion mit dem Faktor $\frac{1}{4}$ ermittelt werden. Da die Detailstufen als quadratische Kacheln vorliegen, ist es sinnvoll wenn sich von Stufe zu Stufe die Fläche vervierfacht das Datenvolumen auf $\frac{1}{4}$ zu reduzieren. Dadurch kann das gesamte Datenvolumen der Detailstufen etwa auf einem Niveau gehalten werden. Dieses Verfahren eignet sich gut für reine Geländemodelle. Sollen Vektordaten integriert werden zerstört das Standardverfahren jedoch die Kanten, die durch die Integration der OSM Vektordaten entstehen. Die Kantenkontraktion basiert auf einer reinen geometrischen Fehlermetrik und lässt die Klassifikation in Teilflächen, also die Attributierung der Dreiecke, unberücksichtigt. Die Grenzen zwischen den Teilflächen verwischen daher relativ schnell. Um dem entgegenzuwirken wird für jede Kante, die sich an der Grenze zwischen Teilflächen unterschiedlicher Klassifikation befindet, ein Gewichtungsfaktor (edge factor) nach GARLAND UND HECKBERT (1997) eingeführt. Normalerweise wird die Abweichung neu berechneter Knoten zur Geländeoberfläche gemessen. Zusätzlich dazu fließt der horizontale Abstand zur zu erhaltenden Kante ein, also die Distanz zur Ebene, die senkrecht durch die Kante verläuft. Dieser Abstand wird mit dem Gewichtungsfaktor multipliziert und fließt in die Abweichungsberechnung mit ein. Somit entstehen quasi-erhaltende Kanten, die flexibel sind, aber die Umrisse der eingerechneten Polygone weitgehend konservieren. Der Gewichtungsfaktor wurde empirisch (visuelle Inspektion) auf Basis der Fehlerwerte bestimmt.

Die Bestimmung der Fehlerwerte der Kantenkontraktion erfolgte zunächst bis LOD 12 mittels der berechneten Werte einer linearen Regression. Die zu erwartenden Ergebnisse des reinen Geländes stimmten bis dahin mit den tatsächlichen Ergebnissen überein. Danach kommt es durch den implementierten Algorithmus nicht mehr zu einer deutlichen Verringerung der Punkte. Dies kann jedoch umgangen werden indem auf die Ergebnisse der vorherigen LOD Prozessierung zurückgegriffen wird. Dazu ist es notwendig die Regressionsgerade neu zu bestimmen. Dies funktioniert so nur für reine Geländemodelle. Der Fehlerwert führt neben einer Vereinfachung des Geländes auch zu eine Vereinfachung der eingeschnittenen Vektordaten. Um eine kontinuierliche Reduzierung der Datenmenge beizubehalten ist es deswegen notwendig den Fehlerwert beizubehalten bzw. diesen zu erhöhen. Mit dem Faktor 4 wurden hier gute Ergebnisse erzielt. Ab LOD 12 wurde auf ein vereinfachtes Geländemodell zurückgegriffen. Damit es nicht in Regionen mit wenig Reliefunterschieden zu zu wenigen Ausgangspunkten für die folgenden Berechnung

LOD	Datensatz	Edge Factor	Kantenkontraktion Fehlerwert	Ø Kachelgröße in KB
LOD 16	original	4	1	8,0
LOD 15	original	64	333	11,9
LOD 14	original	1024	26.295	18,4
LOD 13	original	16.384	2.073.349	26,9
LOD 12	reduziert	262.144	8.293.396	32,4
LOD 11	reduziert	1.048.576	33.173.584	78,7
LOD 10	reduziert	4.194.304	132.694.336	199,4
LOD 9	reduziert	16.777.216	5.307.773.444	116,1
LOD 8	reduziert	67.108.864	2.123.109.376	99,0

kommt, wurde ein Parameter eingeführt der bewirkt, dass die Vereinfachung abgebrochen wird wenn die Anzahl der Kanten nur noch 0,5 % des Ausgangsdatensatzes beträgt.

Tabelle 4: Parameter der Kantenkontraktion, verwendete Datensätze (reduziert = Fehlerwert 8.293.396) und die durchschnittliche Kachelgröße der Detailstufen.

Literatur

- ELHACHI, M.. (2009), Statistische Untersuchung der Auswirkungen der Parametergrößen von DGM-Generalisierungsverfahren auf das resultierende ungleichmäßige Dreiecksnetz, Unveröffentlichte Diplomarbeit, Fachhochschule Mainz.
- Garland, M. & Heckbert, P. (1997), Surface simplification using quadric error metrics, in: Computer Graphics (SIGGRAPH '97) Proceedings, pp. 209-216.
- GDI-3D - GEODATENINFRASTRUKTUR-3D (2010). – Web: www.gdi-3d.de (30.03.2010).
- OSM - OPENSTREETMAP (2010). – Web: www.openstreetmap.org (30.03.2010).
- OSM-3D - OPENSTREETMAP-3D (2010). – Web: www.osm-3d.org (30.01.2010).
- W3DS, OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM (OGC) (2009), Web 3D Service, Discussion paper, Ref No. OGC 09-104r1.