

Nichtfotorealistische Visualisierung virtueller 3D-Stadtmodelle

Die nichtfotorealistische Bildsynthese stellt ein umfangreiches, innovatives Repertoire zur grafischen Gestaltung bereit, die eine wirkungsvolle Visualisierung komplexer raumbezogener Informationen ermöglicht. Der Fachbereich für computergrafische Systeme beschäftigt sich u. a. mit dem Design, der Implementierung und Evaluierung von nichtfotorealistischen Visualisierungstechniken für virtuelle 3D-Umgebungen – ein Forschungsbericht von Amir Semmo.

Virtuelle 3D-Umgebungen haben sich zu einem wirkungsvollen Medium für die interaktive Kommunikation von komplexen raumbezogenen Informationen entwickelt. Aufgrund der steigenden Leistungsfähigkeit von Computergrafik-Hardware und der damit möglichen Echtzeit-Visualisierung von massiven, komplexen Geodaten lassen sich virtuelle 3D-Umgebungen als interaktives Medium nutzen, u. a. in der Stadtplanung, Navigation, Touristeninformation und im Katastrophenschutz. Virtuelle 3D-Stadtmodelle präsentieren eine spezialisierte Form virtueller 3D-Umgebungen und sind im Allgemeinen gekennzeichnet durch ein zugrunde liegendes digitales 3D-Geländemodell, darin befindliche 3D-Bebauungsmodelle sowie das dazu komplementäre Straßen-, Grünflächen- und Naturraummodell.

Virtuelle 3D-Stadtmodelle abstrahieren gezielt von der Realität, um die Verständlichkeit und Wahrnehmbarkeit ausgewählter

Informationsaspekte zu ermöglichen. Allerdings sind die meisten Visualisierungssysteme für diese Modelle durch ihre fotorealistische Darstellung gekennzeichnet. Ein bekanntes Beispiel ist Google Earth. Viele Anwendungsgebiete erfordern jedoch eine explizite grafische Gestaltung der dargestellten Informationen und deren Semantik. Dies ist z. B. bei der effizienten Kommunikation von Straßenkreuzungen der Fall, um eine schnelle Entscheidungsfindung bei der Navigation zu ermöglichen oder bei Anwendungen, bei denen aus Prinzip eine fotorealistische Visualisierung nicht anwendbar ist, z. B. im Fall thematischer Informationen zur Stadtplanung und -analyse. Eine effektive Kommunikation von Informationen hängt in diesen Szenarien signifikant davon ab, wie wichtige Informationen hervorgehoben und weniger wichtige Informationen abstrahiert werden bzw. kognitiv in einem Anwendungskontext verarbeitet werden. Dieser schließt das Hintergrundwissen eines Nutzers, den 3D-Szeneninhalte, die Ansicht auf die 3D-Umgebung und die Bildauflösung mit ein. Hierzu werden Visualisierungstechniken benötigt, die eine Kombination von detaillierten sowie nichtfotorealistischen Grafikstilen vornehmen. Da virtuelle 3D-Umgebungen in Bezug auf Geometrie, Erscheinung und thematische Information komplex sind, ist das Design und die Implementierung von kombinierten Grafikstilen eine große Herausforderung: Diese müssen nahtlos integriert,

Nichtfotorealistische Visualisierung eines virtuellen 3D-Stadtmodells

Die grafische Repräsentation und Farbgebung orientieren sich an einer kartographischen Visualisierung, um thematische Informationen hervorzuheben.



interaktiv parametrisiert und in Echtzeit ineinander überführt werden.

Die am Fachbereich für computergrafische Systeme entwickelten, echtzeitfähigen Visualisierungstechniken ermöglichen es, Abstraktionsstufen von dynamisch-veränderbaren thematischen Informationen nutzungskontextabhängig zu selektieren und nahtlos in die Abläufe der Bildsynthese von Grafikprozessoren zu integrieren. Hierbei stellt die Shader-Programmierung der OpenGL-API die Grundlage für eine parametrisierte Bildsynthese dar.

Texturbasierte Abstraktion

Texturen bilden eine wesentliche Kategorie von Informationsträgern für Objekte virtueller 3D-Stadtmodelle; sie vermögen insbesondere, das Bild der natürlichen Erscheinung von Objekten wiederzugeben, z. B. Gebäudefassaden. In Verbindung mit »Texture Mapping« als computergrafischem Verfahren, kann hierdurch die geometrische Komplexität von 3D-Modellen verringert, und damit deren echtzeitfähige Bildsynthese gewährleistet werden. Für eine gezielte, nichtfotorealistische Bildsynthese bedarf es daher auch einer Abstraktion von Texturinformationen.

Bildfilter stellen effektive computergrafische Werkzeuge zur Informationsabstraktion dar, bei denen Details in Bereichen hoher Kontraste abstrahiert werden, gleichzeitig aber Objektkanten erhalten bleiben, welche für die Wahrnehmung einer virtuellen Umgebung wichtig sind. Für die texturbasierte Abstraktion verwenden wir u. a. einen bilateralen und »Difference-of-Gaussians«-Filter (DoG-Filter). Im Gegensatz zu klassischen Weichzeichnungsfiltern gewichtet ein bilateraler Filter nicht nur in der Distanz, sondern gleichzeitig auch in der Domäne (z. B. Farbdifferenzen) um Objektkanten zu erhalten. Der DoG-Filter hingegen detektiert wichtige Kanten im



Farbraum und koloriert diese entsprechend ihrer Intensität. Diese Filter werden zunächst für Texturen angewendet, um eine perspektivisch-korrekte Abstraktion zu gewährleisten. Die Ergebnisse werden anschließend über ein verzögertes (engl. »deferred«) Texture Mapping auf ihre Oberflächen projiziert, ein Konzept, das auch bei modernen Computerspielen Anwendung findet. Dieser Prozess erfolgt separat für jede Detailstufe einer Textur. Mithilfe der Texturfilterung entsteht so eine kontinuierliche, sichtabhängige Abstraktion, bei der Bildbereiche einer perspektivischen Projektion, die bei fotorealistischen Darstellungen durch Informationskompression oftmals zu Bildrauschen führen, artefaktfrei dargestellt werden.

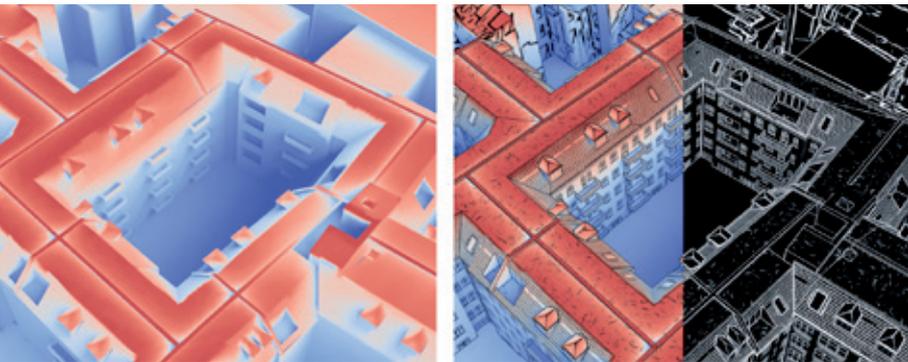
Der Einfluss einer Kantenhervorhebung auf die Wahrnehmung, wie sie beim DoG-Filter erfolgt, wurde exemplarisch anhand von thematischen Daten einer Solarpotenzialanalyse des Berliner 3D-Stadtmodells gezeigt. Diese Daten liegen als 2D-Texturen vor, deren Projektion auf die geometrischen Oberflächen zu einem Verlust von strukturellen Informationen führt, die nicht explizit als Geometrie modelliert aber für die Identifikation von Umrissen wichtig sind, z. B. bei Fenstern oder Dachstrukturen. Durch die Überblendung der Resultate des DoG-Filters können solche Informationen in die virtuelle 3D-Umgebung reintegriert werden. Eine Nutzerstudie hat hierbei gezeigt, dass die Orientierung in der virtuellen 3D-Umgebung signifikant verbessert wird sowie Distanzen besser abgeschätzt werden.

Bildfilterung von Luftbildern

Die Anwendung eines bilateralen und DoG-Filters auf die Detailstufen eines Luftbilds (links) führt zu einem kontinuierlichen Abstraktionsgrad (mitte / rechts) bei der Visualisierung.

GPU-Shader

Aktuelle High-End Grafikkarten besitzen ca. 2 800 Shader-Einheiten, die als kleine programmierbare Recheneinheiten parallelisierte Bildsynthese-Effekte umsetzen. Die Umsetzung von Shadern mit WebGL kann unter <http://shadertoy.com> erprobt werden.



Visualisierung thematischer Daten

Ergebnis einer Solarpotentialanalyse (links), kombiniert mit den Ergebnissen eines DoG-Filters, um strukturelle Informationen zu integrieren (rechts).

Kartographische Visualisierung

Um eine nutzer-, kontext- und medienadäquate Repräsentation thematischer Informationen zu ermöglichen, bedarf es einer Kopplung der nichtfotorealistischen Bildsynthese an semantische Informationen, um überwiegend »monotone Illustrationen« zu vermeiden. Hierzu wurden Visualisierungstechniken umgesetzt, die auf den Grundprinzipien der Kartografie aufbauen.

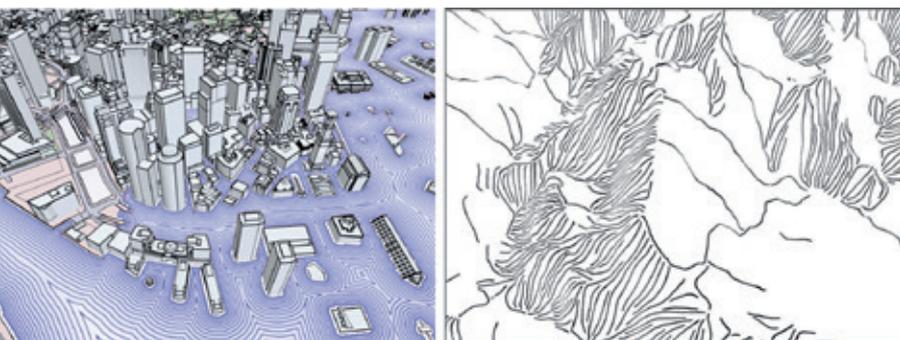
In der Kartografie ist die Farbgestaltung von Flächen, Linien und Punkten eine Haupttechnik in Hinblick auf eine effektive Visualisierung (neben anderen visuellen Variablen). Chromatisch gestaltete Karten haben ein wesentlich höheres Potenzial, die Aufmerksamkeit auf wichtige Informationen zu lenken, diese abzuschwächen oder hervorzuheben. Für die kartografische Visualisierung von virtuellen 3D-Stadtmodellen besitzt die Farbgestaltung von Flächen einzelner 3D-Objekte in Abhängigkeit ihrer Semantik großes Potenzial für die Unterscheidbarkeit. Ein divergierendes

bzw. qualitatives Farbschema wird eingesetzt, um eine visuelle Abgrenzung von logisch oder geografisch assoziierten semantischen Klassen umzusetzen, ein sequenzielles Farbschema hingegen, sobald ein Spektrum kontinuierlicher Daten visualisiert werden soll, z. B. um thematische Informationen effektiv zu kommunizieren.

Eine kartografische Gestaltung wurde exemplarisch auch auf Objekt-Ebene umgesetzt, um Charakteristiken von Wasserflächen, Gebäuden, Infrastrukturnetzen und Geländemodellen unterschiedlich zu visualisieren. Bereits mit Anbeginn der ersten künstlerisch und kartografisch verwandten Darstellungen von 3D-Stadtansichten im Mittelalter haben Künstler von dieser Methodik Gebrauch gemacht, um den Informationsgehalt ihrer Illustrationen zu verstärken und zu fokussieren. Für Wasserflächen haben wir Visualisierungstechniken auf Basis von Distanzfeldern entworfen und implementiert um die Wahrnehmung zu verbessern. Ein Distanzfeld einer Wasserfläche wird als Textur abgebildet und beschreibt pro Bildpunkt, in welcher Entfernung (und ggf. in welcher Richtung) das nächstgelegene Ufer liegt. Durch die Projektion dieser Distanzattribute, können Schraffuren, Wasserlinien oder Punktstriche (engl. »stipples«) prozedural entlang einer Uferfläche orientiert und abhängig von der Distanz parametrisiert werden. Ähnlich wurden für digitale 3D-Geländemodelle die lokale Geländeneigung und Krümmung berechnet, um digitalisierte, handgezeichnete Schraffuren prozedural auf dem Geländemodell zu verorten und geomorphologische Eigenschaften effektiv zu visualisieren. Ein weiteres Beispiel sind Vegetationsflächen, auf denen Signaturen prozedural und in unregelmäßigen Abständen mittels »Texture-Bombing«-Verfahren visualisiert werden, u. a. um Landnutzungsinformationen bzw. Waldgebiete zu kennzeichnen.

Wasserflächen- und Geländeabstraktion

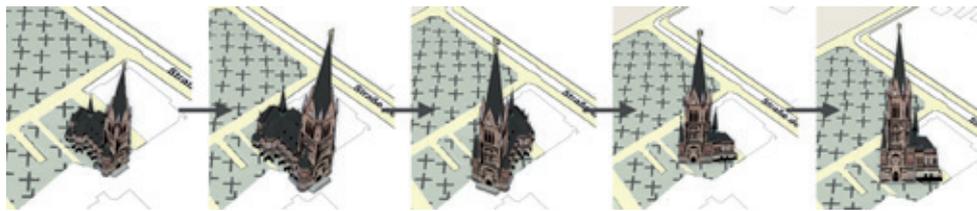
Anwendung von Wasserlinien für eine Flutungssimulation (links) und stilisierte Darstellung eines digitalen 3D-Geländemodells (rechts).



Sichtabhängige Visualisierung

Die Visualisierung virtueller 3D-Umgebungen basiert oftmals auf statischen Grafikstilen, die entsprechend des jeweiligen Anwendungsfalls angepasst sind. Detaillierte Repräsentationen eignen sich z. B. für die Erkundung von lokalen Umgebungen, während klassische 2D-Karten als effektives Medium für Navigationszwecke eingesetzt werden. Virtuelle 3D-Umgebungen sind jedoch durch ihre interaktive Nutzung gekennzeichnet, bei denen sich der Anwendungskontext oder die Sicht auf die Umgebung dynamisch ändert. Systeme wie Google Maps integrieren vorberechnete Repräsentationen, bieten aber nicht die Möglichkeit, diese in einem Bild zu kombinieren.

Unser Lösungsansatz besteht darin, den Abstraktionsgrad von dargestellten Informationen kontextabhängig zu wählen. Hierzu haben wir ein System entwickelt, welches verschiedene Grafikstile implementiert, parametrisiert und miteinander verblendet. Ein Schlüsselkonzept stellt dabei die Fokus-&-Kontext-Visualisierung dar, bei der wichtige Informationen in Fokusregionen hervorgehoben werden, z. B. bei Objekten entlang einer Route, während weniger wichtige Informationen abstrahiert werden, z. B. bei Objekten in der Umgebung einer Route. Hierzu werden Sichtmetriken verwendet und pro 3D-Objekt evaluiert, z. B. entsprechend der Distanz zur virtuellen Kamera oder zu einer Interessensregion. Der Abstraktionsgrad wird entspre-



chend hoch bei weniger wichtigen Informationen und entsprechend niedrig bei wichtigen Informationen gewählt. Dazwischen erfolgt eine Interpolation. Um Landmarken für die Orientierung und Navigation visuell hervorzuheben, werden Transformationstechniken angewendet um eine 3D-Repräsentation kontinuierlich in eine symbolhafte 2D-Repräsentation zu überführen und zum Betrachter zu orientieren. So ergibt sich eine grafische Darstellung, die der einer Touristenkarte ähnelt.

Eine Evaluierung hat gezeigt, dass die umgesetzten Verfahren den Blick eines Nutzers auf priorisierte Informationen bzw. Interessensregionen lenkt, dies ist z. B. bei zeitkritischen Anwendungen wie der Fahrzeugnavigation von hoher Bedeutung. Durch die steigende Verfügbarkeit von virtuellen 3D-Stadtmodellen auf mobilen Endgeräten, wie z. B. Smartphones, ist daher zu erwarten, dass die umgesetzten Techniken in Zukunft auch im Massenmarkt Einzug erhalten.

– Amir Semmo

Weiterführende Informationen

→ www.hp3d.de | www.hp3d.de/semmo

→ www.youtube.com/hpicgs

Landmarken-Transformation

Kontinuierliche Überführung einer 3D-Landmarke in eine optimierte, sichtorientierte 2D-Repräsentation durch mehrere, geometrische Transformationen.

Fokus-&-Kontext-Visualisierung

Im Vergleich zu einer klassischen, detaillierten Variante (links), sind Objekte in einer Interessensregion (mitte) und entlang einer Route (rechts) detaillierter dargestellt als Objekte in der Umgebung. Die Auswirkung auf die Bildbereiche, die den Blick einfangen, ist als Heatmap erkenntlich (oben rechts).

