

Das IT- und Medienstipendium für innovative Projekte von Studierenden

Boris Neubert, Thomas Franken
Universität Konstanz

Automatische Erzeugung von 3D Pflanzenmodellen aus Fotografien

Abschlussbericht zum Stipendiumsprojekt
vom 01.06.2005-31.12.2005

Computergenerierte Landschaften werden in der Landschaftsplanung, Ökologie, Architektur, aber auch in Film, Werbung und im Spielebereich benötigt. Hierfür wird im Rechner ein detailgetreues Modell der Landschaft nachgebaut, welches dann mittels Beleuchtungssimulation in Bilder oder Filme umgewandelt wird. Ein besonders aufwendiger Teil der Arbeit ist dabei die Herstellung der Landschaft und insbesondere die Modellierung der verwendeten Pflanzen.

Die Modellierung eines Baumes erfordert bislang viele Stunden mühsame Handarbeit, auch wenn hierfür professionelle 3D-Software eingesetzt wird. Wir stellen eine Methode vor, die an diesem Punkt ansetzt und es erlaubt Bäume automatisch aus Bildern zu rekonstruieren. Hierzu werden im ersten Schritt aus dem Bild Informationen zu den Blattpositionen und Astverlauf ermittelt. Die ermittelten Daten dienen als Ausgangspunkt für eine Partikelsimulation, bei der unter Berücksichtigung des Fotos die Äste synthetisiert werden. Das System tut so, als ob Wasser von den Blattpositionen zur Erde läuft und sich zu immer größeren Rinnen verbindet. Diese Rinnen bilden dann später die Äste. Hierbei werden Untersuchungsergebnisse ausgenutzt, die eine geometrische Korrespondenz zwischen Baumskeletten und Flussnetzwerken beweisen. Damit macht sich das System die Eigenschaft der Pflanzen zu Nutze ein möglichst optimales Transportsystem für Nährstoffe und Wasser für ein gegebenes Volumen bereitzustellen.

Die geometrischen Strukturen können im nächsten Schritt automatisch für die effiziente Bilderzeugung umgewandelt werden.

Einleitung

Die automatische Erzeugung realistischer und komplexer 3D Pflanzenmodelle stellt seit Jahren eine große Herausforderung für die Computergrafik dar. Es wurden verschiedene Ansätze entwickelt um die mühsame Handmodellierung von Pflanzen zu vereinfachen. Viele dieser Methoden basieren auf mathematischen oder regelbasierten Beschreibungen der Pflanzenstruktur. Eine der ersten Methoden zur automatischen Erzeugung von Pflanzenmodellen stellte Aristid Lindenmayer (LIN 1968) vor. Die Geometrie der Pflanze basierend wird auf einer Grammatik erstellt. Dabei gilt die Grundannahme, daß sich Pflanzen durch lokale Regeln mathematisch beschreiben lassen.

Desweiteren existieren Verfahren, die die Geometrie aus einer Kombination aus regelbasierten und prozeduralen Methoden erzeugen. Zu dieser Gruppe zählen viele der heute kommerziell erfolgreichen Produkte, wie IDVs Speedtree, Bionatics NatFx und Greenworks Xfrog. Mit Hilfe dieser Verfahren ist es möglich komplexen Pflanzenstrukturen in einer sehr kompakten Form zu beschreiben. Diese kompakte Beschreibung einer Pflanze ist ein großer Vorteil, setzt aber voraus, daß der Modellierer eine Pflanze analytisch parametrisieren und in diese Beschreibung überführen kann. Zugleich stellt dies aber auch eine Limitierung der Beschreibungsmöglichkeiten dar, denn aufgrund der kompakten und generalisierten Beschreibung ist es nur eingeschränkt möglich die spezielle Charakteristik individueller Bäume zu erfassen und wiederzugeben.

Daher beschränken sich aktuelle Forschungsarbeiten immer mehr darauf, den Benutzer bei der Modellierung zu unterstützen und bedienen sich interaktiver

Methoden wie ‚Sketchy-Based Interfaces‘ (Okabe 2005). Diese Verfahren überlassen es dem Benutzer die individuellen Charakteristiken zu modellieren.

Im Rahmen unseres Projektes haben wir eine Methode entwickelt, die die Charakteristik individueller Pflanzen auf direktem Weg mit Hilfe von Fotografien erfasst und die gewonnenen Daten in den Modellierungsverlauf integriert.

Dabei wird ein 3D Modell erzeugt, das der Charakteristik der fotografierten Pflanze entspricht, indem eine ähnliche Aststruktur und Volumen erzeugt wird. Dabei gehen wir davon aus, dass ein wesentlicher Teil des visuellen Erscheinungsbildes eines Baumes neben der Form und Textur der Blätter und dem Gesamtvolumen durch den Astverlauf bestimmt wird. Daher muss zunächst dieser Astverlauf und das Gesamtvolumen der Pflanze aus den Bildern bestimmt werden. Mit Hilfe dieser Daten ist es möglich verschiedene 3D Modelle zu erzeugen, die alle die wesentlichen und charakteristischen Merkmale des fotografierten Baumes enthalten (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Verschieden Modelle basierend auf einem Inputdatensatz

Projektverlauf

1. Vorbereitungen

Es existiert eine ungeheure Vielzahl an unterschiedlichen Baumarten und Ausprägungen. Da wir es uns zum Ziel gesetzt haben die Charakteristiken von Bäumen zu erfassen und in einem digitalen Modell zu verkörpern war es zunächst wichtig verschiedene interessante Bäume in der

Natur zu analysieren und zu dokumentieren. Die aufgenommenen Fotografien dienen als Grundlage für die folgende Bildanalyse und Segmentierung der Aststruktur.

2. Analyse der Fotografien

Mithilfe von Methoden der digitalen Bildverarbeitung von Matlab werden die Fotografien analysiert und für die weiteren Schritte aufbereitet.

In einem ersten Schritt wird der aufgenommene Baum vom Hintergrund gelöst. Dazu bedienen wir uns einer Matlab Implementierung des „Alpha Estimation“-Verfahrens von Marc Ruzon (Ruzon 2000). Hierbei wird eine Grauwert Maske erstellt, die als Intensitätsbild für eine Dichte-Repräsentation des Baumes verwendet wird. Dunkle Stellen entsprechen dabei besonders dichten Bereichen des Baumes, während hellere Stellen den Regionen mit geringer Dichte und damit geringer Belaubung entsprechen.

Des Weiteren extrahieren wir für jedes Bild, das als Eingabe für unseren Algorithmus dient, einen Graphen, der die zweidimensionale Projektion der Aststruktur des Baumes wiedergibt. Für diesen Schritt verwenden wir eine Implementierung des Livewire Algorithmus von Ghassan Hamarneh, der vor allem im *Medical Image Processing* verwendet wird. Der Algorithmus ermittelt den kürzesten Weg zwischen zwei Punkten basierend auf einer Kostenmatrix. Als Kostenmatrix wird das aus dem vorhergehenden Schritt ermittelte Intensitätsbild verwendet, das bewirkt, daß die Kosten eines Weges entlang der Äste minimal ist. Die so extrahierten Äste werden in Form eines Graphen abgespeichert und dienen als Attraktor in der folgenden Partikelsimulation.



Abbildung 2: a) Originalfotografie b) freigestellter Baum c) Alphamaske/Intensitätsbild d) Attraktograph

3. Erzeugen der Volumenrepräsentationen

Zunächst müssen die Fotografien entsprechend ihrer Aufnahmerichtung orientiert werden (siehe Abbildung 3a). Die so vorbereiteten Fotografien werden weiterverarbeitet, um eine volumetrische Beschreibung der Pflanzen zu bestimmen. Hierfür werden zwei Volumenmodelle kombiniert.

Als erstes wird ein 3D Oberflächenmodell aus den Baumsilhouetten der Fotografien erzeugt. Das Baumvolumen wird dabei mit Hilfe von Kugeln approximiert. Diese Vorgehensweise ist biologisch dadurch motiviert, dass Bäume entlang ihrer Wachstumsachse rotationsymmetrisch sind.

Die zweite volumetrische Beschreibung wird aus der Dichtebeschreibung des Baumes ermittelt. Dieses Modell wird durch eine parallele Rückprojektion der im Bildanalyseschritt erzeugten Dichtebilder erreicht. Die Dichtewerte jedes Pixels werden orthogonal zu den Bildebenen durch ein initialisiertes Voxelsystem projiziert. Jedem dabei traversierten Voxel wird die entsprechende Dichte zugewiesen (siehe Abbildung 3a und b).

Die Kombination dieser beiden Beschreibungen dient als Basis für die Partikelsimulation. Die jedem Voxel zugeordneten Dichtewerte dienen dabei als Wahr-

scheinlichkeit dafür, daß Partikel in dem Volumenbereich des Voxels initialisiert werden (siehe Abbildung 3d).

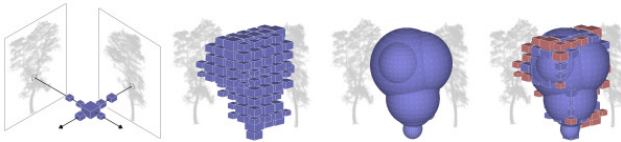


Abbildung 3: a) Rückprojektion der Intensitätswerte b) Voxel/Dichtemodell c) Kugel/Oberflächenmodell d) Kombination beider Modelle

4. Partikelsimulation und Geometrieerzeugung

Das Voxelsystem dient als Raum für eine dreidimensionale Partikelsimulation, die in der Hülle des Baumes beginnend, die Struktur des Baumes nachbilden und formen soll.

Zunächst werden die Partikel innerhalb des Volumens erzeugt, wobei die Dichtebeschreibung dahingehend verwendet wird, in besonders dichten Bereichen des Volumens mehr Partikel zu erzeugen als in dünn besetzten Regionen.

Die Bewegung der Partikel wird in einem iterativen System bestimmt. Für jeden Schritt wird für jedes Partikel der nächste Nachbar und die aktuelle Bewegungsrichtung bestimmt. Für die Bewegungsrichtung ist ein Kräftesystem maßgebend, das aus zwei Komponenten besteht:

a). Anziehung zur Position des nächsten Nachbarn

b). Anziehung zu einem Zielpunkt

Anschließend bewegt sich jedes Partikel zu seiner neuen Position. Kommen sich dabei zwei Partikel zu nahe, so verbinden sie sich zu einem Partikel. Jedes Partikel besitzt eine zugeordnete Energie die aufaddiert wird, wenn sich zwei Partikel verbinden.

Der Verlauf der Partikel steht stellvertretend für einen Ast dessen Durchmesser sich aus der Energie des Partikels ergibt. Die Simulation wird solange durchgeführt, bis lediglich ein Partikel übrig ist. Der Astverlauf wird somit entgegengesetzt zum natürlichen Vorbild von den Spitzen bis zur Wurzel modelliert. Die so generierte Aststruktur füllt das Volumen in natürlicher Weise aus.

5. Verwendung der Attraktorgraphen
Um eine höhere visuelle Kohärenz zu der realen Vorlage zu erzielen, verwenden wir als Ziel für die Partikel nicht nur einen Attraktorpunkt, sondern den Graphen des Astgerüsts, den wir in unserem Vorverarbeitungsschritt gewonnen haben. Die sogenannten Attraktor-Graphen sind auf den bereits richtig orientierten Bildebenen eingebettet und bilden die Hauptanziehungskraft für alle Partikel. Je mehr sich ein Partikel einem Graphen nähert, desto tiefer wird es entlang dem Graphen nach unten gezogen, bis es die Wurzel erreicht hat.

Diese Art der Partikel Anziehung wurde in verschiedenen Varianten implementiert. Die Variante, welche die Eingabe Fotografie am treffendsten wiedergab war eine Methode, in der jedem Partikel zufallsbasiert ein Attraktor-Graph zugeordnet wurde. Wenn zwei Partikel miteinander verschmelzen wird der Attraktor-Graph des Partikels mit der höheren Energie als neues Ziel festgelegt.

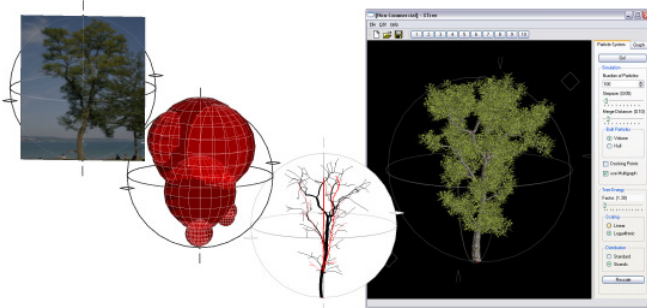


Abbildung 4: Modellierungsverlauf vom Foto bis zum fertigen Modell

Wie bereits erwähnt beruht die Verteilung der Partikel auf der Dichtebeschreibung, die Startpositionen für die Partikelsimulation in der Hülle des Baumvolumens wird jedoch zufallsbasiert festgelegt. Der Verlauf der Partikel und das daraus resultierende Skelett des Baumes sind trotz dieser zufälligen Komponente dem Astgerüst der Vorgabe sehr ähnlich. Denn sowohl das Volumen als auch die Verweigungsart bleiben als Charakteristika unverändert und sind für die visuelle Kohärenz zum Eingabebaum maßgebend.

Wir haben somit die Charakteristik des Baumes von der Zufälligkeit der Startpunkte des Systems losgelöst und können nun eine beliebige Anzahl an Bäumen generieren, die zueinander ähnlich und doch nicht gleich sind (siehe Abbildung 1). Indem die Startpositionen für die Simulation geändert werden ist ein anderer Astverlauf vorherbestimmt, doch die Ähnlichkeit mit dem Eingabebaum bleibt durch die Volumenbeschreibung und die Anziehungskraft des Graphen erhalten.

6. Blatt Position Bestimmung

Um die Blätter homogen auf dem Astgerüst zu positionieren bedienen wir uns der Heuristik, daß die Belaubung eines Baumes zum Großteil in seiner Hülle zu finden ist, also dort wo die meiste Sonneneinstrahlung eintrifft. Deshalb entschieden

wir uns dafür, die Blätter nur an Ästen zu positionieren die zu keiner weiteren Verzweigung führen, also das Ende der Verzweigung bilden.

Um die feinen Verästelungen der Krone zu simulieren, werden nach biologisch motivierten Regeln feine Zweige angebracht, die als tatsächliche Blattträger dienen.

Verschiedene Kräftesystem wie Phototropismen, Gravitropismen und Plagiotropismen können auf Blätter und Zweige angewandt werden um die beobachteten Charakteristiken des Baumes auf das Modell zu übertragen. Dieser Schritt ist jedoch dem Benutzer belassen und wird nicht automatisch durchgeführt.

Ergebnisse

Wir haben eine Methode entwickelt die es ermöglicht mit minimaler Benutzerinteraktion anhand von wenigen Fotografien eines Baumes ein dreidimensionales Modell zu erstellen.

Im Vordergrund stand dabei nicht, ein Pflanzenmodell eins-zu-eins wiederzugeben sondern eine Methode zu entwickeln, die ausgehend von einer Fotografie eines individuellen Baums vielfältige Modelle derselben Spezies erzeugt.

Die vorgestellte Methode versucht nicht den abgebildeten Baum exakt in ein dreidimensionales Modell zu überführen, wie es beispielsweise mit einem Laser Scanner möglich wäre, sondern versucht Merkmale zu extrahieren und wiederzugeben, die für das visuelle Erscheinungsbild des Baumes maßgebend sind. Als solche Merkmale identifizierten wir den Verlauf der größeren Äste, das Ge-

samtvolumen und die Größe und Textur der Blätter. Diese Herangehensweise ermöglicht uns aus einer geringen Anzahl von Fotografien eines Baumes eine Vielzahl von ähnlichen dreidimensionalen Repräsentationen des Baumes zu erzeugen, die einerseits die identifizierten relevanten Merkmale verkörpern und sich dennoch in weniger relevanten Eigenschaften voneinander unterscheiden. Das heißt, die Methode ermöglicht es eine hohe Modellvielfalt basierend auf wenigen kompletten Inputdatensätzen zu erreichen, ohne dabei jedes Modell individuell gestalten und modellieren zu müssen.

Sind die auf den Fotografien abgebildeten Bäume sehr stark belaubt ist die Aststruktur nicht mehr relevant für die visuelle Erscheinung und kann daher nicht mehr als Merkmal für das Verfahren verwendet werden. Dennoch werden Äste erzeugt, die das eingangs bestimmte Volumen optimal aufspannen und damit ein biologisch plausibles und optisch ansprechendes Astmodell liefern. In diesen Fällen kann beispielsweise ein plagiotrophisches Wachstum nicht mehr erkannt werden, da die Fotografien hierfür keine Hinweise mehr liefern.



Abbildung 5: links freigestellte Fotografien, rechts vier verschiedene 3D Modelle

Ausblick

Das zu diesem Zeitpunkt bestehende System lässt sich auf verschiedene Weise erweitern.

Die vorliegende Dichtebeschreibung des Baumes kann während der Partikelsimulation stärker ausgenutzt werden, um den Astverlauf genauer zu approximieren. Ebenso kann die Dichteinformation bei der Bestimmung der Blattposition eingebunden werden, da die Positionierung der Blätter bisher nur von der Astgeometrie abhängig ist.

Ein großer Vorteil ist, daß das Ergebnis unserer Methode auf einer impliziten Beschreibung der Geometrie durch einen Graphen basiert. Jede Verzweigung der Aststruktur wird von einem Knoten mit einer Position im Raum repräsentiert, die durch Kanten miteinander verbunden sind. Diese Eigenschaft ermöglicht uns das System dahingehend zu erweitern, die Basisbeschreibung der Geometrie durch Splines zu interpolieren und so einen höheren Grad der Anpassung an die realen Vorbilder zu erreichen. Eventuelle Kanten, die bei der bisherigen Geometrierzeugung auftreten, können somit ausgeglichen werden.

Ebenso sollte es möglich sein, in einem Nachbearbeitungsschritt die Knotenpunkte des Astgraphen interaktiv oder automatisch an die gewünschte Aststruktur anzupassen.

Der Fokus unseres Verfahrens lag bisher auf der automatischen Erzeugung von Modellen. Es wäre wünschenswert den Benutzer im Modellierungsprozess stärker zu integrieren. Er sollte Möglichkeiten erhalten, das Ergebnis zu manipulieren und

seinen Wünschen anzupassen. Dabei sollten sich die Interaktionsmöglichkeiten keinesfalls auf das Festlegen von abstrakten Parametern reduzieren, sondern auf einer visuellen Ebene stattfinden. Unsere Methode bietet hierfür verschiedene geeignete Ansatzpunkte. So wäre beispielsweise eine Beeinflussung der Partikelsimulation über Inpainting bzw. interaktive Markierung auf den Baumbildern möglich. Ebenso sollte der Benutzer die Möglichkeit haben zwischen verschiedenen Grundwachstumsmodellen auszuwählen, um die vom Eingabebild nicht enthaltenen Charakteristiken des gewünschten Baumes dennoch modellierbar zu machen. Diese Interaktionsmöglichkeiten entsprechen den Anforderungen heutiger Designer und Modellierer, das Objekt auf einer visuellen Ebene interaktiv zu modellieren.



Abbildung 6: weitere Ergebnismodelle

Referenzen

(LIN 1968) Aristid Lindenmayer, „Mathematical models for cellular interaction in development.“ *J. Theoret. Biology*, 18:280–315, 1968.

(Ruzon 2000) M. Ruzon und C. Tomasi, „Alpha Estimation in Natural Images,“ In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recogni-*

on, Volume 1, pp. 18-25, Hilton Head Island, SC, June 2000.

(DEU 2005) O. Deussen und B. Lintermann, „Digital Design of Nature – computer generated plants and organics“ Springer Verlag 2005

(OKABE 2005) Makoto Okabe, Shigeru Owada, Takeo Igarashi, „Interactive Design of Botanical Trees Using Freehand Sketches and Example-based Editing“, *Computer Graphics Forum (Proc. Eurographics 2005)*, Eurographics 2005.

Karl-Steinbuch-Stipendium

MFG Stiftung

Karl-Steinbuch-Stipendium

Breitscheidstr. 4

70174 Stuttgart

Tel. +49/711/90715/314

stiftung@mfg.de

Über das Stipendiumprogramm

Mit dem Karl-Steinbuch-Stipendium fördert die MFG Stiftung

Baden-Württemberg innovative wissenschaftliche und

künstlerische IT- und Medienprojekte, die Studierende aus
Baden-Württemberg zusätzlich zu Ihrem Studium durchführen.

Die Projekte dauern 6-12 Monate und werden mit bis zu

9.600 € gefördert.

Weitere Informationen:

www.karl-steinbuch-stipendium.de