

AW1 Hausarbeit
Simulation von natürlich vorkommenden Objekten

Malte Eckhoff

10. März 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Die Vision	3
2.1	Wissenschaftliche Fragestellung	4
2.2	Teilprobleme	4
3	Bäume in der Computergrafik	5
3.1	Historie [1]	5
3.2	Mathematische Beschreibung von Bäumen als Fraktale [1]	5
3.3	Prozedurale Algorithmen	6
3.3.1	Zellulare Automaten [1]	6
3.3.2	Generierung mit Hilfe von Partikel-Systemen [1]	6
3.3.3	Generierung mit Hilfe von Strängen	6
3.4	Regelbasierte Algorithmen	7
3.4.1	String-basierte Regelsysteme [1]	7
3.4.2	Lindenmayer Systeme [1]	7
3.5	Konferenzen	8
3.6	Arbeitsgruppen	8
4	Aktuelle Forschung	9
4.1	Plastic Trees: Interactive Self-Adapting Botanical Tree Models [2]	9
4.1.1	Übersicht	9
4.1.2	Algorithmus Idee	10
4.1.3	Einfluss auf die eigene Arbeit	11
4.2	A dynamic model of plant growth with interactions between development and functional mechanisms to study plant structural plasticity related to trophic competition [3]	11
4.2.1	Übersicht	11
4.2.2	Algorithmusidee	11
4.2.3	Einfluss auf die eigene Arbeit	11
5	Ausblick: Cooperative Story Telling	12
5.1	Übersicht	12
5.2	Beitrag meines Master-Themas zu dem Projekt	12
6	Fazit	12

1 Einführung

Im Master möchte ich ein System entwickeln, welches das Wachstum von Bäumen in prozedural generierten Landschaften grafisch, gemäß des state of the art der Computergrafik, visualisiert.

Für mich sind dabei zwei Felder der Informatik von Interesse: erstens die Visualisierung von Bäumen in der Computergrafik für virtuelle Welten wie bspw. Spiele und zweitens die biologischen Simulationen von Bäumen. Ich möchte in meiner Arbeit diese beiden Gebiete zusammenbringen, um Bäume zu erhalten, die sich gemäß der Erwartungen der Benutzer verhalten.

Den Schwerpunkt meiner Arbeit lege ich auf den Bereich der Computer-Grafik. Der Visualisierung wird eine stark vereinfachte biologische Modellierung zugrunde liegen, die nur dem Zweck dient das Verhalten der Visualisierung möglichst glaubhaft wirken zu lassen.

Die Alleinstellungsmerkmale meiner Arbeit werden die dynamische Anpassung des Baumes an die Umwelteinflüsse an seinem Standort und die Visualisierung der Wachstumsprozesse über den Zeitraum von Jahren sein. Ein Baum soll physikalisch korrekt auf einwirkende mechanische Kräfte reagieren, passend auf die Jahreszeiten reagieren und sein weiteres Wachstum von den lokalen Umweltbedingungen abhängig machen. Auf diese Aspekte gehe ich ausführlich in Abschnitt 2 ein.

Ich konzentriere mich speziell auf Bäume, weil die Generierung dieser, im Bereich der Computergrafik, ein gut verstandenes Thema ist [4]. Aus diesen Anforderungen ergeben sich einige Teilprobleme. Es muss ein glaubwürdiges Terrain generiert werden. Die lokalen Umwelteinflüsse müssen, mit Hilfe eines nicht zu komplexen Modells, berechnet werden. Das Wachstum der Bäume muss berechnet und visualisiert werden. Meine Arbeit muss auf handelsüblicher Hardware mit interaktiven Raten lauffähig sein. Diese neuen Problemstellungen und deren wissenschaftliche Relevanz behandle ich im Abschnitt 2.2.

Allgemein werde ich mich mit der Generierung und Visualisierung von Pflanzen in der Computergrafik beschäftigen. Dabei liegt mein Fokus auf Bäumen.

2 Die Vision

Die Vision ist es, das Wachstum von Bäumen in prozedural generierten Landschaften, in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen, grafisch gemäß dem state of the art der Computergrafik visualisiert werden. Die Bäume können dabei vom Benutzer über den (virtuellen) Zeitraum beliebig vieler Jahre hinweg beobachtet werden. Der Benutzer hat dabei natürlich die Möglichkeit den Verlauf der Zeit zu beschleunigen (virtuelle Jahre werden zu Minuten oder Sekunden).

Bäume reagieren physikalisch korrekt auf äußere Einflüsse wie Wind oder Kollisionen. Dieses Verhalten wird durch die Zusammenarbeit von zwei Subsystemen erreicht. Der Visualisierung und der biologischen Modellierung. Das Visualisierungssystem kümmert sich um die Darstellung des Baumes. Es visualisiert die Änderungen, die von der biologischen Modellierung vorgegeben werden. Die biologische Modellierung steuert die Wachstumsprozesse und die Reaktion des Baumes auf äußere Einflüsse. Ein Beispiel:

Sobald die Umgebungstemperatur unter einen bestimmten Schwellenwert fällt wird die biologische Modellierung darauf reagieren, indem sie anfängt den Blättern Chlorophyll zu entziehen. Das Visualisierungs-System sorgt dafür, dass die Blätter des Baumes gelb werden.

Die biologische Modellierung wird nun entscheiden, wann der Zeitpunkt gekommen ist, dass ein bestimmtes Blatt sich vom Baum löst. Das Visualisierungs-System wird dieses Blatt dann von dem jeweiligen Ast lösen und es, mit Hilfe einer Physik-Engine, zu Boden segeln lassen.

Das Wachstum und die Gestalt der Bäume orientiert sich an den Umwelteinflüssen des Standorts. Bäume verteilen während der Blütezeit Samen aus denen wieder neue Bäume entstehen. Das Wachstum eines Baums erfolgt prozedural. Änderungen der Umgebung können die Art und Geschwindigkeit des Wachstums des Baumes beeinflussen. Sind die Umweltbedingungen für einen Baum zu einem Zeitpunkt zu schlecht, kann dieser auch absterben. Bäume reagieren auf die Jahreszeiten, in dem sie blühen, Blätter und Früchte tragen, diese im Herbst verlieren und im Winter kahl werden.

Um dieses Verhalten zu implementieren, werde ich eine bereits vorhandene nicht zu komplexe geeignete biologische Modellierung verwenden. Ggf. muss ich aber auch eine Kombination von mehreren nicht zu komplexen geeigneten biologischen Modellierungen zurückgreifen.

2.1 Wissenschaftliche Fragestellung

Die wissenschaftliche Fragestellung, der ich nachgehen möchte, lässt sich in Kürze so formulieren:

"Wie kann durch die Verbesserung des Verhaltens der Bäume die Immersion und Glaubwürdigkeit von Computer generierten Welten erhöht werden?"

2.2 Teilprobleme

Aus dieser Vision ergeben sich also folgende Teilprobleme:

1. Generierung eines glaubwürdigen Terrains.
2. Auswahl eines oder mehrerer geeigneter nicht zu komplexer Modelle zur Berechnung der lokalen Umwelteinflüsse für das Terrain (bspw. Menge an verfügbarem Wasser im Boden, durchschnittliche Windstärke und Richtung).
3. Auswahl einer geeigneten Datenstruktur für die Anreicherung des Geländes mit diesen Informationen, so dass ein effizienter Zugriff gewährleistet ist (bspw. Quadtrees).
4. Berechnung und Visualisierung des Wachstums der Bäume unter Berücksichtigung der lokalen Umwelteinflüsse.
5. Physikalisch korrekte Berechnung der Statik und Dynamik der Bäume inklusive ihrer Blätter und Früchte.
6. Visualisierung auf handelsüblicher Hardware ¹ mit interaktiven Raten.

Für einige dieser Teilprobleme gibt es bereits fertig implementierte Lösungen die ich nutzen kann. Diese sind also nicht mehr wissenschaftlich von Interesse:

- Für die Generierung eines glaubwürdigen Terrains (Teilproblem 1) gibt es bereits gute Lösungen. Es wird zwar noch in diesem Gebiet geforscht, doch reichen die derzeit vorhandenen Lösungen für meine Zwecke völlig aus ^{2 3 4}.

¹Beispielkonfiguration für 999 Euro (One GameStar-PC Pro, Stand 16.12.2013): **Arbeitsspeicher:** 8,0 GByte DDR3-1600 **Grafikkarte:** Geforce GTX 760 **Prozessor:** Intel Core i5 4670K **Soundkarte:** Intel HD Audio 7.1

²Unity Terrain Toolkit - <https://code.google.com/p/unityterrain toolkit/>

³TerrainEdge 3 - <http://forum.unity3d.com/threads/118820-TerrainEdge-3-%28need-testers-feedback-ideas-etc%29>

⁴Bryce - <http://www.daz3d.com/products/bryce/bryce-what-is-bryce>

- Für den effizienten Zugriff auf räumliche Informationen (Teilproblem 3) gibt es fertig implementierte effiziente Lösungen ⁵.
- Für die Berechnung der Statik und Dynamik der Bäume (Teilproblem 5) gibt es eine ganze Reihe Lösungen ^{6 7}.

Es bleiben daher noch die Teilprobleme 2 (Auswahl einer biologischen Modellierung), 4 (Berechnung und Visualisierung des Wachstums) und 6 (Visualisierung auf handelsüblicher Hardware) übrig.

3 Bäume in der Computergrafik

3.1 Historie [1]

Die Computer unterstützte Simulation von natürlichen Wachstumsprozessen wurde 1966 von Stanislaw Ulam eingeführt. Er benutzte, durch John von Neumann (1903-1975) entwickelte, zellulare Automaten um Verzweigungsprozesse zu simulieren. Das erste kontinuierlich wachsende Pflanzen-Modell wurde von Dan Cohen im Jahr 1967 publiziert.

Die nächste essentielle Entwicklung war die Pionierarbeit von Aristid Lindenmayer (1925-1989). Sie erweiterte im Jahr 1968 die Idee der string-rewriting Systeme für die Beschreibung zellulärer Interaktionen und die Simulation von Verzweigungs-Mustern. Hashimoto Honda führte im Jahr 1971 das erste parametrisierbare Modell für die Modellierung dreidimensionaler Baum-Skelette ein.

Außerhalb der botanischen Forschung erhielt die Computer-unterstützte Generierung von Pflanzen keine große Aufmerksamkeit. Dies änderte sich in den 1980ern. Die stark gestiegene Leistungsfähigkeit der Computer erlaubte die Modellierung von komplexen Verzweigungsstrukturen, wodurch eine sehr viel realitätsnähere Visualisierung von Pflanzen möglich wurde. Die gestiegene Leistungsfähigkeit machte es ebenfalls möglich, eine große Anzahl an Pflanzen in Verbindung mit synthetischen Objekten zu visualisieren. Das machte die Generierung von Pflanzen nun auch für die Computer-Grafik interessant.

Über die letzten Jahre wurde eine Vielzahl verschiedener Methoden zur Generierung von Pflanzen entwickelt. Diese lassen sich grundsätzlich in zwei große Kategorien aufteilen. Prozedurale Methoden sind parametrisierte Algorithmen, die für die Generierung einer bestimmten Art von Pflanze entwickelt wurden. Oftmals sogar nur für die Generierung einer bestimmten Spezies. Regel-basierte Algorithmen basieren auf einem Regelsystem welches einen simplen Ausgangszustand in einen komplexen finalen Zustand überführt. Im folgenden gehe ich kurz auf die benötigten mathematischen Grundlagen ein, bevor ich eine Auswahl von Arbeiten beider Kategorien vorstelle.

3.2 Mathematische Beschreibung von Bäumen als Fraktale [1]

Fraktale eignen sich gut, um eine Reihe biologischer Objekte, insbesondere Bäume, zu beschreiben. Die Algorithmen, die ich im folgenden vorstellen möchte basieren auf den Ähnlichkeiten biologischer Objekte zu Fraktalen. Aufgrund der Komplexität des Themas, kann ich hier nur kurz die grundlegenden Ideen anschnitten. Für eine ausführliche Behandlung des Themas möchte ich auf das Buch: "The fractal geometry of nature" [5] verweisen.

Die Grundlegende Idee ist, dass die Struktur eines kleinen Teils eines Baums (wie ein Ast oder ein

⁵Quadtree Implementierung in C# - <https://bitbucket.org/bluetoque/bluetoque.quadtree>

⁶PhysX - <http://www.geforce.com/hardware/technology/physx>

⁷Bullet Physics - <http://bulletphysics.org/wordpress/>

dünnere Zweig) große Ähnlichkeit zum gesamten Baum hat. Mandelbrot bezeichnet diese Eigenschaft als Selbstähnlichkeit. Ebenfalls führt die Notwendigkeit eines möglichst effizienten Energie-Austausches nach Francis Hallé et. al. [6] notwendigerweise zu Fraktalen Strukturen bei Bäumen. Ein Maximum an Fläche muss mit einem Minimum an Volumen abgedeckt werden.

Nun stellte sich aber heraus, dass Bäume im Hinblick auf die Dicke ihrer Äste nicht selbst ähnlich sind. Leonardo Da Vinci postulierte, dass die Summe des Flächeninhalts der Querschnitte zweier Kind-Äste äquivalent zu dem Flächeninhalt des Querschnitts des Mutter-Astes ist: $d^2 = d_1^2 + d_2^2$. Durch empirische Untersuchungen fand man heraus, dass diese Schätzung erstaunlich akkurat ist. Man abstrahiert diese Formel nun zu: $d^\Delta = d_1^\Delta + d_2^\Delta$. Über diese Eigenschaft lässt sich mit Hilfe eines passend gewählten Δ die Selbstähnlichkeit, auch unter Berücksichtigung der Dicke der Äste, herstellen. Für Bäume gilt: $\Delta \approx 2$.

Weitere nützliche Eigenschaften für die Generierung sind, dass die Höhe des Baumes in Beziehung zu dem Querschnitt des Stammes steht: $\frac{\text{Höhe des Baumes}^2}{\text{Querschnitt des Stammes}^2} = \textit{konstant}$ und für jeden Ast gilt: $\frac{\text{Durchmesser des von einem Astes eingenommenen Volumens}^3}{\text{Querschnitt des Astes}^2} = \textit{konstant}$.

3.3 Prozedurale Algorithmen

3.3.1 Zellulare Automaten [1]

Zellulare Automaten arbeitet auf der Grundlage eines Raumes mit beliebig vielen Dimensionen der gleichmäßig in Zellen der selben Dimension unterteilt ist. Jede Zelle hat dabei eine feste Anzahl an Nachbarn. Jede Zelle bekommt einen Zustand aus einer finiten Menge von Zuständen zugewiesen. In einem iterativen Prozess wechseln alle Zellen ihren Zustand durch dieselbe Regel. Diese Regel ist eine Funktion des Zustands der Zelle und der Nachbarzellen. Durch eine geeignete Wahl der Zustände und der Übergangs-Funktion lassen sich Wachstumsprozesse simulieren.

Stanislaw Ulam [7] gelang es mit Hilfe von Zellularen Automaten erste Wachstums und Verzweigungsprozesse zu simulieren.

3.3.2 Generierung mit Hilfe von Partikel-Systemen [1]

Für den Film "The adventures of Andre and Wally B." [8] benötigte Reeves, zu dieser Zeit angestellt bei Lucasfilm, eine Lösung um sehr effizient eine große Anzahl relativ realistisch aussehender Bäume darzustellen [9,10]. Die botanische Korrektheit war in diesem Fall von geringem Interesse. Ein Resultat dieser Spezifikation ist ein relativ primitives Verzweigungsmodell, wobei neue Verzweigungen rekursiv generiert werden und dann an den Stamm angefügt werden. In einem zweiten Schritt werden dann die sehr regelmäßig generierten Verzweigungsstrukturen randomisiert. Sobald ein Ast schmal genug ist, wird an diesem eine Reihe von Partikeln in Form von farbigen Bällen befestigt. Das Endresultat, zu sehen in Abbildung 1, sieht erstaunlich realistisch aus.

3.3.3 Generierung mit Hilfe von Strängen

Wie in Abschnitt 3.2 bereits beschrieben stellte Leonardo Da Vinci fest, dass der Querschnitt des Vater-Astes äquivalent zu der Summe der Querschnitte der Kind-Äste ist. Wie dort ebenfalls beschrieben ist dies eine erstaunlich akkurate Beschreibung. In Kombination mit dem Wissen über die vaskuläre Struktur der Äste entwickelte M. Holton [11] eine auf Strängen basierte Beschreibung eines Baumes. Der Baum besteht dabei aus einer Menge von Strängen, welche von den Wurzeln bis zu den Blättern reichen. An



Abbildung 1: Bäume aus dem Film "The adventures of Andre and Wally B." [8]. Quelle: [1]

einer Astgabelung teilen sich die Stränge auf und laufen in den Kind-Ästen weiter. Die Anzahl der Stränge eines Astes bestimmt dabei nicht nur die Dicke sondern auch die Länge, die Anzahl der Blätter sowie den Verzweigungswinkel.

3.4 Regelbasierte Algorithmen

3.4.1 String-basierte Regelsysteme [1]

String basierte Regelsysteme überführen einen Anfangsstring, der aus einer Menge von Buchstaben eines finiten Alphabets besteht, durch Anwendung einer Menge von Regeln in einen Ergebnisstring. Die Anwendung der Regeln erhöht dabei normalerweise die Länge des Strings. Der große Vorteil ist, dass dies oft eine kompakte Beschreibung eines komplexen finalen Zustands ergibt. Um die Geometrie einer Pflanze aus einem String zu erzeugen, bedient man sich der Schildkröten-Metapher [12]. An dieser Stelle möchte ich auf das Buch "The Algorithmic Beauty of Plants" [13] von Prusinkiewicz und Lindenmayer hinweisen. Dort wird genau auf die Aspekte der regelbasierten Generierung von Pflanzen in der Computergrafik eingegangen.

Bei der Schildkröten Metapher [12] handelt es sich um eine Form der grafischen Interpretation eines Strings, die generell Akzeptanz erreicht hat [1]. Erfunden wurde diese Metapher von Prusinkiewicz [12]. Hierbei wird eine virtuelle Schildkröte über eine Bild-Ebene oder einen dreidimensionalen Raum bewegt. Eine Richtungsänderung der Schildkröte muss dabei aktiv von außen erfolgen, sonst wird sie fortfahren sich in die initial gewählte Richtung zu bewegen. Die Bewegung der Schildkröte kann mit einer Menge an Befehlen geändert werden:

1. 'F': Bewege die Schildkröte eine definierte Entfernung in die derzeitige Richtung und ziehe eine Linie.
2. 'f': Bewege die Schildkröte eine definierte Entfernung in die derzeitige Richtung und ziehe keine Linie.
3. '+': Rotiere die Schildkröte um einen definierten Betrag im Uhrzeigersinn.
4. '-': Rotiere die Schildkröte um einen definierten Betrag gegen den Uhrzeigersinn.

Mit Hilfe der virtuellen Schildkröte und diesen Befehlen kann also ein String in ein dreidimensionales Objekt umgewandelt werden.

3.4.2 Lindenmayer Systeme [1]

Lindenmayer oder L-Systeme bestehen aus einem Menge von Regeln und Symbolen die Wachstumsprozesse modellieren. Der Algorithmus startet mit einer definierten Zeichenfolge. Die Regeln ersetzen bei ihrer

Anwendung eine Zeichenfolge durch eine andere in der Regel definierte. Die Regeln werden iterativ auf die Zeichenfolge angewendet. Alle Regeln, die auf die Zeichenfolge anwendbar sind, werden dabei in einer Iteration parallel ausgeführt. Durch die parallele Anwendung der Regeln lassen sich parallele Entwicklungen in biologischen Systemen gut modellieren.

In der Problemstellung der Generierung von Bäumen sind diese eines der vermutlich am weitesten entwickelten formalen Systeme [2]. Über die Jahre wurden viele Erweiterungen für L-Systeme publiziert [14–18].

3.5 Konferenzen

Für mich ist die seit 1974 stattfindende SIGGRAPH (Special Interest Group on GRAPHics and Interactive Techniques)⁸ Konferenz und deren Ableger^{9,10} von großem Interesse. Die Konferenzen beschäftigen sich mit dem weiten Feld der Computergrafik. Besonders interessant ist aber für mich der Fokus auf Computerspiele¹¹ und Animationsfilme¹². In diesen Anwendungsgebieten ist die Erzeugung von virtuellen Welten mit einer Immersion entscheidend. Eine Erhöhung der Immersion in virtuellen Welten ist genau das, was ich mit meiner Master-Arbeit erreichen möchte. Unter den Ausstellern sind viele Größen der Spiele-¹³ und Animationsfilmindustrie¹⁴. Diese bieten einen guten Einblick, was mit der derzeitigen Technologie möglich ist. Dort vorgestellte neue Technologien können mir bei der Umsetzung meiner Master-Arbeit nützlich sein.

3.6 Arbeitsgruppen

Speziell für die Darstellung von Vegetation in virtuellen Welten bin ich auf die Arbeitsgruppe Computergrafik und Medieninformatik¹⁵ der Uni Konstanz aufmerksam geworden. Diese beschäftigen sich in ihren aktuellen Publikationen mit der effizienten Speicherung [19] und der Interaktion der Bäume mit ihrer Umgebung [2].

Die Arbeitsgruppe von Yili ZHAO¹⁶ und Jernej Barbic¹⁷ beschäftigt sich primär mit der physikalisch korrekten Berechnung natürlich vorkommender Objekte. Dies umfasst unter anderem auch die Berechnung von Bäumen [20].

Im Allgemeinen sind Arbeitsgruppen im Bereich der Spiele- und Animationsfilmindustrie von Interesse. Ich erwarte, dass die Schnittmenge zwischen den Problemen in diesen Bereichen und denen meiner Arbeit groß sein wird. Ein Beispiel ist ein möglichst effizientes Occlusion Culling einer großen Szene [21]. Diese Technik wird verwendet, um nur die Objekte zu rendern, die der Benutzer sehen kann. Ebenfalls werde ich mich viel mit Shader-Programmierung auseinandersetzen müssen. Ausgewählte Arbeitsgruppen, die eine konsistente Präsenz auf den in Abschnitt 3.5 genannten Konferenzen zeigen, sind die Research Gruppen von Disney¹⁸, Nvidia¹⁹ und Pixar²⁰.

⁸<http://www.siggraph.org/>

⁹<http://www.siggraph.fi/main/>

¹⁰<http://sa2014.siggraph.org/en/>

¹¹<http://s2013.siggraph.org/submitters/games-focus>

¹²<http://s2013.siggraph.org/submitters/computer-animation-festival>

¹³NVIDIA auf der SIGGRAPH 2013 <http://www.nvidia.com/object/siggraph2013-theater.html>

¹⁴Pixar auf der SIGGRAPH 2013 <http://renderman.pixar.com/view/SIGGRAPH2013>

¹⁵<http://www.informatik.uni-konstanz.de/deussen/>

¹⁶<http://www.scf.usc.edu/yilizhao/>

¹⁷<http://www-bcf.usc.edu/jbarbic/>

¹⁸<http://www.disneyresearch.com/>

¹⁹<https://research.nvidia.com/>

²⁰<http://graphics.pixar.com/research/>

4 Aktuelle Forschung

Die Generierung von fertigen Baum 3D-Modellen ist, wie wir in Abschnitt 3 gesehen haben ein gut verstandenes Thema. Die aktuelle Forschung geht in die Richtung, die Generierung und das Arbeiten mit diesen Bäumen für den Benutzer zu vereinfachen.

C. Li et. al. beschäftigen sich mit der Generierung von animierten 3D-Modellen von Bäumen aus Videos [22]. Aus dem 2D-Skelett des Baums im Film wird dabei ein 3D-Modell erstellt. Die verwendete Modellierung bezieht dabei Faktoren wie die Form der Äste, die Form des gesamten Baums sowie physikalisch plausible Restriktionen für die Beweglichkeit der Äste mit ein. Außerdem ist es möglich aus einem so erstellten Baum mehrere unterschiedliche andere zu generieren. Dies soll dem Benutzer die Arbeit abnehmen diese einzeln zu erstellen oder Regeln für deren Generierung zu definieren.

Y. Livny et. al. stellen in ihrer Arbeit [19] eine neue Repräsentation für 3D-Modelle von Bäumen vor. Diese basiert auf der Beobachtung, dass die Details des Blattwerks auf kanonische geometrische Strukturen abstrahiert werden können. Aufgrund der geringen Größe dient diese Zwischenrepräsentation der effizienten Speicherung und Übertragung. Der Algorithmus arbeitet dabei ganz bewusst nicht verlustfrei. 3D-Modelle, die aus dieser Repräsentation wiederhergestellt werden, approximieren die originale Geometrie nur. Die entscheidenden Merkmale bleiben dabei aber erhalten. Ein Unterschied fällt nur bei genauem Hinsehen auf.

Y. Zhao und J. Barbic entwickeln in ihrer Arbeit [20] eine Lösung, um vorhandene komplexe 3D-Modelle von Bäumen einfach und schnell für eine Physik basierte Simulation aufzubereiten. Das System skaliert mit anatomisch realistischer Geometrie und ist robust genug mit Lücken, nicht befestigten Blättern und anderen Fehlern in der Geometrie des Input 3D-Modells umzugehen. Ebenfalls vorgestellt wird die Möglichkeit der dynamisch physikalisch korrekten Zerstörbarkeit des generierten Modells und ein System zur interaktiven Konfiguration der verwendeten Materials²¹.

Im Folgenden stelle ich zwei ausgewählte Arbeiten aus der aktuellen Forschung vor, die für meine Arbeit eine hohe Relevanz haben. Im Abschnitt 4.1 beschreibe ich die Arbeit von S. Pirk et. al., die sich mit der dynamischen Anpassung fertig generierter 3D-Modelle von Bäumen an ihre Umgebung beschäftigt. Die Anpassung erfolgt dabei auf Grundlage eines stark vereinfachten biologischen Modells. Die Arbeit von A. Mathieu et. al. stelle ich in Abschnitt 4.2 vor. Diese beschäftigt sich mit einer biologischen Modellierung eines Baumes auf Grundlage der internen Ressourcenverteilung. Diese Arbeit könnte, in einer stark vereinfachten Form, als Grundlage für die biologische Modellierung meiner Bäume dienen.

4.1 Plastic Trees: Interactive Self-Adapting Botanical Tree Models [2]

4.1.1 Übersicht

Plastic Trees beschäftigt sich mit der prozeduralen Generierung von Bäumen, die ihre Form dynamisch an ihre Umgebung anpassen. Der große Vorteil dieses Ansatzes ist, dass er keine aufwändige Parametrisierung wie herkömmliche Wachstums-Simulationen benötigt. Auch können die entstehenden Bäume sich zur Laufzeit an veränderte Umweltbedingungen anpassen, ohne dass, wie in einem konventionellen Ansatz, der komplette Baum neu generiert werden muss.

²¹Ein Material wird in der Computergrafik die Kombination aus Textur und parametrisiertem Shader genannt.

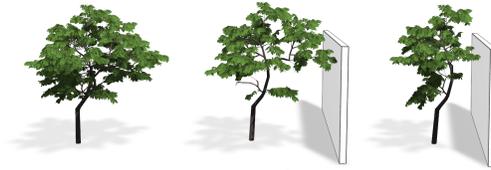


Abbildung 2: Der Plastic Trees Algorithmus erlaubt es Bäumen, sich dynamisch an die Geometrie ihrer Umgebung anzupassen. Der Algorithmus entfernt Äste, die durch die umgebende Geometrie im Schatten liegen. Quelle: [2]

4.1.2 Algorithmus Idee

Die Gestalt eines Baumes ergibt sich aus zwei Faktoren: Den endogenen Informationen (die genetischen Informationen des Baumes) und den exogenen Einflüssen (der Umwelt des Baumes). Der Algorithmus versucht nun nicht die biologisch motivierten Transformationen zu simulieren, sondern approximiert diese nur. Durch diese Vereinfachung wird eine hohe Effizienz erzielt.

Das System arbeitet mit fertig generierten Bäumen. Für die Generierung kann bspw. XFrog²² verwendet werden. Dieser Baum wird importiert und analysiert. Aus dem Stamm und den Ästen des Baumes wird ein zusammenhängender Graph generiert. Dieser Graph bildet quasi das Skelett des Baumes. Auf diesem Graphen wird im nächsten Schritt eine Menge von Transformationen definiert, die benutzt werden, um die Gestalt des Baumes, in Anpassung an seine Umgebung, zu ändern. Die Blätter werden in Clustern zusammengefasst prozedural generiert. Die Äste in diesen Clustern werden mit Hilfe der GPU generiert und dienen nur optischen Zwecken. Sie sind nicht Teil des Graphen.

Wie bei echten Bäumen, ist die Verfügbarkeit von Licht die entscheidende Einflussgröße, welche die Gestalt des Baumes bestimmt. Der Baum wird so wachsen, dass seine Blätter möglichst viel Licht auffangen. In Volumina, die durch die Geometrie der Umgebung im Schatten liegen, wird der Baum also nicht hinein wachsen. Äste, die im Schatten liegen, werden vom Algorithmus entfernt. Der Baum passt sich damit dem Schattenwurf und der Geometrie der Umgebung an.

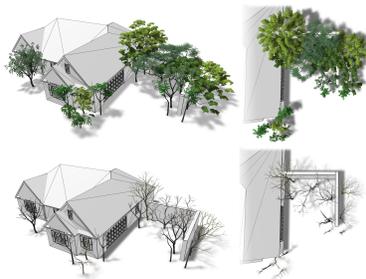


Abbildung 3: Die platzierte Vegetation passt sich mit Hilfe des Plastic Trees Algorithmus zur Laufzeit dynamisch an die komplexe Geometrie der Umgebung an. Quelle: [2]

²²<http://www.xfrog.com/>

4.1.3 Einfluss auf die eigene Arbeit

Den Baum als Graph darzustellen, um die Änderungen der Gestalt durch Graph-Transformationen zu implementieren, ist ein viel versprechender Ansatz. Die Idee dürfte sich erweitern lassen, um mehr Faktoren als die Verfügbarkeit von Licht und die Geometrie der Umgebung zu berücksichtigen. Die hohe Performance dieses Ansatzes ist ein weiterer entscheidender Vorteil. Diese Arbeit hilft mir bei der Lösung der Teilprobleme 4 und 6.

4.2 A dynamic model of plant growth with interactions between development and functional mechanisms to study plant structural plasticity related to trophic competition [3]

4.2.1 Übersicht

Der starke Einfluss der Umgebung auf einen Pflanzen-Organismus ist in der Biologie gut beschrieben. Dieses Paper schlägt eine Modellierung vor, um diese Effekte in einer Simulation nachvollziehen zu können. Die Arbeit von A. Mathieu et. al. ist ein guter Kandidat für die biologische Modellierung meiner Bäume (siehe Problemstellung 2). Für die Verwendung in meiner Arbeit würde die Modellierung stark vereinfacht werden. Aufgrund der sehr biologischen Ausrichtung der Arbeit, werde ich es vermeiden, zu stark ins Detail zu gehen.

4.2.2 Algorithmusidee

Die Pflanze wird als eine Menge von Senken betrachtet, die um die Allokation von knappen Rohstoffen konkurrieren, die aus einer Reihe von Quellen kommen. Die Senken sind die Organe des Baumes, wie Blätter, Früchte, Wurzeln etc. Die Rohstoffe, um die die Senken konkurrieren, sind die Produkte, die bei der Photosynthese entstehen. Das Modell beschreibt nun Regeln, nach denen diese Ressourcen auf die verschiedenen Senken verteilt werden. Die Senken verhalten sich entsprechend den ihnen zugeteilten Rohstoffen. Senken, die viele Rohstoffe zugeteilt bekommen, wachsen. Senken, die zu wenige Rohstoffe bekommen, verkümmern und sterben ab.

Der Baum wird als eine Graphen-Struktur dargestellt. Dieser Graph wird in jedem Tick der Simulation, auf Basis einer formalen Grammatik, modifiziert. Daraus ergibt sich, wie die Rohstoffe verteilt werden und wie das weitere Wachstum des Baumes erfolgt. Änderungen der Umwelt machen sich in der Veränderung der Menge an Rohstoffen bemerkbar. Dadurch, dass die Senken des Baumes dynamisch auf diese Änderung reagieren, passt sich der Baum als Gesamtes den neuen Umweltbedingungen an.

4.2.3 Einfluss auf die eigene Arbeit

Eine vollständig biologisch korrekte Modellierung, wie sie im Paper vorgestellt wird, ist für meine Arbeit nicht nötig. Eine stark vereinfachte, nicht biologisch korrekte, Version kann aber bspw. dazu genutzt werden, die Anzahl der Früchte zu parametrisieren, die ein Baum tragen kann. Vermutlich wird ein solches Detail dem Benutzer nicht bewusst auffallen. Eine nicht Beachtung dieser Details würde aber höchstwahrscheinlich unterbewusst bemerkt werden, was zu einem Abnehmen der Immersion führt.

5 Ausblick: Cooperative Story Telling

5.1 Übersicht

Im Rahmen der Projektgruppe von Frau Wendholt wird im Master das Cooperative Story Telling System entwickelt. Das System soll die Szenerie klassischer Theater Aufführungen virtualisierbar machen. Wir unterscheiden zwischen drei Benutzerkategorien: Operatoren, Schauspielern und Zuschauern.

Operatoren erschaffen die gewünschte Szenerie mit dem Operator Tisch . Hierbei handelt es sich um eine mixed reality Anwendung, mit der beliebige Szenarien gebaut und zur Laufzeit verändert werden können. Die Schauspieler interagieren mit der von den Operatoren erschaffenen virtuellen Szenerie über das Schauspieler AR Brille System. Zuschauer sind typische passive Beobachter der Aufführung. Sie haben keine aktive Rolle sondern beobachten nur die Vorstellung auf einem Bildschirm. Sie sehen das Endergebnis der Zusammenarbeit zwischen den Operatoren und den Schauspielern.

5.2 Beitrag meines Master-Themas zu dem Projekt

Ein wesentlicher Bestandteil des Systems wird die virtuelle Welt sein, die als Bühne für die Aufführung verwendet wird. Für diese virtuellen Welten benötigt man in den meisten Fällen natürlich ein Gelände und Vegetation. Das Subsystem, welches sich um die Berechnung und Darstellung dieser Welt kümmert, kann von dem Umstand, dass es sich beim Gesamtsystem um eine augmented/mixed reality Anwendung handelt, abstrahieren.

Durch die Funktionalitäten, die ich für meine Master-Arbeit plane, werden die Immersion und die Qualität der virtuellen Welt deutlich verbessert werden. Es ist bspw. denkbar, dass die Operatoren zur Laufzeit neue Wälder anpflanzen, um diesen dann im Zeitraffer beim Wachsen zuzusehen. Bäume, die physikalisch korrekt mit den Schauspielern interagieren, sind ebenfalls möglich. Schauspieler könnten bspw. Äpfel pflücken oder als Riesen Bäume ausreißen.

Da dieses Projekt noch in einer frühen Planungsphase ist, mag es sein, dass sich die Anforderungen an mein Master Projekt noch signifikant ändern könnten. Das lässt sich aber zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht sagen.

6 Fazit

Wir haben gesehen, dass Bäume in der Computergrafik eine lange Tradition haben, es aber noch genug Potential für Verbesserungen gibt. Über den Verlauf der Arbeit wurden historische wie auch aktuelle Arbeiten behandelt. Die Generierung von statischen Bäumen für virtuelle Welten ist verstanden. Die aktuelle Forschung geht in die Richtung der dynamischen Anpassung der Bäume an ihre Umgebung [2, 3].

Die Arbeit hat gezeigt, welche Algorithmen zur Generierung von Bäumen verwendet werden und auf welchen theoretischen Grundlagen diese beruhen (bspw. L-Systeme mit all seinen Erweiterungen). Für die Master-Arbeit werde ich ein tiefes Wissen über diese Algorithmen benötigen. Mir dieses anzueignen wird mein nächster Schritt sein.

Offen geblieben ist die Frage, wie aktuelle Systeme, wie bspw. speedtree²³, intern genau funktionieren, da es zu diesen Thema, meines Wissens, kaum wissenschaftlichen Veröffentlichungen gibt.

²³<http://www.speedtree.com/>

Literatur

- [1] O. Deussen and B. Lintermann, *Digital design of nature*. Springer, 2005.
- [2] S. Pirk, O. Stava, J. Kratt, and M. Said, “Plastic trees: interactive self-adapting botanical tree models,” *ACM Transactions on . . .*, 2012.
- [3] a. Mathieu, P. H. Cournède, V. Letort, D. Barthélémy, and P. de Reffye, “A dynamic model of plant growth with interactions between development and functional mechanisms to study plant structural plasticity related to trophic competition,” *Annals of botany*, vol. 103, pp. 1173–86, June 2009.
- [4] P. de Byl, “Chapter 7 - Environmental Mechanics,” in *Holistic Game Development with Unity* (P. de Byl, ed.), pp. 363–422, Boston: Focal Press, 2012.
- [5] B. B. Mandelbrot, *The fractal geometry of nature*. Macmillan, 1983.
- [6] F. Hallé, R. A. A. Oldeman, P. B. Tomlinson, and Others, “Tropical trees and forests: an architectural analysis,” *Tropical trees and forests: an architectural analysis.*, 1978.
- [7] S. Ulam, “Patterns of growth of figures: Mathematical aspects,” 1966.
- [8] L. Ltd., “The adventures of Andre and Wally B.,” 1984.
- [9] W. Reeves, “Particle systems—a technique for modeling a class of fuzzy objects,” *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 1983.
- [10] W. Reeves and R. Blau, “Approximate and probabilistic algorithms for shading and rendering structured particle systems,” *ACM Siggraph Computer Graphics*, 1985.
- [11] M. Holton, “Strands, gravity and botanical tree imagery,” *Computer Graphics Forum*, 1994.
- [12] H. Abelson, “A. diSessa, Turtle geometry,” *Cambridge (Mass.)*, 1980.
- [13] P. Prusinkiewicz, A. Lindenmayer, and J. Hanan, “The algorithmic beauty of plants,” *The virtual laboratory (USA)*, 1990.
- [14] P. Prusinkiewicz, “Graphical applications of L-systems,” *Proceedings of graphics interface*, 1986.
- [15] P. Prusinkiewicz, M. Hammel, and E. Mjolsness, “Animation of plant development,” *Proceedings of the 20th . . .*, 1993.
- [16] R. Měch and P. Prusinkiewicz, “Visual models of plants interacting with their environment,” *Proceedings of the 23rd annual conference . . .*, pp. 397–410, 1996.
- [17] J. Power and A. Brush, “Interactive arrangement of botanical L-system models,” *. . . symposium on Interactive . . .*, pp. 175–182, 1999.
- [18] A. Runions, B. Lane, and P. Prusinkiewicz, “Modeling Trees with a Space Colonization Algorithm.,” *NPH*, 2007.
- [19] Y. Livny, S. Pirk, Z. Cheng, and F. Yan, *Texture-lobes for tree modelling*, vol. 30. 2011.

- [20] Y. Zhao and J. Barbic, “Interactive authoring of simulation-ready plants,” *ACM TRANSACTIONS ON . . .*, no. Figure 1, 2013.
- [21] J. Pantaleoni, L. Fascione, M. Hill, and T. Aila, “PantaRay: fast ray-traced occlusion caching of massive scenes,” *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 29, no. 4, p. 37, 2010.
- [22] C. Li, O. Deussen, Y. Song, P. Willis, and P. Hall, “Modeling and generating moving trees from video,” *ACM Transactions on . . .*, pp. 1–11, 2011.