

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

FAKULTÄT INFORMATIK

INSTITUT FÜR SOFTWARE- UND MULTIMEDIATECHNIK

PROFESSUR FÜR COMPUTERGRAPHIK UND VISUALISIERUNG

PROF. DR. STEFAN GUMHOLD

Großer Beleg

Ground-Truth-Renderer für Partikelbasierte Daten

Josef Schulz

(Mat.-Nr.: 3658867)

Betreuer: Dipl-MedienInf. Joachim Staib

Dresden, 10. März 2015

Aufgabenstellung

Die Darstellung von Partikeldaten mittels Kugelglyphen ist in der wissenschaftlichen Visualisierung inzwischen etabliert. Gerade bei dichten Datensätzen stellen kompakte Anordnungen von sehr vielen Kugeln jedoch ein Problem für die Erkennbarkeit der zu visualisierenden Vorgänge dar. Eine Möglichkeit, diesem Problem zu begegnen ist es, über Blinn-Phong-Beleuchtung hinausgehende Effekte wie globale Schatten oder den Einsatz von Methoden aus dem Volume-Rendering zu integrieren. Durch deren Komplexität muss in Echtzeitvisualisierungen jedoch auf teilweise grobe Approximationen zurückgegriffen werden. Die Einschätzung der Approximationsqualität fällt häufig schwer, da keine Visualisierung des exakten Verfahrens verfügbar ist. Ziel dieser Belegarbeit ist die Umsetzung eines CPU-Renderers für Partikeldaten, der eine Reihe von erweiterten Visualisierungseffekten unterstützt. Er soll die Grundlage für Ground-Truth-Visualisierungen bieten. Zunächst soll eine geeignete Softwarearchitektur konzipiert und umgesetzt werden. Die Partikel sollen als mit lichtemittierendem und ?absorbierendem Gas gefüllte Kugeln interpretiert werden. Es sollen anschließend Methoden entwickelt werden, um einen physikalisch plausiblen globalen Schattenwurf und Lichttransport für eine beliebige Anzahl an Punkt- und Richtungslichtquellen zu ermöglichen. Die dafür notwendigen Gleichungen für Kugeln mit konstanter Dichte und Emission, sowie linearer Absorption, sollen soweit wie möglich analytisch bestimmt und, sobald nicht mehr möglich, mittels möglichst exakter numerischer Integratoren ausgewertet werden.

Die Teilaufgaben umfassen:

- Umfassende Literaturrecherche zur globalen Beleuchtungsrechnung in der Volumen Visualisierung
- Schrittweise Konzeption und Umsetzung einer erweiterbaren Architektur zum Erzeugen von Ground-Truth-Bildern:
 1. Zunächst als Raytracer für opake Kugeln, der globale Schatteneffekte von frei positionierbaren Punkt- und Richtungslichtquellen unterstützt
 2. Umsetzung eines Renderers, der Kugeln als Volumen nach dem Emissions-Absorptions-Modell rendert, dabei analytische Bestimmung des Volume-Rendering-Integrals, einschließlich Integration direkter Beleuchtung unverdeckter Lichtquellen
 3. Erweiterung zu verdeckten Lichtquellen und Bestimmung der Lichtstärke- und Farbe für Lichtstrahlen durch verdeckende Kugeln
- Unterstützung für ein Standardformat wie VRML
- Evaluation in Bezug auf Korrektheit, Bildartefakte und (numerische) Grenzfälle

Optional:

- Unterstützung für Refraktionseffekte
- Unterstützung komplexerer Materialtypen

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die von mir am heutigen Tag dem Prüfungsausschuss der Fakultät Informatik eingereichte Arbeit zum Thema:

Ground-Truth-Renderer für Partikelbasierte Daten

vollkommen selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate kenntlich gemacht habe.

Dresden, den 10. März 2015

Josef Schulz

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Vorvorwort	3
1.2	Vorwort	4
1.3	Vorbetrachtungen	4
1.4	Raycasting	4
1.5	Raytracing	4
1.6	Bidirectional Pathtracing	4
2	Ray-Caster	5
2.1	Die Kamera	5
2.2	Der Strahl	5
2.3	Schnittpunktberechnung	5
2.4	Volumen-Integral	5
2.5	Lokale Beleuchtung	5
2.6	Globale Beleuchtung	5
2.7	Material und Konstanten	5
3	Das Programm	7
3.1	Verdeckung	7
3.2	Verwendete Technologien	8
3.3	UML-Klassen	8
4	Evaluation	9
4.0.1	Analytisches Ende	9
4.0.2	Numerische Grenzfälle	9
5	Fazit	11

1 Einleitung

1.1 Vorwort

Ein Photon das im inneren der Sonne emittiert wird, ist dem kurzwelligen Spektrum der elektromagnetischen Wellen zugeordnet. Es handelt sich um Gammastrahlung. Auf seiner langen Reise vom Kern bis zur Korona, die rund 150.000 Jahre dauert, wird das Photon durch das enorm dichte und heiße Gas der Sonne blau verschoben. Auf den rund 690.000 km, die das Photon durch die Sonne wandert, absorbiert die Sonne einen großen Teil der Energie des Photons. Nachdem es die Sonne verlassen hat, benötigt das Photon weitere 8 Minuten um unsere Erde zu erreichen. Die Geschichte von der Langen Reise dieses einzelnen Photons ist ein extremes Beispiel für den Vorgang der im Folgenden betrachtet wird.

Licht ist im Physikalischen Sinn ein noch nicht gänzlich erfasstes Phänomen. Es zeigen sich Charakteristika von Wellen und von Teilchen, es wird vom Welle-Teilchodualismus gesprochen. Dieses wunderbare Modell ist ein Deckmantel für viele Fragen, die sich im Zusammenhang mit der Ausbreitung des Lichtes in unserer Welt ergeben und noch nicht alle beantwortet sind.

Die Optik ist in der Physik die Lehre des Lichtes, sie beschreibt die Ausbreitung des Lichts und die Wechselwirkung mit Materie. In der Optik gibt es verschiedene Modelle, welche die Eigenschaften des Lichtes beschreiben.

Die Strahlenoptik betrachtet das Licht in Form von Strahlen. Diese Modell approximiert das Licht als Strahl, der von der Lichtquelle aus in die Welt geschossen wird. Diese Vereinfachung kann genutzt werden, wenn die Größenordnungen der Objekte, welche im Zusammenhang mit Licht betrachtet werden, deutlich über der Wellenlänge des Lichts liegt. Ist dies erfüllt können Typische Welleneigenschaften, wie Beugung und daraus resultierende Interferenz vernachlässigt werden. Für die Berechnung von Schatten, Reflexion und Brechung eignet sich die Strahlenoptik ausgesprochen gut und soll für diese Arbeit Grundlage der Betrachtung sein. Die Lichtstrahlen breiten sich immer nur geradlinig aus, bis sie auf einen Körper treffen und reflektiert, gestreut oder gebrochen werden. Sie können einander durchdringen ohne sich gegenseitig zu beeinflussen. Der Weg des Lichtes lässt sich umkehren, was zur folge hat, dass die Gesetzt auch bei umgekehrter Lichtrichtung gelten. Dieses Prinzip ist essentiell für die Implementierung welche im Folgenden betrachtet wird, da die Strahlen von der Kamera aus in die Welt geschossen werden.

Die Beleuchtung einer Computergenerierten Szene wird in vielen Implementierungen, die aus Computerspielen und anderen Visualisierungen bekannt sind stark vereinfacht. Diese Modelle lassen die Landschaften in einem schönen Licht erscheinen, vernachlässigen jedoch Physikalische Gesetzmäßigkeiten, wie die Erhaltung von Energie. Die Berechnung von Schatten welche sich durch den Weg des Lichtes ergeben sollten, werden oftmals nur sehr vereinfacht berechnet, insofern sie vorhanden sind.

Für die meisten Anwendungen sind diese Approximationen vollkommen ausreichend. In der Computergrafik hat sich die Repräsentation von Daten mithilfe von Kugelglyphen bewährt. Als Beispiel soll das Modell eines Moleküls dienen. Ein Problem welches sich aus der Projektion auf den Bildschirm ergibt, ist die Tiefenwahrnehmung des Menschen. Die durch den Computergenerierten Bilder sind in der Regel zweidimensionale Projektionen von dreidimensionalen Szenen. Der Mensch benötigt zur Erkennung von Lagenbeziehungen der Objekte in der Szene weitere Informationen. Im Laufe des Lebens lernt ein Mensch, die Merkmale des Lichtes zu Interpretieren. Auf diese Weise gelingt es einem Betrachter, die Lage der Lichtquelle nur aus einer Objekt Silhouette zu schätzen. Um diese Fähigkeit nutzen zu können

wird jedoch eine komplexe Beleuchtung der Szene nötig.

1.2 Vorwort

Die Entwicklung des ersten Funktionsfähigen Ray-Tracers wird auf Arthur Appel, Robert Goldstein und Roger Nagel zurückgeführt. Diese erzeugten im Jahr 1963 an der University of Maryland, auf einem oszilloskopartigen Bildschirm das erste mit Ray-Tracing berechnete Bild. Viele der Verwendeten Algorithmen worden jedoch schon Jahre zuvor entwickelt. Nach Jahren der Weiterentwicklung von Computern, stehen heute Leistungsfähige Rechenmaschinen zur Verfügung die den Einsatz von Ray-Tracern praktikabel machen.

Ein Ray-Tracer ist ein Programm, welches die Wege und die Ausbreitung des Lichtes simuliert. Hierbei kann der Weg des Lichtes, entweder ausgehend von der Lichtquelle, oder ausgehend von der Kamera, der Bildebene nachvollzogen werden. Betrachtet man den zweiten Fall, wird das Bild in Pixel unterteilt. Von jedem Pixel werden Strahlen in die Szene geschossen. An den Stellen, wo diese auf Objekte in der Szene treffen, wird eine Beleuchtungsrechnung durchgeführt. Die ermittelten Lichtintensitäten werden akkumuliert und in Farben übersetzt. Auf diese Weise lassen sich für jeden Pixel des Bildes die Farbwerte bestimmen.

Mit einem Ray-Tracer, lassen sich Szenen nach realen physikalischen Modellen beleuchten. Aus diesem Grund ist es ein Verfahren, mit dessen Hilfe sich Ground-Truth Daten erzeugen lassen. Ground-Truth bezeichnet in diesem Falle eine Optimale Lösung, die als Vergleichswert zur Evaluation anderer Verfahren geeignet ist.

Im Rahmen dieser Arbeit, wird der Aufbau eines Ray-Tracers beschrieben. Benötigt wird dieser zur realistischen Beleuchtung von Kugelglyphen. Dabei wird aus Partikeldaten eine Dichtefunktion geschätzt, welche die Materialeigenschaften der Kugel an jedem Punkt im Volumen definiert. Der Ray-Tracer, wird hierzu nach und nach erweitert. Zu Beginn wird die Beleuchtungsrechnung ausschließlich auf der Oberfläche durchgeführt. Diese wird später auf Volumen erweitert. Ziel dieser Arbeit ist es die Renderinggleichung, möglichst Analytisch zu lösen.

1.3 Vorbetrachtungen

1.4 Raycasting

1.5 Raytracing

1.6 Bidirectional Pathtracing

2 Ray-Caster

2.1 Die Kamera

2.2 Der Strahl

2.3 Schnittpunktberechnung

2.4 Volumen-Integral

2.5 Lokale Beleuchtung

2.6 Globale Beleuchtung

2.7 Material und Konstanten

3 Das Programm

3.1 Verdeckung

Die endgültige Lichtintensität, die das Auge erreicht setzt sich zusammen aus:

$$I = I_E + I_B + I_L$$

dem emittierten Licht:

$$I_E = \int_{t_n}^{t_f} \tau(t_n, t) \cdot c(v_r(t)) dt$$

dem ambienten Licht:

$$I_B = \tau(t_n, t_f) \cdot I_b$$

$$\tau(t_0, t_1) = e^{-\int_{t_0}^{t_1} \sigma(v_r(t)) dt}$$

und dem Licht der Einzelnen Lichtquellen. Hier reduziert auf einen einzelnen Strahl der den Sichtstrahl $\vec{r}(t) = \vec{e} + t \cdot \vec{v}$ im Volumen schneidet. (An der Stelle t)

$$I_L(t) = \tau(t_n, t) \cdot I_p(t)$$

$$I_p(t) = e^{-\int_0^{l(t)} \sigma(v_r(s)) ds} \cdot I_p$$

$$I_p(t) = e^{-\int_0^{l(t)} \lambda \cdot v_r(s) ds} \cdot I_p$$

$$I_p(t) = e^{-\int_0^{l(t)} \lambda \cdot \kappa ds} \cdot I_p$$

$$I_p(t) = e^{-\int_0^{l(t)} \lambda \cdot \kappa ds} \cdot I_p$$

$$I_p(t) = e^{-\lambda \cdot \kappa \cdot \int_0^{l(t)} ds} \cdot I_p$$

$$I_p(t) = e^{-\lambda \cdot \kappa \cdot s} \cdot I_p$$

$$I_p(t) = e^{-\lambda \cdot \kappa \cdot \frac{-\langle p(t), d(t) \rangle}{\langle d(t), d(t) \rangle} + \frac{\sqrt{\langle p(t), d(t) \rangle^2 - \langle p(t), p(t) \rangle \cdot \langle d(t), d(t) \rangle}}{\langle d(t), d(t) \rangle}} \cdot I_p$$

mit $d(t) = d$ da es sich um eine Richtungslichtquelle handelt

$$I_p(t) = e^{-\lambda \cdot \kappa \cdot \frac{-\langle p(t), d \rangle}{\langle d, d \rangle} + \frac{\sqrt{\langle p(t), d \rangle^2 - \langle p(t), p(t) \rangle \cdot \langle d, d \rangle}}{\langle d, d \rangle}} \cdot I_p$$

$$I_L(t) = \tau(t_n, t) \cdot e^{-\lambda \cdot \kappa \cdot \frac{-\langle p(t), d \rangle}{\langle d, d \rangle} + \frac{\sqrt{\langle p(t), d \rangle^2 - \langle p(t), p(t) \rangle \cdot \langle d, d \rangle}}{\langle d, d \rangle}} \cdot I_p$$

Daraus ergibt sich I_L für eine Richtungslichtquelle

$$I_L = \int_{t_n}^{t_f} I_L(t) dt$$

$$I_L = \int_{t_n}^{t_f} \tau(t_n, t) \cdot I_{p(t)} dt$$

$$I_L = \int_{t_n}^{t_f} \tau(t_n, t) \cdot e^{-\lambda \cdot \kappa \cdot \frac{-\langle p(t), d \rangle}{\langle d, d \rangle} + \frac{\sqrt{\langle p(t), d \rangle^2 - \langle p(t), p(t) \rangle \cdot \langle d, d \rangle}}{\langle d, d \rangle}} \cdot I_p dt$$

3.2 Verwendete Technologien

3.3 UML-Klassen

4 Evaluation

4.0.1 Analytisches Ende

4.0.2 Numerische Grenzfälle

5 Fazit

Danksagung

Die Danksagung...

Erklärungen zum Urheberrecht

Hier soll jeder Autor die von ihm eingeholten Zustimmungen der Copyright-Besitzer angeben bzw. die in Web Press Rooms angegebenen generellen Konditionen seiner Text- und Bildübernahmen zitieren.

