|  |
| --- |
| Rendering Denoising  Path Tracing Denoising mit neuronalen Netzwerken  **Bachelorthesis**  [Kurztext einfüngen, falls gewünscht] |
| Studiengang: CPCVR  Autor: Pascal Cornu  Betreuer: Marcus Hudritsch  Auftraggeber: [Auftraggeber einfügen]  Experten: Harald Studer  Datum: [Datum einfügen] |

Management Summary

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit.

Inhaltsverzeichnis

[Path Tracing Denoising mit neuronalen Netzwerken 1](#_Toc194067981)

[Management Summary 2](#_Toc194067982)

[Inhaltsverzeichnis 3](#_Toc194067983)

[1 Einleitung 4](#_Toc194067984)

[2 Projektplanung 5](#_Toc194067985)

[2.1 Projektziele 5](#_Toc194067986)

[2.2 Meilensteine 5](#_Toc194067987)

[2.3 Projektablauf 6](#_Toc194067988)

[Path Tracing 7](#_Toc194067989)

[2.4 Die Rendering-Gleichung 7](#_Toc194067990)

[*2.5* Monte-Carlo-Integration beim Path Tracing 7](#_Toc194067991)

[2.6 Der Path Tracing Algorithmus 8](#_Toc194067992)

[3 Überschrift 1 9](#_Toc194067993)

[3.1 Überschrift 2 9](#_Toc194067994)

[3.1.1 Überschrift 3 9](#_Toc194067995)

[4 Harum as enimusfuga 10](#_Toc194067996)

[5 Schlussfolgerungen/Fazit 11](#_Toc194067997)

[6 Abbildungsverzeichnis 12](#_Toc194067998)

[7 Tabellenverzeichnis 12](#_Toc194067999)

[8 Glossar 12](#_Toc194068000)

[9 Literaturverzeichnis 12](#_Toc194068001)

[10 Anhang 13](#_Toc194068002)

[11 Selbständigkeitserklärung 14](#_Toc194068003)

# Einleitung

Path Tracing ist eine physikalisch genaue Rendering-Technik, die in der Computergrafik weit verbreitet ist, um das Verhalten von Licht zu simulieren. Sie ist in der Lage, äußerst realistische Bilder zu erzeugen, indem sie die Pfade einzelner Lichtstrahlen bei der Interaktion mit Oberflächen in einer Szene nachzeichnet. Diese Methode ist jedoch rechenintensiv und anfällig für Rauschen, insbesondere in Szenarien mit komplexen Beleuchtungseffekten wie globaler Beleuchtung, Kaustik und indirekter Beleuchtung.

Die Hauptquelle des Rauschens beim Path Tracing liegt in der stochastischen Natur der Monte-Carlo-Integration, die zur Annäherung an die Rendering-Gleichung verwendet wird. Da die Farbe jedes Pixels durch Mittelwertbildung aus einer endlichen Anzahl zufälliger Lichtpfade geschätzt wird, führt eine geringe Anzahl von Stichproben zu einer hohen Varianz, die sich im endgültigen Bild als körniges oder fleckiges Rauschen äussert. Eine Erhöhung der Anzahl der Abtastwerte pro Pixel kann das Rauschen zwar verringern, doch ist dieser Ansatz aufgrund der exponentiell ansteigenden Rendering-Zeit oft nicht praktikabel.

Um dieses Problem zu lösen, wurden Entrauschungstechniken entwickelt, die qualitativ hochwertige Bilder mit deutlich weniger Stichproben erzeugen. Diese Entrauschungsverfahren nutzen statistische, analytische und auf maschinellem Lernen basierende Methoden, um ein sauberes Bild aus einem verrauschten Eingangssignal zu rekonstruieren. Herkömmliche Entrauschungsmethoden beruhen auf Filtertechniken, die verrauschte Regionen glätten und dabei wichtige Details erhalten, während moderne, auf Deep Learning basierende Entrauschungsmethoden neuronale Netzwerke verwenden, die auf grossen Datensätzen trainiert wurden, um Rauschen effektiv vorherzusagen und zu entfernen. Durch die intelligente Unterscheidung von Rauschen und echten Details ermöglichen diese Verfahren schnellere Rendering-Workflows und machen die Pfadverfolgung für Echtzeitanwendungen wie interaktives Rendering und Spielgrafik möglich.

Diese Arbeit erforscht die Rauschunterdrückung beim Path Tracing mit Verwendung von neuronalen Netzwerken.

# Projektplanung

## Projektziele

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tabellenkopf** |  |  |  |
| Path Tracing und Denoising erforschen | Erarbeitung eines tiefen Verständnis von Path Tracing.  Untersuchung von Rauschquellen, bestehenden Rauschunterdrückungstechniken und neuronalen Netzen zur Rauschunterdrückung. | | |
| Implementierung eines einfachen Path Tracers | Mit dem erlernten Wissen aus der Forschung soll entweder ein eigener Path Tracer erstellt werden, oder den Path Tracer aus dem SLProject4 oder SmallPT übernehmen und auf die Bedurfnisse anpassen. | | |
| Implementierung eines Denoisers | Für den Path Tracer soll ein Denoiser für die Rauschunterdrückung erstellt werden. Dazu gehört die Auswahl oder Erstellung eines Datasets für das Trainieren vom Dataset. | | |
| Denoiser Vergleich | Den Denoiser mit Nvidias Optix Denoiser oder den verschiedenen Methoden in Blender vergleichen. | | |

## Meilensteine

## Projektablauf

# Path Tracing

Path Tracing ist ein globaler Beleuchtungs-Rendering-Algorithmus, der die Physik des Lichttransports genau simuliert. Im Gegensatz zu rasterbasierten Methoden, die sich auf Heuristiken stützen, um Beleuchtungseffekte anzunähern, löst die Pfadverfolgung die Rendering-Gleichung direkt durch die Verfolgung von Lichtpfaden auf physikalische Weise. Aufgrund der Komplexität der Lichtinteraktionen in realen Szenen ist es nicht möglich, die Rendering-Gleichung analytisch zu lösen. Stattdessen kommt bei der Pfadverfolgung die Monte-Carlo-Integration zum Einsatz, ein statistisches Verfahren, das die Gleichung mithilfe von Zufallsstichproben approximiert.

## Die Rendering-Gleichung

Die Rendering-Gleichung, die von Kajiya (1986) eingeführt wurde, beschreibt den Transport von Licht in einer Szene:

* ist die ausgehende Strahldichte (radiance) am Punkt x in Richtung .
* ist die emittierte Strahldichte (radiance) von x, zum Beispiel von einer Lichtquelle.
* ist die bidirektionale Reflexionsverteilungsfunktion (BRDF), die beschreibt, wie das Licht gestreut wird.
* ist die einfallende Strahldichte (radiance) aus der Richtung .
* berücksichtigt den Kosinus des Einfallswinkels und sorgt für eine korrekte Energieerhaltung.
* Das Integral summiert die Beiträge aus allen einfallenden Lichtrichtungen über die Hemisphäre .

Diese Gleichung modelliert, wie Licht mit Oberflächen interagiert. Aber sie direkt für jedes Pixel zu lösen, ist aufgrund ihrer rekursiven Natur unpraktisch. Licht, das an einem Punkt ankommt, kann mehrfach zurückgeworfen worden sein, bevor es die Kamera erreicht.

## Monte-Carlo-Integration beim Path Tracing

Die Monte-Carlo-Integration bietet eine praktische Möglichkeit zur Annäherung an die Rendering-Gleichung, indem eine endliche Anzahl von Stichproben ausgewertet wird, anstatt das vollständige Integral analytisch zu berechnen. Der Monte-Carlo-Schätzer für ein Integral der Form

wird gegeben durch:

wobei:

* ist die Anzahl der Proben.
* sind zufällig ausgewählte Punkte in der Domäne .
* ist die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF), die für die Stichprobe .

Durch Anwendung auf die Rendering-Gleichung schätzt der Path-Tracing-Algorithmus die ausgehende Strahldichte, indem er Lichtpfade abtastet und deren Beiträge mittelt:

wobei die BRDF als Wichtigkeitssamplingfunktion verwendet wird, um die Varianz zu verringern und die Konvergenz zu verbessern.

## Der Path Tracing Algorithmus

Path Tracing folgt einem stochastischen Ansatz zur Annäherung an die globale Beleuchtung:

1. Strahlenerzeugung: Für jedes Pixel wird ein Primärstrahl von der Kamera in die Szene geworfen.
2. Strahlenschnittpunkt: Der erste Schnittpunkt mit einer Oberfläche wird gefunden.
3. Schattierung und BRDF-Sampling: Die Oberflächen-BRDF bestimmt, wie das Licht reflektiert oder durchgelassen wird.
4. Rekursive Pfadverfolgung: Eine neue Richtung wird auf der Grundlage der BRDF abgetastet, und der Prozess wird fortgesetzt, bis eine Abbruchbedingung erfüllt ist. Zum Beispiel das Erreichen einer Lichtquelle oder maximaler Tiefe.
5. Monte-Carlo-Schätzung: Die akkumulierte Strahldichte entlang des Pfades wird gemittelt, um die Pixelfarbe zu schätzen.

Jeder Pfad ist eine Monte-Carlo-Stichprobe der Rendering-Gleichung. Bei einer ausreichenden Anzahl von Pfaden konvergiert die Annäherung zur richtigen Lösung.

Die Monte-Carlo-Integration ist zwar unvoreingenommen, konvergiert aber langsam und erfordert Tausende von Stichproben pro Pixel, um rauschfreie Ergebnisse zu erzielen. Niedrige Stichprobenzahlen führen zu Monte-Carlo-Rauschen, das als körnige Artefakte sichtbar wird. Dies ist die Hauptmotivation für Rauschunterdrückungstechniken, die darauf abzielen, qualitativ hochwertige Bilder aus verrauschten Renderings mit geringer Abtastung zu rekonstruieren.

«Ipiet as expe idias iliquat ioribus ma poritatibus voluptiis simusam, quam aut qui to ereped quibus mod etum et vent et volo con et volesequi doles molorrum sequatis veriatqui alit fugia quam etusam sus venim quunt ma vit.» Max Muster

Ibusci[[1]](#footnote-1) aut laudisitis[[2]](#footnote-2) et as dolupta spienimi, omniende cus quat lauda verehen dipsunt omnistr umquassequi blatur rent elibus is essus, secta vel minvelecab:

1. Nummerierung
2. Nummerierung
   1. Nummerierung
3. Nummerierung

# Überschrift 1

## Überschrift 2

### Überschrift 3

#### Überschrift 4

##### Überschrift 5

# Harum as enimusfuga

Et ut aut isti repuditis qui ium nonsecturia quis incientiae laborem elliquis et quatur, sitiur aut od moluptatur aut ea conseque peri sim erro essequisit remporia dem et landi dest, cone poris quunt volecab ipidero quatur ad quibusamus.



Abbildung 1: Et ut aut isti repuditis qui ium

Et ut aut isti repuditis qui ium nonsecturia quis incientiae laborem elliquis et quatur, sitiur aut od moluptatur aut ea conseque peri sim erro essequisit remporia dem et landi dest, cone poris quunt volecab ipidero quatur ad quibusamus.

Et ut aut isti repuditis qui ium nonsecturia quis incientiae laborem elliquis et quatur, sitiur aut od moluptatur aut ea conseque peri sim erro essequisit remporia dem et landi dest, cone poris quunt volecab ipidero quatur ad quibusamus, et exerionem eostis peror sedipis aut int la peris eatibusam is aut autem imporum soluptatium coritas perepratem doluptas sitatur atium, ilitat velenihictem eaquas molor serit doloratiis abo.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tabellenkopf** |  |  |  |
| w | x | y | z |
| 1 | 1000 | 12.5 % | 12.5 % |
| 2 | 1000 | 12.5 % | 12.5 % |
| 3 | 1000 | 12.5 % | 12.5 % |

Tabelle 1: Et ut aut isti repuditis qui ium

Et ut aut isti repuditis qui ium nonsecturia quis incientiae laborem elliquis et quatur, sitiur aut od moluptatur aut ea conseque peri sim erro essequisit remporia dem et landi dest, cone poris quunt volecab ipidero quatur ad quibusamus.

# Schlussfolgerungen/Fazit

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit.

# Abbildungsverzeichnis

[Abbildung 1: Et ut aut isti repuditis qui ium 6](#_Toc371572566)

# Tabellenverzeichnis

[Tabelle 1: Et ut aut isti repuditis qui ium 6](#_Toc371572556)

# Glossar

**Auinweon**

Et ut aut isti repuditis qui ium 7

**Batnwpe**

Et ut aut isti repuditis qui ium 9

**Cowoll**

Et ut aut isti repuditis qui ium 11

# Literaturverzeichnis

**Literatureintrag**

*Autorname, Autorvorname, Buchtitel, Verlag, Ort, Ausgabe, Jahr* 7

**Literatureintrag**

*Autorname, Autorvorname, Buchtitel, Verlag, Ort, Ausgabe, Jahr* 9

**Literatureintrag**

*Autorname, Autorvorname, Buchtitel, Verlag, Ort, Ausgabe, Jahr* 11

# Anhang

Et ut aut isti repuditis qui ium nonsecturia quis incientiae laborem elliquis et quatur, sitiur aut od moluptatur aut ea conseque peri sim erro essequisit remporia dem et landi dest, cone poris quunt volecab ipidero quatur ad quibusamus.

# Selbständigkeitserklärung

Ich bestätige, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Sämtliche Textstellen, die nicht von mir stammen, sind als Zitate gekennzeichnet und mit dem genauen Hinweis auf ihre Herkunft versehen.

Ort, Datum:

Unterschrift:

1. Corerum quatia endebitatiae earum ipietur.Unt laboris es a dellignamus quas voluptas ut aut isti repuditis qui ium nonsecturia quis incientiae laborem elliquis. [↑](#footnote-ref-1)
2. Et ut aut isti repuditis qui ium nonsecturia quis incientiae [↑](#footnote-ref-2)