

Zeitlich stabile blue noise Fehlerverteilung im Bildraum für Echtzeitanwendungen

Bachelorarbeit von

Jonas Heinle

An der Fakultät für Informatik
Institut für Visualisierung und Datenanalyse,
Lehrstuhl für Computergrafik

22. November 2019

Inhaltsverzeichnis

1 Prelude	1
1.1 Abstract	1
1.2 Einleitung	2
2 Grundlagen	3
2.1 Path Tracer	3
2.1.0.1 Funktionsweise	3
2.1.0.2 Monte-Carlo-Integration	4
2.2 Blue Noise	5
2.2.1 Eigenschaften	5
2.2.1.1 Uniformität	5
2.2.1.2 Niedrige Frequenzen	5
2.2.1.3 Isotropie	5
2.2.1.4 Kachelung	6
3 Temporaler Algorithmus	7
3.1 Sorting	7
3.2 Retargeting	8
Literaturverzeichnis	9

1. Prelude

1.1 Abstract

Die Strahlverfolgung und dazugehörige Techniken gewinnen gegenwärtig in der Echtzeitcomputergrafik an Bedeutung. Dabei haben bereits frühere Arbeiten die blue noise Fehlerverteilungen miteinbezogen und deren Bedeutung in der Steigerung der wahrnehmbaren Bildqualität hervorgehoben und verdeutlicht. Diese Arbeit wird diesen Stand aufnehmen und einen zeitlich stabilen Algorithmus erläutern. Ein Algorithmus, der mit Anzahl der Samples und Dimension des Tracers einhergeht. Im Gegensatz zu vorhergehenden Ansätzen wollen wir direkt im Bildraum eine Fehlerumverteilung anwenden, um so eine entsprechend korrelierte Pixelfolge zu erhalten. All dies erreicht der Algorithmus ohne signifikanten Mehraufwand.

1.2 Einleitung

2. Grundlagen

2.1 Path Tracer

2.1.0.1 Funktionsweise

Bei der Bilderzeugung, ausgehend von Szenen, welche viel Geometrie beinhalten bzw. bei Szenen die generelle BRDF's verwenden eignet sich der Path Tracer [Kaj86]. Der Path Tracer ist in Hinsicht der Beleuchtung komplett. Deshalb lässt sich damit *Global Illumination* erreichen. Der hier verwendete Path Tracer in [BYF⁺18, eragae] verwendet eine klassische Umsetzung.

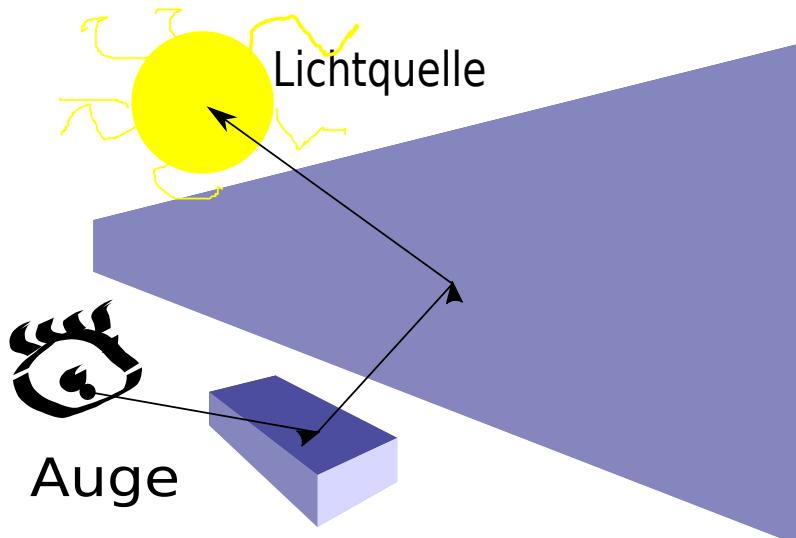


Abbildung 2.1: Grundkonzept path tracer

Wie in [MS09] beschrieben wird ausgehend von der vollständigen Transportgleichung

$$L_s(k_0) = L_e(k_0) + \int_{all(k_i)} \rho(k_i, k_0) * L_f(k_i) * \cos(\theta_i) d\theta_i \quad (2.1)$$

$$I(x, x') = g(x, x') * \left[\epsilon(x, x') + \int_S \rho(x, x', x'') I(x', x'' dx'') \right] \quad (2.2)$$

Sie beschreibt den Energietransport I von einem Punkt x' zu einem Punkt x . Dabei ist ein maßgebender Faktor der Geometrieterm g , der die relative Lage der beiden Punkte zueinander im Raum beschreibt. Ein weiterer Faktor ist die Abstrahlung ϵ von x' nach x . Beeinflusst wird der Energiefluss auch durch die bidirektionale Verteilungsfunktion ρ , welche Aufschluss über das einfallende Licht von einem Punkt x'' über x' zu x gibt.

Die Schlussfolgerung aus dieser Gleichung 2.2 ist: Die transportierte Intensität von einem Licht zu einem Anderen ist die Summe des ausgestrahlten Lichts und das ausgestrahlte Licht zu x von allen anderen Oberflächen.

2.1.0.2 Monte-Carlo-Integration

Mit der Monte Carlo Integration approximieren wir die Rendergleichung.

Bei gegebener Funktion $f : S \rightarrow \mathbb{R}$ und der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $x \sim p$ [DS02]

$$\int_{x \in S} g(x) d\mu \simeq \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \frac{g(x_i)}{p(x_i)} \quad (2.3)$$



Abbildung 2.2: Szene mit Weißem Rauschen

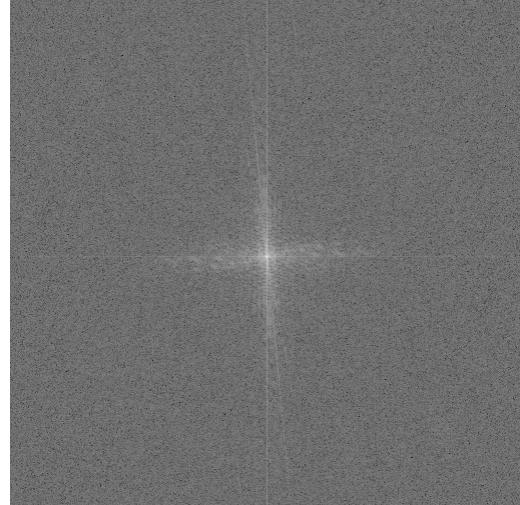


Abbildung 2.3: FFT des Ausschnitts

...

2.2 Blue Noise

[Uli88] Ulichney gibt eine Einführung zu *Dithering mit blue noise*. Darunter ist ein abbilden beliebiger Grauwerte zu einer Menge von blue noise verteilten Schwarz- und Weißwerten zu verstehen. Somit kann ein für das menschliche Auge gutes Resultat von Grauwerten entstehen, indem nur Schwarz-/ Weißpixel verwendet werden. Wieso dies vom Vorteil

2.2.1 Eigenschaften

Wie in [Gam17] vorgestellt, macht man sich die Eigenschaften einer blue noise Textur zu Nutze. Dabei werden im Folgenden, die dort bereit gestellten blue noise verteilten Texturen verwendet, welche anhand des in [Uli93] vorgestellten Algorithmus erstellt wurden. Die korrespondierenden Spektren werden mit Hilfe von [FFT] erstellt.

2.2.1.1 Uniformität

Die Uniformität(lat. *uniformitas*-Einförmigkeit) garantiert uns wie in [Uli88] eine gleichverteilte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion mit zugehöriger gleichverteilter Wahrscheinlichkeitsfunktion. In [Gam17] sieht sie wie folgt aus:

$$P(n \leq p) = p \quad (2.4)$$

[KJ09]

2.2.1.2 Niedrige Frequenzen

Niedrige Frequenzen sind in einer blue noise sehr wenig bis gar nicht vertreten. Dies ist an dem schwarzen Ring innerhalb der Fouriertransformierten zu erkennen2.2.1.2.

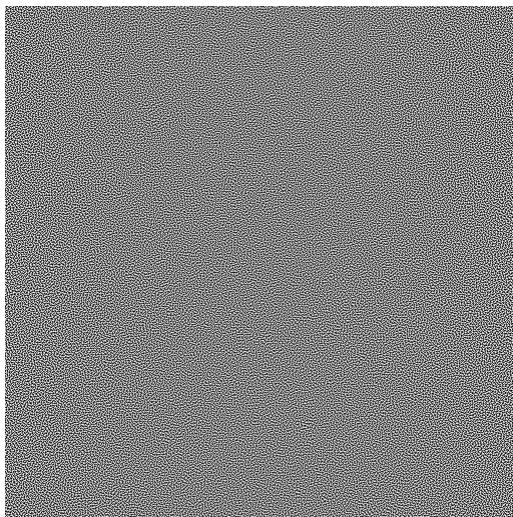


Abbildung 2.4: 512^2 blue noise Textur

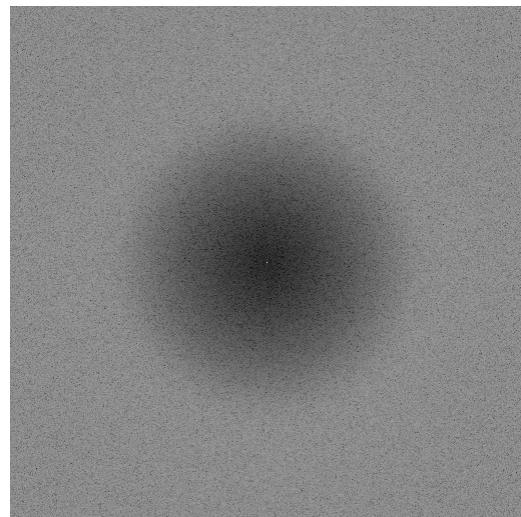


Abbildung 2.5: Fourier Spektrum 512^2 blue noise Textur

2.2.1.3 Isotropie

Die Isotropie(altgr. *isos*-gleich und *tropos*-Richtung) einer blue noise Textur wird ausgenutzt. Dabei haben wir in allen Dimensionen (in dieser Arbeit werden Texturen mit zwei benutzt) die Unabhängigkeit einer Eigenschaft.

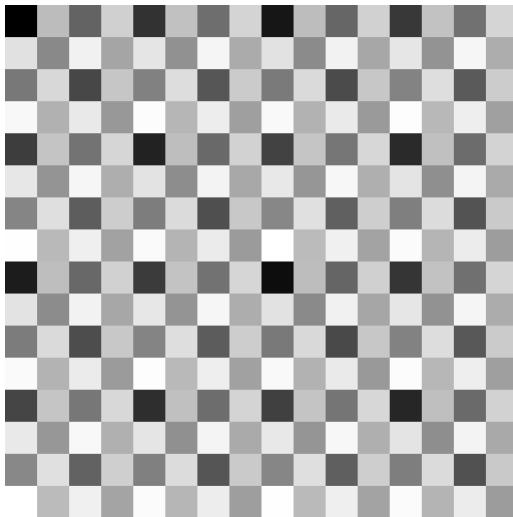


Abbildung 2.6: 512^2 bayer pattern Textur

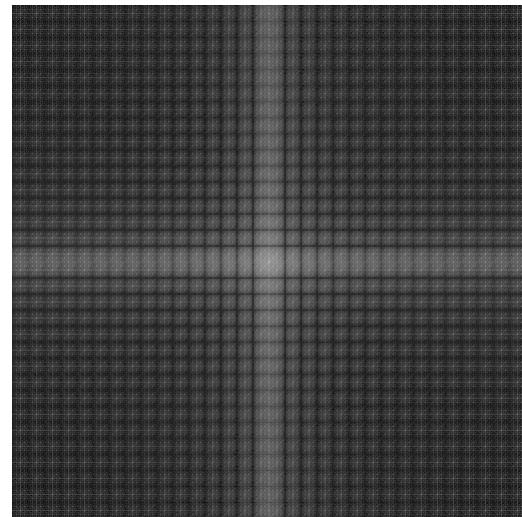


Abbildung 2.7: Fourier Spektrum 512^2 bayer pattern Textur

2.2.1.4 Kachelung

Möglichkeit der Kachelung. Eine weitere nützliche Eigenschaft der blue noise Verteilung ist die

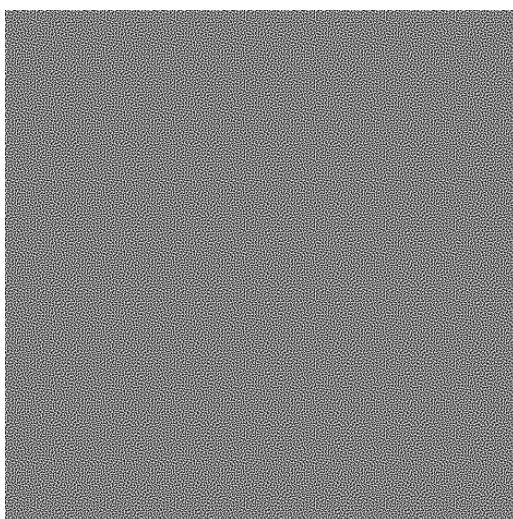


Abbildung 2.8: 512^2 bayer pattern Textur

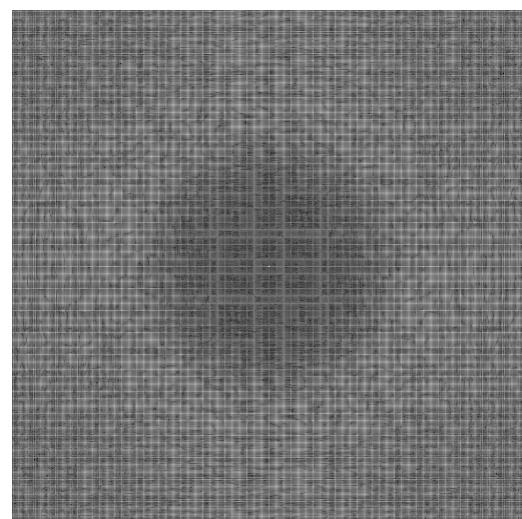


Abbildung 2.9: Fourier Spektrum 512^2 bayer pattern Textur

...

3. Temporaler Algorithmus

In diesem Abschnitt wird auf den in [EH19] vorgestellten, temporalen Algorithmus eingegangen. Dieser besteht grundsätzlich aus dem Sorting sowie den Retargeting. Es sollte unbedingt beachtet werden, dass folgende Annahmen getroffen wurden: Der Algorithmus arbeitet Blockweise auf den Pixeln und erwartet, dass benachbarte Pixel innerhalb dieses Blockes den selben Wert haben. Da wir einen temporalen Algorithmus haben, soll diese Annahme auch über mehrere gerenderte Bilder hinweg gelten. Es sollte also beachtet werden, dass der Algorithmus z.B. nicht für Objektkanten oder ruckartige Bewegungen (der Kamera oder Objekte) ausgelegt ist.

...

3.1 Sorting

(replace dummy code with correct code) [EH19]

ToDo

Algorithm 1 Sortier Schritt t nach dem Rendern von Frame t und vor dem Rendern von Frame t+1

```
1: pixel consists of value,index;
2: List framePixelsIntensities, noiseIntensities;
3: List L  $\leftarrow$  pixels in block
4: //init lists
5: for all (i,j)  $\leftarrow$  L do
6:   framePixelsIntensities(i,j) = pixelIntensity(frame(i,j));
7:   noiseIntensities(i,j) = pixelIntensity(blueNoise(i,j));
8: end for

9: //sort the two lists by means of intensities
10: sort(framePixelsIntensities);
11: Sort(noiseIntensities);

12: //now we reorder our seeds hence the sorted lists
13: for all i = 1..numberOfPixelsPerBlock do
14:   sortedSeeds(noiseIntensities.getIndex(i)) = incomingSeeds(framePixelIntensities.getIndex(i));
15: end for
```

...

3.2 Retargeting

ToDo

(replace dummy code with correct code) [EH19]

Algorithm 2 Retargeting Schritt t Vor Rendern Frame t+1 nach Sortier Schritt

```
1: //permutation indices from precomputed texture
2: List<PixelPermutation> L = getRetargetedSeedsIndices(incomingSeeds);
3: for all i = 1 .. number_of_pixels_per_block do
4:   retargetedSeeds(L.getPermIndices()) = incomingSeeds(L.getOldIndices());
5: end for
```

...

Literaturverzeichnis

- [BYF⁺18] Nir Benty, Kai Hwa Yao, Tim Foley, Matthew Oakes, Conor Lavelle und Chris Wyman: *The Falcor Rendering Framework*, Mai 2018. <https://github.com/NVIDIAGameWorks/Falcor>, <https://github.com/NVIDIAGameWorks/Falcor>.
- [DS02] G. Drettakis und H. P. Seidel: *Efficient Multidimensional Sampling*. 21:1–8, 2002.
- [EH19] Laurent Belcour Eric Heitz: *Distributing Monte Carlo Errors as a Blue Noise in Screen Space by Permuting Pixel Seeds Between Frames*. 38:1–10, 2019. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02158423/document>.
- [FFT] *FFTProg*. <http://bigwww.epfl.ch/demo/ip/demos/FFT/>. Accessed: 21.11..2019.
- [Gam17] Epic Games: *The problem with 3d blue noise*, 2017. <http://momentsingraphics.de/3DBlueNoise.html>, Blogpost.
- [Kaj86] James T Kajiya: *The rendering equation*. In: *ACM SIGGRAPH computer graphics*, Band 20, Seiten 143–150. ACM, 1986.
- [KJ09] Uwe Kiencke und Holger Jäkel: *Signale und Systeme*. Oldenbourg Verlag, 2009.
- [MS09] Steve Marschner und Peter Shirley: *Fundamentals of computer graphics*. CRC Press, 2009.
- [Uli88] R. A. Ulichney: *Dithering with blue noise*. Proceedings of the IEEE, 76(1):56–79, Jan 1988, ISSN 1558-2256.
- [Uli93] Robert A Ulichney: *Void-and-cluster method for dither array generation*. In: *Human Vision, Visual Processing, and Digital Display IV*, Band 1913, Seiten 332–343. International Society for Optics and Photonics, 1993.

Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, die wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche kenntlich gemacht und die Satzung des KIT zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis in der jeweils gültigen Fassung beachtet habe. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen.

Karlsruhe, den 22. November 2019

(Jonas Heinle)