

Modellierung von Flächen- und Volumenstreuung in Raytracing Software

Gerhard Steinmetz, Hans-Joachim Frasch

Carl Zeiss AG, D-73446 Oberkochen

<mailto:g.steinmetz@zeiss.de>

Für Beleuchtungssimulationen wurde die BSDF zur Beschreibung von Flächenstreuung um zusätzliche Parameter erweitert, Volumenstreuung wurde in Kombination mit einer freien Weglänge eingeführt. Durch erweiterte Filteroptionen können detaillierte Auswertungen des Lichtflusses durchgeführt werden.

1 Einführung

Für anspruchsvolle Beleuchtungssimulationen wird in der Regel Raytracing-basierte Software eingesetzt. Diese Simulationen können sowohl Lampenorientiert als auch Eyepoint-orientiert sein. Bei Lampen-orientierter Berechnung wird die Lichtquelle statistisch durch Strahlen gesampelt, diese Rays dann „vorwärts“ durch das optische System getraced bis sie auf relevante Endflächen oder Detektoren fallen. Im Gegensatz dazu werden bei Eyepoint-orientierter Berechnung ausgehend von einem Auge statistisch verteilte Strahlen losgeschickt und „rückwärts“ durch das optische System getraced bis sie auf relevante Lichtquellen treffen. Diese polarisierten, teilpolarisierten oder unpolarisierten Lichtquellen können flächenartig oder volumenartig ausgedehnt sein.

Um das Rauschen zu verringern und die Genauigkeit der Simulation zu verbessern, vermeidet man reguläre Rasterungen, ebenso einfache Monte-Carlo-Verfahren, sondern verwendet stattdessen Quasi-Monte-Carlo-Methoden. Notwendig ist stets eine hinreichend große Anzahl Strahlen. In der Regel werden nur Intensitäten betrachtet, Interferenzeffekte werden vernachlässigt.

Die Komplexität der Simulation und des Raytrace wächst auch mit der Komplexität des optischen Systems. Die Beschreibung optischer Systeme beinhaltet grundsätzlich diverse Asphärentypen, Dezentrierungen, sequentielle oder nicht-sequentielle Bereiche, etc., bis hin zu beliebigen Berandungen, anwendbar auf den Durchstoßpunkt des Strahls oder auf die Strahlrichtung. Verwendet werden auch diffraktiv optische Elemente (DOE), GRIN-Medien und Streufunktionen. Desweiteren sind Apodisierung, Schichten, Polarisations-elemente, usw., sowie gemessene Daten für verschiedene Aspekte von Flächen oder Materialien zu berücksichtigen.

Als Ergänzung zu diesem Kontext werden nachfolgend Erweiterungen für Flächenstreuung und Volumenstreuung vorgestellt.

2 Einfacher Fall

Das Strahlschicksal an einer Fläche hängt in einfachen Fällen als Verteilungsfunktion nur von einem Parameter ab. Beim Brechungsmodus ist dies die Wahrscheinlichkeit für Transmission und Reflexion. Bei einem DOE kann sich ein Strahl mittels Beugungseffizienzen statistisch für eine Beugungsordnung m entscheiden. Und bei einer Streufunktion (BSDF) der Fläche ist der Parameter der Streuwinkel q .

3 Flächenstreuung in eine Ebene

Eine erste Erweiterung ermöglicht eine fächerförmige Flächenstreuung in eine Ebene mit vorgebar Orientierung (s. Abb. 1), um spezielle gitterartige Elemente oder Riefen simulieren zu können.

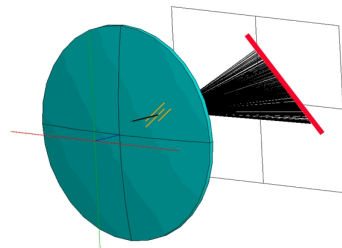


Abb. 1 Auffächerung eines Strahls durch Riefen

4 Flächenstreuung mit zusätzlichen Parametern

Durch Einführen einer variablen $BSDF(q, p)$ hängt die Streuverteilung (Bidirectional Scattering Distribution Function) nicht nur vom Streuwinkel q ab, sondern auch von einem weiteren Parameter p . Zusätzlich wird noch ein variables TIS-Integral $TIS(q)$ eingeführt, d.h. die über den Halbraum integrierte, gestreute Leistung im Verhältnis zur einfallenden Leistung wird abhängig von einem zusätzlichen Parameter q .

Die Parameter p, q können praktisch jede Größe sein, welche auf einfache Weise Strahldaten oder Flächendaten mit dem Durchstoßpunkt des Strahls mit der Fläche verknüpft. Beispielsweise kann p, q der Einfallswinkel sein, die Flächensteigung, die Strahlhöhe am Durchstoßpunkt, ...

Für einen Polierprozess ist der Parameter p typischerweise die Strahlhöhe h . In der Flächenmitte führt dann Mikrorauigkeit mit hohen Ortsfrequenzen zu einem Halo um den spekularen Peak (siehe Abb.2 links), welcher einen Kontrastverlust nach sich zieht. Kommen zum Flächenrand hin noch Störungen mittlerer Frequenz hinzu, so führen diese zu einer Verbreiterung des zentralen Peaks, was einer Reduktion der Auflösung entspricht.

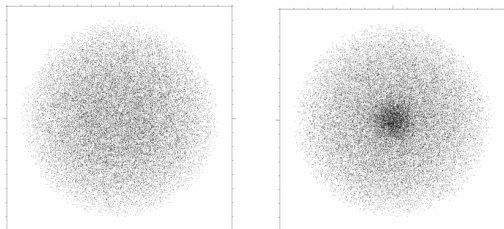


Abb. 2 Links die resultierenden Strahlrichtungen für die BSDF zur Flächenmitte ($h=0$), rechts eine zusätzliche Aufweitung des zentralen Peaks durch die BSDF am Flächenrand.

5 Volumenstreuung

Die BSDF muss bei Volumenstreuung nicht nur den Halbraum (2π sr) abdecken, sondern allgemein den Vollraum (4π sr), um den Fall des Backscattering ebenfalls zu erfassen. Zusätzlich wird eine Funktion eingeführt, welche die Dichte der lokalen Störungen im Volumen beschreibt. Diese Freie-Pfad-Länge (FPL) ist die gerade Linie zwischen zwei Streueignissen im Volumen. Dies erlaubt die Simulation von Random Walk Problemen, lokalen Defekten im Material, lokalen Inhomogenitäten, Blasen oder anderen Streuzentren.

Wie bei statistischen Features üblich, liefert das Raytracing für den gleichen Startstrahl jedes Mal einen anderen Strahlpfad (siehe Abb.3). Geordnete Nachbarschaftsbeziehungen von Strahlen gehen in der Regel verloren.

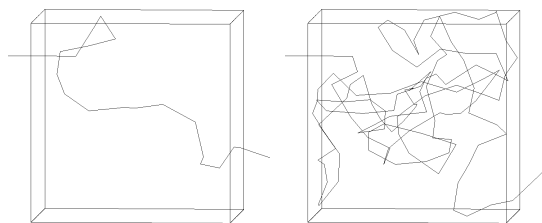


Abb. 3 Ein Glaswürfel mit Volumenstreuung und exemplarisch zwei nicht-sequentielle Strahlpfade bei jeweils identischem Startstrahl.

Die Strahlen „knicken“ nach jedem Streueignis, können an Würfelflächen mehrfach reflektieren und den Würfel letztlich an einer beliebigen Seitenfläche verlassen.

6 Auswertung

Auswertungstools helfen dem User oft, einen tieferen Einblick in das System zu erlangen. Im Grunde geht es stets darum, relevante Strahl-Information des Lichtflusses zu extrahieren und zu verknüpfen. Im Prinzip sind diese Werkzeuge Filteroptionen, um die vorhandene Informationsmenge zu reduzieren. Beispielsweise ist eine Pfadanalyse wichtig, um kritische Pfade zu ermitteln. Eine Fluxanalyse ist hilfreich, um kritische Gebiete auf Flächen zu finden. Andere Filteroptionen dienen der Separierung von gestreutem und ungestreutem Licht, oder der Separation nach n -fach gestreutem Licht. Es sind auch Filteroptionen für die Separierung von gestreutem Licht aufgrund von Flächen- oder Volumenstreuung vorgesehen. Anhand eines einfachen Beispiels (Abb.4) sei dies kurz illustriert.

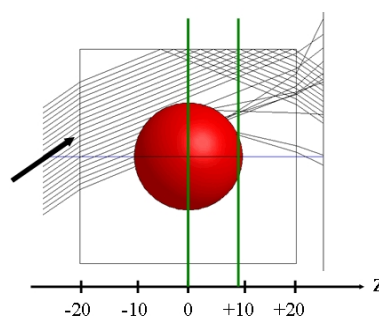


Abb. 4 Streuende Kugel im Inneren eines nichtstreuenden Glaswürfels, jeweils mit Absorption in den Medien. Hier (nur) mit zwei Ebenen für Filteroptionen.

In den nachfolgenden Bildern (Abb.5) wurde in einem Simulationslauf das gestreute und ungestreute Licht in verschiedenen Medien extrahiert.

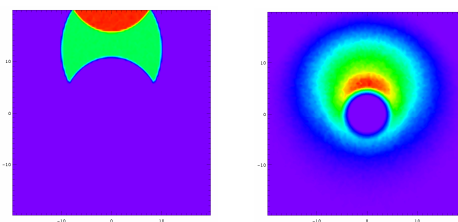


Abb. 5 Links exemplarisch die absorbierte, ungestreute Leistung im Würfel im Schnitt $z=0$; rechts die absorbierte, gestreute Leistung im Würfel im Schnitt $z=9$.

7 Zusammenfassung

Der einfache Fall der Flächenstreuung (abhängig von nur einem Parameter) wurde erweitert durch Einführung weiterer Parameter in die BSDF und TIS. Damit können mehr relevante Effekte durch Flächenstreuung simuliert werden. Durch Einführen einer Freien-Pfad-Länge (FPL) und Erweitern der BSDF auf den vollen Raumwinkel kann Volumenstreuung behandelt werden. Erweiterte Filtermechanismen ermöglichen die detaillierte Auswertung des Lichtflusses zur Simulation.