



AUFGABE 1: Programmierung eines Ray Tracers

Aufbauend auf dem ray caster welcher in der letzten Übung entwickelt wurde, soll ein ray tracer entwickelt werden. Ein Dreiecksmodell im OFF-Format soll geladen und mittels der OpenGL Rendering-Pipeline dargestellt werden. Ist die gewünschte Ansicht ausgewählt, so soll ein ray trace der Szene erzeugt werden.

- Ihr Programm soll es ermöglichen ein Modell im OFF-Format zu laden und dieses mit OpenGL auf dem Bildschirm darzustellen. Ihre Szene sollte mindestens zwei Lichtquellen enthalten, und die Normalen für die Vertices sollten mit einem geeigneten Verfahren bestimmt werden. (5 Punkte)
- Stellen Sie eine Aktion „ray cast“ zur Verfügung welche die mit OpenGL ausgewählte Ansicht durch ray casting darstellt. Implementieren Sie hierzu eine Funktion `intersectTriangle()`, welche die Schnittpunkte der Strahlen mit den Dreiecken des aktuell geladenen Modells bestimmt. Der vorderste (= sichtbare) dieser Schnitte soll als Punkt mittels `GL_POINTS` gerendert werden (in 3D-Koordinaten!). Implementieren Sie Sub- und Supersampling und passen Sie `glPointSize()` entsprechend an. (10 Punkte)
- Bestimmen Sie die Normale am Schnittpunkt durch lineare Interpolation aus den Vertex-Normalen mit Hilfe von baryzentrische Koordinaten. (5 Punkt)
- Lesen sie die in OpenGL aktiven Lichtquellen aus. Verwenden Sie nun das Modell für ambientes und ideal diffuses Licht und schalten Sie `GL_LIGHTING` aus. Die resultierende Farbe ermittelt sich aus den Farben des Lichts und des Materials (komponentenweise Multiplikation) unter Berücksichtigung der Reflektionseigenschaften und der Reflektionswinkel. Verwenden Sie zur Demonstration verschiedenfarbige Lichtquellen und Materialien. (10 Punkt)
- Implementieren Sie Schattenberechnung mit Hilfe von ray tracing. (5 Punkte)
- Erzeugen Sie sekundäre ideal reflektierende Strahlen und führen Sie die Rekursion bis zu einer geeigneten Tiefe durch, welche während der Laufzeit verändert werden können sollte. Die gerichtet diffuse Materialkomponente kann für die Spiegelung verwendet werden (Transmission ist optional). Ihre Szenen sollten diesen Effekt auch demonstrieren können. (5 Punkte)
- Schreiben Sie eine Routine zum Speichern des Bildes und stellen Sie dieses auch wie beim letzten Übungsblatt auf dem Bildschirm dar. Das Format für die Datei kann frei gewählt werden (PPM wird der Einfachheit halber empfohlen, die Spezifikation findet man im Netz). Sie sollten ein geeignetes Programm zur Darstellung des Bildes installiert haben. (5 Punkte)

Bonuspunkte: Für die Implementierung der folgenden Extrafunktionalitäten werden Bonuspunkte vergeben.

- Octree zur effizienten Traversierung der Szene, Sie sollten dabei zumindest qualitativ die Laufzeitunterschiede zu einer naiven Implementierung untersuchen und demonstrieren. (10 Punkte)
- Kd-tree zu noch effizienteren Traversierung der Szene, Sie sollten dabei wieder qualitativ die Laufzeitunterschiede zu einer naiven Implementierung und zum octree untersuchen und demonstrieren. (10 Punkte)
- Schärfentiefe (Depth of field). (10 Punkt)
- Motion Blur (verschiedene Positionen müssen interpoliert werden – z.B. Translation) (10 Punkt)
- Halbschatten bei ausgedehnten Lichtquellen (10 Punkt)
- Gerichtet diffuse Streuung (10 Punkt)
- Bump Mapping (z.B. prozedural mittels Perlin Noise) (10 Punkt)

Sie können Ihren ray tracer auch mit anderen geeigneten „features“ erweitern. Ggf. sprechen Sie diese bitte ab.

AUFGABE 2: Theoriefragen

1. Bidirectional path tracing wurde von Veach & Guibas und Lafortune & Willems eingeführt.¹ Diskutieren Sie Vor- und Nachteile des Verfahrens. (5 Punkte)
2. Whitted ray tracing ermöglicht neben spekularer Reflektion auch spekulare Brechung nach Snell's Gesetz. Berechnen Sie den effektiven Brechungswinkel für Transmission durch 10 cm Wasser. (5 Punkte)
3. Sampling. (15 Punkte)
 - a. Sie möchten ein Aliasing-freies Bild erzeugen. Diskutieren Sie welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit dies eintritt. In wie weit treten solche Bedingungen in der Praxis ein bzw. in wie weit können diese durch geeignete Maßnahmen sichergestellt werden kann?
 - b. Für ein 10 x 10 Pixelbild welches mit Hilfe von ray casting erzeugt wird, beschreiben Sie eine nicht-triviale Szene, welche kein Aliasing verursacht.
4. Radiometrie. (15 Punkte)
 - a. Die Leuchtkraft der Sonne beträgt 3.846×10^{25} Watt für eine Wellenlänge im sichtbaren Bereich. Wie groß ist die mittlere Strahlungsdichte der Sonne? Begründen Sie Ihre Antwort. (5 Punkte)
 - b. Wie viel Lichtenergie fällt auch eine 1 m^2 große Fläche in Berlin in 1 min. am 21. Juni um 12:00 Mittags? Fertigen hierzu zunächst eine Skizze an. (10 Punkte)
5. Beschreiben Sie, wie man ray tracing und radiosity effektiv kombinieren kann. Begründen Sie warum eine solche Kombination möglich ist, und warum ihr Ansatz effizient ist. (10 Punkt)

Bonus: Erklären Sie mathematisch schlüssig, warum beim ray tracing die Strahlrichtung umgedreht werden kann und Strahlen auch von der Kamera zur Lichtquelle verfolgt werden können. Unter welchen Umständen ist die Reziprozität nicht gewährleistet? (10 Punkte)

¹ Veach, E., and L. J. Guibas. "Bidirectional Estimators for Light Transport." In *Fifth Eurographics Workshop on Rendering*, 147-162, 1994, Lafortune, E. P., and Y. D. Willems. *Bi-Directional Path Tracing. Proceedings of Compugraphics 1993*. Alvor, Portugal, 1993.