

Warping und Partitionierung für Shadow Maps mit geringem maximalen Fehler

Jens-Fabian Goetzmann

1. Shadow Mapping: Motivation und Technik

Die Darstellung von Schlagschatten macht gerenderte Szenen realistischer und transportiert wichtige geometrische Informationen. In Echtzeitsystemen kommt es vor allem darauf an, dass die Schattenberechnung die Darstellung nicht wesentlich verlangsamt. Die Technik sollte möglichst genaue Schatten darstellen können und unabhängig von der Szene sowie der Position des Lichtes und des Betrachters sein.

Shadow Mapping [1] berechnet zunächst eine *Depth Map* aus der Sicht der Lichtquelle. Diese Map wird *Shadow Map* genannt. Beim anschließenden Rendern der Szene aus der Sicht des Betrachters wird dann jeder dargestellte Punkt in das Koordinatensystem des Lichtes transformiert und dort sein Tiefenwert mit dem in der Shadow Map gespeicherten verglichen. Ist ersterer gleich, so ist der Punkt beleuchtet, ist ersterer größer, so liegt der Punkt im Schatten.

2. Aliasing beim Shadow Mapping und Verbesserungsmöglichkeiten

Eines der Probleme, die bei der Verwendung von Shadow Mapping auftreten können, ist *Aliasing*. In Bereichen des Bildes, in denen durch die perspektivische Projektion der Kamera eine höhere Auflösung vorliegt als durch die Projektion der Lichtquelle, werden die einzelnen Pixel der Shadow Map sichtbar. Zur Lösung gibt es verschiedene Herangehensweisen, die in [2] diskutiert und verglichen werden.

Bei *Warping-Ansätzen* nutzt die Lichtquelle eine perspektivische Transformation, um die Nutzung der Shadow Map zu maximieren und höhere Auflösung in Bereichen zu erzielen, in denen auch durch die Kameraprojektion eine höhere Auflösung gegeben ist. Der erste Ansatz dazu waren *Perspective Shadow Maps (PSMs)* [3], die die Lichtberechnung im bereits perspektivisch transformierten Koordinatensystem der Kamera durchführen. PSMs haben allerdings einige Probleme, daher wurden die Techniken *Light Space Perspective Shadow Maps (LSPSMs)* [4] und *Trapezoidal Shadow Maps (TSMs)* [5] entwickelt, die jeweils im perspektivisch transformierten Koordinatensystem der Lichtquelle ein Warping-Frustum erzeugen, welches das Kamera-Frustum enthält.

Bei *Partitionierungsansätzen* werden mehrere Shadow Maps von verschiedenen Bereichen der Szene gerendert. Dabei wird unterschieden zwischen *z-Partitioning* [6], welches die Szene entlang der *z*-Achse des Kamerakoordinatensystems partitioniert, und *Face Partitioning* [7], bei welchem die Szene in die einzelnen Seiten des Kamera-Frustums (aus Sicht der Lichtquelle) partitioniert wird. Die Partitionierungsansätze haben den Nachteil, dass sie mehrere Shadow Maps rendern müssen und so zu einer Verlangsamung des gesamten Rendervorgangs führen.

3. Fehlermetrik und Vergleich

In [2] wird für die verschiedenen Ansätze eine Fehlermetrik aufgestellt. Dabei wird lediglich das *perspektivische Aliasing* betrachtet, welches durch unterschiedlich breite Seh- und Lichtstrahlen entsteht, während das *Projektionsaliasing*, welches durch die Orientierung der Oberflächen in der Szene erzeugt wird und nicht unabhängig von der Szene zu berechnen

ist, vernachlässigt wird. Aus dem maximalen Fehler in *x*- und *z*-Richtung über das gesamte Kamerafrustum lässt sich dann ein *Storage Factor* berechnen, der aussagt, wie viel größer als das gerenderte Bild (in Quadratpixel) die Shadow Map sein muss, damit der maximale Fehler so klein ist, dass kein Aliasing mehr sichtbar ist.

Für die Warping-Ansätze konnten die Autoren für den Spezialfall einer direktionalen Lichtquelle von oben zeigen, dass nach der Storage Factor für die Warping-Ansätze von PSM und LSPSM sowie – je nach Konfiguration – auch TSM äquivalent ist. LSPSM hat dabei aber den Vorteil, dass der Fehler in *x*- und *z*-Richtung der Kamera gleich verteilt ist. Für beliebige Lichtrichtungen konnte keine allgemeine Aussage getroffen werden. Für Licht aus der Richtung der Kamera jedoch kann Warping alleine keine Vorteile gegenüber Standard-Shadow-Maps bringen.

Für die Partitioning-Ansätze wurde ein Vergleich nur für von oben und von hinten kommendes, direktionales Licht durchgeführt. Für den ersten Fall bringt nur *z-Partitioning* in Vergleich mit LSPSM-Warping einen Nutzen, die Autoren zeigen sogar, dass mit steigender Anzahl an Shadow Maps sich der Storage Factor dem optimalen Storage Factor annähert. Für den zweiten Fall bringt nur Face Partitioning einen Vorteil.

In der Gesamtbetrachtung zeigen die Autoren, dass *z-Partitioning* in Verbindung mit LSPSM-Warping die beste Wahl für eine Anzahl von bis zu 15 Shadow Maps ist. Bei mehr als 15 Shadow Maps und einer direktionalen Lichtquelle von oben ist eine zusätzliche Kombination mit Face Partitioning empfehlenswert.

Die Autoren können somit einen neutralen Vergleich der verschiedenen Ansätze bieten. Der eigene Beitrag der Autoren ist allerdings nicht sehr hoch. Weiterhin ist die Wahl der Fehlermetrik nur dann sinnvoll, wenn genug Speicher für eine optimale Shadow Map zur Verfügung steht; Bei geringerem Speicher wäre ggf. eine Betrachtung des durchschnittlichen Fehlers sinnvoller, aber auch schwieriger zu berechnen.

Literatur

- [1] Lance Williams: *Casting Curved Shadows on Curved Surfaces*. In: *Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '78)*, Seiten 270 – 274. ACM, 1978.
- [2] Brandon Lloyd, David Tuft, Sung-eui Yoon und Dinesh Manocha: *Warping and partitioning for low error shadow maps*. In: *Proceedings of the Eurographics Symposium on Rendering 2006*, Seiten 215–226. Eurographics Association, 2006.
- [3] Marc Stamminger und George Drettakis: *Perspective shadow maps*. In: *ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2002)*, Seiten 557–562. ACM, 2002.
- [4] Michael Wimmer, Daniel Scherzer und Werner Purgathofer: *Light Space Perspective Shadow Maps*. In: *Proceedings of the 2nd EG Symposium on Rendering*, Seiten 143–151. Eurographics Association, 2004.
- [5] Tobias Martin und Tiow Seng Tan: *Anti-aliasing and Continuity with Trapezoidal Shadow Maps*. In: *Proceedings of the 2nd EG Symposium on Rendering*, Seiten 153–160. Eurographics, 2004.
- [6] Katsumi Tadamura, Xueying Qin, Guofang Jiao und Eihachiro Nakamae: *Rendering Optimal Solar Shadows Using Plural Sunlight Depth Buffers*. In: *CGI '99: Proceedings of the International Conference on Computer Graphics*, Seiten 166–173. IEEE Computer Society, 1999.
- [7] Graham Aldridge: *Generalized Trapezoidal Shadow Mapping for Infinite Directional Lighting*. http://hungryspoon.com/PX_web/paper/shadow%20mapping, 2004.