Karlsruhe Institute of Technology

Aufbau einer modernen Rendering-Pipeline

Proseminar-Ausarbeitung von

Jonas Heinle

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

23. Mai 2019

Inhaltsverzeichnis

1 Abstract **1**

2 Einleitung **2**

3 Moderne Rendering-Pipeline **4**
3.1 Anwendung 4
3.2 Geometrie Stufe 5
3.2.1 Vertex Shader 5
3.2.2 Primitive Assembly 5
3.2.3 Tessellation 5
3.2.4 Geometry Shader 5
3.2.5 Clipping 5
3.2.6 Viewport Transform 6
3.3 Rasterisierung 6
3.4 Fragment Shader 6
3.5 Per Fragment Operations 6
3.5.1 Multisample Fragment Ops 6
3.5.2 Stencil Test 6
3.5.3 Occlusion Query 6
3.5.4 Blending 6
3.5.5 Logical Operations 6
3.6 Framebuffer und Buffer Objekte 6
3.7 GPU Memory 6
3.8 Compute Shader 6

4 Unterschied moderne und klassische Rendering-Pipeline **8**
4.1 Freie Programmierung oder reines Konfigurieren 8
4.2 Vertex Arrays, Index Buffers, ... 8

5 Ausblick **9**
5.1 Raytracing Unterstützung 9
5.2 Task-/Mesh Shaders 9

Literaturverzeichnis **11**

1. Abstract

In unser heutigen hoch technologisierten Welt steigt stetig und rasant die Leistungsfähigkeit moderner Grafikhardware. Um heutzutage Grafik auf einem modernen Computer darzustellen sind mittlerweile eine Vielzahl von Zwischenschritten nötig. Diese Arbeit beschäftigt sich um die einzelnen Stufen dieser Kette, deren jeweilige Aufgabe, ihren Datentransfer untereinander, ihre Reihenfolge sowie ihren Arbeitskontext. Beim Arbeitskontext werden unter anderem die unterschiedlichen Koordinatensysteme untersucht. Dabei soll nicht nur konkret auf die Arbeitsweise der einzelnen Stufe eingegangen werden, sondern auch im Speziellen auf die Zusammenarbeit und Kommunikation. Exemplarische Fragestellungen die behandelt werden sind Folgende: Können in dieser Art der Abarbeitung Flaschenhälse entstehen und wie werden Sie umgangen bzw. bekämpft. Welchen Einfluss hat der Programmierer auf die Pipeline bzw. welche Schritte kann er selber implementieren und welche Schritte werden rein von der Hardware übernommen und können nicht von ihm modifiziert werden. Diese Arbeit macht den Aufbau einer modernen Rendering-Pipeline verständlich und vermittelt den Begriff Rasterisierung Zusätzlich wird es bei dieser Abhandlung, dank des stetigen technologischen Fortschritts, ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und Neuerungen gegeben, die zukünftig moderne Rendering-Pipelines beherrschen wird.

2. Einleitung

Wollen wir mit einer Anwendung 3.1 eine Szene von Objekten, z.B. eine Teekanne in einem Stadion, auf einem Computer darstellen, so liegt das Objekt zuerst in Form von vielen Eckpunkten(Dreiecken, Linien) in der Anwendung vor. Dabei befinden wir uns im "Model Space". Wollen wir die Teekanne innerhalb unserer Welt (das Stadion) bewegen, wenden wir auf jede Koordinate des Modells(gemeint sind alle mit dem Modell assoziierten Eckpunkte, Normalen) den "Model Transformän und gehen somit in den "World Space". Die geschieht meist in der Anwendung bevor die Geometrie zur Geometry Stage 3.2 schickt.

Um eine (orthographische oder auch perspektivische) Projektion vorzubereiten, wenden wir einen "View Transformän. Damit können wir in den "View Space"gelangen und vereinfachen die darauffolgende Projektion. Egal welche Art von Projektion wir angewendet haben, unsere Szene mit der Teekanne im Stadion liegt nun in einem im Einheitswürfel.

Nun können wir die Teekanne derart platzieren, das Teile außerhalb unseres Sichtfeldes(frustum) liegen. Aufgabe des Clipping 3.2.5 ist nun das "Frustum Culling", also das Abschneiden des nicht sichtbaren Bereichs, um weitere Berechnungen innerhalb darauffolgender Stufen zu beschleunigen. Der Entwickler hat keinen Einfluss auf das Clipping 3.2.5 (Abschneiden nicht relevanter Szenengeometrie). Ein Algorithmus der dieses Problem löst, ist der Cohen-Sutherland-Algorithmus.

Nach dem Beschneiden liegen nur noch die ßichtbaren"Primitive vor und gelangen in die nächste Pipelinestufe, dem Viewport Transform 3.2.6. Die x-und y-Komponente unserer Eckpunktositionen werden auf die Bildschirmgröße skaliert und bilden die schlussendliche Position des Vertex. Dabei ist es wichtig anzumerken, dass wir die z-Komponente für weitere Berechnungen in der Rasterisierung 3.3 speichern.

Nun sind wir an dem Punkt angelangt, an dem wir unsere transformierten, projizierten, sichtbaren Eckpunkte mit ihren Shadinginformationen vorliegen haben (Außerdem auch Tiefenwert!). Ziel der Rasterisierung ist es nun jeden einzelnen Bildschirmpixel mit diesen Informationen einzufärben. So haben wir nun das finale Bild produziert.

Die Eckpunkte gehen zuerst durch den Vertex-Shader und durchlaufen dort Transformationen. So sind wir zuerst im Model-SpaceSind diese aus der Vertex Shader - Einheit werden Sie zu Primitiven(meist Dreiecken) zusammengefasst. Der anschließende Tessalation-Shader nimmt die Primitive entgegen und kann Sie weiterhin unterteilen. Die Primitive werden von dem Tessellation- zum Geometry Shader durchgereicht, welcher diese vervielfachen, entfernen oder beliebig verändern kann. Nun kommt die Rasterisierung zum Einsatz,

welche unsere 3D-Objekte auf den 2D-Schirm bringt und uns Fragmente(Bildschirmpixel) liefert. Auf diesen Fragmenten lassen sich eine Vielzahl von Fragmentoperationen ausführen Die heutige moderne Rendering-Pipeline zeichnet sich durch seine gesteigerte Flexibilität gegenüber der Älteren, welche viele feste Funktionen beinhaltete, aus. Und dieser Trend scheint nicht abzureißen. Auch die heutigen rasanten technologischen Fortschritte, z.B. bei der Hardware, erlauben den Einsatz von Technologien, welche früher nicht eingesetzt werden konnten, und geben dem Entwickler immer mehr Freiheiten mit deren Benutzung. So feiert derzeit das Raytracing innerhalb der Echtzeitcomputergrafik einen Siegeszug und wackelt am Thron der bisherigen sehr effizienten Rasterisierung.

3. Moderne Rendering-Pipeline

3.1 Anwendung

Zu rendernde Objekte werden zunächst von der Anwendung zur Grafikkarte geschickt. Dabei liegen die Daten über ein Objekt beispielhaft im OBJ-Dateiformat vor. Die Informationen über einen Vertex, das sind die Position, Normale und Texturkoordinate sind für Berechnungen der nächsten Stufe, des Vertex Shaders 3.2.1, wichtig. Desweiteren werden Kamera- und Lichtposition in die Geometriestufe 3.2 übergeben. In der Anwendung können Informationen über ein Objekt geupdatet werden, z.B. bei Kollisionen von Objekten bei denen sich Positionen verändern. Allgemein werden hier Benutzereingaben gesammelt und verarbeitet. Als programmierbare Stufe dieser Pipeline kann der Anwender konkrete Verbesserungen in diese Stufe einbringen um z.B. mit einem BVH die Anzahl der Primitive für die Geometriestufe zu verrringern.

```
4   newmtl Material
5   Ns 96.078431
6   Ka 1.000000 1.000000 1.000000
7   Kd 0.640000 0.640000 0.640000
8   Ks 0.500000 0.500000 0.500000
9   Ke 0.000000 0.000000 0.000000
10  Ni 1.000000
11  d 1.000000
12  illum 2
13
```

Abbildung 3.1: Definition beispielhaftes Material

```
1   # Blender v2.79 (sub 0) OBJ File: ''
2   # www.blender.org
3   mtllib Suzanne.mtl
4   o Suzanne
5   v 0.437500 0.164062 0.765625
6   v -0.437500 0.164062 0.765625
7   v 0.500000 0.093750 0.687500
8   v -0.500000 0.093750 0.687500
9   v 0.546875 0.054688 0.578125
```

Abbildung 3.2: Vertex Daten im OBJ-Dateiformat

3.2 Geometrie Stufe

3.2.1 Vertex Shader

Abbildung 3.3: Funktionsweise Vertex Shader

Hier arbeiten wir komplett in Objektkoordinaten.

3.2.2 Primitive Assembly

3.2.3 Tessellation

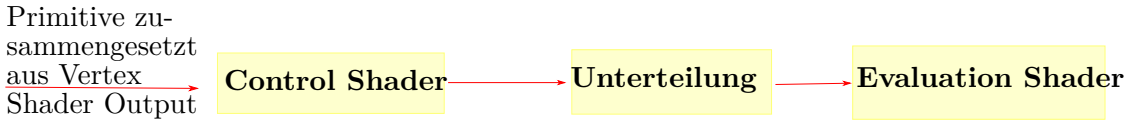


Abbildung 3.4: Funktionsweise Tessellation Shader

Hinzufügen neuer Vertices.

3.2.4 Geometry Shader

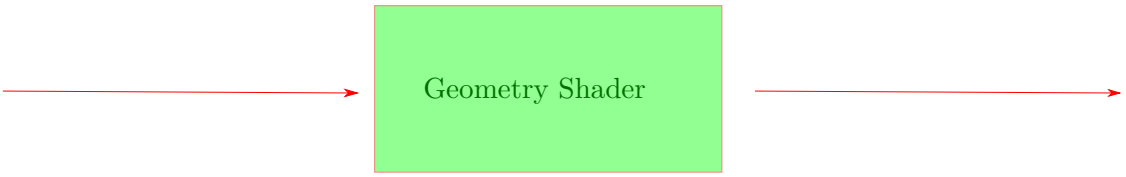


Abbildung 3.5: Funktionsweise Geometry Shader

3.2.5 Clipping

Um Objekte bzw. Objektausschnitte, welche außerhalb des Sichtfensters liegen, für die Bildsynthese zu verwerfen kommt nun das Abschneiden(englisch = "clipping"). Algorithmus von Sutherland-Hodgman. Wir gehen vom Clip-Space zum Window-Space

3.2.6 Viewport Transform

3.3 Rasterisierung

Abbildung 3.6: Ablauf Rasterisierung

In der vorherigen Geometriestufe wurde einem klar, dass wir ein Objekt nach dem Anderen betrachten (Object-ordered Rendering)

3.4 Fragment Shader

3.5 Per Fragment Operations

3.5.1 Multisample Fragment Ops

3.5.2 Stencil Test

3.5.3 Occlusion Query

3.5.4 Blending

3.5.5 Logical Operations

3.6 Framebuffer und Buffer Objekte

3.7 GPU Memory

3.8 Compute Shader

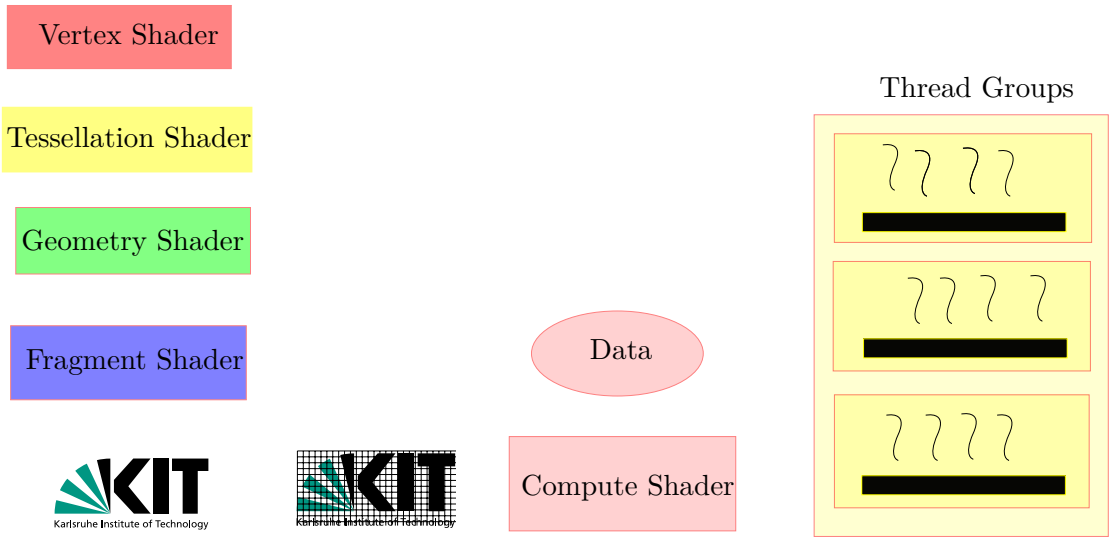


Abbildung 3.7: Funktionsweise Compute Shader

Mit der rasant steigenden Leistung heutiger Grafikhardware stieg auch der Wunsch beim Anwender nach mehr Rechenleistung. Parallesisierbare Arbeit wird in Threadgroups eingeteilt. Threads innerhalb einer Gruppe laufen gleichzeitig, wohingegen die Threadgruppen untereinander dies nicht müssen.

4. Unterschied moderne und klassische Rendering-Pipeline

4.1 Freie Programmierung oder reines Konfigurieren

Abbildung 4.1: OpneGL $\leq$ 2.0

Abbildung 4.2: Modernes OpenGL

4.2 Vertex Arrays, Index Buffers, ..

5. Ausblick

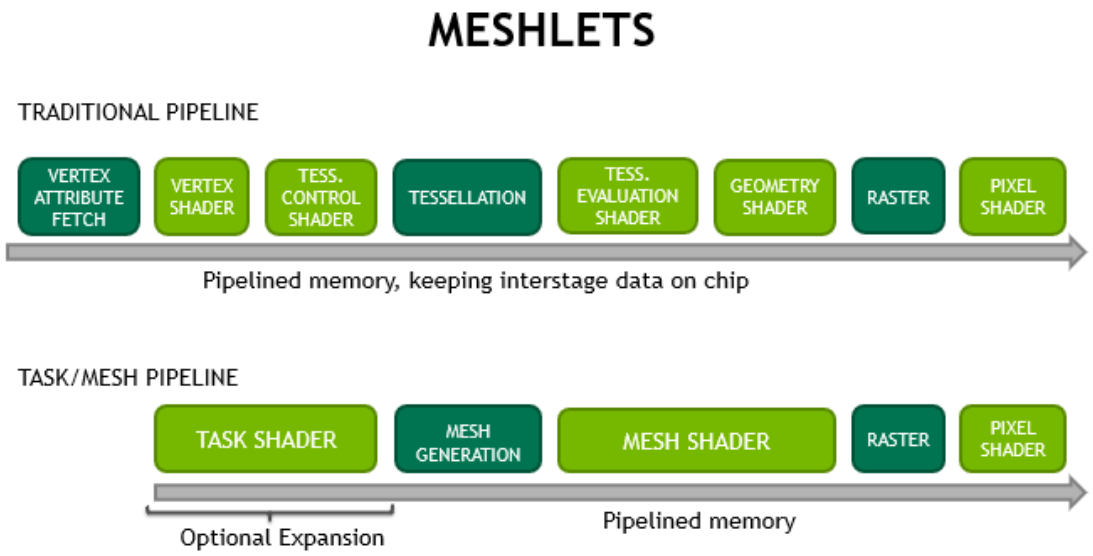
5.1 Raytracing Unterstützung

Moderne Ansätze gehen von der objektbasierten (siehe Rasterisierung) zu der Image-ordered Bilderstellung über. Hiermit werden nicht nur Primär- sondern auch Sekundärstrahlen(etc.) betrachtet und somit unter Anderem Schatten und Spiegelungen erreicht ohne dafür spezielle Techniken verwenden zu müssen (siehe Rasterisierung).

5.2 Task-/Mesh Shaders

Allgemein lässt sich an dieser neuen Technik der Trend von fixen Vorgängen innerhalb der Pipeline zu mehr flexibleren wiedererkennen. So kann der Task Shader mit der Control Shader Einheit der bisherigen Tessellation verglichen werden. Jedoch arbeiten wir hier mit mehreren Threads und mit frei wählbaren In- und Output! Mehr Flexibilität ist die Devise. Anstatt einzelne Dreiecke einzeln zu berechnen wie in der bisherigen Pipeline können wir mehrere gleichzeitig bearbeiten in sogenannten parallelen Thread-Gruppen. Hier wird also nichts anderes als das Modell von Compute Shader genommen und auf die Grafikpipeline angewandt. Vorallem bei komplexen Szenen mit vielen Millionen Dreicken verspricht man sich eine Entlastung der CPU. Durch diesen Aufbau können wir bereits im Vorfeld viele Dreiecke vom Rendern ausschließen.

Dabei wird ein komplexes Mesh in einzelne "Meshletsßerlegt, welche wiederrum von Mesh Shadern behandelt werden.


MESHLETS
TRADITIONAL PIPELINE
VERTEX ATTRIBUTE FETCH
VERTEX SHADER
TESS. CONTROL SHADER
TESSELLATION
TESS. EVALUATION SHADER
GEOMETRY SHADER
RASTER
PIXEL SHADER
Pipelined memory, keeping interstage data on chip
TASK/MESH PIPELINE
TASK SHADER
MESH GENERATION
MESH SHADER
RASTER
PIXEL SHADER
Optional Expansion
Pipelined memory

Literaturverzeichnis

[AMHH18] Tomas Akenine-Moller, Eric Haines und Naty Hoffman: *Real-time rendering*. AK Peters/CRC Press, 2018.

[Boy08] Chas Boyd: *The DirectX 11 compute shader*. ACM SIGGRAPH. Cité page, 25, 2008.

[F+04] Randima Fernando *et al.*: *GPU gems: programming techniques, tips, and tricks for real-time graphics*, Band 590. Addison-Wesley Reading, 2004.

[KWM16] David B Kirk und W Hwu Wen-Mei: *Programming massively parallel processors: a hands-on approach*. Morgan kaufmann, 2016.

[MS15] Steve Marschner und Peter Shirley: *Fundamentals of computer graphics*. CRC Press, 2015.

[Ni09] Tianyun Ni: *Direct Compute: Bring GPU computing to the mainstream*. In: *GPU Technology Conference*, Seite 23, 2009. `http://on-demand.gputechconf.com/gtc/2009/presentations/1015-Features-Advantages-DirectCompute.pdf`.

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 23. Mai 2019

(Jonas Heinle)