

Fragenkatalog zur Prüfung "Rendering" 186.101

Alexander Wilkie

Version 1.0
27. Juni 2006

Wichtiger Hinweis: diese Fragensammlung soll zwar das Lernen für die Prüfung erleichtern, aber es gibt *keine* Garantie dass nur diese Fragen gestellt werden, und dass selbst die Fragen die hier angeführt sind in demselben Wortlaut und/oder Reihenfolge gestellt werden. Die skizzierten Antworten sind bewusst stichwortartig ausgeführt, sollen vor allem eine grundlegende Orientierung zum Thema geben, und sind *nicht* in allen Fällen zur Beantwortung ausreichend.

Wie lässt sich das Problem der photorealistischen Bildsynthese mathematisch beschreiben?

Welche Eigenschaften hat diese Gleichung?

Durch die Rendering-Gleichung, eine Fredholmsche Integro-Differentialgleichung 2. Art (siehe Folien – die Struktur der Gleichung sollte gewusst werden, d.h. man sollte in der Lage sein sie in einer ihrer Formen aufzuschreiben, und die einzelnen Teile richtig zu deuten). Vom Standpunkt der Computergraphik ist die wesentlichste Eigenschaft dass die Gleichung rekursiv – und daher nicht analytisch lösbar – ist.

Welche grundsätzlichen Lösungsstrategien der RG gibt es?

Inversion (in der Praxis bedeutungslos), Expansion (rekursive Auswertung Teilintegralen entlang eines Pfades der vom Auge oder von der Lichtquelle ausgehen kann) und Iteration (was das Rechnen mit einem "State" voraussetzt, der die Beleuchtungssituation der Szene kodiert, was wiederum die inhärente Diskretisierung bei allen Radiosity-Methoden erklärt).

Gibt es Verfahren der Bildsynthese die nicht als eine Lösungsstrategie dieser Gleichung verstanden werden können?

Nein, sogar OpenGL paßt in dieses Schema...

Kurze Beschreibung der Iteration? Welche(s) Verfahren verwendet diese Methode in der Praxis?

Iteration stellt den Beleuchtungszustand in der Szene in diskretisierter Form dar (wozu die Szene i.A. polygonalisiert werden muß und nur diffuse Oberflächen enthalten kann), und baut darauf auf daß der Endzustand ein Fixpunkt der Iteration

$$L_{n+1} = L_e + T L_n$$

ist. In der Praxis entspricht das dem Radiosity-Ansatz, durch Auflösen eines riesigen Gleichungssystems der Endzustand dieser Iteration ermittelt wird.

Wenn das Markenzeichen der Iteration die Diskretisierung der Beleuchtungsinformation ist, warum erzeugt dann Photon Tracing (das ein

Expansionsverfahren ist) Lightmaps, die auf den ersten Blick im Prinzip genauso aussehen wie eine Radiositylösung?

Kernunterschied: Photon Tracing erzeugt so eine diskretisierte Beleuchtungsinformation als *Endprodukt* der stochastischen Simulation, und Iteration rechnet *mit* dieser Information. Was mit ein Grund ist warum Iteration i.A. mehr Einschränkungen hat als Expansion - die Notwendigkeit mit dem State iterativ rechnen können zu müssen legt einem mehr Einschränkungen auf als eine Datenstruktur in der man nur einmal Informationen über den Endzustand aufzeichnen muß.

Welche grundsätzlichen Expansionsmethoden gibt es um die Rendering-Gleichung zu lösen?

- **Raytracing**
wertet das rekursive Integral nur teilweise aus, Lösung ist nicht vollständig (kann aber natürlich trotzdem toll aussehen - GI ist es halt keine)
- **Path Tracing**
nur vom Auge aus, wenig effizient, sogar mit multiple Importance sampling
- **Bidirektionales Path Tracing**
effizienter als reines PT, aber immer noch zu ineffizient für allgemeinen Einsatz z.B. in der Filmindustrie
- **Metropolis**
"add on" zu bidirektionalem PT, das noch nicht 100% ausgereift ist bzw. schwierig zu implementieren ist
- **Photon Tracing**
von der Lichtquelle aus, setzt Datenstrukturen zur Aufzeichnung der "Photonen" voraus

Was für Datenstrukturen kann man zur Aufzeichnung der Photonen beim Photon Tracing verwenden?

Lightmaps und Photon Maps. Erste sind "Lichttexturen" mit fixer Auflösung, die zweiten speichern einzelne Photonen.

Lightmaps + : fixer, i.A. vergleichsweise niedriger Speicherbedarf, einfache Rekonstruktion, schnelle Auswertung, einfache Implementierung

Lightmaps - : begrenzte Auflösung, u.U. hohe Setup-Zeiten (Flächeninhalt aller "Pixel" muß bekannt sein), Interpolation nötig

Photon Maps + : hohe Genauigkeit, hohe Auflösung v.A. bei Kaustiken, kaum Setup-Zeiten

Photon Maps - : extrem hoher Speicheraufwand, schwierige, fehleranfällige und teilweise sehr langsame Rekonstruktion, komplexe Implementierung

Was für Szenen kann klassisches Whitted Raytracing gut darstellen, welche nicht?

+ : Spiegel, Transparenz, diffuse Oberflächen, Schatten die durch direkte Beleuchtung entstehen

- : beliebige BRDFs (seidenmatte Oberflächen), indirekte Beleuchtung, Flächenlichtquellen (letzteres wird häufig durch einfache Erweiterungen angeboten)

Wie ist die Architektur des Pixar RenderMan in etwa aufgebaut? Was hat sie für Stärken und Schwächen?

PRM ist ein batch-orientiertes Scanline Renderingsystem das sich durch eine extrem hohe Flexibilität, Zuverlässigkeit und Robustheit auszeichnet. Die Flexibilität wird vor allem durch

die Möglichkeit erreicht an praktisch beliebiger Stelle in den Arbeitsablauf eingreifen zu können, und dadurch daß dieses Eingreifen meist in Form von sehr mächtigen Shadern erfolgt (Details siehe Folien - wenn ich das hier ausführe dann kann man den Fragenkatalog gleich als Skriptum verkaufen... :-).

Die Robustheit kommt nicht zuletzt daher daß der eigentliche Rendering-Algorithmus von PRM extrem primitiv ist - weder Schatten noch Reflexionen können berechnet werden, und müssen mühsam durch shadow und reflection maps vorgetäuscht werden. Aber gerade diese Einfachheit - und die Möglichkeit in alle Aspekte der Bildsynthese eingreifen zu können - ist für 3D-Künstler eine sehr wertvolle Eigenschaft; die Fähigkeit Schatten dorthin zu tun wo man sie haben will (und nicht dort wo die Physik sie verlangen würde) ist für gestalterisch tätige Personen ein hochwillkommenes Feature.

Wie arbeitet der Radiance-Renderer in etwa? Was hat er für Stärken und Schwächen?

Es handelt sich um einen teilweise stochastischen Hybridrenderer der auf typische Architekturszenen hin optimiert ist. Diese kann er sehr effizient darstellen, aber es gibt Szenen die von R. nicht korrekt berechnet werden können (z.B. Kaustiken). R. verwendet eine größere Anzahl von gut aufeinander abgestimmten Heuristiken (automatische und auf Wunsch vom Benutzer unterstützte Erzeugung von Hilfslichtquellen, Irradiance Caching, frühzeitige Eliminierung unwichtiger Lichtquellen) um optimale Ergebnisse zu erzielen, und ist softwaretechnisch eine Sammlung von mehreren für sich relativ simplen Tools die durch Front-Ends gemanagt werden - der Benutzer bekommt teilweise gar nicht mit wieviele Hilfsprogramme an der Erzeugung seines Bildes beteiligt sind.

Was ist der Grund für die Vorliebe der Renderer für Monte Carlo Integration (MCI)?

Diese Vorliebe beschränkt sich hauptsächlich auf die Expansionsverfahren, da diese i.A. die rekursive Berechnung von hochdimensionalen Integralen erfordern (auf jeder Rekursionstiefe muß z.B. bei der vom Auge ausgehenden Expansion über die gesamte Hemisphäre an dem Punkt integriert werden). Hochdimensionale Integrale lassen sich aber generell mit MCI effizienter lösen als mit herkömmlichen, deterministischen numerischen Integrationsmethoden (DNI).

Kern dessen ist die Tatsache daß MCI bei niedrigen Dimensionen zwar normaler DNI weit unterlegen ist, DNI aber bei steigender Dimension des Integranden immer ineffizienter wird während MCI immer gleich schlecht (oder gut) ist.

Und was hat es mit Quasi Monte Carlo (QMC) auf sich?

Reine Zufallszahlen sind für eine numerische Integration nicht besonders gut geeignet, da sie den Integranden nicht gleichmäßig abtasten (es gibt "Löcher" in den Zufallszahlen). Eine völlig gleichmäßige Abtastung (wie z.B. in einem regelmäßigen Gitter) ist allerdings kontraproduktiv, da dadurch die Abhängigkeit der Effizienz von der Dimension des Integranden entsteht (siehe das Skriptum von Laszlo Szirmay). Was man möchte sind Zufallszahlen die die Ebene möglichst regelmäßig bedecken ohne eine regelmäßige Struktur aufzuweisen, und genau das erfüllen die Pseudozufallszahlen a la Halton-Sequenzen u.ä.

Was ist importance sampling im Zusammenhang mit stochastischen Renderingprogrammen?

IS ist allgemein die Technik bei der man die Konvergenz einer Monte Carlo Integration beschleunigt indem man den Integranden bevorzugt dort auswertet wo er numerisch groß (und damit für das Ergebnis wichtig) ist. Das klassische Rendering-Beispiel ist daß man beim verfolgen eines rekursiven, stochastischen Pfades an einem gegebenen Punkt die neue Strahlrichtung bevorzugt in die Richtung wählt in die die BRDF groß ist (d.h. in die am meisten Licht weiterreflektiert wird und die daher den meisten Einfluß auf das Ergebnis haben). Eine gleichförmige Abtastung der Hemisphäre über dem Punkt würde weit weniger schnell zu einem guten Ergebnis führen als diese gezielte Bevorzugung relevanter Richtungen.

Was ist das Problem bei Multiple Importance Sampling? Bei welchen Renderingmethoden tritt es beispielsweise auf?

MIS tritt auf wenn man mehr als einen Schätzwert für ein Integral ausrechnet indem man mehrere Samples nimmt (z.B. Samples aus Rekursion und Lichtquellensamples). Das Problem - das sich z.B. beim Path Tracing besonders schön studieren läßt - hat überdies die Eigenschaft daß i.A. nur einer dieser Schätzwerte qualitativ gut ist, und die Auswahl welcher das ist kann i.A. nur durch Meta-Heuristiken a la Veach & Guibas erfolgen da eine exakte Auswahl Kenntnis der Lösung erfordern würde. Bei komplexeren Renderern wie z.B. Bidirektionalen Path Tracern ist so eine Auswahl bereits ziemlich kompliziert

Was ist Spektralrendering?

Bildsynthese bei der nicht mit Farbwerten sondern mit spektralen Darstellungen von Licht und Reflektivität gerechnet wird.

Was sind die Vor- und Nachteile gegenüber Bildsynthese im Farbraum?

+ : Vorhersage des Aussehens möglich, Einbindung von aufwendigeren physikalischen Effekten (Dispersion, Polarisierung, Fluoreszenz) möglich
- : höherer Rechenaufwand, Vorhersagefähigkeit wird selten benötigt, Rohdaten (Spektraldaten für Oberflächen) sind schwer zu bekommen, Implementierung aufwendiger

Wie können Spektren intern dargestellt werden?

Regelmäßiges sampling (schnell, ungenau oder hoher Speicheraufwand), Basisfunktionen (genau bei geringem Speicheraufwand, langsam), Hybridansätze (komplex, das beste aus beiden Ansätzen)

Welche Schwierigkeit bringt es bei der Implementierung wenn man Polarisation und / oder Fluoreszenz in einem Renderingsystem einbaut?

Die Datenstrukturen für Licht und Reflexionseigenschaften sind nicht mehr gleich; man muß zwischen Filter und Licht unterscheiden.

Was sind HDR-Bilder, und warum sind sie für physikalisch basiertes Rendering interessant?

Bildformate die mehr als 8 bit pro Kanal speichern können; für Rendering sind sie interessant weil reale Szenen einen weit höheren Kontrastumfang haben als der in 24bit-Bildern verfügbare.

Welche Formate gibt es?

OpenEXR, LogLuv TIFF

Warum gibt es praktisch keine spektrale Bildformate?

Hoher Speicheraufwand, kaum Bedarf. Einzige Nische: interne Speicherformate von spektralen Renderingsystemen.

Was ist tone mapping (TM)?

Präzise nur die Angleichung der Helligkeitslevels in einem HDR-Bild auf die Möglichkeiten eines LDR-Ausgabegerätes.

Umgangssprachlich allgemein die möglichst naturgetreue Darstellung eines HDR-Bildes auf einem LDR-Display.

Was ist das Verhältnis von gamut mapping (GM), tone mapping (TM) und tone reproduction (TR)?

GM ist die Angleichung des Farbraumes eines (HDR-)Bildes an den Farbraum des Ausgabegerätes, TM ist die Angleichung der Helligkeitslevels, und TR ist der Oberbegriff dazu. (ist aber keine allgemein akzeptierte Nomenklatur)

Was für Kategorien von TM-Verfahren gibt es grob?

Globale (das ganze Bild wird mit einem Faktor skaliert der ad hoc definiert wird so daß das Bild gut aussieht), Lokale (Teile des Bildes werden mit jeweils anderen Faktoren skaliert die trotzdem ad hoc bestimmt werden) und Psychophysikalische (es werden die Eigenschaften des menschlichen visuellen Systems in die Berechnungen einbezogen, um eine möglichst realistische Darstellung zu erreichen)

Mit welchen Funktionen werden Oberflächen beschrieben?

BRDF, BSDF

Was für Eigenschaften haben diese Funktionen?

Anzahl der Dimensionen (je nachdem ob die BRDF anisotrop ist, und ob die Wellenlängen mitzählen irgendwas zwischen 3 und 7-8 - und mehr), Wesen einer PDF erklären

Was ist eine BTF (im Gegensatz zu einer BRDF)?

Eine Funktion die das Reflexionsverhalten einer ganzen Textur auf einmal kodiert. Ist in der Erfassung und Auswertung sehr zeit- und datenintensiv, und in der Einbindung in Renderer ebenfalls eher aufwendig (wobei es im Echtzeitbereich mittlerweile große Fortschritte gibt)

Was gibt es für prinzipiell unterschiedliche Ansätze um Oberflächen in der Praxis zu beschreiben (d.h. woher kann man seine BRDF haben)?

Was sind die prinzipiellen Vor- und Nachteile dieser Ansätze?

Grundsätzliche Methoden: analytisch vs. gemessene Werte. Analytisch zerfällt wieder in zwei Unterkategorien, nämlich ad-hoc ("sieht gut aus" ohne tieferen physikalischen Sinn, z.B. Phong oder Blinn) und physikalisch basiert (Cook-Torrance, He-Sillion-Torrance Greenberg)

analytisch + : oft leicht implementierbar, gute Kontrolle für den Anwender durch die Parameter, oft effizient stochastisch auswertbar
analytisch - : selten wirklich physikalisch plausibel, realistischere Modelle komplex und langsam (und dann auch nicht mehr leicht implementierbar)
Meßwerte + : logischerweise hoch realistisch
Meßwerte - : wenig bis keine gezielte Kontrolle durch den Anwender, große Datenmengen, schwere Erfassung, schlechte Auswertbarkeit in einem stochastischen Renderer (rejection sampling nötig)

Was für eine Eigenschaft wünscht man sich vom Standpunkt eines stochastischen Renderingprogrammes aus bei einer BRDF-Darstellung?

Daß sie invertierbar ist, d.h. daß sich effizient Samples die dieser Verteilung gehorchen aus gleichverteilten Zufallszahlen ableiten lassen. Nur falls das gewährleistet ist kann man effizient importance sampling betreiben.

Kameramodelle: Was für eine Art von Kamera ist die klassische Computergraphik-Kamera, und was ist charakteristisch für sie?

Lochkamera - keinerlei Tiefenunschärfe

Warum gibt es in der Realität keine Lochkamas?

Weil eine Lochkamera keine Öffnung hat durch die Licht dringen könnte, daher auch kein Film oder CCD belichtet werden kann. Echte Kameras brauchen eine Blende durch die wenigstens ein bißchen Licht dringen kann.

Warum haben Kameras dann trotzdem möglichst kleine Blendenöffnungen?

Weil die Tiefenunschärfe mit steigender Blendenöffnung immer mehr zunimmt - der trade-off ist bei realen Kameras zwischen Belichtungszeit und Tiefenschärfe.

Wie kann man Tiefenunschärfe in einem stochastischen Renderer simulieren?

Indem man den Anfangspunkt des Strahls durch einen zufällig gewählten Ort in einer simulierten Blende gehen läßt; dadurch wird eine reale Kamera gut angenähert.