

# Geavanceerde Globale Belichting met Lightcuts

Thomas De Bodt

Philip Dutré

juni 2008

## Samenvatting

Belichting is fundamenteel om een realistisch beeld te bekomen. Hoewel de traditionele technieken in vrijwel alle omstandigheden een accuraat resultaat kunnen berekenen, schalen deze niet goed als veel lichten aanwezig zijn.

In dit artikel wordt een recente techniek die sublineair schaalt in het aantal lichten kort toegelicht: Lightcuts. Hiernaast worden ook onze eigen uitbreidingen om dit algoritme te versnellen besproken.

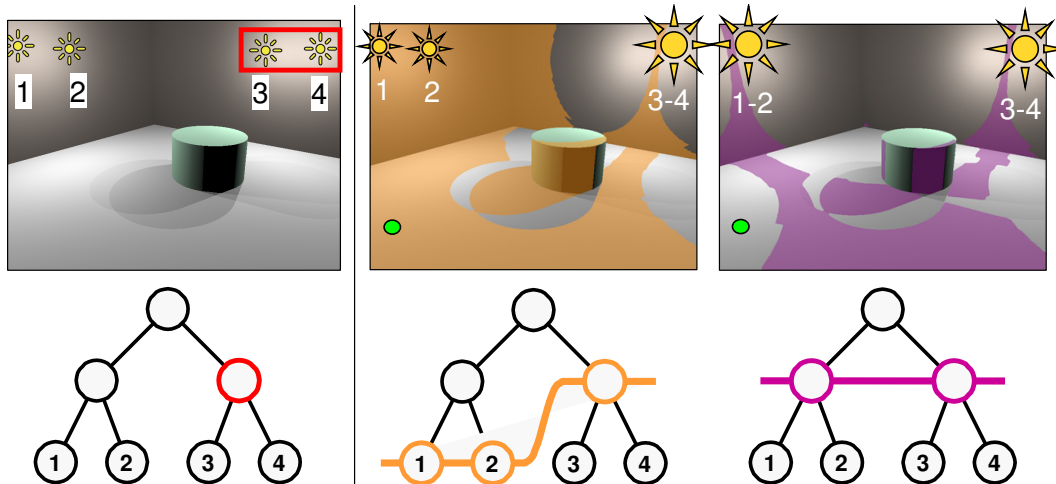
## 1 Introductie

Het berekenen van realistische belichting, ook wel realistische beeldsynthese (renderen) genoemd, is een subdomein van computer graphics. Het doel hierbij is om vanuit de beschrijving van een omgeving (scène) te bepalen hoeveel licht invalt in elk punt en wat het uitzicht vanuit een bepaald standpunt hierdoor is.

In Figuur 1 is te zien dat de berekening van belichting fundamenteel is om een realistisch beeld te bekomen. Hierdoor is bijvoorbeeld de zacht verlopende schaduw onder de tafel, doordat deze de lichtbronnen hier afschermt, aanwezig. De belichting die rechtstreeks van de lichtbronnen afkomstig is, wordt ook directe belichting genoemd. Hiernaast kan licht ook reflecteren van andere oppervlakken, dit wordt de indirecte belichting genoemd. Een voorbeeld hiervan is te zien op het plafond: hoewel alle lichtbronnen enkel neerwaarts schijnen,



Figuur 1: Een beeld van een vergaderzaal met onrealistische (links) realistische belichting (rechts).



Figuur 2: De lichtboom die in het Lightcuts algoritme gebruikt wordt (links) en 2 mogelijke benaderingen of snedes in deze boom (rechts). In de lichtboom wordt één lichtcluster aangegeven in rood. Voor beide benaderingen werd ook de zone in het beeld waar deze accuraat is aangegeven. Deze afbeelding is een aangepaste versie van deze van Walter et al. in [4].

is dit toch niet zwart. Dit komt doordat een deel van het licht dat op de muren en vloer invalt, gereflecteerd wordt naar het plafond.

Het berekenen van belichting heeft heel wat toepassingen. In de filmindustrie wordt het hierdoor bijvoorbeeld mogelijk om praktisch niet realiseerbare scenario's toch overtuigend in beeld te brengen. Ook in computerspellen wil men vaak de virtuele wereld realistisch visualiseren. Anderzijds is het vaak ook interessant om het uitzicht een nieuw product of bouwwerk te kennen voordat men dit fysisch realiseert. Men kan bijvoorbeeld controleren of de belichting in een gebouw voldoet aan een aantal criteria.

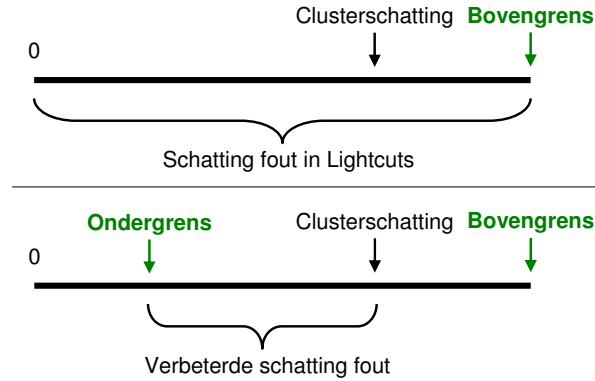
Meer informatie omtrent de berekening van realistische belichting is te vinden de boeken van Dutré et al. [1] en Pharr en Humphreys [3].

## 2 Het many-light probleem

Om een realistisch beeld te verkrijgen is het ook nodig om de belichting goed te modelleren. Vaak vereist dit veel of complexe lichtbronnen. Omdat de meeste belichting goed benaderd kan worden met een groot aantal eenvoudige lichtbronnen, wordt dit ook wel het many-light probleem genoemd. De traditionele technieken voor realistische beeldsynthese focussen voornamelijk op een fysisch correct resultaat maar schalen niet goed in deze situaties.

In mijn thesis werden een aantal technieken om dit probleem efficiënt op te lossen geanalyseerd. Hierbij werd voornamelijk gefocust op een recente techniek: Lightcuts van Walter et al. [4].

Het basisidee bij Lightcuts bestaat erin om een groep lichtbronnen (cluster) met een gelijkaardig bijdrage te benaderen met 1 felle lichtbron. Om de lichten efficiënt in clusters op te delen, wordt gebruik gemaakt van een hiërarchie van lichtclusters. Een voorbeeld van zo'n lichtboom is te zien in Figuur 2. Onderaan deze boom zitten de individuele lichten en bovenaan de cluster die alle lichten bevat. In deze figuur zijn ook 2 mogelijke benaderingen te zien. Dit is telkens een snede in de lichtboom: elke lichtbron zit in juist 1 cluster van de benadering. De kwaliteit van de benadering die een bepaalde snede biedt, varieert echter van



Figuur 3: De schatting van de fout van de benadering voor een cluster (clusterschatting) in Lightcuts (bovenaan) en met de voorgestelde verbetering (onderaan).

punt tot punt. De fout van een benadering neemt typisch toe naarmate het punt dichterbij een grote cluster ligt. Hier zal het relatieve belang van deze cluster immers groter zijn. Voor het groene punt in Figuur 2 is bijvoorbeeld enkel de 1ste benadering voldoende.

Om een goede snede te bepalen voor een bepaald punt, wordt gebruik gemaakt van de wet van Weber. Toegepast op belichting zegt deze wet dat de minimaal observeerbare verandering in intensiteit ongeveer proportioneel hiermee is. Indien dus de relatieve fout klein genoeg is, zal geen verschil zichtbaar zijn. In het slechtste geval kunnen mensen veranderingen tot  $\pm 1\%$  opmerken maar typisch resulteert een fout van  $2\%$  ook niet in zichtbare artefacten. De snede wordt nu opgebouwd door te starten van een zeer ruwe benadering (i.e. alle lichten, de wortel in de lichtboom, benaderen door 1 felle lichtbron). Deze wordt vervolgens steeds verbeterd door de cluster in de snede met de grootste fout te vervangen door zijn 2 kinderen in de lichtboom. Als de fout van de snede uiteindelijk klein genoeg is, kan gestopt worden.

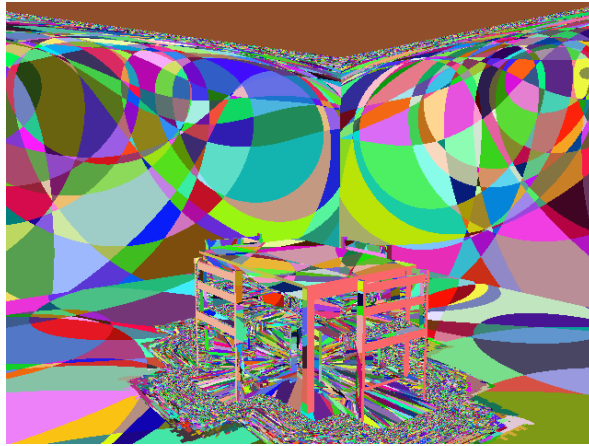
De resultaten van onze implementatie bevestigen dat Lightcuts sublineair schaalte in het aantal lichtbronnen. Indien de directe belichting in de vergaderzaal uit Figuur 1 benaderd wordt door 4000 lichtbronnen, gebruikt Lightcuts gemiddeld 160 clusters ( $1/25$ ). De rekentijd is 4 minuten, ongeveer  $1/10$  van de tijd die een traditioneel algoritme (d.w.z. de bijdrage van elk licht afzonderlijk berekenen) nodig heeft. Voor het rechtse beeld in Figuur 1 werd ook de indirecte belichting berekend ( $\#$  lichten  $\times 8$ ) door lichtbronnen in heel de scène te genereren. De toename van het aantal clusters in de benadering hierdoor is slechts  $\times 2$ . Ook de rekentijd verdubbelt ongeveer tot 8 minuten.

### 3 Eigen bijdrages

Hoewel het Lightcuts algoritme heel wat performanter is dan een traditionele techniek indien veel lichten aanwezig zijn, is toch nog verbetering mogelijk. Onze bijdrages verbeteren Lightcuts op 2 manieren: door de fout van de benadering beter te schatten en door coherentie tussen naburige pixels in het beeld uit te buiten.

#### 3.1 Beter schatten van de fout

In Lightcuts wordt de fout van een cluster ingeschat door een bovengrens op de bijdrage van een cluster te berekenen. Deze bovengrens is dus de maximaal mogelijke belichting in een specifiek punt door een groep lichten. De bovengrens op de bijdrage is ook een bovengrens op de absolute fout van de benadering voor deze cluster, zoals bovenaan in Figuur 3 te zien is.



Figuur 4: De regio's in een eenvoudige scène waar Lightcuts dezelfde benadering gebruikt.

Een 1ste probleem hiermee is dat bij het berekenen van deze bovengrens verondersteld wordt dat de cluster volledig zichtbaar is. Vanuit een punt dat in een schaduw ligt, zijn echter heel wat lichtbronnen (en dus ook clusters) niet zichtbaar. De bovengrens op de bijdrage zal hier dus sterk overschat worden. Concreet is het gevolg hiervan dat de snede-grootte (d.w.z. het aantal clusters in de benadering) in schaduwregio's zeer groot is. Het bepalen of een cluster onzichtbaar is (d.w.z. een bovengrens van 0 heeft) gebeurt in onze oplossing in een verwerkingsfase vooraf (preprocess). Bij deze verwerking vooraf wordt de scène eerst met een uniform rooster gediscretiseerd in een aantal cellen. Voor elke cel worden vervolgens een aantal clusters gekozen en op volledige onzichtbaarheid gecontroleerd. Aan de hand van deze resultaten kan, bij het opbouwen van de snede, voor een cluster in de lichtboom bepaald worden of deze onzichtbaar is of niet vanuit een bepaalde cel.

Een 2de probleem met de fout-schatting in Lightcuts is dat deze altijd zeer ruim blijft. Zoals te zien in Figuur 3 is de geschatte fout altijd groter dan de werkelijke bijdrage van de cluster, omdat enkel een bovengrens berekend wordt. De voorgestelde oplossing hiervoor bestaat erin om ook een ondergrens op de bijdrage van een cluster te berekenen. Deze ondergrens is de minimale belichting in een bepaald punt ten gevolge van een groep lichten. Bij de berekening van deze ondergrens wordt ook bepaald of de cluster volledig zichtbaar is. Hiervoor gebruik gemaakt van een bestaande techniek van Haines en Wallace [2] waarbij gecontroleerd wordt of de schacht tussen een punt en een cluster (dit is een volume dat alle ruimte tussen beide omvat) leeg is.

Uit de resultaten blijkt dat het voordeel van een betere schatting van de fout sterk kan verschillen. De snede-grootte daalt gemiddeld met 30%–70%. De daling is groter naarmate de bovengrens in Lightcuts ruimer is. Door een ruime bovengrens zal de fout immers sterk overschat worden. De daling in rekestijd is wel kleiner: 5%–65%. Dit is een gevolg van de extra kost die bij de betere schatting van de fout komt kijken. Voornamelijk het bepalen of een cluster volledig zichtbaar is (nodig voor de ondergrens op de bijdrage van een cluster), is vrij duur. Naast de rekestijd voor het beeld, is ook de verwerking vooraf (nodig voor de betere bovengrens) niet gratis. Deze is echter onafhankelijk van het standpunt van waaruit het beeld berekend wordt. De resultaten uit de verwerking vooraf kunnen dus bijvoorbeeld hergebruikt worden voor alle frames in een animatie.

### 3.2 Uitbuiten coherentie

Zoals te zien in Figuur 4, is de benadering die het Lightcuts algoritme gebruikt in naburige pixels vaak zeer gelijkaardig. Door deze afzonderlijk te bepalen voor elke pixel wordt dus heel wat overbodig werk gedaan. In onze implementatie neemt het bepalen van een goede benadering (o.a. schatten van de fout) ongeveer 50% van de totale tijd in beslag. De auteurs van Lightcuts stellen zelf een techniek (Reconstruction cuts) voor om de coherentie tussen naburige pixels uit te buiten. Hierbij wordt echter gebruik gemaakt van interpolatie waardoor niet dezelfde kwaliteit als Lightcuts gegarandeerd is.

In onze techniek wordt de coherentie tussen naburige pixels uitgebuit zonder de Lightcuts oplossing te benaderen. Dit gebeurt door het beeld eerst op te delen in blokken. Hierna wordt voor alle punten in een blok dezelfde snede gebruikt. Het voordeel hiervan is dat onder andere de fout voor alle punten in een blok nu in 1 keer geschat kan worden. Er wordt ook gecontroleerd of een blok nog wel coherent is. Indien dit niet het geval is, wordt het blok verdeeld in 4 subblokken.

Uit de resultaten blijkt dat hoewel de totale hoeveelheid werk (d.w.z. de gemiddelde snedegrootte) lichtjes stijgt ( $\pm 5\%$ ), de totale rekentijd toch behoorlijk afneemt (15%–45%). Het voordeel is afhankelijk van de relatieve kost van het bepalen van de benadering t.o.v. het uitrekenen van de belichting hierdoor. Deze versnelling werd wel enkel behaald in scènes zonder glanzende materialen.

## 4 Besluit

Om een reële scène goed te modelleren zijn vaak veel lichtbronnen nodig. Dit wordt ook wel het many-light probleem genoemd. Lightcuts is een recente techniek die het mogelijk maakt dit probleem efficiënt op te lossen: de rekentijd is sublineair in het aantal lichtbronnen.

Wij hebben 2 mogelijke manieren onderzocht om Lightcuts nog te verbeteren. Ten 1ste door de fout van de benadering beter in te schatten. De rekentijd daalt hierdoor met 5%–65% maar de verwerkingstijd vooraf moet wel hergebruikt kunnen worden. Ten 2de werd ook de coherentie in Lightcuts uitgebuit. Hierdoor werd een daling van 15%–45% in rekentijd bekomen.

## Referenties

- [1] Philip Dutré, Philippe Bekaert, and Kavita Bala. *Advanced Global Illumination, 2nd Edition*. AK Peters Limited, 2006.
- [2] Eric A. Haines and John R. Wallace. Shaft culling for efficient ray-cast radiosity. In Pere Brunet and Frederik W. Jansen, editors, *Photorealistic Rendering in Computer Graphics*, Eurographics, pages 122–138. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1991.
- [3] Matt Pharr and Greg Humphreys. *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2004.
- [4] Bruce Walter, Sebastian Fernandez, Adam Arbree, Kavita Bala, Michael Donikian, and Donald P. Greenberg. Lightcuts: a scalable approach to illumination. *ACM Transactions on Graphics*, 24(3):1098–1107, July 2005.