

Phong Illumination Model

Maximilian Christian Roth

8. Februar 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
2	Inputs & Outputs	2
3	RGB-Vektoren	3
3.1	Addition von RGB-Vektoren	3
3.2	Multiplikation von RGB-Vektoren	4
3.3	Multiplikation eines RGB-Vektors mit einer Konstante	4
4	Phongs Reflexionstypen	4
4.1	Die ambiente Reflexion	4
4.2	Die diffuse Reflexion	5
4.3	Die spekulare Reflexion	6
4.4	Das gesamte Phong Beleuchtungsmodell	7
5	Annahmen des Phong Modells	8
5.1	Annahmen des Modells	8
5.2	Annahmen vieler Implementationen	9
6	Quellen	10
6.1	Textquellen	10
6.2	Bildquellen	10

1 Einführung

Das Phong-Illumination-Model oder Phong Beleuchtungsmodell ist ein Verfahren zur Berechnung der Intensität von Reflexionen auf der Oberfläche von Objekten, welches im Jahr 1975 von Bùi Tường Phong¹ vorgestellt wurde.

2 Inputs & Outputs

Um die Reflexion für einen Punkt zu berechnen benötigen wir einige Hintergrundinformationen:

Tabelle 1: Wichtige Notationen

Variable	Bedeutung	Typ
\vec{P}	Der betrachtete Punkt auf der Oberfläche eines Objekts	Vektor
\vec{N}	Die Oberflächennormale des Punktes	Vektor
\vec{L}	Der Vektor von P zur Lichtquelle	Vektor
\vec{R}	Der reflektierte Lichtvektor am Punkt P	Vektor
\vec{V}	Der Vektor von P zum Viewpoint	Vektor
$[I_a]$	Die Intensität des Umgebungslicht	RGB-Vektor
$[I_{in}]$	Die Intensität einer Lichtquelle	RGB-Vektor
$[I_{ambient}]$	Die Intensität der ambienten Lichtreflexion	RGB-Vektor
$[I_{diffus}]$	Die Intensität der diffusen Lichtreflexion	RGB-Vektor
$[I_{spekular}]$	Die Intensität der spekularen Lichtreflexion	RGB-Vektor
$[k_{ambient}]$	Die ambiente Materialkonstante	RGB-Vektor
$[k_{diffus}]$	Die diffuse Materialkonstante	RGB-Vektor
$[k_{spekular}]$	Die spekulare Materialkonstante	RGB-Vektor
n	Die Rauigkeit des Materials	Konstante
m	'Shininess' im Blinn-Phong-Model	Konstante

¹Bùi Tường Phong: https://en.wikipedia.org/wiki/Bui_Tuong_Phong

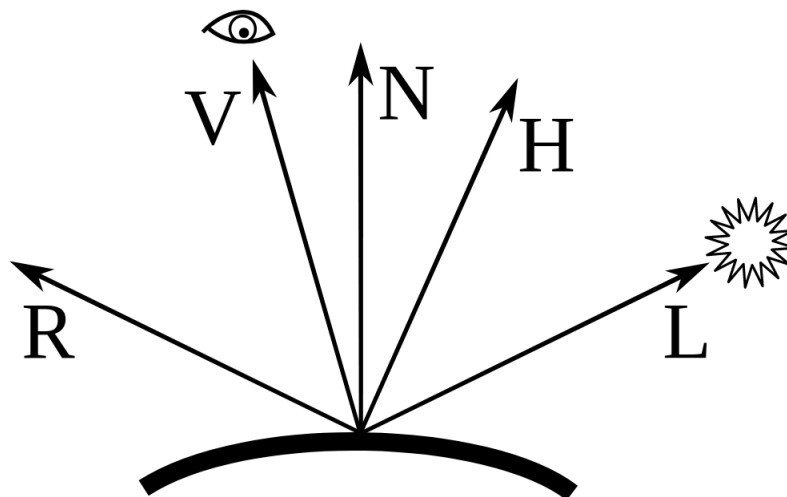


Abbildung 1: Veranschaulichung einiger Variablen [1]

3 RGB-Vektoren

In der Computergraphik werden verschiedene Werte, wie zum Beispiel - bei üblichen Implementationen des Phong-Illumination-Models - die Intensität von Licht und Materialkonstanten, die etwas über das Reflexionsverhalten eines Objekts aussagen, als RGB-Vektoren dargestellt.

Diese RGB-Vektoren sind in drei Komponenten aufgeteilt, welche sind:

$$[v] = [\text{rot}, \text{grün}, \text{blau}]$$

Das heißt jeder Punkt eines Objektes wird durch die drei Farbkomponenten rot, grün und blau in seiner Farbe und Farbhelligkeit beschrieben.

Die Werte für die Komponenten sind dabei Integer im Intervall von $[0, 255]$.

Solche Vektoren haben besondere Berechnungsvorschriften:

Seien $[x]$, $[y]$ RGB-Vektoren und c eine Konstante

3.1 Addition von RGB-Vektoren

Die Addition von zwei RGB-Vektoren ist wie die von normalen Vektoren Komponentenweise.

$$[x] + [y] = [x_r + y_r, x_g + y_g, x_b + y_b] \quad (1)$$

3.2 Multiplikation von RGB-Vektoren

Die Multiplikation zweier RGB-Vektoren ist ebenfalls Komponententeileweise.

$$[x] \cdot [y] = [x_r \cdot y_r, x_g \cdot y_g, x_b \cdot y_b] \quad (2)$$

3.3 Multiplikation eines RGB-Vektors mit einer Konstante

Die Multiplikation eines RGB-Vektors mit einer Konstante:

$$[x] \cdot c = [x_r \cdot c, x_g \cdot c, x_b \cdot c] \quad (3)$$

4 Phongs Reflexionstypen

Im Phong-Illumination-Model² unterscheidet Bùi Tường Phong bei der Berechnung die Reflexion von Licht in folgende drei Subtypen:

4.1 Die ambiente Reflexion

Das Umgebungslicht, das von anderen Objekten im Raum and den betrachteten Punkt P (Siehe Tabelle 1) reflektiert wird.

Physikalisch gesehen müsste hier für jeden Punkt der Weg jedes Photons berechnet werden, um eine realistische Reflexion zu erreichen.

Da dies jedoch sehr auswändig wäre wird einfach eine Umgebungslichtintensität für den Punkt gegeben mit dem dann die Reflexion berechnet wird.

Die meisten Implementationen des Phong-Illumination-Models machen es sich jedoch noch einfacher und nehmen global die selbe Intensität an.

Berechnet wird die Intensität der Reflexion des ambienten Lichts in der Regel wie folgt:

$$[I_{ambient}] = [I_a] \cdot [k_{ambient}] \quad (4)$$

Für die Variablen siehe Tabelle 1

²Paper: http://www.cs.northwestern.edu/~ago820/cs395/Papers/Phong_1975.pdf

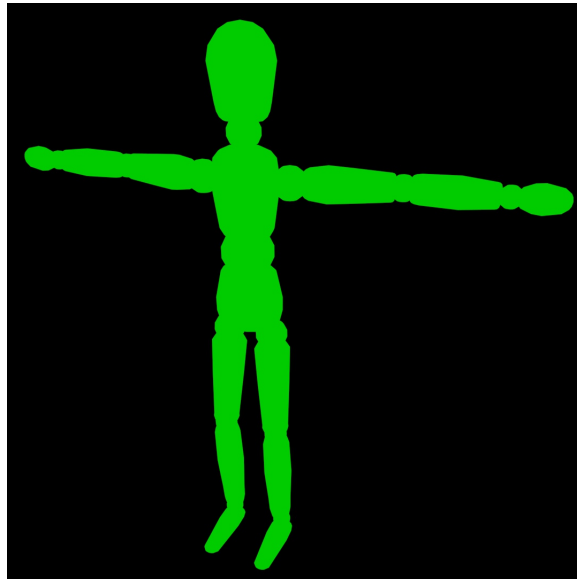


Abbildung 2: Figur mit rein ambienter Reflexion

4.2 Die diffuse Reflexion

Der zweite Typ, in den Phong Reflexion unterteilt ist die diffuse Reflexion.

Sie beschreibt, wie Licht, das direkt von einer Lichtquelle auf das Objekt trifft absorbiert, und damit auch wie es reflektiert wird.

Hier wird das von anderen Objekten auf den betrachteten Punkt reflektierte Licht nicht betrachtet.

Die Berechnungsvorschrift lautet:

$$\begin{aligned}
 [I_{diffus}] &= [I_{in}] \cdot [k_{diffus}] \cdot \cos(\Phi) \\
 &\stackrel{(*)}{=} [I_{in}] \cdot [k_{diffus}] \cdot \langle \vec{L}, \vec{N} \rangle
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Für die Variablen siehe Tabelle 1

(*): Nur, wenn die Vektoren im Skalarprodukt normalisiert sind, da folgende Gleichung gilt:

$$\langle \vec{a}, \vec{b} \rangle = \|\vec{a}\| \cdot \|\vec{b}\| \cdot \cos(\gamma)
 \tag{6}$$

Wobei γ der Winkel zwischen \vec{a} und \vec{b} ist.

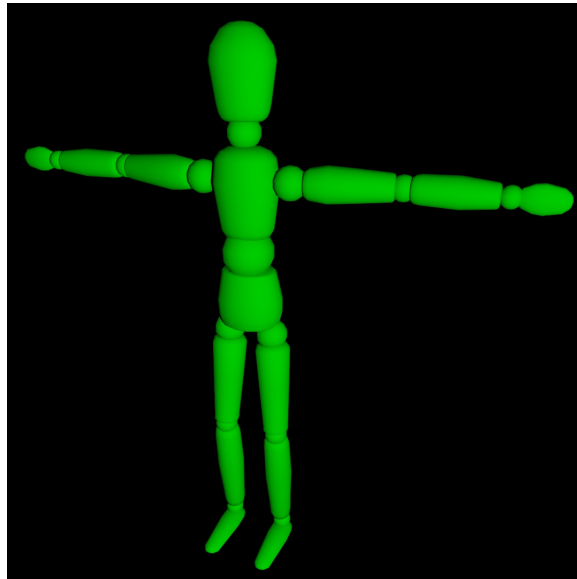


Abbildung 3: Figur mit rein diffuser Reflexion

4.3 Die spekulare Reflexion

Der dritte und letzte Typ, in welchen Phong das Licht unterteilt ist das spekulare Licht. Dieser Teil ist die Glanzreflexion des Lichtes.

Die Intensität der Glanzreflexion hängt natürlich vom Material am Punkt ab (ein Spiegel reflektiert viel mehr, als beispielsweise ein Stück Holz). Ebenso ist die Position des Lichtes wichtig, denn je nachdem wo die Lichtquelle sich befindet wird auch in eine andere Richtung reflektiert. Weiters ist auch die Position des Betrachters, also der Viewpoint wichtig, da relevant ist, ob das Licht in seine Richtung reflektiert wird oder an ihm vorbei.

Folgende Formel dient zur Berechnung:

$$\begin{aligned}
 [I_{\text{spekular}}] &= [I_{\text{in}}] \cdot [k_{\text{spekular}}] \cdot \cos^n(\Theta) \\
 &\stackrel{(*)}{=} [I_{\text{in}}] \cdot [k_{\text{spekular}}] \cdot < \vec{R}, \vec{V} >^n
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Für die Variablen siehe Tabelle 1

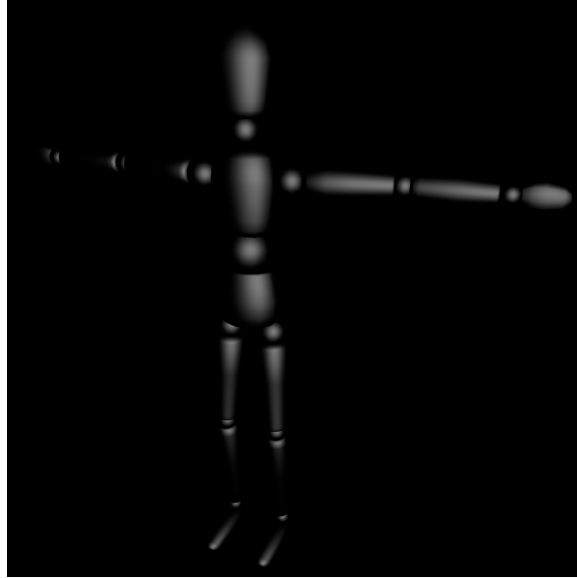


Abbildung 4: Figur mit rein spekularer Reflexion

4.4 Das gesamte Phong Beleuchtungsmodell

Da die Unterteilung in diese drei Komponenten in der Natur nicht existiert, sondern die Komponenten eigentlich Teil eines Physikalischen Phänomens sind und die Aufteilung nur der Vereinfachung der Berechnung dient müssen wir die Komponenten wieder miteinander verrechnen.

Dies geschieht in Phongs Beleuchtungsmodell durch simple Addition wie folgt:

$$\begin{aligned}
 [I_{Phong}] &= [I_{ambient}] + [I_{diffus}] + [I_{spekular}] \\
 &= [I_a] \cdot [k_{ambient}] + [I_{in}] \cdot [k_{diffus}] \cdot \cos(\Phi) + [I_{in}] \cdot [k_{spekular}] \cdot \cos^n(\Theta) \\
 &\stackrel{(*)}{=} [I_a] \cdot [k_{ambient}] + [I_{in}] \cdot ([k_{diffus}] \cdot \langle \vec{L}, \vec{N} \rangle + [k_{spekular}] \cdot \langle \vec{R}, \vec{V} \rangle^n)
 \end{aligned} \tag{8}$$

Mit mehreren Lichtquellen $[I_{in}]_{1 \leq i \leq k}$ ist $[I_{Phong}]$ die Summe der einzelnen Lichtquellen:

$$\begin{aligned}
 [I_{Phong}] &= [I_{ambient}] + [I_{diffus}] + [I_{spekular}] \\
 &= [I_a] \cdot [k_{ambient}] + \sum_k \left([I_{in}]_k \cdot [k_{diffus}] \cdot \cos(\Phi) + [I_{in}]_k \cdot [k_{spekular}] \cdot \cos^n(\Theta) \right) \\
 &\stackrel{(*)}{=} [I_a] \cdot [k_{ambient}] + \sum_k \left([I_{in}]_k \cdot ([k_{diffus}] \cdot \langle \vec{L}, \vec{N} \rangle + [k_{spekular}] \cdot \langle \vec{R}, \vec{V} \rangle^n) \right)
 \end{aligned} \tag{9}$$

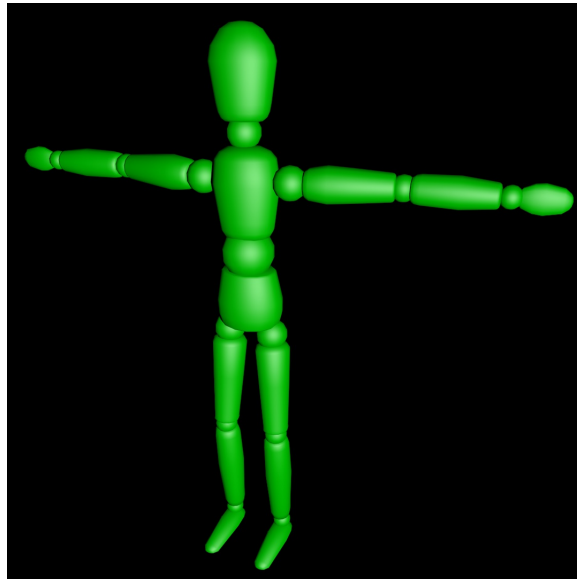


Abbildung 5: Figur mit allen drei von Phong unterschiedenen Reflexionstypen

5 Annahmen des Phong Modells

Das Phong-Illumination-Model trifft einige Annahmen, die in der Realität oder auch in unseren Simulationen möglicherweise nicht zutreffen:

5.1 Annahmen des Modells

- Alle Lichtquellen sind Punktförmig:
Dies ist in der Realität nicht vorhanden, da alle Lichtquellen, die wir produzieren zwangsläufig dreidimensional sind.
- Für die Geometrie sind nur die Normalen relevant

5.2 Annahmen vieler Implementationen

Weiterhin wird in den meisten Implementationen von folgendem ausgegangen:

- Reflexionen wirken sich nur ambient aus
Offensichtlich jedoch müssen beispielsweise Spiegel das von anderen Objekten reflektierte Licht jedoch selbst wieder spiegeln.
- Das ambiente Licht ist überall gleichstark:
In der Realität ist an einem Lichtundurchlässigen Ort natürlich das Licht nicht gleich hell, wie an einem von Licht leicht erreichbarem Ort.
- Es kann mehr Licht von einem Punkt reflektiert werden, als auf ihn eintrifft:
Widerspricht dem Energieerhaltungssatz der Physik.

Die zweite Annahme lässt sich dabei auf die erste zurückzuführen.

Es stimmt jedoch nicht wie vielfach behauptet ^{3 4 5}, dass dies Eigenschaften des Phong-Illumination-Models sind, da sie nicht in Phongs wissenschaftlichem Artikel stehen und unter Beachtung seines Modells behoben werden können.

³'diffuse und spiegelnde Reflexion wird nur lokal modelliert', Quelle: Wikipedia am 04.02.2019

⁴'ambiente Reflexion wird global modelliert', Quelle: Wikipedia am 04.02.2019

⁵'Es handelt sich um ein vollständig empirisches Modell, das auf keinerlei physikalischer Grundlage aufbaut. Das bedeutet, dass es dem Energieerhaltungssatz widerspricht', Quelle: Wikipedia am 04.02.2019

6 Quellen

6.1 Textquellen

- http://www.cs.northwestern.edu/~ago820/cs395/Papers/Phong_1975.pdf
- https://cg.informatik.uni-freiburg.de/course_notes/graphics_04_lighting.pdf
- https://en.wikipedia.org/wiki/Phong_reflection_model
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Phong-Beleuchtungsmodell>
- <http://www.mathematik.uni-marburg.de/~thormae/lectures/graphics1/code/WebGLShaderLightMat/ShaderLightMat.html>
- https://www.wikilectures.eu/w/Lambert%27s_law
- https://en.wikipedia.org/wiki/Lambert%27s_cosine_law
- <https://wiki.delphigl.com/index.php/Beleuchtung>
- <http://www.mathematik.uni-marburg.de/~thormae/lectures/graphics1/code/WebGLShaderLightMat/ShaderLightMat.html>

6.2 Bildquellen

- https://en.wikipedia.org/wiki/File:Blinn_Vectors.svg
- Die Bilder der Figuren sind selbst erstellt