

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова
Механико-математический факультет
Кафедра вычислительной математики

Курсовая работа

Тема: *Введение в Photometric Stereo.*

Выполнил:

студент 4 курса 431 группы

Шерстобитов Андрей Сергеевич

Научный руководитель:

Валединский Владимир Дмитриевич

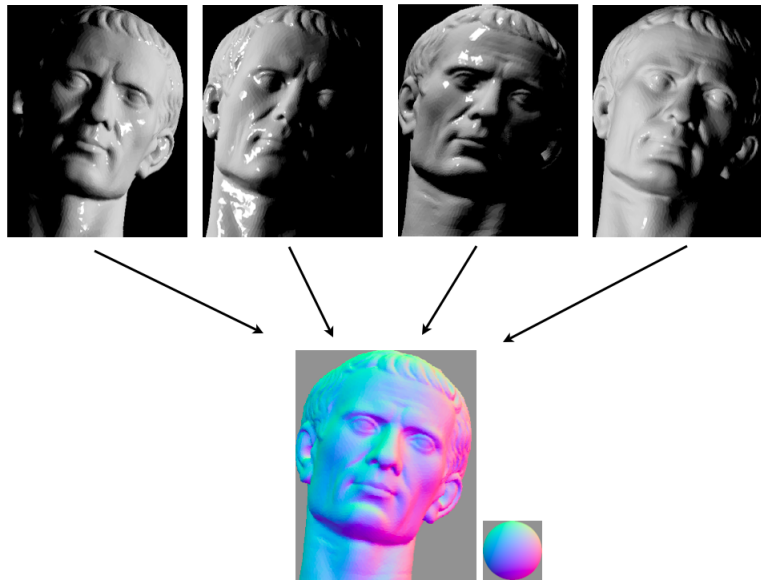
Москва
2022

Содержание

1	Вступление	2
2	Радиометрия	3
2.1	Телесный угол	3
2.2	Сила света (Intensity)	4
2.3	Поток (Flux)	4
2.4	Освещенность (Irradiance)	5
2.5	Энергетическая яркость (Radiance)	6
3	Поверхности	7
3.1	Двулучевая функция отражательной способности (BRDF)	7
3.2	Диффузное отражение	7
3.3	Закон Ламберта	7
3.4	Альбедо	7
4	Photometric stereo	7
4.1	Постановка задачи	7
4.2	Решение для поверхностей Ламберта	7
4.3	Проблемы, возможные решения	7
5	Литература	7

1 Вступление

Photometric stereo — метод в компьютерном зрении для определения нормалей поверхности объектов путем наблюдения за этим объектом при различных условиях освещения. Он основан на том факте, что количество света, отражаемого поверхностью, зависит от ориентации поверхности относительно источника света и наблюдателя.



При использовании этого метода путем измерения количества света, отраженного в камеру, пространство возможных ориентаций поверхности может быть ограничено. Если объект наблюдается под достаточным количеством источников света с разных углов, то ориентация поверхности может быть ограничена до одной ориентации или даже получиться больше, чем необходимо.

Метод был впервые предложен в 1980 году Уодхэмом. Особый случай, когда данные представлены одним изображением, известен как "shape from shading" и был analyzed Б. К. П. Хорном в 1989 году. Расширенные методы фотометрического стерео были разработаны для учета проецируемых теней и других неоднородных условий освещения.

Однако, этот метод требует тщательного планирования и контроля эксперимента, чтобы получить необходимое количество данных, и считается, что он неэффективен для объектов с неоднородной поверхностью и большим числом полостей. Тем не менее, photometric stereo все еще остается важной технологией в области компьютерного зрения, особенно для задач реконструкции трехмерных объектов.

2 Радиометрия

2.1 Телесный угол

Познакомимся с понятием *телесного угла*, разберемся как и в чем происходит измерение этой величины. Именно с него будет начинаться наше погружение в Photometric stereo.

Поставим наблюдателя в центр сферы O радиуса R . Обозначим Σ наблюдаемую из точки O поверхность. Площадь сферы покрываемую объектом обозначим S . Тогда величиной телесного угла является следующее отношение:

$$\omega = \frac{S}{R^2}$$

Точка O называется вершиной (арех) телесного угла. **Телесный угол** - пучок лучей из O до Σ . Говорят, что наблюдатель *стягивает* его телесный угол в вершине.

Единица измерения в системе СИ -стерадиан (ср, sr), равный телесному углу, вырезающему из сферы радиуса R поверхность с площадью R^2 .

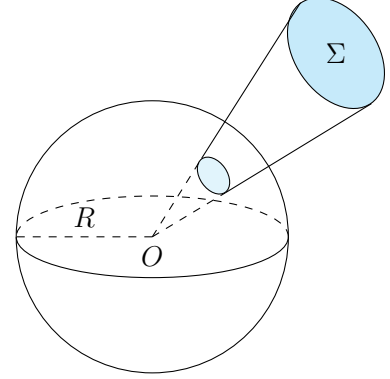


Рис. 1: Телесный угол

Замечание. Площадь поверхности сферы $= 4\pi R^2$, тогда полный телесный угол равен

$$\omega = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi$$

Замечание. Для кругового конуса с углом раствора θ телесный угол при его вершине равен

$$\omega = \frac{2\pi R^2(1 - \cos \theta)}{R^2} = 2\pi(1 - \cos \theta)$$

Чаще всего бывает, что изучаемая поверхность находится под углом θ к наблюдателю. На рис. (2) n это нормаль к изучаемой поверхности dA , S_0 - центр единичной окружности. Расстояние между S_0 и dA обозначим r . Заметим, что угол между нормалью плоскости n и направлением взгляда наблюдателя обозначим θ . dA_0 является проекцией dA на единичную сферу, тогда телесный угол имеет величину:

$$d\omega = \frac{dA \cos \theta}{r^2}$$

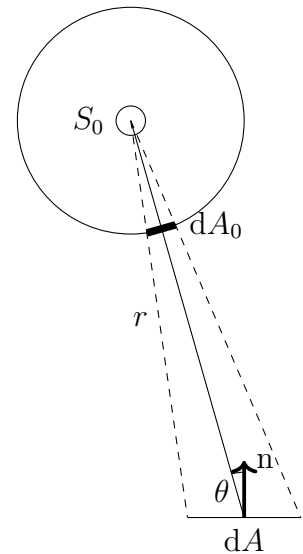


Рис. 2: Стянутый объектом S_0 телесный угол

2.2 Сила света (Intensity)

Простыми словами фотометрия - наука об измерении света с точки зрения его яркости, воспринимаемой человеческим глазом. Сразу можно задать вопрос: как и в чем измеряется свет? Попробуем формализовать ответы на эти вопросы.

Современное определение единицы силы света было зафиксировано в 1979 г. XVI Генеральной конференцией по мерам и весам. Международной системе единиц (СИ) имеет следующее описание:

Сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Единица силы света имеет общепринятое название – кандела (кд, cd). Сила света имеет обозначение I .

Для силы света оказался верен закон обратных квадратов: значение силы света в данной точке пространства обратно пропорционально квадрату расстояния от источника света. То есть имея два источника света с соответствующими силами I_1 и I_2 , расположенные соответственно на расстояниях r_1 и r_2 верно следующее равенство:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (1)$$

2.3 Поток (Flux)

Рассмотрим некоторый источник света S_0 в некотором пространстве. Излучаемый свет можно представить как совокупность телесных углов ω с вершиной в источнике S_0 . Пусть источник света имеет силу I .

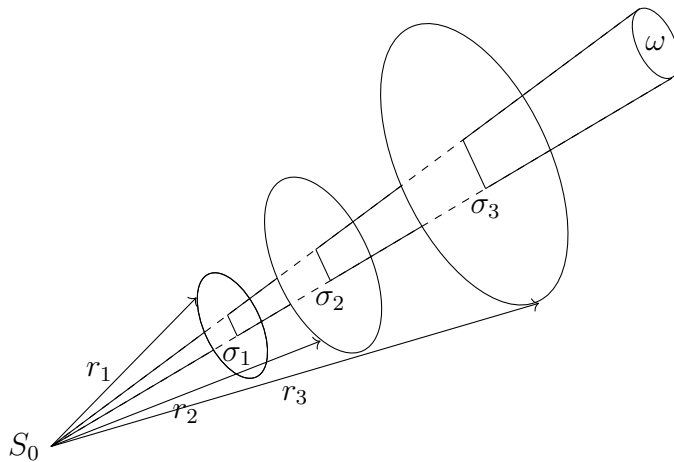


Рис. 3: Световой поток источника S_0 внутри угла ω

Произвольными радиусами r_1, r_2, r_3 построим сферы с центром в вершине телесного угла S_0 и обозначим выделенные телесным углом площади на сферах соответственно $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. За единицу времени на эти площади упадет одна и та же энергия: $\frac{I}{r_1^2}\sigma_1, \frac{I}{r_2^2}\sigma_2, \frac{I}{r_3^2}\sigma_3$. Обратим внимание, что $\frac{\sigma_1}{r_1^2} = \frac{\sigma_2}{r_2^2} = \frac{\sigma_3}{r_3^2} = \omega$. Таким образом, **поток** - физическая величина пропорциональная световой мощности, переносимой пучком лучей, распространяющимися внутри

телесного угла ω .

$$\Phi := I\omega$$

Световой поток, выходящий из телесного угла 1sr , с силой света 1кд называется *люмен* (лм, lm).

Обратим внимание, что в качестве источника света здесь рассматривается вершина телесного угла, то есть точка в пространстве, но в жизни же источники света не только не могут быть точкой, но и могут достигать весьма больших размеров. Всегда стоит помнить, что если речь идет об источнике света как о точке, то подразумевается, что расстояние между освещаемым объектом во много раз превышает размер источника и, в следствие различные лучи источника попадают в достаточно малый телесный угол.

2.4 Освещенность (Irradiance)

Зафиксируем точечный источник света S_0 с силой света I на расстоянии r от поверхности площадью σ .

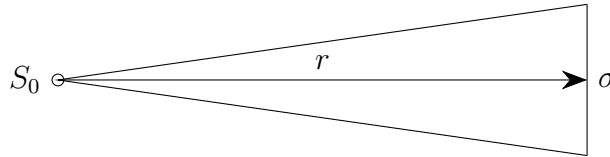


Рис. 4: Лучи S_0 , падающие по нормали к поверхности

Величина

$$E := \frac{I}{r^2} \quad (2)$$

является мерой освещения, получающегося на поверхности при падении лучей под прямым углом.

За единицу освещенности принимается такая освещенность, которую создает источник силой света в 1кд , освещающий по нормали поверхность, отстоящую от него на расстояние 1м . Единица освещенности — люкс (лк, lx).

Проводя аналогии с физическими величинами, можно сравнить освещенность с плотностью потока. Действительно, домножив числитель и знаменатель (2) на бесконечно малый телесный угол $d\omega$, получим следующее

$$E = \frac{Id\omega}{r^2d\omega} = \frac{d\Phi}{d\sigma}$$

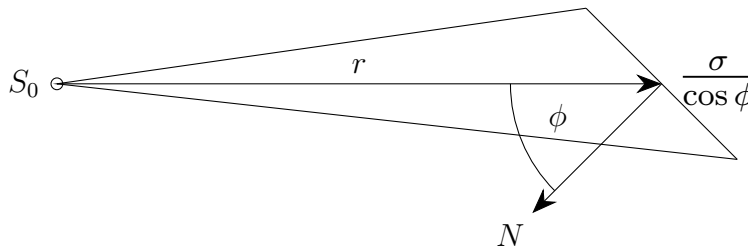


Рис. 5: Лучи S_0 , падающие под углом ϕ

В случае, когда лучи источника падают под углом ϕ к нормали на Рис. (5), сила светового потока распределяется по увеличенной площади, в следствие чего освещенность поверхности оказывается меньше:

$$E = \frac{d\Phi}{d\sigma / \cos \phi} = \frac{I}{r^2} \cos \phi \quad (3)$$

2.5 Энергетическая яркость (Radiance)

На рисунке (6) в качестве источника рассматривается бесконечно малая площадь поверхности $d\sigma_1$, в качестве получателя рассматривается бесконечно малая площадь поверхности $d\sigma_2$, расстояние между ними конечно и равно r . Пусть нормаль n_1 поверхности $d\sigma_1$ образует с пучком света угол ϕ_1 , нормаль n_2 соответственно ϕ_2 .

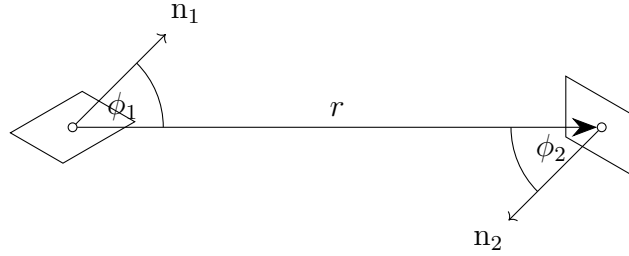


Рис. 6: Световой поток пластинки $d\sigma_1$ на $d\sigma_2$

По определению световой поток должен быть пропорционален площадям проекций каждой из площадок $d\sigma_1$ и $d\sigma_2$ на плоскость, перпендикулярную направлению падающего пучка, и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними. Его можно представить в следующей форме

$$d^2\Phi = L \frac{d\sigma_1 \cos \phi_1 d\sigma_2 \cos \phi_2}{r^2} \quad (4)$$

Коэффициент пропорциональности L называется **яркостью** излучающего элемента $d\sigma_1$ в направлении к освещаемому элементу $d\sigma_2$.

Рассмотрим выражение (4) иначе. Возьмем за источник $d\sigma_1$ с силой dI , тогда световой поток, падающий на пластинку $d\sigma_2$, можно представить следующим образом:

$$d^2\Phi = dE_2 d\sigma_2 = \frac{dI}{r^2} \cos \phi_2 d\sigma_2 \quad (5)$$

Из (4) и (5) следует

$$L = \frac{dI}{d\sigma_1 \cos \phi_1} = \frac{r^2 d^2\Phi}{\cos \phi_2 \cos \phi_1 d\sigma_2 d\sigma_1} \quad (6)$$

3 Поверхности

3.1 Двухлучевая функция отражательной способности (BRDF)

3.2 Диффузное отражение

3.3 Закон Ламберта

3.4 Альбеда

4 Photometric stereo

4.1 Постановка задачи

4.2 Решение для поверхностей Ламберта

4.3 Проблемы, возможные решения

5 Литература

1. Гуревич М. М. Фотометрия. Теория, методы и приборы. — 2-е изд. — Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983. — С. 23—24. — 272 с.
2. Ying Wu. "Radiometry, BRDF and Photometric Stereo". Northwestern University. Retrieved 2015-03-25.
3. A. V. Arecchi, T. Messadi, and R. J. Koshel, Field Guide to Illumination, SPIE Press, Bellingham, WA (2007)