

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*

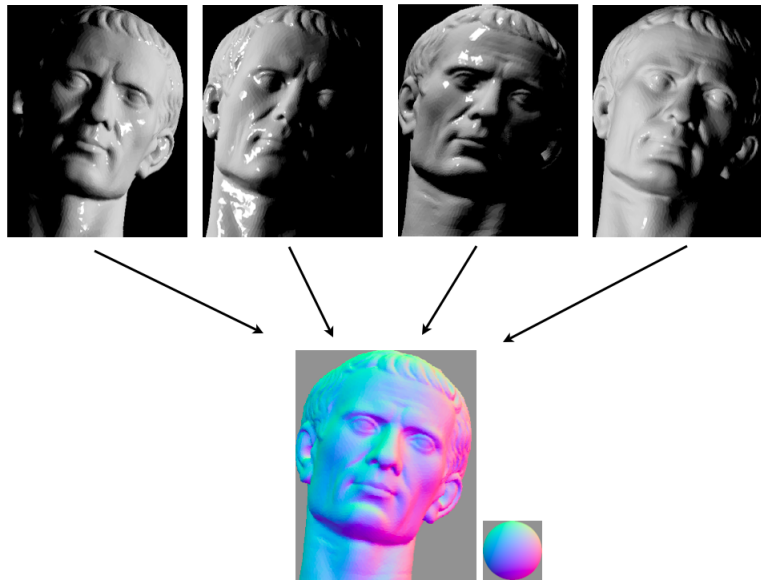
Москва  
2022

# Содержание

<b>1</b>	<b>Вступление</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Радиометрия</b>	<b>3</b>
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) . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Литература</b>	<b>6</b>

# 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  $\Sigma$  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  $\Sigma$ . Говорят, что наблюдатель *стягивает* его телесный угол в вершине.

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

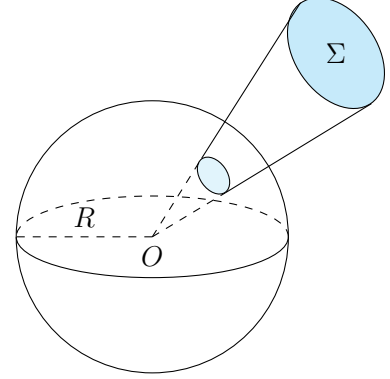


Рис. 1: Телесный угол

**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  $\theta$  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  $\theta$  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  $\theta$ .  $dA_0$  является проекцией  $dA$  на единичную сферу, тогда телесный угол имеет величину:

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

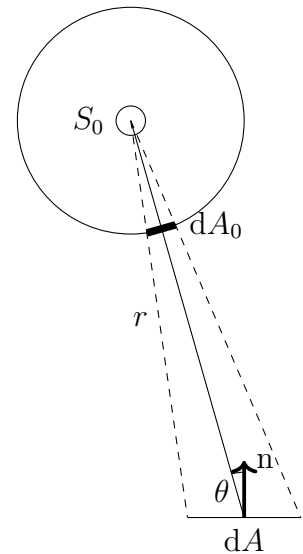


Рис. 2: Стянутый объектом  $S_0$  телесный угол

## 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  $\omega$  с вершиной в источнике  $S_0$ . Пусть источник света имеет силу  $I$ .

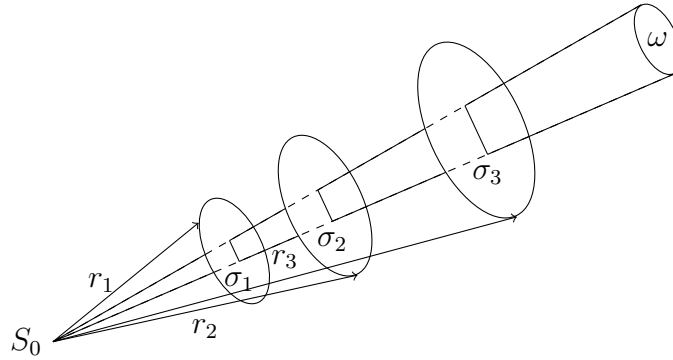


Рис. 3: Световой поток источника  $S_0$  внутри угла  $\omega$

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 (люмен (лм, lm)) пропорциональная световой мощности, переносимой пучком лучей, распространяющимися внутри телесного угла  $\omega$ .

$$\Phi := I\omega$$

## 2.4 Освещенность (Irradiance)

Зафиксируем точечный источник света  $S_0$  с силой света  $I$  на расстоянии  $r$  от поверхности площадью  $\sigma$ .

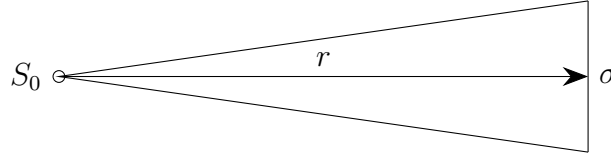


Рис. 4: Лучи  $S_0$ , падающие по нормали к поверхности

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 1 кд, освещающий по нормали поверхность, отстоящую от него на расстояние 1 м. 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

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

Таким образом, единица измерения люкс так же представляется как единица плотности потока, при которой поток 1 лм приходится на площадь  $1\text{ м}^2$ .

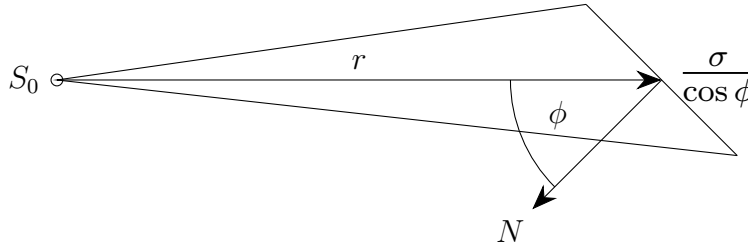


Рис. 5: Лучи  $S_0$ , падающие под углом  $\phi$

В случае, когда лучи источника падают под углом  $\phi$  к нормали, сила светового потока распределяется по увеличенной площади, в следствие чего освещенность поверхности оказывается меньше:

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

TODO: рассмотреть, когда источник света не точечный

## 2.5 Энергетическая яркость (Radiance)

По определению яркость излучения это отношение

### 3 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)