

ЕФИМОВА А. А.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ
ОСВЕЩЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

УДК 004.93, ВАК 05.13.18, ГРНТИ 50.05.19

Теоретические сведения для разработки системы освещения движущихся объектов

Theoretical information for the development of a lighting system for moving objects

А. А. Ефимова

A. A. Efimova

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал

Perm National Research Polytechnic University, Berezniki branch

В статье представлен обзор разработок и алгоритмов, связанных с компьютерным зрением, а также описание эффекта дисторсии для разработки системы освещения движущихся объектов на основе двух камер и осветительного прибора на подвижной основе.

The article is about an overview of developments related to computer vision, as well as a description of the distortion effects for a moving object lighting system based on two cameras and lighting equipment on a moving basis.

Ключевые слова: система освещения, датчики, алгоритмы компьютерного зрения, дисторсия

Keywords: lighting system, sensors, computer vision algorithms, distortion

Введение

Освещение различных зон спорта, искусства и охраняемых объектов производится за счёт различных осветительных приборов. Одним из эффективных направлений их применения является обеспечение автоматической подсветки движущегося объекта. При небольшой модификации устройство, способное сопровождать лучом света движущийся объект с заданными характеристиками, может также иметь большое охранное и даже военное применение. Для создания такого устройства предлагается при помощи двух статичных видеокамер фиксировать объект (с учётом размера и скорости), вычислять его координаты в трёхмерной системе и передавать их на подвижную основу, на которой находится осветительный прибор. Подвижная основа будет направлять осветительный прибор в соответствии с полученными координатами и освещать движущийся объект.

Для реализации данной работы необходимо выполнить следующие задачи:

1. Реализовать захват объекта камерами;
2. Выполнить выделение объекта (методом бинокулярного выделения) с учётом размера и скорости объекта (в заданном диапазоне);
3. Определить центр тяжести полученной фигуры;
4. Определить дисторсию камер;
5. Вычислить координаты центра тяжести в трёхмерном пространстве с учётом дисторсии камер.

Геометрическая схема системы освещения движущихся объектов

Геометрические схемы решения работы представлены ниже (Рисунок 1, Рисунок 2). На данных схемах изображено устройство, которое включает в себя 2 статичные камеры (камера 1, камера 2), фиксирующие движущийся объект и их оптические оси, а также фонарик – осветительный прибор на подвижной основе, который будет освещать движущийся объект.

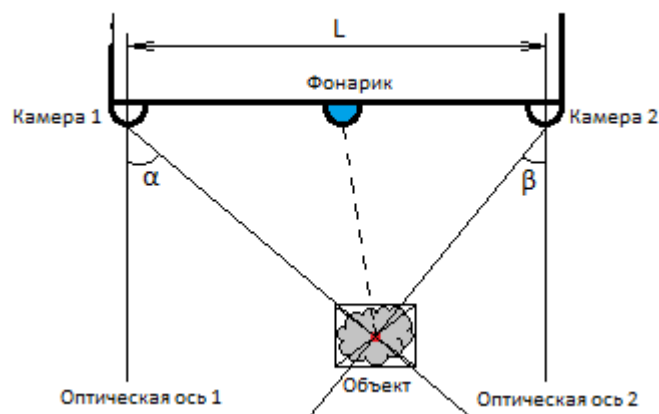


Рисунок 1. Геометрическая схема, вид сверху

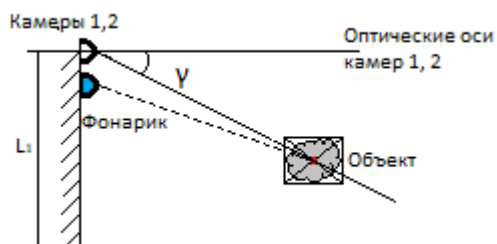


Рисунок 2. Геометрическая схема, вид сбоку

Обзор разработок, проделанных ранее в направлении решения проблемы

Для управления осветительными приборами существует немало разработок. Рассмотрим некоторые из них.

Датчик движения – сигнализатор, фиксирующий перемещение объектов и используемый для контроля за окружающей обстановкой или автоматического запуска требуемых действий в ответ на перемещение объектов [1].

Первый прибор для обнаружения движения был изобретен Генрихом Герцем. Герц исследовал свойства волн и обнаружил, что волны могут отражаться от объектов и иметь разные скорости. Первый детектор движения, который действовал как охранная сигнализация, был изобретен в начале 1950-х годов Самуэлем Баньо. Он применил основы радара к ультразвуковым волнам – частоте, которую люди не могут слышать, и использовал эффект Доплера. Современные датчики движения работают на тех же основных принципах, которыми пользовался детектор движения Баньо [2].

Существует несколько типов датчиков движения:

1. Контактные – суть работы заключается в установке концевого выключателя с нормально-разомкнутыми контактами или геркона (герметичный контакт) на дверь, когда вы её откроете и зайдёте в помещение, контакты замкнутся, включают реле, а оно включит освещение.

2. Инфракрасные – срабатывают от теплового излучения, реагируют на изменение температуры. Когда вы входите в поле зрения такого датчика он срабатывает на тепловое излучение от вашего тела. Недостатком такого способа определения являются ложные срабатывания.

3. Ультразвуковые – суть работы заключается в испускании волн датчиком. Излучаемая волна, отражаясь от подвижного объекта, возвращается и принимается приёмником, при этом длина волны (частота) незначительно изменяется. Это детектируется, и датчик выдает сигнал, который используют для управления реле или симмистором и коммутации нагрузки.

4. Лазерные или фотодатчики. В данных датчиках присутствуют излучатель и приёмник. Реализация такого датчика может производиться двумя способами:

а) Излучатель и приёмник устанавливаются в проходе напротив друг друга. Когда кто-либо проходит через него, то он заслоняет излучение, и оно не достигает приёмника, тогда срабатывает датчик и включается реле. Это можно использовать и в системах сигнализации.

б) Излучатель и приёмник стоят рядом друг с другом, когда кто-либо находится в зоне действия датчика, излучение отражается от него и попадает на приёмник. Это называется также датчиком препятствия, с успехом применяется в робототехнике.

5. Микроволновый. Состоит также из излучателя и приёмника. Первый генерирует сигнал высокой частоты, второй их принимает. Когда кто-либо проходит рядом изменяется частота. Приемник настроен таким образом, что при изменении частоты сигнал усиливается и передается на исполнительный орган, например, реле, и происходит включение нагрузки.

Сумеречный выключатель, датчик освещения – это устройство для автоматического управления источниками искусственного света. В зависимости от степени освещения окружающего пространства, воздействующего на фоторезистор, датчик способен подавать сигнал для включения/выключения ламп, прожекторов, фонарей и других осветительных приборов.

Принцип работы датчиков освещённости заключается в отслеживании уровня светового излучения, попадающего в поле «видимости» прибора. Лучи света фокусируются с помощью фотоэлемента (светового реле) и направляются к детектору. Когда достигается определённый порог яркости, детектор создаёт напряжение, которое используется прибором в качестве сигнала для замыкания цепи и блокировки электрических устройств. Именно этот сигнал, получаемый в результате создаваемого напряжения, включает светильник при возникновении сумерек, а с наступлением рассвета – выключает его [3].

Датчик открытия двери - предназначен для обнаружения проникновения в охраняемое пространство через дверные и оконные проёмы формируя сигнал тревоги в случае открытия окна или двери. Принцип работы является похожим на контактный тип датчика движения [4].

Обзор алгоритмов компьютерного зрения

Для выделения движущегося объекта будет использована библиотека алгоритмов компьютерного зрения *OpenCV*. В период 2000 по 2008 год *OpenCV* разрабатывалась и поддерживалась в основном *Intel*, затем стремительно расширялась вширь, обрстая базовой функциональностью, такой как основные структуры данных, алгоритмы обработки изображений (*image processing*), базовые алгоритмы компьютерного зрения, ввод и вывод изображений и видео. Уже в это время были реализованы алгоритмы детекции человеческих лиц (каскадный классификатор), поиска стереосоответствия, оптического потока и другие [5, 6]. В библиотеке используются алгоритмы выделения контуров, основанные на подходах Собеля и Превитта, использующие центральные разности.

Контуром изображения является набор точек, между которыми происходит изменение значений яркости (Рисунок 3).

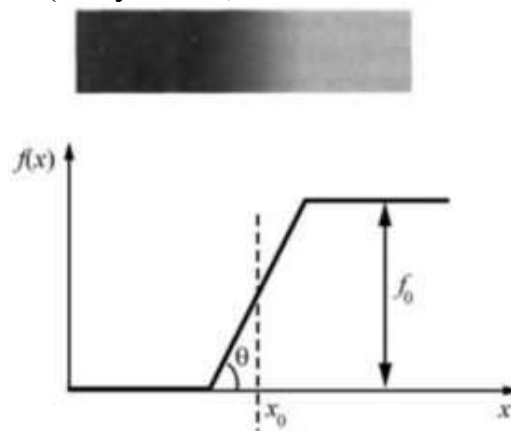


Рисунок 3. Схематическое изображение изменения яркости

Изменение яркости характеризуется высотой скачка — f_0 , углом наклона — θ и координатой центра наклонного участка — x_0 . Перепад яркости считается контуром, если его высота и угол наклона превосходят некоторые пороговые значения [7, 7].

На следующем рисунке (Рисунок 4) производные df/dx_1 и df/dx_2 характеризуют скорости изменения яркости в направлениях x_1 и x_2 . Для вычисления производной по произвольному направлению используется градиент яркости:

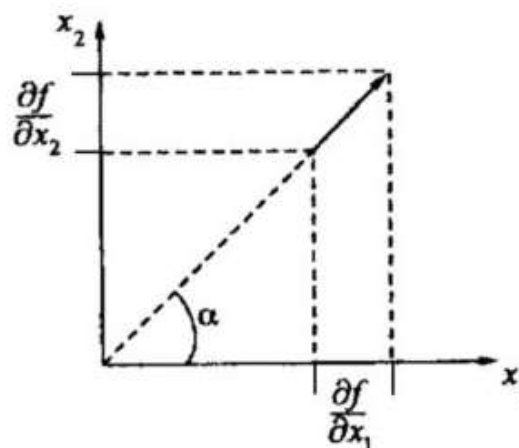


Рисунок 4. Графическое представление градиента

Модуль градиента и угол его ориентации α рассчитываются по формулам (1, 2):

$$|\nabla f(x_1, x_2)| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2} \quad (1)$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\frac{\partial f}{\partial x_1}}{\frac{\partial f}{\partial x_2}}\right) \quad (2)$$

Общим способом поиска градиента является обработка значений яркости $f(x, y)$ с помощью скользящей маски – фильтра (Рисунок 5).

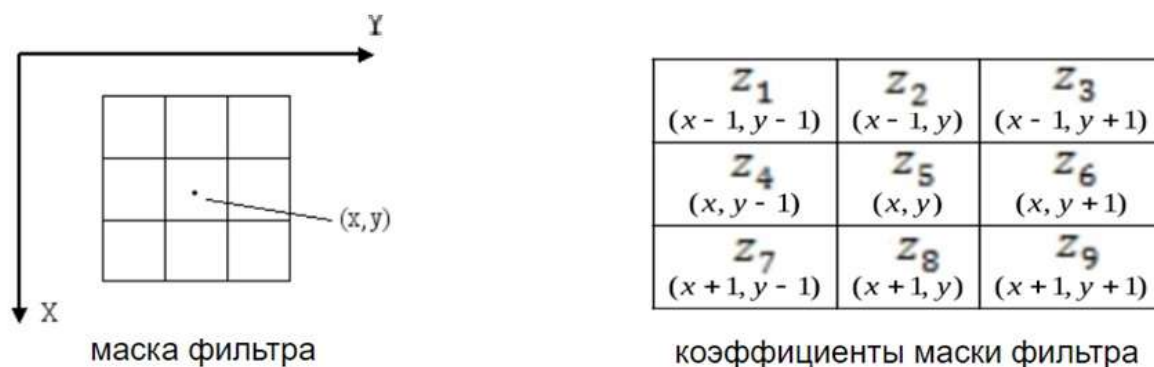


Рисунок 5. Скользящая маска-фильтр

В каждой точке изображения (x, y) вычисляется отклик фильтра G , который есть дискретным аналогом производной яркости (3):

$$G = z_1 f(x-1, y-1) + z_2 f(x-1, y) + z_3 f(x-1, y+1) + z_4 f(x, y-1) + z_5 f(x, y) + z_6 f(x, y+1) + z_7 f(x+1, y-1) + z_8 f(x+1, y) + z_9 f(x+1, y+1) \quad (3)$$

Эти производные могут быть реализованы путём обработки всего изображения с помощью оператора, описываемого масками оператора Превитта (Рисунок 6) и оператора Собеля (Рисунок 7)

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

Рисунок 6. Оператор Превитта

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

Рисунок 7. Оператор Собеля

Оператор Собеля похож на оператор Превитта, различие заключается в использовании весового коэффициента 2 для средних элементов.

Рассмотренные выше маски применяются для получения составляющих градиента G_x и G_y . Для вычисления величины градиента эти составляющие необходимо использовать совместно (4):

$$f = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4)$$

После того, как объект будет выделен контурами, необходимо найти обхватывающую рамку, которая выделит объект прямоугольником.

Далее нужно найти центр тяжести объекта. Для этого необходимо вычислить стороны обхватывающей рамки и каждую сторону поделить на 2 и отложить эти длины от левого верхнего угла рамки. И после этого передать данные координаты на подвижную основу осветительного прибора с учётом эффекта дисторсии.

Описание эффекта дисторсии и его важности

Дисторсией называется оптический эффект, который вызывает искривление прямых линий на фотографии. Прямые линии, не пересекающие оптическую ось, отображаются в виде дугообразных кривых, а предметы по мере удаления от центра к краям кадра сильно сжимаются в радиальном направлении[9].

В своей статье директор *CCTVCAD Software* С. В. Уточкин описал, почему дисторсию учитывать важно, описал типы дисторсий и рассмотрел влияние бочкообразной и подушкообразной дисторсий в программе *VideoCAD* [10].

Под влиянием дисторсии искажается не только само изображение, но и углы обзора, форма зоны обзора и распределение пространственного разрешения (плотности пикселей) (Рисунок 9). Данные параметры важны при проектировании видеонаблюдения. Под влиянием дисторсии поле зрения перестаёт быть прямоугольным, а фактические углы обзора по горизонтали, вертикали и диагонали могут значительно отличаться от углов, рассчитанных исходя из размеров видео сенсора и фокусного расстояния объектива.

Явление дисторсии характерно для широкоугольных линз и бывает двух основных видов:

- Бочкообразная – выпуклое искривление, нередко называемое «Рыбий глаз»;
- Подушкообразная – вогнутое искривление;
- Третьим типом дисторсии выступает комплексная деформация. При ней искажения в разных зонах фотографии имеют разный вид и интенсивность (Рисунок 8).



Рисунок 8. Виды дисторсии

При этом форма поля зрения изменяется противоположно названию. Так, при бочкообразной дисторсии изображение напоминает бочку, а форма поля зрения - подушку. При подушкообразной дисторсии наоборот - изображение напоминает подушку, а форма поля зрения - бочку.

В первом случае на изображении объекты по краям поля зрения выглядят сжатыми, пространственное разрешение уменьшается от центра к краям, а само поле зрения камеры растягивается к краям. Фактические углы обзора в этом случае больше расчетных (Рисунок 9).

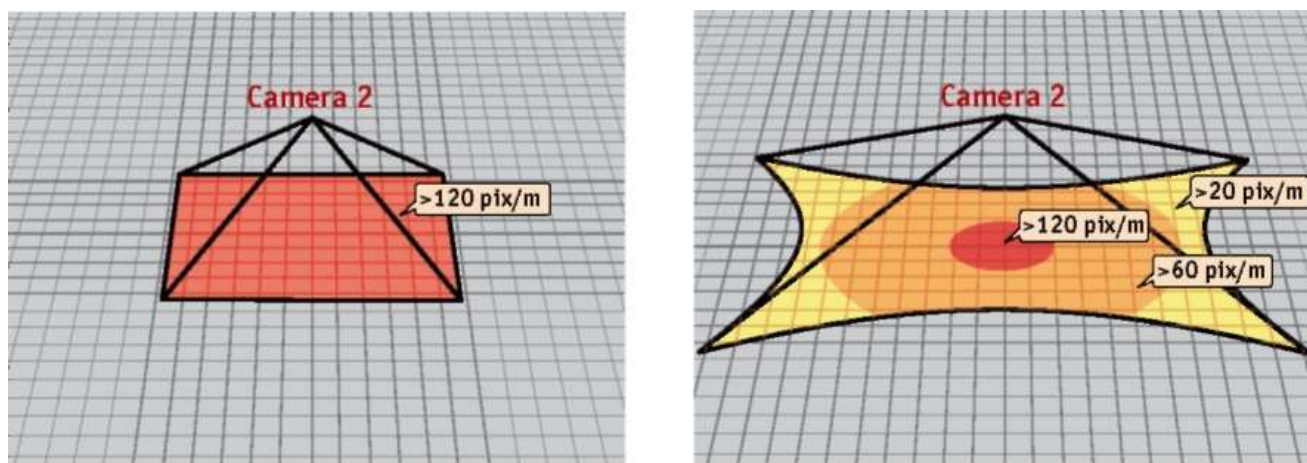


Рисунок 9. Поле зрения камеры. Слева – камера без учёта дисторсии.
Справа – с учётом дисторсии

Бочкообразная дисторсия увеличивает поле зрения, но уменьшает пространственное разрешение, чем дальше от центра поля зрения, тем сильнее. Предметы, удаленные от центра поля зрения, будут отображаться с меньшим разрешением, чем предметы в центре поля зрения. Поскольку калькуляторы объективов считают пространственное разрешение только в центре, фактическое пространственное разрешение на большей части поля зрения будет хуже расчетного.

Выводы

Проведенный обзор показывает, что в настоящее время в открытом доступе не найдено информации о системе видеонаблюдения, совмещенной с направленной подсветкой движущегося объекта. Предложены некоторые математические и практические основы, позволяющие построить такую систему на основе бинокулярного зрения с учетом дисторсии. Конкретная реализация и методы экспериментального построения таблиц дисторсии будут зависеть от применяемой программно-аппаратной базы.

Список использованных источников и литературы:

1. Всё о датчиках движения, типы датчиков движения [Электронный ресурс]. – URL: https://elektrovesti.net/tekhnologii/407_vse-o-datchikakh-dvizheniya (Дата обращения: 15.01.2021)
2. История создания датчика движения [Электронный ресурс]. – URL: <https://iot.ru/wiki/datchik-dvizheniya> (Дата обращения: 15.01.2021)
3. Информация о датчике освещения [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.smarthof.ru/info/datchik-osveshheniya%20/> (Дата обращения: 15.01.2021)
4. Информация о датчике открытия [Электронный ресурс]. – URL: <https://security-hub.ru/catalog/datchiki/datchik-otkrytiya-dveri/> (Дата обращения: 15.01.2021)
5. Краткая история проекта *OpenCV* [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/intel/blog/146434/> (Дата обращения: 23.01.2021)
6. Затонский А. В., Варламова С. А., Малышева А. В., Мясников А. А. Использование видеографической информации для уточнения динамической стохастической модели процесса флотации калийной руды // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. Т. 9. № 2. – С. 87.
7. Моделирование и распознавание 2D/3D образов [Электронный ресурс]. – URL: <https://api-2d3d-cad.com/contour/> (Дата обращения: 09.02.2021)
8. Затонский А. В., Варламова С. А. Использование бликовых отражений для автоматического распознавания параметров пены при флотации калийных руд // Обогащение руд. – 2016. № 2 (362). – С. 49-56.
9. Дисторсия, что это за эффект [Электронный ресурс]. – URL: <http://photoword.ru/distorsiya-cto-eto-za-effekt-i-kak-ego-primenyat/> (Дата обращения: 26.11.2020)
10. Почему дисторсию учитывать важно [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.techportal.ru/208229> (Дата обращения: 27.11.2020)

List of references

1. Everything about motion sensors, types of motion sensors, https://elektrovesti.net/tekhnologii/407_vse-o-datchikakh-dvizheniya, accessed January, 15, 2021
2. The history of the creation of the motion sensor, <https://iot.ru/wiki/datchik-dvizheniya>, accessed January, 15, 2021.
3. Light sensor information, <https://www.smarthof.ru/info/datchik-osveshheniya%20/> accessed January, 15, 2021.

4. Information about the opening sensor, <https://security-hub.ru/catalog/datchiki/datchik-otkrytiya-dveri/>, accessed January, 15, 2021.

5. Brief history of the OpenCV project, <https://habr.com/ru/company/intel/blog/146434/>, accessed January, 23, 2021.

6. Zatonskiy A.V., Varlamova S.A., Malysheva A.V., Myasnikov A.A. Using videographic information to clarify the dynamic stochastic model of the potash ore flotation process // Internet-journal Naukoved. – 2017. Vol. 9.No. 2. – P. 87.

7. Modeling and recognition of 2D / 3D images, <https://api-2d3d-cad.com/contour/>, accessed February, 9, 2021.

8. Zatonskiy A.V., Varlamova S.A. Using glare reflections for automatic recognition of foam parameters during flotation of potassium ores. Obogashchenie ore. – 2016. No. 2 (362). – S. 49-56.

9. Distortion, what is this effect, <http://www.techportal.ru/208229>, accessed November, 27, 2020.