

Построение и оценка математической модели шума светодиодных маркеров

Е. В. Хинензон, А. В. Шокуров
(МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва)

В данной статье рассматривается вопрос о построении математической модели шума светодиодных маркеров для повышения точности задачи захвата движений, которая базируется на принципах распознавания образов. Алгоритм создания математической модели основан на синтезировании искусственного светодиодного маркера с добавлением гауссового шума. Для оценки прототипа математической модели был выбран метод минимизации функционала стандартного отклонения. Визуально результаты представлены в гистограммах.

Ключевые слова: распознавание образов, захват движений, математическая модель шума, синтезирование искусственного светодиода.

Введение

Проблема захвата движений занимает значительную часть задачи распознавания образов. Одной из известных технологий является система захвата движений на основе маркеров. Маркерная система представляет собой набор светодиодных элементов, жестко прикрепленных к обозначенному объекту. При движении объекта набором камер фиксируется изменение местоположения светодиодных маркеров, которое позволяет определить положение объекта в пространстве.

Преимущества маркерных систем заключаются в высокой точности определения местоположения, возможностью захвата движений в реальном времени, а также возможностью обработки высокой кадровой частоты.

В основе алгоритмов, определяющих положение объекта в пространстве, лежат различные методики определения местоположения каждого светодиодного маркера — то есть его центра на изображении. Возникает

вопрос определения точности работы алгоритмов по поиску центра маркера на изображении с учетом различных шумов записывающего оборудования. В данной статье рассматривается создание прототипа математической модели шума на изображении с искусственно синтезированным светодиодным маркером. Для оценки качества построенной математической модели используется отклонение расстояний от центров кластеров, полученных алгоритмом k -средних [2, 3]. Результаты визуализированы в виде гистограмм.

Прототип математической модели, как показано в результатах, показывает высокую схожесть графика, зашумленного изображения с искусственным маркером и графика изображения с реальным диодом. В дальнейшем результаты планируется описать математическими выражениями с определением распределения гистограмм и математическими оценками точности.

Построение математической модели

Маркерные системы захвата движений подразделяются на две основные группы — с оптически пассивными маркерами и оптически активными маркерами.

Оптически пассивные маркеры, основанные на технологии, светоотражающих элементов, то есть каждый маркер отражает, посланный на него свет. В таких системах используются инфракрасные камеры и соответственно свет на маркеры подается с инфракрасных устройств. Вторая большая группа — с оптически активными элементами, основана на светодиодных маркерах или просто на светодиодах. Технология не требует подачи света на маркеры и для захвата движения диодов достаточно обычных камер.

В статье рассматривается математическая модель, строящаяся для активных маркеров, но так как не используются особенности активных систем, данная математическая модель может быть также применима и к системам с пассивными светоотражающими элементами.

Синтезирование искусственного диода является первой задачей алгоритма построения математической модели. На изображении необходимо было создать красный диод максимально схожий по характеристикам к реальному диоду. Цветной диод был выбран для избежания инфракрасной засветки. Решение задачи было разделено на две части — первая это изображение центра светодиода белым цветом и вторая — изображение ореола красным цветом. Для изображения центра светодиода рисовал-

ся круг определенного радиуса, зависящий от требуемого размера пятна светодиода. Ореол прорисовывался вокруг центра с пропорциональным уменьшением яркости при удалении из центра. Размер ореола также зависел от выходных требований.

Центр синтезированного диода считался известным и выбирался заранее, в чем и заключается основная особенность. После синтеза пятна светодиода, требовалось решить задачу — добавление шума. Цветовой шум на изображении — это помехи, вызываемые датчиками цифрового видеозаписывающего оборудования. Шум может быть вызван условиями съемки и несовершенством оборудования. На изображении шум проявляется в виде хаотичной сетки пикселей различных цветов, накладываемой на фото/видео данные. Цель построения математической модели сгенерировать шум, максимально приближенный к реальным условиям. В качестве цифрового шума был выбран гауссовский или нормальный шум [1].

Добавление гауссовского шума это наложение маски пикселей, составленных из случайных значений цвета в заданном диапазоне на исходное изображение. $I' = I + \varepsilon$, где I — исходное изображение, I' — зашумленное изображение, ε — гауссова случайная величина.

Оценка качества математической модели шума

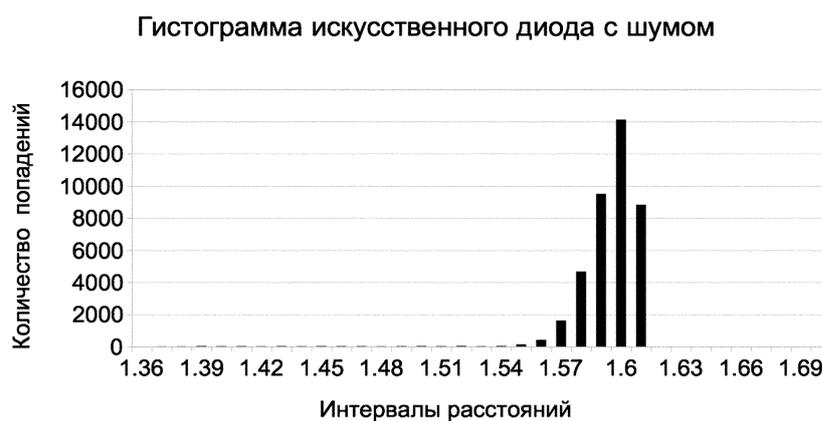
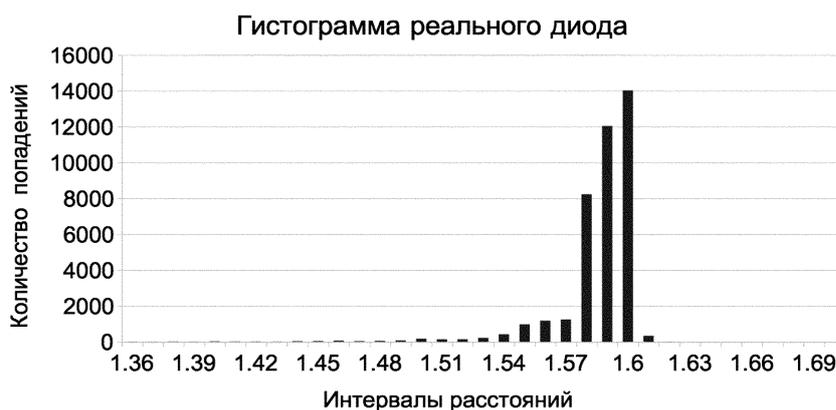
Первым обрабатывается изображение с искусственным светодиодом. Для оценки качества построенной модели необходимо кластеризовать изображение — то есть отделить пятно свечения светодиода от фона.

Кластеризация это определение центров кластеров при выделении множества пикселей одинакового цвета. Входным параметром является количество кластеров. Для кластеризации выбран метод k -средних. Метод k -средних (k -means) — был разработан математиком Гуго Штейнгаузом в 1950-х годах [2, 3]. Алгоритм k -средних высчитывает суммарное квадратичное отклонение каждой точки кластера от центра кластера, в котором содержится точка.

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - \mu_i)^2,$$

где k — число кластеров, S_i — полученные кластеры, $i = 1, 2, \dots, k$ и μ_i — центры масс векторов $x_j \in S_i$. После кластеризации нам становятся известны центры кластеров. В данном случае используется два кластера —

для фона и для пятна светодиода. Центры кластеров заданы в трехмерной системе координат, в которой каждая из осей определяется цветом — то есть синий, зеленый и красный. Таким образом, мы можем определить расстояние каждой точки входного изображения до центров обоих кластеров. Для визуализации результатов строится гистограмма. По оси абсцисс отложены интервалы расстояний, по оси ординат отложено количество вхождений пикселей в конкретный отрезок оси x . Данную процедуру требуется выполнить и для изображения с реальным диодом — то есть провести кластеризацию, подсчитать расстояния от всех точек до центров кластеров, подсчитать количество вхождений в интервалы расстояний и вывести результат на гистограмме. Ниже приведены результаты в виде построенных гистограмм.



Можно заметить высокую схожесть гистограммы искусственно построенного и зашумленного изображения и реальной фотографии. Так-

же схожесть подтверждается показателями гистограммы — значениями пиков — 14017 и 14121 соответственно, то есть отклонение $-0,2\%$; одинаковое значение интервала, содержащее максимальное значение попадений — (1, 59; 1, 6); значение средних линий гистограмм отличается на $0,1\%$.

В дальнейшем планируется определить распределение гистограмм. На данный момент распределение примерно схоже с распределением Стьюдента, а так же предполагается использовать методы оценки качества такие как критерий Колмогорова — Смирнова.

Заключение

В статье было рассмотрен вопрос построения и оценки прототипа математической модели шума датчика видеозаписывающего оборудования. И разработана технология синтеза искусственного диода с известным центром. Совокупность этих решений позволяет сравнить алгоритмы нахождения центра светодиодного маркера, и за счет учета критерия цифрового шума происходит расширение множества решений задачи захвата движений.

Данная технология может быть применима в таких областях как космические исследования например на тренажерах ПСВР [4], робототехника, виртуальной реальности, в военной отрасли, в спорте и других — то есть везде, где используется система захвата движения, основанная на маркерных системах.

Список литературы

- [1] Gonzalez R., Woods R. Digital Image Processing. — Prentice Hall, 2007.
- [2] Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV. — O'Reilly Media, 2008.
- [3] Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. — М.: Мир, 1978.
- [4] Бугров Д. И., Лебедев А. В., Чертополохов В. А. Оценка угловой скорости вращения тела при помощи системы трекинга // Вестник Моск. ун-та. Сер. 1: Мат., мех. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2014. — № 1. — С. 68–71.