

УДК 62-523.8

В. Г. Золотовский, В. В. Кириченко
ООО «НПП Лазерные Комплексы»

Э. А. Ралдугина, Д. Н. Редька
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Создание регулируемой системы освещения для систем машинного зрения

Приведен первый этап моделирования автоматической системы освещения, который заключается в создании модели осветительного устройства для управления яркостью освещения. В работе была рассмотрена основная часть устройства, обеспечивающего равномерность освещенности, а именно линейки светодиодов. В процессе моделирования были получены оптимальные параметры для системы элементов разных размеров, контуры которых должна различать система машинного зрения. Приведен обзор уже существующих решений проблемы регулирования качества изображения в системах машинного зрения. На основании данного обзора были сделаны выводы о целесообразности разработки и применения разрабатываемой автоматически настраиваемой системы освещения в качестве инструмента управления качеством изображения, получаемого системой машинного зрения. Также в работе приведены дальнейшие этапы разработки осветительной системы.

Машинное зрение, система освещения, выравнивание яркости освещения, проектирование системы освещения

Актуальность применения системы освещения. В настоящее время системы технического зрения находят все более широкое применение в процессах автоматизированной обработки деталей машиностроительных отраслей промышленности. Разработка осветительной системы в данной статье предназначена большей частью для систем технического (машинного) зрения [1]. Важно также отметить, что основной задачей данной осветительной системы является автоматическая или полуавтоматическая коррекция освещенности исследуемого объекта – снижение влияния бликов и засветки на формируемое камерой изображение. Данные искажения нарушают целостность контуров наблюдаемых особенностей детали и приводят к потере потенциально важной информации. Разработка адаптивных систем освещения актуальна, поскольку вносимые в картину искажения снижают достоверность при обработке информации и приводят к потере данных.

Особенно данный вопрос важен для робототехнических систем, в которых применяются специализированные датчики. Основное назначение таких датчиков – сбор информации о технологическом процессе и ее передача для дальнейшей обработки [2].

Исходя из поставленной задачи, функционал устройства управления системой освещения разделяется на две части: управление непосредственно осветительными элементами и обнаружение дефектов, вызванных неравномерностью освещения, на передаваемом изображении.

На данный момент существует ряд технических решений, позволяющих обнаруживать и корректировать дефекты получаемого изображения.

Уже существующие методы решения данной проблемы. В настоящее время способов увеличения эффективности машинного зрения существует достаточно много.

Так, в одних источниках предлагают совершенствовать саму систему приема изображения, т. е. камеру [3]. Для таких систем проводится расчет объектива и специальным образом подбирается конструкция системы в зависимости от решаемой для данного устройства задачи. Преимущества данного решения заключаются в защищенности от внешней среды специальными защитными корпусами, получении большей четкости получаемого изображения, а также в возможности регулировать его резкость. Недостатки данной системы заключаются в неустойчивости к внешним вибрациям, зависимости от внешнего освещения объекта, сравнительной дороговизне и

сложности внесения изменений в конструкцию устройства приема света, т. е. в данном случае – камеры. Исходя из этих характеристик можно заключить, что возможности, предоставляемые подобным способом управления качеством передаваемого изображения, слабо влияют на определение контуров, а потому в данном случае нет смысла регулировать саму систему приема света.

Также для управления качеством получаемого изображения можно использовать программные методы, применяемые как для обработки уже полученного изображения (например, фильтры, алгоритмы обработки) так и для составления более точной модели рабочей области, т. е. области, в которой происходит поиск контуров системой машинного зрения, и учета большего количества параметров [4]. При использовании данных методов проводится регулировка за счет дополнительного оборудования, а не основных параметров системы. Регулировка осуществляется при помощи дополнительно размещенных в системе взаимосогласованных цветной телевизионной камеры и тепловизора. Далее для такой системы решаются задачи распознавания объектов и классификации зоны маневрирования. Для этих задач используются не только геометрические параметры среды, но и опорная проходимость (имеется в виду влажность, плотность среды и другие параметры, не относящиеся к геометрическим). На данный момент уже существуют примеры программного обеспечения, реализующего данный метод. Основное их применение на сегодняшний день – определение состава грунта. Достоинства вышеуказанных методов состоят в отработанности методов оптимизации машинного зрения и высокой точности получаемых результатов. Недостаток данной системы – необходимость в специализированном дорогостоящем оборудовании.

Существуют также запатентованные системы юстировки систем машинного зрения, которые настраивают их автоматически [4]. Подобные системы работают с несколькими приемниками света и решают задачу компенсации искажения передаваемого изображения. Однако вышеупомянутые системы – закрытые и, как следствие, в данном случае не представляется возможным скорректировать алгоритмы распознавания под требования разрабатываемого устройства.

Как можно видеть из вышеприведенного, ни одна из перечисленных систем не регулирует освещенность объекта, чтобы улучшить качество

получаемого изображения, а потому система освещения в таких конструкциях зачастую представляет собой достаточно мощный источник света, способный задать равномерное освещение светового пятна заданного размера. При сравнительной простоте и дешевизне такого типа освещения возникает ряд проблем. При определенном расположении светоприемника и системы излучения на камере могут возникать блики, мешающие распознать контуры и нарушающие их целостность. Также система, состоящая из мощного точечного источника, работает только для небольших объектов: существует граничное значение светового пятна, на котором можно создать равномерную освещенность. Следовательно, с увеличением геометрических размеров объекта должны увеличиваться и размеры осветительной системы. Это обстоятельство обуславливает необходимость использования протяженных (распределенных) источников света.

Исходя из приведенного анализа, были установлены требования, предъявляемые к данной схеме.

Перечисление основных требований к системе освещения, необходимой для изменения спектральных характеристик и интенсивности излучения. Для успешного управления системой освещения необходимо, чтобы она обладала возможностью изменения спектра излучения во время настройки яркости отдельного осветительного элемента. Также необходимо иметь возможность задать яркость и спектр излучения для каждого участка освещения в отдельности. Из приведенных замечаний следует, что необходимо использовать систему освещения, разделенную на отдельные мелкие сегменты. При этом важно иметь возможность задать отдельно яркость и спектр излучения для каждого такого единичного элемента в отдельности. Также важно отметить, что необходимость изменять длину волны излучения подразумевает наличие нескольких осветительных источников (в данном случае – светоизлучающих диодов) в единичном элементе излучения. Это обстоятельство существенно ограничивает минимальный размер единичного осветительного элемента. Следовательно, более всего для регулировки освещения подходит светодиодная лента – модульный линейно-распределенный источник света.

Также необходимо помнить, что для выравнивания яркости освещения и устранения засветки необходима система с несколькими уровнями освещения – чтобы иметь возможность осветить

как весь участок в целом, так и конкретную (достаточно малую) область.

Для решения задач первого этапа построений была выбрана достаточно распространенная, гибкая и простая в управлении светодиодная лента – распределенный источник на базе единичных светоизлучающих кристаллов WS2812 [6]. В дальнейшем именно эта светодиодная лента используется в качестве источника освещения благодаря широкому выбору форм, простоте подключения и возможности обращаться к конкретному значению осветительного элемента, т. е. возможности модульного наращивания.

Для управления каждым светодиодом ленты необходима достаточно высокая скорость обработки и передачи данных, так как средняя длительность информационного импульса, задающего параметры свечения отдельного светодиода, составляет величину порядка одной микросекунды. Следовательно, для своевременного обновления данных необходим стандартный протокол передачи данных с достаточно большой скоростью. Самым распространенным протоколом связи с ПК является Ethernet [7]. Скорость передачи данных при его использовании достигает 100 Мбит/с. Следовательно, управляющее устройство должно поддерживать и протокол передачи Ethernet и работу таймеров с тактовой частотой, позволяющей формировать сигнал с импульсом ~400 нс. В качестве микроконтроллера, обеспечивающего указанную производительность формирования сигнала, был выбран кристалл Cortex M4 компании ARM из-за его высокой производительности, малой стоимости и возможности подключения необходимых протоколов для передачи и обработки данных [8]. Для решения задач создания и отладки программного кода микроконтроллера Cortex M4 была использована отладочная плата фирмы STMicroelectronics STM32F407 [9].

Общее строение системы из светодиодов для системы освещения. Как уже было сказано ранее, система освещения должна обладать несколькими уровнями освещения. При этом все управление равномерностью освещенности осуществляется одним распределенным источником света. Для повышения эффективности управления степенью равномерности освещенности следует поместить данный управляющий элемент как можно ближе к объекту. Это поможет осла-

бить дисперсию света на соседние участки, где освещенность равномерна. Из данных соображений можно заключить, что удобнее всего расположить линейку управляющих светодиодов в нижнем ряду. Тогда верхние источники освещения будут только поддерживать определенный уровень общей освещенности.

Данный подход имеет ряд преимуществ. Во-первых, одной линейкой светодиодов, постоянно изменяя освещенность только для одного набора осветительных элементов, значительно проще управлять, чем многоуровневой системой. Во-вторых, данная система позволяет достаточно просто промоделировать несколько уровней, сведя их непосредственно к рассматриваемым распределенным источникам излучения.

Для того чтобы учесть влияние геометрического положения осветительного элемента на яркость освещаемой площадки, было проведено моделирование освещенности исследуемой области (площадки). Моделирование освещенности площадки провели в программном пакете Zemax [10].

Для отображения освещенности оптической системы, соответствующей реальности, необходимо создать точную модель единичного осветительного элемента, которая совпадает с техническими характеристиками, заявленными для конкретной модели осветительного прибора WS2812.

При моделировании возьмем за единичный объект не один светодиод, а их линейку, что позволит сразу учесть эффект наложения света.

Расположим поверхность светодиода не перпендикулярно поверхности, а под углом, чтобы иметь возможность осветить края рабочей площадки.

В первом приближении получим модель, изображенную на рис. 1.

При исследовании освещенности площадки в итоге проведенных расчетов была получена диаграмма освещенности (рис. 2), где можно выделить участок максимума освещенности, соответствующий длине светодиодной ленты 30 см.

При моделировании используются приближения:

1. Сама площадка была выбрана так, чтобы ее размеры превышали размеры осветительного элемента для адекватной оценки распределения яркости.

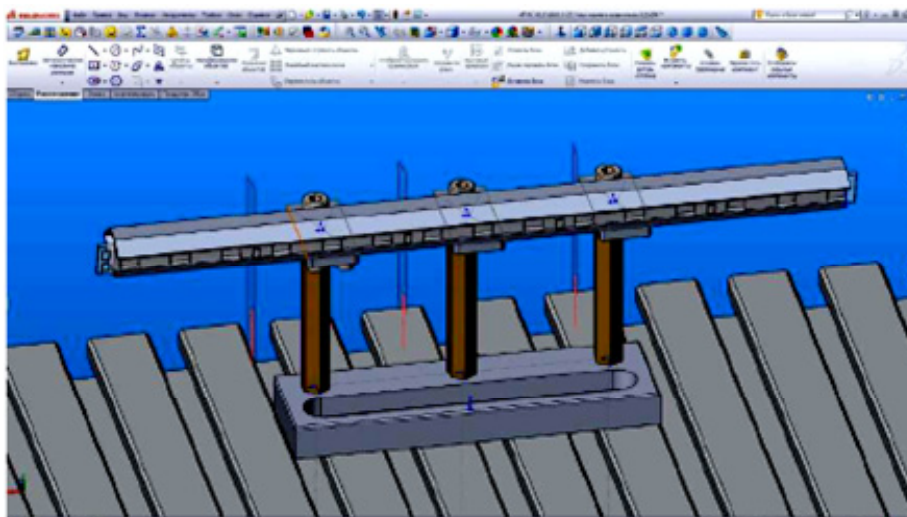


Рис. 1

Значения для световой шкалы, $\frac{\text{Лм}}{\text{м}^2 \cdot \text{стер}}$

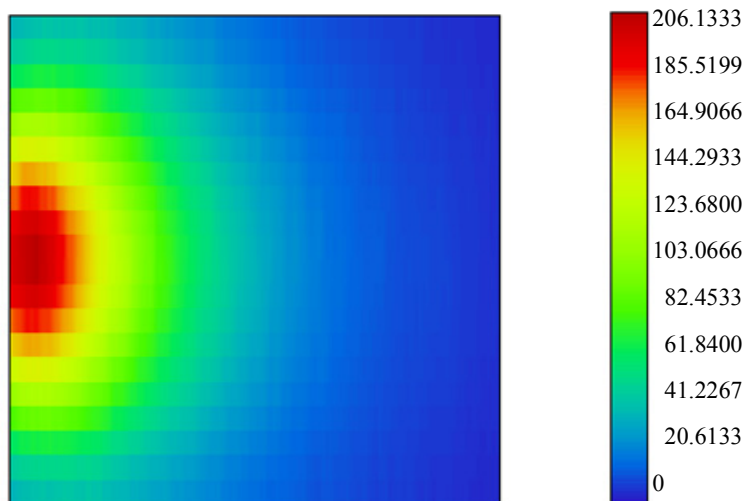


Рис. 2

2. При настройке детектора не учитывалась модель отражения света.

3. Светодиодная линейка расположена под углом 45° к поверхности. При светодиодах, расположенных строго перпендикулярно поверхности, освещенность площадки минимальна, так как она освещается исключительно косыми лучами от осветительного элемента. При этом сам источник света считается ламбертовским, т. е. точечным источником света, излучающим одинаково во всех направлениях.

Оценка оптимальных параметров системы. Для эффективного использования системы освещения нижнего уровня были оценены параметры установки с целью найти положение с максимально возможной освещенностью и минимально допустимой площадью пятна. Для данной задачи варьировались два параметра: угол

наклона осветительного элемента относительно поверхности и удаленность данного элемента от освещаемой площадки. В ходе исследования были получены два графика (рис. 3 и 4).

Из этих графиков удалось успешно определить оптимальное значение угла наклона светового элемента. При данных условиях оптимальным с точки зрения яркости освещаемой поверхности является положение, соответствующее 60° относительно освещаемой поверхности. Это положение осветительного прибора соответствует максимальной яркости освещаемой площадки.

Используя построения второго графика на рис. 4, получили, что со значительным уменьшением освещенности при удалении предмета от поверхности площадь светового пятна меняется мало. Следовательно, для максимальной эффективности при управлении данной системой рас-

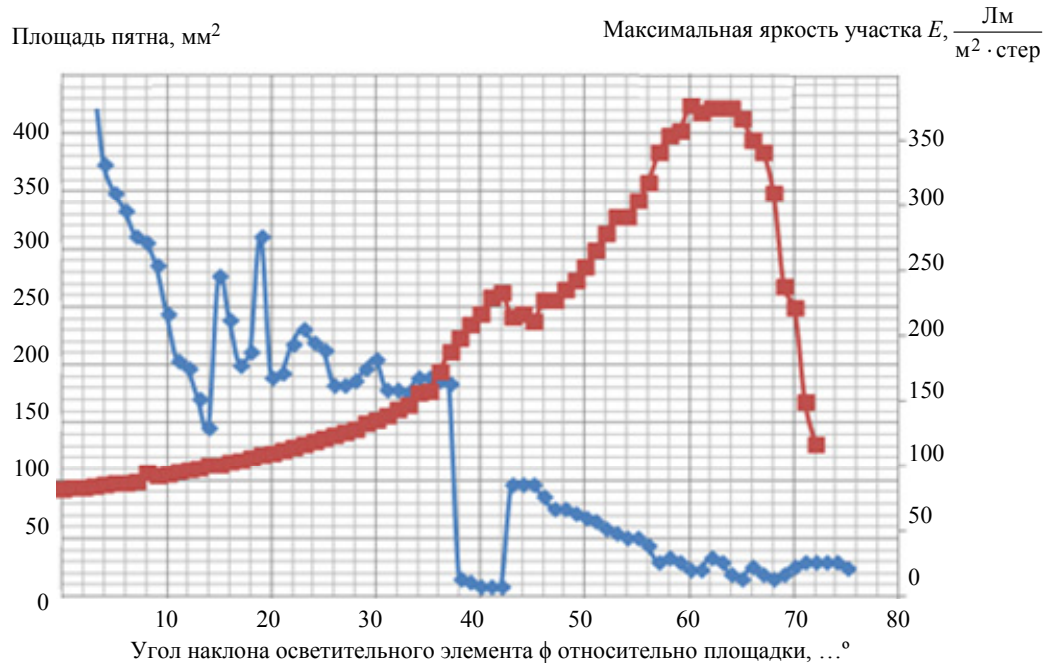


Рис. 3

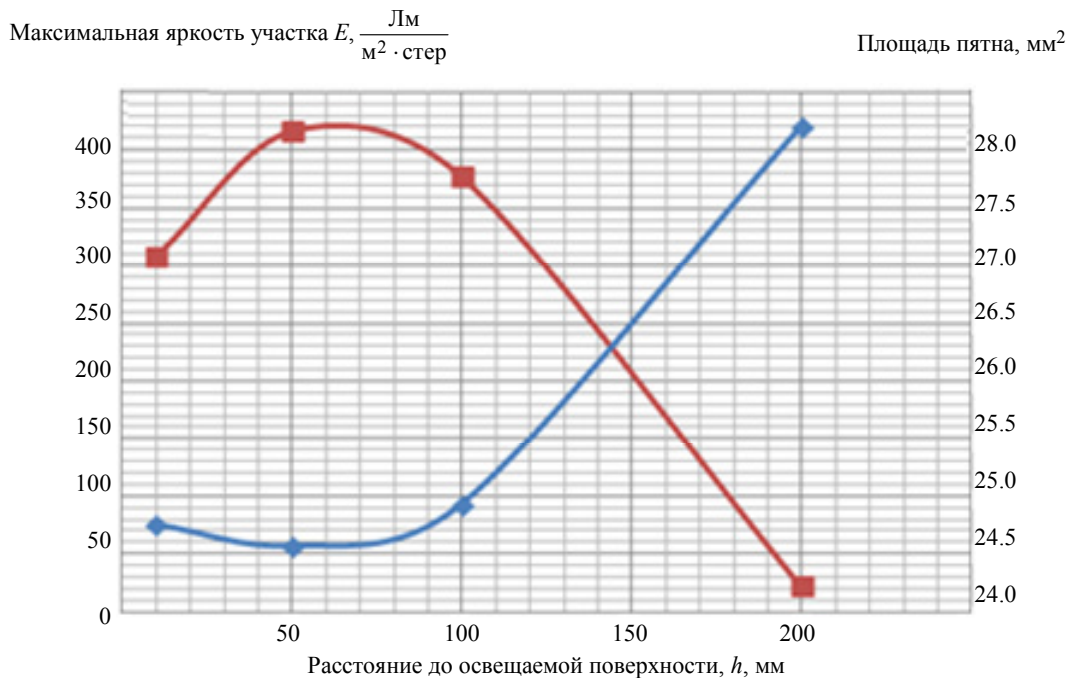


Рис. 4

стояние от элемента освещения до поверхности должно быть минимальным, а обеспечение нужной площади светового пучка должно осуществляться за счет изменения угла осветительного устройства.

Также следует отметить, что хоть данные значения и близки к наблюдаемым на практике, однако на графике рис. 3 отчетливо видно, что созданная модель в некоторых участках недостоверно отображает участки кривой изменения площади светового пучка. Из данных соображе-

ний следует вывод: для получения модели, адекватно и достоверно отражающей реальный процесс, необходимо, чтобы она учитывала большее количество параметров как самого осветительного элемента, так и внешней среды. Также необходимо отметить ограниченную точность измерений проводимых при моделировании и ограниченное разрешение моделирования. В совокупности данные факторы дают наблюдаемые отклонения от реальных результатов.

На данном этапе исследований было сформировано представление о системе адаптивного освещения в целом и конкретные предъявляемые к ней требования. В ходе проведенного моделирования было построено распределение освещенности для единичного источника света по поверхности исследуемого объекта. Для адекватной оценки параметров системы были проведены исследования размера и положения светового пятна в зависимости от угла поворота светодиода относительно плоскости освещаемого объекта, а также от расстояния от источника света до его поверхности.

Графики на рис. 3 и 4 показали, что с точки зрения геометрии оптимально регулирование за счет изменения угла наклона осветительного элемента относительно освещаемой площадки. Также в ходе измерений было получено значение

угла, при котором яркость освещаемой площадки максимальна. Показано что оптимальный угол составляет $\sim 60^\circ$. При этом максимальное значение яркости составило $370 \text{ Лм}/(\text{м}^2 \cdot \text{стер})$.

Намечено продолжение работ, направленное на получение более полного представления о системе освещения; необходимо провести моделирование для двух линейных источников света с целью оценки размеров рабочей области. Также следует рассмотреть случай, когда освещение от двух линеек светодиода накладывается друг на друга. Полученные данные позволят объективно судить об эффективности управления качеством получаемого изображения за счет систем освещения, построенных на базе управляемых распределенных линейных источников, и провести количественный анализ необходимых световых элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Определение машинного зрения / Харбр. URL: <https://habr.com/ru/post/350918/> (дата обращения 29.03.2020).
2. Методы и алгоритмы обработки изображений в системах технического зрения промышленных роботехнических комплексов. URL: <http://tekhnosfera.com/view/594233/a7#?page=3> (дата обращения 22.03.2020).
3. Control Engineering. Россия. Регулировка системы машинного зрения за счет изменения параметров камеры. URL: <https://controlengrussia.com/innovatsii/vybor-obektiva-sistemy-tekhnicheskogo-zrenija-imeet-och/> (дата обращения 27.03.2020).
4. Распознавание объектов и типов опорной поверхности по данным комплексированной системы технического зрения / А. В. Вазаев, В. П. Носков, И. В. Рубцов, С. Г. Цариченко // Изв. ЮФУ. Технические науки. 2016. №2 (175). С. 127–139.
5. Пат. RU2 311 681C1. Способ юстирования бинокулярной системы технического зрения и автоматизированной коррекции растровых изображений / Н. И. Гданский, В. В. Мальцевский, Ю. А. Марченко, И. Г. Хармац // Заявл. 2006.07.06. Оpubл. 2007.11.27.
6. Протокол Ethernet – определение и принцип работы. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ethernet> (дата обращения 11.02.2020).
7. Характеристики кристалла ARM// Cortex-M4. URL: <https://developer.arm.com/ip-products/processors/cortex-m/cortex-m4> (дата обращения 12.02.2020).
8. Регулировка системы машинного зрения за счет изменения параметров камеры // Control Engineering Россия. URL: <https://controlengrussia.com/innovatsii/vybor-obektiva-sistemy-tekhnicheskogo-zrenija-imeet-och/> (дата обращения 27.03.2020).
9. Техническая документация для отладочной платы STM32F407VG6 // ST Electronics. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/083/DOC001083828.pdf> (дата обращения 11.02.2020).
10. Официальный сайт компании Zemax. URL: <https://www.zemax.com/> (дата обращения 12.02.2020).

V. G. Zolotovskiy, V. V. Kirichenko
NPP «Laser Complexes»

E. A. Raldugina, D. N. Redka
Saint Petersburg Electrotechnical University

DEVELOPEMENT OF A REGULATED LIGHTING SYSTEM FOR MACHINE VISION

Presents the first stage of modeling an automatic lighting system, which consists in creating a model of a lighting device for controlling the brightness of lighting. In the work, the main part of the device ensuring the uniformity of illumination, namely, the LED line, was considered. In the process of modeling, optimal parameters for the system were obtained for different sizes of elements, the contours of which must be distinguished by a machine vision system. In addition to the above, the article provides an overview of existing solutions to the problem of regulating image quality in machine vision systems. Based on this review, conclusions were drawn on the feasibility of developing and using the developed automatically tuned lighting system as a tool for managing image quality obtained by the machine vision system. The paper also describes the further stages of development of the lighting system.

Machine vision, lighting system, equalizing lighting brightness, designing of the lighting system