

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРИРОВАННОЙ ПОДСВЕТКИ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Попов С.Б.

Институт систем обработки изображений РАН

Аннотация

В работе предложено использовать структурированную подсветку для детектирования наличия железнодорожного состава на контролируемом пути и фиксации межвагонных промежутков в системах технического зрения (СТЗ) на железной дороге. Этот подход позволяет отказаться от специальных датчиков или дополнительного оборудования для указанного контроля и, совместно с другими решениями комплексной технологии взаимовыявленного проектирования всех компонентов СТЗ, позволяет повысить допустимую скорость прохождения железнодорожных составов через пункты контроля, существенно улучшить результаты и степень достоверности распознавания номеров вагонов и контейнеров, даёт возможность значительно приблизить видеокамеры к железнодорожным путям, одновременно контролировать все пути железнодорожной станции в условиях минимального расстояния между ними.

Ключевые слова: система технического зрения, структурированная подсветка, компьютерное зрение, обработка изображений.

Введение

В современных системах компьютерного и, в частности, технического зрения большую роль играет освещение. Создание равномерного светового потока по всему полю зрения видеокамер системы при отсутствии бликов на контролируемых объектах является отдельной сложной научно-технической задачей.

Наличие такого качественного освещения позволяет использовать в процессе предварительной обработки менее сложные в вычислительном отношении алгоритмы и сократить время обработки одного кадра видеопотока и, следовательно, либо повысить частоту кадров потока видеоданных, либо использовать более интеллектуальные алгоритмы на последующих этапах обработки.

Ещё большее влияние на системы компьютерного зрения в целом оказывает использование специализированной структурированной подсветки, поскольку это позволяет в некоторых случаях существенно упростить и снизить стоимость всей системы в целом.

В области компьютерного зрения структурированное освещение определяется как световой поток с определёнными свойствами [1]. К нему относят разнообразные виды световых точек или меток, световые линии и световые плоскости, которые проецируются специальными системами освещения, лазерным оборудованием или проектором.

Большое развитие получили исследования, которые используют структурированную подсветку в системах трёхмерного зрения [2,3]. При этом используются разнообразные системы со сложной, меняющейся во времени и пространстве структурой светового потока [4], для формирования которого необходимо использовать видеопроекторы с большой светосилой. Такие системы необходимы для решения проблемы идентификации линий подсветки на изображениях со сложной структурой сцены, на которой не всегда возможно полностью проследить конкретную линию на всём её протяжении.

В то же время в системах технического зрения в большинстве случаев не требуется полное и точное восстановление трёхмерной модели наблюдаемой сцены – вполне достаточно получать информацию о наличии объекта в определённой области контролируемого пространства, расстоянии до него и другое ограниченное число вполне конкретных данных. В каждом конкретном случае можно подобрать необходимое структурированное освещение, которое бы решало задачу надёжного и простого получения требуемой информации с точки зрения сложности алгоритмов обработки изображений. С развитием методов проектирования систем освещения с заданной диаграммой направленности светового потока [5–9] такие решения позволяют значительно расширить функциональность и улучшить надёжность и качество систем технического зрения при сохранении или, в некоторых случаях, уменьшении стоимости их создания и эксплуатации.

В данной работе представлен пример модернизации системы технического зрения регистрации железнодорожных составов цистерн с использованием структурированной подсветки простейшего типа, которая позволяет отказаться от специальных датчиков или дополнительного оборудования для детектирования наличия железнодорожного состава на контролируемом пути и фиксации межвагонных промежутков.

Основные схемы контроля составов на железнодорожных путях

Определить наличие железнодорожного состава на контролируемом пути можно несколькими способами. Первый вариант связан с использованием путевых датчиков, устанавливаемых на рельсовый путь и свидетельствующих о нахождении колеса с ребордой (колесной пары) вагона или локомотива в определённой точке рельсового пути [10]. В комплекте с другими устройствами такие датчики могут считывать оси и физические вагоны, определять осьность и выявлять длинно-базные вагоны, тем самым фиксируя межвагонные промежутки, определять направление движения.

Второй вариант основан на системах контроля с инфракрасными датчиками, контролирующими прохождение любых объектов по выбранному пути [11, 12].

Третий вариант предполагает использование для этих целей видеокамер системы технического зрения, которые осуществляют постоянный визуальный контроль за железнодорожными составами, проходящими через пост видеонаблюдения [13–15].

Первые два варианта предполагают развёртывание отдельной подсистемы контроля движения и её интеграцию в систему технического зрения. Для систем технического зрения это означает возрастание стоимости и сложности системы в целом, которое может быть оправдано только существенным повышением достоверности детектирования прохождения состава и каждого вагона в отдельности по сравнению с третьим вариантом.

Реализация третьего варианта связана с разработкой алгоритмов надёжного обнаружения движущегося объекта с заранее неизвестными визуальными характеристиками в условиях постоянно меняющегося (динамического) фона, что является сложной задачей. В работе [10] при её решении использовалась достаточно традиционная схема обработки последовательности изображений рабочей сцены, основанная на вычислении разницы между фоновым и текущим изображением и анализе «количества движения» в текущем кадре. Однако такие традиционные схемы детектирования движения в кадре имеют высокий уровень ложных срабатываний, а в некоторые моменты времени работоспособность подобных методов может быть нарушена. Это связано тем, что системы технического зрения на железнодорожном транспорте работают при естественном освещении, которое сопровождается значительными изменениями условий освещённости в течение суток и в разное время года, возможностью получения при этом изображений с высоким уровнем контраста и даже засветкой отдельных участков кадра. Наиболее сложной в таких условиях становится фиксация междвагонных промежутков. В работах [13–15] использовалось более надёжное, помехоустойчивое решение, исключающее влияние фона с помощью установки специального щита напротив видеокамеры на другой стороне контролируемого железнодорожного пути. По наличию/отсутствию его в кадре система распознаёт присутствие перед видеокамерой состава и промежутки между вагонами. Эталонное изображение фонового щита для каждой из видеокамер формируется на этапе настройки системы и загружается в программу системы технического зрения при её запуске.

Опыт эксплуатации СТЗ с фоновыми щитами показал, что наличие специального рисунка на щите позволяет практически со 100% результатом распознавать присутствие перед видеокамерой состава, а надёжность фиксации междвагонных промежутков начинает давать сбои только при возникновении проблем с освещением в ночное время (перегорание ламп подсветки щита). Недостатками такого решения яв-

ляются наличие ограничений на место размещения поста видеонаблюдения и взаимное расположение видеокамер при использовании контроля с обеих сторон рельсового пути, а также его стоимость [16], несмотря на то что она значительно ниже, чем в случае использования специальных датчиков.

Схемы контроля со структурированным светом

Введение специальной подсветки распознаваемой сцены является распространённым решением в системах технического зрения [17–18]. Например, включение специальной подсветки [19] в состав автоматизированного устройства для оценки степени чистоты подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на её поверхность [20–21], позволило существенно улучшить работу прибора [22]. Для подобных устройств, также как и для освещения железнодорожных цистерн, целесообразно использовать оптические элементы и системы, формирующие прямоугольную область подсветки [23–24] и желательна на цилиндрической поверхности [25]. А в трибометрических устройствах измерения чистоты поверхности подложек [2–27] желательно выделить оставленный след выгнутой прямоугольной областью подсветки [28–29].

Комплексный подход к взаимоувязанному проектированию всех компонентов СТЗ, включая оптическую систему, освещение и аппаратно-программное обеспечение, предложенный в работе [30], позволяет внедрить новые проектные решения, одним из которых является способ детектирования наличия железнодорожного состава на контролируемом пути и фиксации междвагонных промежутков с использованием дополнительной светодиодной системы структурированной подсветки.

Суть предлагаемого решения заключается в проектировании нескольких световых линий параллельно оси зрения камер таким образом, что при появлении железнодорожного вагона на контролируемом пути в поле зрения камеры в определённом месте формировались яркие линии на боковой части вагона или цистерны (рис. 1). Для этого используются оптические элементы и системы, формирующие диаграммы направленности излучения в виде линии. В качестве таких элементов могут быть использованы как зеркала специальной формы [31–34], так и дифракционные оптические элементы (ДООЭ) [35]. Используя методы расчёта многопорядковых ДООЭ [36–37], можно сформировать диаграммы направленности в виде линий разного цвета [38]. Расположение, цвет и яркость линий выбираются так, чтобы обеспечить надёжное определение всех необходимых параметров движения поезда, т.е. обнаружение как момента начала прохождения поезда через камеры, так и момента завершения его прохождения, фиксацию междвагонных промежутков и определение направления движения поезда. Одновременно с этим следует учитывать необходимость работы в широком диапазоне мешающих факторов и недопустимость создания помех для системы распознавания номеров железнодорожных вагонов.

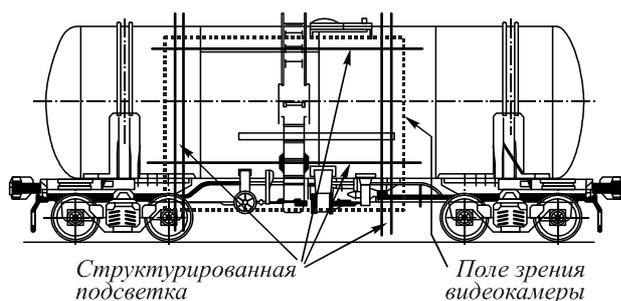


Рис. 1. Расположение линий структурированной подсветки в поле зрения видеокамеры

Для детектирования наличия железнодорожного состава на контролируемом пути достаточно одновременного наличия в поле зрения видеокамеры вертикальных линий структурированной подсветки в определенных областях левой и правой частей кадра. По очередности появления этих линий в кадре определяется направление движения состава. Момент начала прохождения поезда через камеры фиксируется при появлении линий на обеих сторонах кадра. Аналогично, время завершения прохождения поезда совпадает с исчезновением линий структурированной подсветки из обеих контролируемых областей кадра.

Интерпретация ситуации осуществляется в зависимости от предшествующей истории появления/исчезновения линий на последовательности кадров. Исчезновение линий на одной стороне кадра ещё не означает, что поезд выходит из контролируемой зоны. Кратковременное отсутствие линий с одной стороны (один-два кадра на видеопоследовательности) может быть связано с появлением в кадре промежутка между вагонами. Однако этот эффект не может быть использован для надёжного обнаружения межвагонных промежутков, поскольку он связан с необходимостью ограничения скорости прохождения поезда через видеопост СТЗ.

Для обнаружения межвагонных промежутков на видеопоследовательностях уже недостаточно использования вертикальных линий структурированной подсветки только по краям кадра. Возможны два варианта. Первый является логическим развитием решения, используемого для детектирования наличия железнодорожного состава перед видеокамерой. В нём используется набор вертикальных линий, которые проецируются на вагон с некоторым шагом. По отсутствию (или искажению) некоторых из них определяется наличие межвагонного промежутка. Однако в данном варианте уже нельзя использовать систему подсветки с простой, однородной структурой светового потока, поскольку необходимо идентифицировать порядковый номер линии в наборе. При работе с движущимися объектами из всех схем кодификации линий структурированной подсветки [4] можно использовать только стратегии с прямым кодированием цвета линий либо в абсолютном, либо в периодическом вариантах. Реализовать такую подсветку на основе только светодиодных устройств уже не получается.

Во втором варианте формируются горизонтальные линии подсветки, которые пересекают всё поле зрения видеокамеры. Для повышения надёжности работы необходимо использовать несколько линий, разнесённых по всему полю зрения. Основные проблемы их размещения связаны с требованием недопустимости создания помех для системы распознавания номеров железнодорожных вагонов и наличием существенных отличий в геометрических формах у вагонов различных типов. Стандартный вариант предлагаемого подхода предполагает использование двух линий в верхней и нижней частях поля зрения видеокамеры. Для более надёжного обнаружения межвагонных промежутков желательно использовать и горизонтальную линию по центру кадра, причем её точное расположение выбирается исходя из статистики расположения номеров на вагонах и цистернах для минимизации случаев, когда центральная линия пересекает распознаваемый номер.

Окончательная конфигурация структурированной подсветки содержит как вертикальные линии в заранее определённых областях левой и правой частей кадра, так и горизонтальные линии в верхней и нижней частях поля зрения видеокамеры. Это позволяет реализовать устойчивую процедуру обнаружения как момента начала прохождения поезда через камеры, так и момента завершения его прохождения, фиксацию межвагонных промежутков и определение направления движения поезда.

Наличие вертикальных линий в структурированной подсветке даёт дополнительную информацию для коррекции пространственных искажений распознаваемых номеров при контроле железнодорожных цистерн. Это повышает точность и степень достоверности распознавания. Наличие точной информации о пространственных искажениях позволяет при проектировании оптической системы расширить номенклатуру объективов за счёт использования более короткофокусных оптических систем, что, в свою очередь, решает проблему сокращения расстояния от видеокамеры до контролируемого состава в условиях большого количества путей на станции.

Заключение

Новые проектные решения комплексной технологии взаимовязанного проектирования всех компонентов СТЗ [30] позволяют повысить допустимую скорость прохождения железнодорожных составов через пункты контроля, существенно улучшить результаты и степень достоверности распознавания номеров вагонов и контейнеров, дают возможность значительно приблизить видеокамеры к железнодорожным путям, одновременно контролировать все пути железнодорожной станции в условиях минимального расстояния между ними. Возможность наблюдения и регистрации составов, проходящих по нескольким веткам (путям), позволяет существенно повысить пропускную способность железнодорожных узлов и производительность труда на нефтеналивных терминалах, оснащённых предлагаемыми системами технического зрения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № НШ- 4128.2012.9 и грантов РФФИ (№№ 13-07-00997, 12-07-00581, 13-07-97002).

Литература

1. **Xin, Li.** The Theory and Application of Structured Light Photogrammetry with Known Angle / Li Xin, Hou Wenguang, Shang Haoliang // XXIst ISPRS Congress Technical Commission V July 3-11, 2008 Beijing. – P. 101-106.
2. **Rusinkiewicz, S.** Real-time 3D model acquisition / S. Rusinkiewicz, O. Hall-Holt, M. Levoy // ACM Transactions on Graphics. – 2002. – Vol. 21, № 3. – P. 438-446.
3. **Lanman, D.** Surround structured lighting: 3-D scanning with orthographic illumination / Lanman, D., Crispell, D., & Taubin, G. // Computer Vision and Image Understanding. – 2009. – Vol. 113, № 11. – P. 1107-1117.
4. **Salvi, J.** Pattern codification strategies in structured light systems / J. Salvi, J. Pages, J. Batlle // Pattern Recognition. – 2004. – Vol. 37. – P. 827-849.
5. **Голуб, М.А.** Синтез оптической антенны / М.А. Голуб, Н.Л. Казанский, А.М. Прохоров, И.Н. Сисакян, В.А. Соيفер // Компьютерная оптика. – 1987. – № 1. – С. 35-40.
6. **Голуб, М.А.** Формирование эталонных волновых фронтов элементами компьютерной оптики / М.А. Голуб, Н.Л. Казанский, И.Н. Сисакян, В.А. Соифер // Компьютерная оптика. – 1990. – № 7. – С. 3-26.
7. **Казанский, Н.Л.** Математическое моделирование светотехнических устройств с ДОО / Н.Л. Казанский, В.А. Соифер, С.И. Харитонов // Компьютерная оптика. – 1995. – №№ 14-15. – Ч. 2. – С. 107-116.
8. **Досколович, Л.Л.** Проектирование светотехнических устройств с ДОО / Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский, С.И. Харитонов // Компьютерная оптика. – 1998. – № 18. – С. 91-96.
9. **Волков, А.В.** Экспериментальное исследование светотехнических устройств с ДОО / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, Г.В. Успенев // Компьютерная оптика. – 1999. – № 19. – С. 137-142.
10. **Алиев, Э.В.** Оптическая идентификация объектов подвижного состава в задачах управления железнодорожными перевозками / Э.В. Алиев, Е.Н. Веснин, Л.Л. Малыгин, А.Е. Михайлов, В.А. Царёв // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 5. – С. 49-54.
11. Автоматизированная система взвешивания и идентификации железнодорожных вагонов // http://www.shtrihm.ru/production/produce_658.html
12. Распознавание номеров вагонов // http://www.itv.ru/products/intellect/additional_modules/rw/
13. **Буланов, А.П.** Система технического зрения для регистрации железнодорожных составов цистерн / А.П. Буланов, С.Г. Волотовский, Н.Л. Казанский, С.Б. Попов, Р.В. Хмельев, С.М. Шумаков // Автоматизация в промышленности. – 2005. – № 6. – С. 57-59.
14. **Волотовский, С.Г.** Система технического зрения для распознавания номеров железнодорожных цистерн с использованием модифицированного коррелятора в метрике Хаусдорфа / С.Г. Волотовский, Н.Л. Казанский, С.Б. Попов, Р.В. Хмельев // Компьютерная оптика. – 2005. – № 27. – С. 177-184.
15. **Volotovskii, S.G.** Machine Vision System for Registration of Oil Tank Wagons / S.G. Volotovskii, N.L. Kazanskiy, S.B. Popov, R.V. Khmelev // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2005. – Vol. 15, № 2. – P. 461-463.
16. **Казанский, Н.Л.** Распределённая система технического зрения регистрации железнодорожных составов / Н.Л. Казанский, С.Б. Попов // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 3. – С. 419-428.
17. **Казанский, Н.Л.** Система технического зрения для определения количества гель-частиц в растворе полимера / Н.Л. Казанский, С.Б. Попов // Компьютерная оптика. – 2009. – Т. 33, № 3. – С. 325-331.
18. **Kazanskiy, N.L.** Machine Vision System for Singularity Detection in Monitoring the Long Process / N.L. Kazanskiy, S.B. Popov // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2010. – Vol. 19, № 1. – P. 23-30.
19. **Изотов, П.Ю.** Устройство для контроля шероховатости поверхности диэлектрических подложек / П.Ю. Изотов, М.С. Глянько, А.В. Волков, Н.Л. Казанский, С.В. Суханов // Патент РФ на изобретение № 2448341 от 20.04.2012. Бюл. № 11.
20. **Бородин, С.А.** Автоматизированное устройство для оценки степени чистоты подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на её поверхность / С.А. Бородин, А.В. Волков, Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 69-75.
21. **Бородин, С.А.** Устройство для анализа нанощероховатостей и загрязнений подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на её поверхность / С.А. Бородин, А.В. Волков, Н.Л. Казанский // Оптический журнал. – 2009. – Т. 76, № 7. – С. 42-47.
22. **Изотов, П.Ю.** Модификация прибора индикации чистоты и гладкости оптических подложек / П.Ю. Изотов, М.С. Глянько, С.В. Суханов // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 1. – С. 63-69. – ISSN 0134-2452.
23. **Голуб, М.А.** Вычислительный эксперимент с элементами плоской оптики / М.А. Голуб, Н.Л. Казанский, И.Н. Сисакян, В.А. Соифер // Автометрия. – 1988. – № 1. – С. 70-82.
24. **Doskolovich, L.L.** A method of designing diffractive optical elements focusing into plane areas / L.L. Doskolovich, N.L. Kazansky, S.I. Kharitonov, V.A. Soifer // Journal of Modern Optics. – 1996. – Vol. 43, № 7. – P. 1423-1433.
25. **Досколович, Л.Л.** Расчёт оптического элемента для формирования осесимметричного распределения освещённости на поверхности вращения / Л.Л. Досколович, Э.Р. Аслапов // Компьютерная оптика. – 2013. – Т. 37, № 1. – С. 39-44.
26. **Казанский, Н.Л.** Оптимизация параметров устройства трибометрического измерения чистоты поверхности подложек / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский, Н.А. Ивлиев // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 76-79.
27. **Казанский, Н.Л.** Исследование особенностей трибометрического взаимодействия диэлектрических подложек при экспресс-контроле степени чистоты их поверхности / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский, Н.А. Ивлиев // Компьютерная оптика. – 2007. – Т. 31, № 1. – С. 42-46.
28. **Moiseev, M.A.** Design of high-efficient freeform LED lens for illumination of elongated rectangular regions / M.A. Moiseev, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Optics Express. – 2011. – Vol. 19, № S3. – P. A225-A233.
29. **Кравченко, С.В.** Расчёт осесимметричных оптических элементов с двумя асферическими поверхностями для формирования заданных распределений освещённости / С.В. Кравченко, М.А. Моисеев, Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 4. – С. 467-472.
30. **Казанский, Н.Л.** Комплексная технология проектирования систем технического зрения на железной дороге / Н.Л. Казанский, С.Б. Попов // Интеллектуальные системы на транспорте: программа и тезисы докладов Треть-

- ей международной научно-практической конференции «ИнтеллектТранс-2013». – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщений, 2013. – С. 38.
31. **Досколович, Л.Л.** Расчёт зеркала для формирования однопараметрической диаграммы направленности излучения / Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский // *Автометрия*. – 2004. – Т. 40, № 5. – С. 104-111.
 32. **Doskolovich, L.L.** Designing reflectors to generate a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, P. Perlo, S. Bernard // *Journal of Modern Optics*. – 2005. – Vol. 52, № 11. – P. 1529-1536.
 33. **Досколович, Л.Л.** Расчёт зеркала для формирования диаграммы направленности в виде отрезка / Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский, М.А. Тренина // *Автометрия*. – 2006. – Т. 42, № 4. – С. 67-75.
 34. **Doskolovich, L.L.** Designing a mirror to form a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S. Bernard // *Journal of Modern Optics*. – 2007. – Vol. 54, № 3-4. – P. 589 - 597.
 35. **Doskolovich, L.L.** A DOE to form a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, S.I. Kharitonov, P. Perlo // *Journal of Modern Optics*. – 2004. – Vol. 51, № 13. – P. 1999-2005.
 36. **Soifer, V.A.** Multifocal diffractive elements / V.A. Soifer, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // *Optical Engineering*. – 1994. – Vol. 33, № 11. – P. 3610-3615.
 37. **Kazanskiy, N.** Binary beam splitter / N. Kazanskiy, R. Skidanov // *Applied Optics*. – 2012. – Vol. 51, № 14. – P. 2672-2677.
 38. **Doskolovich, L.L.** Design of DOEs for wavelength division and focusing / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, P. Perlo, P. Repetto // *Journal of Modern Optics*. – 2005. – Vol. 52, № 6. – P. 917-926.
- ### References
1. **Xin, Li.** The Theory and Application of Structured Light Photogrammetry with Known Angle / Li Xin, Hou Wenguang, Shang Haoliang // XX1st ISPRS Congress Technical Commission V July 3-11, 2008 Beijing. – P. 101-106.
 2. **Rusinkiewicz, S.** Real-time 3D model acquisition / S. Rusinkiewicz, O. Hall-Holt, M. Levoy // *ACM Transactions on Graphics*. – 2002. – Vol. 21, № 3. – P. 438-446.
 3. **Lanman, D.** Surround structured lighting: 3-D scanning with orthographic illumination / D. Lanman, D. Crispell, G. Taubin // *Computer Vision and Image Understanding*. – 2009. – Vol. 113, № 11. – P. 1107-1117.
 4. **Salvi, J.** Pattern codification strategies in structured light systems / J. Salvi, J. Pages, J. Batlle // *Pattern Recognition*. – 2004. – Vol. 37. – P. 827-849.
 5. **Golub, M.A.** Synthesis of optical antennae / M.A. Golub, N.L. Kazanskiy, A.M. Prokhorov, I.N. Sisakyan, V.A. Soifer // *Computer Optics*. – 1989. – Vol. 1, № 1. – P. 25-28 (Pergamon Press).
 6. **Golub, M.A.** Wavefronts forming by computer-generated optical elements / M.A. Golub, N.L. Kazanskiy, I.N. Sisakyan, V.A. Soifer // *Computer Optics*. – 1990. – № 7. – P. 3-26 – (In Russian).
 7. **Kazanskiy, N.L.** Simulation of DOE-aided lighting devices / N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, S.I. Kharitonov // *Computer Optics*. – 1995. – №№ 14-15. – Part 2. – P. 107-116 – (In Russian).
 8. **Doskolovich, L.L.** Design of DOE-aided lighting devices / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov // *Computer Optics*. – 1998. – № 18. – P. 91-96 – (In Russian).
 9. **Volkov, A.V.** Experimental Study of Lighting Devices Based on Diffractive Optical Elements / A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, G.V. Usplenjev // *Computer Optics*. – 1999. – № 19. – P. 137-142 – (In Russian).
 10. **Aliyev, E.V.** Optical identification of objects rolling in control rail traffic / E.V. Aliyev, E.N. Vesnin, L.L. Malygin, A.E. Mikhailov, V.A. Tsarev // *Automation Industry*. – 2009. – № 5. – P. 49-54 – (In Russian).
 11. Automated system for weighing and identification of railway wagons // http://www.shtrihm.ru/production/produce_658.html.
 12. Recognition of numbers of wagons // http://www.itv.ru/products/intellect/additional_modules/rw/.
 13. **Bulanov, A.P.** Vision system for the detection of trains tanks / A.P. Bulanov, S.G. Volotovskii, N.L. Kazanskiy, S.B. Popov, R.V. Khmelev, S.M. Shumakov // *Automation Industry*. – 2005. – № 6. – P. 57-59 – (In Russian).
 14. **Volotovskii, S.G.** Vision system for the recognition of numbers rail wagons using a modified correlation function in the Hausdorff metric / S.G. Volotovskii, N.L. Kazanskiy, S.B. Popov, R.V. Khmelev // *Computer Optics*. – 2005. – № 27. – P. 177-184.
 15. **Volotovskii, S.G.** Machine Vision System for Registration of Oil Tank Wagons / S.G. Volotovskii, N.L. Kazanskiy, S.B. Popov, R.V. Khmelev // *Pattern Recognition and Image Analysis*. – 2005. – Vol. 15, № 2. – P. 461-463.
 16. **Kazanskiy, N.L.** The distributed vision system of the registration of the railway train / N.L. Kazanskiy, S.B. Popov // *Computer Optics*. – 2012. – Vol. 36, № 3. – P. 419-428 – (In Russian).
 17. **Kazanskiy, N.L.** Machine vision system for determining the amount of gel particles in the polymer solution / N.L. Kazanskiy, S.B. Popov // *Computer Optics*. – 2009. – Vol. 33, № 3. – P. 325-331 – (In Russian).
 18. **Kazanskiy, N.L.** Machine Vision System for Singularity Detection in Monitoring the Long Process / N.L. Kazanskiy, S.B. Popov // *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*. – 2010. – Vol. 19, № 1. – P. 23-30.
 19. **Izotov, P.Yu.** A device for controlling the surface roughness of the dielectric substrate / P.Yu. Izotov, M.S. Glyanko, A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, S.V. Sukhanov // *Russian Federation Patent Number 2448341* from 20.04.2012. Bull. Number 11 – (In Russian).
 20. **Borodin, S.A.** Automated device for assessing the purity of a substrate by a dynamic liquid droplet applied to the surface / S.A. Borodin, A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy // *Computer Optics*. – 2005. – № 28. – P. 69-75 – (In Russian).
 21. **Borodin, S.A.** Device for analyzing nanoroughness and contamination on a substrate from the dynamic state of a liquid drop deposited on its surface / S.A. Borodin, A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy // *Journal of Optical Technology*. – 2009. – Vol. 76, № 7. – P. 408-412.
 22. **Izotov, P.Yu.** Modification of the instrument indication of purity and smoothness of the optical substrates / P.Yu. Izotov, M.S. Glyanko, S.V. Sukhanov // *Computer Optics*. – 2011. – Vol. 35, № 1. – P. 63-69 – (In Russian). – ISSN 0134-2452.
 23. **Golub, M.A.** Computational experiment with plane optical elements / M.A. Golub, N.L. Kazanskiy, I.N. Sisakyan, V.A. Soifer // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. – Allerton Press. – 1988. – № 1. – P. 78-89.
 24. **Doskolovich, L.L.** A method of designing diffractive optical elements focusing into plane areas / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, V.A. Soifer // *Journal of Modern Optics*. – 1996. – Vol. 43, № 7. – P. 1423-1433.
 25. **Doskolovich, L.L.** Design of the optical element generating axisymmetric uniform light distribution on the surface of

- revolution / L.L. Doskolovich, E. Aslanov // Computer Optics. – 2013. – Vol. 37, № 1. – P. 39-44 – (In Russian).
26. **Kazanskiy, N.L.** Optimizing the parameters of the device for tribometric measurement of surface cleanliness of substrates / N.L. Kazanskiy, V.A. Kolpakov, A.I. Kolpakov, S.V. Krichevsky, N.A. Ivliev // Computer Optics. – 2005. – № 28. – P. 76-79 – (In Russian).
 27. **Kazanskiy, N.L.** Study of Interaction of Dielectric Substrates in the Course of Tribometric Assessment of the Surface Cleanliness / N.L. Kazanskiy, V.A. Kolpakov, A.I. Kolpakov, S.V. Krichevsky, N.A. Ivliev // Computer Optics. – 2007. – Vol. 31, № 1. – P. 42-46 – (In Russian).
 28. **Moiseev, M.A.** Design of high-efficient freeform LED lens for illumination of elongated rectangular regions / M.A. Moiseev, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Optics Express. – 2011. – Vol. 19, № S3. – P. A225-A233.
 29. **Kravchenko, S.V.** Design of axis-symmetrical optical element with two aspherical surfaces for generation of prescribed irradiance distribution / S.V. Kravchenko, M.A. Moiseev, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Computer Optics. – 2011. – Vol. 35, № 4. – P. 467-472 – (In Russian).
 30. **Kazanskiy, N.L.** Integrated design technology of machine vision systems for rail / N.L. Kazanskiy, S.B. Popov // Intelligent system of transport: program and abstracts of the Third International Scientific Conference "IntellektTrans 2013". – St. Petersburg: Petersburg State. Univ of Railways, 2013. – P. 38 – (In Russian).
 31. **Doskolovich, L.L.** Designing a mirror to form a one-parameter pattern of radiation / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – Allerton Press. – 2004. – Vol. 40, № 5. – P. 104-111.
 32. **Doskolovich, L.L.** Designing reflectors to generate a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, P. Perlo, S. Bernard // Journal of Modern Optics. – 2005. – Vol. 52, № 11. – P. 1529-1536.
 33. **Doskolovich, L.L.** Calculation of mirrors for beam forming in a segment / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, M.A. Trenina // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – Allerton Press. – 2006. – Vol. 42, № 4. – P. 67-75.
 34. **Doskolovich, L.L.** Designing a mirror to form a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S. Bernard // Journal of Modern Optics. – 2007. – Vol. 54, № 3-4. – P. 589 - 597.
 35. **Doskolovich, L.L.** A DOE to form a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, S.I. Kharitonov, P. Perlo // Journal of Modern Optics. – 2004. – Vol. 51, № 13. – P. 1999-2005.
 36. **Soifer, V.A.** Multifocal diffractive elements / V.A. Soifer, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Optical Engineering. – 1994. – Vol. 33, № 11. – P. 3610-3615.
 37. **Kazanskiy, N.** Binary beam splitter / N. Kazanskiy, R. Skidanov // Applied Optics. – 2012. – Vol. 51, № 14. – P. 2672-2677.
 38. **Doskolovich, L.L.** Design of DOEs for wavelength division and focusing / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer, P. Perlo, P. Repetto // Journal of Modern Optics. – 2005. – Vol. 52, № 6. – P. 917-926.

THE USE OF STRUCTURED LIGHTING IN COMPUTER VISION SYSTEMS

S.B. Popov

Image Processing Systems Institute of the RAS

Abstract

I suggest using a structured lighting for detecting the presence of a train on a controlled track and fixing car-to-car gaps in vision systems on the railway. This approach eliminates the need of special sensors or additional equipment for the specified control and, in conjunction with other decisions of complex technology articulating design of all components of vision systems, allows to increase the maximum speed of trains passing through the checkpoints, to improve significantly the accuracy of the process of recognition of identification numbers of cars and containers, makes it possible to bring the camera closer to the track, to control all roads of the railway station simultaneously under the minimal distance between them.

Key words: vision systems, structured lighting, image processing.

Сведения об авторе



Попов Сергей Борисович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института систем обработки изображений РАН, доцент Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва. Области научных интересов: моделирование, разработка и исследование программных средств распределённой и параллельной обработки крупноформатных изображений; разработка алгоритмов и программного обеспечения систем технического зрения; разработка алгоритмов повышения качества цветных слабоконтрастных изображений.

E-mail: spop@smr.ru.

Sergey Borisovich Popov, doctor in tech. sc.; associate professor of the Samara State Aerospace University; leading researcher at the Image Processing Systems Institute of RAS. His areas of research are parallel and distributed image processing, computer vision, color image processing.

Поступила в редакцию 4 марта 2013г.