

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 004.93

DOI 10.22213/2410-9304-2018-4-40-44

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФЕКТОВ СТЕН ЗДАНИЙ ПО ИСКАЖЕНИЮ ПРОЕЦИРУЕМОЙ СТРУКТУРИРОВАННОЙ СЕТКИ\*

М. В. Караваева, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*В статье рассматривается система технического зрения, позволяющая определить вид и количественные характеристики дефектов стен зданий. Приведена функциональная схема данной системы, описаны ее преимущества по сравнению с существующими методами проведения замеров. Предлагаемый алгоритм восстановления геометрии стен основан на анализе изображения проецируемой структурированной сетки. В случае наличия дефектов, а именно, отклонение от вертикали, выпуклости или вогнутости, проецируемая сетка на изображении искажается, а по количественным характеристикам искажений восстанавливается геометрия стены. Количественные характеристики искажений структурированной сетки определяются по отклонению координат ключевых точек (пересечение вертикальных и горизонтальных контрастных линий) от их координат в идеальном случае, полученных при проекции сетки на абсолютно ровную вертикальную плоскость. Представлена формула расчета отклонения от вертикали для каждой ключевой точки. Приведены результаты исследования точности восстановления геометрических характеристик дефектов стен от вида проецируемой сетки. В ходе исследования сделан вывод, что сетка в виде контрастных горизонтальных и вертикальных линий предпочтительнее при восстановлении количественных параметров рассматриваемых дефектов стен. Погрешности определения геометрических характеристик дефектов не превышают 7 %. Показано, что даже простые виды сеток позволяют добиться результатов, сопоставимых по точности с ручными измерениями, однако процесс измерения менее трудоемкий и не зависит от человеческого фактора.*

**Ключевые слова:** структурированная подсветка, техническое зрение, дефекты стен зданий.

#### Введение

В настоящее время с увеличением объемов строительства подрядчики нередко пренебрегают качеством работ, что впоследствии сказывается на эксплуатации жилья владельцами и может вылиться в значительные финансовые траты по устранению дефектов строительства и негативно отразиться на удовлетворенности потребителей строительного рынка. Статистический анализ данных, размещенных в сети Интернет, а также данных, предоставленных организациями по оценке и экспертизе строительных работ, показал, что самыми распространенными дефектами (до 70 % всех дефектов), выявленными при приемке квартир, являются дефекты геометрических характеристик стен. К ним относятся отклонение стены от вертикальности, выпуклости и вогнутости на стенах, отклонения углов сопряжения стен от значения в 90 градусов, конусность дверных и оконных проемов. Проверка геометрических характеристик стен является крайне трудоемкой процедурой, требующей наличия дорогостоящего высокоточного технического оборудования, которого очень часто нет даже у строителей. Ровность стен напрямую влияет на возможность провести последующие работы (чистовую от-

делку) качественно. На сегодняшний день данные задачи решаются с помощью отвеса, уровня и рулетки, в том числе цифровых, лазерного нивелира, но даже при этом задача остается крайне трудоемкой. Данные инструменты позволяют провести замеры только в отдельных точках, что не дает полной картины о ровности стен, а следовательно, и сложно дать объективную оценку трудоемкости и объемов материалов, необходимых для устранения дефектов.

В данной работе предлагается система технического зрения, позволяющая восстановить трехмерные координаты стен за счет анализа деформации структурированной сетки, проецируемой на них. В настоящее время для задач восстановления трехмерных координат объектов используются трехмерные лазерные сканеры, времяпролетные камеры и другие сложные системы технического зрения, стоимость которых может достигать нескольких миллионов рублей, что препятствует их широкому применению. Системы технического зрения со структурированной подсветкой на базе оптических камер являются существенно более дешевым решением [1–5]. Однако использование структурированной подсветки требует проведения предварительных исследований и разработки

алгоритмов обработки изображений, специфичных для поставленной задачи [6].

#### Описание системы технического зрения

Основными структурными элементами системы технического зрения со структурированной подсветкой для определения дефектов стен являются проекционная и приемная (регистрирующая) системы (см. рис. 1). Проекци-

онная система обеспечивает проецирование структурированной сетки, по «деформации» которой в дальнейшем планируется определять отклонения геометрических характеристик стен от требуемых. В настоящее время распространены два вида проекционных систем: цифровой оптический проектор и лазерный проектор.

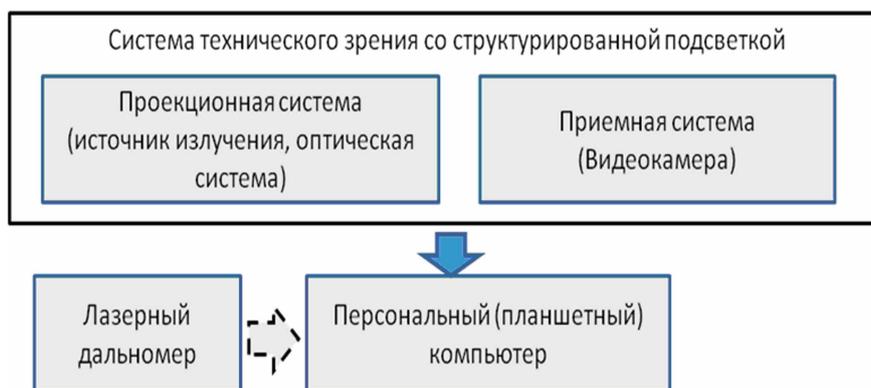


Рис. 1. Функциональная схема устройства для определения дефектов стен

После захвата изображения с камеры и учета модели камеры, полученной по результатам калибровки, с изображением выполнялся ряд операций, цель которых увеличить качество характерных признаков, по которым восстанавливались геометрические характеристики стен.

Существует большое количество методов, решающих задачи выделения существенных признаков на изображении, а также подходов их классификации. Для сравнения методов обработки цифровых изображений проведено их моделирование в виде матриц-масок. Алгоритм работы всех подобных методов [7] основан на определении разности интенсивности цвета элементов и фона изображения. С математической точки зрения данные методы заключаются в вычислении производных, которые для цифровых изображений заменяются дискретными приближениями градиента. В качестве градиентных методов используют операторы, представляющие матричные маски [8, 9]: матрица Робертса, функция Превитта, функция Собела, метод Канни, оператор Лапласиан. Наиболее качественные результаты восстановления линий проецируемой контрастной сетки на стены при различных уровнях освещенности получены при использовании метода Канни, поэтому в дальнейшем алгоритм восстановления дефектов стен строится на использовании именно этого метода.

После выделения на изображении линий проецируемой сетки необходимо идентифици-

ровать ключевые точки (т. е. найти их координаты на изображении  $(x_i, y_i)$ ), в которых будут вычисляться геометрические характеристики дефектов. В качестве ключевых точек удобно использовать точки пересечения горизонтальных и вертикальных линий проецируемой сетки. Выделение ключевых точек реализовано с использованием функций библиотеки OpenCV по градиентному методу. Результат реализации алгоритма выделения ключевых точек приведен на рис. 2, на котором они выделены окружностями.

Далее найденные координаты ключевых точек сравниваются с идеальными координатами ключевых точек, которые могли бы быть получены в случае проекции на абсолютно ровную вертикальную плоскость. При наличии на стене дефектов проецируемое изображение исказится. Пример искажения проецируемой сетки при выпуклости 50 мм приведен на рис. 3.

Количество ключевых точек зависит от плотности проецируемой сетки. Нумерация ключевых точек начинается с верхнего левого угла на изображении и заканчивается нижней правой точкой.

Отклонение от вертикали для каждой ключевой точки находится следующим образом:

$$z_i = r - \frac{\tilde{y}_i r x_i - \tilde{x}_i y_i r}{2x_i y_i},$$

где  $i$  – порядковый номер ключевой точки (для приведенной выше сетки  $i = 1 \dots 16$ );  $r$  – расстояние от камеры до плоскости (измеряется

в процессе калибровки);  $x_i, y_i$  – координаты точки на изображении, соответствующем идеальному

расположению;  $\tilde{x}_i, \tilde{y}_i$  – координаты точки на изображении, спроецированном на стену.

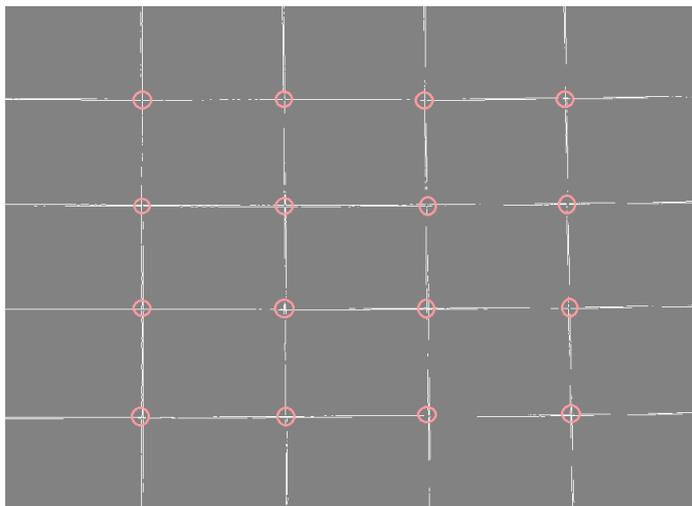


Рис. 2. Результат выделения ключевых точек

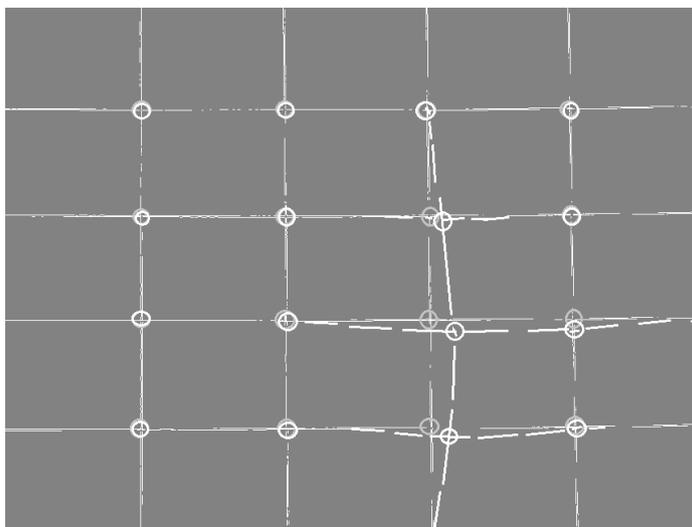


Рис. 3. Искажение проецируемого изображения при наличии дефекта (дефекту соответствуют ключевые точки, выделенные окружностями белого цвета)

В дальнейшем полученные дискретные значения можно аппроксимировать поверхностью [10], что позволит рассчитать объем материалов для устранения дефекта.

#### **Исследование искажения структурированной сетки, проецируемой на стены с существующими дефектами**

Использование рассматриваемой системы технического зрения и алгоритма определения геометрических характеристик дефектов стен позволяют идентифицировать отклонения, незаметные человеческому глазу. Рассмотрим далее результаты исследования точности восстановления геометрии стен для двух видов проецируемой сетки, приведенных на рис. 4. Для оценки

точности сетка проецировалась на светлое гибкое полотно, которое вывешивалось вертикально. В процессе проведения исследований данное полотно отводилось от вертикали на заданный угол (2 градуса), имитируя отклонение от вертикали. Также создавались выпуклости и вогнутости путем перемещения некоторой выбранной точки полотна на заданное расстояние – 20 мм. Изображения данных дефектов не приводятся, так как визуально они не отличимы от идеальных изображений (см. рис. 4) в условиях приводимых размеров и печати в типографии.

Сравнение результатов восстановленных параметров дефектов с реальными значениями приведено в таблице.



Рис. 4. Изображения проецируемых структурированных сеток:  
 а – контрастные линии; б – в виде шахматной доски

**Сравнение количественных характеристик дефектов стен при различных проецируемых сетках**

Вид дефекта	Реальное значение	Полученное для сетки (а)	Полученное для сетки (б)
Отклонение от вертикали	2°	1,9°	2,18°
Вогнутость	20 мм	21,4 мм	19,5 мм
Выпуклость	20 мм	20,6 мм	21,6 мм

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что сетка в виде контрастных горизонтальных и вертикальных линий предпочтительнее при восстановлении количественных параметров рассматриваемых дефектов стен. Погрешности определения геометрических характеристик рассматриваемых дефектов не превышают 7 % для сетки в виде тонких контрастных линий и 9 % для проецируемой сетки в виде шахматной доски. Однако стоит отметить, что эксперименты проводились в идеальных условиях, когда контрастность изображения обеспечивалась идеально белым цветом экрана, на который проецировалась сетка. На практике при более темных оттенках стен требуется более тщательный выбор вида сетки, а также метода выделения контрастных линий.

**Заключение**

В работе подтверждается возможность применения системы технического зрения на основе проецируемой структурированной сетки для определения вида и количественных характеристик дефектов стен зданий. Разработанный алгоритм восстановления геометрии стен на основе анализа искажения структурированной сетки, проецируемой на стены, позволил провести исследования точности восстановления геометрических характеристик дефектов стен от вида проецируемой сетки и получить количественную оценку точности. Показано, что даже простые виды сеток позволяют добиться результатов, сопоставимых по точности с ручными измерениями, однако процесс измерения менее трудоемкий и не зависит от человеческого фактора.

Ключевым недостатком предлагаемого метода является зависимость точности восстановле-

ния геометрических характеристик от цвета стены и уровня общей освещенности помещения. Минимизировать погрешности данного метода возможно при использовании специальной проекционной системы на основе лазерных излучателей, позволяющих сформировать требуемую структуру проецируемой сетки.

Исследования, представленные в данной работе, основаны на анализе информации отдельного кадра, соответствующего отдельному изображению стены. В дальнейшем планируется создание подвижной системы технического зрения, например, расположенной на мобильном роботе [11–13] и способной анализировать дефекты стен вдоль всего периметра помещения в автономном режиме.

**Библиографические ссылки**

1. *Salvi J., Pages J., Batlle J.* Pattern codification strategies in structured light systems // *Pattern Recognition*. 2004, vol. 37(4), pp. 827-849.
2. *Geng J.* Structured-light 3d surface imaging: a tutorial // *Advances in Optics and Photonics*. 2011. Vol. 3. Pp. 128-160.
3. *Scharstein D., Szeliski R.* High-accuracy stereo depth maps using structured light // *2003 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2003. Vol. 01. Pp. 195-202.
4. *Горевой А. В., Колючкин В. Я.* Методы восстановления трехмерной структуры объектов для многоканальных систем регистрации с использованием структурированной подсветки // *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Приборостроение*. 2012. Вып. 12. С. 185–201.
5. *Воронин В. В., Марчук В. И.* Методы и алгоритмы восстановления изображений в условиях неполной априорной информации : монография. Шахты : ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2010. 89 с.

6. Eiriksson E. R. et al. Precision and accuracy parameters in structured light 3-D scanning // The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016. Т. 40. С. 7.

7. Гонзалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М. : Техносфера, 2006. 1072 с.

8. Там же.

9. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.

10. Караваяева М. В. Программа для определения количественных характеристик дефектов стен по искажению структурированной сетки, проецируемой на них : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617843 от 03.07.2018.

11. Медведев М. В., Кирпичников А. П. Трехмерная реконструкция объектов в системе технического зрения мобильного робота // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 15.

12. Караваяев Ю. Л., Клековкин А. В., Лесин С. К. Мультисенсорная информационно-измерительная система мобильного робота для реализации движения в недетерминированной среде // Интеллектуальные системы в производстве. 2016. Т. 14 № 4. С. 111–115.

13. Локация мобильного робота с использованием структурного анализа изображений / М. И. Евстигнеев, Ю. В. Литвинов, В. В. Мазулина, М. М. Чашина // Изв. Вузov. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 9. С. 858–862.

## References

1. Salvi J., Pages J., Batlle J. Pattern codification strategies in structured light systems. In Pattern Recognition. 2004, vol. 37(4), pp. 827-849.

2. Geng J. Structured-light 3d surface imaging: a tutorial. In Advances in Optics and Photonics. 2011. Vol. 3. Pp. 128-160.

3. Scharstein D., Szeliski R. High-accuracy stereo depth maps using structured light. In 2003 IEEE Confer-

ence on Computer Vision and Pattern Recognition. 2003. Vol. 01. Pp. 195-202.

4. Gorevoi A.V., Kolyuchkin V.Ya. [Methods for restoring the three-dimensional structure of objects for multichannel recording systems using structured back-lighting]. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Priborostroyeniye*. 2012. Vol. 12. Pp. 185-201 (in Russ.).

5. Voronin V.V., Marchuk V.I. *Metody i algoritmy vosstanovleniya izobra-zhenii v usloviyakh nepolnoi apriornoi informatsii* [Methods and algorithms for restoring images in the context of incomplete a priori information]. Shakhty : GOU VPO «YuRGUES», 2010. 89 p. (in Russ.).

6. Eiriksson E.R. et al. Precision and accuracy parameters in structured light 3-D scanning. In The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016. Vol. 40. P. 7.

7. Gonzales R., Vuds R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii* [Digital image processing]. Moscow, Tekhnosfera, 2006. 1072 p. (in Russ.).

8. Ibid.

9. Shapiro L., Stokman Dzh. *Komp'yuternoe zreniye* [Computer vision]. Moscow, 2006. 752 p. (in Russ.).

10. Karavaeva M.V. *Programma dlja opredeleniya kolichestvennykh harakteri-stik defektov sten po iskazheniju strukturirovannoy setki, proeciruemoy na nih, svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2018617843 ot 03.07.2018* [A program for determining the quantitative characteristics of wall defects by distorting the structured grid projected on them] (in Russ.).

11. Medvedev M.V., Kirpichnikov A.P. [Three-dimensional reconstruction of objects in the vision system of a mobile robot]. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2014. Vol. 17, no. 15 (in Russ.).

12. Karavaev Ju.L., Klekovkin A.V., Lesin S.K. [Multisensory information-measuring system of a mobile robot for realizing motion in a non-deterministic environment]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2016. Vol. 14, no. 4, pp. 111-115 (in Russ.).

13. Evstigneev M.I., Litvinov Ju.V., Mazulina V.V., Chashhina M. M. [Location of a mobile robot using structural image analysis]. *Izv. Vuzov. Priborostroyeniye*. 2017. Vol. 60, no. 9. Pp. 858-862 (in Russ.).

\*\*\*

## Determination of the Quantitative Characteristics of Building Wall Defects Due to Distortion of the Projected Structured Grid

M. V. Karavaeva, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*The paper considers the computer vision system that allows to determine the type and quantitative characteristics of wall defects in buildings. The functional scheme of this system, its advantages in comparison with existing methods of defect measurements are presented. The proposed algorithm for reconstruction of the wall geometry is based on the analysis of the image of a projected structured grid. In case of defects, namely, deviation from the vertical, convexity or concavity, the structured light grid is distorted, and the geometry of the wall is restored according to the quantitative characteristics of the distortions. The quantitative characteristics of distortions of a structured light grid are determined by the deviation of the coordinates of the key points (the intersection of vertical and horizontal contrast lines) from their coordinates in the ideal case of projecting onto an absolutely smooth vertical plane. A formula for calculating the deviation from the vertical for each key point is given. The research results of the accuracy of restoring the geometric characteristics of wall defects from the type of the structured light grid are presented. The research concluded that the grid in the form of contrasting horizontal and vertical lines is preferable for restoring the quantitative parameters of the considered wall defects. The errors in determining of the geometric characteristics of defects do not exceed 7%. It is shown that even simple types of grids allow for achieving results comparable in accuracy with manual measurements, however, the measurement process is less laborious and does not depend on the "human factor".*

**Keywords:** structured light, computer vision, defects of walls.

Получено 14.09.18