ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ. СПЕЦИАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 69.059:004.932

А.А. Локтев, В.Ф. Бахтин*, И.Ю. Черников*, Д.А. Локтев**

*ФГБОУ ВПО «МГСУ», *ИЦТЭиД «Эксперт»,*

***ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»*

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНЕШНИХ ДЕФЕКТОВ СООРУЖЕНИЯ ПУТЕМ АНАЛИЗА СЕРИИ ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА

Приведены новые алгоритмы в развитие методики определения внешних дефектов сооружений, основанной на использовании в комплексной системе мониторинга видеодетекторов. Методика может применяться как постоянно в режиме реального времени, так и время от времени при проведении профилактических обследований и паспортизации объектов. Предлагаемые алгоритмы могут оценивать появление тех или иных внешних дефектов по всей поверхности сооружения.

Ключевые слова: система видеомониторинга, метод характерных точек, распознавание объектов, оптический поток, детектор Харриса — Лапласа, геометрические параметры, угловые точки, размытие пикселей, обследование сооружения.

В настоящее время одной из наиболее динамично развивающихся областей строительной индустрии является мониторинг зданий и сооружений. Исследования здесь направлены на диагностику и контроль состояния как отдельных конструкций и их элементов, так и всего сооружения в целом. Своевременное обнаружение дефектов, критических деформаций, нарушений внешних слоев покрытия во многом позволяют предотвратить возникновение аварийных ситуаций или катастроф. Существует множество достаточно эффективных систем мониторинга, но практически все они связаны с использованием активных элементов, достаточно дороги в установке и эксплуатации, а также позволяют обнаружить изменение деформационных факторов конструкции на очень ограниченных участках элементов.

Проблема актуальна, тем более, например, что в последнее десятилетие отмечается стремительное развитие инфраструктуры систем связи, но часто в качестве основания для установки новых передающих блоков и антенн используются сооружения, возведенные в середине прошлого века и существенно выработавшие свой ресурс. В связи с этим все чаще возникают задачи контроля таких инфраструктурных объектов, как башни, мачты и вышки. Такие задачи могут быть связаны с необходимым обследованием при установке дополнительного оборудования и модулей, а также при плановом обследовании и паспортизации отдельных объектов в соответствии с нормативно-правовыми документами.

Своевременное обнаружение критических деформаций во многом позволит предотвратить возникновение аварийных ситуаций или катастроф. Для точного детектирования деформаций чаще всего используются тензодатчики

на основе пьезоэлектрического эффекта [1—3] и волоконно-оптические датчики на основе использования брэгговских решеток [3—5], но в таких распределенных информационно-измерительных системах (ИИС) есть и существенные недостатки, которые сужают область их возможного использования. Среди основных недостатков можно выделить высокую стоимость как первоначальной установки и настройки, так и последующей эксплуатации таких систем. Традиционные измерительные датчики требуют подачи электропитания, собственной линии передачи сигнала измерительной информации, а также линии для подачи управляющих сигналов [6—8]. Существенным ограничением является и то, что любой датчик определяет деформации или другие параметры состояния конструкции только на протяжении своей базы, таким образом, активные датчики должны устанавливаться в местах конструкций, в которых измененное состояние было обнаружено при визуальном осмотре или иными методами [1—4, 9, 10]. Появление видео- и фотодетекторов с высокой разрешающей способностью и другими параметрами получения качественного изображения объекта сделало возможным создание ИИС для мониторинга инфраструктурных объектов с приемлемыми для практики характеристиками. В основе таких систем — не только детекторы с высокой чувствительностью, но и алгоритмы распознавания объектов, определения их геометрических параметров путем анализа серии изображений. Данной проблематике и посвящена настоящая работа, в которой разрабатываются вычислительные алгоритмы обнаружения внешних дефектов, здесь предлагается смоделировать использование предлагаемой ИИС на примере четырехгранной стальной башни (рис. 1).

Рис. 1. Общий вид вышки со-
товой системы связи

На этапе предварительной обработки изображения происходит выделение характерных точек изображения и расчет оптического потока в окрестности этих точек. При этом пиксель изображения с координатами (x, y, t) в плоскости и времени и интенсивностью $I(x, y, t)$ за прогонку одного кадра получил приращения $(\Delta x, \Delta y, \Delta t)$. Считая, что за малое перемещение интенсивность графической точки не изменится, можно записать уравнение оптического потока в компонентах скорости точки в направлении координатных осей

$$I_x v_x + I_y v_y + I_t = 0, \quad (1)$$

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad v_y = \frac{\Delta y}{\Delta t}, \quad I_x = \frac{\partial I}{\partial x}, \quad I_y = \frac{\partial I}{\partial y}, \quad I_t = \frac{\partial I}{\partial t}.$$

Уравнение (1) должно быть разрешено относительно неизвестных v_x и v_y , для этого необходимо использование дополнительных условий — ограничений. Для расчета оптического потока изображения предлагается использовать метод Лукаса — Канаде [11]. Этот метод предполагает, что оптический поток

одинаков для всех пикселей в пределах небольшого прямоугольного участка изображения, охватывающего множество пикселей $(q_i)_{i=1}^n$. Вектор скорости оптического потока $v = [v_x, v_y]^T$ для центрального пикселя p можно получить из решения системы уравнений (1), учитывая, что интенсивность есть функция от положения конкретного пикселя q_i . Метод наименьших квадратов позволяет свести переопределенную систему к системе из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$v = G^{-1}b, \text{ где } G = \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} I_x^2(q_i) & I_x(q_i)I_y(q_i) \\ I_x(q_i)I_y(q_i) & I_y^2(q_i) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$b = \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} -I_t(q_i)I_x(q_i) \\ -I_t(q_i)I_y(q_i) \end{bmatrix},$$

где G — матрица моментов второго порядка прямоугольного участка изображения; b — вектор смешанных произведений.

Важным при решении системы (2) является выбор размеров фрейма вокруг исследуемого пикселя. Выбор осуществляется путем сопоставления двух разно ориентированных условий: уменьшение размера фрейма позволяет отделять исследуемые объекты от фона, увеличение фрейма позволяет обнаруживать большие изменения в состоянии объекта. Для решения двойственной проблемы, предлагается использовать пирамидальную итерационную схему Боке [12, 13], которая основывается на принципе последовательной обработки изображения на разных уровнях разрешающей способности, от грубой до более точной оценки изменения состояния объекта в кадре.

При построении итерационной схемы на нижнем уровне располагаются кадры в первоначальном разрешении ($I^0 = I, J^0 = J$; I и J — предыдущий и последующий кадры), на каждом последующем уровне разрешение уменьшается в два раза. Рассматривается прямоугольный фрейм вокруг искомого пикселя размером $(p_x \pm w_x; p_y \pm w_y)$. Если пиксель p изображения I^L переместился в позицию $p + \Delta p$ изображения J^L , то для нахождения изменения Δp требуется минимизировать сумму квадратов отклонений пикселей по осям:

$$\varepsilon = \sum_{x=p_x-w_x}^{p_x+w_x} \sum_{y=p_y-w_y}^{p_y+w_y} \left[I^L(x, y) - J^L(x + \Delta p_x, y + \Delta p_y) \right]^2, \quad (3)$$

$$\Delta p = g^L + v^{k-1} + \eta^k,$$

где g^L — суммарная оценка изменения, полученная после обработки уровней пирамиды с L_m до $L + 1$; v^{k-1} — оценка изменения на уровне L , полученная после $(k-1)$ -й итерации; η^k — поправка изменения на уровне L на k -й итерации.

Для уменьшения вычислительной сложности такого подхода в первую очередь рассматриваются угловые пиксели, которые выявляются при помощи детектора Харриса [14, 15]. В окрестности угловой точки яркость изображения изменяется значительно при перемещении в нескольких направлениях, для выделения таких точек используется матрица моментов второго порядка:

$$A(X) = w(X, \sigma) \circ \begin{bmatrix} I_x^2(X) & I_x I_y(X) \\ I_x I_y(X) & I_y^2(X) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $\circ$ — операция взятия двумерной свертки; $I_x(X)$ и $I_y(X)$ — производные яркости изображения в направлении x и y около пикселя X ; $w(X, \sigma)$ — весовая функция, служащая для усреднения яркости в пределах участка изображения:

$$w(X, \sigma) = g(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right). \quad (5)$$

Для угловой точки матрица A будет иметь два положительных собственных числа λ_1 и λ_2 , которые связаны с параметром Харриса:

$$R = \det(A) - \alpha \operatorname{trace}^2(A) = \lambda_1 \lambda_2 - \alpha (\lambda_1 + \lambda_2)^2, \quad (6)$$

где α — некоторая константа.

Угловые точки определяются как локальные максимумы меры Харриса, превышающие заданный порог h :

$$\{x_c\} = \{x_c \mid R(x_c) > R(x_i), \forall x_i \in W(x_c) > h\}, \quad (7)$$

где $W(x_c)$ — множество пикселей 8-кратной окрестности искомого пикселя.

Чтобы предлагаемая методика была инвариантна и к повороту, и к рассматриваемому масштабу, предлагается объединить детектор углов с гауссовым пространством масштабов, в результате получается детектор Харриса — Лапласа [13, 16].

При определении положения дефекта выделяются характерные точки изображения с помощью детектора Харриса — Лапласа, находящиеся в центральной части изображения. Характерные точки за пределами фрейма считаются фоновыми. Происходит идентификация изменений характерных точек во фрейме относительно фона методом Боке [12, 15]. На втором этапе следящий фрейм ориентируется на характерную точку, имеющую наибольшее изменение относительно фона в текущий момент времени. Характерные точки внутри фрейма, определенное изменение которых больше некоторого заданного порога обнаружения $\rho_{\text{обн}}$, считаются принадлежащими исследуемому дефекту. Когда перемещение следящего фрейма относительно его характерного размера превышает некоторое значение порога захвата $\rho_{\text{захв}}$, то определение дефекта считается состоявшимся. Характерная точка, которая имеет наибольшее изменение относительно фона за последние N кадров, гарантированно принадлежит объекту, и к ней привязан следящий фрейм, для ускорения этой процедуры используется алгоритм FAST [17, 18].

Алгоритм обнаружения объекта и определение его параметров включает три процедуры: процедура запуска обнаружения; процедура обработки очередного кадра; процедура остановки определения параметров объекта [19, 20]. Блок-схемы этих процедур приведены на рис. 2—4. На рис. 5 с помощью предлагаемой методики были обнаружены наружные дефекты разрушения антикоррозионного покрытия.

Рис. 2. Алгоритм идентификации объекта

Рис. 3. Обработка очередного кадра

Рис. 4. Процедура обработки очередного кадра (конец)

Рис. 5. Разрушение антикоррозионного покрытия стойки и раскосов: *а* — в основании башни; *б* — от отм. +46,000 м до отм. +49,000 м

Приведенная в работе методика может быть использована при создании ИИС мониторинга, основанной на использовании фотодетекторов высокой четкости и алгоритмов распознавания дефектов, имеющих цветовые отличия и отличия формы по сравнению с фоном. Поскольку практически каждое обследование здания или сооружения начинается с визуального осмотра и определения наиболее вероятных мест появления и наличия дефектов, то предлагаемая методика может быть совмещена с этим этапом и упростит процесс диагностики, обследования при разработке проектов по реконструкции и размещению дополнительного оборудования на существующих объектах инфраструктуры.

Библиографический список

1. *Othonos A., Kalli K.* Fiber Bragg gratings: fundamentals and applications in telecommunications and sensing. London : Artech House, 1999. 422 p.
2. *Ivanov V.S., Kravtsov V.E., Tikhomirov S.V.* Problems of metrological support of measurements in fiber-optic transmission systems // Proc. of SPIE. 2002. Vol. 4900. Pp. 430—440.
3. *Nielsen C.K., Andersen T.V., Keiding S.R.* Stability analysis of an all-fiber coupled cavity Fabry-Perot additive pulse modelocked laser // J. Quantum Electronics. 2005. Vol. 41. No. 2. Pp. 198—204.
4. *Бахтин В.Ф., Черников И.Ю., Локтев А.А.* Расчет на динамическое воздействие мачты сотовой системы связи и плиты перекрытия, на которую она опирается // Вестник МГСУ. 2012. № 8. С. 66—75.
5. *Akimov D., Vatolin D., Smirnov M.* Single-image depth map estimation using blur information // 21st GraphiCon International Conference on Computer Graphics and Vision. Conference Paper. Moscow, 2011. Pp. 12—15.
6. *Churin P., Poddaeva O.I.* Aerodynamic testing of bridge structures // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 477—478. Pp. 817—821.
7. *Gaspar T., Oliveira P.* New dynamic estimation of depth from focus in active vision systems // Preprints of the 18th IFAC World Congress, Milano (Italy), August 28 — September 2, 2011. Pp. 9470—9475.
8. *Loktev A.A.* Non-elastic models of interaction of an impactor and an Uflyand — Mindlin Plate // International Journal of Engineering Science. 2012. Vol. 50. No. 1. Pp. 46—55.

9. Kuhnert K.-D., Langer M., Stommel M., Kolb A. Dynamic 3D-Vision // Vision Systems: Applications. June 2007. Pp. 311—334.
10. Levin A., Fergus R., Durand Fr., Freeman W.T. Image and depth from a conventional camera with a coded aperture // ACM Transactions on Graphics. 2007. Vol. 26. No. 3. Art. 70. Pp. 124—132.
11. Nagata T., Koyanagi M., Tsukamoto H., Saeki S., Isono K., Shichida Y., Tokunaga F., Kinoshita M., Arikawa K., Terakita A. Depth perception from image defocus in a jumping spider // Science. 2012. Vol. 335. No. 6067. Pp. 469—471.
12. Bruhn A., Weickert J., Schnörr C. Lucas-Kanade meets Horn-Schunck: Combining local and global optic flow methods // International Journal of Computer Vision. 2005. Vol. 61. No. 3. Pp. 211—231.
13. Cremers D., Soatto S. Motion competition: A variational framework for piecewise parametric motion segmentation // International Journal of Computer Vision. 2005. Vol. 62. No. 3. Pp. 249—265.
14. Elder J.H., Zucker S.W. Local scale control for edge detection and blur estimation // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1998. Vol. 20. No. 7. Pp. 120—127.
15. Hahne U. Real-time depth imaging // Tu Berlin, Fakultät Iv, Computer Graphics. 2012. 108 p.
16. Somaiya A.H. High speed automatic depth map generation for 3D television // European Scientific Journal December edition. 2012. Vol. 8. No. 30. Pp. 127—142.
17. Jiwani M.A., Dandare S.N. Single image fog removal using depth estimation based on blur estimation // International Journal of Scientific and Research Publications. 2013. Vol. 3. No. 6. Pp. 1—6.
18. Kowdle A., Snavely N., Chen T. Recovering depth of a dynamic scene using real world motion prior. Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2011. Pp. 14—20.
19. Robinson Ph., Roodt Yu., Nel A. Gaussian blur identification using scale-space theory // Faculty of Engineering and Built Environment University of Johannesburg, South Africa. 2007. Pp. 68—73.
20. Wang H., Cao F., Fang Sh., Yang Cao, Fang Ch. Effective improvement for depth estimated based on defocus images // Journal of computers. April 2013. Vol. 8. No. 4. Pp. 888—894.

Поступила в редакцию в феврале 2015 г.

Об авторах: **Локтев Алексей Алексеевич** — доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры теоретической механики и аэродинамики, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 183-24-01, prtlokt@yandex.ru;

Бахтин Вадим Федорович — начальник отдела по экспертизе промышленной безопасности зданий и сооружений, **Инженерный центр технической экспертизы и диагностики «Эксперт» (ИЦТЭИД «Эксперт»)**, 394038, г. Воронеж, ул. Конструкторов, д. 82, 8 (473) 2788-991, chernikov@russian.ru;

Черников Игорь Юрьевич — ведущий специалист отдела по экспертизе промышленной безопасности зданий и сооружений, **Инженерный центр технической экспертизы и диагностики «Эксперт» (ИЦТЭИД «Эксперт»)**, 394038, г. Воронеж, ул. Конструкторов, д. 82, 8 (473) 2788-991, chernikov@russian.ru;

Локтев Даниил Алексеевич — аспирант кафедры информационных систем и телекоммуникаций, **Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»)**, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, 8 (499) 263-62-86, loktevdan@yandex.ru.

Для цитирования: Локтев А.А., Бахтин В.Ф., Черников И.Ю., Локтев Д.А. Методика определения внешних дефектов сооружения путем анализа серии его изображений в системе мониторинга // Вестник МГСУ. 2015. № 3. С. 7—16.

A.A. Loktev, V.F. Bakhtin, I.Yu. Chernikov, D.A. Loktev

METHOD OF DETERMINING EXTERNAL DEFECTS OF A STRUCTURE BY ANALYZING A SERIES OF ITS IMAGES IN THE MONITORING SYSTEM

The recent decade has been the time of the rapid development of communication infrastructure, but very often the structures erected in the middle of the last century are used as a basis for new transmission units and antennas, which are considerably worn out. In this regard the control problems of the infrastructure facilities such as towers and masts are often emerging. Such tasks may be associated with the test required when installing additional equipment and modules, as well as during the scheduled inspection and certification of individual objects in accordance with the legal documents.

Timely detection of critical deformations will to a large extent prevent the occurrence of accidents and disasters. For accurate detection of deformations load cells on the basis of the piezoelectric effect and fiber-optic sensors based on Bragg gratings are most commonly used, but in such distributed information measurement systems there are significant drawbacks, which narrow the scope of their possible application. Among the main disadvantages there are: high cost of initial installation and configuration, and the subsequent operation of such systems. Traditional measuring sensors require power, separate line of measurement information signal, as well as lines for supplying control signals. A significant limitation is that any sensor detects deformation or other parameters of the design only for its whole base, thus, active sensors should be installed in structures, in which an altered state was detected by visual inspection or by other means. The emergence of video and photo-detectors with high resolution and other settings to get a high-quality image of the object made it possible to establish the systems for infrastructure objects' monitoring with the characteristics acceptable for practice. At the heart of such systems there are not only detectors with high sensitivity, but also the algorithms for the objects' recognition, determination of their geometrical parameters by analyzing a series of images. This is the issue and the subject of this work, which developed the computational algorithms to detect external defects.

At the stage of preliminary image processing there is the delineation of characteristic points in the image and the calculation of the optical flow in the area of these points. When determining the defect position, the characteristic points of the image are determined using the detector of Harris-Laplace, which are located in the central part of the image. The characteristic points outside the frame are considered to be background. There is an identification of the changes in characteristic points in the frame in relation to the background by using a pyramidal iterative scheme. In the second stage servo frame focuses on a specific point with the greatest change in relation to the background in the current time. The algorithm for object detection and determination of its parameters includes three procedures: detection procedure start; the procedure of the next image processing; stop procedure for determining the parameters of the object.

The method described here can be used to create information-measuring system of monitoring based on the use of photodetectors with high-definition and recognition of defects (color differences and differences in the form compared to the background). Since almost each examination of a building or structure begins with a visual examination and determination of the most probable places of occurrence and presence of the defects, the proposed method can be combined with this stage and it will simplify the process of diagnosing, screening for the development of projects on reconstruction and placement of additional equipment on the existing infrastructure.

Key words: video monitoring system, characteristic points method, object recognition, optical flow, detector of Harris-Laplace, geometrical parameters, corner points, blurred pixels, examination of facilities.

References

1. Othonos A., Kalli K. Fiber Bragg Gratings: Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing. London, Artech House, 1999, 422 p.
2. Ivanov V.S., Kravtsov V.E., Tikhomirov S.V. Problems of Metrological Support of Measurements in Fiber-Optic Transmission Systems. Proc. of SPIE. 2002, vol. 4900, pp. 430—440. DOI: <http://dx.doi.org/10.1117/12.484593>.
3. Nielsen C.K., Andersen T.V., Keiding S.R. Stability Analysis of an All-Fiber Coupled Cavity Fabry-Perot Additive Pulse Mode-locked Laser. J. Quantum Electronics. 2005, vol. 41, no. 2, pp. 198—204. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JQE.2004.839717>.
4. Bakhtin V.F., Chernikov I.Yu., Loktev A.A. Raschet na dinamicheskoe vozdeystvie machty sotovoy sistemy svyazi i plity perekrytiya, na kotoruyu ona opiraetsya [Analysis of the Dynamic Load Applied to a Cellular Communication Mast and a Ceiling Panel on Which It Rests]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 8, pp. 66—75. (In Russian)
5. Akimov D., Vatolin D., Smirnov M. Single-Image Depth Map Estimation Using Blur Information. 21st GraphiCon International Conference on Computer Graphics and Vision. Conference Paper. Moscow, 2011, pp. 12—15.
6. Churin P., Poddaeva O.I. Aerodynamic Testing of Bridge Structures. Applied Mechanics and Materials. 2014, vol. 477—478, pp. 817—821. DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.477-478.817>.
7. Gaspar T., Oliveira P. New Dynamic Estimation of Depth from Focus in Active Vision Systems. Preprints of the 18th IFAC World Congress, Milano (Italy), August 28 — September 2, 2011. Pp. 9470—9475. DOI: <http://dx.doi.org/10.5220/0003356904840491>.
8. Loktev A.A. Non-elastic models of interaction of an impactor and an Uflyand — Mindlin Plate. International Journal of Engineering Science. 2012, vol. 50, no. 1, pp. 46—55. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijengsci.2011.09.004>.
9. Kuhnert K.-D., Langer M., Stommel M., Kolb A. Dynamic 3D-Vision. Vision Systems: Applications. June 2007, pp. 311—334. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/4995>.
10. Levin A., Fergus R., Durand Fr., Freeman W.T. Image and Depth from a Conventional Camera with a Coded Aperture. ACM Transactions on Graphics. 2007, vol. 26, no. 3, art. 70, pp. 124—132.
11. Nagata T., Koyanagi M., Tsukamoto H., Saeki S., Isono K., Shichida Y., Tokunaga F., Kinoshita M., Arikawa K., Terakita A. Depth Perception from Image Defocus in a Jumping Spider. Science. 2012, vol. 335, no. 6067, pp. 469—471. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1211667>.
12. Bruhn A., Weickert J., SchnEorr C. Lucas-Kanade meets Horn-Schunck: Combining Local and Global Optic Flow Methods. International Journal of Computer Vision. 2005, vol. 61, no. 3, pp. 211—231. DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/B:VISI.0000045324.43199.43>.
13. Cremers D., Soatto S. Motion Competition: a Variational Framework for Piecewise Parametric Motion Segmentation. International Journal of Computer Vision. 2005, vol. 62, no. 3, pp. 249—265. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11263-005-4882-4>.
14. Elder J.H., Zucker S.W. Local Scale Control for Edge Detection and Blur Estimation. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1998, vol. 20, no. 7, pp. 120—127.
15. Hahne Uw. Real-time Depth Imaging. Tu Berlin, Fakultät Iv, Computer Graphics, 2012, 108 p.
16. Somaiya A.H. High Speed Automatic Depth Map Generation for 3D Television. European Scientific Journal December edition. 2012, vol. 8, no. 30, pp. 127—142.
17. Jiwani M.A., Dandare S.N. Single Image Fog Removal Using Depth Estimation Based on Blur Estimation. International Journal of Scientific and Research Publications. 2013, vol. 3, no. 6, pp. 1—6.
18. Kowdle A., Snaveley N., Chen T. Recovering Depth of a Dynamic Scene Using Real World Motion Prior. Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2011, pp. 14—20. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICIP.2012.6467083>.
19. Robinson Ph., Roodt Yu., Nel A. Gaussian Blur Identification Using Scale-Space Theory. Faculty of Engineering and Built Environment University of Johannesburg, South Africa, 2007, pp. 68—73.
20. Wang H., Cao F., Fang Sh., Yang Cao, Fang Ch. Effective Improvement for Depth Estimated Based on Defocus Images. Journal of Computers. April 2013, vol. 8, no. 4, pp. 888—895. DOI: <http://dx.doi.org/10.4304/jcp.8.4.888-895>.

About the authors: **Loktev Aleksey Alekseevich** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Theoretical Mechanics and Aerodynamics, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; +7 (499) 183-24-01; prtlokt@yandex.ru;

Bakhtin Vadim Fedorovich — Head, Department of the Examination of Industrial Safety of Buildings and Structures, **Engineering Center of Technical Examination and Diagnosis “Expert” (ECTED “Expert”)**, 82 Konstruktorov str., Voronezh, 394038, Russian Federation; +7 (473) 2788-991; chernikov@russian.ru;

Chernikov Igor’ Yur’evich — leading specialist, Department for the Examination of Industrial Safety of Buildings and Structures, **Engineering Center Technical Examination and Diagnosis “Expert” (ECTED “Expert”)**, 82 Konstruktorov str., Voronezh, 394038, Russian Federation; +7 (473) 2788-991; chernikov@russian.ru;

Loktev Daniil Alekseevich — postgraduate student, Department of Information Systems and Telecommunications, **Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)**, 5 2-ya Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russian Federation; +7 (499) 263-62-86; loktevdan@yandex.ru.

For citation: Loktev A.A., Bakhtin V.F., Chernikov I.Yu., Loktev D.A. Metodika opredeleniya vneshnikh defektov sooruzheniy putem analiza serii ego izobrazheniy v sisteme monitoringa [Method of Determining External Defects of a Structure by Analyzing a Series of its Images in the Monitoring System]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 3, pp. 7—16. (In Russian)