

На рис. 5 приведен результат восстановления резкости изображения внутренней полости перца (*Carpsicum annuum*), полученного с помощью цифрового видеоскопа. Ввиду отсутствия эталонного изображения количественную оценку степени улучшения в данном случае привести невозможно. Тем не менее, следует отметить, что на восстановленном изображении артефакты не наблюдаются, а величина контраста, рассчитанного по классическому определению как отношение среднеквадратического отклонения значений яркости пикселей к среднему значению градации серого [17] по всему кадру, сохраняется неизменной. В приведенном примере размер изображения составлял  $720 \times 564$  пикселей, а время вычислений на процессоре с тактовой частотой 3 ГГц составило 0,11 мс.

### Заключение

В работе предложен эффективный метод улучшения резкости цифровых изображений, не приводящий к появлению артефактов. Метод основан на вычислении двумерных массивов данных, отвечающих дифференциальным откликам пространственного распределения яркости цифрового изображения в виде результатов свертки изображения с дифференцирующими фильтрами одного или нескольких линейно изменяющихся размеров. Сокращение ширины зоны «размытия» границ объектов на изображении достигается за счет пространственной транспозиции этих данных и их линейной комбинации с исходным изображением. Показана роль нормировки значений дифференциальных откликов, рассчитанных по различным пространственным масштабам. Применение метода не требует предварительного знания ядра размытия искаженного изображения и определения каких-либо параметров алгоритма. Возможности метода продемонстрированы на примерах тестовых изображений в сравнении с широко используемым на практике методом повышения резкости путем нерезкого маскирования исходного изображения – unsharp masking.

### References

1. Bezzubik V.V., Belashenkov N.R., Nikiforov V.O. Metod kolichestvennoi otsenki kontrasta tsifrovogo izobrazheniya [Quantitative estimation method of digital image contrast]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2010, no. 6 (70), pp. 86–88.
2. Polesel A., Ramponi G., Mathews V.J. Image enhancement via adaptive unsharp masking. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, vol. 9, no. 3, pp. 505–510. doi: 10.1109/83.826787
3. Cao G., Zhao Y., Ni R., Kot A.C. Unsharp masking sharpening detection via overshoot artifacts analysis. *IEEE Signal Processing Letters*, 2011, vol. 18, no. 10, pp. 603–606. doi: 10.1109/LSP.2011.2164791
4. Kim S.H., Allebach J.P. Optimal unsharp mask for image sharpening and noise removal. *Journal of Electronic Imaging*, 2005, vol. 14, no. 2, art. 023005, pp. 1–13. doi: 10.1117/1.1924510
5. Kotera H., Wang H. Multiscale image sharpening adaptive to edge profile. *Journal of Electronic Imaging*, 2005, vol. 14, no. 1, art. 013002, pp. 1–17. doi: 10.1117/1.1866147
6. Kwok N.M., Shi H.Y., Fang G., Ha Q.P. Intensity-based gain adaptive unsharp masking for image contrast enhancement. *Proc. 5<sup>th</sup> Int. Congress on Image and Signal Processing, CISP 2012*. Chongqing, China, 2012, pp. 529–533. doi: 10.1109/CISP.2012.6469772
7. Hong H., Li L., Park I.K., Zhang T. Universal deblurring method for real images using transition region. *Optical Engineering*, 2012, vol. 51, no. 4, art. 047006. doi: 10.1117/1.OE.51.4.047006
8. Loza A., Bull D.R., Hill P.R., Achim A.M. Automatic contrast enhancement of low-light images based on local statistics of wavelet coefficients. *Digital Signal Processing*, 2013, vol. 23, no. 6, pp. 1856–1866. doi: 10.1016/j.dsp.2013.06.002
9. Morigi S., Reichel L., Sgallari F., Shyshkov A. Cascadic multiresolution methods for image deblurring. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, 2008, vol. 1, no. 1, pp. 51–74. doi: 10.1137/070694065
10. Levin A., Weiss Y., Durand F., Freeman W.T. Understanding and evaluating blind deconvolution algorithms. *Proc. IEEE Computer Society Conference On Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. Miami, US, 2009, pp. 1964–1971. doi: 10.1109/CVPRW.2009.5206815
11. Barone F., Rossi C. Deconvolution with partially known kernel of nonnegative signals. *Machine Vision and Applications*, 1990, vol. 3, no. 2, pp. 107–115. doi: 10.1007/BF01212194
12. Markham J., Conchello J.-A. Parametric blind deconvolution: a robust method for the simultaneous estimation of image and blur. *Journal of Optical Society of America A: Optics and Image Science, and Vision*, 1999, vol. 16, no. 10, pp. 2377–2391.
13. Kundur D., Hatzinakos D. Blind image deconvolution. *IEEE Signal Processing Magazine*, 1996, vol. 13, no. 3, pp. 43–64. doi: 10.1109/79.489268
14. Mo X., Jiao J., Shen C. PSF-constraints based iterative blind deconvolution method for image deblurring. *Lecture Notes in Computer Science*, 2010, vol. 5916 LNCS, pp. 141–151. doi: 10.1007/978-3-642-11301-7\_17
15. Laligant O., Truchetet F., Dupasquier A. Edge enhancement by local deconvolution. *Pattern Recognition*, 2005, vol. 38, no. 5, pp. 661–672. doi: 10.1016/j.patcog.2004.10.006
16. *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*. 6<sup>th</sup> ed. Ed. Y. Dodge. Oxford, Oxford University Press, 2003, 498 p.
17. Woods R.E., Gonzales R.C. *Digital Image Processing*. 2<sup>nd</sup> ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, 2002, 793 p.