

45. Улучшение качества восстановленных с цифровых голограмм изображений с использованием интерполяции и фильтрации

П. А. Черемхин, А. В. Козлов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В работе предлагается метод улучшения качества восстановленных изображений с цифровых голограмм на основе совместного применения интерполяционных алгоритмов и цифровых фильтров шумоподавления. Проведен анализ возможностей данного метода в зависимости от типа фильтра и интерполяции для изображений с наложением пуассоновского, гауссова и спекл-шума одновременно. Получено улучшение качества восстановленных изображений по величине пикового отношения сигнал/шум по сравнению со стандартными методами больше, чем на 30%.

Ключевые слова: Цифровая голография, Шумоподавление, Интерполяция, Восстановление изображения.

Цитирование: Черемхин, П. А. Улучшение качества восстановленных с цифровых голограмм изображений с использованием интерполяции и фильтрации / П. А. Черемхин, А. В. Козлов // HOLOEXPO 2020 : XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — С. 291–295.

Введение

К числу основных задач цифровой голографии относится улучшение качества восстановленных изображений [1]. Негативные эффекты, связанные как с шумами сенсоров цифровых камер [2], так и с принципиальными особенностями регистрации цифровых голограмм [1] могут сильно ухудшать качество восстановленных изображений. Наиболее простым способом подавления таких негативных эффектов является компьютерная обработка восстановленных изображений. Для борьбы с шумами было разработано большое количество фильтров: фильтрация в плоскости пространственных частот [3–5], в плоскости голограммы [6–8], в плоскости восстановленного изображения [9–10], использующих различные механизмы фильтрации, начиная от простого нахождения медианы по группе пикселей [6], взвешенного локального и общего усреднения [9], 3D-преобразований [11] и заканчивая алгоритмами, объединяющими различные техники.

1. Описание метода

подавляющее большинство цифровых фильтров плоскости изображения опираются на статистический анализ полного изображения или выделенной ячейки пикселей определённого размера. В работе же предлагается улучшение стандартных цифровых фильтров добавлением двух дополнительных этапов. Улучшенный процесс фильтрации включает три основных

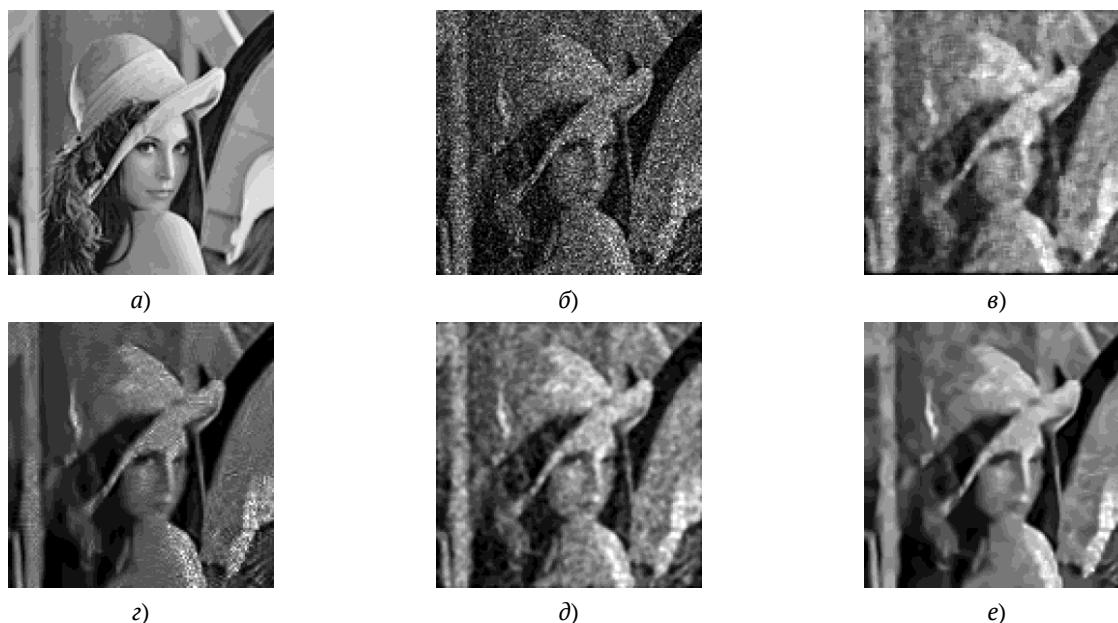


Рис. 1. Изображения объекта: исходное (а), восстановленное с зашумленной цифровой голограммы (б, НСКО = 0,376), восстановленные после медианной фильтрации (в, НСКО = 0,219), применения фильтра VM3D (г, НСКО = 0,164), применения предложенного метода, включающего билинейную интерполяцию и медианную фильтрацию (д, НСКО = 0,163), применения предложенного метода, включающего билинейную интерполяцию и фильтра VM3D (е, НСКО = 0,140)

шага: этап увеличения числа пикселей восстановленного изображения интерполяцией, применение цифрового фильтра шумоподавления, уменьшения количества пикселей изображения до исходного числа. Предложенная комбинация обеспечивает улучшение качества восстановленного изображения при компромиссном снижении влияния временных и пространственных шумов фотосенсора камеры, спекл-шума и нежелательных дифракционных порядков. В качестве этапа увеличения и уменьшения числа пикселей можно использовать интерполяцию и применять сплайны. В качестве фильтров шумоподавления можно использовать современные цифровые фильтры: например, медианный или VM3D [12]. Таким образом, разработанный метод позволяет улучшить качество изображения за счет увеличения статистической базы пикселей.

2. Результаты применения метода

Для численной апробации предложенного метода улучшения качества восстановленных изображений проведена программная реализация отдельных шагов алгоритма. Для применения в качестве фильтров шумоподавления программно реализованы и использованы 6 цифровых фильтров: медианный [6], винеровский [13], Frost [14], Lee [15], NLM [9], VM3D [12]. Для увеличения и уменьшения числа пикселей в восстановленных изображениях использовалась билинейная, бикубическая интерполяция, интерполяция по ближайшим соседям, сплайны.

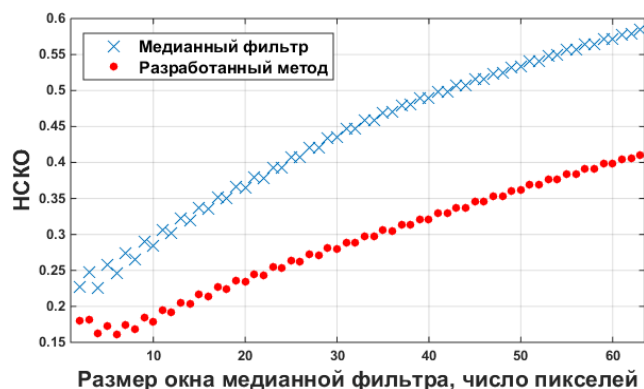


Рис. 2. График зависимости качества восстановленного изображения от размера окна фильтрации при использовании медианного фильтра и предложенного метода

Использовались синтезированные цифровые голограммы Френеля амплитудно-фазовых диффузно-рассеивающих объектов. На полученные голограммы накладывались пуассонов шум, соответствующий статистике временного шума; гауссов шум, соответствующий статистике темного пространственного (неоднородности темного сигнала) и светового пространственного (неоднородности фоточувствительности) шумов; спекл-шум. С полученной зашумленной голограммы восстанавливалось изображение объекта. Далее применялись реализованные 6 методов шумоподавления, а также предложенный метод. Для каждого метода шумоподавления подбирались наиболее оптимальные параметры. Например, для медианного фильтра варьировался размер окна. При этом благодаря тому, что значения временных и пространственных шумов фотосенсора камеры считаются известными, поиск оптимума для одного из лучших современных фильтров (BM3D) и для предлагаемого метода с применением фильтра BM3D может быть осуществлён быстрее, чем без данной информации. Далее оценивалось качество восстановленных изображений на основе нормированного среднеквадратического отклонения (НСКО) относительно исходного. $НСКО = 0$ соответствует идентичным изображениям, а $НСКО = 1$ — их полной несхожести. С точностью 10% отношение сигнал/шум (ОСШ) равно отношению единицы к НСКО.

Пример исходного изображения объекта и восстановленного с зашумленной голограммы представлены на рисунке 1а, где НСКО составляет 0,376. Голограмма имела размер 512×512 пикселей, а изображение объекта — 128×128 пикселей. Восстановленные изображения объекта после применения медианной фильтрации и фильтра BM3D приведены на рисунках 1б–1г. НСКО составляет 0,219 и 0,164 соответственно, т. е. качество было улучшено по величине НСКО (как и по величине ОСШ) в 1,45 и в 2,29 раз. Восстановленное изображение после применения разработанного метода, включающего увеличение изображения в два раза и его двукратное снижение билинейной интерполяцией, а также применение медианной фильтрации и фильтра BM3D показаны на рисунках 1д–1е. НСКО составили 0,163 и 0,140 соответственно, т. е. качество было улучшено по величине НСКО (как и по величине ОСШ) в 2,31 и в 2,69 раз. При этом относительно прямого применения фильтров получено улучшение качества дополнительно на 34,4% для медианной фильтрации и 17,1% для фильтра BM3D.

Для большинства параметров предложенный метод показал лучше результаты, чем прямое применение фильтров шумоподавления. На рисунке 2 представлен график зависимости величины НСКО от линейного размера окна для медианной фильтрации и для предложенного метода с билинейной интерполяцией и медианной фильтрацией. Видно, что для всех размеров окна разработанный метод обеспечил лучше качество восстановления.

Заключение

В работе предложен метод улучшения качества восстановленных изображений голограмм на основе совместного применения интерполяционных алгоритмов и цифровых фильтров шумоподавления. Используется зависимость качества фильтрации от статистической базы пикселей. Метод позволил улучшать качество восстановленных изображений более чем в 2,7 раза. Также метод дал более чем 34% повышение качества относительно стандартных методов шумоподавления, и больше, чем 17% повышение относительно лучших современных методов.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ), грант №18-79-00277.

Список источников

- [1] **Picart, P.** Digital Holography / P. Picart, J.-C. Li. — Hoboken–London : Wiley, 2012. — 358 p.
- [2] **Евтихийев, Н. Н.** Оценка влияния динамического диапазона и шумов регистрирующих камер на качество цифровых голограмм / Н. Н. Евтихийев, С. Н. Стариков, П. А. Черемхин // Оптический журнал. — 2013. — Том 80. — №5. — 2013. — С. 53–64.
- [3] **Cuche, E.** Spatial filtering for zero-order and twin-image elimination in digital off-axis holography / E. Cuche, P. Marquet, C. Depeursinge // Applied Optics. — 2000. — Vol. 39. — №23. — P. 4070–4075.
- [4] **Stoykova, E.** Twin-image problem in digital holography—a survey / E. Stoykova, H. Kang, J. Park // Chinese Optics Letters. — 2014. — Vol. 12. — P. 060013.
- [5] **Dong, Z.** Automatic filtering for zero-order and twin-image elimination in off-axis digital holography / Z. Dong, H. Wang, X. Wang // Optical Engineering. — 2019. — Vol. 58. — №2. — P. 023112.
- [6] **Kreis, T.** Suppression of the dc term in digital holography / T. Kreis, W. Juptner // Optical Engineering. — 1997. — Vol. 36. — №8. — P. 2357–2360.
- [7] **Latychevskaia, T.** Solution to the twin image problem in holography / T. Latychevskaia, H. W. Fink // Physical Review Letters. — 2007. — Vol. 98. — P. 233901–233904.
- [8] **Huang, Z.** Bicubic interpolation and extrapolation iteration method for high resolution digital holographic reconstruction / Z. Huang, L. Cao // Optics and Lasers in Engineering. — 2020. — Vol. 130. — P. 106090.
- [9] **Ren, R.** Quasi-Noise-Free and Detail-Preserved Digital Holographic Reconstruction / R. Ren, Z. Jia, J. Yang, N. K. Kasabov, X. Huang // IEEE Access. — 2019. — Vol. 7. — P. 52155–52167.
- [10] **Uzan, A.** Speckle denoising in digital holography by nonlocal means filtering / A. Uzan, Y. Rivenson, A. Stern // Applied Optics. — 2013. — Vol. 52. — P. A195–A200.
- [11] **Katkovnik, V.** High-accuracy off-axis wavefront reconstruction from noisy data: local least square with multiple adaptive windows // V. Katkovnik, I. Shevkunov, N. V. Petrov, K. Egiazarian // Optics Express. — 2016. — Vol. 24. — P. 25068–25083.

- [12] **Dabov, K.** Image denoising by sparse 3D transform-domain collaborative filtering / K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, K. Egiazarian // IEEE Transactions on Image Processing. — 2007. — Vol. 16. — №8. — P. 2080–2095.
- [13] **Chen, J.** New insights into the noise reduction Wiener filter / J. Chen, J. Benesty, Y. Huang, S. Doclo // IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. — 2006. — Vol. 14. — №4. — P. 1218–1234.
- [14] **Frost, V. S.** A Model for Radar Images and Its Application to Adaptive Digital Filtering of Multiplicative Noise / V. S. Frost, J. A. Stiles, K. S. Shanmugan, J. C. Holtzman // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 1982. — Vol. 4. — №2. — P. 157–166.
- [15] **Lee, J.** Digital Image Enhancement and Noise Filtering by Use of Local Statistics / J. Lee // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 1980. — Vol. 2. — №2. — P. 165–168.