

64. Бинаризация цифровых голограмм для задач с применением микрозеркального модулятора

Е. А. Курбатова, П. А. Черёмхин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Для повышения скорости передачи цифровых голограмм по каналам связи, увеличения степени их компрессии и возможности вывода с использованием микрозеркальных модуляторов света рассмотрены различные методы бинаризации. На примере экспериментально зарегистрированных цифровых голограмм проведена сравнительная оценка качества восстановления.

Ключевые слова: Оптика, Цифровая голография, Оптическое формирование изображений, Бинаризация, Микрозеркальный модулятор света.

Цитирование: Курбатова, Е. А. Бинаризация цифровых голограмм для задач с применением микрозеркального модулятора / Е. А. Курбатова, П. А. Черёмхин // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 356–359.

Введение

Для возможности оптического восстановления изображений с голограммных и дифракционных оптических элементов в настоящее время чаще всего используются жидкокристаллические и микрозеркальные модуляторы света. В случае использования микрозеркальных модуляторов для получения максимальных скоростей отображения кадров наиболее предпочтителен бинарный тип голограмм, что может быть использовано для голографических дисплеев [1], оптических корреляторов [2], оптического кодирования информации [3] и др. Бинаризация голограмм также позволяет повысить скорость их передачи по каналам связи, а также снизить требования к объемам архивной памяти, необходимой для их хранения за счет повышения степени компрессии файлов. Существует несколько групп методов бинаризации голограмм. Наиболее распространенными методами бинаризации являются локальные и глобальные методы бинаризации по порогу [4–5], а также различные реализации метода диффузии ошибки [6–7].

1. Методы бинаризации голограмм

Для бинаризации оптически зарегистрированных голограмм рассмотрены методы глобальной и локальной бинаризации по порогу, различные реализации метода диффузии ошибки, а также методы точечной диффузии.

Основная идея методов бинаризации по порогу заключается в сравнении значения яркости каждого пикселя изображений с некоторым пороговым значением. При превышении дан-

ного порога значение пикселя приравнивается к максимальному значению (единице), в противоположном случае — к нулю. Среди глобальных методов бинаризации по порогу выделяют следующие группы методов:

– Методы на основе анализа гистограммы изображения (в качестве порогового значения используются характерные величины гистограммы изображения, такие как среднее и медианное значения): методы Дойля, Зака, Глазби и др.

– Методы на основе кластеризации (все пиксели изображения делятся на пиксели фона и пиксели объекта): методы Отцу, Ридлера — Кальварда, Китлера и др.

– Методы на основе энтропии (используется разница энтропии объекта и фона изображения, а также энтропия распределения уровней яркости исходного изображения): методы Капура, Ли, Йена и др.

– Методы на основе анализа характерных особенностей изображений (используется разница значений яркости пикселей исходного и бинаризованного изображений): методы Хуана, Тсяя и др.

В случае глобальных методов бинаризации по порогу пороговое значение постоянно для всего изображения. В случае же локальных методов бинаризации по порогу изображение разбивается на блоки пикселей размером $N \times N$ пикселей (наиболее распространено разделение на блоки размером 3×3 пикселя), далее для каждого блока определяется собственное пороговое значение, с которым сравниваются все пиксели блока. Наиболее распространенными методами локальной бинаризации по порогу являются методы Ниблэка, Сауволы, Брэдли, Бернсена и др.

Метод диффузии ошибки позволяет учесть разницу между значением пикселя и пороговым значением. Аналогично методам бинаризации по порогу значение каждого пикселя изображения сравнивается с пороговым, однако при диффузии ошибки разница данных значений (ошибка) распространяется по соседним необработанным пикселям изображения с некоторыми весовыми коэффициентами. Различные реализации метода возникают за счет изменения значений весовых коэффициентов, направления распространения ошибки среди соседних пикселей и количества данных пикселей. Стандартным методом диффузии ошибки считается метод Флойда — Стенберга [6]. Кроме него используются реализации метода диффузии ошибки Джарвиса, Стаки, Баркеса и др. [7, 9–10].

Помимо стандартных реализаций метода диффузии ошибки существуют методы точечной диффузии. В отличие от диффузии ошибки в данных методах значение ошибки распространяется среди как необработанных пикселей, так и обработанных. Таким образом, значение ошибки распространяется среди всех 8 соседних пикселей изображения, включая диагональные. Наиболее распространенным методом точечной диффузии является метод Кната [11–12].

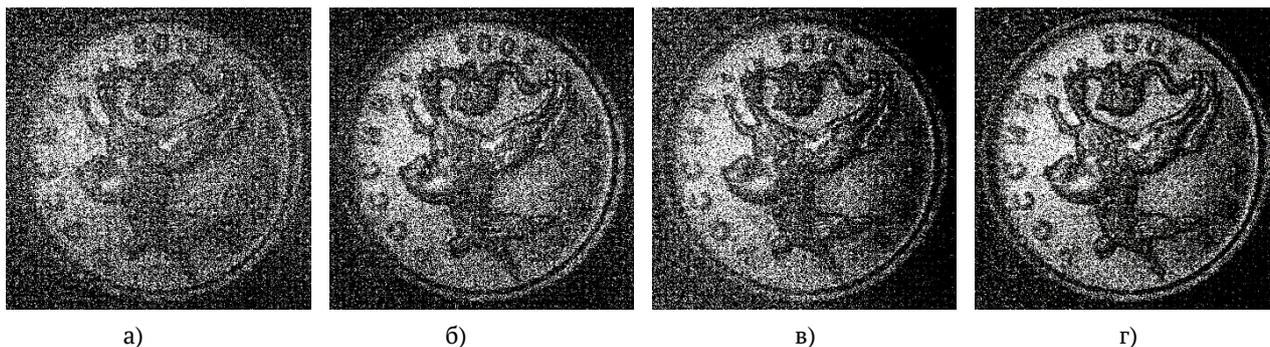


Рис. 1. Примеры восстановленных изображений с экспериментально записанной голограммы 3D-объекта, бинаризованной методами Превитта (а), Сауволы (б), Фильтерлайта (в) и точечной диффузии со значением коэффициента 0,534 (г)

2. Результаты восстановления изображений с бинаризованных голограмм

Для бинаризации экспериментально записанных голограмм 3D-объектов были использованы следующие методы бинаризации:

- 21 метод глобальной бинаризации по порогу,
- 12 методов локальной бинаризации по порогу,
- 12 реализаций метода диффузии ошибки,
- 5 методов точечной диффузии.

Была проведена сравнительная оценка реализованных методов по качеству восстановленных с бинаризованных голограмм изображений. На рисунке 1 представлены примеры восстановленных изображений 3D-объекта с экспериментально записанной цифровой голограмм, бинаризованных наихудшими по качеству восстановленных изображений методами из каждой представленной группы методов: метод Превитта (глобальная бинаризация по порогу), метод Брэдли (локальная бинаризация по порогу), метод Фильтерлайта (диффузия ошибки) и точечной диффузии со значением коэффициента 0,534. Наихудшее качество восстановления достигается при использовании метода глобальной бинаризации Превитта. Остальные представленные методы бинаризации сопоставимы по качеству восстановленных изображений, однако наилучшее качество восстановления в случае бинаризации голограммы бинарного изображения достигается при использовании методов локальной бинаризации по порогу (метода Брэдли), а в случае бинаризации голограммы объемной сцены — при использовании методов точечной диффузии (метода точечной диффузии со значением коэффициента 0,534).

Заключение

В работе был проведен сравнительный анализ методов бинаризации голограмм на основе глобальной и локальной обработки по порогу, диффузии ошибки и точечной диффузии. Представлены примеры восстановленных изображений с голограмм, бинаризованных данными

методами. Наихудшее качество восстановленных изображений достигается при использовании простейших методов глобальной бинаризации по порогу, а наилучшее — при использовании методов точечной диффузии ошибки и локальных методов бинаризации в зависимости от типа объекта голограммы. Таким образом, в рамках задачи оперативного оптического восстановления изображений можно выбрать оптимальный метод бинаризации для вывода конкретных цифровых голограмм на микродзеркальный модулятор света.

Благодарность

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

Список источников

- [1] **Pan, Y.** A review of dynamic holographic three-dimensional display: algorithms, devices, and systems / Y. Pan, J. Liu, X. Li, Y. Wang // *IEEE Trans. Ind. Inf.* — 2016. — Vol. 12. — P. 1599–1610.
- [2] **Molodtsov, D. Yu.** Object recognition in non-coherent optical correlator based on DMD-modulator / D.Yu. Molodtsov, V. G. Rodin // *Proc. of SPIE.* — 2016. — Vol. 10176. — P. 101761A.
- [3] **Jiao, S.** Review on optical image hiding and watermarking techniques / S. Jiao, C. Zhou, Y. Shi, W. Zou, X. Li // *Opt. Laser Technol.* — 2019. — № 109. — P. 370–380.
- [4] **Gonzalez, R. C.** Thresholding. Digital image processing / R. C. Gonzalez, R. E. Woods. — 4th ed. — New York: Pearson — 2018.
- [5] **Cheremkhin, P. A.** Comparative appraisal of global and local thresholding methods for binarisation of off-axis digital holograms / P. A. Cheremkhin, E. A. Kurbatova // *Optics and Lasers in Engineering.* — 2019. — Vol. 115. — P. 119–130.
- [6] **Floyd, R. W.** An adaptive algorithm for spatial grey scale / R. W. Floyd, L. Steinberg // *Proceedings of the Society of Information Display.* — 1976. — Vol. 17— № 75 — P. 77.
- [7] **Eschbach, R.** Comparison of error diffusion methods for computer-generated holograms / R. Eschbach // *Appl. Opt.* — 1991. — Vol. 30. — P. 3702–3710.
- [8] **Doyle, W.** Operation useful for similarity-invariant pattern recognition / W. Doyle // *J. ACM.* — 1962. — Vol. 9. — P. 259–267.
- [9] **Cheremkhin, P. A.** Binarization of digital holograms by thresholding and error diffusion techniques / P. A. Cheremkhin, E. A. Kurbatova // *Proceedings of Digital Holography and 3-D Imaging.* — 2019. — P. Th3A.22.
- [10] **Tsang, P. W.** A comparison of several methods for generation of binary holograms of three dimensional (3D) scenes / P. W. Tsang // *3D Research.* — 2012. — Vol. 3. — P. 1–6.
- [11] **Knuth, D. E.** Digital Halftones by Dot Diffusion / D. E. Knuth // *ACM Transcripts on Graphics.* — 1987. — Vol. 6. — № 4. — P. 245–273.
- [12] **Guo, J. M.** Improved dot diffusion by diffused matrix and class matrix co-optimization / J. M. Guo, Y. F. Liu // *IEEE Trans. Image Process.* — 2009. — Vol. 18. — № 8. — P. 1804–1816.