

## Цифровая цветная голография с непосредственной регистрацией на матрицу фотоприемников

*В.И. Гужов, К.В. Захаров, О.В. Чернов*

*Новосибирский государственный технический университет*

**Аннотация:** Рассматривается метод регистрации голограмм с помощью современных цифровых камер. Для регистрации голограмм, полученных в оптических установках с наклонным опорным пучком, требуется высокое разрешение систем регистрации. Для этого необходимо использовать фотографические среды с разрешением 2000-4000 линий на мм. Использование фотопластинок требует достаточно большого времени на экспозицию и проявку (10-20 минут). В случае систем голографической интерферометрии необходимо предусмотреть установку голограммы обратно в оптическую установку с достаточно большой точностью. В последнее время появились сенсоры с размером одного элемента 0,86 мкм и числом элементов 60 Мп. Такое разрешение позволяет вернуться к схемам регистрации с углами между интерферирующими пучками 15-30 градусов. Восстановление изображения из голограммы осуществляется на компьютере. Это значительно снижает требования к используемым аппаратным ресурсам и расширяет возможности голографии. В статье показана возможность получения цветных изображений при использовании лазеров с разными длинами волн.

**Ключевые слова:** цифровая голография, фото матрицы с высоким пространственным разрешением, голография с наклонным опорным пучком, преобразование Фурье

Голографические картины (голограммы) образуются в результате интерференции двух волн: объектной, отраженной от исследуемого объекта и некоторой известной опорной волны. Для регистрации голограмм используется оптическая схема, впервые описанная Э. Лейтом и Ю. Упатниексом [1-4]. Для разделения дифракционных пучков при восстановлении изображений из голограммы требуется, чтобы угол между интерферирующими пучками составлял около 15-60 градусов [5]. Для этого необходимо пространственное разрешение регистрирующих материалов от 0,5 до 1,3 мкм. В [6] нами была показана возможность регистрации голограмм и восстановления изображений при использовании КМОП-сенсора фирмы SONY с размером одного элемента 1,3 мкм x 1,3 мкм. Число элементов 48 миллионов пикселей (8000 x 6000). Размер сенсора 6,4 x 4,8 мм.

Однако использование таких матриц имеет ряд ограничений. Наиболее существенное связано с дебайеризацией зарегистрированных изображений. В этих матрицах для получения цветных изображений используется биннинг пикселей (рис. 1). На каждые четыре элемента накладывается один цветовой фильтр (на область 2x2 элемента) (рис.1).

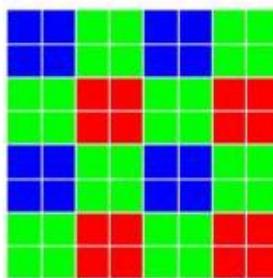


Рис. 1. – Наложение цветowych фильтров на области 2x2 пикселя (Quad Bayer)

Для получения значений RGB в каждой точке используются различные математические алгоритмы (алгоритмы дебайеризации), которые используют информацию о соседних областях с фильтрами разных цветов [7-10]. Однако в результате пересчета возникают проблемы, связанные с ошибками при определении интенсивности в каждой точке и при восстановлении изображений из голограмм возникают ложные изображения (рис. 2). На рисунке видны действительные и мнимые изображения вместе с двойниками, возникающими от неправильного пересчета.

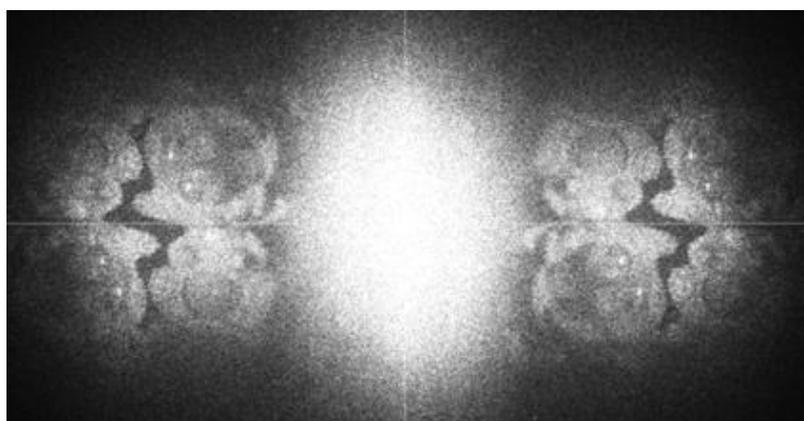


Рис. 2. – Восстановленные из голограммы действительное и мнимое изображения и их двойники

Алгоритмы определения исходных значений RGB обычно не приводятся производителями в описании матриц, поэтому для ввода голограмм лучше использовать камеры, в которых предусмотрены способы коррекции ошибок, возникающих в результате дебайеризации.

В данной статье использовалась камера Panasonic с матрицей 60 Мп с размером  $7,7 \times 5,8$  мм (9000x6752) и размером одного элемента  $0,86$  мкм x  $0,86$  мкм.

Для записи голограмм использовались полупроводниковые лазеры с двумя длинами волн. На рис. 3 показаны изображения, восстановленные из голограмм, полученных при освещении объекта лазерами с красной (одночастотный лазер с узкой спектральной линией 671 нм) и зелёной длиной волны (532 нм).

Для восстановления использовался алгоритм быстрого преобразования Фурье для изображений с произвольными размерами [7].

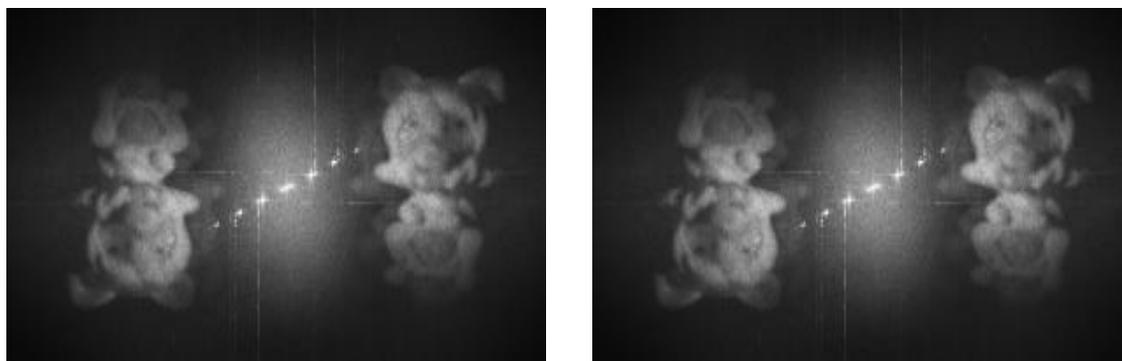


Рис. 3. – Восстановленные изображения из голограмм, полученных при красном цвете и зеленом

Для компенсации искажения геометрических размеров и для наложения изображений использовался свободно распространяемый графический редактор Paint.net (рис. 4)

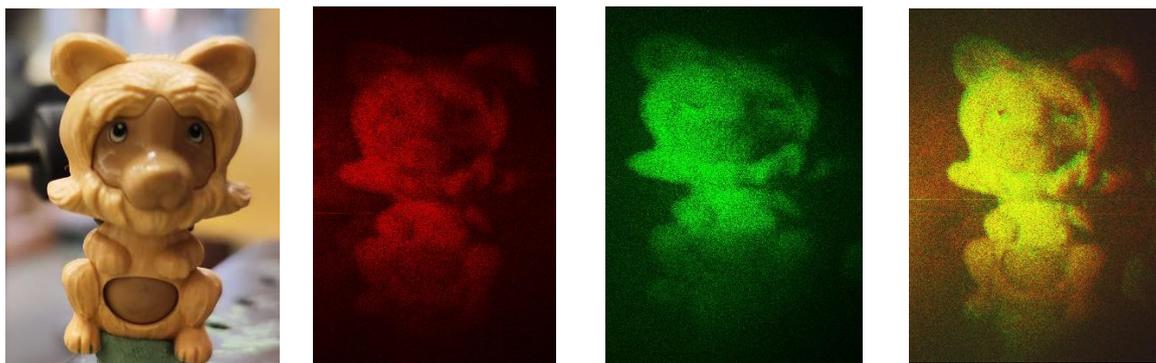


Рис. 4. – Получение цветного изображения из двух голограмм

На рисунке слева направо исходный объект, изображения, восстановленные из голограмм, полученных при освещении лазером с красной и зеленой длиной волны, результирующее цветное изображение.

### Выводы

Следует отметить основные преимущества использования записи голограмм с помощью электронных фото матриц.

Использование аналоговых фоторегистрирующих средств требует достаточно длительного времени для записи 10-20 мин. При этом необходимо использовать специальные виброзащищенные столы. Кроме того, проявление и закрепление является химическим процессом и требует специальных навыков.

Для записи непосредственно на фото матрицы используются электронные затворы, время срабатывания, которых от 1/50 сек до 1/100000 сек. Поэтому требования к виброизоляции значительно снижаются. В большинстве камер предусмотрен прямой доступ в компьютер. Поэтому время обработки значительно снижается.

Время восстановления голограмм (расшифровка с помощью Фурье-преобразования) на центральном процессоре занимает около 3,7 сек при размерах 4096x4096 и может быть значительно сокращена при расшифровке с помощью графических ускорителей (до 0.1 сек).

К недостаткам можно отнести пока еще недостаточное разрешение современных фото матриц для получения качественных голографических изображений.

Работа проводилась при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-29-00006 «Разработка методов цифровой голографической интерферометрии».

### Литература

1. Leith E. N., Upatnieks J. Reconstructed wavefronts and communication theory // Journal of the Optical Society of America. 1962. Vol. 52. pp. 1123-1130.
2. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. - Москва: Мир, 1973. – 686 с.
3. Оптическая голография /Под ред. Г. Колфилда: в 2 т. – Москва: Мир, 1982, 735 с.
4. Миллер М. Голография. - Л.: Машиностроение, 1979, 140 с.
5. Гужов В.И. Компьютерная голография: Монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. (ISBN: 978-5-8114-3410-7), 270 с.
6. Гужов В.И., Захаров К.В., Чернов О.В. Регистрация голограмм с наклонным опорным пучком с помощью современных фотоматриц // Инженерный вестник Дона. 2023. № 9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8673](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8673).
7. Chatterjee N., Dhole A. Analysis of image demosaicking algorithms.- International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2014. Vol. 2, Issue 5, pp. 4158-3164.
8. Jim S. Jimmy Li, and Sharmil Randhawa Color Filter array demosaicking using high-order interpolation techniques with a weighted median filter for sharp color edge preservation. IEEE transactions on image processing, 2009. VOL. 18, № 9, pp. 1946 – 1957.

9. Chatterjee N., Dhole A. Novel algorithm for color image demosaicing using laplacian mask. - IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. 2014. -Vol.: 03, Issue: 11, pp.387-391.
10. Гужов В.И., Ильиных С.П., Андрущенко Е.В. Алгоритм быстрого преобразования Фурье для восстановления изображений из голограмм, зарегистрированных с помощью фотоматриц произвольного размера // Системы анализа и обработки данных. 2024. № 1 (93). С. 71-80. DOI: 10.17212/2782-2001-2024-1-71-81

### References

1. Leith E. N., Upatnieks J. Reconstructed wavefronts and communication theory Journal of the Optical Society of America. 1962. Vol. 52. pp. 1123-1130.
2. Collier R., Burckhardt C., Lin L. Opticheskaya golografya [Optical holography]: Moskva: MIR Publishing, 1973, 686 p.
3. Caulfield H. Opticheskaya golografya [Handbook of optical holography]: 2 vol, Moskva: MIR Publishing, 1982, 735 p.
4. Miler M. Golografya [Holography]: Leningrad: Mashinostroenie, 1979, 140 p
5. Guzhov V.I. Kompyuternaya golografya [Computer holography]: Monographia. Novosibirsk: NSTU Publishing, 2018. 270p. ISBN: 978-5-8114-3410-7.
6. Guzhov V.I., Zakharov K.V., Chernov O.V. Inzhenerjy vestnik Dona. 2023. № 9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8673.
7. Chatterjee N., Dhole A. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2014. Vol. 2, Issue 5, pp. 4158-3164.
8. Jim S. Jimmy Li, and Sharmil Randhawa IEEE transactions on image processing, 2009. VOL. 18, № 9, pp. 1946 – 1957.
9. Chatterjee N., Dhole A. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. 2014. Vol.: 03, Issue 11, pp. 387-391.



10. Guzhov V.I., Il'inykh S.P., Andryushchenko Ye.V. Sistemy analiza i obrabotki dannykh. 2024. № 1 (93). pp. 71-80. DOI: 10.17212/2782-2001-2024-1-71-81

**Дата поступления: 8.07.2024**

**Дата публикации: 17.08.2024**