

## Запись цветных трехмерных голограмм на фотополимере в режиме последовательной экспозиции непрерывными лазерами

А. Ф. Смык<sup>1</sup>, А. В. Шурыгин<sup>1</sup>, С. Б. Одинок<sup>2</sup>, А. Н. Путилин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО «Джеймс Ривер Бранч», Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

<sup>3</sup> Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

В докладе описан пример схемы для записи цветных трехмерных голограмм с общим каналом для всех трех цветов. Схема позволяет записывать голограммы с полным параллаксом путем последовательной экспозиции различных распределений для каждого цвета с использованием непрерывных лазеров с акустооптической модуляцией.

*Ключевые слова:* оптика, голография, трехмерная голограмма.

*Цитирование:* Кайтуков, Ч. Б. Запись цветных трехмерных голограмм на фотополимере в режиме последовательной экспозиции непрерывными лазерами / А. Ф. Смык, А. В. Шурыгин, С. Б. Одинок, А. Н. Путилин // НОЛОЕХРО 2021 : XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 105–108.

Голографические принтеры, работающие по технологии прямой записи изображения (direct-write digital holography DWDH) [1–4] получили распространение одновременно с появлением разнообразных цветных фотополимеров. Голограмма формируется по частям (хогелям) прямой интерференцией в каждом участке — хогеле опорного и предметного пучка как показано на рис. 1. Предметный пучок задается проекцией по частям преобразования Фурье элементов массива ракурсов изображаемого объекта. Получаемые трехмерные изображения отличаются хорошей цветопередачей и глубиной изображаемого пространства. Они находят применение в медицине, архитектуре, дизайне и могут формироваться как из массива ракурсных снимков реального объекта, так и рендеров компьютерных моделей.

Высокая стоимость оборудования, однако, не способствует популярности конечного продукта. Одни из самых дорогих компонентов принтера — пространственные модуляторы, формирующие амплитудное распределение в хогелях. Для схемы с одновременной экспозицией их требуется столько, сколько используется лазеров (обычно — 3). Схема с последовательной экспозицией позволяет обойтись одним. Она получается компактнее, устойчивей к вибрации и воздушным потокам. Известно, например [5], что неоднократная экспозиция каждого хогеля снижает дифракционную эффективность и вносит дополнительный шум. Возможно, однако, что этот недостаток будет компенсирован лучшей стабильностью схемы и стоимостью. Для проверки этого предположения нами был собран принтер по схеме, приведенной на рис. 2.

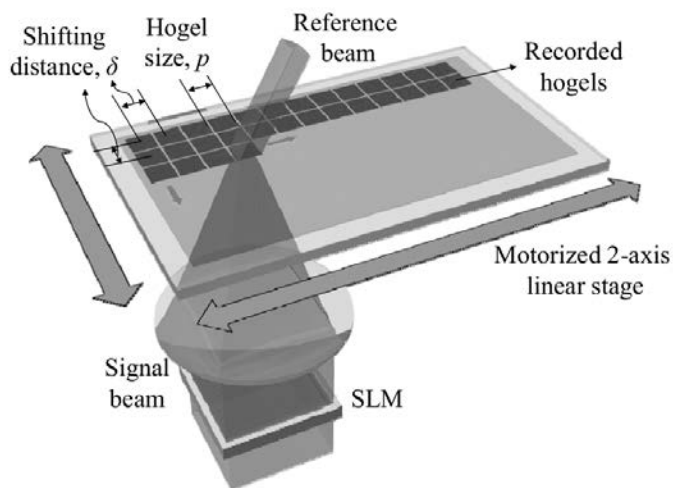


Рис. 1. Принципа работы голографического принтера

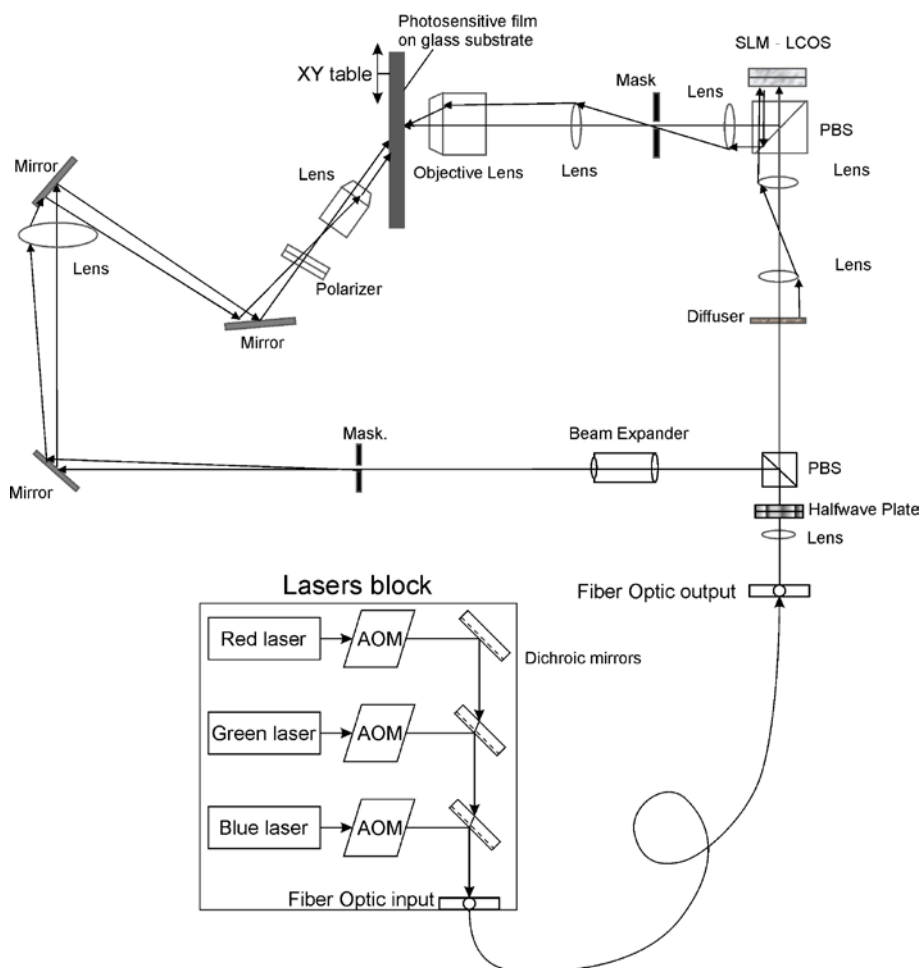


Рис. 2. Схема записи синтезированных голограмм в режиме последовательных экспозиций с вертикальным расположением регистрирующей среды

Справа сверху от регистрирующей среды расположен блок формирования предметного пучка, слева — схема формирования опорного пучка. Излучение от RGB лазеров (каждый лазер имеет свой акустооптический модулятор, работающий в режиме затвора) объединяется

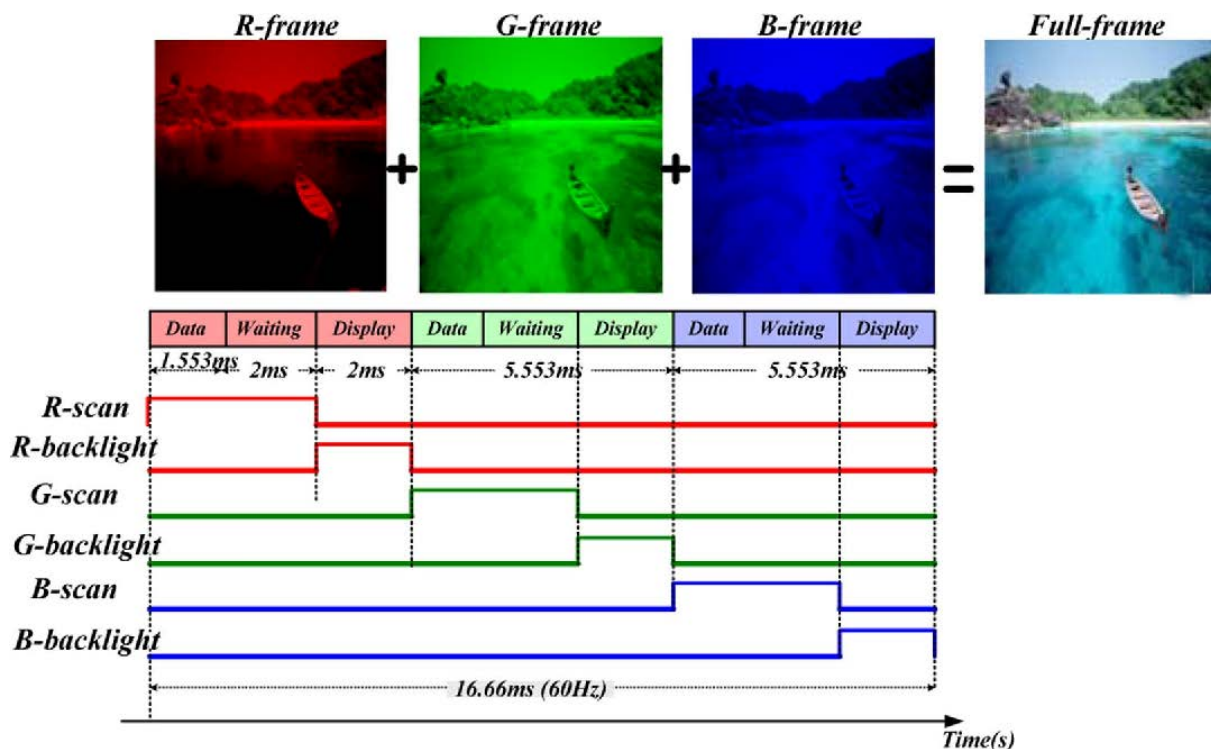
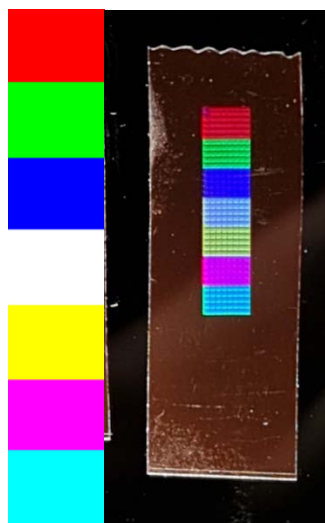


Рис. 3. Временная диаграмма работы пространственного модулятора (SLM)



слева — желаемое распределение;  
справа — полученный результат

Рис. 4. Тест цветопередачи

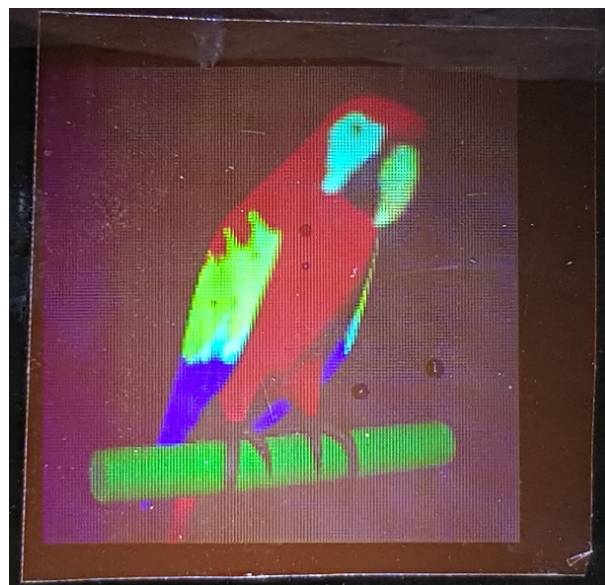


Рис. 5. Результат записи

на дихроичных зеркалах в один пучок и вводится в одномодовое во всем диапазоне RGB сохраняющее линейную поляризацию волокно. За выходным торцом волокна (запись ведется пучками с вертикальной поляризацией) расположено юстируемое устройство вывода с коллимирующей линзой, таким образом на входе имеем параллельный трехцветный пучок диаметром примерно 7 мм. После поляризационного призмного делителя получаем два пучка — опорный и предметный. В опорном луче может быть использован телескоп с уменьшением для лучшего согласования диаметра пучка с параметрами маски в опорном пучке.

Временная диаграмма работы SLM приведена на рис. 3. Очень важна точная синхронизация вывода RGB изображений с работой акустооптических затворов и X-Y стола. Затвор каждого канала не должен открываться пока не завершился вывод изображения соответствующего цвета и механические колебания системы перемещения стола. Для снижения амплитуды последних при работе в старт-стопном режиме пришлось отказаться от дробления шага и выключать питание шаговых двигателей стола на время экспозиции. Для оценки точности цветопередачи был записан тест, состоящий из чистых (соответствующих длинам волн лазеров) и смешанных цветов.

Соответствующая фотография приведена на рис. 4. Различие в дифракционной эффективности в квадратах с чистыми и смешанными цветами на глаз незаметно, что позволит судить о применимости режима последовательных экспозиций и предложенного схемного решения для построения голографического принтера, по крайней мере, для записи голограмм на цветном фотополимере Bayfol.

На рис. 5. приведено изображение голограммы, записанной по 3D модели, содержащей чистые и смешанные цвета.

#### Список источников

- [1] **Yamaguchi, M.** [Holographic 3-D Printer](#) / M. Yamaguchi, N. Ohya, T. Honda // Practical Holography : Proceedings of SPIE. — 1990. — Vol. 1212. — P. 84–90.
- [2] **Morozov, A.** [3D holographic printer: Fast printing approach](#) / A. Morozov, A. Putilin, S. Kopenkin, Y. Borodin, V. Druzhin, S. Dubynin, G. Dubinin // Optics Express. — 2014. — Vol. 22. — № 3. — P. 2193–2206.
- [3] **Gentet, Y.** [CHIMERA, a new holoprinter technology combining low-power continuous lasers and fast printing](#) / Y. Gentet, P. Gentet // Applied Optics. — 2019. — Vol. 58. — № 34. — P. G226–G230.
- [4] **Sazonov, Y.** Advance in Digital Holography / Y. Sazonov, O. Gradova, S. Zacharovas, R. Bakanas, G. Gudaitis, D. B. Ratcliffe // 7th International Symposium on Display Holography. — 2006. — P. 65–69.
- [5] **Борисов, В. Н.** Особенности мультиэкспозиционной записи голографических решеток в фотополимере Bayfol / В. Н. Борисов, Р. А. Окунь, А. Е. Ангервакс, Г. Н. Востриков, Н. В. Муравьев, М. В. Попов // HOLOEXPO 2020 : XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — 2020. — С. 271–275.