

Разработка и результаты экспериментального исследования алгоритма наведения устройства считывания для голографической памяти

П.А. Ханевич¹, С.Б. Одинокоев¹, С.С. Донченко¹, С.А. Семишко¹

¹Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул. 5, стр.1, Москва, Россия, 105005

Аннотация. Проанализированы критерии состояния наведения оптической системы считывания на мультиплексированные одномерные микроголограммы Фурье. Сформулированы требования к разрабатываемому алгоритму наведения оптической системы считывания. Приведены результаты экспериментальных исследований алгоритма наведения оптической системы считывания для серии тестовых изображений.

1. Введение

В прошлых работах [1-4] был предложен и рассмотрен метод проекционной записи компьютерно-синтезированных одномерных голограмм Фурье. При проекционной записи используются одномерные КС МГФ (компьютерно-синтезированные микроголограммы Фурье).

Увеличение плотности хранения достигается за счет мультиплексной записи одномерных КС МГФ, путем поворота среды вокруг плоскости записи. Мультиплексная голограмма представляет собой результат наложения на один и тот же участок голографического носителя нескольких голограмм (далее субголограмм).

2. Разработка алгоритма наведения оптической системы считывания

Для раздельного считывания мультиплексированных одномерных МГФ была разработана специальная ОСС (оптическая система считывания), представленная на рисунке 1.

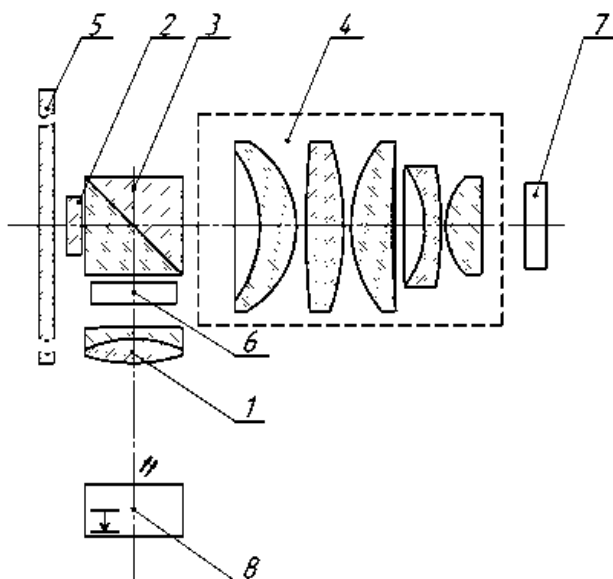
Перед тем как разрабатывать алгоритм наведения ОСС, следует сформулировать к нему определённые требования, а именно:

- Инвариантность - алгоритм должен быть устойчив к смещению страницы данных по полю
- Количество обрабатываемых кадров в секунду должно быть не менее 30

На рисунке 2 представлен исходный информационный объект (страница данных).

В качестве информационного объекта используются 8-и битные числа, которые кодируются 16-ю отсчётами. Каждое 8-ми битное число представляет из себя различные комбинации 3 ненулевых отсчётов (On-pixel) на поле из 16 отсчётов. Из-за особенностей синтеза Фурье голограмм и оптической системы, использующейся при записи синтезированных голограмм один отсчёт, выводится на 2 пикселя ПВМС, при этом 2 ненулевых соседних отсчёта (On-pixel)

должны быть разделены как минимум одним нулевым (Off-pixel), что делает возможным различение двух соседних максимумов (On-pixel) при декодировании.



1,4 - линзовый блок, 2 - пространственный фильтр, 3 - светоделительный куб, 5 - голографический носитель, 6 - поворотная платформа, 7 - КМОП-камера, 8 – излучатель

Рисунок 1. Оптическая система считывания.



Рисунок 2. Исходный информационный объект.

На рисунке 3 приведен фрагмент исходного информационного объекта.

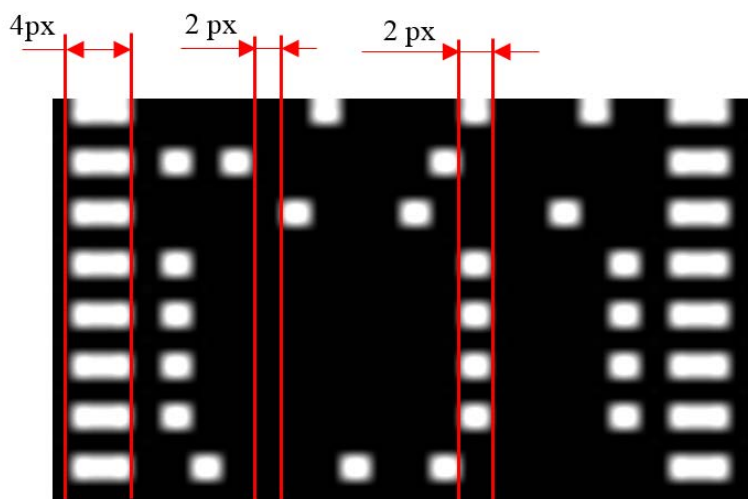


Рисунок 3. Фрагмент исходного информационного объекта.

Структурно страница данных состоит из реперных точек и информационных блоков («символов»). Реперная точка состоит из 8 пикселей (4 по горизонтали и 2 по вертикали). Символ записывается в строку между двумя реперными точками. Между символом и реперной точкой существует зазор шириной в 2 пикселя. Символ состоит из чередующихся яркостных максимумов и минимумов (яркостных экстремумов), соответствующих ненулевым и нулевым отсчётам (on-pixels and off-pixels); каждый яркостной экстремум образована 4 пикселями (2 по

горизонтали и 2 по вертикали). Такая структура страницы данных позволяет повысить глубину модуляции и, как следствие, дифракционную эффективность голограммы.

На рисунке 4 приведены два случая восстановления страницы данных при изменении ориентации анаморфного Фурье-дуплета (поз.4 Рис.1) относительно одномерной КС МГФ.

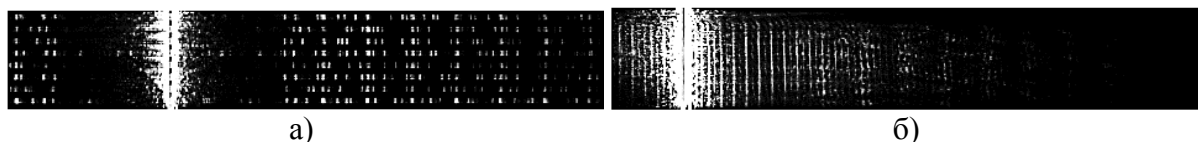


Рисунок 4. Изображение страницы данных при наведенной ОСС с нулевым порядком в кадре (а), рассогласованное состояние ОСС нулевым порядком в кадре (б).

Анализируя структуру восстановленного изображения, при вращении оптической системы вокруг оси можно сделать следующие выводы: когда оптическая система не наведена, контрастность изображения уменьшается по сравнению с прицельным состоянием; структура столбцов страницы данных искажена больше всего; возможная погрешность наведения ОС составляет около $0,2^\circ$.

При разработке алгоритма наведения были проанализированы такие подходы, как спектральный, корреляционный и контрастный анализ. Экспериментальные испытания показали, что максимальная точность и скорость дают анализ контраста кадра.

Контраст изображения – отношения яркостей различных участков изображения.

Был рассмотрен контраст изображения, определяемый по следующим формулам:

$$K = \frac{B_1 - B_2}{B_{\max}}, \quad (1)$$

где K - контраст, B_1 и B_2 - интенсивность областей изображения, B_{\max} - максимальная интенсивность изображения.

$$K = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (B_{ij} - \bar{B})^2}, \quad (2)$$

где K - контраст среднеквадратический, M и N - размеры изображения, B_{ij} - координаты текущего пикселя, \bar{B} - средняя яркость изображения.

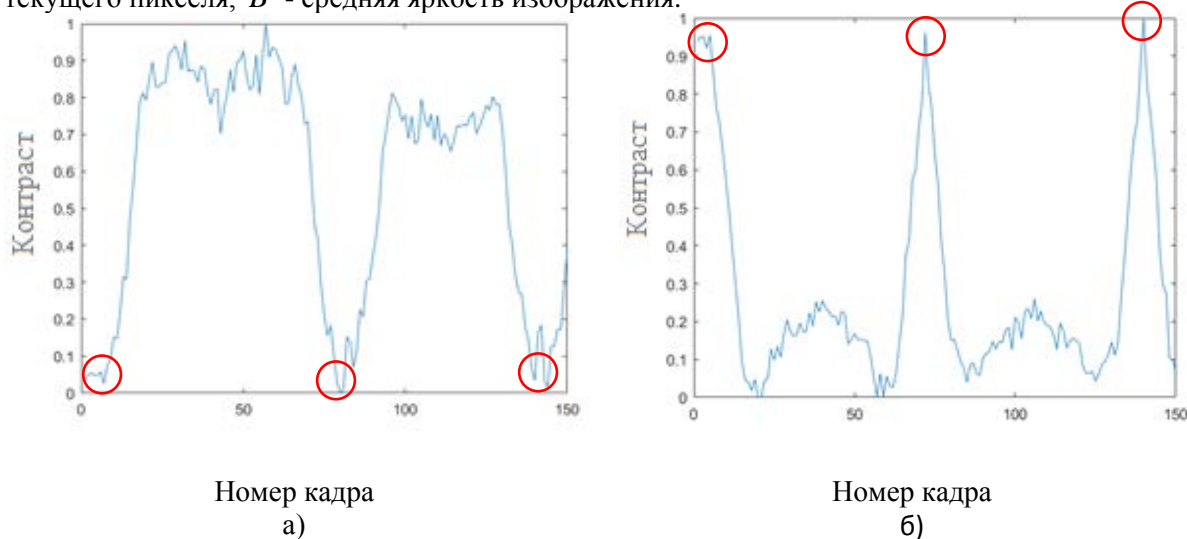


Рисунок 5. графики зависимости контраста, рассчитанного по формуле (1) от номера кадра при скорости работы шагового двигателя 100 ш/с с нулевым порядком (а) и без него (б).

Для экспериментальных исследований использовались две серии из 150 кадров: при скорости вращения шагового двигателя 100 шагов в секунду с нулевым порядком и без него.

На рисунке 5 приведены графики зависимости контраста, рассчитанного по формуле (1) от номера кадра.

На рисунке 6 приведены графики зависимости контраста, рассчитанного по формуле (2) от номера кадра.

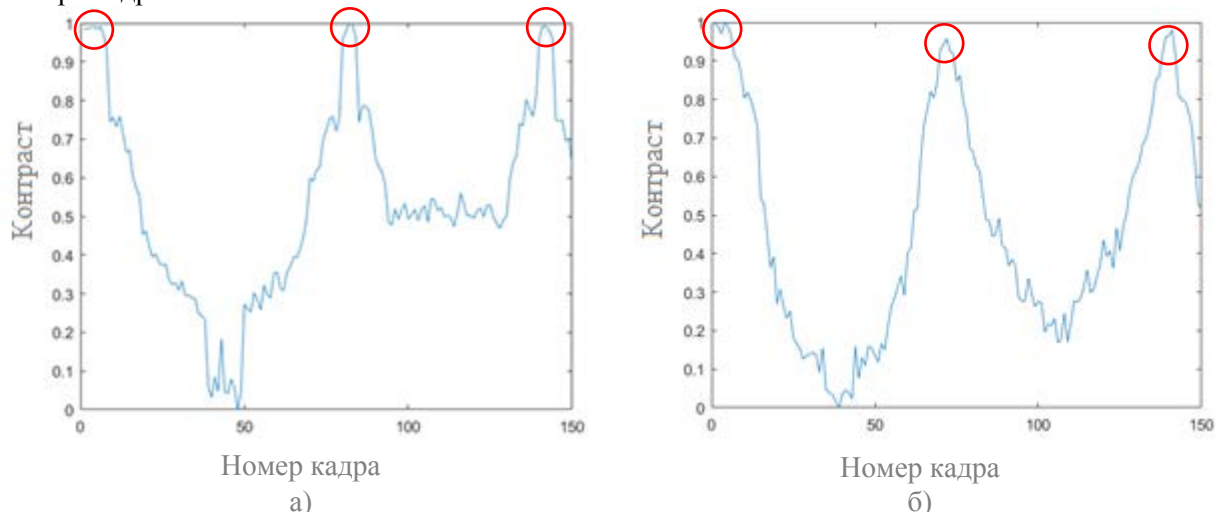


Рисунок 6. графики зависимости контраста, рассчитанного по формуле (2) от номера кадра при скорости работы шагового двигателя 100 ш/с с нулевым порядком (а) и без него (б).

3. Заключение

Экспериментальные исследования алгоритма наведения показали, что наилучшую точность наведения дает применение среднеквадратического контраста к изображению. При этом анализ контраста столбцов дает более точные результаты, чем анализ контраста строк, так как структура восстановленного изображения искажена больше всего по горизонтали. Для улучшения точности наведения оптической системы, требуется установить фотоприёмное устройство таким образом, чтобы нулевой порядок не попадал в кадр. Время обработки одного кадра занимает 2 мс.

4. Литература

- [1] Betin, A.Y. Holographic memory optical system based on computer-generated Fourier holograms / A.Y. Betin, V.I. Bobrinev, S.B. Odinokov, N.N. Evtikhiev, R.S. Starikov, S.N. Starikov, E.Y. Zlokazov // *Applied optics*. – 2013. – Vol. 52(33). – P. 8142-8145. DOI: 10.1364/AO.52.008142.
- [2] Odinokov, S.B. Method of computer generation and projection recording of microholograms for holographic memory systems: mathematical modelling and experimental implementation / S.B. Odinokov A.Y. Betin, V.I. Bobrinev, N.N. Evtikhiev, A.Y. Zherdev, E.Y. Zlokazov, D.S. Lushnikov, V.V. Markin, R.S. Starikov, S.N. Starikov // *Quan. Electr.* – 2013. – Vol. 43(1). – P. 87-89. DOI: 10.1070/QE2013v043n01ABEH014927.
- [3] Donchenko S.S. Holography: Advances and Modern Trends IV / S.S. Donchenko, S.B. Odinokov, V.I. Bobrinev, A.Y. Betin, E.Y. Zlokazov / *Proc. SPIE*. 2015. – Vol. 9508. – P. 95080A.
- [4] Campbell F.W. Application of fourier analysis to the visibility of gratings / F.W. Campbell, J.G Robson // *Journal of Physiology*. – 1968. – Vol. 197(3). – P. 551-566.

Development and results of an experimental study to the angle guidance algorithm for optical reading device system for holographic memory

P.A. Khanevich¹, S.B. Odinokov¹, S.S. Donchenko¹, S.A. Semishko¹

¹Bauman Moscow State Technical University, 2-nd Baumanskya street., 5, ctr. 1, Moscow, Russia, 105005

Abstract. The criteria of reading device optical system's state on aiming the 1d Fourier microholograms were analysed. The requirements for being developed aiming algorithm were specified. The results of experimental research of the developed aiming algorithm with the use of test images were presented.

Keywords: holographic memory, reading device optical system, aiming algorithm.