

Алгоритмы спектральной фильтрации оптических изображений

К.А. Гостева¹, Е.А. Шуватова^{1,2}, С.А. Дегтярев^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

²Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация. Работа посвящена ознакомлению с теоретическими аспектами обработке изображений, изучению методов спектральной фильтрации, с помощью которых можно обрабатывать исходные изображения. Основная часть работы посвящена изучению и реализации нескольких методов спектральной фильтрации, таких как преобразование Фурье, метода темного поля и метода фазового контраста. Была разработана компьютерная программа на языке Octave, которая реализовывала рассматриваемые методы.

1. Введение

Математический аппарат преобразования Фурье – это мощная база моделирования, которая используется во многих отраслях науки и техники. В широком смысле это обработка изображений [1], и, в частности, оптическая обработка информации [2]. Не угасает интерес и к фундаментальным проблемам вычисления Фурье-преобразования [3].

Идея преобразования Фурье заключается в том, что любую функцию можно представить с помощью суммы косинусов и синусов различных частот, умноженных на заданные коэффициенты.

Основной задачей данной работы является построение модели спектральной фильтрации и применение к ней наиболее распространённых методов оптической спектральной фильтрации, с помощью которых можно производить обработку изображений.

В этой работе рассматриваются два метода спектральной фильтрации – метод темного поля и метод фазового контраста. Данные методы были применены к разработанной модели тестового фазового объекта, представляющей собой оптически прозрачную колонию бактерий, невидимых человеческому глазу в жидкости.

2. Актуальность применения Фурье преобразования

Большинство вещей, существующих в нашем мире, можно с легкостью описать с помощью формы волны – функции времени, пространства или некоторой другой переменной. В качестве примера можно назвать такие явления, как звуковые волны, электромагнитные поля, суточные показания температуры и подобные вещи. Именно преобразование Фурье создает уникальный, а также мощный способ просмотра этих сигналов.

Фурье преобразование является основой для спектральной фильтрации. Такая фильтрация чаще всего используется для выбора или исключения информации из изображения на основе длины волны информации. Спектральная фильтрация обычно происходит следующим образом: пропускается свет через стеклянное или пластиковое окошко, которое до этого было специально обработано для пропускания или же поглощения, или отражения определенных длин волн. Так как свет, который поступает в линзу, будет иметь спектральное распределение, зависящее от спектральных характеристик источника освещения и от отражающей способности освещаемой платформы, использование фильтра для выбора областей изображения с известными спектральными свойствами может помочь извлечь нужную информацию. Далее выполняется обратное преобразование Фурье, и в итоге получаем на выходе отфильтрованный сигнал.

Преобразование Фурье – это математическая функция, которая разбивает форму волны, являющуюся функцией времени, на частоты, составляющие ее. То есть преобразование Фурье раскладывает форму волны на синусоиду, что приводит к другому способу ее представления. Действительные значения преобразования Фурье представляет собой значение частоты, а ее комплексный аргумент представляет собой сдвиг фазы основного синусоидального сигнала на этой частоте.

3. Методы спектральной фильтрации

В оптической микроскопии метод темного поля описывает технику освещения, используемую для усиления контраста в неокрашенных образцах. Он работает, освещая образец светом, который не будет собираться объективом и, таким образом, не будет являться частью изображения [4].

Цель метода темного поля заключается в амплитудной визуализации чисто фазовых объектов.

Суть метода состоит в реализации Фурье-коррелятора, который убирает нулевую гармонику, так как она не несет полезной для исследования информации.

Такой метод хорошо подходит для исследования живых неокрашенных биологических образцов, например, одноклеточных организмов, переносимых водой.

Метод фазового контраста – это один из методов оптической микроскопии, описанный голландским физиком Фрицем Цернике в 1934 году. Суть метода заключается в преобразовании фазовых сдвигов в свете, который проходит через прозрачный объект, в изменения в яркости изображения. Такое усиление яркости используют для получения высококонтрастных изображений прозрачных образцов, например, бактерий, обитающих в жидкости.

Метод фазового контраста использует оптический механизм для преобразования незначительных изменений фазы в соответствующие изменения амплитуды, которые можно визуализировать, как различия в контрасте изображения [5,6]. Одним из основных преимуществ фазово-контрастной микроскопии является то, что живые клетки можно исследовать в их естественном состоянии без предварительного уничтожения, фиксации и окрашивания.

Как было описано выше, методы спектральной фильтрации могут применяться для получения изображения фазового объекта, который человеческий глаз не может увидеть при обычных условиях. В качестве идеи разрабатываемой модели, были взяты бактерии, обитающие в жидкости. В итоге модель представляет собой набор фазовых эллипсов, распределенных на фоне нулевой фазы.

Как можно видеть из рисунка 1, метод темного поля и метод фазового контраста дают примерно одинаковые изображения фазового тестового объекта. Однако, при сравнении амплитудной шкалы видно, что метод фазового контраста более энергетически эффективен, чем метод темного поля (примерно в 1000 раз).

Также исследуем зависимость максимума амплитуды выходного изображения от фазовой глубины исходного изображения. Для этого проварьируем фазу от 10^{-4} до 10^{-2} радиан с шагом 10^{-4} . На каждом шаге применим методы.

Как можно видеть из рисунка 2, при росте фазовой глубины исходного изображения амплитуда возрастает линейно.

Применили данные методы к амплитудному изображению. В качестве исходного изображения было взято реальное изображение колонии спирилл.

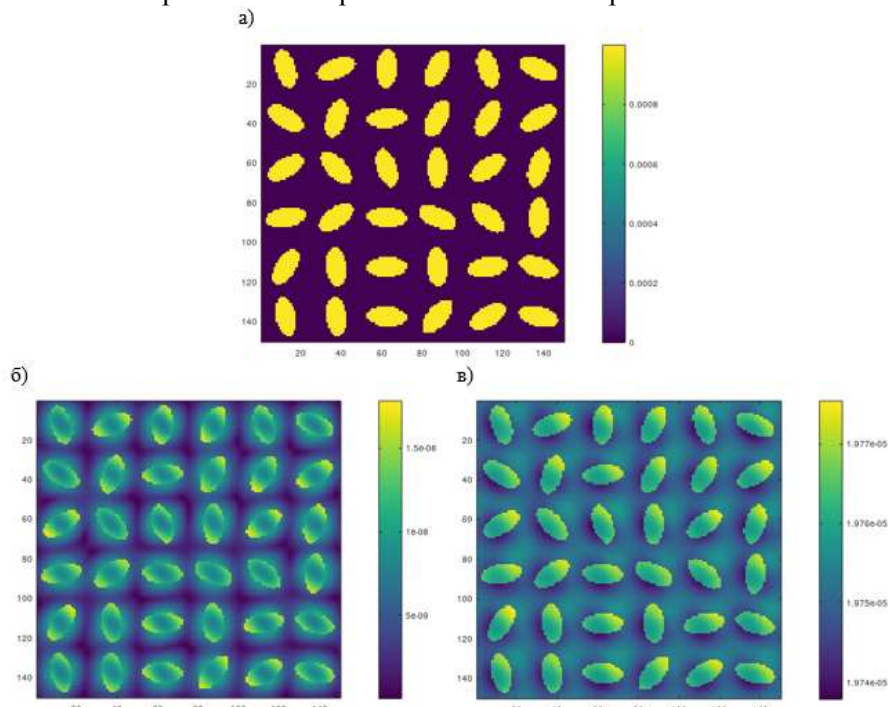


Рисунок 1. Спектральная фильтрация фазового изображения: (а) фазовое изображение, (б) метод темного поля, (в) метод фазового контраста.

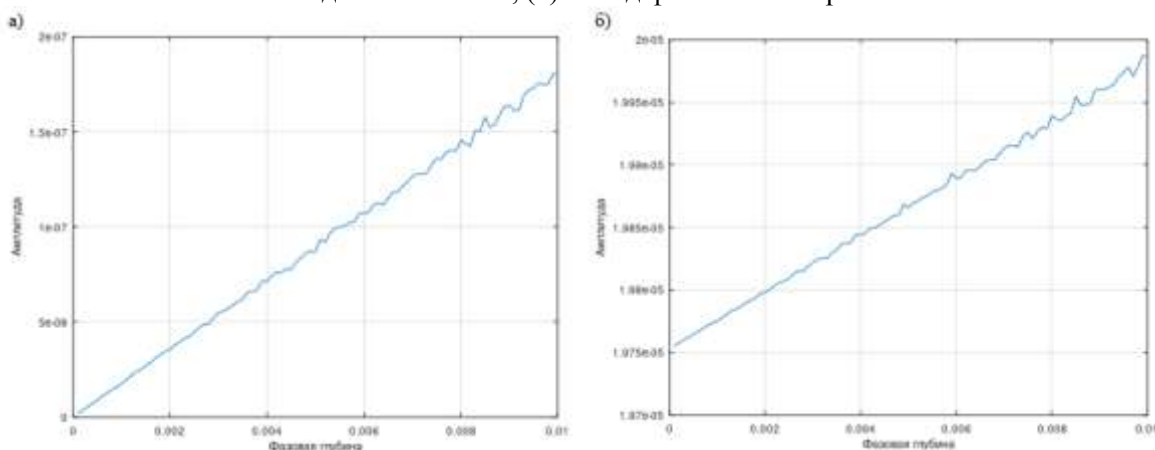


Рисунок 2. Зависимость амплитуды от фазовой глубины изображения: (а) метод темного поля, (б) метод фазового контраста.

Из результата на рисунке 3 видно, что метод фазового контраста наиболее применим для решения обратной задачи: нахождения фазы из амплитудного изображения. В дальнейшем полученные фазовые изображения будут использоваться для определения показателя преломления бактерий.

4. Заключение

В данной работе были представлены методы спектральной фильтрации – метод темного поля и метод фазового контраста, с помощью которых можно обрабатывать различные изображения. Каждый из исследуемых методов позволяет визуализировать исходные фазовые объекты,

изображая их в виде амплитудного распределения. Было показано, что метод фазового контраста более энергетически эффективен, чем метод темного поля (примерно в 1000 раз). По этой причине можно сказать, что метод фазового контраста более безопасен для изучаемых образцов. Получена зависимость контрастности выходного изображения от фазовой глубины исходного изображения. Данная зависимость почти линейна.

Реализованные методы предполагается использовать для построения алгоритма восстановления фазового изображения исходного образца.

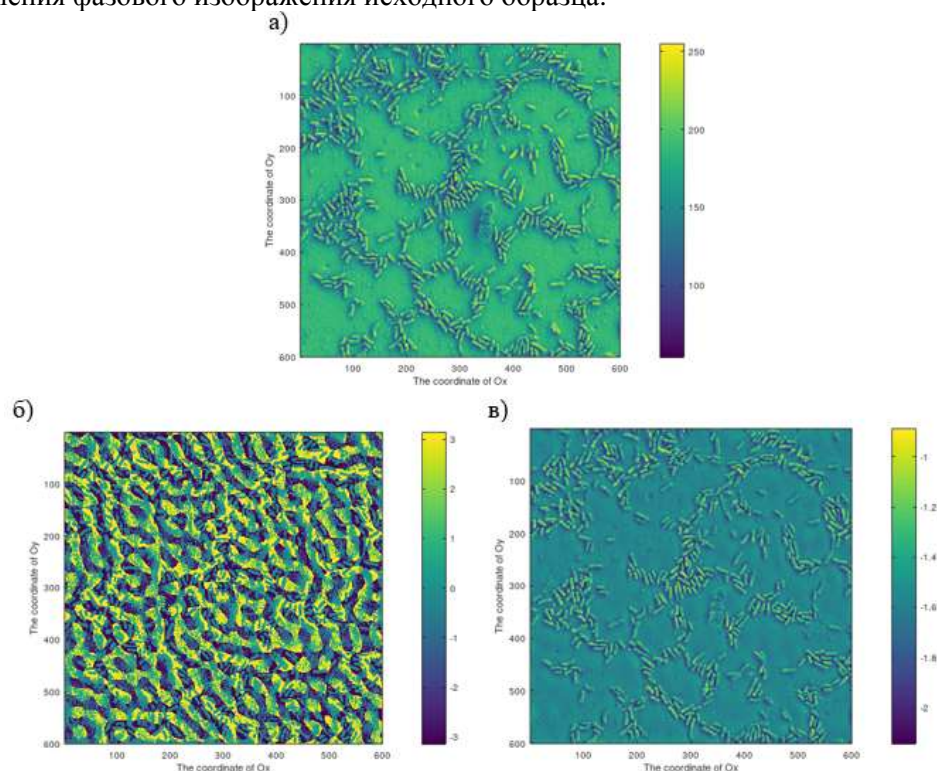


Рисунок 3. Спектральная фильтрация амплитудного изображения: (а) исходное изображение, (б) фаза после метода темного поля, (в) фаза после метода фазового контраста.

5. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 18-29-20045-мк, 20-37-70025, 18-37-00056 мол_а), государственному заданию 3.3025.2017/4.6 и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (соглашение №007-ГЗ/ЧЗ363/26).

6. Литература

- [1] Boori, M.S. Comparison of hyperspectral and multi-spectral imagery to building a spectral library and land cover classification performance / M.S. Boori, R.A. Paringer, K. Choudhary // *Computer Optics*. – 2018. – Vol. 42(6). – P. 1035-1045. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-6-1035-1045.
- [2] Кириленко, М.С. Вычисление собственных функций ограниченного дробного преобразования Фурье / М.С. Кириленко, Р.О. Зубцов, С.Н. Хонина // *Компьютерная оптика*. – 2015. – Т. 39, № 3. – С. 332-338. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-3-332-338.
- [3] Чернов, В.М. Вычисление преобразований Фурье–Галуа в редуцированных бинарных системах счисления // *Компьютерная оптика*. – 2018. – Т. 42, № 3. – С. 495-500. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-3-495-500.
- [4] Smith, S.W. *The scientist and engineer's guide to digital processing* – San Diego, California, U.S.: California Technical Publishing, 1999. – 626 p.

- [5] Темнопольная микроскопия // Википедия: свободная энцикл. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Темнопольная_микроскопия (30.11.2019).
- [6] Murphy, D. Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging – Wiley-Liss, New York, 2001. – 386 p.

Optical Image Spectral Filtering Algorithms

К.А. Gosteva¹, Е.А. Shumatova^{1,2}, S.A. Degtyarev^{1,2}

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

²Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

Abstract. The work is devoted to acquaintance with theoretical aspects of image processing, the study of spectral filtering methods with which you can process the original image. The bulk of the work is devoted to the study and implementation of several spectral filtering methods, such as the Fourier transform, the dark field method, and the phase contrast method. A computer program in the Octave language was developed that implements the methods in question.