

Управляемая визуализация спектра изображения

Жарких А. А., Коннов Е. В.

zharkihaa@mstu.edu.ru, wexum@mail.ru

Мурманск, Мурманский Государственный Технический Университет

В данной работе представлены результаты разработки программного модуля БПФ с управляемой визуализацией спектра изображения.

Методы вычисления спектра на основе БПФ достаточно хорошо отработаны и теоретически, и практически. Однако большинство руководств по спектральному анализу не содержат подробной информации о визуализации спектра изображений [1, 2, 3]. В данной работе предлагается один из возможных методов такой визуализации.

Разработанный программный модуль позволяет выполнять следующие функции: прямое и обратное БПФ над изображением в градациях серого цвета; распознавание сдвига, поворота и масштаба изображения на основе корреляционного анализа; визуализация амплитудного и фазового спектров изображения. Программный модуль разработан на языке C#. Работа модуля апробирована на изображениях каллиграфических букв русского рукописного текста. Создан банк спектров этих букв с целью изучения связей изображения буквы с изображением её спектра. Данные связи позволяют объединять сходные спектральные отсчеты отдельных рукописных букв в некоторые классы. В перспективе это позволит формулировать задачу распознавания рукописных букв как задачу распознавания объектов, принадлежащих отдельным классам. Реализована также процедура конкатенации изображений отдельных рукописных букв в целые слова.

Визуализация спектра

Рассмотрим отдельно задачу визуализации спектра. Считается, что, так как структура спектра изображения не важна для конечного пользователя, то она вообще не важна и неинтересна. На взгляд авторов это является заблуждением. Визуализация спектра важна для разработчика системы распознавания образов, т. е. для математика, программиста или специалиста в предметной области.

Визуализация спектра позволяет решить следующие задачи:

- 1) сформулировать в виде вербального описания требования к геометрической форме и прозрачности частотных коэффициента передачи фильтров;
- 2) сократить вычислительные ресурсы в задаче оптимизации признакового пространства (включающего подмножества спектральных отсчетов) за счет предварительного эвристического выбора частотного коэффициента передачи фильтра;

- 3) оптимизировать масштабы элементов признакового пространства (например, увеличить значения спектральных отсчетов, определяющих форму объекта, относительно низкочастотных спектральных составляющих, определяющих фон);
- 4) ускорить процесс изучения структуры спектра изображения изображения при решении задач 1)–3).

Для визуализации фазового спектра была использована линейная процедура:

$$Y_P(m, n) = \left[255 \cdot \frac{\arg(X(m, n)) + \pi}{2 \cdot \pi} \right], \quad (1)$$

где $m = 0, \dots, M - 1$, $n = 0, \dots, N - 1$, $\arg(X(m, n))$ — значение отсчета фазового спектра, $Y_P(m, n)$ — значение пикселя изображения фазового спектра.

Для визуализации амплитудного спектра была использована нелинейная процедура:

$$Y_A(m, n) = [255 \cdot \text{th}(\alpha |X(m, n)|)], \quad (2)$$

где $m = 0, \dots, M - 1$, $n = 0, \dots, N - 1$, $|X(m, n)|$ — значение отсчета амплитудного спектра, $Y_A(m, n)$ — значение пикселя изображения амплитудного спектра, α — параметр для управления визуализацией.

На Рис. 1, 2 показаны результаты визуализации спектра с использованием процедур (1) и (2).

Заключение

Использование представленных методов визуализации спектра позволяет добиться более четкого и детального изображения, а также избавляет от проблемы визуализации участков спектра с малыми (стремящимися к нулю) значениями. Часто используемая для визуализации и анализа амплитудного спектра логарифмическая шкала, на наш взгляд, является непригодной, т. к. не позволяет вычислить значения отсчетов, равных нулю. Предложенный метод визуализации можно использовать как инструмент спектрального анализа, а также при решении задач распознавания образов. Как известно, преобразование Фурье позволяет реализовать аффинно-инвариантные процедуры распознавания образов. Однако конкретные реализации таких процедур тесно связаны с предметной областью. Создание банка видимых изображений спектров под конкретную предметную область позволит скорректировать процедуру уже на этапе выбора алгоритма. Другим важным аргументом использования именно выражения (2) для визуализации амплитудного спектра является следующее. Как показано в [4], функция $X = \text{th}(x)$ реализует гомоморфное отображение поля вещественных чисел на интервал $(-1, +1)$. Опе-

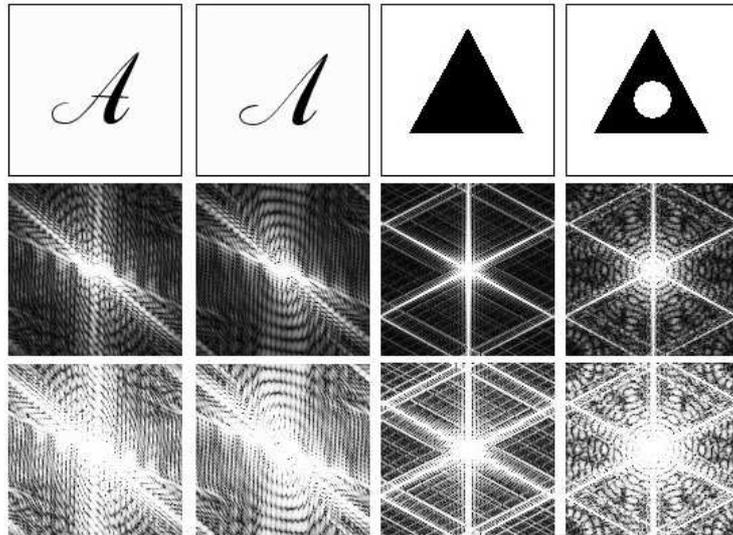


Рис. 1. Пример визуализации амплитудных спектров (средний ряд при $\alpha = 0.0002$, нижний ряд при $\alpha = 0.0008$) изображений схожих по начертанию букв рукописного текста и схожих по начертанию геометрических фигур.

рация сложения вещественных чисел переходит в следующую операцию на интервале $(-1, +1)$: $Z = (X + Y)/(1 + XY)$. Эта операция обладает гибридными свойствами. При малых значениях аргументов она переходит в обычную операцию сложения, а на любом из двухэлементных множеств $\{0, +1\}$ или $\{-1, 0\}$ она представляет собой логическое «или». Качественно действие этой операции для произвольных аргументов интервала $(-1, +1)$ сводится к тому, что аргумент больший по модулю «поглощает» аргумент меньший по модулю. Если, с учетом нормировки, применить эту операцию к двум изображениям одинакового размера, то изображения как бы «склеиваются». В контексте задачи распознавания указанная операция может быть использована для формирования амплитудного спектра как признака целого множества или класса изображений. Простое перемножение спектров для этого менее пригодно, так как разрыв между большими и малыми отсчетами только увеличивается.

Представляется перспективным использование предложенного инструмента спектрального анализа и визуализации в задачах обработки измерений (особенно уникальных, редко повторяющихся) физических величин, зависящих от двух переменных.

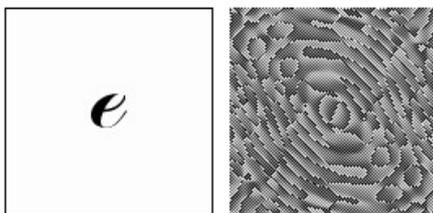


Рис. 2. Пример визуализации фазового спектра изображения буквы рукописного текста.

Открываются дополнительные возможности в решении прикладных задач распознавания образов, таких, как распознавание рукописного текста, отпечатков пальцев, фотографий лиц, изображений средств передвижения и др.

Литература

- [1] *Залманзон Л.А.* Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. — М: Наука, 1989. — 496 с.
- [2] *Марпл С.Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения. — М: Мир, 1990. — 584 с.
- [3] *Даджсон Д., Мерсеро Р.* Цифровая обработка многомерных сигналов. — М: Мир, 2006. — 488 с.
- [4] *Жарких А. А.* Идентификация линейных стационарных систем при гомоморфных преобразованиях сигналов // 4-я межд. конф. «Идентификация систем и задачи управления». — Москва, SICPRO'05. — С. 321–332.