

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В. И. Лобач

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

E-mail:lobach@bsu.by

Рассматривается применение стандартного вейвлет-преобразования к сжатию цветных изображений. Показано, что получающееся в результате изображение по размеру в два раза меньше исходного.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, пиксель, сжатие данных.

Данные, представляющие какое-либо изображение, могут храниться на компьютере таким образом, что изображение может быть восстановлено с точностью, достаточной для получения полной информации. Для этого изображение сканируется и оцифровывается, каждый квадратный дюйм разбивается на решетку 500 x 500 маленьких квадратов, называемых пикселями. Каждый пиксель задается значением шкалы яркости, соответствующим его потемнению, с масштабом от 0 до 255. Так как целые числа от 0 до 255 могут быть представлены в двоичной системе с использованием 8 знаков (т. е. каждое целое число от 0 до 255 соответствует 8-значной последовательности нулей и единиц), то они занимают 8 двоичных бит (один байт) данных для определения потемнения одного пикселя.

Рассмотрим, например, объем данных, требуемых для одной карточки отпечатки пальцев. Каждый отпечаток занимает площадь около 1,5 дюйма x 1,6 дюйма, с $500^2 = 250\,000$ пикселей на квадратный дюйм, каждый пиксель требует 8 бит данных (один байт данных). Поэтому каждый отпечаток пальцев требует около 600 000 байт данных. Карточка включает все 10 отпечатков пальцев плюс 2 отпечатка больших пальцев и 2 отпечатка всех пальцев на руке (всей пятерни). Результат таков, что каждая карточка требует около 10 мегабайт данных. Если мы имеем дело с 10 млн карточек, то необходимо хранить 10^{14} байт данных.

Поэтому необходим метод сжатия данных, т. е. возможность представить информацию с использованием меньшего количества данных, сохраняя при этом достаточную точность для осуществления нужной идентификации.

Сжатие данных – важное поле деятельности в анализе изображений. Текущий промышленный стандарт сжатия изображения был написан Объединенной группой фотографических экспертов (Joint Photographic Expert Group) и называется JPEG. Многие файлы изображений, которые загружаются в Интернете, сжимаются с помощью этого стандарта, поэтому они имеют расширение .jpg. Одна особенность JPEG состоит в том, что он сначала разбивает большое изображение на меньшие квадраты и затем осуществляет независимое сжатие в этих меньших квадратах. Это обеспечивает некоторые преимущества, обусловленные локальной однородностью в изображении. Его недостаток состоит в том, что подразбиения могут совпадать недостаточно хорошо на границах малых квадратов. Это приводит к регулярному рисунку из

горизонтальных и вертикальных линий. Они называются блочными артефактами или, более коротко, блочными линиями. Это не только вызывает зрительное раздражение, но и является препятствием для машинного распознавания отпечатков.

Методы вейвлет-анализа не требуют разбиения изображения на маленькие блоки, так как нужные свойства локализации заложены в вейвлет-систему [1–5].

ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХААРА ДЛЯ ОДНОМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Пусть имеется одномерное изображение с разрешением в четыре пикселя со следующими значениями пикселей:

$$[10 \ 8 \ 4 \ 6]$$

Изображение можно разложить по базису Хаара, простейшему базису вейвлетов, путем следующего вычисления вейвлет-преобразования. Начнем с попарного усреднения пикселей, которое даст нам в результате новое изображение с более низким разрешением и следующими значениями этих пикселей:

$$[9 \ 5]$$

Ясно, что эта операция повлекла потерю некоторой информации. Для этого, чтобы восстановить величины исходных четырех пикселей, нам необходимо запастись несколькими уточняющими коэффициентами, хранящими эту пропавшую информацию. В нашем примере первому коэффициенту присвоим значение 1, поскольку значение $10 = 9 + 1$, $8 = 9 - 1$. Таким образом, новое значение и коэффициент 1 позволяют восстановить два первых пикселя для исходного четырехпиксельного изображения. Аналогично, второй коэффициент равен -1 .

Итак, мы произвели разложение изображения, получив версию с более низким разрешением (в два пикселя) и уточняющие коэффициенты:

$$[95; 1]$$

Рекурсивное повторение этой процедуры для средних значений дает нам вейвлет-преобразование нашего исходного четырехпиксельного изображения:

$$[7; 2, +1, -1]$$

Таким образом, вейвлет-преобразование исходного четырехпиксельного изображения (также называемое вейвлет-разложением) определяется как единственное значение, представляющее общее среднее значение исходного изображения, дополненное уточняющими коэффициентами, располагающимися в порядке, соответствующем увеличению разрешения.

Заметим, что при применении этого способа не происходит ни потери, ни прибавления какой-либо доли информации: исходное изображение имеет четыре значения, столько же их и у выполненного преобразования. Имея преобразование, мы можем восстановить изображение с любым разрешением, последовательно прибавляя или вычитая уточняющие коэффициенты.

Сохранение именно вейвлет-преобразования, а не самого изображения имеет ряд преимуществ. Одно из них состоит в том, что часто большое количество уточняющих коэффициентов оказывается очень малым по величине. Усечение, или удаление из представления, этих малых коэффициентов приводит лишь к незначительным погрешностям воспроизводимого изображения, являя форму сжатия изображения «с потерями».

ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХААРА ДЛЯ ДВУМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Использовать вейвлеты для преобразования значений пикселей некоторого изображения можно с помощью так называемого стандартного разложения [3]. Чтобы получить стандартное разложение изображения, сначала применяем одномерное вейвлет-преобразование к каждой строке значений пикселей. Эта операция дает среднее значение и уточняющие коэффициенты для каждой строки. Затем мы рассматриваем эти преобразованные строки так, как если бы они сами являлись изображением, и применяем одномерное преобразование к каждому столбцу. Полученные в результате значения окажутся уточняющими коэффициентами, за исключением единственного значения, представляющего собой среднее значение пикселей. Методы вейвлет-преобразований с тем же успехом можно использовать для обработки цветных изображений. Просто нужно выполнять вейвлет-преобразование независимо на каждом из трех цветных компонентов изображения и представлять результаты как массив векторозначных вейвлет-коэффициентов.

Результат вейвлет-преобразования – обычный массив числовых коэффициентов. Такая форма представления информации об изображении очень удобна, поскольку числовые данные легко обрабатывать. После этого наступает очень важный этап – пороговое преобразование. Нужно отбросить коэффициенты, значение которых близко к нулю. Следует помнить, что при этом происходит необратимая потеря информации, ведь отброшенные коэффициенты участвуют в формировании изображения. Поэтому выбранное пороговое значение коэффициентов сильно влияет на качество изображения – задание слишком высокого порога влечет за собой падение качества изображения. Итак, обработка изображения происходит в два этапа – на первом этапе происходит сжатие с потерей информации (вейвлет-преобразование), на втором – обычная архивация данных. Для восстановления изображения необходимо повторить все действия в обратном порядке. Сначала восстанавливается значение коэффициентов, а затем по ним, применяя обратное вейвлет-преобразование, получают изображение.



Рис. 1. Исходное изображение

Представленная компьютерная программа функционирует следующим образом. Сначала читается файл в матрицу пикселей. Каждый пиксель представляет собой вектор из трех целых чисел от 0 до 255. Первое из этих чисел соответствует красному цвету, второе – зеленому и третье – синему. Затем программа делает стандартное вейвлет-преобразование изображения и сохраняет результат в PNG-файл. Надо отметить, что при выполнении вейвлет-преобразований уточняющие коэффициенты записывались в оставшуюся, уже не нужную, область изображения. После этого выполняется реконструкция, которая возвращает исходное изображение без всяких искажений. Результаты можно увидеть на рис. 1–5.

Результаты реконструкций приводить нет смысла, так как это будут те же изображения, только расположенные в обратном порядке. В итоге мы получили изображение (рис. 6) – результат стандартного вейвлет-преобразования. Размер изображения – 119.1 килобайт, это изображение практически в два раза меньше оригинала.



Рис. 2. Стандартное преобразование: первая итерация преобразования строк (в правой области записаны уточняющие коэффициенты)

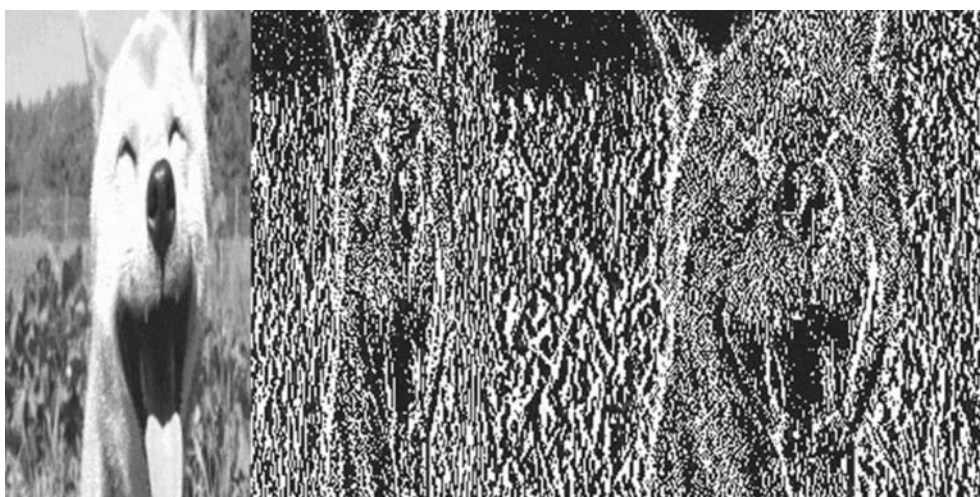


Рис. 3. Стандартное преобразование: вторая итерация преобразования строк

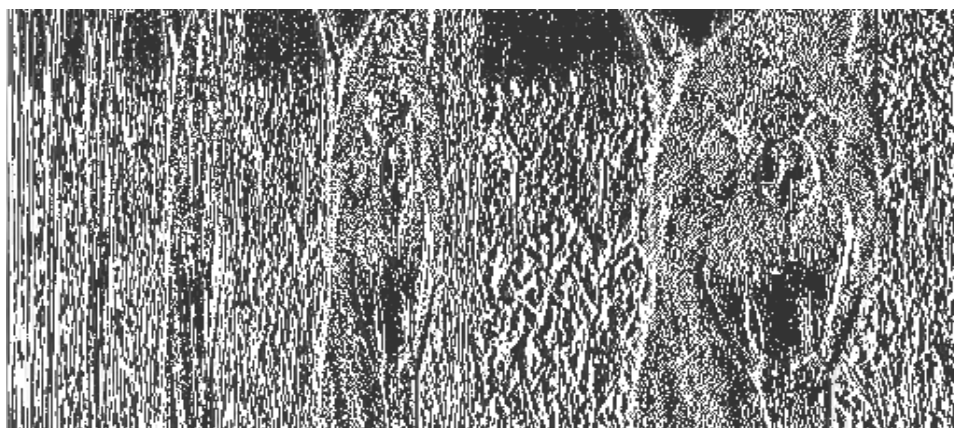


Рис. 4. Стандартное преобразование: последняя итерация преобразования строк

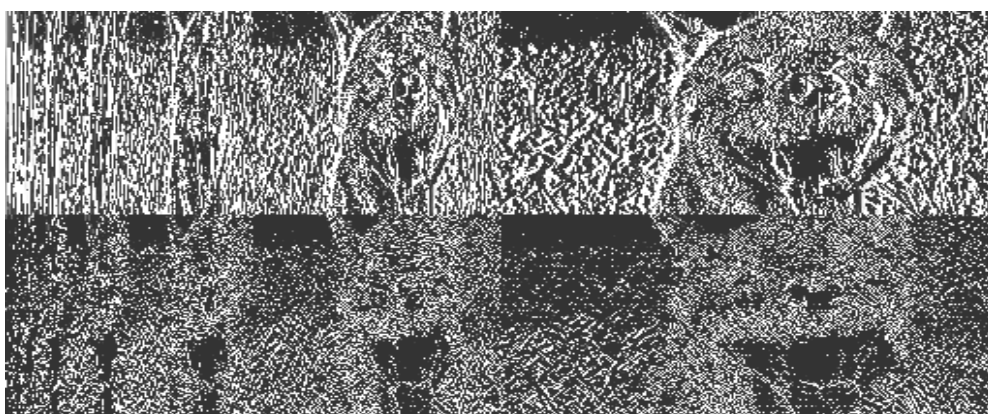


Рис. 5. Стандартное преобразование: первая итерация преобразования столбцов

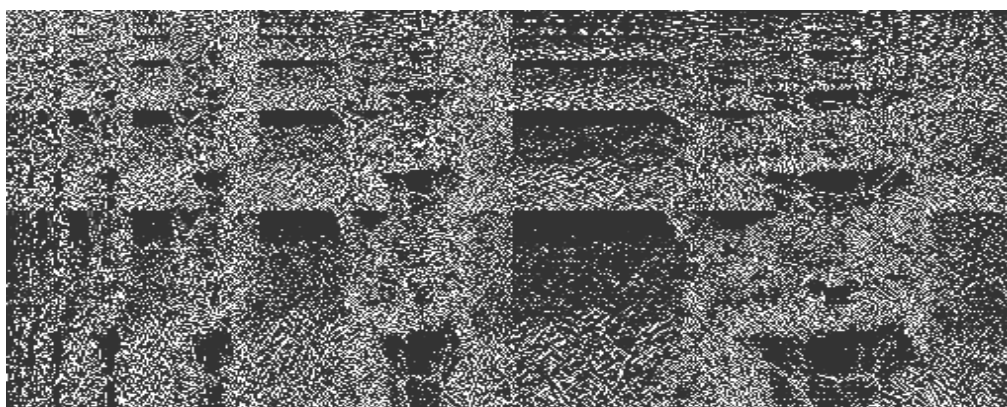


Рис. 6. Стандартное преобразование: последняя итерация преобразования. Это и есть результат стандартного преобразования

ЛИТЕРАТУРА

1. *Добеши, И.* Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2001. 464 с.
 2. *Мала, С.* Вейвлеты в обработке сигналов / С. Мала. М. : Мир. 2005. 671 с.
 3. *Столниц, Э.* Вейвлеты в компьютерной графике / Э. Столниц, Т. ДеРоуз, Д. Салезин. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2002. 272 с.
 4. *Астафьева, Н. М.* Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н. М. Астафьева // УФН. 1996. Т. 166, № 11. С. 1145–1170.
 5. *Дремин, И. М.* Вейвлеты и их использование / И. М. Дремин, О. В. Иванов, В. А. Нечитайло // УФН. 2001. Т. 171, № 9. С. 940–985.
-