

АЛГОРИТМ ФИЛЬТРАЦИИ ПАПИЛЛЯРНЫХ ЛИНИЙ, НАЛОЖЕННЫХ НА РЕГУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ

Суслов Александр Алексеевич, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

suslov_aa@sonda.ru

Гудков Владимир Юльевич, Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

diana@sonda.ru

Аннотация

В статье рассматривается метод фильтрации папиллярных линий, наложенных на регулярную структуру, имеющую частотные характеристики, близкие к частотным характеристикам самих папиллярных линий. В таких условиях трудно отделить полезную информацию от фоновой, используя частотные методы фильтрации. Предлагается один из возможных алгоритмов такого разделения, основанный на использовании градиентных методов обработки изображений. Итогом работы является законченная интерактивная вычислительная процедура.

Ключевые слова: оператор Собеля, оператор Лапласа, преобразование Фурье.

1. ВВЕДЕНИЕ

Эффективность работы дактилоскопической системы зависит от ее способности обрабатывать изображения следов или отпечатков очень низкого качества, когда на изображении присутствуют различного рода графические помехи, а именно: наложенный текст разного размера, другой след (отпечаток), линии одинарные и множественные различной толщины. Существуют базы данных таких изображений с характерными помехами, в частности, база изображений NIST [1]. В настоящей статье рассматривается случай, когда помехой являются множественные параллельные линии, толщина которых примерно совпадает с толщиной папиллярных линий самого изображения отпечатка.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящей работе рассматриваются изображения, дискретизированные с разрешением 500 точек на дюйм и хранящиеся в виде массива пикселей с градацией 256 оттенков серого цвета [2].

Примером такого изображения может служить изображение на рис. 1, взятое из базы изображений NIST. Оно имеет две отличительные особенности.

Во-первых, на нем в качестве фона присутствует структура параллельных линий с толщиной и периодичностью такой же, как у отпечатка, расположенного в центре. Поэтому использовать частотную фильтрацию, а именно, преобразование Фурье для подавления фона по отношению к изображению отпечатка, не представляется возможным. На рис. 2 приведен частотный спектр, полученный в результате применения Фурье-преобразования к исходному изображению. Для визуализации спектра коэффициенты Фурье-преобразования были пересчитаны по формуле:

$$a_{ij} = 128 - 30 * \log_{10} re_{ij},$$

где a_{ij} - массив пикселей, предназначенный для визуализации,

re_{ij} - массив вещественной части коэффициентов Фурье-преобразования [3]. Из рисунка видно, что наиболее значимые коэффициенты сосредоточены компактной группой в центре изображения, что не позволяет идентифицировать наличие помехи в виде регулярных линий той же ширины, что и линии папиллярного узора.

Во-вторых, изображение обладает высокой контрастностью. На нем имеются как очень светлые, так и очень темные участки, прилегающие друг к другу. А, следовательно, четко выраженные границы между ними. Поэтому применение градиентных методов обработки на основе дискретных операторов Собеля [4] непосредственно к исходному изображению не приведет к желаемому результату, так как наибольшие градиенты находятся не в области перекрытия отпечатка и регулярных наклонных линий.



Рис. 1: Исходное изображение

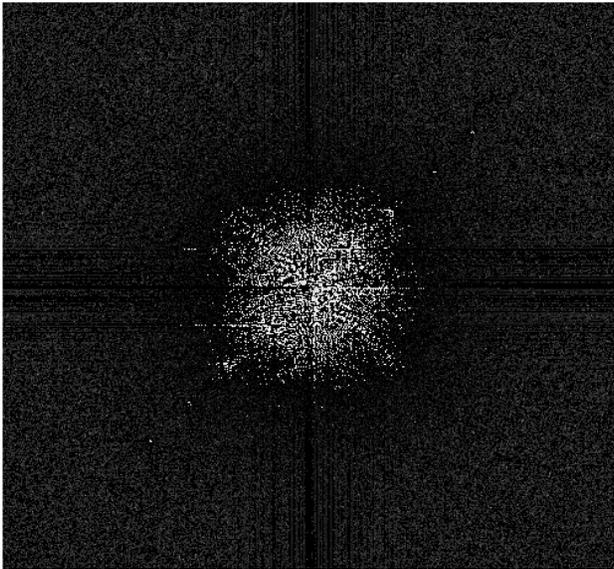


Рис. 2: Фурье-спектр исходного изображения

3. МЕТОД РЕШЕНИЯ

С учетом перечисленных выше характерных особенностей помех необходимо выполнить такую обработку изображения, после применения которого оно стало бы более однородным. Выполним следующую процедуру: для каждого пикселя вычислим среднее значение яркости для восьми прилегающих к нему соседних пикселей, вычтем его из яркости самого пикселя.

p_6	p_7	p_8
p_5	p_0	p_1
p_4	p_3	p_2

Рис. 2: Нумерация соседних пикселей

Получится новый массив значений, содержащий как положительные, так и отрицательные значения. Или, используя обозначения пикселей, приведенные на рис. 2, указанную процедуру можно выразить в виде формулы:

$$n_{ij} = p_0 - \frac{1}{8} \sum_{k=1}^8 p_k.$$

Такая процедура может быть названа вычислением высокочастотного шума n_{ij} [5]. Чтобы можно было визуализировать этот массив n_{ij} , умножим все его значения на коэффициент усиления $k (\approx 4)$ и прибавим ко всем его значениям константу 128, так чтобы все значения лежали в диапазоне 0 – 255. Исходное изображение, будучи подвергнуто указанной процедуре, будет выглядеть так, как на рис. 3.

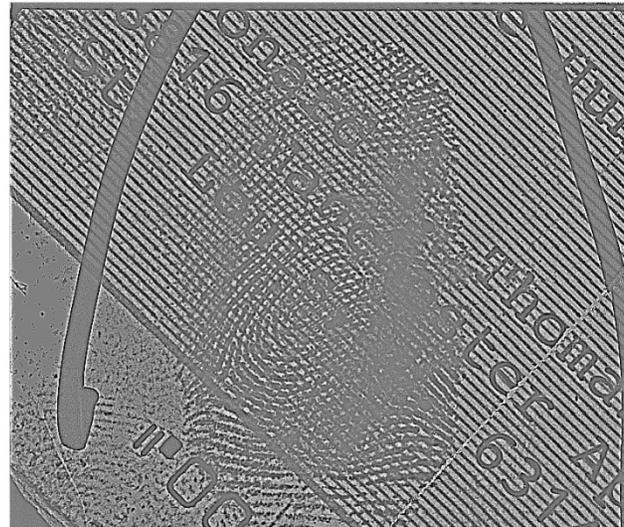


Рис. 3: Высокочастотный шум

Очевидно, изображение стало более однородным и напоминает исходное. Более светлым участкам исходного изображения соответствуют большие значения шума. Наоборот, более темным участкам исходного изображения соответствуют меньшие значения шума. В данном случае чтобы отфильтровать помехи, нужно погасить регулярную структуру линий, идущих слева сверху направо вниз как вне, так и внутри отпечатка. Для этого выполним следующую процедуру.

Вычислим для массива n_{ij} градиенты яркости, используя разностные операторы Собеля по четырем направлениям: горизонтальному (G_1), вертикальному (G_3) и двум диагоналям (G_2 и G_4):

$$G_1 = \text{abs}(p_8 - p_6 + 2 * (p_1 - p_5) + p_2 - p_4),$$

$$G_2 = \text{abs}(p_1 - p_7 + 2 * (p_2 - p_6) + p_3 - p_5),$$

$$G_3 = \text{abs}(p_4 - p_6 + 2 * (p_3 - p_7) + p_2 - p_8),$$

$$G_4 = \text{abs}(p_7 - p_5 + 2 * (p_8 - p_4) + p_1 - p_3).$$

В этих формулах используются принятые ранее обозначения для нумерации соседних пикселей.

Для рассматриваемого нами примера наиболее яркими и многочисленными будут градиенты в направлении G_4 , а наименее яркими и малочисленными будут градиенты в направлении G_2 . Выделим в каждом из этих массивов наиболее информативные элементы, а именно, те, которые имеют самые большие по модулю значения. Для этой цели вычислим гистограммы для каждого из этих массивов [1]. Находим минимальное \min и максимальное \max значения. Количество интервалов в гистограмме принимаем равным $n = \max - \min + 1$. Наконец элементы массива гистограмм h_k вычисляем по формуле:

$$k = n_{ij} - \min,$$

$$h_k = h_k + 1, \quad i = 1 \dots \text{rows}, \quad j = 1 \dots \text{cols},$$

где rows - число строк,

cols - число столбцов массива n_{ij} .

Используя гистограмму градиентов, выберем самые большие по модулю значения. Для этого введем в рассмотрение

константу $percent \approx 0.15$. Тогда для нахождения граничного значения самых больших градиентов будем суммировать элементы гистограммы h_k до тех пор, пока выполняется неравенство

$$\sum_{k=k_{max}}^n h_k < percent.$$

Суммирование выполняется, начиная с максимального значения k в сторону его уменьшения.

Для визуализации картины распределения больших значений градиентов изобразим их светлыми пикселями на темном фоне, см. рис. 4.

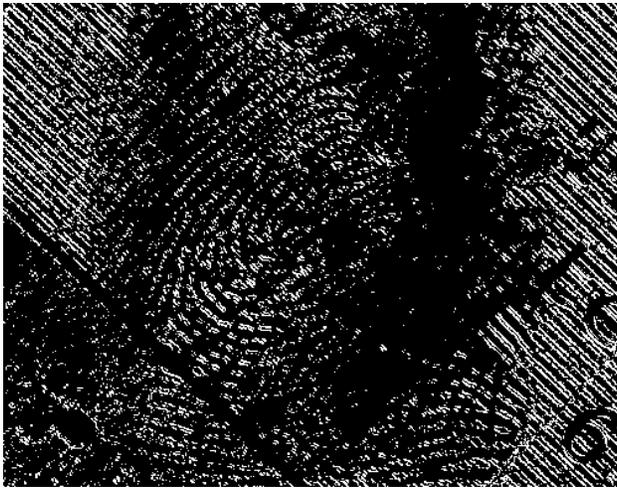


Рис.4: Визуализация расположения градиентов $RtUpLtDn$

Из рисунка видно, что большие значения градиентов в направлении G_4 располагаются по разные стороны от прямых линий. Легко понять, как располагаются большие значения градиентов в направлении G_2 – по разные стороны от линий, идущих в направлении справа сверху налево вниз. Причем не исключен случай, когда для одного и того же пикселя градиенты принимают большие значения сразу в обоих направлениях, и G_4 , и G_2 . Поэтому для того, чтобы отфильтровать линии, проходящие в направлении слева сверху направо вниз, нужно выполнить следующую процедуру. В тех областях, где расположены самые большие градиенты G_4 , а градиенты G_2 не являются большими, нужно увеличить яркости пикселей на оригинальном изображении. Это приведет к тому, что толщина линий на оригинальном изображении уменьшится. Область больших градиентов сместится к центру каждой линии. В тех же областях, где расположены самые большие градиенты G_2 , яркости пикселей на оригинальном изображении нужно уменьшить. Это предотвращает уменьшение толщин линий, идущих в направлении, перпендикулярном к направлению фильтрации.

Наиболее простым способом увеличения или уменьшения яркости пикселя является умножение его яркости на постоянный множитель, значение которого подбирается опытным путем из условия уменьшения градиентов.

Однократное применение указанной процедуры не приводит к полной фильтрации регулярной структуры линий. Однако возможно выполнение нескольких итераций, позволяющих достичь желаемого результата. На рис. 5 представлено отфильтрованное изображение для 15 итераций при

изменении яркостей пикселей на 10% от их первоначального значения.

Если количество итераций будет велико, то время, затрачиваемое на выполнение процедуры фильтрации, также увеличится. Одним из способов понижения временных затрат является использование операторов Лапласа [4], вычисляемых по тем же направлениям, что и при вычислении градиентов. Как известно, оператор Лапласа является разностным приближением второй производной изучаемой для функции одной переменной и может быть выражен формулой:

$$\Delta f = f_{i+1} + f_{i-1} - 2 * f_i,$$

где f_{i-1}, f_i, f_{i+1} – значения функции яркости в трех последовательных пикселях, расположенных вдоль какого-либо одного из направлений: горизонтального, вертикального или одного из двух диагональных.

Находя максимальные по модулю значения для функции изменения яркости в одном из четырех перечисленных выше направлений, получим пиксели, расположенные как раз посередине достаточно тонких линий, либо между ними. Соответственно, осветляя темные пиксели и затемняя светлые, можно сократить количество итераций в процедуре фильтрации. В данном случае достаточно тонкие линии – это такие линии, ширина которых сравнима с шириной линий папиллярного узора. Если ширина линии возрастает, то точки, лежащие на ее середине, не будут являться точками экстремальных значений функции яркости, следовательно, лапласиан не будет принимать большие по модулю значения. В связи с этим необходимо разумное сочетание способов фильтрации на основе операторов Собеля и операторов Лапласа.

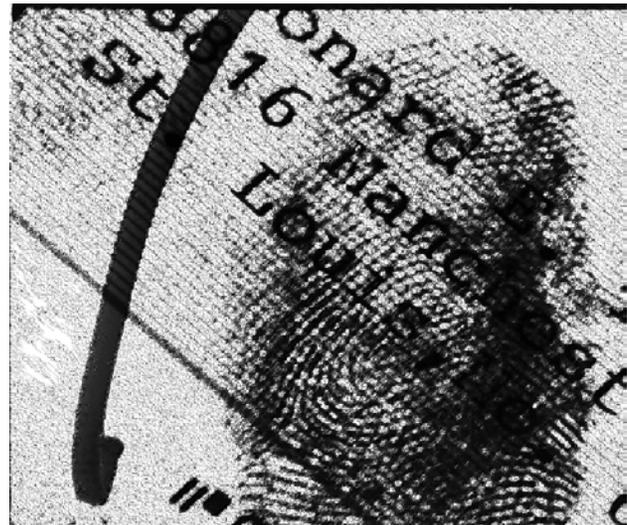


Рис. 5: Отфильтрованное изображение

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан алгоритм фильтрации папиллярных линий, наложенных на регулярную структуру линий, имеющую частотные характеристики, близкие к частотным характеристикам самих папиллярных линий. Алгоритм основан на вычислении высокочастотного шума изображения, последующем применении дискретных операторов Собеля и Лапласа применительно к шуму по

четырем различным направлениям и изменении яркостей пикселей оригинального изображения в зависимости от значений градиентов шума.

На данный момент процедура носит интерактивный характер. Это связано с тем, что для того, чтобы ее запустить, необходимо выяснить характер присутствующих на изображении помех. В связи с тем, что использование частотных методов в данном случае проблематично, предполагается в дальнейшем изучить вопрос о применении когерентных свойств градиентов высокочастотного шума по различным направлениям.

5. ЛИТЕРАТУРА

[1] NIST Special Database 27, Fingerprint Database/ C.I. Watson and C.L. Wilson. – National Inst. of Standards and Technology, 1992.

[2] Компьютерное зрение. Современный подход / Д.А. Форсайт, Ж. Понс; пер. с англ. А.В. Назаренко, И.Ю. Дорошенко. – М.: Изд. Дом Вильямс, 2004. – 928 с.

[3] Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения / Ю.В. Визильтер, С.Ю.Желтов, А.В.Бондаренко и др. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.

[4] Цифровая обработка изображений / Б. Яне; пер. с англ. А.М. Измайловой. - М.: Техносфера, 2007. – 584 с.

[5] Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; пер. с англ.; под ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.