

УДК 004.932

В.К. Злобин, Б.В. Костров, В.А. Саблина

АЛГОРИТМ СЕКВЕНТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ГРУППОВЫХ ПОМЕХ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Рассмотрены проблемы использования методов секвентного анализа применительно к цифровой обработке изображений на примере фильтрации групповых помех на изображении земной поверхности.

Ключевые слова: секвентный анализ, преобразование Уолша, восстановление изображений, групповые помехи, фильтрация.

Постановка задачи исследования.

Достаточно широко известны и описаны методы фильтрации с использованием спектрально-частотного анализа, основанного на аппарате преобразования Фурье [1]. Однако в арсенале математиков имеются и другие системы ортогональных функций, которые не находили столь широкого применения до последнего времени, например решетчатые функции Уолша, заданные на конечной последовательности точек. Следует ожидать, что функции Уолша могут быть особенно полезны в системах обработки информации, включающих цифровые электронно-вычислительные машины, имеющие дело с конечной последовательностью чисел. Можно предположить, что аппарат функций Уолша, задаваемых в конечной последовательности точек, подходит как нельзя лучше и к цифровой обработке изображений [2, 3]. Время, затрачиваемое на спектральные преобразования по системе функций Уолша, существенно меньше, чем в случае синусоидальных функций.

Понятие «частота» для синусоидальных функций является аналогом понятия «секвента» для функций Уолша. Аналогом «частотного» фильтра соответственно является «секвентный» фильтр [4]. Понятие «секвента» имеет смысл обобщенной частоты и определяется числом изменений знака функции на определенном интервале времени. Успехи секвентного анализа базируются на том, что вместо синусоидальных сигналов и волн стали использовать и генерировать волны Уолша и другие несинусоидальные сигналы. Секвентный анализ представляет собой обобщение и одновременно альтернативу спектрального гармонического анализа и может использоваться во многих областях современной науки и техники [5].

В настоящей статье исследуется возможность применения секвентного анализа в такой области цифровой обработки изображений, как восстановление изображений. При восстановлении делается попытка реконструировать или воссоздать изображение, которое было до этого искажено, используя априорную информацию о явлении, которое вызвало ухудшение изображения. Поэтому методы восстановления основаны на моделировании процессов искажения с последующим воссозданием исходного изображения и оценкой полученного результата. Соответственно задача восстановления состоит в построении некоторого приближения $\hat{f}(x, y)$ исходного изображения $f(x, y)$ по заданному (искаженному) изображению $g(x, y)$. В принципе, чем больше известно об искажающем воздействии, тем точнее $\hat{f}(x, y)$ будет отражать исходное изображение $f(x, y)$.

Изображения в процессе передачи могут искажаться помехами, возникающими в каналах связи. Например, при передаче изображения с использованием беспроводной связи оно может быть искажено в результате разряда молнии или других возмущений в атмосфере [1].

В тракте передачи и регистрации могут возникать импульсные и групповые помехи. Характерной особенностью подобных искажений является их абсолютно разрушительное действие. Можно лишь заменить пораженные элементы значениями, найденными по неискаженным элементам. Классические алгоритмы, например медианная фильтрация, могут привести к побочным эффектам изменения незашумленных участков изображения [6].

В статье предложен алгоритм идентификации групповых помех на изображении методом секвентной фильтрации. Реализация

разработанного алгоритма выполнена в среде MATLAB [7].

Моделирование искаженного изображения. Групповые помехи проявляются в виде поражения части строки, целой строки либо группы строк. Эксперименты проводились для модели помехи, искажающей строку изображения с некоторой вероятностью p . Для такой искаженной строки теряется информация о некоторой ее части l , например, при $l=1$ пропадает вся строка целиком, при $l=0,2$ – случайно расположенная пятая часть строки. Такой процесс искажения может быть отражен следующим образом:

$$g(x, y) = \begin{cases} f(x, y) & \text{при } R(x, y) = 0, \\ 0 & \text{при } R(x, y) = 1, \end{cases} \quad (1)$$

где $R(x, y)$ описывает область локализации групповой помехи, зависящую от значений p и l .

В экспериментах использовались фрагменты изображений земной поверхности. Пример исходного изображения представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Исходное изображение

Приведенное на рисунке 1 изображение $f(x, y)$ имеет размер 256×256 пикселей ($M \times N$) и 256 градаций яркости.

В результате варьирования параметров p и l можно получить различные виды изображений с групповыми помехами (больше или меньше помех в зависимости от p , различная длина помех в зависимости от l).

Визуально наличие таких групповых помех приводит к появлению на изображении черных горизонтальных штрихов либо целых черных строк. На рисунке 2 представлено искаженное

изображение с полностью «выбитыми» строками, а на рисунке 3 – с исчезновением пятых частей строк; в обоих случаях повреждена в среднем одна из ста строк.

Также моделируются и промежуточные варианты, например, исчезновение в некоторых строках половины информации, либо другие комбинации появления групповых помех.



Рисунок 2 – Групповые помехи с параметрами $p=0,01$ и $l=1$

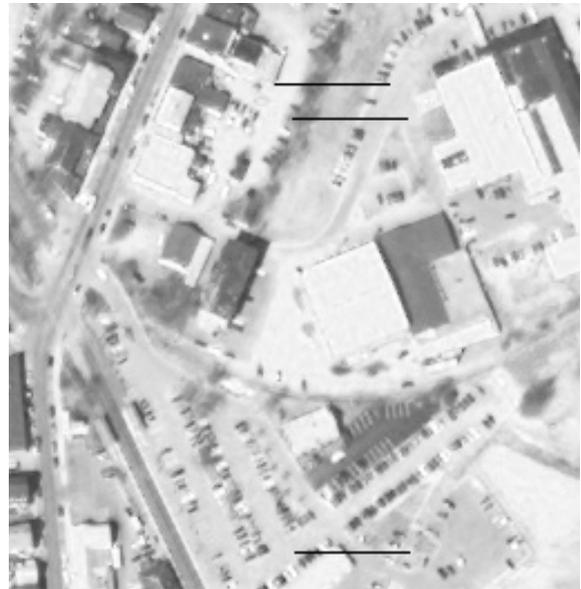


Рисунок 3 – Групповые помехи с параметрами $p=0,01$ и $l=0,2$

Эксперименты по восстановлению изображения. Основная проблема, возникающая при фильтрации групповых помех, состоит в обнаружении местонахождения групповых помех, то есть в построении наиболее точной оценки $\hat{R}(x, y)$ области локализации групповой помехи $R(x, y)$. В противном случае либо пострадает неискаженная часть изображения,

либо помеха не будет устранена полностью. Например, некоторые точки на изображении могут иметь черный цвет. Эти точки не должны быть ложно отнесены к помехе. Возникшие проблемы автоматически решаются при использовании для идентификации групповых помех метода секвентной фильтрации.

Общий алгоритм секвентной фильтрации состоит в следующем. Качественно ее алгоритм схож с алгоритмом традиционной фильтрации Фурье-анализа и отличается лишь заменой гармонических функций базовыми функциями секвентного анализа. Общий порядок операций остается практически тем же.

Выполняется преобразование Уолша искаженного изображения $g(x, y)$:

$$G(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} g(x, y) wal_{(u, v)}(x/M, y/N), \quad (2)$$

где $wal_{(u, v)}(x/M, y/N)$ - двумерная функция Уолша.

Полученный спектр умножается на спектральную характеристику выбранного фильтра:

$$G_1(u, v) = H(u, v) \cdot G(u, v). \quad (3)$$

Выполняется обратное преобразование Уолша:

$$g_1(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} G_1(u, v) wal_{(u, v)}(x/M, y/N). \quad (4)$$

Для задач настоящего исследования в качестве передаточной функции фильтра была выбрана следующая функция:

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{при } u \neq 0 \text{ и } v = 0, \\ 1 & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (5)$$

Применение описанного алгоритма к искаженным смоделированными групповыми помехами изображениям, приведенным на рисунках 2 и 3, дает результаты, представленные на рисунках 4 и 5 соответственно.

Полученные изображения могут быть использованы в дальнейшем для локализации местонахождения групповой помехи путем их сравнения с изображениями на рисунках 2 и 3 выполняемого следующим образом.

Очевидно, что к искомым горизонтальным штрихам относятся точки, у которых значения яркости на изображении до и после секвентной фильтрации наиболее отличаются.

Таким образом, можно сформировать битовую маску $\hat{R}(x, y)$:



Рисунок 4 – Изображение на рисунке 2 после этапа секвентной фильтрации

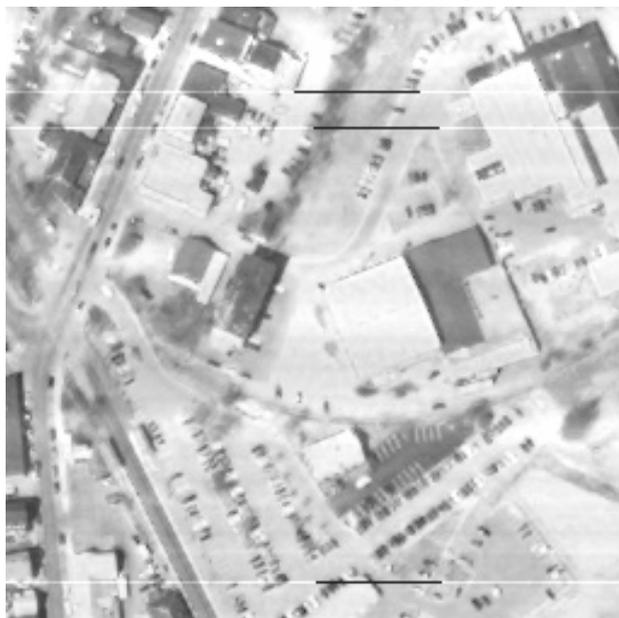


Рисунок 5 – Изображение на рисунке 3 после этапа секвентной фильтрации

$$\hat{R}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{при } |g_1(x, y) - g(x, y)| \geq a \text{ и } g(x, y) \leq b, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (6)$$

где a и b – настраиваемые параметры, пороговые значения для отнесения точки изображения к помехе.

Введение параметра b позволяет отслеживать только помехи черного или близкого к черному цветов; для рассмотренного ранее случая известной нулевой яркости помех можно принять $b = 0$.

Значение параметра a зависит от параметров помех. При выбранных условиях эксперименты показали, что приемлемые

результаты получаются при значениях a около $15 \div 25$. Коррекция этого параметра позволяет избежать ложного выделения областей, не относящихся к помехе, и в то же время добиться обнаружения всех имеющихся групповых помех.

Битовые маски $\hat{R}(x, y)$, полученные на рассмотренном этапе алгоритма, для представленных выше изображений приводятся на рисунках 6 и 7.

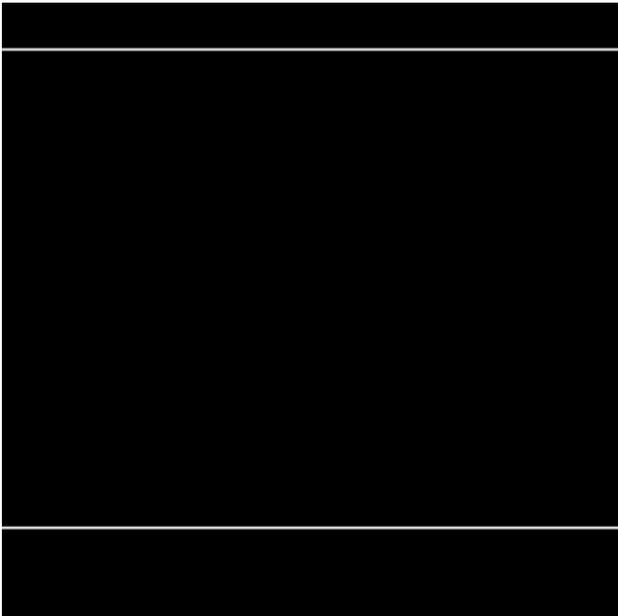


Рисунок 6 – Битовая маска, описывающая помехи на рисунке 2

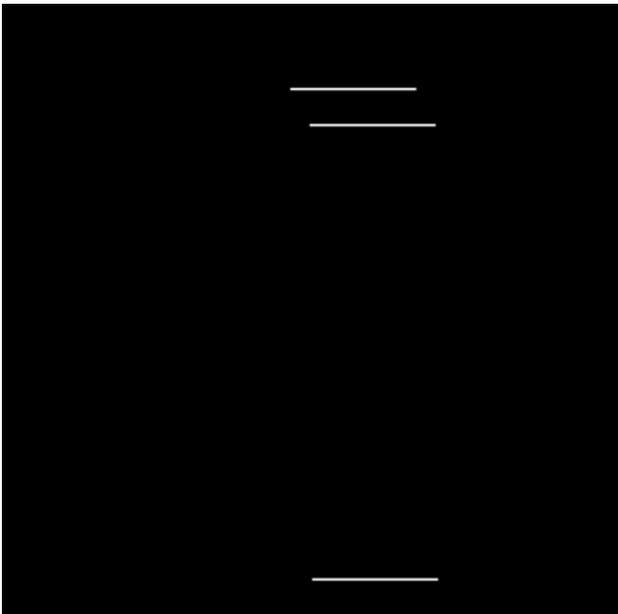


Рисунок 7 – Битовая маска, описывающая помехи на рисунке 3

Видно, что полученные битовые маски практически идеально описывают местонахождение групповых помех на рисунках 2 и 3.

Остается только произвести интерполяцию значений яркости в точках, принадлежащих помехе, по ближайшим неискаженным точкам изображения. Можно использовать любой известный метод интерполяции, в простейшем случае окончательная процедура восстановления выглядит следующим образом:

$$\hat{f}(x, y) = \begin{cases} g(x, y) & \text{при } \hat{R}(x, y) = 0, \\ \frac{g(x, y-1) + g(x, y+1)}{2} & \text{при } \hat{R}(x, y) = 1 \\ & \text{и } y \notin \{0, N-1\}, \\ g(x, y+1) & \text{при } \hat{R}(x, y) = 1 \text{ и } y = 0, \\ g(x, y-1) & \text{при } \hat{R}(x, y) = 1 \text{ и } y = N-1. \end{cases} \quad (7)$$

Результаты разработанного алгоритма. Для рассмотренных примеров искаженных изображений окончательные результаты применения предложенного алгоритма представлены на рисунках 8 и 9.



Рисунок 8 – Восстановленное изображение для рисунка 2

Для оценки качества восстановления можно использовать различные критерии, в частности, критерий среднеквадратического отклонения (СКО):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (\hat{f}(x, y) - f(x, y))^2}. \quad (8)$$

В данном случае СКО составляет: для изображения с полностью «выбитыми» строками $\sigma = 0,9221$; для изображения с поврежденными частями строк $\sigma = 0,4194$. В серии аналогичных экспериментов было установлено, что СКО преимущественно лежит в пределах $0,3 \div 1,0$.



Рисунок 9 – Восстановленное изображение для рисунка 3

Можно выделить следующие преимущества алгоритма секвентной фильтрации. Обеспечивается автоматическая локализация местонахождения групповой помехи на изображении, позволяющая устранить помеху рассматриваемого вида, не затрагивая основную неискаженную область изображения. Также к достоинствам алгоритма можно отнести использование

быстрого преобразования Уолша (БПУ), который имеет существенное преимущество по сложности вычислений в сравнении с быстрым преобразованием Фурье (БПФ).

Таким образом, полученные результаты говорят о целесообразности использования разработанного алгоритма.

Библиографический список

1. Гонзалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: «Техносфера», 2006. – 1072 с.
2. Костров Б.В., Саблина В.А. Адаптивная фильтрация изображений со структурными искажениями //Цифровая обработка сигналов №4/2008. – С.49-53.
3. Костров Б.В., Саблина В.А. Исследование перспектив применения нетригонометрических ортогональных систем базисных функций в области восстановления изображений //Информатика и математика: Межвуз. сб. науч. тр. – РГУ, Рязань, 2008. – С.73-82.
4. Хармут Х. Передача информации ортогональными функциями. – М.: «Связь», 1975. – 272 с.
5. Хармут Х. Теория секвентного анализа. – М.: «Мир», 1980. – 574 с.
6. Злобин В.К., Еремеев В.В. Обработка аэрокосмических изображений. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 288 с.
7. Гонзалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: «Техносфера», 2006. – 616 с.