

Рязанская государственная радиотехническая академия
391000, Рязань, ул.Гагарина, 59/1

Аннотация. Изображения в видеосистемах с микроволновым излучением считаются искаженными мультипликативным шумом. Тем не менее, существуют точки как сильно зашумленные, так и относительно близкие к оригиналу изображения. Кодирование таких изображений может происходить с помощью wavelet-преобразований, где сначала строится дерево декомпозиции, а затем отбрасываются те коэффициенты, которые оказались ниже порога. В работе предлагается алгоритм поиска дерева декомпозиции, который использует только зашумленные данные для каждой частотной полосы. Зашумленные и близкие к оригиналу точки изображения находятся с помощью оценок коэффициентов вариации.

1. Введение и постановка задачи

Многие современные видеосистемы используют микроволновое излучение (лазер) для получения изображений. К сожалению, грубые поверхности деталей вызывают случайные фазовые отклонения отраженного излучения, что приводит к появлению гранулированного шума на изображении. Goodman [1] показал, что такой шум может считаться мультипликативным шумом (speckle-шум) с отрицательной экспоненциальной плотностью вероятности интенсивности: $y_{ij} = g_{ij}x_{ij}$, $1 \leq i \leq L, 1 \leq j \leq M, LM = A$, где g_{ij} – отсчеты шума, x_{ij} – отсчеты оригинального изображения. После логарифмирования мультипликативный шум становится аддитивным $z = s + \xi$, где через z обозначено $\ln(y)$, $s = \ln(x)$ и $\xi = \ln(g)$.

Donoho [2] исследовал применение wavelet-декомпозиции с последующим «мягким» и «грубым» пороговым отсечением (soft and hard thresholding) полученных коэффициентов для восстановления оригинала изображения. Существует также ряд работ, в том числе и автора [5], где решается вопрос об оптимальном выборе порога. Однако другая проблема, связанная с выбором оптимальной в смысле некоторого критерия структуры дерева декомпозиции, до сих пор считается нерешенной. Прежде всего следует отметить, что известные алгоритмы ориентируются на использовании энергии (полезного) сигнала, но не энергии шума. Например, дерево Малла (Mallat), содержащее только низкочастотную ветвь, или ветвь аппроксимации (approximation branches). Другой алгоритм поиска оптимального базиса wavelet-пакета, предложенный H.Guo, C.S.Burrus и др. [3], основан на минимизации искажений на этапе кодирования уже отсеченных коэффициентов. Более мощный метод, разработанный Z.Zeng и I.Cumming [4], предполагает сочетание текстурного анализа с квадратичной декомпозицией (quadtree decomposition) при «мягком» отсечении коэффициентов. Мы уже обсуждали в [5], что каждое изображение может содержать точки, которые значительно искажены шумом, и точки, относительно «чистые», близкие к оригиналу. Представляется вполне возможным найти такие точки изображения, в которых сосредоточена большая часть энергии шума. Следовательно, мы можем проанализировать влияние шума в каждом частотном диапазоне, чтобы построить оптимальное дерево wavelet-декомпозиции. В [6] нами было предложено использовать коэффициенты вариации, являющиеся индикаторами однородности текстуры в пределах данного окна, для нахождения множества зашумленных и «чистых» точек изображения.

Вначале мы определяем три множества точек: 1) где сигнал доминирует над шумом; 2) участок однородной текстуры, следовательно, усредняющий фильтр может восстановить оригинал; 3) где ситуация неясна, поэтому требуется сглаживание шума.

Для этого мы сравниваем коэффициенты вариации $C_z = \sigma_z^2 / \mu_z^2$, $C_\xi = \sigma_\xi^2 / \mu_\xi^2$

Где $\mu_z = \bar{z}$, $\mu_\xi = \bar{\xi}$ - средние оригинала и шума соответственно, вычисленные в пределах

двух окон, малый размер окна применяется для оценки шума; σ_z^2 , σ_ξ^2 обозначают локальные оценки дисперсий. Затем из трех множеств точек образуется два [5]: зашумленные данные из третьего множества, содержащие A_N точек, и незашумленные данные из первых двух множеств, содержащие A_S точек, $A_N + A_S = A$.

Таким образом, задача заключается в нахождении оптимальной в смысле некоторого критерия структуры дерева wavelet-декомпозиции. Критерий должен максимизировать энергию шума, которая должна быть удалена при анализе зашумленных данных в каждом частотном диапазоне.

2. Описание алгоритма

При ортогональном wavelet-преобразовании можно проследить влияние шума для каждой частотной полосы. Действительно, мы можем выполнить обратное преобразование той части изображения (набора wavelet коэффициентов), которая соответствует данному частотному поддиапазону. Коэффициенты других поддиапазонов при этом игнорируются. Алгоритм состоит из нескольких шагов.

1. Определяем множества зашумленных и незашумленных данных, по зашумленным данным вычисляем значение порога: $t = \sigma_N \sqrt{\log(A_N)}$, где σ_N - оценка среднеквадратического значения шума.
2. Выполняем L -уровневое пакетное wavelet-преобразование данного изображения.
3. Применяем «грубое» отсечение коэффициентов с порогом t .
4. Используя «отсеченные» wavelet-коэффициенты W только для данного частотного поддиапазона восстанавливаем «шумовой» компонент, выполняя обратное Wavelet-

преобразование вида:
$$\tilde{W} = \begin{cases} W, & \text{если } |W| \leq t \\ 0, & \text{если } |W| > t \end{cases}$$

5. Для точек, соответствующих точкам из множества зашумленных данных, проводим анализ снизу вверх, оставляя те вершины (узлы) дерева, которые удовлетворяют условию:

$$\frac{1}{2} \sum_{k=1}^4 e_{k,l} < e_{k,l-1}, \quad \text{где } e_{k,l} = \frac{1}{A_N} \sum_i \sum_j |\xi_{ij}^{(l)}|,$$

где l - уровень дерева, $l=1, \dots, L$, k - номер одного из четырех поддиапазонов верхнего уровня.

Алгоритм был апробирован на ряде изображений, включая инфракрасные, голограммные и SAR изображения. Все эксперименты показали преимущества разработанного алгоритма по сравнению с известными в смысле минимума среднеквадратической ошибки. Визуально алгоритм обеспечивает лучшее сглаживание шума при удалении артефактов и сохранении четкости границ объектов.

Литература

1. J.W.Goodman, "Some Fundamental Properties of Speckle," *J. Opt. Soc. Am.*, Vol.66, No.11, pp. 1145-1150, 1976.
2. D.L.Donoho, "De-noising by Soft-Thresholding," *IEEE Trans. On Info. Theory*, Vol.41, No.3, pp. 613-627, 1995.
3. D.Wei, H.Guo, J.E.Odegard, M.Lang and C.S.Burrus, "Simultaneous Speckle Reduction and Data Compression using Best Wavelet Packet Bases with Applications to SAR based ATD/R," *SPIE Conf. On Wavelet Applications*, Vol.2491, Orlando, FL, April, 1995.
4. Z.Zeng, I.Cumming, "SAR Image Compression Based on the Discrete Wavelet Transform," *The Fourth Intl. Conf. on Signal Processing, ICSP'98*, Beijing, China, October, 1998.
5. Yu.Bekhtin, "Optimal Subband Wavelet Thresholding using Noisy and non-Noisy Data of Images", *2nd IEEE Region 8 EURASIP Symposium on Image and Signal Processing and Analysis*, Pula, Croatia, June, 2001.