

А. Н. УШАКОВ, Л. П. ЯРОСЛАВСКИЙ
(Москва)

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ К КВАНТОВАНИЮ И АДДИТИВНОМУ ШУМУ АЛГОРИТМА ПРИВЕДЕНИЯ ГИСТОГРАММЫ СИГНАЛА К ЗАДАННОЙ

Преобразование гистограммы распределения сигнала в заданную используется для коррекции нелинейных искажений изображений и голограмм [1], стандартизации изображений по распределению яркостей, при препарировании изображений [2]. В работе [1] описан простой алгоритм, базирующийся на процедуре эквализации гистограммы, т. е. на преобразовании сигнала с наблюдаемым распределением частоты значений в сигнал с равномерным распределением в заданном диапазоне. Он состоит в следующем.

1. На основе гистограммы $h_n(w)$ наблюдаемого преобразуемого сигнала w строится таблица преобразования $w \rightarrow u$ по формуле

$$u(w) = \text{int} \left[(M-1) \left(\sum_{k=0}^w h_n(k) - h_n(0) \right) / (1 - h_n(0)) \right],$$

$$w = 0, 1, \dots, M-1,$$

где M — число уровней квантования сигнала w . Это преобразование делает распределение значений сигнала равномерным.

2. По требуемой гистограмме $h_T(\hat{u})$ строится аналогичная таблица эквализации:

$$\hat{u}(w) = \text{int} \left[(M-1) \left(\sum_{k=0}^w h_T(k) - h_T(0) \right) / (1 - h_T(0)) \right].$$

3. Путем перестановки входов и выходов таблицы $\hat{u}(w)$ определяется таблица $\tilde{w}(\hat{u})$, преобразующая сигнал с равномерным распределением в сигнал с заданным распределением $h_T(\hat{u})$.

4. Из двух таблиц $u(w)$ и $\tilde{w}(\hat{u})$ образуется единая таблица $\tilde{w}(\hat{u} = u(w))$, которая и задает искомое преобразование.

Очевидно, что при бесконечно большом числе уровней квантования исходного сигнала w этот алгоритм дает точно требуемое распределение частоты значений преобразованного сигнала. При конечном числе уровней квантования это не так, и представляет интерес изучение влияния количества уровней квантования на точность преобразования. Кроме того, обычно корректируемый сигнал наблюдается на фоне шума, чаще всего аддитивного, который может резко возрасти в результате преобразования.

В данном сообщении приводятся результаты исследования влияния эффектов квантования сигнала, а также аддитивного флуктуационного шума на точность преобразования, полученные путем цифрового моделирования на примере обработки узкополосного имитирующего сигнала (интерферограммы) (рис. 1, а). Гистограмма значений сигнала, его энергетический спектр и сечение сигнала показаны на рис. 1, б — г. Исходный сигнал подвергался нелинейным искажениям. Относительная разность энергетических спектров исходного и искаженного сигналов (относительная среднеквадратичная погрешность) составила 20%. Искаженный сигнал квантовался на 64, 30, 16, 8 и 4 уровней. На рис. 2 приведены сечения искаженного сигнала и его гистограммы для 30, 16, 8 и 4 уровней квантования (две левые колонки), а также сечения сигнала и гистограммы после коррекции искажений (две правые колонки). Из рисунка видно, что исправление формы гистограмм здесь проявляется в сгущении отсчетов на ее левом краю.

Относительные среднеквадратичные значения нелинейных искажений на входе (НЛ) и выходе (КР) корректора искажений в зависимости от числа уровней квантования сигнала представлены графиком (рис. 3). Из него следует, что даже при 4 уровнях квантования исследуемый алгоритм позволяет существенно уменьшить уровень нелинейных искажений.

При моделировании аддитивного шума использовался датчик белого гауссового шума с независимыми отсчетами и предполагалось, что корректор не использует информацию о присутствии шума. На рис. 4 показаны результаты эксперимента по коррекции искажений при наличии в искаженном сигнале аддитивного шума. В двух левых колонках приведены сечения и гистограммы искаженного сигнала после квантования его на 30 уровней и наложения шума, составляющего 25, 50, 100 и 200% мощности сигнала ($S = 4N$, $S = 2N$, $S = N$, $S = 0,5N$); в двух правых колонках — результаты коррекции, свидетельствующие о том, что при высоком уровне шума происходит, казалось бы, значительное «исправление» гистограммы сигнала. Однако такая коррекция приводит лишь к изменению гистограммы шума.

На рис. 5 изображена зависимость относительного уровня нелинейных искажений на входе и выходе корректора от отношения мощности аддитивного шума к

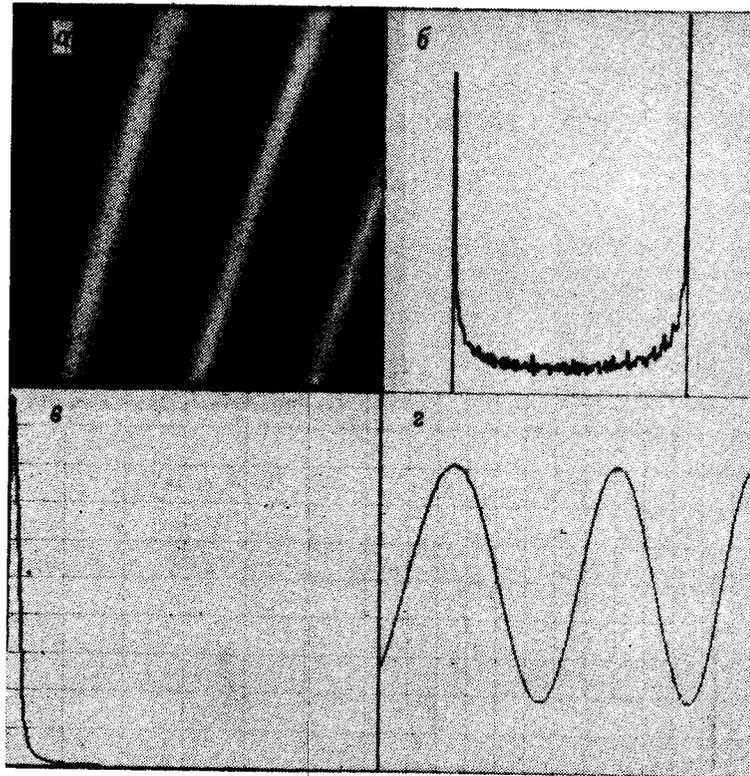


Рис. 1.

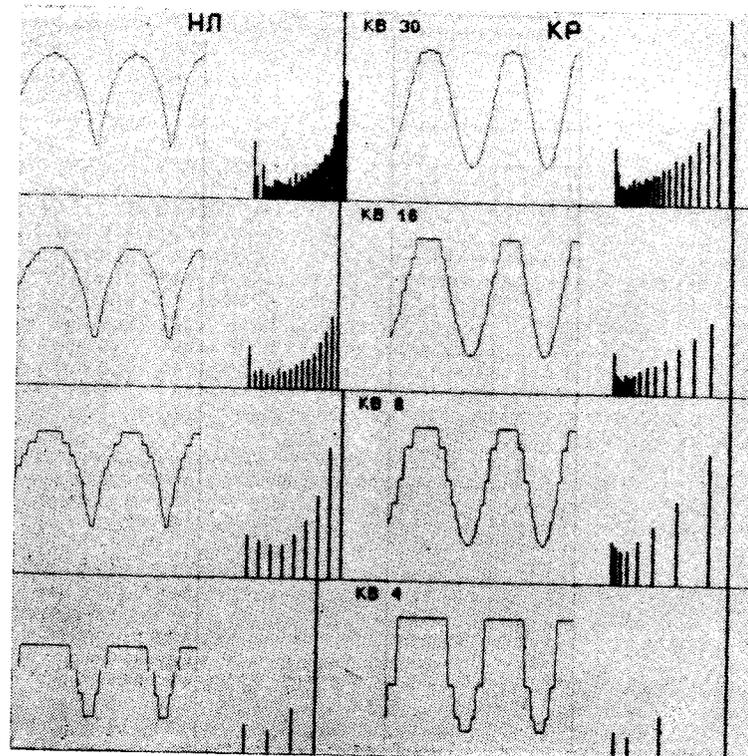


Рис. 2.



Рис. 3.

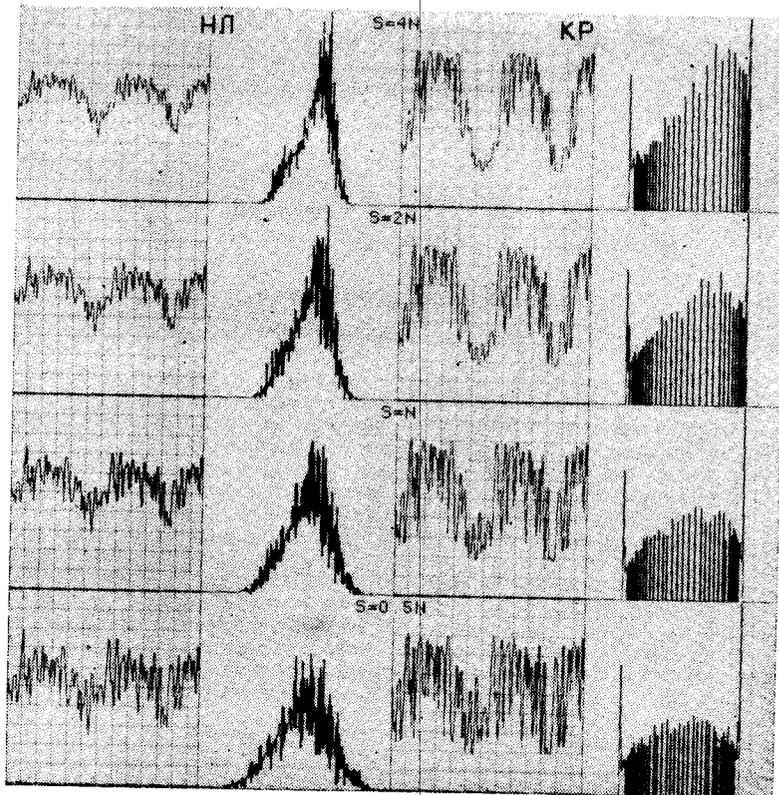


Рис. 4.

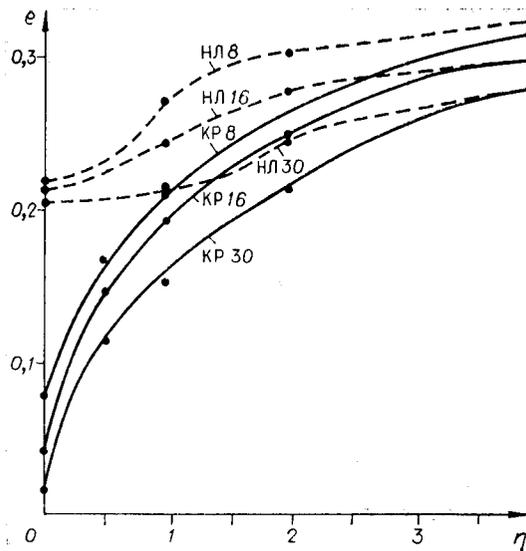


Рис. 5.

мощности сигнала η для различных уровней квантования искаженного сигнала. Видно, что алгоритм становится неэффективным только при шуме, составляющем 400% мощности сигнала.

Следует отметить, что «платой» за уменьшение нелинейных искажений является возрастание мощности шума на выходе корректора. Эксперименты показали, что при $8 \div 64$ уровнях квантования и изменении отношения шум/сигнал η от 0 до 4 в результате коррекции мощность шума возрастает вдвое.

Из анализа результатов эксперимента можно сделать вывод о достаточной устойчивости алгоритма коррекции нелинейных искажений к числу уровней квантования сигнала и уровню шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярославская Л. П., Мерзляков Н. С. Цифровая голография.— М.: Наука, 1982.
2. Ярославский Л. П. Введение в цифровую обработку изображений.— М.: Сов. радио, 1979.

Поступило в редакцию 25 января 1983 г.

УДК 621.382

А. Г. ЕРМОЛАЕВ, Ю. П. ПЫТЬЕВ
(Москва)

АПРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА ДЛЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ РЕШАЮЩИХ АЛГОРИТМОВ

В задачах поиска, совмещения, идентификации и выделения изображений методы морфологического анализа [1, 2] позволяют получать хорошие результаты для изображений с квантованными значениями яркости за счет очень высокой помехозащищенности. Решающие алгоритмы, основанные на этих методах, минимизируют вероятность апостериорной ошибки решения для равных априорных вероятностей в задачах с аддитивным шумом*, а их оптимизация [3] позволяет планировать обработку изображений с максимальным быстродействием при заданных ограничениях на отношение сигнал/шум и качество решения. Однако если интенсивность шума, как правило, известна из паспорта устройства регистрации изображения (или может быть просто оценена по ровному полю зрения), то величина полезного сигнала, без знания которой невозможно планирование оптимальной работы решающих устройств, существенно зависит от «контекста». Поэтому построение априорных оценок полезного сигнала для широкого класса изображений является важным этапом проектирования специализированных устройств оперативной обработки.

Рассмотрим задачу поиска фрагмента, форма которого не сложнее формы эталонного изображения $\varphi(x) = \sum_{i=1}^k \beta_i \chi_i(x)$ [1] на некотором изображении $f(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i \chi_i(x)$, заданном на поле зрения X . Заранее предположим, что такой фрагмент существует ($k < m$). Здесь и далее $\chi_i(x)$ — индикаторные функции подмно-

* При достаточно слабом ограничении, а именно: плотность вероятности шума $p(z)$ должна быть монотонно убывающей функцией $\|z\|$.