

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКВАЛИЗАЦИИ ГИСТОГРАММ В ПРЕОБРАЗОВАНИИ МАССИВОВ ДАННЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ

студент гр. 713801 Беляк А. А.

Научный руководитель - канд. техн. наук Роллч О. Ч.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

В задачах генерирования случайных массивов с заданным законом распределения скорость работы алгоритма и степень случайности элементов во многом зависят от первичного источника данных. Практически таковыми источниками могут выступать различные сенсоры, которые несут в себе как природную случайность, так и экспериментальную. Но гистограмма распределения их массивов, как правило, не соответствуют заданному закону.

Один из способов быстрой генерации случайной последовательности с заданным законом распределения основан на операции эквализации гистограммы исходного массива первичного датчика. Но и в этом случае приходится решать задачу оптимизации, связанную как с возможным сохранением информативности сигнала, так и с требованием стационарности генератора.

Требование стационарности генератора случайных массивов вследствие вынужденной перегруппировки его элементов изменяет форму и спектр сигнала первичного датчика, как правило, снижая при этом его информативность.

Данная работа посвящена анализу эквализованных сигналов нестационарных процессов с целью построения на её основе генератора случайных чисел с заданным законом распределения. В качестве сигнала нестационарного процесса выбирается полутоновое изображение типа «пейзаж» (например, на рисунке 1, (а)) как кадр видеосенсора с ожидаемым явно неравномерным распределением яркости, а в качестве заданного закона распределения – закон «степени $2/3$ ».



Рис 1. Полутоновое исходное (а) и после эквализации (б) изображение типа «пейзаж».

Изображения типа «пейзаж» характеризуются широким спектром частот и размахом уровней яркости, а также сплошной гистограммой плотности распределения яркости во всём её допустимом диапазоне [1]. Это упрощает работу генератора случайной последовательности, повышая его быстродействие, и не требуя этапа дополнительного выравнивания, заключающегося в заполнении пробелов между соседними элементами гистограммы плотности распределения яркости и её приведении к сплошному виду.

Принимая полутоновое изображение (кадра видеосенсора) в качестве исходного

двухмерного массива, последующий анализ проводится на одномерном массиве-контейнере достаточно большой длины. Одномерный массив-контейнер получается из исходной матрицы изображения-кадра по принципу представления двухмерного массива в памяти процессора, т.е. в порядке увеличения номера строки, а именно, последовательно от первого элемента первой строки до последнего элемента последней строки. Одномерный сигнал в виде массива-контейнера для исходного изображения рисунка 1, (а), графически представлен на рисунке 2, (а).

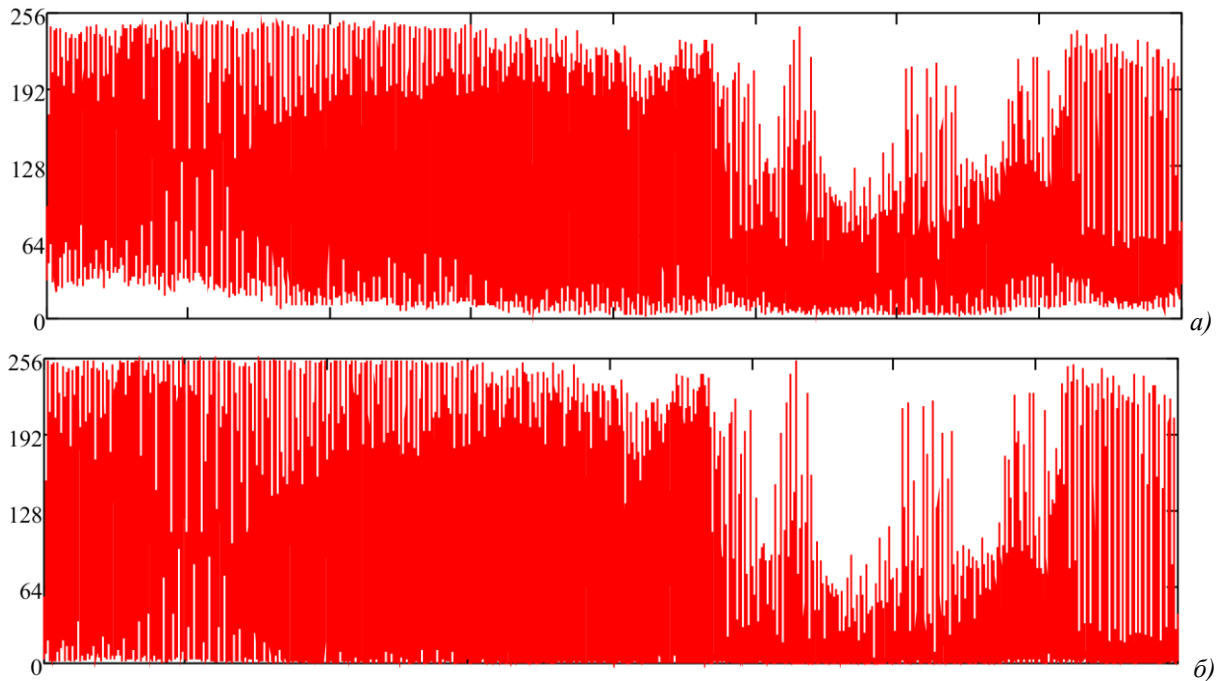


Рис 2. Одномерный исходный (а) и после эквализации (б) сигналы сенсора.

Из рисунка 2, (а) видно, что исходный одномерный сигнал представляет нестационарный процесс с изменяющимися во времени амплитудами составляющих его гармоник, а также плотностью и размахом локальных колебаний. Факт нестационарности процесса подтверждает спектрограмма на рисунке 3, (а) и двумерная гистограмма плотности уровней квантования на рисунке 4, (а), отражающая изменение классической одномерной гистограммы плотности во времени.

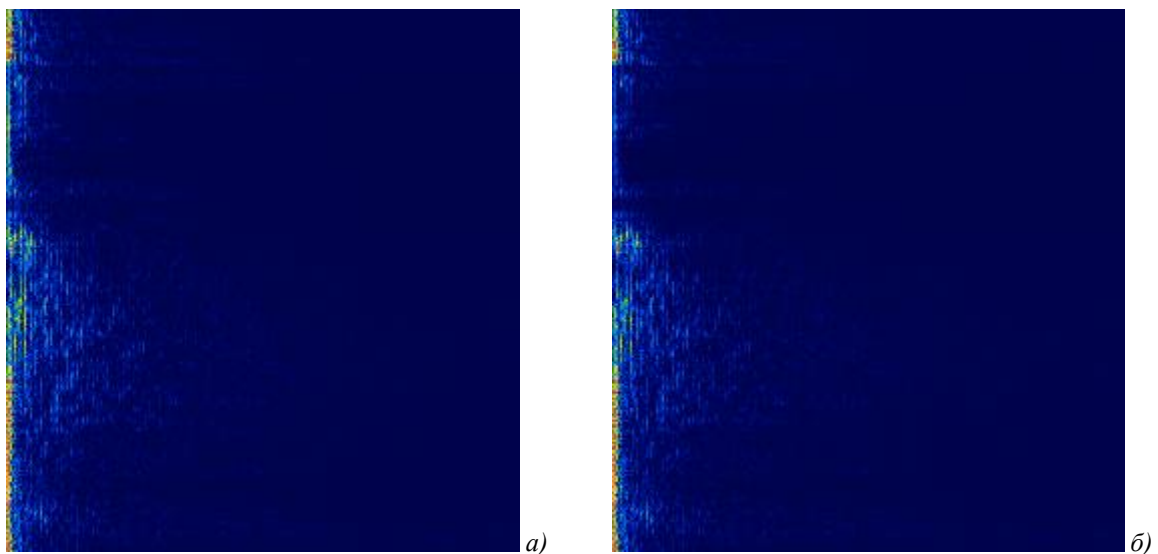


Рис 3. Спектрограмма исходного контейнера (а) и после эквализации (б).

На двумерной гистограмме наиболее ярким образом выделены точки энергетических центров как моментов первого порядка для одномерных гистограмм каждой строки. Так как аппроксимирующая кривая множества этих точек, очевидно, не является вертикальной прямой, рассматриваемый процесс явно нестационарный.

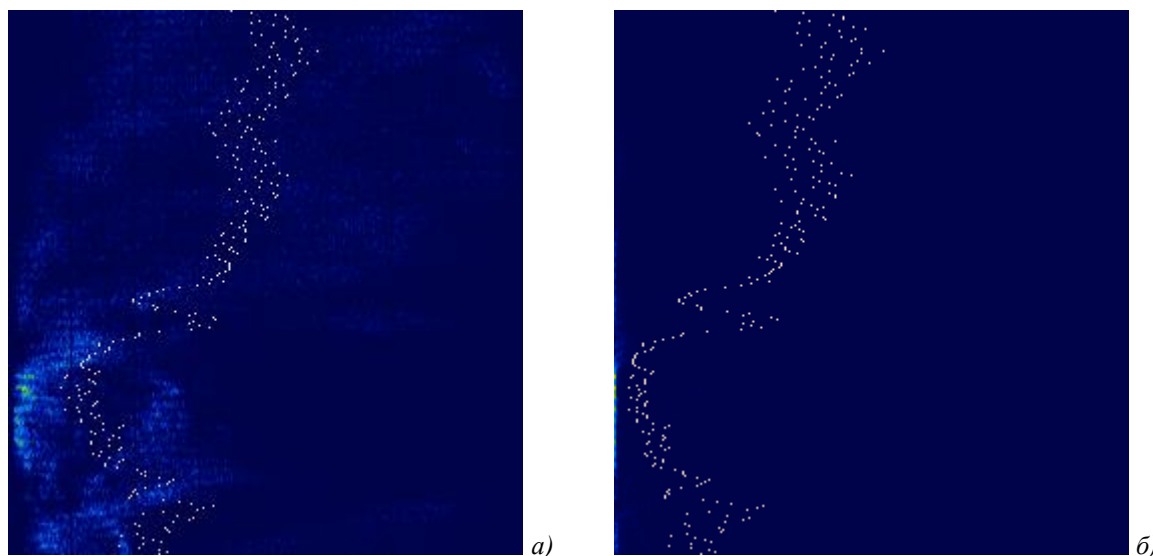


Рис 4. Двухмерная гистограмма исходного контейнера (а) и после эквализации (б).

В представленных изображениях спектрограмм и двумерных гистограмм ось времени направлена сверху вниз, а ось частоты на спектрограммах рисунка 3, как и ось уровня квантования на гистограммах рисунка 4 – слева направо.

Операция эквализации основывается на преобразовании значений элементов исходного сигнального массива в соответствии с характеристикой передачи уровней, в которой фигурирует функция вероятности [2, 3].

Так, для эквализации «степени 2/3» с функцией распределения

$$W_g(g) = \frac{1}{3} \cdot \frac{g^{-\frac{2}{3}}}{g_{\max}^{\frac{1}{3}} - g_{\min}^{\frac{1}{3}}}$$

характеристика передачи уровней записывается в виде:

$$g(f) = \left(F_f(f) \cdot \left(g_{\max}^{\frac{1}{3}} - g_{\min}^{\frac{1}{3}} \right) + g_{\min}^{\frac{1}{3}} \right)^3, \quad (1)$$

где f и g – значение элемента исходного и эквализованного массива соответственно, g_{\min} и g_{\max} – минимальное и максимальное значения эквализованного массива (в контексте изображений для цветового формата $RGB888$ $g_{\min} = 0$, $g_{\max} = 255$), $F_f(f)$ – функция вероятности исходного сигнала.

Согласно формуле (1), для эквализации исходного сигнального массива необходимо вычислить гистограмму вероятности, которая, в свою очередь, строится на базе гистограммы плотности распределения уровней квантования. На рисунке 5 изображены нормированная гистограмма плотности анализируемого исходного массива с соответствующим графическим представлением на рисунке 2, (а) и гистограмма вероятности, используемая в формуле (1).

Результат эквализации «степени 2/3» для исходного сигнала сенсора рисунка 2, (а) показан на рисунке 2, (б). Рисунок 6 позволяет визуально сравнить эти сигналы путём их совмещения и отображения на одном графике. Исходя из рисунка 6, следует отметить

заметное увеличение локального размаха сигнала в одних местах и снижения в других. Общая информативность эквализованного изображения (см. рисунок 1, (б)), соответствующего сигналу 2, (б), осталась неизменной – по крайней мере, не изменились тип изображения, его целостность и общие контуры.

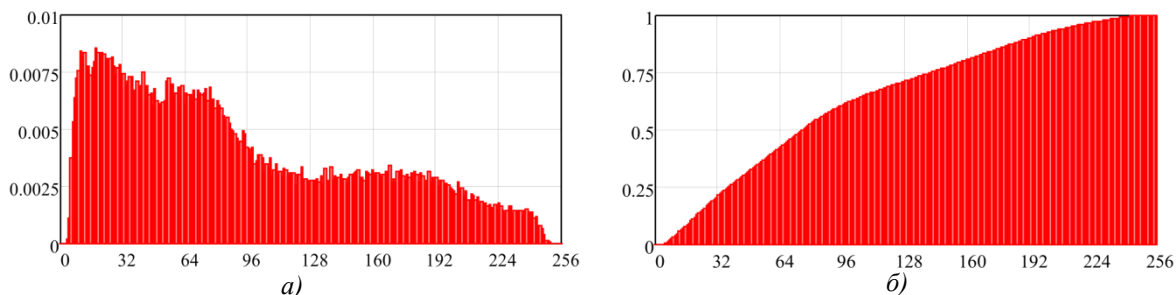


Рис 5. Нормированная одномерная гистограмма плотности (а) и вероятности (б) для исходного сигнала сенсора.

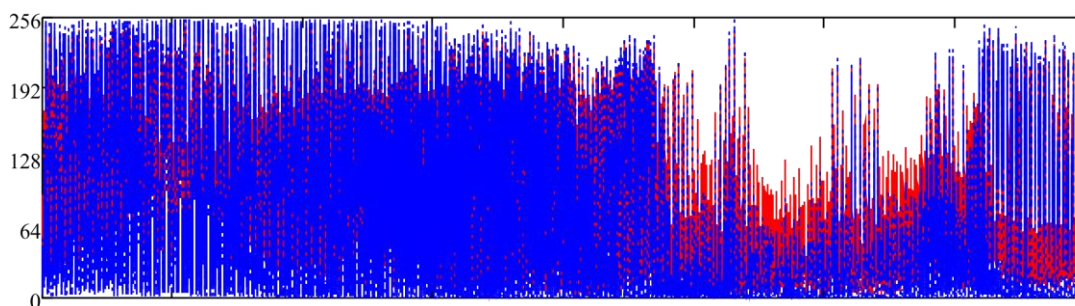


Рис 6. Сравнительная картина сигналов до и после эквализации.

Гистограммы плотности и вероятности эквализованного изображения типа «пейзаж», показанные на рисунках 7, (а) и 7, (б), в значительной степени совпадают с соответствующими расчётными кривыми плотности распределения и вероятности для функции распределения «степени 2/3». При этом, несмотря на заметное отличие гистограмм плотности распределения уровней квантования исходного сигнала рисунка 5, (а) и эквализованного на рисунке 7, (а), информативность сигнала остаётся неизменной. Это отмечалось ранее путём визуального сравнения исходного и эквализованного изображений на рисунках 1, (а) и 1, (б).

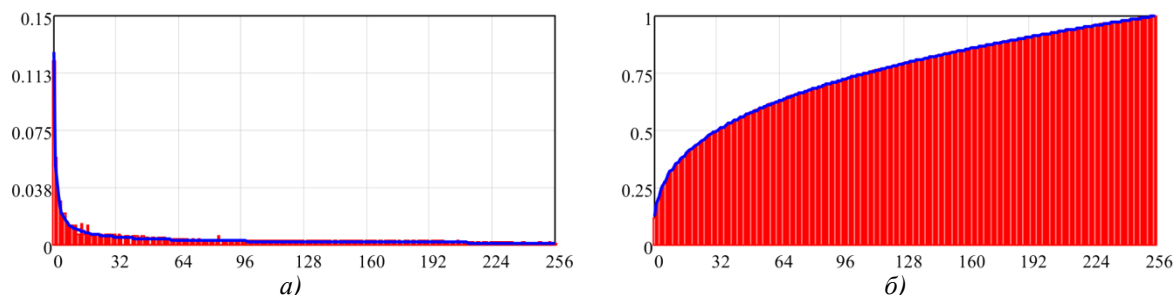


Рис 7. Гистограмма плотности (а) и вероятности (б) после эквализации с эталонными огибающими для распределения «степени 2/3».

Сделать вывод о степени случайности процесса до и после эквализации визуальным способом, посредством анализа сравнительной картины на рисунке 6, достаточно сложно. Поэтому, оценка степени случайности осуществляется путём вычисления уровня высокочастотной составляющей в спектре сигнала.

Спектрограмма эквализованного сигнала представлена на рисунке 3, (б). Визуально она схожа со спектрограммой на рисунке 3, (а) исходного сигнала, и очевидных

отличий не имеет. Однако в области высокочастотной составляющей амплитудно-частотной характеристики проявляется пропорциональное увеличение амплитуд эквализованного сигнала, что отражено на рисунке 8, (а). Это означает повышение колебательности результирующего сигнала и случайности соответствующей числовой последовательности.

Двухмерная гистограмма эквализованного сигнала, изображённая на рисунке 4, (б), имеет визуальные отличия от двухмерной гистограммы исходного сигнала рисунка 4, (а). Но форма кривых, соединяющих точки энергетических центров для одномерных гистограмм каждой строки, и определяющая степень нестационарности процесса, в обоих случаях двухмерных гистограмм очень похожа (см. рисунок 8, (б)). Степень схожести кривых, оцениваемая коэффициентом корреляции, равна 0,988. Это значение близко к единице, что свидетельствует о практической неизменности характера нестационарности процесса после эквализации соответствующего массива.

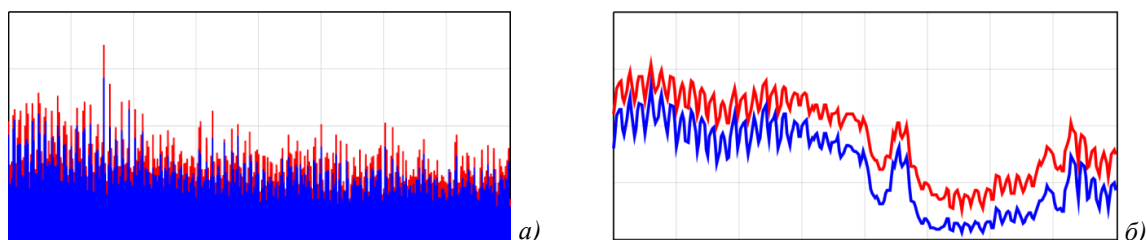


Рис 8. Высокочастотная область совмещённых амплитудно-частотных характеристик сигналов (а) и кривые энергоцентров двухмерных гистограмм (б) до и после эквализации.

Коэффициент корреляции амплитудно-частотных характеристик сигнала до и после эквализации равен 0,976, что также близко к единице и свидетельствует о практической неизменности характера нестационарности процесса.

Итак, на разобранный примере изображения типа «пейзаж» как сигнала нестационарного процесса исследовано действие операции эквализации «степени 2/3». Проанализировано изменение спектральных и статистических характеристик сигнала до и после эквализации.

В связи с высоким, близким к единице коэффициентом корреляции кривых, соединяющих энергоцентры двухмерных гистограмм, а также амплитудно-частотных характеристик сигналов до эквализации и после неё, основной вывод проведённого анализа заключается в неизменности характера нестационарности процесса после действия операции эквализации и её возможном применении в качестве линейного оператора.

Эквализацию рекомендуется применять в быстрых генераторах случайных последовательностей с заданным законом распределения на базе сигналов сенсоров. При этом следует иметь в виду факт неизменности характера нестационарности процесса. Это означает, что для построения стационарного генератора случайных последовательностей на базе сигналов сенсоров необходимо, кроме эквализации, проводить дополнительную перегруппировку элементов преобразованного массива.

Литература

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Богуш, Р. П. Методы обработки изображений: методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 1-40 02 01 «Вычислительные машины, системы, сети» / Р. П. Богуш. – Новополоцк: УО «ПГУ», 2007. – 44 с.
3. Калацкая, Л. В. Компьютерный анализ и синтез изображений: курс лекций / Л. В. Калацкая. – Минск: БГУ, 2008. – 101 с.