

УДК 621.391

ТОНОВОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ УПЛОТНЕНИЯ ГИСТОГРАММЫ И ЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Робачевский А.Д.¹, студент гр. 160801

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники¹

г. Минск, Республика Беларусь

Цветков В.Ю. – д.т.н., профессор

Аннотация. Приведены результаты анализа чувствительности показателей качества тонового отображения к выбору алгоритмов сжатия динамического диапазона, их параметров и типов инфракрасных изображений. Показано, что интервальные показатели имеют большую чувствительность к условиям тонового отображения в сравнении с глобальными показателями.

Ключевые слова. Уменьшение динамического диапазона изображений, повышение качества воспроизведения изображений, инфракрасные изображения, выравнивание гистограммы, управление формой гистограммы.

Введение

Сжатие динамического диапазона с минимальными потерями информации о деталях инфракрасных (ИК) изображений является актуальной задачей для множества приложений. Благодаря достаточно высокому качеству формируемых ИК-изображений и относительной простоте реализации широкое распространение получил алгоритм тонового отображения на основе выравнивания гистограммы (Histogram Equalization, HE) [1]. Данный алгоритм, как и основанные на нем более сложные блочные алгоритмы адаптивного выравнивания гистограммы, не позволяют изменять параметры преобразования, кроме как через форму интегральной функции распределения яркостей. Такая функция строится по гистограмме яркости пикселей исходного ИК-изображения, но может быть видоизменена для коррекции формы гистограммы преобразованного ИК-изображения. Установление связи между необходимым преобразованием для конкретного ИК-изображения с широким динамическим диапазоном и формой интегральной функции распределения является сложной задачей. На практике часто используется заранее известная интегральная функция распределения какого-нибудь эталонного изображения. Такой подход не всегда обеспечивает приемлемое качество тонового отображения.

Целью работы является повышение качества управляемого сжатия динамического диапазона ИК-изображений при сохранении относительно низкой вычислительной сложности преобразования.

Алгоритм управляемого тонового отображения ИК-изображений

Для обеспечения возможности изменения степени сжатия динамического диапазона ИК-изображений предлагается алгоритм TCLHC (Thresholding, Compaction and Linear Histogram Compression) управляемого тонового отображения на основе пороговой обрезки, уплотнения и линейного сжатия гистограммы. Алгоритм TCLHC состоит из следующих шагов.

1) Формирование гистограммы яркости исходного ИК-изображения с широким динамическим диапазоном.

2) Определение порога TR повторяемости значений пикселей по форме гистограммы яркости исходного ИК-изображения (в ручном режиме на основе визуального контроля) с учетом того, что значения редко встречающихся пикселей будут заменены ближайшими часто встречающимися значениями.

3) Пороговая обрезка гистограммы. Значения пикселей исходного ИК-изображения, соответствующие значениям гистограммы, меньшим значения порога повторяемости, заменяются ближайшими значениями пикселей исходного ИК-изображения, соответствующими значениям гистограммы, равным или большим порога повторяемости. В результате формируется закругленное ИК-изображение, на гистограмме которого увеличивается количество нулевых элементов.

4) Поиск нулей и уплотнение гистограммы закругленного ИК-изображения. Слева направо осуществляется поиск нулевых значений гистограммы закругленного ИК-изображения. Если

нулевое значение гистограммы найдено, то все значения гистограммы справа от нулевого сдвигаются на одно значение влево. В результате гистограмма уплотняется за счет исключения нулевых элементов и формируется уплотненное ИК-изображение с более узким динамическим диапазоном по сравнению с исходным ИК-изображением.

5) Линейное преобразование уплотненного ИК-изображения к требуемому динамическому диапазону. Это может быть сжатие или растяжение гистограммы яркостей в зависимости от соотношения требуемой ширины динамического диапазона результирующего ИК-изображения и максимального значения яркости, уплотненного ИК-изображения.

Оценка качества тонового отображения

Для оценки качества тонового отображения использованы три тестовых ИК-изображения (ИК-1 – ИК-3) с динамическим диапазоном 65536 уровней яркости. На рисунке 1 приведены результаты тонового отображения этих трех тестовых изображений в динамический диапазон 256 уровней яркости с помощью алгоритма HE.

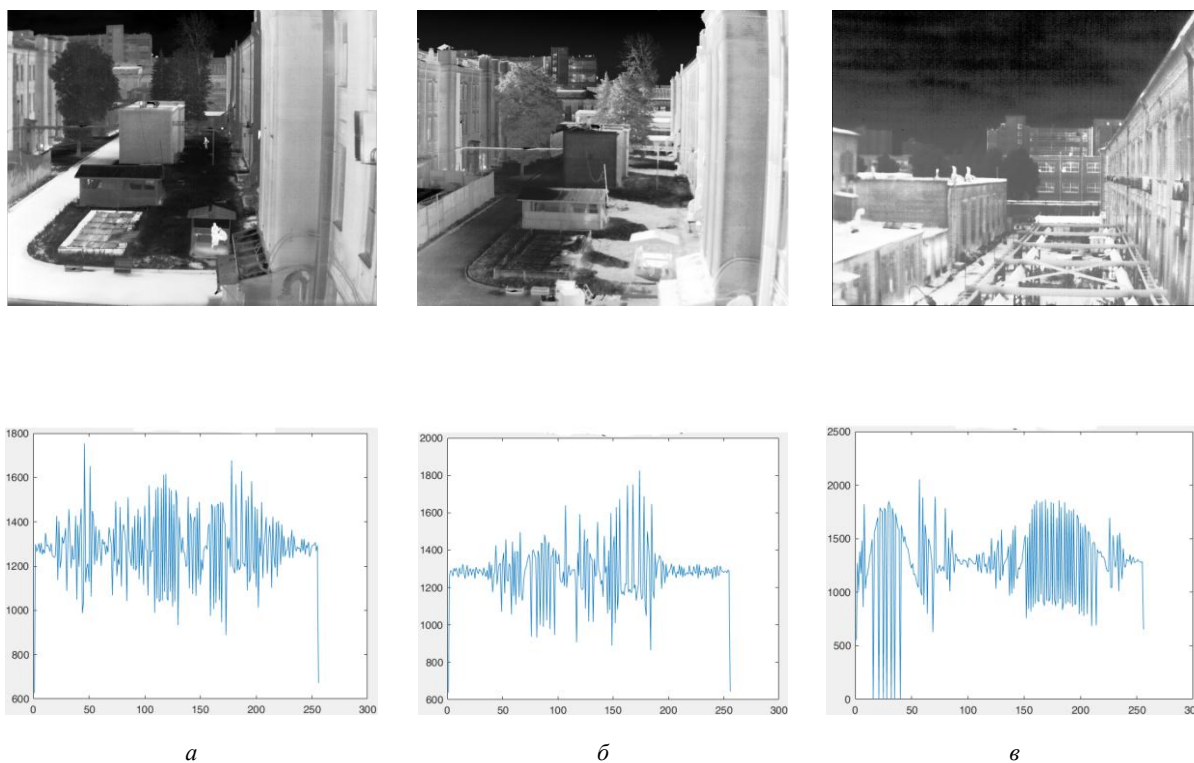


Рисунок 1 - ИК-изображения и их гистограмма после выравнивания гистограммы с помощью алгоритма HE: а – ИК-1; б – ИК-2; в – ИК-3

На рисунках 2 и 3 приведены результаты тонового отображения тестовых изображений ИК-1 – ИК-3 в динамический диапазон 256 уровней яркости с помощью предложенного алгоритма TCLHC при нескольких значениях порога повторяемости.

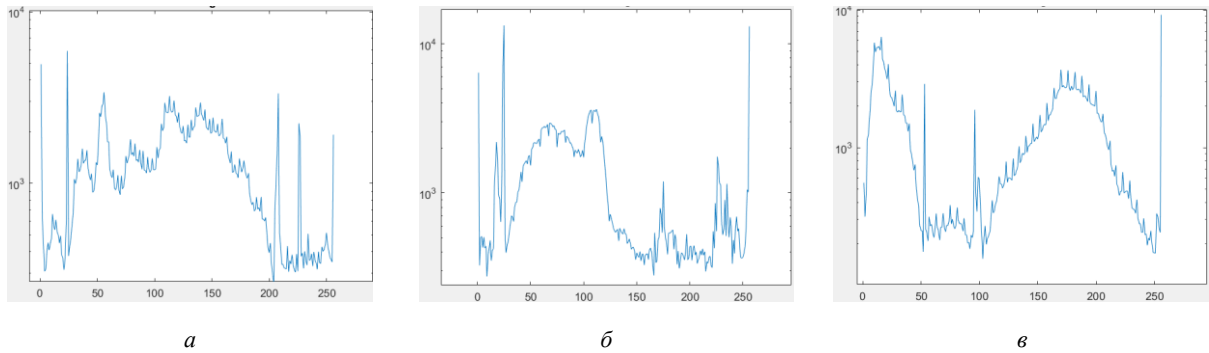


Рис. 2. ИК-изображения и их гистограмма после выравнивания гистограммы с помощью алгоритма TCLHC при значении порога повторяемости 50: а – ИК-1; б – ИК-2; в – ИК-3

В таблицах 1 и 2 приведены показатели качества преобразованных тестовых изображений с помощью алгоритмов HE и TCLHC.

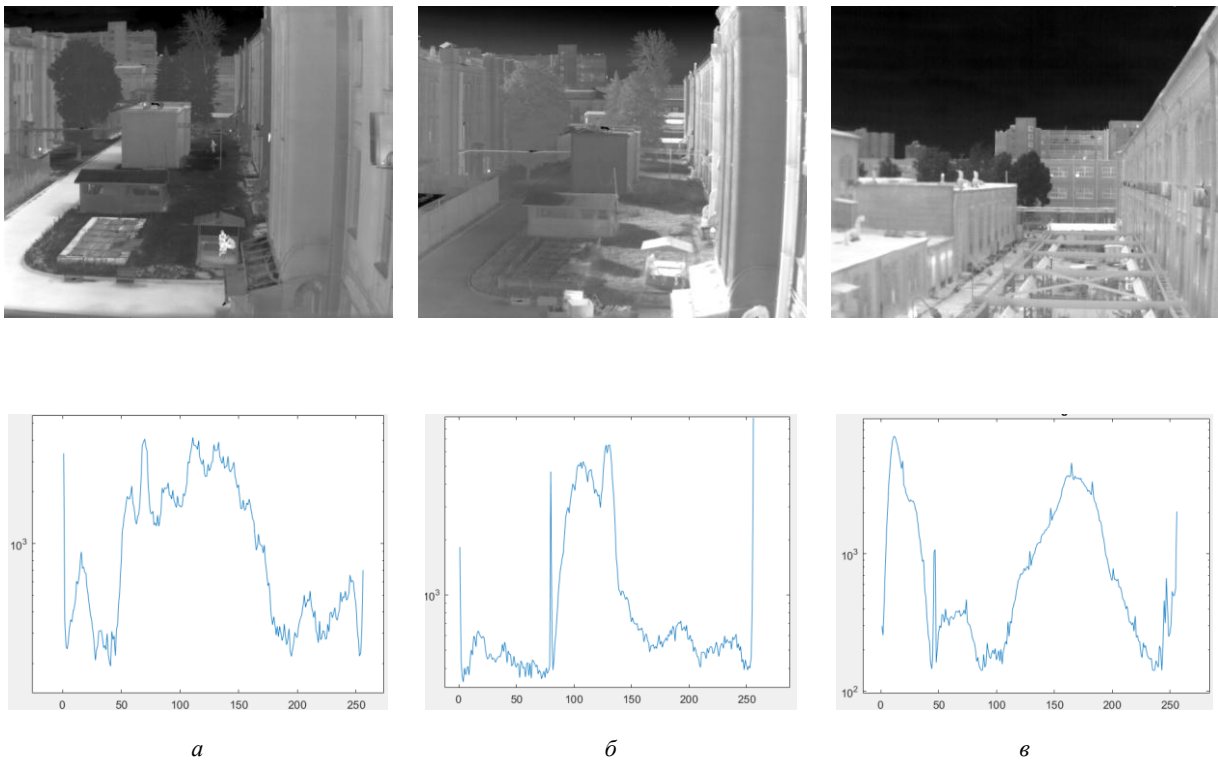


Рисунок 3 - ИК-изображения и их гистограмма после выравнивания гистограммы с помощью алгоритма TCLHC при значении порога повторяемости 25: а – ИК-1; б – ИК-2; в – ИК-3

Для оценки качества тонового отображения использованы глобальные показатели, позволяющие оценить контраст (стандартное отклонение D_{ST} и средний градиент G_A), энтропия E_1 , количество локальных экстремумов N_{LE} , статистическая естественность N_S [2], структурная точность F_S [3], качество тональной карты I_{TMQ} [4], а также предложенные в [5] интервальные и интервально-блочные показатели, позволяющие оценить: потенциальную различающую способность P_D на выбранном интервале динамического диапазона преобразованного изображения; потери E_D различения соседних пикселей на выбранном интервале динамического диапазона преобразованного изображения, обусловленные тоновым отображением; величину E_{MS} нелинейных искажений сжатия динамического диапазона на выбранном интервале динамического диапазона преобразованного изображения относительно линейно преобразованного изображения; равномерность U_H использования динамического диапазона на выбранном интервале динамического диапазона преобразованного изображения относительно базового интервала; неоднозначность L_{DH} тонового отображения, обусловленную различиями передаточных

характеристик блоков в интервале динамического диапазона преобразованного изображения, соответствующего интервалу прореженного динамического диапазона исходного изображения; величину L_{DL} нелинейных искажений, связанных с неоднозначностью тонового отображения, в интервале динамического диапазона преобразованного изображения, соответствующего интервалу прореженного динамического диапазона исходного изображения.

Меньшие значения P_D и E_D свидетельствуют о более высокой различающей способности и меньших потерях различения соседних пикселей преобразованного изображения. Меньше значения E_{MS} говорят о приближении передаточных характеристик блоков (или всего изображения) к линейным. Близкие к единице значение U_H свидетельствуют о более равномерном распределении яркостей на выбранном интервале относительного базового интервала и близости тонового отображения к линейному при равновероятных значениях пикселей. Близость к единице значений L_{DH} говорит о меньшей неоднозначности тонового отображения. Меньшие значения L_{DL} свидетельствуют об уменьшении нелинейных искажений из-за неоднозначности тонового отображения. Значения интервальных показателей вычисляются для перекрывающихся левого (L), центрального (C), правого (R) интервалов гистограммы и всего динамического диапазона изображения (интервал T).

Табл. 1. Значения глобальных показателей качества ИК-изображений

Показатель	Значения глобальных показателей для алгоритмов											
	HE			TCLHC, TR = 50			TCLHC, TR = 25			TCLHC		
	ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1, TR=80	ИК-2, TR=60	ИК-3, TR=80
N_S	0,060	0,064	0,083	0,021	0,026	0,030	0,034	0,054	0,042	0,055	0,073	0,054
F_S	0,824	0,837	0,829	0,715	0,668	0,642	0,778	0,777	0,680	0,819	0,819	0,704
I_{IMQ}	0,782	0,787	0,791	0,736	0,724	0,717	0,760	0,767	0,733	0,779	0,785	0,745
D_{ST}	35,712	35,407	28,087	20,749	20,424	24,276	26,838	30,546	26,173	34,802	38,152	27,276
G_A	5,239	5,723	5,960	2,924	3,156	3,504	3,849	4,781	4,149	5,024	5,898	4,700
E_1	6,297	6,351	6,104	5,523	5,427	5,522	5,856	5,898	5,697	6,150	6,066	5,757
N_{LE}	34202	28360	43929	32521	24455	42001	33832	26516	42849	33438	26957	43146

Табл. 2. Значения интервальных показателей качества ИК-изображений

Показатель	Интервал	Значения интервальных показателей для алгоритмов											
		HE			TCLHC, TR = 50			TCLHC, TR = 25			TCLHC		
		ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1, TR=80	ИК-2, TR=60	ИК-3, TR=80
P_D	L	3,17	-0,27	-4,83	2,70	-1,71	-0,34	2,96	1,24	-0,10	2,43	0,43	0,36
E_D		23,89	8,52	-33,90	44,33	-78,48	-9,11	83,34	45,97	-42,04	37,55	55,08	-20,27
E_{MS}		19,91	24,95	22,77	20,09	20,32	28,94	22,84	21,46	29,69	23,39	21,56	28,04
U_H		0,99	0,99	0,99	0,55	0,27	0,81	0,72	1,16	1,21	0,78	1,27	1,32
L_{DH}		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L_{DL}		0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00

Показатель	Интервал	Значения интервальных показателей для алгоритмов											
		HE			TCLHC, TR = 50			TCLHC, TR = 25			TCLHC		
		ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1, TR=80	ИК-2, TR=60	ИК-3, TR=80
P_D	C	-5,85	-14,92	-0,66	-2,19	-4,53	-2,82	-4,18	-11,22	-1,40	-5,52	-14,16	-3,06
E_D		-41,33	-111,2	-10,31	-30,13	-133,5	-22,19	-81,44	-397,6	-87,20	-183,0	-585,7	-90,97
E_{MS}		4,31	8,95	6,63	8,25	6,58	2,18	6,97	10,64	2,99	5,14	7,11	3,60
U_H		1,01	1,01	1,01	2,44	3,34	1,72	1,65	1,28	0,78	1,14	1,01	0,74
L_{DH}		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L_{DL}		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P_D	R	1,00	9,86	0,87	-1,28	6,32	2,18	-0,24	6,62	1,32	1,17	8,80	2,46
E_D		3,03	63,90	13,72	-24,71	175,5	23,56	-30,31	213,3	101,3	81,58	326,33	110,46
E_{MS}		0,57	1,11	0,73	1,16	0,91	0,56	0,99	1,09	0,71	0,84	1,23	0,75
U_H		1,00	1,00	1,00	0,28	0,33	0,36	0,49	0,40	1,34	0,97	0,70	1,37
L_{DH}		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L_{DL}		0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,02	0,00
E_{MS}	T	10,58	9,45	10,31	9,91	7,45	13,69	10,63	12,85	13,03	9,57	12,11	12,76
L_{DH}		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L_{DL}		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Список использованных источников:

1. Nithyananda C.R., Ramachandra A.C., Preethi // 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). – Chennai, 2016. – P. 2512–2517.
2. Mante V., Frazor R. A., Bonin V., Geisler W.S., Carandini M. // (2005) Independence of luminance and contrast in natural scenes and in the early visual system. Nat Neurosci, 8, 1690–1697.
3. Wang Z., Simoncelli E. P., Bovik A. C. // (2003) Multiscale structural similarity for image quality assessment. 37th Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers. Pacific Grove, CA, USA, 2, 1398–1402.
4. Yeganeh H., Wang Z. // (2013) Objective Quality Assessment of Tone-Mapped Images. IEEE Transactions on Image Processing, 22(2), 657–667.
5. ПГУ

UDC 621.391

THRESHOLDING, COMPACTION AND LINEAR HISTOGRAM COMPRESSION

Robachevskiy A.D., student gr. 160801

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics¹, Minsk, Republic of Belarus

V.Yu.Tsviatkou – Doctor of Engineering, professor

Annotation. The results of sensitivity analysis of tone mapping quality indicators to the choice of dynamic range compression algorithms, their parameters and types of infrared images are presented. It is shown that interval indicators are more sensitive to tone mapping conditions in comparison with global indicators.

Keywords. Image dynamic range reduction, image reproduction enhancement, infrared images, histogram equalization, histogram shape control.