

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ЭКВАЛИЗАЦИИ ГИСТОГРАММ В СИСТЕМАХ ТЕЛЕМЕТРИИ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Ф.М. Бельченко

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН
Россия, 119526, Москва, просп. Вернадского, 101, корп. 1
E-mail: philepp@mail.ru

И.Л. Ермолов

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН
Россия, 119526, Москва, просп. Вернадского, 101, корп. 1
E-mail: ermolov@ipmnet.ru

Г.Н. Нагайцев

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН
Россия, 119526, Москва, просп. Вернадского, 101, корп. 1
E-mail: georgijnagajcev@gmail.com

П.П. Остриков

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН
Россия, 119526, Москва, просп. Вернадского, 101, корп. 1
E-mail: ostricov93@yandex.ru

Ключевые слова: система технического зрения, обработка изображения, подводная съемка, гистограммы.

Аннотация: В работе проводится исследование возможности внедрения алгоритма эквализации гистограмм в системах технического зрения морских робототехнических комплексов. Описан алгоритм работы эквализации. Для проведения эксперимента выбраны паттерны, позволяющие оценить эффективность рассматриваемого подхода. Выбраны наиболее сложные снимки для демонстрации эффективности алгоритма эквализации гистограмм. Предложены сценарии для внедрения исследуемого алгоритма.

1. Введение

В морской робототехнике значительная роль эффективности применения роботов определяется средствами телеметрии, в том числе, тем, насколько эффективно человек-оператор воспринимает информацию с экрана пульта управления.

Визуальное восприятие изображения связано как со специфическими особенностями физиологии зрения, так и с системными ограничениями, заложенными в используемых стандартах хранения и представления видеоинформации.

Ошибки и искажения в изображениях заметны глазу, если они превышают порог заметности. Экспериментальные исследования показывают, что на визуально воспринимаемый цвет влияют следующие факторы:

- спектральный состав света, который излучается источником;

- спектральное распределение излучения, падающего в глаз наблюдателя от всех объектов находящихся в поле зрения;
- пространственное распределение и форма объекта [1];
- наличие цветовой памяти глаза (хроматическая адаптация) и др.

Количественная оценка всех этих факторов является невыполнимой задачей. Экспериментально показано, что восприятие цвета обычно можно характеризовать тремя факторами: для источников света – светимостью, цветовым тоном и насыщенностью, для объектов – освещенностью, цветовым тоном и насыщенностью.

При этом водная среда приносит свои особенные искажения в изображения средств телеметрии [2]. В том числе, значительным искажениям подвергается цветопередача, что создаёт проблемы правильного восприятия и интерпретации информации, представленной на изображении, оператором.

2. Описание алгоритма эквализации гистограмм

Одним из методов улучшения детализации на снимках, снятых под водой, является эквализация гистограмм. В данном случае выполняется процедура выравнивания гистограммы изображения, путем воздействия (т.е. коррекции) яркости отдельных пикселей:

$$g = (g_{max} - g_{min}) \times P_f(f) + g_{min},$$

где g_{max} и g_{min} – максимальное и минимальное значения яркости; $P_f(f)$ – интегральный закон распределения входной яркости.

Таким образом, преобразование плотности вероятности предполагает знание интегрального распределения для исходного изображения. Как правило, достоверные сведения о нем отсутствуют. Аппроксимация аналитическими функциями, вследствие ошибок аппроксимации, может приводить к существенному отличию результатов от требуемых. Поэтому данный метод выполняется в два действия:

1. Сначала рассчитывается гистограмма для каждого цветового канала. Для цифрового изображения, шкала яркостей которого, например, принадлежит целочисленному диапазону [0,255], гистограмма представляет собой таблицу из 256 чисел. Каждое из них показывает количество точек в изображении (кадре), имеющих данную яркость. Разделив все числа этой таблицы на общий размер выборки, равный числу отсчетов в изображении, получают оценку распределения вероятностей яркости изображения.

2. Далее происходит преобразование с помощью равномерного «растягивания» гистограммы на весь диапазон значений (рис. 1).

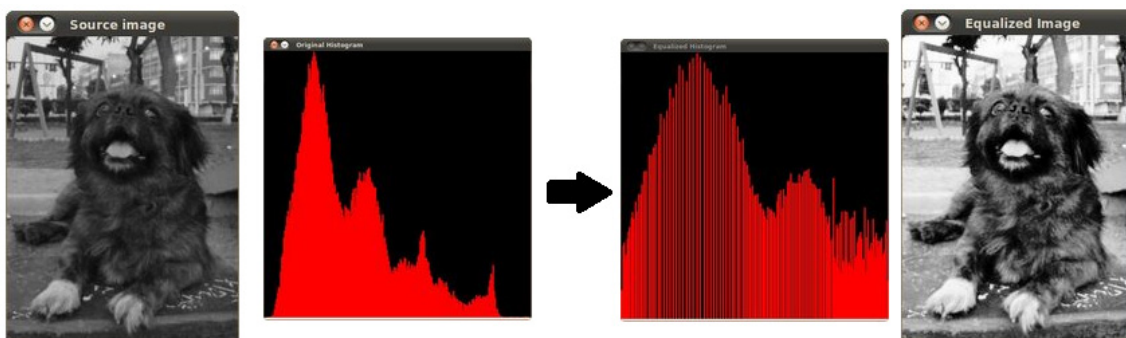


Рис. 1. Этапы эквализации гистограммы.

На изначальном изображении выше видно, что пиксели сгруппированы вокруг середины доступного диапазона интенсивностей. Выравнивание гистограммы расширяет этот диапазон.

Это позволяет увеличить диапазон яркости изображения таким образом, чтобы оно содержало все возможные яркости примерно в одинаковом количестве.

3. Подготовка эксперимента

Эксперимент состоял в получении сравнительной серии изображений относительно фиксированных в пространстве положений камеры в условиях воздушной среды и под водой. Объектами съемки выступали паттерны шахматной доски в цветах основных спектров, воспринимаемых камерой на ПЗС матрице, а именно, красный, синий и зеленый. А также паттерн шахматной доски в черно белом исполнении.

Во время эксперимента производилась подсветка паттерна, как естественным освещением, так и светом основных длин волн, воспринимаемых камерой, для оценки влияния на цветовые искажения. В качестве осветителя применялась лампа, способная светить во всех интересующих нас динах волн и с одинаковой яркостью.

Камера установлена в герметичном боксе для защиты от воды. Модель используемой камеры – Canon Digital IXUS 60 .

4. Проведение эксперимента и оценка промежуточных результатов

Далее приведен пример реализации метода эквализации гистограмм при съемке без воды с зеленым освещением (рис. 2).

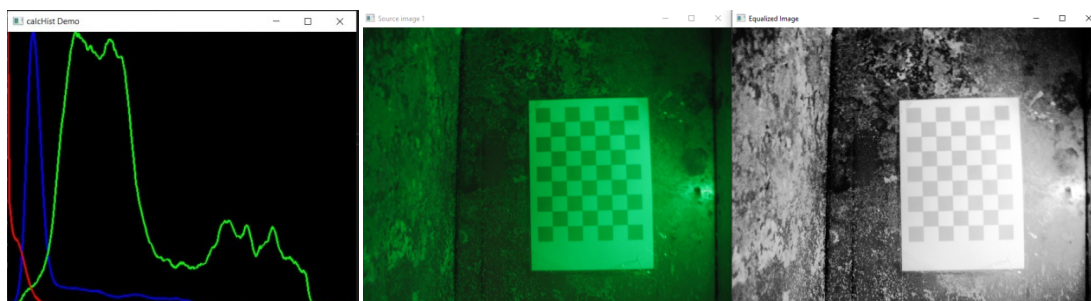


Рис. 2. Гистограмма цветного изображения с зеленым освещением и снимки с зелеными клетками при зеленом освещении.

По первой гистограмме видим большое количество зеленого цвета на изображении, связанное с освещением. Наибольшие потери наблюдаются в красном спектре. Это показывает, что при любом искажении изображения мы теряем цвета с наиболее короткой длиной волны.

На следующем изображении отобразим перевод изображения в серый цвет и применение алгоритма эквализации гистограммы (рис. 3).

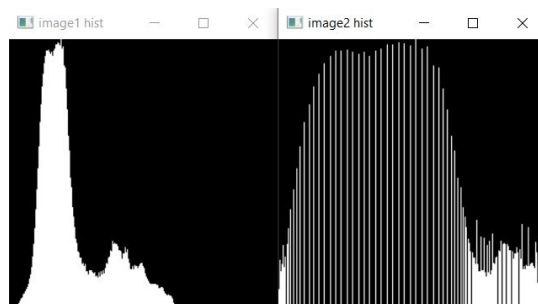


Рис. 3. Перевод изображения в черно-белое цветовое пространство последующей эквализацией для изображения с зеленым цветом.

По следующим гистограммам видно, что в изображении сохранилась информация о наиболее ярких цветах. Далее было проведено растяжение гистограммы по всей горизонтали. Таким образом, получено более контрастное изображение.

Данный метод применим при слабом освещении под водой если необходимо изучить текстуру исследуемой поверхности и для рассмотрения мелких деталей на видеоизображении.

В результате эквализации гистограммы в большинстве случаев существенно расширяется динамический диапазон изображения, что позволяет отобразить ранее не замеченные детали. Особенно сильно этот эффект проявляется на тёмных изображениях. Далее рассмотрим пример со снимком, полученным при проведении эксперимента под водой с красным освещением (рис. 4).

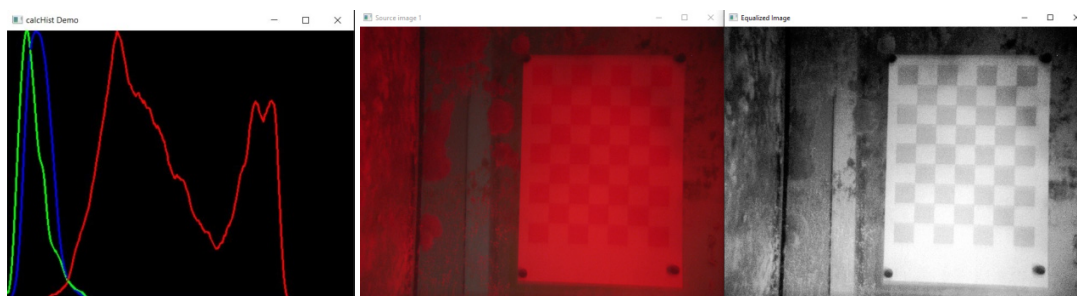


Рис. 4. Гистограмма изображения при красном освещении под водой и красные клетки при красном цвете.

Красный цвет плохо проходит через воду, т.к. он имеет наименьшую длину волны. Поэтому на первоначальном изображении границы с красными оттенками были сильно размыты и трудноразличимы. Аналогично построена гистограмма для красного цвета под водой.

Теперь получена насыщенная зона с красным цветом. Т.к. на изображении цвета размыты сильнее, чем при зеленом свете, то можно увидеть более высокий второй «горб» для красного цвета на гистограмме. Синий цвет даже при таких условиях частично сохраняется и преобладает над зеленым.

Аналогично первому эксперименту, построим гистограмму для рассмотренного случая (рис. 5).

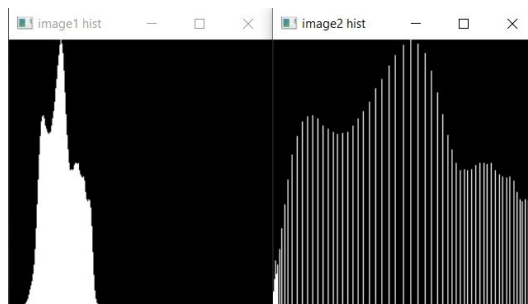


Рис. 5. Перевод изображения в черно-белое цветовое пространство с последующей эквализацией для изображения с красным цветом.

На данном этапе была получена гистограмм с растяжением во всех зонах горизонтали. Это является следствием сильной цветовой насыщенности. Несмотря на это, было получено более контрастное изображение на снимке в наиболее сложных условиях искажения цвета.

5. Заключение

В работе проведены эксперименты по получению подводных изображений при различных условиях освещения. После получения изображений был применен алгоритм эквализации гистограммы и продемонстрированы результаты работы. Также по результатам эксперимента можно сделать вывод, что данное решение улучшает качество подводных изображений и может быть использовано для внедрения в морских робототехнических комплексах. [3]

В отличие от большинства фильтров и градационных преобразований, требующих настройки параметров (апертуры и констант градационных преобразований) эквализация гистограммы может выполняться в полностью автоматическом режиме без участия оператора. Процедуры преобразования гистограмм могут применяться как к изображению в целом, так и к отдельным его фрагментам. Последнее может быть полезным при обработке нестационарных изображений, характеристики которых существенно различаются в различных областях. Представленный в этой статье подход является одним из немногих способов обработки и передачи видеoinформации в реальном времени от морского робототехнического комплекса на пульт оператора при любых условиях работы.

Работа выполнена по теме государственного задания (№ государственной регистрации 123021700055-6) в рамках НИР "«Поисковые исследования для создания компонентов РТК для очистки корпусов судов от обрастаний» для реализации стратегического проекта 4 «Морская робототехника» в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030»

Список литературы

1. Бельченко Ф. М., Ермолов И. Л., Остриков П. П. Разработка программного модуля преобразования перспективы на видеоизображении для выбора и анализа элементов изображения // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2023. № 9(280). С. 11-15.
2. Бельченко Ф.М., Ермолов И.Л., Нагайцев Г.Н., Остриков П.П. Об особенностях передачи видеоизображений в подводной робототехнике // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 4 часть 3. С. 62-67. DOI: 10.37220/MIT.2023.62.4.066.
3. Ермолов И.Л., Князьков М.М., Семенов Е.А., Суханов А.Н. Перспективный мобильный робототехнический комплекс для проведения регламентных операций по очистке корпусов судов от обрастаний // Морские интеллектуальные технологии. 2023. Т. 1, № 2.