

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.518:621.317

Ю.Д. Жуков, А.В. Зивенко, А.Л. Виноградов**НЕКОТОРЫЕ АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЛИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния температуры электронного блока полиметрических систем на форму полиметрических сигналов и показания систем. Предложен алгоритмический метод температурной коррекции показаний системы на основе учета данных о температуре электронного блока системы, определяемой по данным об искажении полиметрического сигнала (без использования дополнительных датчиков температуры).

Ключевые слова: полиметрические системы, температурная коррекция, зондирующий импульс.

Введение. Известно, что полиметрические сигналы (ПС) несут в себе информацию о совокупности характеристик контролируемых объектов [1]. Одним из возможных контролируемых объектов в промышленных полиметрических системах «САДКО» являются жидкие технологические среды (ЖТС), совокупность характеристик которых подлежит оценке (уровень, значения температуры вдоль столба жидкости, различные качественные показатели). ПС в данном случае выступает как отклик ЖТС на ее взаимодействие со сверхкоротким маломощным электромагнитным импульсом специальной формы. Актуальной задачей является наиболее эффективное использование информации, содержащейся в высокоинформативном ПС. Температура окружающей среды оказывает существенное влияние на показания систем, учет этого влияния позволяет существенно снизить температурную погрешность систем. Анализ особенностей ПС в зависимости от температуры электронного блока системы и создание алгоритма их использования для корректировки показаний системы являются актуальной научно-практической задачей.

Целью исследования являются изучение температурного дрейфа ПС и проверка возможности использования особенностей ПС для температурной коррекции показаний системы без использования дополнительных датчиков.

Теоретическая часть. Формирование ПС

является многоступенчатым, весьма сложным процессом и включает в себя: генерацию сверхкоротких электромагнитных импульсов [2], излучение этих импульсов в линию специальной конструкции [3], прием и первичную обработку отраженных импульсов [4].

Процесс интерпретации ПС напрямую зависит от способа его формирования и текущих условий работы системы. Для устранения температурной погрешности, возникающей вследствие неконтролируемого температурного дрейфа свойств элементов радиоэлектронной аппаратуры, применяются различные методы. Широко используется термостатирование отдельных узлов систем, однако данный способ устранения температурного влияния не всегда можно использовать по причине высокого уровня потребления электроэнергии при термостатировании.

Другим методом борьбы с температурным дрейфом является применение распределенного стробоскопического преобразования [5]. Также достаточно перспективным представляется использование алгоритмических методов коррекции показаний системы, в которых дополнительно используются данные о температуре электронного блока системы [4].

Для снижения влияния температурного дрейфа может быть использован подход, предложенный в [4]. Простейший алгоритм температурной коррекции задержки сводится к введению коэффициента температурной коррекции

задержки K_T , значение которого определяется значением температуры электронного блока системы $T_{Пл}$. Значение коэффициента коррекции может быть определено по следующей формуле:

$$K_T = \frac{L(Z)}{L_P},$$

где Z – временной интервал (задержка) между зондирующим и отраженным от границы раздела сред (ГРС) импульсами полиметрического сигнала; L_P – реальное значение расстояния до границы раздела сред; $L(Z)$ – функция расчета расстояния по задержке между импульсами.

В результате экспериментальных исследований температурного дрейфа системы может быть найдена зависимость изменения корректирующего коэффициента от температуры электронного блока $K_T(T_{Пл})$:

$$K_T = b_{T0} + b_{T1} \cdot (T_{Пл} - b_{T2}),$$

где $T_{Пл}$ – температура электронного блока системы; b_{T0} , b_{T1} , b_{T2} – коэффициенты, определяемые в результате обработки экспериментальных данных, полученных в ходе температурных испытаний системы.

Оценку расстояния $L_{кор}$ производят после применения температурной коррекции задержки.

Тогда погрешности оценки расстояния по полиметрическому сигналу в данном случае рассчитываются по формулам:

$$\Delta L_{T1} = L_P - L(Z),$$

$$\Delta L_{T2} = L_P - L\left(\frac{Z}{K_T}\right),$$

где ΔL_{T1} – погрешность оценки расстояния (без применения коррекции); ΔL_{T2} – погрешность оценки расстояния (с применением коррекции).

Экспериментальные исследования. Для исследования влияния температуры электронного блока на форму ПС и показания полиметрической системы был проведен ряд экспериментов. В качестве исследуемого образца систем была использована полиметрическая система «САДКО», содержащая в своем составе дополнительные датчики температуры, а также программное обеспечение для сбора и обработки экспериментальных данных. Полиметрическая система в качестве линии распространения излучаемого электромагнитного импульса использует несимметричную двухпроводную линию длиной 12000 мм. Имитация отражения от границы раздела сред (ГРС) воздух – ЖТС производилась с помощью специального замыкателя [6, 7], расположенного на фиксированном расстоянии от блока генератора-приемника полиметрической системы.

Расстояние до замыкателя в ходе конкретного опыта известно и остается неизменным до окончания текущего опыта. В ходе одного опыта происходят нагрев электронного блока системы до фиксированной температуры (не более 60 °С) и его охлаждение до температуры окружающей среды. Температура электронного блока изменяется специальным нагревателем, воздействующим только на электронный блок системы. По ходу эксперимента фиксировались показания полиметрической системы – полиметрический сигнал и соответствующая текущему сигналу температура электронного блока системы. По полиметрическому сигналу были определены следующие параметры – задержки между импульсами сигнала, амплитуды отраженных импульсов, крутизна фронта импульсов и т.д.

В результате обработки полученных экспериментальных данных был подтвержден высокий уровень корреляции ($R = 0.95$) между значениями температуры электронного блока $T_{Пл}$ и значениями задержки между зондирующим и отраженным от границы раздела сред (замыкателем) импульсами Z в единицах квантов времени – см. рисунок 1.

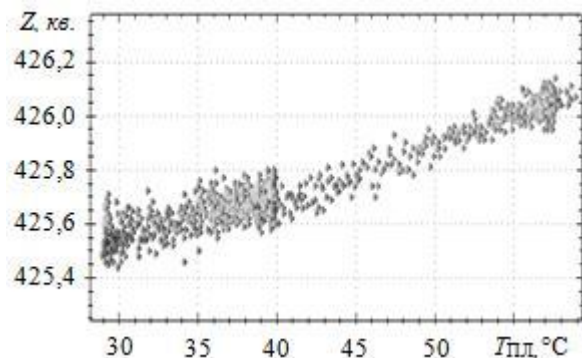


Рисунок 1 - Диаграмма рассеяния значений задержки между зондирующим и отраженным от ГРС импульсами в зависимости от значений температуры электронного блока системы

По рисунку 1 видно, что с ростом температуры электронного блока увеличивается задержка между импульсами, что и обуславливает наличие температурной погрешности оценки расстояния до раздела сред ΔL_T .

Температура $T_{Пл}$ определяется с помощью специального датчика, введенного в состав электронного блока системы «САДКО». Однако подробное изучение сигналов системы, полученных при различных значениях температуры электронного блока, позволило выявить особенности ПС, которые могут быть использованы для температурной коррекции задержки. Изменение формы ПС вследствие изменения темпе-

ратуры электронного блока представляет собой инструментальную погрешность системы.

Изучение характера изменения формы ПС позволяет получить информацию о температуре электронного блока, что фактически означает использование информации об «искажениях» сигнала для снижения температурной погрешности системы.

Логичным является использование тех участков ПС, которые не подвержены влиянию других факторов, кроме температуры электронного блока. Так, форма и расположение импульсов ПС, следующих после зондирующего импульса, определяются толщиной и характеристиками слоев продуктов, через которые распространяется излученный импульс (температурой, химическим составом и т.д.). Кроме того, форма отраженных импульсов определяется параметрами линии, вдоль которой распространяется излученный импульс. По этой причине использование параметров отраженных импульсов для температурной коррекции задержки затруднено.

При рассмотрении зондирующего импульса при различных значениях температуры электронного блока выявлено, что с ростом температуры он существенно изменяет свою форму – изменяется крутизна фронта и спада импульса, растет длительность импульса.

Модель зондирующего импульса U_Z может быть представлена в виде гауссиана:

$$U_{Zi} = A \exp\left(\frac{(t_i - \mu)^2}{-2b^2}\right),$$

где U_{Zi} – значение напряжения зондирующего импульса, соответствующего i -му кванту времени t_i ; A – максимум значения напряжения зондирующего импульса; μ – коэффициент, при котором значение напряжения зондирующего импульса достигает максимума; b – коэффициент, который характеризует крутизну фронта и спада значения напряжения зондирующего импульса.

Коэффициенты модели A , μ , b могут быть определены по экспериментальным данным, например методом, описанным в [8].

В результате обработки экспериментальных данных было получено выражение, которое позволяет с точностью $\pm 5,6$ °C ($p = 0.95$) оценить температуру электронного блока $T_{пл}$ по значениям коэффициентов модели зондирующего импульса μ , b :

$$T_{пл} = 653.2521 - 3.5176\mu + 67.1498b.$$

Для повышения точности оценки температуры электронного блока была обучена нейронная сеть, на вход которой подаются значения напряжения из окрестности зондирующего импульса (13 отсчетов слева от максимального зна-

чения напряжения зондирующего импульса), а на выходе сети получается результат – значение оценки температуры электронного блока. Количество информативных отсчетов полиметрического сигнала в данном случае выбрано так, чтобы полностью охватить область нарастания напряжения зондирующего импульса при любых возможных значениях температуры электронного блока.

Тестирование обученной нейронной сети показало, что погрешность оценки температуры электронного блока в данном случае не превышает $\pm 3,4$ °C ($p = 0.95$).

На рисунке 2 показаны значения погрешностей оценки расстояния до замыкателя при оценке расстояния обычным способом и с применением предложенного алгоритмического метода температурной коррекции на основе данных о форме полиметрического сигнала.

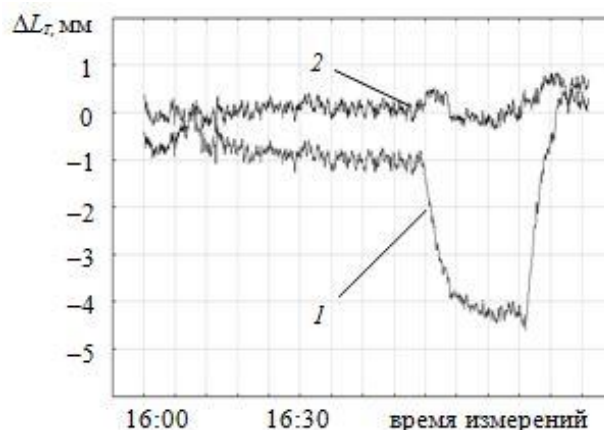


Рисунок 2 - Погрешность оценки расстояния до ГРС при работе в обычном режиме и в режиме температурной коррекции

На рисунке 2 обозначены: 1 – погрешность оценки расстояния стандартным методом ΔL_{T1} (без применения коррекции); 2 – погрешность оценки расстояния до замыкателя с применением метода температурной коррекции ΔL_{T2} (при определении температуры электронного блока по форме полиметрического сигнала).

Графики рисунке 2 показывают, что применение разработанного способа температурной коррекции позволяет более чем в 2,8 раза снизить значение погрешности оценки расстояния до замыкателя (ГРС), вызванной изменением температуры электронного блока полиметрической системы.

Закключение. Экспериментально доказана возможность оценки температуры электронного блока полиметрической системы по полиметрическому сигналу без использования дополнительных датчиков температуры, получены соответствующие эмпирические выражения для

оценки температуры электронного блока. Показано, что применение алгоритмической температурной коррекции на основе данных полиметрического сигнала позволяет снизить значение температурной погрешности оценки расстояния более чем в 2,8 раза.

Библиографический список

1. Жуков Ю.Д. Теория полиметрических измерений [Текст] // Инновации в судостроении и океанотехнике. Материалы первой международной научно-технической конференции. – Николаев : НУК, 2010. – С. 387 – 389.
2. Гордеев Б.Н. Формирование зондирующих импульсов для полиметрических измерительных систем / Б.Н. Гордеев, А.В. Зивенко, А.Г. Наконечный // Научно-технический журнал Херсонского Национального технического университета. – 2010. – № 1(25) – С. 69 – 73.
3. Датчики: справочное пособие [Текст] / Гордеев Б.Н., Жуков Ю.Д., Шарапов В.М., Полищук Е.С., Ишанин Г.Г., Гуржий А.Н., Викулин И.М., Кошевой Н.Д., Курмашев Ш.Д., Куценко А.Н., Марченко С.В., Минаев И.Г., Совлуков А.С. – Черкассы: Брама-Украина, 2008. – 1072 с.
4. Зивенко А.В. Формирование и первичная обработка полиметрического сигнала [Текст] / А.В. Зивенко // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК. – 2011. - № 4 (439). – С. 114-122.
5. Гордеев Б.Н. Концепция распределенного стробоскопического преобразования и ее использование в полиметрических системах [Электронный ресурс] / Б.Н. Гордеев, А.В. Зивенко // Электронне видання «Вісник Національного університету кораблебудування». – Миколаїв: НУК, 2010. – № 3. Режим доступу – <http://ev.nuos.edu.ua>.
6. Пат. 33084 Україна, МПК G01F25/00, G01F23/284. Спосіб визначення метрологічних характеристик вимірювального каналу електромагнітного рівнеміра [Текст] / Жуков Ю.Д., Гордеев Б.М., Зіміна О.О. – u200801446; заявл.: 04.02.2008; опубл. 10.06.2008, бюл. № 11/2008.
7. Пат. 33068 Україна, МПК G01F25/00. Контактний пристрій для визначення метрологічних характеристик вимірювального каналу електромагнітного рівнеміра [Текст] / Гордеев Б.М., Жуков Ю.Д., Зіміна О.О. – u200801368; заявл.: 04.02.2008; опубл.: 10.06.2008, Бюл. № 11/2008.
8. Hongwei Guo A simple algorithm for fitting a Gaussian function [Text] // IEEE Signal Processing Magazine, 28(9): pp. 134 - 137 (2011).

УДК 621.396.969

О.Р. Никитин, А.Н. Кисляков

ЦВЕТОВОЕ КОДИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Предложен алгоритм цветового кодирования многоспектральных изображений, применяемый в условиях близости яркостных характеристик объектов. Выполнен сравнительный анализ нескольких алгоритмов комплексирования цифровых полутонных изображений. Доказана необходимость использования цветового кодирования при комплексировании изображений в многоканальных системах дистанционного зондирования земной поверхности.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, многоспектральный метод, комплексирование, цветовая модель.

Введение. Современные многоканальные системы дистанционного зондирования земной поверхности предполагают совместное использование различных приборов и датчиков: оптических, инфракрасных и микроволновых, которые позволяют получить цифровые изображения. Набор из нескольких изображений одной и той же сцены, полученных от различных датчиков, работающих на разных частотах, называется многоспектральным изображением [1].

Известно, что яркость, размеры и форма

объектов на изображениях одной и той же сцены могут заметно различаться при регистрации в разных диапазонах электромагнитного излучения в зависимости от свойств поверхности объектов, а также характеристик среды.

Чтобы увеличить вероятность надежного различения объектов и извлечь больше информации из совокупности полученных изображений, прибегают к процедуре их комплексирования [2].

Цель работы – разработка алгоритма комп-

плексирования многоспектральных изображений земной поверхности с применением методов цветового кодирования для улучшения зрительного восприятия наблюдаемой сцены, а также повышения эффективности дальнейших процедур обработки изображений.

Известно, что цвет является основной отличительной особенностью объекта, так как человеческий глаз может различить несколько тысяч хроматических цветов, только оттенков серого около ста. Тем не менее, некоторые датчики, например, инфракрасные и микроволновые, обеспечивают представление сцены в виде цифровых полутоновых изображений, поэтому представление этих изображений в цветном виде является актуальной задачей.

Теоретические исследования. Основным критерием оценки качества изображений является их информационная емкость (информативность). В качестве меры информационной емкости изображения используется понятие информационной энтропии

$$E = - \sum_{l=0}^{255} h(l) \cdot \log h(l), \quad (1)$$

где $h(l)$ – нормализованная гистограмма распределения по яркости (функция плотности вероятности) изображения. Для полутонового изображения диапазон значения яркости $l \in [0; 255]$.

Задачей комплексирования является представление информации, содержащейся в нескольких исходных изображениях, в одно без внесения искажений и потерь, что в реальных условиях практически невозможно, поэтому необходимо минимизировать потери информации в синтезируемых изображениях. Для этого необходимо выделить основные отличительные особенности исходных изображений и выполнить процедуру слияния.

Рассмотрим два подхода к выделению отличий между полутоновыми изображениями различных каналов.

Алгоритм 1. Способ основан на усилении яркостных отличий исходного изображения относительно результата многоспектральной съемки [3]. При этом сначала необходимо сформировать модель панхроматического изображения (PAN), близкую к многоспектральной съемке путем поканального суммирования изображений с равными весами:

$$B(x) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N d_i(x), \quad (2)$$

где $i \in [1, N]$, N – число каналов, значение $x = \{x_1, \dots, x_k\} \in X$ – яркость в точке x поля зрения X .

В качестве меры отличий данных отдельных каналов от данных многоспектральной съемки, принимаются относительные величины

$$\gamma_i(x) = d_i(x)/B(x). \quad (3)$$

Результирующее изображение $f_c(x)$ формируется на базе наиболее информативного исходного изображения d_0 по следующему правилу:

$$f_c(x) = d_0(x) \cdot \left[1 + (t_1(x) - \bar{t}_1) \right], \quad (4)$$

где \bar{t}_1 – среднее значение переменной $t_1(x)$, которая в данном случае характеризует относительные спектрально-зональные отличия базового изображения от изображений остальных каналов:

$$t_1(x) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^{N-1} [\gamma_B(x) - \gamma_i(x)]^2}. \quad (5)$$

Алгоритм 2. Подход основан на морфологическом анализе изображений [4,5] по их форме, которая математически выражается через разбиение исходного изображения $f(x)$ на множества одинаковой яркости $A_i \in X, i=1,2,\dots,M$. Так, форма изображения i -го канала равна:

$$V_i = \left\{ d_i(x) = \sum_{i=1}^M c_i \cdot \chi_i(x), \quad (6) \right.$$

$$\left. x \in X, c_i = (-\infty, \infty), i = 1, 2, \dots, M \right\},$$

где

$$\chi_i(x) = \begin{cases} 1, & x \in A_i; \\ 0, & x \notin A_i, \end{cases} \quad (7)$$

– индикаторная функция множества A_i , $A_i \cap A_j = \emptyset$ при $i=1,2,\dots,N$; $\bigcup_{i=1}^M A_i = X$.

Ортогональная проекция $P_{V_i} d_2$ изображения d_1 на форму изображения d_2 показывает различия по форме двух изображений:

$$P_{V_i} d_2(x) = \sum_{i=1}^M \frac{(d_2, \chi_i)}{\|\chi_i\|^2} \chi_i. \quad (8)$$

Разность между двумя изображениями d_1 и d_2 по форме определяется как [5]

$$\rho(d_2, P_{V_i} d_2) = \|d_2 - P_{V_i} d_2\| = \left(\sum_{k=1}^K [d_2(x_k) - P_{V_i} d_2(x_k)]^2 \right)^{1/2}. \quad (9)$$

Результирующее изображение формируется по правилу:

$$f_c(x) = \frac{1}{N} \left\{ d_0(x) + \sum_{i=1}^N \left([d_0(x) - \rho(d_2(x), P_{V_i} d_2)] \right) \right\}. \quad (10)$$

Данный алгоритм требует больше вычислительных затрат, однако позволяет выделить отличия между изображениями как по яркости, так и по форме.

В обоих случаях синтезированное изображение является полутоновым, поэтому для улучшения человеческого восприятия необходимо применение цветовых методов комплексирования (кодирования) изображений.

К методам цветового кодирования относится простейший метод комбинирования трех информационных каналов, полученных различными сенсорами в псевдоцветное изображение [6].

Во многих оптических системах для определения цвета объекта используется аддитивная цветовая модель RGB. Точки, отвечающие красному, зеленому и синему цветам, расположены в трех вершинах единичного цветового куба, лежащих на координатных осях (рисунок 1). Яркость пикселя изображения определяется пропорциями между красным (R), зеленым (G) и синим (B) цветом, оттенки серого цвета лежат на диагонали, соединяющей черную и белую вершины куба.

Уровни сигналов (яркостей пикселей) во всех спектральных диапазонах зависят от ряда факторов, например, от подсветки наблюдаемого объекта или всей сцены. В результате получение информативных изображений в сложных условиях близости яркостных характеристик объектов невозможно, что затрудняет дальнейший анализ изображения.

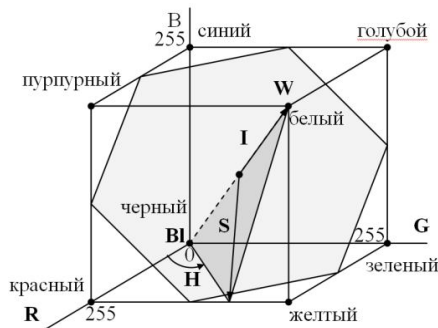


Рисунок 1 – Геометрическая интерпретация пространства HSI, внутри пространства RGB

В модели RGB яростная и оттеночная составляющие цвета не разделены между собой, в результате есть вероятность ошибки дальнейшей классификации объектов по цвету при невысоких уровнях яркости пикселей на изображении.

Известны предложения перехода от модели RGB к более устойчивой по отношению к вариациям яркости модели HSI (Hue – цвет, Saturation – насыщенность, Intensity – интенсивность) [6].

Цветовой тон (Hue) является характеристикой, которая описывает цвет, насыщенность цвета (Saturation) дает меру того, в какой степени некоторый чистый цвет разбавлен белым, интенсивность (Intensity) – полутоновая яркость, определяет светлоту изображения. В цветовой мо-

дели HSI яркостная составляющая I отделена от цветовых H и S, что дает возможность определить цвета объектов независимо от условий освещения [7]. Кроме того, модель HSI позволяет работать с более чем тремя каналами, выделяя для изображения каждого канала свои значения цветового тона.

Вся окружность цветового тона разбивается на $360/N$ секторов. Каждому сектору соответствует один из каналов и свой цветовой интервал.

Цветовой тон для каждого пикселя изображения i -го канала определяется по формуле

$$H(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } v_1 = 0, v_2 = 0, \\ \arctg(v_2/v_1) + 2\pi & \text{при } v_1 \geq 0, v_2 < 0, \\ \arctg(v_2/v_1) & \text{при } v_1 \geq 0, v_2 \geq 0, \\ \arctg(v_2/v_1) + \pi & \text{при } v_1 < 0, \end{cases} \quad (11)$$

где

$$v_1 = \sum_{i=1}^N d_n(x) \cdot \cos(\varphi_i),$$

$$v_2 = \sum_{i=1}^N d_n(x) \cdot \sin(\varphi_i),$$

$$\varphi = \left(\frac{360^\circ}{N} \right) \cdot (i-1), \quad i = 1, \dots, N.$$

Насыщенность S и интенсивность I для N каналов определяется следующим образом:

$$S(x) = 1 - \frac{\min\{d_i(x)\}}{\max\{d_i(x)\}}, \quad i = 1, \dots, N \quad (12)$$

$$I(x) = \frac{\max\{d_i(x)\}}{MAX}, \quad i = 1, \dots, N, \quad (13)$$

где MAX – максимальное значение ярости пикселей из изображений всех каналов.

В формулах (11-13) полагается, что значения I и S лежат в пределах 0 до 1, а угол H отсчитывается против часовой стрелки от красной оси.

Преобразование цветового координатного пространства HSI в пространство RGB осуществляется по формулам [4]:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \text{tg}(H), \quad v_1^2 + v_2^2 = S^2.$$

Экспериментальные исследования. Рассмотрим полутоновые изображения в трех различных диапазонах электромагнитного излучения: оптическом, инфракрасном и микроволновом. Алгоритм был реализован с помощью пакета MATLAB.

Сначала по критерию максимума энтропии (1) выбирается наиболее информативное базовое изображение. Затем вычисляются отличия изображений относительно базового по одному из приведенных алгоритмов. Полученные данные используются в качестве исходных изображений для перехода к цветовой модели HSI, с помощью которой производится цветовое кодирование изображений. Для визуализации полученного цветного изображения производится обратное преобразование HSI пространства в RGB по формуле (14).

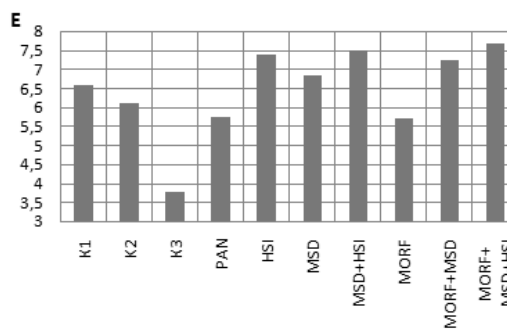
Для оценки качества изображений производился расчет следующих характеристик: информационной энтропии (E), стандартного отклонения (SD), отношения сигнал-шум (SNR), среднеквадратической ошибки (RMSE). Расчетные формулы для этих мер приведены в таблице 1, а результаты – в таблице 2.

Таблица 1 – Формулы для расчета характеристик изображений

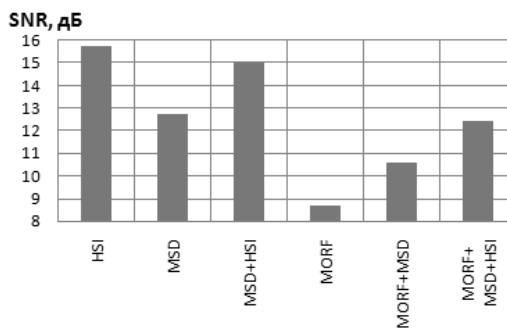
Хар-ка	Расчетная формула
E	$E = -\sum_{l=0}^{255} h(l) \cdot \log h(l)$
SD	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_x [F(x) - \bar{F}]^2}{k}}$
RMSE	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_x [F(x) - R(x)]^2}{k}}$
SNR	$SNR = 10 \cdot \log_{10} \sqrt{\frac{\sum_x [F(x)]^2}{\sum_x [F(x) - R(x)]^2}}$

Таблица 2 - Характеристики изображений

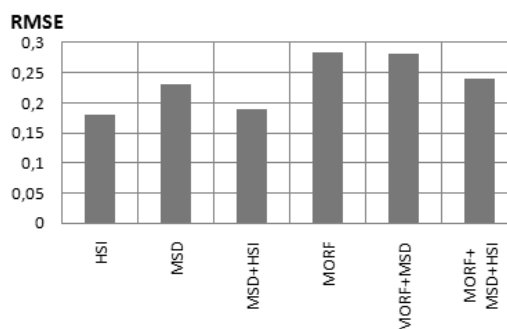
Алгоритм	E	SD	SNR	RMSE
Канал 1	6,57	0,16	-	-
Канал 2	6,10	0,12	-	-
Канал 3	3,77	0,14	-	-
PAN	5,75	0,06	-	-
HSI	7,38	0,20	15,76	0,18
R	7,50	0,29	10,61	0,29
G	5,58	0,10	20,22	0,10
B	7,03	0,16	16,44	0,15
MSD	6,85	0,22	12,75	0,23
MSD+HSI	7,49	0,18	15,03	0,19
R	7,35	0,26	11,02	0,28
G	6,69	0,12	18,42	0,12
B	6,51	0,09	15,67	0,16
MORF	5,72	0,06	8,69	0,28
MORF+MSD	7,25	0,24	10,62	0,28
MORF+MSD+HSI	7,68	0,22	12,46	0,24
R	7,35	0,24	11,28	0,27
G	7,52	0,20	13,34	0,22
B	7,49	0,19	12,74	0,23



a



б



в

Рисунок 2 – Информационная энтропия (а), отношение сигнал-шум (б), среднеквадратическая ошибка (в)

Выводы. Во всех случаях полученные изображения являются более информативными, чем исходные (Канал 1-3). Из графиков видно, что наибольший прирост информативности дает совместное использование методов морфологического анализа (MORF), усиления спектрозональных отличий (multispectral differences – MSD) и цветового кодирования изображений в пространстве HSI. Однако оптимальными шумовыми характеристиками обладает метод усиления спектрозональных отличий с применением цветового кодирования.

Следует отметить, что цветовое кодирование изображений без привлечения методов усиления спектрозональных отличий и морфологического анализа позволяет более наглядно отобразить объекты на сцене, но не дает возможности выделить некоторые характерные особенности объектов.

Указанный способ представления изображений весьма полезен при визуализации представляющих интерес событий (объектов), особенно когда эти события находятся за пределами нашего чувственного восприятия. Результирующее изображение позволяет намного легче отследить свойства наблюдаемых объектов сцены, чем при исследовании каждого из спектрональных изображений по отдельности, а также облегчает дальнейший анализ информации.

Библиографический список

1 Дейвис. Ш.М., Ландгребе Д.А., Филипс Т.Л. и др. Дистанционное зондирование: количественный подход / Под ред. Ф. Свейна и Ш. Дейвис; пер. с англ. – М.: Недра, 1983. – 415 с. – Пер изд. США 1978. – 296 с.

2. Захарова Л.Н., Захарова А.И. и др. Совместный анализ данных оптических и радиолокационных

сенсоров: возможности, ограничения и перспективы // Радиотехника и электроника. – 2011, том 56, № 1, С. 5-19. ISSN 0033-8494.

3. Злобин В.К., Еремеев В.В., Кузнецов А.Е. Обработка изображений в геоинформационных системах: учеб. пособие Рязан. гос. радиотехн. ун-т, Рязань. – 2006, – 264 с. ISBN 5-9699-0008-7.

4. Вильзитер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В. и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: курс лекций и практических занятий. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.

5. Пытьев Ю.П., Чуличков А.И. Методы морфологического анализа изображений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 336 с. ISBN 978-5-9221-1225-3.

6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. ISBN 5-98836-028-8.

7. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.