

**Ш. С. Фахми**, д-р техн. наук, проф., e-mail: Shakeebf@mail.ru,  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
им. В. И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ",  
Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук,  
**А. Г. Давидчук**, канд. техн. наук, доц., e-mail: davag@bk.ru,  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
им. В. И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ",  
**Е. В. Костикова**, канд. тех. наук, доц., e-mail: kostikova.ev@mail.ru,  
Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова

### Новые алгоритмы сжатия без потерь транспортных сюжетов

*Обсуждаются актуальность развития алгоритмов сжатия и передачи изображений без потерь и применение их для создания транспортных видеоинформационных систем наблюдения. Приведен краткий обзор методов сжатия изображений без потерь. Предлагается новый подход к сжатию транспортных сюжетов на основе пирамидально-рекурсивного метода разбиения исходного изображения на полигоны различной формы и размера. Рассмотрены три новых алгоритма реализации предложенного метода: а) разбиение на квадраты (либо на прямоугольники); б) деление на треугольники; в) итерационный алгоритм триангуляции Делоне (ТД). Приведен анализ результатов тестирования различных известных алгоритмов сжатия без потерь (кодирование длин серии, Хаффмана и арифметическое) и сравнение их с предложенными алгоритмами. Показано, что предложенные алгоритмы эффективнее с точки зрения степени сжатия (в 2...3 раза) по сравнению с известными при этом вычислительная сложность увеличивается более чем в 3...4 раза.*

**Ключевые слова:** сжатие, восстановление, степень сжатия, сложность алгоритмов, полигонально-рекурсивный метод

#### Введение

Существует множество разнообразных методов сжатия изображений, и каждый из них характеризуется собственным механизмом сжатия для достижения наименьшей средней длины кода, времени кодирования и декодирования и при этом обеспечивает большой коэффициент сжатия и сохранение приемлемого качества восстановленных изображений.

Алгоритмы сжатия изображений широко применяются в медицинской визуализации, компьютерной связи, военной связи с помощью радаров, в телеконференциях, магнитно-резонансной томографии, широкоэшелетельном телевидении и спутниковых изображениях, описанных в работе [1]. Некоторые приложения требуют высококачественной визуальной информации, а другие требуют меньшего качества [2, 3]. Следовательно, алгоритмы сжатия изображений с точки зрения качества восстановления визу-

альных данных делятся на два типа: без потерь и с потерями. Другими словами, в режиме без потерь все первичные данные восстанавливаются из кодированного набора данных с точностью до нулевого значения ошибки, тогда как методы с потерями частично извлекают данные, устраняя избыточную информацию [4].

Методы сжатия без потерь в основном используются в факсимильных передачах битональных изображений, ZIP-файлов, цифровых медицинских изображений, Интернет-телефонии и передаче высококачественной видеoinформации [5].

#### 1. Постановка задачи исследования

Глобальный мобильный трафик в 2019 г. вырос на 30,6 % относительно 2017 г., а в настольном сегменте он упал на 3,3 %, в то время как трафик мобильных данных вырос в 18 раз за по-

следние 5 лет [6]. Мобильный трафик изображений и видеоконтента включает в себя большую часть общих мобильных передаваемых данных. Facebook, Instagram, Netflix и YouTube ежедневно генерируют, хранят и передают огромное количество визуального контента. В то же время пользователи все чаще ожидают более высокого качества визуальных данных, что создает значительные проблемы.

Прием, сжатие и передача изображений транспортных сюжетов (ТС), в частности видеопоток с изображением транспортных средств с различной степенью интенсивности движения, представляется наиболее острой проблемой с точки зрения оперативного реагирования и передачи видеoinформации, полученной из различных камер наблюдения, в реальном времени.

Цифровые изображения представляют собой набор отсчетов, характеризующихся амплитудой (яркостью) и геометрическими пространственными координатами. Пиксели организованы в виде двумерного массива (строк и столбцов), который образует двумерное изображение [7]. Доступность и простота использования цифровых камер приобрела массовый характер благодаря совершенствованию технологий и цифровизации процесса захвата, хранения и передачи изображений. Изображения, полученные цифровыми камерами, могут быть различного формата и объема, и поэтому процесс анализа, хранения или передачи этих изображений всегда был серьезным препятствием для осуществления различных операций обработки в реальном времени. Кроме того, в работе [7] приведен обзор известных методов сжатия без потерь: кодирование длин серии, кодирование по Хаффману, арифметическое кодирование, где отмечено, что лучшее сжатие достигается методом арифметического кодирования. При этом сохраняется первоначальное (или приемлемое) качество восстановленных изображений с учетом ограничений пропускной способности канала.

Таким образом, сжатие без потерь — это технология, используемая для уменьшения избыточности видеoinформации в целях минимизации битовой скорости передачи сжатых визуальных данных при заданной точности восстановления и пропускной способности канала [8].

В данной работе ставится задача достижения более высокого коэффициента сжатия без потерь по сравнению с известными с учетом специфики ТС, заключающейся в следующем (рис. 1, см. третью сторону обложки):

- 1) наличие однородных областей с высокой степенью корреляции, представляющих фон;
- 2) переменная интенсивность движения транспортных средств;
- 3) геометрические (анизотропия) свойства объекта — транспортных средств.

## 2. Краткий обзор методов сжатия без потерь

Методы сжатия изображений делятся на два класса.

### 2.1. Алгоритмы сжатия с потерями

Сжатие с потерями, как указано в названии, приводят к некоторой потере информации в зависимости от заданной степени сжатия и точности восстановленных изображений. При этом заданная точность определяется целью поставленной прикладной задачи с учетом ограничения пропускной способности канала в условиях шума и помех.

Сжатие с потерями чаще всего используется для передачи реалистических сюжетов мультимедийных данных. Существуют следующие основные методы сжатия с потерями:

- а) сжатие с предсказанием [9];
- б) сжатие с преобразованием [5];
- в) фрактальное сжатие [10];
- г) пространственное сжатие [11, 12].

### 2.2. Алгоритмы сжатия без потерь

Сжатие без потерь — это сжатие, при котором после распаковки изображение остается таким же, как исходное изображение. Сжатие данных без потерь, скорее всего, использует статистическую избыточность для более точного преобразования данных без потери информации.

Существуют следующие основные методы кодирования без потерь [7]:

- а) кодирование длин серий (англ. run-length encoding, RLE);
- б) кодирование Хаффмана;
- в) арифметическое кодирование и др.

**Кодирование длин серий (КДС).** Данный метод кодирования является одним из самых простых методов сжатия видеоданных. Принцип RLE заключается в использовании повторяющихся значений яркостей пикселей в исходном изображении.

Алгоритм подсчитывает число последовательных повторений значений яркостей соседних пикселей, и затем исходное изображение

кодируется на основе полученных числа повторов и самих значений следующим образом.

Последовательность повторяющихся значений яркостей пикселей заменяется последовательностью из числа повторов яркости и значения яркости.

Например, строка, состоящая из следующих яркостей "28\_28\_28\_28\_28\_28", требующая для хранения шесть байтов (при условии, что на хранение одного значения отводится один байт), можно заменить строкой "6\_28", состоящей из двух байтов. Очевидно, что этот алгоритм тем эффективнее, чем длиннее серия повторов. Данный способ сжатия изображений является наиболее эффективным для тех видеоданных, где имеется много таких повторов, например, простых графических изображений, линейных рисунков, анимации и т. п. Однако основным недостатком этого алгоритма является его крайне низкая эффективность на последовательностях неповторяющихся яркостей. Например, если рассмотреть последовательность "28\_233\_28\_233\_28\_233\_28\_233" (8 байтов), то после применения алгоритма RLE она превратится в "1\_28 1\_233 1\_28 1\_233 1\_28 1\_233 1\_28 1\_233" (16 байтов).

**Кодирование Хаффмана (КХ).** КХ было предложено доктором Дэвидом А. Хаффманом в 1952 г. и было названо "методом построения минимального избыточного кода". КХ заключается в том, что появление каждой яркости рассматривается оптимальным способом как двоичная строка. Другими словами, идея, положенная в основу КХ, основана на использовании частоты появления символа в последовательности и замене кодов фиксированной длины кодами переменной длины, присвоении более коротких кодовых слов встречающимся с большей частотой символам и уменьшении таким образом общей длины данных. При использовании кодовых слов переменной длины желательно создать префикс-код, избегая необходимости в разделителе для определения границ кодового слова. В этом состоит отличительная особенность кода Хаффмана [13].

КХ — это форма статистического кодирования, которая уменьшает число битов, необходимых для представления строки символов. Алгоритм Хаффмана прост и может быть описан в терминах создания дерева кода Хаффмана. Алгоритм КХ включает следующие этапы:

1. Прием входного списка свободных узлов — значений яркостей пикселей. Каждый узел имеет вес, который может быть равен

либо вероятности, либо числу вхождений узла в сжимаемое сообщение.

2. Выбираются два свободных узла дерева с минимальными значениями весов.

3. Формируется их родитель с их суммарным весом, далее добавляется в список, и два его потомка удаляются из этого списка.

4. Одной дуге, выходящей из родителя, присваивается бит 1, а другой — бит 0.

5. Переход к п. 2. Далее повторяется цикл до тех пор, пока в списке свободных узлов останется только один свободный узел. Он и будет считаться корнем дерева.

Алгоритм, представленный выше, называется полуадаптивным или полустатическим КХ, поскольку он требует знания частот для каждого пикселя изображения. Вместе со сжатым выводом должно быть сохранено дерево Хаффмана с кодами Хаффмана для символов или просто частоты пикселей, которые используются для создания дерева Хаффмана. Эта информация необходима в процессе декодирования и помещается в заголовок сжатого файла.

**Арифметическое кодирование (АК).** АК является мощным инструментом для статического кодирования без потерь и получило наибольшее распространение в течение нескольких лет. В АК вместо кодирования каждого пикселя изображения (символа) по отдельности всей последовательности изображений присваивается одно арифметическое кодовое слово. Определяется кодовое слово из интервала от 0 до 1 (0, 1). Результатом АК является одно число, меньшее 1 и большее или равное 0. Это единственное число может быть уникально декодировано, чтобы создать точный поток требуемых символов, которые вошли в его конструкцию. Для построения выходного числа символов задается множество вероятностей.

### 3. Предлагаемый метод сжатия без потерь

В данной статье предложен новый пирамидально-рекурсивный метод (ПРМ) сжатия на основе пирамидально-рекурсивного разбиения исходного изображения на полигоны различной формы и размера, при этом алгоритм принципиально отличается от известных рассмотренных выше трех методов тем, что применяется векторное квантование. Исходное изображение разбивается на полигоны, и формируется полигональная сетка путем анализа перепадов яркостей соседних точек, а затем осуществляется поиск опорных точек (ОТ) в каждом полигоне для кодирования и передачи по каналу связи.

Для восстановления результирующего изображения используется известный алгоритм триангуляция Делоне (ТД) [14].

**Описание предложенного алгоритма.** В данной статье предлагаются три алгоритма для реализации предложенного метода:

- 1) разбиение на квадраты (либо на прямоугольники);
- 2) деление на треугольники;
- 3) итерационный алгоритм триангуляции Делоне (ТД).

Суть этих трех вариантов алгоритмов ПРМ заключается в следующем. Исходное изображение подвергается разбиению на полигоны в зависимости от степени различия яркостей пикселей (заданного порога по яркости). Процесс разбиения продолжается до тех пор, пока размер полигона не будет равным одному пикселю.

**Разбиение на квадраты или прямоугольники.** На этапе сжатия изображений алгоритм включает следующие основные шаги:

1) разбиение изображения на полигоны (квадраты или прямоугольники) в зависимости от порога отклонения по яркости и формирование неравномерной сетки полигонов ( $N_{Pol}$  — число полигонов);

2) нахождение ОТ в пределах каждого полигона путем выделения границ объектов: ОТ могут быть фиксированные (вершины прямоугольников) либо произвольные и имеют произвольные координаты в пределах полигона. Подробное описание алгоритмов нахождения ОТ можно найти в работе авторов [12, 15];

- 3) формирование динамических массивов ОТ;
- 4) передача по каналу связи.

На этапе восстановления изображений алгоритм включает следующие основные шаги:

- 1) прием сжатых динамических массивов ОТ;
- 2) выполнение ТД [14];
- 3) аппроксимация яркостей пикселей в пределах каждого треугольника;
- 4) получение результирующего изображения в соответствии с заданной минимальной ошибкой, обеспечивающей восстановление без потерь.

**Алгоритм разбиения на треугольники.** На этапе сжатия изображений алгоритм включает следующие основные шаги (рис. 2, см. третью сторону обложки):

- 1) разбиение изображения на треугольники в зависимости от заданного порога отклонения по яркости. Для достижения сжатия без потерь необходимо задать порог равным единице;
- 2) в качестве ОТ принимаются вершины треугольников, полученных в результате разбиения;

3) формирование динамических массивов ОТ, содержащих информацию о структуре пирамиды и координатах ОТ каждого треугольника;

- 4) передача по каналу связи.

На этапе восстановления изображений алгоритм включает следующие основные шаги:

- 1) прием сжатых динамических массивов ОТ;
- 2) аппроксимация яркостей пикселей в пределах каждого треугольника;
- 4) получение результирующего изображения в соответствии с заданной минимальной ошибкой, обеспечивающей восстановление без потерь.

**Итерационный алгоритм ТД.** Данный алгоритм является наиболее сложным с точки зрения вычислительных затрат, но с точки зрения коэффициента сжатия является наиболее эффективным и заключается в следующем.

Вначале угловые точки исходного изображения принимаются в качестве ОТ для построения первых двух начальных треугольников. Далее построение ТД в целом происходит по принципу добавления по одной точке в уже имеющуюся триангуляцию до тех пор, пока не будет получена окончательная треугольная сетка, в результате закраски которой получаем результирующее изображение с заданной точностью (рис. 3, см. третью сторону обложки).

Важно отметить, что поиск ОТ выполняется с применением градиента и фиксации границ объектов итерационным способом с помощью различных способов обхода соседних пикселей [12, 15].

В качестве основы для построения триангуляционной сетки используется известный алгоритм ТД. Следует отметить, что триангуляция набора точек будет ТД, если описанная окружность для каждого треугольника будет свободна от точек, т. е. внутри нее не будет больше ни одной точки из набора. Если внутрь любой области, ограниченной окружностью, попала одна точка другого треугольника, то эта триангуляция не относится к типу Делоне, и следовательно, необходимо флипповать (флипп — это замена одной диагонали на другую).

Преимущество всех алгоритмов АПП заключается в следующем:

- 1) сохранение семантических свойств изображений в виде множества ОТ;
- 2) возможность постепенного восстановления во время передачи сжатых файлов, что позволяет сохранить целостность при возникновении сбоев или обрыва передачи по каналам связи;
- 3) выбор того или иного алгоритма из предложенных в зависимости от цели прикладной задачи.

#### 4. Сравнительный анализ алгоритмов сжатия без потерь

Исследование алгоритмов сжатия без потерь проводилось в Институте проблем транспорта РАН для изображений ТС различных форматов и с разными разрешениями с использованием VC++ (рис. 4). Для оценки эффективности алгоритмов были вычислены следующие показатели:

1) степень сжатия — это отношение объема исходного изображения в байтах к объему сжатого изображения;

2) сложность алгоритмов. Сложность алгоритма определяется числом арифметических

операций на пиксель (т.е. сложение, вычитание, умножение и деление), затрачиваемых на выполнение кодирования и декодирования изображения.

Изображения были выбраны из компактной представительной выборки транспортных сюжетов, полученной в результате классификации транспортных сюжетов [16] по мере неопределенности ( $M$ ) и мере широкополосности ( $W$ ), что позволяло разделить изображения на девять классов, из которых были выбраны три изображения:

1) изображение № 1 — изображение с малой широкополосностью и большой неопределенностью;

2) изображение № 2 — изображение с средней широкополосностью и средней неопределенностью;

3) изображение № 3 — изображение с большой широкополосностью и большой мерой неопределенности.

Согласно проведенному сравнительному анализу между алгоритмами сжатия изображений ТС можно сделать следующие выводы (см. таблицу):

1. КДС генерирует выходные данные, которые в два раза больше, чем размер входных данных. Это связано с меньшим числом значений яркостей в исходном файле. Другими словами, кодирование эффективно только в том случае, если существуют последовательности из 4 или более повторяющихся символов, поскольку используются три символа, и поэтому кодирование двух повторяющихся символов приведет даже к увеличению размера файла. Если в исходном файле отсутствуют повторения, то его размер, как минимум, удвоится за счет добавления управляющего символа и информации о числе повторений.

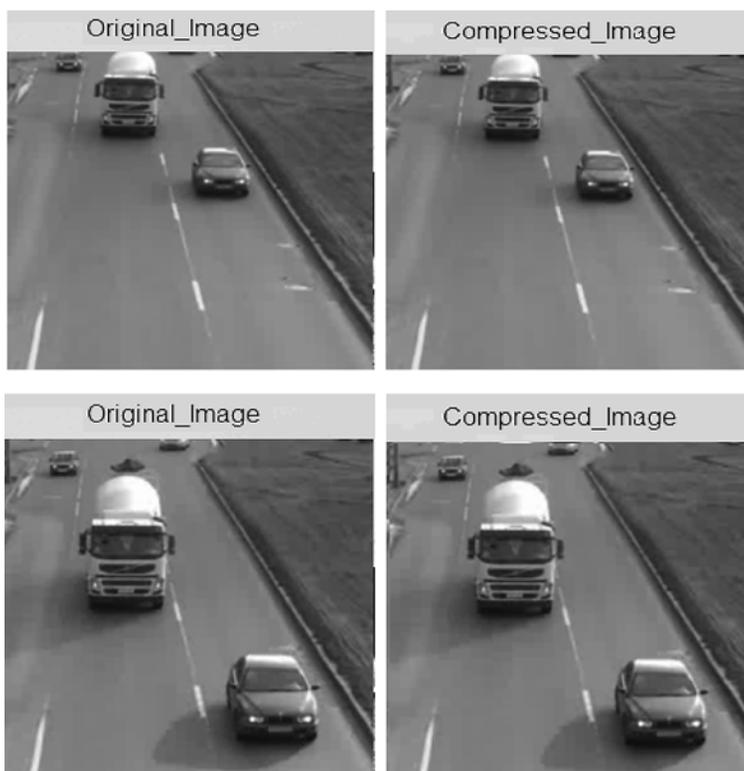


Рис. 4. Оригинальные (слева) и сжатые (справа) изображения

#### Результаты сравнения алгоритмов сжатия без потерь

Метод сжатия	Изображение № 1	Изображение № 2	Изображение № 3	Область применения
	Степень сжатия*/Сложность* (Операции/ пиксель)			
КДС	1,04/7,4	1,02/6,3	1,02/6,4	Используется в основном для часто встречающихся последовательностей пикселей
КХ	1,57/7,3	1,14/7,6	1,109/7,5	JPEG
АК	1,78/11,3	1,5/10,3	1,58/9,4	JPEG, TIFF и GIF файлы
АКП	1,8/13,2	1,6/11,6	1,37/11,4	Транспортные видеосистемы
Итерационный алгоритм ТД	2,19/24,1	18,6	1,93/15,3	Транспортные видеосистемы
Предложенные алгоритмы	1,83/14,2	1,73/12,9	1,64/13,7	Системы интеллектуального наблюдения

2. КХ по сравнению с АК использует статическую таблицу для всего процесса кодирования, поэтому он быстрее. Однако он не позволяет достичь нужной степени сжатия. Напротив, АК может генерировать высокую степень сжатия, но его скорость сжатия медленнее.

3. ПРМ является наиболее эффективным способом кодирования без потерь по сравнению со всеми алгоритмами по двум причинам:

- имеет улучшенный показатель степени сжатия при сохранении качества изображений;
- имеет возможность управления точностью восстановления сжатых изображений путем задания соответствующего порога яркости (коэффициента корреляции).

Однако преимущество предлагаемого метода сжатия без потерь достигается ценой трехкратного и более увеличения сложности кодера.

4. Алгоритм на основе адаптивного косинусного преобразования (АКП) [5] является наиболее оптимальным с точки зрения вычислительных затрат, в то время как итерационный триангуляционный алгоритм позволяет достичь максимального сжатия при минимальной ошибке восстановления результирующих изображений.

### Заключение

Сжатие изображений является важной областью исследований в связи с широким спектром их применения. В этой статье были исследованы и протестированы различные методы сжатия без потерь изображений ТС. Показана эффективность алгоритмов сжатия: кодирование по ОТ без перехода в спектральную область и адаптивное сжатие с переходом в спектральную область с применением косинусного преобразования сигнала изображений.

Проведено сравнение предлагаемых методов с известными методами сжатия без потерь путем оценки степени сжатия и сложности алгоритмов при сохранении качества восстановленных изображений.

Показано, что предлагаемые методы обеспечивают большую степень сжатия ценой увеличения вычислительной сложности, выраженной числом операций на пиксель.

### Список литературы

1. Ding J., Furgeson J. C., Sha E. H. Application specific image compression for virtual conferencing // Proceedings of the

International Conference on Information Technology: Coding and Computing (Cat. No. PR00540), Las Vegas, NV, USA, 27–29 March 2000. P. 48–53. doi:10.1109/ITCC.2000.844182.

2. Bhavani S., Thanushkodi K. A survey on coding algorithms in medical image compression // Int. J. Comput. Sci. Eng. 2010. N. 2. P. 1429–1434.

3. Kharate G. K., Patil V. H. Color Image Compression Based on Wavelet Packet Best Tree. arXiv 2010, arXiv:1004.3276.

4. Haque M. R., Ahmed F. Image Data Compression with JPEG and JPEG2000. URL: [http://eeweb.poly.edu/~yao/EE3414\\_S03/Projects/Loginova\\_Zhan\\_ImageCompressing\\_Rep.pdf](http://eeweb.poly.edu/~yao/EE3414_S03/Projects/Loginova_Zhan_ImageCompressing_Rep.pdf) (accessed on 1 October 2019).

5. Фахми Ш. С., Рыжов Н. Г., Хасан Я. А., Калинина Е. С. Адаптивный алгоритм кодирования и декодирования изображений в транспортных системах наблюдения // Информационные технологии. 2019. Т. 25. № 8. С. 475–481.

6. URL: <https://www.web-canape.ru/business/vsya-statistika-interneta-na-2019-god-v-mire-i-v-rossii/>

7. Chudasama D., Parmar K., Patel D., Dangarwala K. J., Shah S. Survey of Image Compression Method Lossless Approach // International Journal of Engineering Research & Technology, 2015. Vol. 4, Iss. 03.

8. Фахми Ш. С., Селиверстов Я. А., Шаталова Н. В., Крюкова М. С., Хасан Я. А., Исмаил А. М. М., Ковалев К. Е. Методы, алгоритмы кодирования и классификация изображений морских судов // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 3-1 (45). С. 145–155.

9. Xiangxu Yu, Christos G Bampis, Praful Gupta, Alan Bovik. Predicting the Quality of Images Compressed After Distortion in Two Steps // June 2019, IEEE Transactions on Image Processing PP(99):1-1. DOI: 10.1109/TIP.2019.2922850.

10. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. М.: Триумф, 2003. С. 182–186.

11. Фахми Ш. С. Полигональная рекурсивная обработка видеoinформации // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2008. № 1. С. 42–51.

12. Бобровский А. И., Еид М. М., Костикова Е. В., Салем А., Алмахрук М. М., Фахми Ш. С. Выделение и хранение опорных точек изображений на основе динамических рекурсивных структур // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2016. № 3. С. 99–107.

13. Bandyopadhyay S. K., Paul T. U., Raychoudhury A. Image Compression using Approximate Matching and Run Length // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2011. Vol. 2, N. 6.

14. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. 128 с.

15. Фахми Ш. С., Костикова Е. В., Крюкова М. С., Селиверстов С. А. Видеосистема обнаружения морских судов по триангуляционным решеткам // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 3-1 (41). С. 143–155.

16. Фахми Ш. С., Селиверстов Я. А., Шаталова Н. В., Крюкова М. С., Хасан Я. А., Исмаил А. М. М., Ковалев К. Е. Методы, алгоритмы кодирования и классификация изображений морских судов // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 3-1 (45). С. 145–155.

**S. Sh. Fahmi**, Professor, e-mail: shakeebf@mail.ru,  
St. Petersburg State Electrotechnical University V. I. Ulyanov (Lenin) "LETI",  
Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences,  
**A. G. Davidchuk**, Assistant Professor, e-mail: davag@bk.ru,  
St. Petersburg State Electrotechnical University V. I. Ulyanov (Lenin) "LETI"  
**E. V. Kostikova**, Assistant Professor, e-mail: kostikova.ev@mail.ru,  
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

## New Lossless Compression Algorithms for Transport Images

*The article considers the relevance of the development of lossless image compression and transmission algorithms and their application for creating transport video surveillance systems. A brief overview of lossless transport image compression methods is provided. We propose a method for compressing transport plots based on the pyramid-recursive method of splitting the source image into polygons of various shapes and sizes. We consider two new algorithms for implementing the proposed method that are fundamentally different from each other: with a transition to the spectral region and without a transition to the spectral region of the original signal to ensure lossless compression. The results of testing various well-known lossless compression algorithms are analyzed: series length, Huffman, and arithmetic encoding, and compared with the proposed algorithms. It is shown that the proposed algorithms are more efficient in terms of compression ratio (2–3 times) compared to the known ones, while the computational complexity increases approximately by more than 3–4 times.*

**Keywords:** Compression, recovery, compression ratio, algorithm complexity, polygonal recursive method

DOI: 10.17587/it.27.299-305

### References

1. **Ding J., Furgeson J. C., Sha E. H.** Application specific image compression for virtual conferencing, *In Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing* (Cat. No. PR00540), Las Vegas, NV, USA, 27–29 March 2000, pp. 48–53, doi:10.1109/ITCC.2000.844182.
2. **Bhavani S., Thanushkodi K.** A survey on coding algorithms in medical image compression, *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, 2010, no. 2, pp. 1429–1434.
3. **Kharate G. K., Patil V. H.** Color Image Compression Based on Wavelet Packet Best Tree. arXiv 2010, arXiv:1004.3276.
4. **Haque M. R., Ahmed F.** Image Data Compression with JPEG and JPEG2000, available at: [http://eeweb.poly.edu/~yao/EE3414\\_S03/Projects/Loginova\\_Zhan\\_ImageCompressing\\_Rep.pdf](http://eeweb.poly.edu/~yao/EE3414_S03/Projects/Loginova_Zhan_ImageCompressing_Rep.pdf) (accessed on 1 October 2019).
5. **Fahmi sh. S., Ryzhov N. G., Hasan Ya. A., Kalinina E. S.** Adaptive image encoding and decoding algorithm in transport surveillance systems, *Informacionnye Tekhnologii*, 2019, vol. 25, no. 8, pp. 475–481.
6. **Available** at: <https://www.web-canape.ru/business/vsya-statistika-interneta-na-2019-god-v-mire-i-v-rossii/>
7. **Chudasama D., Parmar K., Patel D., Dangarwala K. J., Shah S.** Survey of Lossless Image Compression Method Approach, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2015, vol. 4, iss. 03.
8. **Fahmy S. S., Seliverstov Y. A., Shatalova N. In., Kryukova M. S., Hassan Y. A., Ismail A. M., Kovalev K. E.** Techniques, coding algorithms and image classification of marine vessels, *Marine Intelligent Technologies*, 2019, no. 3-1 (45), pp. 145–155.
9. **Xiangxu Yu, Christos G Bampis, Praful Gupta, Alan Bovik.** Predicting the Quality of Compressed Images After Distortion in Two Steps, *June 2019, IEEE Transactions on Image Processing* PP(99):1-1, doi: 10.1109/TIP.2019.2922850.
10. **Walsted S.** Fractals and wavelets for image compression in action, Moscow, 2003, pp. 182–186.
11. **Fahmy S. S.** Polygon recursive processing of video information, *Questions of radio electronics. Series: Technique of television*, 2008, no. 1, pp. 42–51.
12. **Bobrovsky A. I., Eid M. M., Kostikova E. V., Salem A., Almahruk M. M., Fahmi Sh. S.** Selection and storage of image reference points based on dynamic recursive structures, *Questions of Radio Electronics. Series: Technique of Television*, 2016, no. 3, pp. 99–107.
13. **Bandyopadhyay S. K., Paul T. U., Raychoudhury A.** Image Compression using Approximate Matching and Run Length, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2011, vol. 2, no. 6.
14. **Skvortsov A. V.** Delaunay Triangulation and its application, Tomsk, Publishing house Vol. UN-TA, 2002, 128 p.
15. **Fahmi Sh. S., Kostikova E. V., Kryukova M. S., Seliverstov S. A.** Video system for detecting sea vessels using triangulation grids, *Marine Intelligent Technologies*, 2018, no. 3-1 (41), pp. 143–155.
16. **Fahmy S. S., Seliverstov Y. A., Shatalova N. In., Kryukova M. S., Hassan Y. A., Ismail A. M., Kovalev K. E.** Techniques, coding algorithms and image classification of marine vessels, *Marine Intelligent Technologies*, 2019, no. 3-1 (45), pp. 145–155.

Рисунки к статье Ш. С. Фахми, А. Г. Давидчука, Е. В. Костиковой  
«НОВЫЕ АЛГОРИТМЫ СЖАТИЯ БЕЗ ПОТЕРЬ ТРАНСПОРТНЫХ СЮЖЕТОВ»



Рис. 1. Пример видеопотока ТС с камеры наблюдения на мосту

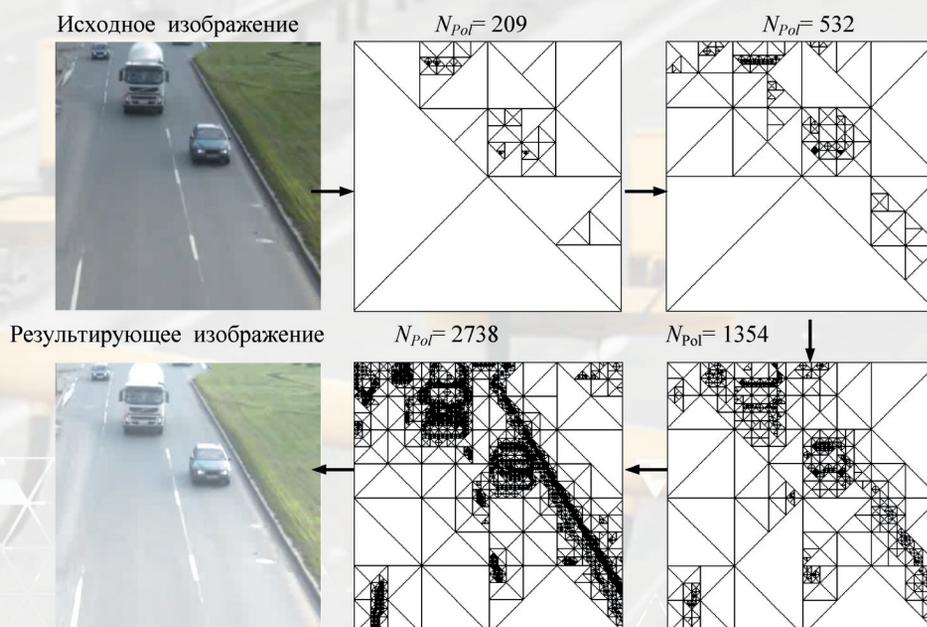


Рис. 2. Процесс сжатия и восстановления изображения алгоритмом деления на треугольники

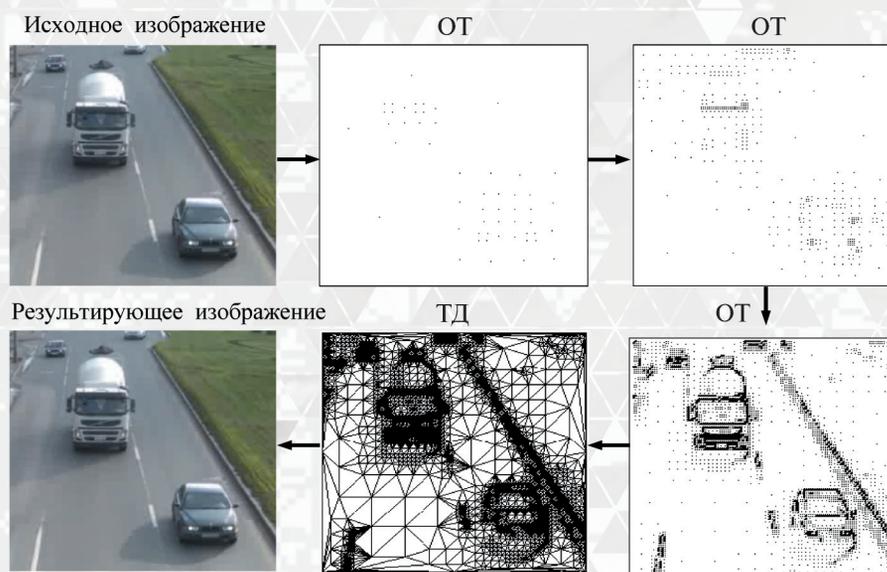


Рис. 3. Итерационный алгоритм ТД восстановления по ОТ