

СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

УДК 567.456

В.В. Баранник,

доктор технических наук, профессор

Ю.В. Стасев,

доктор технических наук, профессор

С.В. Туренко

ОБОСНОВАНИЕ ПРОБЛЕМНЫХ НЕДОСТАТКОВ ТЕХНОЛОГИИ КОМПОНЕНТНОГО КОДИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Проводится обоснование проблемных недостатков существующих технологий компрессии на JPEG платформе. Показывается необходимость создания технологии кодирования трансформант, для которой будет обеспечено снижение битовой скорости сжатого потока видеоданных в условиях отсутствия значимых искажений для визуального восприятия изображений и проведения обработки в реальном времени, в независимости от степени насыщенности изображений. Излагается необходимость формирования подхода в направлении устранения проблемных недостатков относительно обработки DC-компонент и кодирования вектора двухкомпонентных кортежей.

Ключевые слова: *видеоинформационный сервис, компонентное кодирование.*

Проводиться обґрунтування проблемних недоліків існуючих технологій компресії на JPEG платформі. Показується необхідність створення технології кодування трансформант, для якої буде забезпечено зниження бітової швидкості стислого потоку відеоданих в умовах відсутності значущих спотворень для візуального сприйняття зображень і проведення обробки в реальному часі, незалежно від ступеня насиченості зображень. Висловлюється необхідність формування підходу за напрямом усунення проблемних недоліків відносно: обробки DC-компонент і кодування вектора двокомпонентних кортежів.

Ключові слова: *сервіс відеоінформації, компонентне кодування.*

Problematic shortfalls of the existing technologies of compression on JPEG platform are substantiated. Need for an encryption technology of transformants is demonstrated. The necessity of an approach towards the removal of problematic weaknesses regarding the processing of DC-component and two-component vector encoding tuples is grounded.

Keywords: *video information service, component coding.*

Введение

В последние годы резко возрастает спрос на получение видеoinформационного сервиса с использованием беспроводных инфокоммуникационных технологий, в том числе в интересах Министерства внутренних дел [1; 2]. Однако заданный уровень таких важных характеристик телекоммуникационных систем в рамках предоставления видеoinформационных услуг как задержка узла доступа, задержка от источника до получателя; вероятность потерь пакетов на узле доступа, загрузка узла доступа, не обеспечиваются. Это обусловлено отставанием темпов роста пропускной способности беспроводных средств телекоммуникаций (СТК) относительно темпов роста интенсивности видеотрафика [2; 3].

Сжатие видеоданных позволяет сократить время передачи данных в сети, уменьшить интенсивность поступления пакетов в сеть. В то же время существующие технологии компрессии изображений не обеспечивают требуемого уровня битовой скорости сжатого видеопотока для заданного уровня визуального качества восприятия видеокадров [3; 4]. Следовательно, *цель исследований* заключается в обосновании проблемных недостатков и направления для разработки технологии кодирования изображений для повышения качества предоставления услуг с использованием беспроводных СТК.

Основной материал

В основе наиболее часто используемых на практике кодеков для обработки подвижных и статических видеокадров лежит технология сжатия на базе JPEG платформы. Поэтому в качестве базовой системы сжатия *предлагается* использовать JPEG ориентированные технологии.

Исходя из особенностей реализации кодеков на JPEG платформе, возможен ряд направлений для повышения степени сжатия (снижения битовой скорости) видеоданных [1–4]. Здесь требуется учитывать, что наибольшее количество избыточности в изображениях обусловлено наличием психовизуальных особенностей зрительного аппарата. Особенности зрительной системы человека состоят в ограниченной чувствительности относительно восприятия видеосцены, а именно в области цветового отображения по сравнению с яркостным, и в области высоких частот по сравнению с областью низких частот.

Формирование частотно-спектрального описания сегмента осуществляется, как правило, по технологии, с использованием дискретного косинусного преобразования (ДКП) и Wavelet-системы. Вариация технологий преобразования сегментов объясняется отсутствием универсального преобразования, удовлетворяющего различным требованиям. Исключение психовизуальной избыточности для частотно-спектрального описания сегментов проводится дифференцированно, в зависимости от составляющей цветоразностной модели (принятого цветового формата). В современных кодеках JPEG платформы для реализации подходов относительно устранения психовизуальной избыточности используются подходы, базирующиеся на использовании матриц квантизации (МК). Такие матрицы используются для коррекции значений компонент трансформант в соответствии с их позициями в трансформанте и уровнем вносимых искажений.

Как показывают эксперименты, этап коррекции значений компонент частотно-спектрального описания сегментов изображений позволяет повысить степень сжатия до 90 % относительно общего уровня снижения объема, в

зависимости от значения фактора потерь качества (ФПК). В то же время существуют пределы относительно увеличения значения ФПК, после которых наступают непредсказуемые и неконтролируемые потери информации. В соответствии с метрикой δ пикового отношения сигнал/шум, распределение критических границ сведено в табл. 1.

Таблиця 1.

Распределение критических границ по метрике ПОСШ

Степень насыщенности изображений	Слабо-насыщенные	Средне-насыщенные	Сильно-насыщенные
Величина ПОСШ, дБ	25	30	35

Как отражено в табл. 1, чем выше концентрация мелких объектов на общем фоне изображения, тем выше порог допустимого уровня по метрике ПОМШ. Значение ПОСШ 25дБ для слабонасыщенных и для сильнонасыщенных изображений приводит к значительным различиям в субъективной оценке качества его восприятия зрительной системой. Проблематичность выбора меры количества сокращаемой психовизуальной избыточности подчеркивается тем, что не существует математического аппарата, позволяющего адекватно оценивать связь между уровнем вносимых искажений и уровнем потери значимой информации. Все это дополнительно усложняется тем, что отсутствует априорная информация о классе обрабатываемых изображений. В одном видеопотоке могут содержаться кадры с различной степенью насыщенности мелкими деталями. Как следует из табл. 1, дополнительное сокращение психовизуальной избыточности, когда величина ПОСШ находится на уровне 30–35 дБ, является в процессе обработки реалистических и смешанных изображений недопустимым для технологий компрессии с контролируемым внесением искажений.

Отсюда проистекают такие проблемные недостатки, как:

1) во-первых, это необходимость использовать обратные связи в процессе обработки на этапе определения уровня вносимых искажений. Но это связано с увеличением задержки на обработку;

2) во-вторых, это резкое сокращение количества сокращаемой психовизуальной избыточности, особенно в случае обработки сильнонасыщенных реалистических и смешанных изображений. Как результат, падение потенциала относительно обеспечения требуемого уровня сокращения объемов видеоданных.

Второй блок процесса сокращения избыточности относится к этапам обработки квантизированной трансформанты и непосредственного формирования кодовых конструкций сжатого представления. Для таких этапов проводится выявление и сокращение структурной и статистической избыточности. Количество такой избыточности, которое сокращается в процессе кодирования квантизированных трансформант в зависимости от степени насыщенности изображений, изменяется в пределах от 10 до 50% от общего уровня сокращаемого объема видеоданных.

Для кодирования трансформант технологий JPEG платформы используются две базовых стратегии, различающиеся структурными подходами относительно

рассмотрения трансформанты. Первая стратегия базируется на обработке трансформанты в компонентном описании. Вторая стратегия осуществляет кодирование трансформанты для битового описания.

Преимущество обработки трансформанты для компонентного описания относительно битового представления состоит в следующем:

1. Сокращается задержка на выявление закономерностей и кодирование данных.

2. Компонентная структура обладает большей интегрированностью относительно битовой структуры, а, следовательно, наличием большего количества потенциально устранимой избыточности.

Стратегия кодирования квантизированной трансформанты для компонентного описания строится с учетом таких свойств, как: концентрация основной энергии исходного сигнала в ограниченном количестве низкочастотных компонент трансформанты; выделение области высокочастотных компонент, оказывающих менее значимое влияние на визуальное восприятие изображений; появление компонент трансформанты с нулевыми значениями.

Такие свойства предопределили развитие базовых стратегий кодирования компонентного представления трансформанты. Здесь на *первом* этапе осуществляется выделение длин l_{α} цепочек, состоящих из компонент трансформанты, имеющих после квантизации нулевые значения. В результате на *втором* этапе обработки формируются двухкомпонентные кортежи. Двухкомпонентный кортеж $\{l_{\alpha}; c_{\alpha}\}$ содержит в себе длину l_{α} , предшествующей значимой компоненте c_{α} цепочки компонент с нулевыми значениями.

Значение DC-компоненты в режиме контролируемых потерь качества отличается от нулевого. Поэтому она исключается из схемы формирования кортежей. При этом DC-компонента несет наибольшую информацию о сегменте изображения. Это предопределяет *третий* этап обработки. Компоненты DC могут кодироваться с использованием следующих способов:

- 1) назначение поэлементных кодов с использованием кодовых таблиц в зависимости от диапазона DC-компоненты;
- 2) проведение предварительного дифференциального представления между DC-компонентами соседних трансформант с последующим кодированием по технологии LZW;
- 3) равномерное кодирование DC-компоненты с предварительной ее квантизацией.

Данные способы имеют следующие недостатки:

- если значение DC-компоненты велико, то таблица кодов по диапазону будет увеличивать длину выходного кода;
- снижение значения DC-компоненты возможно за счет ее квантизации, но такой подход неминуемо приведет к потере значительной информации;
- использование LZW технологии позволит, в лучшем случае, уменьшить количество бит на представление DC-компоненты не более, чем на 5–7 %. Это обусловлено тем, что даже для когерентных изображений значения DC-компонент соседних трансформант будут иметь различные значения. В итоге, выходной код будет сдерживать кодовые слова отдельных DC-компонент.

Рассмотрим обработку двухкомпонентных кортежей. Между компонентами кортежей существует взаимосвязь. Во-первых, это обусловлено позициями

значимых компонент в трансформанте. Отсюда для значимых компонент, имеющих наибольшие значения, будет соответствовать более короткая длина цепочки нулевых компонент. Во-вторых, для значимых компонент, в связи с процессами трансформирования и квантизации, будет характерен неравномерный закон распределения значений. Наибольшую вероятность появления будут иметь компоненты с меньшими значениями. Такие свойства определяют *пятый* этап обработки трансформанты, состоящий в построении кодовой конструкции для вектора двухкомпонентных кортежей. Здесь технологии кодирования разделяются на два подхода:

1. Для первого подхода организуется динамическое статическое кодирование, где используется контекстное моделирование. Такой подход позволяет снизить количество бит, затрачиваемых на информационную составляющую. Но в то же время, требуются дополнительные битовые затраты на представление служебной составляющей, содержащей информацию о вероятностях распределения компонент. Кроме того, недостаток такого подхода заключается в увеличении временных задержек на обработку, связанных с пересчетом вероятностей появления компонент.

2. Второй подход связан со статистическим кодированием с фиксированными таблицами (статическая реализация статистического кодека). Это позволяет сократить задержку на обработку и битовые затраты на служебную составляющую. Но, с другой стороны, снижается адаптированность статистической модели к изменяющимся характеристикам трансформант. Это приводит к увеличению длины кода информационной составляющей кодовой конструкции.

Общими проблемными недостатками обеих стратегий, снижающих возможность относительно уменьшения битовой скорости, являются:

1) выравнивание статистических характеристик между трансформантами и сокращение длины вектора двухкомпонентных кортежей, т.е. увеличение длин цепочек нулей достигается за счет увеличения фактора потери качества;

2) в третьих, это то, что даже если удастся выявить критическую границу относительно фактора потери качества, то для существующих технологий проявляется эффект насыщения. Такой эффект связан с тем, что наличие всех нулевых значений для высокочастотных компонент трансформант уже не обеспечивает дальнейшего роста степени сжатия. Связано это с недостаточной проработкой теоретической и практической базы в области кодирования низкочастотных компонент;

3) существует обратно пропорциональная зависимость между снижением битовых затрат на информационную часть кодовой конструкции и ростом битовых затрат на служебную составляющую, задержки на обработку. На данный момент разработаны технологии контекстного моделирования, позволяющие строить достоверные статистические модели, но, с одной стороны, это сопровождается увеличением задержек на обработку, а, с другой стороны, дальнейшее совершенствование моделей не приводит к снижению битовой скорости более, чем на 2–3 %. Это вызвано следующими причинами:

– в результате декорреляции на этапе трансформирования снизилась статистическая зависимость. Это приводит к тому, что энтропия оценивается не для источника Маркова, а для источника Бернулли. Следовательно, сокращаются потенциальные возможности для обеспечения степени сжатия данных;

– для небольших длин цепочек нулевых компонент характерно равномерное распределение отдельных элементов. Равномерное распределение также характерно и для значимых компонент трансформанты.

Поэтому повышение сложности статистической модели не приведет к снижению битовой скорости сжатой трансформанты. Так, например, избыточность статистических кодов относительно энтропии Марковского источника не превышает в среднем 10–20 %. Наоборот, попытка выявить новые статистические закономерности приведет к росту времени обработки.

В другом направлении в случае выбора локально-фиксированной модели оценки статистических характеристик трансформант (значимых компонент и длин цепочек нулевых компонент). Это позволит сократить количество передаваемых на приемную сторону данных о законе распределения и снизить время обработки в результате отсутствия этапа предварительной оценки статистических характеристик. Однако нарушение статистической модели приводит к тому, что часто встречаемым данным будут присваиваться более длинные кодовые комбинации, что, в итоге, приведет к росту информационной части кода, и как результат к повышению битовой скорости сжатого потока.

4) в зависимости от используемого метода статистического кодирования, а именно поэлементного кодирования методом Хаффмана или блочного кодирования на основе арифметического кода приходится дополнительно увеличивать длину кодовых комбинаций. В первом случае за счет реализации свойства префиксности, а во втором случае в результате использования разделяющих маркеров между арифметическими кодовыми словами соседних трансформант. Такой рост дополнительных битовых затрат информационной части кода объясняется неравномерностью кодовых конструкций статистических методов;

5) низкая помехоустойчивость кодовых конструкций, обусловленная наличием лавинного эффекта распространения ошибок канала связи в результате двухкаскадного усиления. На первом каскаде происходит размножение ошибок, обусловленное нарушением условий неравномерности, а на втором каскаде такой процесс дополнительно усиливается за счет изменения длин цепочек нулевых компонент.

Отсюда следует, что технология статистического кодирования компонентного представления трансформанты может обеспечить снижение битовой скорости ценой потери информации в изображениях и повышения времени их обработки. В противном случае, степень сжатия в режиме регулируемых потерь качества будет в значительной степени зависеть от степени насыщенности изображения мелкими деталями. Поэтому не удастся обеспечить сокращение битовой скорости в режиме, когда пиковое отношение сигнал/шум находится на уровне, превышающем 35 дБ.

Значит, существующие технологии компрессии изображений на базе JPEG-платформы не обеспечивают требуемой битовой скорости сжатых видеопотоков для заданного уровня визуального качества восприятия изображений после декомпрессии.

Выводы

1. Обоснованы проблемные недостатки существующих технологий компрессии на JPEG платформе.

2. Показана необходимость создания технологии кодирования трансформант, для которой будет обеспечено снижение битовой скорости сжатого потока видеоданных в условиях отсутствия значимых искажений для визуального восприятия изображений и проведения обработки в реальном времени в независимости от степени насыщенности изображений. Технологию необходимо формировать в направлении устранения проблемных недостатков относительно: обработки ДС-компонент; кодирования вектора двухкомпонентных кортежей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : Учебник для вузов. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб. : Питер, 2006. – 958 с.
2. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. *Баранник В.В.* Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. – Х. : ХУПС, 2009. – 252 с.
4. *Баранник В.В.* Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков – Х. : ХУПС, 2010. – 212 с.

Отримано 15.11.2013.