

УДК 621.327:681.5

**А.А. Леках,  
Е.Л. Лиманская**

## ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ ОБЪЕКТИВНОГО КОНТРОЛЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*В статье проводится анализ известных методов компактного представления видеоизображений. Выявляются их недостатки, которые влияют на то, что существующие технологии компрессии не удовлетворяют современным требованиям передачи видеoinформации в системе объективного контроля на железнодорожном транспорте. Обосновывается необходимость разработки информационной технологии сжатия изображений, которые содержат динамические объекты стационарного фона.*

**Ключевые слова:** метод сжатия, внутрикадровая и межкадровая избыточности, стационарный фон, динамические объекты.

*У статті проводиться аналіз відомих методів компактного представлення відеозображень. Виявляються їх недоліки, які впливають на те, що існуючі технології компресії не відповідають сучасним вимогам передачі відеоінформації в системі об'єктивного контролю на залізничному транспорті. Обґрунтовується необхідність розробки інформаційної технології стиснення зображень, які містять динамічні об'єкти стаціонарного фону.*

**Ключові слова:** метод стиснення, внутрішньокадрова і міжкадрова надмірності, стаціонарний фон, динамічні об'єкти.

*Paper analyzes the known methods of a compact video representation. Lacks, affecting the fact, that the existing compression techniques do not meet the modern requirements of the transmission of video information in the system of an objective control on the railways. The necessity of the development of image compression information technologies, containing dynamic objects of the stationary background is substantiated.*

**Keywords:** compression method of intraframe and interframe redundancy, fixed background, dynamic objects.

Время доставки изображений и скорость передачи данных в автоматизированных системах видеонаблюдения и контроля за грузом и целостностью железнодорожных вагонов в движении (АСВК) ограничена (табл. 1, 2). Поэтому для повышения производительности систем передачи информации необходимо

применять методы обработки изображений, позволяющие уменьшить объем данных, но при этом сохранять информационное содержание [1–4].

Таблица 1

## Скорости передачи данных современных систем связи

Тип систем связи		Максимальная скорость передачи данных
Кабельные модемы		128 Кбит/с
Цифровая абонентская линия	ADSL	1,5 Мбит/с
	HDSL	2 Мбит/с

Таблица 2

## Время передачи изображений, с

Скорость передачи данных, бит/с	Объем видеоданных с параметром визуализации 24 бита, байт				
	921600	1440000	2230272	5760000	9120000
57344	128,57	200,89	311,14	803,57	1272,32
100000	73,72	115,2	178,42	460,8	729,6
1000000	7,37	11,52	17,84	46,08	72,96
1572864	4,68	7,32	11,34	29,29	46,38
2000000	3,68	5,76	8,92	23,04	36,48
2147483	3,43	5,36	8,30	21,45	33,97

Решение этой задачи неразрывно связано с разработкой и применением новых методов и средств компактного представления данных, позволяющих не только сократить их объем, но и минимизировать время передачи информации по каналам связи и формирование ее графической модели в устройствах отображения в реальном масштабе времени. Применение методов сжатия данных позволит увеличить производительность и качество в целом всей информационной подсистемы и подсистемы хранения информации. Таким образом, *цель исследований статьи* заключается в обосновании технологии компрессии видеопотока в системе объективного контроля на железнодорожном транспорте.

Все методы сжатия делят на два класса: методы с потерей качества изображений и методы без потери качества (рис. 1). Дополнительно методы сжатия можно классифицировать по видам сокращаемой избыточности. Различают внутрикадровую и межкадровую избыточности. Внутрикадровая избыточность в свою очередь подразделяется:



Рис. 1. Блок-схема методов сжатия видеоизображений

1. Вероятностно-статистическая избыточность – обусловлена наличием вероятностно-статистических взаимосвязей между элементами изображений.

2. Психовизуальная избыточность – вызвана нечувствительностью зрительной системы человека к некоторым видам искажений изображений.

3. Структурная избыточность – заключается в возможности выделить и описать математически целостные структурные единицы изображения, а также взаимосвязи между ними.

4. Кодовая избыточность – обусловлена наличием незначимых старших разрядов. Может исключаться методами кодирования по мощности алфавита.

К основным методам сжатия с потерей качества изображений относятся: зонально-пороговое кодирование компонент трансформант ДКП (ЗПК), аппретурные методы. Эти методы помимо остальных видов избыточности дополнительно сокращают психовизуальную избыточность.

Основная часть обрабатываемых и передаваемых в АСВК изображений представляют собой реалистические изображения  $I$ , которые отличаются наличием динамических объектов на стационарном фоне,  $I = \{I_{ст}; I_{дин}\}$ . Динамическая составляющая  $I_{дин}$  имеет быстроменяющиеся структурные свойства. Стационарная составляющая  $I_{ст}$  отличается сохранением своих свойств для последовательности кадров. Для учета такой особенности наибольший интерес представляют такие методы сжатия, которые:

1. Не требуют знания априорных данных.
2. Обеспечивают возможность выделения стационарного фона, т.е.:

$$I \xrightarrow{f_{ct}} \{I_{ct}; I_{дин}\},$$

где  $f_{ct}$  – функция выделения составляющей  $I_{ct}$ .

Рассмотрим оценку эффективности методов обработки. Расчетные значения по коэффициенту сжатия представлены в табл. 3. Здесь  $V_{исх}$  – объем исходного изображения;  $V_k$  – объем сжатого изображения.

Таблица 3

Значение  $k_{ск}$  для разных методов сжатия и классов изображений

Метод сжатия	Реалистические изображения		Средненасыщенные искусственные изображения
	Сильнонасыщенные	Средненасыщенные	
КМС	7.2	12	50
КДС	1.5	3	40
LZW	2.2	5	42

Значения суммарного времени  $T_{var}$  обработки и передачи видеоданных (табл. 4) вычисляется по формуле:

$$T_{var} = T_k + T_d + T_n. \quad (1)$$

где  $T_{var}$  – показатель качества процесса сжатия и передачи видеоинформации в АСВК;  $T_k$ ,  $T_d$  – требуемое время на кодирование и декодирование видеоданных;  $T_n$  – оценка времени на передачу данных в телекоммуникационной сети.

Таблица 4

Значение  $T_{var}$  (в минутах) для разных методов сжатия, классов изображений и  $U_n = 256$  кбит/с.

Метод сжатия	Реалистические изображения		Средненасыщенные искусственные изображения
	Сильнонасыщенные	Средне-насыщенные	
КДС	5.7	3.6	0.27
LZW	4.8	2.2	0.26

Рассмотрим подробнее составляющие обобщенного показателя качества процесса сжатия и передачи видеоинформации в АСВК. Временные затраты на кодирование и декодирование определяются соответственно из выражений:

$$T_k = v_k / U_{мп} \quad \text{и} \quad T_d = v_d / U_{мп},$$

где  $v_k$ ,  $v_d$  – среднее количество машинных операций, затрачиваемых на кодирование и декодирование,  $U_{мп}$  – быстродействие микропроцессора (МП).

Среднее время  $T_n$  передачи и объем  $V_k$  сжатого изображения равны  $T_n = V_k / U_{пк}$  и  $V_k = v \times (l_a + l_i)$ , где  $v$  – число кодовых слов в сжатом изображении;  $l_a, l_i$  – длина адресной и информационной частей кодовой комбинации;  $U_{пк}$  – скорость передачи по каналу связи (выражается, как число бит в секунду). При этом в (1) подставлялись значения  $k_{сж}$  из табл. 3, размер кадра  $512 \times 512$  элементов по 24 разряда каждый, скорость передачи данных по каналу связи  $U_n = 256$  кбит/с, скорость кодирования  $U_k = 10^6$  оп./с.

Из анализа данных в табл. 3–4 можно сделать следующие выводы:

1. Степень сжатия реалистических изображений на основе методов с потерями качества (ФМС, КМС) в среднем в 10 раз больше, чем степень сжатия на основе методов без потерь качества (ММДС, LZW). Для искусственных изображений степень сжатия методами без потери качества не существенно отличается от метода с потерей качества КМС (20 %), и превосходят по степени сжатия в 1,5 раза метод ФМС.

2. Для кадра размером  $512 \times 512$  элементов по 24 разряда каждый, скорости передачи данных по каналу связи  $U_n = 256$  кбит/с, скорости кодирования  $U_k = 10^6$  оп./с суммарное время  $T_{var}$  обработки и передачи сжатых видеоданных методами без потери качества КДС в среднем в 4 раза больше, чем время  $T_{var}$  для метода КМС, но в среднем в 3 раза меньше, чем время  $T_{var}$  для метода ФМС. Такое время сжатия получается в результате рекурсивной обработки всего изображения. Хотя эти методы (ФМС) обеспечивают наибольшее сжатие (до 43 раз), но суммарное время оказывается большим, чем для методов сжатия без потери качества. Максимальное время обработки и передачи видеоданных методами ММДС достигается для реалистических изображений (до 5,7 мин.).

Задержки при обработке и передаче такой информации приводят к тому, что временные нормативы по продолжительности перевозки железнодорожным транспортом не выдерживаются как в обычных условиях, так и при ликвидации чрезвычайных ситуаций. Это приводит к задержкам грузопотоков в среднем на 10–15 %. Также это приводит к несвоевременному выполнению задач по управлению железнодорожным транспортом и большим задержкам при оценке обстановки и принятии решений.

Следовательно, можно сделать вывод, что методы с потерей качества обеспечивают больший уровень сжатия, чем методы без потери качества.

Однако методы без потери качества также как и методы с потерей качества необходимо использовать для обработки и передачи видеoinформации в АСВК. Такая необходимость объясняется следующими причинами:

1. Для некоторых практических задач управления железнодорожным транспортом требуется обеспечить высокое качество изображений. При этом методы с потерей качества, основанные на сокращении психовизуальной избыточности, не могут гарантировано обеспечить высокое качество изображений.

2. Широкое использование методов без потери качества в различных форматах изображений (TIFF, GIF, BMP, ART и т.п.). При этом для этих форматов характерно увеличение сжатого объема для реалистических изображений, сильнонасыщенных мелкими деталями.

3. Методы сжатия с потерей качества имеют большее время кодирования данных, чем методы без потери качества (в десятки раз), а в некоторых случаях

это приводит к проигрышу и в суммарном времени на обработку и передачу данных (метод ФМС).

4. Разработана группа методов, направленных в основном на сжатия цветowych координат. В то время как массивы длин серий передаются без дополнительного кодирования, снижая степень сжатия изображений и увеличивая время передачи по каналу связи.

5. Во многих комплексных методах сжатия методы длин серий используются как подсистема сжатия служебной информации. Поэтому для дополнительного увеличения коэффициента сжатия требуется компактно представлять длины серий.

В тоже время существующие методы без потерь качества не обеспечивают передачу изображений в АСВК в реальном масштабе времени. Это обусловлено следующими недостатками методов длин серий и метода LZW:

1. Не учитывается наличие стационарных фоновых областей.

2. Для динамической составляющей: уменьшается количество простейшей структурной избыточности (уменьшаются длины серий одинаковых элементов) для реалистических изображений, а, следовательно, снижается эффективность методов RLE и LZW; существует проблема обработки цветowych координат серий одинаковых изображений.

Исходя из анализа известных методов сжатия, можно сделать вывод, что существует необходимость использования для обработки изображений в АСВК методов без потери качества. В тоже время они не позволяют обрабатывать и передавать видеоданные в реальном масштабе времени.

Проведем анализ направлений разработки методов сжатия без потери качества с целью повышения оперативности обработки, передачи и помехоустойчивости видеоданных в условиях наличия изображений стационарного фона.

Снизить суммарное время обработки и передачи информации  $T_{var}$  можно за счет дальнейшего совершенствования существующих методов сжатия. Из проведенного анализа известных методов сжатия вытекают такие варианты их совершенствования:

1. Использовать обработку с учетом наличия стационарного фона изображений. Здесь возможны варианты: выявлять компенсацию движения; использовать трехмерные дискретные косинусные преобразования. Однако это сложный в вычислительном плане процесс обработки.

2. Использовать дополнительную обработку на уровне отдельных кадров, т.е. исключить внутрикадровую избыточность. Здесь возможны следующие варианты:

– использовать кодирование длин серий. С одной стороны позволяет повысить эффективность выявления структурных закономерностей. С другой – эффективность кодирования длин серий резко снижается в случае обработки многоградационных данных с высокой вероятностью наличия перепада яркости;

– в результате сжатия изображений методами КДС и LZW сокращается структурная и статистическая избыточность. Поэтому дополнительное использование методов снижающих статистическую избыточность не существенно повлияет на степень сжатия;

– длины серий несут основную информацию о формах и размерах объектов изображения, которая является определяющей для правильного распознавания изображений. Поэтому не рекомендуется использовать для сжатия длин серий



существующие методы, основанные на сокращении психовизуальной избыточности;

– повышение эффективности методов LZW связано с дополнительным увеличением количества операций на кодирование.

Таким образом, использование существующих методов, исключающих вероятностно-статистическую и психовизуальную избыточность для дополнительного повышения эффективности методов без потери качества в процессе внутрикадровой обработки, нецелесообразно. Поэтому представляет интерес исследование возможности дальнейшего увеличения коэффициента сжатия в процессе обработки изображений стационарного фона на основе выявления стационарной составляющей изображения в подложке  $I_{ст}$ . Это позволит: выявить область стационарности относительно предыдущего кадра; сформировать бинарную маску динамических областей и тем самым обеспечить потенциал для сокращения структурной избыточности в результате выявления длин двоичных серий; сократить размерность массива, содержащего элементы динамических объектов.

### **Выводы**

На основе проведенного анализа можно сделать такие выводы:

1. Уменьшение времени обработки и передачи видеоинформации в АСВК возможно за счет использования методов сжатия в системах отображения информации. Это вызвано тем, что видеоданные представляют собой цифровые массивы больших объемов и их обработка не может осуществляться в реальном масштабе времени. При этом, несмотря на необходимость использования для сжатия изображений методов без потери качества, они имеют худшие характеристики по сравнению с методами сжатия с потерей качества.

2. Анализ существующих методов сжатия без потери качества показал, что они не обеспечивают обработку и передачу видеоданных в реальном масштабе времени, а также не обеспечивают заданного уровня помехоустойчивости к ошибкам в канале связи. В тоже время избыточность сжатых изображений относительно теоретического предела достигает 90 %.

3. Анализ структурных свойств массивов длин серий выявил возможность дополнительного увеличения степени сжатия изображений за счет использования методов межкадровой обработки динамических изображений стационарного фона на основе структурно-статистического подхода.

4. Обосновано, что для соответствия требованиям к подсистемам обработки, передачи и отображения видеоинформации в АСВК необходимо строить метод сжатия изображений стационарного фона путем устранения структурной и статистической избыточности на основе учета следующих механизмов: выявление областей стационарного фона, позволяющее учитывать наличие межкадровой избыточности между соседними кадрами; отдельная обработка выделенных стационарной и динамической составляющих с использованием операции наложения бинарной маски.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Про залізничний транспорт : Закон України від 04.07.1996 № 273/96-ВР (в редакції Закону від 10 січня 2002 року № 2921-III) // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1996. – № 40. – ст. 183.

2. Статут залізниць України : Постанова Кабінету міністрів України від 6 квітня 1998 року № 457 // Офіційний вісник України. – 1998. – № 14. – стор. 150. – ст. 548. – код акту 5167/1998.

3. Про схвалення Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту : Розпорядження Кабінету міністрів України від 27 грудня 2006 року № 651-р // Офіційний вісник України. – 2007. – № 1. – стор. 198. – ст. 46. – код акту 38354/2007.

4. Правила перевезення вантажів в універсальних контейнерах : Наказ Міністерства транспорту України від 20.08.2001 № 542 // Офіційний вісник України. – 2001. – № 37. – стор. 286. – ст. 1721. – код акту 19942/2001.

Отримано 14.11.2012