

УДК 621.327:681.5

А.В. Яковенко,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
А.А. Леках

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЖАТЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СТАЦИОНАРНОГО ФОНА

В статье обоснованы основные принципы для построения метода восстановления сжатых динамических изображений стационарного фона. Предложено реконструкцию сжатых динамических изображений стационарного фона выполнять на основе: реконструкции матрицы двоичной маски, реконструкции динамической составляющей, реконструкции матрицы знаков. Построена технология восстановления текущего кадра в исходном динамическом пространстве без потери информации на основе восстановления текущего дифференциально-представленного кадра и информации о базовом кадре.

Ключевые слова: реконструкция, постфильтрация, матрица знаков, динамическая составляющая, матрица двоичной маски, текущий кадр.

У статті обґрунтовані основні принципи для побудови методу відновлення стислих динамічних зображень стаціонарного фону. Запропоновано реконструкцію стислих динамічних зображень стаціонарного фону виконувати на основі: реконструкції матриці двійкової маски, реконструкції динамічної складової, реконструкції матриці знаків. Побудована технологія відновлення поточного кадру у вихідному динамічному просторі без втрати інформації на основі відновлення поточного диференційно-представленого кадру та інформації про базовий кадр.

Ключові слова: реконструкція, постфільтрація, матриця знаків, динамічна складова, матриця двійкової маски, поточний кадр.

Basic principles of the method for the construction of compressed dynamic images stationary are stated. The reconstruction of the compressed dynamic images of stationary background to perform on the basis of: the reconstruction of the matrix binary mask, the dynamic component of the reconstruction, reconstruction matrix signs is proposed. Recovery technology of the current frame in the original dynamic space without loss of information on the basis of the current recovery differentially represented by the frame as well as the information about the base frame is built.

Keywords: reconstruction, post filtering, matrix signs, dynamic component, binary mask matrix, current frame.

Для повышения производительности систем передачи информации на железнодорожном транспорте необходимо применять методы восстановления сжатых изображений, позволяющие при этом сохранять их информационное содержание. Решение этой задачи неразрывно связано с разработкой и применением новых методов средств восстановления сжатых данных, позволяющих минимизировать время передачи информации по каналам связи без потери информации [1; 2].

Здесь предлагается учитывать то, что видеопоток формируется в условиях стационарного фона [3–4].

Значит необходимо разработать технологию реконструкции сжатых динамических изображений с учетом наличия областей стационарного фона на основе восстановления текущего дифференциально-представленного кадра. Отсюда, *цель исследований статьи* заключается в разработке метода восстановления сжатых динамических изображений стационарного фона без потери информации в инфокоммуникационных системах на железнодорожном транспорте.

Процесс реконструкции динамических изображений стационарного фона заключается в выполнении следующих этапов. Первый этап – реконструкция матрицы двоичной маски Q . Второй этап – реконструкция динамической составляющей $I_{\text{дин}}$. Третий этап – реконструкция матрицы знаков M .

Восстановление матрицы двоичной маски Q необходимо проводить в первую очередь в связи с тем, что реконструкция динамической составляющей $I_{\text{дин}}$ и матрицы знаков M невозможно провести без восстановленной двоичной маски.

Рассмотрим выполнение *первого этапа*.

Получение информации двоичной маски позволяет:

1. Определить позиции динамических и стационарных составляющих в дифференциальном кадре.
2. Определить количество элементов динамической и стационарной составляющих.
3. Получить структурные элементы, необходимые для реконструкции двоичного вектора указателей знаков.

Процесс реконструкции матрицы двоичной маски заключается в выполнении следующих действий:

Первое действие. Получение служебной информации о мощности алфавитов длин серий нулей и единиц. Эта информация получается на основе заданной длины кода, отводимой под значения мощности алфавита. Длина кода под значение мощности алфавита определяется следующим образом:

1) длина кода под мощность алфавита определяется из условия максимально-допустимой длины двоичной серии. Максимальная длина двоичной серии будет равна количеству элементов в двоичной маске. В свою очередь размер двоичной маски совпадает с размером исходного кадра. Поэтому максимальная длина двоичной серии r_{max} будет равна размеру кадра

$$r_{\text{max}} = m \cdot n \text{ (бит).}$$

Отсюда длина кода $L(r)$ под мощность алфавита будет определяться как:

$$L(r) = [\log_2(m \cdot n)] + 1.$$

Значит, зная размер кадра, мы можем определить ту часть кодовой конструкции, в которой содержится информация о мощности алфавита длин серий нулей и единиц.

Второе действие. На основе полученной информации о мощностях алфавитов можно перейти к непосредственному декодированию длин двоичных серий. Для этого:

1) используется условие о том, что нулевой серией в матрице двоичной маски является серия нулей. Тогда если длина первой серии равна единице, то эта серия соответствует серии единиц. В противном случае, если длина серии больше или равна двум, то данная серия является серией нулей:

$$\text{если } q_{11}=0, \text{ то } r_{i,1} \geq 2; \quad (1)$$

$$\text{если } q_{11}=1, \text{ то } r_{i,1}=1; \quad (2)$$

2) используется информация о мощности алфавитов Ω_0 и Ω_1 . Это позволяет определить длину кодового представления $L(r(0))$ длин серий нулей $r(0)$ и длину кодового представления $L(r(1))$ длин серий единиц $r(1)$. Данный этап задается следующими выражениями:

$$L(r(0)) = [\log_2 r(0)_{\max}] + 1, \quad L(r(1)) = [\log_2 r(1)_{\max}] + 1;$$

3) используется условие, состоящее в том, что в матрице двоичной маски серии нулей и единиц чередуются друг с другом. Это означает, что за серией нулей идет серия единиц, и наоборот.

Данные условия позволяют провести реконструкцию двоичной маски без потери информации. Процесс восстановления двоичной маски представлен на рис. 1.

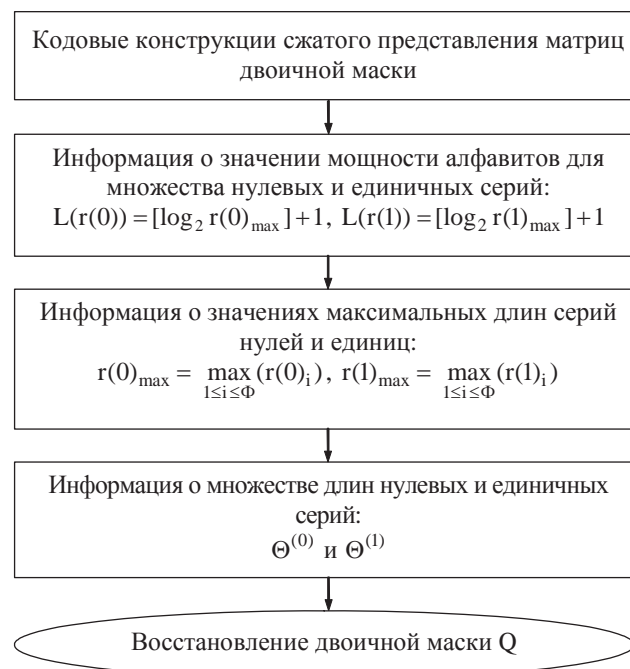


Рис. 1. Схема реконструкции двоичной маски

Рассмотрим выполнение второго этапа. Восстановленная двоичная маска позволяет определить количество и позиции элементов динамической составляющей дифференциального кадра. Количество элементов динамической составляющей $v_{\text{дин}}$ определяется как количество единиц двоичной маски. Для реконструкции

динамической составляющей $I_{\text{дин}}$ используется следующая информация:

- 1) информация о величине порога фильтрации ΔP ;
- 2) выбранный размер массива, на который сегментируется динамическая составляющая;
- 3) величины адаптивных оснований. Количество которых, определяется на основе информации о суммарном количестве элементов динамической составляющей и размере массивов;

4) значения кодов сформированных для столбцов массивов динамической составляющей $D_{u,j}$. Значение кодов получается из общей кодовой конструкции.

Поскольку для каждого массива динамической составляющей D_u значение основания λ_u выбиралось адаптивно, то длина кодовых слов $L(u)_j$ будет равномерной только в пределах отдельного массива.

Здесь работает принцип локально-равномерной длины кодового слова. Для получения длины кодового слова в пределах одного массива необходимо использовать информацию о величине основания λ_u и количестве строк $m_{\text{дин}}$ в массиве динамической составляющей.

При наличии данной информации длина кодового слова определяется по следующей формуле:

$$L(u)_j = [\log_2 \lambda_u^{n_{\text{дин}}} - 1] + 1,$$

где $L(u)_j$ – количество разрядов на представление значения кода позиционного числа, формируемое адаптивно для каждой строки массива динамической составляющей D_u ; $\lambda_u^{n_{\text{дин}}}$ – накопленное произведение оснований u -го массива динамической составляющей D_u .

Суммарно-кодовая длина для текущего массива динамической составляющей $L(u)_\Sigma$ определяется по формуле:

$$L(u)_\Sigma = \sum_{j=1}^{n_{\text{дин}}} L(u)_j.$$

Как видно из данного выражения для этого нам необходима информация о длине одного кодового слова и их количестве, которое равно количеству столбцов $n_{\text{дин}}$ в массиве динамической составляющей D_u . Суммарная длина кодового представления $L(u)_\Sigma$ текущего массива позволяет определить первую позицию кодового представления очередного массива динамической составляющей (рис. 2).

5) для известной длины кодового слова можно считать информацию о значении кода адаптивно-позиционного числа. После чего на основе информации об адаптивном основании λ_u и величине порога фильтрации ΔP можно непосредственно перейти к восстановлению элементов d отдельных столбцов массивов динамической составляющей $D_{u,j}$.

Поскольку массивы динамической составляющей рассматривались как адаптивно-позиционные числа, то для их реконструкции предлагается использовать технологию позиционного декодирования. В этом случае элемент массива

динамической составляющей определяется как элемент позиционного числа с известным основанием.

В свою очередь, элемент позиционного числа определяется на основе формулы:

$$d'_{i,j} = \left[\frac{N(u)_j}{P_j} \right] - \left[\frac{N(u)_j}{\lambda_u \cdot P_j} \right] \cdot \lambda_u, \quad (9)$$

где $d'_{i,j}$ – (i; j)-й элемент массива динамической составляющей; $N(u)_j$ – значение кода для i-х позиционных чисел полученного для j-го столбца u-го массива динамической составляющей; P_j – весовой коэффициент j-го элемента позиционного числа; λ_u – адаптивное основание u-го массива динамической составляющей.

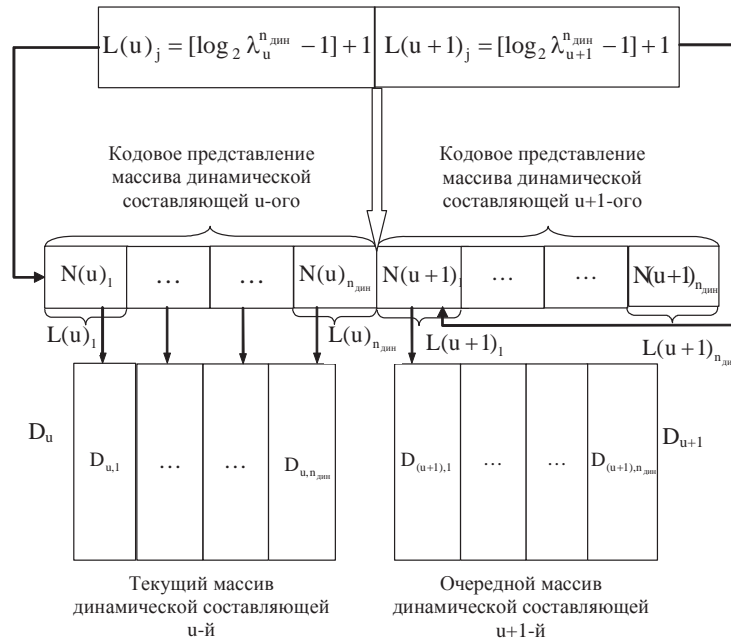


Рис. 2. Схема реконструкции массивов динамической составляющей

Полученная формула для восстановления остальных элементов столбца динамической составляющей примет следующий вид:

$$d'_{1,j} = \left[\frac{N(u)_j}{P_1} \right] - \left[\frac{N(u)_j}{\lambda_u \cdot P_1} \right] \cdot \lambda_u; \quad d'_{m_{дин},j} = \left[\frac{N(u)_j}{P_{m_{дин}}} \right] - \left[\frac{N(u)_j}{\lambda_u \cdot P_{m_{дин}}} \right] \cdot \lambda_u,$$

где $d'_{1,j}$ – (1; j)-й элемент массива динамической составляющей; $d'_{m_{дин},j}$ – ($m_{дин}$; j)-й элемент массива динамической составляющей; P_1 – весовой коэффициент 1-го элемента позиционного числа; $P_{m_{дин}}$ – весовой коэффициент $m_{дин}$ -го элемента позиционного числа.

Схематично процесс реконструкции столбца массива динамической составляющей представлен на рис. 3.

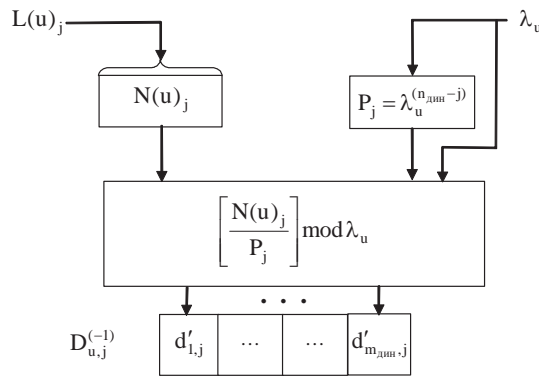


Рис. 3. Схема реконструкции столбца массива динамической составляющей

После реконструкции элементов столбца массива динамической составляющей $d'_{i,j}$ необходимо восстановить их исходный динамический диапазон. Для этого проводится постфильтрация. Постфильтрация динамического диапазона приводит элементы составляющей $I_{\text{дин}}$ в соответствии с порогом фильтрации ΔP . Для этого, полученные значения элементов динамической составляющей, должны быть увеличены на величину порога ΔP :

$$d_{i,j} = d'_{i,j} + \Delta P.$$

Такая процедура позволит получить динамическую составляющую с исходным динамическим диапазоном.

Весь процесс реконструкции динамической составляющей $I_{\text{дин}}$ показан на рис. 4.

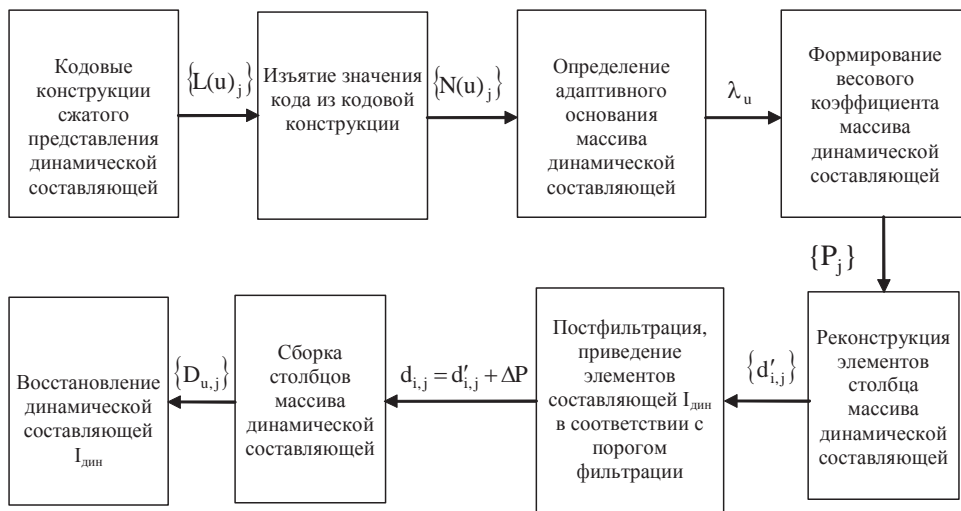


Рис. 4. Структурно-функциональная схема реконструкции динамической составляющей

Полное восстановление динамической составляющей, необходимое для реконструкции исходного кадра, обеспечивается в случае, когда известна информация о знаках компонента. Поэтому третий этап связан с восстановлением вектора указателей знаков компонента.

Рассмотрим выполнение третьего этапа, который посвящен реконструкции двоичного вектора указателей знаков.

Реконструкция двоичного вектора указателей знаков W проводится на основе информации о мощности алфавита Ω . Это позволяет определить длину кодового представления $L(r(h))$ для множества длин двоичных серий $\Theta(h)$:

$$L(r(h)) = [\log_2 r(h)_{\max}] + 1.$$

Для определения позиций знаков в кадре изображения используется структурное подобие с матрицей двоичной маски, а именно длина и позиции серии нулевых элементов для матрицы указателей знаков совпадают с длиной и позициями серии нулевых элементов для матрицы двоичной маски, т.е.

$$r(0)_i = r(M)_0,$$

где $r(M)_0$ – значение длины серии нулевых элементов матрицы указателей знаков.

Соответственно серия единичных элементов в матрице двоичной маски указывает на позиционирование и длину отрицательных элементов динамической составляющей.

В тоже время серия единичных элементов двоичной маски будет указывать не только на отрицательные значения элементов динамической составляющей, но и на положительные значения:

$$r(1)_i = r(M)_- + r(M)_+,$$

где $r(M)_-$ – значение длины серии отрицательных элементов матрицы указателей знаков; $r(M)_+$ – значение длины серии положительных элементов матрицы указателей знаков.

Данные условия позволяют провести реконструкцию двоичного вектора указателей знаков без потери информации. Процесс восстановления двоичного вектора указателей знаков представлен на рис. 5.

На завершающем этапе на основе полученной информации можно провести восстановление текущего дифференциально-представленного кадра G . Данный этап обеспечивается за счет следующих преобразований:

$$e_{i,j} = \begin{cases} \frac{\Delta P}{2}, & \text{если } q_{i,j} = 0; \\ -d_{i,j}, & \text{если } q_{i,j} = 1 \ \& \ w_{i,j} = 1; \\ d_{i,j}, & \text{если } q_{i,j} = 1 \ \& \ w_{i,j} = 0. \end{cases}$$

где ΔP – величина порога фильтрации; $d_{i,j}$ – $(i;j)$ -й элемент массива динамической составляющей; $d_{i,j}$ – $(i;j)$ -й элемент матрицы двоичной маски; $w_{i,j}$ – $(i;j)$ -й элемент двоичного вектора указателей знаков.

После получения дифференциально-представленного кадра G на основе информации о базовом кадре Y обеспечивается построение текущего кадра S в исходном динамическом пространстве.



Рис. 5. Схема реконструкции двоичного вектора указателя знаков динамической составляющей

Данный этап задается следующей формулой:

$$a_{i,j}^{(\xi+1)} = e_{i,j}^{(\xi+1)} + a_{i,j}^{(\xi)},$$

где $a_{i,j}^{(\xi)}$ – $(i;j)$ -й элемент предыдущего исходного кадра; $e_{i,j}^{(\xi+1)}$ – $(i;j)$ -й элемент текущего дифференциально-представленного кадра; $a_{i,j}^{(\xi+1)}$ – $(i;j)$ -й элемент текущего кадра в исходном динамическом пространстве.

Вывод

1. Разработан метод восстановления сжатых динамических изображений стационарного фона без потери информации, содержащий следующие этапы:

1) реконструкция матрицы двоичной маски Q , которая выполняется за счет: получения служебной информации о мощности алфавитов длин серий нулей Ω_0 и единиц Ω_1 ; использования условия о том, что нулевой серией в матрице двоичной маски является серия нулей. Тогда если длина первой серии равна единице, то эта серия соответствует серии единиц. В противном случае, если длина серии больше или равна двум, то данная серия является серией нулей; определения длины кодового представления длин серий нулей и длины кодового представления длин серий единиц; использования условия о том, что в матрице двоичной маски серии

нулей и единиц чередуются друг с другом. Это означает, что за серией нулей идет серия единиц, и наоборот;

2) реконструкция динамической составляющей $I_{\text{дин}}$ осуществляется на основе: информации о величине порога фильтрации ΔP ; выбранного размера массива, на который сегментируется динамическая составляющая; величины адаптивных оснований; значения кодов сформированных для столбцов массивов динамической составляющей $D_{u,j}$; известной длины кодового слова можно считать информацию о значении кода адаптивно-позиционного числа;

3) реконструкция матрицы знаков M выполняется за счет: информации о мощности алфавита Ω двоичного вектора указателей знаков; информации об определении позиций знаков в кадре изображения на основе структурного подобия с матрицей двоичной маски;

4) восстановление текущего дифференциально-представленного кадра G ;

5) восстановление текущего кадра S в исходном динамическом пространстве.

Научная новизна представленных в статье результатов.

1. Получили дальнейшее развитие методы восстановления сжатых кадров в потоке изображений на основе дифференциального представления. Отличия от известных методов заключаются в том, что сначала восстанавливается матрица двоичной маски, затем динамическая составляющая и матрица знаков. Это позволяет адаптировать процесс восстановления к условиям стационарного формирования видеoinформационного потока, сократить сложность реализации процесса восстановления.

2. Впервые создан метод восстановления текущего кадра в исходном динамическом пространстве на основе реконструкции дифференциально-представленного кадра и информации о базовом кадре.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аудиовизуальные системы связи и вещания : новые технологии третьего тысячелетия, задачи и проблемы внедрения в Украине / [О.В. Гофайзен, А.И. Ляхов, Н.К. Михалов и др.] // Праці УНДІРТ. – 2000. – № 3. – С. 3–40.

2. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учеб. для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб. : Питер, 2006. – 958 с.

3. Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. – Х. : ХУПС, 2010. – 212 с.

4. Barannik V. Image Encoding Design Based On 2-D Combinatory Transformation / V. Barannik, V. Nahanov // International Symposium [IEEE East-West Design & Test I], (Yerevan, Armenia, September 7 – 10, 2007) / Yerevan: 2007. – P. 124–127.

Отримано 13.05.2013