

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АДАПТИВНЫЙ МЕТОД СЖАТИЯ ЦИФРОВОГО ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА

О.А. Козелков

(представил д.т.н., проф. О.Н. Фоменко)

*Предложен метод сжатия цифрового цветного телевизионного сигнала для средств дистанционного мониторинга Земли.*

**Анализ литературы.** В настоящее время при дистанционном мониторинге Земли (ДМЗ) для повышения информативности наблюдается тенденция использования многоспектральных и цветных телевизионных изображений [1]. Для улучшения качества, достоверности все чаще применяются методы обработки и передачи цифрового сигнала [1, 2]. При этом, несмотря на интенсивное развитие микроэлектроники, создание все более быстродействующих процессоров, запоминающих устройств с большими объемами памяти, более скоростных сред передачи данных, повышение эффективности процедур обработки видеoinформации остается актуальной научно-технической задачей.

В процедурах цифровой обработки видеоданных используются различные ортогональные преобразования (Фурье, Уолша, Хаара, ДКП и др.) [3]. Применение ортогональных преобразований ведет к частичной потере кодируемой информации, что ухудшает качество восстанавливаемого изображения [3, 4]. При разработке методов сжатия информации (МСИ) специального назначения (например, для ДМЗ), помимо обеспечения необходимого коэффициента сжатия, необходимо учитывать следующие требования [1, 2]:

- 1) высокое качество восстановленного изображения;
- 2) высокое быстродействие;
- 3) простота аппаратурно-технической реализации.

Проведенный анализ показал, что применяемые в настоящее время в цифровом телевидении методы сжатия цифрового цветного телевизионного сигнала (ЦЦТС) не позволяют восстанавливать изображение с высокой достоверностью [4]. Разработанный ранее адаптивный метод сжатия телевизионного сигнала без потери информации является малоэффективным для систем дистанционного мониторинга Земли в резуль-

тате снижения степени корреляции соседних кадров из-за их смещения друг относительно друга, обусловленного движением летательного аппарата [5].

**Целью статьи** является разработка модифицированного адаптивного метода сжатия цифрового цветного телевизионного сигнала для систем дистанционного мониторинга Земли.

**Разработка модифицированного адаптивного метода сжатия цифрового цветного телевизионного сигнала.** Как выше было отмечено для компенсации смещения кадров, обусловленного движением летательного аппарата (ЛА), необходимо разработать метод сжатия без потери информации, позволяющий учитывать вектор смещения кадров телевизионного изображения. С этой целью разделим процесс сжатия на этапы.

**Этап 1.** Примем в качестве опорной область определенных размеров в центре ключевого кадра телевизионного изображения со строго фиксированными и постоянными координатами (во внутрикадровой системе координат):

$$A_1 = \begin{pmatrix} L_{ij} & L_{(i+1)j} & \dots & L_{(i+\gamma)j} \\ L_{i(j+1)} & L_{(i+1)(j+1)} & \dots & L_{(i+\gamma)(j+1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{i(j+\zeta)} & L_{(i+1)(j+\zeta)} & \dots & L_{(i+\gamma)(j+\zeta)} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $A_1$  – фиксированная область в центре ключевого кадра;  $L_{ij}$  – группа, описывающая два соседних пикселя [5], с координатами  $(i; j)$ .

Пусть значение нижнего левого края избранной области ключевого кадра является началом вектора смещения.

$$\bar{U} = (L_{i(j+\zeta)}; X), \quad (2)$$

где  $\bar{U}$  – вектор смещения;  $L_{i(j+\zeta)}$  – начало вектора смещения;  $X$  – конец вектора смещения.

Примем, что смещение соседних кадров относительно друг друга равновероятно в любом направлении. В этом случае опорная область должна находиться в центре кадра, так как при смещении текущего кадра в произвольном направлении опорная область не должна выйти за пределы области взаимной корреляции данных кадров ( $Q$ ) (рис. 1).

Выбор размера опорной области определяется разумным компромиссом между двумя противоречивыми требованиями:

- уменьшение размеров опорной области позволяет увеличить скорость поиска вектора движения, тем самым уменьшить общее время обработки;

- с уменьшением размеров опорной области возрастает вероят-

ность случая, когда взаимно корреляционная функция (ВКФ) не будет иметь явно выраженный максимум. Многомодальность ВКФ приводит к неоднозначности при определении вектора движения, что резко снижает результирующий коэффициент сжатия цифрового цветного телевизионного сигнала.

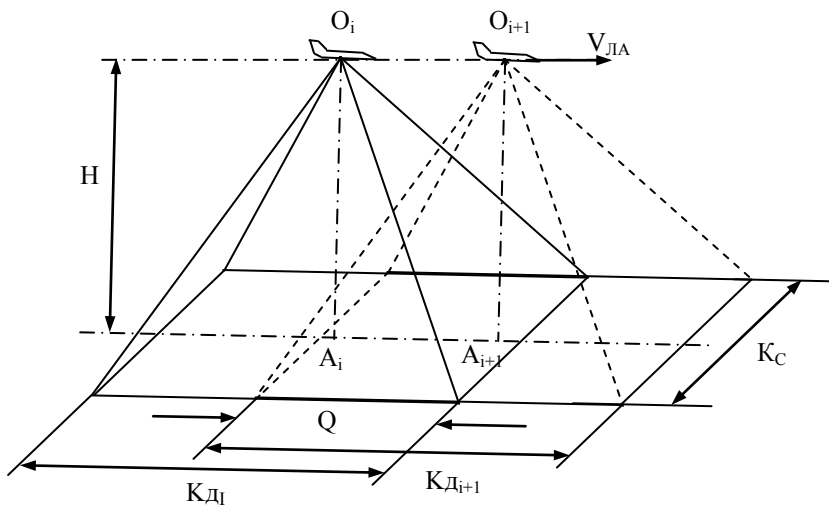


Рис. 1. Структурная схема телевизионной съемки во время движения БПЛА:  $K_{Д_i}$  –  $i$ -й кадр потока ЦЦТС;  $K_C$  – количество строк в кадре ЦЦТС;  $H$  – высота полета БПЛА;  $O_i$  – момент времени формирования  $K_i$ -го кадра ЦЦТС;  $O_{i+1}$  – момент времени формирования  $K_{Д_{i+1}}$ -го кадра ЦЦТС;  $Q$  – область взаимной корреляции соседних кадров;  $V_{ЛА}$  – скорость ЛА

**Этап 2.** На этом этапе происходит поиск области подобной опорной (с такими же размерами) в текущем кадре телевизионного изображения. Сравнение текущего кадра с предыдущим производится обычными методами вычисления нормализованных взаимно корреляционных функций (ВКФ) или их модификаций. Для определения смещения ЛА в двух направлениях используются известные двумерные ВКФ [6].

Таким образом, происходит нахождение области подобной опорной в текущем кадре и определяются новые координаты нижнего левого края (конца вектора смещения). Найденный вектор смещения задает величину и направление смещения опорных областей соседних кадров, а следовательно, и самих этих кадров относительно друг друга (рис. 2).

На рис. 2 обозначено:  $K_{Д_1}$  – предыдущий кадр;  $K_{Д_2}$  – текущий кадр;  $A_1$  – совпавшие опорные области соседних кадров;  $A_2$  – области поиска;

$\vec{U}$  – вектор смещения.

При высоте наблюдения  $H$  и фокусном расстоянии объектива  $f$  скорость  $V_{\text{ПЗС}}$  перемещения проекции объекта на ПЗС матрице цифровой камеры равна [7]:

$$V_{\text{ПЗС}} = \frac{f}{H} \cdot v_{\text{ЛА}}, \quad (3)$$

где  $v_{\text{ЛА}}$  – средняя скорость летательного аппарата;  $f$  – фокусное расстояние объектива;  $H$  – высота наблюдения.

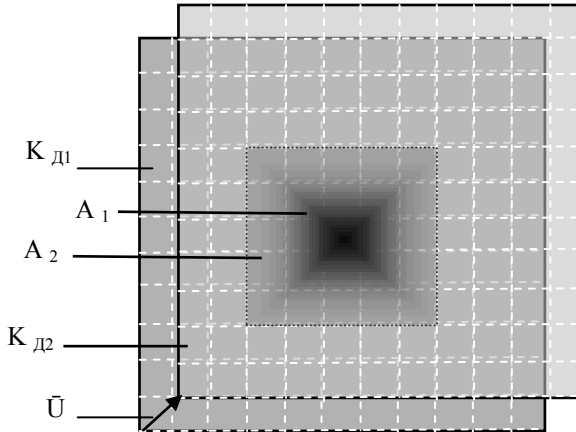


Рис. 2. Определение вектора смещения двух опорных соседних областей

При этом формирование телевизионного изображения на борту ЛА накладывает дополнительные ограничения [8]:

$$v_{\text{ПЗС}} \cdot t_{\text{ФК}} \leq \Delta_{\text{П}}; \quad (4)$$

$$v_{\text{ПЗС}} \cdot T_{\text{К}} \leq \Delta_{\text{ПЗС}} \cdot \Lambda, \quad (5)$$

где  $v_{\text{ПЗС}}$  – скорость перемещения проекции объекта на ПЗС матрице цифровой камеры;  $t_{\text{ФК}}$  – время формирования кадра;  $\Delta_{\text{П}}$  – линейный размер пикселя;  $T_{\text{К}}$  – частота передачи кадров ЦЦТС;  $\Delta_{\text{ПЗС}}$  – линейный размер ПЗС матрицы цифровой камеры;  $\Lambda$  – величина скоростного сдвига, больше которой применение метода неэффективно (определяется условием  $K_{\text{СЖ}} \geq K_{\text{СЖ}}^{\text{заданное}}$ ).

Первое условие формулируется так: за время формирования кадра  $t_{\text{ФК}}$  скоростной сдвиг изображения не должен превышать линейного размера пикселя, иначе возникает «смаз» в результате появления искаже-

ний в текущем кадре телевизионного сигнала [8], что приводит к потере видеoinформации. Второе условие: при частоте передачи кадров  $T_k$  скоростной сдвиг изображения должен быть не более  $N\%$  линейного размера ПЗС-матрицы цифровой камеры [8].

**Этап 3.** На этом этапе происходит последовательное нахождение местоположения соответствующей группы в текущем кадре относительно каждой группы элементов предыдущего кадра для последующей оценке их корреляционных свойств. Для этого к координатам каждой группы элементов предыдущего кадра соответственно прибавляются координаты найденного для этих кадров вектора смещения

$$L_{ij}(x, y) + \bar{U} = L'_{ij}(x, y), \quad (6)$$

где  $L_i(x, y)$  – координаты  $i$ -ой группы  $j$ -ой строки предыдущего кадра;  $L'_i(x, y)$  – координаты соответствующей  $i$ -ой группы  $j$ -ой строки текущего кадра;  $\bar{U}$  – вектор смещения соседних кадров.

**Этап 4.** Происходит поразрядное сравнение соответствующих групп соседних кадров. При этом каждая группа текущего кадра, коррелирующая с соответствующей группой предыдущего кадра, заменяется разрядом наличия корреляции, в котором записывается логическая единица. В противном случае – в разряде записывается логический ноль, и далее после разряда следует некоррелированная группа текущего кадра [5]. За счет того, что вместо кода коррелирующей группы передается лишь один разряд наличия корреляции, происходит межкадровое сжатие ЦЦТС.

В этом случае коэффициент сжатия участка потока ЦЦТС определяется:

$$K_{сж} = \frac{W_1(1+k)}{W_4 + W_5 \cdot k}, \quad (7)$$

где  $W_1$  – объем памяти, отводимый для хранения исходного кадра;  $k$  – количество кадров между соседними ключевыми кадрами;  $W_4$  – объем памяти, отводимый для хранения ключевого кадра, сжатого внутрикадровым методом;  $W_5$  – объем памяти, отводимый для хранения кадра, сжатого межкадровым методом.

Объем исходного кадра видеоизображения рассчитывается по формуле [9]:

$$W_1 = \sum_{j=1}^U (z \cdot L_i + 2b) + 2v, \quad (8)$$

где  $L_i$  – число разрядов, используемых для представления одной группы;  $z$  – количество групп в строке изображения;  $U$  – количество строк в кад-

ре;  $b$  – число разрядов, используемых для представления одного синхросигнала строки;  $v$  – число разрядов, используемых для представления одного синхросигнала кадра.

В результате внутрикадрового кодирования без потери информации, предложенного в [9], объем кадра рассчитывается по формуле:

$$W_4 = \sum_{j=1}^{U-\Pi_{\text{nc}}} \left\{ \sum_{i=1}^{Z-\Pi_{\text{nr}} j} (L_i - r) + \sum_{\varphi=1}^{\Pi_{\text{nr}}} (L_{\varphi} + r + m_1) + 2b \right\} + \sum_{\alpha=1}^{\Pi_{\text{nc}}} \left\{ \sum_{\chi=1}^{Z-\Pi_{\text{nr}} \alpha} (L_{\chi} + r) + \sum_{\varphi=1}^{\Pi_{\text{nr}} \alpha} (L_{\varphi} + r + m_1) + r + m_2 + 2b \right\} + 2v, \quad (9)$$

где  $U$  – количество строк в кадре;  $\Pi_{\text{nc}}$  – общее количество совпадающих строк в кадре;  $Z$  – количество групп в строке изображения;  $\Pi_{\text{nr}}$  – общее количество совпадающих групп в строке;  $L_i$  – число разрядов, используемых для представления одной группы;  $b$  – число разрядов, используемых для представления одного синхросигнала строки;  $r$  – разряд наличия кода повторений;  $\varphi$  – номер серии групп в  $j$ -ой строке;  $\alpha$  – номер серии строк в кадре;  $m_1$  – число разрядов, необходимых для представления кода повторений групп элементов кадра (длин серий в строке);  $m_2$  – число разрядов, необходимых для представления кода повторений строк элементов кадра (длин серий в кадре);  $v$  – число разрядов, используемых для представления одного синхросигнала кадра.

Тогда коэффициент сжатия кадра для предложенного комбинированного кодирования ЦЦТС определяется выражением:

$$K_3 = \frac{W_1(U, Z, L_i, b, v)}{W_4(\Pi_{\text{nc}}, \alpha, \Pi_{\text{nr}}, \varphi_i, U, Z, L_i, b, v)}. \quad (10)$$

Объем текущего кадра сжатого предложенным межкадровым методом [5] определяется выражением:

$$W_5 = 2b \cdot N + 2v + Y + \frac{nY}{100} L_i, \quad (11)$$

где  $b$  – число разрядов, необходимых для представления синхросигнала строки;  $N$  – число строк в кадре;  $v$  – число разрядов, необходимых для представления синхросигнала кадра;  $n$  – процент некоррелированных групп двух соседних кадров;  $L_i$  – число разрядов, используемых для представления одной группы;  $Y$  – количество групп в кадре изображения.

**Этап 5.** В случае не нахождения области подобной опорной в текущем кадре, указанный кадр сжимается внутрикадровым методом [9].

Предложенный адаптивный метод межкадрового сжатия позволяет

одновременно учесть статистическую избыточность, обусловленную корреляцией как между элементами внутри кадра, так и между соответствующими группами элементов соседних кадров потока ЦЦТС, что обеспечивает получение более высокого сжатия исходных видеоданных, чем при использовании известного метода. График зависимости коэффициента сжатия от величины сжатия ключевого кадра и от величины несовпадения соответствующих групп в соседних кадрах для телевидения обычной четкости (Main) и потока ЦЦТС из 25 кадров представлен на рис. 3 [5].

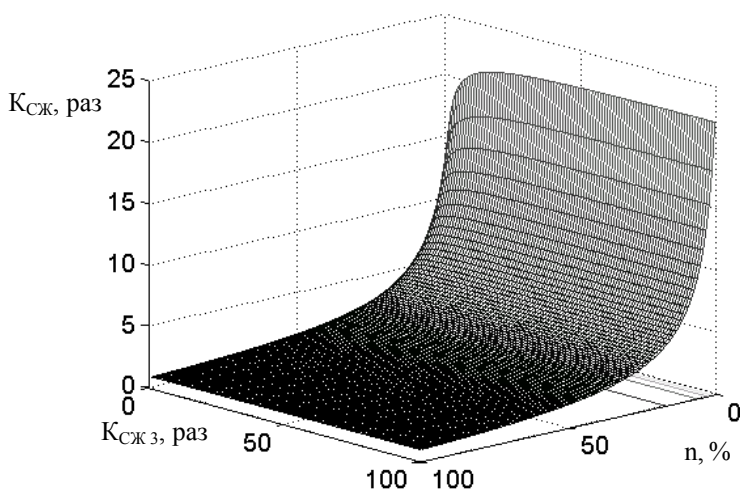


Рис. 3. Графическая зависимость коэффициента сжатия адаптивного метода от коэффициента сжатия ключевого кадра и от количества несовпадающих групп элементов двух соседних кадров для телевидения обычной четкости (Main)

Анализ графической зависимости показывает, что коэффициент сжатия адаптивного метода сжатия зависит от величины внутрикадрового сжатия ключевого кадра и от величины корреляции соответствующих групп элементов соседних кадров. Метод обеспечивает максимальный коэффициент сжатия для телевидения обычной четкости (Main) и потока ЦЦТС из 25 кадров – 22 раза.

**Оценка эффективности.** Проведем исследование зависимости коэффициента сжатия модифицированного адаптивного метода от величины смещения кадров ЦЦТС в плоско-параллельном направлении (по группам и строкам) для различных форматов телевизионного изображе-

ния. Графическая зависимость коэффициента сжатия модифицированного адаптивного метода с учетом смещения кадров от величины смещения соседних кадров ЦЦТС при постоянной величине некоррелированности областей указанных кадров ( $n = 1\%$ ) и сжатии ключевого кадра (5 раз) для телевидения обычного разрешения (Main) приведена на рис. 4.

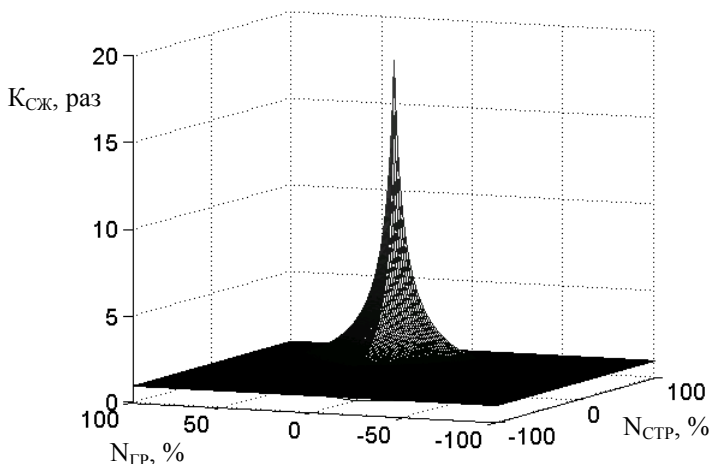


Рис. 4. Графическая зависимость коэффициента сжатия метода от величины сдвига соседних кадров по группам и по строкам для телевидения обычной четкости

Анализ графической зависимости показывает, что модифицированный адаптивный метод позволяет получить заданный (не менее 10 раз) коэффициент сжатия при величине смещения соседних кадров для телевидения обычной четкости (Main) – 5 %.

**Выводы.** Разработанный модифицированный адаптивный метод сжатия цифрового цветного телевизионного сигнала без потери информации восстанавливаемого изображения обеспечивает:

- 1) адаптивное сжатие за счет сокращения как внутрикадровой избыточности, так и межкадровой, что позволяет получить дополнительное сжатие при малой величине корреляции между соответственными элементами соседних кадров;
- 2) применение сжатия без потерь при ДМЗ за счет учета смещения кадров, возникающего в результате движения летательного аппарата;
- 3) сжатие потока кадров ЦЦТС без потери информации в реальном



масштабе времени.

Целью дальнейших исследований является разработка аппаратно-программной реализации предложенного метода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Єрмошин М.О., Федай В.М. Борьба в повітрі: Навчальний посібник.* – Х.: ХВУ, 2004. – 383 с.
2. *Артюшин Л.М., Мосов С.П. Застосування сил і засобів повітряної розвідки наземного противника у сучасних операціях і воєнних конфліктах // ТА.* – 2000. – № 24. – С. 76 – 80.
3. *Бондарев В.Н., Трестер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства: Учебн. пособие для вузов. 2-е изд.* – Х.: Конус, 2001. – 398 с.
4. *Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения.* – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 223 с.
5. *Королёв А.В., Козелков О.А., Гуржий П.Н. Межкадровое кодирование цифрового цветного телевизионного сигнала // Системы обработки информации.* – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 6. – С. 98 – 102.
6. *Козубовский С.Ф. Корреляционно-экстремальные системы: Справочник / Отв. ред. А.Г. Ивахненко.* – К: Наук. думка, 1973. – 223 с.
7. *Величин А.И., Коновалов В.Д. Авиационные телевизионные устройства.* – ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1977. – 174 с
8. *Кучук Г.А., Козелков О.А., Подорожняк А.А. Адаптивный метод сжатия цифрового цветного телевизионного сигнала при дистанционном зондировании Земли // Матеріали четвертої міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми інформатики і моделювання”.* – Х.: НТУ “ХПІ”, 2004. – С. 43.
9. *Клименко Л.А., Козелков О.А. Метод сжатия кадра цифрового телевизионного изображения // Системы обработки информации.* – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 4. – С. 82 – 84.

Поступила 7.10.2004

**КОЗЕЛКОВ Олег Александрович,** адъюнкт Харьковского университета Воздушных Сил. В 2001 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – цифровая обработка изображений.

---