

# Применение блочных алгоритмов сжатия аэрофотоснимков на основе разложения Карунена - Лоэва

Д.В. Козлов

**Аннотация:** Разработаны два новых алгоритма сжатия на основе разложения Карунена – Лоэва. Выполнено сравнение результатов сжатия алгоритмов КЛБК, КЛМБК, УБК, WSync по критерию PSNR. Определены эффективные базисные наборы для сжатия снимков различной структуры. Выявлены эргономические характеристики и выполнено сравнение результатов сжатия при влиянии помех в канале связи.

**Ключевые слова:** блочное кодирование, многобазисный алгоритм, блочное сжатие.

## Введение

Комплексы дистанционного мониторинга являются системами реального времени, в которых происходит сбор видеоинформации, сжатие, передача данных по каналам связи (радиоканалам), прием данных, восстановление и фильтрация.

К особенностям, связанным с передачей данных в таких системах, можно отнести шум в канале связи, который в отсутствие помехоустойчивого кодирования приводит к невозможности восстановления сигналов, сжатых статистическими методами (Huffman, арифметическое кодирование). Помехоустойчивое кодирование, в свою очередь, уменьшает общую скорость сжатия и восстановления изображений, а также приводит к более сложным вычислениям.

Ограничениями на алгоритмы сжатия, используемые в таких комплексах, являются малый объем ОЗУ и невысокое быстродействие процессора на борту при достаточно высоком темпе поступления видеоинформации. Для комплексов дистанционного мониторинга неприменимы методы сжатия, формирующие битозависимые потоки данных, в которых данные

при незначительном уровне ошибки подвержены разрушению, в отличие от блочных методов сжатия. С другой стороны, нет необходимости сжимать данные более чем в 4 раза, поскольку при потере качества снижается уровень дешифровки информации.

До недавнего времени основной проблемой применения разложения Карунена – Лоэва [1], помимо вычислительной трудоемкости, считалась необходимость построения базисных функций для каждого изображения, поскольку базисный набор может считаться оптимальным только в рамках одного изображения. Построенные базисы необходимо хранить и передавать вместе с коэффициентами разложения, что по существу не приводит к сжатию изображения. Таким образом, можно рассматривать два подхода к сжатию изображений на основе разложения Карунена – Лоэва, которые основываются на способах построения базисов:

1. Базис вычисляется для одного изображения, для него же является оптимальным.
2. Вычисляется набор базисов некоторого класса изображений, по выбранным базисам производится разложение.

С учетом технических требований цифровых каналов связи комплексов дистанционного мо-

нитинга в данной работе рассматриваются 4 алгоритма, сжимающие аэрофотоснимки в четыре раза с потерей качества:

- алгоритм усеченного блочного кодирования – УБК [2];
- алгоритм блочного сжатия основанного на трехуровневом Wavelet разложении – WSync;
- алгоритм сжатия блоков снимка по априорно выбранному базису разложения Карунена – Лоэва (КЛБК);
- алгоритм сжатие блоков снимка по априорно выбранному набору базисов разложения Карунена – Лоэва (КЛМБК).

### Блочные алгоритмы сжатия

1. При усеченном блочном кодировании обработка блока начинается с вычисления порога и двух уровней квантования, затем производится квантование блока на два уровня, после чего следует упаковка проквантованного блока. Для определения уровней квантования вычисляются два первых выборочных момента - среднее значение  $\bar{g}$  и средний квадрат  $\bar{g}^2$ :

$$\begin{aligned} \bar{g} &= \frac{1}{m * n} \sum_i \sum_j G_{ij}, \\ \bar{g}^2 &= \frac{1}{m * n} \sum_i \sum_j G_{ij}^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где суммируются элементы изображения в пределах блока, и дисперсия

$$\sigma^2 = \bar{g}^2 - \bar{g}^2. \quad (2)$$

Пороговая величина квантователя  $d$  полагается равной среднему  $\bar{g}$ . Верхний  $a$  и нижний  $b$  уровни квантования вычисляются из условия приближенного сохранения первых двух выборочных моментов, что приводит к следующим расчетным формулам:

$$\begin{aligned} a &= \bar{g} - \sigma \sqrt{\frac{q}{(p-q)}}, \\ b &= \bar{g} + \sigma \sqrt{\frac{(p-q)}{q}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $p = m \times n$  - число элементов блока,  $q$  - число элементов в блоке, превышающих порог  $d$ .

Квантование проводится по обычному правилу:

$$\tilde{g}_{ij} = \begin{cases} a, & \text{при } G_{ij} < d, \\ b, & \text{при } G_{ij} \geq d, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\tilde{g}_{ij}$  - элементы изображения после квантования.

После квантования получается блок, содержащий только уровни  $a$  и  $b$ . Для удобства последующей упаковки вместо  $a$  записывается нуль, вместо  $b$  – единица. Уровни  $a$  и  $b$  запоминаются отдельно.

Упаковка состоит в том, что блок, содержащий теперь только нули и единицы, интерпретируется как двоичное число, имеющее  $m \times n$  разрядов. Это число переписывается в переменную (элемент массива с упакованными данными) соответствующей длины.

Восстановление закодированного изображения также производится поблочно и состоит в распаковке и обратной подстановке: вместо нулей записывается нижний уровень квантования, вместо единиц – верхний.

При усеченном блочном кодировании (УБК) каждый блок размером 4 x 4 пикселя представляется 16 битной маской и значениями двух уровней квантования (2 байта).

2. WSync – алгоритм сжатия изображений на основе Wavelet – разложения. Над блоком производится 3 – х уровневое Wavelet разложение. Низкочастотные коэффициенты передается по каналу данных без изменений, значения среднечастотных и наиболее значимых (в каждом блоке 2 x 2) высокочастотных коэффициентов кодируются по кодовой книге (3 бита на один коэффициент). Для кодирования высокочастотных коэффициентов ИК снимков выбрана кодовая книга восьми кодов из интервала  $W \in [-64..64]$ , а для кодирования высокочастотных коэффициентов ТВ снимков применяется кодовая книга из восьми кодов с диапазоном изменения значений  $W \in [-127..127]$ .

3. Алгоритм сжатия КЛБК основан на разложении блока – вектора в априорно вычисленном базисе Карунена – Лоэва. Базис состоит из 256 базисных функций и строится по корреляционной матрице блоков размерами 16 x 16 точек для класса изображений, хранится в виде матрицы вещественных чисел. В основе алгоритма заложены: умножение вектора (блока

данных) на базисную матрицу, квантование и сохранение четверти коэффициентов блока в файл или передача их по каналу связи.

Вычисление коэффициентов  $X_c$  выполняется по формуле:

$$X_c = X \cdot F, \tag{5}$$

где  $X$  – вектор данных,  $F$  – базисная матрица.

Декодирование данных производится по формуле:

$$X_d = X_c \cdot F^T, \tag{6}$$

где  $X_c$  – коэффициенты разложения,  $F^T$  – обратная базисная матрица,  $X_d$  – вектор данных (блок изображения).

4. Алгоритм сжатия КЛМБК в отличие от КЛБК основан на разложении блока в априорно вычисленном фиксированном наборе базисов разложения Карунена – Лоэва. Для каждого блока находится такой базис разложения  $F_i$ , при котором обеспечивается минимальное значение среднеквадратичной ошибки по блоку. Структурная схема алгоритма приведена на Рис.1.

Для сжатия аэрофотоснимков производится аппаратная синхронная выборка 4-х строк кадра длиной в 2048 пикселей из ТВ и ИК камер. Выборка разбивается на блоки фиксированного

размера, и производится поблочное сжатие. Для КЛ алгоритмов характерно разбиение кадра снимка на блоки  $16 \times 16$  пикселей склеиванием 4-х соседних блоков  $4 \times 16$ , разложение по базисным функциям, квантование на 256 уровней и арифметическое кодирование.

Снимки были условно разбиты на 6 классов:

1.  $C_{ИК, L}$  – ИК снимки с небольшим количеством объектов и плавными переходами яркости;
2.  $C_{ИК, M}$  – ИК снимки с небольшим количеством объектов и нерезкими переходами яркости;
3.  $C_{ИК, H}$  – ИК снимки с большим количеством объектов и резкими переходами яркости;
4.  $C_{ТВ, L}$  – ТВ снимки с небольшим количеством объектов и плавными переходами яркости;
5.  $C_{ТВ, M}$  – ТВ снимки с небольшим количеством объектов и нерезкими переходами яркости;
6.  $C_{ТВ, H}$  – ТВ снимки с большим количеством объектов и резкими переходами яркости.

По Табл. 1 можно сделать следующие выводы:

- Классы  $C_{ИК, H}$ ,  $C_{ТВ, H}$ ,  $C_{ТВ, M}$ ,  $C_{ТВ, L}$  сжимаются КЛ алгоритмами с более высоким коэффициентом качества по критерию PSNR по сравнению с УБК алгоритмом.

- Все классы кроме  $C_{ИК, M}$  сжимаются КЛ алгоритмами с более высоким коэффициентом качества по критерию PSNR по сравнению с WSynс алгоритмом.

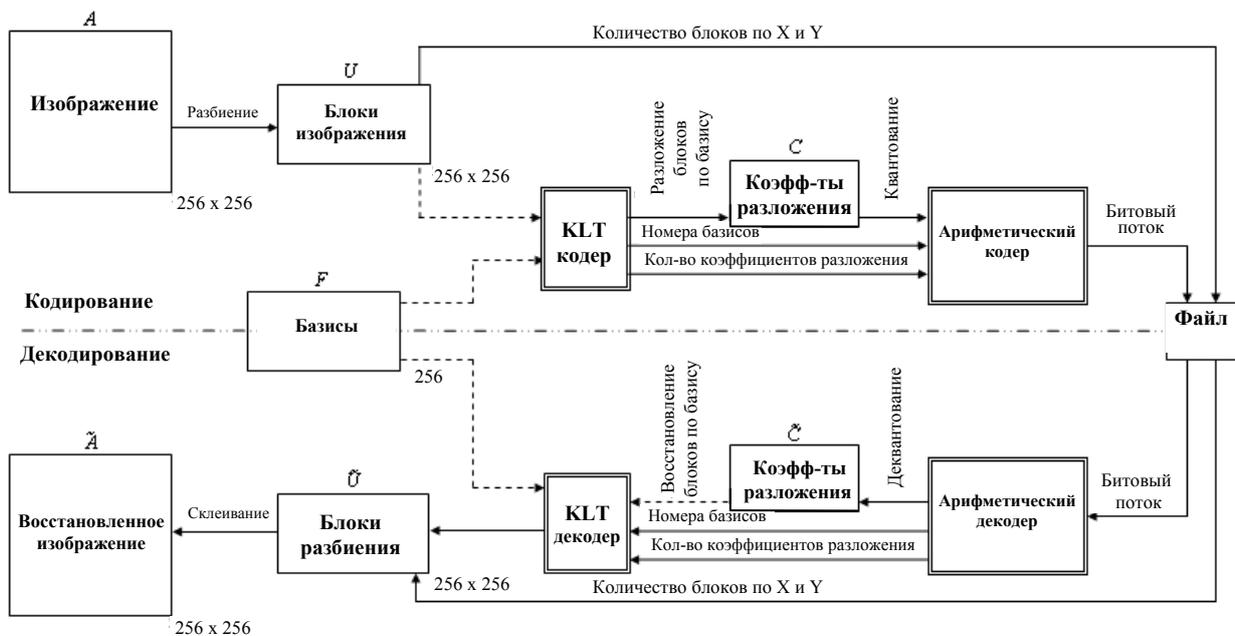


Рис. 1. Структурная схема КЛМБК алгоритма сжатия

Табл. 1. Результаты сжатия фрагментов снимков при фиксированной степени сжатия в 4 раза

Фрагменты снимков	КЛБК оптимальный базис	КЛБК наихудший базис	КЛМБК 20 базисов, равномерное квантование	КЛМБК 20 базисов, двух уровневое квантование	УБК	WSync
$C_{IK, H}$	44,13	38,02	41,78	<b>42,86</b>	37,66	35,57
$C_{IK, M}$	38,34	35,91	37,50	38,08	<b>44,63</b>	<b>40,41</b>
$C_{IK, L}$	43,75	42,23	43,24	43,76	<b>45,67</b>	41,19
$C_{TV, H}$	35,84	29,52	34,49	<b>35,30</b>	32,79	31,87
$C_{TV, M}$	37,43	34,33	37,19	<b>38,10</b>	36,73	34,07
$C_{TV, L}$	39,20	35,87	38,53	<b>39,03</b>	37,60	32,98

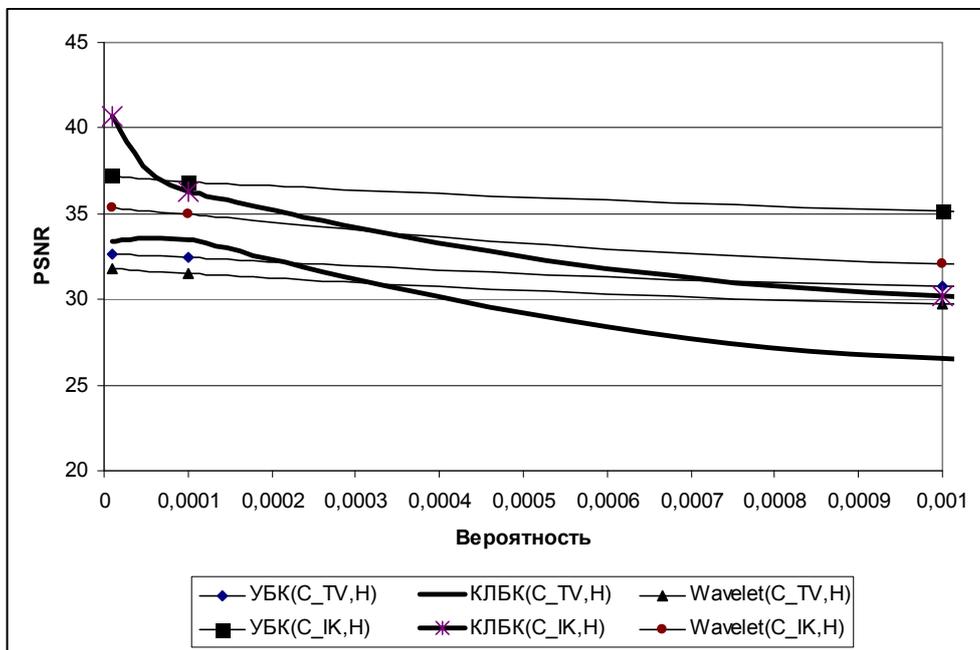


Рис. 2. Зависимость качества снимков по PSNR от вероятности ошибки в канале

На Рис. 2 приведена зависимость критерия PSNR от вероятности ошибки в канале связи для  $C_{IK, H}$  и  $C_{TV, H}$  снимков, поскольку результаты сжатия других снимков идентичны.

Ошибки в канале связи приводят к появлению артефактов на изображении (обозначены эллипсами на Рис. 3). Такие ошибки можно отфильтровать как по изображению, так и по структуре упакованных данных, но это приведет к усложнению алгоритмов и дополнительным вычислительным затратам. Реализацию

алгоритмов фильтрации следует делать не на аппаратном, а на программном уровне.

В Табл. 2 приведены эргономические характеристики [3] влияния помех в канале связи для несжатого изображения и результатов моделирования трех алгоритмов сжатия при различных уровнях помех.

По визуальным характеристикам результаты КЛБК выглядят предпочтительней, поскольку воспроизводит 256 цветов в блоке по сравнению с 2-мя цветами в УБК и 8-ю цветами в WSync (Рис. 4).

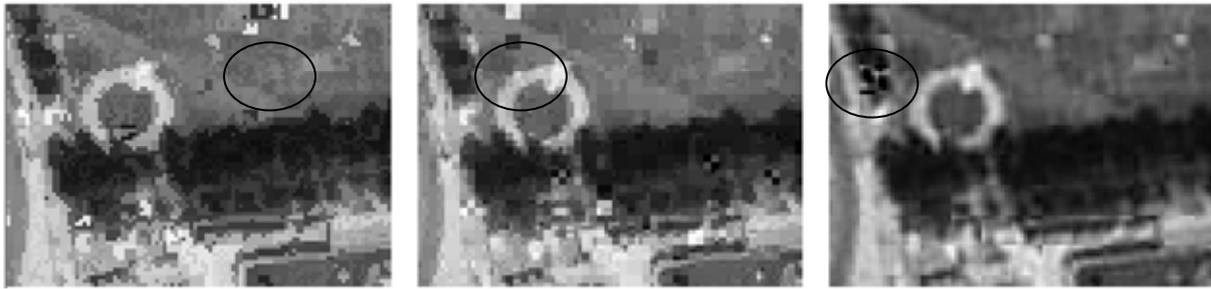


Рис. 3. Артефакты кодирования при моделировании сжатия в канале связи с уровнем помех  $P_{ош} = 10^{-4}$  (слева УБК, в центре WSync, справа КЛБК)

Табл. 2. Эргономические характеристики влияния помех в канале связи

Влияние помех	Без сжатия	УБК	WSync	КЛБК
Первые ложные объекты	0,02	0,001	0,001	0,00001
Многочисленные ложные объекты, неотличимые от истинных объектов	0,05	0,005	0,005	0,005
Многочисленные ложные объекты мешают восприятию снимка, маскируют мелкие и средние истинные объекты	0,1	0,05	0,05	0,01
С трудом распознаются только крупные объекты	0,2	0,1	0,1	0,05
Полная потеря изображения	0,5	0,2	0,2	0,1

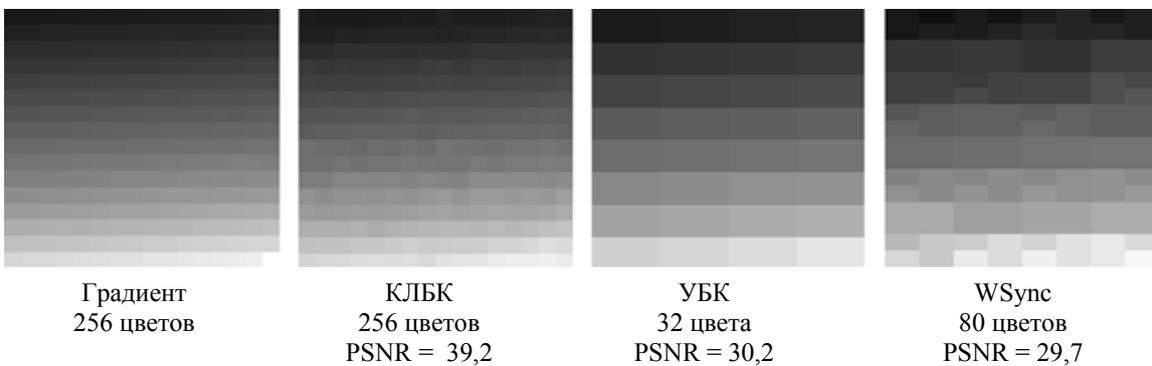


Рис. 4. Цветопередача при фиксированной степени сжатия в 4 раза

### Заключение

Результаты сжатия аэрофотоснимков алгоритмами КЛБК и КЛМБК превосходит по критерию PSNR результаты, полученные алгоритмами УБК и WSync как по цветопередаче в 3 - 8 раз, так и по качеству получаемых сложных ИК и ТВ снимков, что позволяет более точно дешифровать данные, полученные с беспилотного летательного аппарата. По критерию

PSNR > 30 во всех случаях удовлетворяют требованиям, предъявляемым к качеству снимков в комплексах дистанционного мониторинга. Результаты сжатия, получаемые алгоритмом КЛМБК, являются хорошей аппроксимацией результатов алгоритма КЛБК.

Моделирование по набору снимков показало, что по критерию PSNR алгоритм КЛБК может быть выбран как альтернативный алгоритм

мам УБК и WSync при вероятности ошибки в канале менее 0,00025.

Вычислительная сложность разложения Карунена – Лозва, в достаточной степени компенсируется возможностью анализа кодированных данных без выполнения операции декодирования, что позволяет использовать алгоритмы КЛБК и КЛМБК в комплексе с системами распознавания образов.

## Литература

1. Ту Дж., Гонсалес. Р. Принципы распознавания образов. М.:Мир, 1978
2. Kamel M., Sun C.T., Guan L. Image Compression by Variable Block Truncation Coding with Optimal Threshold //IEEE Trans. on Signal Processing. - 1991.- v.39.- № 4.
3. Грызлов В.И., Грызлова Т.П., Рубашкин В.Н. Помехоустойчивость алгоритмов сжатия изображений.// Распознавание образов и обработка изображений. ВНТК “Информационные технологии в науке, проектировании и производстве”. – Нижний Новгород, 1999.

**Козлов Даниил Вячеславович.** Ассистент кафедры МПОЭВС РГАТА имени П.А. Соловьева. Окончил Рыбинскую государственную авиационную технологическую академию (РГАТА) в 2003 году. Область интересов: сжатие информации, геоинформационные, мониторинговые, экспертные системы, автоматизация производства.