

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ВИДЕО ИНФОРМАЦИИ БЕЗ ПОТЕРЬ КАЧЕСТВА В ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Бабаев А.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого  
173003, Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская д.41, ИЭИС,  
Межкафедральная лаборатория цифровой схемотехники. E-mail: [tonjo@mail.ru](mailto:tonjo@mail.ru)

### 1. Введение

В настоящее время в траекторных измерениях востребованы высококачественные телевизионные измерения с ПЗС матриц имеющих разрешение 1 на 1,2 на 2, 4 на 4 тысячи пикселей и т.д., с частотой кадров от одного до сотен Гц и более.

Для обеспечения требуемых дальностей и углов зачастую используются несколько камер. При этом объемы и скорость поступления информации становятся большими и представляют серьезную проблему.

Для решения данной проблемы чаще всего используют методы эффективного представления видео информации без потерь качества с последующей записью на носитель.

### 2. Постановка задачи

Существует огромное количество методов эффективного представления видео информации и изображений. Можно выделить три типа: контекстно-зависимые, с предсказанием и методы прогрессивного сжатия. При этом не следует забывать об особенностях данных методов. Например, контекстно-зависимые являются наиболее ресурсоемкими, т.е. далеко не всегда реализуемыми на современной элементной базе. Методы прогрессивного сжатия чаще всего оказываются наиболее эффективными при сжатии с потерями. В нашем же случае (случай траекторных измерений) под «без потерь качества» понимается последующее побитовое соответствие восстановленных и исходных кадров. Остаются методы с предсказанием, использующие различные предикторы, которые используются в составе предиктивного компрессора изображений. На рисунке 1 приведена схема такого компрессора. Кодирование в таком случае называется предиктивным[1].

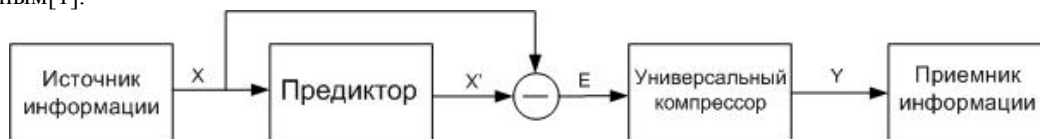


Рис. 1 - Структурная схема предиктивного компрессора изображений

Задачей настоящей работы стало определение наиболее подходящих параметров блоков схемы предиктивного компрессора с точки зрения его использования в траекторных измерениях и возможностью реализации на аппаратном уровне. Выдвинутые критерии для выбора тех или иных параметров: 1) достижение максимального коэффициента сжатия 2) аппаратная реализуемость.

### 3. Аналитические расчеты

Для начала определим некоторые особенности (характерные признаки) нашей видео информации. В ходе теоретической части исследования были получены и проанализированы различные характеристики относящиеся к яркостным, пространственно-спектральным и гистограммным признакам[2].

Определены следующие немаловажные параметры: алфавит символов (набор значений встречающихся яркостей), распределения частот и вероятностей встречаемости значений яркости, среднее (мат. ожидание), дисперсия, двумерный коэффициент корреляции, матрица коэффициентов автокорреляции, энтропия исходной информации и энтропия после преобразования (на рисунке 1 обозначена матрицей E) и, конечно, коэффициент сжатия.

Расчеты проводились с использованием различных видео данных траекторных измерений. Тестовые последовательности имели размер от 100 до 1300 кадров. Содержали различного типа изображения (ландшафты, строения, небо и т.д.), получены в разное время суток, с разными экспозициями и освещенностями. Алфавит большинства не превышал 150 символов. В ходе исследования доказано, что изображения являются малоконтрастными. Так же следует отметить, что энтропия исходных изображений находилась в пределах от 5,1 до 6,2.

С учетом поставленной цели наиболее важными для нас являются двумерный коэффициент корреляции и матрица коэффициентов автокорреляции.

Как известно, двумерный коэффициент корреляции вычисляется по формуле[3]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{N_y} \sum_{j=1}^{N_x} (X_{i,j} - \bar{X})(Y_{i,j} - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_y} \sum_{j=1}^{N_x} (X_{i,j} - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} (Y_{i,j} - \bar{Y})^2}}, \quad (1)$$

где  $X_{i,j}$  и  $Y_{i,j}$  - матрицы значений яркости двух изображений,  $\bar{X}$  и  $\bar{Y}$  - средние значения яркости двух изображений.

Определено, что при съёмке неподвижных объектов  $R$  между соседними кадрами находится на интервале  $[0.98, 0.99]$ . При съёмке движущихся объектов  $R$  лежит в окрестности значения 0.88 и лишь в исключительных случаях достигает значений порядка 0.6 (случай некорректной работы регистрирующей аппаратуры).

Также для решения нашей задачи требуется знание связи между элементами одного изображения. Матрица коэффициента автокорреляции в таком случае вычисляется по следующей формуле:

$$R_{m,n} = \frac{\sum_{i=1}^{N_y} \sum_{j=1}^{N_x} (X_{i,j} - \bar{X})(X_{i+m,j+n} - \bar{X})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_y} \sum_{j=1}^{N_x} (X_{i,j} - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} (X_{i+m,j+n} - \bar{X})^2}}, \quad (2)$$

где  $X_{i,j}$  - матрица значений яркости изображения,  $\bar{X}$  - среднее значение яркости изображения,  $m$  и  $n$  - смещение координат пикселей по вертикали и горизонтали.

При  $R_{m,n}$  равном единице наблюдается максимальная связь,  $R_{m,n}$  равном нулю связь отсутствует.

Для наших расчетов значения смещения выбраны от -20 до 20 по вертикали и горизонтали. График автокорреляционной функции изображен на рисунке 2. Из него следует, что связь между текущим пикселем и со всеми его соседними пикселями примерно одинакова. В этом можно убедиться, взглянув на таблицу 1, в которую вынесены наибольшие значения коэффициента автокорреляции с соответствующими относительными координатами пикселей. В таблицу 2 занесены значения относительных координат (смещения) пикселей и их нумерация в порядке возрастания, соответствующая уменьшению значений автокорреляции. Из таблиц 1 и 2 наглядно видно, что наибольшая корреляция у текущего пикселя с соседним пикселем, находящимся в соседней предыдущей строке ровно над ним. Несколько меньше коррелировано значение пикселя находящегося слева от текущего в этой же строке и т.д.

Из приведенных таблиц 1 и 2 можно определить пиксели наиболее подходящие для предсказания текущего, т.е. можно определить предиктор. В качестве него могут быть выбраны модели предикторов, например, использующие следующие пиксели: P1, P2, P3; P1, P2, P3, P4, P5, P6, P8.

Необходимо отметить, что приведенные модели предикторов полностью соответствуют предикторам MED (median edge detection, определение середины ребра) и GAP (gradient adjusted predictor, предиктор с настройкой на градиент) [1]. Для полного соответствия предиктору GAP необходимо заменить P7 на P8, что легко можно сделать из-за их равенства.

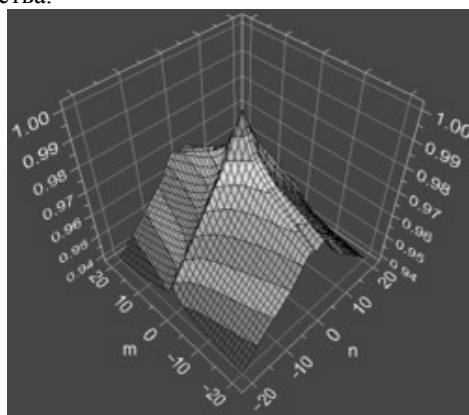


Рис. 2 – График автокорреляционной функции,  $m$  и  $n$  – смещения по вертикали и горизонтали соответственно

Таблица 1 – Пиксели с наибольшими значениями связи

Пиксель	M (верт.)	N (гор.)	Rmn	Пиксель	M (верт.)	N (гор.)	Rmn
---------	-----------	----------	-----	---------	-----------	----------	-----

P0	0	0	1				
P1	-1	0	0.99642	P10	-1	2	0.99041
P2	0	-1	0.99539	P11	-3	0	0.99009
P3	-1	-1	0.99431	P12	0	-3	0.98788
P4	-1	1	0.99431	P13	-3	-1	0.98760
P5	-2	0	0.99345	P14	-3	1	0.98760
P6	0	-2	0.99172	P15	-2	-2	0.98746
P7	-2	-1	0.99122	P16	-2	2	0.98746
P8	-2	1	0.99122	P17	-1	-3	0.98718
P9	-1	-2	0.99041	P18	-1	3	0.98718

Таблица 2 – Наиболее подходящие пиксели для предсказания текущего пикселя

		(-3,-1) P13	(-3,0) P11	(-3,1) P14		
	(-2,-2) P15	(-2,-1) P7	(-2,0) P5	(-2,1) P8	(-2,2) P16	
(-1,-3) P17	(-1,-2) P9	(-1,-1) P3	(-1,0) P1	(-1,1) P4	(-1,2) P10	(-1,3) P18
(0,-3) P12	(0,-2) P6	(0,-1) P2	(0,0) P0			

Эксперименты показали, что абсолютно все кадры после сжатия, использующим упомянутые предикторы сжимались с коэффициентом сжатия от 2,45 до 4,5 раз. Данный результат можно объяснить тем, что кадры являются малококонтрастными и получены с использованием «маложумящей» аппаратуры и, самое главное, оба предиктора неплохо предсказывают текущий пиксель. В качестве универсального компрессора был выбран инкрементный арифметический кодер. Данный алгоритм универсального кодирования дал результат наиболее близкий к теоретически максимальному коэффициенту сжатия (отличие составило менее 1%).

С точки зрения коэффициента сжатия предиктор GAP показал более лучший результат, чем MED (результат лучше на 4,5%). Но для реализации такого предиктора требуется гораздо больше ресурсов, что не может сказаться на производительности. В результате был выбран MED.

Опишем выбранный предиктор несколько подробнее. Работа предиктора заключается в адаптации к локальным вертикальным или горизонтальным ребрам. Пиксель N используется для предсказания в случае, если обнаружено вертикальное ребро, а W – если обнаружено горизонтальное ребро. Ниже приводится алгоритм работы предиктора MED:

IF  $NW \geq \max(N, W)$  THEN

$$p(i) = \min(N, W)$$

ELSE IF  $NW \leq \min(N, W)$

$$p(i) = \max(N, W)$$

ELSE

$$p(i) = N + W - NW$$

Рис. 3 характеризует работу предсказателя. Рисунок слева показывает типичное распределение вероятности яркостей исходного изображения, рисунок справа – после предсказания ошибки.

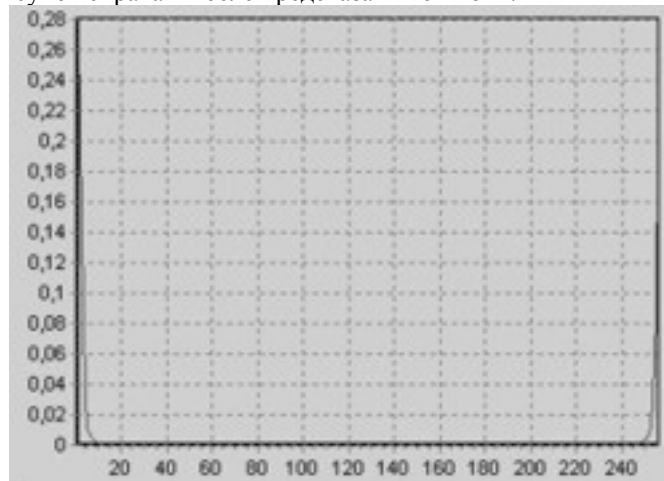
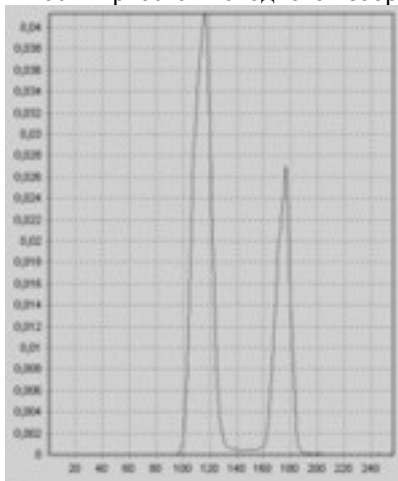


Рис. 3 – Типичное для исследуемых данных распределение вероятности яркостей исходных изображений до преобразования (слева), после предсказания (справа)

#### 4. Практическая реализация

Для уменьшения информационных потерь при передаче закодированной информации на расстояние предложено организовать сжатие и запись видео информации как единую систему, выполненную на одном кристалле. Например, для скоростей порядка 100-120Мбайт/с в качестве такого кристалла служит программируемая логическая интегральная микросхема (ПЛИС) фирмы Altera семейства StratixII EP2S30, имеющая 33800 макроячеек, 1370кбит – внутренней памяти, 16 встроенных DSP блоков. Имеется поддержка 17 интерфейсов ввода/вывода. Также предложена модульная система реализации. Состоящая из М модулей записи и N модулей сжатия. Модуль записи на один носитель может занимать до 3000 макроячеек и примерно столько же модуль сжатия. Для отработки команд с управляющих устройств передаваемых по последовательным интерфейсам и имеющих большое число состояний, в ПЛИС встроена система на кристалле NiosII той же фирмы, что и сама микросхема. В различных конфигурациях такая система занимает от 800 макроячеек ПЛИС. Такая предложенная система уже является не простым аппаратным решением, а самым настоящим аппаратно-программным комплексом, способным решать далеко не самые легкие задачи возникающие при решении задач траекторных измерений.

#### Литература

1. Бредихин Д.Ю. Сжатие графики без потерь качества, 2004 <http://www.compression.ru>.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Пер. с англ. –М.: Мир, 1982.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика–М.: Высшая школа, 2000.

