

# ПОПЫТКИ НА ДИКМ КОДИРОВАНИЯ ТВ ВИДЕОСИГНАЛОВ

В. Школник и Л. Тот

Кафедра микроволновой техники связи Будапештского Технического Университета

Поступило 5-ого октября 1979. г.

Представлено: Л. Пасторнишки

Широкое распространение цифровой техники в передаче информации предоставляет возможность передачи видеосигналов по этому же принципу на соответствующем уровне иерархии ИКМ систем. В телекоммуникации уровни скоростей передачи информации ИКМ ограниченные, и поэтому в большинстве случаев передача информации на этих дискретных уровнях возможна лишь с помощью соответствующей редукции избыточности информационного материала.

Передача по цифровому принципу цветного видеосигнала и звукового сопровождения соответствующего качества возможна на уровне 3-го порядка европейской иерархии ИКМ системы (34 Мбит/сек). Около этого диапазона скорости действует уже система ITT-SEL, которая в путь передачи включила также и радиовещательных спутников. Значительных экспериментальных результатов удалось достичь в этой области французской фирме OCCITAN и западногерманской фирме BOSCH.

Sejас mu he bydem octahawliwatrcq ha onicahii ctpyktyпу takого myrтинлекшого cighala 3-го порядка, однако отметим, что непосредственно для передачи сигнала изображения приблизительно имеем величину скорости передачи информации 30 Мбит/сек.

В остаточной части устроены сигналы звука, различные сигналы измерения и данных, а также исправление ошибок. Вышеупомянутая числовая величина на самом деле является основой выбора способа кодирования.

Выбор алгоритмов кодирования возможен лишь в свете статистических характеристик видеосигнала. Для уменьшения избыточности информации существует несколько возможностей, как например принцип ДИКМ, трансформационное кодирование, или же совместное применение обоих. При наличии настоящих технических и технологических условий реальным кажется применение принципа ДИКМ. В дальнейшем рассмотрим некоторые конструкционные проблемы аппаратуры ДИКМ кодирования, пригодного для вышеупомянутой цели.

Анализ комплектного кодирователя ДИКМ весьма сложный. Описание результатов, достигнутых в этой области лишь в весьма специальных случаях удастся найти в разных источниках. Теперь рассмотрим отдельно оптимизацию двух главных элементов кодирователя, предиктора и квантователя. Это означает, что вместо кодирователя ДИКМ, показанного на рисунке 1, рассмотрим кодирователь, структурная схема которого изображена на рисунке 2.

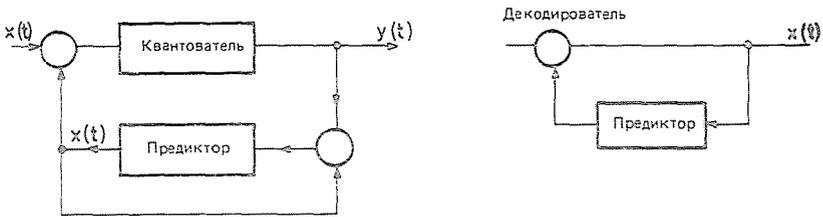


Рис. 1

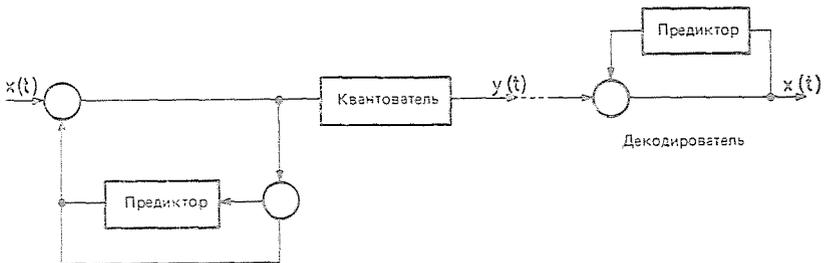


Рис. 2

Сперва рассмотрим предиктора, в выборе которого могут играть определяющую роль следующие требования:

а) — оптимальная линейная среднеквадратичная оценка данной выборки из выборок, предшествующих актуальной точке изображения на основе статистических характеристик видеосигнала (в данном случае рассматривая только сигнал яркости),

б) — коррекция вышеопределенных предикционных алгоритмов, принимая во внимание не стационарного поведения видеосигнала и субъективного действия предикционных ошибок, которая означает с одной стороны изменение коэффициентов, а с другой, превращение предикции в адаптивный процесс,

в) — обеспечение устойчивости декодирователя по отношению с помехами канала,

г) — проблемы реализации, которые необходимо принять во внимание при применении вышеперечисленных способов.

Из-за ограниченности объема более детально рассмотрим лишь анализ пункта а.).

### Линейная среднеквадратичная оценка выборок видеосигнала

Рассматривая видеосигнала как процесса немного стационарного, стохастического, предполагаем знание функции автокорреляции. Из этого стационарного процесса можем выбрать во временах  $t_0, t_0-t_1, \dots; t_0-t_n$  соответственно выборки  $S(t_0)=S_0, S(t_0-t_1)=S_1, \dots, S(t_0-t_n)=S_n$ , которые естественно являются вероятностными переменными (рис. 3.).

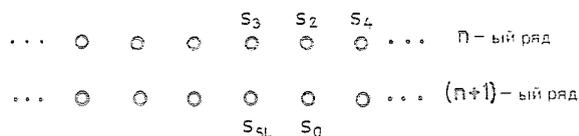


Рис. 3

Функция предиктора заключается в том, что в случае конкретной реализации на основе имеющихся величин  $S_1, S_2, \dots, S^n$  получить оценку  $\hat{S}_0$  на величину  $S_0$ . Что касается стратегии оценки, то практически можем рассчитывать лишь на линейную среднеквадратичную оценку, где величина  $S_0$  есть линейная комбинация уже реализованных величин:

$$S_0 = a_1 S_1 + a_2 S_2 + \dots + a_n S^n$$

Предположим, что ожидаемая величина видеосигнала равна 0. Коэффициентов  $a_i$  выберем таким образом, чтобы среднеквадратичная ошибка предикции была минимальной.

$$\sigma_e^2 = E [(S_0 - \hat{S}_0)^2] = \min$$

Образует частные производные по  $a_i$ , и приравнивая их к 0 получаем:

$$\frac{\partial E [(S_0 - \hat{S}_0)^2]}{\partial a_i} = \dots = -2E [(S_0 - (a_1 S_1 + \dots + a_n S_n)) S_i] = 0$$

$$E [(S_0 - \hat{S}_0)] = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

В результате вычисления предельного значения получаем известный принцип ортогональности, в соответствии с которой при оптимальной линейной средней оценки ошибка оценки ортогональна по отношению к данным, которые были использованы в ходе оценки.

Введем обозначение  $E(S_i, S_j) = R_{ij}$ , где  $R_{ij}$  есть ковариантность элементов с индексами  $i$  и  $j$  серии выборок, так

$$R_{0i} = a_1 R_{1i} + a_2 R_{2i} + \dots + a_n R_{ni}$$

На основе этого получим систему линейных уравнений, из которых можно определить коэффициенты  $a_i$ .

Систему уравнений можем записать в виде матрицы, принимая во внимание, что  $R_{ij} = R_{ji}$ , и для дисперсии выборок можем ввести обозначение  $R_{ii} = \sigma^2$ .

$$\begin{bmatrix} R_{01} \\ \vdots \\ R_{0n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma^2 & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ \vdots & & & \\ \cdot & R_{2n} & \dots & \sigma^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix}; \quad R_{0i} = R \cdot a$$

Матрица  $R$  есть матрица автоковариантности серии  $(S_1 \dots S_n)$ . На величину  $R_{ij}$  действуют и другие ограничения из-за стационарного характера процесса, которых, в отдельных конкретных случаях после выбора точек для оценки, можем принять во внимание.

$$\sigma_e^2 = E[(S_0 - \hat{S}_0)^2] = E[(S_0 - \hat{S}_0)S_0] - E[(S_0 - \hat{S}_0)\hat{S}_0] = 0$$

Можем определить квадратичную ошибку предикции. Из-за принципа ортогональности второй член правой стороны уравнения равен 0. Так

$$E[S_0 \cdot \hat{S}_0] = E[\hat{S}_0]$$

Таким образом

$$\sigma^2 = E[S_0^2] - E[S_0 \cdot \hat{S}_0] = \sigma^2 - E[\hat{S}_0^2]$$

Получили результат, что дисперсия сигнала ошибки меньше дисперсии исходного сигнала. И наряду с этим, сигнал ошибки содержит выборки менее коррелированные.

На основе вышеупомянутых при наличии данных измерений на достаточное количество изображений, можно произвести довольно близкий оптимальный выбор коэффициентов предиктора.

Определение коэффициентов является не только вопросом математической оптимизации, так как иные, вышеописанные проблемы также влияют на проектирование системы. Другой, особо важной проблемой является то, что не исполняются наши первоначальные предположения по отношению к видеосигналу, таким образом полученные результаты имеют лишь приблизительный характер, которых необходимо проверять конкретными измерениями.

На основе опытов, симуляций в дальнейшем кратко обобщим разные предикционные методы (в соответствии с рис. 3.)

Одноточечная предикция: 1.  $\hat{S}_0 = S_1$

Двухточечная предикция: 2.  $\hat{S}_0 = 1/2 \cdot S_2$

3.  $\hat{S}_0 = 1/2 \cdot S_1 + 1/2 \cdot S_4$

Трехточечная предикция: 4.  $\hat{S}_0 = S_1 + S_2 - S_3$

5.  $\hat{S}_0 = S_1 + 1/2 \cdot (S_2 - S_3)$

Результат исследований практически заключается в том, что оценка основанная на трех точках изображения ( $S_1 ; S_2 ; S_3$ ) не сможет быть значительно улучшена при принятии во внимание дальнейших точек изображения.

### Квантование

Рассмотрение возможных способов квантования заранее ограничим на нас интересующие области. Принимая во внимание, что имеется в виду кодирование лишь данной длины слов, 3 или 4 битов, как для сигналов  $Y$ , так и для сигналов разности уровней, не будем останавливаться на методах энтропийного кодирования.

Таким образом основа проектирования квантователя во всяком случае состоит в минимизации искажения характеризующей действие квантования при данном числе уровней решения.

Проектирование квантователя состоит из двух основных задач. Первая, это определение величины искажения, которая принимает во внимание субъективного действия помех квантования, которая заодно является и основой оптимизации. Вторая задача — определение репрезентативных уровней и уровней решения оптимального квантователя с помощью применения соответствующих цифровых методов на основе уже данных критериев оптимализации.

В дальнейшем будем рассматривать только возможные критерии оптимализации. Будем применять следующие обозначения:

$x_i$  — уровни решения

$y_i$  — уровни репрезентации

Индексирование можем выбрать таким образом, что квантователь будет выделять к входному сигналу между уровнями решений  $x_i$  и  $x_{i+1}$  уровень репрезентации  $y_i$ .

$N$  — число уровней репрезентации

$f(x)$  — функция частоты сигнала ошибок.

Наиболее очевидной мерой искажения является среднеквадратичное искажение (MSE — mean square error).

$$D_{\text{MSE}} = \sum_{i=1}^N \int_{x_i}^{x_{i+1}} (x-yi)^2 \cdot f(x) dx$$

Для минимизации искажения определенного таким образом, Макс выработал алгоритм, он определил оптимальные уровни репрезентации и решений для случая данного и для разных  $f(x)$  распределений.

Имеются например вычисленные данные и для распределения Лапласа, с помощью которого хорошо можно моделировать сигнала разниц в ДИКМ кодирователи. Результаты показывают, что квантователь MSE имеет довольно сильный компрессионный характер, малый его максимальный уровень репрезентации, таким образом передача больших прыжков будет искаженным, тем временем как в диапазоне малых амплитуд разложение детальнее необходимого. Другая проблема заключается в том, что MS ошибка квантователей и полученное субъективное качество изображений не пропорциональны друг другу.

Неблагоприятное субъективное действие квантователей MSE выдвигает необходимость искать функции взвешивания, основывающиеся на субъективных экспериментах, которую в выражении искажения вставляя вместо  $f(x)$ , можем получить такой критерий искажения, который лучше выражает качество изображения. На основании этого можно ввести обозначение среднеквадратического субъективного искажения (MSSE):

$$D_{\text{MSSE}} = \sum_{i=1}^N \int_{x_i}^{x_{i+1}} (x-yi)^2 V(x) dx$$

Это выражение с перва рассмотрим в отношении только одноточечной предикции. В таком случае получаемый разностный сигнал непосредственно пропорциональный с крутизной исходного сигнала. Функция  $V(x)$  — есть так называемая функция видимости. Эта пропорциональна мощности той помехи, которую прибавляем к сигналу столько раз когда скорость переменности сигнала при данных ограничениях приближается к  $x$ . Получаем такое же субъективное качество изображения как и при прибавлении белого шума единичной мощности к полному сигналу.

Функции видимости меняются по изображениям, и их характер определяется главным образом двумя составными. С одной стороны — это статистические характеристики, с другой — психофизические харак-

теристики. Этот эффект в общих чертах можно сформулировать так, что некоторые раздражения способны маскировать чувствительность человеческого глаза к другим раздражениям. Таким образом можем записать функцию видимости:

$$V(x) = F\{p(x); m(x)\}$$

где  $m(x)$  есть масковая функция зависящая от крутизны сигнала. Это описывает чувствительность глаза к малым изменениям света в зависимости от крутизны сигнала. Лимб и Рубинштейн предложили следующее разложение функции видимости:

$$V(x) = \frac{p^2(x)}{m(x)}$$

Масковая функция  $m(x)$  в широких границах независима от статистики кадров, что подтверждается измерениями. Они дали оценку на величину фактора  $\alpha$  и на основе измерений определили характер  $m(x)$ . На характер функции частот  $p(x)$  также можем предположить конкретные условия (распределение Лапласа), таким образом можно выбрать параметры квантователя. Главной проблемой является то, что в случае многочисленных точных предикций полученный разностный сигнал не выражает непосредственно крутизну изменения яркости. Таким образом в формуле  $D_{MSSE}$  необходимо принять во внимание еще одного фактора, которая выражает связь между сигналом ошибок и крутизны изменений сигнала.

Квантователь MSSE конструированный вышеуказанным способом в общем дает менее компримированные характеристики чем квантователь MSE. Наряду с этим измерения подтвердили что квантователь MSSE внутри широких границ можно считать пропорциональным с субъективным качеством изображений. Не имеются в нашем распоряжении данные на передачу видеосигнала хорошего качества на ДИКМ петлю построенной с помощью квантователем описанного выше типа, таким образом о полезности метода можно решать лишь экспериментально. Кажется вероятной, что соответствующие результаты можно достичь лишь с помощью адаптивного квантователя. Это на практике можно реализовать таким образом, что для отдельных частей изображения с разной динамикой образуем несколько квантованных характеристик, которыми управляет сигнал выработанный предиктором (например при системе SEL). В этом случае можно образовать переключаемый сигнал в декодирователе, таким образом нет необходимости передать сигнал служащий для переключения квантователя. В адаптивной системе при наличии управляемого квантователя как MSE так и MSSE квантователь может дать соответствующие результаты.

Мы рассмотрели отдельно проблемы оптимизации двух основных элементов ДИКМ кодирователя. Возможна оптимизация и полной петли. Суть способа заключается в том, что исходя из разностного сигнала можно проектировать квантователь. После этого вставляя квантователь в петлю можем снять гистограмму разностного сигнала. На основе этого можно проектировать новый квантователь. С помощью повторения этого способа, на основе измерений в нескольких шагах возможна сконструирование оптимального квантователя.

### Резюме

Широкое распространение цифровой техники в телекоммуникации выдвигает потребность цифрового кодирования видеoinформаций. Уровень 3-го порядка иерархии ИКМ систем (34 Мбит/сек скорость передачи информации) пригодна для передачи цветных ТВ видеосигналов. Несомненно, что в этом случае существует необходимость редукции избыточности видеосигнала. Это можно осуществить с помощью техники ДИКМ с одной стороны, или с помощью принципов трансформационного кодирования, с другой.

Наша статья занимается первой из вышеупомянутых двух возможностей.

### Литература

1. WASSER, H.: A Digital TV System for Satellite Transmission NTZ 1977. 5.
2. O'NEAL, J.: Predictive Quantising Systems for the Transmission of TV Signals BSTJ 1966. may-june.
3. PIRSCH, F.: Statistical Analysis and Coding of Color Video Signals IEEE trans. COM—25. No. 11. 1977.
4. NETRAVALI, J.: Design of Quantisers for DPCM Coding of Picture Signals IEEE trans. COM—25.
5. НАВЫ, I.: Survey of Adaptive Image Coding Techniques IEEE trans. COM—25.
6. МАХ, G.: Quantising for Minimum Distortion IRE trans. IT—6. 1960.

Вилмош Школьник  
Ласло Тот

} Н-1521 Будапешт