

Беляев Евгений Александрович

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (в технике и технологиях) на тему:

**«УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ АЛГОРИТМА СЖАТИЯ  
ВИДЕОИНФОРМАЦИИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ  
МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ»**

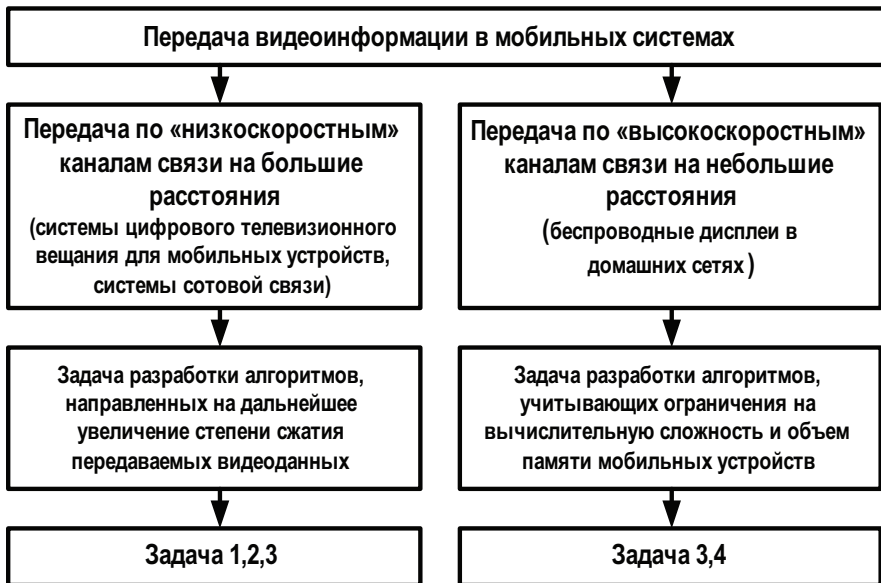
Научный руководитель: к.т.н., доц. Тюрликов Андрей Михайлович

**Основной целью работы** является исследование и разработка методов управления параметрами алгоритма сжатия видеоинформации, направленных на повышение эффективности передачи видеоданных в системах мобильной связи.

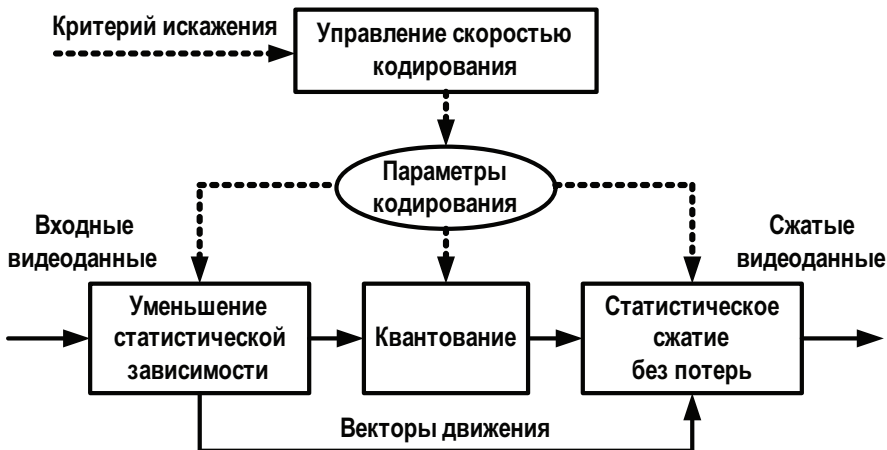
Были исследованы **следующие задачи**:

1. Задача повышения эффективности адаптивного арифметического кодирования при сжатии видеоинформации.
2. Задача устранения межкадровой (временной) избыточности видеоинформации для случая передачи по каналам связи с низкой пропускной способностью.
3. Задача управления скоростью кодирования видеоинформации при передаче данных в системах мобильной связи.
4. Задача разработки алгоритмов с учетом особенностей реализации системы сжатия и передачи видеоинформации, в частности, с учетом ограничения на объем памяти кодирующего и декодирующего устройств.

## Направления исследований

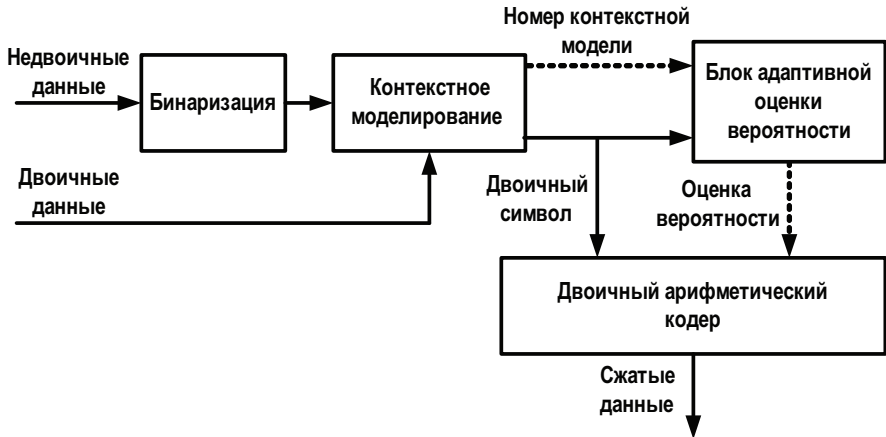


## Обобщенная схема сжатия видеoinформации

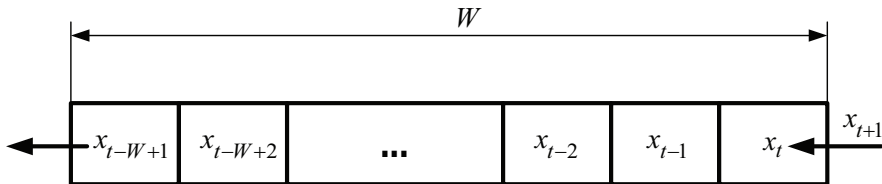


1. **Скорость кодирования** -  $r$  (количество бит, формируемых кодером в единицу времени).
2. **Уровень искажения** восстановленной видеопоследовательности относительно исходной (среднеквадратическая ошибка -  $d$ , пиковое отношение сигнал/шум - **PSNR**).

## Сжатие без потерь при помощи контекстного адаптивного двоичного арифметического кодирования



## Оценка вероятности при помощи «скользящего окна»



$$\hat{p}_{t+1} = \frac{n_t^1 + 1/2}{W + 1}, \text{ где } n_t^1 - \text{число единиц в окне.}$$

«Мнимое скользящее окно» **Рябко**:  $n_{t+1}^1 = n_t^1 - y_t + x_t$ , где  $y_t$  - сл. величина, которая генерируется со следующими вероятностями:

$$\begin{cases} Pr\{y_t = 1\} = \frac{n_t^1}{W} \\ Pr\{y_t = 0\} = 1 - \frac{n_t^1}{W}. \end{cases}$$

«Дерандомизированное» «мнимое скользящее окно»:

Заменим случайную величину  $y_t$  ее математическим ожиданием:

$$n_{t+1}^1 = n_t^1 - \frac{n_t^1}{W} + x_t.$$

## «Виртуальное скользящее окно»

$$\hat{p}_{t+1} = \frac{s_t}{cW}, \text{ где } s_{t+1} = \begin{cases} s_t + \left\lfloor \frac{cW - s_t + \frac{W}{2}}{W} \right\rfloor, & \text{при } x_t = 1 \\ s_t - \left\lfloor \frac{s_t + \frac{W}{2}}{W} \right\rfloor, & \text{при } x_t = 0. \end{cases}$$

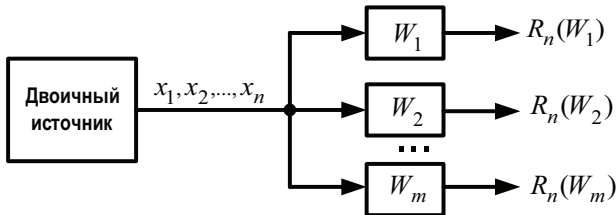
### Утверждение 1.

1.  $c = W$
2.  $s_0 = \min \{ W^2 - W/2 + 1, \max \{ W/2 - 1, \lfloor W^2 \cdot \hat{p}_0 \rfloor \} \}$ . ■

### Результаты применения алгоритма

1. Уменьшение на 0.5-1.5% скорости кодирования при фиксированном уровне искажения по сравнению с алгоритмами оценки вероятности из стандартов H.264/AVC и JPEG2000.
2. Реализация без операций умножения/деления и использования таблиц переходов.

## Адаптивное «виртуальное скользящее окно»



$$\hat{p}_{t+1} = \frac{g(x_1, \dots, x_t, 1)}{g(x_1, \dots, x_t, 0) + g(x_1, \dots, x_t, 1)}, \quad \text{где } -\log g(x_1, \dots, x_n) = \min_{W_i} R_n(W_i)$$

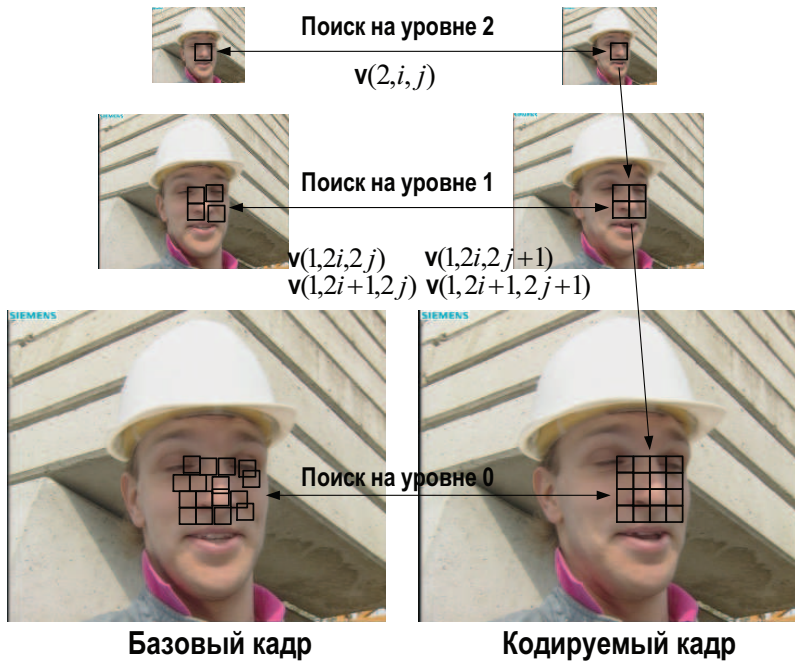
**Утверждение 2.** Степень сжатия, достигаемая предложенным алгоритмом, с ростом  $n$  приближается к степени сжатия для «виртуального скользящего окна» с длиной окна  $W^* = \arg \min_{W_i} R_n(W_i)$ . ■

### Результаты применения алгоритма

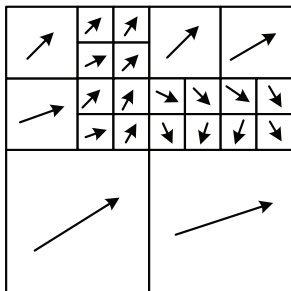
Дополнительное уменьшение на 0.5% скорости кодирования при фиксированном уровне искажения.



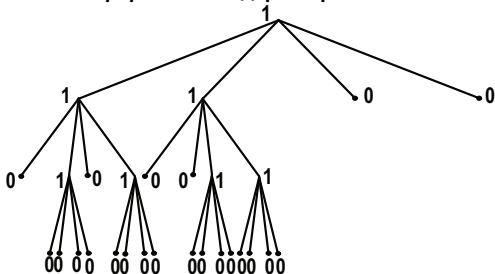
# Модифицированный алгоритм «иерархической оценки движения»



## Рекурсивная процедура иерархического разбиения



## Иерархическое дерево разбиения



Пусть для сегмента кадра задан шаг квантования  $q$  и найдено множество векторов движения  $\{\mathbf{v}(l, i, j)\}$ .

**Утверждение 3.** Процедура выполняет поиск разбиения  $f^*$  такого, что

$$\begin{cases} r_v(f^*) = \min_{f_i \in F^*} r_v(f_i), \text{ где} \\ F^* = \{f_i \in F : f_i = \arg \min_{f_j \in F} r_{\Delta s}(f_j)\}, \end{cases}$$

где  $r_v(f_i)$  - битовые затраты на векторы движения,  $r_{\Delta s}(f_i)$  - битовые затраты на разностные блоки. ■

Сложность:  $C = 4 \cdot r + 2 \cdot L$ .

## Оценка движения с «ограничением» для систем с жесткими ограничениями на задержку передачи

$q_i \in Q$  - шаг квантования для сегмента с номером  $i$ .

$r_i^{q_i}$  и  $d_i^{q_i}$  - битовые затраты и уровень искажения для сегмента  $i$ .

Битовые затраты на кадр  $r(\mathbf{q}) = \sum_{i=1}^N r_i^{q_i}$ .

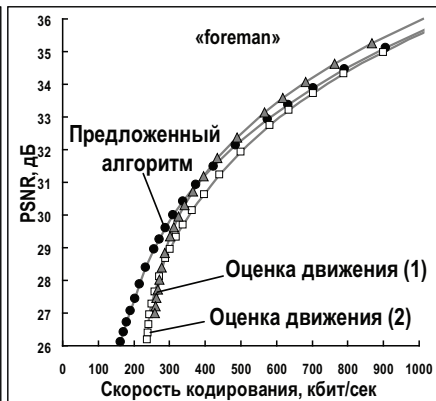
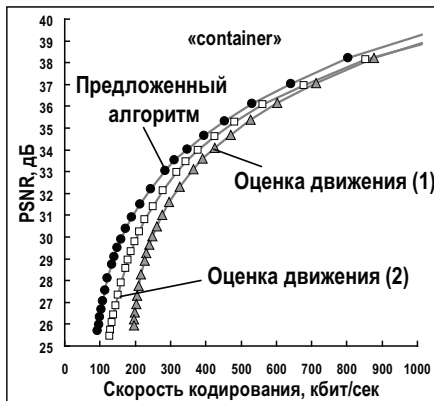
Уровень искажения на кадр  $d(\mathbf{q}) = \sum_{i=1}^N d_i^{q_i}$ .

При ограничении количества бит на видеокадр необходимо найти вектор  $\mathbf{q}^* = \{q_1^*, \dots, q_N^*\}$ , чтобы

$$\begin{cases} d(\mathbf{q}^*) = \min_{\mathbf{q} \in \{\mathbf{q}\}} d(\mathbf{q}), \\ r(\mathbf{q}^*) \leq r_{max}. \end{cases}$$

Сложность:  $C = 4 \cdot r + 2 \cdot |Q| \cdot L$ .

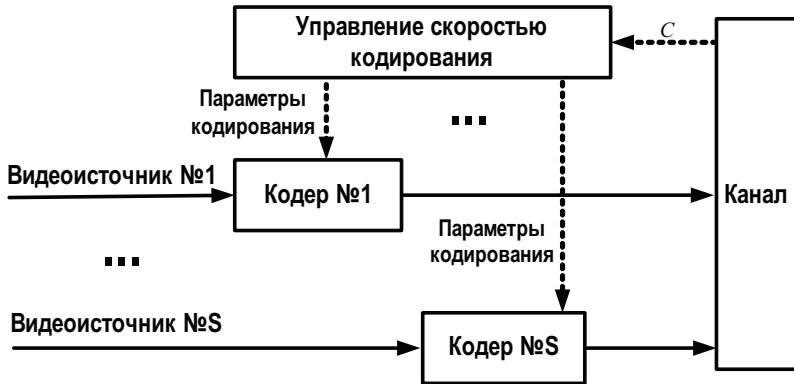
## Сравнение результатов работы алгоритма оценки движения на тестовых видеопоследовательностях



1.  $J(\mathbf{v}) = \sum_{(x,y) \in S_n} |s_n(x,y) - s_k^*(x + v_x, y + v_y)|^2 \rightarrow \min, C = (2 \cdot r + 1)^2$ .
2.  $\Omega(\mathbf{v}) = J(\mathbf{v}) + \lambda \cdot r(\mathbf{v}) \rightarrow \min, C = (2 \cdot r + 1)^2$ .

Уменьшение на 5-40% скорости кодирования при фиксированном уровне искажения для стандарта MPEG-2 при высоких степенях сжатия.

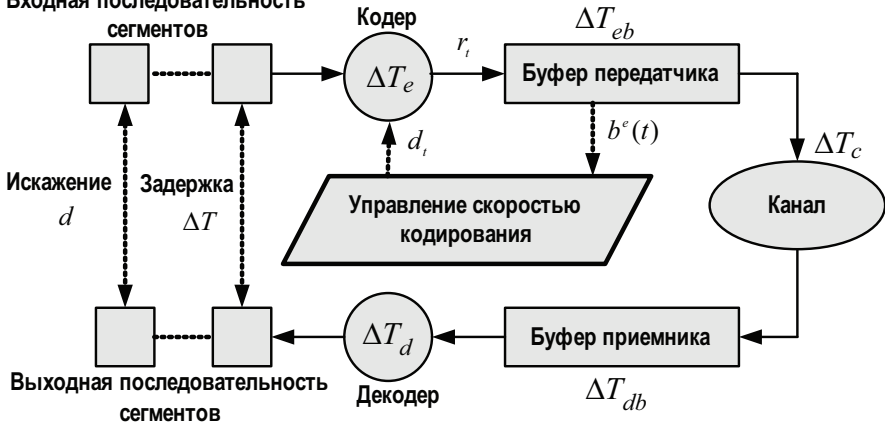
## Управление скоростью кодирования для группы видеоисточников в системах цифрового телевизионного вещания



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{минимизировать } \max_{s \in S, i \in G_j} d(s, \mathbf{q}_i) \\ \sum_{s \in S} \sum_{i \in G_j} r(s, \mathbf{q}_i^*) \leq R_{\text{GOP}}. \end{array} \right.$$

# Задержка в системе сжатия и передачи видеoinформации

Входная последовательность



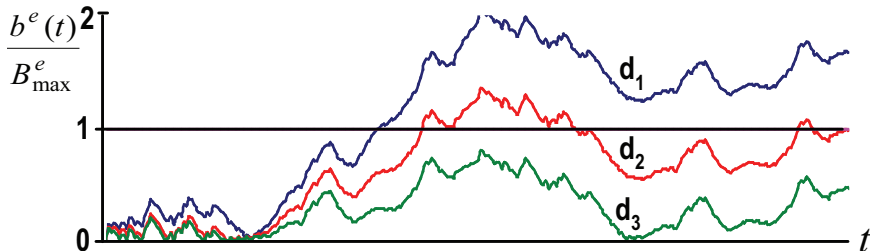
Задержка  $\Delta T = L$ , если

$$\begin{cases} B_{max}^e = B_{max}^d = L \cdot c, \\ b^e(t) \leq B_{max}^e. \end{cases}$$

Минимаксная опт. задача:

$$\begin{cases} \text{минимизировать } \max_t d_t, \\ b^e(t) \leq B_{max}^e. \end{cases}$$

## Решение минимаксной задачи последовательным поиском

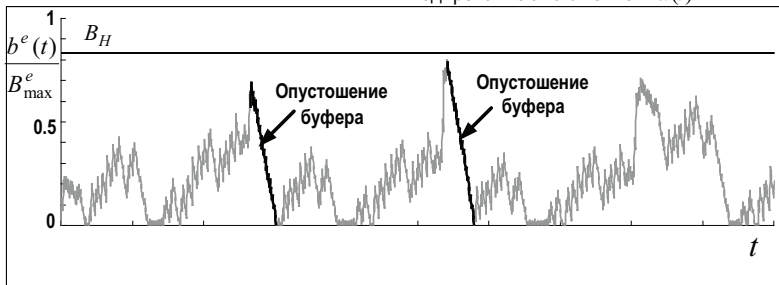
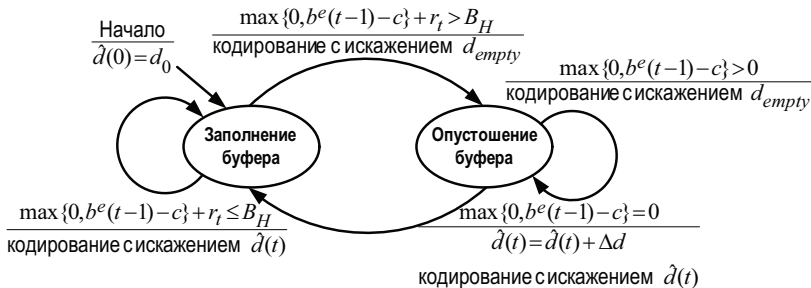


$$\mathbf{D} = \{0, d_1, d_2, d_3, \dots, d_N, \infty\}, d_1 < d_2 < d_3 < \dots < d_N.$$

$$\begin{cases} r(\mathbf{x}_t) = \min_{\mathbf{n} \in \{\mathbf{n}\}} r(\mathbf{n}) \\ d(\mathbf{x}_t) \leq \tilde{d}, \tilde{d} \in \mathbf{D}. \end{cases}$$

**Утверждение 4.** Не существует параметров кодирования, не приводящих к переполнению буфера и имеющих максимальный уровень искажения меньше чем  $\tilde{d}$ . ■

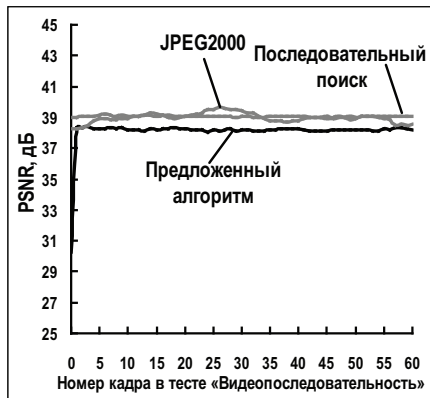
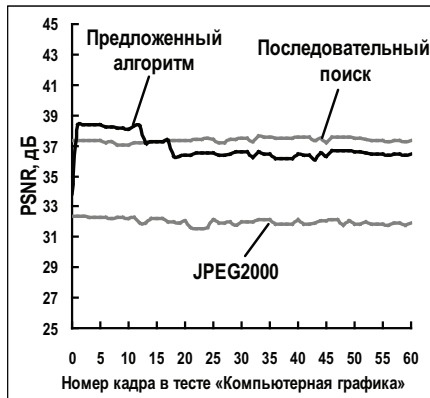
# Управление скоростью кодирования при ограничении на объем памяти и задержку передачи данных



Утверждение 5.  $\hat{d}(t) \leq \tilde{d} + \Delta d$ . ■

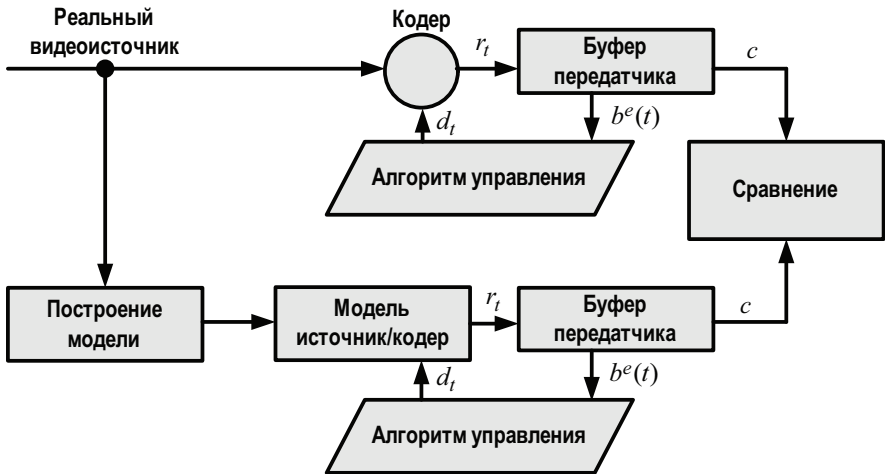


## Сравнение результатов работы алгоритма управления на тестовых видеопоследовательностях

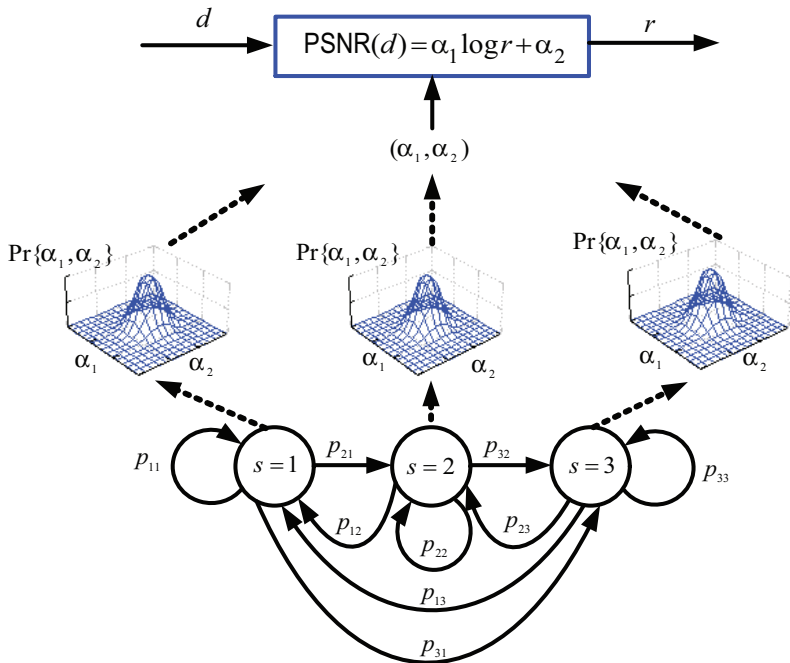


Увеличение визуального качества видеопоследовательностей, содержащих компьютерную графику, на 5-10дБ при фиксированной скорости канала и задержке по сравнению со стандартом JPEG2000.

# Методика тестирования алгоритмов управления при помощи модели источник-кодер



# Предложенная модель источник-кодер



## Основные положения, выносимые на защиту:

1. Алгоритм «виртуального скользящего окна» для повышения эффективности адаптивного арифметического кодирования при сжатии видеоинформации.
2. Модифицированный алгоритм «иерархической оценки движения» для устранения межкадровой (временной) избыточности видеоинформации.
3. Метод управления скоростью кодирования видеоинформации при передаче данных в системах мобильной связи.

# Использование алгоритма управления скоростью кодирования при ограничении на объем памяти в проекте «Беспроводной экран»

