

DOI 10.30898/1684-1719.2020.5.2

УДК 621.395.4

## **ПОДХОД К РАСПОЗНАВАНИЮ СТРУКТУРНОГО ЭЛЕМЕНТА «МЕТКА ВРЕМЕНИ» ПРОТОКОЛЬНОГО БЛОКА С МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕМ РЕЧЕВЫХ ДАННЫХ АБОНЕНТОВ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ**

**Г. В. Никитин, А. В. Шишкалов, К. В. Сазонов, Р. Р. Саниев**

**Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского»,  
197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13**

Статья поступила в редакцию 15 апреля 2020 г.

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности формирования структурного элемента протокольного блока данных «метка времени» и «номер по порядку» при передаче речевых сообщений по каналам спутниковых систем связи с применением протокола мультиплексирования речевых данных на прикладном уровне. Представлены результаты имитационного моделирования. При моделировании учтены статистические особенности распределения интервалов пауз и активной речи абонента. Предложен информативный признак распознавания структурного элемента «метка времени» протокольного блока с мультиплексированием речевых данных абонентов спутниковых систем связи. Информативный признак основан на оценке среднеквадратического отклонения моментов времени приема пакетов относительно прогнозируемых моментов. Проведена оценка ошибок распознавания первого и второго рода при различных задержках в буфере сетевого оборудования.

**Ключевые слова:** мультиплексирование речевых данных, протоколы передачи речи, распознавание структуры.

**Abstract.** The article discusses the features of the formation of a structural element of the protocol data unit "time stamp" and "sequence number" in the conditions of voice transmission through satellite communication systems using the multiplexing protocol at the application level. The article presents the results of simulation. The simulation took into account statistics of intervals of pauses and intervals of active speech. An informative sign of recognition of the structural element "time stamp" of

the protocol data unit with multiplexing at the application level was proposed. The informative feature is based on an estimate of the standard deviation of the packet receiving time points relative to the predicted ones. The error probabilities of Type I and Type II were evaluated for various delays in the buffer of the network equipment.

**Key words:** multiplexing voice data, network protocol for delivering voice, pattern recognition.

## Введение

В настоящее время с целью повышения эффективности использования ресурса канала связи производители оборудования разрабатывают различные способы сокращения избыточности передаваемых данных. Так, для организации связи между локальными автоматическими телефонными станциями по спутниковым каналам связи активно внедряется технология мультиплексирования речевых данных на прикладном уровне. Технология предполагает, что к каждому речевому кадру добавляется заголовок со служебной информацией, а полученные пары заголовков и речевых кадров различных абонентов объединяются в один протокольный блок данных (ПБД). В силу отсутствия стандартизированного протокола мультиплексирования речевых данных на прикладном уровне, производители спутникового оборудования передачи данных (такие как iDirect, Hughes, Comtech, ViaSat и др.) разрабатывают свои собственные фирменные протоколы, описание которых отсутствует в открытом доступе.

Решение специфических задач, стоящих перед службой мониторинга спутниковых систем связи (ССС), неотъемлемо связано с определением структуры и параметров ПБД. В свою очередь, для решения задачи определения структуры и параметров ПБД необходимо выявить все структурные элементы (СЭ), входящие в состав ПБД, определить их параметры и порядок расположения в ПБД.

В данной статье предложен подход по определению параметров СЭ «метка времени», входящего в состав ПБД прикладного уровня при передаче мультимедийных данных. Предложенный подход учитывает физическую

сущность формирования СЭ «метка времени» и может быть использован для синтеза нестандартизованных ПБД прикладного уровня при передаче мультимедийных (речевых) данных.

### **1. Особенности формирования структурных элементов протокольных блоков при передаче речевых данных**

Структурный элемент «метка времени» используется для устранения неравномерности времени задержки на приемной стороне, получаемой речевыми кадрами в процессе их передачи по каналу связи. С помощью него передается численное значение момента времени создания речевого кадра кодером низкоскоростного кодирования речи (НКР). Так как кодер НКР может формировать речевые кадры только в дискретные моменты времени, то достаточно передавать номер дискретного момента времени. Шаг дискретизации времени  $\Delta t_{\text{МВ}}$  выбирается так, что бы на интервале времени между двумя кадрами НКР  $\Delta t_{\text{НКР}}$ , укладывалось целое число  $\Delta t_{\text{МВ}}$ . Например, когда кодером НКР предусмотрено формирование речевого кадра через интервалы  $\Delta t_{\text{НКР}} = 20$  мс, то производителем оборудования может быть выбран шаг дискретизации  $\Delta t_{\text{МВ}}$  равный 20 мс, 10 мс, 5 мс, 4 мс и т.д., в зависимости от требуемой точности синхронизации. Длина (разрядность) СЭ «метка времени»  $L^{(\text{МВ})}$  так же может отличаться у разных производителей и влияет на число возможных численных значений СЭ. В том случае, когда величина времени превысит максимально возможное для передачи СЭ «метка времени», значение таймера устанавливается в ноль, а отсчёт времени начинается заново.

Исходя из вышесказанного, численные значения в поле СЭ «метка времени» для каждого речевого сообщения в отдельности можно представить выражением:

$$T_j = \left( \frac{t_j^{(\text{к})}}{\Delta t_{\text{МВ}}} \right) \bmod \left( 2^{L^{(\text{МВ})}} \right), \quad (1)$$

где  $T_j$  – численное значение в поле  $j$ -го СЭ «метка времени»;

$L^{(MB)}$  – размер СЭ «метка времени», бит;

$t_j^{(к)}$  – время от начала речевого сообщения до момента формирования  $j$ -го кадра НКР;

$\Delta t_{MB}$  – интервал времени, соответствующий увеличению численного значения СЭ «метка времени» на единицу.

Размер СЭ «метка времени»  $L^{(MB)}$  определяет число двоичных символов, занимаемое СЭ в ПБД прикладного уровня.

Для определения порядка сборки сообщений на приемной конце линии связи в ПБД прикладного уровня используется СЭ «номер по порядку». В условиях сокращения избыточности передаваемых данных и повышения эффективности использования ресурса канала связи, производители оборудования разрабатывают протоколы, в которых поле «номер по порядку» имеет фиксированный размер  $L^{(nn)}$ . При достижении своего максимального значения  $2^{L^{(nn)}}$ , СЭ «номер по порядку» устанавливается в нулевое значение, а последовательная нумерация кадров НКР начинается с начала. Таким образом, формируемую для каждого речевого сообщения в отдельности последовательность численных значений СЭ «номер по порядку» можно представить следующим образом:

$$N_j = (N_{j-1} + 1) \bmod (2^{L^{(nn)}})^2, \quad (2)$$

где  $N_j$  – численное значение  $j$ -го СЭ «номер по порядку»;

$L^{(nn)}$  – размер СЭ «номер по порядку», бит.

Перед передачей между узлами сети, пакет ожидает своей очереди в буфере сетевого оборудования. Время ожидания пакета  $\hat{t}^{(o)}$  является дискретной случайной величиной, распределенной по гамма-закону [1]. Дискретность задержки  $\hat{t}^{(o)}$  определяется тем, что пакет может получить задержку, только кратную битовой скорости передачи ЦП. Значение максимально допустимой сквозной задержки передачи речи от источника до получателя не должна

превышать 400 мс [2, 3], в силу особенностей передачи мультимедийного трафика.

При передаче речи по ССС составляющими сквозной задержки являются: задержка ожидания в буфере сетевого оборудования  $\hat{t}^{(0)}$ , задержка воспроизведения, выравнивающая колебания  $\hat{t}^{(0)}$ , время задержки формирования кадра НКР (20 мс), задержка распространения сигнала между земными станциями через космический аппарат на геостационарной орбите ( $\approx 270$  мс [4, 5]), задержка быстрого действия оборудования ( $\approx 10$  мс). Учитывая вышесказанное, в ССС к времени  $t^{(0)}$  предъявляются более жесткие требования, чем в наземных системах связи. Оно не должно превышать 100 мс, в противном случае на приемной стороне речевые данные будут считаться потерянными.

Система маскирования ошибок допускает потерю до 5% речевых кадров [1], поэтому при моделировании необходимо учитывать, что значение функции распределения времени ожидания пакета  $F_{\hat{t}^{(0)}}(t^{(0)} = 100 \text{ мс})$  должно быть не менее 0,95. Подбор параметров гамма-закона распределения позволяет моделировать различные условия ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования.

Протокольные блоки с мультиплексированием речевых данных на прикладном уровне формируются устройством, расположенном непосредственно перед модемом. Перед отправкой в линию связи ПБД ожидает своей очереди в течение случайного интервала времени  $\hat{t}^{(0)}$ . Во время ожидания в ПБД продолжают добавляться формируемые кадры НКР от различных источников. При значительном времени ожидания в буфере в один ПБД могут объединяться по несколько речевых кадров каждого абонента. В силу того, что при изменении загрузки канала связи меняется среднее время ожидания в буфере сетевого  $t^{(0)}$ , на приемной стороне линии связи может наблюдаться различный характер флуктуации интервалов времени между принимаемыми пакетами, что оказывает влияние и на значение интервалов времени между принимаемыми СЭ ПБД «метка времени». На рис. 1 представлены примеры изменения интервалов времени между

СЭ «метка времени» на приемной стороне при различных величинах времени ожидания пакета в буфере сетевого оборудования.

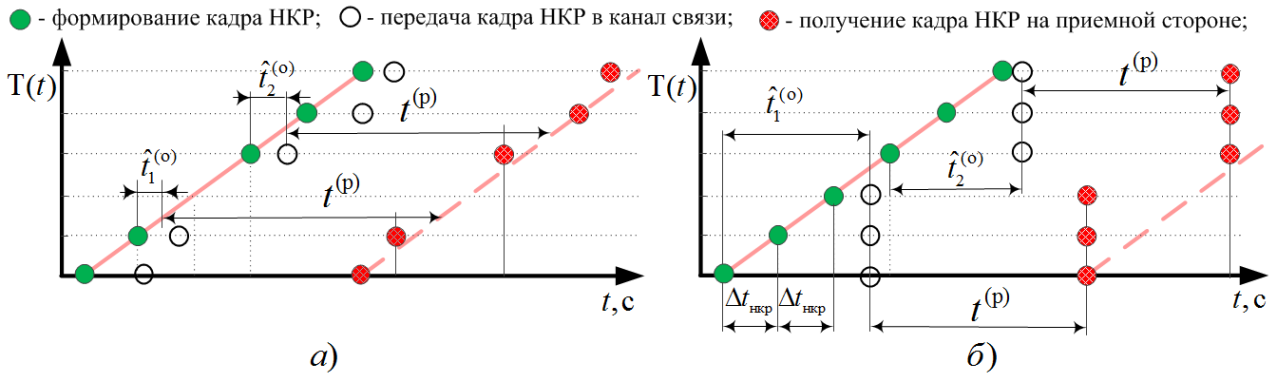


Рис. 1. Пример изменения интервалов времени между принимаемыми СЭ «метка времени»:

а) при  $\hat{t}^{(o)} < \Delta t_{\text{нкp}}$ ; б) при выполнении условия  $3 \cdot t_{\text{нкp}} < \hat{t}^{(o)} < 4 \cdot t_{\text{нкp}}$ .

Передача речевых данных состоит из последовательного чередования фаз активного и пассивного состояния речевого сигнала. В современных системах передачи данных широко используется детектор активности речи, который для каждого интервала  $\Delta t_{\text{нкp}}$  речевого сигнала принимает решение о том, какому состоянию соответствует участок речевого сигнала: активное состояние  $A$ , когда абонент говорит, или пассивное состояние  $P$ , когда абонент молчит. На интервалах, соответствующим состоянию  $P$ , кодер НКР формирует кадры с параметрами комфортного шума через увеличенный интервал времени. Так например, спецификация 3GPP TS 26.094 [6] предусматривает формирование кадра с параметрами комфортного шума через 160 мс.

Структурные элементы «метка времени» и «номер по порядку» добавляются к каждому блоку данных, формируемому кодером НКР. На рис. 2 представлены последовательности численных значений СЭ «метка времени» и «номер по порядку» на временной оси в условиях применения детектора активности речи. Видно, что на интервалах речевого сообщения, соответствующих состоянию  $A$ , изменения численных значений СЭ «метка времени» и «номер по порядку» во времени происходит идентично. Данное обстоятельство может привести к ошибкам при распознавании этих СЭ. В силу

этого анализ принципов формирования СЭ ПБД «метка времени» и «номер по порядку» должен учитывать наличие пауз в речи абонента.

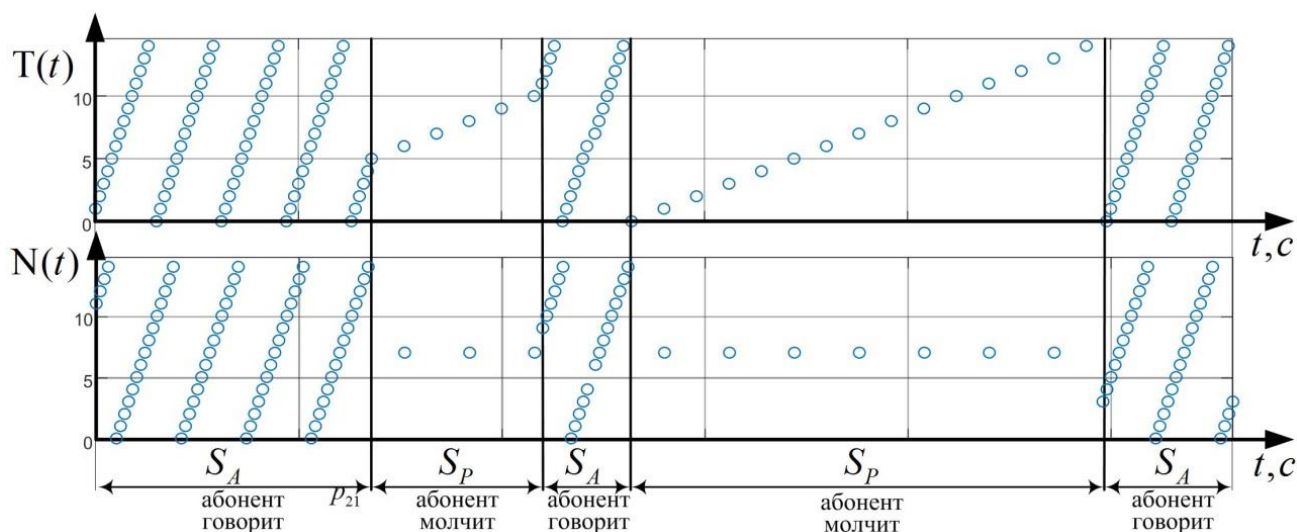


Рис. 2. Последовательности численных значений СЭ «метка времени» (вверху) и СЭ «номер по порядку» (внизу) на временной оси в условиях применения детектора активности речи.

В нестандартизованных ПБД прикладного уровня априорно неизвестны параметры СЭ, входящих в состав ПБД. Для их выявления необходимо осуществить моделирование протокольного взаимодействия с учетом особенностей структуры и порядка формирования входящих в его состав СЭ.

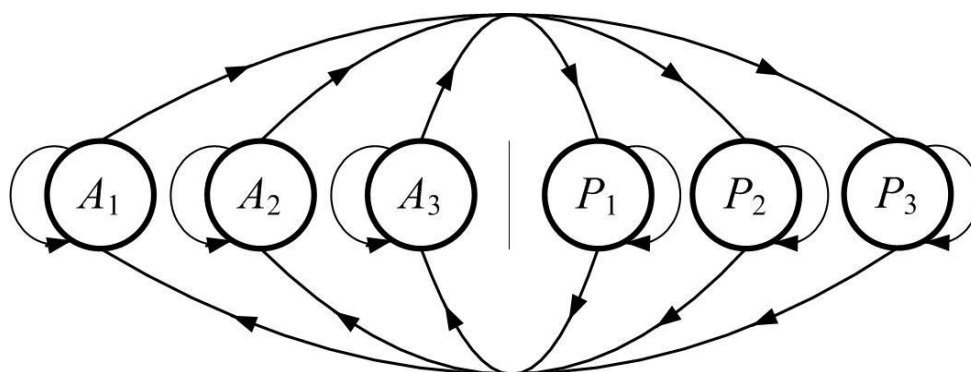


Рис. 3. Граф модели диалога с шестью состояниями.

В статье [7] проведен анализ основных моделей диалога абонентов и сделан вывод о том, что они не могут служить для решения задачи моделирования потока речевых кадров от одного абонента при диалоге. Предложенная автором модель, показанная на рис. 3, включает два основных состояния (активное и пассивное),

каждое из которых расширено тремя отдельными «подсостояниями». «Подсостояния»  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  соответствуют активной речи, «подсостояния»  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  соответствуют паузе в речи и отличаются различными значениями математического ожидания длин активных и пассивных состояний.

Матрица переходных вероятностей  $S_{ij}$  из состояния  $i$  в состояние  $j$  и подставленные численные значения описывается следующим образом:

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{A_1A_1} & 0 & 0 & S_{A_1P_1} & S_{A_1P_2} & S_{A_1P_3} \\ 0 & S_{A_2A_2} & 0 & S_{A_2P_1} & S_{A_2P_2} & S_{A_2P_3} \\ 0 & 0 & S_{A_3A_3} & S_{A_3P_1} & S_{A_3P_2} & S_{A_3P_3} \\ S_{P_1A_1} & S_{P_1A_2} & S_{P_1A_3} & S_{P_1P_1} & 0 & 0 \\ S_{P_2A_1} & S_{P_2A_2} & S_{P_2A_3} & 0 & S_{P_2P_2} & 0 \\ S_{P_3A_1} & S_{P_3A_2} & S_{P_3A_3} & 0 & 0 & S_{P_3P_3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,79453 & 0 & 0 & 0,01765 & 0,0277 & 0,00127 \\ 0 & 0,94904 & 0 & 0,04377 & 0,00687 & 0,00032 \\ 0 & 0 & 0,99164 & 0,00719 & 0,00113 & 0,00005 \\ 0,16166 & 0,04876 & 0,00922 & 0,78036 & 0 & 0 \\ 0,01204 & 0,00363 & 0,00069 & 0 & 0,98364 & 0 \\ 0,00062 & 0,00019 & 0,00004 & 0 & 0 & 0,999916 \end{pmatrix}.$$

При моделировании будем полагать, что СЭ «метка времени» и «номер по порядку» формируются с периодичностью  $\Delta t_{\text{нкp}}=20$  мс на интервалах, соответствующих «подсостояниям»  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$ , и с периодичностью  $8 \cdot \Delta t_{\text{нкp}}=160$  мс на интервалах, соответствующих «подсостояниям»  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$ .

Таким образом, данная модель позволит произвести моделирование потока речевых кадров от одного абонента, а следовательно, и моделирование формирования СЭ ПБД «метка времени» и «номер по порядку» во временной области с учетом статистических особенностей распределения пауз в речевом сигнале и уплотнения нескольких кадров НКР в один ПБД при мультиплексировании на прикладном уровне.



Моделирование формирования СЭ ПБД «метка времени» и «номер по порядку» во временной области позволит выявить информативный признак для распознавания СЭ «метка времени» протокольного блока с мультиплексированием речевых данных.

## 2. Информативный признак распознавания структурного элемента «метка времени» протокольного блока с мультиплексированием речевых данных

В данной статье исследуется случай, когда в результате преобразований произведена декомпозиция ПБД на мультиплексируемые части – сегменты ПБД, состоящие из заголовка со служебной информацией и речевого кадра. Структура заголовка и параметры СЭ «метка времени» при этом неизвестны. Вопросы процедуры декомпозиции ПБД на мультиплексируемые части в статье не рассматривались.

Численные значения СЭ «метка времени»  $T_j$  кодируются прямым двоичным кодом, а полученная в результате последовательность двоичных символов размещается в структуре сегмента ПБД в соответствии с правилами и параметрами формирования СЭ «метка времени»

$$\Upsilon_{\text{MB}} : T_j \rightarrow \langle w_{L_0^{(\text{MB})},j}, \dots, w_{l,j}, \dots, w_{L_0^{(\text{MB})}+L^{(\text{MB})},j} \rangle, w_{l,j} \in \{0,1\}, \quad (3)$$

где  $T_j$  – численное значение СЭ «метка времени» в  $j$ -м сегменте ПБД;

$w_{l,j}$  –  $l$ -й двоичный символ  $j$ -го сегмента ПБД;

$\Upsilon_{\text{MB}}$  – правила и параметры формирования СЭ «метка времени»,

$$\Upsilon_{\text{MB}} = \langle L_0^{(\text{MB})}, L^{(\text{MB})}, \Delta t_{\text{MB}} \rangle;$$

$L_0^{(\text{MB})}$  – смещение первого двоичного символа СЭ «метка времени» относительно начала сегмента ПБД.

В условиях априорной неопределенности относительно протокола мультиплексирования речевых данных существует множество альтернатив тройки параметров СЭ «метка времени»  $\langle L_0^{(\text{MB})}, L^{(\text{MB})}, \Delta t_{\text{MB}} \rangle$ . При этом

$$L_0^{(\text{MB})} \in \{1, 2, \dots, (L_{\text{max}}^{(3)} - L^{(\text{MB})})\}, L^{(\text{MB})} \in \{4, 5, \dots, 16\}, \Delta t_{\text{MB}} \in \{20, 10, 5, 4, 2, 1\}.$$

Поиск и обнаружение СЭ «метка времени» можно осуществлять методом скользящего окна анализа, путем его смещения с шагом один двоичный символ от начала сегмента до максимально возможного размера заголовка  $L^{(3)}$  для различных значений параметра  $\Delta t_{\text{мв}}$ . Для каждого положения окна анализа может быть получен образ численных значений двоичных элементов во временной области.

Анализ особенностей расположения в двумерном пространстве точек, положение которых описывается значением момента времени приема СЭ «метка времени» по оси абсцисс и численным значением СЭ «метка времени» по оси ординат, позволяет сделать вывод о том, что они сконцентрированы вдоль некоторой «пилообразной кривой». Такую «пилообразную кривую» можно провести через точки, соответствующие прогнозируемым моментам времени получения СЭ «метка времени» в условиях отсутствия эффекта джиттера (рис. 4). В том случае, когда последовательность точек получена на основании окна анализа, не совпадающим с СЭ «метка времени», такая особенность наблюдаться не будет. Таким образом, есть основания полагать, что оценивая степень концентрации полученных точек вдоль такой «пилообразной кривой», можно принимать решение о распознавании СЭ ПБД «метка времени».

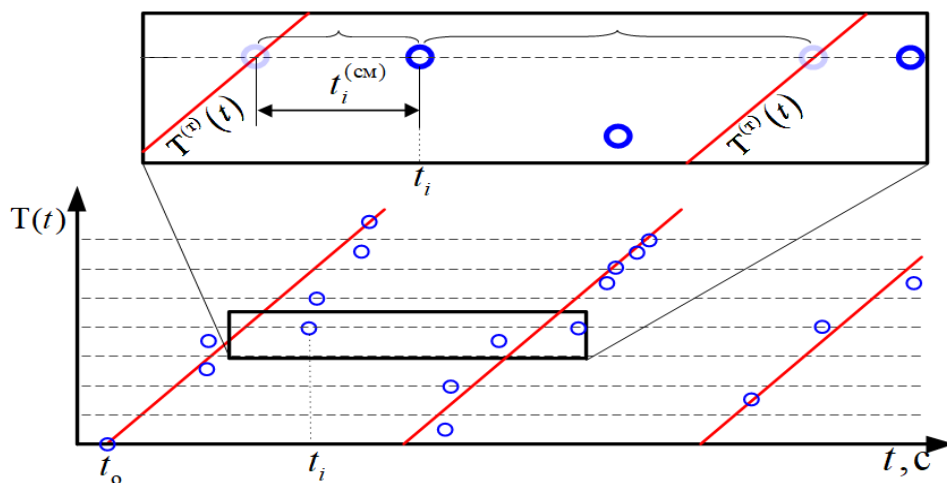


Рис. 4. Определение смещения момента времени получения СЭ «метка времени» относительно прогнозируемого момента времени.

Для выявления информативного признака СЭ «метка времени» проведена серия статистических испытаний путем имитационного моделирования и исследование статистических особенностей смещений  $\hat{t}_i^{(см)}$  моментов времени получения четырех младших разрядов СЭ ПБД «метка времени», относительно прогнозируемых моментов времени (рис. 4):

$$\hat{t}_i^{(см)} = \min(\hat{t}_i - t_i^{(Т)}) \Big|_{T^{(Т)}(t_i^{(Т)})=T(t_i)}, \quad (4)$$

$$T^{(Т)}(t^{(Т)}) = \left( \frac{t^{(Т)}}{\Delta t_{МВ}} \right) \bmod 16 - t_0, t^{(Т)} = k \cdot \Delta t_{МВ}, k \in \mathbb{N}, \quad (5)$$

где  $\hat{t}_i^{(см)}$  – смещение момента времени получения выделенных окном анализа двоичных символов в  $i$ -м сегменте ПБД относительно прогнозируемого момента времени;

$t_i$  – момент времени приема двоичных символов, выделенных окном анализа в  $i$ -м сегменте ПБД;

$t_i^{(Т)}$  – прогнозируемый момент времени приема выделенных окном анализа двоичных символов в  $i$ -м сегменте ПБД;

$T_i(t_i)$  – численное значение выделенных окном двоичных символов, принятых в  $t_i$  момент времени;

$T^{(Т)}(t^{(Т)})$  – прогнозируемое численное значение СЭ «метка времени» в момент времени  $t$ ;

$\Delta t_{МВ}$  – интервал времени, через которые кодер НКР формирует речевые кадры;

$t_0$  – момент времени получения первого сегмента ПБД в анализируемой выборке.

Результаты моделирования смещения моментов приема СЭ «метка времени» относительно прогнозируемых моментов времени представлены на рис. 5,а. Видно, что форма полигонов распределения  $\varphi_{\hat{t}_i^{(см)}}(t^{(см)})$  меняется в зависимости от характера распределения времени ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования (рис. 5,б), и не может быть описана известными законами распределения. Выбор в качестве информативного признака математического

ожидания  $M_{\hat{t}^{(CM)}}$  распределения  $\hat{t}^{(CM)}$  не представляется возможным в силу того, что его величина зависит от положения «пилообразной кривой» прогнозируемых моментов времени на оси времени, которое в условиях априорной неопределенности выбирается случайным образом. В свою очередь, среднеквадратическое отклонение  $\xi^{(MB)}$  распределения  $\hat{t}^{(CM)}$  не имеет такого недостатка и может быть рассмотрено в качестве информативного признака.

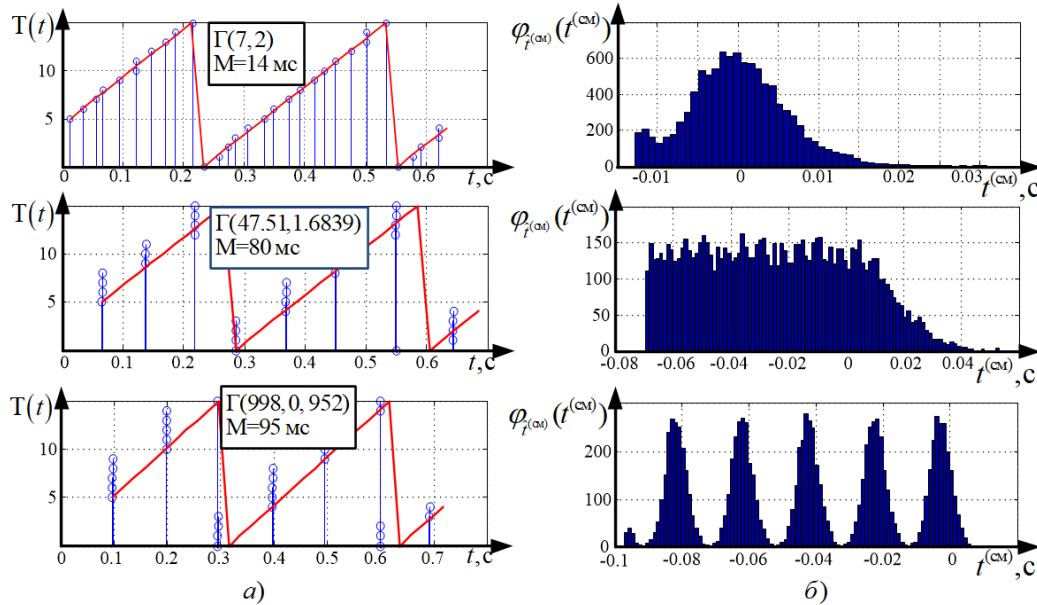


Рис. 5. Результаты моделирования смещения моментов приема СЭ «метка времени» относительно прогнозируемых моментов времени.

В рамках исследования было произведено имитационное моделирование при ширине окна анализа четыре бита и различных условия ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования и исследованы законы распределения  $\xi^{(MB)}$  для следующих случаев:

- окно анализа совпадает с младшими разрядами СЭ «метка времени»;
- окно анализа совпадает с младшими разрядами СЭ «номер по порядку»;
- окно анализа не совпадает с младшими разрядами рассматриваемых СЭ ПБД.

Для формирования описания образов каждого из распознаваемых классов на языке информативного признака необходимо исследовать его статистические характеристики. Проведенные серии статистических испытаний показали, что независимо от параметров закона распределения задержки пакетов в буфере сетевого оборудования, аппроксимацию полигона

распределения среднеквадратического отклонения  $\hat{\xi}^{(MB)}$  допустимо осуществлять с помощью нормального закона

$$\varphi_{\hat{\xi}^{(MB)}}(\xi^{(MB)}) = \frac{1}{\tilde{\sigma}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\xi^{(MB)} - \tilde{m})^2}{2\tilde{\sigma}^2}\right]. \quad (6)$$

Для определения закона распределения использованы методы проверки гипотез о законе распределения [8, 9], в основе которых лежит исследование функции распределения, при этом был задан уровень значимости, равный 0,01 и доверительная вероятность, равная 0,99. При моделировании учитывалось, что величина джиттера имеет ограничение, вызванное тем, что время ожидания в буфере сетевого оборудования не может превышать 100 мс для 95% речевых кадров. На рис. 6 приведены аппроксимированные плотности распределения вероятностей, описывающие  $\hat{\xi}^{(MB)}$ , полученные в результате имитационного моделирования формирования СЭ «метка времени» при различных параметрах времени ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования и имитационного моделирования формирования СЭ «номер по порядку» для различной продолжительности наблюдения  $T_{набл}$ .

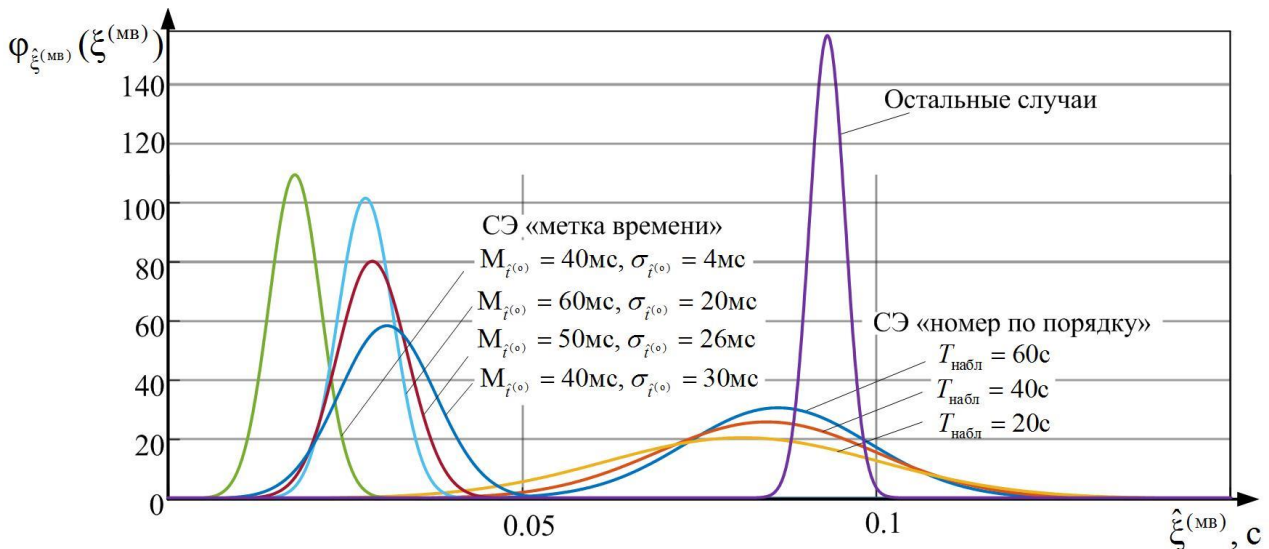


Рис. 6. Аппроксимированные плотности распределения среднеквадратического отклонения  $\hat{\xi}^{(MB)}$  для различных случаев положения окна анализа.

Исследования показали, что из всех возможных вариантов положения окна анализа наибольшую общую область, ограниченную полигоном распределения

$\hat{\xi}^{(MB)}$  для СЭ «метка времени», имеет полигон распределения  $\hat{\xi}^{(MB)}$  для случая совпадения окна анализа с четырьмя младшими разрядами СЭ «номер по порядку». Видно, что между распределениями  $\hat{\xi}^{(MB)}$  для СЭ «метка времени» и СЭ «номер по порядку» можно установить порог  $\xi_{пор}^{(MB)}$  и принимать решение о распознавании СЭ «метка времени», сравнивая полученное значение  $\tilde{\xi}^{(MB)}$  с пороговым  $\xi_{пор}^{(MB)}$ . Это обстоятельство дает основание предполагать, что информативный признак  $\xi^{(MB)}$  может быть использован для разделения наблюдаемых окном анализа образов на классы:

- $\omega_1$  – окно анализа совпадает с младшими разрядами СЭ «метка времени»,  $\Delta t_{MB}$  соответствует истинному значению;
- $\omega_2$  – окно анализа не совпадает с младшими разрядами СЭ «метка времени» или  $\Delta t_{MB}$  не соответствует истинному значению.

В силу того что поведение информативного признака  $\xi^{(MB)}$  носит случайный характер, задача распознавания сводится к задаче статистической проверки альтернативных гипотез:

- $H_1$  – наблюдаемый образ принадлежит классу  $\omega_1$ ;
- $H_2$  – наблюдаемый образ принадлежит классу  $\omega_2$ .

Правило принятия решения относительно истинности той или иной гипотезы формулируется следующим образом:

- если для анализируемого окна анализа значение признака удовлетворяет условию  $\hat{\xi}^{(MB)} \leq \xi_{пор}^{(MB)}$ , то справедлива гипотеза  $H_1$ ;
- если значение признака удовлетворяет условию  $\hat{\xi}^{(MB)} > \xi_{пор}^{(MB)}$ , то справедлива гипотеза  $H_2$ .

При решении задачи распознавания последствия от ошибочных решений в пользу той или иной гипотезы различны. С одной стороны ложное решение о распознавании СЭ «метка времени» является недопустимым, в силу чего значение вероятности ложного решения о распознавании СЭ «метка времени» должно быть задано как можно меньшим. С другой стороны стремление

снизить вероятность ложного решения о распознавании приводит к увеличению вероятности ошибки пропуска СЭ «метка времени». Кроме этого, параметры распределения  $\hat{\xi}^{(MB)}$  для класса  $w_1$  зависят от характера задержки пакетов в буфере сетевого оборудования и для наблюдателя неизвестны. С учетом этого целесообразно использовать критерий Неймана – Пирсона, согласно которому пороговое значение признака определяется из ограничения вида:

$$\int_{-\infty}^{\xi_{пор}^{(MB)}} \varphi_{\hat{\xi}^{(MB)}}(\xi^{(MB)} / \omega_2) d\xi^{(MB)} \leq p_{21}^{(доп)}, \quad (7)$$

где  $p_{21}^{(доп)}$  – вероятности ложного решения о распознавании СЭ «метка времени».

Графическая интерпретация областей решений и вероятностей ошибок для данного критерия представлена на рис. 7.

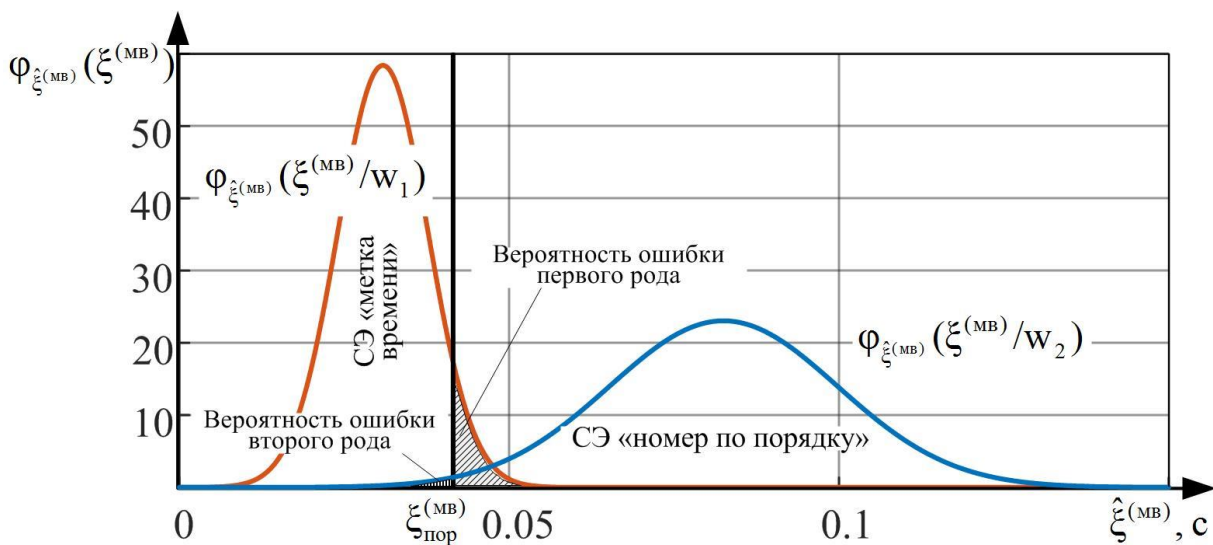


Рис. 7. Графическое представление областей принятия решений по критерию Неймана – Пирсона.

Применяя методы численного интегрирования, найдем оценки вероятностей ошибочных решений и соответствующие им пороговые значения информативного признака  $\hat{\xi}^{(MB)}$  для различной длительности интервала наблюдения  $T_{набл}$ , различного среднего времени ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования и джиттера. Результаты расчетов значения  $\xi_{пор}^{(MB)}$  для различных интервалов наблюдения и вероятностей ошибок второго рода приведены в таблице 1.

Таблица 1. Рассчитанные значения  $\xi_{\text{пор}}^{(\text{МВ})}$  для различных вероятностей ошибки второго рода и времени наблюдения  $T_{\text{набл}}$

Вероятности ошибки второго рода $p_{21}^{(\text{доп})}$	Величина интервала наблюдения $T_{\text{набл}}$ , с				
	20	30	40	50	60
0,01	0,03597	0,04226	0,04868	0,05263	0,05586
0,005	0,03112	0,03794	0,04483	0,049139	0,05262

В таблицах 2–5 приведены рассчитанные вероятности ошибок первого рода, характеризующих вероятность принять неверное решение о том, что СЭ «метка времени» не распознан.

Таблица 2. Вероятность ошибки первого рода при вероятности ошибки второго рода 0.005 и интервале наблюдения  $T_{\text{набл}} = 20$  с ( $\xi_{\text{пор}}^{(\text{МВ})} = 0,03112$  с)

Среднее время ожидания пакетов в буфере $M_{\hat{\gamma}^{(o)}}$ , мс	Среднее значения джиттера $\sigma_{\hat{\gamma}^{(o)}}$ , мс					
	4	8	12	16	20	26
30	$4,1 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,0002	0,0051	0,2111
40	$9 \cdot 10^{-5}$	0,0001	0,0004	0,0029	0,0132	0,2521
50	0,0024	0,0046	0,0094	0,0232	0,0626	0,318
60	0,0323	0,039	0,0605	0,1107	0,1994	–

Таблица 3. Вероятность ошибки первого рода при вероятности ошибки второго рода 0.01 и интервале наблюдения  $T_{\text{набл}} = 20$  с ( $\xi_{\text{пор}}^{(\text{МВ})} = 0,03597$  с)

Среднее время ожидания пакетов в буфере $M_{\hat{\gamma}^{(o)}}$ , мс	Среднее значения джиттера $\sigma_{\hat{\gamma}^{(o)}}$ , мс					
	4	8	12	16	20	26
30	$3,9 \cdot 10^{-12}$	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$8,1 \cdot 10^{-7}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	0,0407
40	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	0,0002	0,0637
50	$2 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,0006	0,0026	0,074
60	0,0011	0,0013	0,0026	0,0069	0,019	–

Таблица 4. Вероятность ошибки первого рода при вероятности ошибки второго рода 0.005 и интервале наблюдения  $T_{\text{набл}} = 40$  с ( $\xi_{\text{пор}}^{(\text{МВ})} = 0,04483$  с)

Среднее время ожидания пакетов в буфере $M_{\hat{\gamma}^{(o)}}$ , мс	Среднее значения джиттера $\sigma_{\hat{\gamma}^{(o)}}$ , мс					
	4	8	12	16	20	26
30	–	–	$1,1 \cdot 10^{-15}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$4,5 \cdot 10^{-10}$	0,0002
40	$4,4 \cdot 10^{-14}$	$6,4 \cdot 10^{-14}$	$9,4 \cdot 10^{-13}$	$6,7 \cdot 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	0,0003
50	$5,1 \cdot 10^{-11}$	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	0,0006
60	$6,2 \cdot 10^{-8}$	$6,7 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$	–



Таблица 5. Вероятность ошибки первого рода при вероятности ошибки второго рода 0.01 и интервала наблюдение  $T_{\text{набл}} = 40$  с ( $\xi_{\text{пор}}^{(\text{МВ})} = 0,04868$  с)

Среднее время ожидания пакетов в буфере $M_{\hat{r}^{(o)}}$ , мс	Среднее значения джиттера $\sigma_{\hat{r}^{(o)}}$ , мс					
	4	8	12	16	20	26
30	—	—	—	$1,1 \cdot 10^{-16}$	$5,3 \cdot 10^{-13}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
40	—	—	$3,3 \cdot 10^{-16}$	$1,6 \cdot 10^{-14}$	$1,5 \cdot 10^{-12}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
50	$3,5 \cdot 10^{-14}$	$2,7 \cdot 10^{-13}$	$2,1 \cdot 10^{-12}$	$2,5 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$
60	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$6,5 \cdot 10^{-10}$	$5,7 \cdot 10^{-9}$	$5,4 \cdot 10^{-8}$	—

Из представленных данных видно, что вероятность ошибки первого рода (пропуска СЭ «метка времени») увеличивается с увеличением среднего время ожидания пакета в буфере сетевого оборудования и среднего значения джиттера. Увеличение длительности интервала наблюдения  $T_{\text{набл}}$  приводит к уменьшению вероятности ошибки первого рода. Так, при отсутствии перегрузок канала связи для обеспечения вероятности ошибки второго рода 0.005 достаточно 20 секунд наблюдения, но в случае возникновения перегрузок канала связи требуется не менее 40 секунд.

Таким образом, результаты проведенных статистических исследований информативного признака, позволяют сделать вывод о том, что данный признак может быть успешно использован для решения задачи распознавания СЭ «метка времени» в ПБД при мультиплексировании на прикладном уровне.

## Выводы

Таким образом, результаты исследований позволили выбрать в качестве информативного признака распознавания СЭ «метка времени» среднеквадратическое отклонение  $\xi^{(\text{МВ})}$  смещений моментов времени приема ПБД относительно прогнозируемых моментов. Применение информативного признака позволит в автоматизированном режиме распознавать наличие СЭ «метка времени» в последовательности принятых ПБД с мультиплексированием речевых данных на прикладном уровне. Для высокой достоверности принятия решения о распознавании требуемый интервал наблюдения последовательности ПБД должен быть не менее 40 секунд.

## Литература

1. Гольдштейн Б.С., Фрейнкман В.А. Call-центры и компьютерная телефония: пособие. – СПб: БХВ-Петербург, 2014. – 366 с.
2. ITU-T Recommendation G.1028. «End-to-end quality of service for voice over 4G mobile networks» [электронный ресурс]. Сайт International Telecommunication Union. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1028/en>
3. ITU-T Recommendation G.114. One-way transmission time. [электронный ресурс]. Сайт International Telecommunication Union. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114>
4. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи: учебное пособие. – М.: Радио и связь, 2004. – 536с.
5. Кантор Л.Я., Тимофеев В.В. Спутниковая связь и проблема геостационарной орбиты. – М.: Радио и связь, 1988.– 168 с.
6. 3GPP TS 26.094: "AMR Speech Codec; Voice Activity Detector" [электронный ресурс]. URL: [https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/26\\_series/26.094/](https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/26_series/26.094/)
7. Леднев А.В., Буткевич М.Н. Статистическое уплотнение источника речевых пакетов с учетом модели телефонного диалога. // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2009. Т.5. №1. С.38–42.
8. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: «Физматлит», 2006.–816 с.
9. Юсупов Р.М. Статистические методы обработки результатов наблюдений / Р.М. Юсупов, Г.Б. Петухов и др.; под ред. Р.М. Юсупова. – М.: МО СССР, 1984. – 786 с.

### Для цитирования:

Никитин Г.В., Шишкалов А.В., Сазонов К.В., Саниев Р.Р. Подход к распознаванию структурного элемента «метка времени» протокольного блока с мультиплексированием речевых данных абонентов спутниковых систем связи. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. № 5. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/may20/2/text.pdf>. DOI 10.30898/1684-1719.2020.5.2