

УДК: 621.395.4

DOI: 10.53816/23061456_2021_9–10_9

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ СТРУКТУРНОГО ЭЛЕМЕНТА «НОМЕР ПО ПОРЯДКУ» В ПРОТОКОЛЬНЫХ БЛОКАХ С МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕМ РЕЧЕВЫХ ДАННЫХ В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

APPROACH FOR RECOGNITION A STRUCTURAL ELEMENT «SEQUENCE NUMBER» IN PROTOCOL BLOCKS WITH MULTIPLEXING OF VOICE DATA IN SATELLITE COMMUNICATION SYSTEM

*Канд. техн. наук Г.В. Никитин, д-р техн. наук К.В. Семенов,
канд. техн. наук А.В. Шishкалов, А.В. Леонтьев*

Ph.D. G.V. Nikitin, D.Sc. K.V. Semenov, Ph.D. A.V. Shishkalov, A.V. Leontiev

ВКА им. А.Ф. Можайского

В статье рассмотрены особенности структурного элемента «номер по порядку» протокольных блоков, формируемых протоколом мультиплексирования речевых данных на прикладном уровне сетевого оборудования спутниковых систем связи (ССС). Предложен информативный признак распознавания данного структурного элемента в протокольных блоках данных (ПБД). Информативный признак основан на оценке разработанного показателя постоянства приращения значений числовой последовательности, образованной двоичными символами ПБД с помощью окна анализа. Представлены результаты имитационного моделирования при различных задержках в буфере сетевого оборудования и значений вероятности битовой ошибки в принимаемом цифровом потоке. Предложен метод распознавания структурного элемента «номер по порядку» и проведена оценка ошибок распознавания первого и второго рода.

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

The article discusses the features of the structural element «Sequence number» of protocol blocks formed by network equipment of satellite communication systems protocols multiplexing voice at the application level. An informative feature of recognition of a given structural element in protocol data blocks is proposed. The informative feature is based on the assessment of the developed indicator of the constancy of the increment of the values of the numerical sequence formed by the binary symbols of the protocol data blocks using the analysis window. The results of simulation are presented for various delays in the buffer of network equipment and values of the probability of a bit error in the received digital stream. A method for recognizing a structural element «Sequence number» is proposed and an assessment errors probabilities of Type I and Type II are estimated.

Keywords: multiplexing voice data, speech transmission protocols, recognition of the structure of protocol data blocks.

Деятельность различных террористических и религиозно-экстремистских группировок представляет серьезную опасность для Российской Федерации. Для управления и координации сво-

их действий они задействуют коммерческие системы связи, в том числе отмечается активное использование СССР. В настоящее время завершается переход СССР на технологию коммутации

пакетов, которая предполагает, что к передаваемым блокам данных добавляются заголовки со служебной информацией на различных уровнях эталонной модели взаимодействия открытых систем. Данное обстоятельство приводит к внесению значительной доли избыточности к передаваемой информации. В условиях ограниченного ресурса спутникового канала связи применяются различные способы повышения эффективности использования ресурса канала связи [1–3]. Так, для кодирования голоса абонента широкое распространение получило адаптивное низкоскоростное кодирование речи (НКР), а для передачи речевых сообщений в реальном масштабе времени применяются протоколы мультиплексирования речевых данных на прикладном уровне, поддерживающие изменение скорости кодирования речи [4, 5]. В силу отсутствия стандартизированного протокола мультиплексирования речевых данных абонентов на прикладном уровне, компании-производители спутникового оборудования разрабатывают свои собственные, фирменные протоколы. Данное обстоятельство приводит к широкому разнообразию применяемых протоколов, а, следовательно, и широкому разнообразию реализаций структур ПБД, описание которых отсутствует в открытом доступе [3, 6, 7].

В условиях неопределенности структуры ПБД не обеспечивается их обработка, что не позволяет получать сведения о деятельности и намерениях террористических и религиозно-экстремистских группировок. Для решения задачи определения структуры ПБД необходимо выявить ряд структурных элементов (СЭ), входящих в состав сегментов ПБД и определить их параметры. Одним из них выступает СЭ «номер по порядку» заголовочной части сегмента, добавляемой к каждому кадру НКР. Он необходим для упорядочивания принятых кадров НКР на приемной стороне линии связи и установления фактов потери кадров с речевыми данными. Структурный элемент «номер по порядку» характеризуется положением в ПБД, задаваемым его длиной $L^{(nm)}$ и смещением $L_0^{(nm)}$ относительно начала сегмента ПБД. В условиях сокращения избыточности передаваемых данных производители оборудования разрабатывают протоколы передачи данных, в которых СЭ «номер по порядку» имеет меньшую длину, чем в протоколе RTP, но позволяющую успешно решать

задачи контроля очередности обработки кадров НКР. Правило формирования последовательности численных значений СЭ «номер по порядку» для каждого речевого сообщения в отдельности можно представить следующим образом:

$$N(k+1) = (N(k) + 1) \bmod (2^{L^{(nm)}}),$$

где $N(k)$ — численное значение СЭ «номер по порядку» для k -го кадра НКР речевого сообщения; k — порядковый номер кадра НКР речевого сообщения.

Последовательность численных значений СЭ «номер по порядку» можно рассматривать, как зависимость от значения порядкового номера кадра НКР k , пример которой показан на рис. 1, а. В этом случае значения СЭ «номер по порядку» периодически линейно возрастают с шагом, равным единице, от минимального до максимально возможного значения $2^{L^{(nm)}}$. При рассмотрении динамики изменения численных значений СЭ «номер по порядку» на временной оси, пример которой представлен на рис. 1, б, линейность возрастания сохраняется на временных интервалах, соответствующих активной фазе речи абонента. При возникновении паузы в речи абонента, линейность приращения численных значений СЭ нарушается, так как кодер формирует кадры НКР через различные интервалы времени. Стоит отметить, что на интервалах активной фазы передачи речевых данных абонента порядок формирования численных значений СЭ «номер по порядку» и численных значений СЭ «метка времени» идентичны [2].

Длина СЭ «номер по порядку» $L^{(nm)}$ выбирается разработчиком протокола. При этом учитывается, что в условиях наличия джиттера и паузы в речи абонента, СЭ «номер по порядку» должен обеспечивать передачу не менее девяти различных значений [3]. Поэтому длина СЭ «номер по порядку» не может составлять менее четырех двоичных символов. Для удобства обработки данных длина СЭ «номер по порядку» может быть выбрана и кратной байту.

При обработке принимаемых пакетов с речевыми данными исключаются те пакеты, в которых обнаружены ошибки. Передаваемые в них данные, в том числе и численные значения СЭ «номер по порядку» теряются. Вероятность потери пакета с речевыми данными, в котором бу-

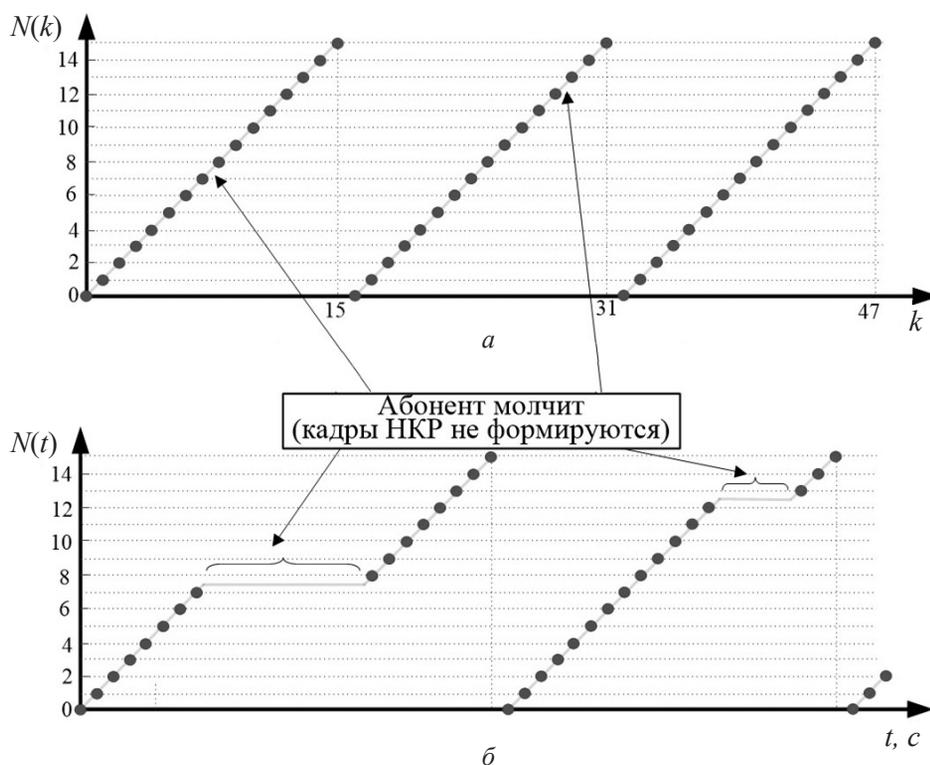


Рис. 1. Примеры изменения численных значений СЭ «номер по порядку»: а — в зависимости от порядкового номера кадра НКР; б — в зависимости от времени передачи кадра НКР

дуют передаваться СЭ «номер по порядку» можно оценить следующим выражением:

$$p_n = 1 - (1 - p_{\text{ош}})^{L_n},$$

где p_n — вероятность битовой ошибки в пакете; $p_{\text{ош}}$ — вероятность битовой ошибки в принимаемом цифровом потоке (ЦП) после декодирования помехоустойчивого кода; L_n — размер пакета, бит.

Учитывая, что при $t^{(0)} \geq \Delta t_{\text{нкp}}$ в одном пакете мультиплексируются по несколько кадров НКР от одного абонента, потеря пакета приведет к потере нескольких элементов в последовательности численных значений СЭ «номер по порядку», передаваемых в одном ПБД прикладного уровня. На рис. 2 представлен пример влияния потерь пакетов на последовательность численных значений СЭ «номер по порядку» на приемной стороне при различной величине интервала времени ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования.

Потеря пакетов и, как следствие, потеря СЭ «номер по порядку» в соответствующих сегментах ПБД обуславливает случайный харак-

тер получаемой на приемной стороне последовательности численных значений СЭ «номер по порядку». Учитывая данное обстоятельство, последовательности численных значений СЭ «номер по порядку» будет представлено следующим выражением:

$$\hat{N}(k+1) = (N(k) + \hat{\eta}) \bmod (2^{L_{\text{см}}}),$$

$$\hat{\eta} \in [1, 2, 3, 4, 5],$$

где $\hat{\eta}$ — число, на которое увеличивается k -й элемент последовательности СЭ «номер по порядку» на приемной стороне, по сравнению с $(k-1)$ -м элементом последовательности, при этом:

- $\hat{\eta} = 1$ — если потери пакета не произошло;
- $\hat{\eta} = 2$ — если пакет потерян и $\Delta t_{\text{нкp}} > t^{(0)}$;
- $\hat{\eta} = 3$ — если пакет потерян и $2\Delta t_{\text{нкp}} > t^{(0)} \geq \Delta t_{\text{нкp}}$;
- $\hat{\eta} = 4$ — если пакет потерян и $3\Delta t_{\text{нкp}} > t^{(0)} \geq 2\Delta t_{\text{нкp}}$;
- $\hat{\eta} = 5$ — если пакет потерян и $4\Delta t_{\text{нкp}} > t^{(0)} \geq 3\Delta t_{\text{нкp}}$.

Пример последовательности численных значений СЭ «номер по порядку» на приемной стороне представлен на рис. 3.

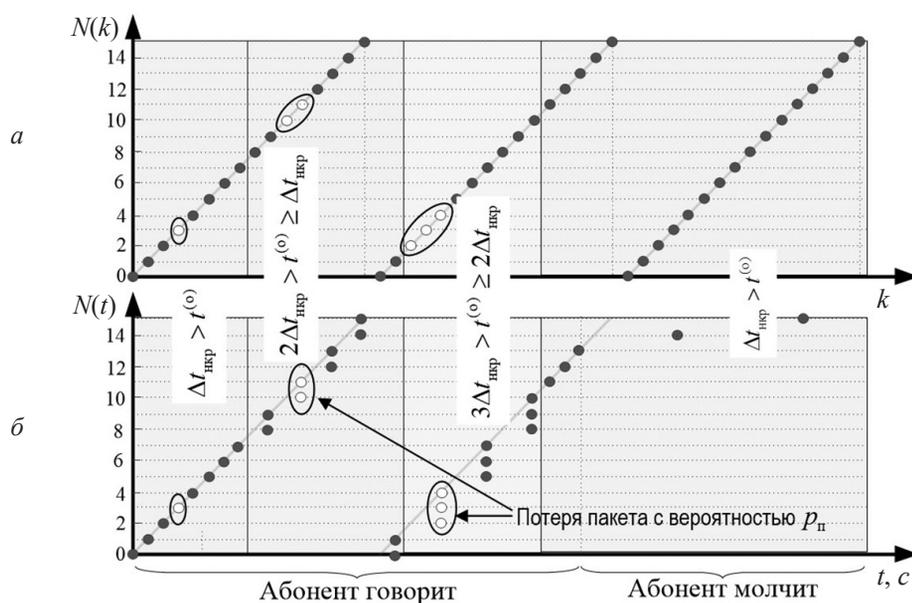


Рис. 2. Влияние потерь пакетов на последовательность численных значений СЭ «номер по порядку»: а — в зависимости от порядкового номера кадра НКР; б — в зависимости от времени передачи кадра НКР

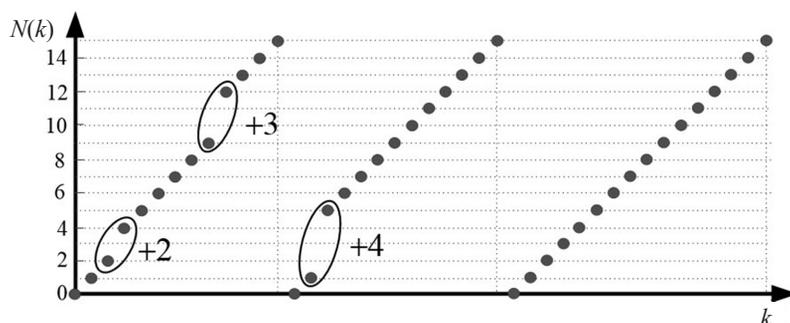


Рис. 3. Пример последовательности численных значений СЭ «номер по порядку» на приемной стороне

Таким образом, случайное время ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования и потеря пакетов при передаче по каналу связи оказывают влияние на качество восстановления голоса [8, 9] и на получаемую на приемной стороне последовательность численных значений СЭ «номер по порядку». При построении последовательности численных значений СЭ «номер по порядку» в порядке роста номера полученного кадра НКР, потеря пакета приводит к нарушению постоянства приращения численных значений СЭ «номер по порядку», а от величины времени ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования зависит число одновременно теряемых элементов числовой последовательности. При моделировании формирования протокольных блоков с мультиплексированием речевых данных на прикладном уровне и порядка размещения в нем

СЭ «номер по порядку» необходимо учитывать вариативность следующих параметров: среднего времени ожидания $M_{t^{(0)}}$ пакетов в буфере сетевого оборудования, средней величины джиттера $\sigma_{t^{(0)}}$, вероятности потери пакета $p_{п}$, длины СЭ «номер по порядку» и его положения в ПБД.

В условиях неопределенности относительно структуры ПБД поиск СЭ «номер по порядку» можно осуществлять с помощью окна анализа, которое выделяет одинаковую область двоичных символов в каждом рассматриваемом сегменте ПБД. В процессе поиска положение окна анализа изменяется с шагом один двоичный символ от начала сегмента до максимально возможного размера заголовка $L^{(3)}$. При этом на каждом шаге необходимо проверять наличие свойств СЭ «номер по порядку». Для этого необходим информативный признак, который может применяться

ся в условиях мультиплексирования речевых данных на прикладном уровне. Для выявления информативного признака необходимо рассмотреть основные свойства СЭ «номер по порядку», при применении мультиплексирования речевых данных на прикладном уровне.

При отсутствии потерь пакетов разница между элементом N_{k+1} и элементом N_k последовательности численных значений СЭ «номер по порядку» $(N_k)_{k=1}^{K_n}$ составляет единицу. В этом случае можно говорить, что для СЭ «номер по порядку» характерно свойство постоянства приращения значений элементов числовой последовательности. Это свойство нарушается для отдельных пар элементов числовой последовательности $(N_k)_{k=1}^{K_n}$ в случае потери пакетов. При этом, чем ниже вероятность потери пакетов p_n , тем меньше возникает нарушений в числовой последовательности. Указанное свойство справедливо для числовой последовательности, полученной окном анализа при совпадении его границ с границами СЭ «номер по порядку». Кроме этого, свойство сохраняется и в случае, если окно анализа меньше размера СЭ «номер по по-

рядку», но совпадает с младшими разрядами СЭ «номер по порядку».

В том случае, когда окно анализа не будет совпадать с младшими разрядами СЭ «номер по порядку», свойство постоянства приращения значений элементов числовой последовательности проявляться не будет, возможны лишь случайные совпадения элементов числовой последовательности образующих разницу, равную единице. На рис. 4 и 5 показаны примеры последовательностей численных значений, полученных с помощью окна анализа, положение которого частично совпадает с младшими разрядами СЭ «номер по порядку».

Учитывая физические принципы формирования СЭ «номер по порядку», есть основания полагать, что оценивая постоянство приращения значений элементов числовой последовательности, полученной с помощью окна анализа, можно принимать решение о распознавании СЭ ПБД «номер по порядку». Длина СЭ «номер по порядку» неизвестна, но не может быть меньше четырех двоичных символов. В силу этого начальное значение ширины окна анализа следует задать равным четырем двоичным символам, что

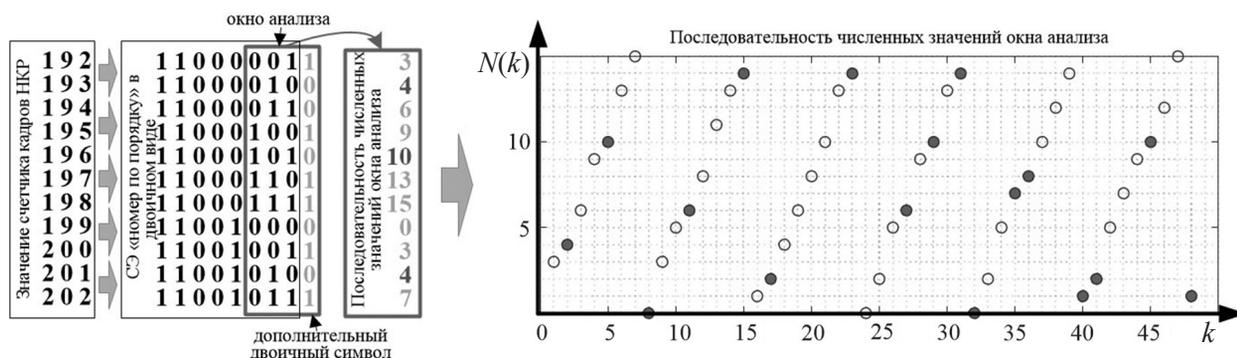


Рис. 4. Пример последовательности численных значений окна анализа, охватывающим три младших разряда СЭ «номер по порядку» и дополнительный двоичный символ

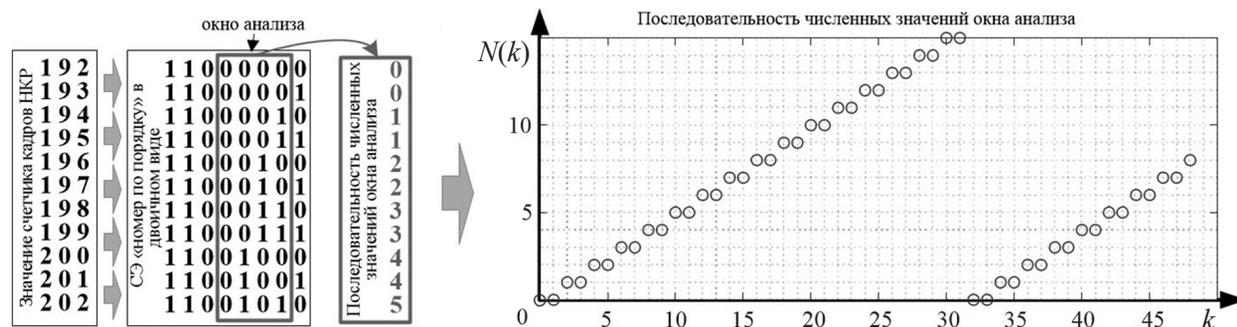


Рис. 5. Пример последовательности численных значений окна анализа, неохватывающим младший разряд СЭ «номер по порядку»

позволит определить четыре младших разряда СЭ «номер по порядку». После определения положения четырех младших разрядов СЭ «номер по порядку», определение длины СЭ можно выполнить путем последовательного увеличения ширины окна анализа на один двоичный символ.

В некоторых случаях, разработчиком протокола мультиплексирования для СЭ «метка времени» может быть выбран такой шаг дискретизации, при котором возможно проявление свойства постоянства приращения значений элементов числовой последовательности. Например, окно анализа может совпадать с четырьмя разрядами СЭ «метка времени» таким образом, что на интервалах активной речи абонента получаемая числовая последовательность увеличивается на единицу с формированием каждого кадра НКР. В силу этого при исследовании информативного признака особое внимание необходимо уделить указанному варианту положения окна анализа.

Для оценивания наличия свойств СЭ «номер по порядку», предлагается использовать показатель постоянства приращения значений числовой последовательности $\hat{\xi}_3^{(mn)}$ (рис. 6), рассчитываемый следующим образом:

$$\hat{\xi}_3^{(mn)} = \sum_{k=2}^{K_n} \left(\frac{\hat{\xi}_3^{(mn)}(k)}{K_n - 1} \right),$$

$$\hat{\xi}_3^{(mn)}(k) = \begin{cases} 0, & \text{если } \hat{N}_k = (\hat{N}_{k-1} + 1) \bmod (2^{L^{(oa)}}) \\ 1, & \text{если } \hat{N}_k \neq (\hat{N}_{k-1} + 1) \bmod (2^{L^{(oa)}}) \end{cases},$$

где $\hat{\xi}_3^{(mn)}$ — показатель постоянства приращения значений числовой последовательности $(\hat{N}_k)_{k=1}^{K_n}$;
 $\hat{\xi}_3^{(mn)}(k)$ — весовой коэффициент приращения k -го элемента числовой последовательности;
 \hat{N}_k — значение k -го элемента числовой последовательности окна анализа;

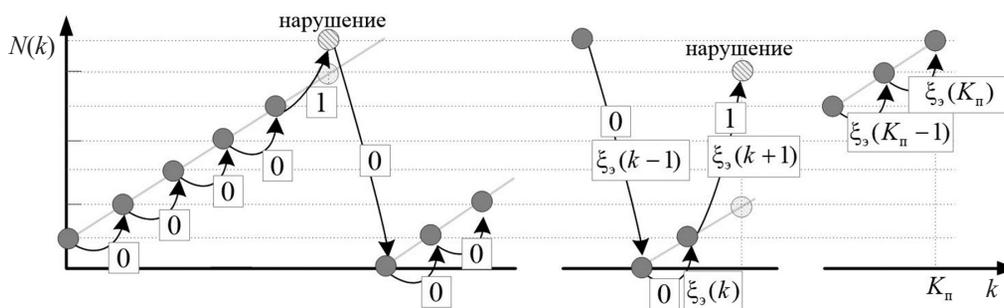


Рис. 6. Пример расчета показателя постоянства приращения значений числовой последовательности $\hat{\xi}_3^{(mn)}$

$L^{(oa)}$ — ширина окна анализа;

K_n — число элементов в числовой последовательности окна анализа.

В рамках исследования предложенного информативного признака было произведено имитационное моделирование последовательностей численных значений окна анализа шириной четыре бита при различных условиях ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования, вероятностях потери пакета, и исследованы законы распределения $\hat{\xi}_3^{(mn)}$ для следующих случаев:

- окно анализа совпадает с младшими разрядами СЭ «номер по порядку»;
- окно анализа совпадает с разрядами СЭ «метка времени» таким образом, что на интервалах активной речи абонента получаемая числовая последовательность увеличивается на единицу с каждым кадром НКР;
- окно анализа не совпадает ни с одним из перечисленных случаев.

Проведенное имитационное моделирование и исследование показателя постоянства приращения значений числовой последовательности окна анализа $\hat{\xi}_3^{(mn)}$ показало, что аппроксимацию плотности распределения показателя постоянства приращения значений числовой последовательности $\hat{\xi}_3^{(mn)}$ допустимо осуществлять с помощью гамма-закона (проверка гипотез о законе распределения осуществлялась по методу Н.В. Смирнова [4]):

$$\Phi_{\hat{\xi}_3^{(mn)}}(\xi_3^{(mn)}) = \begin{cases} \frac{1}{\alpha! \beta^{\alpha+1}} \xi_3^{(mn)} e^{-\xi_3^{(mn)}/\beta}, & \xi_3^{(mn)} \geq 0 \\ 0, & \xi_3^{(mn)} < 0 \end{cases}.$$

Полученные в результате имитационного моделирования аппроксимированные плотности распределения вероятностей случайной величины $\hat{\xi}_3^{(mn)}$ показаны рис. 7, 8 и 9.

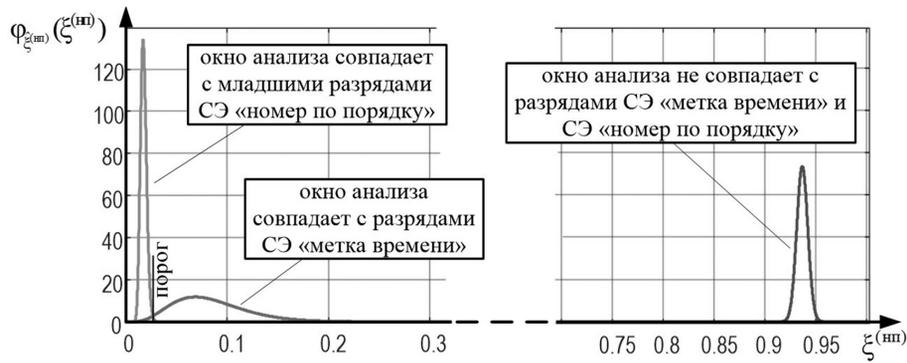


Рис. 7. Аппроксимированные плотности распределения показателя $\xi^{(nn)}$ при различном положении окна анализа

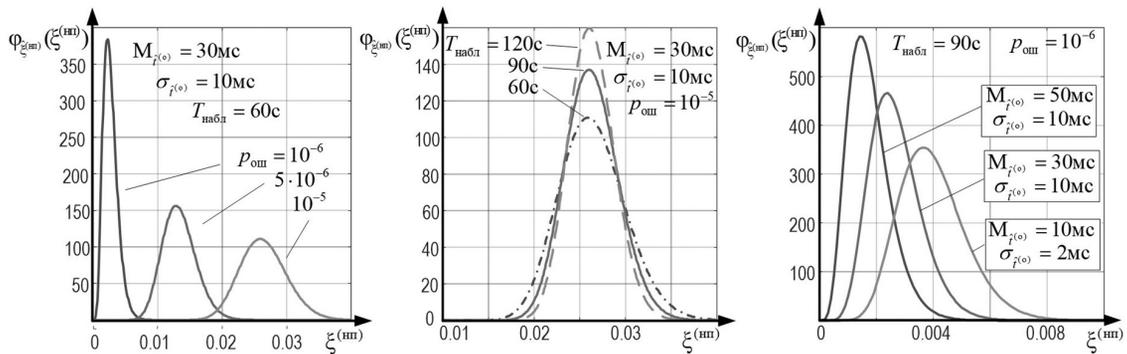


Рис. 8. Аппроксимированные условные плотности распределения постоянства приращения значений числовой последовательности окна анализа $\Phi_{\xi^{(nn)}}(\xi^{(nn)} / w_1)$ при совпадении его границ с младшими разрядами СЭ «номер по порядку»

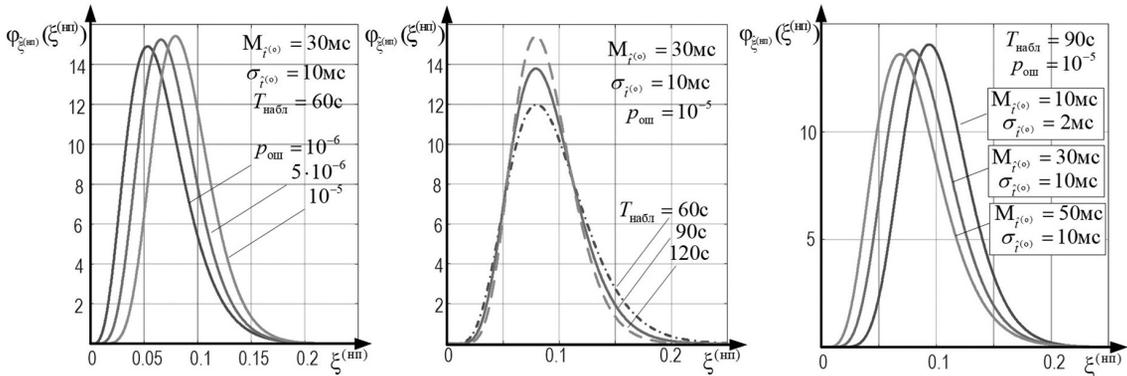


Рис. 9. Аппроксимированные условные плотности распределения показателя постоянства приращения значений числовой последовательности окна анализа $\Phi_{\xi^{(nn)}}(\xi^{(nn)} / w_2)$ при совпадении окна анализа с разрядами СЭ «метка времени»

Из всех возможных вариантов положения окна анализа наибольшую общую область, ограниченную кривой плотности распределения $\xi^{(nn)}$ для СЭ «номер по порядку» имеет плотность распределения $\xi^{(nn)}$ для случая совпадения окна анализа с разрядами СЭ «метка времени» (рис. 7). Между распределениями $\xi^{(nn)}$ для

СЭ «метка времени» и СЭ «номер по порядку» можно установить порог $\xi_{пор}^{(nn)}$, сравнивая с которым оценку $\xi^{(nn)}$ можно будет принимать решение о распознавании СЭ «номер по порядку». Это обстоятельство дает основание полагать, что оценка $\xi^{(nn)}$ может быть использована в качестве информативного признака для разделения на-

блюдаемых окном анализа образов на следующие классы:

w_1 — последовательность численных значений получена с помощью окна анализа, совпадающим с младшими разрядами СЭ «номер по порядку»;

w_2 — последовательность численных значений получена с помощью окна анализа, не совпадающим с младшими разрядами СЭ «номер по порядку».

Для распознавания СЭ «номер по порядку» необходимо проверить для всех возможных положений окна анализа две альтернативные гипотезы:

H_1 — наблюдаемый образ принадлежит классу w_1 ;

H_2 — наблюдаемый образ принадлежит классу w_2 .

Правило принятия решения относительно истинности той или иной гипотезы:

– если последовательность численных значений окна анализа удовлетворяет условию $\xi^{(нп)} \leq \xi_{пор}^{(нп)}$, то справедлива гипотеза H_1 — распознан СЭ «номер по порядку»;

– если последовательность численных значений окна анализа удовлетворяет условию $\xi^{(нп)} > \xi_{пор}^{(нп)}$, то справедлива гипотеза H_2 — СЭ «номер по порядку» не распознан.

Принятие решения о распознавании наличия СЭ «номер по порядку» сопровождается ошибками первого и второго рода, которые зависят от выбора порогового значения. Для определения порогового значения воспользуемся критерием Неймана-Пирсона, графическое представление

которого показано на рис. 10. Критерий Неймана-Пирсона выбран в силу того, что он обеспечивает максимальную вероятность правильного распознавания при заданной условной вероятности «ложной тревоги» и не требует знания априорных вероятностей наличия распознаваемого СЭ в ПБД [10].

Как видно на графиках, представленных на рис. 8 и 9, параметры распределения показателя $\xi^{(нп)}$ зависят не только от положения окна анализа, но и от параметров времени ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования, вероятности потери пакета p_n и длительности наблюдения $T_{набл}$. Кривая $\varphi_{\xi^{(нп)}}(\xi^{(нп)} / w_2)$ смещается к кривой $\varphi_{\xi^{(нп)}}(\xi^{(нп)} / w_1)$ с увеличением среднего времени ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования $M_{\tau^{(о)}}$ и уменьшением вероятности битовой ошибки при приеме ЦП на приемной стороне. Кривая $\varphi_{\xi^{(нп)}}(\xi^{(нп)} / w_1)$ смещается к кривой $\varphi_{\xi^{(нп)}}(\xi^{(нп)} / w_2)$ с увеличением вероятности битовой ошибки при приеме ЦП на приемной стороне и уменьшением среднего времени ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования $M_{\tau^{(о)}}$. Кроме этого, с увеличением интервала наблюдения $T_{набл}$ среднее квадратическое отклонение распределений $\varphi_{\xi^{(нп)}}(\xi^{(нп)} / w_1)$ и $\varphi_{\xi^{(нп)}}(\xi^{(нп)} / w_2)$ уменьшается, что приводит к снижению вероятности «пропуска цели».

Согласно критерию Неймана-Пирсона определение порогового значения $\xi_{пор}^{(нп)}$ выполняется на кривой плотности распределения показателя постоянства приращения значений числовой последовательности для СЭ «метка времени» $\varphi_{\xi^{(нп)}}(\xi^{(нп)} / w_2)$ при фиксированной вероятности ложного решения

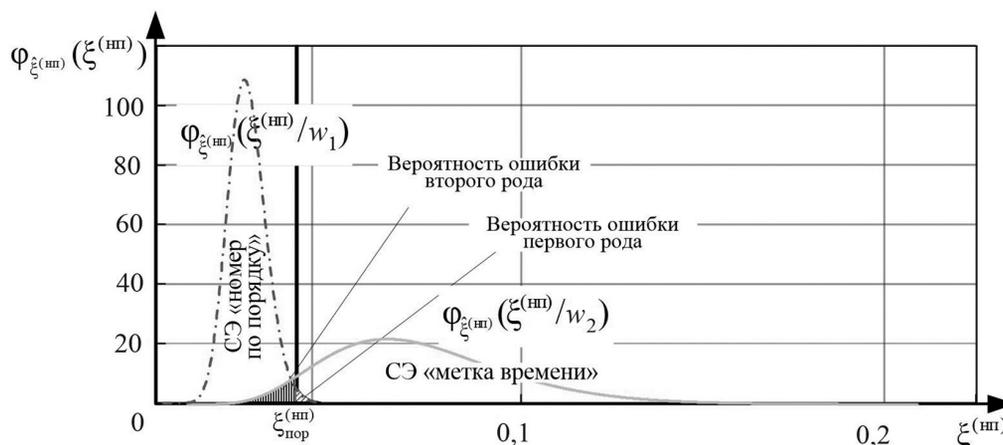


Рис. 10. Графическое представление областей принятия решений по критерию Неймана-Пирсона при распознавании СЭ «номер по порядку»

Таблица 1

Рассчитанные значения $\xi_{\text{пор}}^{(\text{nn})}$ для различной длительности интервала наблюдения

Величина интервала наблюдения $T_{\text{набл}}, \text{с}$	20	30	40	50	60	70
Значение порога $\xi_{\text{пор}}^{(\text{nn})}$	0,0054	0,0088	0,0098	0,0104	0,0144	0,048

Таблица 2

Вероятность ошибки первого рода при распознавании СЭ «номер по порядку»

Вероятность потери пакета $P_{\text{п}}$	Длительность интервала наблюдения $T_{\text{набл}}, \text{с}$					
	20	30	40	50	60	70
0,00001	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$1,9 \cdot 10^{-11}$	$3,4 \cdot 10^{-14}$	–
0,00005	0,0001	$7,7 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$6,3 \cdot 10^{-8}$	$8,1 \cdot 10^{-10}$	–
0,0001	0,0006	0,0001	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$4,1 \cdot 10^{-8}$	$3,7 \cdot 10^{-9}$
0,0004	0,0034	0,0011	0,0001	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}
0,0001	0,0169	0,0053	0,0008	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$
0,002	0,0475	0,0220	0,0053	0,0014	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$
0,004	0,0527	0,1550	0,0620	0,0270	0,0082	0,0036

о распознавании СЭ «номер по порядку». Таким образом, определение порогового значения $\xi_{\text{пор}}^{(\text{nn})}$ произведено для различной продолжительности интервала наблюдения $T_{\text{набл}}$, при этом рассматривался наихудший вариант распределения $\varphi_{\xi^{(\text{nn})}}(\xi^{(\text{nn})} / w_2)$, соответствующий максимально допустимым параметрам времени ожидания пакетов в буфере сетевого оборудования $M_{\text{г(о)}}$ при отсутствии ошибок при приеме ЦП. При определении порогового значения вероятность ложного решения при распознавании СЭ «номер по порядку» была задана равной 0,005. Оценка вероятности «пропуска цели» определялась на кривых распределения $\varphi_{\xi^{(\text{nn})}}(\xi^{(\text{nn})} / w_1)$ при различной величине вероятности потери пакета на приемной стороне $p_{\text{п}}$ и продолжительности интервала наблюдения $T_{\text{набл}}$. Результаты расчетов порогового значения $\xi_{\text{пор}}^{(\text{nn})}$ для различной продолжительности интервала наблюдения приведены в табл. 1, а в табл. 2 представлены вероятности ошибки первого рода для различной длительности интервала наблюдения $T_{\text{набл}}$ (порогового значения $\xi_{\text{пор}}^{(\text{nn})}$) и вероятности потери пакета $p_{\text{п}}$.

При выборе величины требуемой длительности интервала наблюдения $T_{\text{набл}}$ необходимо учитывать, что вероятность битовой ошибки в анализируемом ЦП не хуже, чем 10^{-6} , а применение корректирующих кодов снижает вероятность потери пакета до уровня 10^{-4} . Анализируя данные, представленные в табл. 2, можно сде-

лать вывод о том, что для обеспечения вероятности ошибки первого рода и вероятности ошибки второго рода не хуже 0,005, длительность требуемого интервала наблюдения должна составлять не менее 30 секунд, а значение порога $\xi_{\text{пор}}^{(\text{nn})}$ должно быть установлено равным 0,0088 (табл. 1).

Выводы

Таким образом, результаты исследований показали, что введенный в работе показатель постоянства приращения значений числовой последовательности может использоваться в качестве информативного признака распознавания СЭ «номер по порядку». Применение разработанного информативного признака позволит в автоматизированном режиме распознавать наличие СЭ «номер по порядку» при динамическом обратном проектировании протокольных блоков с мультиплексированием речевых данных на прикладном уровне. Для обеспечения достоверности принятия решения о распознавании не ниже 0,995 требуемая длительность интервала наблюдения последовательности ПБД должна составлять не менее 30 секунд.

Литература

1. Беллами Дж. Цифровая телефония: Пер. с англ. — М. — 2004. — 640 с.

2. Куку К.И. Спутниковая связь: прошлое, настоящее, будущее. — М.: Горячая линия-Телеком. 2015. 256 с.

3. Никитин Г.В., Шишкалов А.В., Старичин С.С. Модель формирования протокольных блоков с пакетным мультиплексированием речевых данных абонентов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2019. Вып. 671. С. 140–150.

4. 3GPP TS 26.094: «AMR Speech Codec; Voice Activity Detector». URL: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/26_series/26.094 (дата обращения 10.01.2021).

5. 3GPP TS 26.071: «Mandatory Speech Codec speech processing functions; AMR Speech Codec; General description». URL: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/26_series/26.071 (дата обращения 10.01.2021).

6. Ковальский А.А. Организация адаптивного мультиплексирования трафика мульти-сервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи с учетом изменяющейся помеховой обстановки // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 175–212.

7. Леднев А.В., Буткевич М.Н. Статистическое уплотнение источника речевых пакетов с учетом модели телефонного диалога // Электротехнические и информационные комплексы и системы. Уфимский государственный университет экономики и сервиса. — Уфа. 2009. Т. 5. № 1. С. 38–42.

8. Рекомендация МСЭ-Т G.1028. Сквозное качество обслуживания для передачи голоса по сетям подвижной связи 4G. 2016.

9. 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]. Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН. 2020. № 5. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/may20/2/text.pdf>. (дата обращения 10.01.2021).

10. 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.

References

1. Bellamy J. Digital telephony: Trans. from English. — M. 2004. 640 p.

2. Kuk K.I. Satellite communication: past, present, future / K.I. Kuk. — M.: Hotline-Telecom. 2015. 256 p.

3. Nikitin G.V., Shishkalov A.V., Staritsyn S.S. A model for the formation of protocol blocks with packet multiplexing of subscribers speech data // Proceedings of the Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky. 2019. Issue 671. P. 140–150.

4. 3GPP TS 26.094: «AMR Speech Codec; Voice Activity Detector». Available at: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/26_series/26.094.

5. 3GPP TS 26.071: «Mandatory Speech Codec speech processing functions; AMR Speech Codec; General description». Available at: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/26_series/26.071.

6. Kovalsky A.A. Organization of adaptive multiplexing of traffic of multiservice networks in the channel-forming equipment of earth stations of satellite communication, taking into account the changing interference situation // Control, communication and security systems. 2017. № 1. P. 175–212.

7. Lednev A.V., Butkevich M.N. Statistical compaction of the source of speech packets taking into account the model of telephone dialogue / Electrotechnical and information complexes and systems. Ufa State University of Economics and Service. — Ufa. 2009. Vol. 5. № 1. P. 38–42.

8. Recommendation ITU-T G. 1028. End-to-end quality of service for voice transmission over 4G mobile networks. 2016.

9. Nikitin G.V., Shishkalov A.V., Sazonov K.V., Saniev R.R. Approach to the recognition of the structural element «time stamp» of a protocol unit with multiplexing of voice data subscribers of satellite communication systems. In: Zhurnal radioelektroniki [electronic journal]. Institut radiotekhniki i elektroniki im. V.A. Kotel'nikova RAN. 2020. № 5. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/may20/2/text.pdf>. DOI 10.30898/1684-1719.2020.5.2

10. Yusupov R.M. Statistical methods for processing observations / R.M. Yusupov, G.B. Petuhov; pod red. R.M. Yusupov. — M.: MO USSR. 1984. 786 p.