

УДК 621.391:681.326.35

Передача синхронных потоков данных по асинхронным сетям пакетной связи со случайным множественным доступом

Бейлекчи Д. В., Белов А. А., Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А.

Постановка задачи: задача синхронизации дискретной информации по принимаемым пакетам данных в сетях с пакетной связью и случайным множественным доступом к среде передачи является актуальной. Такая задача возникает при взаимодействии источников и приемников информации и данных через каналы с пакетной передачей, скорость передачи в которых заранее является не известной. В подобных каналах обеспечивается асинхронный способ передачи информации. Поэтому в системах телекоммуникаций имеет место проблема разработки новых методов обмена информацией и формирования эффективной структуры организации тактовой синхронизации по поступающим пакетам данных. **Объектом исследования** являются каналы передачи дискретной информации, ориентированные на асинхронный способ передачи информации, а также каналы со случайным множественным доступом в системах телекоммуникаций обмена данными. **Целью работы** является разработка модели канала передачи дискретной информации, рассмотрение вопросов более эффективного обслуживания асинхронного трафика в сетях пакетной связи, разработка методов восстановления тактовой частоты источника в каналах с асинхронной передачей информации. **Используемые методы:** в работе использовался аппарат теории связи, теория массового обслуживания, теория незавершенного обслуживания, методы адаптивного регулирования, методы моделирования, сетевые технологии. **Научная новизна** работы заключается в рассмотрении вопросов формирования процесса синхронизации пакетной связи, рассмотрении методов восстановления тактовой частоты источника асинхронной передачи дискретной информации, исследовании модели формирования пакетов данных в каналах со случайным множественным доступом. **Результат:** разработана модель канала передачи дискретной информации, рассмотрены вопросы эффективного обслуживания асинхронного трафика в сетях пакетной связи, разработаны методы восстановления тактовой частоты источника в каналах с асинхронной передачей пакетов данных. **Практическая значимость:** разработанные методы и алгоритмы позволяют более эффективно использовать ресурсы сетей пакетной связи в системах телекоммуникаций, позволят реализовать дополнительные возможности по передаче разнотипной информации, позволят повысить качество связи и минимизировать потери сетевых пакетов.

Ключевые слова: процесс синхронизации, пакетная связь, асинхронный поток данных, дискретная информация, каналы со случайным множественным доступом.

Введение

Формирование синхронизации дискретной информации по принимаемым пакетам данных является актуальной проблемой. Такая задача возникает при соединении источников информации через канал с пакетной передачей данных,

Библиографическая ссылка на статью:

Бейлекчи Д. В., Белов А. А., Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А. Передача синхронных потоков данных по асинхронным сетям пакетной связи со случайным множественным доступом // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 1-15. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/01-Beilegchi.pdf>

Reference for citation:

Beilegchi D. V., Belov A. A., Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. Transmission of Synchronous Data Streams for an Asynchronous Packet Communication Networks with the Random Multiple Access. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 1-15. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/01-Beilegchi.pdf>

скорость передачи которых не известна. К подобным каналам относятся каналы, ориентированные на асинхронный способ передачи информации, а также каналы со случайным множественным доступом.

Являясь по своей природе асинхронными, сети пакетной связи (Frame Relay, АТМ, IP) характеризуются в первую очередь высокой эффективностью передачи коротких сообщений. В отличие от сетей с коммутацией каналов, ресурсы которых предоставляются на все время соединения, ресурсы сетей пакетной связи отводятся только под передаваемую информацию, притом, что наибольший эффект достигается при отсутствии существенных требований к времени ее доставки. Однако тенденция к построению сетей с интеграцией служб обусловила потребность в реализации дополнительных возможностей по передаче разнотипной информации. В сетях АТМ по этой причине предусмотрены каналы с постоянной битовой скоростью, каналы с переменной битовой скоростью (в вариантах реального и не реального времени), каналы с доступной и с негарантированной битовой скоростью [1]. Аналогичные, повышающие качество обслуживания, возможности реализуются и в сетях IP.

Сеть связи – это множество узлов (коммутаторов, маршрутизаторов и разветвителей), соединенных между собой групповыми каналами передачи данных. Чтобы исключить проскальзывание битов и потерю блоков или пакетов данных, передача информации по каналам сети должна осуществляться согласованными во времени способами. Для этого, например, генераторы всех узлов синхронизируются по частоте одного, соответствующим образом выбираемого, задающего генератора. При отсутствии такой синхронизации каждый узел сети оснащается своим высокоточным генератором, обеспечивающим допустимую величину проскальзывания или потерь элементов передаваемых данных. Качество связи, зависящее от названных потерь, зависит не только от способа синхронизации сети, но и от целого ряда других факторов [1], от амплитудных и фазовых искажений в каналах, от флюктуаций фазы сигналов, от кодовых ошибок и ошибок синхронизации, от переполнения буферов, от интенсивности заявок и протоколов управления передачей. Фрактальный характер процессов в сетях связи, находящийся, в частности, выражение в длинных хвостах вероятностных распределений числа заявок, также влияет на качество передачи и ограничивает возможности традиционных, основанных на теории массового обслуживания [2].

Также актуальными являются вопросы подключения абонентских приборов к ISDN-подобной цифровой станции через каналы со случайным множественным доступом, так как разработка процесса формирования тактового сигнала станции из тактового сигнала канала пакетной связи со случайным множественным доступом требует дальнейшего рассмотрения, а реализация отдельных каналов синхронизации нерациональна. Поэтому в работе рассматривается проблема формирования структуры организации тактовой синхронизации по поступающим пакетам данных [3, 4].

Модель канала передачи дискретной информации

В соответствии с моделью канала передачи дискретной информации, приведенной на рис. 1, информация $u(t)$, создаваемая источником, накапливается в интеграторе и по достижении порога срабатывания компаратора сбрасывается импульсным элементом в канал в форме последовательности пакетов. Период следования пакетов определяется периодом дискретизации накопленной информации импульсным элементом. В общем случае размер пакетов может зависеть от количества накопленной информации. Однако без ограничения общности размер пакета принимается фиксированным, что соответствует форме амплитудной характеристики компаратора, согласно модели канала, приведенного на рис. 1.

Пакеты данных источника поступают в буфер Σ получателя с задержкой τ , которая является случайной величиной [5, 6, 7]. Информация из указанного буфера направляется далее получателю со скоростью $v(t)$. При этом задача синхронизации заключается в обеспечении условий выполнения равенства $v(t) = u(t - \tau_0)$, где τ_0 – фиксированная величина.

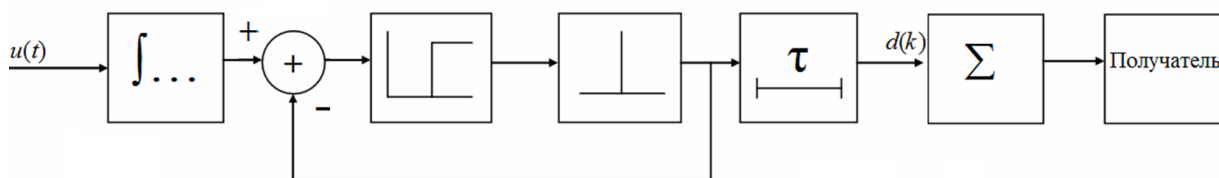


Рис. 1. Структурная схема модели канала формирования пакетов данных

Из рис. 1 видно, что буфер источника представлен интегратором, на выходе которого вычисляется разность между количеством информации, накопленной в интеграторе в единицу времени накопления данных импульсным элементом, и количеством информации, сбрасываемой в канал в форме пакетов. При этом для исключения возможности переполнения буфера источника, количество информации D в пакете данных должно быть больше

количества информации $W = \int_0^{\bar{T}} u(\vartheta) d\vartheta$, создаваемой источником за время, равное среднему периоду дискретизации \bar{T} накопленных данных импульсным элементом. Таким образом, должно выполняться условие $D > W$.

Если скорость в канале пакетной передачи данных значительно превосходит скорость в канале источника информации, то выходной сигнал импульсного элемента в точках дискретизации t_k представляет собой последовательность выборок функции в виде

$$\xi(t) = \frac{1}{2} (1 + \text{sgn}(x(t) - D)) \times D \times \delta(t - t_k), \quad (1)$$

где функция $x(t)$ в точках t_k , в которых она может иметь разрывы, принимается непрерывной слева, $\text{sgn } a = 1$, при $a \geq 0$ или $\text{sgn } a = -1$, при $a < 0$.

В соответствии с (1) динамика изменения количества информации x , накопленной в буфере источника на отрезке $[t_{k-1}, t_k]$ удовлетворяет разностному уравнению

$$\dot{x}_k(t) = u(t), \quad x_k(t_k) = x_{k-1}(t_{k-1}) - \xi(t_{k-1}). \quad (2)$$

В интегральной форме уравнение (2) принимает вид

$$x_k(t) = x_{k-1}(t_{k-1}) + \int_{t_{k-1}}^{t_k} u(\vartheta) d\vartheta - \xi(t_{k-1}). \quad (3)$$

Если ввести обозначения

$$W_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} u(\vartheta) d\vartheta, \quad x_k = x_k(t_k), \quad u \quad \xi_k = \xi(t_k),$$

то из (3) следует разностное уравнение для величины x_k , определяющее заполнение буфера источника в моменты t_k , в виде

$$x_k = x_{k-1} + W_k - \xi_{k-1}. \quad (4)$$

Существенно упрощается решение уравнения (4) при выполнении условий $W_k = W = \text{const}$:

$$x_k = x_0 + kW - D \left[\frac{x_0 + (k-1)W}{D} \right], \quad (5)$$

где $[b]$ – целая часть действительного числа b .

Траектории динамической системы, описываемой уравнением (4), при $D=48$ и фиксированных значениях $W_k = (0,2+\pi/50) \cdot 48$ и $W_k = (0,8+\pi/50) \cdot 48$ приведены соответственно на рис. 2 и рис. 3.

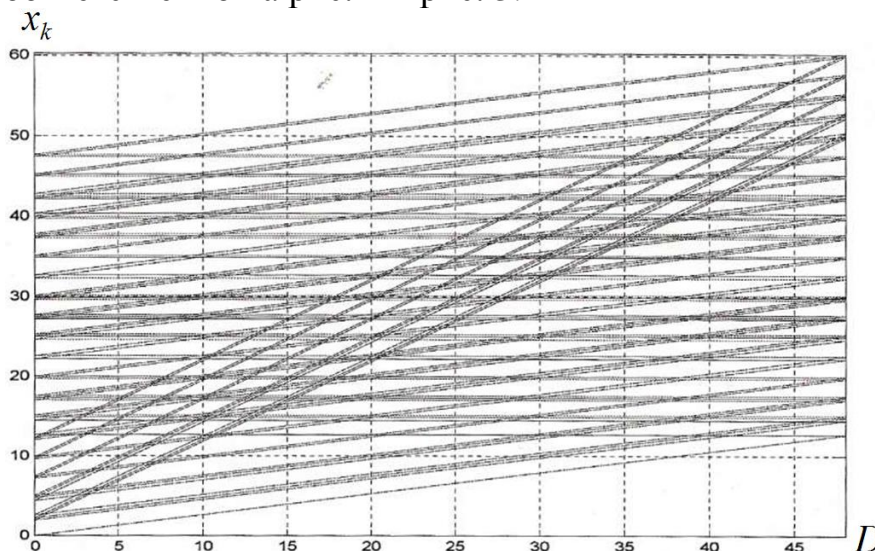


Рис. 2. Динамика заполнения буфера источника, $W_k = (0,2+\pi/50) \cdot 48$

Правой границе, изображенных фазовых портретов на рис. 2 и рис. 3, соответствует заполнение буфера в момент, непосредственно предшествующий точке дискретизации импульсным элементом выходного сигнала компаратора, а левой границе соответствует заполнение буфера после дискретизации со сбросом пакета данных, если заполнение буфера в момент дискретизации

превышает объем заключенных в пакете данных. Движению по кривой фазового портрета в направлении от левой границы вправо соответствует плавное изменение заполнения буфера, обусловленное накоплением данных источника. Движению же в обратном направлении под углом к горизонтали соответствуют скачкообразные изменения, обусловленные сбросами пакетов данных.

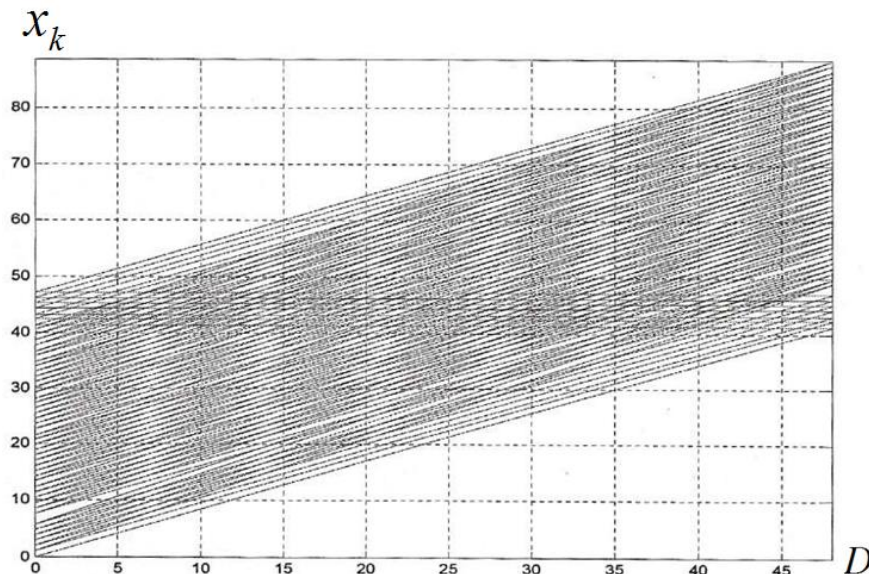


Рис. 3. Динамика заполнения буфера источника, $W_k = (0,8 + \pi/50) \cdot 48$

Из рисунков следует, что требуемая емкость буфера уменьшается с увеличением частоты дискретизации выходного сигнала компаратора и не превышает величины, равной удвоенному количеству информации. Однако анализ модели динамики заполнения буфера показывает, что для обеспечения надежности выводов, в модели следует учитывать неравномерный характер дискретизации накопленных данных, а также следует учитывать изменяющуюся, в общем случае случайным образом, задержку в доставке пакетов данных получателю. Характеристики неравномерности дискретизации и задержки доставки определяются особенностями протоколов сети пакетной связи, скоростью передачи в ее каналах, характером доступа к сети, загрузкой сети и распределением пакетов по длине и приоритетам. В этом случае, рост скорости передачи в каналах и уменьшение загрузки сети уменьшает неравномерность дискретизации и изменение задержки при соответствующих протоколах, что обуславливает возможность повышения качества связи в целом.

Обслуживание синхронного трафика в сетях пакетной связи

Групповые каналы передачи данных, соединяющие соответствующие пары узлов сети пакетной связи, могут в общем случае содержать информацию источников, функционирующих в различных режимах, в частности, синхронном и асинхронном режимах (в реальном и виртуальном времени). Естественно во всех режимах названная информация в групповые каналы поступает в пакетной форме. Данные источников, функционирующих в

синхронном режиме, упаковываются при этом в пакеты с расчетом на их передачу по групповому каналу сети. Схема образования группового канала показана на рис. 4. Количества активных, синхронных и асинхронных, стыков абонентского доступа, являющиеся функциями времени, обозначены, как $n_S(t)$ и $n_A(t)$, а общее число стыков – как $n(t) = n_S(t) + n_A(t)$.

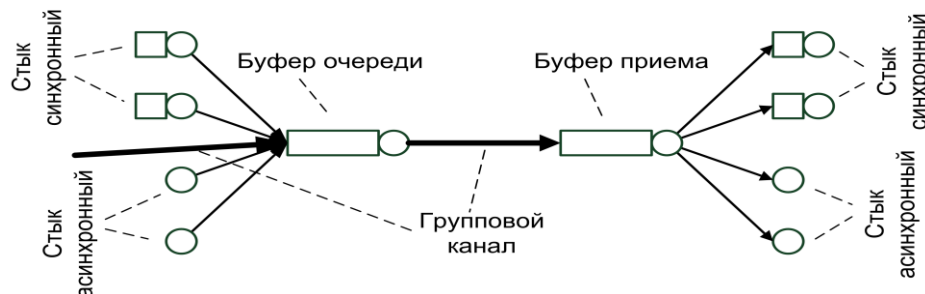


Рис. 4. Групповой канал в сети пакетной связи

Без ограничения общности длину пакета в групповом канале в битах можно принять равной фиксированной величине d_P , а количество содержащейся в нем информации – d_I . При этом если скорость передачи в групповом канале равняется v_P , то время обслуживания одного пакета определяется выражением $t_P = d_P / v_P$, а эффективная скорость передачи информации, содержащейся в пакете – выражением $v_I = d_I / t_P$.

Аналогично, время передачи данных одного пакета в синхронном k -м канале абонентского доступа $t_{S,k} = d_I / v_{S,k}$, где $v_{S,k}$ – скорость передачи в канале. Можно показать, что если время $t_{S,k}$ не кратно времени обслуживания t_P , то поток пакетов в сети является (при иррациональной величине отношения $t_{S,k} / t_P$) почти периодическим, а в общем случае – случайным. Параметры потока также зависят от состава абонентских стыков и величины трафика сети в целом, а также от правил их обслуживания.

Так, в то время как поток пакетов с данными синхронных каналов может иметь достаточно регулярный характер, поток пакетов, поступающих по асинхронным стыкам, естественно считать случайным. Формирование пакетов синхронных каналов осуществляется, как это показано на рис. 4, в буферах абонентских стыков. После каждого заполнения буфера стыка пакет поступает в буфер очереди соответствующего узла сети.

Моменты поступления пакетов в буфер очереди τ_l образуют точечный или случайный поток (процесс) [8]. Параметры этого потока оказывают существенное влияние на важнейший параметр состояния сети – объем заполнения буферов очередей ее узлов. Динамику изменения этого параметра принято изображать временными диаграммами, подобными приведенной на рис. 5 диаграмме, описывающей функционирование одного узла сети – см. рис. 4, (или обслуживающего прибора). Это типичный способ, применяемый в теории массового обслуживания [9].

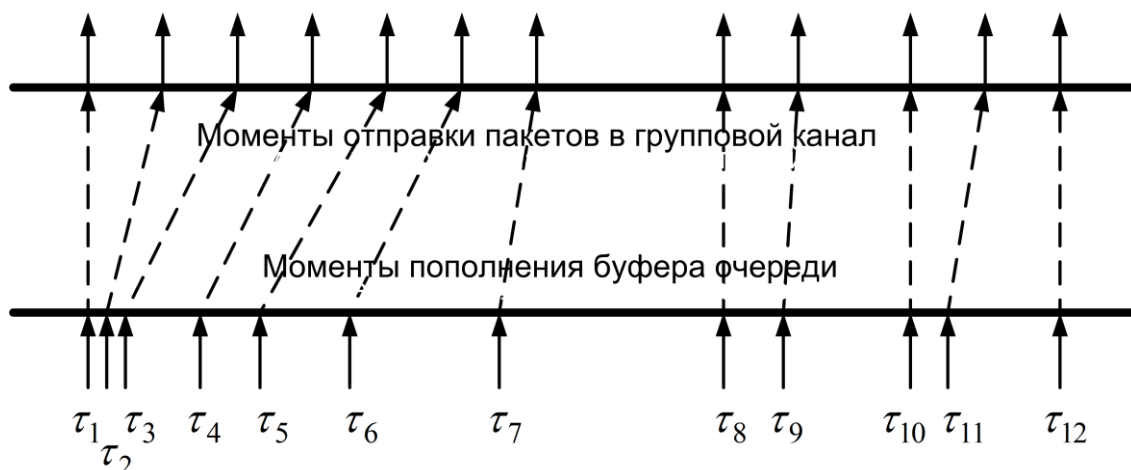


Рис. 5. Временная диаграмма обслуживания заявок

На рис. 5 показан почти периодический порядок поступления заявок по синхронному и асинхронному стыкам, суммарный поток заявок и порядок обслуживания «первым вошел – первым вышел» (FIFO). Указанный порядок обслуживания, как это видно из рисунка, характеризуется нерегулярной доставкой пакетов данных не только абонентам асинхронного, но и синхронного стыка, что приводит в последнем случае к усложнению проблемы синхронизации. Эта проблема отчасти снимается посредством закрепления за пакетами данных синхронных каналов заранее определенных позиций, что усложняет процедуру управления обслуживанием.

Динамику заполнения буферов удобно представить функцией незавершенного обслуживания [9]. Такая функция может быть построена в соответствии с временной диаграммой обслуживания заявок – рис. 5. Моментам τ_l поступления пакетов соответствует скачкообразное увеличение заполнения буфера очереди на величину кратную размеру пакета d_p . В интервалах между моментами поступления пакетов заполнение буфера уменьшается со скоростью передачи данных в групповом канале v_p . При этом каждый пакет в канале передается в течение времени t_p .

Отличительной чертой систем массового обслуживания, подобных системе пакетной связи (рис. 4), является характер входного воздействия, представляющего собой случайный поток импульсов, которые при длительности $\tau \rightarrow 0$ можно рассматривать как последовательность δ -импульсов. В простейшем случае это может быть пуассоновский поток, в котором случайная длина θ интервала между импульсами τ_{l-1} и τ_l , $l=1, 2, 3, \dots$, описывается функцией плотности вероятностей [10]

$$f(\theta, l) = \lambda(\tau_{l-1} + \theta)e^{-\Lambda(\tau_{l-1} + \theta, \tau_{l-1})}, \quad \Lambda(t, a) = \int_a^{a+t} \lambda(\tau) d\tau. \quad (6)$$

Здесь $\lambda(t)$ – интенсивность потока (параметр распределения). В случае однородного потока, когда $\Lambda(t) = \lambda t$, плотность распределения длины интервала между импульсами $f(\theta) = \lambda e^{-\lambda\theta}$.

Функция незавершенного обслуживания, отображающая динамику буфера очереди группового канала, находится по известной последовательности моментов поступления заявок τ_l , а именно, описывается выражениями:

$$x_l(\rho) = \max \{0, x_{l-1}(\theta_{l-1}) + n_l d_P - v_P \rho\}, \quad l = 1, 2, 3, \dots,$$

$$x_l(\theta_l) = \max \{0, x_{l-1}(\theta_{l-1}) + n_l d_P - v_P \theta_l\}, \quad \theta_l = \tau_l - \tau_{l-1}, \quad \rho \in [0, \theta_l]. \quad (7)$$

Здесь $x_0(\theta_0)$ – величина начального заполнения буфера и n_l – число поступающих в момент τ_l заявок. Схема модели, соответствующая уравнениям (7), изображена на рис. 6.

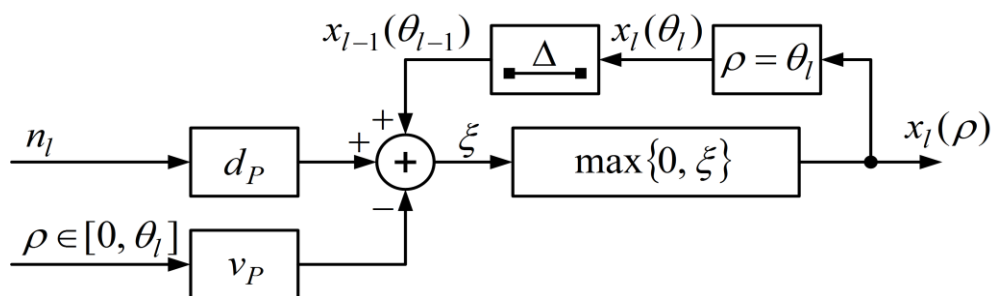


Рис. 6. Формирователь функции незавершенного обслуживания

Как следует из вышесказанного, оценивание динамики буферов сети, представленной функциями незавершенного обслуживания, требует еще адекватного задания суммарной нагрузки и моментов τ_l поступления заявок. Суммарная нагрузка должна быть согласована с пропускной способностью каналов, а неравномерность поступления пакетов – с размерами буферов. Динамика заполнения буфера группового канала, описываемая уравнениями (7), имеет место только при бесконечном размере буфера (при отсутствии его переполнения). При конечном размере D_P буфера динамику заполнения можно представить уравнениями

$$x_l(\rho) = \max \{0, \min \{D_P, x_{l-1}(\theta_{l-1}) + n_l d_P\} - v_P \rho\}, \quad l = 1, 2, 3, \dots,$$

$$x_l(\theta_l) = \max \{0, \min \{D_P, x_{l-1}(\theta_{l-1}) + n_l d_P\} - v_P \theta_l\}, \quad \theta_l = \tau_l - \tau_{l-1}, \quad \rho \in [0, \theta_l]. \quad (8)$$

Потери данных, обусловленные переполнением буфера, описываются в этом случае выражением

$$\Delta_l = \max \{0, x_{l-1}(\theta_{l-1}) + n_l d_P - D_P\}. \quad (9)$$

Модель системы, описывающая в соответствии с (8) и (9) динамику заполнения буфера конечного размера и обусловленные этим потери данных, является очевидным обобщением схемы, приведенной на рис. 6.

Восстановление тактовой частоты источника

Одно из решений задачи восстановления тактовой частоты источника дискретной информации по поступающим пакетам данных может быть основано на схеме фазовой автоподстройки частоты, приведенной на рис. 7.

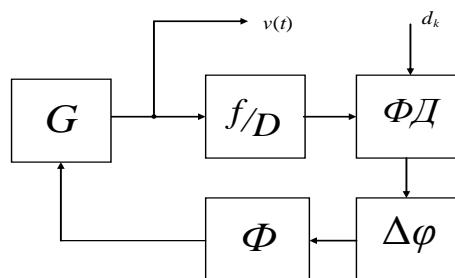


Рис. 7. Схема фазовой автоподстройки частоты

G – генератор тактовой частоты, f/D – делитель частоты, вычисление функции оценивания среднего периода следования пакетов данных, $\Phi Д$ – фазовый детектор, $\Delta\varphi$ – формирование сигнала отклонения фазы, Φ – линейный фильтр с конечной импульсной характеристикой, формирователь сигнала управления тактовой частотой.

В этом случае доступной информацией, которую можно использовать при восстановлении тактовой частоты источника дискретных сигналов, являются моменты \tilde{t}_k регистрации поступающих из канала пакетов данных и величина $\tilde{x}(t)$ заполнения буфера получателя.

Изображенный на рис. 7 делитель частоты выполняет функцию оценивания среднего периода $\bar{\theta}(t)$ поступления пакетов данных. Обозначив моменты появления импульсов на выходе этого делителя как \hat{t}_k , уравнение фазовой автоподстройки можно записать в виде:

$$v_k = v_{k-1} - \varepsilon(\tilde{t}_k - \hat{t}_k). \quad (10)$$

При использовании в контуре обратной связи делителя линейного фильтра с конечной импульсной характеристикой [12] уравнение автоподстройки принимает вид:

$$v_k = v_{k-1} - \varepsilon \sum_{k-N}^{k+M} a_n(\tilde{t}_n - \hat{t}_n), \quad (11)$$

которое можно рассматривать как уравнение регулирования с усреднением.

Для учета в приведенных уравнениях автоподстройки частоты неравномерности формирования последовательности пакетов данных источника допускается применение методов адаптивного регулирования с эталонной моделью [13], в качестве которой возможно использование рассмотренной выше модели формирования пакетов данных источника. В этом случае вместо делителя частоты, приведенного на рис. 7, используется нелинейный формирователь отсчетов.

К дополнительной характеристике качества регулирования, которую можно использовать при коррекции периода, относится отклонение заполнения буфера получателя $\tilde{x}(t)$ от заполнения буфера модели $\bar{x}(t)$.

Выводы

Практическое применение рассмотренных вопросов синхронизации трафика в сетях пакетной связи и развитие вопроса формирования уравнения

автоподстройки частоты методами адаптивного регулирования возможно при исследовании характеристик и протоколов используемых каналов пакетной связи в рамках представленной модели. Также к рассматриваемой теме относятся и вопросы, развиваемые в теории систем со случайным периодом квантования [4] и с переменным запаздыванием [5], в соответствии с которыми применение методов стохастических систем требует получения информации о вероятностных характеристиках наблюдаемых процессов [4, 7, 11, 14].

Литература

1. Беллами Дж. Цифровая телефония. – М.: Эко-Трендз, 2004. – 640 с.
2. Шелухин О. И., Тенякшев А. М., Осин А. В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
3. Колтунов М. Н., Рыжков А. В. Сетевая синхронизация: взгляд в будущее // Электросвязь. 2005. № 9. С. 36-38.
4. Казаков И. Е., Артемьев В. М., Бухалев В. А. Анализ систем случайной структуры. – М.: Физматлит, 1993. – 272 с.
5. Солодов А. В., Солодова Е. А. Системы с переменным запаздыванием. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
6. Кропотов Ю. А. Временной интервал определения закона распределения вероятности амплитуд речевого сигнала // Радиотехника. 2006. № 6. С. 97-98.
7. Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А. О корреляционном оценивании параметров моделей акустических эхо-сигналов // Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 46-50.
8. Большаков И. А., Ракошиц В. С. Прикладная теория случайных потоков. – М.: Советское радио, 1978. – 248 с.
9. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 432с.
10. Солодов А. В., Солодов А. А. Статистическая динамика систем с точечными процессами. – М.: Наука, 1988. – 256 с.
11. Быков А. А., Кропотов Ю. А. Аппроксимация закона распределения вероятности отсчетов сигналов акустических помех // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2011. № 2. С. 61-66.
12. Ермолаев В. А., Карасев О. Е., Кропотов Ю. А. Метод интерполяционной фильтрации в задачах обработки речевых сигналов во временной области // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. № 7. С. 12-17.
13. Ермолаев В. А., Еременко В. Т., Карасев О. Е., Кропотов Ю. А. Идентификация моделей дискретных линейных систем с переменными, медленно изменяющимися параметрами // Радиотехника и электроника. 2010. Т. 55. № 1. С. 57-62.
14. Кропотов Ю. А. Алгоритм определения параметров экспоненциальной аппроксимации закона распределения вероятности амплитуд речевого сигнала // Радиотехника. 2007. № 6. С. 44-47.

15. Kropotov Y. A., Ermolaev V. A. Algoritmy obrabotki akusticheskikh signalov v telekommunikacionnyh sistemah metodami lokal'nogo parametriceskogo analiza [Algorithms for processing acoustic signals in telecommunication systems by local parametric methods of analysis]. *Trudy mezhdunarodnoj sibirskoj konferencii po upravleniju i svyazi SIBCON-2015* [Proceedings International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015)]. Omsk: Omsk State Technical University. Russia, 2015, pp. 345-348.

16. Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. Issledovanie parametrov modelej akusticheskikh jeho-signalov s pomoshh'ju metoda ocenki korrelyacii [Investigation of parameters of models of acoustic ECHO-signals by method of correlation estimation]. *Trudy 20 mezhdunarodnoj krymskoj konferencii "SVCh-tehnika i telekommunikacionnye tehnologii"* [Proceedings of 20 th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"]. Sevastopol, 2010, vol. 1, pp. 422-423.

17. Kropotov Y. A. Upravlenie podavleniem pomeh kanalov v mnogokanal'nyh sistemah peredachi akusticheskikh signalov [Management of the channel suppression hindrances in multichannel systems of transfer acoustic signals]. *Trudy pervoj rossijskoj i tihookeanskoj konferencii "Komp'juternye tehnologii i prilozhenija (RPC 2010)"* [Proceedings of First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC 2010)]. Vladivostok: IACP FEB RAS, 2010, pp. 399-400.

18. Кропотов Ю. А. Статистические параметры сигналов при проектировании оперативно-командных телекоммуникационных систем // В мире научных открытий. 2010. № 6-1. С. 39-44.

19. Кропотов Ю. А., Быков А. А. Алгоритм подавления акустических шумов и сосредоточенных помех с формантным распределением полос режекции// Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 60-65.

20. Быков А. А., Кропотов Ю. А. Модель закона распределения вероятности амплитуд сигналов в базисе экспоненциальных функций системы // Проектирование и технология электронных средств. 2007. № 2. С. 30-34.

21. Белов А. А., Кропотов Ю. А. Исследование вопросов сжатия и поиска картографической информации методом вейвлет-преобразований в экологической геоинформационной системе // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. № 12. С. 9-14.

22. Кропотов Ю. А., Белов А. А. Исследование статистических характеристик оцифрованных сигналов систем телекоммуникаций аудиообмена // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 150-157.

References

1. Bellamy J. *Cifrovaja telefonija* [Digital telephony]. Moscow, Eco-Trendz, 2004. 640 p. (in Russian).

2. Shelukhin O. I., Tenyakshev A. M., Osin A. V. *Fraktal'nye processy v telekommunikacijah* [Fractal processes in telecommunications]. Moscow, Radiotekhnika, 2003. 480 p. (in Russian).
3. Koltunov M. N., Ryzhkov A. V. Setevaja sinhronizacija: vzgljad v budushhee [Network synchronization: a look into the future]. *Electrosvyaz*, 2005, no. 9, pp. 36-38 (in Russian).
4. Kazakov I. E., Artemyev V. A., Bukhalov V. A. *Analiz sistem sluchajnoj struktury* [Analysis of a random structure systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1993. 272 p. (in Russian).
5. Solodov A. V., Solodova E. A. *Sistemy s peremennym zapazdyvanijem* [System with variable delay]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 384 p. (in Russian).
6. Kropotov Y. A. Vremennoj interval opredelenija zakona raspredelenija verojatnosti amplitud rechevogo signala [The time interval determining the distribution law of probability amplitudes of speech]. *Radiotekhnika*, 2006, no. 6, pp. 97-98 (in Russian).
7. Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. O korreljacionnom ocenivanii parametrov modelej akusticheskikh jecho-signalov [About correlation estimation of the parameters of acoustic echo models]. *Voprosy radioelektroniki*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 46-50 (in Russian).
8. Bolshakov I. A., Rakoshits V. S. *Prikladnaja teorija sluchajnyh potokov* [Applied theory of random streams]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1978. 248 p. (in Russian).
9. Kleinrock L. *Teorija massovogo obsluzhivaniya* [Queueing theory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 432 p. (in Russian).
10. Solodov A. V., Solodov A. A. *Statisticheskaja dinamika sistem s tochechnymi processami* [Statistical dynamics of systems with point processes]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 256 p. (in Russian).
11. Bykov A. A., Kropotov Y. A. Approksimacija zakona raspredelenija verojatnosti otschetov signalov akusticheskikh pomeh [Approximation of law probability distribution of acoustic noise signal samples]. *Radio and telecommunication systems*, 2011, no. 2, pp. 61-66 (in Russian).
12. Ermolaev V. A., Karasev O. E., Kropotov Y. A. Metod interpoljacionnoj fil'tracii v zadachah obrabotki rechevyh signalov vo vremennoj oblasti [Interpolation filtering method in problems of speech signal processing in the time domain]. *Vestnik komp'juternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2008, no. 7, pp. 12-17 (in Russian).
13. Ermolaev V. A., Eremenko V. T., Karasev O. E., Kropotov Y. A. Identifikacija modelej diskretnyh linejnyh sistem s peremennymi, medlenno izmenjajushhimisja parametrami [Identification of models for discrete linear systems with variable, slowly varying parameters]. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2010, vol. 55, no. 1, pp. 57-62 (in Russian).
14. Kropotov Y. A. Algoritm opredelenija parametrov jeksponencial'noj approksimacii zakona raspredelenija verojatnosti amplitud rechevogo signala [The algorithm for determining the parameters of the exponential approximation law of the probability distribution of the amplitude of the speech signal]. *Radiotekhnika*, 2007, no. 6, pp. 44-47 (in Russian).

15. Kropotov Y. A., Ermolaev V. A. Algoritmy obrabotki akusticheskikh signalov v telekommunikacionnyh sistemah metodami lokal'nogo parametriceskogo analiza [Algorithms for processing acoustic signals in telecommunication systems by local parametric methods of analysis]. *Trudy mezhdunarodnoj sibirskoj konferencii po upravleniju i svjazi SIBCON-2015* [Proceedings International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015)]. Omsk, Omsk State Technical University, 2015, pp. 345-348.

16. Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. Issledovanie parametrov modelej akusticheskikh jeho-signalov s pomoshh'ju metoda ocenki korrelyacii [Investigation of parameters of models of acoustic ECHO-signals by method of correlation estimation]. *Trudy 20 mezhdunarodnoj krymskoj konferencii "SVCh-tehnika i telekommunikacionnye tehnologii"* [Proceedings of 20th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"]. Sevastopol, 2010, vol. 1, pp. 422-423.

17. Kropotov Y. A. Upravlenie podavleniem pomeh kanalov v mnogokanal'nyh sistemah peredachi akusticheskikh signalov [Management of the channel suppression hindrances in multichannel systems of transfer acoustic signals]. *Trudy pervoj rossijskoj i tihookeanskoj konferencii "Komp'juternye tehnologii i prilozhenija (RPC 2010)"* [Proceedings of First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC 2010)]. Vladivostok, 2010, pp. 399-400.

18. Kropotov Y. A. Statisticheskie parametry signalov pri proektirovanii operativno-komandnyh telekommunikacionnyh sistem [Statistical parameters of signals in the design of operational command of telecommunication systems]. *In the World of Scientific Discoveries*, 2010, no. 6-1, pp. 39-44 (in Russian).

19. Kropotov Y. A., Bykov A. A. Algoritm podavlenija akusticheskikh shumov i sosredotochennyh pomeh s formantnym raspredeleniem polos rezhekicii [Algorithm acoustic noise suppression and interference with concentrated formant distribution rejection bands]. *Questions of radio-electronics*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 60-65 (in Russian).

20. Bykov A. A., Kropotov Y. A. Model' zakona raspredelenija verojatnosti amplitud signalov v bazise jeksponencial'nyh funkcij sistemy [Model law probability distribution of the signal amplitudes in the basis of the system of exponential functions]. *Design and technology of electronic means*, 2007, no. 2, pp. 30-34 (in Russian).

21. Belov A. A., Kropotov Y. A. Issledovanie voprosov szhatija i poiska kartograficheskoj informacii metodom vejvlet-preobrazovanij v jekologicheskoj geoinformacionnoj sisteme [Study on the compression and map information search method wavelet transforms environmental geographic information system]. *Vestnik komp'juternykh i informacionnykh tekhnologii*, 2008, no. 12, pp. 9-14 (in Russian).

22. Kropotov Y. A., Belov A. A. Research of the statistical characteristics of digitized signals in telecommunications audio exchange systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 4, pp. 150-157 (in Russian).

Статья поступила 10 января 2017 г.

Информация об авторах

Бейлекчи Дмитрий Владимирович – старший преподаватель кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: микропроцессорные системы, системы телекоммуникаций, системы оперативно-командной связи. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: dmibei@yandex.ru

Белов Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: телекоммуникационные системы мониторинга, обработка данных, методы вейвлет-преобразования. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: aleks.murom@mail.ru

Ермолаев Валерий Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: обработка информации в телекоммуникационных системах. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: valeermolaev@yandex.ru

Кропотов Юрий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: телекоммуникационные и информационно-управляющие системы. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Адрес: Россия, 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

Transmission of Synchronous Data Streams for an Asynchronous Packet Communication Networks with the Random Multiple Access

D. V. Beilegchi, A. A. Belov, V. A. Ermolaev, Y. A. Kropotov

Statement of the problem: the problem of synchronization of digital information in data packets received in the packet network connection and a random multiple access to the transmission medium is important. This problem arises in the interaction of sources and receivers of information and data through packet transmission channels, in which the transmission rate is not known in advance. In these channels provides an asynchronous method of transmitting information. Therefore, in telecommunication systems is a problem of the development of new methods of exchanging information and creating an effective organizational structure clocked by incoming data packets. **Object of research** are the transmission channels of digital information-oriented asynchronous method of transmitting information, as well as channels with a random multiple access telecommunication systems, data exchange. **The purpose** is to develop a model of the transmission channel of digital information, consideration of a more efficient service asynchronous traffic in packet communication networks, development of methods of restoration of the clock frequency of the source channels in the asynchronous data transmission. **Used methods:** we used the apparatus of communication theory, queuing theory, the theory of incomplete maintenance of adaptive control, simulation

techniques, network technologies. **The scientific novelty** of the work lies in the consideration of the formation process of the synchronization packet communication, consideration of the recovery methods clock source asynchronous transfer of digital information, the study model of the formation of data packets in a random multiple access channels. **Results:** the model of the transmission channel of digital information, the issues of effective service of the asynchronous traffic in packet communication networks, developed methods for restoring a clock frequency of the source channels in the asynchronous transmission of data packets. **Practical value:** the developed methods and algorithms allow more efficient use of packet communication network resources in telecommunication systems, will realize additional opportunities for transfer of heterogeneous information, will improve the quality of communication and to minimize the loss of network packets.

Key words: synchronization process, packet communications, asynchronous data stream, discrete information, channels with a random multiple access.

Information about Authors

Dmitryi Vladimirovich Beilegchi – Senior Lecturer of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: microprocessor-based systems, telecommunications systems, operational and command communications. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: dmibei@yandex.ru

Aleksey Anatolievich Belov – Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: telecommunication system monitoring, data processing, wavelet transform techniques. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: aleks.murom@mail.ru

Valeryi Andreevich Ermolaev – Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: information processing in telecommunication systems. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: valeermolaev@yandex.ru

Yurij Anatolievich Kropotov – Dr. of Engineering Sciences, Full Professor. Head of the Department «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: telecommunication information and control systems. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Address: Russia, 602264, Murom, st. Orlovskaya, h. 23.