

УДК 621.396

# МЕТОД ВЫБОРА МЕЖСЕГМЕНТНОГО ИНТЕРВАЛА В ТРАНСПОРТНОМ ПРОТОКОЛЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА



[Н.В. РВАЧЕВА](#),

Полтавский национальный  
технический университет имени  
Юрия Кондратюка

[К.А. ПОЛЬЩИКОВ](#),

[С.В. ВОЛОШКО](#)

Военный институт телекоммуникаций  
и информатизации НТУУ «КПИ»

*Запропоновано метод вибору міжсегментного інтервалу в телекомунікаційній мережі як вихідного параметру системи нечіткого виводу, що дозволило знизити середню затримку пакетів та кількість їх повторних передач, більш раціонально використовувати доступну пропускну здатність телекомунікаційної мережі.*

*Proposed by method of choice intersegment interval in the transport protocol of the telecommunications network as an output parameter of fuzzy inference. Using this method reduces the average delay of data packets, reduce the number of retransmissions and more efficient use of available throughput telecommunications network.*

*Предложен метод выбора межсегментного интервала в телекоммуникационной сети как выходного параметра системы нечеткого вывода, что позволило снизить среднюю задержку пакетов и количество их повторных передач, более рационально использовать доступную пропускную способность телекоммуникационной сети.*

## Введение

При передаче данных в телекоммуникационных сетях основными требованиями являются высокая достоверность и заданная оперативность (своевременность) доставки данных. Обеспечение надежной доставки данных достигается с помощью установления виртуальных соединений, реализации квитирования и осуществления повторных передач потерянных или искаженных пакетов [1, 2]. Выполнение перечисленных процедур предусмотрено протоколом транспортного уровня TCP (Transmission Control Protocol) [2, 3]. В соответствии с логикой данного протокола отправка адресату очередного сегмента (информационного блока транспортного уровня) разрешается только после получения соответствующей квитанции, что замедляет процесс передачи информации. Следовательно, средства, которые предпринимаются для повышения достоверности доставки данных, существенно снижают ее оперативность.

Одним из наиболее значимых параметров оперативности и своевременности доставки данных является интенсивность отправки сегментов на передающей стороне. Если ее значение будет слишком высоким, то это вызовет переполнение узловых очередей, приведет к перегрузке сети, потерям сегментов и вынужденным повторным передачам. Слишком низкая интенсивность отправки сегментов будет способствовать работе сети в недогруженном режиме, при этом доступная пропускная спо-

способность сети будет использоваться нерационально. В обоих случаях процесс доставки данных будет замедляться. Согласование интенсивности отправки сегментов с величиной доступной для данного виртуального соединения пропускной способности сети позволяет максимально ускорить процесс доставки данных. Решение этой задачи усложняется быстрым изменением загруженности каналов.

В настоящее время управление интенсивностью отправки сегментов в соответствии с протоколом TCP осуществляется методом скользящего окна. Ему присущи существенные недостатки, связанные с интерпретацией потери сегмента как признака перегрузки сети. В результате наблюдаются значительные пульсации циркулирующего в сети трафика. Это приводит к возникновению и усилению сетевых перегрузок, увеличению количества потерянных сегментов, а значит и к снижению оперативности доставки данных [4].

Недостатки метода скользящего окна можно устранить, если управление интенсивностью отправки данных осуществлять, увеличивая или уменьшая временной интервал между отправкой соседних сегментов (межсегментный интервал). На этом принципе основан, например, метод адаптивной скорости (Adaptive Rate, AR), который не получил пока широкого практического применения [5]. Исследования показали, что при управлении межсегментным интервалом с использованием данного метода согласование интенсивности отправки данных на передающей стороне с величиной доступной для данного соединения пропускной способности сети осуществляется достаточно медленно. В результате ресурсы сети используются нерационально, что замедляет процесс доставки данных адресату [6]. Причина несовершенства существующих методов управления интенсивностью отправки данных источником заключается в том, что выражения, используемые для расчета этой величины, подобраны эвристически, т.к. отсутствуют адекватные математические модели, которые точно описывают существующие зависимости между значениями параметров процесса доставки данных в сети, функционирующей в соответствии с протоколом TCP. В этой связи в статье предлагается метод выбора межсегментного интервала в транспортном протоколе телекоммуникационной сети, применение которого позволит повысить достоверность и оперативность доставки данных.

## **I. Выбор входных переменных системы нечеткого вывода значения межсегментного интервала в транспортном протоколе**

Предлагаемый метод предполагает определение текущего значения межсегментного интервала как выходного параметра системы нечеткого вывода. Особенности построения такой системы во многом определяются составом ее входных сигналов, на основе анализа которых осуществляется расчет текущего значения выходной переменной. С целью определения параметров, которые позволяют судить об изменении состояния виртуального соединения, в среде MatLab+Simulink разработана имитационная модель процесса передачи трафика в телекоммуникационной сети [7]. Упрощенная схема моделируемой сети представлена на рис. 1.

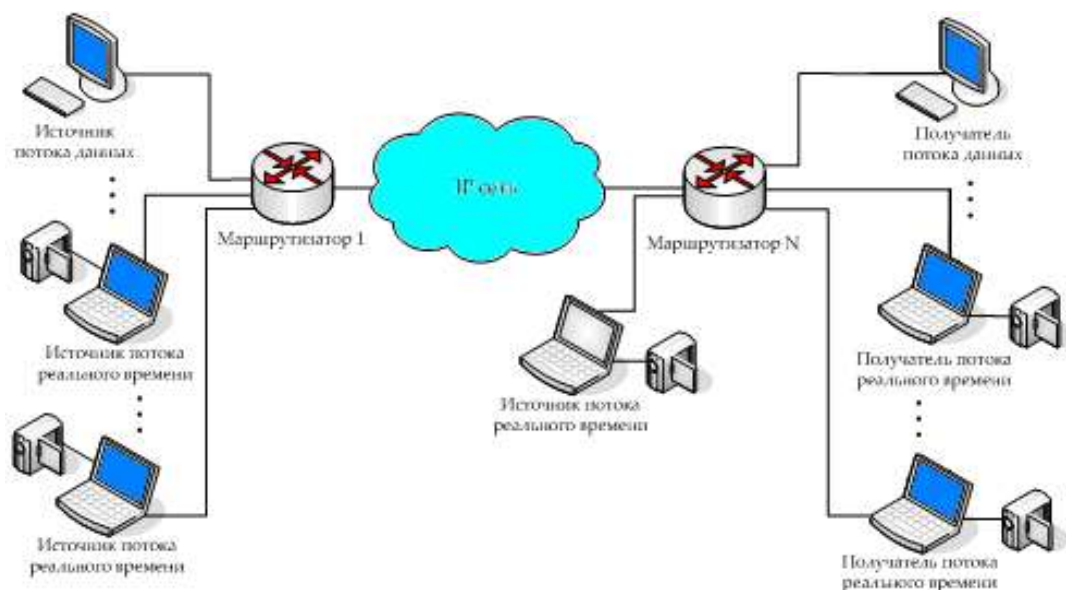


Рис.1. Упрощенная схема моделируемой телекоммуникационной сети

На рис.2 представлена имитационная модель процесса передачи трафика для простейшего варианта организации телекоммуникационной сети. В процессе исследований созданы различные имитационные модели, содержащие большее количество сетевых устройств.

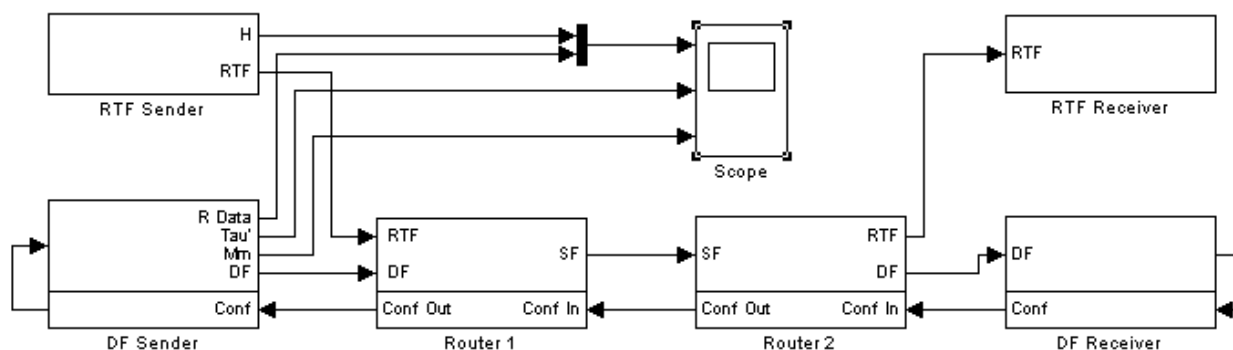


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели передачи трафика в телекоммуникационной сети

Элементы модели имитируют:

*DF Sender* – выполнение функций формирования источником потока данных информационных сегментов, их отправки получателю (интенсивность отправки потока данных  $R(t)$  определяется заданным значением межсегментного интервала), приема квитанций на ранее отправленные сегменты, измерение значений величины времени ожидания квитанции  $M(t)$ , вычисление значений параметра  $\bar{M}(t)$  – скользящего среднего величины  $M(t)$  и параметра  $\bar{\tau}(t)$  – скользящего среднего величины предыдущего значения межсегментного интервала  $\tau'(t)$ ;

*RTF Sender* – формирование и передачу потока реального времени, от интенсив-

ности которого зависит значение величины  $H(t)$ , т.е. пропускной способности, доступной для передачи потока данных;

*Router 1* – прием сегментов маршрутизатором №1, их буферизацию и отправку маршрутизатору №2; прием квитанций, полученных от маршрутизатора №2 и отправку их источнику потока данных;

*Router 2* – прием сегментов маршрутизатором №2 и отправку сегментов соответствующему получателю; прием квитанций на сегменты, доставленные получателю потока данных и отправку их маршрутизатору №1;

*DF Receiver* – прием сегментов получателем потока данных, измерение значений величины  $\tau'(t)$ , формирование и отправку источнику данных квитанций с содержащейся в них информацией об измеренных значениях величины  $\tau'(t)$ ;

*RTF Receiver* – прием сегментов получателем потока реального времени.

Виртуальный регистратор *Scope* предназначен для отображения текущих значений величины  $H(t)$  совместно с текущими значениями величины  $R(t)$ , текущих значений параметров  $\bar{\tau}(t)$  и  $\bar{M}(t)$ .

С использованием данной модели был проведен ряд имитационных экспериментов, в процессе которых наблюдались измеренные значения параметров  $\bar{\tau}(t)$  и  $\bar{M}(t)$ . При этом в каждом эксперименте устанавливались разные значения функций  $H(t)$  и  $R(t)$ . Пример одного из экспериментов показан на рис. 3 и соответствует случаю, когда на интервале времени  $t \in [300...500]$  (мс) наблюдается  $H(t) = R(t)$ , а на интервале  $t \in (500...700]$  (мс) интенсивность потока данных превышает доступную для него пропускную способность сети:  $R(t) > H(t)$ .

В результате, начиная с момента времени  $t \approx 550$  мс, источник информируется о возникающей в сети перегрузке и необходимости увеличения межсегментного интервала при отправке данных. Этот вывод можно сделать, принимая во внимание наблюдаемый на рис. 3 б и рис. 3 в рост значений параметров  $\bar{\tau}(t)$  и  $\bar{M}(t)$  соответственно. Результаты исследований показали, что наиболее информативным параметром, позволяющим судить о возникновении в сети как перегрузки, так и недогруженного режима, является скользящее среднее время ожидания квитанции  $\bar{M}(t)$ . Чтобы зафиксировать это изменение в момент времени  $t$ , требуется знать, как минимум, предыдущее и текущее значения указанной величины. Кроме того, чтобы принять адекватное решение о том, какое значение межсегментного интервала следует установить в текущий момент времени, необходимо учитывать предыдущее значение этого параметра.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что в качестве входных величин системы нечеткого вывода, функционирующей с целью определения текущего значения межсегментного интервала  $\tau$ , целесообразно использовать следующие параметры:  $\bar{M}_p$  – предыдущее значение величины скользящего среднего времени ожидания квитанции;  $\bar{M}$  – текущее значение величины скользящего среднего времени ожидания квитанции;  $\tau_p$  – предыдущее значение межсегментного интервала.

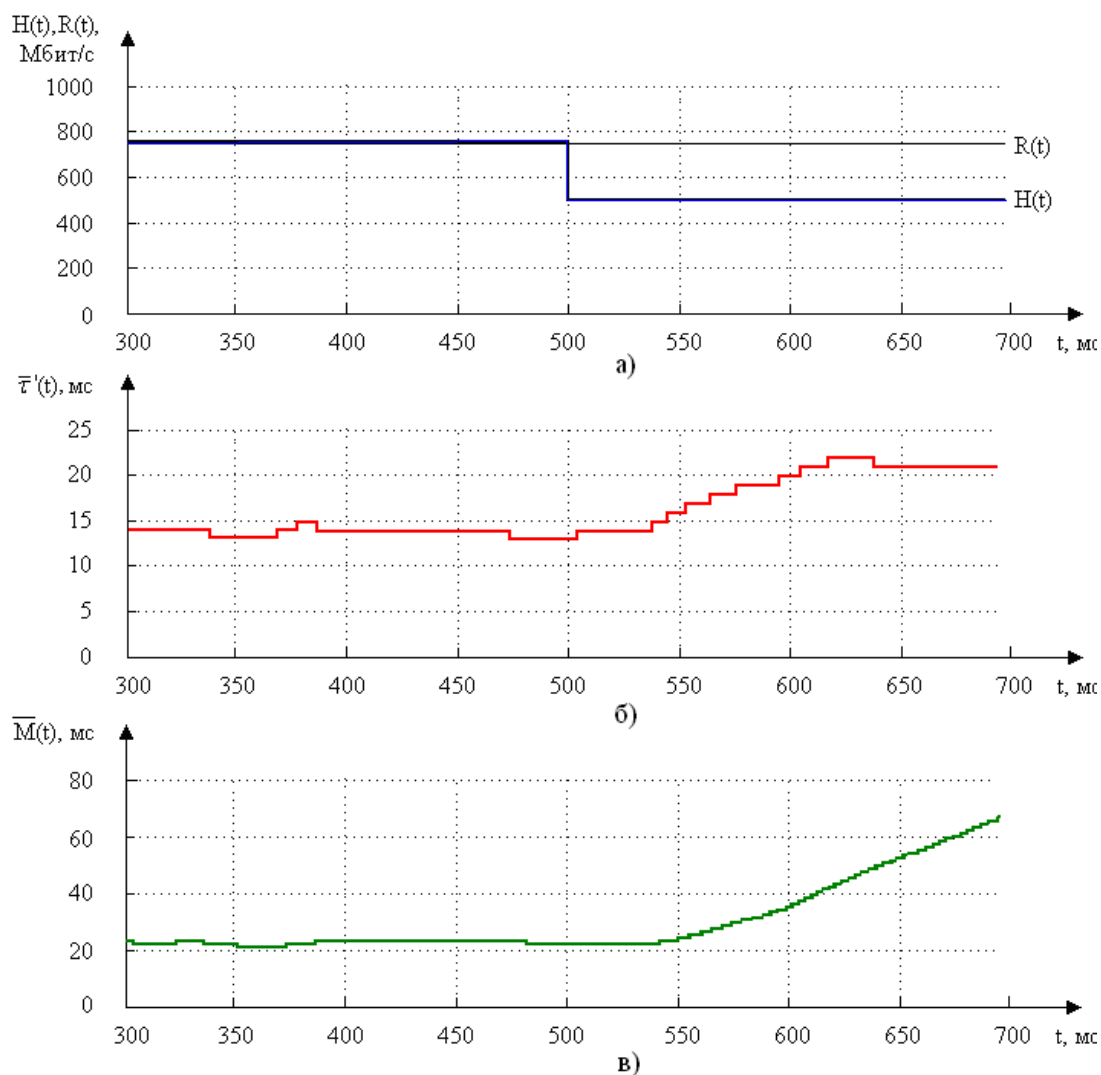


Рис. 3. Значения величин  $H(t)$ ,  $R(t)$ ,  $\bar{\tau}'(t)$  и  $\bar{M}(t)$ , наблюдаемые в моменты времени, предшествующие и последующие возникновению перегрузки в сети

Определив состав входных и выходных сигналов системы нечеткого вывода, необходимо синтезировать базу правил, на основе которой и будет осуществляться процесс выбора текущего значения интервала между отправкой соседних сегментов.

## II. Синтез базы правил системы нечеткого вывода при выборе межсегментного интервала в транспортном протоколе телекоммуникационной сети

Для определения межсегментного интервала предлагается использовать один из наиболее распространенных на практике алгоритмов нечеткого вывода – алгоритм Мамдани, в основе которого лежит база знаний, представленная совокупностью нечетких правил вида [8]:

$$\left\{ \text{Если } (\bar{M}_p = \alpha_1^a) \text{ и } (\bar{M} = \alpha_2^b) \text{ и } (\tau_p = \alpha_3^c), \text{ то } (\tau = \beta^d) \right\},$$

где  $\alpha_1^a$  – терм (нечеткое множество) номер  $a$  входной переменной  $\overline{M}_p$ ,  $a = \overline{1, A}$ ;  $\alpha_2^b$  – терм номер  $b$  входной переменной  $\overline{M}$ ,  $b = \overline{1, B}$ ;  $\alpha_3^c$  – терм номер  $c$  входной переменной  $\tau_p$ ,  $c = \overline{1, C}$ ;  $\beta^d$  – терм номер  $d$  выходной переменной  $\tau$ ,  $d = \overline{1, D}$ .

Процесс выбора межсегментного интервала на основе системы нечеткого вывода заключается в последовательном выполнении этапов фаззификации, агрегирования, активизации, композиции и дефаззификации. На этапе фаззификации определяются значения функций принадлежности входных переменных соответствующим нечетким множествам. Далее осуществляется этап агрегирования, в процессе которого определяются степени истинности условий каждого правила при конкретных значениях входных переменных:

$$\{A_r = \mu_a(\overline{M}_p^*) \wedge \mu_b(\overline{M}^*) \wedge \mu_c(\tau_p^*)\},$$

где  $r = \overline{1, \rho}$  – номер нечеткого правила;  $\mu_A(\overline{M}_p^*)$ ,  $\mu_B(\overline{M}^*)$ ,  $\mu_C(\tau_p^*)$  – значения функций принадлежности входных переменных соответствующим нечетким множествам.

На следующем этапе производится активизация, т.е. вычисление результирующих степеней истинности каждого правила:

$$\{\mu_r(\tau) = A_r \wedge \mu_d(\tau)\}.$$

На этапе композиции определяется результирующая функция принадлежности всей совокупности правил:

$$\mu_\Sigma(\tau) = \mu_1(\tau) \vee \mu_2(\tau) \vee \dots \vee \mu_\rho(\tau).$$

Последним этапом является дефаззификация, которая заключается в определении четкого значения выходной переменной  $\tau^*$ . Дефаззификацию предлагается осуществлять методом среднего максимума, который часто применяется на практике и является одним из наиболее простых методов приведения к четкости. В соответствии с данным методом значение выходной переменной рассчитывается по формуле:

$$\tau^* = \frac{\sum_{x=1}^m \tau_x^{\max}}{m},$$

где  $\tau_x^{\max}$  – значение выходной переменной на элементарном участке номер  $x$ , на котором величина  $\mu_\Sigma(\tau)$  принимает максимальное значение.

В результате реализации указанных этапов нечеткого вывода было получено 23 нечетких правила системы нечеткого вывода.

### III. Оценка эффективности применения предложенного метода выбора межсегментного интервала в транспортном протоколе телекоммуникационной сети

Для имитации выбора межсегментного интервала на основе применения системы нечеткого вывода рассмотренная выше модель (рис. 2) была усовершенствована: в элемент *DF Sender* встроена система нечеткого вывода *FCS*, созданная с помощью пакета прикладных программ Fuzzy Logic Toolbox с функциями принадлежности [9, 10]. Структурная схема элемента *DF Sender* усовершенствованной модели представлена на рис. 4.

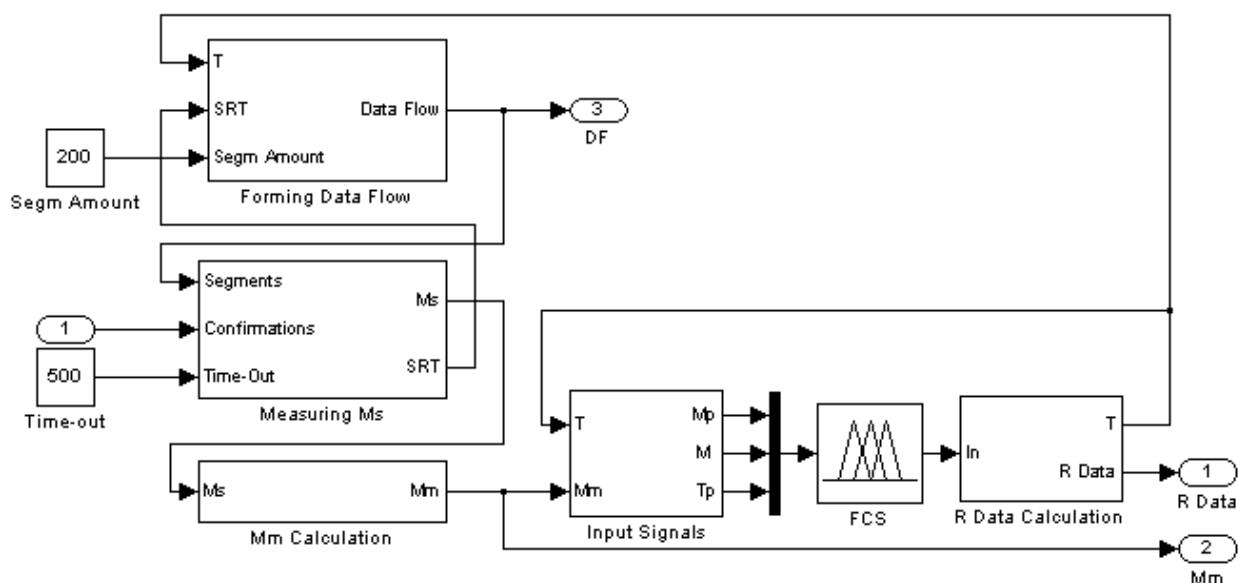


Рис. 4. Структурная схема элемента *DF Sender* с блоком *FCS*

Кроме блока *FCS*, в данной схеме содержатся элементы, которые имитируют выполнение следующих функций:

*Forming Data Flow* – формирование передаваемого источником потока данных с учетом текущих значений  $\tau$ , осуществление повторной передачи потерянных сегментов;

*Measuring Ms* – прием квитанций на отправленные сегменты, измерение текущих значений  $M$ ;

*Mm Calculation* – вычисление значений  $\bar{M}$ ;

*Input Signals* – формирование входных сигналов для системы *FCS*;

*R Data Calculation* – вычисление текущих значений  $R(t)$ ;

*Segm Amount* – ограничение количества передаваемых сегментов;

*Time-out* – установка тайм-аута повторной передачи.

С помощью системы *FCS* имитируется выполнение этапов нечеткого вывода.

С использованием модели, содержащей блок *FCS* (рис. 4), проведен ряд имитационных экспериментов. Результаты одного из этих экспериментов представлены на

рис. 5. Анализ осциллограммы, приведенной на рис. 5 а, показывает, что при использовании системы нечеткого вывода для выбора межсегментного интервала в транспортном протоколе интенсивность отправки данных источником достаточно хорошо согласуется с доступной пропускной способностью сети. Сопоставление результатов эксперимента, наблюдаемых на рис. 5 (а) – (в), свидетельствует о том, что повышение величины  $H(t)$  влечет за собой резкое понижение текущих значений  $\bar{M}(t)$  и, как следствие, уменьшение межсегментного интервала при отправке данных.

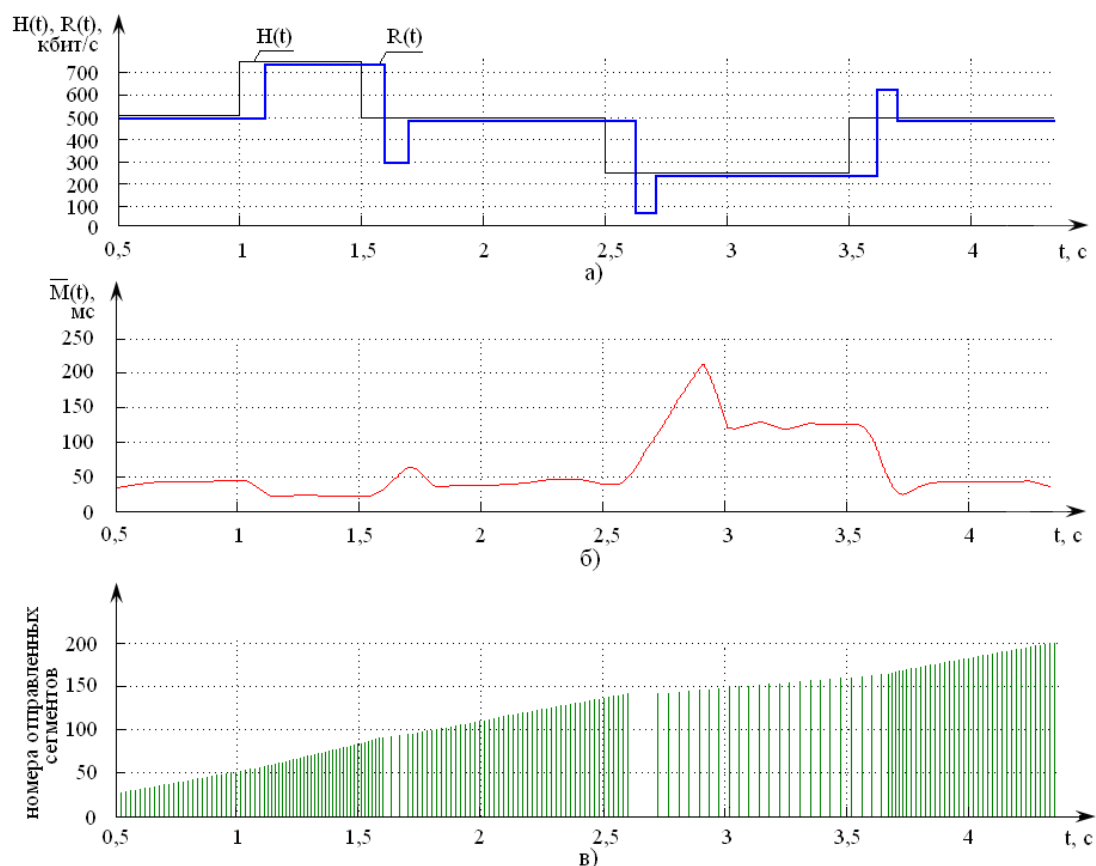


Рис. 5. Осциллограммы виртуального регистратора *Score*, наблюдаемые при имитации выбора межсегментного интервала в транспортном протоколе телекоммуникационной сети на основе системы нечеткого вывода

Напротив, снижение  $H(t)$  вызывает резкий рост величины  $\bar{M}(t)$ , на что система *FCS* реагирует увеличением параметра  $\tau(t)$ . Важно отметить, что в процессе выбора межсегментного интервала параметр интенсивность отправки данных  $R(t)$  достаточно быстро стабилизируется на уровне доступной пропускной способности телекоммуникационной сети  $H(t)$ .

Ряд имитационных экспериментов был посвящен исследованию процесса управления интенсивностью потока данных, осуществляемого на основе адаптивного изменения окна перегрузки (протокол TCP и его модификации), в соответствии с методом адаптивной скорости (рис. 6).



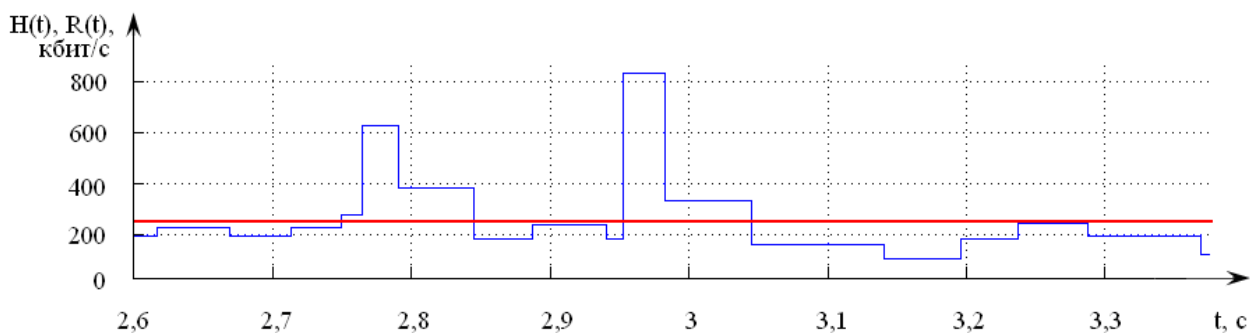


Рис. 6. Текущие значения величин  $H(t)$  и  $R(t)$ , наблюдаемые при имитации управления окном перегрузки в соответствии с протоколом TCP Reno

На рис. 6 представлены результаты одного из исследований, проводимых для протокола TCP Reno, позволившие зафиксировать пульсации величины  $R(t)$ , наличие которых свидетельствует о том, что при реализации адаптивного управления окном перегрузки интенсивность отправки данных источником не достаточно согласована с доступной пропускной способностью сети.

Результаты исследований процесса управления межсегментным интервалом, осуществляемого в соответствии с методом адаптивной скорости, представлены на рис. 7.

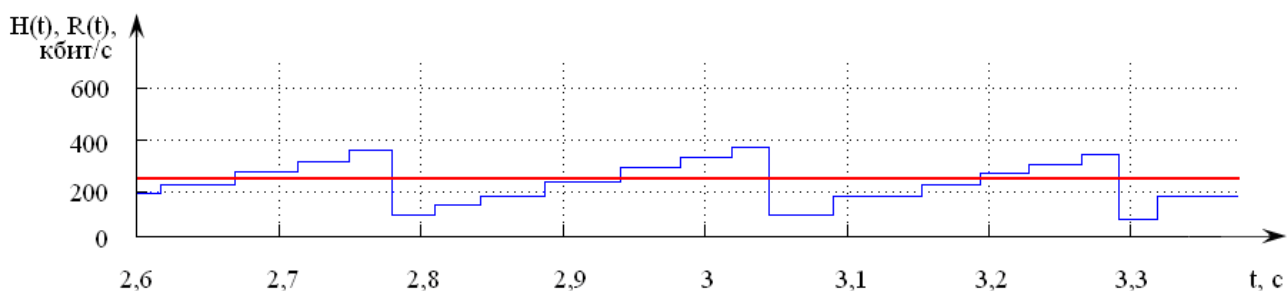


Рис. 7. Текущие значения величин  $H(t)$  и  $R(t)$ , наблюдаемые при имитации управления межсегментным интервалом в соответствии с методом адаптивной скорости

Анализ фрагмента осциллограммы показывает, что при реализации метода адаптивной скорости величина параметра  $R(t)$  не стабилизируется на уровне  $H(t)$ , а осуществляет периодические колебания. Для количественной оценки эффективности процесса передачи информационного сообщения, осуществляемого при реализации в сети различных методов управления интенсивностью отправки данных источником, использовались следующие показатели:  $t_0$  – средняя задержка при передаче сообщения заданного объема;  $\eta$  – вероятность повторной передачи сегмента, вызванной перегрузкой в сети.

Результаты одного из количественных оценок указанных показателей, при которой объем передаваемого сообщения составлял 2 Мбита, максимальная скорость передачи данных – 1 Мбит/с, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значения показателей  $t_0$  и  $\eta$

Метод управления интенсивностью отправки данных источником	Значение $t_0$ , с	Значение $\eta$
Фиксированная интенсивность отправки данных	6,16	0,47
Управление окном перегрузки	5,98	0,25
Метод адаптивной скорости	5,12	$3 \cdot 10^{-3}$
Выбор межсегментного интервала на основе системы нечеткого вывода	4,43	$2,1 \cdot 10^{-7}$

Как видно, использование в сети метода выбора межсегментного интервала на основе системы нечеткого вывода обеспечивает снижение показателя средней задержки сообщения  $t_0$  на 15,8-39% по сравнению с результатами применения других методов управления интенсивностью отправки данных источником, а также позволяет значительно уменьшить количество повторных передач пакетов, вызванных сетевыми перегрузками.

## Выводы

1. Разработан новый метод выбора текущих значений межсегментного интервала в транспортном протоколе телекоммуникационной сети, который основан на создании и применении системы нечеткого вывода. На основе результатов имитационных экспериментов в качестве входных переменных системы нечеткого вывода обосновано использование предыдущего и текущего значений величины скользящего среднего времени ожидания квитанции, а также предыдущего значения межсегментного интервала.

2. В соответствии с разработанным методом в качестве алгоритма нечеткого вывода предлагается использовать алгоритм Мамдани. Синтезированная база правил применяется при выполнении процедур нечеткого вывода (фаззификации, агрегирования, активизации, композиции и дефаззификации), в результате которых определяются искомые значения межсегментного интервала.

3. Для исследования процесса передачи информационного сообщения, осуществляемого в сети на основе применения разработанного метода, создана модель, имитирующая выбор текущего значения межсегментного интервала на основе системы нечеткого вывода. Результаты имитационных экспериментов, полученные с помощью указанной модели, показывают, что при реализации нечеткого выбора межсегментного интервала, интенсивность отправки данных достаточно хорошо согласуется с величиной доступной пропускной способности сети. Кроме того, установлено, что применение разработанного метода позволяет обеспечить снижение средней задержки при передаче сообщения на 15,8-39% и уменьшить количество повторных передач пакетов, вызванных сетевыми перегрузками.

### Список литературы:

1. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
2. Таненбаум Э. Компьютерные сети. – С. Пб.: Питер, 2002. – 848 с.
3. Postel J. Transmission control protocol. – RFC793, 1980. – 85 p.
4. Польщикова К.О., Лаврут О.О., Александров М.М. Математична модель процесу обміну інформацією згідно з протоколом TCP // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2007. – Вип. 1 (59). – С. 82 – 84.
5. Alekseev I.V., Sokolov V.A. ARTCP: Efficient Algorithm for Transport Protocol for Packet Switched Networks // Proc. Of PaCT'2001. – Springer-Verlag, 2001. – Vol. 2127. – P. 159 – 174.
6. Польщикова К.О., Рвачова Н.В. Імітаційна модель управління інтенсивністю вхідного потоку даних в телекомунікаційній мережі // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ». – К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2009. – Вип. 2. – С. 98 – 108.
7. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.
8. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
9. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
10. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.