

УДК 681.3.

*АРТЕМЕНКО В. А.,  
БОГДАНОВА Н. В.*

## **УПРАВЛЕНИЕ ТРАФИКОМ С УЧЕТОМ ЕГО САМОПОДОБИЯ**

Составлена имитационная модель функционирования модифицированной схемы и проведен анализ эффективности работы такой схемы по сравнению с классической.

The simulation model of functioning of the modified chart is made and the analysis of work efficiency of such chart in comparison to classic is produced.

В интегрированной телекоммуникационной сети можно выделить следующий важный аспект это информационные и управляющие сигналы передаются в одних и тех же физических, а иногда и логических каналах связи. Возможность их взаимного влияния может приводить к существенному изменению параметров приложений и является причиной возникновения сложных бифуркационных явлений [1], которые проявляется в неравномерном или взрывном характере протекания сетевых процессов.

Поэтому для управления такими процессами необходимо использовать адекватные математические модели, учитывающие в конструктивной форме как статистический характер возмущения, так и динамику передачи пакетов на различных уровнях протоколов межсетевое взаимодействие, включая временные и пространственные характеристики. В основе данных моделей лежит принцип самоподобия с учетом которого и рассматриваются математические модели трафика и задержек в узлах коммутации.

В статье [2] произведен расчет временных параметров телекоммуникационных сетей при самоподобном трафике. В статье [3] подробно рассмотрены методы управления трафиком по виртуальному пути, а также описан механизм управления трафиком для модифицированной схемы. Ссылаясь на вышеуказанные работы в этой статье будет составлена имитационная модель функционирования модифицированной схемы и произведен анализ эффективности работы такой схемы по сравнению с классической.

Рассмотрим алгоритм формирующий “окно” перегрузки по сигналу обратной связи в виде пакетов подтверждения, который захватывает очередные данные, и разрешает передавать их без подтверждения.

Допустим, что из-за очередей в промежуточных узлах – маршрутизаторах, в компьютерах источника и приемника, а также из-за переполнения буферов в этих узлах соединение сети не справляется с нагрузкой. Вследствие этого часть пакетов чрезмерно задерживается в пути и даже, может быть, теряются. В этом случае пакеты подтверждения не отсылаются и протоколом TCP на стороне источника на следующем цикле передачи

формируется окно уменьшенного размера. На этом заканчивается фаза медленного старта и начинается фаза управления перегрузкой, сопровождающаяся для налаживания и поддержания соединения локальными воздействиями и определением каждый раз текущего окна соединения. Интервал времени между моментами посылки пакета в направлении приемника и получения пакета подтверждения определяется ранее введенным параметром задержки (RTT). Чтобы избежать длительных простоев из-за ожидания потерянных или задержавшихся пакетов вводится пороговое значение RTT<sub>0</sub>. При превышении задержкой RTT порогового значения RTT<sub>0</sub> пакеты считаются потерянными. Величина RTT<sub>0</sub> определяется с помощью адаптивного алгоритма TCP/IP протокола, порядок работы которого включает следующие операции. Измеряются ряд значений RTT-задержки, полученные значения усредняются с весовыми коэффициентами, возрастающими от предыдущего измерения к последующему, а затем полученный результат умножается на некоторый коэффициент.

В связи с уменьшением окна перегрузки пропускная способность соединения снижается. Анализ работы существующего алгоритма работы протокола показывает, что имеются значительные резервы уменьшения потерь в пропускной способности в режимах медленного старта и управления перегрузкой. Во-первых, перегрузка не прогнозируется, а обнаруживается, по самому факту отсутствия пакетов подтверждения после очередного перемещения окна, во-вторых по этому факту нельзя судить о величине перегрузки и следующее состояние “окно” устанавливается методом «проб и ошибок». Задача заключается в формировании заблаговременно, не заходя в критическую область обнаружения потерянных пакетов, оценок как месторасположения временного интервала возможного проявления перегрузки, так и величины самой перегрузки. Решение такой задачи можно получить в рамках методов идентификации процессов, использования при моделировании RTT-задержек фрактального броуновского движения и формирования оценок прогноза. Оптимальная оценка прогноза RTT-задержки для момента времени  $t_{n+k}$  принимает вид [4]:

$$\hat{T}_{n+k} = \hat{B}_H(t_{n+k}) - \hat{B}_H(t_{n+k-1}) + T_0 + \Delta T_{cp}; \quad (1)$$

где:  $\hat{T}_{n+k}$  – оптимальная оценка прогноза RTT для момента времени  $t_{n+k}$ ;

RTT- интервал между посылкой пакета и получением подтверждения;

$\hat{B}_H(t_{n+k})$  – оптимальная оценка процесса дробного броуновского движения с параметром Херста для момента времени  $t_{n+k}$ ;

$\hat{B}_H(t_{n+k-1})$  – оптимальная оценка процесса дробного броуновского движения с параметром Херста для момента времени  $t_{n+k-1}$  ;

$T_0$  – минимальная составляющая интервала времени без очереди;

$\Delta T_{cp}$  – среднее приращение RTT задержки.

Остановимся подробнее на оценке прогноза следующего за последним измеренным для момента времени  $t_n$  значением фрактального броуновского движения. На основании формулы (1) она равна

$$\hat{T}_{n+1} = \hat{B}_H(t_{n+1}) - B(t_n) + T_0 + \Delta T_{cp}; \quad (2)$$

С учетом формулы  $gn(1; \Delta) = 2^{2H-1} - 1$  оценка прогноза RTT-задержки принимает вид:

$$\hat{T}_{n+1} = (2^{2H-1} - 1)[T_n - (T_0 + \Delta T_{cp})] + T_0 + \Delta T_{cp}; \quad (3)$$

Например, наличие возможной перегрузки на  $n+1$  цикле могло быть обнаружено и тем самым с большой вероятностью предотвращено по результатам измерений RTT-задержек или фрактального броуновского движения на  $m$  предшествующих циклах, формирования согласно формуле (2) соответствующей оценки прогноза и сравнения ее с тайм-аутом. Кроме того, по величине спрогнозированной RTT-задержки на  $n+1$  цикле можно судить об уровне перегрузки и по сигналу обратной связи соответственно уменьшить (перенастроить) величину окна, то есть определить закон изменения окна перегрузки.

Ввиду того, что счетные статистики первого и второго порядков (интенсивность и корреляционная функция точечного процесса) экспериментально могут быть определены только на отдельных участках сети, предметом оптимизации и управления становятся потоки информации между отдельными узлами виртуального соединения сети. Выберем два узла, из которых  $i$ -ый узел является источником, а  $j$ -ый узел - приемником. Допустим, интенсивность потока (пропускная способность участка сети между  $i$ - и  $j$ -ми узлами) определяется очередью в узле  $j$ , возникшей, например, из-за ограниченного объема памяти буфера в этом узле, низкой интенсивности разгрузки этого буфера, из-за прибывших в этот узел пакетов с других соединений сети и т.д.

В связи с этим интенсивность потока информации от узла  $i$  к узлу  $j$  понижается, а в случае переполнения буфера в узле  $j$  передача информации прекращается, что сопровождается потерей части пакетов. Для предотвращения полной потери пропускной способности необходимо регулировать уровень загрузки буфера в узле  $j$ . Для этого воспользуемся про-

гнозируемыми оценками счетных характеристик. Измеряют на рассматриваемом участке сети число отсчетов  $X_n$  на интервале  $(t_n, t_n - T)$ . Одновременно осуществляется прогноз на некотором интервале упреждения  $kT$ , где  $k$  – параметр смещения. Ограничимся для примера прогнозом на один шаг вперед. Прогнозируемая оценка  $X_{n+1}$  определяется или по последнему результату измерений в соответствие с формулой оценки прогноза отчета:

$$\hat{X}_{n+k} = r(k; T)(X_n - \lambda T) + \lambda T, \quad (4)$$

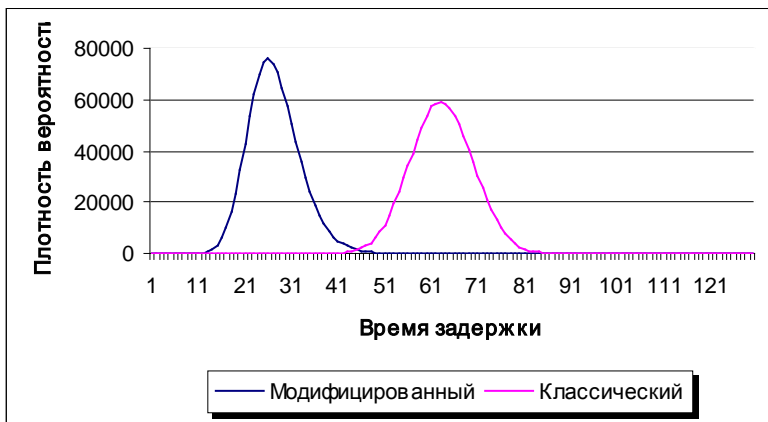
где:  $\lambda$  – интенсивность поступления пакетов;  $k$  – параметр смещения;  $X_n$  – число отсчетов;  $\hat{X}_{n+k}$  – оптимальное значение оценки прогноза отсчета;  $r(k; T)$  – коэффициент корреляции.

Если величина прогноза оказывается больше порога, зависящего от уровня загрузки буфера и определяемого некоторым адаптивным алгоритмом, то по сигналу обратной связи интенсивность генерации информации с узла  $i$  уменьшается на величину, зависящую от уровня загрузки буфера и значений оценок прогноза. Пропускная что способность из-за этого на участке сети и понижается, но в связи с сохранением процесса передачи информации и уменьшением числа потерянных пакетов удается в среднем уменьшить потери в пропускной способности этого соединения. Если необходимо сохранить пропускную способность, то по сигналу обратной связи доступные сетевые ресурсы перераспределяются в пользу этого участка виртуального соединения сети.

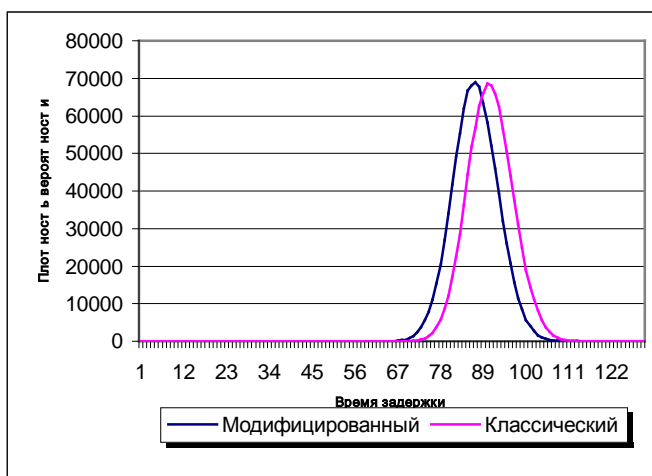
На основании вышеизложенного, была составлена имитационная модель функционирования модифицированной схемы. Результаты моделирования показали следующую эффективность работы такой схемы по сравнению с классической рисунок 1.

Результаты моделирования показывают, что возможны случаи, когда наиболее вероятное время задержки при работе модернизированной схемы будет меньше чем фиксированное минимальное время передачи для классической схемы.

Следует отметить, что при высоком уровне загрузки сети время задержки будет приближаться к задержкам в классической схеме. Это объясняется тем, что при высоких нагрузках предложенная система управления трафиком будет вынуждена уменьшать скорости передачи некоторых источников, для которых эти скорости были увеличены, что повышает непроизводительные расходы. Однако, как показывает моделирование, при правильном выборе параметров модернизированная схема работает более эффективно, чем классическая рисунок 2.



*Рис. 1 – Эффективность работы модифицированной схемы по сравнению с классической*



*Рис. 2 - Эффективность работы модифицированной схемы по сравнению с классической при выборе параметров*

На основании вышеизложенного, была составлена имитационная модель функционирования модифицированной схемы. Результаты моделирования показали следующую эффективность работы такой схемы по сравнению с классической.

Параметр средней загрузки при различной вероятности поступления запросов на соединение определяет, насколько оптимально используется пропускная способность сети при повышенных нагрузках. Вероятности поступления запросов на соединение означает вероятность возникновения

запроса на соединение в каждый момент времени (для модели – в каждый такт модельного времени).

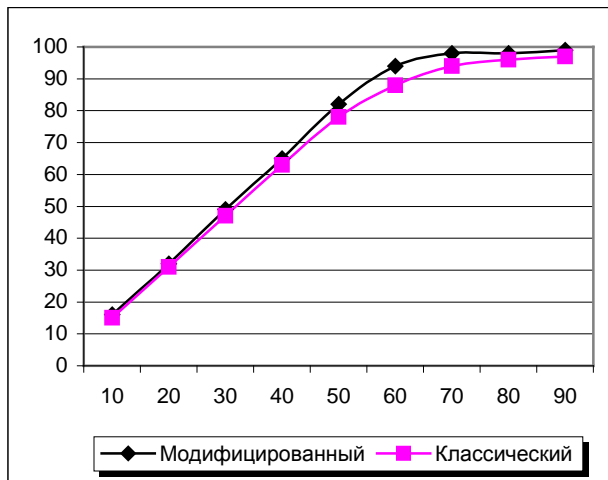


Рис. 3 – Сравнительный график средней загрузки при различной вероятности поступления запросов на соединение.

Как показывают результаты моделирования (рисунок 3), классическая схема менее эффективно использует полосу пропускания за счет того, что при большой загруженности сети остается нераспределенная пропускная способность, величина которой недостаточна для установки новых соединений. В модернизированной схеме эта пропускная способность передается тем соединениям, которые могут получить некоторую выгоду от передачи своего трафика с более высокой скоростью.

Параметр отказов в обслуживании при различной вероятности поступления запросов на соединение, определяет вероятность того, что поступившему запросу на соединение будет отказано в обслуживании.

Вероятность удачного выбора альтернативного маршрута зависит от многих параметров, как, например, связности сети, загрузки коммутационного оборудования, эффективности алгоритмов маршрутизации, а также от заданных параметров для искомого маршрута. На рисунке 5 представлена зависимость отказов в обслуживании от вероятности удачного выбора альтернативного маршрута.

Результаты моделирования показывают, что даже при минимальной вероятности удачной ремаршрутизации модернизированная схема управления трафиком дает положительный результат в виде минимизации отказов в обслуживании.

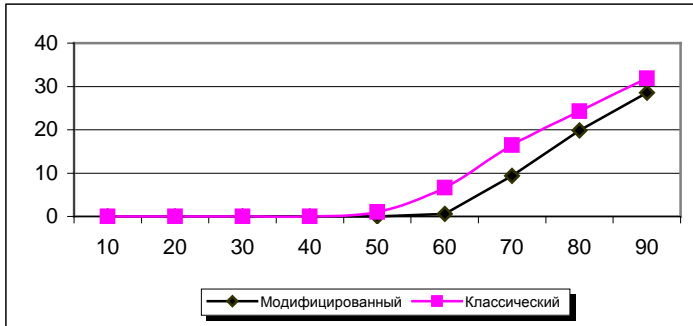


Рис. 4 – Сравнительный график средней загрузки при различной вероятности поступления запросов на соединение.

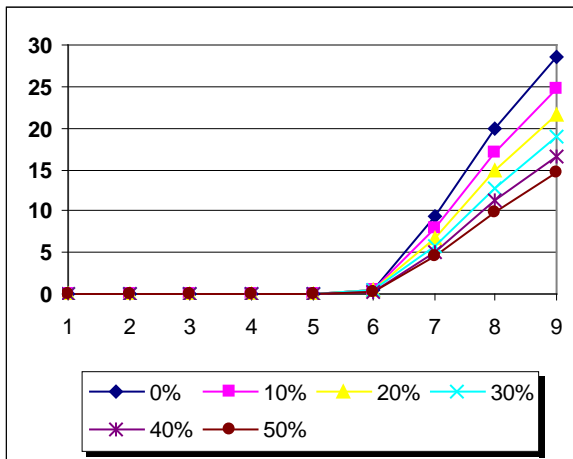
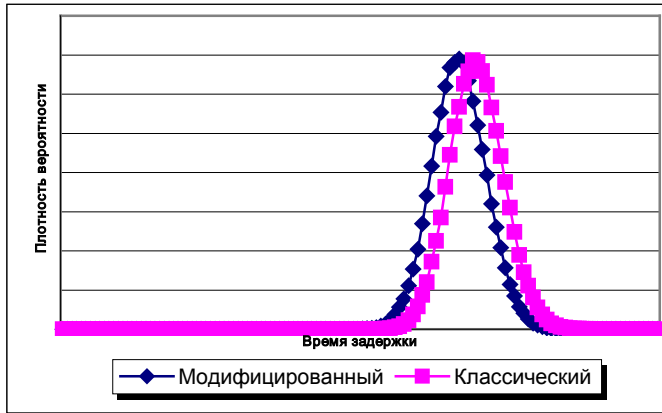


Рис. 5 - Зависимость отказов в обслуживании от вероятности удачного выбора альтернативного маршрута

Характер графиков объясняется тем, что при средней загруженности сети (рисунок 6) модернизированная схема может работать очень эффективно за счет увеличения пропускной способности для тех соединений, которые могут получить от этого выгоду. При этом, для низкой и средней загруженности сети существует низкая вероятность того, что впоследствии возникнет необходимость снижать скорость этих соединений или производить ремаршрутизацию, а следовательно не потребуются дополнительные непроизводительные затраты.

Результаты моделирования показывают, что возможны случаи, когда наиболее вероятное время задержки при работе модернизированной схемы будет меньше чем фиксированное минимальное время передачи для классической схемы.



*Рис. 6 - Плотность вероятности времени задержки для высокого уровня загрузки сети*

Следует отметить, что при высоком уровне загрузки сети время задержки будет приближаться к задержкам в классической схеме. Это объясняется тем, что при высоких нагрузках предложенная система управления трафиком будет вынуждена уменьшать скорости передачи некоторых источников, для которых эти скорости были увеличены, что повышает непроизводительные расходы. Однако, как показывает моделирование, при правильном выборе параметра  $\Delta$  модернизированная схема работает более эффективно, чем классическая схема.

### Список используемой литературы

1. Городецкий А.Я., Иванов А.В. Фрактальные процессы в компьютерных сетях: методы идентификации моделей трафика // Научно-технические ведомости СПбГТУ, 2001, № 3 (25).
2. Богданова Н.В., Мухаммед Ель Амин Бабикиер. Анализ временных параметров телекоммуникационных сетей при самоподобном трафике.//Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць №1(48).-Дніпропетровськ, 2007 ст. 101-111.
3. Богданова Н.В., Способы повышения эффективности системы управления телекоммуникационными сетями.// Адаптивні системи автоматичного управління. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 9(29).- Дніпропетровськ, 2006 ст.23-32.
4. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Монография /Под ред. О.И.Шелухина - М.: Радиотехника, 2003.- 480 с.