

УДК 621.391

В.А. СТРУЦЬ, А.М. МАРТЫНЕНКО

*Полтавский военный институт связи, Украина***МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКА СИГНАЛЬНЫХ ЕДИНИЦ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ, ПРЕДОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ УСЛУГИ**

Предлагается метод, при котором обеспечивается эффективное прогнозирование интенсивности потока сигнальных единиц в интеллектуальной сети.

поток сигнальных единиц, самоподобный трафик, интервал прогнозирования, интенсивность трафика

Введение

Постановка задачи. Особенностью телекоммуникационной сети, предоставляющей интеллектуальные услуги (ИУ), состоит в том, что для обработки поступающих заявок она использует систему сигнализации, по которой передаются служебные команды на выполнение услуг [1]. Обмен служебными сообщениями осуществляется с помощью специальных информационных пакетов – сигнальных единиц.

Рост популярности интеллектуальных услуг, предоставляемых телекоммуникационными сетями, часто приводит к перегрузкам в сети сигнализации, при которых резко снижается качество обслуживания пользователей. Одним из способов борьбы с перегрузками в сети сигнализации является рациональное распределение пропускной способности (ПС) ее каналов.

Доказано, что служебный трафик сигнальных единиц, циркулирующих между элементами сети при обработке ИУ, обладает свойством самоподобия [2]. В пользу этого утверждения говорят следующие факты:

- структура трафика сигнальных единиц имеет ярко выраженный пульсирующий характер;
- значения коэффициента Херста, по которому судят о степени самоподобия трафика, лежат в пределах $0,5 < H < 1$.

Перспективным направлением, позволяющим эффективно управлять самоподобным пакетным трафиком, является применение алгоритмов, прогнозирующих интенсивность этого трафика в будущем.

Поэтому ставится **актуальная** задача, состоящая в том, чтобы предложить такой метод прогнозирования интенсивности трафика сигнальных единиц, который обеспечивал бы рациональное распределение канальных ресурсов сети сигнализации при обработке ИУ.

Анализ литературы. Для управления интенсивностью пакетного трафика, а также обеспечения качества обслуживания (QoS) существуют специальные алгоритмы [3]. Они основываются на так называемом принципе корзины маркеров. (Token Bucket). Эти алгоритмы работают в двух основных режимах: полисинг (traffic-policing) и шейпинг (traffic-shaping). В первом режиме пакеты, интенсивность которых выше заданной пропускной способности сети, отбрасываются. А во втором режиме пакеты, интенсивность которых превысила заданное значение, буферизуются. Указанные режимы имеют недостатки: в первом случае – существенные потери трафика, характеризующегося высокими пульсациями, а во втором – неприемлемые задержки пакетов, находящихся в очереди на передачу.

Для устранения перечисленных недостатков и обеспечения требуемого уровня QoS в информационной сети, функционирующей по протоколу UDP, в работе [4] предлагается реализовать алгоритм динамического распределения пропускной способности канала, применяющий прогнозирование интенсивности сетевого трафика – алгоритм модифицированного полисинга. При использовании данного метода пропускная способность канала динамически изменяет-

ся, отслеживая профиль трафика. Выбор наилучшего предсказателя, прогнозирующего будущие значения интенсивности сетевого трафика, в анализируемой работе производился по трем показателям: коэффициенту недооценки D^+ , коэффициенту переоценки D^- и соотношению сигнал/шум SNR^{-1} .

По первым двум показателям трафик сети UDP лучше прогнозируется простым предсказателем, в то же время более сложные предсказатели, такие как ARMA (Autoregressive moving average – авторегрессионное скользящее среднее) и FARIMA (Fractionally differenced autoregressive integrated moving average – фрактальное авторегрессионное проинтегрированное скользящее среднее) обеспечивают лучшее соотношение SNR^{-1} .

Кроме того, важным вопросом, которому в литературе уделяется недостаточное внимание, является выбор интервала времени Δ , в пределах которого следует осуществлять прогнозирование. Известно, что для любого случайного процесса может быть построен вероятностный прогноз на время, не превышающее интервал корреляции τ_k :

$$\tau_k = \int_0^{\infty} |r(\tau)| d\tau, \quad (1)$$

где $r(\tau)$ – нормированная корреляционная функция исследуемого процесса.

Теоретически доказано, что при $0 < H < 1$ интервал корреляции $\tau_k = \infty$, что доказывает принципиальную возможность прогнозирования интенсивности самоподобного трафика. Однако на практике интервал удовлетворительного прогнозирования принимает конечную величину. Если значение Δ установить слишком большим, то прогнозирование будет малоэффективным. Если же время Δ выбрать достаточно малым, то это приведет к необходимости слишком часто пересчитывать прогнозируемые значения, вследствие чего вычислительные ресурсы соответствующих элементов сети будут расходоваться не рационально.

Таким образом, для решения сформулированной выше научной задачи, необходимо не только вы-

брать наиболее подходящий метод прогнозирования интенсивности трафика сигнальных единиц, но и усовершенствовать его путем реализации возможности подбора рационального значения $\Delta_{рац}$ интервала прогнозирования.

Целью научного исследования является решение двух взаимосвязанных частных задач:

1) обоснование выбора метода прогнозирования интенсивности трафика сигнальных единиц для динамического управления пропускной способностью каналов сети сигнализации, применяемой в процессе обработки заявки на ИУ;

2) усовершенствование выбранного метода, предполагающее возможность подбора рационального значения $\Delta_{рац}$ интервала прогнозирования.

Основная часть

При выборе метода, применение которого целесообразно для прогнозирования интенсивности трафика, циркулирующего в сети сигнализации при обработке заявок на УИ, исследовались следующие алгоритмы управления пропускной способностью канала:

1) динамическое распределение пропускной способности канала в режиме полисинга с применением простого предсказателя – алгоритм модифицированного полисинга с простым предсказателем;

2) динамическое распределение пропускной способности канала в режиме шейпинга с применением простого предсказателя – алгоритм модифицированного шейпинга с простым предсказателем;

3) алгоритм модифицированного полисинга с прогнозированием по скользящему среднему, т.е. с МА (moving average)-предсказателем;

4) алгоритм модифицированного шейпинга с МА-предсказателем;

5) алгоритм модифицированного полисинга с ARMA-предсказателем;

6) алгоритм модифицированного шейпинга с ARMA-предсказателем.

Данные алгоритмы сравнивались друг с другом, а также с традиционными алгоритмами управления ПС канала – полисингом и шейпингом.

Особенности работы прогностических модулей, применяемых в указанных алгоритмах, заключаются в следующем.

Простой предсказатель прогнозируемое значение пропускной способности C_i рассчитывает как сумму последнего известного отсчета X_{i-1} исходного временного ряда, соответствующего агрегированному трафику, и некоторого постоянного уровня bs :

$$C_i = X_{i-1} + bs .$$

Это самая простая модель предсказателя, которая соответствует предположению, что «завтра будет так же, как сегодня».

Более сложной моделью предсказателя является модель прогнозирования по скользящему среднему, функционирование которой соответствует принципу «завтра будет так же, как было в среднем за прошедшее время». Смысл прогнозирования по скользящему среднему заключается в том, что учитывается только ближайшее прошлое (на заданное количество отсчетов по времени в глубину), и прогноз строится, основываясь только на этих данных. Такая модель, конечно, более устойчива к флуктуациям трафика, поскольку в ней сглаживаются случайные выбросы относительно среднего.

Еще более сложной моделью модуля предсказания является модель, предполагающая использование скользящего среднего с регрессионными методами прогнозирования – ARMA-предсказатель. Для построения регрессионных моделей с помощью значений прошлых наблюдений подбираются соответствующие коэффициенты регрессии β_j , которые применяются для определения зависимости прогнозируемого значения C_i от известных значений X_{i-1} , X_{i-2} , и т.д.:

$$C_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i-1} + \beta_2 X_{i-2} + \dots$$

Исследование эффективности указанных методов управления пропускной способностью канала проводилось методом имитационного моделирования с использованием компьютерной программы, работа которой основывается на аппарате E-сетей.

В качестве показателя эффективности использовалась величина относительной прибыли $\Pi_{отн}$ опе-

ратора телекоммуникационной сети, получаемой в результате предоставления ИУ:

$$\Pi_{отн} = \frac{\Pi_p}{\Pi_{макс}} ,$$

где Π_p – реальная прибыль, полученная оператором в результате предоставления ИУ; $\Pi_{макс}$ – максимальная прибыль, которую мог бы получить оператор при реализации всех поступающих интеллектуальных заявок.

Выбор величины прибыли оператора в качестве показателя эффективности работы телекоммуникационной сети вполне оправдан и соответствует цели внедрения интеллектуальных услуг.

В результате имитационного моделирования получен график семейства кривых, отражающих зависимость показателя $\Pi_{отн}$ от коэффициента H при реализации различных алгоритмов управления пропускной способностью канала в сети сигнализации (рис. 1).

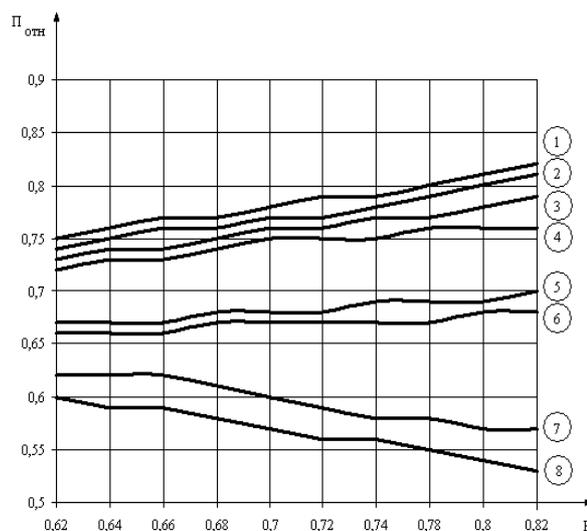


Рис. 1. График зависимости $\Pi_{отн} = f(H)$ при реализации различных алгоритмов управления пропускной способностью канала в сети сигнализации

На данном рисунке номера кривых соответствуют зависимости $\Pi_{отн} = f(H)$ при реализации следующих алгоритмов управления пропускной способностью канала: №1 – модифицированный шейпинг с ARMA-предсказателем; №2 – модифицированный шейпинг с MA-предсказателем; №3 – модифицированный полисинг с ARMA-предсказателем;

№4 – модифіцирований полісинг з МА-предсказателем; №5 – модифіцирований шейпінг з простим предсказателем; №6 – модифіцирований полісинг з простим предсказателем; №7 – традиційний шейпінг; №8 – традиційний полісинг.

Аналіз даних залежностей показує, що всі модифіцировані алгоритми управління більш ефективні, ніж традиційні алгоритми, не передбачаючі прогнозування.

Серед алгоритмів, передбачаючих реалізацію прогнозування, найбільшу ефективність надання послуг забезпечує алгоритм модифіцированого шейпінга з ARMA-предсказателем. Тому для ефективного управління потоком сигнальних одиниць, циркулюючих в мережі сигналізації при обробці ІУ, рекомендується застосування методу прогнозування інтенсивності трафіка, який оснований на використанні ARMA-предсказателя.

Справедливо полагати, що в відповідності з вираженням (1), чим повільніше зменшується нормована кореляційна функція $r(\tau)$, характеризує зв'язок між значеннями інтенсивності розглянутого трафіка, тим на більшій відстані часу Δ можна поставити задовільний прогноз. Це підтверджують результати, отримані при розв'язанні другої частини задачі наукового дослідження. З допомогою імітаційного моделювання були отримані графіки залежності $r(\tau)$ для реалізацій трафіка з різним значенням коефіцієнта H (рис. 2, 3). Параметр τ на графіках вимірюється в відносних одиницях часу (о.в.).

Аналіз даних залежностей показує, що потік сигнальних одиниць, що володіє значущими самоподібними властивостями, характеризується тим, що його нормована кореляційна функція зменшується повільніше, ніж відповідна характеристика трафіка з меншим самоподібністю. Це спостереження дає підставу передбачити, що значення інтервалу задовільного прогнозування інтенсивності трафіка буде тим більше, чим більшим значенням коефіцієнта H буде характеризуватися даний трафік.

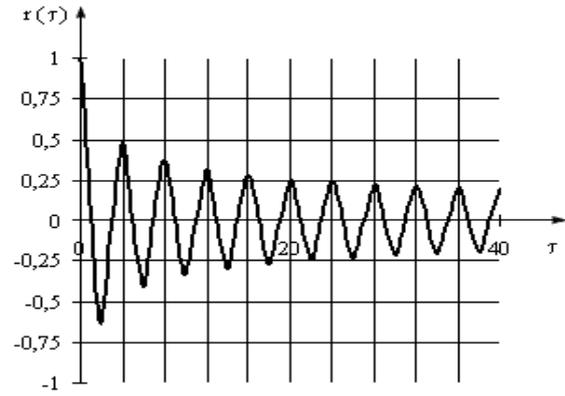


Рис. 2. Графік залежності $r(\tau)$ при $H = 0,8$

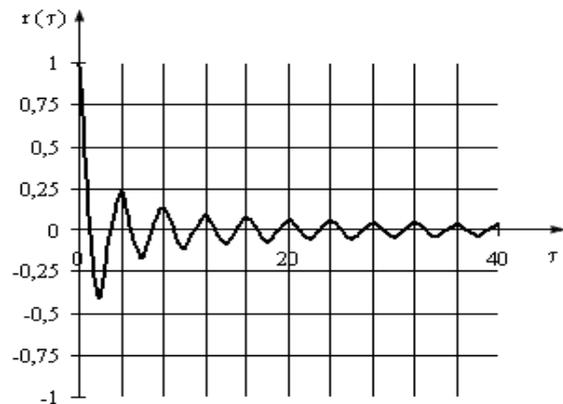


Рис. 3. Графік залежності $r(\tau)$ при $H = 0,6$

Для визначення залежності $\Delta_{рац} = f(H)$ був виконаний імітаційний експеримент, в ході якого вивчалися значення, які приймає показник ефективності $P_{отн}$ в залежності від того, який вибирався інтервал прогнозування Δ і яким значенням коефіцієнта H при цьому характеризувався потік сигнальних одиниць. Для управління пропускну здатністю каналів мережі сигналізації використовувався вибраний раніше найбільш ефективний алгоритм – модифіцирований шейпінг з ARMA-предсказателем. В результаті даного експерименту отримані криві, що відображають залежність $P_{отн} = f(\Delta)$ при різних значеннях H (рис. 4).

На основі аналізу кривих, зображених на рис. 4, можна для прогнозування інтенсивності трафіка з різними значеннями H визначити раціональні інтервали. Так, при $H = 0,6$ рекомендується використовувати інтервал прогнозування $\Delta_{рац} = \Delta_1 = 10,53$ о.в.; при $H = 0,7$ слід використовувати

$\Delta_{рац} = \Delta_2 = 13,75$ о.е.в.; при $H=0,8$ интервал прогноза рекомендуется выбрать $\Delta_{рац} = \Delta_3 = 25,69$ о.е.в.

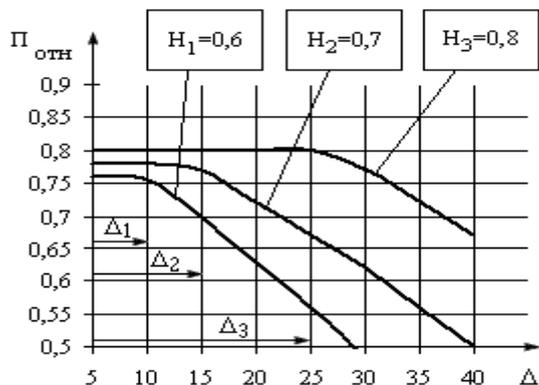


Рис. 4. Зависимость $P_{отн} = f(\Delta)$ при различных значениях коэффициента H

Из рис. 4 видно, что прогнозирование на время $\Delta < \Delta_{рац}$ приведет к необоснованно излишнему расходованию вычислительных ресурсов модуля прогнозирования. С другой стороны, выбор в качестве интервала прогнозирования величины $\Delta > \Delta_{рац}$ приведет к снижению качества прогноза и эффективности работы сети в целом. Поэтому в зависимости от того, каким значением коэффициента H характеризуется циркулирующий в сети сигнализации трафик, прогнозирование его интенсивности рекомендуется осуществлять на такое время $\Delta_{рац}$ вперед, которое соответствует данным табл. 1.

Таблица 1
Рекомендуемые значения интервала прогнозирования

H	$\Delta_{рац}$	H	$\Delta_{рац}$
0,6	10,53	0,72	15,00
0,62	10,61	0,74	17,22
0,64	10,83	0,76	19,54
0,66	11,57	0,78	22,34
0,68	12,51	0,8	25,69
0,7	13,75	0,82	29,69

По данным табл. 1 построен график зависимости $\Delta_{рац} = f(H)$ (рис. 5), анализ которого подтверждает сформулированное выше предположение о том, что рациональное значение интервала прогнозирования интенсивности трафика тем больше, чем большим значением коэффициента H характеризуется данный трафик.

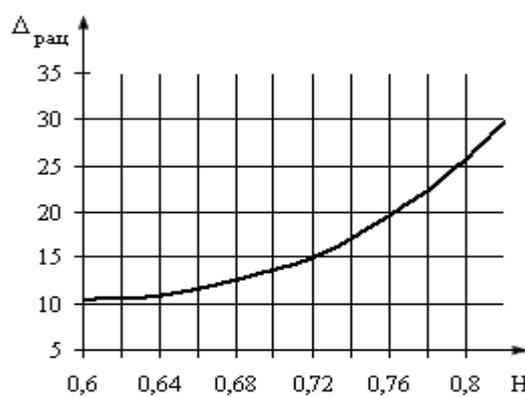


Рис. 5. График зависимости $\Delta_{рац} = f(H)$

Выводы

Таким образом, в данной работе **впервые** предложен метод прогнозирования интенсивности потока сигнальных единиц в телекоммуникационной сети, предоставляющей интеллектуальные услуги. Этот метод предполагает использование в качестве прогнозирующего модуля ARMA-предсказатель, а также предусматривает в зависимости от коэффициента H подбор (по табл. 1) времени прогнозирования $\Delta_{рац}$.

Литература

1. Лихтциндер Б.Я., Кузякин М.А., Росляков А.В., Фомичев С.М. Интеллектуальные сети связи. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2002. – 206 с.
2. Струць В.А. Исследование возможности применения аппарата E-сетей для имитационного моделирования самоподобного трафика // 3б. наук. праць ХНТУСГ. – Х.: ХНТУСГ, 2006. – Вып. 12 (40). – С.164-168.
3. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
4. Петров В.В. Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия: Дисс. на соиск. уч. ст. канд. Техн наук – М., 2004. – 199 с.

Поступила в редакцию 20.03.2007

Рецензент: канд. техн. наук, доцент В.А. Ольховский, Полтавский военный институт связи, Полтава.