УДК 621.396

ВХОДНЫЕ ПОТОКИ В СЕТЯХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

В.К. Сарьян, зам. главного инженера ФГУП НИИР, д.т.н.

Введение. Структура и параметры входных потоков требований в сетях массового обслуживания (СеМО) в значительной степени определяют объем и структуру трафика в них. В последнее время вследствие интенсивных процессов конвергенции сетей фиксированной и подвижной связи, передачи данных и цифровых сетей телерадиовещания в единую инфокоммуникационную среду (ИКС) и предоставления в ней массовому пользователю широкой номенклатуры контент- и сервис-услуг в структуре входных потоков начинает заметно преобладать регулярная составляющая. Это обстоятельство требует разработки новой методики определения входных потоков.

В настоящей статье автор делает попытку создания методики определения входных потоков в единой ИКС, опирающейся на представление о существовании так называемых типовых информационных процессов (ИПт), регулярно воспроизводящихся в информационно-управленческих сетях (ИУС). При этом используется новый подход к структуризации ИКС [6], при котором ИКС рассматривается как динамическая система, состоящая из человеко-машинных объектов, соединенных каналами связи и находящихся в непрерывном информационном взаимодействии.

Структура входного потока в СеМО. В классической теории СеМО рассматриваются сети двух классов: замкнутые и разомкнутые. Основной аппарат — теория марковских процессов. Она применима в случае, когда входной поток является пуассоновским (в первую очередь, для экспоненциальных СеМО), возможно переменной интенсивности, которая может зависеть и от состояния сети.

Согласно теореме Хинчина, при определенных ограничениях сумма большого количества независимых входных потоков дает поток, близкий к пуассоновскому. Это означает, что входной поток требований хорошо приближается к пуассоновскому в том случае, когда требования исходят от большого числа слабо связанных источников. Данное условие не выполняется при возникновении организованной или спонтанной синхронизации источников.

Следует отметить, что системы массового обслуживания (СМО) и СеМО с непуассоновскими входными потоками приближенно анализировали методами имитационного моделирования [5, 12]. Поэтому, исходя из общих соображений, можно попытаться определить входные потоки и затем проверить, насколько характеристики СеМО соответствуют характеристикам ИКС.

Наиболее часто изучаются колебания объема телефонного и Интернет-трафика, в которых решающую роль играет человеческий фактор. Так называемые сезонные (в широком смысле) колебания не связаны с последействием в потоке и могут быть учтены в существующих моделях СеМО. Но есть и другие, более сложные колебания, обладающие свойством масштабной инвариантности, что означает подобие колебаний, взятых в разном временном масштабе (количественное выражение этого подобия дается автокорелляционной функцией).

Масштабная инвариантность — это составная часть феномена самоподобия, возникающего в теории фракталов, поэтому принято говорить также о фрактальности трафика [1]. Для моделирования масштабно инвариантного трафика используются самоподобные процессы. Однако, такое моделирование не дает требуемой точности и не позволяет выявить причину колебаний трафика.

Опираясь на идеи, изложенные в [6—8, 11], предлагаем новый подход к моделированию сетей в виде разомкнутых СеМО с входным потоком, равным сумме двух потоков: пуассоновского и потока, близкого к регулярному. Вторая компонента для ИКС является доминирующей. Масштабная инвариантность в чистом виде здесь невозможна, однако может иметь место подобие на конечном спектре масштабов.

Принципиальным в предлагаемом подходе является то, что выявление природы регулярной составляющей приводит к возможности управления ею, что, в свою очередь, ведет к совершенно новым задачам оптимизации для СеМО. В этих задачах варьируются переменные, определяющие входной поток требований.

Как было отмечено в [6], ИКС — это множество взаимодействующих между собой строго иерархических локальных сетей (структур) трех типов: абонентских сетей (АС), информационных (ИС) и информационно-управленческих (ИУС). В каждой локальной сети протекают свои ИП. Если в АС информационные процессы являются более или менее хаотическими и дают пуассоновский вклад во входной поток требований, то в ИС и ИУС они более или менее регулярны. Тем не менее, при большом числе несинхронизированных ИС и ИУС их суммарный вклад в поток требований будет также близким к пуассоновскому.

Поскольку в ИКС за счет внедрения интерактивных технологий ИС трансформируются в ИУС, в дальнейшем будем считать, что ИКС состоит в основном из ИУС. Предполагается также, что каждая ИУС регулярно осуществляет (воспроизводит) набор одних и тех же ИП, названных в [6] типовыми. Для удобства решения задачи входных потоков для разомкнутых СеМО переформулируем понятие $ИП_т$, введенное в [6—8, 11]. Предположим, что:

- на каждом этапе $ИП_т$ участвующий в нем человеко-машинный объект может использовать данную разомкнутую СеМО, посылая одно требование;
- время обслуживания требования и вероятность потери требования достаточно малы и не оказывают существенного влияния на протекание $ИП_т$. В противном случае пришлось бы либо рассматривать одновременно все СеМО, использующиеся в $ИП_т$, либо брать некие усредненные показатели, которые можно считать характеристиками самого $ИП_т$.

Допуская наличие непуассоновской (близкой к регулярной) компоненты во входном потоке требований, считаем, что однотипные $ИП_т$ в разных ИУС определенным образом (спонтанно или под руководством общего центра) синхронизированы. Пределы изменения параметров синхронизации образуют управляющее пространство в задачах оптимизации для СеМО .

Входные потоки и марковские процессы. Хорошо известно, что во многих современных автоматизированных системах, допускающих модель в виде СеМО, входные потоки требований далеки от пуассоновских. Изменения, которые произошли в структуре трафика по сравнению с классической

пуассоновской моделью, наиболее ярко выражены для систем типа СеМО, обслуживающих сети, в которых требования предъявляются непосредственно людьми (например, телефонных сетей). Если связи между абонентами хаотичны, то поток требований будет близок к пуассоновскому, а его интенсивность, вообще говоря, станет переменной, благодаря сезонным, в широком смысле слова, колебаниям.

Однако при наличии структур типа ИУС, охватывающих абонентов, в потоке появляется последействие. Если этих структур много и они слабо связаны друг с другом и с сетью, то поток еще можно считать приблизительно пуассоновским. Если возникает согласование, то поток требований приближается к регулярному. Наиболее интересна промежуточная ситуация, не рассматривавшаяся прежде в теории массового обслуживания, когда число структур сравнительно невелико, их влияние на поток требований существенно, но они не согласованы или не полностью согласованы. Если эти структуры находятся в постоянном взаимодействии, изменяющем их характеристики, то поток требований не будет близок ни к регулярному, ни к пуассоновскому, ни к их сумме.

Теперь обратимся к математической стороне вопроса. В [4, стр. 28, 29] приведена общая схема определения характеристик СМО и СеМО с помощью марковских процессов. Сначала производится дробление характеристики (состояния) до тех пор, пока изменение состояния во времени не станет марковским процессом. Далее составляется соответствующая система дифференциальных уравнений для вероятностей его состояний, производится ее решение, определяются вероятности раздробленных состояний. После этого суммированием или интегрированием определяются вероятности нераздробленных состояний и требуемая характеристика.

Данный подход может быть применим не только для пуассоновских входных потоков, но и для достаточно обширного класса потоков, получающихся из потоков без последействия. Заметим, что регулярный поток (с фиксированным временным промежутком между событиями) можно рассматривать как предельный случай потока без последействия. Однако теория марковских процессов принципиально неприменима для потока, в котором события привязаны к определенному расписанию таким образом, что отклонение времени события от времени по расписанию есть случайная величина с заданным априори распределением. Таким образом, воспроизведение $ИП_т$ порождает потоки, близкие к регулярным, однако это еще ничего не говорит о возможности или невозможности применения аппарата марковских процессов: все определяется наличием или отсутствием расписания.

Информационно-управленческие сети и типовые информационные процессы. Переформулируем несколько определений, введенных в [6—8, 11].

Определение 1. Информационно-управленческой сетью нулевого уровня называется человеко-машинный объект, имеющий доступ к ресурсам ИКС. В ИУС нулевого уровня центром является единственный ее объект.

ИУС n-го уровня — это человеко-машинный объект, называемый центром сети C_{SA}. Каналами связи он соединен с центрами нескольких ИУС (n – 1)-го уровня — рядовыми объектами ($АП_i$), имеющими доступ к ресурсам ИКС.

Каждая ИУС регулярно осуществляет (воспроизводит) строго определенный набор $ИП_т$, каждый из которых порождает свой поток требований, являющий слагаемым входного потока. Все прочие ИП считаем шумом и моделируем пуассоновским потоком.

На рис. 1 изображен пример СеМО, для которой входной поток требований формируется ИУС.

Определение 2. Воспроизведением $ИП_т$ в ИУС 0-го уровня называется последовательность групп из фиксированного числа требований, разделенных фиксированными временными промежутками.

Воспроизведение $ИП_т$ в ИУС n-го уровня — это последовательность, элементами которой являются цепочки: воспроизведение $C_{SA,}$ инициирующего $ИП_т$ 0-го уровня → сигнал от C_{SA} ко всем $АП_i$ → $ИП_т$ (n – 1)-го уровня в сетях, центрами которых являются $АП_i$ → ответные сигналы $АП_i$ → реализация C_{SA} финального $ИП_т$ 0-го уровня.

Сделаем некоторые предположения относительно регулярности воспроизведения $ИП_т$.

1) Если $ИП_т$ не является составной частью другого $ИП_т$, воспроизводимого сетью более высокого уровня, то центр сети начинает воспроизведение со строгой периодичностью, т. е. $ИП_т$ имеет период воспроизведения **Т(ИП$_т$)**.

2) Каналы связи, соединяющие C_{SA} и $АП_i$, обладают большим быстродействием по сравнению с периодом $ИП_т$ и абсолютной надежностью, так что сигнал доходит мгновенно и без потерь.

3) Время начала реализации $ИП_т$ (n – 1)-го уровня объектом $АП_i$ представляет собой случайную величину, имеющую для данной сети известное распределение с носителем на промежутке [t_0(ИПт); t_1($ИП_т$)], которое будем называть распределением отклика. Это распределение полностью определяется характеристиками объектов сети и характеристиками $ИП_т$. Найдем это распределение в предположении, что в каждом человеко-машинном объекте доминантной является человеческая составляющая (техническая часть работает быстро, надежно и безотказно).

4) Время, необходимое для реализации $ИП_т$ нулевого уровня, представляет собой фиксированную величину.

Предположение 1 о строгой периодичности представляет реальность в упрощенном виде. На самом деле периодичность воспроизведения $ИП_т$ для многих, хотя и не для всех ИУС, приблизительна. Поток начальных моментов воспроизведения $ИП_т$ может быть разным в зависимости от его физической природы. Имеет смысл рассматривать две крайние ситуации: когда момент начала очередной реализации (воспроизведения) $ИП_т$ всецело определяется начальным моментом предыдущей реализации и когда начало реализации $ИП_т$ происходит по расписанию (например, в определенное время суток). В первом случае поток задается процессом восстановления

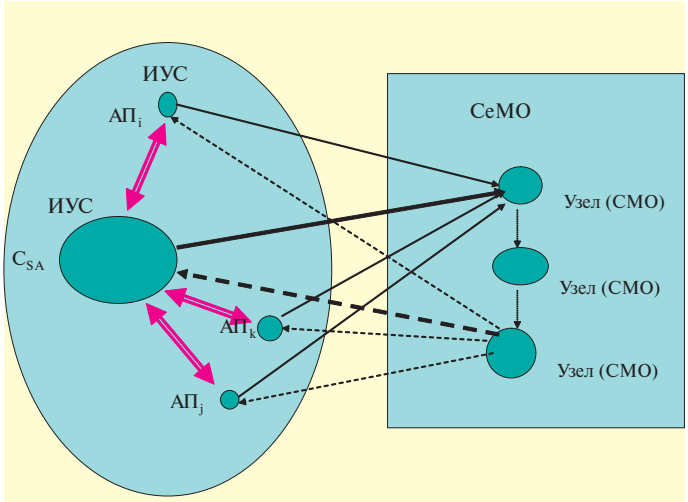

Рис. 1

с дельтаобразным (и тем самым далеким от пуассоновского) распределением.

Гипотеза о распределениях отклика. Мы предположили, что $АП_i$ соответствуют человеко-машинным объектам. Будем считать, что техническое оснащение обладает достаточным быстродействием и надежностью, так что все временные задержки определяются человеческим фактором. При этом предполагается, что человеческий фактор в значительной степени контролируется $ИП_т$, так что $ИП_т$ накладывает определенные ограничения на индивидуальные характеристики объектов сети. В нашей модели человеческий фактор влияет на время реализации этапа $ИП_т$ каждым конкретным $АП_i$.

На каждом этапе $ИП_т$ все $АП_i$ соответствующей ИУС получают от центра задание, которое нужно выполнить в определенном временном диапазоне. Время, необходимое на выполнение задания, можно считать пренебрежимо малым по сравнению с длиной отведенного промежутка. Сделаем следующее предположение о «масштабной инвариантности» распределения отклика.

Пусть ξ — случайная величина, выражающая время отклика, $t_0 \le \xi \le t_1$, а $F(t)$ — распределение ξ. Предполагаем, что если задание не выполнено в момент $t_0 \le \tau \le t_1$, то соответствующее условное распределение имеет ту же форму, что и $F(t)$, т. е.

$$P(\xi > t \mid \xi > \tau) = P\left(\xi > t_0 + (t_1 - \tau)\frac{t_1 - t_0}{t_1 - \tau}\right). \qquad (1)$$

Пусть

$$G\left(\frac{t - t_1}{t_0 - t_1}\right) = 1 - F(t).$$

Тогда (1) можно переписать в виде:

$$\frac{G(c)}{G(a)} = G(b),$$

где $a = \frac{\tau - t_1}{t_0 - t_1}$; $c = \frac{t - t_1}{t_0 - t_1}$; $b = \frac{c}{a}$.

Здесь числа $0 \le a \le b \le c \le 1$ могут быть произвольными. Таким образом, получаем функциональное тождество

$$G(xy) = G(x)G(y),$$

которому удовлетворяет только степенная функция.

Следовательно, $G(x) = x^p$ и, соответственно,

$$F(t) = 1 - \left(\frac{t - t_1}{t_0 - t_1}\right)^p.$$

Это распределение имеет плотность

$$f(t) = \frac{p}{t_1 - t_0}\left(\frac{t - t_1}{t_0 - t_1}\right)^{p-1}.$$

Параметр p должен быть положительным. При $p > 1$ это распределение является усеченным распределением Парето. В случае, если интервал $[t_0; t_1]$ достаточно велик, можно считать, что отклик имеет распределение Парето. Это вполне согласуется с результатами социологических наблюдений, приводивших к распределению Парето (например, со знаменитым законом 20 на 80 [13]).

Если дополнительно предположить, что параметр p один и тот же для всех $ИП_т$, осуществляемых (воспроизводимых) сетью, то при достаточно большом числе $ИП_т$ с широким спектром периодов, всплески интенсивности потока требований будут похоже выглядеть в разных масштабах, т. е. возникнет видимость масштабной инвариантности для потока требований, создаваемого данной сетью. При определенных условиях можно говорить и о видимости самоподобия для всего входного потока требований.

Отметим также, что распределение Парето уже попало в поле зрения специалистов по теории массового обслуживания [2].

Вычисление интенсивности второй составляющей входного потока требований. Назовем $ИП_т$, протекающие в разных ИУС, эквивалентными с точки зрения потоков (для краткости будем говорить просто эквивалентными), если они имеют одни и те же характеристики: период, время этапов воспроизведения, числа формируемых требований разных классов и распределения отклика и т. д. При этом потоки требований, создаваемые ими, должны быть приблизительно пропорциональны с коэффициентом, равным отношению числа объектов в сетях.

Определение 3. Источником требований для СеМО назовем класс эквивалентности $ИП_т$ вместе со всеми ИУС, реализующими данный $ИП_т$ (подразумевается, что этот $ИП_т$ не вызывается $ИП_т$ высших уровней). Под уровнем источника будем понимать уровень $ИП_т$. При построении модели реальной сети число источников определяется смыслом ИПт: число источников для всех ИПт, имеющих данный смысл, целесообразно считать не превосходящим 3.

Согласно сделанным предположениям, регулярная составляющая потока требований, идущих на вход СеМО, представляется в виде суммы потоков требований, исходящих от источников. Если число ИУС в классе эквивалентности, соответствующем источнику, невелико (меньше 10), то синхронизация центров приводит к расписанию начальных моментов реализации $ИП_т$ данного класса. Если класс эквивалентности насчитывает как минимум несколько десятков ИУС, то вместо расписания имеет смысл рассматривать T-периодическую функцию интенсивности начальных моментов $ИП_т$.

Формально функцию интенсивности начальных моментов можно ввести и для случая малого числа ИУС в классе эквивалентности, в виде линейной комбинации δ-функций. Эта функция интенсивности может также зависеть от переменных управления. Обозначим ее через $i(t,\bar{u})$, где $u \in U$ — управление.

Источник n-го уровня дает поток требований 0, 1, ..., n-го уровней. На практике во многих случаях количество рядовых объектов, приходящихся на один центр, настолько велико, что существенную нагрузку на СеМО создают только требования нулевого уровня.

Согласно описанной схеме протекания $ИП_т$, интенсивность потока требований k-го уровня получается путем свертки функции интенсивности с $(n - k)$ плотностями отклика и сдвигов по времени. Точнее, для интенсивности $\lambda_k(t)$ потока требований k-го уровня данного класса (для СеМО), исходящих от источника I, имеет место формула

$$\lambda_k^I(t) = N_k^I \sum_{l=1}^{n} n_{lk}^I i^I f_{n-1} \times \ldots \times f_k(t - \tau_l), \qquad (2)$$

где N_k — число объектов k-го уровня для источника I; n — число этапов реализации $ИП_т$; n_{lk} — число требований k-го уровня данного класса, формируемых одним $АП_i$ на l-м этапе

реализации ИП$_т$; $f_m(t)$ — распределение отклика для объектов m-го уровня; τ_l — время от начала реализации ИП$_т$ до начала первого этапа.

Два рода пиковых нагрузок на сеть: прямой и обратный потоки. Во многих случаях синхронизация ИП$_т$ в ИУС такова, что функция интенсивности для источника $i(t,\bar{u})$ сосредоточена вблизи одной или нескольких точек, т. е. приближается к комбинации нескольких дельта-функций.

В таком случае входной поток требований, порождаемый источником, имеет несколько пиков. Эти пики бывают двух родов. Пик первого рода возникает в момент, когда центры ИУС посылают сообщения одновременно всем своим АП$_i$. В худшем случае число требований имеет порядок $O(N)$, где N — общее число АП$_i$, так что при большом N нагрузка может быть достаточна велика. Вместе с тем пиковые нагрузки первого рода легко предсказываются и регулируются.

Возможны два метода регулирования: снижение общего числа требований путем организации циркулярного канала и рассредоточение во времени начальных моментов ИП$_т$, реализуемых сетями, образующими источник. Оба метода были опробованы автором на практике [9—11].

Пики второго рода возникают в обратном канале при отклике АП$_i$. Как видно из формулы (2), чем сложнее устроен ИП$_т$ и чем большую дисперсию имеют распределения отклика, тем менее ярко выражены пики второго рода. Поэтому, в случае просто устроенных ИП$_т$ с жестко заданными временами, отклика пиковых нагрузок на сеть можно избежать только путем рассредоточения начальных моментов реализаций ИП$_т$. Пики второго рода могут превратиться в серьезную проблему при срыве ИП$_т$.

Типовой ИП с возможностью срыва. В большинстве случаев ИУС, воспроизводящие ИП$_т$, не являются замкнутыми. В них входят новые объекты и исключаются АП$_i$, не способные более воспроизводить хотя бы один из ИП$_т$, воспроизводимых ИУС. Каким образом это сказывается на потоке требований в СеМО? Ответ на этот вопрос зависит от того, что представляет собой ИУС и какова физическая природа воспроизводимых ею ИП$_т$. Рассмотрим три подхода.

Подход 1. Оставаясь в рамках предложенной выше модели, считаем, что вновь вошедший в сеть АП$_i$ уже способен со стопроцентной надежностью участвовать в воспроизведении всех ИП$_т$, а обучение не требует ресурсов ИКС. Тогда на потоке требований сказывается лишь изменение числа объектов в ИУС.

Подход 2. Пусть по-прежнему вновь вошедший в сеть АП$_i$ ничем не отличается от остальных объектов, но процесс обучения создает дополнительный поток требований в СеМО. Предположив, что процесс обучения, в свою очередь, является типовым, можно также остаться в рамках предложенной модели, рассмотрев дополнительные источники, включающие ИУС, в которых происходит обучение. Центром такой сети может стать С$_{\mu SA}$ или один из АП$_i$ «основной» сети.

Подход 3. Процесс обучения ИП$_т$ не полностью отделен от воспроизведения ИП$_т$. Это означает, что вновь вошедший в сеть АП$_i$ некоторое время функционирует в «пробном режиме», воспроизводя ИП$_т$ не со стопроцентной надежностью. Также естественно предположить, что использование сложного технического оснащения затрудняет выход из сети АП$_i$, и поэтому в сети также функционируют «старые» АП$_i$, которые вскоре выйдут или будут исключены из сети по причине их нестабильного поведения при реализации ИП$_т$. Тем самым ИП$_т$ может быть сорван за счет того, что часть АП$_i$ не в состоянии справиться со своей задачей.

Имеет смысл ввести порог $0<\nu_l(ИП_T)\le 1$ (возможно нечеткий), обозначающий долю АП$_i$, которые должны справиться со своим заданием для того, чтобы данный этап можно было считать успешно завершенным. Если успешного завершения не происходит, то, в зависимости от физической природы ИП$_т$, возможны различные сценарии дальнейших действий центра сети.

Рассмотрим один из них — попытку повторной реализации одного этапа или всего ИП$_т$. Другой возможный сценарий — использование обходных путей, т. е. замещающего ИП$_т$ или цепочки ИП$_т$, здесь лишь упоминем, поскольку формулы для интенсивности потока в этом случае будут сложнее.

Рассмотрим для простоты источник I уровня 1, содержащий одну ИУС. Напомним, что это ИУС, состоящая из С$_{\mu SA}$ и множества из N_0 связанных с ним АП$_i$ вместе с ИП$_т$, регулярно ею воспроизводимым. Пусть этот ИП$_т$ состоит из одного этапа. Тогда формула интенсивности потока (2) принимает вид:

$$\lambda_0^I(t)=N_0^I n_{01}^I i^I f_0(t).$$

Подход 3 согласуется с высказанной в [9] идеей о трех поколениях АП$_i$.

Будем считать, что известна доля $\mu_i, i=1,2,3$ присутствия каждого поколения в сети. Пусть АП$_i$ 2-го поколения справляются с заданием с вероятностью 1, а АП$_i$ 1-го и 3-го поколений — с вероятностями, изменяющимися по линейному закону от p_1 до 1 и от 1 до p_3 (рис. 2) соответственно, и корреляции между соответствующими случайными величинами $\xi(АП_i)$ ($\xi(АП_i)=1$ в случае успеха и $\xi(АП_i)=0$ при неудаче сравнительно невелики.

Пусть M_k — множество рядовых объектов k-го поколения. Рассмотрим случайные величины

$$\eta_k=\frac{1}{N^I}\sum_{m:АП_m\in M_k}\xi(АП_m),\quad k=1,3.$$

Реализация ИП$_т$ будет неудачной с вероятностью

$$q=P\left(\eta_1+\eta_3+\mu_2<\nu\left(ИП_T\right)\right). \qquad (3)$$

В предположении, что числа $\mu_i N_0^I, i=1,3$, достаточно велики, можно воспользоваться центральной предельной теоремой и считать, что распределение случайных величин η_i является нормальным. Поскольку параметры одномерного нормального распределения — это математическое ожидание и дисперсия (или среднее квадратичное отклонение), а мы предположили, что $\xi(АП_i)$ независимы, то распределе-

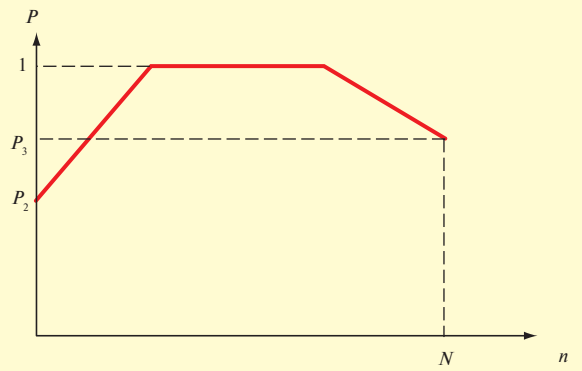

Рис.2

ние случайной величины $\eta_1+\eta_3$ можно вычислить по формулам:

$$M(\eta_1+\eta_3)=M(\eta_1)+M(\eta_3)=\mu_1\frac{1+p_1}{2}+\mu_3\frac{1+p_3}{2};$$

$$D(\eta_i)=\frac{1}{N^I}\frac{\mu_i N^I}{1-p_i}\int_{p_i}^{1}x(1-x)dx=\frac{\mu_i}{1-p_i}\left(\frac{1-3p_i^2+2p_i^3}{6}\right);$$

$$D(\eta_1+\eta_3)=D(\eta_1)+D(\eta_3)=$$
$$=\frac{1}{6}\left(\frac{\mu_1\left(1-3p_1^2+2p_1^3\right)}{1-p_1}+\frac{\mu_3\left(1-3p_3^2+2p_3^3\right)}{1-p_3}\right).$$

Рассмотрим два предельных случая реакции центра на срыв ИП$_т$. В первом срыв означает необходимость полного повтора воспроизведения ИП$_т$. Можно считать, что повтор осуществляется через фиксированное время $t_{повт}$ (ИП$_т$) << **Т(ИП$_т$)**. Тогда формула для интенсивности потока примет вид:

$$\lambda_0^I(t)=\sum_{m=0}^{M-1}q^m N_0^I n_{01}^I i^I f_0(t-mt_{повт}), \qquad (4)$$

где M — максимально возможное число повторов, а q определяется (3).

Формула (3) остается верной и для источника 1-го уровня, состоящего из нескольких ИУС, при условии, что все параметры, связанные с разделением на три поколения, для них примерно одинаковые.

В случае, когда $i^I(t)\equiv\text{const}$, т. е. когда поток требований стационарен, возможность срыва просто увеличивает интенсивность потока в $1+q+\ldots+q^{m-1}=\frac{1-q^m}{1-q}$ раз.

Во втором случае повтор осуществляется лишь отдельными АП$_i$ до тех пор, пока доля АП, справившихся с заданием, не превысит порог ν или не будет превышен лимит повторов. В этом случае рост интенсивности потока требований станет существенно меньшим, а формулы для его интенсивности более сложными.

Моделирование изменения ИП$_т$ при взаимодействии сетей: идея алгебраического подхода. До сих пор набор ИП$_т$ вместе со всеми характеристиками реализуемых (воспроизводимых) ИУС предполагался неизменным. Если верны выдвинутые выше гипотезы о структуре ИП$_т$, то некоторую информацию о ИП$_т$ и их параметрах можно получить и извне, путем спектрального анализа потоков требований в СеМО. Впрочем, спектральный анализ может быть затруднен в связи с тем, что есть особые промежутки времени, такие как сутки, неделя и т. д., которые могут являться периодом сразу для нескольких ИП$_т$. Но даже тогда, когда удается выделить потоки, соответствующие различным ИП$_т$, с помощью внешнего наблюдения едва ли возможно предсказать изменение ИП$_т$ как результат взаимодействия разных ИУС. Как уже было сказано, это взаимодействие оказывает влияние на характеристики, воспроизводимых ими ИП$_т$. Более того, оно может приводить к прекращению воспроизведения части ИП$_т$ и освоению новых ИП$_т$.

Для «внутреннего наблюдателя», понимающего смысл ИП$_т$, возможен алгебраический подход к моделированию изменений ИП$_т$ при взаимодействии разных ИУС. В [6—8, 11] была предложена идея так называемой семантической аномалии (СА), свойственной как каждому человеко-машинному объекту, так и каждой ИУС. В качестве модели СА предлагался ориентированный граф, в вершинах которого находились термины. Некоторые из терминов являются точками сходимости (можно сказать «смыслами») ИП$_т$, реализуемых данным объектом или ИУС. Два ИП, сходящиеся к одной точке СА можно назвать семантически эквивалентными. Вообще говоря, два разных ИП$_т$ могут оказаться семантически эквивалентными, и это означает возможность использования обходных путей в случае срыва одного ИП$_т$.

Вводя понятие ИП$_т$, мы должны изменить модель СА. Будем считать, что моделью СА является алгебраическая система: множество с заданным на ней (одним и тем же для всех рассматриваемых СА) набором операций и отношений. С точки зрения семантики, операции обеспечивают выражение (экспликацию) одних терминов через другие, и в то же время они соответствуют определенным схемам агрегирования ИП$_т$. Если представлять сеть как динамическую систему, то ИП$_т$ действуют на пространствах состояний объектов. С алгебраической точки зрения естественно рассматривать пространства состояний, «грубые» в том смысле, что на них действие семантически эквивалентных процессов одинаково и это действие продолжается до действия всей СА.

Пусть теперь имеются две взаимодействующие ИУС с семантическими аномалиями СА$_1$ и СА$_2$. Предположим, что эти СА могут измениться только в процессе длительного взаимодействия ИУС, имеющих свою семантику. Это взаимодействие приводит к тому, что одна сеть каким-то образом интерпретирует термины другой. Естественно считать, что интерпретация в общем случае задается гомоморфизмом алгебраических систем, т. е. имеются два гомоморфизма интерпретации $\varphi_{12}:CA_1\to CA_2$ и $\varphi_{21}:CA_2\to CA_1$.

Длительное воспроизведение «чужого» ИП$_т$ приводит к тому, что данный ИП$_т$ либо становится типовым, либо перестает воспроизводиться. Необходимо построить семантику таким образом, чтобы вопрос о том, какая из двух альтернатив имеет место в каждом конкретном случае, решался чисто алгебраически. Таким образом, приходим к следующей алгебраической задаче.

Для заданного класса алгебраических систем Ξ, представителями которого являются СА, нужно построить следующую конструкцию. Каждому объекту $(X,Y,x,\varphi_{XY},\varphi_{YX})$, где X,Y — представители $\Xi, x\in X;\varphi_{XY}:X\to Y,\varphi_{YX}:X\to Y$ — гомоморфизмы, должен быть поставлен в соответствие объект $(\tilde{Y}_x,\varphi_{X\tilde{Y}})$, где $\tilde{Y}_x$ – объект класса Ξ, а $\varphi_{X\tilde{Y}_x}:X\to\tilde{Y}_x$ — гомоморфизм. Конструкция должна быть естественной в том смысле, что она должна получаться как решение соответствующей задачи универсальности.

Примером универсальной конструкции, связанной с двумя гомоморфизмами, решающим, правда, другую задачу, является естественная конструкция композиции ассоциативных алгебр по двум гомоморфизмам [3]. Алгебра здесь понимается в узком смысле, т. е. конструкция представляет собой кольцо, имеющее структуру векторного пространства над фиксированным основным полем (или, в более общем виде, модуля над фиксированным основным кольцом).

Основная трудность предполагаемого алгебраического подхода заключается в отсутствии понятия взаимодействия алгебр. Поэтому скорее всего чисто алгебраическую модель СА создать не удастся.

Заключение. Предложенная методика определения входных потоков для реальных систем, допускающих модель в виде СеМО и применимых к анализу ИКС, позволяет не только моделировать потоки с большой точностью (по сравнению с подходом, основанным на теории самоподобных процессов,

когда практически невозможно определить точное значение показателя самоподобия), но и, что еще более важно, управлять ими. А это уже позволяет бороться с пиковыми нагрузками в сети.

Необходимо отметить, что методика применима только к стационарному режиму функционирования сети, при котором набор $ИП_т$ и их параметры остаются неизменным. При изменении набора $ИП_т$ и/или параметров $ИП_т$, т. е. при утере стационарности, определение параметров входных потоков становится на порядок более сложной задачей, и ее решение лежит на пути изучения изменений структур семантических аномалий человеко-машинных объектов ИКС.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Городецкий А.Я., Заборовский В.С.** Фрактальные процессы в компьютерных сетях. Учебное пособие. — СПб.: Изд—во СПбГТУ, 2000. (Электронный вариант). http://www.neva.ru/conf/books/method.htm.
2. **Горелов Г. В., Пчелинцев А.В.** Анализ кодеков G.711 с использованием распределения Парето длительности интервалов в потоке отсчетов// Телекоммуникации. — 2003 . — № 5. — С. 7—11.
3. **Дубнов Д.В.** Представления конечномерных ассоциативных алгебр. Диссертация на соискание степени к.ф.-м.н. — М.: МГУ, механико-математический факультет, 2000.
4. **Ивницкий В.А.** Теория сетей массового обслуживания. — М. Изд-во физ.-мат. лит., 2004.
5. **Пономарев Д.Ю.** Исследование моделей телекоммуникационных систем с непуассоновскими входными потоками//Современные проблемы радиоэлектроники: Сборник научных трудов/Под ред. **А.В. Сарафанова**. — Красноярск: ИПЦ КГТУ — 2003. — С. 420—425.
6. **Сарьян В.К.** Новый способ структуризации сетей передачи данных. — М.: Труды НИИР, 2001.
7. **Сарьян В.К.** Модель информационного взаимодействия в сетях передачи данных. — М.: Труды НИИР, 2001.
8. **Сарьян В.К.** Информационные процессы в сетях передачи данных / Тезисы доклада. Материалы VIII Всероссийского научно-практического семинара «Связь в деловой сфере. Новые информационные технологии». — 26 октября 2000 г.
9. **Зубарев Ю.Б., Сарьян В.К.** Возможность быстрого построения информационной магистрали в Российской Федерации // Электросвязь. — 1997. — №12. — С. 8—9.
10. **Сарьян В.К., Прокофьев Ю.А., Зубарев Ю.Б., Баласанян В.Э.** Территориально распределенная автоматизированная система управления // Электросвязь. — 1999. — № 6. — С. 19—21.
11. **Сарьян В.К.** Кинетика сетей передачи данных. Постановка проблемы. — М.: Труды НИИР. — 2003. — № 10.
12. **Сурихин П.Л., Пономарев Д.Ю.** Исследование вероятностно-временнных характеристик однофазных систем массового обслуживания с ограниченной очередью с помощью имитационного моделирования http://www.gpss.ru/immod'03/092.html.
13. **Pareto V.** Complendio di sociologia generale. — Torino, 1978.

Получено 7.11.07

Все для цифрового телевидения - Digital Ready

Головная станция ClassA

Трансмодуляторы:
QPSK - COFDM
QPSK - QAM
COFDM - QAM
QAM - QAM

Стриммеры:
QPSK - IP
QPSK/CAM -IP
COFDM - IP
QAM - IP
ASI - IP
A/V - IP

Контроллер:
Удаленный контроль и управление ГС
• sms об авариях
• GSM/GPRS модуль
• Eithernet

ООО «ИКУСИ»
141013, г. Мытищи,
ул. Силикатная, 41-3
Тел. +7 495 583 93 41 / +7 495 583 64 26
Факс. +7 495 586 17 71
ikr@ikusi.com

Дистрибьюторы:

Юнайтед Телеком
+7 495 775 25 13 / www.unitedtelecom.ru

ТВ-Люкс
+ 7 495 951 00 25 / www.tvlux.ru

ТК «Митинский»
+7 916 674 80 89

ДС Медиа Телеком
+7 495 507 19 82 / www.dsmt.ru

Теле окно в мир
+7 495 746 88 16

Universal
+7 495 937 57 94 / www.univercom.ru

Спутник-видео
+7 4232 94 00 00 / www.sputnik-video.ru

ООО "САТ-Нижний Новгород"
+7 8312 139 049 / www.satnn.ru

ООО Компания "Инвидео"
+7 495 980 27 94

Оптимальные коммуникации
+7 495 730 62 62 / www.oc.ru

IKUSI
www.ikusi.com

IKUSI - Angel Iglesias S.A. (SPAIN) Tel.: +34 943 44 88 00