

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА РАСКРАШЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Введение

До середины 80-х годов основной задачей при проектировании систем связи было обеспечение высокой пропускной способности по приемлемой цене. Так как эта цель была отчасти достигнута с развертыванием волоконно-оптических систем и внедрением технологий SDH, В-ISDN, АТМ, на телекоммуникационном рынке приобретает значимость другой фактор – возможность быстрого развития комплексных телекоммуникационных услуг, удовлетворяющих растущие потребности абонентов. В телефонных сетях эта тенденция проявляется во внедрении различных дополнительных услуг, таких как бесплатный вызов, вызов с повышенной оплатой, вызов по предоплаченной или кредитной карте, телеголосование, виртуальная частная сеть и др. В широкополосных сетях существуют ещё большие возможности для новых услуг (интерактивные мультимедийные приложения, «видео по требованию» и т.п.). Концепция интеллектуальной сети (IN) была разработана для более быстрого внедрения таких новых услуг с максимально эффективным использованием существующей инфраструктуры телекоммуникационной сети.

Проектирование и построение IN предполагает необходимость разработки методов анализа работы IN в различных её конфигурациях. IN имеет ряд специфических свойств, которые усложняют задачу ее моделирования. К таким свойствам IN относятся: распределенный характер сети и зависимость ее свойств от варианта распределения функциональных объектов IN по ее физическим узлам, сложная структура предоставляемых сетью услуг и, как следствие, сложные алгоритмы взаимодействия между ее узлами.

Постановка задачи и обзор существующих моделей IN

Основной идеей архитектурной концепции IN является отделение функций коммутации от функций предоставления услуг и распределение их по различным функциональным подсистемам [1–3]. Функции коммутации, как и для традиционных сетей, остаются в базовой сети связи, а функции управления, создания и внедрения услуг выносятся в создаваемую отдельно от базовой сети «интеллектуальную надстройку», взаимодействующую с базовой сетью посредством стандартизированных интерфейсов. Таким образом, архитектура IN представляет собой распределенную систему, в которой все функции коммутации, управления обслуживанием, создания, модификации и предоставления услуг разделены на небольшое количество модулей, взаимодействие между которыми обеспечивают стандартные интерфейсы, а перечень функций каждого модуля строго определен. Такие модули получили название функциональных объектов, причем существует несколько вариантов распределения этих объектов по физическим узлам IN [2], от централизованного, при котором все необходимые функции интегрированы в одном-двух узлах, до наиболее распределенного, при котором предоставление услуги предполагает взаимодействие нескольких типов узлов, наиболее важными из которых являются SSP, SCP, IP и SDP. Чем сложнее услуга и чем больше масштабы IN, тем сложнее будет и алгоритм взаимодействия узлов сети.

Все эти особенности делают IN сложным объектом для анализа и моделирования. Созданные до настоящего времени и представленные в литературе модели IN являются значительно упрощенными по сравнению с реальными платформами IN и имеют ряд ограничений. В целом существующие модели IN можно разделить на два больших класса:

1. Модели для анализа работы IN и получения таких характеристик, как временные задержки при обслуживании, нагрузка, поступающая на отдельные узлы IN, вероятность отказа в обслуживании и т.п. При их построении использовался аппарат теории массового обслуживания, и в большинстве из этих существующих на данный момент моделей рассматри-

ваются только два типа узлов IN – SSP и SCP или при этом взаимодействие с узлами IP и SDP либо не учитывается, либо предполагается, что функции этих узлов реализованы в узлах SSP и SCP (работы A. Arvidsson, S. Pettersson, L. Angelin, B. Carlsson, P. Davidsson, S. Johansson, M. Ohlin, A. Patel, K. Prouskas, J. Barria, J.Pitt, D.E. Smith, M.P. Rumsewicz, C. Nyberg, B. Olin, R. Girao, S. Silva, A. Lavrador, T. Gomes и др.). Такая архитектура может иметь место в реальных IN на начальных этапах развертывания, но по мере роста масштабов IN и их развития операторы приходят к более распределенной и гибкой архитектуре. Существует, однако, и несколько моделей, в которых помимо узлов SSP и SCP рассмотрены также узел IP или SDP, а иногда и оба этих узла, однако общее количество узлов в таких моделях ограничено из-за сложности ее анализа и составляет, как правило, не более двух узлов каждого типа. Такие модели представлены в работах H. Nyberg, B. Olin, Marcos Bafutto, Michael Schopp, P.J. Kuhn, F. Lodge, T. Curran.. В статьях Per-Oddvar Osland и Arne Folkestad описана модель, рассматривающая взаимодействие SCP и SDP, но работа сети на участке SSP-SCP авторами не рассматривалась. Наиболее близкие к реальным IN модели представлены в работах авторов L. Orozco-Barbosa, D. Makrakis, N.D. Georganas и Carmelita Gorg, Martin Guntermann, Stephan Kleier, но и в них использовался ряд существенных ограничений и допущений. Большая часть представленных в литературе моделей является имитационной, аналитические методы анализа связаны с очень сложными и громоздкими вычислениями и применяются при моделировании небольших по размеру IN и предполагает ряд существенных ограничений и допущений.

2. Модели, созданные для верификации услуг IN. В таких моделях рассматривалась только логика услуги и правильность алгоритма обработки (отсутствие в нем циклов и тупиков), но не принималась во внимание ограниченность ресурсов сети, необходимых для выполнения услуги. Для построения таких моделей использовались сети Петри, объектно-ориентированный подход, SDL.

Целью данной работы является обоснование выбора математического аппарата для моделирования IN и построение модели с целью анализа ее работы и качества обслуживания абонентов. К модели предъявляются следующие требования:

- максимальная приближенность к реальным IN, т.е. наличие всех наиболее важных ее компонентов (SSP, SCP, SDP, IP), учет задержек при передаче сигнальных сообщений, установлении соединений, взаимодействии с пользователем, учет таких ситуаций, как отказ оборудования, ошибка абонента или его отказ от обслуживания, занятость вызываемого абонента и т.п.;
- масштабируемость, т.е. возможность анализа как небольших, так и широкомасштабных IN с большим количеством узлов;
- гибкость, т.е. возможность анализа работы IN в различных ее конфигурациях (при разных вариантах распределения функциональных объектов по физическим узлам сети);
- в модели должны быть рассмотрены различные классы услуг, в первую очередь наиболее популярные из них – FPH, PRM, ACC, CCC, VOT.

Сети Петри и моделирование систем

Как уже было сказано выше, IN представляет собой сложный объект для моделирования и анализа. Причиной этого являются такие неотъемлемые свойства IN, как распределенный характер сети и сложные алгоритмы взаимодействия между ее узлами. Модель такого объекта будет представлять собой комплекс взаимодействующих, взаимосвязанных и взаимозависимых компонентов со сложными причинно-следственными связями. В настоящее время разработаны и исследованы разнообразные подходы и методы решения задач моделирования таких систем, одним из которых является теория сетей Петри.

К достоинствам данного аппарата можно отнести:

- наличие графического представления модели, что делает ее более наглядной;

– сходство модели системы в виде сети Петри с неформальным описанием моделируемого объекта и интуитивным представлением о нем, так как понятия состояния, события и потока являются базовыми для многих видов систем;

– небольшое количество базисных элементов, которые тем не менее являются очень мощными средствами описания системы. Это упрощает разработку эффективных методов анализа сетей Петри;

– возможность моделирования параллельных процессов, конфликтных и тупиковых состояний (во многих других подходах действия могут происходить только последовательно, в произвольном порядке);

– наличие четкой семантики, которая однозначно определяет поведение любой сети Петри, что лежит в основе методов формального анализа сетей Петри и позволяет применение программ моделирования;

– наличие ряда методов формального анализа, с помощью которых могут быть доказаны свойства сетей Петри. Так, например, метод достижимых разметок сети Петри позволяет проверить наличие или отсутствие тупиковых состояний, достижимость определенного состояния в системе (например, доставку сообщения или услуги) и т.п.;

– наличие множества программных пакетов, позволяющих создание, редактирование, имитационное моделирование и формальный анализ сетей Петри;

– общий, универсальный характер сетей Петри, вследствие чего они могут применяться для описания множества различных систем.

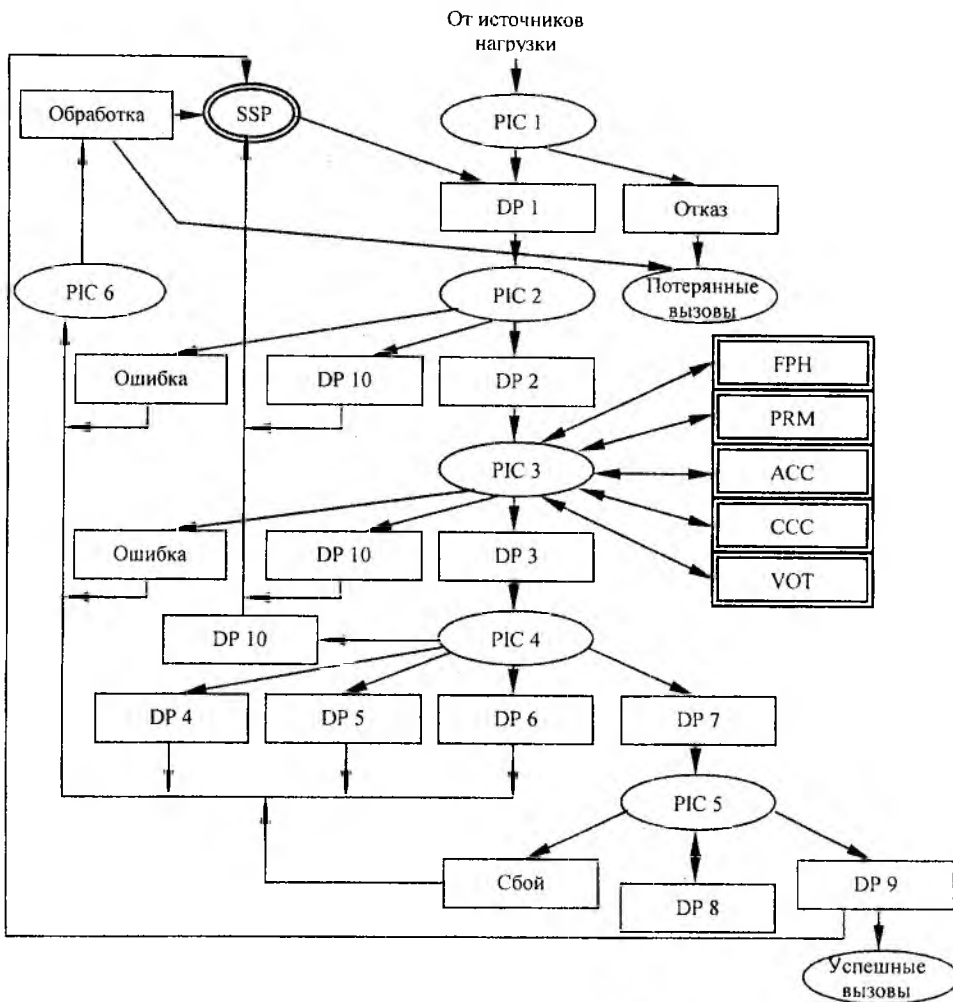
Одним из наиболее известных и популярных расширений базовых сетей Петри являются раскрашенные сети Петри (Coloured Petri Nets – CPN). В классической сети Петри все фишки имеют булевый тип, тогда как в CPN вводится понятие «цвета» фишки, который описывает ее тип, причем он может быть сколь угодно сложным. Такой подход делает CPN модель более лаконичной по сравнению с эквивалентной ей моделью в виде базовой сети Петри, так как одна позиция в таком случае может моделировать множество условий.

В теории сетей Петри принято считать, что переход срабатывает мгновенно. В реальных же системах подавляющее большинство событий происходит за некоторый интервал времени, и эти временные задержки при выполнении определенных операций играют существенную роль при анализе работы многих систем. Для моделирования систем и процессов, при анализе которых необходимо учитывать не только порядок выполнения действий, но и временные характеристики, часто используются временные сети Петри, которые также являются одним из известных расширений базовых сетей Петри. Таким образом, этот аппарат может быть использован не только для исследования функциональных или логических свойств системы (таких как наличие конфликтов, тупиков и т.п.), но и для анализа таких эксплуатационных характеристик, как среднее время ожидания, пропускная способность системы и т.д.

Еще одним расширением базовых сетей Петри являются иерархические сети Петри, которые позволяют строить модели очень больших и сложных систем по модульному принципу, при этом могут использоваться методы описания системы как «сверху вниз», так и «снизу вверх». Существующие модули могут использоваться в модели несколько раз, кроме того, на их основе можно создавать новые модули.

Модель IN

При моделировании IN использовался программный пакет Design/CPN, позволяющий создавать, проводить имитационное моделирование и формальный анализ иерархических временных CPN моделей. При построении модели IN использовался принцип описания системы «сверху вниз». На верхнем уровне представлена модель базового процесса обслуживания вызова, описанная в рекомендации Q.1214. Модель представляет собой совокупность позиций, соответствующих различным состояниям процесса обслуживания вызова (PIC – point in call) и переходов, соответствующих различным точкам обнаружения (DP – detection point) (рис. 1).



PIC 1 – исходное состояние, проверка правомочности исходящей связи;
 PIC 2 – прием информации;
 PIC 3 – анализ информации;
 PIC 4 – маршрутизация и оповещение;
 PIC 5 – активное состояние (разговор);
 PIC 6 – выход по исключению.

DP 1 – исходящий вызов разрешен;
 DP 2 – информация накоплена;
 DP 3 – информация проанализирована;
 DP 4 – маршрут не найден;
 DP 5 – вызываемый абонент занят;
 DP 6 – вызываемый абонент не отвечает;
 DP 7 – ответ;
 DP 8 – запрос дополнительной услуги;
 DP 9 – разъединение;
 DP 10 – отказ от связи.

Рис. 1

CPN модель интеллектуальной сети включает в себя три основных типа позиций:

– позиции, моделирующие алгоритм обработки запросов на услуги. Наличие фишки на одной из таких позиций указывает на то, что в сеть поступил запрос на определенную услугу и его обработка сейчас находится на этапе, соответствующем данной позиции, например, набор пользователем своего PIN-кода, обращение к базе данных, установление соединения с IP и т.п. Фишки, размещенные на таких позициях, представляют собой совокупность пяти параметров: порядкового номера заявки $i = \{1, 2, 3, \dots\}$, типа запрашиваемой услуги $x = \{fph, prm, acc, ccc, vot\}$, порядкового номера заявки в очереди к обслуживающему прибору $j = \{1, 2, 3, \dots\}$, времени поступления в эту очередь $t = \{1, 2, 3, \dots\}$ и причины ошибки c , которая указывается в случае возникновения какого-либо сбоя в обслуживании;

– позиции, моделирующие ресурсы IN, в качестве которых рассмотрены узлы SSP, SCP, SDP и IP. Эти позиции для большей наглядности обозначены на рисунках эллипсом с двойным контуром. Результаты проведенных до настоящего времени исследований показали, что именно эти узлы, в особенности SCP, являются потенциальным «узким местом» в IN [4], поэтому при моделировании акцентировалось внимание на том, что количество этих ресурсов в сети ограничено. Наличие фишек на позициях с одноименными названиями показывает, что соответствующие ресурсы сейчас доступны, а сама фишка представляет собой параметр $r = \{ssp, scp, sdp, ip\}$. Если в сети находится запрос, который требует обслуживания в одном из узлов IN, он будет обслужен только при наличии фишки (или необходимой совокупности фишек) на позиции с одноименным названием. Если же ресурс уже занят обслуживанием другого запроса (фишка из данной позиции уже изъята), то он будет либо отброшен, либо поставлен в очередь;

– вспомогательные позиции, используемые для моделирования источников нагрузки с заданными характеристиками, дисциплины обслуживания в очередях и заданных вероятностей возникновения различных сбоев. Чтобы не загромождать приведенные на рис. 1–2 CPN модели, эти позиции на них не указаны, но на рис. 3. представлены три небольшие CPN модели, поясняющие принцип их применения.

На нижнем уровне представлена глобальная логика услуг IN, рассмотренных при моделировании. Этот нижний уровень представляет собой совокупность пяти CPN моделей, описывающих обработку запросов на услуги FPH, PRM, ACC, CCC и VOT. Обращение к ним происходит в иницилирующих точках (point of initiation – POI) и обозначено на рис. 1 переходами с названиями услуг, а выход – в точках возврата (point of return – POR). Для всех пяти моделируемых услуг точками POI и POR является состояние PIC 3 базового процесса обслуживания [2]. Глобальная логика услуги представляет собой последовательность не зависящих от услуги блоков (service independent building block – SIB) и в общем случае CPN модель, описывающая обработку запроса на услугу IN, имеет вид, показанный на рис. 2.

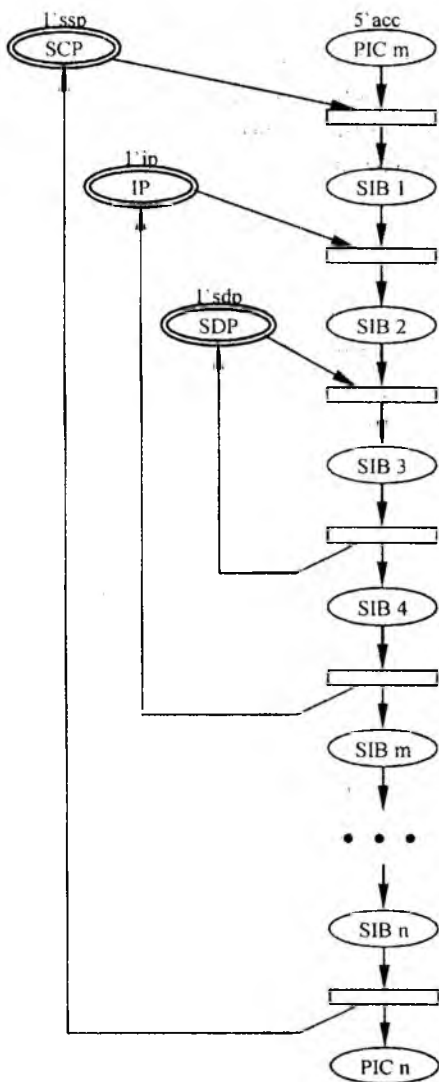
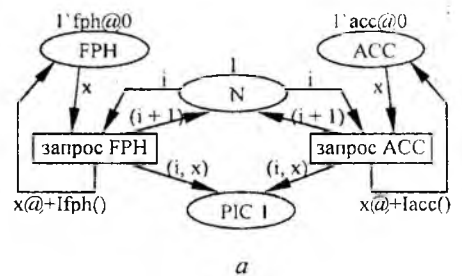
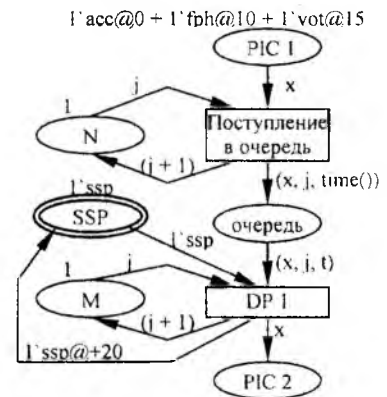


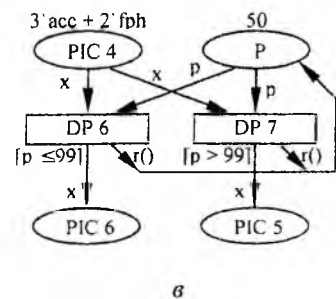
Рис. 2



а



б



в

Рис. 3

На рис. 3а представлена CPN модель источников запросов на два типа услуг – FPH и ACC. Символ «@» используется для указания присвоенной фишке временной метки, которая показывает, что эта фишка может быть использована в тот момент времени, значение которого больше или равно значению временной метки. Позиция «N» используется для присвое-

ния каждому поступающему запросу порядкового номера. Выражение «@+Iacc()» показывает, что текущее значение временной метки фишки, устанавливаемой на позиции «АСС», будет увеличено на число, равное значению функции Iacc(), объявленной при создании модели. При моделировании IN было принято, что потоки запросов являются пуассоновскими, поэтому значения функций Iacc() и Ifph() представляют собой случайные величины с экспоненциальным законом распределения и средними значениями, рассчитанными, исходя из статистических данных об интенсивности поступления запросов на рассматриваемые услуги в реальных IN [5].

На рис. 3б показано обслуживание запросов узлом SSP, при котором запросы, которые не могут быть обслужены немедленно, поступают в очередь с дисциплиной обслуживания FIFO. Функция time() принимает значения, равные моменту срабатывания перехода T .

На рис. 3в представлена CPN модель, показывающая, каким образом при моделировании могут быть заданы вероятности отказа оборудования и различных ошибок при обслуживании. Выражения в квадратных скобках, указанные возле переходов, описывают условия их срабатывания. Значение функции r() представляет собой случайную величину с равномерным законом распределения, равную целому числу от 1 до 100. Таким образом, вероятность срабатывания перехода «DP7» составляет 1%, а перехода «DP6» – 99%.

Как уже было сказано, потенциальным «узким местом» в IN являются ее узлы (SSP, SCP, SDP, IP), а не каналы сигнализации, поэтому при построении модели полагалось, что ресурс сети сигнализации не ограничен, но передача сигнальной информации увеличивает время обслуживания запросов, так как вносит дополнительную задержку. Для расчета среднего значения этой задержки предложена следующая методика.

Расчет задержки сообщений в сети сигнализации

В звене ОКС № 7 сообщения передаются с помощью пакетов, называемых сигнальными единицами – SE. Одно сообщение может передаваться с помощью нескольких SE. Используются три типа SE, которые имеют различное назначение и переменную длину:

- значащие SE (ЗНСЕ) – их длина может быть до 273-х байт;
- сигнальные единицы состояния звена (СЗСЕ), используемые для индикации состояния оконечных устройств и управления звеном сигнализации, их длина может быть 7 или 8 байт;
- заполняющие SE (ЗПСЕ), которые имеют нулевую полезную длину, но их наличие необходимо для оперативного контроля работоспособности звена сигнализации при отсутствии пользовательского сигнального трафика. ЗПСЕ передаются лишь в том случае, когда отсутствуют для передачи ЗНСЕ или СЗСЕ.

При передаче в ОКС № 7 сигнальные единицы СЗСЕ имеют наивысший приоритет. Следующий приоритет принадлежит ЗНСЕ. При передаче SE используется дисциплина обслуживания с относительным приоритетом, ибо нельзя прервать начатую передачу SE.

Простейшая модель канала передачи данных между SSP и SCP и обратно представляет собой одноканальную СМО, в которой обрабатывается три потока сообщений: Z_1 – поток СЗСЕ, имеющий наивысший приоритет; Z_2 – поток транзакций, создаваемый запросами на услуги IN и Z_3 – поток ЗПСЕ, имеющий самый низкий приоритет [3].

Предположим, что поступающие транзакции, а также СЗСЕ и ЗПСЕ образуют простейшие пуассоновские потоки. На самом деле это не так, но принятие экспоненциального распределения обеспечивает некоторый дополнительный запас при расчетах.

Коэффициенты загрузки канала сигнальными единицами СЗСЕ и ЗНСЕ, образующими потоки Z_1 и Z_2 составляют:

$$\rho_1 = \lambda_{c3} \tau_{c3}, \rho_2 = \lambda_{mpk} \tau_{mp}, \quad (1)$$

где τ_{mp} , $\tau_{сз}$ – средние значения времени передачи одной транзакции и СЗСЕ соответственно; λ_{mpk} , $\lambda_{сз}$ – интенсивности поступления транзакций и СЗСЕ соответственно в расчете на одно звено ОКС №7.

Для достижения требуемой производительности и повышения надежности передачи сигнальных сообщений между SSP и SCP обычно используют одновременно несколько звеньев ОКС, количество которых определяется, исходя из требования минимальной загрузки канала, значение которой выбирается в пределах $\rho_{OKC} = 0,2$:

$$n_k = \lambda_{mp} \tau_{mp} / \rho_{OKC}, \quad (2)$$

где λ_{mp} – среднее число транзакций, осуществляемых за одну секунду.

Тогда интенсивность поступления транзакций в расчете на одно звено ОКС №7:

$$\lambda_{mpk} = \lambda_{mp} / n_k. \quad (3)$$

Поскольку всё время канала, не занятое передачей транзакций и СЗСЕ, используется для передачи ЗПСЕ, суммарный коэффициент загрузки канала всегда равен 1, следовательно, коэффициент загрузки канала сигнальными единицами ЗПСЕ, образующими поток Z_3 :

$$\rho_3 = 1 - (\rho_1 + \rho_2). \quad (4)$$

Заявки, поступившие в канал и ожидающие передачи, заносятся в соответствующие очереди O_1 , O_2 и O_3 . В очередях заявки упорядочены по времени их поступления. Когда в канале заканчивается передача очередного сообщения, то управление переходит к программе «Диспетчер», которая выбирает для очередной передачи сообщение с наивысшим приоритетом. Выбранное для передачи сообщение захватывает канал на все время его передачи. Если в систему поступает N простейших потоков сообщений с интенсивностями $\lambda_1, \dots, \lambda_N$, средние длительности передачи сообщений каждого типа соответственно равны τ_1, \dots, τ_N и вторые начальные моменты соответственно $\tau_1^{(2)}, \dots, \tau_N^{(2)}$, то среднее время t_k ожидания в очереди сообщений, имеющих приоритет k , определится соотношением [6]:

$$t_k = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i \tau_i^{(2)}}{2(1 - R_{k-1})(1 - R_k)} [c], \quad (5)$$

где $R_{k-1} = \rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_{k-1}$; $R_k = \rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_k$.

Используя понятие коэффициента вариации длины сообщений v_i , получим соотношение:

$$t_k = \frac{\sum_{i=1}^N \rho_i \tau_i (1 + v_i^2)}{2(1 - R_{k-1})(1 - R_k)} [c], \quad (6)$$

где $v_i = \sigma_i / \tau_i$; σ_i – среднеквадратичное отклонение времен передачи сообщений i -го типа.

В рассматриваемом случае имеются всего $N = 3$ типа передаваемых сообщений.

Для сообщений потока Z_2 ($k=2$): $R_2 = \rho_1 + \rho_2$; $R_1 = \rho_1$; $\tau_2 = \tau_{mp}$; $v_2 = v_{mp}$. Если предположить, что длины сообщений транзакций распределены по экспоненциальному закону, то $\sigma_{mp} = \tau_{mp}$; $v_{mp} = 1$ и среднее время ожидания на передачу для сообщений транзакций, имеющих второй приоритет, составит

$$t_{\text{прож}} = t_2 = \frac{\rho_1 \tau_{\text{сз}} + 2\rho_2 \tau_{\text{мп}} + \rho_3 \tau_{\text{зн}}}{2(1 - R_1)(1 - R_2)}, \quad (7)$$

где $\tau_{\text{зн}}$ – средняя длительность ЗПСЕ.

Среднее время задержки при передаче одной транзакции в сети сигнализации равно сумме времени передачи и ожидания в очереди и составляет

$$t_{\text{мп}} = t_{\text{прож}} + \tau_{\text{мп}}. \quad (8)$$

Результаты моделирования

При выполнении CPN модели IN с помощью аппарата Design/CPN могут быть получены следующие характеристики работы сети:

- длины очередей к любому из узлов IN;
- значения времени ожидания заявок в каждой очереди;
- время ожидания пользователя при обслуживании запроса на услугу;
- доля потерянных вызовов (с учетом причины сбоя в обслуживании);
- характеристики потоков на различных участках сети (например, характеристики потока заявок к SDP или IP и т.п.) и др.

В качестве примера была рассмотрена IN, обслуживающая 1, 3, 5, 6 и 7 тысяч пользователей. При этом предполагалось, что производительность узла SCP позволяет обслуживать одновременно до 5 абонентов, и такой узел в исследуемой сети один. Во всех узлах IN, кроме узла SSP, применяется обслуживание с ожиданием, дисциплина обслуживания – FIFO. Вероятности всех возможных сбоев в обслуживании принимались равными 0,001. Потоки запросов на все услуги IN и не-IN вызовов – пуассоновские. Интенсивность поступления запросов на обычные телефонные вызовы соответствовала нагрузке 0,2 Эрл. при средней длительности разговора 180с. Средние значения интенсивности запросов и длительности разговора для пяти услуг IN (FPH, PRM, ACC, CCC, VOT) были приняты равными приведенным в [7] статистическим данным.

Результаты имитационного моделирования показали, что если узел SSP рассчитан на удельную нагрузку от абонента, равную 0,2 Эрл, т.е. из 1000 абонентов одновременно могут быть обслужены 200, то вследствие наличия запросов на дополнительные услуги IN около 5% абонентов будут получать отказ. Поэтому было принято, что SSP может одновременно обслужить до 25% общего числа абонентов. В этом случае вероятность отказа составила менее 0,01%. Полученные характеристики работы сети представлены на рис.4-5.

На рис.4 показано, как возрастает длина очереди L к узлу SCP по мере поступления запросов. Если количество абонентов, обслуживаемых сетью $N = 1000$, то очередь к SCP практически не образуется, и ее длина составляет не более 1-2 запросов. При увеличении числа абонентов, а следовательно, и интенсивности поступающей на SCP нагрузки, средняя длина очереди также увеличивается, и уже при $N = 6000$ начинает неограниченно возрастать. Результаты проведенных исследований показали, что даже при незначительной длине очереди существенно возрастает время ожидания обслуживания в SCP.

На рис. 5 представлены значения времени ожидания обслуживания для n -го запроса при количестве обслуживаемых сетью абонентов $N = 1000$ и $N = 3000$. Из полученных результатов видно, что несмотря на то, что длина очереди к узлу SCP в последнем случае не превышает 5, среднее время ожидания обслуживания составляет около 45,5с, а для отдельных запросов может возрастать до 10 мин, что является недопустимым, поэтому уже при $N = 3000$ необходимо увеличивать количество узлов SCP или их производительность.

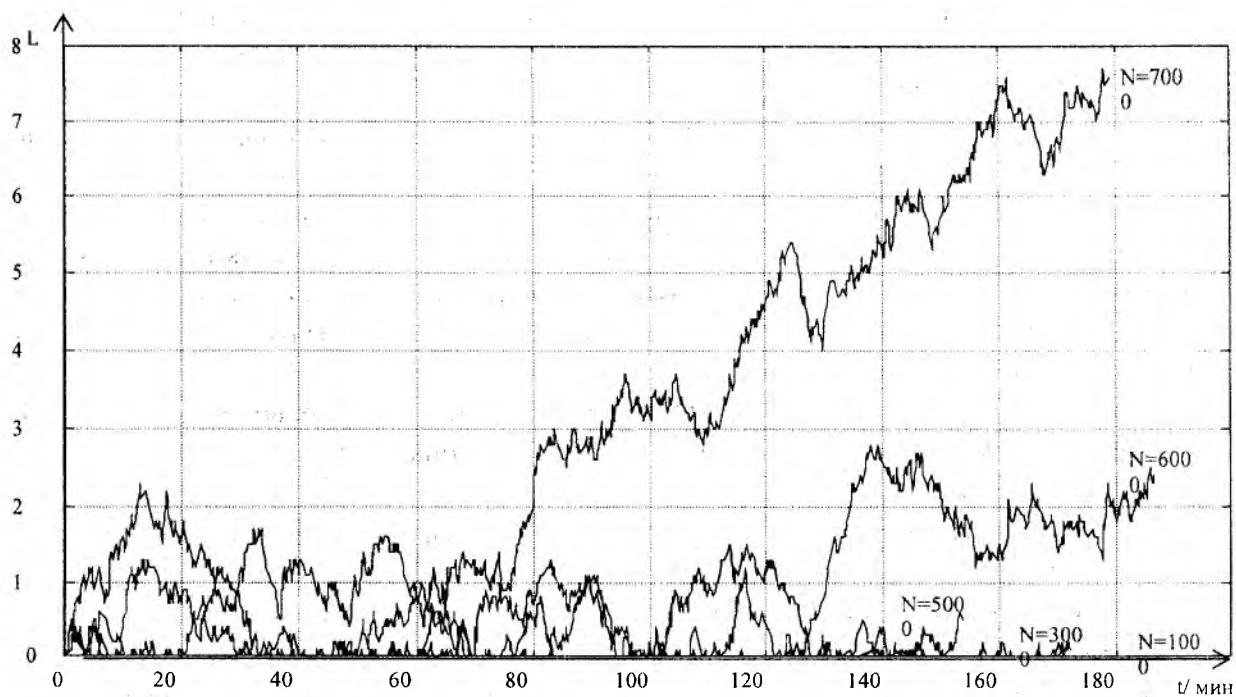


Рис. 4

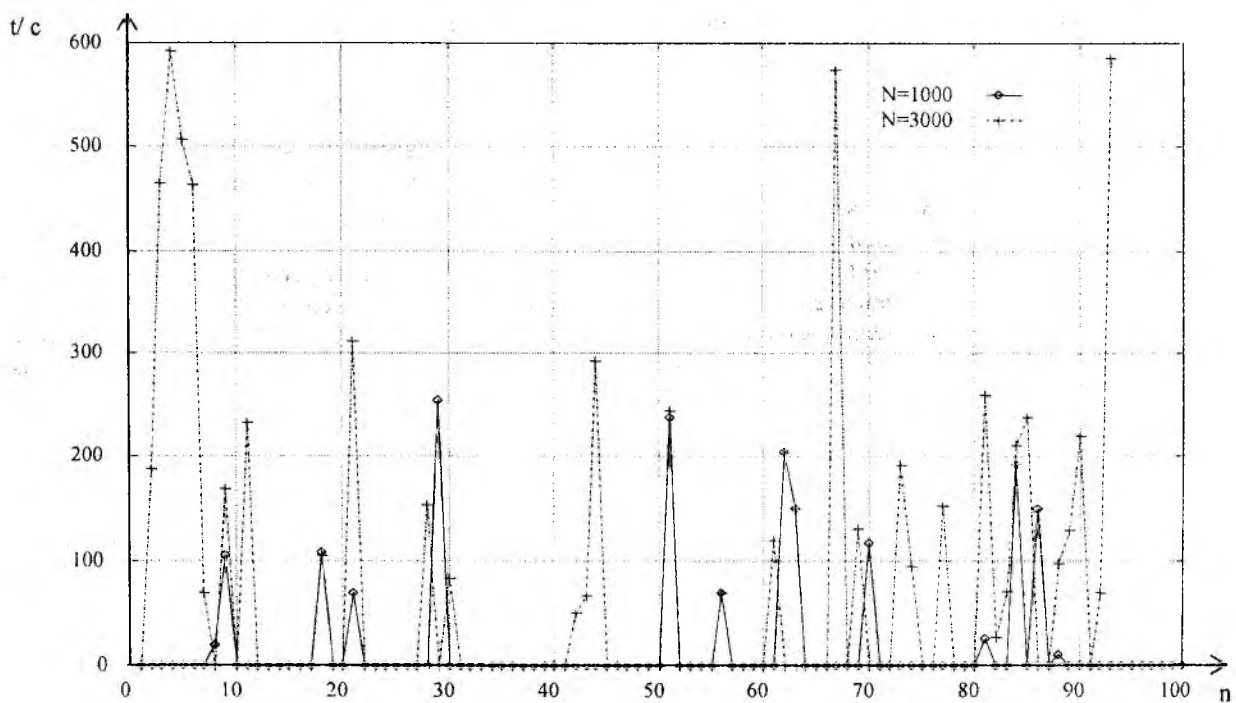


Рис. 5

Выводы

В статье обоснован выбор математического аппарата для моделирования IN и представлена разработанная модель. По сравнению с существующими на сегодняшний день она имеет ряд существенных преимуществ:

- при моделировании рассматривается работа всех наиболее важных компонентов IN (SSP, SCP, SDP, IP);
- учтены задержки на всех этапах обслуживания: при передаче сигнальных сообщений,

установлении соединений, взаимодействии с пользователем и т.п. По мере накопления статистических данных о работе реальных IN характеристики этих задержек можно изменять и уточнять путем описания необходимых функций и использования таких мощных средств, как стандартные функции распределения случайных величин;

- учтена вероятность возникновения таких ситуаций, как отказ оборудования, ошибки абонента или его отказ от обслуживания, занятость вызываемого абонента и т.п.;

- модель IN легко масштабируема, так как количество узлов задается начальной разметкой CPN и не изменяет ее структуру, что дает возможность анализа как небольших, так и широкомасштабных IN при минимальных усилиях на преобразование исходной модели;

- есть возможность анализа работы IN в различных ее конфигурациях путем незначительных структурных преобразований исходной модели;

- в модели рассмотрены 5 классов услуг, рекомендованных к первоочередному внедрению – FRN, PRM, ACC, CCC, VOT и при необходимости она может быть дополнена описаниями других услуг в виде новых CPN модулей;

- есть возможность большей детализации модели путем создания дополнительных CPN модулей, более подробно описывающих работу узлов IN или сети сигнализации;

- описанный подход можно использовать не только для анализа работы IN и качества обслуживания, но и для тестирования и верификации разрабатываемых услуг.

В дальнейшем планируется использование представленной модели для анализа работы различных методов управления нагрузкой IN, их оптимизации и разработки новых механизмов управления нагрузкой и предотвращения перегрузок в IN.

Список литературы: 1. *ITU-T. Recommendations Q.1200 – Q.1218. Helsinki, 1993.* 2. *Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Перле Р.Д. Интеллектуальные сети. М.: Радио и связь, 2000. 500 с.* 3. *Интеллектуальные сети связи / Б.Я. Лихтциндер, М.А. Кузякин, А.В. Росляков, С.М. Фомичев М.: Эко-Трендз, 2000. 206 с.* 4. *Kristensen L.M., Christensen S., Jensen K. The practitioner's guide to coloured Petri nets. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1998.* 5. *Gorg C., Guntermann M., Kleier S. Future systems for personal mobility services: design, performance evaluation and implementation // IEEE Journal on selected areas in communications. 1997. Vol. 15, No. 8.* 6. *Основы теории вычислительных систем: Учеб. пособие для вузов / Под ред. С.А. Майорова. М.: Высш. школа, 1978.* 7. *Характеристики нагрузки интеллектуальной сети / А.Е. Кучерявый, А.С. Миков, З.Б. Ревелова, А.И. Парамонов // Электросвязь. 2000. № 11. С.7 – 9.*

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 07.04.2004