

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЙ ТАРИФИКАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ СЕТЯМИ СВЯЗИ

Е. Н. Дроздова, С. А. Яковлев (Санкт-Петербург)

Постановка задачи исследования методом имитационного моделирования

В периоды повышенной нагрузки вызовы, поступающие от абонентов сети связи, получают отказ в случайном порядке, без разбору, независимо от степени важности и срочности каждого вызова. Это значит, что повышается вероятность малоценных и длительных вызовов, из-за которых не могут быть обслужены важные и срочные вызовы. Кроме того, увеличение числа отказов ведет к возникновению повторных вызовов, к еще большему росту поступающей нагрузки, к возникновению перегрузки и снижению качества обслуживания. Эти проблемы могут быть решены с помощью введения в управление сетью связи адаптивной тарификации (АТ). Принцип АТ заключается в назначении величины тарифа в зависимости от уровня нагрузки с оперативным информированием абонентов сети связи о величине тарифа.

Для исследования эффективности введения АТ в управление сетями связи необходимо построить имитационную модель процесса функционирования сети связи при АТ. Примем для моделирования следующие исходные данные: топологическая структура магистральной части сети типа сектор, состоящая из десяти узлов коммутации (УК); коммутация пакетов в режиме виртуального соединения; маршрутизация на основе метода рельефов; ограничение потоков на основе АТ; измерение и прогнозирование нагрузки и потерь в РМВ, на основе использования системы автоматов-счетчиков для измерения и метода экспоненциального сглаживания для прогнозирования; обнаружение перегрузки КСВ и УК сети; обнаружение перегрузки каналов связи (КСВ) и УК сети связи на основе использования адаптивно меняющихся порогов в зависимости от ситуации на сети и цели адаптации; обновление маршрутных таблиц (МТ) сети связи в РМВ на основе использования метода рельефов и ориентированное на совместную работу с АТ; обслуживание вызовов абонентов в сети связи на основе использования концепции АТ и стандартных процедур установления и разъединения соединений.

В качестве языка имитационного моделирования выберем GPSS (General Purpose Simulating System). В GPSS входят специальные средства для описания динамического поведения системы, меняющейся во времени, причем изменения состояний происходят в дискретные моменты времени.

База данных имитационной модели процесса функционирования сети связи при АТ

Для решения поставленной задачи необходимо в первую очередь разработать базу данных имитационной модели, которая послужит фундаментом для построения модели обслуживания вызовов абонентов в сети связи и модели формирования, обмена служебной информацией и принятия решений в РМВ по управлению функционированием сети связи. База данных состоит из восьми матриц. Рассмотрим каждую из матриц отдельно.

Для топологической структуры магистральной части сети типа сектор формируется рельеф сети, который заносится в матрицу M_{tab} . Каждый сегмент матрицы, состоящий из десяти строк, соответствует одному из узлов сети. Такое построение базы данных рельефа вызвано особенностью моделирования на GPSS – невозможностью косвенной адресации по номерам матриц рельефов УК, когда номера занесены в параметры транзактов. Обращение к матрице рельефов основывается на вычислении номера строки, соответствующего требуемому УК.

Матрица рельефов сети является основой для построения матрицы оптимальных маршрутов M_{opt} на каждом УК. Каждая строка матрицы соответствует одному из УК, а каждая пара столбцов – одному из УК-назначения. Пара элементов строки M_{opt} включает номер следующего УК и статус перегрузки оптимального ИКС, который определяет величину тарифа, действующего на данном маршруте. M_{opt} формируется в начальный момент пуска сети: осуществляется поиск минимального элемента в каждой строке M_{tab} , который заносится в соответствующее место M_{opt} . Обращение к M_{opt} основывается на определении номера текущего УК и номера УК назначения. M_{opt} служит фундаментом для построения модели обслуживания вызовов абонентов в сети связи.

В процессе обслуживания вызовов пользователей в сети связи возникает проблема накопления информации о числе установленных соединений, разъединений и т.д. Для этой цели можно предусмотреть специальную матрицу с именем M_{abt} , в которую заносились бы результаты измерений в РМВ.

Матрица наблюдений служит основой для определения матрицы прогнозов M_{prz} , которая формируется в процессе обновления информации о сети. Число строк M_{prz} соответствует числу строк M_{abt} . Матрица M_{prz} является основой для разработки имитационной модели обновления информации о сети для принятия решений по управлению сетью связи в РМВ.

Матрица порогов M_{prg} формируется в начальный момент пуска модели сети и может корректироваться в процессе обновления информации о сети. Матрица имеет три столбца, каждый из которых определяет текущее значение прямых (обратных) порогов для каждого канала. Матрица M_{prg} служит для определения текущих статусов перегрузки на ИКС.

Матрица M_{kor} , состоящая из векторов коррекции рельефа сети, заполняется в процессе формирования служебной информации на текущих УК для передачи ее соседним УК. Число строк матрицы определяется числом УК. Число столбцов соответствует десяти УК-назначения плюс один столбец для фиксирования статуса перегрузки текущего УК.

Матрица M_{sod} служит для фиксирования текущего содержимого буферов перед каждым каналом, содержит одну строку и тридцать столбцов и формируется в процессе функционирования сети.

Матрица M_{otr} предназначена для накопления статистических данных о работе сети. В частности, она содержит информацию о числе вызовов, обслуженных по повышенному тарифу, которая затем используется для определения критерия эффективности введения АТ в сеть связи.

Таким образом, разработана база данных для построения имитационной модели процесса обслуживания вызовов пользователей в сети связи и имитационной модели обновления информации о сети для принятия решений по управлению сетью связи в РМВ.

Имитационная модель процесса обслуживания вызовов абонентов в сетях связи при АТ

Имитационная модель процесса обслуживания вызовов абонентов в сети связи при АТ состоит из шести основных модулей, обращающихся к матрицам базы данных модели. Рассмотрим каждый из модулей отдельно.

Модуль ГЕНЕРАЦИЯ ВХОДНЫХ ПОТОКОВ служит для введения в модель транзактов, имитирующих вызовы абонента. Для простоты рассмотрим три типа вызовов: речь, данные и видео. Речь занимает в общем трафике объем, примерно равный 59%, данные – 21%, видео – 20%. Время между поступлением вызовов распределено по экспоненциальному закону. Параметрам транзактов присваиваются определенные значения: P1 – номер УК-назначения, P2 – номер УК-источника, P3 – приоритет вызова, P4 – вид связи, P5 – ценность вызова для абонента. Вызовы генерируются в блоке GENERATE, а затем копируются в блоке SPLIT, что означает поступление вызовов в сеть на девяти УК. Разницу во временах генерации вызовов имитирует блок ADVANCE. В качестве временной единицы для моделирования примем 10 с. Тогда, если интенсивность поступления вызовов равна 0,5 Эрл, то средний интервал времени поступления вызовов на передачу речи в сеть равен 3 временным единицам, а средняя задержка в блоке ADVANCE для остальных вызовов соответствует двум временным единицам. При этом через каждые 5 единиц модельного времени генерируется примерно 27 вызовов в сети.

Модуль ПОСТУПЛЕНИЕ ВЫЗОВОВ АБОНЕНТОВ В СЕТЬ реализуется на основе вероятностных характеристик процесса принятия решения абонентом, которые могут быть представлены в имитационной модели с помощью оператора языка GPSS – FUNCTION. Ценность вызова определяется дискретной числовой функцией, в качестве аргумента которой используется случайное число RNj со значениями, равномерно распределенными в интервале [0;1]. В качестве значений ценности вызовов примем числа 1.0, 1.5, 2.0, причем ценность, равная 1.0, является преобладающей. Значение ценности заносится в параметр P5 транзакта-вызова. Эти вероятностные характеристики моделируются операторами FUNCTION с аргументами RNj. Тогда при поступлении вызова абонента на УК-источник при повышенном тарифе на оптимальном маршруте проверяется отношение ценности вызова к действующему тарифу. Если это отношение больше или равно 1, то параметру P11 присваивается 1, и вызов поступает в УК на обслуживание. В противном случае анализируются вероятностные характеристики процесса принятия решения абонентом. В результате анализа вызов либо обслуживается по повышенному тарифу, либо переносится на более поздний период, либо удаляется из сети совсем в блоке TERMINATE. Блок LINK служит для имитации переноса вызова. Этот блок называется списком пользователя и позволяет удалять сообщения из списков текущих событий и переводить их во временно не активное состояние. Впоследствии (при снятии повышенного тарифа с маршрута) эти сообщения возвращаются в список текущих событий.

Модуль МАРШРУТИЗАЦИЯ служит для нахождения в матрице M_{opt} номера следующего УК, соответствующего УК-назначения и для определения номера ИКС в прямом и обратном направлениях.

Модуль ПОСТУПЛЕНИЕ ВЫЗОВОВ В КАНАЛ СВЯЗИ служит для резервирования канальных ресурсов для вызовов пользователей. Модуль обращается к базе данных модели: матрицам M_{abt} и M_{sod} . Реализуется проверка возможности установления соединения с помощью анализа текущего числа обслуживаемых вызовов и доступных канальных ресурсов. В случае возможности ожидания освобождения ресурсов вызовы помещаются в список пользователя (из которого осуществляется вывод после разъединения соответствующего соединения), а содержимое соответствующей позиции матрицы M_{sod} наращивается на единицу. В матрице наблюдений M_{abt} при установлении соединения фиксируются все необходимые данные для дальнейшего прогноза на шаг вперед. Маршрут записывается в параметры транзакта-вызова (номера ИКС в прямом и обратном направлениях). В случае невозможности установить соединение вызовы получают отказ в обслуживании, при этом накапливается статистика об отказах в матрице M_{abt} , и

транзакт-вызов направляется в модуль разъединения установленных соединений. В случае положительного исхода процесса установления соединения транзакт-вызов направляется к следующему УК. При этом временем передачи по каналу пренебрегаем, так как временная единица намного его превосходит.

Модуль СЕАНС СВЯЗИ служит для имитации процесса обслуживания установленного соединения. При поступлении вызова в УК сравниваются номера УК-назначения и УК-текущего. В случае их равенства транзакт-вызов направляется в модуль сеанса связи. Для моделирования неисправности оборудования воспользуемся следующим приемом. С помощью дискретной числовой функции с аргументом RN_j определим вероятность разрушения соединения из-за отказа канала связи на маршруте. Вероятность разрушения установленного соединения примем равной 0.01. Если соединение будет разрушено, то вызов обслуживается некоторое случайное время, распределенное по экспоненциальному закону со средним значением, например, 100 секунд, а затем имитируется отказ ИКС на маршруте на УК-источнике. При этом накапливается статистика об отказах в матрице M_{prz} и вносятся изменения в матрицу M_{abt} , соответствующие разъединению соединения. Далее имитируется задержка на восстановление отказавшего канала в блоке ADVANCE. После восстановления канала изменяются соответствующие значения матрицы M_{prz} и для режима КП дается возможность вывода из списков пользователей транзактов, ожидающих освобождения канальных ресурсов. После этого транзакт-вызов уничтожается.

Модуль РАЗЪЕДИНЕНИЕ УСТАНОВЛЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ обращается к матрицам M_{abt} и M_{sod} и использует параметры транзактов-вызовов для определения номеров освобождаемых ИКС.

Таким образом, разработана имитационная модель процесса обслуживания вызовов пользователей в сети связи при АТ.

Имитационная модель процесса принятия решений по управлению функционированием сети связи в реальном масштабе времени при АТ

Имитационная модель процесса принятия решений по управлению функционированием сети связи в РМВ состоит из шести основных модулей, обращающихся к семи матрицам базы данных модели. Рассмотрим каждый из модулей отдельно.

Модуль ПРОГНОЗИРОВАНИЕ обращается к матрицам наблюдений M_{abt} и прогнозов M_{prz} . Текущие значения измеряемых величин находятся в матрице M_{abt} , а соответствующие им прогнозируемые значения предыдущего шага хранятся в матрице M_{prz} . Вычисления прогнозов на шаг вперед производятся с помощью арифметических переменных с плавающей точкой, описываемых оператором FVARIABLE. Новые значения прогнозов записываются в матрицу M_{prz} на место предыдущих значений.

Модуль УСТАНОВКА ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ обращается к матрице базы данных модели M_{prg} . Модуль реализует процедуру установки порогов. Эта процедура повторяется для всех ИКС сети.

Модуль НАЗНАЧЕНИЕ СТАТУСОВ ПЕРЕГРУЗКИ обращается к матрицам M_{prz} и M_{prg} . Значения порогов записываются в параметры P3, P4, P5 служебного транзакта с помощью блока ASSIGN. Сравнение прогнозируемого значения числа обслуживаемых вызовов на канале и пороговой величины осуществляется в блоке TEST. Результатом сравнений может быть изменение статуса перегрузки канала на шаг вперед. Новый статус заносится в матрицу M_{prz} , в столбец шесть, с помощью блока MSAVEVALUE. Статусы пе-

регрузки предыдущего шага сохраняются в столбце семь. Процедура установки порогов повторяется для всех ИКС сети.

Модуль ФОРМИРОВАНИЕ ВЕКТОРОВ КОРРЕКЦИИ РЕЛЬЕФА СЕТИ обращается к матрице M_{tab} при поиске минимальных элементов в строке, к матрице M_{prz} при проверке статусов перегрузки КСВ и УК и матрице V_{kor} при записи в нее оптимальных значений матрицы рельефов и статуса перегрузки текущего УК. Матрица V_{kor} является результатом работы модуля. В ней сосредоточены вектора коррекции рельефа сети для всех УК.

Модуль ОБНОВЛЕНИЕ МАРШРУТНЫХ ТАБЛИЦ обращается к матрицам базы данных модели M_{tab} , M_{prz} , M_{kor} . Модуль осуществляет обработку служебной информации о маршрутах и статусах перегрузки УК, содержащейся в матрице M_{kor} . Модуль использует дискретные числовые функции для определения количества ИКС для каждого УК, номеров ИКС, номеров строк M_{kor} и M_{tab} . Аргументами функций являются параметры служебного транзакта.

Модуль ФОРМИРОВАНИЕ МАТРИЦЫ ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ обращается к матрицам M_{prz} , M_{kor} , M_{tab} , и M_{opt} . Модуль использует дискретные числовые функции для определения номеров строк матриц M_{prz} , M_{kor} , M_{tab} , номеров ИКС и количества ИКС для каждого УК. Модуль осуществляет окончательное назначение статусов перегрузки на ИКС, поиск минимальных элементов в строках матрицы M_{kor} и занесение необходимой информации о маршрутах и тарифах (статусах перегрузки) в M_{opt} . Таким образом, результатом работы модуля и всей имитационной модели процесса принятия решений по управлению функционированием сети связи в РМВ является матрица оптимальных маршрутов и тарифов на них на шаг вперед.

Результаты моделирования и выводы

На основе разработанной имитационной модели процесса функционирования сети при АТ проведены серии имитационных экспериментов. Исследования проводились для четырех значений относительного превышения тарифа и четырех значений интенсивности поступления вызовов абонентов в сеть связи для трех моделей входного трафика. Значения относительного превышения тарифа приняты 0.5, 1.0, 1.5, 2.0. Интенсивность входной нагрузки принята 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 выз/с.

Результаты имитационного моделирования позволяют сделать следующие выводы: при введении АТ в систему управления сетью связи максимум экономического эффекта достигается при превышении тарифа в два раза; АТ эффективна в области средних значений интенсивности входной нагрузки; максимальная средняя интенсивность графика, обслуживаемого по повышенному тарифу, составляет примерно 0.127 выз/с (при достоверности 0.95 и точности 0.022), что соответствует дополнительному тарифному доходу администрации сети, примерно равному 12.7%.

Таким образом, разработанная имитационная модель процесса функционирования сети при АТ показала, что использование языка GPSS не только гарантирует предоставление необходимых для моделирования подобных процессов программных средств, но и позволяет построить модели адекватными и лаконичными, что делает GPSS более пригодным для моделирования такого класса систем, чем любой другой процедурный язык программирования.