

Д. В. АГЕЕВ

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

При проектировании сети передачи данных, после синтеза варианта структуры сети, возникает необходимость в проверке соответствия ее характеристик параметрам, заложенным в задании на проектирование. На практике для такой проверки чаще всего используется метод имитационного моделирования на ЭВМ.

Имитационное моделирование позволяет рассматривать процессы, происходящие в системе, практически при любом уровне детализации. В имитационной модели можно реализовать практически любой алгоритм поведения системы. Кроме того, модели, которые допускают исследование аналитическими методами, также могут анализироваться имитационными методами. Поэтому методы имитационного моделирования становятся основными методами исследования сложных систем.

Ниже предложена структура имитационной модели сети передачи данных, описаны частные модели объектов, составляющих модель сети, произведено сравнение имитационной модели с аналитической моделью, построенной с использованием теории массового обслуживания.

Синтез структуры имитационной модели сети передачи данных. Исходя из анализа процесса передачи пакетов данных через сеть, можно при создании имитационной модели выделить следующие функциональные элементы: источник данных, узел коммутации (узел сети), канал связи, пакет данных, модуль сетевого управления, модуль внешнего воздействия на сеть.

Источник данных позволяет моделировать процесс поступления данных для передачи их через сеть. Тем самым обеспечивается моделирование решения прикладных задач в узле-отправителе и узле-получателе. Источник данных непосредственно связан с узлом коммутации.

Узел коммутации позволяет моделировать работу узлов сети, обеспечивающих перенаправление пакетов данных, которые поступают на обработку непосредственно от источника данных или через канал связи от соседнего узла.

Канал связи моделирует передачу пакетов. Предусматривается и моделирование задержки пакетов данных, связанной с ограниченной пропускной способностью канала и конечностью скорости распространения сигнала в линии связи, а также моделирование потери пакетов, связанной с их искажением. Каналы связи соединяют между собой узлы коммутации.

Пакет данных представляет собой определенный объем данных, вместе передаваемых через сеть. В модели он задается идентификационным заголовком, содержащим необходимую информацию для его обработки в узлах сети, и длиной пакета, моделирующей наличие данных в нем.

Модуль сетевого управления позволяет моделировать процессы управления в сети, включая обмен служебными пакетами с информацией, необходимой для работы сети. Модуль сетевого управления связан с узлом коммутации и для него является источником пакетов со служебной информацией, передаваемой через сеть к другим узлам.

Модуль внешнего воздействия на сеть необходим для моделирования процесса внешнего воздействия, например выхода из строя и восстановления работоспособности узлов сети и каналов связи. Моделирование осуществляется посредством посылки элементам модели сигналов управления.

Сеть передачи данных содержит большое количество составных элементов, и процессы в различных ее частях могут протекать независимо и параллельно. С учетом этого при переходе к описанной выше модели примем следующие предпосылки:

- текущее состояние системы является комбинацией состояний ее составных элементов и может быть представлено в виде вектора состояний ее отдельных элементов $S_i = (s_{1i}, s_{2i}, \dots, s_{ki})$; в свою очередь, текущее состояние отдельного элемента может быть представлено в виде вектора значений отдельных его параметров, $s_{mi} = (p_{1m}, p_{2m}, \dots, p_{lm})$;
- процессы, которые протекают в пределах элемента системы, протекают в нем последовательно, т.е. в пределах элемента отсутствуют параллельные процессы;
- изменение состояния отдельного элемента является элементарным событием;
- вероятность возникновения в системе одновременно двух независимых элементарных событий равна нулю.

Описанная модель на практике может быть реализована в виде событийно управляемой имитационной модели [1; 2]. В такой модели каждый элемент рассчитывает предположительное время возникновения элементарных событий, изменяющих его состояния. Эти события, с указанием модельного времени возникновения каждого из них, ставятся в очередь событий модели в ранжированном по времени порядке. Позже менеджер событий модели извлекает из начала очереди информацию о событии с наименьшим значением модельного времени, переводит часы модели на время, соответствующее данному событию, и посылает сигнал элементу о необходимости изменения его состояния.

Моделирование работы канала связи. Каналы связи в модели принимаются симплексными, позволяющими передавать пакеты только в одном направлении, и характеризуются такими параметрами: пропускной способностью канала связи c (кбит/с), скоростью распространения электромагнитной энергии в линии связи $v_{л.с}$ (10^8 м/с), длиной линии связи $L_{л.с}$ (м), параметрами процесса потери пакетов.

Моделируются следующие процессы, происходящие при передаче пакета через канал связи между смежными узлами:

- задержка пакета, которая связана с ограниченной пропускной способностью канала и определяется как $T_3 = L_{л.с} / c$, где $L_{л.с}$ – длина передаваемого пакета данных;
- задержка распространения электромагнитной энергии в линии связи, которую можно определить как $T_p = L_{л.с} / v_{л.с}$;
- процесс потери пакетов во время передачи их по каналу связи;
- процесс выхода из строя канала и линии связи.

Структура модели канала связи представлена на рис. 1.

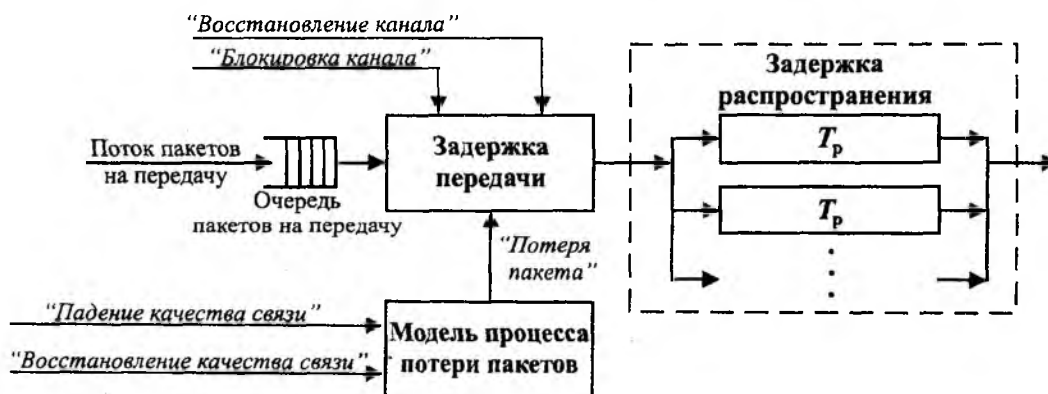


Рис. 1

Опишем работу модели. Пакеты, поступающие на передачу по каналу связи, попадают в модуль задержки передачи, который их задерживает на время T_3 . Тем самым моделируется задержка, связанная с ограниченной пропускной способностью канала. Если данный модуль занят, пакеты ставятся в очередь. По прошествии времени T_3 пакет с выхода модуля задержки передачи поступает на свободный модуль задержки распространения, моделирующий задержку распространения электромагнитной энергии в линии связи, где он задерживается

на время T_p . В предлагаемой модели количество модулей задержки распространения принимается неограниченным, но фактически требуемое количество модулей можно найти из выражения

$$N_{з.р} \leq \frac{T_p}{T_з} = \frac{L_{л.с}c}{L_{п}^{мин}v_{лс}}$$

где $L_{п}^{мин}$ – минимальная длина пакета, передаваемая через канал связи.

После освобождения модуль задержки передачи выбирает очередной пакет из очереди и начинает его обработку.

Подачей сигнала «Блокировка канала» можно заблокировать канал. В этом случае процесс передачи прекращается. При подаче сигнала «Восстановление канала» модуль задержки передачи восстанавливает свою работоспособность и начинает извлекать пакеты из очереди и обрабатывать их. Подачей сигналов «Блокировка канала» и «Восстановление канала» моделируются процессы обрыва и восстановления связи между смежными узлами сети.

При подаче сигнала «Потеря пакета» пакет, находящийся на обслуживании, помечается как поврежденный и по прошествии времени передачи сбрасывается. Тем самым моделируется процесс потери пакетов из-за искажения их во время передачи по каналам связи. Подачей сигналов «Падение качества связи» и «Восстановление качества связи» можно регулировать интенсивность процесса потери пакетов, моделируя тем самым временное ухудшение качества связи, например при использовании каналов радиосвязи.

Для моделирования дуплексного канала связи используется два параллельных симплексных канала, передающих пакеты в противоположные стороны. При этом для моделирования обрыва и восстановления линии связи сигналы блокировки и восстановления подаются одновременно на оба канала.

В случае моделирования полудуплексного канала связи модель отличается от предыдущей тем, что в ней симплексные каналы связи могут использоваться поочередно. Структура модели такого канала представлена на рис. 2.

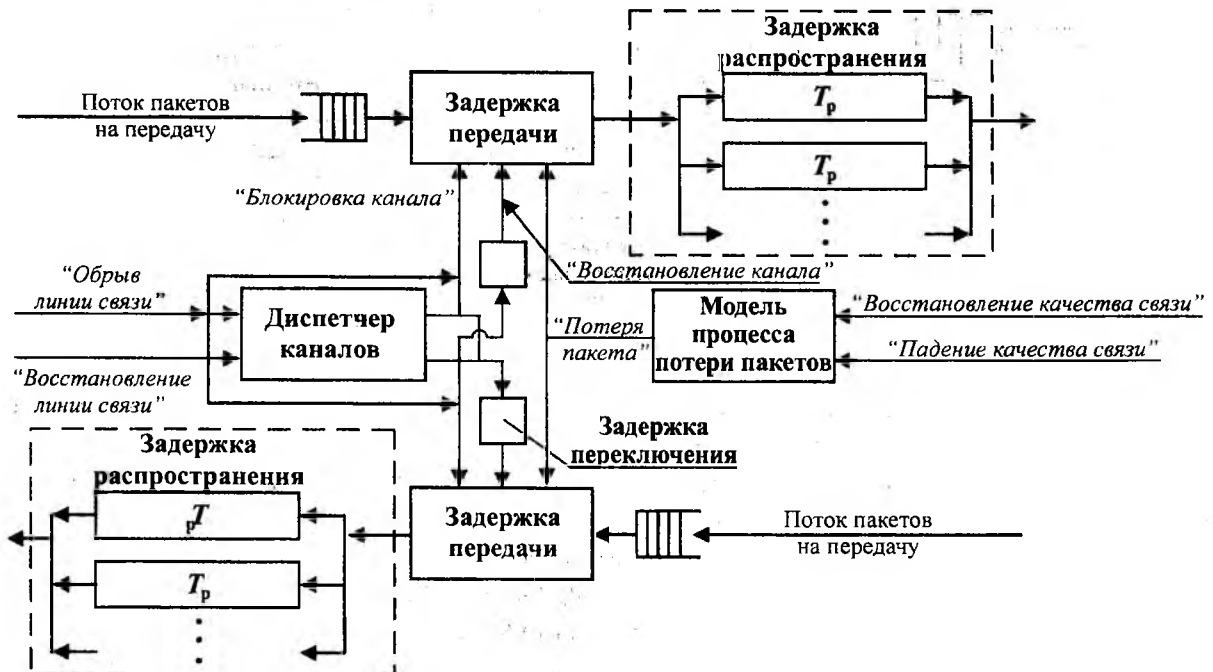


Рис. 2

В этом случае, как и при дуплексном канале связи, используется два параллельных симплексных канала. Для реализации поочередной работы каналов в модель вводится «Диспетчер каналов», моделирующий работу устройства управления изменением направлений

передачи в реальных системах. Сигнал включения прямого (обратного) канала, выдаваемый «Диспетчером каналов», подается на вход блокирования обратного (прямого) канала, вызывая его немедленную блокировку. Параллельно тот же сигнал через модуль «Задержка переключения» подается на вход восстановления прямого (обратного) канала, вызывая восстановление работоспособности канала связи с небольшой задержкой. Тем самым моделируются затраты времени на изменение направления передачи.

Для моделирования обрыва связи соответствующий сигнал подается одновременно на оба канала, тем самым блокируя их, и на «Диспетчер каналов», останавливая его работу. При восстановлении связи сигнал об этом подается на «Диспетчер каналов». Последний вырабатывает сигнал переключения, активируя один из каналов передачи. Сигнал «Потеря пакета» подается одновременно на оба канала, вызывая срабатывание лишь активного канала, поскольку заблокированный канал на данный сигнал не реагирует.

Моделирование работы узла коммутации. Узел коммутации моделирует процесс коммутации поступающего в него пакета данных в направлении, определяемом таблицей маршрутизации (осуществляется стратегия фиксированной маршрутизации).

При реализации процедуры маршрутизации вводятся понятия «направление передачи» и «идентификатор маршрута» [3]. Под «направлением передачи» понимается множество объектов, реализующих моделирование передачи информации с различными условиями передачи, например спутниковые и наземные каналы. Под «идентификатором маршрута» принимается идентификатор, используемый для определения направления дальнейшей передачи в узлах коммутации. Идентификатор маршрута содержится в соответствующих полях пакета данных для обслуживания прямого (отправитель – получатель) и обратного (получатель – отправитель) направлений между конечными узлами в сети.

Структура модели узла коммутации представлена на рис. 3.



Рис. 3

Пакеты, поступающие на узел коммутации от источника сообщений или от предшествующего узла сети, помещаются в очередь. Позже модуль классификации адреса извлекает пакеты из очереди и начинает их обработку в узле. В модуле классификации адреса из заголовка пакета считывается поле идентификатора маршрута и определяется, является ли данный узел конечным узлом в маршруте или транзитным. В первом случае пакет направляется в модуль классификации номера порта, во втором – в модуль коммутации. Кроме этого, в модуле классификации адреса происходит задержка пакета на время T_k , чем моделируется задержка обработки пакета в узле коммутации. Продолжительность задержки можно найти из выражения $T_k = L_n t_n + t_k$, т.е. она принимается равной сумме двух составляющих: переменной, зависящей от длины обрабатываемого пакета, – $L_n t_n$ и постоянной величины t_k .

В модуле классификации номера порта из заголовка пакета считывается значение поля «Номер порта» и устанавливается, для какого из подключенных к узлу коммутации потребителей предназначен этот пакет, после чего пакет направляется потребителю.

При обработке пакета в модуле коммутации определяют маршрут его дальнейшего движения по сети. Для этого из заголовка пакета считывается поле идентификатора маршрута и в таблице маршрутизации отыскивается строка с таким же идентификатором. После этого просматриваются колонки выбранной строки. Если в колонке установлена единица, копия пакета посылается в направлении передачи, соответствующем данной колонке. Если же установлено значение, отличное от нуля, но меньше единицы, пакет посылается в соответствии со стратегией относительных частот [4].

Когда пакет поступает в направлении передачи без учета приоритетов в порядке обслуживания, ищется свободный канал и пакет ставится на обслуживание. Если свободный канал не найден, пакет ставится в очередь; при отсутствии буферного запоминающего устройства или при его переполнении пакет сбрасывается.

При поступлении пакета на обработку в блок доступа с учетом приоритетов происходит поиск свободного канала или занятого обслуживанием пакета, который может быть вытеснен согласно приоритету в порядке обслуживания, заданному списком просмотра. В случае удачного исхода пакет, обслуживаемый в найденном канале, вытесняется и на обслуживание каналу передается пакет, требующий немедленной обработки, а вытесненный пакет обрабатывается как пакет, получивший отказ в немедленном обслуживании (он блокируется или ставится в соответствующую очередь).

Обслуживание с учетом приоритетов в порядке обслуживания реализуется следующим образом. Для каждого приоритетного класса нагрузки создается запись, регламентирующая порядок занятия линий и вытеснения других классов нагрузок, перед которыми данный класс имеет абсолютный приоритет, а также действия с нагрузкой в случае отказа в немедленном обслуживании (блокировка пакета, постановка в очередь на обслуживание). Для каждого типа линий задается порядок обслуживания очередей.

При моделировании сетей передачи данных, которые используют стратегии маршрутизации, ориентированные на виртуальный канал (с предварительной установкой соединения) или режим дейтаграмм с динамической (адаптивной к изменению потоков и топологии) стратегией маршрутизации, функция выбора направления дальнейшей передачи возлагается на объект «Маршрутизатор». Кроме определения направления передачи, на маршрутизатор возлагается функция селекции пакетов при стратегии маршрутизации «лавина» и при распространении служебной информации.

Исследование имитационной модели сети передачи данных. При анализе конкретной имитационной модели рассматривались следующие вероятностно-временные характеристики: среднее время задержки, средняя загруженность линии при пропорциональном изменении интенсивности входных потоков для всех пар отправитель – получатель.

Исходные данные для моделирования получены с помощью программы синтеза структуры сети. Данная программа использует модифицированный метод М-структур [5]. Результаты моделирования сохранялись в текстовом файле для последующей обработки результатов с помощью программы статистической обработки **Equation Grapher v. 3.2**.

При исследовании модели использованы значения пропускной способности канала, рассчитанной посредством процедуры выбора пропускных способностей каналов [6] для трех значений ограничения на среднее время задержки: 1,0; 0,1; 0,01 с. Для исследования модели и расчета пропускных способностей каналов длина пакета принималась равной 4096 бит (512 октетов). В качестве значений входных потоков между парами отправитель – получатель брались 0,1; 0,5; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 2,0; 3,0 относительно значения номинального потока, заданного в условии. Для каждой точки исследуемых зависимостей производился трехкратный запуск модели с последующим усреднением результатов.

В итоге моделирования найдены зависимости среднего времени задержки T_{cp} от относительного изменения входного потока h/h_0 для всех пар отправитель – получатель. На рис. 4 результаты моделирования (обозначены символами) сравниваются с зависимостями, полученными с помощью аналитической модели (показаны сплошными линиями). Среднее время задержки можно найти по формуле

$$T_{cp} = \frac{1}{h_{\Sigma}} \sum_{(i,j)} f_{ij} \frac{1}{\mu_{ij} - \lambda_{ij}},$$

где h_{Σ} – суммарное значение входного потока; f_{ij} – трафик в канале (i,j) ; $1/\mu$ – длина пакета; λ_{ij} – интенсивность поступления пакета на передачу по каналу (i,j) .

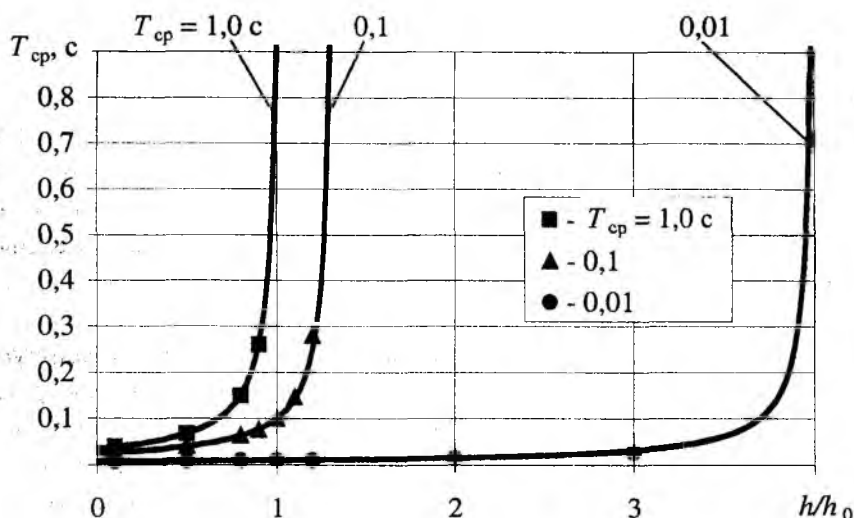


Рис. 4

Как видно из сопоставления, результаты совпадают, что позволяет сделать предположение об адекватности имитационной модели.

Таким образом, предложенная имитационная модель сети передачи данных позволяет проводить исследование вероятностно-временных характеристик функционирования сети на сетевом уровне.

Список литературы: 1. Mikler A.R. An Object-Oriented Approach to Modeling and Simulation of Routing in Large Communication Networks / A.R. Mikler, J.S.K. Wong, V.G. Honavar // Techn. rep. of Iowa State Univ. Dep. of Computer Science. 1995. ISU CS-TR 95-9. P. 66–97. 2. Fall K. The VINT Project. LBL. USC/ISI and Xerox PARC. K. Fall, K. Varadhan. Berkeley, 2001. 352 p. Web: <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/>. 3. Агеев Д.В. Имитационная модель СПД КП для исследования ВВХ сети / Д.В. Агеев, М.Ю. Ощепков // 3-й Междунар. форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке»: Докл. X., 1999. С. 81–84. 4. Протоколы информационно-вычислительных сетей: Справ. / С.А. Аничкин, С.А. Белов, А.В. Бернштейн и др.; Под ред. И.А. Мизина, А.П. Кулешова. М. Радио и связь, 1990. 502 с. 5. Агеев Д.В. Модернизированная методика синтеза начальной структуры транспортной сети передачи данных // Сб. науч. тр. Укр. науч.-исслед. ин-та радио и телевидения (УНИИРТ). Одесса 2001. С. 42–47. 6. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1981. 336 с.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 02.08.2002