

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОДВИЖНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

И. А. Кулешов, А. Г. Расчесова, Н. В. Львова (Санкт-Петербург)

Подвижные сети связи общего и особенно военного назначения являются сложными техническими системами, подвержены внешним воздействиям, и их процесс функционирования имеет стохастический характер. Их состав может изменяться в зависимости от обстановки, решаемых задач, наличия сил и средств связи, условий развертывания и функционирования. Актуальным является исследование свойств подвижных сетей связи при повреждениях и различных воздействиях.

Сложность задач исследования современных подвижных сетей, уровень развития методов математического моделирования сложных систем, уровень производительности вычислительной техники и уровень развития программных средств моделирования вызывают потребность в использовании метода гибридного моделирования, основанного на Марковских моделях, формулах Эрланга и имитационных моделях.

Современные сети подвижной связи представляют собой мультисервисные сети и основываются на концепции сетей следующего поколения (NGN), характеризующихся предоставлением пользователям широкого набора услуг, гарантированным качеством обслуживания, использованием единого канала для разных типов трафика, возможностью обеспечения специальных требований сетей военной связи [1].

Для исследования подвижной сети связи на технологии TCP/IP разработана гибридная модель направления связи, включающая следующие модели:

- обобщенная модель процесса передачи сообщений по сквозному тракту на технологии TCP/IP;
- аналитическая модель сквозного тракта и его элементов на теории систем массового обслуживания [2];
- имитационная модель фрагмента сети подвижной связи, позволяющая учесть взаимные влияния процессов.

Основой этих моделей стала концептуальная модель сети связи на технологии TCP/IP для отдельного направления связи, разработанная в соответствии со спецификациями протоколов. Концептуальная модель включает абонентские станции (АС), базовые станции (БС) для групп АС, узлы доступа (УД) для обеспечения ввода информации в магистральные узлы связи (МУС).

В состав УД входят маршрутизатор на технологии TCP/IP и серверы служб. В магистральной сети подвижной связи между МУС предусматриваются тропосферные линии связи, по которым обеспечивается передача цифрового потока Е1.

Направление связи представляет собой совокупность узлов и линий связи, образованных различными средствами. Для некоторого интервала стационарности имеем определенную совокупность сложившихся сквозных трактов направлений связи.

Взаимодействие между сквозными трактами происходит в функциональных модулях маршрутизации АС, БС, УД и МУС, в которые поступают суммарные потоки данных сообщений различных направлений связи.

Функциональная модель сквозного тракта основана на логическом отделении средств переноса информации от устройств маршрутизации и коммутации, а также от средств прикладных служб обеспечения сервиса и включает модули пользовательских уровней в АС; модули маршрутизации, коммутации и адаптации (ММКА) в БС, УД и МУС и каналные соединения (КС) между этими модулями.

Введена степень предпочтительности канальных соединений в сквозных трактах в соответствии с параметрами их нагрузочных способностей.

Принято, что при нормальном состоянии $R1$ (вероятность состояния P_{R1}) маршрутизатор БС выбирает канальное соединение к маршрутизатору УД, устанавливает с

ним сетевое соединение и передает обслуженный поток $\lambda_{BC_{вых}}$. Суммарное время оценки данного состояния и принятия решения системой управления обозначим как длительность цикла управления $T_{ЦУ}$. Время обработки дейтаграмм передаваемого сообщения $T_{УД}$ зависит от интенсивности суммарного трафика, поступающего в УД от всех БС.

Множество возможных состояний при оценке системы связи в БС определяется текущей структурой системы связи. Предполагается, что если дейтаграммы не могут быть переданы в УД по ОК, то возможна их передача по РРЛ (состояние $R2$) или обход участка системы связи на МУС (состояние $R3$). Вероятности этих состояний обозначим как P_{R2} и P_{R3} : $P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = 1$.

Системе связи свойственна высокая динамичность изменения состояния из-за структурных изменений и перепадов информационной нагрузки. Поэтому в БС для выбора канального соединения необходимо принятие решения функциональными модулями управления (агент/менеджер) БС и УД. В качестве основного показателя процесса управления принята длительность цикла управления – обозначим ее для рассматриваемых состояний как $T_{ЦУR2}$ и $T_{ЦУR3}$.

В состояниях $R2$ и $R3$ нагрузочная способность доступного выбираемого канального соединения может не обеспечивать передачу с заданным качеством всего трафика $\lambda_{BC_{вых}}$ и возникает необходимость ограничения трафика, поступающего от пользователей на величину: $\Delta\lambda = \lambda_{BC_{вых}} - \lambda_{КСдоп}$, где $\lambda_{КСдоп}$ – предельно допустимая средняя интенсивность входящего потока в выбранном канальном соединении.

Аналогичные процессы выбора основного канального соединения или, по решению АСУС, доступного канального соединения на обходном сквозном тракте выполняются в остальных элементах направления связи (рис. 1).

В качестве критериев оценки сквозного тракта принимаются вероятность своевременной доставки сообщений (Q), среднее время доставки сообщений (T_V) и производительность (P).

На канальном уровне выполняются функции повышения достоверности передаваемой информации, реализован механизм решающей обратной связи. В системах проводной и радиосвязи на канальном уровне используется протокол обмена LAP-B по рекомендации МСЭ X.25/2.

В канальном соединении обеспечивается передача кадров информации со скоростью до 19 200 бит/с с достоверностью 10^{-6} при вероятности ошибок в канале 10^{-3} . Канальное соединение характеризуется параметрами надежности, такими как коэффициент готовности (K_T), среднее время наработки на отказ (T_H) и среднее время простоя (T_{IT}).

Для разработки имитационной модели направление подвижной сети связи представлено в виде сети массового обслуживания (СМО) (рис. 2).

Источниками информации являются пользователи и прикладные процессы серверов служб. От каждого пользователя в систему связи поступает трафик со средней интенсивностью λ_U . Общий поток в модуль маршрутизации, коммутации и адаптации включает дейтаграммы данного рассматриваемого сквозного тракта ($\lambda_1 - \lambda_3$) и дейтаграммы сквозных трактов других направлений связи, образующих фоновый поток ($\lambda_4 - \lambda_9$). Сообщения пользователей различаются по типу передаваемой информации (речь, данные и видеоконференцсвязь) и приоритетности (4 приоритета).

Входящий поток сообщений – пуассоновский. Значения средней интенсивности потока различны для сообщений разного типа.

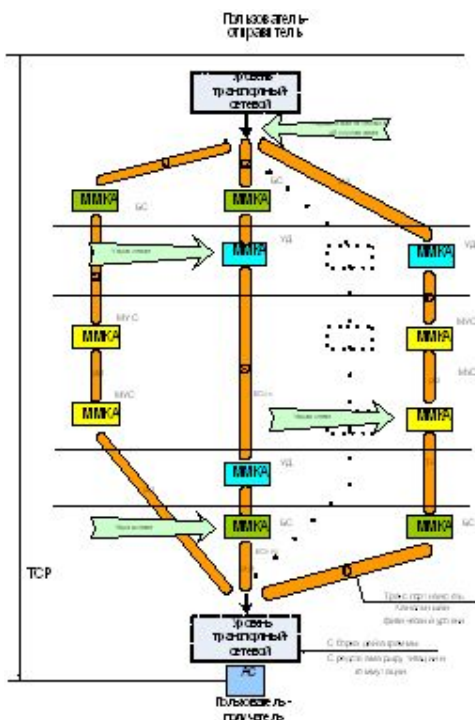


Рис. 1. Совокупность сквозных трактов для направления связи

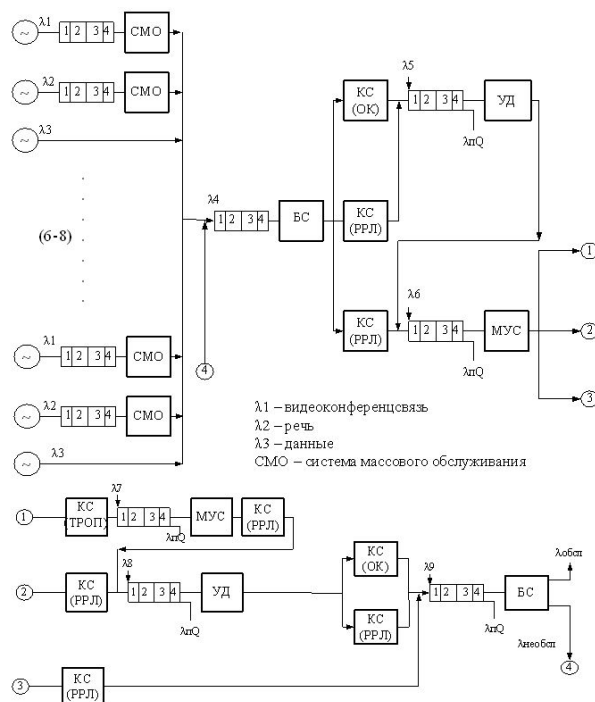


Рис. 2. Представление направления связи в виде СМО

Суммарный входящий поток сообщений по каналным соединениям поступает в модуль маршрутизации, коммутации и адаптации БС, который рассматриваем как СМО типа $M|M/1$ с неограниченной очередью.

Процесс обслуживания в модуле ТСП состоит в разбиении сообщений на сегменты одинаковой длины. Процесс передачи сообщений между маршрутизаторами отправителя и получателя включает два контура передачи:

внутренний контур – передачи отдельных дейтаграмм сообщения по сквозным трактам, осуществляемый функциональными модулями протокола IP.

внешний контур – достоверной и надежной передачи сообщения, реализуется функциональными модулями протокола ТСП.

Поток сообщений с выхода модуля ТСП поступает на внутренний контур передачи сообщений – вход функционального модуля IP, функциями которого являются:

- выбор канального соединения (в соответствии с матрицей переходов);
- деление сегментов на дейтаграммы;
- сброс потока для предотвращения перегрузок в сети.

В соответствии с протоколом IP для каждой дейтаграммы складывается динамически свой сквозной тракт передачи.

Далее поток сообщений поступает в канальное соединение, суммируясь с фоновым потоком, поступает на вход УД либо на вход МУС, которые рассматриваем как СМО типа $M|M/1$ с ограниченной очередью.

В модуле IP получателя осуществляется сборка дейтаграмм в сегменты, а в модуле ТСП сборка сегментов в сообщение и анализ точности его передачи. В случае положительного результата передачи сообщения передается подтверждение правильного приема сообщения. При отрицательном результате отправляется запрос на его повторную передачу и повторная передача не доставленных точно дейтаграмм сообщения. Образуется второй внешний контур.

Для разработки имитационной модели выбрана система GPSS/PC [3].

Учитывалось огневое и радиоэлектронное воздействие противника на линии и узлы связи заданием вероятности нахождения элемента сквозного тракта в исправном состоянии и среднего значения времени блокировки по причине внешнего воздействия, которое может быть и бесконечно большим. Учитывались правила принятия решения ММКА по выбору сквозного тракта передачи данных.

Результаты исследований представлены на рис. 3–6.

На рис. 3 представлена зависимость среднего времени передачи датаграммы по сквозному тракту (T_V) от коэффициента загрузки (ρ) (данные). На рис. 4 показана зависимость требуемого числа каналов связи (N_I) (64 кбит/с) для передачи видеоконференцсвязи от одного пользователя, от параметров сеанса видеоконференцсвязи (среднего значения интервалов времени между сеансами видеоконференцсвязи) (Δt). На рис. 5 – нагрузочная характеристика основного сквозного тракта направления связи, полученная по аналитической модели. Нагрузочная характеристика представляет собой зависимость производительности (средней интенсивности обслуженного потока) от скорости обработки. На рис. 6 – зависимость среднего времени передачи дейтаграммы по сквозному тракту от коэффициента загрузки. Среднее время передачи дейтаграммы получено с помощью аналитической (T_V) и имитационной моделей (T_{VI}), подтверждающих адекватность имитационной модели.

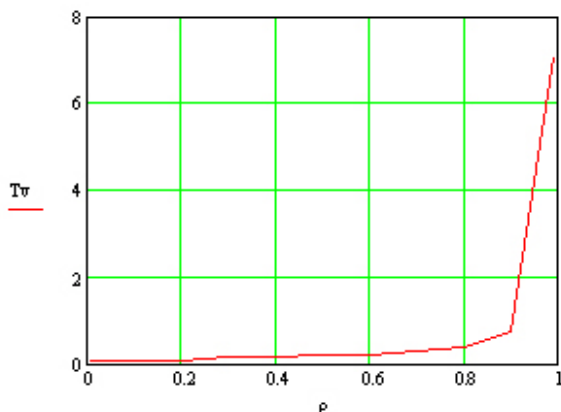


Рис. 3. Зависимость T_V от ρ

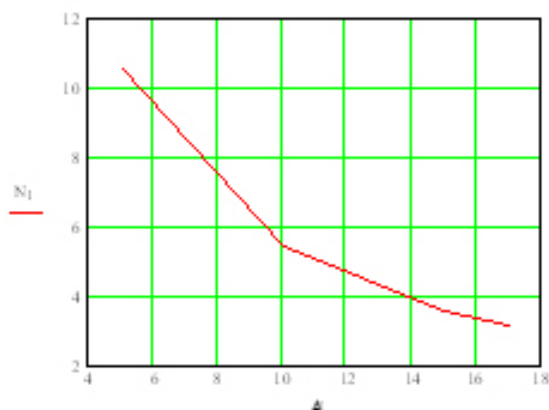


Рис. 4. Зависимость N_I от Δt

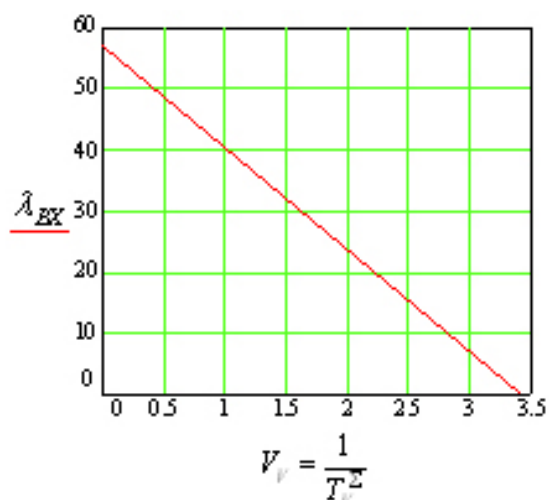


Рис. 5. Нагрузочная характеристика сквозного тракта

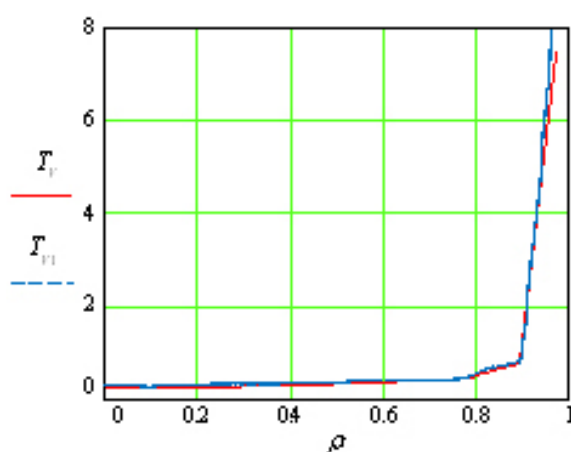


Рис. 6. Сравнение среднего времени передачи датаграммы по сквозному тракту

Заключение

Имитационная модель позволяет исследовать следующие характеристики сети подвижной связи: общую нагрузку в сети, динамику реальных сквозных трактов направления связи; зависимость от внешних воздействий показателей качества функционирования сквозного тракта сети подвижной связи, построенной на технологии ТСП/IP, влияние длительности цикла управления на время передачи сообщений, обосновано выбирать производительность узлов и пропускную способность канальных соединений, анализировать поведение сети при различных решениях по построению системы управления сетью.

При выходе из строя каких-либо элементов сети подвижной связи данная модель позволяет предвидеть поведение сети и принимать необходимые решения по ограничению потока в элементах сети, вводу дополнительного ресурса и др.

Литература

1. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Т. 3. Мультисервисные сети /**В. В. Величко, Е. А. Субботин, В. П. Шувалов, А. Ф. Ярославцев**; под ред. профессора В. П. Шувалова. М.: Ц. Горячая линия-Телеком, 2005. 592 с.
2. **Захаров Г. П.** Методы исследования сетей передачи данных. М.: Радио и связь, 1982. 208 с.
3. **Асеев А. А., Боев В. Д., Кулешов И. А., Сеченев Д. М.** Основы моделирования систем связи и автоматизации на GPSS/PC. СПб.: ВУС, 2000. 228 с.