

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОСМИЧЕСКОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

д.т.н. С.В. Козелков, В.Ф. Столбов

*В статье предложено построение имитационной модели космической сети передачи данных.*

На основе приведенного описания космической сети передачи данных [1 - 3] разработана имитационная модель, реализованная на языке программирования Turbo-Pascal 7.0 для ЭВМ серии IBM PC AT с использованием объектно - ориентированной библиотеки Turbo Vision. Она состоит из основной программы, реализующей интерфейс пользователя, и модулей, имитирующих различные этапы функционирования сети. В связи с большим объемом вычислений и нехваткой оперативной памяти некоторые промежуточные результаты записываются в типизированные файлы на диске, откуда потом при необходимости извлекаются. Окончательные результаты записываются в текстовые файлы. В связи с этим для работы модели требуется некоторый свободный объем дисковой памяти, величина которого зависит от объема и сложности проводимых исследований. Общий алгоритм работы модели приведен на рис. 1.

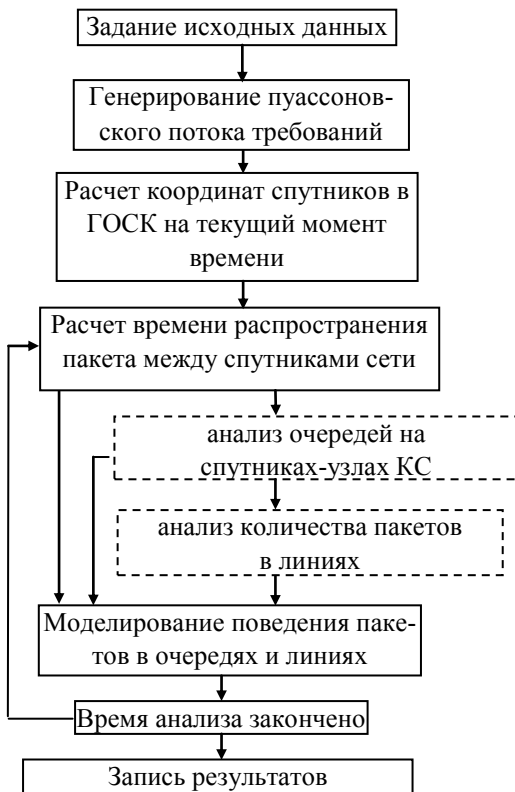


Рис. 1. Общий алгоритм работы модели

1. Структура исходных данных для модели представлена на рис. 2. Время работы модели задает общее время проведения исследований по заданной программе. Дискретность изменения времени равна задаваемой длительности

пакета. Несущая частота радиолиний сети связи с абонентами, характеристики приема - передающей аппаратуры спутников сети и абонентов задаются для исследования таких характеристик космической сети как вероятность возникновения ошибки при передаче пакета по сети  $P_{орас}$  и вероятность доведения пакета до потребителя  $P_{дас}$ , в том числе и при наличии помех.



Рис. 2. Структура исходных данных для модели

Начальная топологическая структура сети задается количеством спутников в системе и кеплеровскими координатами в начальный момент времени. Можно задать собственное баллистическое построения сети или воспользоваться предлагаемыми структурами, заимствованными из таких проектов как "Курьер", "Гонец", "Иридиум" и др. В процессе проведения исследований возможно исследование лавинных (частично-волновых), фиксированных и адаптивных (локальных и распределенных) алгоритмов маршрутизации. Задание алгоритма управления потоками означает задание максимально возможной величины очереди при приеме внешнего графика. В рассматриваемой модели под начальным состоянием сети по-

нимается наличие или отсутствие в начальный момент времени в узлах сети очередей требований (пакетов). Такая возможность реализует предложенный в [4] метод больших отклонений и позволяет, экономя время, исследовать некоторые интересные этапы работы сети. Например, задав на некоторых спутниках сети большие очереди при отсутствии или незначительной величине очередей требований на остальных спутниках-узлах сети, можно достаточно полно смоделировать ситуацию очень неравномерного трафика в предыдущий момент времени и исследовать, например, вопрос об эффективности алгоритмов маршрутизации в этих условиях. Задание ненулевого начального состояния сети не означает отсутствие возможности задания внешнего графика, поступающего от абонентов в течение времени работы модели. Этот поток требований количественно задается интенсивностью, равномерностью, статистической изменчивостью.

Ограниченная емкость буфера на спутнике позволяет исследовать рассматриваемую систему как сеть очередей с ограничением на длину очереди, хотя в ряде важных на практике случаев полезно не задавать величину буфера (т.е. реальная величина буфера много больше максимально возможной величины очереди).

В зависимости от целей исследования может моделироваться как кеплеровское, так и возмущенное движение спутников при следующих условиях: форма Земли эллипсоид, гравитационное поле учитывает 1 и 2 тональные гармоники, модель атмосферы статическая ТСА ГОСТ 4401-64 (атмосфера учитывается до 1000 км);

2. Поток требований характеризуется местом возникновения (номером спутника, на который приходит извне сообщение), местом назначения (номером спутника, который находится над районом, в котором находится получатель пакета) - выбираются случайным образом - и промежутками времени между соседними требованиями - распределены по пуассоновскому закону.

3. Расчет координат спутников проводится в геоцентрической относительной системе координат (ГОСК) по формулам, приведенным в [5], в зависимости от выбранной модели движения.

4. Анализ очередей на спутниках-узлах сети и количества пакетов в линиях радиосвязи, соединяющих спутники, проводится при исследовании адаптивных алгоритмов маршрутизации.

5. Наиболее сложным при реализации модели и в то же время самым важным ее этапом является моделирование поведения пакетов в очередях и линиях космической сети (рис. 3). Очередь на каждом спутнике в каждом таком интервале времени изменяется за счет двух процессов: во-первых, за счет поступления требований из внешнего графика (от потребителей, находящихся в области видимости спутника) и внутреннего графика (от соседних спутников - пакеты, маршрут передачи которых проходит через анализируемый спутник) и, во-вторых, за счет убытия пакетов с рассматриваемого спутника получателю (если получатель сообщения на-

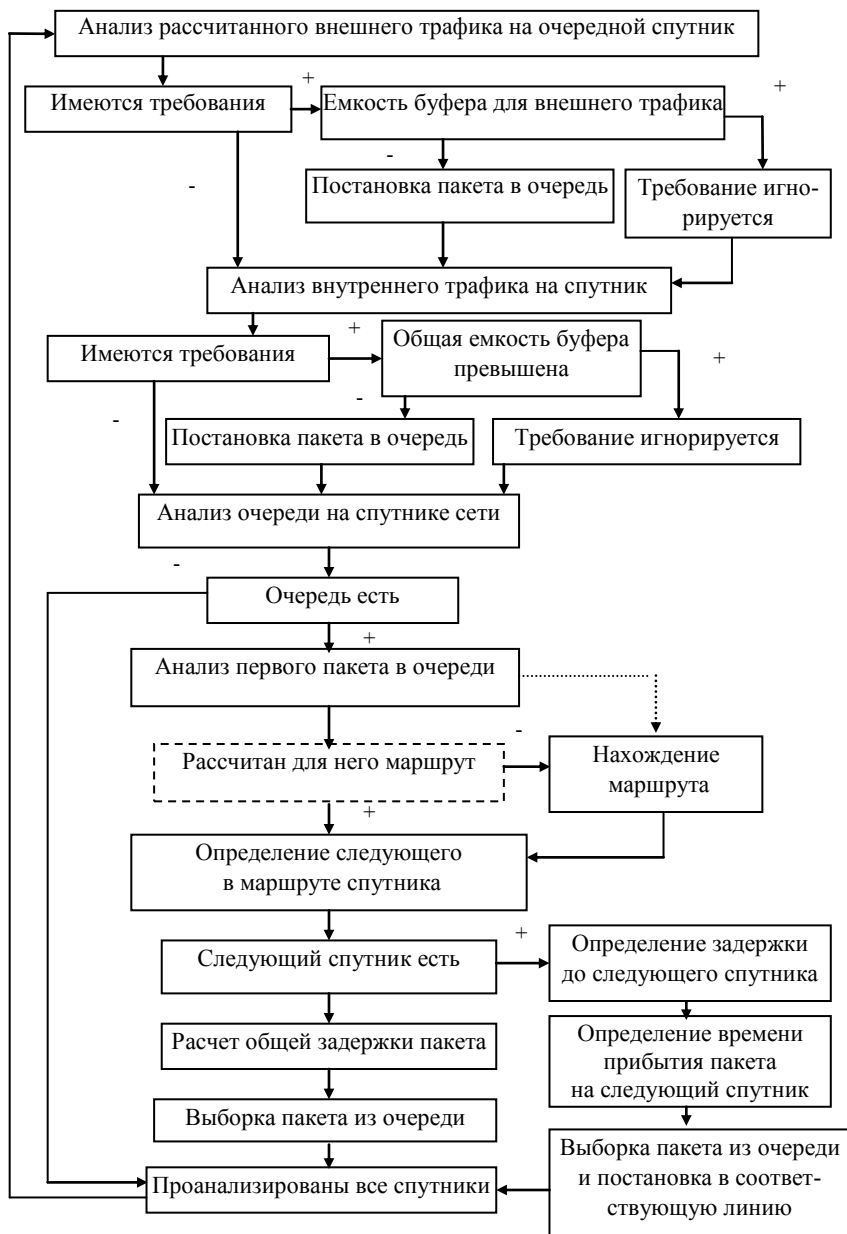


Рис. 3. Алгоритм моделирования поведения пакетов

ходится в области видимости спутника и этот спутник является конечным в маршруте передаваемого пакета) и соседним спутникам, которые являются следующими в маршруте пакета.

Ограничение емкости буфера для внешнего графика означает реализацию одного из алгоритмов управления потоками. Маршрут находится с использованием алгоритма нахождения кратчайшего маршрута Дейкстры [6]. Он может рассчитываться или один раз по прибытии пакета в сеть на первом в маршруте спутнике, или каждый раз по прибытии на очередной спутник сети.

6. Результатами работы являются, во-первых, исследуемые показатели качества системы, по величине которых можно судить, например, об эффективности алгоритмов маршрутизации или алгоритмов управления потоками при тех или иных условиях и, во вторых, дополнительная информация, появляющаяся при проведении расчетов и позволяющая глубже исследовать требуемые вопросы. К дополнительной информации относятся:

- величины очередей в некоторые моменты времени на узлах;
- количество пакетов в линиях в некоторые моменты времени;
- расчетный и реальный маршруты передачи пакета по сети;
- слагаемые задержки на различных этапах передачи пакета и другая информация.

Вся эта информация записывается в текстовые файлы на диске и при необходимости может быть без труда извлечена оттуда.

Высокая модульность программы и использование объектно-ориентированной оболочки позволяет с легкостью модернизировать модель для проведения других исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Справочник по спутниковой связи и вещанию /Под ред. Л.Я. Кантора – М.: Радио и связь, 1986. – 350 с.*
2. *Спутниковые системы связи и вещания. Приложение 1 (вып.1) к ежегоднику "Радиотехника" 1997 – 1998. – М.: ИПРЖР. – 1997. – 97 с.*
3. *Спутниковые системы связи и вещания. Приложение 2 (вып. 1) к ежегоднику "Радиотехника" 1997 – 1998. – М.: ИПРЖР. – 1997. – 82 с.*
4. *Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1979. – 600 с.*
5. *Протоколы и методы управления в сетях передачи данных / Под ред. Ф.Ф. Куо. – М.: Радио и связь, 1985. – 480 с.*
6. *Лаукс Я., Осокина Н.Н Теория телетрафика. – Рига: Российский политехнический институт им. А.Я. Пельше, 1983. – 132 с.*

*Поступила 13.02.2002*

**КОЗЕЛКОВ Сергей Викторович**, доктор техн. наук, ст. научн. сотр., зам. нач. кафедры Национальной академии обороны. В 1982 году окончил ХВВКИУ им. Н.И. Крылова. Область научных интересов – радиотехнические системы и комплексы космического назначения.

**СТОЛБОВ Владимир Фридрихович**, в 1982 году окончил ХВВКИУ им. Н.И. Крылова. Область научных интересов – радиотехнические системы и комплексы космического назначения.