

## ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ АДАПТИВНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ НА СЕТЕВОМ УРОВНЕ

к.т.н. С.Т. Черепков, к.в.н. А.Н. Явтушенко, к.т.н. В.Ф. Столбов  
(представил д.т.н., проф. С.В. Козелков)

*В статье предложен вариант выбора показателей качества для построения оптимального пути в сети передачи данных.*

**Введение.** Среди общих проблем построения низкоорбитальных систем спутниковой связи важное место занимает задача управления на сетевом уровне и связанные с ней процессы организации межспутниковых каналов, распределения информационных потоков и управления информацией [1].

Указанные задачи остаются трудноразрешимыми или требуют новых подходов к их решению. Это определяется особенностью построения сети в зависимости от высокой динамики взаимного движения потребителей и космических аппаратов-узлов (КА-узлов). Большие задержки, вызванные огромными расстояниями между узлами, часто делают методы анализа и результаты моделирования, полученные для обычных сетей, непригодными для многоспутниковой низкоорбитальной сетевой системе (МНСС). Одним из ключевых подходов к исследованию процессов управления потоков информации является выбор и создание моделей этих процессов.

**Анализ литературы.** Анализ источников [2 – 4] показал, что задачи построения оптимальных маршрутов в сети передачи данных достаточно известны и широко используются на разных этапах (корректировка протоколов сети, оценка состояния узлов, изменения пакета передачи данных и т.д.). Однако в литературе недостаточно рассмотрены динамические процессы самой сети передачи данных, какой является МНСС, которые влияют не только на скорость передачи сообщений, время доставки, но и на достоверность информации.

**Постановка задачи.** Исходя из вышесказанного, в данной статье рассмотрен один из подходов для построения оптимальной сети передачи данных на основе анализа взаимодействия на сетевом уровне в МНСС.

**Цель работы.** Целью данной статьи является выбор показателей адаптивной маршрутизации на сетевом уровне.

**Основной раздел.** Одним из возможных подходов к построению процедур адаптивной маршрутизации является выбор в качестве метрик путей величин, отражающих не только длину, но и степень их загруженности в некоторый момент времени. При этом более нагруженной линии приписывается большая метрика, а алгоритм отыскания кратчайшего пути стремится отыскать путь с минимальной метрикой [3, 4]. Однако для корректного решения задачи синтеза адаптивных процедур маршрутизации целесообразно осуществить попытку их построения методами, базирующимися на достижениях современной теории управления динамическими системами [2].

Исходя из того, что показателями качества функционирования выбраны задержка сообщения в сети и коэффициент использования канала, эффективными следует считать процедуры маршрутизации, доставляющие экстремум целевым функциям [2 – 4]:

$$D = T(t) = \sum_S \sum_{t=t_0}^{\Delta} f_t(y_{t-1}, \tau, x_{t-s}, \dots, x_t) + f_0(y_0) \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$y_t = p_t(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t), \quad x_t \in X, \quad y_t \in Y,$$

где  $y_t$  – переменные состояния;  $x_t$  – переменные управления;  $T(t)$  – задержка сообщений;  $f_0(\cdot)$  – потери на момент окончания управления;  $S$  – множество всевозможных маршрутов;

$$D = K = \max_S \sum_{(i,j)} \left\{ \frac{h_{ij}(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t)}{c_{ij}} \right\}, \quad (2)$$

где  $c_{ij}$  – пропускная способность линии между узлами  $i$  и  $j$ ;  $K$  – коэффициент использования канала.

Задачи минимизации указанных функционалов известны и успешно решаются [2 – 4]. В частности, они относятся к детерминированным задачам динамической дискретной оптимизации, приводимым к эквивалентным задачам выбора кратчайшего маршрута.

В общем случае переменные состояния, под которыми в дальнейшем подразумевается загруженность элементов сети – длины очередей в узлах, является по своей сути стохастическими, поэтому необходимо рассматривать их стохастические эквиваленты.

Рассмотрим их более подробно. Пусть  $y(t)$  – стохастический процесс с непрерывным временем и пусть существует  $p(y, t) / t = p(y, t)$ .

Пусть переменная состояния известна неточно и известно условное распределение  $p: p(y | \hat{y}, t)$ , где  $\hat{y}$  – оценка вектора состояния.

Тогда задача динамической оптимизации среднего времени доставки сообщения формулируется следующим образом:

$$T(t) = \sum_S \sum_{t=t_0}^{\Delta} \int_Y f_t(y_{t-1}, \tau, x_{t-s}, \dots, x_t) p(y_{t-1} | \hat{y}_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t) dy_{t-1} + f_0(y_0 | \hat{y}_0) \rightarrow \min_S. \quad (3)$$

Задача динамической оптимизации показателя вероятности доставки сообщения за заданное время  $T$  подразумевает минимизацию функционала

$$p(t \leq T) = \sum_S \sum_{t=t_0}^T \int_Y p(f(y, t), \tau, x(t)) df(y(t), x(t)) \rightarrow \min_S, \quad (4)$$

где  $p(f(\hat{y}_{t-1}, x_{t-1}))$  – плотность распределения целевой функции.

Тогда функционал типа (2) для стохастической задачи может быть записан в форме

$$D = K = \max_S \sum_{(i,j)} 1/c_{ij} \left\{ \int_Y h_{ij}(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t) \times p(y_{t-1} | y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t) dy_{t-1} \right\}. \quad (5)$$

Решение оптимизационных задач (3) – (5) позволяет разрешить ряд проблем, к которым следует отнести выбор формализованной модели функционирования системы на сетевом уровне, идентификацию параметров модели и формирование управляющих воздействий.

**Вывод.** В результате проведенных исследований получены аналитические выражения, которые позволяют оценить состояния канала и узла и построить оптимальный маршрут для передачи информации в многоспутниковой низкоорбитальной сетевой системе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Невдяев Л.М., Смирнов А.А. *Персональная спутниковая связь*. – М.: Экотрендз, 1998. – 216 с.
2. Като М., Имура Д., Токоро М., Тома Е. *Построение сетей ЭВМ*. – М.: Мир, 1988. – 307 с.
3. Королёв А.В., Кучук Г.А., Пашнев А.А. *Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях*. – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.
4. Королёв А.В., Кучук Г.А., Пашнев А.А. *Управление сетевыми ресурсами*. – Х.: ХВУ, 2004. – 272 с.

Поступила 31.08.2004

**ЧЕРЕПКОВ Сергей Тимофеевич**, кандидат технических наук, доцент. Область научных интересов – обработка информации.

**ЯВТУШЕНКО Анатолий Николаевич**, кандидат военных наук, доцент. В 1971 году окончил ХВВКУ. Область научных интересов – обработка информации.

**СТОЛБОВ Владимир Фридрихович**, кандидат технических наук. В 1982 году окончил ХВВКИУ. Область научных интересов – сетевые спутниковые телекоммуникационные системы.