

УДК 512.876.5: 004.738.5

## ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДЕЛИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Н. В. Потапов, А. А. Сыропятов, д. т. н. В. Я. Чечельницкий

Одесский национальный политехнический университет  
Украина, г. Одесса  
faces\_inc@ukr.net, saa5511@ukr.net

*Рассмотрено применение скрытых цепей Маркова как теоретического подхода при моделировании изменений характеристик трафика телекоммуникационной сети в различные моменты времени. Произведено сравнение данных, полученных при моделировании, с данными реальных измерений.*

*Ключевые слова: моделирование, телекоммуникационные сети, переход состояний, трафик.*

В последнее время, в научных исследованиях телекоммуникационных сетей на базе статических моделей не отслеживается изменение состояния узлов сети во времени. Общим недостатком, свойственным статическим моделям, является невысокое качество получаемых решений, особенно в условиях их реализации в протоколах управления реальным временем [1]. В настоящей работе предложен метод описания изменений поведения телекоммуникационной сети в ситуациях, когда переходы из одного состояния в другое происходят не в фиксированные, а в случайные моменты времени, которые не представляется возможным определить заранее.

Суть предлагаемого подхода заключается в учете взаимозависимости состояния трафика в различные временные промежутки. В рамках модели на основе скрытых цепей Маркова (СЦМ) оцениваются вероятности  $\gamma_{k,j}(s)$  в зависимости от величины  $x_k^{(j)}$ , которая обеспечивает учет всех возможных состояний  $x_{-k}^{(j)}$ . Параметры управляемой цепи Маркова, отображающие трафик  $j$ -й пары «отправитель—получатель» (ОП-пары), необходимо оптимизировать посредством серии итераций. После этого определяется максимальная оценка вектора параметров  $\theta^{(j)}$  СЦМ для  $j$ -й ОП-пары.

Выборки вектора состояний цепи Маркова  $Z^{(j)} = (z_{1,j}, z_{2,j}, \dots, z_{K,j})$ , соответствующие трафику  $j$ -й ОП-пары, оцениваются вместе, при этом параметры оценок не зависят от параметров оценки трафика другой ОП-пары. Оценка вероятности  $\gamma_{k,j}$  отображает вероятность того, что поведение сети будет  $s = z_{k,j}$ , а вектор параметров  $\theta^{(j)}$  для  $j$ -й ОП-пары соответствует параметрам вероятностей перехода цепи Маркова.

Плотность вероятности является суперпозицией плотностей вероятности двух Пуассоновских процессов:

$$p(x_{k,j}) = \frac{\left[ \tilde{\gamma}_{k,j}(1) (\lambda_1^{(j)})^{x_{k,j}} \exp(-\lambda_1^{(j)}) + \tilde{\gamma}_{k,j}(2) \exp(-\lambda_2^{(j)}) (\lambda_2^{(j)})^{x_{k,j}} \right]}{(x_{k,j}!)} \quad (1)$$

Оправданность использования Пуассоновского распределения в качестве исходного случайного процесса необходимо проверять методом численного моделирования с использованием данных измерений реальной сети. Иногда требуется дополнительная коррекция модели, т. е. использование других статистических параметров. Отметим, что  $\tilde{\gamma}_{k,j}(s), s=1, N$  является вероятностью того, что  $z_{k,j}$  находится в состоянии  $s$  при условии оценки трафика  $X_{k,j}$  для  $j$ -й пары:

$$\tilde{\gamma}_{k,j}(s) = P(z_{k,j} = s | x_{-k}^{(j)}), \quad (2)$$

где  $x^{(j)} = (x_{1,j}, x_{2,j}, \dots, x_{K,j})^T$  оценка трафика  $j$ -й ОП-пары в промежутке времени  $k=1, K$ .

Оценка величины  $\gamma_{k,j}$  для управляемого Марковского процесса рассчитывается следующим образом:

$$\begin{aligned} \tilde{\gamma}_{k,j}(s) &\propto P(z_{k,j} = s, x_1^{(j)}, \dots, x_{k-1}^{(j)}, x_{k+1}^{(j)}, \dots, x_k^{(j)}) = \\ &= \sum_{s'} P(x_1^{(j)}, \dots, x_{k-1}^{(j)} |_{z_{k-1,j}} = s') P(z_{k,j} = s |_{z_{k-1,j}} = s') P(x_{k+1}^{(j)}, \dots, x_k^{(j)} |_{z_{k,j}} = s). \end{aligned} \quad (4)$$

С учетом коррекции для скрытой цепи Маркова (СЦМ) получим

$$\tilde{\gamma}_{k,j}(s) \propto \left[ \sum_{s'} \alpha_{k-1,j}(s') p_{s's}^{(j)} \right] \beta_{k,j}(s). \quad (5)$$

Выражение (5) можно преобразовать к виду:

$$\tilde{\gamma}_{k,j}(s) \propto \frac{\alpha_{k,j}(s) \beta_{k,j}(s)}{p_s^{(j)}(x_k^{(j)}), \quad (6)$$

где  $p_s^{(j)}(\bullet)$  – плотность вероятности компоненты  $s$  модели на основе СЦМ, соответствующая трафику  $j$ -й ОП-пары.

Результаты исследования подтверждают, что при моделировании трафика телекоммуникационной сети существенную роль играют коррелированность состояний процессов. Предложенный подход позволяет быстро и наглядно составить общее представление о поведении телекоммуникационной сети в динамическом режиме. Однако из-за неточности модели данный подход не в полной мере отображает состояние реальной сети. При сравнении с результатами данных реальных измерений подход проявил максимальное значение среднеквадратического отклонения 39% и среднюю ошибку 19%. Для улучшения качества модели необходимо внести корректировки в ее статистическое описание.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Kuhn, F., Moses, Y., and Oshman, R. Coordinated consensus in dynamic networks // In Proceedings of the 30th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, San Jose, California: ACM. (2011). pp. 1–10.
2. Feldmann, A. Greenberg, C. Lund, N. Reingold, J. Rexford, and F. True. Deriving traffic demands for operational IP networks: Methodology and experience // World Wide Web Conference.—2000.—С. 221—235.
3. Van der Merwe, R. Caceres, Y. Chu, and C. J. Sreenan. A tool for monitoring Internet multimedia traffic // ACM Computer Communication Review.—2000.—Vol. 30.—С. 48—59.
4. C. Tebaldi, M. West. Bayesian Inference of Network Traffic Using Link Count Data. // J. of the American Statistical Association., pp. 557–573, June 1998.

N. V. Potapov, A. A. Syropyatov, V. Ya. Chechelnytskyi  
**Dynamic properties of the telecommunication network model.**

The paper considers the use of hidden Markov chains as a theoretical approach in modeling changes in the characteristics of the telecommunications network traffic at different points of time. The proposed approach allows taking focus on the state of the dynamic system, the nature and control of disturbances, the resulting traffic behavior. The comparison of the data obtained in the simulation with real data measurements is presented.

*Keywords: modeling, telecommunication networks, transition evolution, traffic.*