

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНОЙ СЕТИ СВЯЗИ С НЕОДНОРОДНОЙ НАЗЕМНОЙ ПОДСЕТЬЮ С ПРОТОКОЛОМ МАРКЕРНОГО ДОСТУПА

Гезалов Э.Б.

*Азербайджанский технический университет
просп. Гусейна Джавида, 25, Баку, Азербайджан, AZ 1073
gelchin@rambler.ru*

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ З НЕОДНОРІДНОЮ НАЗЕМНОЮ ПІДМЕРЕЖЕЮ З ПРОТОКОЛОМ МАРКЕРНОГО ДОСТУПУ

Гезалов Е.Б.

*Азербайджанський технічний університет,
просп. Хусейна Савіда, 25, Баку, Азербайджан, AZ 1073
gelchin@rambler.ru*

CHARACTERISTICS OF THE HYBRID COMMUNICATION NETWORK WITH A HETEROGENEOUS GROUND SUB-NETWORK AND TOKEN PASSING ACCESS PROTOCOL

Gezalov E.B.

*Azerbaijan Technical University,
H. Javid ave. 25, Baku, Azerbaijan, AZ 1073
gelchin@rambler.ru*

Аннотация. Исследована математическая модель гибридной сети связи на базе Z-преобразований для рядов распределений дискретного времени. Определены в явном виде среднее время обслуживания сообщений межсетевых трафика и средняя скорость передачи информации в межсетевом канале связи.

Ключевые слова: гибридная сеть связи, неоднородная наземная подсеть, маркерный доступ.

Анотація. Досліджено математичну модель гібридної мережі зв'язку на підґрунті Z-перетворень для рядів розподілу дискретного часу. Визначені в явному вигляді середній час обслуговування повідомлень міжмережного трафіку та середня швидкість передавання інформації в міжмережному каналі зв'язку.

Ключові слова: гібридна мережа зв'язку, неоднорідна наземна підмережа, маркерний доступ.

Summary. Mathematical model of hybrid network based on Z-transformation for series of discrete time distributions is studied. The average time of inter-network traffic processing and the average data transfer rate in the inter-network communication channel are determined.

Keywords: the hybrid communication network, heterogeneous ground sub-network, token passing access method.

В настоящее время во многих странах мира ведутся работы по обновлению всей инфраструктуры связи на базе идеи создания Глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ) [1–3]. При этом особое внимание уделяется проблеме объединения посредством спутников связи географически разбросанных и относительно удаленных друг от друга наземных информационных сетей в единую гибридную сеть связи [5], что позволит в будущем сделать телекоммуникационную инфраструктуру каждой страны одним из звеньев ГИИ.

В таких гибридных сетях следует различать два вида передачи информации: передача местной (внутри наземной сети) информации и передача межсетевой информации. Актуальной научной задачей при этом является исследование процесса передачи межсетевой информации в гибридной сети связи, решению которой посвящено большое количество научных работ [5–9]. В [5] выполнен сравнительный анализ протоколов передачи данных в гибридных мультисервисных сетях спутниковой связи. В [6] исследовано влияние параметров протокола автоматической повторной передачи с выборочным повтором ARQ-SR (Automatic

Repeat request – Selective Repeat) на показатели гибридной сети спутниковой связи. В [7] исследован процесс передачи межсетевой информации в гибридной сети связи с неоднородной наземной подсетью и протоколом синхронного временного доступа. Процесс передачи межсетевой информации в гибридной сети связи, в которой в наземной подсети используется протокол маркерного доступа исследован в [8]. Аналогичное исследование для протокола комбинированного доступа приведено в [9].

Однако, для гибридной сети связи с неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений наземной подсетью с протоколом маркерного доступа остались не определёнными в явном виде характеристики обслуживания сети, что затрудняет решение различных системных задач и выполнение проектных процедур. Определение в явном виде этих характеристик является актуальной научной проблемой, решение которой и является целью данной работы.

Рассмотрим модель гибридной сети связи [8]. Рассматриваемая гибридная пакетная сеть связи состоит из спутниковой и наземной подсетей связи. Наземная подсеть состоит из локальных сетей связи (ЛСС), каждая из которых содержит спутниковую интерфейсную станцию (СИС). СИС различных ЛСС связаны друг с другом звездообразно через спутниковый ретранслятор широкополосным радиоканалом с коллективным доступом. Для выхода на спутник СИС используют протокол синхронного временного доступа (СВД). Коммуникационные станции (КС) каждой локальной сети разделены на подсети, то есть группы станций, различающиеся по интенсивности входящего потока сообщений. Станции в пределах своей подсети однородны по своей активности. В ЛСС подуровень управления доступом реализует протокол маркерного доступа (МД).

Модель гибридной сети связи [8] представляет собой систему уравнений в Z -преобразованиях для рядов распределений дискретного времени задержки сообщений для КС γ -й подсети i -й ЛСС, спутниковой интерфейсной станции i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$, и спутникового ретранслятора. Получены Z -пр.р. интервала обслуживания для станций γ -й подсети i -й ЛСС, СИС i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$, и спутникового ретранслятора.

В качестве характеристик обслуживания рассматриваемой гибридной сети выберем среднее время обслуживания сообщений межсетевого трафика и среднюю скорость передачи информации в межсетевом канале связи.

Среднее время обслуживания сообщений межсетевого трафика в гибридной сети связи определим как сумму средних времен обслуживания сообщений для абонентов взаимодействующих локальных сетей связи, их спутниковых интерфейсных станций и спутникового ретранслятора.

Среднее время обслуживания сообщения $\bar{t}_{s\gamma}$ для абонентов γ -й подсети i -й ЛСС определяется так:

$$\bar{t}_{s\gamma} = \bar{t}_{si\gamma} + \bar{t}_{suc_i} + \bar{t}_{sR} + \bar{t}_{suc_k}, \quad (1)$$

где $\bar{t}_{si\gamma}$ и \bar{t}_{suc_k} – среднее время обслуживания сообщения соответственно для абонентов γ -ой подсети i -й ЛСС и приёмной СИС k -й ЛСС, $\gamma = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, M}$, $i \neq k$;

\bar{t}_{suc_i} и \bar{t}_{sR} – среднее время обслуживания сообщения для соответственно СИС i -й ЛСС и спутникового ретранслятора.

Компоненты, входящие в (1), определяются так:

$$\begin{aligned}
\bar{t}_{si\gamma} &= \bar{n}_{si\gamma} T_{0i}, \quad \bar{n}_{si\gamma} = d/dZ^{-1} g_{i\gamma} Z \Big|_{Z=1}, \\
\bar{t}_{suc_i} &= \bar{n}_{suc_i} T_{0i}, \quad \bar{n}_{suc_i} = d/dZ^{-1} g_{uc_i} Z \Big|_{Z=1}, \\
\bar{t}_{sR} &= \bar{n}_{sR} T_C, \quad \bar{n}_{sR} = d/dZ^{-1} g_R Z \Big|_{Z=1}, \\
\bar{t}_{suc_k} &= \bar{n}_{suc_k} T_{0k}, \quad \bar{n}_{suc_k} = d/dZ^{-1} g_{uc_k} Z \Big|_{Z=1},
\end{aligned} \tag{2}$$

где $\bar{n}_{si\gamma}, \bar{n}_{suc_i}, \bar{n}_{sR}, \bar{n}_{suc_k}$ – среднее дискретное время обслуживания сообщения для соответственно абонентов γ -й подсети i -й ЛСС, СИС i -й ЛСС, спутникового ретранслятора и СИС k -й ЛСС;

$g_{i\gamma} Z, g_{uc_i} Z, g_{uc_k} Z, g_R Z$ – Z -пр.р. интервала обслуживания для соответственно абонентов γ -ой подсети i -й ЛСС, СИС i -й ЛСС, спутникового ретранслятора и СИС k -й ЛСС;

T_{0i}, T_{0k}, T_{0c} – такты работы соответственно i -й ЛСС, k -й ЛСС и спутникового ретранслятора. В качестве такта работы гибридной сети связи выбирается минимальный, остальные же такты берутся кратными этому интервалу.

Определим компоненты, входящие в (2). Для этого используем выражения для $g_{i\gamma} Z, g_{uc_i} Z, g_{uc_k} Z, g_R Z$. Так, Z -пр.р. интервала обслуживания сообщения для станций γ -й подсети i -й ЛСС имеет вид [8]:

$$\begin{aligned}
g_{i\gamma} Z &= Q_k g_{si\gamma} Z \cdot 1 - P_k g_{si\gamma} Z^{-1}, \quad Q_k + P_k = 1, \\
g_{si\gamma} Z &= Z^{-n_{om}} \theta_{i\gamma} Z^{-n_{om}} + 1 - \theta_{i\gamma} Z^{-n_{mo}} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq \gamma}}^{M-1} \theta_{ip} Z^{-n_{om}} + 1 - \theta_{ip} Z^{-n_{mo}} \times \\
&\times Q_{uci} \bar{\psi}_i Z^{-n_{om}} + \psi_i Z^{-n_{oc}} + 1 - \theta_{uci} Z^{-n_{mo}}, \quad \psi_i + \bar{\psi}_i,
\end{aligned} \tag{3}$$

где $g_{si\gamma} Z$ – Z -пр.р. интервала обслуживания сообщения для станций γ -й подсети i -й ЛСС для режима однократной передачи;

Q_k – вероятность безошибочной передачи кадра длиной n_k бит, $Q_k = 1 - p^{n_k}$;

p_k – вероятность обнаружения ошибки при передаче кадра длиной n_k бит;

p – вероятность ошибки в биномиальном дискретном канале;

$\theta_{i\gamma}$ – вероятность занятого состояния буфера станций γ -й подсети i -й ЛСС;

$\theta_{p\gamma}$ – вероятность занятого состояния буфера станций γ -й подсети p -й ЛСС;

n_{om} – длина временного окна в битах, занимаемого станцией ЛСС при занятом состоянии буфера;

n_{mo} – длина временного окна в битах, занимаемого станцией ЛСС при пустом состоянии буфера;

ψ_i – вероятность того, что СИС i -й ЛСС в цикле доступа взаимодействует со спутником связи.

Подставив (3) в (2), получим выражение для $\bar{t}_{si\gamma}$:

$$\bar{t}_{si\gamma} = \left(\begin{aligned} &n_{om} + N_\gamma - 1 \theta_{i\gamma} n_{om} + 1 - \theta_{i\gamma} n_{mo} + N_k \theta_{ik} n_{om} + 1 - \theta_{uk} n_{mo} + \\ &+ N_l \theta_{il} n_{om} + 1 - \theta_{il} n_{mo} + \theta_{uci} \bar{\psi}_i n_{om} + \psi_i n_{oc} + 1 - \theta_{uci} n_{mo} \end{aligned} \right) T_{0i} Q_k^{-1}. \tag{4}$$

Для определения среднего времени обслуживания сообщения соответственно для передающей СИС i -й ЛСС и приёмной СИС k -й ЛСС, $\gamma = \overline{1, m}, i = \overline{1, M}, k = \overline{1, M}, i \neq k$, ис-

пользуем Z -пр.р. интервала обслуживания сообщения для СИС ЛСС [8]:

$$\begin{aligned}
g_{uc_i} Z &= \bar{\Psi}_i g_{LAN} Z Q_k 1 - P_k g_{LAN} Z^{-1} + \Psi_i Z^{-Mn_{oc}} Q_c 1 - P_c Z^{-Mn_{oc}}^{-1}, \\
g_{LAN_i} Z &= Z^{-n_{om}} \prod_{\gamma=1}^m Q_{i\gamma} Z^{-n_{om}} + 1 - \theta_{i\gamma} Z^{-n_{mo}}^{N_\gamma}, \\
Q_k + P_k &= 1, \quad Q_c + P_c = 1, \quad Q_c = 1 - p_s^{n_k},
\end{aligned} \tag{5}$$

где $g_{LAN_i} Z$ – Z -пр.р. интервала обслуживания сообщения СИС i -й ЛСС с маркерным доступом при взаимодействии с одной из станций данной сети;

n_{oc} – длина в битах временного окна СИС для передачи кадра длиной n_k бит спутнику связи, $n_{oc} = 2 n_k + n_{pc} + \tau_c$ (коэффициент 2 учитывает фазы передачи сигнала от СИС к спутнику связи и от спутника связи к СИС в широковещательном режиме);

n_{pc} – число бит, которое можно передать за время распространения сигнала от СИС к спутнику связи или от спутника связи к СИС;

Q_c – вероятность безошибочной передачи кадра длиной n_k бит в спутниковом канале;

P_c – вероятность обнаружения ошибки при передаче кадра длиной n_k бит в спутниковом канале;

p_s – вероятность ошибки в спутниковом канале;

τ_c – задержка, вносимая спутниковым ретранслятором при регенерации сигнала.

Учитывая (5) в (2) получим:

$$\begin{aligned}
\bar{t}_{suc_i} &= \bar{\Psi}_i g'_{LAN_i} 1 Q_k^{-1} + \Psi_i M n_{oc} Q_c^{-1} T_{0i}, \\
\bar{t}_{suc_k} &= \bar{\Psi}_k g'_{LAN_k} 1 Q_k^{-1} + \Psi_k M n_{oc} Q_c^{-1} T_{0k},
\end{aligned} \tag{6}$$

где $g'_{LAN_i} 1$ и $g'_{LAN_k} 1$ – среднее дискретное время обслуживания сообщения соответственно СИС i -й ЛСС при взаимодействии с одной из станций i -й сети и СИС k -й ЛСС при взаимодействии с одной из станций k -й сети,

$$\begin{aligned}
g'_{LAN_i} 1 &= d/dZ^{-1} g_{LAN_i} Z |_{Z=1}, \\
g'_{LAN_k} 1 &= d/dZ^{-1} g_{LAN_k} Z |_{Z=1},
\end{aligned} \tag{7}$$

Используя выражения для Z -пр.р. интервала обслуживания сообщения соответственно СИС i -й ЛСС при взаимодействии с одной из станций i -й сети и СИС k -й ЛСС при взаимодействии с одной из станций k -й сети в (7) определим среднее дискретное время обслуживания сообщения соответственно СИС i -й ЛСС при взаимодействии с одной из станций i -й сети и СИС k -й ЛСС при взаимодействии с одной из станций k -й сети:

$$\begin{aligned}
g'_{LAN_i} 1 &= n_{om} + \sum_{\gamma=1}^m N_\gamma \theta_{i\gamma} n_{om} + 1 - \theta_{i\gamma} n_{mo}, \\
g'_{LAN_k} 1 &= n_{om} + \sum_{\gamma=1}^m N_\gamma \theta_{k\gamma} n_{om} + 1 - \theta_{k\gamma} n_{mo}.
\end{aligned} \tag{8}$$

Определим среднее время обслуживания сообщения для спутникового ретранслятора. Для этого воспользуемся Z -пр.р. интервала обслуживания сообщения на спутнике связи, которое имеет вид [8]:

$$g_R Z = Z^{-Mn_{oc}}, \tag{9}$$

где M – число СИС в гибридной сети связи.

Учитывая (9) в (2) получим:

$$\bar{t}_{sR} = Mn_{oc} T_c. \quad (10)$$

Таким образом, определены все компоненты, входящие в (1), которые позволяют определить среднее время обслуживания сообщений межсетевого трафика в гибридной сети связи.

Средняя скорость передачи информации в межсетевом канале связи определяется выражением:

$$R_s = k/\bar{t}_{sy}, \quad (11)$$

где k – длина информационной части передаваемого кадра.

Полученные характеристики обслуживания гибридной сети связи позволяют оценить временные затраты на процесс передачи сообщений межсетевого трафика и производительность в межсетевом канале связи. Эти характеристики позволяют решать различные системные задачи и выполнять проектные процедуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Iniewski K. Convergence of Mobile and Stationary Next-generation Networks. – NJ: John Wiley & Sons, 2010.– 790 p.
2. Быховский М.А. Развитие телекоммуникаций. На пути к информационному обществу. Развитие спутниковых телекоммуникационных систем.– М.: Горячая Линия–Телеком, 2014.– 436 с.
3. Вишнеvский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации.– М.: Техносфера, 2005.– 592 с.
4. Голованов С.В., Пастухов А.С. Сравнительный анализ эффективности спутниковых и гибридных сетей передачи данных / С.В. Голованов, А.С. Пастухов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2006. – № 2. – Т. 2. – С. 38–42.
5. Шелухин О.И. Анализ протоколов передачи данных в гибридных мультисервисных сетях спутниковой связи / О.И. Шелухин, А.В. Нефедов, Дж.В. Сирухи // Вестник МГУС. Сер.: Радиоэлектроника и информатика. Тематический выпуск «Построение и функционирование современных спутниковых и подвижных систем связи» / под ред. О. И. Шелухина. М.: МГУС, 2001. С. 28–37.
6. Пастухов А.С. Выбор соотношения между пропускной способностью прямого и обратного каналов в гибридных сетях спутниковой связи / Пастухов А.С. // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2008.– №1-2, т.4.– С. 74–79.
7. Гезалов Э.Б. Модель гибридной сети связи с неоднородной наземной подсетью и протоколом синхронного временного доступа / Э.Б. Гезалов // Известия Азербайджанского Национального Аэрокосмического Агентства. – Баку, 2009 .– №1, т.12.– С. 41-47.
8. Гезалов Э.Б. Моделирование гибридной пакетной сети / Э.Б. Гезалов, Э.Н. Мамедов // Доклады 2-ой Международной конференции «Спутниковая связь», 23–27 сентября 1996 г.– М.,1996.– т. 1.– С. 213–219.
9. Гезалов Э.Б. Модель процесса передачи неоднородного межсетевого трафика в гибридной сети связи с протоколом комбинированного доступа / Э.Б. Гезалов // Электросвязь.– М.– 2013.– №12. – С. 41–44.

REFERENCES

1. Iniewski, Krzysztof. Convergence of Mobile and Stationary Next-generation Networks. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2010. Print.
2. Byhovsky, M. The Development of Telecommunications. On the Way to Information Society. Development of Satellite Telecommunication Systems. Moscow: Hot Line – Telecom, 2014. Print.
3. Vishnevsky, V., A. Ljahov, S. Portnoy, and I. Shahnovich. Broadband Wireless Networks for Information Transmission. Moscow: Technosfera, 2005. Print.
4. Golovanov, S., and A. Pastuhov. "A Comparative Study of the Satellite and Hybrid Data Transmission Networks." Electrical and Data Processing Facilities and Systems 2.2 (2006): 38–42. Print.
5. Sheluhin, O., A. Nefedov, and J. Siruhy. "Analysis of the Data Transmission Protocols in Hybrid Multi-service Satellite Communication Networks." Bulletin of MSU. Ser.: Electronics and Computer Science. The Thematic Issue on "Construction and Operation of Modern Satellite and Mobile Communication Systems" (2001): 28–37. Print.

6. Pastuhov, A. "Selection of Ratio between Throughputs of Uplink and Downlink Channels in Hybrid Satellite Networks." *Electrical and Data Processing Facilities and Systems* 8.1-2 (2008): 74–79. Print.
7. Gezalov, E. "Telecommunication Hybrid Network Model with Heterogeneous Ground Subnetwork and Synchronous TDMA Protocol." *News of Azerbaijan National Aerospace Agency* 12.1 (2009): 41-47. Print.
8. Gezalov, E., and E. Mamedov. "Simulation of hybrid packet network." *Proceedings on 2nd International Conference "Satellite Communication" Moscow. Vol. 1. Moscow: n.p., 1996. 213–19. Print.*
9. Gezalov, E. "The Model of Transmission of Heterogeneous Network Traffic in a Hybrid Communications Network with Combined Access Protocol." *Electrosvyaz* 12 (2013): 41-44. Print.