

МОДЕЛЬ НЕОДНОРОДНОЙ ГИБРИДНОЙ СЕТИ СВЯЗИ С УЧЕТОМ БЛОКИРОВОК ПРИЕМНЫХ БУФЕРОВ СТАНЦИЙ И СПУТНИКА СВЯЗИ

МОДЕЛЬ НЕОДНОРІДНОЇ ГІБРИДНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ З УРАХУВАННЯМ БЛОКУВАНЬ ПРИЙМАЛЬНИХ БУФЕРІВ СТАНЦІЙ І СПУТНИКА ЗВ'ЯЗКУ

THE MODEL OF THE HETEROGENEOUS HYBRID COMMUNICATION NETWORK WITH TAKING INTO ACCOUNT THE BLOCKING OF RECEIVE BUFFERS OF LAN STATIONS AND COMMUNICATION SATELLITE

Аннотация. Рассмотрена гибридная сеть связи с неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений наземной подсетью с протоколом синхронного временного доступа. Рассмотрен процесс блокировки приемного буфера станций локальных сетей, составляющих наземную подсеть, и спутника связи. Показано, что при анализе процесса передачи межрегиональной информации в гибридной сети необходимо учитывать влияние этого процесса на характеристики сети. Разработана модель в дискретном времени неоднородной гибридной сети связи с учетом блокировок приемного буфера станций локальных сетей и спутника связи.

Анотація. Розглянута гібридна мережа зв'язку з неоднорідною за інтенсивністю вхідного потоку повідомлень наземною підмережею з протоколом синхронного часового доступу. Розглянутий процес блокування приймального буфера станцій локальних мереж, що складають наземну підмережу, і спутника зв'язку. Показано, що при аналізі процесу передавання міжрегіональної інформації в гібридній мережі необхідно враховувати вплив цього процесу на характеристики мережі. Розроблена модель у дискретному часі неоднорідної гібридної мережі зв'язку з урахуванням блокувань приймального буфера станцій локальних мереж і спутника зв'язку.

Summary. The hybrid communication network including the ground subnetwork with heterogeneous incoming message flow on its intensity and synchronous access time protocol is considered. The process of blocking the receive buffer of ground subnetwork LAN stations and communication satellite is considered, and it is shown that influence of the inter-regional information transmission on network characteristics must be considered in its analysis. A model in a discrete-time of hybrid heterogeneous network with taking into account the blocking of receive LAN stations buffer and the receive buffer of communication satellite is carried out.

В настоящее время во многих странах мира ведутся интенсивные работы по созданию звеньев Глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ), основной стратегической целью которой является внедрение и расширение возможности диалогового режима, позволяющего пользователю передавать информацию по сетям из одного конца в другой легко и эффективно [1, 2]. В связи с этим большое внимание уделяется проблеме объединения посредством спутника связи географически разбросанных и относительно удаленных друг от друга наземных сетей связи. Поскольку на территории каждой страны функционируют наземные сети, не имеющие между собой связи, решение этой проблемы и ряда других позволит в будущем сделать телекоммуникационную инфраструктуру каждой страны одним из звеньев ГИИ.

Сети связи, состоящие из спутниковой и наземной подсетей связи, в научной литературе называются гибридными и рассматриваются во многих работах. В них приводится анализ характера передаваемого трафика, рассматриваются дисциплины и модели обслуживания трафика в гибридной сети связи с неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений наземной подсетью, вопросы технической реализации и т.д.

Недостаточное внимание уделяется оценке влияния процессов блокировки приемного буфера станций локальных сетей на характеристики гибридной сети связи. От решения данной задачи зависит качество обслуживания пользователей. Так, при выводе информации из приемного буфера станции локальной сети этот буфер работает в режиме чтения, и запись в него сообщения из канала связи невозможна, поскольку он заблокирован. В этом случае кадр, адресованный станции-получателю теряется и станция-отправитель вынуждена производить повторные передачи до тех пор, пока процесс блокировки не закончится, и кадр не будет принят получателем, который выдаст на него положительную квитанцию. Аналогичный процесс блокировки имеет место и для приемного

буфера на спутнике связи. Процесс блокировки приемных буферов станций локальных сетей связи (ЛСС) и спутника связи длится определенное время, которое в конечном итоге приводит к увеличению времени обслуживания сообщений в гибридной сети связи. Если при расчете характеристик гибридной сети связи не учитывать задержки, вносимые процессом блокировок приемных буферов станций ЛСС и спутника связи, ее производительность оказывается искусственно завышенной. В реальных условиях возникшие из-за блокировок приемных буферов станций ЛСС и спутника связи потери сообщений снижают качество обслуживания сообщений в гибридной сети.

Гибридные сети связи подобной архитектуры рассмотрены в [3...5]. Так, в [3] и [4] рассмотрены гибридные сети связи, наземные подсети которых состоят из ЛСС, подуровень управления доступом которых реализует соответственно протокол маркерного доступа и протокол синхронного временного доступа. В [5] рассмотрены гибридные сети связи, наземные подсети которых состоят из ЛСС двух групп. Подуровень управления доступом ЛСС одной группы реализует протокол маркерного доступа, а другой – протокол синхронного временного доступа (СВД).

В [3 ... 5] показано, что в гибридных сетях связи следует различать два вида передачи информации: передача местной (внутри локальной сети) информации и передача межсетевой информации. Процесс передачи местной информации исследован в работах многих авторов. Процесс же передачи межрегиональной (межсетевой) информации в гибридной сети связи, если не считать работ автора, исследован недостаточно. В [3 ... 5] разработаны модели в дискретном времени гибридных сетей связи и определены их вероятностно-временные характеристики, позволяющие оценить временные затраты на межсетевой информационный обмен. Однако разработанные модели не учитывают влияния процессов блокировки приемного буфера станций локальных сетей на характеристики гибридной сети связи. Поэтому **цель данной работы** состоит в разработке модели гибридной сети, учитывающей процессы блокировки приемного буфера станций локальных сетей при межсетевом информационном обмене.

Рассмотрим гибридную пакетную сеть связи, наземная подсеть которой состоит из нескольких ЛСС. Каждая из ЛСС, в свою очередь, содержит спутниковую интерфейсную станцию (СИС). СИС различных ЛСС связаны друг с другом звездообразно через спутниковый ретранслятор ширококвотельным радиоканалом с коллективным доступом. Для выхода на спутник СИС используют СВД. Коммуникационные станции (КС) каждой локальной сети разделены на подсети, т.е. группы станций, различающиеся по интенсивности входящего потока сообщений. Станции в пределах своей подсети однородны по своей активности. Подуровень управления доступом в ЛСС реализует протокол СВД.

Обратимся к модели гибридной сети связи, разработанной в [4]. В [4] показано, что процесс передачи межсетевой информации в гибридной пакетной сети через спутник связи является сложным и многоэтапным. Процесс передачи межсетевой информации в такой сети состоит из следующих фаз: 1 – станция-отправитель передает кадр СИС своей ЛСС; 2 – взаимодействие передающей СИС со спутником связи; 3 – взаимодействие спутника связи с приемной СИС через ширококвотельный радиоканал; 4 – приемная СИС передает кадр станции-адресату.

При биномиальных входящих потоках коммуникационные станции, спутниковые интерфейсные станции ЛСС и ретранслятор на спутнике связи моделируются стохастической системой $M^D / G^D / 1$ [4]. Тогда моделью гибридной сети связи является система 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 [4]:

$$\begin{cases} f_{i\gamma}(Z) = \frac{(1 - \theta_{i\gamma})g_{i\gamma}(Z)(1 - Z)}{1 - p_{i\gamma}Z - q_{i\gamma}Zg_{i\gamma}(Z)}, \\ f_{uci}(Z) = \frac{(1 - \theta_{uci})g_{uci}(Z)(1 - Z)}{1 - p_{uci}Z - q_{uci}Zg_{uci}(Z)}, \\ f_R(Z) = \frac{(1 - \theta_R)g_R(Z)(1 - Z)}{1 - p_RZ - q_RZg_R(Z)} \end{cases} \quad (1)$$

где $f_{i\gamma}(Z)$, $f_{uci}(Z)$ и $f_R(Z)$ – Z -пр.р. дискретного времени задержки, соответственно для станций γ -й подсети i -й ЛСС, СИС i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$ и спутникового ретранслятора; $\theta_{i\gamma}$, θ_{uci} и θ_R – вероятности занятого состояния буферов, соответственно станций γ -й подсети i -й ЛСС, СИС i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$ и спутникового ретранслятора; $g_{i\gamma}(Z)$, $g_{uci}(Z)$ и $g_R(Z)$ – 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; q_{uci} – вероятность поступления сообщения на такте T в буфер СИС i -й ЛСС; p_{uci} – вероятность отсутствия сообщения на такте T для СИС; $p_{uci} = 1 - q_{uci}$; q_R – вероятность поступления сообщения на такте T в буфер спутникового ретранслятора; p_R – вероятность отсутствия сообщения на такте T для спутникового ретранслятора, $p_R = 1 - q_R$.

Вероятности $\theta_{i\gamma}$, θ_{uci} и θ_R определяются из уравнений интерференции [4]:

$$\begin{cases} \theta_{i\gamma} = q_{i\gamma} \bar{n}_{si\gamma}, \bar{n}_{si\gamma} = (d / dZ^{-1}) g_{i\gamma}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \theta_{uci} = q_{uci} \bar{n}_{uci}, \bar{n}_{uci} = (d / dZ^{-1}) g_{uci}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \theta_R = q_R \bar{n}_R, \bar{n}_R = (d / dZ^{-1}) g_R(Z) \Big|_{Z=1}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\bar{n}_{si\gamma}$, \bar{n}_{uci} и \bar{n}_R – среднее дискретное время обслуживания соответственно для станций γ -й подсети i -й ЛСС, СИС i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$ и спутникового ретранслятора.

При этом выражения для $g_{i\gamma}(Z)$, $g_{uci}(Z)$ и $g_R(Z)$ имеют соответственно вид:

$$\begin{aligned} g_{i\gamma}(Z) &= Q_k \cdot g_{si\gamma}(Z) \cdot (1 - P_k \cdot g_{si\gamma}(Z))^{-1}, \\ g_{uc_{si}}(Z) &= \bar{\psi}_{si} \cdot g_{лс_s}(Z) \cdot Q_k \cdot (1 - P_k \cdot g_{лс_s}(Z))^{-1} + \\ &+ \psi_{si} \cdot Z^{-M \cdot n_{oc}} \cdot Q_c \cdot (1 - P_c \cdot Z^{-M \cdot n_{oc}})^{-1}, \\ g_R(Z) &= Z^{-M \cdot n_{oc}} \\ g_{si\gamma}(Z) &= Z^{-N n_{ok}} (\theta_{uc} (\bar{\psi}_i Z^{-n_{ok}} + \psi_i Z^{-n_{oc}}) + (1 - \theta_{uc})), \\ Q_k + P_k &= 1, Q_c + P_c = 1, Q_c = (1 - p_s)^{n_k}, \bar{\psi}_i + \psi_i = 1, i = \overline{1, M}, \\ g_{лс_s}(Z) &= Z^{-N \cdot n_{ok}}, \end{aligned} \quad (3)$$

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, P_k – вероятность обнаружения ошибки при передаче кадра длиной n_k , бит; p – вероятность ошибки в биномиальном дискретном канале; ψ_i – вероятность того, что СИС i -й ЛСС в цикле доступа взаимодействует со спутником связи, $g_{лс_s}(Z)$ – Z -пр.р. интервала обслуживания сообщения СИС ЛСС с синхронным временным 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; $n_{oc} = 2(n_k + n_{pc}) + \tau_c$, n_{pc} – число бит, которое можно передать за время распространения сигнала от СИС к спутнику связи или от спутника связи к СИС; 2 – коэффициент, учитывающий

фазы передачи сигнала от СИС к спутнику связи и от спутника связи к СИС в широкоэмитальном режиме; 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; M – число СИС в гибридной сети связи.

Для учета процесса блокировок приемного буфера станций воспользуемся подходом из [6, 7]. Тогда процесс блокировок приемного буфера КС γ -й подсети i -й ЛСС, спутниковой интерфейсной станции i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$ и спутникового ретранслятора аппроксимируем биномиальным законом распределения с параметрами соответственно $\Psi_{bi\gamma}$, Ψ_{bci} и Ψ_{bR} ($\Psi_{bi\gamma}$, Ψ_{bci} и Ψ_{bR} – вероятность незаблокированного состояния приемных буферов соответственно γ -й подсети i -й ЛСС, спутниковой интерфейсной станции i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$ и спутникового ретранслятора), и количество попыток до успешной передачи кадра представим Z -пр.р.р. следующего вида:

$$\begin{aligned} g_{bi\gamma}(Z) &= \Psi_{bi\gamma} (Z - (1 - \Psi_{bi\gamma}))^{-1}, \\ g_{bci}(Z) &= \Psi_{bci} (Z - (1 - \Psi_{bci}))^{-1}, \\ g_{bR}(Z) &= \Psi_{bR} (Z - (1 - \Psi_{bR}))^{-1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Тогда Z -пр.р.р. интервала обслуживания сообщения для станций γ -й подсети i -й ЛСС, спутниковой интерфейсной станции i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$ и спутникового ретранслятора с учетом переспросов из-за блокировок приемных буферов станций ЛСС и спутника связи запишется соответственно так:

$$\begin{aligned} h_{bi\gamma}(Z) &= g_{bi\gamma}((g_{i\gamma}^{-1}(Z))), \\ h_{bci}(Z) &= g_{bci}((g_{uc_{si}}^{-1}(Z))), \\ h_{bR}(Z) &= g_{bR}((g_R^{-1}(Z))). \end{aligned} \quad (5)$$

Выполнив подстановки $Z = (g_{i\gamma}^{-1}(Z))$, $Z = (g_{uc_{si}}^{-1}(Z))$, $Z = (g_R^{-1}(Z))$ в указанные в (4), выражения для $h_{bi\gamma}(Z)$, $h_{bci}(Z)$, $h_{bR}(Z)$ запишутся так:

$$\begin{aligned} h_{bi\gamma}(Z) &= \Psi_{bi\gamma} g_{i\gamma}(Z) (1 - (1 - \Psi_{bi\gamma}) g_{i\gamma}(Z))^{-1}, \\ h_{bci}(Z) &= \Psi_{bci} g_{uc_{si}}(Z) (1 - (1 - \Psi_{bci}) g_{uc_{si}}(Z))^{-1}, \\ h_{bR}(Z) &= \Psi_{bR} g_R(Z) (1 - (1 - \Psi_{bR}) g_R(Z))^{-1}. \end{aligned} \quad (6)$$

Определим среднее дискретное время обслуживания сообщений для станций γ -й подсети i -й ЛСС, спутниковой интерфейсной станции i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$ и спутникового ретранслятора с учетом переспросов из-за блокировок приемных буферов станций ЛСС и спутника связи:

$$\begin{aligned} \bar{n}_{bi\gamma} &= (d / dZ^{-1}) h_{bi\gamma}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \bar{n}_{bci} &= (d / dZ^{-1}) h_{bci}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \bar{n}_{bR} &= (d / dZ^{-1}) h_{bR}(Z) \Big|_{Z=1}. \end{aligned} \quad (7)$$

С учетом (6) в (7) получим:

$$\begin{aligned} \bar{n}_{bi\gamma} &= \bar{n}_{si\gamma} / \Psi_{bi\gamma}, \\ \bar{n}_{bci} &= \bar{n}_{uci} / \Psi_{bci}, \\ \bar{n}_{bR} &= \bar{n}_R / \Psi_{bR}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\bar{n}_{si\gamma}$, \bar{n}_{uci} , \bar{n}_R – среднее дискретное время обслуживания сообщений для станций γ -й подсети i -й ЛСС, спутниковой интерфейсной станции i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$ и спутникового ретранслятора без учета блокировок приемных буферов станций ЛСС и спутника связи, определяемые (2).

Как видно из (8), среднее дискретное время обслуживания сообщений для станций γ -й подсети i -й ЛСС, спутниковой интерфейсной станции i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$ и спутникового ретранслятора с учетом переспросов из-за блокировок приемных буферов станций ЛСС и спутника связи выше среднего дискретного времени обслуживания сообщений, когда блокировки не учитываются, соответственно в $1/\psi_{bi\gamma}$, $1/\psi_{bci}$, $1/\psi_{bR}$ раз. Так, при вероятности блокировок приемных буферов, равных 0,7, 0,5 и 0,3 среднее время обслуживания сообщений увеличится соответственно в 3,33; 2 и 1,42 раза.

В заключение отметим, что разработанная модель гибридной сети связи с неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений наземной подсетью учитывает блокировки приемного буфера станций локальных сетей наземной подсети и спутника связи. Данная модель позволяет определить вероятностно-временные характеристики гибридной сети связи, а также решать различные системные задачи и проектные процедуры.

Литература

1. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / [В.М.Вишневецкий, А.И.Ляхов, С.Л.Портной, И.В.Шахнович]. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Столингс В. Передача данных / Столингс В. – СПб.: Питер, 2004. – 750 с.
3. Гезалов Э.Б. Моделирование гибридной пакетной сети / Гезалов Э.Б., Мамедов Э.Н. // Доклады 2-й Международной конференции "Спутниковая связь". – М., 1996. – Т.1. – С. 213-219.
4. Гезалов Э.Б. Модель гибридной сети связи с неоднородной наземной подсетью и протоколом синхронного временного доступа / Гезалов Э.Б. // Известия Азербайджанского Национального Аэрокосмического Агенства. – Баку, 2009. – № 1 – Т.12. – С. 41-47.
5. Гезалов Э.Б. Модель гибридной сети связи с неоднородной наземной подсетью / Э.Б. Гезалов // Вестник Харьковского Технического Университета "ХПИ". Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение». – Харьков, 2010. – № 20. – С. 34-44.
6. Гезалов Э.Б. Модель неоднородной локальной сети с протоколом комбинированного доступа и с учетом блокировки приемного буфера станций / Э.Б. Гезалов // Материалы Девятой Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения». АПЭП-2008. – Новосибирск, 2008. – Т. 2. – С. 133-138.
7. Гезалов Э.Б. Характеристики неоднородной локальной сети с протоколом комбинированного доступа / Э.Б. Гезалов // Материалы Десятой Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения». АПЭП-2010. – Новосибирск, 2010. – Т.2. – С. 80-83.