

УДК 621.324

Ю.И. Лосев, З.З. Закиров

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОБМЕНА ДАННЫМИ В СИСТЕМАХ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ И АДРЕСНЫМ ОБНАРУЖЕНИЕМ ОШИБОК

Разработана модель процесса обмена данными в системах с обратной связью и адресным обнаружением ошибок. Адресное обнаружение ошибок предполагает применение метода кодирования полным и перфорированным помехоустойчивым кодом. Разработанная модель позволит определить и оценить вероятностно-временные характеристики протоколов информационного взаимодействия в системах с обратной связью.

Ключевые слова: адресное обнаружение ошибок, вероятностно-временной граф, производящая функция, математическая модель.

Введение

Постановка проблемы. Качество функционирования телекоммуникационных сетей (ТКС) определяется вероятностно-временными характеристиками, основными из которых являются: пропускная способность сети, вероятность потери сообщения, вероятность доставки сообщения, вероятность простоя канала, среднее число пакетов, ожидающих передачи, среднее или гарантированное время доставки сообщения. В настоящее время для анализа количественных характеристик применяются методы моделирования сетей, использующие различный математический аппарат. Эти методы описывают отдельные процессы обмена информацией и имеют свои достоинства и недостатки. Необходимо разработать модель процесса обмена данными в системах с обратной связью, позволяющую исследовать вероятностно-временные характеристики процесса обмена данными с учетом специфики применяемого протокола, влияния обратной связи, адресного обнаружения ошибок и состояния канала связи.

Анализ литературы. В известных источниках анализ количественных характеристик процесса информационного обмена в ТКС основывается на использовании математических аппаратов теории массового обслуживания (ТМО) [1], теории графов [2], вероятностно-временных графов (ВВГ) [3] и теории телетрафика со свойством самоподобия [4].

Однако применение рассматриваемых математических аппаратов позволяет анализировать частные характеристики процесса доставки сообщений, задачи маршрутизации потоков, оценить вероятностно-временные характеристики протоколов информационного взаимодействия, характеристики сетевого трафика. Не рассмотрена возможность исследования вероятностно-временных характеристик процесса обмена данными с учетом специфики применяемого протокола, влияния обратной связи, адресного обнаружения ошибок и состояния канала связи.

Целью статьи является разработка модели процесса обмена данными в системах с обратной связью и адресным обнаружением ошибок, позволяющая исследовать вероятностно-временные характеристики процесса обмена данными с учетом специфики применяемого протокола, влияния обратной связи, адресного обнаружения ошибок и состояния канала связи.

Изложение основного материала

Для обеспечения правильного приема кодовой комбинации, т.е. обнаружения и исправления ошибок, при заданной вероятности ошибки в КС протоколы информационного обмена HDLC, X.25, TCP и другие, функционируют с применением режима обратной связи (ОС). Исследования показали, что в системах с обратной связью при определенном отношении сигнал/шум время доставки существенно возрастает. Такое возрастание происходит как за счет времени передачи сообщения, так и времени ожидания в очереди на обслуживание. Сокращение времени доставки сообщения возможно путем разработки новых алгоритмов помехоустойчивого кодирования, которые предполагали бы возможность адресного обнаружения возникающих ошибок.

В современной теории связи применяются различные избыточные коды [5]: комбинаторные, алгебраические (групповые, циклические), арифметические и т.д. В условиях повышения требований к алгоритмам исправления ошибок в каналах связи с помехами были созданы мощные алгоритмы коррекции ошибок, такие как турбо-коды. Наиболее эффективные подходы, обеспечивающие увеличения энергетической эффективности основаны на применении методов многопорогового кодирования (декодирования) [6]. Однако применение этих методов ведет к усложнению кодирующих и декодирующих устройств. Поэтому разработан метод кодирования, который прост в практической реализации и обеспечивает возможность обнаруживать все двукратные ошибки и опре-

делять номер искаженной разрядной группы без увеличения вводимой избыточности [7]. При этом применяется двухэтапное кодирование (декодирование), основанное на применении комплекса полного и перфорированного кода.

Данный метод предполагает, что переданная кодовая комбинация разделена на группы символов – сегменты. Каждая группа искаженных символов должна иметь отличительные особенности. Такие отличительные особенности можно придать, если сообщение кодировать несколько раз (несколько этапов) используя разные порождающие (проверочные) матрицы. На приемной стороне, для определения номера искаженной группы, необходимо проводить сравнение результатов декодирования на этих этапах.

Идея предлагаемого метода кодирования заключается в том, что кроме кодирования с использованием полной порождающей и проверочной матриц предусматривается второй этап дополнительного кодирования (декодирования) с использованием преобразованной (перфорированной) порождающей и проверочной матриц. Проверочная (порождающая) матрица формируется путем исключения некоторых столбцов проверочной матрицы (строк у порождающей матрицы). В результате передается информационная последовательность символов и две группы проверочных разрядов, полученных при двухэтапном кодировании. На приемной стороне в результате двухэтапного декодирования получают два вида синдромов, в результате сравнения которых определяется номер искаженной группы.

Разработанная модель процесса обмена данными в системах с ОС и адресным обнаружением ошибок с применением вероятностно-временных графов и математического аппарата производящих функций [3] позволит оценить вероятностно-временные характеристики протоколов информационного взаимодействия и сетевых устройств; моделировать поведение абонентов сети (входного трафика сети), механизмов управления доступом, трафиком и очередями, профилирования и сглаживания трафика, а также работы планировщика.

Применение метода вероятностно-временных графов (ВВГ) и производящих функций предполагает построение графа, описывающего процесс передачи и приема сообщения. Каждая дуга ВВГ характеризуется функцией, определяемой вероятностью ее выбора – P и относительным временем перехода из одного состояния в другое – t (относительно длины передаваемого пакета). При этом вид функции дуги $f(P, t)$ должен быть таким, чтобы при нахождении произведений функций дуг вероятности умножались, а время суммировалось. Такая функция имеет вид $f(P, t) = P \cdot Z^t$, где Z – параметр [3].

В режиме с ОС обмен данными может осуществляться с адресацией конкретного абонента (веро-

ятность $P_{\text{адр}}$) и без адресации. В режиме с адресацией осуществляется проверка отсутствия ошибок в адресно-служебных разрядах (ПрА) (вероятность $P_{\text{пра}}$). В случае правильной адресации, а также в режиме без адресации происходит передача данных получателю (ПрП). При передаче данных через КС кодограммы могут быть приняты правильно (Пр) (вероятность $P_{\text{пр}}$), с обнаруженной ошибкой (Оош) (вероятность $P_{\text{оо}}$), необнаруженной ошибкой (ОШ) (вероятность $P_{\text{но}}$) или потеряны (Пот).

Анализ информационных технологий, применяемых в современных телекоммуникационных сетях, показывает, что обмен данными осуществляется кодограммами (кадрами) общей длины – n , содержащей информационные (m), адресно-служебные (k), служебные (c) и проверочные (r) разряды. Пусть $T_{\text{инф}}$ – время передачи информационной части пакета данных (кодограммы), а $T_{\text{служ}}$ – время передачи служебной части кодограммы (заголовка, служебных и проверочных разрядов). Тогда длительность передачи кадра $T_{\text{к}} = T_{\text{инф}} + T_{\text{служ}}$.

Время передачи информационной части пакета данных: $T_{\text{инф}} = m/V$, время передачи служебной части $T_{\text{служ}} = (n - m)/V$, где V – скорость модуляции. Количество служебных разрядов, а также скорость модуляции для разных технологий различно, следовательно, время передачи информационной и служебной части кодограммы будет разным. Поскольку длительность передачи кадра для информационных технологий различно, то относительное время передачи при отсутствии повторений будет равно $T_{\text{отн к}} = T_{\text{к}}/T_{\text{инф}}$.

При обнаружении ошибки в адресно-служебных разрядах сообщения стираются, и через время тайм-аута – $T_{\text{та}}$ осуществляется повторная передача. Поскольку количество информационных разрядов – m кадра различно, то будем пользоваться относительным временем тайм-аута – $g = T_{\text{та}}/T_{\text{п}}$. При отсутствии ошибок кодовая комбинация передается получателю (ПрП). В случае обнаружения ошибки через время тайм-аута квитанция не передается и происходит повторная передача кодограммы. При передаче данных без ошибок и с необнаруженной ошибкой передается квитанция (вероятность правильного приема $P_{\text{кв}}$, относительное время доставки квитанции $h = T_{\text{кв}}/T_{\text{п}}$, где $T_{\text{кв}}$ – время доставки квитанции). При неподтверждении получения кодограммы (квитировании), через время тайм-аута происходит повторная передача кодограммы. Граф функционирования в режиме с ОС при использовании разработанного метода кодирования (адресное обнаружение ошибок) представлен на рис. 1.

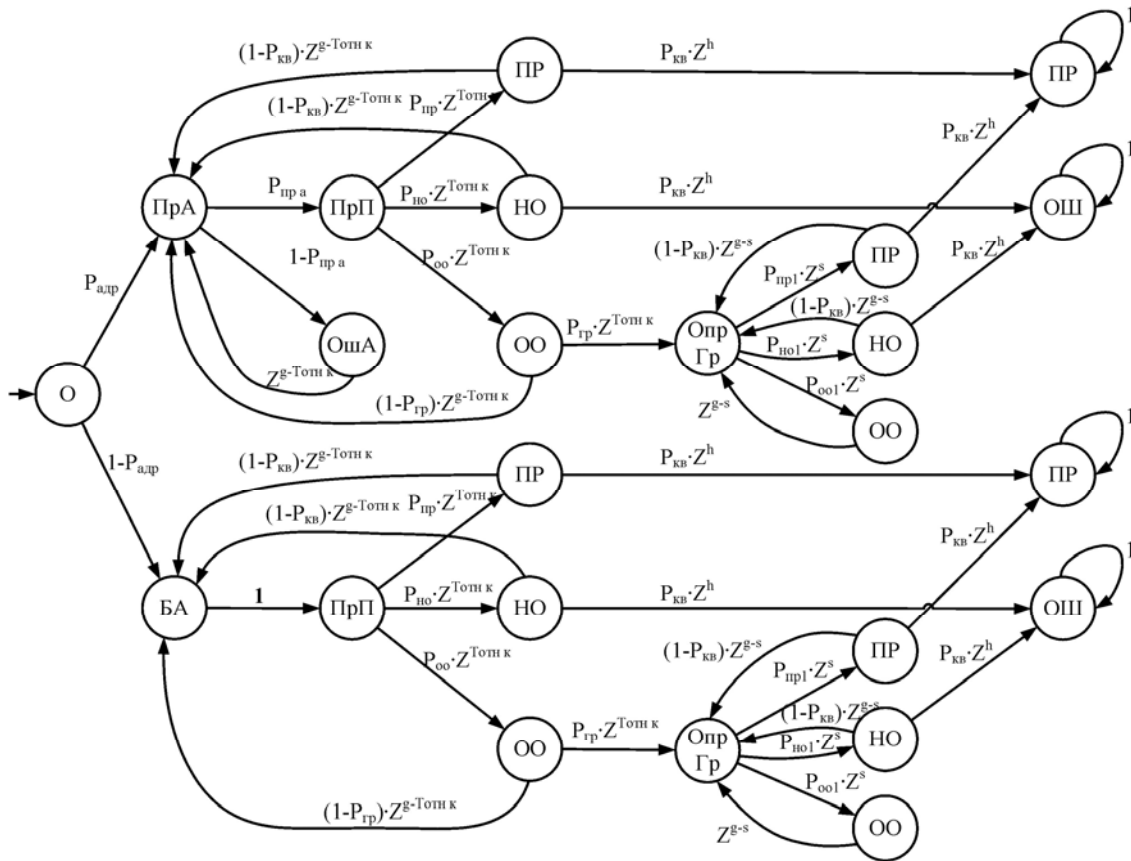


Рис. 1. Граф процесса обмена данными в системах с ОС и адресным обнаружением ошибок

При обнаружении ошибки (ОО) с вероятностью $P_{гр} = 1 - 1/2^r$ определяется группа искаженных символов (ОпрГр). Далее повторяемая группа может вообще не передаваться или быть принята правильно (ПрП) (вероятность правильного приема искаженной группы $P_{пр1}$, относительное время доставки искаженной группы $s = T_k / (\gamma \cdot T_{инф})$, где γ – длина группы), с необнаруженной ошибкой (НО) (вероятность необнаружения ошибки в искаженной

группе $P_{но1}$) и с обнаруженной ошибкой (ОО) (вероятность обнаружения ошибки в искаженной группе $P_{оо1}$).

После эквивалентных преобразований получим промежуточные и преобразованный ВВГ (рис. 2).

Производящая функция, являющаяся математической моделью процесса информационного обмена, имеет вид $F(Z) = f_{1з}'' + f_{2з}''$, где дуги конечного ВВГ (рис. 2, в) определяются выражениями:

$$f_{1з}'' = \frac{P_{адр} \cdot f_{1з}' + (1 - P_{адр}) \cdot f_{2з}'}{1 - f_3} = \frac{P_{адр} \cdot P_{пр а} \cdot P_{кв} \cdot \left[P_{пр} \cdot Z^{T_{отн к} + h} + \frac{P_{оо} \cdot P_{гр} \cdot P_{пр1} \cdot Z^{2T_{отн к} + h + s}}{1 - [(P_{пр1} + P_{но1}) \cdot (1 - P_{кв}) + P_{оо1}] \cdot Z^g} \right]}{1 - [P_{пр а} \cdot ((P_{пр} + P_{но}) \cdot (1 - P_{кв}) + P_{оо} \cdot (1 - P_{гр})) + (1 - P_{пр а})] \cdot Z^g} + \frac{(1 - P_{адр}) \cdot P_{кв} \cdot \left[P_{пр} \cdot Z^{T_{отн к} + h} + P_{оо} \cdot P_{гр} \cdot P_{пр1} \cdot Z^{2T_{отн к} + h + s} \right]}{[1 - [(P_{пр} + P_{но}) \cdot (1 - P_{кв}) + P_{оо} \cdot (1 - P_{гр})] \cdot Z^g]};$$

$$f_{2з}'' = \frac{P_{адр} \cdot f_{1з}' + (1 - P_{адр}) \cdot f_{2з}'}{1 - f_3} = \frac{P_{адр} \cdot P_{пр а} \cdot P_{кв} \cdot \left[P_{но} \cdot Z^{T_{отн к} + h} + \frac{P_{оо} \cdot P_{гр} \cdot P_{но1} \cdot Z^{2T_{отн к} + h + s}}{1 - [(P_{пр1} + P_{но1}) \cdot (1 - P_{кв}) + P_{оо1}] \cdot Z^g} \right]}{1 - [P_{пр а} \cdot ((P_{пр} + P_{но}) \cdot (1 - P_{кв}) + P_{оо} \cdot (1 - P_{гр})) + (1 - P_{пр а})] \cdot Z^g} + \frac{(1 - P_{адр}) \cdot P_{кв} \cdot \left[P_{но} \cdot Z^{T_{отн к} + h} + \frac{P_{оо} \cdot P_{гр} \cdot P_{но1} \cdot Z^{2T_{отн к} + h + s}}{[1 - [(P_{пр1} + P_{но1}) \cdot (1 - P_{кв}) + P_{оо1}] \cdot Z^g]} \right]}{[1 - [(P_{пр} + P_{но}) \cdot (1 - P_{кв}) + P_{оо} \cdot (1 - P_{гр})] \cdot Z^g]}.$$

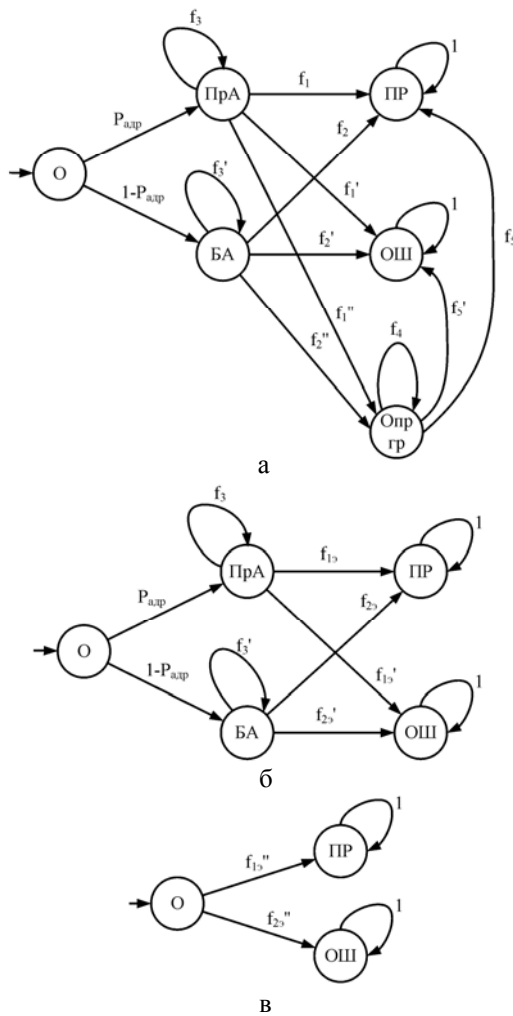


Рис. 2. Промежуточный (а, б) и преобразованный (в) вероятностно-временные графы

Определив производящую функцию, можем найти вероятность ошибки $P_{\text{ош}} = f_{23}'' \Big|_{Z=1}$, среднее

время процесса передачи кодограммы $T_{\text{ср пер}} = \frac{F(Z)}{dZ} \Big|_{Z=1}$ и его дисперсию

$$D_{T_{\text{ср пер}}} = \frac{d^2 F(Z)}{dZ^2} \Big|_{Z=1} + \frac{dF(Z)}{dZ} \Big|_{Z=1} - \left(\frac{dF(Z)}{dZ} \Big|_{Z=1} \right)^2$$

Вывод

Таким образом, разработана математическая модель процесса обмена данными в системах с обратной связью, позволяющая исследовать вероятностно-временные характеристики процесса обмена данными с учетом специфики применяемого протокола, влияния обратной связи, адресного обнаружения ошибок и состояния канала связи.

Список литературы

1. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. Ч.1. / Шварц М.; пер. с англ. – М.: Наука; гл. ред. физмат. лит., 1992. – 336 с.
2. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас; пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
3. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Ю.И. Лосев, А.Г. Бердников, Э.Ш. Гойхман, Б.Д. Сизов; под. ред. Ю.И. Лосева. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
4. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова – С.ПБ.: БХВ Петербург, 2005. – 288 с.
5. Скляр Б. Цифровая связь: [Теоретические основы и практическое применение] / Б. Скляр.; пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
6. Золотарёв В.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: [Справочник] / В.В. Золотарёв, Г.В. Овечкин; под ред. чл.-корр. РАН Ю.Б.Зубарева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 126 с.
7. Лосев Ю.И. Метод многоэтапного кодирования полным и перфорированным помехоустойчивым кодом / Ю.И. Лосев, З.З. Закиров, Е.В. Шубин // Системы обработки информации: сб. науч. работ. – К.: ЦНДІ навігації і управління. – Вип. 1 (5). – 2008. – С. 126-130.

Поступила в редколлегию 12.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Калкаманов, Харьковский университет Воздушных Сил им И. Кожедуба, Харьков.

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ОБМІНУ ДАНИМИ В СИСТЕМАХ ЗІ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ТА АДРЕСНИМ ВИЯВЛЕННЯМ ПОМИЛОК

Ю.І. Лосев, З.З. Закіров

Розроблено модель процесу обміну даними в системах зі зворотним зв'язком та адресним виявленням помилок. Адресне виявлення помилок припускає застосування методу кодування повним і перфорованим завадостійким кодом. Розроблена модель дозволить визначити та оцінити імовірно-часові характеристики протоколів інформаційної взаємодії в системах зі зворотним зв'язком.

Ключові слова: адресне виявлення помилок, імовірно-часовий граф, утворююча функція, математична модель.

DEVELOPMENT OF MODEL OF PROCESS OF DATA EXCHANGE IN SYSTEMS WITH A FEEDBACK AND ADDRESS DETECTION OF MISTAKES

Yu.I. Losev, Z.Z. Zakirov

The model of process of data exchange in systems with a feedback and address detection of mistakes is developed. Address detection of mistakes assumes application of a method of coding by the full and punched noiseproof code. The developed model will allow to define and estimate probability – time characteristics of reports of information interaction in systems with a feedback.

Keywords: address detection of mistakes, probability - temporal graph, a generating function, mathematical model.