

УДК 621.395

Ю.И. Лосев, С.И. Шматков, К.М. Руккас, Олоту Олуватосин Давид, Ю.М. Малышко

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ДОСТОВЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМ РЕСУРСОМ

В статье разрабатывается методика определения требований к достоверности передачи информации в системе управления сетевым ресурсом. Предложенная методика позволяет учесть влияния ошибок в канале связи на точность передаваемой информации. На основе предложенной методики определены конкретные требования по вероятности ошибки для различных типов кодовых комбинаций.

Ключевые слова: кодовая комбинация, достоверность передачи, управление сетевым ресурсом, точность передаваемой информации.

Введение

Постановка задачи. Современные распределенные информационные системы (РИС) представляют собой сложный программно-аппаратный комплекс, который используется для передачи и обработки различных типов трафика. Распределенный характер крупной со сложной структурой РИС делает невозможным поддержание ее работы на должном уровне на основе традиционных систем управления. Транспортная сеть является коллективным ресурсом. Для организации эффективного распределения этого ресурса между пользователями необходимо оценить требования к достоверности передачи информации потребителей с учетом особенностей передаваемого трафика. Управление информационным ресурсом на этапе доступа заключается в обеспечении взаимодействия транспортной сети и источника информации. Основными задачами на этом уровне являются согласование пропускной способности сети (каналов связи) с информационной способностью источника, согласование структуры пакетов (кадров), обеспечение наилучших условий доступа (получение таких вероятностно-временных характеристик, как время доступа, и вероятность доступа).

При согласовании информационной способности транспортной сети и источников информации полагают, что используют цифровую сеть. Поскольку источниками могут выдавать сигнал в цифровом или аналоговом виде, возможны два варианта моделей и методов управления информационными ресурсами на этапе доступа. Один вариант предполагает, что источник выдает сигнал в аналоговом виде. При этом задается ширина спектра сигнала ΔF_m , $\Delta F = (f_H - f_B)$, максимальное значение передаваемого сигнала X_{max} или его динамический диапазон, точность измерений δ_x – среднеквадратичная ошибка измерений параметра x . Если источник выдает сигнал в цифровом виде, то известна длина выдаваемых сообщений с их периодичностью. Сначала

предположим, что источник выдает сигналы в аналоговом виде.

Цель статьи. Поэтому актуальной является задача разработки методики определения требований к достоверности передачи информации в системе управления сетевым ресурсом.

Анализ последних исследований и публикаций. В [1 – 5] описаны некоторые вопросы, связанные с оценкой пропускной способности и времени передачи сообщения с учетом использования различных методов повышения верности передачи информации. В [6 – 8] описаны модели достоверности передачи информации с учетом использования протоколов канального и сетевого уровней. В [1 – 3] описаны модели согласования пропускной способности канала связи с информационной способностью источника информации.

Изложение основного материала

Система передачи данных должна обеспечить доставку информации потребителю за заданное время, а также гарантировать определенный уровень ее достоверности. Требования к допустимой вероятности ошибки – $P_{ош}$ и времени доведения – $\Delta t_{дов}$ определяются задачами, которые решаются при передаче информации. Вероятность искажения единичного элемента в защищенных каналах связи (КС) характеризуется эквивалентной вероятностью ошибки – $P_э$. Ошибки, вносимые КС, приводят к искажению кадра, оказывают влияние на процесс обработки информации и управления. Возможны потери кадров, в результате чего на управляемых объектах может произойти срыв автоматического управления.

В наиболее полном случае требования к $P_{ош}$ можно получить на основе оценки среднего значения и дисперсии времени доставки и влияния возникающих ошибок на передаваемую кодовую комбинацию (КК) на такие важные характеристики точность и время доставки.

Зависимость относительного времени доставки кадра, характеризующая избыточность процесса его передачи, имеет вид

$$\frac{T_{cp}}{T_{\Pi} \cdot W_0} = 1 + \frac{T_{Oж}}{W_0 \cdot T_{\Pi}} + \frac{(T_{TA}/(W_0 \cdot T_{\Pi})) \cdot (P_{пот} + P_{oo})}{1 - (P_{oo} + P_{пот})}, \quad (1)$$

где T_k – длительность кадра; $P_{пот}$ – вероятность потери кадра; W_0 – ширина окна; P_{oo} и $P_{но}$ – вероятность обнаруженной и не обнаруженной ошибки в кадре; $P_{пр}$ – вероятность приема кадра без ошибок; $T_{ож}$ – время ожидания решающего сигнала.

Полагая $T_{ож} = W_0 \cdot T_k$ и $P_{пот} = 0$, из (1)

$$T_{cp}/T_k = 2 + (T_{TA}/(W_0 \cdot T_{\Pi})) \cdot P_{oo}/(1 - P_{oo}). \quad (2)$$

Вероятности необнаружения и обнаружения ошибки при произвольном законе распределения ошибок зависят от длины кадра n , вероятности ошибки в одном бите $P_{ош}$ и в общем случае определяются следующим образом:

$$P_{но} = \left[1 - (1 - P_{ош})^n\right] \cdot \frac{1}{2^r}, \quad P_{oo} = \left[1 - (1 - P_{ош})^n\right] \cdot \left(1 - \frac{1}{2^r}\right),$$

где r – количество проверочных разрядов.

Поскольку r выбирается из условия $r \geq \log(1+n)$, n_j при $P_{ош} \ll 1$:

$$P_{но} \approx n P_{ош} \cdot (1/(n+1)), \quad P_{oo} \approx n P_{ош} (1 - 1/(n+1)). \quad (3)$$

Зависимость вероятности ошибки кодовой комбинации от эквивалентной вероятности ошибки одного бита имеет вид $P_{ош_{КК}} = 1 - (1 - P_3)^m$, где $m = n - \log(1+n)$. Тогда эквивалентная вероятность ошибки

$$P_3 = 1 - (1 - P_{ош_{КК}})^{1/m}. \quad (4)$$

Подставляя (3) в (4), получим

$$P_3 = 1 - \left(1 - \frac{n P_{ош}/(n+1)}{1 - n P_{ош} \cdot (1 - 1/(n+1))}\right)^{1/(n - \log(1+n))}. \quad (5)$$

Выражение (1) с учетом (3) примет вид

$$\frac{T_{cp}}{T_{\Pi} W_0} = 2 + \frac{\left(1 + \frac{T_{TA}}{T_{\Pi}}\right) \cdot (1 - (1 - P_{ош})^n) \cdot \left(1 - \frac{1}{2^r}\right)}{1 - (1 - (1 - P_{ош})^n) \cdot \left(1 - \frac{1}{2^r}\right)}. \quad (6)$$

Дисперсия относительного времени доведения кадра определяется по формуле

$$D_{\frac{T_{cp}}{T_k}} = \frac{d^2 F1(Z)}{dZ^2} \Big|_{Z=1} + \frac{T_{cp}}{T_k \cdot W_0} - \left(\frac{T_{cp}}{T_k \cdot W_0}\right)^2 = \frac{(T_{TA} + T_k)^2 \cdot (1 - P_{кв}) \cdot (P_{пр} + P_{но})}{T_k^2 \cdot (P_{кв} \cdot (P_{пр} + P_{но}))^2}.$$

Это выражение с учетом допущений и преобразований примет вид

$$D_{T_{cp}/T_k} = \frac{(T_{TA} + T_k \cdot W_0)^2 \cdot P_{oo}}{W_0^2 T_k^2 \cdot (1 - P_{oo})^2} =$$

$$\frac{\left(\frac{T_{TA}^2}{W_0^2 T_k^2} + 2 \cdot \frac{T_{TA}}{W_0 T_k} + 1\right) \cdot \left[1 - (1 - P_{ош})^n\right] \cdot \left(1 - \frac{1}{2^k}\right)}{\left(1 - \left[1 - (1 - P_{ош})^n\right] \cdot \left(1 - \frac{1}{2^k}\right)\right)^2}.$$

Из соотношений (1) и (6) следует, что на среднее значение и дисперсию времени доставки существенное влияние оказывает вероятность искажения символа (вероятность $P_{ош}$).

Определим требования к $P_{ош}$ на основе оценки влияния возникающих ошибок на точность передаваемой КК. Такая оценка определяется отношением погрешности возникающей за счет искажения данных в КС к погрешности измерения значений измеряемой функции. Пусть передаваемая кодовая комбинация координаты X состоит из m_k двоичных разрядов. Цена младшего разряда Δk . Тогда при искажении младшего разряда ошибка составит Δk , второго за ним $2^1 \Delta k$, третьего – $2^2 \Delta k$, а m_k -го разряда – $2^{m_k-1} \Delta k$. В результате, дисперсия ошибок по координате X , которые возникают за счет искажения кодовой комбинации в канале передачи, равна

$$\sigma_{xКП}^2 = \left[1 + (2)^2 + (2^2)^2 + \dots + (2^{m_k-1})^2\right] \Delta k^2 \times \\ \times P_{ош}^2 / m_x = \left[\frac{4^{m_k} - 1}{3}\right] \Delta k^2 P_{ош}^2 / m_x.$$

Значение Δk выбирается из условия равенства среднеквадратической ошибки, обусловленной ценой младшего разряда Δk , и ошибки измерений значений (σ_x) в устройствах обработки информации.

В процессе дискретизации значение передаваемой функции X при АЦП можно считать равномерно распределенным на интервале квантования Δx . Тогда среднеквадратическая ошибка дискретизации может быть определена как $\sigma_x = \Delta x / 2\sqrt{3}$. При выборе Δx исходят из формулы $\sigma_d = \sigma_x \sqrt{K^2 - 1}$, где K – коэффициент, обычно равный $K = 1,1$ [4, 5], σ_x – ошибка измерения. Тогда $\Delta x = 2\sqrt{3} \sigma_x \sqrt{K^2 - 1}$.

В результате дисперсия ошибок по координате X , которые возникают за счет искажения кодовой комбинации, рассчитывается по формуле

$$\sigma_{xКП}^2 = \frac{1}{m_k} \left[4(4^{m_k} - 1) \sigma_x^2 (K^2 - 1) \cdot P_{ош}^2\right].$$

Отношение ошибки за счет искажения данных в КС к ошибке измерения характеризующее влияние ошибок на точность передаваемых данных, определяется выражением

$$\sigma_{xКП} / \sigma_x = P_{ош} \cdot \sqrt{0,84 \cdot (4^{m_k} - 1) \cdot m_k^{-1}}. \quad (7)$$

На рис. 1 изображена зависимость $\sigma_{\text{хКП}}/\sigma_{\text{х}} = f(P_{\text{ош}})$, построенная по формуле (7). По приведенным графикам, задаваясь допустимым значением $\sigma_{\text{хКП}}/\sigma_{\text{х}}$ можно определить требования к допустимой величине $P_{\text{ош}}$. Требования к $\sigma_{\text{хКП}}/\sigma_{\text{х}}$ должны соответствовать требованиям к среднеквадратической ошибке при АЦП ($\sigma_{\text{д}}$), обычно при АЦП полагают $\sigma_{\text{д}}/\sigma_{\text{х}} = K = 1.1$. При принятой величине $\sigma_{\text{д}}/\sigma_{\text{х}}$ на рис. 1 определяем $P_{\text{ош}} \leq 10^{-6}$.

Влияние на среднее значение и дисперсию времени доставки можно выявить на основании формул (6) и (7) и рис. 1. Анализ этих функций и рис/2, 3 показывает, что среднее значение и дисперсия времени и точность доставки существенно возрастает при $P_{\text{ош}} \geq 10^{-6}$.

Поэтому следует полагать, что допустимое вероятность ошибки должна удовлетворять неравенству $P_{\text{ошдоп}} \leq 10^{-6}$.

Наряду с относительным средним временем доставки пакетов достаточно показательной является относительная скорость передачи информации. Она может быть определена как

$$C_{\text{п}} = m / (n + K_{\text{пп}}),$$

где $K_{\text{пп}}$ – число разрядов, обусловленное повторными передачами.

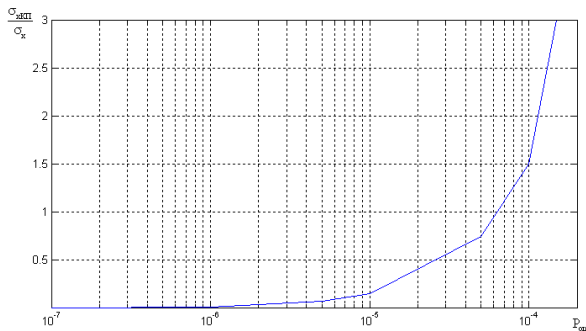


Рис. 1. График зависимости $\sigma_{\text{хКП}}/\sigma_{\text{х}} = f(P_{\text{ош}})$

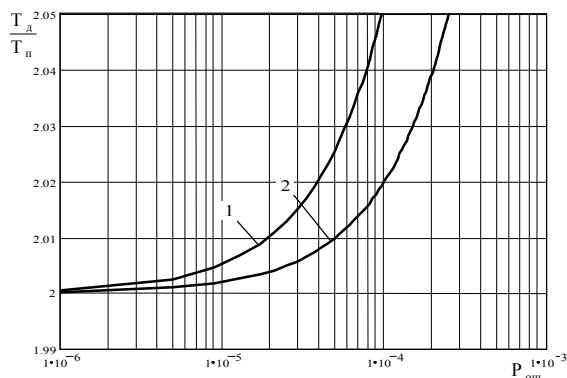


Рис. 2. Зависимость относительного времени доставки кадра от вероятности ошибки в КС:
1 – $n=69$; 2 – $n=164$

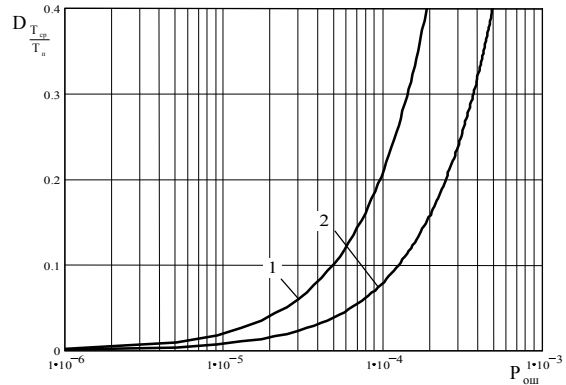


Рис. 3. Зависимость дисперсии нормированного относительного времени доставки кадра от вероятности ошибки в КС:
1 – $n=69$; 2 – $n=164$

Для данного случая

$$K_{\text{пп}} = n \cdot (P_{\text{фл}} \cdot ((1 - P_{\text{пра}}) + [(1 - P_{\text{н}}) + ((P_{\text{пр}} + P_{\text{но}}) \cdot [1 - P_{\text{кв}}] + P_{\text{оо}}) \cdot P_{\text{н}}] \cdot P_{\text{пра}}) + (1 - P_{\text{фл}})).$$

Выводы

В статье разработана методика определения требований к достоверности информации в системе управления сетевым ресурсом. Получены выражения для оценки среднего времени доставки и дисперсии времени доставки, которые позволяет оценить влияние вероятности ошибки на эти характеристики. Получены конкретные значения для вероятности ошибки для различных типов кадров.

Список литературы

1. Гойхман Э.Ш. Передача данных в АСУ / Э.Ш. Гойхман, Ю.И. Лосев. – М.: Связь, 1976. – 279 с.
2. Лосев Ю.И. Основы теории информации: навчальний посібник / Ю.И. Лосев, С.І. Шматков. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2009. – 126 с.
3. Лосев Ю.И. Комп'ютерні мережі: навчальний посібник / Ю.И. Лосев, К.М. Руккас, С.І. Шматков. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. – 245 с.
4. Захаров А.И. Основы передачи данных / А.И. Захаров. – Л.: ВАС, 1985. – 157 с.
5. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. В 2 ч.: Пер. с англ./ М. Шварц. – М.: Наука, Гл. ред. физмат. лит., 1992. – Ч. 1. – 336 с.
6. Берсекас Д. Сети передачи данных / Д. Берсекас, Р. Галлагер. – М.: Мир, 1989. – 544 с. ил.
7. Динамическое управление в сетях с коммутацией пакетов / Ю.И. Лосев и др. – К.: Техника, 1994.
8. Лосев Ю.И. Методика определения вероятностно-временных характеристик информационных технологий с учетом специфики протоколов / Ю.И. Лосев, З.З. Закиров // Системи обробки інформації: зб. наук. праць. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 1(68). – С. 43-47.

Поступила в редколлегию 2.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Можаяев, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО ДОСТОВІРНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ
В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖЕВИМ РЕСУРСОМ**

Ю.І. Лосєв, С.І. Шматков, К.М. Руккас, Олоту Олуватосин Давид , Ю.М. Малишко

У статті розробляється методика визначення вимог до достовірності передачі інформації в системі управління мережевим ресурсом. Запропонована методика дозволяє врахувати впливу помилок в каналі зв'язку на точність переданої інформації. На основі запропонованої методики визначено конкретні вимоги щодо ймовірності помилки для різних типів кодових комбінацій.

Ключові слова: *кодова комбінація, достовірність передачі інформації, управління мережевим ресурсом, точність переданої інформації.*

**METHODS CERTAIN REQUIREMENTS FOR RELIABILITY OF INFORMATION TRANSMISSION
IN THE SYSTEM OF MANAGEMENT OF NETWORK RESOURCES**

Yu.I. Losev, S.I. Shmatkov, K.M. Rukkas, Olotu Oluwatosin David , Yu.M. Malyshko

The paper is developed method of determining the requirements for the reliability of information transmission in the management of network resources. The proposed method allows to take into account the effect of errors in the communication channel on the accuracy of the information transmitted. Based on the proposed methodology identifies specific requirements for the probability of error for the different types of code combinations.

Keywords: *code combination, reliability of transmission, network management, accuracy of information transmitted.*