УДК 621.396.23:621.391.17

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ СВОЕВРЕМЕННОЙ ДОСТАВКИ СООБЩЕНИЙ В ПАКЕТНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

к.т.н. В.В. Антонов, к.т.н. М.Р. Бибарсов, Д.Н. Павлюк, Н.Н. Гахова
(представил проф. В.П. Пашинцев)

Рассматривается методика расчета вероятности своевременной доставки пакетов в радиосетях декаметрового диапазона. Получена новая зависимость, учитывающая приоритетность входного потока.

Одной из основных вероятностно временных характеристик (ВВХ) сетей связи является вероятность своевременной доставки сообщения за время не более заданного $\mathbf{P}\left(\mathbf{T_{pi}} \leq \mathbf{T_m}\right)$. В свою очередь, $\mathbf{P}\left(\mathbf{T_{pi}} \leq \mathbf{T_m}\right)$ зависит от множества факторов, таких как: интенсивность входящего потока $\boldsymbol{\lambda_i}$, интенсивность обслуживания пакетов $\boldsymbol{\mu_i}$, количества ретрансляций **n** т.д.[1].

Известная в настоящее время методика определения $\mathbf{P}\left(\mathbf{T_{pi}} \leq \mathbf{T_m}\right)$ [2] не учитывает приоритетность пакетов, что не позволяет применять её для оценки ВВХ в сетях связи с приоритетными входящими потоками. Для устранения данного недостатка необходимо в [2] заменить модель системы массового обслуживания (СМО) пакетов M/M/1 на модель типа M/G/1. Последняя, в свою очередь, позволит дополнительно учесть приоритет обслуживания пакетов.

Цель статьи заключается в разработке методики вычисления вероятности своевременной доставки пакетов с учетом их приоритетности и количества ретрансляций.

Один из возможных путей достижения поставленной цели заключается в решении задачи определения вероятности доставки между двумя заданными узлами сети связи.

Допустим, что между произвольными вершинами **A** и **B** графа, используемого в качестве модели структуры сети связи, существует **N** путей $\mathbf{\Pi_i}$, $\mathbf{i = 1,2, \ldots,N}$.

Известно[2], что события, заключающиеся в доставке сообщений по тому или иному пути, являются несовместными, тогда вероятность доставки пакета из узла **A** в узел **B** ($\mathbf{P_{AB}}$) можно выразить через вероятность доставки пакета по пути $\mathbf{\Pi_i}$, $\mathbf{i = 1,2, \ldots,N}$ следующим образом:

$$\mathbf{P_{AB}} = \sum_{i=1}^{N} \mathbf{P_{ni}}$$

где $\mathbf{P_{ni}}$ – вероятность доставки пакета из узла **A** в узел **B** по пути $\mathbf{\Pi_i}$.

В модели СМО M/G/1 требования из приоритетного класса образует пуассоновский поток с интенсивностью $\boldsymbol{\lambda_i}$ требований. Время обслуживания $\mathbf{t_{обi}}$ каждого требования этого класса выбирается независимо в соответствии с распределением вероятности $\boldsymbol{\omega}(\mathbf{t_{обi}})$ [3].

Таким образом, остается вычислить вероятность доставки пакета в системе, представляющей собой последовательное соединение систем массового обслуживания вида M/G/1.

При разработке методики расчета будем считать, что в сети поступающие требования принадлежат одному из **P** различных приоритетных классов, обозначаемых через **p (p=1, 2, ..., P)**. В этом случае, чем больше индекс класса, тем выше приоритет этого класса рис 1.

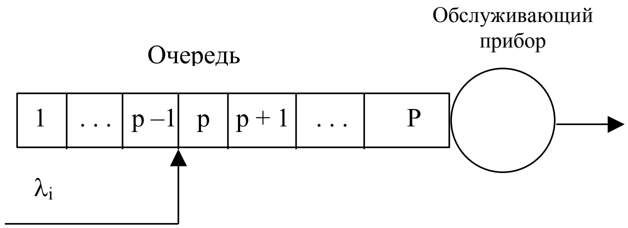

Рис.1 Приоритетное обслуживание

Известно, что время доставки ($\mathbf{T_{pi}}$) между двумя узлами, которое можно считать случайной величиной, имеет вид[4]:

$$\mathbf{T_{pi}} = \mathbf{t_{ожi}} + \mathbf{t_{обi}}, \tag{1}$$

где $\mathbf{t_{ожi}}$ – время ожидания пакета в очереди с **p** – м приоритетом в **i** – м узле.

Время ожидания пакета разлагается на две составляющие:

1. время ожидания ($\mathbf{W_{oi}}$), связанное с тем, что в момент поступления данного пакета другой пакет находится в обслуживающем приборе;

2. время ожидания пакета в очереди $\mathbf{W_{pi}}$ представленное в виде:

$$\mathbf{W_{pi}} = \mathbf{t_{обi}}\left(\mathbf{N_i} + \mathbf{M_i}\right), \tag{2}$$

где $\mathbf{N_i}$ - количество пакетов с приоритетом **k = p…P**, находящихся в очереди на момент поступления следующего пакета,

$\mathbf{M_i}$ - количество пакетов с приоритетами **k = p+1,…,P**, поступивших за время $\mathbf{t_{обi}N_i} + \mathbf{W_{oi}}$.

В свою очередь выражение для $\mathbf{M_i}$ имеет вид [4]:

$$\mathbf{M_i} = \sum_{k=p+1}^{P} \boldsymbol{\lambda_{ik}} \mathbf{t_m}, \tag{3}$$

где λ_{ik} – интенсивность приоритетного пакета,

t_m – время ожидания в очереди приоритетного пакета.

Очевидно, что при $t_m = t_{обi}N_i + W_{oi}$ выражение (3) можно представить как:

$$M_i = \sum_{k=p+1}^{P} \lambda_{ik}(t_{обi}N_i + W_{oi}) = t_{обi}N_i \sum_{k=p+1}^{P} \lambda_{ik} + W_{oi} \sum_{k=p+1}^{P} \lambda_{ik} .$$

Таким образом, в случае СМО с относительным приоритетом и обслуживанием в порядке приоритета, выражение для T_{pi} между двумя узлами принимает вид:

$$\begin{aligned} T_{pi} &= W_{pi} + W_{oi} + t_{обi} = W_{oi} + t_{обi}\left[N_i + \sum_{k=p+1}^{P} \lambda_{ik}\left(t_{обi}N_i + W_{oi}\right)\right] + t_{обi} = \\ &= W_{oi} + t_{обi}^2 N_i \sum_{k=p+1}^{P} \lambda_{ik} + t_{обi}\left(1 + N_i + W_{oi} \sum_{k=p+1}^{P} \lambda_{ik}\right). \end{aligned} \tag{4}$$

Учитывая зависимость (4), представим обобщенное выражение для $P\left(T_{pi} \le T_m\right)$ как:

$$P\left(T_{pi} \le T_m\right) = P\left(Z_i \le T_m - W_{oi}\right) = \int_0^{T_m - W_{oi}} \omega(Z_i)dZ_i , \tag{5}$$

где
$$Z_i = t_{обi}^2 N_i \sum_{k=p+1}^{P} \lambda_{ik} + t_{обi}\left(1 + N_i + W_{oi} \sum_{k=p+1}^{P} \lambda_{ik}\right).$$

Анализ выражения (5) показывает, что для получения аналитического выражения, пригодного в инженерных расчетах, необходимо найти закон распределения вероятности $\omega(Z_i)$. Используя известное свойство инвариантности законов распределения [5], выражение для $\omega(Z_i)$ можно представить в виде:

$$\omega(Z_i) = \omega(t_{обi})\left|\frac{df(Z_i)}{dZ_i}\right|, \tag{6}$$

где $\omega(t_{обi})$ – закон распределения вероятности времени обслуживания.

Известно[3], что в СМО характер распределения времени обслуживания чаще всего подчиняется показательному закону:

$$F(t_{об}) = 1 - e^{-\mu_i t_{об}} .$$

Выражение для $\omega(t_{обi})$ запишем в виде:

$$\omega(t_{об}) = \frac{d}{dt}F(t_{об}) = \mu_i e^{-\mu_i t_{об}} . \tag{7}$$

Учитывая (5, 6) определим $t_{обi}$ как функцию $f(Z_i)$ и запишем в виде:

$$t_{\text{обi}} = f(Z_i) = \frac{\sqrt{\left(1 - N_i + W_{oi}\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}\right)^2 + 4ZN_i\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}} - \left(1 - N_i + W_{oi}\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}\right)}{2N_i\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}}. \quad (8)$$

При подстановке значений (8) и (7) в (6) имеем:

$$\omega(Z_i) = \frac{\mu_i \exp\left((1 + N_i + W_{oi}\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik})\mu_i \Big/ 2N_i\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik} \right)}{\sqrt{\left(1 + N_i + W_{oi}\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}\right)^2 + 4ZN_i\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}}} \cdot \quad (9)$$

$$\cdot \exp\left\{ -\mu_i \sqrt{\left(1 + N_i + W_{oi}\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}\right)^2 + 4ZN_i\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}} \Big/ 2N_i\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik} \right\}.$$

С учетом (9) выражение для $P\left(T_{pi} \le T_m\right)$ между двумя узлами запишем в виде:

$$P\left(T_{pi} \le T_m\right) = \frac{2a_i \exp\left(-\alpha_i\sqrt{b_i}\right)}{c_i\alpha_i}\left[1 - \exp\left(-\alpha_i\left\{\sqrt{c_i X_i + b_i} - \sqrt{b_i}\right\}\right)\right], \quad (10)$$

где $a_i = \mu_i \exp\left(\dfrac{(1 + N_i + W_{oi}\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik})\mu_i}{2N_i\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}} \right)$, $b_i = \left(1 + N_i + W_{oi}\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}\right)^2$,

$$c_i = 4N_i\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}, \quad \alpha_i = \mu_i \Big/ 2N_i\sum_{k=p+1}^{P}\lambda_{ik}, \qquad X_i = T_m - W_{oi}.$$

Расчеты, выполненные по выражению (10), приведены на рис.2.

Таким образом, предложенная методика позволяет оценить своевременность доставки пакета с учетом скорости передачи и приоритетности сообщений в пакетных радиосетях декаметрового диапазона и может быть использована при решении задач анализа и синтеза сетей связи.

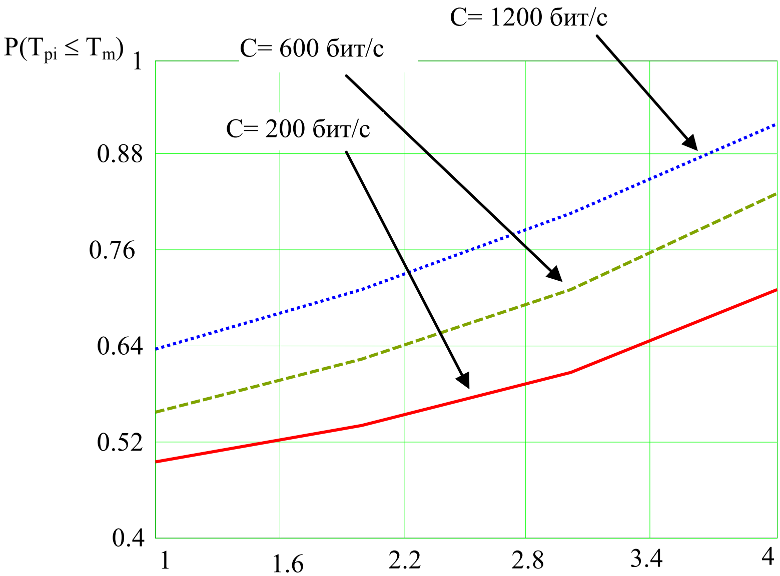

Рис.2 График зависимости вероятности своевременной доставки пакета в зависимости от приоритетов сообщений и скорости передачи C= 200, 600,1200 бит/с

ЛИТЕРАТУРА

1. Сети радиосвязи с пакетной передачей информации. А.Н. Шаров, В.А. Степанец, В.И. Комашинский/ Под ред. А.Н. Шарова. СПб.:ВАС. - 1994. - 216 с.

2. Бухарин С.В., Левшин В.И., Павлов В.В. Вычисление вероятности своевременной доставки сообщений в сетях связи // Теория и техника радиосвязи. - 1995.

3. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. - 432 с.

4. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. М.: Мир, 1979. – 600 с.

5. Сборник задач по теории вероятностей, математической статистике и теории случайных функций / Под ред. А.А. Свешникова. М.: Наука, 1970. - 656 с.