

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 $P(T_{pi} \leq T_m)$. В свою очередь, $P(T_{pi} \leq T_m)$ зависит от множества факторов, таких как: интенсивность входящего потока λ_i , интенсивность обслуживания пакетов μ_i , количества ретрансляций n т.д.[1].

Известная в настоящее время методика определения $P(T_{pi} \leq T_m)$ [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 М/М/1 на модель типа М/Г/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 Π_i , $i = 1, 2, \dots, N$.

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** (P_{AB}) можно выразить через вероятность доставки пакета по пути Π_i , $i = 1, 2, \dots, N$ следующим образом:

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

где P_{ni} – вероятность доставки пакета из узла A в узел B по пути Π_i .

В модели СМО М/Г/1 требования из приоритетного класса образует пуассоновский поток с интенсивностью λ_i требований. Время обслуживания $t_{о\text{б}i}$ каждого требования этого класса выбирается независимо в соответствии с распределением вероятности $\omega(t_{о\text{б}i})$ [3].

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

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

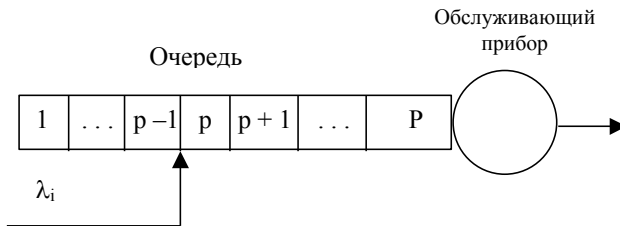


Рис.1 Приоритетное обслуживание

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

$$T_{pi} = t_{ожi} + t_{обi}, \quad (1)$$

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

Время ожидания пакета разлагается на две составляющие:

1. время ожидания (W_{oi}), связанное с тем, что в момент поступления данного пакета другой пакет находится в обслуживающем приборе;
2. время ожидания пакета в очереди W_{pi} представленное в виде:

$$W_{pi} = t_{обi} (N_i + M_i), \quad (2)$$

где N_i - количество пакетов с приоритетом $k = p \dots P$, находящихся в очереди на момент поступления следующего пакета,

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

В свою очередь выражение для M_i имеет вид [4]:

$$M_i = \sum_{k=p+1}^P \lambda_{ik} t_m, \quad (3)$$

где λ_{ik} – интенсивность приоритетного пакета,

t_m – время ожидания в очереди приоритетного пакета.

Очевидно, что при $t_m = t_{o6i}N_i + W_{oi}$ выражение (3) можно представить как:

$$M_i = \sum_{k=p+1}^P \lambda_{ik} (t_{o6i}N_i + W_{oi}) = t_{o6i}N_i \sum_{k=p+1}^P \lambda_{ik} + W_{oi} \sum_{k=p+1}^P \lambda_{ik} .$$

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

$$\begin{aligned} T_{pi} &= W_{pi} + W_{oi} + t_{o6i} = W_{oi} + t_{o6i} \left[N_i + \sum_{k=p+1}^P \lambda_{ik} (t_{o6i}N_i + W_{oi}) \right] + t_{o6i} = \\ &= W_{oi} + t_{o6i}^2 N_i \sum_{k=p+1}^P \lambda_{ik} + t_{o6i} \left(1 + N_i + W_{oi} \sum_{k=p+1}^P \lambda_{ik} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

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

$$P(T_{pi} \leq T_m) = P(Z_i \leq T_m - W_{oi}) = \int_0^{T_m - W_{oi}} \omega(Z_i) dZ_i, \quad (5)$$

где
$$Z_i = t_{o6i}^2 N_i \sum_{k=p+1}^P \lambda_{ik} + t_{o6i} \left(1 + N_i + W_{oi} \sum_{k=p+1}^P \lambda_{ik} \right).$$

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:

$$\omega(Z_i) = \omega(t_{o6i}) \left| \frac{df(Z_i)}{dZ_i} \right|, \quad (6)$$

где $\omega(t_{o6i})$ – закон распределения вероятности времени обслуживания.

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

$$F(t_{o6}) = 1 - e^{-\mu_i t_{o6}} .$$

Выражение для $\omega(t_{o6i})$ запишем в виде:

$$\omega(t_{o6}) = \frac{d}{dt} F(t_{o6}) = \mu_i e^{-\mu_i t_{o6}} . \quad (7)$$

Учитывая (5, 6) определим t_{o6i} как функцию $f(Z_i)$ и запишем в виде:

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

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

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

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

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

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

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

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.

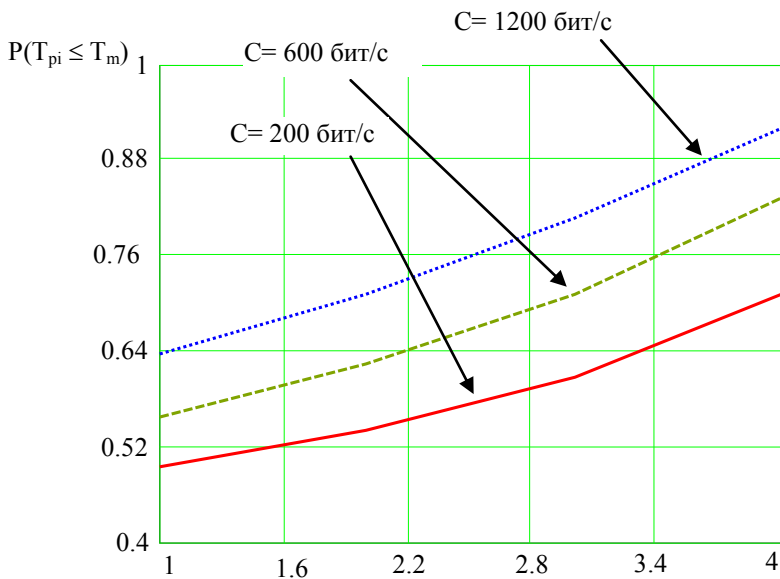


Рис.2 График зависимости вероятности своевременной доставки пакета в зависимости от приоритетов сообщений и скорости передачи $C = 200, 600, 1200$ бит/с

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.