

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ РАЗНОРОДНЫХ ПОТОКОВ ИНФОРМАЦИИ ПО ОДНОМУ КАНАЛУ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОСТУПА В РЕЖИМЕ СОПЕРНИЧЕСТВА

С.И. Марченко, С.В. Алексеев
(представил д.т.н., проф. Ю.И. Лосев)

Предложена методика анализа эффективности совместного обслуживания потоков информации в сети обмена данными реального масштаба времени в случае неуправляемого доступа. Даны рекомендации по организации указанной дисциплины обслуживания.

В различных звеньях АСУ для передачи радиолокационной информации (РЛИ) предусмотрена сеть обмена данными (СОД). Для передачи оперативной информации (ОИ), информации в интересах информационно - расчетной системы и неформализованной информации потребуется специализированная СОД. Однако можно приспособить имеющуюся СОД РЛИ для передачи ОИ в свободные интервалы времени.

При разработке СОД ее пропускная способность рассчитывается для передачи максимального потока информации. Реально будет обрабатываться информация о значительно меньшем числе сопровождаемых целей. Если в среднем будет сопровождаться $N_{ц_{max}}/2$, то половина времени цикла обновления РЛИ будет свободна и может быть использована для передачи оперативной информации. В повседневной деятельности мирного времени нагрузка на сеть РЛИ незначительна. В свободное время канал данных может быть использован для передачи не только ОИ, но и информации другого рода. При этом передача должна быть адресной. Совместное обслуживание разнородных потоков информации будет проводиться и в перспективных цифровых сетях с интеграцией служб. Поэтому исследование эффективности различных дисциплин обработки информации в СОД является актуальной задачей как для современных, так и перспективных систем.

Исследуем возможность и эффективность дисциплины обслуживания при совместной передаче РЛИ и ОИ по одному каналу передачи данных (ПД), при котором доступ к обслуживанию ОИ производится в режиме соперничества. Поскольку канал ПД один, источники РЛИ и ОИ должны быть объединены в локальную сеть. В такой локальной сети заявки могут поступать случайно или обслуживаться сервером. Но обязательно приоритетом в обслуживании должна обладать РЛИ перед ОИ, поскольку к ней предъявля-

ются требования "реального масштаба времени".

Произведем оценку относительной скорости передачи данных при неуправляемом поступлении заявок. Вариант такой схемы приведен на рис. 1.

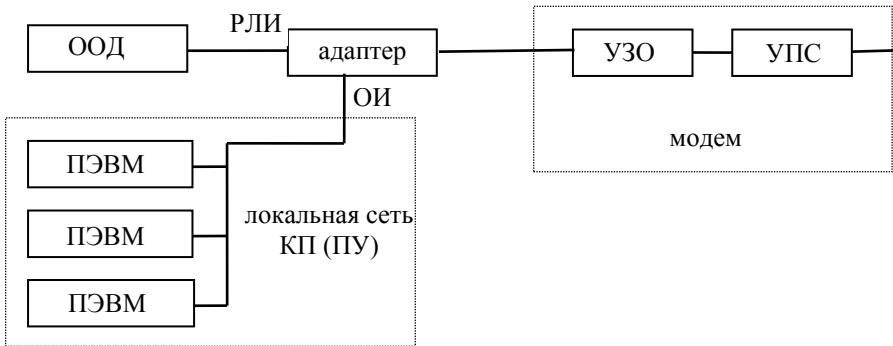


Рис. 1. Схема организации совместной передачи потоков информации при случайном неуправляемом поступлении заявок

В соответствии со схемой на входы адаптера заявки РЛИ и ОИ для обслуживания поступают случайно. Для оценки относительной скорости передачи информации обозначим вероятность поступления РЛИ как $P_{РЛИ}$, а ее длительность – η . Длительность сообщения i -й заявки ОИ обозначим – η_i . Заявки от различных абонентов поступают по локальной сети независимо друг от друга. Если канал занят передачей РЛИ, то в результате конфликта заявка ОИ получает отказ в обслуживании. Отказ будет и в случае занятости канала обслуживанием другой заявки ОИ. При получении отказа заявка будет по случайному закону повторно выдана в интервале времени $k\eta_i$ ($k > 1$), необходимом для разрешения возникшего конфликта.

Число источников ОИ обозначим N . В результате вероятность занятости канала передачи данных при наличии конфликта будет равна

$$P_3 = P_{РЛИ}P_{K1} + (1 - P_{РЛИ})P_{K2},$$

где P_{K1}, P_{K2} - вероятность занятости канала при возникновении конфликтов соответственно при наличии РЛИ и ее отсутствии.

Полагаем, что поток заявок ОИ подчиняется закону Пуассона. Интенсивность поступления i -й заявки ОИ обозначим λ_i . Тогда коэффициент загрузки канала ПД заявками ОИ с учетом возможности их повторения равен

$$\rho_0 = \sum_{i=1}^N \lambda_i \eta_i + \sum_{i=1}^N \lambda_i \eta_i,$$

где $\lambda_i \eta_i$ - интенсивность повторяющихся заявок.

Пусть $\eta_i = \eta_1$, т.е. длины сообщений ОИ одинаковы. Конфликт заявок ОИ и РЛИ возможен, если они одновременно появляются на интервале $\eta_i + \eta$, а при наличии только ОИ - на интервале $2\eta_1$. Тогда вероятности P_{K1}, P_{K2} будут определяться выражениями:

$$P_{K1} = 1 - \exp\left(-\left(1 + \frac{\eta_1}{\eta}\right)\rho_0\right); \quad P_{K2} = 1 - \exp(-2\rho_0).$$

Вероятность занятости канала ПД определяется по формуле

$$\begin{aligned} P_3 &= P_{РЛИ} \left[1 - \exp\left(-\left(1 + \frac{\eta_1}{\eta}\right)\rho_0\right) \right] + (1 - P_{РЛИ}) \cdot (1 - \exp(-2\rho_0)) = \\ &= 1 - P_{РЛИ} \left[\exp\left(-\left(1 + \frac{\eta_1}{\eta}\right)\rho_0\right) - \exp(-2\rho_0) \right] - \exp(-2\rho_0). \end{aligned}$$

Вероятность того, что канал свободен для передачи ОИ ($P_{св} = 1 - P_3$), равна отношению коэффициента загрузки успешно переданных сообщений (ρ) к коэффициенту загрузки с учетом повторяющихся заявок (ρ_0), т.е.

$$P_{св} = \frac{\rho}{\rho_0}, \quad \text{где } \rho = \sum_{i=1}^N \lambda_i \eta_i.$$

Тогда $\frac{\rho}{\rho_0} = P_{РЛИ} \left[\exp\left(-\left(1 + \frac{\eta_1}{\eta}\right)\rho_0\right) - \exp(-2\rho_0) \right] + \exp(-2\rho_0)$ или

$$\rho = \rho_0 P_{РЛИ} \left[\exp\left(-\left(1 + \frac{\eta_1}{\eta}\right)\rho_0\right) - \exp(-2\rho_0) \right] + \rho_0 \exp(-2\rho_0). \quad (1)$$

Этот коэффициент характеризует относительную скорость передачи ОИ.

Найдем ее максимальное значение. Для этого решим уравнение $\frac{\partial \rho}{\partial \rho_0} = 0$.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial \rho_0} &= P_{РЛИ} \left\{ \exp\left(-\left(1 + \frac{\eta_1}{\eta}\right)\rho_0\right) \rho_0 \left[1 - \rho_0 \left(1 + \frac{\eta_1}{\eta}\right) \right] - \exp(-2\rho_0) [1 - 2\rho_0] \right\} + \\ &+ (1 - 2\rho_0) \exp(-2\rho_0) = 0. \end{aligned}$$

Такое равенство достигается при $1 - \rho_0 \left(1 + \frac{\eta_1}{\eta}\right) = 0$; $1 - 2\rho_0 = 0$. Следова-

тельно, $\rho_0 = 1 / \left(1 + \frac{\eta_1}{\eta}\right) = \frac{1}{2}$, т.е. при $\eta = \eta_1$, а $\rho_{\max} = \frac{1}{2} \exp(-1) \approx 0,18$.

Таким образом, при описанном методе совместной передачи и равных длинах сообщений ОИ и РЛИ всего 18% времени, свободного от передачи

РЛИ, будет успешно использовано для передачи оперативной информации, что совпадает с пропускной способностью метода случайного доступа абонентов ALOHA [1].

Для оценки скорости передачи оперативной информации при $\eta \neq \eta_1$ построены графики зависимости $\rho = f(\rho_0)$ при различных значениях η_1 / η (рис. 2): 1 – $\eta_1 / \eta = 2$; 2 – $\eta_1 / \eta = 5$; 3 – $\eta_1 / \eta = 10$ и $P_{РЛИ} = 0,5$; 4 – $\eta_1 / \eta = 2$; 5 – $\eta_1 / \eta = 5$; 6 – $\eta_1 / \eta = 10$ и $P_{РЛИ} = 0,7$.

Из приведенных графиков видно, что при $\eta_1 > \eta$ относительная скорость передачи становится менее 0,18. С увеличением $P_{РЛИ}$ максимум смещается в сторону меньших значений ρ_0 . При возрастании η_1 / η максимум относительной скорости становится менее выраженным.

Увеличить скорость передачи можно, если перед выдачей заявки ОИ производить опрос о занятости канала передачи данных. В этом случае конфликт может быть при наличии заявки РЛИ только на интервале η , а при наличии заявки ОИ - на интервале η_1 . В результате выражение (1) примет вид

$$\rho = \rho_0 P_{РЛИ} \left[\exp\left(-\frac{\eta_1}{\eta} \rho_0\right) - \exp(-\rho_0) \right] + \rho_0 \exp(-\rho_0). \quad (2)$$

Тогда, проделав аналогичные преобразования, можно определить максимальное значение скорости передачи, которая будет при $\rho_0 = 1$ (следовательно, $\eta = \eta_1$) равна $\rho_{\max} = \exp(-1) \approx 0,36$, т.е. по сравнению с предыдущим вариантом увеличится вдвое.

Учитывая, что поток заявок ОИ можно принять пуассоновским вероятностью возникновения конфликта в соответствии с (2) будет определяться по выражению

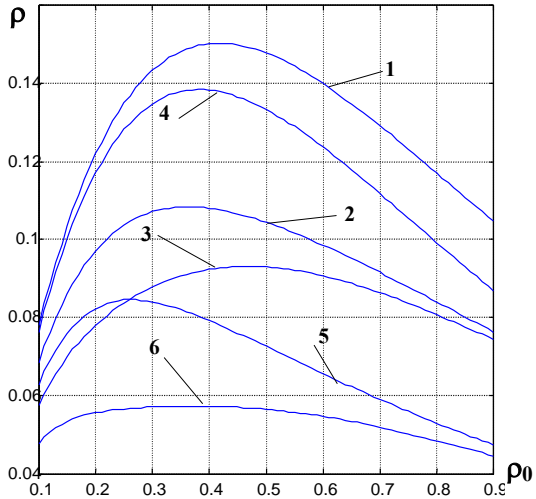


Рис. 2. Зависимость ρ от ρ_0

$$P_k = 1 - \frac{\rho}{\rho_0} = 1 - \exp(-\rho_0) \cdot (1 - P_{\text{РЛИ}}) - P_{\text{РЛИ}} \cdot \exp\left(-\frac{\eta_1}{\eta} \rho_0\right).$$

Так как $P_{\text{РЛИ}}$ определяет коэффициент загрузки радиолокационной информации ρ_p , то это выражение примет вид

$$P_k = 1 - \frac{\rho}{\rho_0} = 1 - \exp(-\rho_0)(1 - \rho_p) - \rho_p \exp\left(-\frac{\eta_1}{\eta} \rho_0\right).$$

При отсутствии же РЛИ ($\rho_p = 0$) $P_k = 1 - e^{-\rho_0}$.

Вероятность повторного конфликта определяется числом источников информации (N) и отведенным относительным временным интервалом для разрешения конфликта (k). Обозначим вероятность повторного конфликта P_{k2} . Тогда вероятность конфликта с учетом возможности их повторений будет равна $P_{\text{кд}} = P_k(1 + P_{k2} + P_{k2}^2 + \dots + P_{k2}^i)$. При $i \rightarrow \infty$

$$P_{\text{кд}} = \frac{P_k}{1 - P_{k2}}. \quad (3)$$

Полагаем, что в относительном интервале времени k заявки поступают по равновероятному закону. Тогда $P_{k2} = 1 - (1 - 1/k)^{N-1}$ и из (3) получим

$$P_{\text{кд}} = \frac{1 - \exp(-\rho_0)(1 - \rho_p) - \rho_p \exp\left(-\frac{\eta_1}{\eta} \rho_0\right)}{(1 - 1/k)^{N-1}}.$$

Среднее время передачи заявки определяется как $T_{\text{ср}} = T_{\text{пер}} + P_{\text{кд}} \frac{\eta_1 k}{2}$, а относительное значение среднего времени после подстановки $P_{\text{кд}}$ равно

$$\frac{T_{\text{ср}}}{\eta_1} = \frac{T_{\text{пер}}}{\eta_1} + \frac{k}{2} \cdot \frac{1 - \exp(-\rho_0) \cdot (1 - \rho_p) - \rho_p \exp\left(-\frac{\eta_1}{\eta} \rho_0\right)}{(1 - 1/k)^{N-1}},$$

где $T_{\text{пер}} = \eta_1 L$ ($L = \overline{1, N}$) – среднее время передачи заявки по каналу ПД.

$$\text{Тогда } \frac{T_{\text{ср}}}{\eta_1} = L + \frac{k}{2} \cdot \frac{1 - \exp(-\rho_0) \cdot (1 - \rho_p) - \rho_p \exp\left(-\frac{\eta_1}{\eta} \rho_0\right)}{(1 - 1/k)^{N-1}}.$$

На рис. 3 приведен график зависимости $\frac{T_{\text{ср}}}{\eta_1} = f(k)$ при $L = 1, \rho_p = 0$ и различных значениях ρ_0 и N .

Из этого графика видно, что имеется минимум T_{cp}/η_1 при $k = N$. При дальнейшем увеличении k относительное время доставки монотонно возрастает. Степень этого возрастания увеличивается при большем значении ρ_0 .

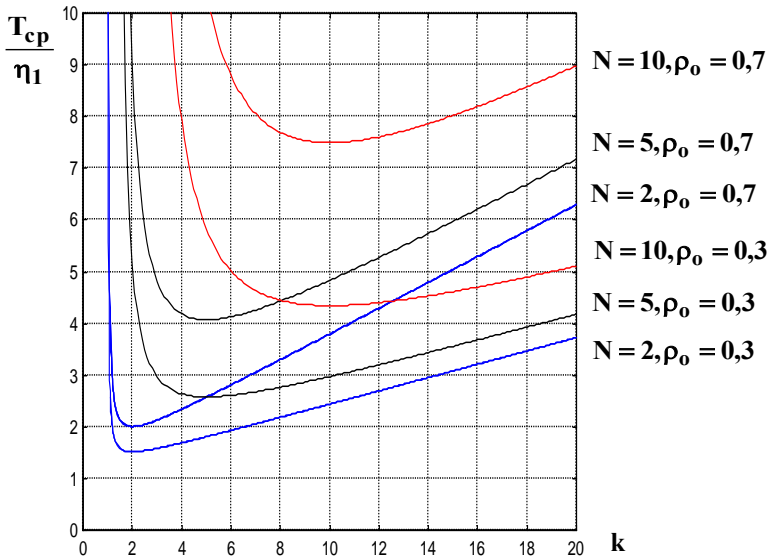


Рис. 3. Зависимость T_{cp}/η_1 от k при различных значениях ρ_0 и N

Если предположить, что повторяемые заявки также будут подчиняться закону Пуассона, то $P_{k2} = P_k$, следовательно, будет справедливо выражение

$$\frac{T_{cp}}{\eta_1} = L + \frac{k}{2} \left[\frac{\frac{\exp(\rho_0)}{(1-\rho_p)} - 1 + \frac{\rho_p}{1-\rho_p} \exp\left[\rho_0 \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta}\right)\right]}{1 - \frac{\rho_p}{1-\rho_p} \exp\left[-\rho_0 \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta}\right)\right]} \right]. \quad (4)$$

При отсутствии РЛИ ($\rho_p = 0$) (4) примет вид $\frac{T_{cp}}{\eta_1} = L + \frac{k}{2} (e^{\rho_0} - 1)$.

Зависимость T_{cp}/η_1 (при $L=1$ и $\eta_1/\eta=1$) от ρ_0 представлена на рис.4,а, а от ρ_p - на рис.4,б для следующих пар значений ρ_p (рис.4,а) или ρ_0 (рис.4,б) и k : 1 – (0.3; 20); 2 – (0.3; 10); 3 – (0.3; 5); 4 – (0; 20); 5 – (0.3; 5); 6 – (0; 5); 7 – (0.7; 20); 8 – (0.7; 10); 9 – (0.7; 5). Анализ графиков показывает, что T_{cp}/η_1 возрастает при увеличении ρ_0 и k . Сопоставляя рис.3 и рис.4

можно сделать вывод, что величину k желательно выбирать в интервале $k \approx N$. По полученным выражениям и построенным графикам определяется среднее время передачи ОИ для различных условий функционирования.

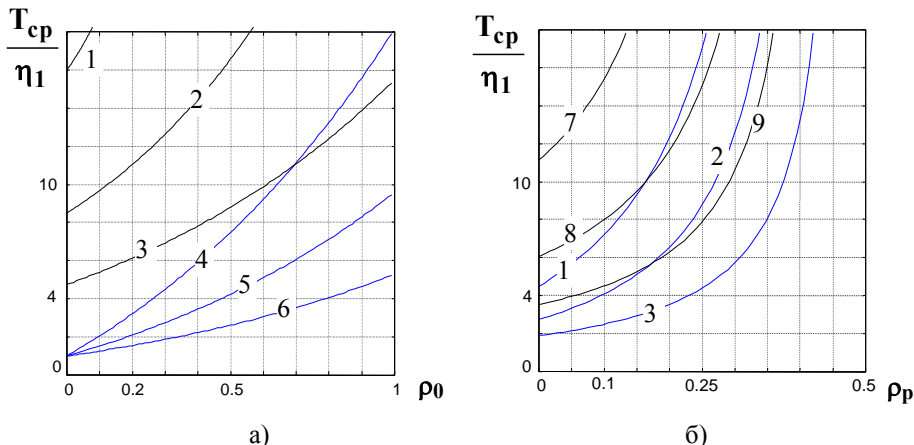


Рис. 4. Зависимость относительного среднего времени передачи от коэффициента загрузки ρ_0 (а) и ρ_p (б)

Как видно из приведенных рисунков, среднее время при $\rho_p > 0,3$ может существенно превышать длительность передаваемого сообщения. Однако, если время доставки не превышает нормативного, то эта дисциплина, как наиболее просто реализуемая, может быть применена. Для повышения скорости передачи ОИ необходимо из поступающих от источников заявок формировать один поток. Тогда можно будет избежать конфликтов между источниками оперативной информации.

Радиолокационная информация в исследуемой дисциплине обладает приоритетом и время ее доставки будет определяться только временем передачи ее по каналу ПД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флинт Д. Локальные сети ЭВМ: архитектура, принципы построения, реализация: Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 359 с.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.

Поступила в редколлегию 11.09.2000