

УДК 621.391

**К. В. ПОДМАСТЕРЬЕВ**, доктор техн. наук, профессор,

директор института Орловского технического университета, г. Орел, Россия;

**С. В. КОЗЕЛКОВ**, доктор техн. наук, профессор,

директор Учебно-научного института телекоммуникаций и информатизации,

Государственный университет телекоммуникаций, Киев, Украина;

**А. П. БОНДАРЧУК**, канд. техн. наук, доцент, декан факультета Информационных технологий,

Государственный университет телекоммуникаций, Киев, Украина;

**Н. В. КОРШУН**, канд. техн. наук, декан факультета Телекоммуникаций,

Государственный университет телекоммуникаций, Киев, Украина

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКОВ ДАННЫХ ПРИ АДАПТИВНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

**Предложен способ расчета максимальных значений интенсивности потоков данных между узлами сети как частный случай метода адаптивной маршрутизации.**

Для распределения информационных потоков в КСПД необходимо произвести предварительный расчет значений интенсивности потоков данных, циркулирующих в этой сети. Способ расчета максимальных значений интенсивности потоков данных между отдельными узлами сети является составной частью метода адаптивной маршрутизации.

Данные на передачу от узлов сети поступают в случайные моменты времени  $t$ . Продолжительность передачи каждого отдельного пакета данных также является величиной случайной. Совокупность узлов сети порождает стохастический поток данных интенсивностью  $u$ , обслуживание которого реализуют узлы коммутации (ЦКП) КСПД. Сеть передачи данных, содержащая совокупность ЦКП, представляет собой сложную многофазную систему массового обслуживания (СМО), ибо один и тот же пакет данных обслуживается рядом ЦКП. Исследуем поведение однофазной СМО, характеризующей работу отдельного узла сети. Условимся рассматривать систему в стационарном режиме функционирования. В реальных КСПД это условие на продолжительном отрезке времени (сутки) не соблюдается. Однако на ограниченных интервалах времени ( $t_0 \leq 1$  ч) можно предположить стационарность потока данных.

Принято считать, что промежутки между поступлением на передачу пакета данных, порождаемых узлами сети, независимы и одинаково распределены. Формируя модель КСПД, предполагают, что поток данных обладает свойствами ординарности и отсутствия последействия. Вероятность того, что за время  $t_0$  будет получено ровно  $h$  пакетов данных при интенсивности  $u$  потока данных представляется

в виде:  $P_h(t_0) = \frac{(u \cdot t_0)^h}{h!} \cdot e^{-u \cdot t_0}$ ; математическое ожидание числа пакетов данных, попадающих на участок времени  $t_0$ , равно  $m = u \cdot t_0$ ; дисперсия пуассоновского распределения равна его математическому ожиданию:  $\delta = u \cdot t_0$ . Это значит, что число пакетов данных, поступающих в единицу времени, может колебаться в довольно широких пределах, что соответствует физической природе явления.

Поток данных, как и любой случайный процесс, можно характеризовать некоторым установившимся значением  $u_{a,i}$ . Эта характеристика учитывает не мгновенное количество данных, передаваемое из узла  $y_a$  в узел  $y_i$ , характерное для скорости передачи, а характер ее изменения во времени. На практике значение интенсивности потока данных между отдельными узлами сети можно найти, исходя из принципа, присущего взаимодействию двух объектов КСПД, по которому интенсивность обмена данными между узлами прямо пропорциональна произведению мощностей узлов и пропускных способностей каналов ПД между ними и обратно пропорциональна расстоянию между этими узлами.

Для этого КСПД зададим с помощью неориентированного взвешенного графа  $S = (Y, \varphi_y, W, l_w, p_w)$ , где  $Y$  — множество вершин  $y_i \in Y$  графа  $S$ , находящихся в изоморфизме с узлами сети, их число  $h_y = |Y|$ ;  $\varphi_y: Y \rightarrow N_+$  — весовая функция, определяющая каждому узлу  $y_i$  производительность его ЭВМ  $\varphi_{y_i}$  (операций/с);  $W = \langle Y \times Y \rangle$  — множество ребер графа  $S$ . (Ребро  $w_{a,i} \in W$  определено в графе  $S$  между вершинами  $y_a$  и  $y_i$ , если между соответствующими узлами имеется канал передачи данных);  $l_w: W \rightarrow N_+$  — весовая функция, определяющая каждому каналу ПД  $w_{a,i} \in W$  пропускную способность  $p_{w_{a,i}}$ .

Для множества вершин  $Y$  строится уровневый граф  $B$ , формируется матрица  $H_B = \|h_{B_{a,i}}\|$ , где  $h_{B_{a,i}}$  — количество уровней иерархии КСПД, через которое необходимо пройти пакету данных при обмене между вершинами  $y_a$  и  $y_i$ .

Уровневый граф отражает административную подчиненность узлов КСПД. Так, для АСУ корпорации уровню 3 соответствует уровень управления корпорацией; уровню 2 — региональные отделения

корпорации, уровню 1 — местные отделения корпорации. Интенсивность потоков данных, циркулирующих между узлами по вертикали, как правило, больше, чем между узлами, находящимися на одном уровне.

С помощью алгоритма Данцига определяются кратчайшие пути между каждыми двумя вершинами  $y_a$  и  $y_i$  графа  $S$  и формируется матрица

$$L_m = \|l_{m_{a,i}}\|,$$

где  $l_{m_{a,i}}$  — длина кратчайшего пути между вершинами  $y_a$  и  $y_i$ . Пропускная способность пути между вершинами  $y_a$  и  $y_i$  определяется с помощью выражения

$$p_{m_a} = \min p_{w_j},$$

где  $p_{w_j}$  — пропускная способность ребра  $w_j$  графа  $S$ , входящего в состав пути  $m_{a,i}$ .

Обозначим через  $u_a$  максимальное значение суммарной интенсивности потоков данных вершины  $y_a$ , которыми она обменивается со всеми вершинами множества  $Y$ , а через  $u_{a,i}$  — максимальное значение интенсивности потока данных между вершинами  $y_a$  и  $y_i$ . Тогда максимальное значение суммарной интенсивности обмена данными вершины  $y_a$  со всеми остальными вершинами множества  $Y$  определяется выражением

$$u_a = \frac{l_p \cdot p_{y_a} \cdot p_{m_a} \cdot \sum_{i=1}^{h_y} l_{y_i} \cdot \sum_{i=1}^{h_y} h_{B_i}}{h_y \cdot h_0 \cdot \sum_{i=1}^{h_y} p_{m_i} \cdot l_{y_a} \cdot h_{B_a}},$$

где  $l_p$  — длина пакета данных,  $l_p = 1024 \dots 16\,384$  бит;  $p_{m_a}$  — средневзвешенная пропускная способность пути между  $y_a$ -й и остальными вершинами множества  $Y$ , рассчитываемая как

$$p_{(m_a)} = \left( \left( \sum_{i=1}^{h_y-1} (p_{(m_{a,i})} \cdot l_{(m_{a,i})} \cdot h_{(B_{a,i})}) / \varphi_{(y_i)} \right) \right) / \left( \left( \sum_{i=1}^{h_y-1} (l_{(m_{a,i})} \cdot h_{(B_{a,i})}) / \varphi_{(y_i)} \right) \right);$$

$l_{y_a}$  — средневзвешенное расстояние между  $y_a$ -й и остальными вершинами множества  $Y$ , рассчитываемое как

$$l_{y_a} = \left( \sum_{i=1}^{h_y-1} \frac{l_{m_{a,i}} \cdot \varphi_{y_i} \cdot p_{m_{a,i}}}{h_{B_{a,i}}} \right) / \left( \sum_{i=1}^{h_y-1} \frac{\varphi_{y_i} \cdot p_{m_{a,i}}}{h_{B_{a,i}}} \right);$$

$h_{B_a}$  — средневзвешенный радиус графа  $B$  с центром в вершине  $y_a$ , равный

$$h_{B_a} = \left( \sum_{i=1}^{h_y-1} \frac{h_{B_{a,i}} \cdot \varphi_{y_i} \cdot p_{m_{a,i}}}{l_{m_{a,i}}} \right) / \left( \sum_{i=1}^{h_y-1} \frac{\varphi_{y_i} \cdot p_{m_{a,i}}}{l_{m_{a,i}}} \right);$$

$h_0$  — число служебных операций процессора ЭВМ между отдельными операциями ввода-вывода пакета данных в канал ПД, обычно принимают  $h_0 = 10^6 \dots 2 \cdot 10^6$  операций.

Так как  $u_a$  — максимальное значение суммарной интенсивности обмена данными вершины  $y_a$ , то важную роль играет распределение  $u_a$  между остальными вершинами множества  $Y$ . Полученное значение  $u_a$  распределяется между взаимодействующими вершинами; в частности, с вершины  $y_i$  в соответствии с выражением

$$u_{a,i} = \left( \frac{u_a \cdot \varphi_{y_a} \cdot p_{m_{a,i}}}{l_{m_{a,i}} \cdot h_{B_{a,i}}} \right) / \left( \sum_{i=1}^{h_y-1} \frac{\varphi_{y_i} \cdot p_{m_{a,i}}}{l_{m_{a,i}} \cdot h_{B_{a,i}}} \right).$$

Для каждой пары  $y_a$  и  $y_i$  при помощи представленного ранее выражения рассчитываем значения  $u_{a,i}$  и  $u_{i,a}$ , которые в общем случае могут быть не равны друг другу.

В соответствии с  $u_{a,i}$  и  $u_{i,a}$  рассчитываем среднеарифметическое максимальное значение интенсивности потоков данных между  $y_a$ -й и  $y_i$ -й вершинами:

$$\overline{u_{a,i}} = (u_{a,i} + u_{i,a}) / 2.$$

Перерасчет максимальных значений интенсивностей потоков данных между узлами сети осуществляется в случае изменения ее структуры.

Таким образом, предложенный способ оценки информационных потоков, циркулирующих в КСПД, позволяет определить максимальное значение интенсивности потоков данных между отдельными узлами сети, с учетом иерархии их расположения и расстояния между ними. Полученные значения интенсивностей потоков данных используются при проведении их распределения в процессе адаптивной маршрутизации информационных потоков.

## Література

1. Королев, А. В. *Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях* / А. В. Королев, Г. А. Кучук, А. А. Пашнев. — Х.: ХВУ, 2003. — 224 с.

2. Бондарчук, А. П. *Розрахунок максимальних значень інтенсивності потоків даних між окремими вузлами інфокомунікаційної мережі* / А. П. Бондарчук // *Сучасний захист інформації*. — 2015. — № 2.

К. В. Подмастерьев, С. В. Козелков, А. П. Бондарчук, Н. В. Коршун

**СПОСІБ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ІНТЕНСИВНОСТІ ПОТОКІВ ДАНИХ МІЖ ВУЗЛАМИ МЕРЕЖІ**

Запропоновано спосіб розрахунку максимальних значень інтенсивності потоків даних між вузлами мережі як частинний випадок методу адаптивної маршрутизації.

K. V. Podmasteriev, S. V. Kozelkov, A. P. Bondarchuk, N. V. Korshun

**DESIGN WAY OF MAXIMUM VALUES OF DATA FLOWS BETWEEN NETWORK NODES INTENSITY**

The design way of maximum values of data flows between networks nodes intensity as part event of the adaptive routing method is proposed.

УДК 681.518.2

О. В. ШУЛЬГА,

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Україна

## **СТВОРЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ МЕРЕЖІ ПСЕВДОСУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

**Запропоновано методи створення мережі псевдосупутникових радіонавігаційних систем (ПС РНС) на основі ефективності технічної системи. Розглянуто питання тісного зв'язку критеріїв ефективності з визначенням геометричної структури ПС РНС взагалі та зон дії радіонавігаційних точок зокрема. На відміну від супутникових радіонавігаційних систем (СРНС), максимальна дальність дії ПС обмежена. Проведені розрахунки показують, що дальність прямої видимості об'єкта (О) між споживачем (С) і ПС та стійкість роботи НАС залежать від кута височіння відносно поверхні Землі, тобто кожний ПС має спостерігатись із Землі під певним кутом. Визначено, що для збільшення дальності дії ПС РНС, збільшення площі покриття і, відповідно, зменшення загальної кількості ПС, потрібних для створення РНП у зазначеному районі, необхідно максимально збільшувати висоту ПС. Доведено, що для визначення координат за допомогою ПС РНС псевдодалекомірним способом необхідно, щоб у полі зору споживача одночасно перебували не менш як чотири ПС. Тому зони дії відповідної кількості ПС мають «накладатись» одна на одну.**

**Ключові слова:** псевдосупутник (ПС); супутникова радіонавігаційна система (СРНС); мережа псевдосупутникової РНС; кут височіння; псевдодалекомірний спосіб; зона дії.

**Вступ**

Ефективність функціонування псевдосупутникових радіонавігаційних систем (ПС РНС) оцінюється ймовірністю виконання завдання навігації (визначення місцезнаходження) із заданою точністю.

В основу оцінювання ефективності будь-якої технічної системи неодмінно покладено процедуру, пов'язану з вибором та обґрунтуванням критеріїв ефективності (КЕ). Для того щоб сказати, чи відповідає система встановленим вимогам, а також щоб можна було порівнювати різні системи, необхідно, передусім, визначити аспект, в якому розглядається та чи інша система. Такі аспекти й подаються за допомогою відповідних критеріїв.

При створенні структури мережі псевдосупутникових радіонавігаційних систем слід узяти до уваги, що це питання тісно пов'язане з визначенням геометричної структури ПС РНС та зон дії радіонавігаційних точок. На відміну від СРНС, ПС мають обмежену максимальну дальність дії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що для визначення координат за допомогою

ПС РНС псевдодалекомірним способом необхідно, щоб у полі зору споживача (С) одночасно перебували не менш як чотири ПС. Тому зони дії необхідної кількості ПС мають «накладатись» одна на одну. При розташуванні чотирьох опорних точок ПС у вигляді будь-якої чотирикутної фігури за умови однакових радіусів дії всіх ПС для того, аби площа взаємного перекриття була більша від нуля, необхідно, щоб опорні точки повітряних ПС лежали в межах кола такого самого радіуса.

**Мета статті** — розроблення геометричної структури ПС РНС взагалі та зон дії радіонавігаційних точок зокрема, а також визначення, по-перше, її ефективності в разі застосування ПС повітряного базування; по-друге, дальності дії такої системи для наземних і повітряних С; по-третє, впливів, що обмежують дальність прямої видимості ПС споживачем.

**Основна частина**

Для оцінювання можливостей ПС РНС, зокрема й щодо виконання бойового завдання, необхідно обґрунтувати кількісний критерій, який дозволив