

**А. В. Соловьева** – студент кафедры комплексной защиты информации.

**А. М. Тюрликов** (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель.

## АЛГОРИТМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ КАНАЛА В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЕ

В настоящее время имеется большое число децентрализованных систем передачи данных, в которых используется доступ к каналу с разделением времени. В этих системах может быть большое число абонентов, поэтому статическое разделение времени не будет обеспечивать требуемое качество обслуживания [1]. В данной работе исследуется алгоритм, в котором резервирование ресурсов осуществляется путем составления динамического расписания.

Следуя работе [2], функционирование системы будем описывать следующей моделью. Пусть в системе имеется  $V$  абонентов. Предполагается, что абонент может взаимодействовать только с теми абонентами, которые находятся на расстоянии  $r$  или  $2r$  от него.

Модель децентрализованной системы с динамическим расписанием можно представить в виде графа  $G = (V, E)$ , где  $V$  – множество абонентов,  $E$  – множество каналов между абонентами. Если два абонента  $u$  и  $v$  находятся на расстоянии не больше, чем  $r$  друг от друга, то существует канал  $(u, v) \in E$ . В этом случае абоненты  $u$  и  $v$  могут обмениваться данными. Будем называть их соседями 1-го уровня. Обозначим через  $N_i^1$  – множество соседей 1-го уровня для абонента с номером  $i$ . Соседями 2-го уровня будем называть двух абонентов, у которых нет общего ребра, но есть общий сосед 1-го уровня. Таким образом, множество соседей абонента с номером  $i$ :  $N_i^1 \cup (\bigcup_{j \in N_i^1} N_j^1) - i$ .

Пример модели децентрализованной системы представлен на рис. 1(а). В данном примере выделены соседи абонента с номером  $i$  (цифрой 1 обозначены соседи 1-го уровня, цифрой 2 – соседи 2-го уровня).

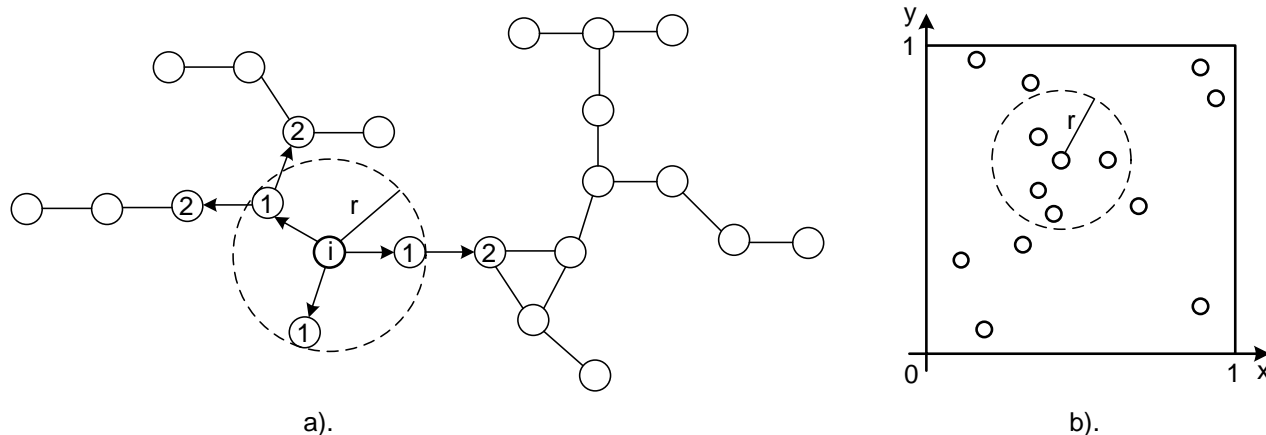


Рис. 1. Модель децентрализованной системы с динамическим расписанием

Все время работы системы разбито на окна. Все абоненты знают моменты разделения окон и передают сообщения только в начале окна. Под «конфликтом» будем понимать событие, когда в окне передают два или больше соседних абонентов.

Для упрощения моделирования опишем модель системы следующим образом [2]. Рассмотрим на плоскости область, площадью  $S = 1$  (квадрат со стороной 1 и с координатами левого нижнего угла  $(0,0)$ ). В данной системе будем использовать пуассоновский входной поток, то есть будем генерировать число абонентов в данной области по закону Пуассона с интенсивностью

$\lambda \left( \frac{\text{число новых сеансов}}{\text{окно} \cdot \text{площадь}} \right)$ . Каждому абоненту будем генерировать равномерно распределенные

случайные числа  $x$  и  $y$ , которые являются его координатами. Модель системы с динамическим расписанием представлена на рис. 1(b).

Применительно к описанной выше модели децентрализованной системы рассмотрим алгоритм доступа с разделением времени под названием Node Activation Multiple Access (NAMA). Этот алгоритм описан в работах [2,3,4]. При использовании данного алгоритма в каждом окне будут передавать только те абоненты, которые не являются соседями. Поэтому данный алгоритм позволяет обеспечить безконфликтную передачу данных.

Пусть  $M_i$  – множество всех соседей абонента с номером  $i$ . Сначала для каждого абонента  $i$  определяется множество его соседей  $M_i = N_i^1 \cup (\bigcup_{j \in N_i^1} N_j^1) - i$ .

В каждом окне для каждого абонента из множества  $M_i \cup i$  вычисляется некоторая величина  $prio_i$ , называемая приоритетом, по следующей формуле:

$$prio_i = Hash(i \oplus t) \oplus i, \quad (1)$$

где  $t$  – номер окна,  $i$  – номер абонента. Здесь функция Hash – функция, которая генерирует случайное число в заданном диапазоне (в данном случае от 1 до  $V$ ). Под знаком  $\ll \oplus \gg$  понимается конкатенация двух аргументов. Функция Hash может поставить в соответствие двум абонентам одинаковые значения. Но так как номера у всех абонентов различны, то значения приоритетов также будут различны. Выигрывает абонент с максимальным приоритетом. Пример работы алгоритма приведен на рис. 2. В данном примере рассматривается 4 окна, в 1-м окне выигрывает абонент  $a$ , во 2-м –  $e$ , в 3-м –  $c$  и в 4-м –  $g$ .

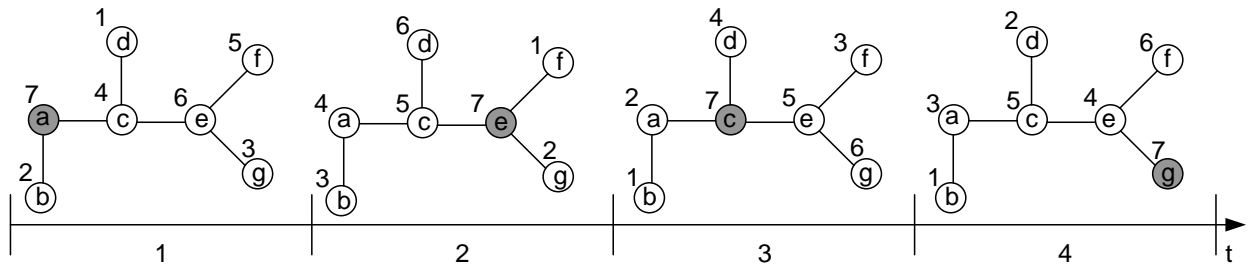


Рис. 2: Пример работы алгоритма NAMA

У каждого абонента имеется некоторая таблица с номерами и приоритетами всех его соседей. В каждом окне данная таблица обновляется. Таким образом, все абоненты знают кто передает в данном окне.

Основной особенностью данного алгоритма является возможность нескольким абонентам, которые не являются соседями, передавать в одном окне.

На основе работы [2] и описанной ранее модели системы приведем анализ основных характеристик системы. Вероятность что в области будет  $k$  абонентов:  $p(k, S) = \frac{(\lambda S)^k}{k!} e^{-\lambda S}$ .

Среднее число абонентов в области, площадью  $S$ :  $\lambda S$ .

Так как соседями 1-го уровня являются абоненты на расстоянии не больше, чем  $r$ , то среднее число соседей 1-го уровня:  $n_1 = \lambda \pi r^2$ .

Соседями 2-го уровня являются абоненты, у которых есть общий сосед, как показано на рис. 3. На данном рисунке абоненты  $i$  и  $j$  являются соседями 2-го уровня, так как у них есть общий сосед  $C$ . Для вычисления среднего числа соседей 2-ого уровня найдем число абонентов, которые могут быть общими соседями  $i$  и  $j$ . Обозначим расстояние между узлами  $i$  и  $j$  как  $d(i, j) = l \cdot r$ , где  $l \in [1, 2]$ . Угол  $\alpha$  можно вычислить следующим образом:

$$\cos \alpha(l) = \frac{\frac{lr}{2}}{r} = \frac{l}{2} \Rightarrow \alpha = \arccos \frac{l}{2}.$$

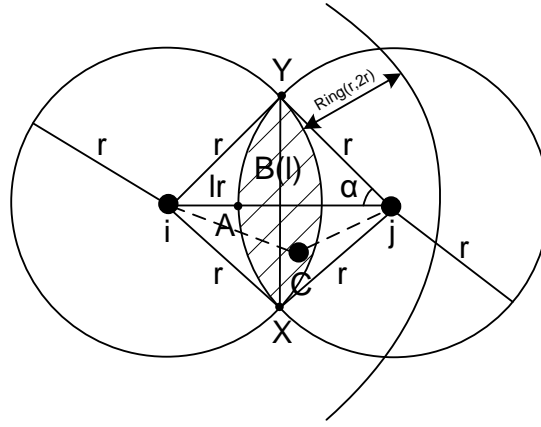


Рис. 3: Соседи 2-го уровня

Площадь сегмента  $XAY$  :

$$S_{\text{сегмента}XAY} = S_{\text{сектора}XYj} - S_{\text{треугольника}XYj} = \frac{r^2}{2} 2\alpha - \frac{1}{2} \frac{lr}{2} 2r \sin \alpha =$$

$$= r^2 \left( \arccos \frac{l}{2} - \frac{l}{2} \sin \left( \arccos \frac{l}{2} \right) \right) = r^2 \left( \arccos \frac{l}{2} - \frac{l}{2} \sqrt{1 - \left( \frac{l}{2} \right)^2} \right)$$

Площадь заштрихованной области можно найти как сумму площадей двух сегментов  $XAY$  .

Пусть  $\alpha(l) = \arccos \frac{l}{2} - \frac{l}{2} \sqrt{1 - \left( \frac{l}{2} \right)^2}$  , тогда площадь заштрихованной области  $S'$  :

$$S' = 2 \cdot S_{\text{сегмента}XAY} = 2r^2 \alpha(l).$$

Следовательно, среднее число абонентов, попавших в заштрихованную область:

$$B(l) = 2\lambda r^2 \alpha(l),$$

Вероятность события, что в заштрихованной области окажется хотя бы один абонент:  $1 - e^{-B(l)}$  . Тогда среднее число абонентов на отрезке  $l \cdot r$  , которые имеют общего соседа с абонентом  $i$  :  $\int_1^2 l \cdot r (1 - e^{-B(l)}) dl$  , так как  $l \in [1, 2]$  . Просуммировав таких абонентов по кольцу  $(r, 2r)$  , т.е. по  $2\pi r$  направлениям, вокруг абонента  $i$  , получим среднее число соседей 2-го уровня:

$$n_2 = \lambda 2\pi r \int_1^2 l \cdot r (1 - e^{-B(l)}) dl = \lambda \pi r^2 \int_1^2 2l (1 - e^{-B(l)}) dl.$$

Таким образом среднее число всех соседей:

$$n = n_1 + n_2 = n_1 \left( 1 + \int_1^2 2l (1 - e^{-B(l)}) dl \right).$$

В работе [2] утверждается, что число соперников распределено по закону Пуассона со средним значением  $n$  . Следуя этому утверждению, вероятность события, что произвольно выбранный абонент будет передавать в данном окне:

$$T(n) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k+1} \frac{n^{k+1}}{(k+1)!} \frac{e^{-n}}{1 - e^{-n}},$$

где  $n$  – среднее число соперников.

Для алгоритма NAMA среднее число соперников – среднее число соседей, то есть  $n$  . Поэтому среднее число переданных пакетов в окне для алгоритма NAMA:

$$q_{\text{NAMA}} = T(n).$$

Алгоритм составления динамического расписания был смоделирован согласно работе [2]. В алгоритме NAMA в каждом окне вычисляется число соперников абонента  $A$  как число его соседей  $M_A$ . Всем абонентам из множества  $M_A \cup A$  присваивается приоритет, вычисляемый по формуле (1). Если у абонента  $A$  в данном окне максимальный приоритет, то он передает сообщение в этом окне и ничего не передает в противном случае.

Для получения оценки пропускной способности алгоритма NAMA было смоделировано  $L$  окон.

И  $q_{NAMA}$  вычислялось как:  $q_{NAMA} = \frac{L_A}{L}$ , где  $L_A$  -- число окон, в которых передавал абонент  $A$ .

На рис. 4 представлены зависимости среднего числа переданных пакетов в окне от радиуса действия, полученные численными методами [2] и с помощью имитационного моделирования.

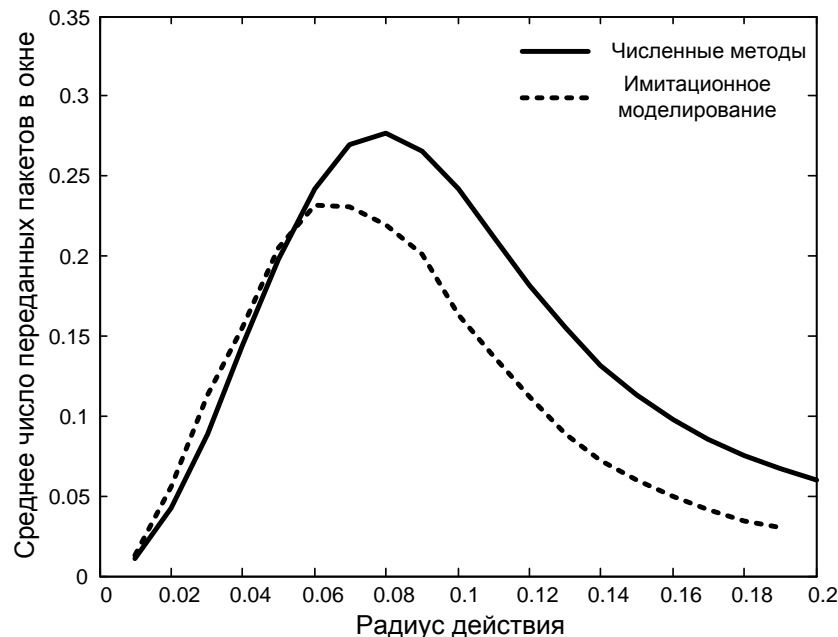


Рис. 4: Зависимость среднего числа переданных пакетов в окне от радиуса действия

Из полученных результатов следует, что в работе [2] утверждение о том, что число соседей распределено по закону Пуассона является ошибочным. Поэтому, методика из работы [2] дает не точное значение, а только некоторое приближение. Таким образом, является актуальной задача разработки новой методики численного анализа характеристик децентрализованных систем с динамическим расписанием.

#### Библиографический список

1. Shaio J., Piper J., Barto J. A Slot Allocation Algorithm for Survivability of Tactical TDMA Networks // Technical Papers MITRE Corporation. 2011.
2. Bao L., Garcia-Luna-Aceves J.J. Distributed Channel Access Scheduling for Ad Hoc Networks // Algorithms and Protocols for Wireless and Mobile Networks Edit. A. Boukerche, Publishers: CRC/Hall Publisher. 2004.
3. Bao L., Garcia-Luna-Aceves J.J. A New Approach to Channel Access Scheduling for Ad Hoc Networks // Proc. ACM/IEEE MobiCom. 2001.
4. Park S., Sy D. Dynamic Control Slot Scheduling Algorithms For Tdma Based Mobile Ad Hoc Networks // IEEE Military Communications Conference. 2008.