

УДК 004.715

О.В. Стрельцов, канд. техн. наук, доц.,
А.А. Шкарбалюк, магистр,
Одес. нац. политехн. ун-т

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОЛЛИЗИЙ СИГНАЛОВ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

О.В. Стрельцов, О.О. Шкарбалюк. Алгоритм виявлення та запобігання колізій сигналів в бездротових мережах. Розглянуто проблему зниження споживання енергії в бездротових сенсорних мережах. Запропоновано алгоритм виявлення та запобігання колізій, що дозволяє істотно знизити енерговитрати при конфігурації та реконфігурації мережі. Проведена оцінка енергетичних показників ефективності роботи різних варіантів реалізації алгоритму.

О.В. Стрельцов, А.А. Шкарбалюк. Алгоритм обнаружения и предотвращения коллизий сигналов в беспроводных сетях. Рассмотрена проблема снижения потребления энергии в беспроводных сенсорных сетях. Предложен алгоритм обнаружения и предотвращения коллизий, позволяющий существенно снизить энергозатраты при конфигурации и реконфигурации сети. Проведена оценка энергетических показателей эффективности работы различных вариантов реализации алгоритма.

O.V. Streltsov, A.A. Shkarbalyuk. Algorithm of detection and prevention of signals collisions in wireless networks. The problem of reducing energy consumption in wireless sensor networks is considered. An algorithm for detecting and preventing collisions that significantly reduce energy costs for configuration and reconfiguration of the network is proposed. Preliminary assessment of energy efficiency indicators of the various options for implementing of the algorithm is considered out.

Проблема снижения энергопотребления в беспроводных сетях является одной из наиболее существенных при проектировании сетей, узлы которых используют автономные источники энергии. Существенный вклад в общий объем энергозатрат вносится на этапах начальной конфигурации и последующей реконфигурации самонастраивающихся сенсорных беспроводных сетей. Наиболее важной проблемой в таких сетях является необходимость предотвращения коллизий (конфликтов).

Коллизия сигналов — взаимное их наложение, возникающее при одновременной передаче в разделяемую сетевую среду сигналов от двух и более узлов-отправителей, что приводит к их искажению, потере передаваемой информации, необходимости повторной передачи данных, и, в конечном итоге, к повышению энергопотребления узла сети с автономным источником энергии и уменьшению времени работы узла.

Наиболее существенно проблема коллизий проявляется при начальной конфигурации беспроводных самонастраивающихся сетей. Суть ее заключается в том, что узлы сети, изначально не синхронизированные, не имеют никакой информации о других оконечных узлах-соседах и узлах-координаторах, выполняющих функции разделения сети на сегменты (подсети) и межсегментной маршрутизации. В узлах сети отсутствует также информация о промежутках времени (слотах) для ответа. При запросе данных координатором подсети все ее оконечные узлы отвечают практически одновременно, что приводит к наложению передаваемых ими сигналов и уничтожению информации в них.

Типичный пример коллизии при одновременной передаче сигналов в беспроводной сети показан на рис. 1. Координатор R_1 передает сетевой пакет узлу a мощностью сигнала передачи P . В то же время координатор R_2 передает данные узлу b с такой же мощностью сигнала и в том же диапазоне частот. Расстояние между R_1 и a $d_1 = \delta(R_1, a) > d_2 = \delta(R_2, a)$, поэтому сигнал от координатора R_2 является для узла a шумом, уровень которого будет превышать уровень полезного сигнала от координатора R_1 , поэтому узел a примет искаженный сигнал [1].

Существует ряд алгоритмов для обнаружения коллизий в проводных сетях с топологией

“общая шина”. Самым распространенным является алгоритм множественного доступа с контролем несущей частоты и обнаружением коллизий (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection CSMA/CD) [2].

При CSMA/CD все узлы сети контролируют канал связи для обнаружения передаваемых данных. Узел-передатчик определяет момент отсутствия сигнала и начинает передачу данных. Пока канал связи занят, ни один из остальных сетевых узлов, находящихся в зоне действия узла-передатчика, не может вести передачу.

При возникновении коллизии узлы-передатчики приостанавливают передачу на случайный интервал времени, по истечении которого повторяют ее.

В то же время неспособность достаточно быстро обнаружить коллизии ограничивает область действия алгоритма — он не эффективен из-за ослабления уровня сигнала и конечной скорости распространения сигнала. Если расстояние между наиболее удаленными узлами сети превышает некоторое максимальное значение, они не смогут вовремя определить занятость канала и начнут передачу данных, что приведет к коллизии в сети и потере информации. Такие же проблемы возникают и при использовании алгоритма множественного доступа с контролем несущей частоты и предотвращением коллизий (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance — CSMA/CA) в связи с необходимостью также прослушивать канал связи [2].

В беспроводных сетях проблема коллизий усложняется. Координатор сети, находясь в центре обслуживаемой зоны, обеспечивает сетевое взаимодействие нескольких узлов, которые непосредственно между собой обмениваться сообщениями не могут вследствие недостаточной мощности сигнала и, следовательно, не могут обнаружить сигналы друг друга. В этом случае одновременная передача пакетов узлами a и b друг другу или любым другим узлам сети приведет к коллизии в зоне сети, обслуживаемой координатором. Пример невозможности обнаружения коллизии оконечными узлами беспроводной сети в зоне координатора приведен на рис. 2.

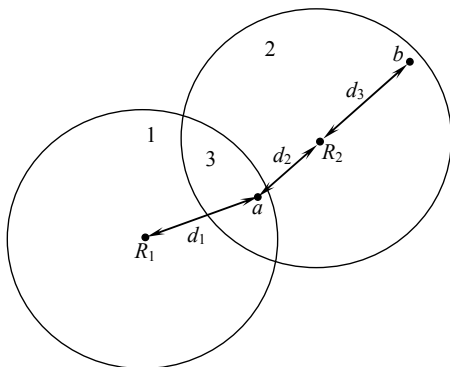


Рис. 1. Пример коллизии сигналов при одновременной передаче в беспроводной сети: 1, 2 — зоны действия сигналов координаторов R_1 и R_2 ; 3 — зона коллизии

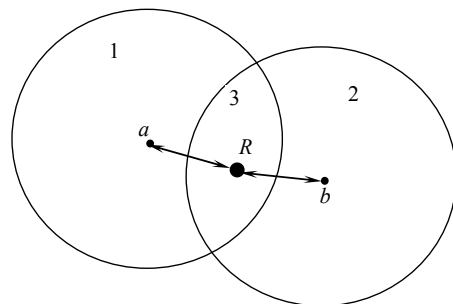


Рис. 2. Пример невозможности обнаружения коллизии оконечными узлами a и b беспроводной сети при одновременной передаче сигналов: 1, 2 — зоны действия сигналов узлов a и b ; 3 — зона коллизий

В данном случае все управление обнаружениями коллизий и оповещения оконечных узлов выполняет координатор R . Проблема состоит в построении алгоритма обнаружения коллизий с учетом критерия минимальных затрат энергии в сети.

Для решения этой проблемы предлагается алгоритм конфигурации зоны беспроводной сети с обнаружением и разрешением коллизий обслуживающем ее координатором (рис. 3).

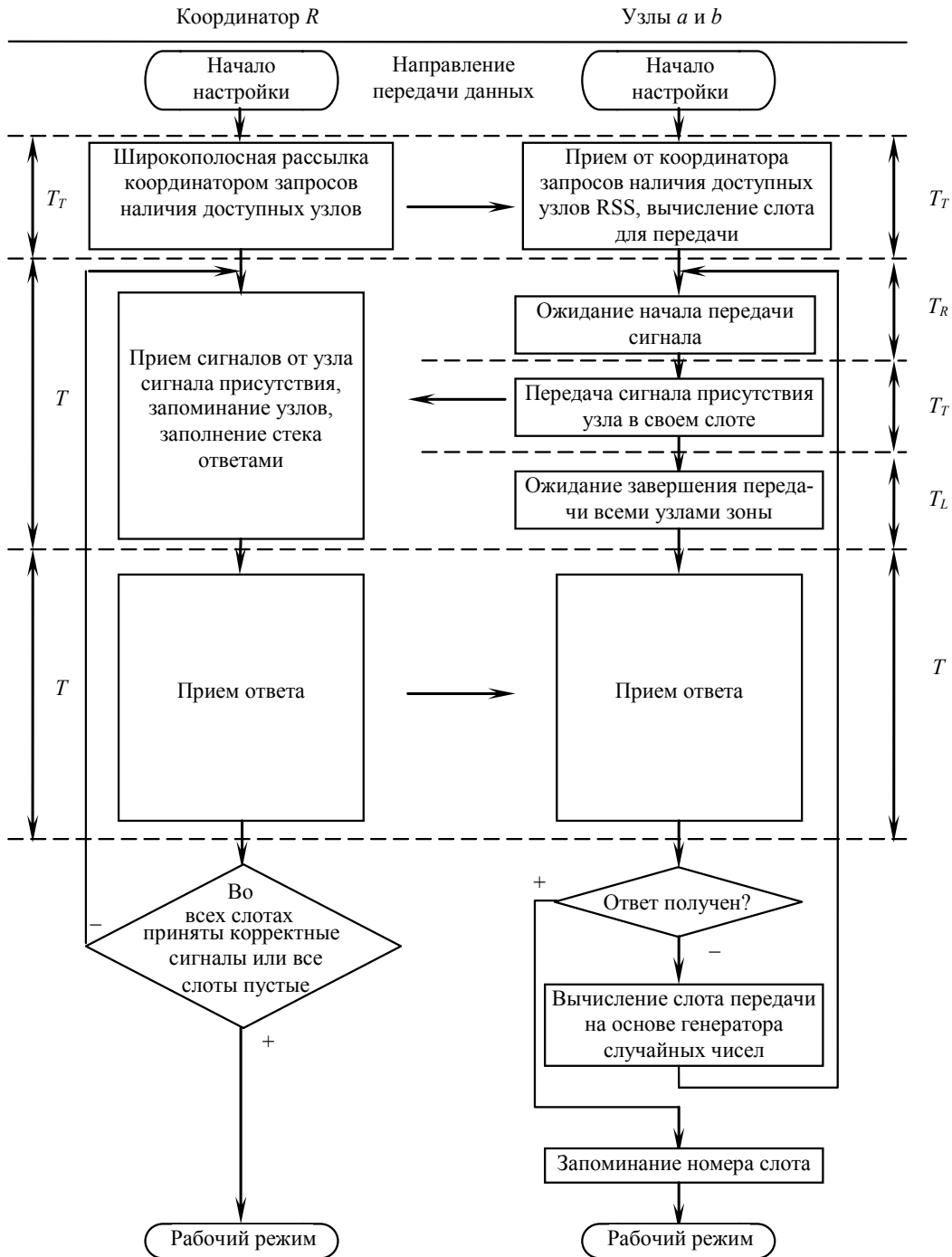


Рис. 3. Алгоритм конфигурации зоны беспроводной сети с обнаружением и разрешением коллизий обслуживаемой ее координатором R ; T_T — время передачи одного пакета данных; T_R — время ожидания начала передачи пакета данных; T_L — время ожидания завершения передачи всех узлов зоны сети координатора R ; T — время распределения временных слотов между всеми узлами

На первой стадии T_T конфигурации зоны сети обслуживаемой ее координатором R отправляет широкополосный запрос всем оконечным узлам своей зоны. На всех узлах, принявших его запрос, определяется уровень принятого сигнала (Receive Strength Signal – RSS), согласно которому выделяется свой временной интервал передачи данных (слот). Для обеспечения такого разделения предусматривается разделение уровней мощности

принимаемого сигнала и определение для каждого уровня своего временного слота. Таким образом, узлы с разным уровнем принимаемого сигнала, находящиеся на разном энергетическом расстоянии от координатора, не будут создавать коллизий. Зона сети сконфигурирована.

На второй стадии T конфигурации зоны сети, в случае обнаружения коллизий, новые узлы в случайном порядке выбирают свой слот передачи. Для этого новый узел ожидает некоторое время T_R до начала выбранного им слота и определенное время T_L до завершения передачи всеми узлами. Время T_R определяется общим количеством временных слотов, находящихся перед слотом, выбранным узлом, а время T_L определяется общим количеством временных слотов, оставшихся после выбранного узлом слота. Конфигурация зоны сети заканчивается при условии, что в течение времени распределения временных слотов между всеми узлами T не было зафиксировано ни одной коллизии. После этого координатор R дает сигнал начала рабочего режима.

Функция обнаружения новых узлов, реализуемая координатором, базируется на алгоритме обнаружения и устранения коллизий, т.к. при появлении нового узла его сигнал может попасть в один из уже занятых другим узлом временных слотов передачи данных, и эти узлы создадут коллизию.

При обнаружении данной коллизии координатор R посылает всем узлам его зоны сигнал о необходимости приостановить передачу, тем самым давая новому узлу возможность зарегистрироваться в сети. После регистрации происходит временная перестройка последовательности передачи данных узлами сети с изменением величины временного интервала опроса узлов T (рис 4 а, б).

При потере связи с некоторыми узлами по причине временного отключения или исчерпания автономного источника питания предлагается два варианта алгоритма последующей реконфигурации:

— оставить слоты, соответствующие отключившимся узлам, пустыми и использовать их для регистрации новых узлов или узлов, возобновивших свою работу; при этом порядок опроса остальных узлов не нарушается (см. рисунок 4, в, з, соответственно).

— переконфигурировать используемые временные слоты последовательно; все узлы, использующие слоты, после слота потеряннного узла перенастроить; после чего зона сети работает в обычном режиме. Добавление слота для нового узла или узла, возобновившего свою работу, происходит как в обычной сети, без освобожденных слотов (рис. 4, д, е, соответственно).

Достоинство первого варианта алгоритма — не требуется реконфигурация оконечных узлов при каждом изменении топологии сети.

Достоинство второго варианта — координатор постоянно принимает только полезный сигнал, не затрачивая энергию в режиме ожидания сигнала от недоступных узлов.

Второй вариант более приемлем, т.к. не требует дополнительных энергетических затрат от оконечных узлов на реконфигурацию, координатор же снабжен достаточно емким или возобновляемым источником питания, поэтому его энергетическими затратами можно пренебречь.

Таким образом, разработанный алгоритм

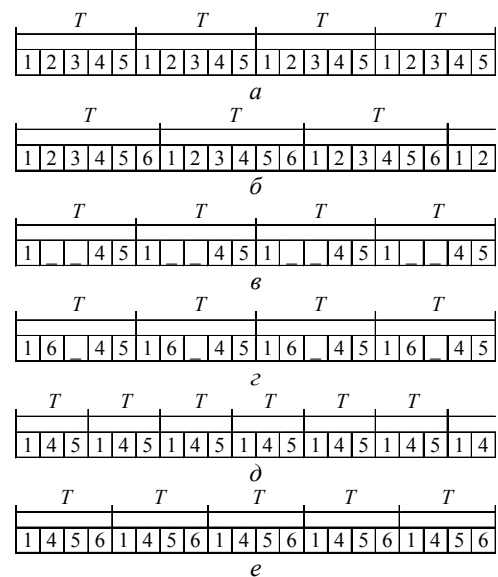


Рис 4. Последовательности временных слотов непрерывной передачи данных: пятью узлами (а); при появлении сигнала от шестого узла (б); при потере сигнала от двух узлов (в); четырьмя узлами (г); при потере сигнала от двух узлов (д); четырьмя узлами (е); T — временной интервал опроса узлов

позволяет автоматически конфигурировать и переконфигурировать беспроводную сеть, обнаруживая коллизии на всех этапах конфигурации, с минимальным энергопотреблением.

Литература

1. Callaway, E.H. Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols / E.H. Callaway. — London, CRC Press, 2004. — 320 p.
2. Танненбаум, Э. Компьютерные сети / Э. Танненбаум. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2003. — 992 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Ситников В.С.

Поступила в редакцию 29 октября 2010 г.