

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАРШРУТИЗАЦИИ С АГРЕГАЦИЕЙ ДАННЫХ В МОБИЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

М.А. Смольников¹, Ю.А. Скудняков²

¹Белорусский национальный технический университет, Минск;

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск

Рассмотрены подходы на основе алгоритмов маршрутизации с агрегацией данных в мобильных сенсорных сетях, использование которых приводит к снижению потребления энергии сетью в целом и, следовательно, к увеличению времени ее автономной работы. Дана оценка возможностей алгоритмов маршрутизации с агрегацией данных в рассматриваемых сетях.

Распределенные сенсорные сети являются предметом активных исследований, начиная с 90-х годов XX в., в связи с тенденцией перехода от многофункциональных централизованных платформ к распределенным плотным сетям, состоящим из дешевых, простых, менее надежных, однако, взаимозаменяемых компонентов, которые, будучи в составе кластера, способны выполнять намного более сложные задачи, чем классические системы [1].

Современные сети – это коллекция большого числа гетерогенных интеллектуальных узлов, распределенных логически и пространственно и соединенных с использованием какого-либо сетевого интерфейса. Сенсоры могут быть любыми: камеры, микрофоны, ультразвуковые и инфракрасные датчики расстояния, датчики влажности, давления, температуры или освещенности. В настоящее время распределенные сенсорные сети широко применяются в космонавтике, робототехнике, медицине, военном деле, метеорологии и других сферах человеческой деятельности.

Основная задача подобных сетей – обрабатывать данные, возможно, частично поврежденные, полученные из неопределенного числа сенсоров. Исходя из этого, сети должны обладать следующими свойствами: каждый узел сети может реализовывать несложную логику; сеть в целом должна быть способна обрабатывать различные по своей структуре данные; производительность сети не должна ухудшаться в связи с мобильностью узлов.

Построение сенсорных сетей, в отличие от традиционных сетей передачи данных, сопряжено с некоторыми трудностями, возникающими вследствие их природы и назначения. Одной из наиболее важных характеристик сенсорных сетей является их энергоэффективность, так как подобные системы должны работать автономно.

При более детальном рассмотрении, каждый узел в сети, кроме набора сенсоров, содержит также небольшой объем памяти, процессор для обработки данных, устройство беспроводной связи и источник питания. Узлы передают данные на сервер, где они собираются для дальнейшей обработки и анализа. Пакеты данных отправляются через другие промежуточные узлы сети. В связи с ограничениями дальности радиосвязи и энергопотребления, непосредственно взаимодействуют друг с другом только узлы, расположенные поблизости. Топология сети определяет схему направления пакетов. Обычно используется один из двух подходов: Ad-hop и «Кластерные сети».

При первом подходе данные отправляются по наиболее короткому пути между отправителем и получателем, а промежуточные узлы выполняют роль повторителей сигнала. При данном подходе внести изменения в топологию довольно сложно, в связи с чем его использование не является эффективным для мобильной сети, узлы которой могут периодически оказываться вне зоны доступа.

При втором (кластерном) подходе, в случае изменения топологии сети, алгоритм формирования кластеров выполняется заново, причем, при изменении топологии внутри кластера (не затрагивая собственно центров кластеров), пересчет будет происходить только в пределах одного кластера, что позволяет использовать данные сети для отслеживания состояния мобильных объектов [2].

Учитывая, что в сенсорных сетях данные от множества узлов направлены на один общий сервер, можно выделить два подхода в передаче данных, включая протоколы:

– непрерывной адресации (НА): каждый источник независимо отправляет данные по кратчайшему пути к серверу, основываясь на своей таблице маршрутизации;

– адресации с агрегацией (АА): отправка данных происходит аналогично, однако промежуточные узлы просматривают содержимое пакетов и выполняют определенные операции над данными, полученными из нескольких источников [3].

Агрегация данных, по сути, являющаяся процессом комбинирования данных из множества источников, может быть реализована несколькими способами. Наипростейшим видом агрегации является удаление повторяющихся данных. В качестве агрегирующих функций также могут использоваться функции нахождения минимальных, максимальных или средних значений. В общем случае – любые функции, которые, принимая множество аргументов, возвращают один.

Из-за уменьшения числа передаваемых данных, протоколы с агрегацией более эффективно используют энергию за счет уменьшения общего числа перенаправлений, происходящих в сети, однако, их эффективность зависит от структуры передаваемых данных, в частности, степени их идентичности.

Для оценки преимуществ агрегации данных рассмотрим сенсорную сеть с заданными параметрами [4].

Пусть d_i – длина самого короткого пути от источника S_i , тогда общее число передач, требуемых для наиболее оптимального протокола непрерывной адресации, равно:

$$N_E = d_1 + d_2 + \dots + d_n = \sum d_i.$$

Определим число передач для АА протоколов. Суть агрегации предполагает, что число переадресаций будет не большим, чем в протоколах непрерывной адресации. Для того, чтобы более точно определить данное значение, обозначим R как наидлиннейший из кратчайших путей между каждой из вершин графа, построенного на основе существующей топологии сети. Тогда:

$$N_A \leq (n - 1)R + \min d_i,$$

$$N_A \geq \min d_i + (n - 1).$$

Первое неравенство может быть получено путем анализа дерева агрегации, которое состоит из n источников, последний из которых является ближайшим к серверу, поэтому в данном случае он не учитывается. Второе представляет собой частный случай для сети, в которой узлы связаны друг с другом исключительно последовательно ($R = 1$) и из каждого узла существует только один возможный путь передачи данных следующему.

Учитывая, что $N_A < (n - 1)R + \min d_i < n (\min d_i)$, получим неравенство $N_A < N_E$, при условии, что R будет не больше, чем кратчайший путь между узлами.

Экономичность протоколов адресации с агрегацией можно выразить как отношение между сэкономленным числом переходов к их числу при использовании непрерывной адресации:

$$S = (N_E - N_A) / N_E.$$

Полагая, что все источники находятся на одинаковом удалении от сервера, т. е. $d_i = \max d_i = d$, получим:

$$1 - [(n - 1)R + d] / nd \leq S \leq 1 - (d + n - 1) / nd.$$

Если значения R и n – фиксированы (для неподвижных узлов), то по мере увеличения расстояния d (т. е. при d , стремящемся к бесконечности), эффективность алгоритмов с агрегацией будет уменьшаться:

$$\lim_{d \rightarrow \infty} S = 1 - 1/n.$$

Таким образом, использование подобных алгоритмов тем целесообразнее, чем больше для каждого из узлов существует альтернативных путей для передачи данных серверу.

Стоит также отметить, что несмотря на увеличение времени автономной работы сети, возникает проблема задержек данных, возникающих из-за того, что отдельные узлы сети будут заняты обработкой данных, а вместо наиболее свободных маршрутов будет, напротив, выбран маршрут с возможностью наибольшей агрегации. Кроме того, сама агрегация, в зависимости от выбранного алгоритма, может создавать задержки (особенно в случае, если узлу необходимо получить несколько пакетов данных для выполнения их обработки).

Легко заметить, что в наихудшем случае, задержка, связанная с агрегацией, будет пропорциональна числу связей между наиболее удаленным узлом и сервером.

Список литературы

1. Chapman & Hall CRC Computer and Information science series Distributed Sensor Networks S. Sitharma Iyengar and Richard R. Brooks [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : [http:// bit.ly/29c3Gw6](http://bit.ly/29c3Gw6). – Дата доступа : 24.05.2016.
2. Галкин, П.В. Анализ энергопотребления узлов беспроводных сенсорных сетей / П.В. Галкин. – ScienceRise. – 2014. – № 2. – С. 20–22.
3. Восков, Л.С. Повышение качества обслуживания в беспроводных стационарных сенсорных сетях с автономными источниками питания / Л.С. Восков, М.М. Комаров // Качество. Инновации. Образование. – 2012. – № 1. – С. 80–88.
4. Johnson, D.B. Dynamic Source Routing in Ad-Hoc Wireless Networking / D.B. Johnson, D.A. Maltz, T. Imielinski, H. Korth // Pittsburgh : Mobile Computing, 1996. – 25 p.