

ПОСТРОЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ДАТЧИКОВ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

BUILDING ENERGY EFFICIENT WIRELESS SENSOR NETWORKS IN PARAMETRIC FIELDS MONITORING TASKS

Нижний Новгород, Нижегородский Государственный Технический Университет
Nizhniy Novgorod, Nizhniy Novgorod State Technical University

Wireless distributed sensor network consists of a large number of networked sensor nodes. A sensor node is an inexpensive device that combines sensing, data processing, and communication capabilities. Once deployed, such devices organize themselves into a single structure that can perform various tasks. In this paper, sensor network targeted at continuous field monitoring (such as environment temperature, pressure, etc.) is being studied. A variety of issues influencing system energy consumption are investigated, from medium access protocols to application level algorithms. In particular, algorithms that offer tradeoff between the Quality of Service characteristics and resources consumption are proposed. A simulation framework has been developed to validate obtained results and investigate the behavior of proposed algorithms.

Введение

Успехи, достигнутые в последнее время в создании миниатюрных и экономичных измерительных устройств, электронных компонентов и радиопередатчиков позволяют создавать относительно недорогие устройства, объединяющие в себе функции наблюдения за окружающей средой, обработки полученной информации и обмена ею. Система, состоящая из нескольких тысяч или десятков тысяч подобных устройств, объединенных в единую беспроводную сеть, обладает высокой надежностью и устойчивостью к выходу из строя отдельных узлов, а также огромными возможностями по распределенному сбору и обработке информации. Подобные сети могут применяться для мониторинга состояния окружающей среды, для наблюдения за работой какого-либо оборудования, а также в военных задачах.

Энергетические ресурсы узлов сильно ограничены, а пополнение запаса энергии, как правило, невозможно. Поэтому время работы сети напрямую зависит от эффективности использования ею своих энергетических ресурсов.

В данной работе рассматривается беспроводная сеть датчиков, осуществляющая территориально распределенное наблюдение за значением какого-либо параметра окружающей среды (например, температуры, давления, концентрации различных примесей, и т.п.). Распределенный алгоритм прикладного уровня, исполняемый узлами сети, позволяет им определять первоначальное распределение значений контролируемого параметра, и в дальнейшем отслеживать его изменения. Протокол маршрутизации обеспечивает доставку собираемой сетью информации к ее клиентам.

Энергосбережение в сетях датчиков

Энергосбережение в беспроводных сетях датчиков должно применяться на всех уровнях, начиная от аппаратных средств узлов сети, и заканчивая их прикладным программным обеспечением. Каждое действие, выполняемое сетью датчиков, должно быть энергетически эффективным. Решения, применяемые в традиционных сетях, в том числе беспроводных, имеют, как правило, другие приоритетные задачи – обеспечение максимальной пропускной способности и эффективности использования канала, минимизация задержек доставки сообщений, справедливое разделение полосы пропускания между клиентами сети, и т.п. Энергопотребление при этом имеет второстепенное значение. Следовательно, при построении беспроводных сетей датчиков ряд аспектов имеющихся решений должен быть пересмотрен с учетом их особенностей.

Основной причиной, приводящей к перерасходу энергии в беспроводных сетях датчиков, является прослушивание канала при отсутствии передаваемых сообщений. При низкой активности в сети ее узлы могут проводить большую часть своего времени в неактивном состоянии. Тем не менее, во многих протоколах доступа к среде (например, IEEE 802.11 [1]) узлы должны *постоянно* прослушивать канал для получения *возможного* трафика. Энергопотребление при прослушивании канала соизмеримо с энергопотреблением при передаче сообщения. Для различных приемопередатчиков называются такие соотношения мощности, потребляемой при прослушивании, приеме и передаче, как 1:1,05:1,4 [2] и 1:2:2,5 [3]. По этой причине энергия, затраченная в

масштабах всей системы на прослушивание канала, может на несколько порядков превышать энергию, затраченную на передачу сообщений.

Для решения описанной проблемы можно применить периодическое отключение приемопередатчика узла при отсутствии передаваемых сообщений. При этом происходит последовательное чередование фаз прослушивания канала и сна, когда приемопередатчик отключен, и энергия практически не потребляется. Благодаря такому механизму энергопотребление узла при отсутствии передаваемых сообщений снижается в число раз, равное отношению длительности фазы прослушивания канала и общей длительности цикла. Недостатком данного решения является возможность потери сообщения, адресованного узлу, находящемуся в фазе сна. Это накладывает ограничение на продолжительность фазы сна и на величину снижения энергопотребления.

Периодическое отключение приемопередатчика позволяет снизить потребление энергии при отсутствии активности в сети. Однако, энергопотребление при передаче сообщений также может быть снижено при введении определенных изменений в протокол MAC-уровня. В MAC-протоколах, основанных на конкуренции за доступ к среде, как правило, предусмотрен механизм *отката*, т.е. ожидания в течение некоторого, обычно случайного, интервала времени. MAC-протокол входит в состояние отката при неудачной попытке занятия канала. В MAC-протоколах, применяемых в сетях датчиков, откат имеет еще одно назначение – он позволяет нарушать *синхронизацию* потоков сообщений. Последняя возникает, например, при обнаружении несколькими узлами одного и того же события.

Большинство спецификаций на MAC-протоколы (в т.ч. IEEE 802.11) требует прослушивания канала в состоянии отката, и перехода в состояние приема сообщения при обнаружении сигнала. Если, вместо прослушивания канала, на время отката приемопередатчик будет выключен, потребление энергии снизится. Недостаток такого подхода, как и в предыдущем случае, состоит в возможности потери сообщения, адресованного данному узлу, и пришедшего в момент времени, когда приемопередатчик последнего выключен.

Энергосбережение возможно и на уровне протокола маршрутизации. Протокол маршрутизации, предлагаемый для решения задачи наблюдения за полем некоторого параметра, состоит в определении каждым узлом его расстояния до ближайшего клиента сети (расстояние измеряется в числе ретрансляций сообщения – *hops*), и информировании своих непосредственных соседей об этом расстоянии. В дальнейшем маршрутизация сообщений сводится к выбору соседнего узла, находящегося ближе к получателю сообщения, чем данный узел, и передаче ему сообщения.

В данной работе предлагается два механизма снижения энергопотребления для описанного протокола маршрутизации. Первый из них состоит в отслеживании успешности обращений к каждому из кандидатов на роль следующего узла в маршруте. Узлы, не подтвердившие получение сообщения, исключаются из процесса маршрутизации на определенный интервал времени. Последний экспоненциально возрастает с ростом числа неуспешных попыток (до некоторого предела). Благодаря такому механизму уменьшается число сообщений, потерянных из-за перегрузок в сети или из-за перебоев в работе ее узлов, и, тем самым, уменьшается число повторов. Снижение объема передаваемой информации ведет к снижению потребления энергии.

Второй механизм состоит в отслеживании узлом уровня заряда батарей его соседей. Последний включается для этого в подтверждение на сообщение. Узел, получивший такое подтверждение, обновляет значение уровня заряда батареи для данного соседа. В процессе маршрутизации из доступных на данный момент соседей выбирается тот, у которого уровень заряда батареи больше. Благодаря такому механизму потребление энергии становится более равномерным, а срок работы сети продлевается.

Результаты моделирования

Далее приведены результаты, полученные путем имитационного моделирования описанной выше беспроводной сети датчиков, состоящей из 2000 узлов, случайным образом размещенных на территории размером 300х300 метров. Максимальная дальность связи была установлена равной 18 метрам. Соотношения мощности, потребляемой при прослушивании, приеме и передаче, было установлено равным 1:1:1,6.

Для упрощения сравнения характеристик обслуживания, обеспечиваемых сетью датчиков, ею различается только два уровня контролируемого параметра – выше и ниже некоторого порога. Показателем качества работы сети является средняя доля узлов, в которых значение контролируемого параметра превышает порог, о которых клиенты сети информированы на текущий момент времени, от общего количества таких узлов на тот же момент времени.

На рисунках 1 и 2 представлены среднее и минимальное значения запаса энергии по всем узлам сети соответственно. На рисунке 3 представлено число узлов сети с истощенным запасом энергии. На рисунке 4 представлена характеристика качества обслуживания, предоставляемая сетью датчиков – средняя доля обнаруженных случаев превышения контролируемым параметром заданного порога.

Моделировалось четыре варианта построения беспроводной сети датчиков в порядке возрастания ее энергосберегающих возможностей (на графиках перечислены в этом же порядке):

1. сеть датчиков, не имеющая энергосберегающих возможностей;
2. сеть датчиков, в которой применяется периодическое отключение приемопередатчика узла при отсутствии активности в данной точке;
3. сеть датчиков из п.2, в которой протокол MAC-уровня снабжен энергосберегающими возможностями;
4. сеть датчиков из п.3, в которой протокол маршрутизации сообщений снабжен энергосберегающими возможностями.

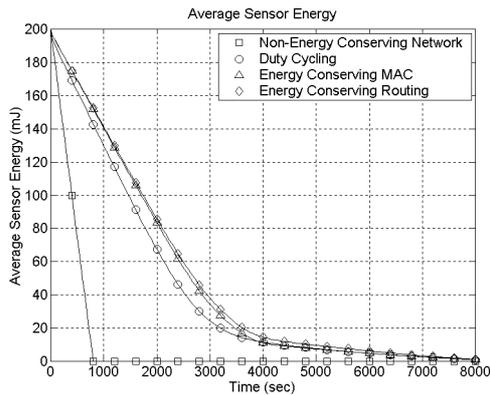


Figure 1. Average energy of sensor nodes.

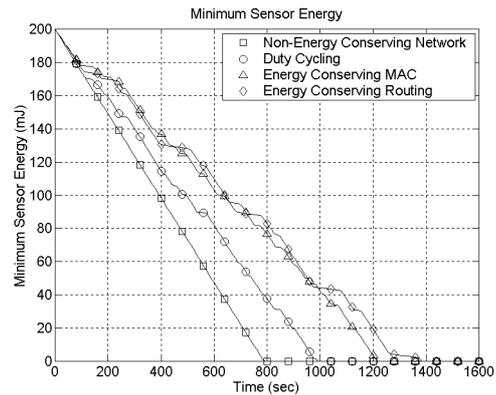


Figure 2. Minimum energy of sensor nodes.

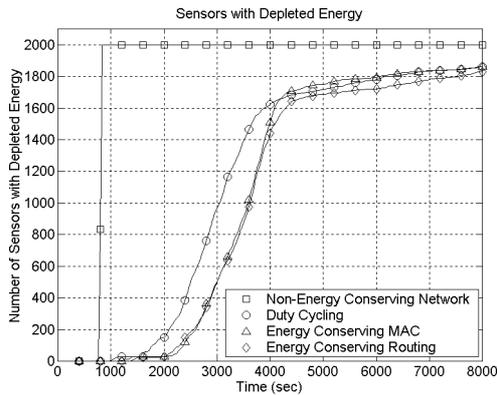


Figure 3. Number of sensor nodes with depleted energy.

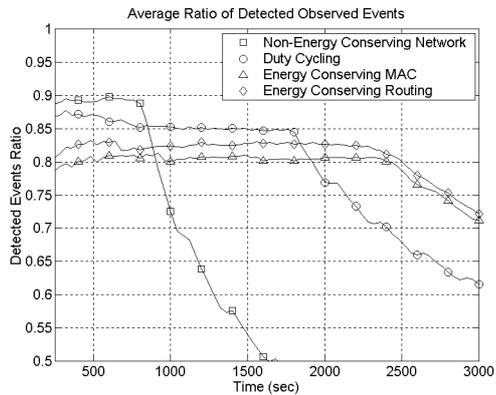


Figure 4. Average ratio of detected events of controlled parameter exceeding the threshold.

Заключение

Из приведенных результатов видно, что сеть без энергосберегающих возможностей быстро истощает свой запас энергии (рис. 1-3), после чего доля обнаруженных случаев превышения порога быстро снижается (рис. 4). Применение перечисленных решений позволяет существенно продлить время работы сети (в данном случае – в 3 раза). Следует также обратить внимание на то, что, в то время как варианты 2 и 3 продляют время работы сети за счет небольшого ухудшения ее характеристики качества обслуживания, вариант 4 не только увеличивает время работы сети, но и повышает долю обнаруженных случаев превышения порога.

Ссылки

1. LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification, IEEE Std 802.11, IEEE, 1997.
2. Mark Stemm and Randy H. Katz, Measuring and Reducing Energy Consumption of Network Interfaces in Hand-Held devices, IEICE-TOC, E80-B, aug, 1125–1131, 1997.
3. Oliver Kasten, Energy Consumption Model, Eidgenossische Technische Hochschule Zurich.