

**АЛГОРИТМ ВЫБОРА АКТИВНОГО ПОДМНОЖЕСТВА УЗЛОВ В БЕСПРОВОДНОЙ  
СЕНСОРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ АГРЕГИРОВАНИЯ ПРЕДПОЧТЕНИЙ**

Худоногова Л.И.

Научный руководитель: Муравьев С.В., профессор, д.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: likhud@tpu.ru

**ACTIVE NODE SELECTION ALGORITHM BASED ON PREFERENCE AGGREGATION  
IN WIRELESS SENSOR NETWORK**

Khudonogova L.I.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Muravyov S.V.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: likhud@tpu.ru

*Энергопотребление является одним из наиболее существенных ограничений в беспроводных сенсорных сетях. В целях сохранения энергии и продления срока эксплуатации в сети используется циклический режим работы, при котором радиомодуль узла находится то в активном, то в спящем режиме. В статье представлен алгоритм выбора активных узлов в каждом цикле опроса, основанный на агрегировании предпочтений. Алгоритм предназначен для определения оптимального подмножества активных узлов, которое позволит снизить энергетические затраты и сохранить требуемый уровень точности измерений.*

*Energy consumption is one of the biggest constraints in wireless sensor networks. In order to reduce consumption and prolong network lifetime, duty-cycling work mode is used. In this paper, an algorithm allowing to select active nodes in every cycle is introduced. The algorithm is based on preference aggregation and aims at finding the optimal node set that minimizes the energy consumption without sacrificing measurement accuracy.*

**Введение**

В настоящее время беспроводные сенсорные сети используются для сбора, обработки и передачи информации во многих областях жизнедеятельности, включая экологический и промышленный мониторинг. Одной из актуальных проблем для беспроводных сенсорных сетей является проблема энергосбережения. Вследствие ограниченных запасов энергии сенсорного узла, непрерывная работа узлов в активном режиме существенно уменьшает срок жизни сети. Снизить энергопотребление возможно за счет уменьшения числа активных узлов в кластере в каждом цикле опроса. Эффективная схема выбора такого подмножества предполагает нахождение компромисса между точностью и энергетическими затратами. Чем больше узлов находятся в активном режиме, тем выше точность получаемого при агрегировании значения измеряемой величины, однако тем больше энергии требуется для их работы. Прежде всего, необходимо определить, сколько узлов должны быть активны в кластере в каждом цикле и на основании каких критериев будут выбираться такие узлы. Для решения этой задачи предлагается использовать алгоритм выбора активного подмножества (АВАП) узлов в кластере, основанный на агрегировании предпочтений.

**Алгоритм выбора активного подмножества узлов**

АВАП разработан для использования в сети с кластерной топологией, где множество всех сенсорных узлов разделено на кластеры. Каждый кластер состоит из  $n$  узлов  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ , равномерно распределенных по некоторой площади. Каждый узел оснащен мультисенсором, измеряющим  $p$  параметров окружающей среды. Узел, выполняющий функции главы кластера (ГК), собирает данные с узлов в кластере и передает их на центральный узел (ЦУ). Узлы одного кластера измеряют одно и то же значение параметра, которое затем может быть обоснованно приписано всей исследуемой области. ЦУ хранит таблицу с местоположением всех узлов в сети. Все узлы в кластере находятся в пределах диапазона передачи  $R_t$  друг друга. Предполагается, что в сети используются однотипные узлы, для которых исходный запас энергии  $E_{in}$

одинаков. Узел обладает информацией о количестве оставшейся энергии  $E_{\text{res}}$  своего элемента питания, и значение  $E_{\text{res}}$  передается на ГК вместе с измерительной информацией от узла в каждом цикле опроса. АВАП запускается на центральном узле в начале каждого цикла и состоит из 4 основных стадий.

#### 1. Выбор главы кластера.

В сетях с кластерной топологией часто возникает ситуация, когда ГК быстро выходит из строя вследствие разрядки элемента питания, поскольку в каждом цикле он затрачивает энергию на обмен сообщениями как с ЦУ, так и с узлами в кластере. Для снижения нагрузки на один узел при передаче сообщений предлагается применить схему динамического выбора ГК, в которой в каждом цикле функции ГК выполняет новый узел. Выбор ГК основывается на трех критериях: количество оставшейся энергии, расстояние до ЦУ, история активности узла. Затраты энергии на обмен сообщениями снижаются при уменьшении расстояния между ГК и ЦУ, т.к. энергопотребление при передаче прямо пропорционально расстоянию передачи. Запас энергии узла также играет важную роль при выборе, поскольку выполнение функций ГК сопряжено с дополнительным расходом энергии на передачу сообщений и вычислительные операции. Для того, чтобы обеспечить покрытие исследуемой области, основой для выбора ГК служит также история активности узла. Если узел был активен в предыдущем цикле, он становится менее предпочтительным кандидатом на роль ГК. Таким образом, ГК варьируется в зависимости от местоположения в кластере, предоставляя информацию обо всех зонах исследуемой области.

Выбор узла на роль ГК проводится с помощью процедуры *агрегирования предпочтений*. Пусть имеется  $m$  ранжирований на множестве  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  из  $n$  кандидатов (альтернатив). Набор отношений  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$  называется профилем предпочтения, где каждое ранжирование  $\lambda = \{a_1 \succ a_2 \succ \dots \sim a_s \sim \dots \sim a_n\}$  может включать  $\succ$ , строгое отношение предпочтения, и  $\sim$ , отношение эквивалентности. Для профиля предпочтения  $\Lambda$  формируется  $(n \times n)$  матрица профиля  $P = [p_{ij}]$  по формуле (1):

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^m \begin{pmatrix} 0 & \text{если } a_i^k \succ a_j^k \\ 1 & \text{если } a_i^k \sim a_j^k \\ 2 & \text{если } a_i^k \prec a_j^k \end{pmatrix}, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Отношение консенсуса (ранжирование, равноудаленное от всех  $m$  исходных ранжирований) находится с помощью правила Кемени [1]. Правило Кемени позволяет найти отношение консенсуса  $\beta$ , такое, что расстояние  $D(\beta, \Lambda)$  от ранжирования  $\beta$  до профиля  $\Lambda$  минимально:

$$\beta = \arg \min_{\lambda \in \Pi} D(\lambda, \Lambda) = \sum_{i < j} p_{ij}. \quad (2)$$

В формуле (2)  $D(\lambda, \Lambda)$  – расстояние между произвольным ранжированием  $\lambda$  и профилем  $\Lambda$ .

Для нахождения отношения консенсуса по правилу Кемени применяется рекурсивный алгоритм ветвей и границ. Однако использование правила Кемени может приводить к получению более чем одного оптимального решения (отношения консенсуса). В таком случае все полученные решения  $\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_{\text{kem}}}\}$  преобразуются в единственное итоговое отношение консенсуса  $\beta_{\text{fin}}$  в соответствии с правилами, описанными в [2].

Для выбора ГК составляется профиль предпочтений  $\Lambda$ , включающий в себя три ранжирования  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ , по расстоянию до ЦУ, энергии и истории активности соответственно. Альтернативами в ранжированиях являются узлы в кластере. Определяется итоговое отношение консенсуса, и если первое место в нем занимают несколько узлов, значит, любой из них может быть обоснованно выбран на роль ГК.

## 2. Выбор активных узлов в кластере.

Выбор узлов, участвующих в работе сети на каждом цикле, зависит от трех параметров: количество оставшейся энергии, расстояние до ГК и обобщенная точность мультисенсора узла. Часто вследствие экстремальных условий окружающей среды сенсоры выходят из строя, измеряя с большой погрешностью. Неточные данные, переданные на ЦУ, могут повлиять на процесс агрегирования и привести к получению неверного результата. Важно оценить обобщенную точность узла, характеризующую качество полученной информации, и исключить его из измерительного процесса в случае низкой надежности. Поскольку мультисенсор измеряет  $p$  величин, оценка проводится по каждой из них. Для оценивания обобщенной точности вводится функционал  $\Delta = \Phi(\Delta_k^h)$ , где  $\Delta_k^h$  – отклонение, рассчитанное для узла  $k$  по формуле:

$$\Delta_k^h = |X_c^h - X_k^h|, h = 1, \dots, p; k = 1, \dots, n, \quad (3)$$

где  $X_c^h$  – скорректированное значение величины  $h$ , полученное в результате агрегирования,  $X_k^h$  – значение величины  $h$ , измеренное  $k$ -ым узлом. Для каждого узла число отклонений  $\Delta$  равно количеству измеряемых величин  $p$ . Все узлы ранжируются по отклонениям, и в каждой паре узлов узел с меньшим значением  $\Delta_k^h$  является более предпочтительным, т.к. имеет большую точность. Точность сенсора, измеряющего величину, для которой максимальная допускаемая погрешность мала, более критична, т.к. такой сенсор должен поддерживать требуемый уровень точности. Поэтому величина, для которой допускается наименьшая погрешность, имеет наибольшую ценность. Чтобы учесть этот фактор, каждой величине присваивается число баллов в зависимости от ее ценности: наиболее ценная получает  $p$  баллов, следующая по ценности –  $p-1$  баллов, и т.д., и число ранжирований величины равно числу присвоенных ей баллов.

Действуя аналогично алгоритму для выбора ГК, описанному выше, формируем ранжирования по расстоянию до ГК и количеству оставшейся энергии, добавляем к ним третье ранжирование по обобщенной точности и находим итоговое отношение консенсуса. Определяется подмножество активных узлов  $S_a = \{s_1, s_2, \dots, s_g\}$ , где  $g$  – оптимальное число активных узлов в кластере. Поскольку назначенный на предыдущей стадии ГК также участвует в измерительном процессе, в получившемся отношении первые  $g-1$  узлов становятся элементами подмножества  $S_a$ .

## 3. Активация узлов.

ЦУ рассылает выбранным ГК сообщение об активации, а ГК после активации передают такое же сообщение узлам в своем кластере, входящим в активное подмножество  $S_a$ . Узлы, не входящие в подмножество, остаются в спящем режиме. Активированные узлы собирают измерительную информацию и передают ее ГК вместе с информацией об оставшейся энергии. ГК, в свою очередь, передает набор данных от всех  $g$  узлов на ЦУ. По достижении данными ЦУ узлы подмножества  $S_a$  переходят в спящий режим.

## 4. Расчет скорректированных значений.

После получения измерительной информации от ГК, на ЦУ запускается алгоритм, основанный на интервальном голосовании в форме агрегирования предпочтений, описанный в [3], для расчета скорректированного значения  $X_c^h$  по всем  $p$  измеряемым величинам. Данные значения передаются в следующий цикл для оценки обобщенной точности мультисенсоров узлов.

## Заключение

Алгоритм выбора активного подмножества, основанный на агрегировании предпочтений, направлен на снижение энергопотребления в беспроводной сенсорной сети посредством уменьшения числа узлов, активных в каждом цикле опроса. Критериями выбора узлов являются расстояние до ГК и ЦУ, количество

оставшейся энергии узла и обобщенная точность мультисенсора. Дополнительные исследования требуются в дальнейшем для определения оптимального числа активных узлов в кластере.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kemeny J.G., Snell J.L. Mathematical models in the social sciences. – Ginn, New York, 1962. – 145 p.
2. Muravyov S.V. Dealing with chaotic results of Kemeny ranking determination // Measurement. – 2014. – Vol. 51. – P. 328–334.
3. Muravyov S.V., Khudonogova L.I. Multisensor accuracy enhancement on the base of interval voting in form of preference aggregation in WSN for ecological monitoring // Proceedings of the IEEE 7th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems. – Brno, Czech Republic, 2015. – P. 293-297.

#### ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ С ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ

Черватюк В.Д., Коблов Н.Н.

Научный руководитель: Бори́ков В.Н., профессор, д.т.н.

АО “Научно-производственный центр “Полус”

Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 “в”, 634050

E-mail: sveto-gor@yandex.ru

#### THE ORGANIZATION OF WORKS OF DIVISIONS OF THE ENTERPRISE WITH ELECTRONIC TECHNICAL DOCUMENTATION

Chervatyuk V.D., Koblov N.N.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Borikov V.N.

“Scientific & Industrial Centre “Polus” JSC

Russia, Tomsk, Kirova str., 56 “v”, 634050

E-mail: sveto-gor@yandex.ru

*Отмечена важность технической документации – интеллектуальной собственности предприятия, от эффективного управления которой зависит слаженная деятельность всех его служб. Рассмотрен рынок программного обеспечения - систем организации электронного архива технической документации. Подробно проанализирована система класса PDM – АСУ ИДиП, разработки АО “НПЦ “Полус”. Обращено внимание на основные задачи, решение которых позволит перейти к безбумажной технологии проектирования изделий. Показано, как в АСУ ИДиП решены основные задачи перехода к работе с электронной технической документацией. Предложен механизм построения единого информационного пространства целой отрасли.*

*Importance of engineering specifications - enterprise intellectual property on which efficient control harmonious activity of all its services depends is noted. The software market - systems of the organisation of electronic archive of engineering specifications is considered. The system of class PDM - ASU IDiP, workings out of “Scientific & Industrial Centre “Polus” JSC is in detail analyzed. The attention to the primary goals which decision will allow to pass to paperless technology of designing of products is paid. It is shown, how in MANAGEMENT information system IDiP the primary goals of transition to work with electronic engineering specifications are solved. The mechanism of construction of a uniform information field of the whole branch is offered.*

Большинство современных российских производств унаследовало с XX века принципы проектирования и обработки технической документации, когда практически все потоки информации, как между подразделениями самих предприятий, так и при организации работ с внешними партнерами выполняются в бумажном виде. Основные недостатки такого подхода — низкая скорость разработки и передачи документации, значительный рост объемов документации по мере усложнения изделий [1] и, как следствие, спад эффективности инженерной деятельности (рис. 1).