

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ САМООРГАНИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Теплицкая С.Н., Хуссейн Я.Т.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, пр. Ленина, 14, каф. Телекоммуникационных систем,
тел. (057) 702-13-20, E-mail: tkc@kture.kharkov.ua

The imitating model of self-organizing of wireless sensory networks is offered. Distinctive feature of algorithm is use of accommodation of sensor controls, power stock in the sensory node, level of a ratio signal/noise. The qualitative and quantitative analysis of efficiency of functioning of the offered algorithm is carried out.

Сенсорная сеть (СС) является разновидностью телекоммуникационных сетей (ТКС) и предназначена для мониторинга различных ситуаций, элементов и явлений живой и неживой природы. С помощью СС обеспечивается наблюдение за процессами в науке и технике, в том числе и в самих телекоммуникациях. Они способствуют эффективному решению задач, специфичных для министерства чрезвычайных ситуаций, медицины катастроф и др. Построение надежных и эффективных сенсорных сетей – достаточно сложная задача. Она представляет собой компромиссное решение ряда ключевых задач, непосредственно связанных с основополагающими принципами их функционирования.

Достаточно часто СС приходится работать в неподготовленных условиях, при воздействии различных дестабилизирующих факторов, обеспечивая при этом высокую достоверность получаемой информации, надежность самой системы и автономность функционирования. В сложных системах, в связи с изменением обстановки, имеющихся ограничений или дефицитом оставшихся ресурсов, возникает необходимость изменения условий функционирования. Поэтому, важное значение играют методы самоорганизации в сенсорных сетях.

В работе предложена имитационная модель самоорганизации беспроводных сенсорных сетей. Процедура построения модели состоит из трех этапов: разбиение на кластеры, построение сети главных узлов (СГУ) и общей сети (СОУ). Исходными данными при построении модели являются количественные показатели: географическое расстояние, запас остаточной энергии и соотношение сигнал/шум в канале.

Рассмотрена модель СС со случайным гауссовым распределением мест размещения сенсорных узлов (СУ), радиус зоны действия которых R . Зона мониторинга при этом $D \gg R$. Необходимо разбить зону мониторинга на кластеры, в пределах которых обеспечивается надежная связь головного СУ со всеми оконечными, попавшими в данный кластер (сеть оконечных узлов – СОУ) и связь между головными узлами (СГУ).

Для определенности предполагается, что имеется $N = 30$ сенсорных узлов с радиусом $R = 20$ м, зона мониторинга: $X=Y=200$ м, $Z=3$ м. Передатчик СУ имеет мощность $P_{ПЕР}$, чувствительность приемника $P_{ПР} = S$, коэффициенты усиления антенн $G_{ПЕР} = G_{ПР} = 1$, то есть антенны не направлены. Места размещения назначались методом Монте-Карло. Полученное размещение далее надо кластеризовать таким образом, чтобы главный узел, размещенный в центре кластера, поддерживать надежную радиосвязь, обеспечивая при этом уровень сигнала в каждом из приемников оконечных узлов

$$P_{ПРi} \geq S, \quad (1)$$

где $P_{ПР} = P_{ПЕР} + G_{ПЕР} + G_{ПР} + W_{СВ}$ [дБ], здесь $G_{ПЕР} = G_{ПР} = 0$, $W_{СВ} = 10 \lg \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot d} \right)^2$ – ослабление сигнала в свободном пространстве на расстоянии d , $\lambda = c/f$, d – расстояние между головным и оконечными узлами.

Можно представить, что весь объем зоны мониторинга собран из шаров радиуса R , в центре которых находится главный узел. В этом случае для каждого из кластеров

может быть построена матрица расстояний D , каждый из элементов которой вычисляется по формуле:

$$d = \sqrt{\left(\frac{2R}{\sqrt{2}} \cdot k - \frac{R}{\sqrt{2}} - x_i\right)^2 + \left(\frac{2R}{\sqrt{2}} \cdot n - \frac{R}{\sqrt{2}} - y_i\right)^2 + \left(\frac{2R}{\sqrt{2}} \cdot f - \frac{R}{\sqrt{2}} - z_i\right)^2}, \quad (2)$$

где R – радиус действия сенсоры, k, n, f – количество кластеров по осям X, Y, Z , x, y, z – координаты i -го сенсора в кластере.

Данная матрица D в процессе функционирования СС изменяет как структуру, так и значения элементов. Это происходит вследствие потери некоторыми СУ своего энергетического потенциала, расходуемого пропорционально продолжительности работы на передачу (основной энергопотребляющий узел – выходной каскад передатчика). За каждый цикл работы СУ теряет определенное количество энергии:

$$E_S = P_{ПП} \cdot T \cdot n, \quad (3)$$

где T – время, затрачиваемое на передачу одного информационного пакета, n – число СУ в данном кластере. Так для стандарта IEEE 802.15.4 рабочая частота $f = 868$ МГц, скорость передачи информации $V = 20$ кбит/с, что позволяет вычислить W_{CB} и $T = I/V$, где I – объем информационного пакета.

Остаточное количество энергии для каждого из узлов с учетом (6) определяется из разности:

$$Q_i^k(E) = Q_{k-1} - k \cdot E_i, \quad (4)$$

где k – номер очередного цикла работы СС.

На основании этих матриц определяются количественные показатели как расстояние Махаланобиса от многомерного вектора $a = (D, Q)^T$ до множества $\mu = (d_{\min}, Q_{\max})$:

$$D_M(a) = \sqrt{(a - \mu)^T \cdot K(a, \mu)^{-1} \cdot (a - \mu)}, \quad (5)$$

где $K(a, \mu)$ – матрица ковариаций.

Исходя из количественных показателей осуществляется выбор головного узла в кластере. При каждом следующем цикле функционирования СС построение СГУ и СОУ корректируется исходя из текущей топологии (добавление сенсорных узлов или же отключение узла вследствие нулевой остаточной энергии) и используемых параметров выбора.

Следовательно, в предложенном алгоритме самоорганизация СС функционирует таким образом, что при выходе из строя головного узла, его роль автоматически переходит к любому конечному узлу, находящемуся в зоне действия кластера. Более того, если один из конечных узлов теряет связь со своим головным узлом, то он автоматически переходит в режим поиска любого другого конечного узла и при нахождении его сигнала образуется микро-сенсорная сеть. Таким образом, в СС за счет указанной самоорганизации возможно самовосстановление в случае какого-либо мгновенного воздействия на сеть, на пример, радиоэлектронного, когда со всеми узлами одновременно будет потеряна связь. Проведенное имитационное моделирование показало, что предложенная модель самоорганизации обеспечивает лучшие, чем алгоритм покрытия СРС и другие, характеристики жизненного цикла сенсорных узлов.