

# ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ РОБОТОВ НА БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

*Рассмотрено решение методом эластичной сети задачи планирования оптимальных маршрутов роботов с помощью сенсоров с областями видимости определенного радиуса. Проведена оценка потенциального выигрыша длины маршрута по сравнению с решением задачи без учёта областей видимости.*

## I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Использование радиочастотной идентификации (RFID) позволяет компаниями считывать показания измерительных приборов на расстоянии, в результате чего устраняется необходимость в точном (в геометрическом смысле) посещении каждого объекта. Благодаря сенсорам появляется возможность измерения различных показаний на некотором расстоянии от каждого объекта, причем в пределах вполне определенного радиуса действия. В этом и состоит основное и принципиальное отличие модели Close Enough Traveling Salesman Problem (CETSP) от классической задачи коммивояжера (TSP) [1, 2]. Для формализации рассматриваемой задачи CETSP зададим в двумерном евклидовом пространстве некоторое множество  $N$  сенсоров с радиусом видимости  $r$ . Требуется определить маршрут движения роботов минимальной длины, причем каждый из установленных сенсоров должен быть активирован. Укажем также, что сенсоры активируются в результате прохождения робота в пределах их радиусов видимости.

Пусть  $X_j$  – координаты сенсора  $j$ ,  $Y_j$  – координаты нейрона  $j$ ,  $j = \overline{1, M}$ . Тогда цель решения CETSP – поиск маршрута минимальной длины:  $\sum_{j=1}^{M-1} |Y_j - Y_{j+1}| \rightarrow \min$  при  $|X_j - Y_j| \leq r$ . Отсюда следует требование размещения по крайней мере одной точки контура на плоскости в пределах радиусов видимости каждого отдельного сенсора.

## II. МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ МЕТОДА ЭЛАСТИЧНОЙ СЕТИ

Метод эластичной сети [3], применяемый для решения евклидовой TSP, предлагается адаптировать для решения рассматриваемой задачи CETSP. В таком случае правило движения нейронов принимает следующий вид:

$$\delta Y_j = \alpha \sum_{i=1}^M p_{ij} w_{ij} (X_i - Y_j) + \beta K (Y_{j+1} - 2Y_j + Y_{j-1}),$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – константные параметры эластичной сети,  $K$  – температура. Значение  $p_{ij}$  задает сте-

пень видимости сенсоров и может быть представлен, например, с помощью экспоненты, гиперболического тангенса и т.д. Тогда при приближении нейронов к сенсорам весовой согласно закону  $p_{ij} = 1 - \exp(-|X_i - Y_j|^s / r^s)$ ,  $s \geq 2$  скорость движения нейронов падает, обеспечивая получение желаемого результата. Значения весовых коэффициентов зависят от расстояний и температуры  $w_{ij} = \phi(|X_i - Y_j|, K) / \sum_{l=1}^M \phi(|X_i - Y_l|, K)$ , где  $\phi(\cdot, \cdot)$  – функция Гаусса.

Для CETSP с одним и несколькими коммивояжерами установлено, что получаемый маршрут с сенсорным дистанционным управлением в среднем на 25-30% короче, чем маршрут следования роботов без учета зон видимости. В первом случае мы отмечаем значительную экономию маршрута.

## III. ВЫВОДЫ

Таким образом, метод эластичной сети может быть применен для решения как классических евклидовых постановок задачи коммивояжера, так и быть успешно адаптирован в более сложных многокритериальных геометрических и логистических оптимизационных задачах. Среди достоинств метода выделим также его низкую трудоёмкость итерации алгоритма  $O(n^2)$ , простоту моделирования, большую наглядность, возможность реоптимизации при изменении исходных данных, а также высокую адаптируемость, в частности, расчет маршрутов одновременно для нескольких роботов.

1. Shuttleworth, R. Advances in meter reading: Heuristic solution of the close enough traveling salesman problem over a street network / R. Shuttleworth, B. Golden, S. Smith, E. Wasil // Boston: Springer, 2008. –P. 589.
2. Bandeira, T. W. Analysis of Path Planning Algorithms Based on Travelling Salesman Problem Embedded in UAVs/T. W. Bandeira, W. P. Coutinho, A.V. Brito, A. Subramanian // In: Brazilian Symp. On Computing Systems Engineering. 2015. –P. 70-75.
3. Durbin, R. An analogue approach to the travelling salesman problem using an elastic net method/ R. Durbin, D. Willshaw // Nature, 1987. Vol. 326. –P. 689-691.

*Кот Олег Валерьевич*, аспирант кафедры информационных технологий автоматизированных систем БГУИР, kot.oleg@gmail.com.

*Научный руководитель: Ревотьюк Михаил Павлович*, доцент кафедры информационных технологий автоматизированных систем БГУИР, кандидат технических наук, доцент, rmp@bsuir.by.