

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ RFID-МЕТОК

Гимпилевич Ю. Б., Савочкин Д. А.
Кафедра радиотехники и телекоммуникаций
Севастопольский национальный технический университет
Севастополь, Украина
E-mail: sllord@mail.ru

Проведен экспериментальный анализ алгоритмов пространственной локализации объектов, применяемых в RFID-системах, в ходе которого рассмотрены зонный алгоритм, алгоритм kNN , искусственная нейронная сеть и алгоритм трилатерации. Выполнено сравнение этих алгоритмов по обеспечиваемой ими точности локализации и времени выполнения.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко используются системы пространственной локализации объектов на базе технологий радиочастотной идентификации (RFID). Такие системы состоят из блока обработки информации, ридера, включающего в себя набор антенн, и RFID-меток, которые устанавливаются на объектах локализации. Существуют различные алгоритмы пространственной локализации RFID-меток. Целесообразность применения этих алгоритмов часто оценивают по точности местоопределения, которую они способны обеспечить, не рассматривая, насколько высока скорость их выполнения. В настоящей работе анализируются четыре алгоритма, а также проводится их сравнение по точности локализации и времени выполнения.

I. АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ

Входными данными для алгоритмов пространственной локализации служит измерительная информация (ИИ), получаемая от RFID-меток. Для типовых RFID-систем можно выделить два вида ИИ: факты ответов меток конкретным антеннам ридера; уровни ответных сигналов меток (received signal strength, RSS). Рассматриваемый далее зонный алгоритм использует ИИ в виде фактов ответов меток антеннам, а алгоритм kNN (k nearest neighbors), искусственная нейронная сеть (ИНС) и алгоритм трилатерации основаны на использовании RSS ИИ.

Зонный алгоритм. Зонный алгоритм базируется на понятии зоны действия антенны ридера. Под зоной действия некоторой антенны понимается такая область зоны локализации, при расположении в которой меток, их ответные сигналы принимаются антенной, а при расположении вне этой области – нет. Зоны действия обычно аппроксимируют простыми фигурами одинаковых размеров. Оценка местоположения (\hat{x}, \hat{y}) RFID-метки в двумерном пространстве для зонного алгоритма определяется по следующей фор-

муле [1]:

$$(\hat{x}, \hat{y}) \in \bigcap_{i \in B} C_i \setminus \bigcup_{j \in A \setminus B} C_j,$$

где A – множество всех антенн ридера; B – подмножество антенн, принявших сигнал от метки; C_i, C_j – зоны действия i -й и j -й антенн, соответственно. Во время эксперимента зоны действия антенн аппроксимировались эллипсами с размерами $1,25 \text{ м} \times 0,8 \text{ м}$. Для уменьшения времени выполнения алгоритма предварительно рассчитывались соответствия между каждой реально возможной комбинацией антенн, получивших сигналы от метки, и результирующими координатами.

Алгоритм kNN . Суть алгоритма заключается в классификации входных векторов путем их сравнения с векторами из тренировочной выборки, классы которых известны заранее [2]. При этом входным вектором алгоритма является вектор ИИ RFID-метки, а в качестве классов выступают координаты в зоне локализации. В результате находится k векторов в наибольшей степени подобных входному вектору, а оценкой местоположения метки считается среднегеометрическое значение классов этих векторов. В ходе эксперимента применялся взвешенный алгоритм kNN при $k = 10$. Рассматривались три варианта задания функции близости векторов: по максимуму косинусного подобия (maximum cosine similarity, MCS); по максимуму правдоподобия с использованием гауссовских ядерных функций (maximum likelihood, ML); по минимуму суммы квадратов ошибок (least squares, LS).

Искусственная нейронная сеть. Для решения задачи пространственной локализации применяются различные по структуре ИНС. Чаще всего используются многослойные перцептроны с одним внутренним слоем [3]. При этом число входных нейронов пропорционально числу антенн в системе, а число выходных нейронов соответствует размерности пространства локализации. В ходе эксперимента исследовались следующие варианты структуры ИНС: 16-8-2; 16-16-2; 16-32-2. Здесь через дефис указаны коли-

чества нейронов во входном, внутреннем и выходном слоях сети.

Алгоритм трилатерации. Алгоритм трилатерации предполагает пересчет вектора ИИ RFID-метки в вектор расстояний от метки до соответствующих антенн. При этом оценкой местоположения считается точка пересечения окружностей, центры которых располагаются в точках размещения антенн, а радиусы определяются рассчитанными расстояниями [2]. Вследствие влияния шумов на процесс измерений для поиска точки пересечения окружностей необходимо использовать процедуру оптимизации. Во время эксперимента для этого применялся метод градиентного спуска и рассматривалось два вида целевой функции: ML; LS.

II. ЭКСПЕРИМЕНТ

Экспериментальные исследования проводились в помещении размером 5 м × 5 м × 2,6 м на базе изготовленной RFID-системы, состоящей из ридера Меркурибе компании ThingMagic, набора из 16 антенн, размещенных на потолке в 4 ряда по 4, а также компьютера для обработки ИИ. В качестве объектов локализации использовались картонные коробки высотой 0,4 м и 1,2 м, на которых размещались RFID-метки (144 штуки в 12 рядов по 12). ИИ, полученная при размещении меток на высоте 1,2 м использовалась в качестве тренировочной выборки для алгоритмов *kNN* и ИНС. В качестве тестовых выборок для всех алгоритмов применялась ИИ, полученная при размещении меток на высоте 0,4 м. Эксперимент проводился для различных уровней мощности запросных сигналов антенн: 20 дБм; 21 дБм; 22 дБм; 23 дБм. Соответствующий каждому уровню мощности массив ИИ обрабатывался алгоритмами отдельно. Вышеописанные алгоритмы были запрограммированы на языке Ruby, при этом для реализации ИНС использовалась библиотека FANN. Эксперимент проводился на компьютере с процессором Intel Core i5 1,8 ГГц и объемом ОЗУ 4 Гб. В ходе эксперимента для каждого алгоритма при каждом уровне мощности запросных сигналов было рассчитано среднее время локализации всех RFID-меток и сред-

няя ошибка локализации. Результаты сведены в таблицу 1.

III. ОБСУЖДЕНИЕ

Из таблицы 1 видно, что для зонного алгоритма и ИНС отмечено наименьшее время местопределения всех RFID-меток. Алгоритмы *kNN* и трилатерации показали результат хуже на два порядка, что, однако, ожидаемо, поскольку при их реализации решаются затратные по времени процедуры оптимизации. Наибольшую точность локализации обеспечили зонный алгоритм и алгоритм *kNN* (варианты ML и LS). Худший результат по точности показала ИНС со структурой 16-8-2, что говорит о недостаточности восьми нейронов для внутреннего слоя сети. Таким образом, зонный алгоритм показал наилучший общий результат. Однако важно отметить, что высокую точность местопределения зонный алгоритм может обеспечивать только при таком расположении антенн в зоне локализации, при котором имеется достаточное число пересечений их зон действия. Если антенны размещены так, что пересечений зон действия мало (или они отсутствуют), то точность зонного алгоритма может значительно уменьшаться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ четырех алгоритмов пространственной локализации объектов с помощью RFID-систем. Экспериментально установлено, что зонный алгоритм позволяет обеспечить наилучший общий результат по точности локализации и времени работы системы при сравнении с другими рассмотренными алгоритмами.

1. Валеев М. А. Городская система позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов на основе метода перекрывающихся зон : дис. ... канд. техн. наук : 05.12.04. – Казань, 2002. – 161 с.
2. Roxin A. Survey of wireless geolocation techniques / A. Roxin, J. Gaber, M. Wack, A. Nait-Sidi-Moh // Globecom Workshops, 2007 IEEE. – 2007. – P. 1-9.
3. Caceres M. WLAN-based real time vehicle locating system / M. Caceres, F. Sottile, M. A. Spirito // Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th. – 2009. – P. 2165-2169.

Таблица 1 – Результаты эксперимента по сравнению алгоритмов пространственной локализации

Алгоритм		Уровень мощности запросных сигналов антенн, дБм									
		20	21	22	23	среднее	20	21	22	23	среднее
		Время выполнения алгоритма локализации всех 144 RFID-меток, мс					Средняя ошибка локализации, см				
зонный		9,1	9,9	10,3	10,6	10,0	37,5	37,6	37,1	36,1	37,1
<i>kNN</i>	MCS	900	925	935	971	933	44,9	39,5	38,5	38,4	40,3
	ML	1170	1220	1250	1320	1240	38,6	36,6	34,5	34,7	36,1
	LS	1070	1130	1160	1240	1150	36,4	37,5	35,1	35,5	36,1
ИНС	16-8-2	9,5	9,2	9,4	9,3	9,4	50,5	66,4	44,5	63,8	56,3
	16-16-2	9,3	9,3	9,3	9,4	9,3	42,7	43,4	39,6	45,9	42,9
	16-32-2	9,5	9,4	9,4	9,4	9,4	42,5	44,6	39,1	41,3	41,9
трилатерация	ML	2460	3510	5410	6660	4510	33,4	36,7	46,3	57,1	43,4
	LS	1940	3270	5290	7220	4430	33,4	36,3	46,3	57,1	43,3