

УДК 621.396

В.Я. Воропаева (канд. техн. наук, доц.), В.И. Кабакчей
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра автоматизации и телекоммуникаций
E-mail: voropayeva@donntu.edu.ua, kabakchey@gmail.com

ВЫБОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА МЕТОК В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ RFID-РИДЕРА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Проведен сравнительный анализ антиколлизийных алгоритмов с целью достижения максимальной пропускной способности системы радиочастотной идентификации. Выбран метод, который позволяет увеличить среднюю пропускную способность RFID-системы и повысить точность оценки количества не идентифицированных меток. Результаты моделирования показывают, что данный алгоритм может также уменьшить общее количество слотов, используемых для идентификации меток, и увеличить скорость их идентификации.

Ключевые слова: RFID-метка, антиколлизийный алгоритм, считыватель, радиочастотная идентификация.

Общая постановка проблемы

В последние годы технология радиочастотной идентификации (Radio Frequency Identification – RFID) стала быстро развивающейся бесконтактной технологией автоматической идентификации. Типичная система RFID состоит из меток, считывателя (ридера), а также программного обеспечения для обработки данных [1]. У каждой метки есть свой уникальный идентификатор (UID), который фиксируется в ней на стадии производства [2]. Каждый UID будет передан считывателю автоматически, когда метка окажется в его рабочей зоне. После этого процесс коммуникации между меткой и ридером заканчивается. Тем не менее, во многих приложениях, например, на складах, в супермаркетах или платных автодорогах, большое количество меток может одновременно находиться в рабочей зоне считывателя. Когда две или более меток обращаются к ридеру одновременно, их сигналы интерферируют друг с другом и считыватель обнаруживает коллизию. Коллизия резко снижает эффективность идентификации системы RFID. Поэтому одной из важнейших задач для RFID-систем является максимизация скорости идентификации метки при сохранении низкой вычислительной сложности.

Для решения этой задачи используются различные алгоритмы, одним из которых является динамический алгоритм ALOHA (DFSA). Благодаря своей высокой пропускной способности в условиях большой нагрузки он широко применяется в системе RFID для уменьшения коллизий во время процесса коммуникации между метками и ридером [3]. Он регулирует размер параметра (число слотов, доступных для меток) динамически в соответствии с оценкой количества не идентифицированных меток, за счет чего достигается относительно высокая пропускная способность. Максимальная пропускная способность системы RFID может быть достигнута, когда число слотов, доступных для меток, равно числу не идентифицированных меток [4]. Таким образом, возникает задача точного определения количества меток, находящихся в рабочей зоне считывателя.

Решение задачи и результаты исследований

Предположим, что имеется n не идентифицированных меток и параметр содержит N слотов, и что каждая метка случайным образом выбирает слот параметра с вероятностью $1/N$. Вероятность того, что k меток одновременно передадут информацию в один слот:

$$P(k) = \binom{n}{k} \left(\frac{1}{N}\right)^k \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-k}. \quad (1)$$

Из выражения (1) вероятность того, что метки идентифицируются после одного цикла передачи параметра, может быть получена следующим образом:

$$N * P(1) = N \binom{n}{1} \left(\frac{1}{N}\right)^1 \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} = \binom{n}{1} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1}. \quad (2)$$

В целом, пропускная способность RFID-системы с N слотами и $n_{идент}$ идентифицированными метками определяется:

$$T(n, N) = \frac{n_{идент}}{N} = P(1) = \binom{n}{1} \left(\frac{1}{N}\right)^1 \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1}. \quad (3)$$

Максимальная пропускная способность достигается при $\partial T / \partial N = 0$. В соответствии с (2) и (3), это условие может быть выражено как:

$$n = \frac{1}{\ln \frac{N}{N-1}}. \quad (4)$$

На практике длина параметра всегда больше, чем 1. Поэтому когда $N \gg 1$, из (4) получаем $n \approx N$. Соответственно, максимальная пропускная способность может быть вычислена из формулы (3).

Методы оценивания количества меток, находящихся в рабочей зоне считывателя

Существующие методы оценивания количества меток, находящихся в рабочей зоне считывателя, базируются на различных алгоритмах.

Алгоритм Вогта. Вогт представил схему оценивания количества меток, минимизирующую ошибку между имеющимся числом пустых, однократно занятых, слотов, в которых произошла коллизия и их ожидаемым значением[5].

В уравнении оценивания (1) $a_0, a_1, a_{\geq 2}$ являются ожидаемым количеством пустых, успешных и слотов с коллизией в параметре, а значения E, S, C - количеством пустых, успешных и слотов с коллизией после очередного цикла чтения. Значение n , которое минимизирует расстояние между двумя векторами, будет оценкой количества не идентифицированных меток.

$$\varepsilon = \left\| \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_{\geq 2} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} E \\ S \\ C \end{pmatrix} \right\|_{\min}. \quad (5)$$

Алгоритм Шута. Предполагая, что пропускная способность достигнет максимума ожидаемое количество меток, содержащихся в каждом слоте с коллизией можно рассчитать по формуле (6). P_s и P_c - это вероятность успешной идентификации и коллизии в одном слоте соответственно. Количество меток оценивается как $S + 2,39C$ [6].

$$C_{меток} = \frac{1}{C_{rate}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - P_s}{P_c} = 2.3922. \quad (6)$$

Результаты моделирования

Моделирование проводилось с целью изучения эффективности исследуемых алгоритмов. Начальная длина кадра была установлена 70 слотов. Метки, в количестве от 10 до 100, 1000 раз были введены в зону опроса считывателя, а затем был выполнен алгоритм.

Пусть $N_{общ}$ - общее количество слотов для полной идентификации меток, тогда средняя пропускная способность RFID системы определяется по (7):

$$T_{cp} = \frac{n}{N_{общ}}. \quad (7)$$

Как видно из рисунка 1, когда количество меток ниже 50, средняя пропускная способность алгоритма Шута близка к пропускной способности алгоритма Вогта.

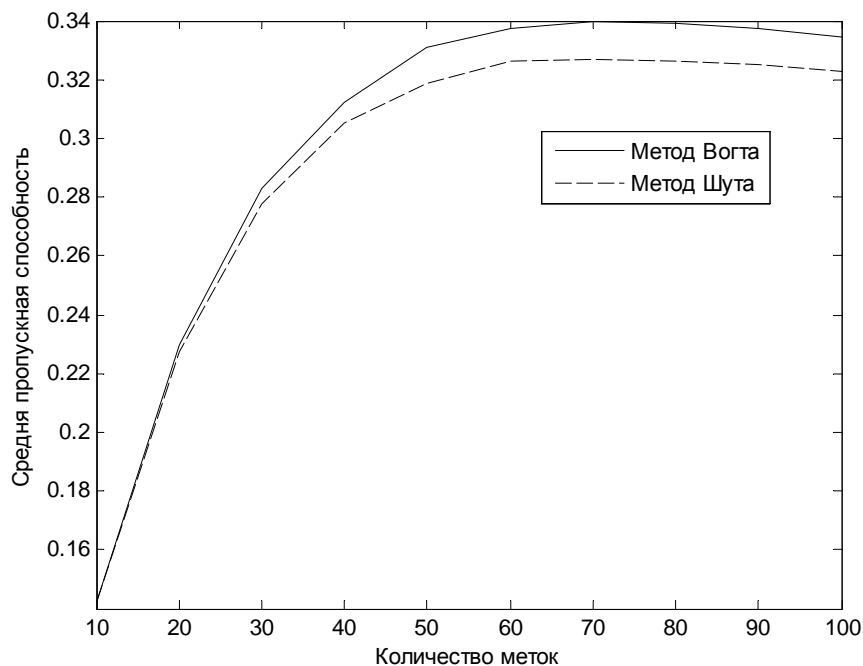


Рисунок 1 – Зависимость средней пропускной способности от количества меток

Но, когда количество меток превышает 50, алгоритм Вогта поддерживает среднюю пропускную способность около 34%. Когда количество меток равно начальной длине параметра 70, средняя пропускная способность алгоритма Вогта наиболее близка к теоретической максимальной пропускной способности динамического алгоритма АЛОНА.

Рисунок 2 показывает зависимость общего времени считывания от количества меток, находящихся в рабочей зоне считывателя.

Алгоритм Вогта идентифицирует все метки в рабочей зоне ридера быстрее, чем алгоритм Шута. На рисунке 3 и 4 показано время идентификации наборов меток при разных начальных значениях N для алгоритма Вогта и алгоритма Шута соответственно.

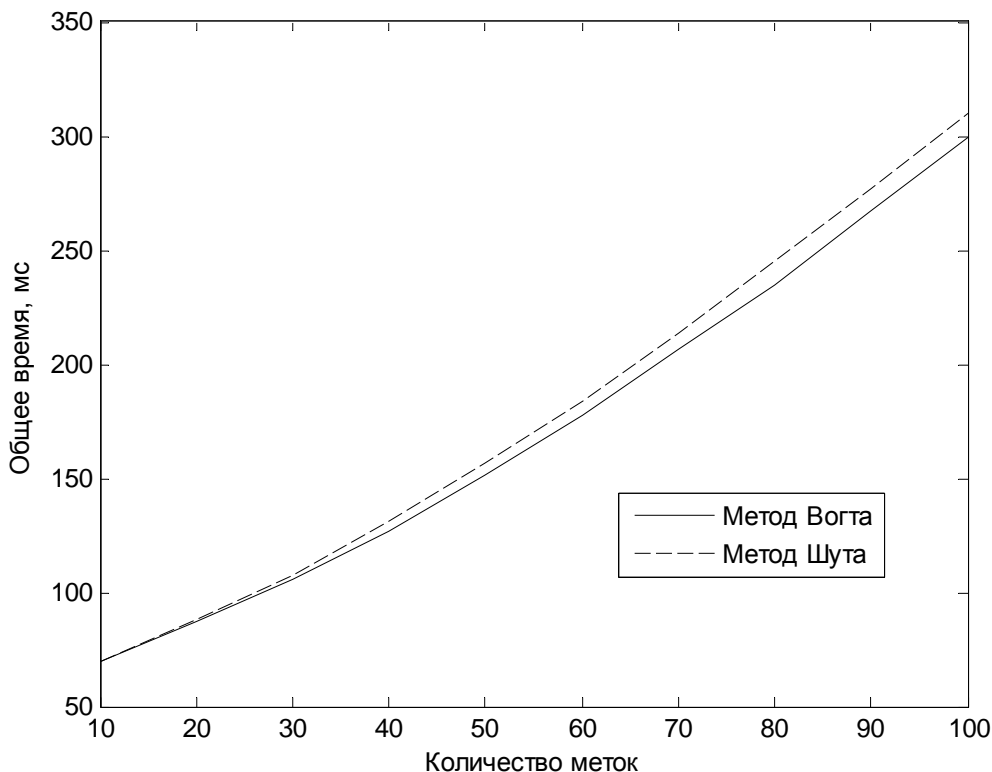


Рисунок 2 – Зависимость общего времени считывания от количества меток

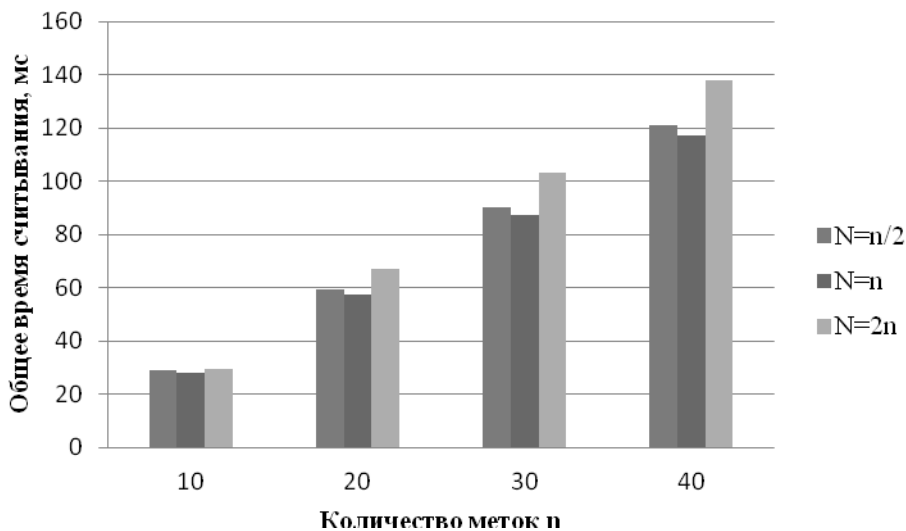


Рисунок 3 – Время идентификации наборов меток при разных начальных значениях N для алгоритма Вогта

Для обоих алгоритмов наименьшее время считывания характерно в ситуации, когда начальная длина параметра равна количеству меток, находящихся в рабочей зоне ридера, что соответствует теоретическим расчетам. Первоначальная длина параметра влияет на производительность алгоритма. Большая длина параметра увеличивает количество пустых слотов, в то время как небольшая длина параметра генерирует больше коллизий.

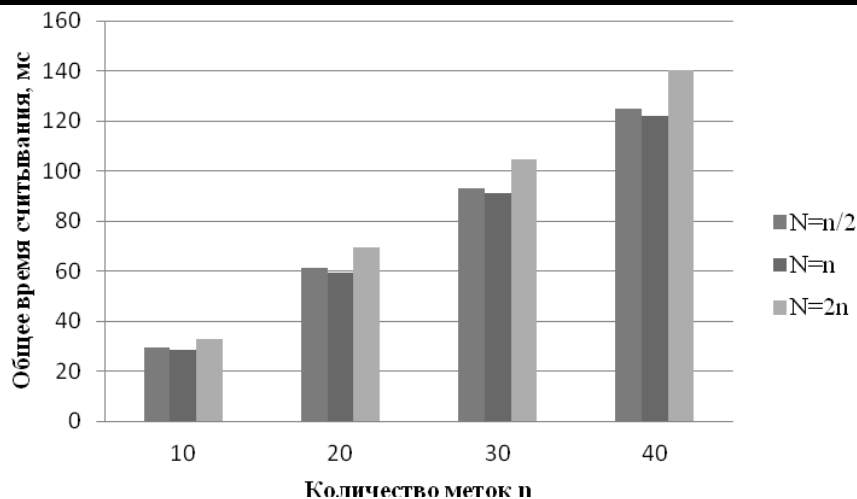


Рисунок 4 – Время идентификации наборов меток при разных начальных значениях N для алгоритма Шута

Выводы

Проведен сравнительный анализ алгоритмов разрешения коллизий с целью достижения максимальной пропускной способности RFID-системы. В результате исследований предложено усовершенствование динамического алгоритма Slotted-ALOHA с использованием метода Вогта, что позволяет увеличить среднюю пропускную способность системы радиочастотной идентификации и повысить точность оценки количества не идентифицированных меток. Результаты анализа показывают, что этот алгоритм может также уменьшить общее время идентификации меток.

Полученные результаты могут быть использованы для реализации RFID-систем в таких сферах: платежные системы, системы сортировки, контроля технических процессов, складские системы, а также библиотечные системы.

Список использованной литературы

1. Воропаева В.Я., Клочко А.Ю. Проблема выбора системы автоматизации библиотечной деятельности для библиотечно-информационного центра ДонНТУ / В.Я. Воропаева, А.Ю. Клочко // Система обслуговування користувачів у вузівській бібліотеці: матеріали Всеукраїнської наукової ювілейної конференції, 1-3 жовт. 2009 р., Дніпропетровськ. - Дніпропетровськ, НГУ, 2009. - С. 50-53
2. Ткаченко, Н.О. Комунаційно-технологічна інфраструктура бібліотечно-інформаційного центру ДонНТУ / Н.О.Ткаченко, В.Я.Воропаєва // Міжнародна науково-практична конференція "Бібліотека ВНЗ на новому етапі розвитку соціальних комунацій" ДНУЗТ, 22-23.04.2010. С.97
3. ISO/IEC FCD 14443-3 Identification cards — Contactless integrated circuit(s) cards - Proximity cards — Part 3: Initialization and anticollision
4. B. Zhen, M. Kobayashi (Eds.), Framed ALOHA for multiple RFID objects identification, IEICE T. Commun. 88 (3) (2005), 991–999.
5. H. Vogt, Efficient object identification with passive RFID tags, Proc. IEEE Int. Conf. Pervasive Computing (2002) 98–113.
6. J. Cha, J. Kim, Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system, Proc. 11th Int. Conf. Parallel Distributed Syst. (2005) 63–67.
7. Q. Tonga, Q. Zhangb, R. Mina, X. Zoua Bayesian estimation in dynamic framed slotted ALOHA algorithm for RFID system, Comput. Math. Appl. 64 (2012) 1179–1192.

8. W.T. Chen, An accurate tag estimate method for improving the performance of an RFID anti-collision algorithm based on dynamic frame length ALOHA, *IEEE T. Automat. Sci. Eng.* 6 (1) (2009) 9–15.
- X. Yang, Y. Mei, D. She, J. Li, Chaotic Bayesian optimal prediction method and its application in hydrological time series, *Comput. Math. Appl.* 61 (8) (2011) 1975–1978.
9. L.J. Yan, N. Cercone, Bayesian network modeling for evolutionary genetic structures, *Comput. Math. Appl.* 59 (8) (2010) 2541–2551.

References

1. Voropaeva, V.Y. and Klochko, A.U. (2009), “The problem of the choice of automation of library activities for Library and Information Center DonNTU”, *Sistema obslugovuvannya koristuvachiv u vuzivskiy bibliotetsi* [The user service system at the University Library], *Vseukrayinska naukova yuvileyna konferentsiya* [All Ukrainian scientific Anniversary Conference], Dnipropetrovsk, Ukraine, 1-3 October 2009, pp. 50-53.
2. Voropaeva, V.Y. and Tkachenko, N.O. (2010), “Communication technology infrastructure of Library and Information Center DonNTU”, *Mizhnarodna naukovopraktichna konferentsiya "Biblioteka VNZ na novomu etapi rozvitku sotsialnih komunikatsiy"* [International Scientific Conference "Universities Library in a new stage of social communications"], Dnipropetrovsk, Ukraine, 22-23 April, pp. 97.
3. ISO/IEC (2010) *14443-3: Identification cards — Contactless integrated circuit(s) cards - Proximity cards — Part 3: Initialization and anticollision*, APACS, London, England.
4. Zhen, B. and Kobayashi, M. (2005), “Framed ALOHA for multiple RFID objects identification”, *IEICE T. Commun.*, vol. 88, no. 3, pp. 991–999.
5. Vogt, H. (2002), “Efficient object identification with passive RFID tags”, *Int. Conf. Pervasive Computing*, Budapest, Hungary, 24-28 Mar 2002, pp. 98–113.
6. Cha, J. and Kim, J. (2005), “Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system”, *11th Int. Conf. Parallel Distributed Syst.*, Las Vegas, Nevada, USA, 12-14 September 2005, pp. 63–67.
7. Tonga, Q., Zhangb, Q., Mina, R. and Zoua, X. (2012), “Bayesian estimation in dynamic framed slotted ALOHA algorithm for RFID system”, *Comput. Math. Appl.*, vol. 64, pp. 1179–1192.
8. Chen, W.T. (2009), “An accurate tag estimate method for improving the performance of an RFID anti-collision algorithm based on dynamic frame length ALOHA”, *IEEE T. Automat. Sci. Eng.*, vol.6, no. 1, pp. 9–15.
9. Yang, X., Mei, Y., She, D. and Li, J. (2011), “Chaotic Bayesian optimal prediction method and its application in hydrological time series”, *Comput. Math. Appl.*, vol. 61, no. 8, pp. 1975–1978.
10. Yan, L.J. and Cercone N. (2010), “Bayesian network modeling for evolutionary genetic structures”, *Comput. Math. Appl.*, vol. 59, no. 8, pp. 2541–2551.

Надійшла до редакції:
28.04.2014 р.

Рецензент:
докт. техн. наук, проф. Зорі А.А.

В. Я. Воропаєва, В. І. Кабакчей

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Вибір методів оцінки кількості міток в робочій зоні RFID-рідера для досягнення максимальної пропускної здатності. Виконано порівняльний аналіз антиколізійних алгоритмів з метою досягнення максимальної пропускної здатності системи радіочастотної ідентифікації. Обрано метод, який дозволяє збільшити середню пропускну здатність RFID-системи. У порівнянні з існуючими алгоритмами, цей алгоритм може оцінити кількість не ідентифікованих міток більши

точно. Результати аналізу показують, що даний алгоритм може також зменшити загальну кількість слотів, які використовуються для ідентифікації міток і збільшити швидкість їх ідентифікації.

Ключові слова: мітка, антиколізійний алгоритм, зчитувач, радіочастотна ідентифікація.

V.Y. Voropaeva, V.I. Kabakchey

Donetsk National Technical University

Choice of methods estimating the number of tags in the operational range of the reader to maximize the throughput. A typical RFID system consists of tags, a reader as well as data processing parts. Each tag has its own ID called unique ID (UID) which is fixed at the manufacturing stage. Each UID will be transmitted to the reader by itself when the tag is in the operational range of the reader. If the tag is identified successfully, the reader will send commands to this specific tag. After this, the communication process between tags and reader finishes. However, under many application conditions, such as in a warehouse, a supermarket or at a motorway tollbooth, there could be a large number of tags within the operational range of reader at the same time. When two or more tags communicate with the reader simultaneously, signals will interfere with each other and the reader will detect a collision. The collision will reduce the identification efficiency of the RFID system dramatically. One of the critical challenges for RFID systems is maximizing the tag identification speed while maintaining low computational complexity. Due to its high throughput under high load conditions DFSA was widely applied in RFID system to reduce the collisions during the communication process between the tags and reader. It adjusts the frame length dynamically according to the estimation of the backlog, and it obtained a relatively high throughput under heavy load conditions. Thus, there is a problem of exact definition of number of tags in the operational range of the reader. The maximum throughput of the RFID system can be reached when the number of slots in a frame equals the number of unidentified tags. The comparative analysis of anti-collision algorithms to achieve maximum throughput of radio frequency identification system is carried out. Selected a method that allows to increase the average throughput of RFID system. Compared with existing algorithms, this algorithm can estimate the number of unidentified tags more precisely. Analysis results show that this algorithm can also reduce the total slots used to identify tags and increase the tag identification speed.

Keywords: tag, anti-collision algorithm, reader, radio frequency identification.



Кабакчей Виктория Ивановна, Украина, Донецкий национальный технический университет, магистр кафедры автоматизации и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – исследование характеристик RFID-систем.



Воропаєва Вікторія Яківна, Україна, закінчила Донецький національний технічний університет, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри автоматизації та телекомунікацій ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (вул. Артема, 58, м. Донецк, 83001, Україна). Основний напрям наукової діяльності – сучасна теорія телетрафіку, оптимізація телекомунікаційних та інформаційно-комунікаційних систем та мереж.