

ПРОЦЕДУРА РАЗРЕШЕНИЯ КОЛЛИЗИЙ В RFID-СИСТЕМЕ

Т. М. ТАТАРНИКОВА, М. А. ЕЛИЗАРОВ

*Санкт-Петербургский государственный экономический университет,
191023, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: tm-tatarn@yandex.ru*

Предложена математическая модель идентификации RFID-меток при воздействии коллизий в дискретном времени со случайной задержкой активации меток. Модель позволяет оценить количество меток в зоне действия считывателя при ограниченном времени идентификации. Предложена имитационная модель антиколлизийного протокола, позволяющая рекомендовать значения диапазона случайных задержек активации меток и оценить продолжительность считывания одной метки. Результаты эксперимента на модели показали преимущество предложенного метода.

Ключевые слова: радиочастотная идентификация, RFID-метка, мультидо-ступ, коллизия, математическая модель разрешения коллизий, антиколлизийный протокол, время идентификации RFID-метки

Организация учета, контроля и управления, основанная на электронной идентификации, находит все большее применение в различных сферах человеческой деятельности. Объектом идентификации при этом может быть человек, животное, транспортное средство, контейнер с грузом, изделие в процессе производства. Среди способов, реализующих этот процесс, распространение получила радиочастотная идентификация благодаря своей высокой степени защиты от взлома [1, 2].

Радиочастотная идентификация (RFID, Radio Frequency IDentification) — метод автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся на специальных носителях — RFID-метках.

Общая схема RFID-системы (рис. 1) состоит из трех базовых компонентов [3]:

- считывающего устройства (приемопередатчик);
- антенны;
- RFID-меток.

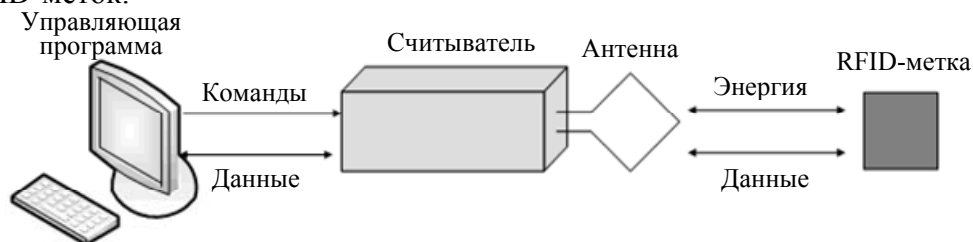


Рис. 1

Считывающее устройство (от простого переносного сканера до стационарного устройства) активирует метку, после чего возможна передача с нее информации.

Антенна излучает электромагнитные волны, активизирующие RFID-метку, что и позволяет производить запись и считывание данных с этой метки. Антенна является своеобразным каналом между меткой и считывателем. Она встраивается, например, в специальные сканеры, ворота, турникеты, дверные проемы и т.п. для получения сигнала от объектов, находящихся в зоне действия антенны. Антенны также различаются по размерам и форме. Конструктивно антенна и приемопередатчик могут находиться в одном корпусе. Сигнал, поступающий с ан-

тенны, демодулируется, расшифровывается и передается через стандартный интерфейс в компьютер для дальнейшей обработки [4].

Физической базой RFID-метки является микрочип, испускающий радиочастотные волны, попадающие на считывающее устройство, поэтому без знания сложных кодов и отсутствия специального оборудования взломать RFID-метку проблематично [5]. Метка может содержать данные о типе объекта, стоимости, весе, температуре, данные логистики и вообще любую информацию, которая может храниться в цифровой форме [6]. Подделать метку практически невозможно.

Функционирование RFID-системы (рис. 2) происходит в режиме мультимедиа [7]. В таком случае возможна одновременная передача данных сразу от нескольких меток, что приводит к одновременному появлению модулированных сигналов на входе считывателя и как следствие — их взаимному искажению [8, 9]. Это явление называется коллизией, возникновение которой не позволяет получить достоверную информацию. С ростом количества меток в поле считывателя вероятность появления коллизии возрастает. Управляющая программа RFID-системы должна включать процедуру, распознающую и устраняющую коллизии.

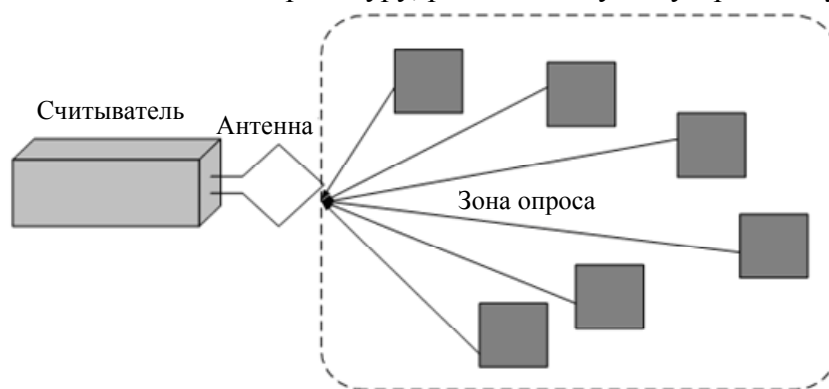


Рис. 2

Статья посвящена моделированию антиколлизийной процедуры идентификации меток, реализованной во временной области.

Средствами имитационного моделирования оценим время, необходимое для идентификации меток, находящихся в поле считывателя.

Суть реализованной в имитационной модели антиколлизийной процедуры сводится к следующему. На первом этапе идентифицируются номера RFID-меток, получаемые генератором случайных положительных целых чисел (ГЦЧ) из диапазона $[0, n]$, левый и правый пределы которого $RND[L, R]$ определяются на этапе проектирования RFID-системы [10, 11]. Далее для каждой метки определяется время начала „ответа“ считывателю. Первой „услышанной“ считывателем метке выделяется канал связи для передачи идентификатора и, если необходимо, других данных. Для остальных меток определяется новое время активации относительно предыдущей активированной метки [12].

После активации метки со случайной задержкой dT начинают передавать свой идентификационный номер (ID). Значение dT определяется как [13]:

$$dT=rT, \quad (1)$$

где T — период дискретизации непрерывного времени; r — случайное число, $r \in RND$.

Считыватель „слышит“ ту метку, для которой $\min_{dT} [dT_{i=1,n}]$, пусть ID этой метки равен k .

Для меток, которые не были идентифицированы считывателем, новое время начала активации определяется по формуле:

$$t_{na} = t_{pa} + T_{ID} + dT, \quad (2)$$

где t_{pa} — время начала активации предыдущей k -й метки; T_{ID} — продолжительность передачи идентификационного номера k -й меткой.

В дискретном времени выражение (2) преобразуется к следующему виду:

$$j_{na}T = j_{pa}T + r_{ID}T + rT, \quad (3)$$

где j_{na} — точка отсчета последующей активации метки; j_{pa} — точка начала активации предыдущей k -й метки; r_{ID} — число точек отсчета времени, необходимых для передачи идентификационного номера k -й меткой.

Если учесть, что T — постоянная величина, выражение (3) можно представить в виде

$$j_{na} = j_{pa} + r_{ID} + r, \quad (4)$$

Выражение (4) является основой для разработки имитационной модели антиколлизионной процедуры [14—16].

Поясним вышесказанное на примере идентификации четырех меток. Зададим распределение меток в рассматриваемой итерации как двумерную матрицу $\|p_{ij}\|_{n \times m}$, где n — число меток, находящихся в поле считывателя, m — число дискретных отсчетов времени. После активации для каждой метки задаются идентификационный номер $ID_i, i = \overline{1, n}$, и задержки начала активации $dT, i = \overline{1, n}$, относительно окончания передачи данных предыдущей „услышанной“ меткой. В рассматриваемом примере dT задается ГЦЧ в виде значения случайного числа $r \in \text{RND}[1, 8]$.

Ниже приведен пример матрицы задержек активации четырех меток, полученной на первой итерации имитационной модели. Наличие „1“ в первой строке матрицы $\|p_{ij}\|$ означает, что для метки с $ID=0$ задержка начала активации $dT=3$, наличие „1“ во второй строке означает, что для метки с $ID=1$ задержка начала активации $dT=1$:

$$P_{ij} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

На рис. 3, а приведена временная диаграмма первой итерации антиколлизионной процедуры. Далее происходит поиск метки с минимальным запаздыванием активации. Такой меткой в рассматриваемом примере является метка с $ID=1$. Необходимо проверить, не возникло ли совмещение меток по времени (коллизии), с помощью реализованной в модели функции. При обнаружении коллизии наложившимся меткам определяются новые точки отсчета при последующей активации в соответствии с выражением (4). Если коллизия отсутствует, управление передается функции считывания ID метки. Разрешение на считывание метки определяется следующими условиями:

— $(j_{na_k} - j_{pa_k}) > r, k = \overline{1, n}$, — метка с $ID=k$ „услышана“ считывателем;

— $(j_{na_k} - j_{pa_k}) \leq r, k = \overline{1, n}$, — метка с $ID=k$ „не услышана“ считывателем и ей определяется новое значение j_{na} .

В рассматриваемом примере метка с $ID=1$ будет „услышана“ считывателем. Поэтому для нее $j_{pa_1} = 0$. На рис. 3 „услышанная“ метка выделена черным.

Меткам с номерами 0, 2 и 3, присваиваются новые значения j_{na} . Выпали следующие значения случайных чисел r : 1, 7 и 5, соответственно, поэтому

$$j_{na_0} = 3 + 10 + 1 = 14;$$

$$j_{na_2} = 5 + 10 + 7 = 22;$$

$$j_{na_3} = 8 + 10 + 5 = 23.$$

Новые значения точек активации меток с идентификаторами 0, 2 и 3 отмечены на рис. 3, *a* черточками, с них и начнется отсчет продолжительности активации на второй итерации процедуры (рис. 3, *б*).

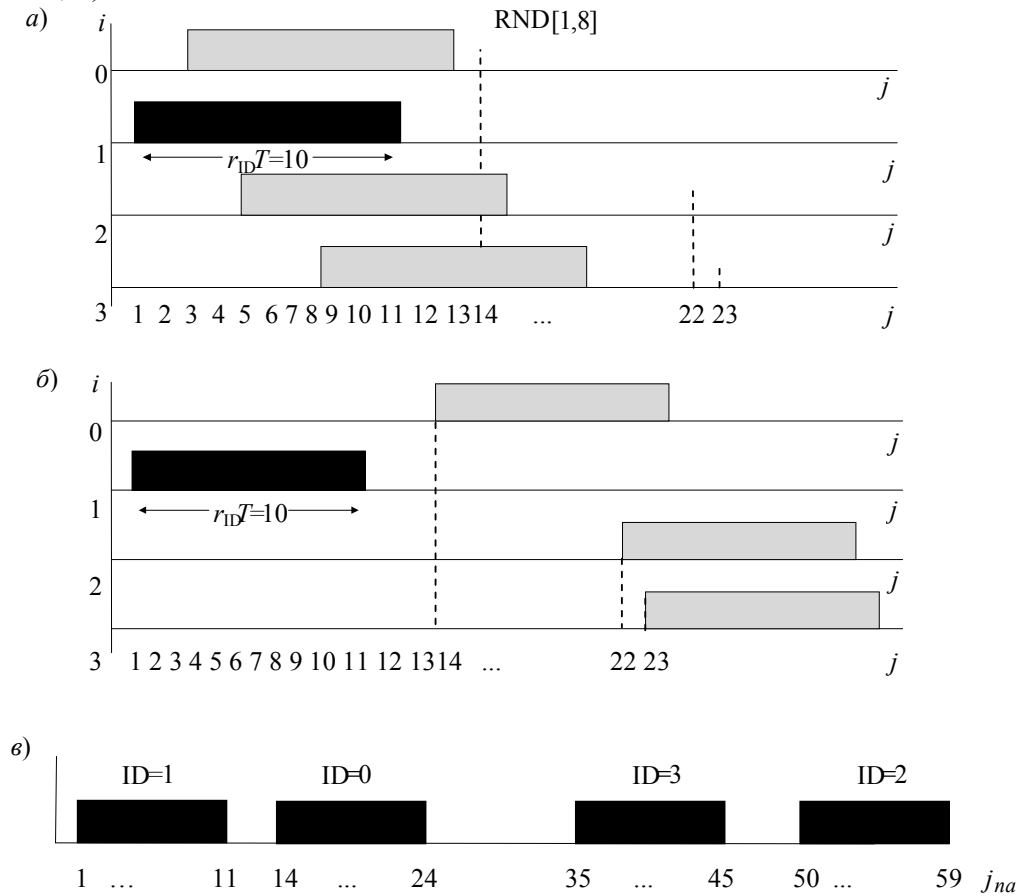


Рис. 3

Теперь первой считыватель „услышит“ метку с ID=0 и будет „слышать“ только ее, пока она не закончит передавать свой ID. Метки с номерами 2 и 3 для считывателя пока не существуют, поскольку они начали передавать свои ID в момент передачи идентификатора нулевой метки.

Метки с номерами 2 и 3 после окончания передачи в эфир своих номеров снова генерируют случайные временные задержки повторной активации. Метке с ID=2 присвоено значение $dT=4$. Метке с ID=3 — 2: $j_{na_2}=22+10+4=36$; $j_{na_3}=23+10+2=35$.

Для метки с ID=3 коллизия разрешена, а метка с ID=2 устанавливает новое время активации, в данном примере $j_{na_2}=50$. Поскольку осталась не идентифицированной одна метка, то для нее коллизий не существует. Метка отправляет считывателю свой номер в течение времени $r_{ID}T$, начиная с $j_{na_2}=50$.

На рис. 3, *в* показаны моменты идентификации всех четырех меток.

Поскольку процесс антиколлизийной идентификации меток является стохастическим, для определения времени его выполнения необходимо прибегнуть к статистическому методу имитационного моделирования [13]. Такая модель реализована на объектно-ориентированном языке C++. Модель содержит средства накопления и обработки полученных в результате моделирования статистических данных о времени идентификации меток t_{ID} в зависимости от количества меток n и значений пределов случайных задержек активации меток $RND[L, R]$. Например, в рассмотренном варианте однократного моделирования процесса антиколлизийной идентификации меток потребовалось 50 точек отсчета времени.

После каждого однократного моделирования процесса накапливаются статистические данные по отсчетам времени начала идентификации меток. Гистограмма, построенная после проведения 1000 экспериментов ($N=1000$), для рассмотренного выше примера приведена на рис. 4 (f — число случаев идентификации меток в точках отсчета времени, приведенное к общему количеству экспериментов).

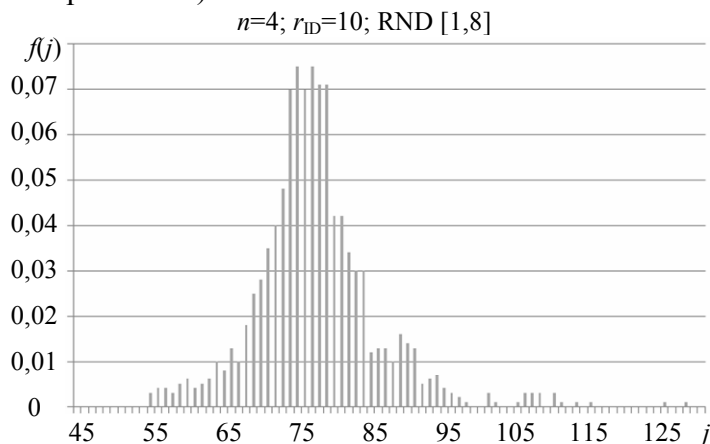


Рис. 4

Вычисление математического ожидания $M(j)$, случайной величины j , дисперсии $D(j)$ и стандартного отклонения σ позволяет определить число точек отсчета времени j_{ID} , необходимых для идентификации меток с заданной вероятностью $p(0 \leq j \leq j_{ID})=0,999$ [10]:

$$M(j) = \sum_{j=0}^{j_{ID}} (j - M(j))^2 f(j), \tag{5}$$

$$D(j) = \sum_{j=0}^{j_{ID}} (j - D(j))^2 f(j), \tag{6}$$

$$\sigma = \sqrt{D(j)}. \tag{7}$$

Для определения точек отсчета времени j_{ID} , необходимых для идентификации меток, воспользуемся следующим выражением:

$$j_{ID} = M(j) + 6\sigma. \tag{8}$$

Время идентификации меток определим как $t_{ID} = j_{ID}T$.

Была выполнена сравнительная оценка средних значений (\bar{t}_{ID}) и с вероятностью $p(0 \leq j \leq j_{ID})=0,999$ времени идентификации меток для заданного их числа и различных значений r_{ID} и минимальных значений j_{ID} по $RND[L, R]$. Результаты сравнительной оценки для восьми меток приведены в табл. 1 (длительность передачи ID метки — 1 мс).

Таблица 1

Значения t_{ID} для меток при изменении $r_{ID}, j_{ID}, RND[L, R]$						
r_{ID}	RND [L, R]	$M(j)$	j_{ID}	$T, \text{мс}$	$t_{ID}, \text{мс}$	
					\bar{t}_{ID}	$p(0 \leq j \leq j_{ID})=0,999$
2	[1,4]	41	83	0,5	20,5	41,5
4	[1,6]	62	110	0,25	15,5	27,5
8	[1,6]	110	164	0,125	13,75	20,5
16	[1,8]	197	257	0,062	12,315	16,062
32	[1,8]	349	449	0,031	10,844	14,031
64	[1,14]	669	819	0,016	10,453	12,797
128	[1,22]	1291	1540	0,008	10,086	11,867
256	[1,26]	2475	2883	0,004	9,668	11,262

Уменьшение времени идентификации меток с ростом r_{ID} объясняется увеличением точности его вычисления, поскольку период квантования непрерывного времени T с ростом r_{ID} уменьшается и, следовательно, „вес“ точки отсчета в суммарном подсчете точек отсчета уменьшается [17, 18]. С другой стороны, с увеличением r_{ID} время моделирования резко возрастает. Поэтому для выбора числа точек отсчета, необходимых для считывания ID метки, целесообразно воспользоваться следующей процедурой:

— определить среднее время идентификации меток с вероятностью $p(0 \leq j \leq j_{ID}) = 0,999$, в данном эксперименте оно равно 19,453;

— найти в последней колонке табл. 1 число, ближайшее к 19,453: таким числом является 20,5;

— в качестве r_{ID} принять значение, которое находится на пересечении строки с числом 20,5 и столбца r_{ID} , в данном случае — $r_{ID} = 8$, $RND = [1, 6]$.

На рис. 5 представлены зависимости времени идентификации меток от числа меток, находящихся в поле считывателя. Время идентификации получено с вероятностью 0,999.

$r_{ID}=8$; $RND [1,6]$

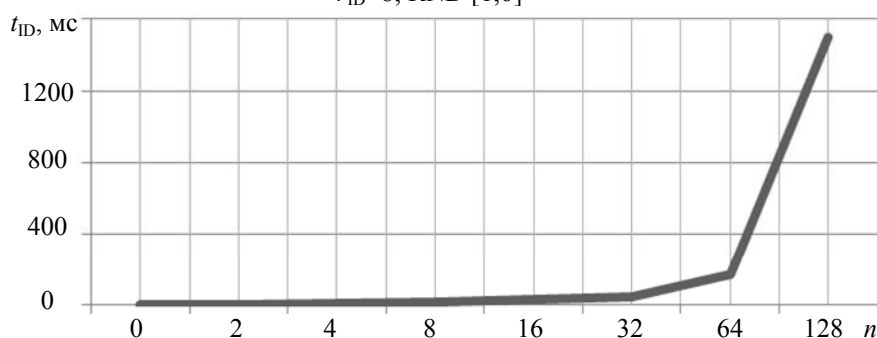


Рис. 5

В табл. 2 приведены выборочные данные времени, необходимого для считывания 10, 50, 100 и 500 меток, находящихся в поле считывателя. Результаты получены с помощью детерминистических алгоритмов: QT.ds (пост) — при последовательном распределении номеров меток; QT.ds (случ) — при случайном распределении номеров меток.

Таблица 2

Сравнительные характеристики времени идентификации

Число меток в поле считывателя	t_{ID} , мс		
	QT.ds (пост)	QT.ds (случ)	Предложенная модель
10	21,8	117	21
50	70	656	120
100	130	1210	500
500	922	7320	4000

Предложена имитационная модель антиколлизийного процесса идентификации RFID-меток во временной области со случайной задержкой активации меток [10].

Имитационная модель антиколлизийного процесса идентификации RFID-меток инвариантна к числу меток, находящихся в зоне действия считывателя, продолжительности считывания одной метки и диапазону генератора случайных положительных целых меток.

По полученным с помощью модели статистическим данным автоматически с вероятностью 99 % определяется среднее время идентификации меток.

Анализ времени идентификации меток с помощью предложенного метода показал некоторое его преимущество по сравнению с традиционно применяемыми алгоритмами при количестве меток менее ста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимцев И. А., Колбанев М. О., Коришунов И. Л., Левкин И. М., Микадзе С. Ю. О технологических основаниях новой доктрины информационной безопасности Российской Федерации. Новые горизонты глобального мира. СПб: Балт. гос. техн. ун-т, 2015. С. 270—281.
2. Татарникова Т. М., Яготинцева Н. В. Задача синтеза системы защиты корпоративной информации: постановка и этапы решения // Сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. „Наука и образование в XXI веке“. 2013. С. 135—136.
3. Куюн А. В. Технология радиочастотной идентификации в интеллектуальных зданиях // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2008. Т. 4, № 3. С. 62—64.
4. Головкин Ю. Б., Гусаренко А. С. Smart-объекты в ситуационно-ориентированных базах данных // Региональная информатика и информационная безопасность: Сб. тр. СПб общества информатики, вычислительной техники, систем связи и управления. 2015. С. 176—178.
5. Финкенцеллер К. Справочник по RFID. Теоретические основы и практическое применение индуктивных радиоустройств, транспондеров и бесконтактных чип-карт. М.: Додэка-XXI, 2008.
6. Колбанёв М. О., Пойманова Е. Д., Татарникова Т. М. Физические ресурсы информационного процесса сохранения данных // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 9. С. 38—42.
7. Воробьёв А. И., Татарникова Т. М. Применение генетического алгоритма для решения задачи обеспечения отказоустойчивости вычислительного кластера // Межвуз. сб. науч. тр. „Управление, экономика, транспорт, право“. 2011. № 1(9). С. 3—9.
8. Богатырев В. А., Богатырев А. В., Богатырев С. В. Оценка надежности выполнения кластерами запросов реального времени // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 4. С. 46—48.
9. Колбанёв М. О., Татарникова Т. М., Воробьёв А. И. Модель обработки клиентских запросов // Телекоммуникации. 2013. № 9. С. 42—48.
10. Кутузов О. И., Татарникова Т. М. Моделирование систем и сетей телекоммуникаций. СПб: РГГМУ, 2012.
11. Кутузов О. И., Сергеев В. Г., Татарникова Т. М. Коммутаторы в корпоративных сетях. Моделирование и расчет. СПб: Судостроение, 2003.
12. Tatarnikova T., Kolbanev M. Statement of a task corporate information networks interface centers structural synthesis // IEEE EUROCON-2009. St. Petersburg, 2009. P. 1883—1887.
13. Кутузов О. И., Татарникова Т. М. Инфокоммуникационные сети. Моделирование и оценка вероятностно-временных характеристик. СПб: ГУАП, 2015.
14. Советов Б. Я., Колбанёв М. О., Татарникова Т. М. Оценка вероятности эрланговского старения информации // Информационно-управляющие системы. 2013. № 6. С. 25—28.
15. Богатырев В. А., Богатырев А. В. Оптимизация резервированного распределения запросов в кластерных системах реального времени // Информационные технологии. 2015. Т. 21, № 7. С. 495—502.
16. Богатырев В. А., Богатырев А. В., Богатырев С. В. Перераспределение запросов между вычислительными кластерами при их деградации // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 9. С. 54—58.
17. Колбанёв М. О., Татарникова Т. М. Физические ресурсы информационных процессов и технологий // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2014. Т. 14, № 6. С. 113—122.
18. Колбанев М. О., Татарникова Т. М. Физические ресурсы информационных технологий // Сб. матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. „Инновационные технологии в сервисе“ / Под ред. А. Е. Карлика. СПб, 2015. С. 308—310.

Сведения об авторах**Татьяна Михайловна Татарникова**

— д-р техн. наук, профессор; СПбГЭУ, кафедра информационных систем и технологий; E-mail: tm-tatarn@yandex.ru

Максим Андреевич Елизаров

— аспирант; СПбГЭУ, кафедра информационных систем и технологий; E-mail: elizarovmaks@gmail.com

Рекомендована кафедрой
информационных систем и технологий
СПбГЭУПоступила в редакцию
29.06.16 г.

Ссылка для цитирования: Татарникова Т. М., Елизаров М. А. Процедура разрешения коллизий в RFID-системе // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 2. С. 150—157.

A PROCEDURE FOR CONFLICT RESOLUTION IN RFID-SYSTEM

T. M. Tatarnikova, M. A. Elizarov

St. Petersburg State University of Economics, 191023, St. Petersburg, Russia
E-mail: tm-tatarn@yandex.ru

A mathematical model of anti-collision process of RFID-tags in discrete time with a random delay of activation markers is proposed. The model allows to estimate the number of tags in range of reader at the time limit of identification. Based on the proposed simulation model of anti-collision Protocol, the range of the random delay values for activation of the labels may be recommend, and importance of the duration of single label reading may be estimated. Results of the model experiments demonstrate advantages of the proposed procedure.

Keywords: radio-frequency Identification, RFID-label, multi-access, collision, mathematical model of resolution of conflicts, anti-collision protocol, time of RFID-tags identification

Data on authors

- Tatiana M. Tatarnikova** — Dr. Sci., Professor; St. Petersburg State University of Economics, Department of Information Systems and Technologies;
E-mail: tm-tatarn@yandex.ru
- Maksim A. Elizarov** — Post-Graduate Student; St. Petersburg State University of Economics, Department of Information Systems and Technologies;
E-mail: elizarovmaks@gmail.com

For citation: *Tatarnikova T. M., Elizarov M. A. A procedure for conflict resolution in RFID-system // Journal of Instrument Engineering. 2017. Vol. 60, N 2. P. 150—157 (in Russian).*

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-2-150-157