

**XIII Международная отраслевая  
научно-техническая конференция**

**«ТЕХНОЛОГИИ  
ИНФОРМАЦИОННОГО  
ОБЩЕСТВА»**

**Сборник трудов**

**Том 1**

**Москва  
2019**

**Технологии информационного общества.** Сборник трудов XIII Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». (20-21 марта 2019 г. Москва, МТУСИ). В 2-х томах. Том 1. М.: ИД Медиа Паблишер, 2019. 480 с.

*Материалы даны в авторской редакции.*

© МТУСИ, 2019

## РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ RFID-СИСТЕМЫ ДЛЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Елизаров Андрей Альбертович,**

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", профессор, д.т.н., Москва, Россия,  
[a.yelizarov@hse.ru](mailto:a.yelizarov@hse.ru)

**Лаврухин Илья Романович,**

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", студент, Москва, Россия,  
[ilavrukhin@edu.hse.ru](mailto:ilavrukhin@edu.hse.ru)

**Башкевич Степан Владимирович,**

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", студент, Москва, Россия,  
[stepanhead@gmail.com](mailto:stepanhead@gmail.com)

**Ларионов Андрей Алексеевич,**

Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, научный сотрудник, Москва, Россия,  
[alariонов@ipu.ru](mailto:alariонов@ipu.ru)

**Каравашкина Валентина Николаевна,**

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", доцент, кандидат технических наук,  
Москва, Россия,  
[box2807@mail.ru](mailto:box2807@mail.ru)

### Аннотация

Работа направлена на двухэтапную разработку интеллектуальной RFID-системы для логистических процессов. Этапы можно представить, как логический и физический. К логическому этапу относится исследование стандарта радиочастотной идентификации EPC Class 1 Generation 2 [1]. Данное исследование направлено на определение параметров протокола, влияющих на характеристики RFID-системы. Это, в свою очередь, поможет настроить всю систему радиочастотной идентификации таким образом, чтобы иметь максимальную производительность. В свою очередь, к физическому - исследованию микрочиповой антенны. Исследования такого рода применимы при габаритном проектировании. Это позволит обеспечить меньший размер антенны.

### Ключевые слова

RFID, EPC, антенна, протокол, метка, считыватель.

### Введение

Интеллектуальная RFID-система предназначена для применения в торговле промышленными товарами и логистике с использованием технологии радиочастотной идентификации RFID, работающей в частотном диапазоне 360-960 МГц [2]. Представленная система дает возможность автоматизировать целый спектр процессов, которые в себе еще выполняются человеком.

В связи с тем, что основная масса компаний используют штрих-код для учета и идентификации товара, а такая система, уже весьма устаревшая, требуется большее количество времени. Внедрение же вышеуказанной технологии (RFID) существенно позволит усовершенствовать процесс инвентаризации товарных единиц на объекте сбыта либо хранения данного товара. Это, в свою очередь, предоставит возможность значительно сократить издержки в виде человеко-часов, потраченных на тот или иной неавтоматизированный процесс.

Интеллектуальная RFID-система – это путь одителю и прекрасный помощник покупателя, дающий возможность быстро сориентироваться и найти продукцию не только по конкретному запросу, но и увидеть весь спектр сопут-

ствующих товаров и дополнительных услуг. RFID-технология позволяет внедрить в жизнь данную систему.

### Структура RFID-системы

Система радиочастотной идентификации (RFID, Radio Frequency Identification) – это беспроводная система идентификации объектов. В ней при помощи радиосигналов считываются/записываются данные, которые хранятся в RFID-метках [3]. Такая система представлена в виде экспериментальной установки на рисунке 1. Каждая RFID-система содержит в себе два основных компонента: метки и считыватель. В самом считывателе должен быть элемент связи с меткой – антенна [4].

Структуру любой RFID-метки можно представить в виде двух частей:

1. Чип. Он предназначен для обработки и хранения информации, а также модуляции и демодуляции радиочастотного сигнала;
2. Антенна. Она необходима для принятия и передачи сигнала.



Рис. 1. Структура экспериментальной установки интеллектуальной RFID-системы

В пассивных системах радиочастотной идентификации СВЧ-диапазона (360-960 МГц) считыватель все время создает электромагнитное поле, так как оно необходимо для передачи энергии меткам.

В момент, когда считывателю необходимо передать сообщение, то он передает модулированный сигнал, а в остальное время – обыкновенную синусоиду на своей несущей частоте. Для передачи данных к считывателю метка изменяет во времени коэффициент отражения своей антенны. Это необходимо для осуществления амплитудной модуляции отраженного сигнала. Данный способ передачи данных называется модуляцией отраженного сигнала (модуляцией обратного рассеяния).

Для идентификации товарной единицы используется протокол пассивной радиочастотной идентификации стандарта EPC Class 1 Generation 2.

#### Логический этап. Идентификация меток EPC Class 1 Generation 2

Для инвентаризации самых близких меток, считывателю нужно получить от каждой из всех сообщение, в котором содержится уникальный идентификатор метки. Такая ситуация называется задачей множественного опроса, при котором в общем случае число меток неизвестно. Самым оптимальным способом решения множественного доступа в данной ситуации, в условиях того, что метки не могут обмениваться сообщениями друг с другом, является использование протокола дискретная ALOHA. Этот протокол адаптирован к использованию в EPC Class 1 Generation 2 [5].

Последовательность сообщений, которые используются для идентификации метки, показана на рис. 2. В первый слот (слот Q) считыватель направляет сообщение Query, для запуска данного процесса. Каждое новое сообщение QRep подается в следующий слот. Считыватель сообщает меткам диапазон слотов, по которым можно распределить случайным образом (рандомизировать) передачи.

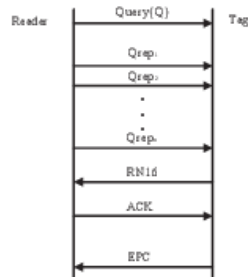


Рис. 2. Последовательность сообщений для идентификации метки

Каждая метка выбирает случайным образом слот, в котором она будет отвечать считывателю. Но, когда метки начинают отвечать, то они не сразу посылают считывателю свои идентификаторы. Сперва они посылают короткое 16-битовое случайное число в сообщении RN16. Если коллизии отсутствуют, считыватель успешно получает данное сообщение, а затем отправляет собственное сообщение ACK. На этом этапе метка получает безопасный с точки зрения коллизий слот и посылает свой идентификатор EPC - Electronic Product Code.

Обмен сообщениями в такой последовательности потому, что идентификаторы EPC — длинные, поэтому коллизия, которые содержали бы в себе эти сообщения были бы очень накладными и долгими. Вместо этого используется короткий обмен, чтобы проверить на безо-

пасность использования меткой слота с целью переслать свой EPC. После успешной передачи своего идентификатора, метка временно перестает отвечать на новые сообщения Query для того, чтобы можно было идентифицировать остальные метки.

Основная проблема RFID-считывателя – определение такого количества слотов, чтобы избежать коллизий, но не задействовать слишком большого количества слотов в силу того, что от этого напрямую зависит производительность. В условиях, когда считыватель видит слишком большое количество слотов без ответов или слишком много слотов с коллизиями, он может послать сообщение QAdjust, чтобы отрегулировать (уменьшить/увеличить) диапазон слотов, по которым отвечают метки. Считыватель также может осуществлять на метках и другие операции. Например, он имеет возможность выбрать некоторое подмножество меток до того, как выполнит раунд инвентаризации - собрать ответы у меток на обуви, а метки на шортах оставить нетронутыми. Считыватель может записывать данные на те метки, которые уже были идентифицированы. Данную функцию можно использовать для записи торгового объекта, на котором происходит сбыт промаркированной метками продукция, или другой не обходимой информации.

#### Модель механизма взаимодействия считывателя и меток стандарта EPC Class 1 Generation 2

На основе анализа стандарта EPC Class 1 Generation 2 были выделены основные параметры, влияющие на вероятность чтения метки, время до первого прочтения и вероятность коллизии:

- $T_{\text{tag}}$  - длительность символа 0, который передает считыватель;
- $Q$  - определяет число слотов, в которых отвечают метки;
- $M$  - число символов на бит, который передает метка. Определяет способ кодирования меткой данных [6].

Кроме этого, на вероятность чтения существенное влияние оказывает BER (Bit Error Rate), зависящий от соотношения сигнал-шум, но в дальнейшем ошибки при передаче ответов метки моделировались с помощью вероятности доставки ответа полностью, задаваемой одним числом от 0 до 1. Также влияние оказывают различные параметры окружения, включая количество меток, которые находятся в зоне считывания.

Перечислив все этапы взаимодействия метки и считывателя, строится алгоритм взаимодействия метки со считывателем с заданными параметрами. При помощи такого алгоритма оценивается быстродействие всей системы и влияние некоторых параметров на ее быстродействие.

В алгоритме присутствуют два глобальных цикла:

1. В самом начале алгоритма, где идет проверка текущего раунда и в случае ложного значения завершается вся программа;
2. Второй цикл находится в конце алгоритма, и он проверяет номер слота, максимальное число которого зависит от параметра  $Q$ . Если же проверка прошла успешно, то происходит переход на следующий слот, иначе начинается новый раунд.

В качестве инструмента для моделирования был выбран язык программирования Python 3.

Программа может работать в двух режимах: много-слоном и тихом, в зависимости от значения флага verbose.

Многословный режим последовательно выводит текущее состояние системы при смене номера слота, что позволяет увидеть поведение модельной системы. Пример вывода программы в многословном режиме представлен на рисунке 3.

Тихий режим используется для увеличения производительности при наборе большой статистики.

```
Slot #0: tag slots: [0, 4, 3, 1], replying tags: [0]
rand_prob_rn16: 0.66372206021, rand_prob_response: 0.32853022550 Nreads: [1, 0, 0, 0]
Slot #1: tag slots: [-1, 3, 2, 0], replying tags: [3]
rand_prob_rn16: 0.125181805865, rand_prob_response: 0.8608701499913 Nreads: [1, 0, 0, 1]
Slot #2: tag slots: [-2, 2, 1, -1], replying tags: [1]
rand_prob_rn16: 0.8121267051078, rand_prob_response: 0.80056084106 Nreads: [1, 0, 0, 1]
Slot #3: tag slots: [-3, 1, 0, -2], replying tags: [2]
rand_prob_rn16: 0.44008008086, rand_prob_response: 0.200720044623 Nreads: [1, 0, 1, 1]
Slot #4: tag slots: [-4, 0, -1, -3], replying tags: [1]
rand_prob_rn16: 0.330082820093, rand_prob_response: 0.900000411561 Nreads: [1, 0, 1, 1]
Slot #5: tag slots: [-5, -1, -2, -4], replying tags: [1]
rand_prob_rn16: 0.58512702551, rand_prob_response: 0.645091181161 Nreads: [1, 0, 1, 1]
Slot #6: tag slots: [-6, -2, -3, -5], replying tags: [1]
rand_prob_rn16: 0.99297794529, rand_prob_response: 0.81776359632 Nreads: [1, 0, 1, 1]
Slot #7: tag slots: [-7, -3, -4, -6], replying tags: [1]
rand_prob_rn16: 0.301692475314, rand_prob_response: 0.981824204728 Nreads: [1, 0, 1, 1]
```

Рис. 3. Фрагмент симуляции при моделировании протокола

Проанализировав выходные данные на рис. 3, можно отметить несколько моментов. Так как заданный параметр  $Q = 3$ , то количество слотов не будет превышать 8 ( $2^3 = 8$ ). В массиве tag slots метки получают номера, которые означают в каком слоте они будут отвечать. Массив replying tags показывает какая метка отвечает в текущем слоте. Например, в слоте 3 будет отвечать вторая метка (отчет идет с нуля). По причине того, что моделирование упрощенное, передача сообщений RN16 и ACK инициируется вероятностно, которая показана в rand\_prob\_rn16 и rand\_prob\_response. Если эти случайные вероятности меньше, чем заданные вероятности probability\_rn16 и probability\_response соответственно, то прочтение метки не происходит. Нагляднее данная процедура изображена на рис. 4. Это также можно увидеть в представляемой симуляции на примере четвертого слота.

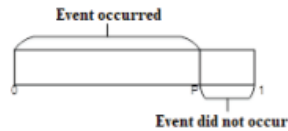


Рис. 4. Условия успешного приема сообщений RN16 и ACK

В случае нашего моделирования точкой P служит заданная вероятность probability\_rn16 и probability\_response. В четвертом слоте rand\_prob\_rn16 оказалась на отрезке от P до 1, значит, метка не может быть прочтена. Массив Nreads заполняется по ходу прочтения k-ой метки. Он показывает сколько раз была прочтена k-ая метка. К примеру, в слоте 3 вторая метка была прочтена один раз. Кроме этого, может быть ситуация, когда отвечают несколько меток и возникает коллизия. Рассмотрим такой пример на фрагменте из другой симуляции на рисунке 5.

```
Slot #6: tag slots: [1, -1, 0, 0], replying tags: [2, 3]
rand_prob_rn16: 0.118449909085, rand_prob_response: 0.655278209454 Nreads: [0, 1, 0, 0]
Slot #7: tag slots: [0, -2, -1, -1], replying tags: [0]
rand_prob_rn16: 0.630547376136, rand_prob_response: 0.424770146466 Nreads: [1, 1, 0, 0]
```

Рис. 5. Коллизия

В слоте 6 отвечают сразу две метки, следовательно, ни одна из них не будет прочтена.

### Физический этап. Конструкция антенны

Микрополосковые антенны нашли широкое применение в современных RFID системах. Главные преимущества таких антенн — это маленькие габаритные размеры и вес, простота в изготовлении и дешевизна. В простейшем случае конструкция микрополосковой антенны представлена на рисунке 6.

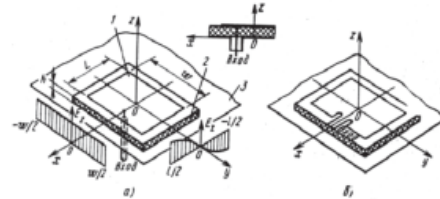


Рис. 6. Конструкция микрополосковой антенны, возбуждаемой коаксиальной линией (а), полосковой линией (б)

Антенна состоит из металлического излучателя (1), который расположен над проводящей пластинкой заземления (3). Между излучателем и пластинкой находится слой диэлектрика (2). Возбуждение такой антенны можно выполнить как коаксиальной, так и полосковой линией [7]. Микрополосковые антенны способны излучать электромагнитные волны с круговой поляризацией. Это важно для RFID систем, в которых метки не имеют стабильного расположения по отношению к антенне считывателя, а располагаются в пространстве хаотично.

Антенна, предложенная в работе, состоит из диэлектрической подложки из полимера с относительной диэлектрической проницаемостью 9.8 и толщиной 1 мм. На подложке симметрично располагаются 4 идентичные половинные вибратора из меди, толщиной 35 мкм, каждый из которых выполнен в виде отрезка периодической меандр-линии. Использование меандровых структур позволяет получить излучатели меньше по размеру, чем принимаемые и излучаемые радиоволны. Ширина проводников линейно уменьшается от центра к периферии, для лучшего согласования антенны с окружающим пространством и возбуждающей линией. Габариты всей конструкции не превышают 200 × 200 мм. На рисунке 7 представлен вид исследуемой антенны.

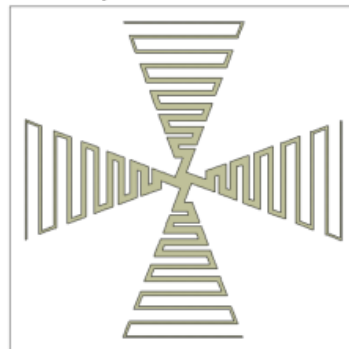


Рис. 7. Конструкция квадратной микрополосковой антенны

Подписано в печать 22.05.2019  
Формат 60х84/16. Печать офсетная. Тираж 500 экз.  
ООО "ИД Медиа Паблшер",  
Москва, 111024, ул. Авиамоторная, д.8, стр. 1  
[www.media-publisher.ru](http://www.media-publisher.ru)