

Литература

1. Трубопроводный транспорт нефти и газа: Учеб. для вузов/ Р. А. Алиев, В. Д. Белоусов, А. Г. Немудрой и др.— 2-е изд., перераб. и доп.—М.: Недр, 1988. - 368 с.
2. Селезнев В.Е., Алешин В.В., Прялов С.Н. Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов: методы, модели и алгоритмы / Под ред. В.Е. Селезнева. – М.: МАКС Пресс, 2007. – 695 с.
3. Сергиенко И.В., Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации. – К.: Наук. Думка, 1985. – 384 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

УДК 621.395.004.77

Запропоновано алгоритм у вигляді комп'ютерної моделі для моделювання антиколлізійного процесу ідентифікації номерів RFID-міток

Ключові слова: транспондер, рідер, мітка

Предложен алгоритм в виде компьютерной модели для моделирования антиколлизийного процесса идентификации номеров RFID-меток

Ключевые слова: транспондер, ридер, метка

It was offered the algorithm of anticollision process for identification numbers of RFID-labels. It is realized as computer and mathematic mode

Keyword: transponder, reader, identifier

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТИ- КОЛЛИЗИОННОГО ПРОЦЕССА ИДЕНТИФИКАЦИИ НОМЕРОВ RFID-МЕТОК

И. В. Филиппенко

Соискатель

Кафедра АПОТ

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166

1. Введение

В последнее время получила широкое распространение бесконтактная радиочастотная идентификация (RFID), относящаяся к средствам беспроводной электронной идентификации объектов различной физической природы. Объектом идентификации может быть человек, животное, транспортное средство, контейнер с грузом, оборудование, изделие в процессе производства, ценные предметы, различные товары, и т.п. [1]. RFID-система состоит из двух основных компонентов – *транспондера (метки)*, закрепляемого на объекте, который должен пройти процедуру идентификации и *считывателя* (считывающего устройства) или ридера, которое предназначено для считывания данных с метки.

Главной задачей при проектировании систем радиочастотной идентификации (RFID) является проблема наиболее быстрого и безошибочного считывания информации с транспондеров. При этом необходимо учитывать возможность возникновения коллизий и принимать меры по их устранению. Когда в рабочей зоне ридера находится одна метка, считывание информации происходит, как правило, безошибочно. Однако, когда в поле ридера попадает несколько меток, возникает ситуация коллизии, что влечет за собой проблему правильной идентификации каждой отдельно взятой метки и безошибочного считывания информации с нее. Следовательно, с возрастанием количества меток в поле ридера возрастает вероятность ситуаций коллизии и как следствие – неправильное чтение информа-

ции. Задача безошибочного получения информации, передаваемой с метки, является первостепенной. Поэтому возникает необходимость решения антиколлизийных задач.

Промышленные считыватели могут одновременно считывать множество RFID-меток, используя так называемые антиколлизийные методы [2]. "Из соображений конкуренции производители подобных систем, как правило, не сообщают информацию об используемых в их устройствах методах предупреждения коллизий.

Также достаточно мало информации по этому вопросу приводится в специализированной технической литературе, так что из нее вы также не сможете получить ясное представление об использованных методах [3]."

Цель данной работы – произвести моделирование антиколлизийного алгоритма идентификации меток, реализованный во временной области с использованием привязки идентифицированных меток к свободным каналам считывания, и, если необходимо, записи данных в транспондеры.

2. Постановка задачи

Дано: 1) n RFID-меток, находящихся в поле видимости считывателя; 2) время считывания текущего идентификационного номера метки.

Необходимо: 1) предложить алгоритм антиколлизийного считывания меток; 2) создать математическую и компьютерную модель процесса антиколлизийной идентификации меток; 3) провести имитационное моделирование процесса идентификации RFID-меток, и, по полученным статистическим данным, определить время, необходимое для идентификации меток, находящихся в поле считывателя.

3. Условные обозначения

транспондер – носитель данных в системе RFID.

считыватель или ридер – устройство, которое в зависимости от приложения может не только считывать, но и записывать данные.

$leftLimit$ - левый предел генератора случайных целых положительных чисел.

$rightLimit$ – правый предел генератора случайных целых положительных чисел.

ГСЦПЧ - генератор случайных положительных целых чисел.

t_{pak} – время предшествующей (preceding) активации (activation) k -ой метки.

j_{pak} - точка отсчета предшествующей активации k -ой метки.

t_{nak} - время последующей (next) активации (activation) k -ой метки.

j_{nak} –точка отсчета последующей активации k -ой метки.

T_{pa} – длительность передачи номера метки.

T_{dak} – задержка (delay) времени активации (activation) k -ой метки.

$J_{идм}$ – число точек отсчета времени, необходимых для идентификации номеров меток.

$г$ – число точек отсчета времени, необходимых для передачи номера метки.

n – число меток.

N – количество итераций моделирования.

4. Суть метода

После приема меткой стартовой команды считывателя, метка однократно случайным образом генерирует текущий временный идентификационный номер, заданный генератором случайных положительных целых чисел (ГСЦПЧ) из диапазона $[0, 256]$. Метка, после присвоения номера, определяет при помощи ГСЦПЧ случайное время задержки ответа ридеру. «Левый» и «правый» пределы ГСЦПЧ определяются на этапе проектирования системы идентификации меток. Номер метки и задержка активации ответа задаются двумя независимыми друг от друга ГСЦПЧ со своими диапазонами значений случайных чисел и однократно задаваемыми случайными числами, используемые для инициализации генераторов случайных чисел.

На первом этапе идентифицируются номера RFID-меток, сгенерированные ГСЦПЧ. По мере идентификации номеров меток им выделяются свободные каналы связи для считывания и, если необходимо, для записи пакета данных.

5. Компьютерная модель антиколлизийного протокола

Каждая RFID-метка содержит генератор случайных положительных целых чисел rnd $[leftLimitRnd, rightLimitRnd]$, где $leftLimitRnd$ и $rightLimitRnd$ – соответственно, левый и правый пределы генератора случайных чисел.

После приема стартовой команды метки со случайной задержкой dT начинают передавать свой временный идентификационный номер. Задержка dT определяется как:

$$dT = rnd \times T, \quad (1)$$

где T – период дискретизации непрерывного времени, rnd – случайное число.

Считыватель «слышит» метку, которая раньше всех активировалась. Те метки, которые не были «услышаны», т.е. идентифицированы считывателем, после завершения своей предыдущей активации, снова определяют новые времена активации по формуле:

$$t_{nak} = t_{pak} + T_{pa} + T_{dak}, \quad (2)$$

где t_{nak} - время последующей активации k -ой метки; t_{pak} – время предыдущей активации k -ой метки; T_{pa} – длительность передачи номера метки; T_{dak} – задержка времени активации k -ой метки.

После преобразования непрерывного времени в дискретное время путем представления первого в виде последовательностей дискретных отсчетов времени (моментов квантования) уравнение (1) примет следующий вид:

$$j_{nak} \times T = j_{pak} \times T + г \times T + rnd \times T, \quad (3)$$

где j_{nak} –точка отсчета последующей активации метки; j_{pak} - точка отсчета предыдущей активации метки; $г$ – число точек отсчета времени, необходимых для передачи номера метки; rnd – случайное число; T – период квантования непрерывного времени.

Уравнение (4) эквивалентно уравнению (3), но без параметра T .

$$j_{\text{nak}} = j_{\text{pak}} + r + \text{rnd} . \tag{4}$$

Поясним вышесказанное на примере идентификации четырех меток, но прежде кратко опишем математическую и компьютерную модель процесса антиколлизийного процесса идентификации меток.

Двумерной матрицей $P_{n,m}(\mathbf{I})$ задается полигон меток, где n – число строк, m – число столбцов матрицы; \mathbf{I} – множество целых положительных чисел. Число строк (n) равно числу меток, находящихся в поле считывателя. Число столбцов (m) равно числу дискретных отсчетов времени.

После приема метками стартовой команды генераторами случайных чисел, встроенными в метки, задаются номера меток и времена задержек их активации. В компьютерной модели ГСЦПЧ задает случайную задержку активации в виде значения случайного числа

$$\text{rnd} \in \text{limRnd} = [\text{leftLimitRnd}, \text{rightLimitRnd}] \tag{5}$$

Элементу $(i_k, j_k = \text{rnd})$ матрицы $P_{n,m}(\mathbf{I})$ присваивается единица. Здесь i_k и j_k – k -ые строка и столбец матрицы. На рис. 1 в качестве примера показана матрица с размещенными на ней точками задержек активации четырех меток, полученных с помощью ГСЦПЧ из диапазона $\text{limRnd} = [1, 8]$.

На рис. 1 номера меток отложены на оси i . На оси j отложены дискретные отсчеты вре-

мени. В результате первого шага моделирования для метки под № 0 ГСЦПЧ сгенерировал rnd равный 3; для метки под № 1 - $\text{rnd} = 1$; для метки под № 2 - $\text{rnd} = 5$; для метки под № 3 - $\text{rnd} = 8$. Это позволило элементам $(0, 3), (1, 1), (2, 5)$ и $(3, 8)$ массива $P_{n,m}(\mathbf{I})$ присвоить значения, равные единице, что отмечено на рис. 1 черными точками. На рис. 2 прямоугольниками отмечены длительности передачи номеров меток, равные $r \times T$. В компьютерной модели при помощи функции $\text{srchTmrPrMinMrkr}()$ происходит отыскание метки, которая имеет минимальное, по сравнению с другими метками, запаздывание активации. Такой меткой в рассматриваемом примере является метка под № 1. Но, в общем случае, имеют место случаи совмещения меток по времени. Для обнаружения этого факта в модели предусмотрена функция $\text{identifLabelWthAssgnNewCrdImpstnMrkr}()$, позволяющая проверить факт временного наложения меток, и при наличии этого факта переприсвоить наложившимся меткам новые точки отсчета последующей активации по формуле (3). Если наложившихся меток нет, тогда вступает в работу функция считывания номера метки. Разрешение на считывание метки определяется следующим условием:

$$\text{Если} \begin{cases} j_{\text{pak}} = 0, \text{ то метка услышана считывателем.} \\ j_{\text{nak}} - j_{\text{pak}} > r, \text{ то метка № } \underline{k} \text{ услышана считывателем.} \\ j_{\text{nak}} - j_{\text{pak}} \leq r, \text{ то метка № } \underline{k} \text{ не услышана считывателем,} \\ \text{ей переприсваивается новое значение } j_{\text{nak}}. \end{cases} \tag{6}$$

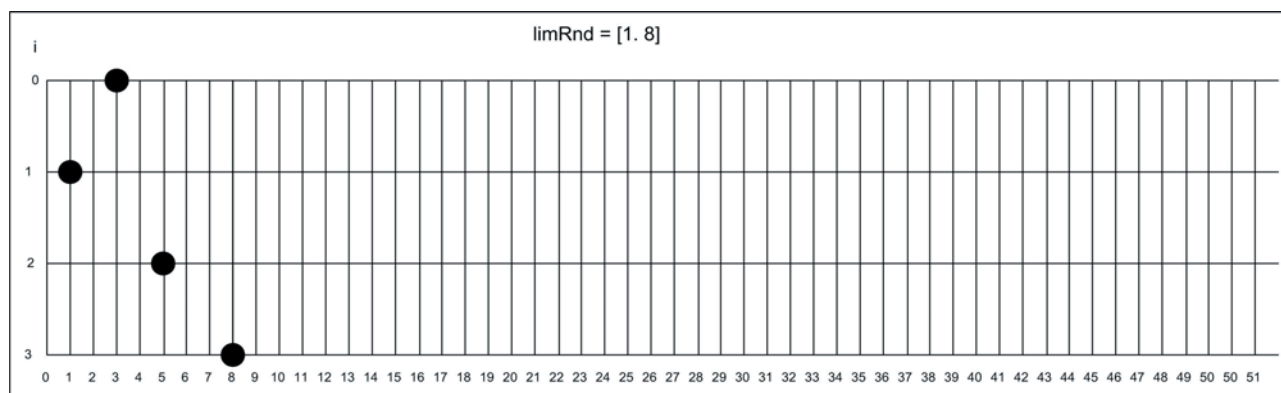


Рис. 1. Точки задержек активации четырех меток

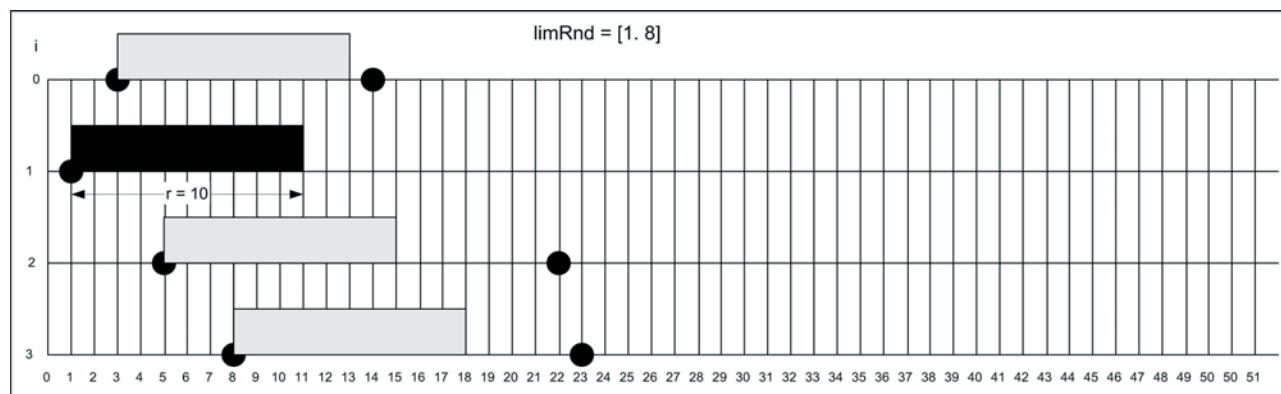


Рис. 2. Первая итерация разрешения коллизий

Здесь k – номер метки, которая проверяется на предмет «слышимости» ее считывателем.

В рассматриваемом случае метка под № 1 является первой меткой, которую «услышал» считыватель. Поэтому в (6) $j_{pak} = 0$. В модели имеется одномерный массив $Final_m(\mathbf{I})$, индексы которого являются точками отсчета времени. Факт того, что метка «услышана» считывателем в точке отсчета времени $j_{па}$, фиксируется в одномерном массиве путем присваивания единицы элементу массива ($Final(j_{па}) = 1$). На рис. 2 «услышанная» метка выделена черным прямоугольником. Время считывания метки в приведенном примере равно $10 \times T$, или 10 точкам отсчета. Остальных меток (№ 0, № 2, № 3) в период считывания метки № 1 считыватель не «слышит». Этот факт в модели проверяется по формуле (6). В результате меткам № 0, № 2, № 3, присваиваются новые значения $j_{па0}$, $j_{па2}$, $j_{па3}$ по формуле (4):

$$j_{па0} = 3 + 10 + 1 = 14. \tag{7}$$

$$j_{па2} = 5 + 10 + 7 = 22. \tag{8}$$

$$j_{па3} = 8 + 10 + 5 = 23. \tag{9}$$

В формулах (7) – (9) выпали следующие значения случайных чисел rnd : 1, 7 и 5, соответственно. Новые значения точек активации меток № 0, № 2 и № 3 отмечены черными точками, проставленными после прямоугольников, принадлежащих соответствующим меткам. Точки процесса активации трех, оставшихся не идентифицированных, меток показаны на рис. 3.

Первым считыватель «услышит» метку под № 0 и будет «слышать» только ее, пока она не закончит передавать свой номер метки. Этот факт в модели подтверждается функцией `identifLabelWthAssgnNew-CrdImpstnMrker()`, позволяющий проверить наличие или отсутствие коллизии меток, и выполнением условия (6). Остальных меток (№ 2 и № 3) считыватель не «слышит», поскольку они начали передавать свои номера меток в момент передачи номера меткой № 0. Второй этап разрешения коллизий показан на рис. 4.

Не «услышанные» считывателем метки (№ 2 и № 3), после окончания передачи в эфир своих номеров, снова присваивают (при помощи генератором случайных чисел и по формуле (4)) случайные временные задержки своей повторной активации. Метке под № 2 присвоена случайная задержка активации, равная 4. Метке под № 3 присвоена случайная задержка активации, равная 2. Тогда, метка под № 2 должна активизироваться в момент времени $j_{па2} = 22 + 10 + 4 = 36$, метка № 3 - в момент времени $j_{па3} = 23 + 10 + 2 = 35$. На рис. 5 показан третий этап разрешения коллизий.

Для метки под № 3 коллизия разрешена. Не «услышанная» считывателем метка № 2 устанавливает себе новое время активации. В данном случае точка активации равно $j_{па2} = 50$. Поскольку остался только один не идентифицированный номер метки, то для его идентификации коллизий не существует. Метка «сообщит» считывателю свой номер в течении $10 \times T$, начиная с $j_{па2} = 50$.

На рис. 6 показаны моменты идентификации соответствующих номеров меток. Четыре метки были

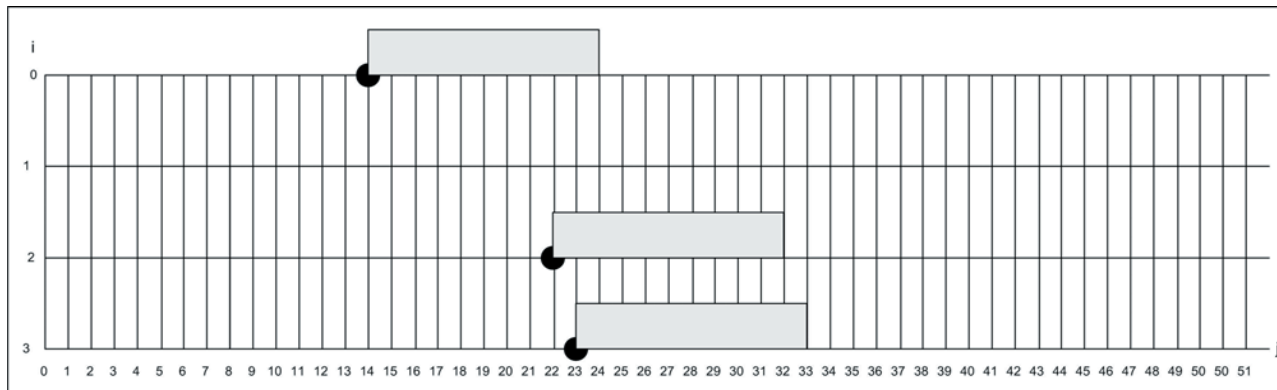


Рис. 3. Промежуточная итерация разрешения коллизий

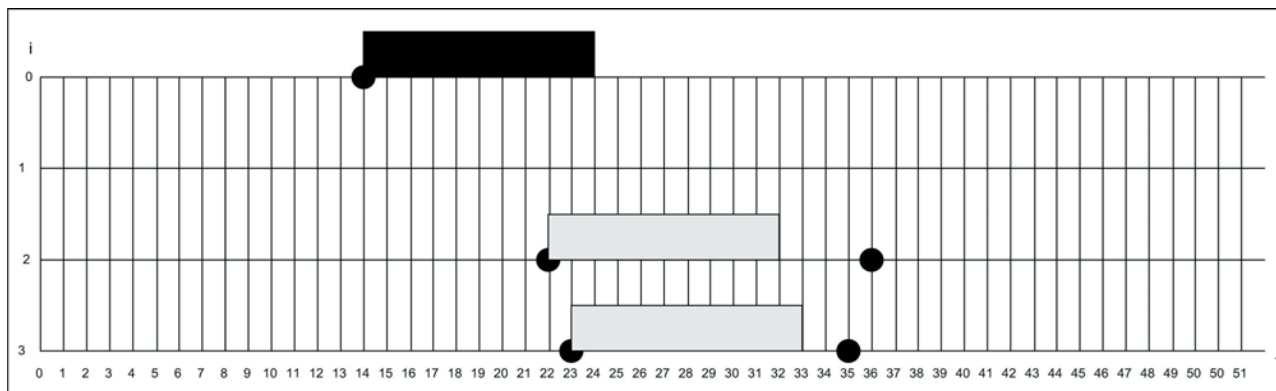


Рис. 4. Вторая итерация процесса разрешения коллизий

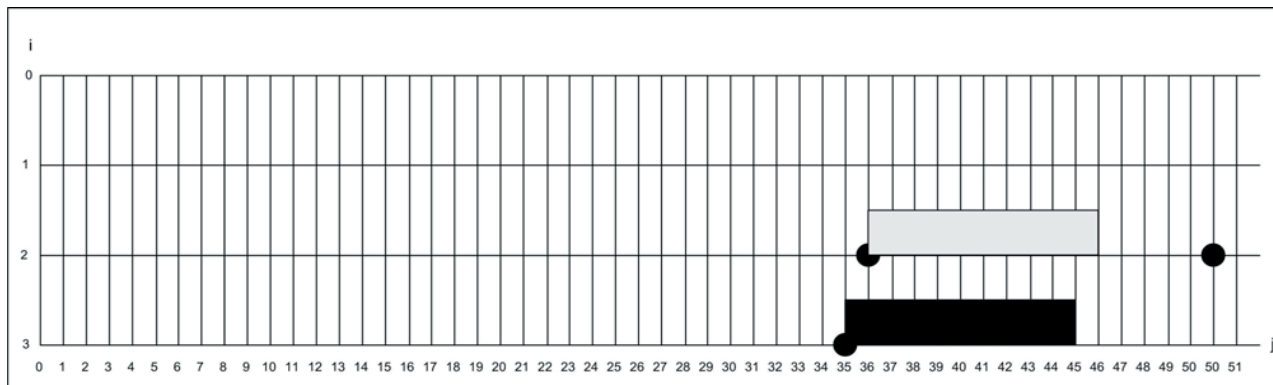


Рис. 5. Третья итерация разрешения коллизий

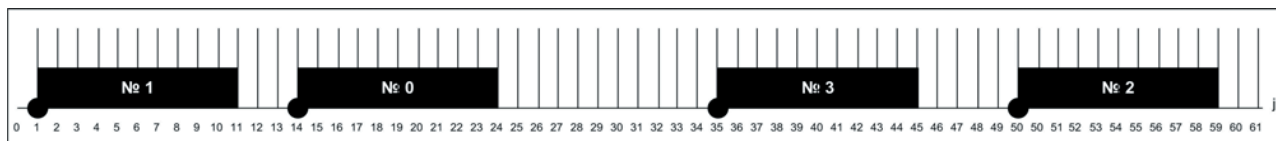


Рис. 6. Моменты идентификации меток

идентифицированы в следующем порядке: № 1, № 0, №3, № 2. Точек отсчета времени, потребовавшихся для идентификации четырех номеров меток, равно 59.

На рис. 6 приведен одноразовый процесс антиколлизсионной идентификации четырех меток. Но т.к. процесс антиколлизсионной идентификации меток – это стохастический процесс, для определения времени, необходимого для антиколлизсионной идентификации, необходимо прибегнуть к статистическому методу имитационного моделирования процесса антиколлизсионной идентификации меток. Предложенная компьютерная модель статистического моделирования процесса антиколлизсионной идентификации номеров меток была реализована на объектно-ориентированном языке СИ++. Модель содержит средства накопления и обработки полученных в результате моделирования статистических данных о времени идентификации номеров меток, зависящих от количества меток, и значений пределов случайных задержек активации меток. В приведенном выше примере однократного моделирования процесса антиколлизсионной идентификации номеров меток потребовалось 50 точек отсчета времени. После каждого "однократного" моделирования процесса идентификации номеров меток, в элементах одномерного массива, индексы которых являются точками отсчета времени, накапливается число случаев, когда потребовавшееся для идентификации номеров меток число точек отсчета соответствует тому или иному индексу массива.

Массив содержит своего рода гистограмму. По оси абсцисс отложены точки отсчета времени. По оси ординат - количество случаев идентификации меток в этих точках.

Гистограмма, путем элементарных расчетов, преобразуется в функцию вероятности числа точек отсчета, необходимых для идентификации номеров меток.

На рис. 7 показана функция вероятности числа точек отсчета, необходимых для идентификации номеров меток. Параметры моделирования указаны на рисунке.

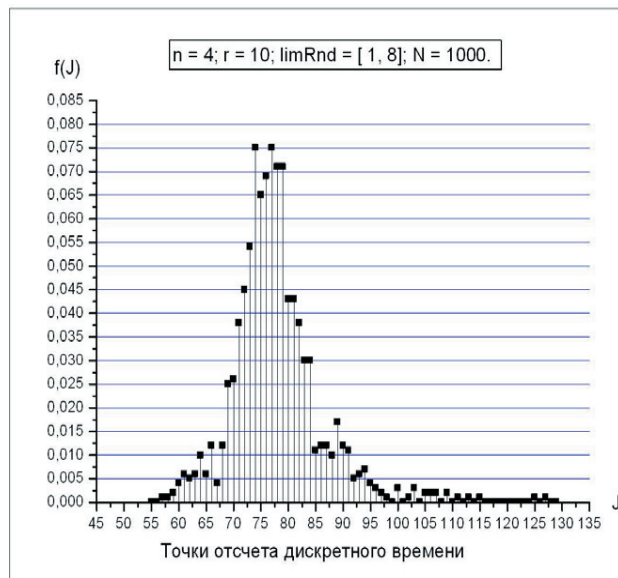


Рис. 7. Функция вероятности числа точек отсчета, необходимых для идентификации 4-х меток

Необходимо по полученным, в результате статистического моделирования данным, проанализировать зависимости функции вероятности $f(J)$ от n , r и limRnd . На рис. 8 и рис. 9 приведены некоторые зависимости.

На рис. 8 и рис. 9 явно наблюдается признак полимодальности $f(J)$ [4], что свидетельствует о том, что случайная величина (J) распределена по нескольким законам. Хотя подобная неоднородная совокупность не адекватна стандартным статистическим моделям

однородных распределений, допускается вычисление общего среднего и других параметров [4].

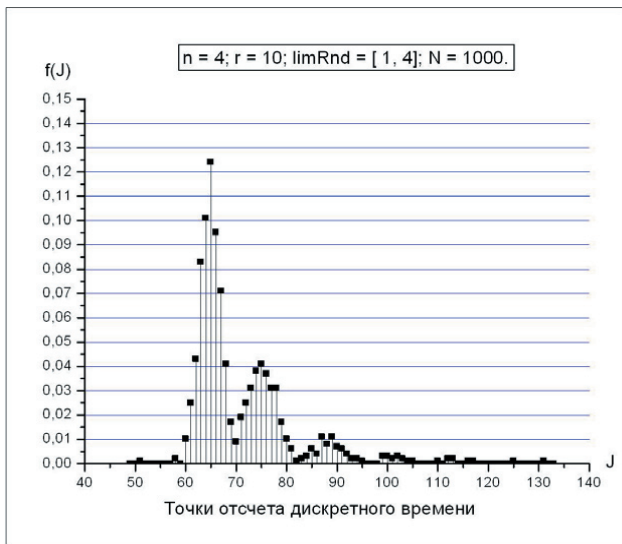


Рис. 8. Функция вероятности времени антиколлизийной идентификации меток

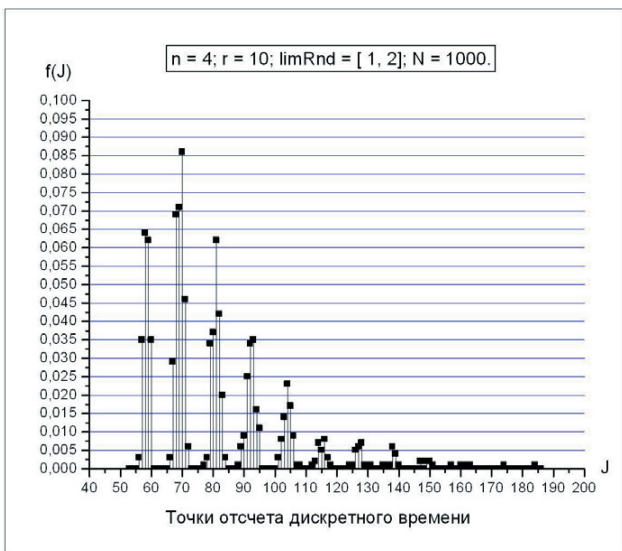


Рис. 9. Функция вероятности времени антиколлизийной идентификации меток

Вычисление математического ожидания $E(J)$, случайной величины J дисперсии $D(J)$ и стандартного отклонения σ_j позволяет отыскать зависимость для определения числа точек отсчета времени $J_{идм}$, необходимых для идентификации номеров меток с заданной вероятностью $P(0 \leq J \leq J_{идм}) = 0,999$.

$$E(J) = \sum_{J=0}^{T_{идм}} J \times f(J) \tag{10}$$

$$D(J) = \sum_{J=0}^{T_{идм}} (J - E(J))^2 f(J) \tag{11}$$

$$\sigma = \sqrt{D(J)} \tag{12}$$

$$\text{Если } \begin{cases} \sigma - 4.G\sigma > 0.5 \Rightarrow \sigma = F.G\sigma + 1. \\ \sigma - 4.G\sigma < 0.5 \Rightarrow \sigma = F.G\sigma. \end{cases} \tag{13}$$

где $\underline{\sigma}$ -округленное до целого значения σ ; д.ч. – дробная часть; ц.ч. – целая часть.

Принимается следующая зависимость определения числа точек отсчета времени $J_{идм}$, необходимых для идентификации номеров меток:

$$J_{идм} = E(J) + 6\underline{\sigma} \tag{14}$$

Время идентификации меток определяется как

$$T_{идм} = J_{идм} \times T \tag{15}$$

где T – период квантования непрерывного времени.

В табл. 1 приведены значения математических ожиданий $E(J)$, стандартных отклонений $\underline{\sigma}$ и $J_{идм}$ с вероятностью $P(0 \leq J \leq J_{идм}) = 0,999$.

Таблица 1

Математические ожидания $E(J)$, стандартные отклонения $\underline{\sigma}$ и $J_{идм}$ процессов идентификации номеров меток, представленных на рис. 7 - рис. 9

№ рисунка	$E(J)$	$\underline{\sigma}$	$J_{идм}$
7	78	8	126
8	71	10	131
9	80	21	206

6. Зависимость времени идентификации меток от соотношений между r и $limRnd$

На рис. 10 и рис. 11 приведены зависимости числа точек отсчета времени, необходимых для идентификации номеров $n = 8$ RFID меток, при числе точек отсчета времени, необходимых для передачи номера метки, равных $r = 8$ и $r = 128$, соответственно, и различных значениях правых пределов $rightLimRnd$ диапазонов ГСЦПЧ, задающих случайные запаздывания активации меток $J_{идм}()$, где $rightLimRnd$ – определена в формуле (5). Левый предел $leftLimitRnd$ принят не изменяемым и равным единице.

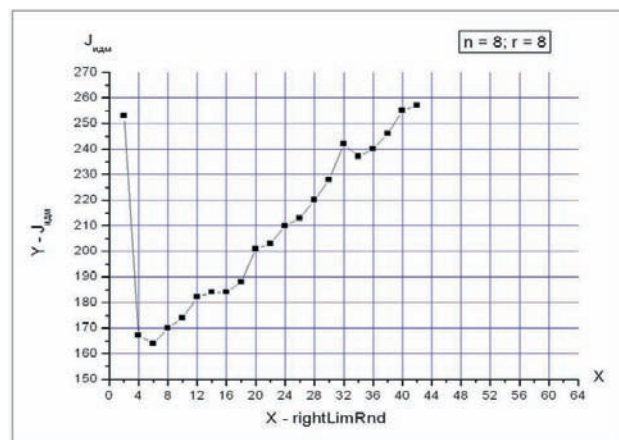


Рис. 10. Зависимость точек отсчета времени, необходимых для идентификации номеров 8-ми меток, от различных значений правых пределов $rightLimRnd$ диапазонов ГСЦПЧ при $r = 8$.

Зная длительность передачи номера метки τ , период квантования непрерывного времени T определяется из соотношения $\tau = r \times T$ как

$$T = \frac{\tau}{r} \tag{16}$$

Время идентификации номеров меток определяется по формуле (15).

Была исследована сравнительная оценка средних и с вероятностью $P(0 \leq J \leq J_{идм}) = 0,999$ времён идентификации номеров RFID-меток для заданного их числа и различных значений r и минимальных значений $J_{идм}$ по $limRnd$, соответствующих r . Результаты сравнительной оценки приведены в табл. 2. Длительность передачи номера метки τ принималось равным 1 мс. Задавалось число r и по формуле (16) определялся период квантования непрерывного времени T . Отмечено уменьшение времени идентификации меток с ростом r .

Это объясняется увеличением точности вычисления времени идентификации номеров меток с ростом r , поскольку период квантования непрерывного времени T с ростом r уменьшается и, следовательно, "вес" точки отсчета в суммарном подсчёте точек отсчета уменьшается.

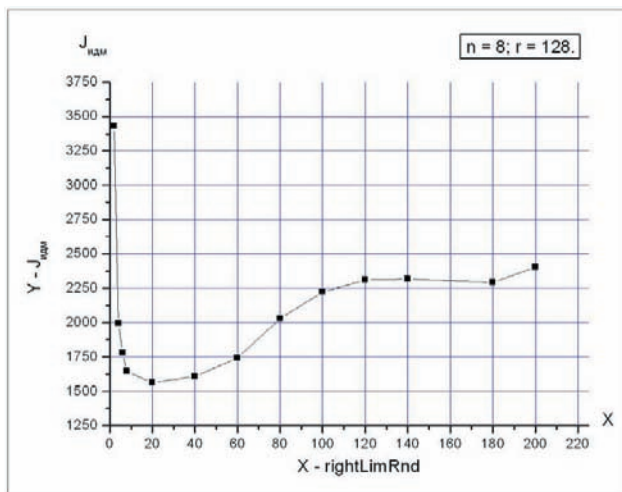


Рис. 11. Зависимость точек отсчета времени, необходимых для идентификации номеров 8-ми меток, от различных значений правых пределов $rightLimRnd$ диапазонов ГСПЦП при $r = 128$

Таблица 2

Время идентификации номеров 8 меток для различных значений r и минимальных значений $J_{идм}$ по $limRnd$, соответствующих r

r	lim Rnd	E(J)	J _{идм}	τ [мс]	T[мс]	Время идентификации номеров меток [мс]	
						Среднее	$P(0 < J < J_{идм}) = 0,999$
2	[1, 4]	41	83	1	0.5	20.5	41.5
4	[1, 6]	62	110	1	0.25	15.5	27.5
8	[1, 6]	110	164	1	0.125	13.75	20.5
16	[1, 8]	197	257	1	0.0625	12.315	16.0625
32	[1, 8]	347	449	1	0.03125	10.84375	14.03125
64	[1, 14]	669	819	1	0.015625	10.453125	12.796875
128	[1, 22]	1291	1519	1	0.0078125	10.0859375	11.8671875
256	[1, 26]	2475	2883	1	0.00390625	9.66796875	11.26171875

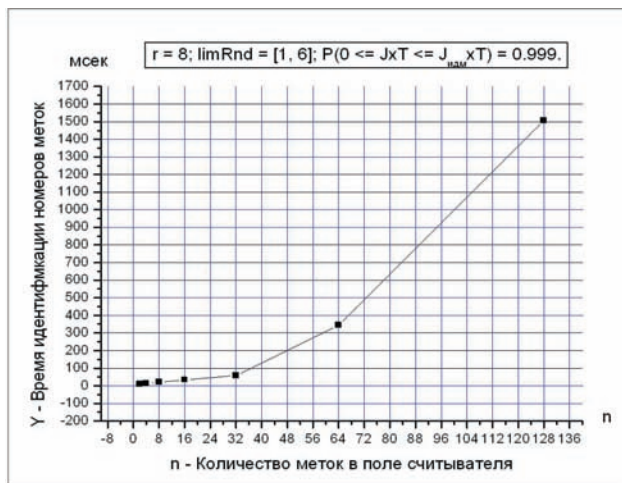


Рис. 12. Среднее время идентификации номеров меток от числа меток

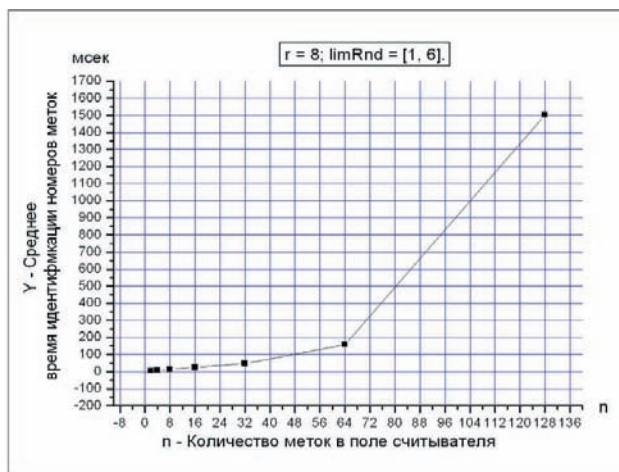


Рис. 13. Время идентификации номеров меток от числа меток с вероятностью 0.999

Но с увеличением r время моделирования резко возрастает. Поэтому для выбора числа точек отсчета, необходимых для считывания номера метки, целесообразно воспользоваться следующей процедурой. Определить среднее время идентификации номеров меток с вероятностью $P(0 \leq J \leq J_{идм}) = 0,999$. Оно равно 19.45248. Отыскать в последней колонке табл. 1 число ближайшее к 19.45248. Таким числом есть число 20.5 и принять в качестве r значение, которое стоит на пересечении строки, в которой находится число 20.5 и колонки r . В данном случае $r = 8$, а $limRnd = [1, 6]$.

С увеличением количества меток в поле считывателя время идентификации меток резко увеличивается. На рис. 12 и рис. 13 представлены зависимости времени идентификации номеров меток от числа меток, находящихся в поле считывателя. На рис. 12 указано среднее время идентификации. На рис. 13 указано время идентификации с вероятностью 0.999.

В табл. 3 приведены выборочные данные времени, необходимого для считывания 10, 50 и 100 меток, находящихся в поле считывателя, взятые из табл. 1 [5].

Таблица 3

Выборочные данные времени, необходимого для считывания 10, 50 и 100 меток в поле считывателя, взятые из табл. 1 [5]

Число меток в поле	Время разрешение коллизий (мс)					
	QT.ds (пост.)	QT.ds (случ.)	ST.std. free	ST.std. off	ST.fast. free	ST.fast. off
10	21.8	117	180	90	38	21
50	70	656	2800	807	447	183
100	130	1210	5220	2316	1035	326

ST.std.free, ST.std.of, ST.fast.free, ST.fast.off – это названия четырех вариантов вероятностного антиколлизийного алгоритма Super Tag считывания меток, разработанного южноафриканской компанией SCIR. Алгоритм реализован во временной области. QT.ds – детерминистический алгоритм. QT.ds (пост.), QT.ds (случ.) – это алгоритмы при последовательном и случайном распределении номеров меток, соответственно.

В табл. 4 приведены выборочные данные среднего времени, необходимого для считывания данных всех транспондеров, расположенных в зоне действия некоторой идеализированной системы. Данные взяты из табл. 7.2 [3].

Таблица 4

Выборочные данные среднего времени считывания данных транспондеров, расположенных в зоне действия некоторой идеализированной системы (взяты из табл. 7.2 [3])

Количество транспондеров, которые находятся в зоне действия считывающего устройства	Время считывания (мс)	
	Среднее время	При надежности 99,9%
2	150	500
4	300	1000
8	800	2700

Таблица 5

Время, необходимое для идентификации номеров 2, 4, 8, 10, 50 и 100 транспондеров, расположенных в зоне действия считывающего устройства, методом, предложенным в работе

Количество транспондеров, которые находятся в зоне действия считывающего устройства	Время считывания (мс)	
	Среднее время	При вероятности 0,999
2	4.625	8.375
4	8.0	13.25
8	13.75	20.5
10	16.375	23.875
16	24.375	33.375
32	47.5	58.75
50	85.25	115.25
64	157	242.75
100	156	243.75
128	1502.375	1506.875

Для удобства сравнительной оценки времен считывания меток различными способами, по приведенным выше таблицам, времена в таблицах приведены в микро секундах (мс). Время считывания меток, приведенное в табл. 4, в основном, меньше приведенных времен в табл. 2 и табл. 3. Единственным исключением являются времена считывания, приведенные в столбце QT.ds (пост.) и строках "50" и "100". Приведенные в них времена считывания меток меньше времен считывания, приведенных в столбцах "Среднее время", "При вероятности 0.999", и строках "50" и "100".

7. Выводы

- Предложена новая компьютерная модель антиколлизийного процесса идентификации номеров RFID-меток во временной области со случайной задержкой активации меток.

- Компьютерная модель позволяет проводить имитационное моделирование антиколлизийного процесса идентификации номеров RFID-меток для различного количества меток, находящихся в зоне действия ридера, различных значений длительности считывания одной метки и различных значений диапазона генератора случайных задержек активации меток.

- По полученным статистическим данным автоматически определяется среднее и с вероятностью 0.999 время идентификации меток.

- Сравнительный анализ времен идентификации меток известными методами показал преимущество предложенного метода.

Литература

1. Джхунян В. Л. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты / В. Л. Джхунян, В. Ф. Шаньгин. – М. : NT Press, 2004 – 696 с.
2. RFID – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/RFID>.
3. Финкенцеллер К. Справочник по RFID. Технические основы и практическое применение индуктивных радиоприборов, транспондеров и бесконтактных чип-карт / К. Финкенцеллер – М. : Издательский дом "Додэка-XXI", 2008 – 489 с.
4. Каплан А. В. Математика, статистика, экономика на компьютере / А. В. Каплан, В. Е. Каплан, М. В. Мащенко, Е. В. Овечкина – М. : ДМК Пресс, 2006. – 600 с.
5. Науменко И. А. Исследование особенностей применения RFID- технологий в корпоративных телекоммуникационных сетях / И. А. Науменко - Режим доступа: <http://masters.edu.ua/2009/kita/naumenko/dis/index.htm>.