

УДК 004.02:519.688

Запропоновано математичну модель RFID систем з кодовим поділом каналів для зниження трудомісткості проектування нових систем

Ключові слова: транспондер, рідер, мітка

Предложена математическая модель RFID систем с кодовым разделением каналов для снижения трудоемкости проектирования новых систем

Ключевые слова: транспондер, ридер, метка

There is proposed a mathematical model of RFID systems with code-division multiplexing to reduce the complexity of new systems designing

Keyword: transponder, reader, identifier

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

И. В. Филиппенко

Соискатель

Кафедра Автоматизации проектирования
вычислительной техники

Харьковский национальный университет
радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166

1. Введение

Радиочастотная идентификация, или RFID (Radio Frequency Identification) все глубже и шире проникает в повседневную жизнь человека. Системы контроля и управления доступом, транспортные проездные билеты, электронные документы, интеллектуальные бесконтактные метки, приходящие на смену традиционному штриховому коду – далеко не полный перечень областей, в которых технология RFID позволяет получить качественно новые результаты в организации управленческих процессов и задач логистики. В связи с этим часто возникает потребность в системах RFID с высокими требованиями к структурной скрытности, конфиденциальности и достоверности информации, способными защитить от несанкционированного считывания и модификации данных.

Применение метода кодового разделения каналов на основе технологии прямого расширения спектра (CDMA) дает возможность системе RFID использовать все преимущества широкополосной технологии, допускающей повторное использование спектра, обладающей высокой информационной скрытностью работы и позволяющей повысить помехоустойчивость и надежность передачи информации, а также решить вопрос электромагнитной совместимости с радиотехническими средствами различного назначения.

С целью уменьшения временных затрат, повышения качества проектирования и возможности автоматизации процесса проектирования новых систем RFID возникает необходимость формирования расчетной математической модели. Процесс построения математической модели позволит учесть все параметры проектируемой системы, определить важность каждого из параметров, значимость их для исследуемой системы

передачи информации, а также выявить взаимосвязь между этими параметрами.

2. Математическая модель систем RFID

Широкополосными сигналами называют сигналы, у которых произведение полосы F , занимаемой спектром широкополосного сигнала, на длительность информационного символа T много больше единицы [1, 2]:

$$B = F T \gg 1, \quad (1)$$

где B – база сигнала.

База сигнала определяет степень расширения спектра сигнала относительно спектра информационного сигнала и количественно определяется числом символов псевдослучайной последовательности (ПСП) НПСР, укладываемых на длительности информационного символа.

Энергетический потенциал системы передачи информации характеризуется мощностью передающей стороны, необходимой для обеспечения заданного соотношения сигнал/шум на приемной стороне.

Частотный ресурс характеризуется шириной полосы частот необходимой для работы системы.

Для достоверного обмена данными в системе необходимо обеспечение заданного энергетического потенциала линии ридер-метка и метка-ридер. Выполнение этого условия является необходимым, но не достаточным для обеспечения надежного обмена информацией.

Для расчета энергетического потенциала важно правильно учитывать уровень помех, так как присутствие помех в канале связи может сильно исказить

принимаемый сигнал или полностью препятствовать приему информационного сигнала.

Мощность полезного сигнала на входе ридера вычисляется по формуле [3]:

$$P_c = P_0 S_{\text{пр}} = \frac{\gamma P_n G_1 G_2 \lambda^2}{16\pi^2 r^2} \quad (2)$$

Решив уравнение (2) относительно r получим необходимую расчетную формулу радиуса действия проектируемой информационной системы:

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{\gamma P_n G_1 G_2}{P_c}} \quad (3)$$

Допустим, что в анализируемой системе данные передаются одновременно от n меток. Сигналы, передаваемые метками, перекрываются случайным образом во времени и передаются в одной полосе частот F . На входе коррелятора действует сумма сигналов

$\sum_{i=1}^n u_i(t)$, один из которых является адресным (закодированным одной и той же ПСП), остальные $(n-1)$ являются мешающими, их также принято называть взаимной помехой [1, 2]. Мощности всех сигналов поступающих на вход коррелятора для простоты рассуждений будем считать одинаковыми и равными P_c . При достаточно большом числе мешающих сигналов от n меток их сумму можно рассматривать как флуктуационную помеху с суммарной мощностью $P_c(n-1)$ и спектральной плотностью $\frac{P_c(n-1)}{F}$. Наличие взаимной

помехи на входе приемника является отличительной особенностью в асинхронных системах передачи информации, она заложена в самом принципе построения системы [2]. Вследствие этого оценивать энергетический потенциал системы необходимо не только с учетом собственных шумов приемника, но и принимая во внимание взаимные помехи, которые, как правило, во много раз превосходят собственные шумы.

Известно [1, 2], помехоустойчивость систем связи использующих шумоподобные сигналы определяется соотношением, которое связывает отношение сигнал/шум на выходе приемника q^2 с отношением сигнал/шум на входе приемника p^2 :

$$q^2 = 2Bp^2, \quad (4)$$

или

$$h^2 = Bp^2, \quad (5)$$

где B – база сигнала.

Отношение (5) полностью характеризует помехоустойчивость приема информационного сигнала на фоне нормального случайного процесса с равномерной спектральной плотностью мощности.

Поскольку все сигналы передаются в общей полосе частот, на входе приемника одного из сигналов мощность взаимной помехи в данном канале связи будет равна:

$$P_{\text{ш}} = \sum_{i=1}^{n-1} (P_c)_i \quad (6)$$

Считаем, что взаимная помеха (6) имеет равномерную спектральную плотность мощности в пределах общей полосы частот.

Тогда суммарная спектральная плотность мощности взаимных помех будет равна:

$$N_{\Sigma} = N_0 + \frac{(n-1)P_c}{F}, \quad (7)$$

где N_0 – спектральная плотность мощности флуктуационных шумов действующих в системе.

Выразив из (6) и (7) максимально допустимое число одновременно работающих меток в одном канале связи при заданном значении сигнал/шум получим:

$$n_{\text{max}} \leq \left[\frac{FT}{h^2} - \frac{FT}{h_0^2} \right] + 1, \quad (8)$$

где $|a|$ – целая часть числа a ,
 h^2 – необходимое соотношение сигнал/шум для заданной вероятности ошибки Рош.

Как известно [1,4,5], при поэлементном некогерентном приеме дискретной информации вероятность ошибки определяется выражением:

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} e^{-\frac{h^2}{2}} \quad (9)$$

Из (8) и (9) следует, что при любом отношении сигнал/шум можно подобрать такое значение базы сигнала, которое обеспечит требуемое для получения заданной достоверности приема значение h^2 .

Так же при проектировании новых систем RFID необходимо учитывать электромагнитную совместимость систем (ЭМС) связи. На сегодняшний день постоянное увеличение плотности размещения радиоэлектронных средств при ограниченном частотном ресурсе приводит к увеличению роста взаимных помех, нарушая нормальную работу этих средств. Принимая за достаточно низкий уровень в -7дБ по отношению к тепловому шуму: $N_{\Sigma}/N_0 \leq 0,2$, подстановка

$N_{\Sigma} = P/F = E/FT$ в последнее соотношение приводит к критерию ЭМС [6]:

$$\zeta = E/FTN_0 \leq 0,2 \quad (10)$$

где искомый параметр определен в терминах отношения сигнал/шум «своего приемника» и выигрыша от базы сигнала FT .

Для того, чтобы оценить на этапе проектирования электромагнитную обстановку и принять решение о том, будет ли обеспечена ЭМС, необходимо также руководствоваться требованиями международных и национальных нормативных документов.

Определим время необходимое для передачи информации $T_{\text{чт}}$. Как указывалось выше база сигнала B количественно определяется числом символов ПСП, укладываемых на длительность информационной

сигнала. Следовательно, время необходимое для передачи Q бит информации может быть определено как:

$$T_{\text{чт}} = Q \cdot B \cdot \tau_0 = N_{\text{ПСП}} \cdot \tau_0, \quad (11)$$

где НПСП – количество чипов длинной ПСП;

Время считывания информации как видно из (11) может варьироваться в широком диапазоне в зависимости от базы сигнала B и длительности одного чипа τ_0 . С увеличением базы сигнала увеличивается криптографическая стойкость системы [7], однако это в свою очередь приводит к снижению скорости считывания информации.

Количество меток n_m считываемых одним коррелятором за заданный промежуток времени λ будет равно:

$$n_m = \frac{\lambda}{T_{\text{чт}}}. \quad (12)$$

Количество меток считываемых всей системой радиочастотной идентификации за заданный промежуток времени определяется соотношением:

$$n_{\Sigma} = n_m \cdot K, \quad (13)$$

где K – количество корреляторов.

В соответствии со сформулированными требованиями системного характера предлагается следующая математическая модель системы RFID с кодовым разделением каналов на основе широкополосной технологии. В рамках данной модели предполагаются известными следующие данные: n_{T3} – желаемое количество идентифицированных меток в поле ридера; Q – объем данных на метке; $P_{\text{ош}}$ – вероятность ошибки чтения; h_2 – соотношение сигнал-шум; r – радиус действия системы; F – максимальная полоса частот.

В процессе решения задачи нахождения оптимального варианта построения и оптимальных параметров системы радиочастотной идентификации необходимо обеспечить расчет следующих параметров F , B , НПСП, P_c , n_{Σ} , K . Математическую модель системы можно представить в виде кортежа:

$$S = \langle F, N_{\text{ПСП}}, B, P_c, n_{\Sigma}, K \rangle, \quad (14)$$

где элементы кортежа определяются по выше приведенным формулам. При этом необходимо учитывать ряд следующих важнейших ограничений в виде неравенств: мощность передатчика P_c , радиус действия проектируемой системы, уровень взаимных помех в системе, возможное количество кодовых последовательностей с заданными корреляционными свойствами, максимально допустимое число одновременно работающих меток в зоне работы ридера, соотношение сигнал/шум в зависимости от вероятности ошибки.

Полученная математическая модель в соответствии с условиями, формализованными неравенствами, позволяет рассчитать основные параметры системы радиочастотной идентификации. Так как все параметры взаимосвязаны, то изменение состояния любого из них приводит к возникновению изменений других. Возможно множество решений данной задачи, следовательно, расчет искомым параметров целесообразно осуществить в ходе решения оптимизационной задачи, обеспечивая минимум или максимум предварительно выбранного критерия качества (оптимальности) системы.

Выводы

- предложена математическая модель системы RFID с кодовым разделением каналов для сокращения сроков разработки, повышения качества проектирования и возможности автоматизации процесса создания новых систем RFID, обладающих высокими требованиями к структурной скрытности и достоверности передаваемой информации.
- разработанная математическая модель позволяет учесть основные параметры проектируемой системы, определить важность каждого из параметров, значимость их для исследуемой системы передачи информации, а также выявить взаимосвязь между этими параметрами.
- построенная математическая модель может быть использована для проведения анализа исследуемой системы радиочастотной идентификации и автоматизации проектирования новых систем.

Литература

1. Варакин, Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами [Текст] / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
2. Феер, К. Беспроводная цифровая связь [Текст] / К. Феер. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
3. Бунин, С.Г. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью [Текст] / С.Г. Бунин, А.П. Войтер. – К.: Тэхника, 1989. – 232 с.
4. Прокис, Дж. Цифровая связь. [Текст] / Дж. Прокис. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
5. Столлингс, В. Беспроводные линии связи и сети [Текст] / В. Столлингс. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.
6. Berg, O. Spread Spectrum in Mobile Communication, [Текст] / O. Berg, T. Berg, S. Haavik, J. Hjelmsstad, R. Skaug IEE, London, 1998. – 480 с.
7. Ипатов, В. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения [Текст] / В. Ипатов. – М.: Техносфера, 2007. – 488 с.
8. Финкенцеллер, К. Справочник по RFID. теоретические основы и практическое применение индуктивных радиоустройств, транспондеров и бесконтактных чип-карт [Текст] / К. Финкенцеллер – М.: Додэка-XXI, 2008. – 496 с.