

文章编号:1004-9037(2013)03-0319-05

多维编码逐维识别 RFID 防碰撞算法

李致金¹ 周 杰¹ 乔 杰¹ 吴文娟²

(1. 南京信息工程大学电子与信息工程学院, 南京, 210044; 2. 南京林业大学理学院, 南京, 210017)

摘要:提出了多维编码逐维识别(Multi-dimension code and gradual-dimension identification, MDC-GDI)防碰撞算法, 多维编码在每维中有且只有1个1。发生碰撞时, 由于多维编码的特点, 系统自动识别每维的碰撞数据, 并逐个呼叫碰撞编码, 完成对阅读器内所有标签的呼叫。分析算法表明, 该算法在阅读器范围内标签较多时, 在呼叫次数和呼叫所传输数据量方面具有较大的改善。随着标签碰撞的增多, 呼叫每个标签的平均次数趋近4/3, 呼叫所传输的数据趋近8位, 因此更适用于无线射频识别(Radio frequency identification, RFID)防碰撞协议。

关键词:无线射频识别; 逐维识别; 多维编码; 防碰撞

中图分类号: TN92

文献标志码: A

RFID Anti-collision Algorithms Based on Multi-Dimension Code and Gradual-Dimension Identification

Li Zhijin¹, Zhou Jie¹, Qiao Jie¹, Wu Wenjuan²

(1. College of Electronic & Information Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, 210044, China;

2. College of Science, Nanjing Forestry University, Nanjing, 210017, China)

Abstract: The multi-dimension code and gradual-dimension identification (MDC-GDI) algorithm is proposed. There is only one “1” in each dimension code of MDC. The reader can recognize the collided MDC according to the characteristics of MDC while collision happening, and it returns to other collided MDC gradually to recognize all the tags. When the collided tags become more and more, the time searching for tags decrease by using the MDC-GDI algorithm as well as the data tranfered between reader and tags. With the increase of collided tags, the AVG times searching for one tag approach to 4/3, which is a limit, and the data between reader and tag tend to be 8 bit. So, the algorithms is suitable for radio frequency identification (RFID) anti-collision protocol.

Key words: radio frequency identification (RFID); gradual-dimension identification; multi-dimension code; anti-collision

引 言

无线射频识别(Radio frequency identification, RFID)^[1], 利用射频信号通过交变磁场或电磁场实现无接触的双向通信。RFID射频识别技术的一个主要优点就是阅读器范围内的多目标识别。在系统工作的时候, 阅读器周围可能会有多个标签同时存在, 每个标签含有可被识别的唯一信息(编码), 在信道共用、信号频率相同的情况下, 当多

个标签同时向阅读器传送数据时就产生了各信号之间相互干扰, 即产生数据碰撞^[2-3]。目前防碰撞算法以时分多址法应用最为广泛, 主要分为 Aloha 算法和二叉树(Binary tree, BT)算法。文献[4]提出了二叉搜索树(Binary search, BS)算法, 文献[5-10]中提出了动态二叉树搜索算法及二叉树改进算法, 减少了数据传输时间, 但碰撞较多时估计并不准确。文献[11-12]提出了基于广义地址码和时隙预测的防碰撞算法, 克服了二进制算法和单纯 Aloha 算法吞吐量不高的缺点。文献[13]提出了

时隙不完全竞争防碰撞算法,使漏读率和平均碰撞次数明显降低。文献[14-15]提出了基于分段搜索的多 RFID 标签抗冲突方法,节省了每次查询发送的回传标签长度。文献[16]提出了锁位的概念,通过锁位寻呼指令锁定碰撞发生比特位置,在锁定的碰撞位上进行防碰撞运算,采用后退策略识别碰撞节点下一个分支内的所有标签。这些算法都在一定程度上改进或提高了识别效率。

本文在研究目前算法的基础上,提出了基于多维编码-逐维识别的防碰撞算法,本算法在阅读器范围内标签较多时,在平均寻呼次数和发送数据量两方面均有较好的改善。

1 多维编码逐维解码搜索算法

1.1 多维编码基本原理

以 8 位二进制代码为例,多维编码将 256 个标签分成 4 维,采用 16 位多维数进行编码。第 1 维 4 位代码,取值为 0001,0010,0100,1000,权分别为 $0 \times 1, 1 \times 1, 2 \times 1, 3 \times 1$, 记为 Q_i^1, i 取值为 0(0001), 1(0010), 2(0100), 3(1000)。第 2 维 4 位代码,取值为 0001,0010,0100,1000,权分别为 $0 \times 4, 1 \times 4, 2 \times 4, 3 \times 4$, 记为 Q_j^2, j 取值为 0(0001), 1(0010), 2(0100), 3(1000)。第 3 维 4 位代码,取值为 0001,0010,0100,1000,权分别为 $0 \times 16, 1 \times 16, 2 \times 16, 3 \times 16$, 记为 Q_m^3, m 取值为 0(0001), 1(0010), 2(0100), 3(1000)。第 4 维 4 位代码,取值为 0001,0010,0100,1000,权分别为 $0 \times 64, 1 \times 64, 2 \times 64, 3 \times 64$, 记为 Q_n^4, n 取值为 0(0001), 1(0010), 2(0100), 3(1000)。多维编码与十进制数值转换关系式为

$$D = Q_n^4 + Q_m^3 + Q_j^2 + Q_i^1 \quad (1)$$

式中: i, j, m, n 为每维所对应的代码十进制数值, 0, 1, 2, 3。

例如多维编码 0001000100010001, 表示 $0 \times 64 + 0 \times 16 + 0 \times 4 + 0 \times 1 = 0$, 即表示第 0 个标签, 1000100010001000, 表示 $3 \times 64 + 3 \times 16 + 3 \times 4 + 3 \times 1 = 192 + 48 + 12 + 3 = 255$, 即第 255 个标签。多维编码的最大特点是,每维编码在不同维中只有 1 个 1, 每个编码有且只有 4 个 1。

十进制数转为多维编码采用除权取商法,十进制数 187 的多维编码算法如下: $187/64$, 商为 2, 所以第 4 维编码为 0100。余数 $187 - 2 \times 64 = 59$, $59/16$, 商为 3, 所以第 3 维编码为 1000。余数 $59 - 3 \times 16 = 11$, $11/4$, 商为 2, 第 2 维编码为 0100。余数 $11 - 2 \times 4 = 3$, $3/1 = 3$, 第 1 维的编码为 1000。综合之, 187 的多维编码为 0100100001001000。

1.2 多维编码逐维解码搜索算法

为实现多维编码逐维解码搜索算法,算法中引入以下 4 种命令。

REQUEST: 阅读器请求命令。

SELECT: 标签序列号与阅读器发送的序列号相同, 选择标签。

READ-DATA: 选中的标签将与阅读器数据通信。

UNSELECT: 取消选中的标签。

算法原理如下:

假设阅读器范围内有 3 个标签, 标签 A: 10100111, 即 167 标签, 多维编码为: 0100010000101000。标签 B: 10110101, 即 181 标签, 多维编码为: 0100100000100010。标签 C: 10101111, 即 175 标签, 多维编码为: 0100010010001000。

步骤 1 发送 REQUEST(111111) 命令, 编码组成为: 前 4 位为第 4 维多维编码, 后 2 位为维数标示码, 00; 第 1 维; 01; 第 2 维; 10; 第 3 维; 11; 第 4 维。要求区域内的第 4 维所有标签应答。根据曼彻斯特解码, 第 4 维解码数据为: 0100, 即未发生碰撞。

步骤 2 发送 SELECT(010011) 命令, 要求区域内的第 4 维编码为 0100 的所有标签应答。第 3 维解码数据为: ?? 00, 即两位数据发生碰撞。根据多维编码的原则, 第 3 维编码数据必然为: 1000 和 0100。

步骤 3 发送 SELECT(100010) 命令, 要求区域内的第 3 维编码为 1000 的所有标签应答。此时只有标签 B 应答, 接收到第 2 维的解码数据为 0010, 第 2 维没有碰撞发生。

步骤 4 发送 SELECT(001001) 命令, 要求区域内的第 2 维编码为 0010 的所有标签应答。第 1 维解码数据为: 0010, 即第 1 维未发生碰撞,

步骤 5 发 SELECT(001000) 命令, 只有标签 B 应答, 因此可以确认此标签多维编码为 (0100100000100010)。阅读器对标签 B 进行读写操作 (READ-DATA) 后, 执行 UNSELECT 命令使得标签 B 进入休眠状态。

步骤 6 由于第 3 维发生碰撞, 发生碰撞的另一个第 3 维的多维编码为: 0100, 因此发送 SELECT(010010) 命令, 标签 A 和 C 应答。接收到的第 2 维解码数据为: ? 0? 0, 即两位数据发生碰撞, 第 2 维编码数据必然为: 1000 和 0010。

步骤 7 发送 SELECT(100001) 命令, 标签 C 应答, 接收到第 1 维的解码数据为 1000, 没有碰

撞。

步骤 8 发送 SELECT(100000)命令,只有标签 C 应答,因此可以确认多维编码为(0100010010001000)。阅读器对标签 C 进行读写操作(READ-DATA)后,执行 UNSELECT 命令使得标签 C 进入休眠状态。

步骤 9 由于第 2 维发生碰撞,发生碰撞的另一个第 2 维的多维编码为:0010,因此发送 SELECT(001001)命令,标签 A 应答。接收的第 1 维解码数据为:1000,即未发生碰撞。

步骤 10 发送 SELECT(100000)命令,只有标签 A 应答,因此可以确认多维编码为(0100010000101000)。阅读器对标签 A 进行读写操作(READ-DATA)后,执行 UNSELECT 命令使得标签 A 进入休眠状态。标签呼叫完毕。

该算法的实质就是先从最高维搜索,根据接收的解码数据的碰撞情况逐维识别,逐维缩小搜索的范围,直到对唯一的标签进行识别。

2 算法性能分析

由于多维编码中,每维只在不同的位上有 1,定义 B_4^m, B_3^k, B_2^j (其中 m, k, j 取值为 1, 2, 3, 4) 为第 4, 3, 2, 1 维编码中对应位的编码为 1。 B_4^m, B_3^k, B_2^j 的取值为 0 或 1, 例如, 第 4 维的编码为 0100, 则 $B_4^3=1$, 否则 $B_4^3=0$ 。在每维编码中, 只要有两个及以上编码时必然产生碰撞, 碰撞的次数即为每维中所含的标签数。定义 N_1^{mkj} 为第 4 维 m 位为 1, 第 3 维 k 位为 1, 第 2 维中编码 j 位为 1 时, 所对应的第 1 维的多维编码碰撞次数, 取值为 2, 3, 4。为计算公式统一, 定义每维编码中未发生碰撞时的取值为 1, 即 $N_1^{mkj}=1$ 。则多维编码逐维解码碰撞算法中, 阅读器识别范围内所有标签, 阅读器所要发出的呼叫次数 $C(n)$ 为

$$C(n) = 1 + \sum_{m=1}^4 B_4^m \left\{ 1 + \sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \left[1 + \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} (N_1^{mkj} + 1) \right] \right\} \quad (2)$$

例如, 上例中, 第 4 维编码为 0100, 未发生碰撞, 第 3 位编码为 1, $m=3$, 即 $B_4^3=1$; 在第 4 维编码为 0100 时, 第 3 维编码分别为 1000, 0100, 发生 2 位碰撞, 则 $m=4, k=3$, 即 $B_3^{34}=1, B_3^{33}=1$; 在第 3 维编码为 1000 时, 第 2 维编码为 0010, 未发生碰撞, 则 $j=2$, 即 $B_2^{342}=1$; 在第 2 维编码为 0010 时, $j=2$, 第 1 维编码为 0010, 未发生碰撞, 即 $N_1^{342}=1$ 。在第 3 维编码为 0100 时, 第 2 维编码为 0010, 1000, 发生 2 次碰撞, 则 $j=2, j=4$, 即 $B_2^{332}=1$,

$B_2^{334}=1$; 在第 2 维编码为 1000 时, $j=4$, 第 1 维未发生碰撞, 编码为 1000, 即 $N_1^{334}=1$ 。在第 2 维编码为 0010 时, $j=2$, 第 1 维未发生碰撞, 编码为 1000, 即 $N_1^{332}=1$ 。代入式(1), 得

$$\begin{aligned} C(n) &= 1 + B_4^3 \times \{ B_3^{34} \times [B_2^{342} \times (N_1^{342} + 1)] + \\ &\quad B_3^{33} \times [B_2^{334} \times (N_1^{334} + 1) + \\ &\quad B_2^{332} \times (N_1^{332} + 1)] + 1 \} \\ C(n) &= 1 + 1 \times \{ 1 \times [1 \times (1 + 1)] + 1 + 1 \times \\ &\quad [1 \times (1 + 1) + 1 \times (1 + 1) + 1] + 1 \} = 10 \end{aligned}$$

即阅读器呼叫次数为 10 次。下面给出式(2)的证明, 证明采用归纳法。

证明 若阅读器范围内只有 1 个标签, 未发生碰撞。阅读器第 1 次发送 REQUEST(111111)命令, 接收数据解码后是唯一的 4 位第 4 维多维编码, 不失一般性, 假设为 1000。第 2 次, 发送 SELECT(100011)命令, 接收数据解码后是唯一的 4 位第 3 维多维编码, 不失一般性, 假设为 1000。第 3 步, 发送 SELECT(100010)命令, 接收数据解码后是唯一的 4 位第 2 维多维编码, 不失一般性, 假设为 1000。第 4 步, 发送 SELECT(100001)命令, 接收数据解码后是唯一的 4 位第 1 维多维编码, 不失一般性, 假设为 1000。第 5 步, 发送 SELECT(100000)命令, 标签应答, 阅读器总共发送 5 次呼叫。式(2)中, $B_4^m, B_3^{mk}, B_2^{mkj}, N_1^{mkj}$ 均为 1, 式(2) = 5, 即阅读器需要 5 次呼叫, 相等。

若阅读器范围内有 n 个标签, 不失一般性, 设第 1 维碰撞的次数 $N_1^{444}=x$, 式(2)成立。则

$$\begin{aligned} C(n) &= 1 + \sum_{m=1}^4 B_4^m \left\{ 1 + \sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \left[1 + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} (N_1^{mkj} + 1) \right] \right\} = \\ &= 1 + (B_4^4 B_3^4 B_2^4 N_1^{444} + \dots) = \\ &= 1 + (B_4^4 B_3^4 B_2^4 x + \dots) \quad (3) \end{aligned}$$

若阅读器范围内有 $(n+1)$ 个电子标签, 由多维编码的特性, 第 1 维碰撞的次数 $N_1^{444}=x+1$ 。由于多出 1 标签在第 1 维, 因此, 阅读器呼叫次数比 n 个标签呼叫次数多出 1 次, 即

$$C(n+1) = C(n) + 1 \quad (4)$$

将 $N_1^{444}=x+1$ 代入式(2), 得

$$\begin{aligned} C(n+1) &= 1 + \sum_{m=1}^4 B_4^m \left\{ 1 + \sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \left[1 + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \sum_{j=2}^4 B_2^{mkj} (N_1^{mkj} + 1) \right] \right\} = \\ &= 1 + (B_4^4 B_3^4 B_2^4 x + B_4^4 B_3^4 B_2^4 \times 1 + \dots) = \\ &= 1 + (B_4^4 B_3^4 B_2^4 x + 1 + \dots) = C(n) + 1 \end{aligned}$$

所以, 式(2)结论成立, 证毕。

式(2)为阅读器搜索范围内所有标签所要发出的总呼叫次数,阅读器范围内标签数为

$$T(n) = \sum_{m=1}^4 B_4^m \sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} N_1^{mkj} \quad (5)$$

则阅读器搜索每个标签的平均呼叫次数为

$$\overline{C(n)} = \frac{C(n)}{T(n)} = \frac{1 + \sum_{m=1}^4 B_4^m \left\{ \sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \left[\sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} (N_1^{mkj} + 1) + 1 \right] + 1 \right\}}{\sum_{m=1}^4 B_4^m \sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} N_1^{mkj}} = 1 + \frac{1}{N_1^{mkj}} + \frac{1}{\sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} N_1^{mkj}} + \frac{1}{\sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} N_1^{mkj}} + \frac{1}{\sum_{m=1}^4 B_4^m \sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} N_1^{mkj}} \quad (6)$$

分析式(6),若阅读器范围内只有一个标签,未发生碰撞,则 $B_4^m, B_3^{mk}, B_2^{mkj}, N_1^{mkj}$ 均为 1,式(6) = 5,即阅读器需要 5 次呼叫,即呼叫次数最大。当发生碰撞时,平均呼叫次数随着 $\sum_{m=1}^4 B_4^m, \sum_{k=1}^4 B_3^{mk}, \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj}, N_1^{mkj}$ 的增大而减小,当 $\sum_{m=1}^4 B_4^m, \sum_{k=1}^4 B_3^{mk}, \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj}, N_1^{mkj}$ 增加到最大值 4,即发生全碰撞时,平均呼叫次数最小,最小值为

$$\begin{aligned} \overline{C(n)} &= 1 + \frac{1}{N_1^{mkj}} + \frac{1}{\sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} N_1^{mkj}} + \frac{1}{\sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} N_1^{mkj}} + \frac{1}{\sum_{m=1}^4 B_4^m \sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} N_1^{mkj}} \\ &= 1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4 \times 4} + \frac{1}{4 \times 4 \times 4} + \frac{1}{4 \times 4 \times 4 \times 4} = \frac{1}{4^0} + \frac{1}{4^1} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{4^3} + \frac{1}{4^4} = \sum_{i=0}^4 \frac{4^i}{4^4} = 1.332 \end{aligned}$$

以上介绍了 4 维编码解码的原理,如果标签继续增多,超过 256 个,可以采用 5 维编码,5 维编码最多可编码 1 024 个标签。多维编码与十进制数的转换关系为

$$D = Q_{256}^l + Q_{64}^m + Q_{16}^n + Q_i + Q_j$$

式中 i, j, l, m, n 为每维所对应的代码十进制数值, $0, 1, 2, 3$ 。

标签数和多维编码维数 d 的关系为

$$T(n) = 4^d \quad d = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (7)$$

式中, d 为多维编码的维数。

式(6)中,标签数增多,维数增加,搜索一个标签的平均呼叫次数

$$\begin{aligned} \overline{C(n)} &= 1 + \frac{1}{N_1^{mkj}} + \frac{1}{\sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} N_1^{mkj}} + \frac{1}{\sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} N_1^{mkj}} + \frac{1}{\sum_{m=1}^4 B_4^m \sum_{k=1}^4 B_3^{mk} \sum_{j=1}^4 B_2^{mkj} N_1^{mkj}} + \dots + \frac{1}{\sum_{\lambda=1}^4 B_d^{\lambda \dots} \sum_{m=1}^4 B_4^{\lambda \dots m} \sum_{k=1}^4 B_3^{\lambda \dots mk} \sum_{j=1}^4 B_2^{\lambda \dots mkj} N_1^{\lambda \dots mkj}} \quad (8) \end{aligned}$$

可以看出,随着标签数即维数的增多,搜索一个标签的平均呼叫次数增大,最大的平均呼叫次数趋于

$$\begin{aligned} \overline{C(n)} &= \lim_{d \rightarrow \infty} \left\{ 1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4 \times 4} + \frac{1}{4 \times 4 \times 4} + \frac{1}{4 \times 4 \times 4 \times 4} + \dots + \frac{1}{4^d} \right\} = \\ &= \lim_{d \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{4^0} + \frac{1}{4^1} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{4^3} + \frac{1}{4^4} + \dots + \frac{1}{4^d} \right\} = \frac{4}{3} \quad (9) \end{aligned}$$

3 结束语

本文提出了多维编码的原理,在多维编码的基础上,提出了 RFID 防碰撞算法,即多维编码逐维识别(MDC-GDI)防碰撞算法。分析式(8) $\overline{C(n)}$, 可得出如下结论:采用多维编码逐维解码的算法,未发生碰撞时,呼叫次数为 5,为最大值,阅读器发送的数据量为 $6 \times 5 = 30$ 。随着碰撞次数的增多,搜索每个电子标签平均呼叫次数按式(8)逐渐减小。并且,采用多维编码逐维解码的搜索算法时,每次阅读器发送的寻址数据为 6 位。当一个区域内有 256 个标签,即 8 位二进制数全碰撞时,采用多维编码逐维解码的搜索算法,呼叫次数为 1.332,阅读器发送的数据量为 $6 \times 1.332 = 8$ bits,即相当于 ALOHA 算法及二叉树搜索算法发送一次数据(8 bit)的数据量。当无穷多个标签发生全碰撞时,呼叫每个标签的平均呼叫次数的极限值为 $4/3$,阅读器发送的平均寻址数据为 $6 \times 4/3 = 8$,阅读器发送的平均寻址数据趋于一个与维数有关的数。因此,多维编码逐维识别防碰撞算法在阅读器

范围内电子标签数量较多,即碰撞次数较多时,阅读器每发送 8 bits 数据即可呼叫一个标签,大大地提高了搜索的效率,具有很强的实用价值。

参考文献:

- [1] Yoon W J, Chung S H, Lee S J. Implementation and performance evaluation of an active RFID system for fast tag collection[J]. *Computer Communications*, 2008,31(17):4107-4116.
- [2] 高飞,薛燕明,王爱华,等. 物联网核心技术-RFID 原理与应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2010:96-101.
Gao Fei, Xue Yanming, Wang Aihua, et al. The core-technology of the internet of things—The application & principle of RFID[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2010:96-101.
- [3] 栗华,王洪君,刘璐,等. 超高频射频识别标签数据盲分离算法[J]. *数据采集与处理*, 2011,26(6):631-636.
Li Hua, Wang Hongjun, Liu Ju. Blind separation algorithm for UHF RFID tags data[J]. *Journal of Data Acquisition and Processing*, 2011,26(6):631-636.
- [4] Finkenzeller K. RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification[M]. 2nd ed. New Jersey: John Wiley and Sons Ltd, 2003.
- [5] Bonuccelli A, Martellif L. Tree slotted aloha: a new protocol for tag identification in RFID networks [C]//Proc of IEEE Int Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. [S. l.]: IEEE, 2006:603-608.
- [6] Wang C C, Derryberry J, Sleator D D. $O(\log\log n)$ competitive dynamic binary search trees [C]//Proceedings of the Seventeenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithm. [S. l.]: ACM, 2006:374-383.
- [7] Choi J S, Lee H, Engels D W. Robust and dynamic bin slotted anti-collision algorithms in RFID systems [C]//Proc of IEEE International Conference on RFID. [S. l.]: IEEE Press, 2008:191-198.
- [8] 王必胜,张其善. 可并行识别的超高频 RFID 系统防碰撞性能研究[J]. *通信学报*, 2009,30(6):108-113.
Wang Bisheng, Zhang Qishan. Study of anti-collision performance in parallelizable identification UHF RFID system[J]. *Journal of Communication*, 2009,30(6):108-113.
- [9] 侯晓波,孙玲玲. RFID 二进制防碰撞算法研究与改进[J]. *杭州电子科技大学学报*, 2009,29(3):16-19.
Hou Xiaobo, Sun Lingling. The research and improvement of binary anti-collision algorithm in RFID [J]. *Journal of Hangzhou Dianzi University*, 2009,29(3):16-19.
- [10] EOM J, LEE T. Accurate tag estimation for dynamic framed-slotted ALOHA in RFID systems [J]. *IEEE Communication Letters*, 2010,14(1):60-62.
- [11] 李泽兰,何怡刚,刘拓晟. 基于广义地址码的 RFID 防碰撞算法[J]. *计算机测量与控制*, 2010,18(5):1114-1117.
Li Zelan, He Yigang, Liu Tuosheng. An anti-collision algorithm on new spreading code in RFID[J]. *Computer Measurement & Control*, 2010,18(5):1114-1117.
- [12] 李萌,钱志鸿,张旭,等. 基于时隙预测的 RFID 防碰撞 ALOHA 算法[J]. *通信学报*, 2011,32(12):43-50.
Li Meng, Qian Zhihong, Zhang Xu, et al. Slot predicting based ALOHA algorithm for RFID anti collision[J]. *Journal of Communication*, 2011,32(12):43-50.
- [13] 杨坤,冷甦鹏. RFID 系统时隙不完全竞争防碰撞算法[J]. *计算机工程*, 2011,37(1):260-262.
Yang Kun, Leng Supeng. Slot partial competitive anti-collision algorithm for RFID system[J]. *Computer Engineering*, 2011,37(1):260-262.
- [14] 朱军,张元,卢小冬,等. 基于分段搜索的多 RFID 标签抗冲突方法 [J]. *计算机应用研究*, 2011,28(3):1031-1033.
Zhu Jun, Zhang Yuan, Lu Xiaodong, et al. Anti-collision method of multi-RFID tags based on segmental search [J]. *Application Research of Computers*, 2011,28(3):1031-1033.
- [15] 李世煜,冯全源. 分层深度搜索树型 RFID 防碰撞算法设计[J]. *计算机工程与应用*, 2009,45(11):82-84.
Li Shiyu, Feng Quanyuan. Delaminating deepness searching tree anti-collision algorithm in RFID system [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2009,45(11):82-84.
- [16] 王雪,钱志鸿,胡正超,等. 基于二叉树的 RFID 防碰撞算法的研究[J]. *通信学报*, 2010,31(6):49-50.
Wang Xue, Qian Zhihong, Hu Zhengchao, et al. Research on RFID anti-collision algorithms based on binary trees[J]. *Journal of Communication*, 2010,31(6):49-50.

作者简介:李致金(1972-),男,讲师,研究方向:信号处理与智能信息系统, E-mail: lizhijin@nuist.edu.cn; 周杰(1963-),男,教授,研究方向:信号处理与微波通信; 乔杰(1979-),男,博士,研究方向:语音信号处理; 吴文娟(1979-),女,讲师,研究方向:信息处理。