

# 基于二进制树的 RFID 系统自适应多分支防碰撞算法<sup>①</sup>

崔英花<sup>②</sup>

(北京信息科技大学信息与通信工程学院 北京 100101)

**摘要** 为提高射频识别(RFID)系统的识别效率,研究了系统的标签防碰撞问题。考虑到对标签进行多分支处理能够有效地提高RFID系统标签识别效率,而传统的多分支防碰撞算法都是在标签估计的基础上对标签进行最优分组,标签估计产生的时延和误差都会影响整体的识别效率,提出了一种基于二进制树的自适应多分支(AMB)防碰撞算法。该算法根据二进制树结构特点,利用识别的标签数目对树结构中右节点标签进行估计并进行分组识别,经过多次调整的自适应多分支防碰撞算法,可以规避一次标签估计所引入的估计误差,从而提高系统的识别效率。仿真结果表明自适应多分支算法可以大大提高标签识别效率,在标签数量较大时系统效率可达43%左右。同时该算法实现简单,只需在阅读器中增加若干计数器,不需要改变任何空中接口,很容易与现有协议兼容。

**关键词** 射频识别(RFID), 防碰撞算法, 二进制树, 多分支算法, 标签估计

## 0 引言

在射频识别(radio frequency identification, RFID)通信系统中,有大量的标签与读写器进行通信,标签与标签之间、读写器与读写器之间都存在相互干扰,即所谓的碰撞问题。其中阅读器冲突是指多个阅读器同时与一个标签通信,致使标签无法区分信号来自哪个阅读器,或者相邻的阅读器同时使用相同的频率而引起的频率冲突<sup>[1]</sup>。由于读写器可以检测碰撞,并告知其他读写器,所以读写器之间的碰撞比较容易解决。考虑到标签的造价,标签的功能是非常有限的。标签不能感知其他标签的存在,也不能告知其他标签自己的存在。所以当阅读器的读写区域内同时出现多个标签时,由于多标签同时响应阅读器发出的询问指令,会造成阅读器接收信息相互冲突而无从读取标签信息,典型情况是一个标签信息也读不出来<sup>[2]</sup>。如何规定阅读器和

标签之间的通信协议,减少标签之间的碰撞,这就是RFID的一项关键技术即防碰撞技术。标签防碰撞协议的优劣决定了RFID系统识别效率的高低。

目前的多分支标签防碰撞算法,都是先对标签数目进行估计,再对未识别标签进行多分支处理<sup>[3-9]</sup>。由于标签估计需要额外的开销,标签估计的误差也会影响多分支判断的准确性,这些都降低了系统的整体识别效率。此外,这些方法往往对原有防碰撞协议的空中接口改动较大,与现有协议兼容困难。本文提出了一种自适应多分支(adaptive multiple branch, AMB)防碰撞方法,它通过在阅读器中模拟标签计数器取值的变化,来跟踪当前二进制树上标签的识别情况。记录已识别的标签数目,将其作为二进制树结构中同一深度右节点的标签估计数目,并据此对其进行分组识别。这种不断调整待识别节点标签数目的自适应方法实现简单,且能避免单次估计误差大所造成的识别效率低的问题,大大提高了系统的整体识别效率。

<sup>①</sup> 国家自然科学基金(61340005),北京市自然科学基金(4132012),北京市教委科技发展计划(KM201411232011)和北京市优秀人才培养(5211524100)资助项目。

<sup>②</sup> 女,1973年生,博士,副教授;研究方向:无线通信,射频识别,移动通信;联系人,E-mail:cui Ying\_hua@sina.com  
(收稿日期:2017-02-05)

## 1 二进制树算法分析

二进制树算法<sup>[10-14]</sup>是概率型算法,标签通过产生随机数0,1来决定自己是否与阅读器进行通信,其树形结构是由于碰撞标签不断分裂为左右两支而形成的。具体做法如下:

阅读器发出选择命令,所有标签的随机数产生器产生随机数0或1,产生0的标签发送数据给阅读器(以后是计数器为0的标签向阅读器回复数据)。产生1的标签计数器置1进入休眠状态。

阅读器接收数据,会有以下三种情况发生:

(1) 只有一个标签回复,该标签被成功识别,所有标签计数器的计数减1;

(2) 没有标签回复,所有标签计数器计数减1;

(3) 有多个标签回复,产生碰撞。这些碰撞标签的随机数产生器产生随机数0或1,产生0的标签继续发送数据给阅读器。产生1的标签的计数器置1,并进入休眠状态等待下一轮查询,其他计数器计数加1。

如此反复,直至所有标签被识别。ISO18000-6B标准采用的就是二进制树算法,其流程图如图1所示。

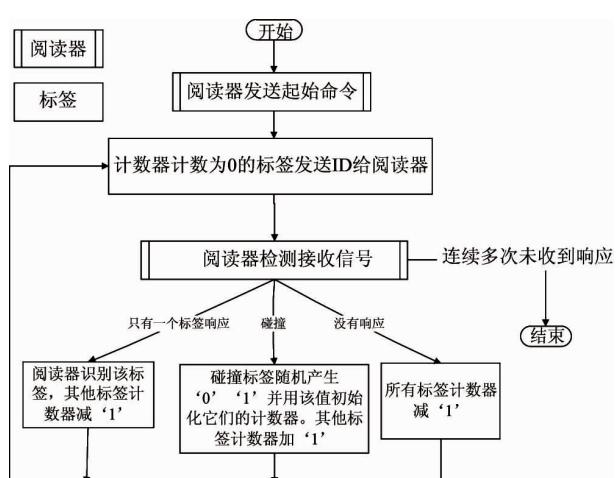


图1 二进制树算法流程图

二进制树算法识别效率如图2所示。可以看出当标签数目增大时,潜在的碰撞几率不断加大,二进制树算法的效率有所降低,其效率从44%左右快速

下降,逐渐稳定在34.8%左右。

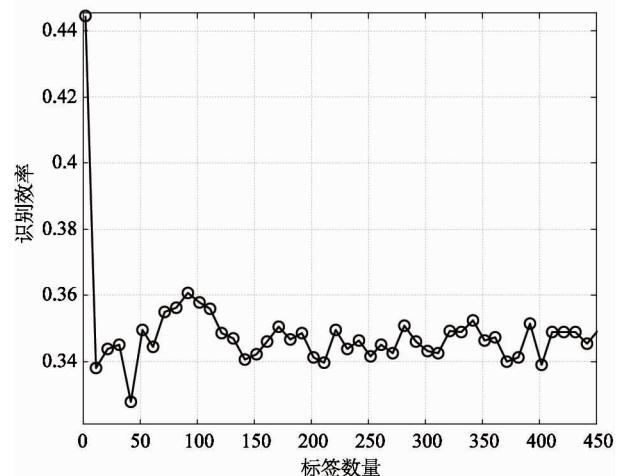


图2 二进制树算法识别效率

采用二进制树算法,经过初始几次连续碰撞后,形成如图3所示的树结构。

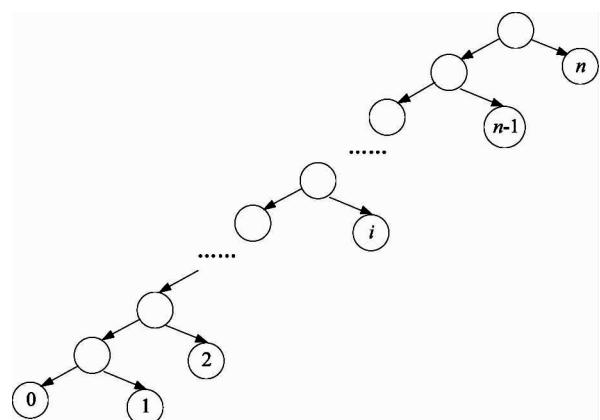


图3 二进制树算法几次连续碰撞所形成的树结构示意图

图3中空白圆圈表示碰撞节点,而标有数字的圆圈表示计数器值为该数值的标签的集合,所有具有相同计数的标签处于同一个节点。设它们分别为 $C_0, C_1, C_2, \dots, C_n$ ,其中 $C_i$ 表示计数值等于*i*的标签的集合。由于每次碰撞时标签是均匀分为左右两支的,所以当标签数目较大时,由碰撞节点分成的左右两支的标签个数应该大体是相同的,因此我们有下式成立:

$$\#C_i \approx \#C_{i-1} + \#C_{i-2} + \dots + \#C_0 \quad (1)$$

这里 $\#C_i$ 表示集合 $C_i$ 中的标签个数,只要 $\#C_i$ 是个

比较大的数值,就应有上式成立。式(1)可以由图 4 形象地表示。计数器为  $i$  的标签个数应当与左边阴影中的标签个数大体相等。

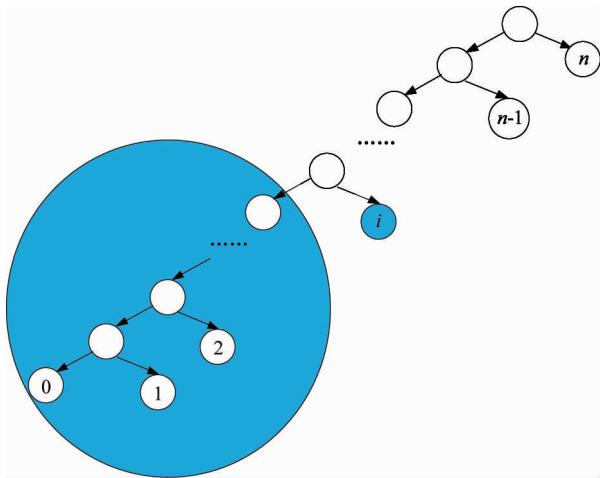


图 4 二进制树算法中每次碰撞所形成左右两支的标签个数示意图

假设图 4 中,集合  $C_0$  为空或者只有一个标签,即  $C_0$  对应于第一个没有标签回复或只有一个标签回复的节点。在识别完节点  $C_0$  后,此时记二进制树的深度为  $n$ ,如图 5 所示。计数器值最大的标签计数器取值为  $n-1$ 。

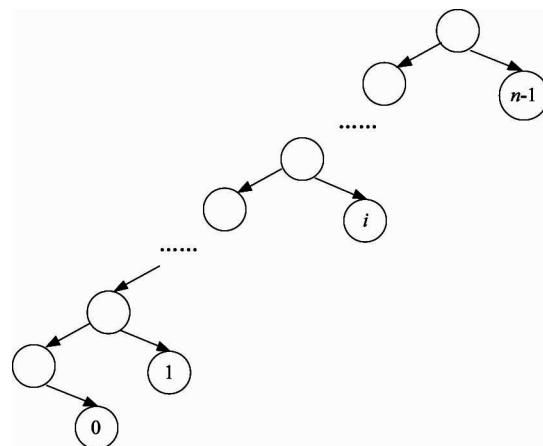


图 5 二进制树算法中识别完第一个节点后所形成的树结构

在随后的标签识别中,当把图 5 中最底层的节点识别完后,则二进制树如图 6 所示。此时二进制树的深度为  $n-1$ ,计数值最大的标签计数器取值为  $n-2$ 。以此类推,假设当前树的深度为  $m$ ,则当标签的最大计数值变为  $m-2$  时,表示已将树中最底层

的节点识别完毕,树的深度也将相应减 1。此时树的深度变为  $m-1$ ,标签的最大计数值为  $m-2$ 。这个过程反复进行,直到所有标签被识别完毕。

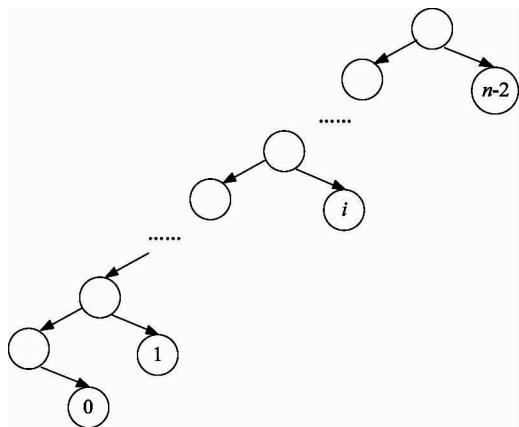


图 6 二进制树算法中识别完最底层节点后所形成的树结构

## 2 基于二进制树的自适应多分支防碰撞算法

传统的多分支标签防碰撞算法都是在标签估计的基础上,对标签进行最优分组。标签估计会产生一些时延,特别是估计误差会严重影响整体的识别效率。自适应多分支(AMB)防碰撞算法通过已识别的标签数目,对未识别的同层右节点标签进行分组识别。如此反复,直至识别完所有标签。这种多次调整的自适应分组防碰撞算法,可以规避一次标签估计所引入的估计误差,从而提高系统的识别效率。同时这种自适应的调整方法,是在标签的识别过程中进行的,没有任何额外的开销。

在图 7 所示的树结构中,在将左侧阴影各节点标签识别完毕之后,就可以用当前已识别的标签数目来估计下一个待识别节点中的标签个数。再结合多分支方法,对该节点进行分组识别,就可以大大提高识别效率。在文献[15]中证明,当标签个数为  $n$  时,最优分支个数为  $N = \lceil 0.84n \rceil$ , $\lceil \cdot \rceil$  表示取整。因此自适应多分支算法使用当前已识别的标签数目作为右侧同级节点中标签个数的估计值  $n$ ,并采用  $N = \lceil 0.84n \rceil$  对该节点进行多分支处理,然后对每一个分支采用二进制算法进行识别。

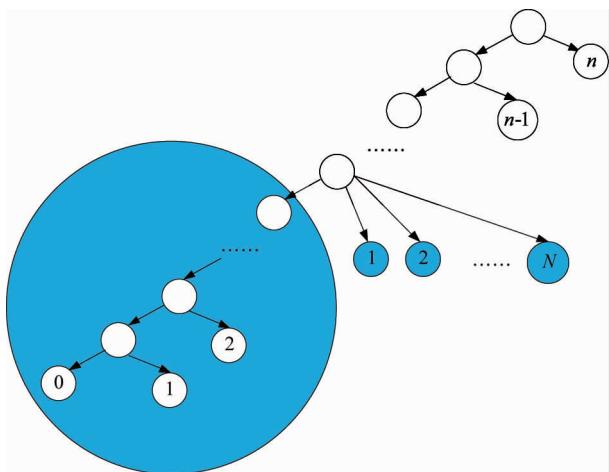


图7 用自适应多分支算法对阴影右侧同级节点进行多分支处理

### 3 自适应多分支防碰撞算法具体实现方法

为实现该方法需要在阅读器中增加三个计数器  $S1, S2, R$ , 其计数分别表示为  $S1, S2, R$ 。其中  $R$  用来记录已识别的标签数目。 $S1$  在识别过程中根据标签的碰撞情况做相应的同步变化;另一个计数器  $S2$  用来记录树的深度(或层数),当  $S2 - S1 = 1$  时,表明最底层的标签已识别完毕,树的深度减1,将进入下一层识别。当  $S1$  变为 0 时, $S2$  也将减少为 0, 表示当前所有标签识别完毕,结束查询。具体流程如图 8 所示。阅读器计数器  $S1$  初始化值为 1, $S2$  初始值为 0, $R$  用来记录已被识别的标签数目,初始值

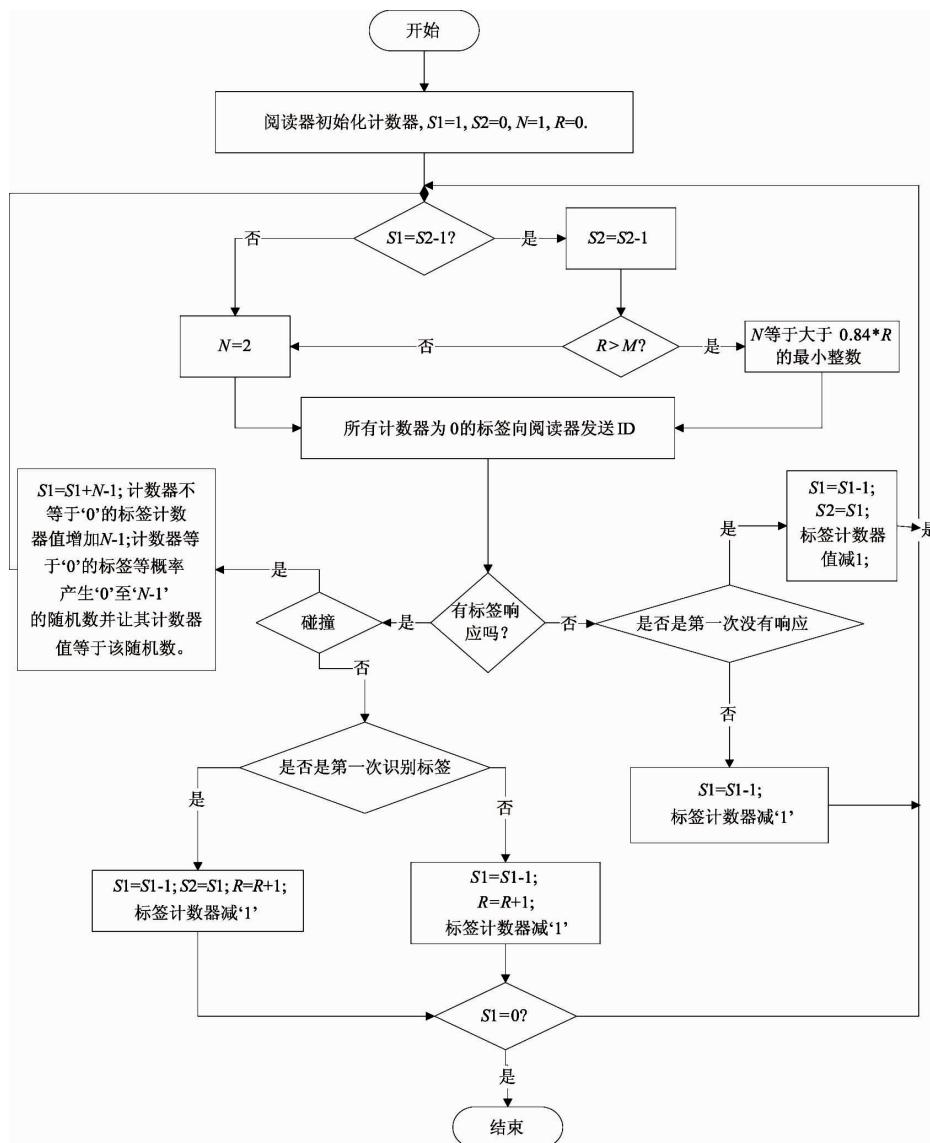


图8 自适应多分支算法的流程图

为 0。当识别标签数  $R > M$  时, 将对下一个待识别节点中的标签进行多分支处理。其中,  $R$  为已识别标签个数,  $M$  为预设值, 当  $R$  大于该值时, 才对下一个节点作分支处理, 因为只有识别的标签个数大到一定程度时, 用已识别的标签来估计要识别的标签才有统计意义。

## 4 仿真结果

图 9 对自适应多分支算法与二进制树算法作了效率比较。其中,  $M = 3$ , 每个标签数仿真 10 次。可以看出, 自适应多分支算法效率很高, 当标签数量较小时, 效率较低, 但也在 38% 之上, 仍远远高于二进制树算法。当标签数量很大时, 系统效率在 43% 左右。这是由于自适应多分支算法在每组标签进行多分支之前, 使用已识别标签数目来对同级右侧标签进行估计, 当标签数量比较大时, 其统计样本量较多, 这样估计出来的标签值越接近于真实值, 因此可以获得较高的识别率。

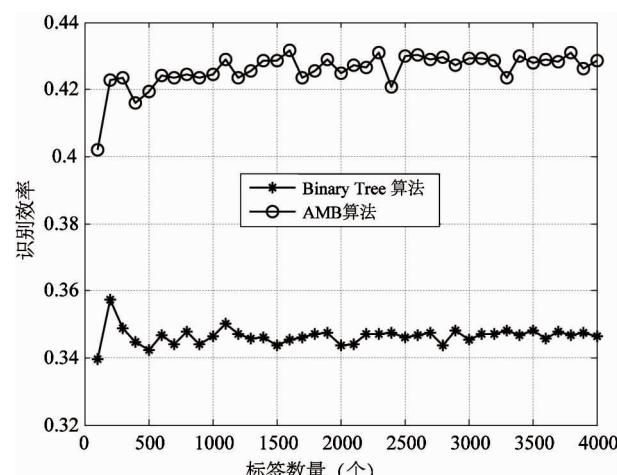


图 9 自适应多分支算法与二进制树算法效率比较图

## 5 结论

传统的多分支防碰撞算法都是在标签估计的基础上, 对标签进行最优分组。标签估计会产生一些时延, 特别是估计误差会严重影响整体的识别效率。自适应多分支(AMB)算法通过已识别的标签数目, 对树结构中未识别的同层标签进行估计并进行分组

识别。每识别完一组标签后, 都可以根据新的已识别标签数目, 对同层的另一组标签重新进行估计和分组识别。这种多次调整的自适应分组防碰撞算法, 可以规避一次标签估计所引入的估计误差, 从而提高系统的识别效率。仿真结果表明该方法可以大大提高标签识别效率, 在标签数量较大时系统效率可达 43% 左右。同时该算法实现简单, 只需在阅读器中增加若干计数器, 不需要改变任何空中接口, 很容易与现有协议兼容。

## 参考文献

- [1] Engels D W, Sarma S E. The reader collision problem. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Yasmine Hammamet, Tunisia, 2002, 3: 6-6
- [2] Shih D H, Sun P L, Yen D C, et al. Taxonomy and survey of RFID anti-collision protocols. *Computer Communications*, 2006, 29: 2150-2166
- [3] Floerkemeier C. Transmission control scheme for fast RFID object identification. In: Proceedings of International Conference Pervasive Computing Communications Workshops, Pisa, Italy, 2006. 457-462
- [4] Zhen B, Kobayashi M, Shimizu M. Framed ALOHA for multiple RFID objects identification. *IEICE Transactions on Communications*, 2005, E80-B(3): 991-999
- [5] Park J, Chung M Y, Lee T J. Identification of RFID tags in framed-slotted ALOHA with tag estimation and binary splitting. In: Proceedings of the HUT-ICCE 1st International Conference on Communications and Electronics, Hanoi, Vietnam, 2006. 368-372
- [6] Cha J R, Kim J H. Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system. In: Proceedings of International Conference on Parallel and Distributed Systems Computing, Fukuoka, Japan, 2005, 2: 63-67
- [7] Hwang T W, Lee B G, Kim Y S, et al. Improved anti-collision scheme for high speed identification in RFID system. In: Proceedings of the 1st International Conference on Innovative Computing, Information and Control, Beijing, China, 2006, 2006. 449-452
- [8] Park J, Chung M Y, Lee T J. Identification of RFID tags in framed-slotted ALOHA with robust estimation and binary selection. *IEEE Communications Letters*, 2007, 11

(5) : 452-454

- [9] 崔英花,赵玉萍. 基于标签估计的动态最优多分支搜索防碰撞算法. 高技术通讯, 2010, 20(8):771-777
- [10] International Organization for Standardization. Information Technology-Radio Frequency Identification for Item Management-part 6: Parameters for Air Interface Communications at 860MHZ to 960MHz. ISO/IEC 18000-6, 2013
- [11] International Organization for Standardization. Information Technology-Radio Frequency Identification for Item Management-Part 4: Parameters for Air Interface Communications at 2.45GHz. ISO/IEC 18000-4, 2013
- [12] Weis S, Sarma S, Rivest R, et al. Security and privacy aspects of low-cost radio frequency identification systems.

In: Proceedings of the 1st Annual Conference on Security in Pervasive Computing, 2003. 201-212

- [13] Abraham C, Ahuja V, Ghosh A K, et al. Inventory management using passive FRID tags: a survey: [ Technical Report]. Department of Computer Science, University of Texas at Dallas, Richardson, 2002. 1-16
- [14] Janssen J E M, Jong M J M. Analysis of contention tree algorithms. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2000, 46(6): 2163-2172
- [15] Cui Y H, Zhao Y P. Performance evaluation of a multi-branch tree algorithm in RFID. *IEEE Transactions on Communications*, 2010, 58(5): 1356-1364

## An adaptive multiple branche ( AMB ) anti-collision algorithm based on binary tree in RFID

Cui Yinghua

(School of Information and Communication Engineering, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100101)

### Abstract

To improve the identification efficiency of radio frequency identification (RFID) systems, the anti-collision problem of the systems was studied. Considering that dividing tags into multiple branches can efficiently improve the tags identification efficiency in RFID systems, while the conventional anti-collision algorithms based on multiple branch usually choose the optimal branches based on the tag number estimation, and the estimation delay and error can affect the identification efficiency, an adaptive multiple branche (AMB) algorithm for anti-collision based on binary tree was proposed. The algolrithm uses the number of the identified tags to estimate the tags in the right node of a binary tree in the same level according to the characters of binary tree and chooses the optimal branches, then executes this repeatedly, the system identification efficiency can be improved by avoiding the estimation error caused by only once tag number estimation. The simulation result shows that the AMB algorithm can improve the system identification efficiency, which reaches 43% when in large tag number quantity. Meanwhile, the algorithm is compatible with the existing protocols by only adding several counters in the reader and without changing any air interface protocol.

**Key words:** radio frequency identification (RFID), anti-collision algorithm, binary tree, multiple tree algorithm, tag estimation