

RFID 系统防碰撞协议研究——设计与优化

王建伟^① 赵玉萍^① Timo Korhonen^②

^①(北京大学信息科学与技术学院 北京 100871)

^②(赫尔辛基理工大学通信实验室 Espoo 02150 芬兰)

摘要: 碰撞问题是影响射频识别(RFID)系统读取效率的关键问题。该文提出了两种新的防碰撞协议——CDCA 协议和 CDCA-2D 协议,并且对两种协议进行了详细的理论分析和优化。新协议将 RFID 系统的读取过程分为两个阶段,利用第 1 阶段的碰撞检测信息实现在第 2 个阶段的无碰撞通信。仿真结果表明,和目前国际上流行的 RFID 防碰撞算法相比,两种新协议极大地提高了读取的效率。

关键词: 射频识别; 防碰撞; 碰撞检测

中图分类号: TN91

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)01-0001-04

Research on Anti-collision Protocols in RFID Systems——Design and Optimization

Wang Jian-wei^① Zhao Yu-ping^① Timo Korhonen^②

^①(School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing 100871, China)

^②(Communications Lab, Helsinki University of Technology, Espoo 02150, Finland)

Abstract: Collision issue is a significant one which limits the reading efficiency of RFID systems. This paper presents two new anti-collision protocols - CDCA protocol and CDCA-2D protocol. Detailed theoretical analysis and optimization for the two protocols are provided in this paper. The new protocols split the reading process of RFID systems into two steps. The collision information is obtained in the first step and then applied to make the second reading step completely collision-free. The simulation results denote that the new proposed protocols highly improve the reading efficiency comparing to the current popular anti-collision algorithm.

Key words: RFID (Radio Frequency Identification); Anti-collision; Collision detection

1 引言

射频识别技术(RFID)是近年来迅速发展的热点技术之一。它的工作方式是利用射频的方式进行非接触式双向通信,以达到信息识别的目的^[1,2]。通常 RFID 系统由应答器和阅读器两部分组成。由于应答器工作于同一频率,当有多个应答器位于同一阅读器的工作范围内时,如果所有的应答器同时回复信息,那么将导致各个应答器之间的传输信息相互干扰,称之为“应答器碰撞问题”。信息碰撞问题是影响 RFID 系统读取效率的核心问题。

一般来讲,应答器碰撞问题有两类解决方案:一类是基于树的防碰撞协议^[3,4],另一类是基于 Aloha 的防碰撞协议^[5-8]。基于树的防碰撞协议起源于文献[9]中的设计,其核心思想是将产生碰撞的所有应答器视为一个集合,将该集合随机分成两个子集,划分后的子集按照时间先后依次发送信息,如此递推,直到所分的子集中含有单个应答器,不再发

生信息碰撞为止。另一类基于 Aloha 的协议则是通过让应答器选择在不同的时间回复信息来尽可能地降低碰撞的概率。

本文提出了两种新的 RFID 防碰撞协议——CDCA (Collision Detection and Collision Avoidance) 协议和 CDCA-2D 协议。新协议将 RFID 系统读取过程分为两个阶段:“碰撞检测预约阶段”和“无碰撞跳步通信阶段”(下文中依次简称“阶段 A”和“阶段 B”)。在阶段 A 中,我们引入了一种碰撞检测短帧(Collision Detection Frame, CDF)进行碰撞检测,获取当前时隙分配下的碰撞信息。在阶段 B,充分利用第 1 阶段所获得的碰撞信息,通过阅读器命令选取特定的应答器进行通信,完全避免了信息碰撞。其中 CDCA 协议采用一维碰撞检测,而 CDCA-2D 协议采用二维的碰撞检测模式。两者均可以通过优化进一步提高通信效率。和现有的 RFID 防碰撞协议相比,新协议极大地提高了系统的读取效率,协议设计更加灵活实用。

2 CDCA 协议

CDCA 协议将 RFID 系统的读取过程划分为两个阶段:阶段 A 和阶段 B,如图 1 所示。在阶段 A 中,我们引入了 CDF 应答机制进行碰撞检测,获取当前时隙分配下的碰撞信

2007-10-16 收到, 2008-02-04 改回

国家 863 计划项目(2006AA01Z278)和北京大学-赫尔辛基理工大学联合研究项目资助课题

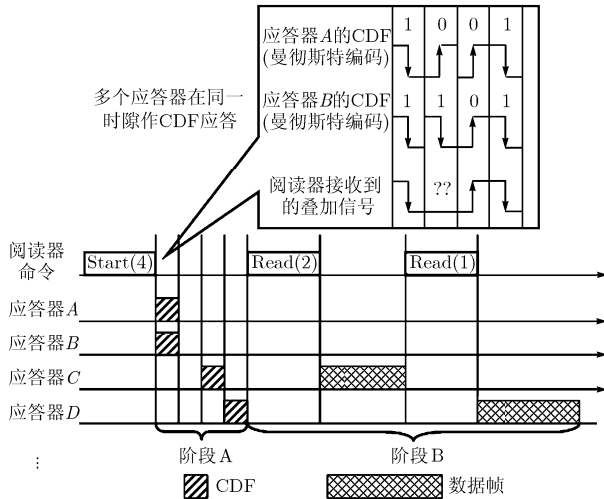


图1 CDCA 协议原理示例图

息。在阶段 B, 利用第 1 阶段所获得的碰撞信息, 通过阅读器命令选取 CDF 应答成功的应答器进行通信, 完全避免了信息碰撞问题。经过一轮读取之后, 被成功读取的应答器将保持静默, 阅读器发送命令启动新一轮的读取, 重复过程 A 和过程 B, 读取剩余的未读应答器, 如此循环, 直到成功读取所有的应答器。下面对两个阶段的工作原理进行详细分析说明。

2.1 阶段 A 的工作原理

阶段 A 的目标是在尽量短的时间内获取当前应答器时隙分配的碰撞信息, 以此控制下一阶段的无碰撞通信过程。为了降低开销, 我们引入了一种碰撞检测短帧——CDF 进行碰撞检测。本文采用了曼彻斯特编码的随机序列作为 CDF, 如图 1 所示。整个阶段 A 的工作过程如下:

(1) 阅读器发送 start 命令初始化阶段 A 的碰撞检测过程, 该命令包含参数 N_c , N_c 即用来进行碰撞检测的 CDF 时隙数目;

(2) 任意应答器 T_i 接收到 start 命令之后, 从 $1 \sim N_c$ 的范围内随机选取一个数值 D_i 作为自己的 CDF 应答时隙号, 并且存储在自己的时隙寄存器中;

(3) 应答器 T_i 在第 D_i 个 CDF 应答时隙向阅读器发送一个 CDF 应答帧;

(4) 阅读器检测每个 CDF 应答时隙的碰撞情况。

所有的 CDF 应答时隙分为三类: “空时隙”——即该 CDF 应答时隙内没有应答器回复 CDF 应答帧; “碰撞时隙”——即多个应答器选择该时隙回复 CDF 应答帧; “无碰时隙”——即仅有一个应答器选择了该时隙回复 CDF 应答帧。其中只有选择了“无碰时隙”的应答器将在阶段 B 中和阅读器进行通信。

2.2 阶段 B 的工作原理

阶段 B 的目标是利用阶段 A 所获得的碰撞信息, 控制选取“无碰时隙”的应答器进行通信, 以完全避免信息的碰

撞。该控制过程是通过更新每个应答器的时隙寄存器中的数值实现的。阶段 B 的工作过程如下:

(1) 阅读器计算相邻两个“无碰时隙”之间的间隔数目 S , 该参数包含在阅读器的 Read 命令中发送给所有的应答器;

(2) 所有的应答器解调出参数 S , 并从自己的时隙寄存器中减去 S ;

(3) 一旦应答器的时隙寄存器中的数值为零, 那么该应答器将立即将自己的数据回复给阅读器, 否则, 应答器将一直保持静默。

在阶段 B 的工作过程中, 只有在阶段 A 中选择“无碰时隙”的应答器才有可能出现时隙寄存器为零的情况, 而选择“碰撞时隙”的应答器将被自动跳过。该跳步机制确保了阶段 B 的读取过程完全避免信息碰撞的发生, 极大地提高了读取的效率。

2.3 CDCA 协议性能的理论分析

假定系统中有 N_t 个未读应答器, CDF 应答时隙的选择范围为 $1 \sim N_c$, 那么有 q 个应答器选择到同一个 CDF 应答时隙的概率服从二项分布, 如下式所示:

$$P_q = \binom{N_t}{q} \left(\frac{1}{N_c} \right)^q \left(1 - \frac{1}{N_c} \right)^{N_t - q} \quad (1)$$

其中当 $q = 1$ 时, P_1 代表应答器选择“无碰时隙”的概率。

因此, 选择了“无碰时隙”的应答器数目的数学期望为

$$N_s = N_c \times P_1 = N_c \cdot N_t \left(\frac{1}{N_c} \right) \left(1 - \frac{1}{N_c} \right)^{N_t - 1} \quad (2)$$

定义系统的读取效率为

$$E_{\text{sys}} = \frac{\text{有效通信时间}}{\text{总时间}} = \frac{L_1 \times N_s}{L_1 \times N_s + L_2 \times N_c} \quad (3)$$

上式中 L_1 代表应答器数据帧的长度, L_2 代表 CDF 帧的长度, 由式(2)和式(3)可以得到:

$$E_{\text{sys}} = \frac{\left(\frac{L_1}{L_2 N_c} \right) \times N_t \times \left(1 - \frac{1}{N_c} \right)^{N_t - 1}}{1 + \left(\frac{L_1}{L_2 N_c} \right) \times N_t \times \left(1 - \frac{1}{N_c} \right)^{N_t - 1}} \quad (4)$$

定义 $\alpha = \left(\frac{L_1}{L_2 N_c} \right) \times N_t \times \left(1 - \frac{1}{N_c} \right)^{N_t - 1}$, $\beta = \frac{L_1}{L_2}$, 则 $\alpha = \beta \times$

$\frac{N_t}{N_c} \times \left(1 - \frac{1}{N_c} \right)^{N_t - 1}$ 。式(4)可以进一步简化为

$$E_{\text{sys}} = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \quad (5)$$

从式(5)可以看出, 为了提高系统的读取效率, 需要增大 α 的数值。通常应答器数目 N_t 无法人为改变, 这就要求增大 β 的数值并且分配合适的 N_c 。一方面, 为了增大 β 的数值, 在应答器数据帧长度 L_1 一定的情况下, 应当尽量减小 CDF 帧的长度 L_2 。另一方面为了得到最佳的 N_c 值, 将 α 对 N_t 求导:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial N_t} = \frac{\beta}{N_c} \left(1 - \frac{1}{N_c}\right)^{N_t-1} \left(1 + N_t \ln \left(1 - \frac{1}{N_c}\right)\right) = 0 \quad (6)$$

求解式(6), 得到系统效率最优的情况下, 最佳 CDF 帧数目 $N_{c(\text{opt})}$ 与 N_t 的约束关系:

$$N_{c(\text{opt})} = \frac{e^{1/N_t}}{e^{1/N_t} - 1} \quad (7)$$

通过上述分析, 我们可以看出, 在应答器数目 N_t 和应答器数据帧长度 L_1 一定的情况下, 应当根据式(7)选取合适的 N_c 并且尽可能减小 CDF 帧的长度。图 2 给出了 N_c 和 β 变化时 CDCA 协议效率变化的数值仿真图示。

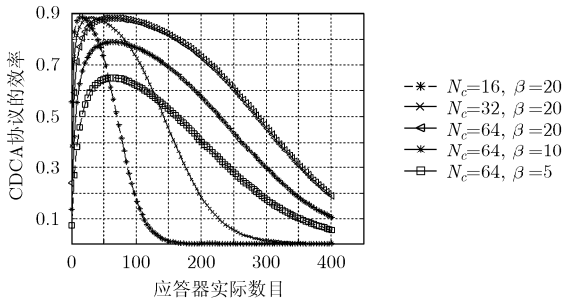


图 2 参数 N_c 和 β 对 CDCA 协议效率的影响

3 CDCA-2D 协议

鉴于 CDCA 协议基于纯粹的 TDMA 模式, 我们在阶段 A 中引入 CDMA 模式, 进行时域和码域二维碰撞检测, 可以进一步提高系统的读取效率。进行二维扩展后的协议称之为“CDCA-2D 协议”。该协议的工作原理如下: 应答器在接收到 Start 命令之后, 在选取 CDF 时隙 D_i 的同时, 从一个正交码组中选取一个码字 C_i 作为扩频码。CDF 帧经过该码字扩频后进行 CDF 应答, 在时域和码域进行二维碰撞检测。这里所采用的正交码组可以是任何一种满足正交特性的码组, 例如 Walsh 码字。在 CDCA-2D 协议中, 只有选取相同 CDF 时隙和相同正交码字的应答器在阶段 A 发生信息碰撞, 导致 CDF 应答失败, 如图 3 所示。相应地, 阶段 B 的 Read 命令将变为 Read(S, C_i)。这里, C_i 为检测到无碰 CDF 帧的码字。

经过二维扩展之后, 在阶段 A 成功进行 CDF 应答的应

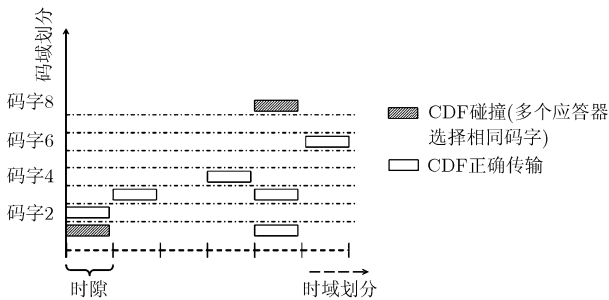


图 3 CDCA 协议二维空时扩展

答器数目的数学期望 $N_{s(2D)}$ 为

$$N_{s(2D)} = \sum_{i=1}^{N_t} N_c \binom{N_t}{i} \left(\frac{1}{N_c}\right)^i \left(1 - \frac{1}{N_c}\right)^{N_t-i} \cdot K \cdot \binom{i}{1} \left(\frac{1}{K}\right) \left(1 - \frac{1}{K}\right)^{i-1} \quad (8)$$

其中 K 为所采用正交码组中码字的数目。相应地, CDCA-2D 协议的系统效率为

$$E_{\text{sys}(2D)} = \frac{L_1 \times N_{s(2D)}}{L_1 \times N_{s(2D)} + L_2 \times N_c} = \frac{\beta \cdot \sum_{i=1}^{N_t} N_c \binom{N_t}{i} \left(\frac{1}{N_c}\right)^i \left(1 - \frac{1}{N_c}\right)^{N_t-i} \cdot K \cdot \binom{i}{1} \left(\frac{1}{K}\right) \left(1 - \frac{1}{K}\right)^{i-1}}{\beta \cdot \sum_{i=1}^{N_t} N_c \binom{N_t}{i} \left(\frac{1}{N_c}\right)^i \left(1 - \frac{1}{N_c}\right)^{N_t-i} \cdot K \cdot \binom{i}{1} \left(\frac{1}{K}\right) \left(1 - \frac{1}{K}\right)^{i-1} + 1} \quad (9)$$

4 协议优化

在上述的理论分析中, 均假定阅读器范围内未读取应答器的数目 N_t 已知, 实际应用中往往无法确切知道未读应答器的确切数目, 因此, 在每一轮读取结束后, 需要对未读应答器数目进行估计, 进而根据式(7)分配 CDF 时隙数目。本节介绍了一种利用阶段 A 的碰撞信息对未读应答器数目进行估计的算法, 进一步优化和完善了 CDCA 协议。

假定阶段 A 的碰撞检测过程中, “空时隙”、“无碰时隙”和“碰撞时隙”的数目分别为 N_0 , N_1 和 N_2 。由于无法准确知道“碰撞时隙”中应答器的个数, 假定所有的“碰撞时隙”中的应答器数目均为 2, 那么可以得到未读应答器数目为^[8]

$$B = N_1 + 2N_2 \quad (10)$$

由于我们默认所有的“碰撞时隙”中的应答器数目均为 2, 所以式(10)给出的结果是未读应答器数目的下界。实际应用中, 我们对式(10)进行修正, 得到未读应答器的估计值:

$$N_t = B + \gamma \quad (11)$$

式(11)中的 γ 为经验修正参数^[8], 一般取值为 5~8。利用上述算法估计出 N_t 后, 可以根据式(7)分配 N_c , 进一步提高 CDCA 协议的性能。

5 仿真试验

本节通过仿真试验将 CDCA 协议以及 CDCA-2D 协议和国际上流行的 Q-算法^[7]进行性能比较。仿真参数的设定如下: Q-算法中的 Q 参数初始值 Q_0 设定为 4.0, 更新步长 c 设定为 0.2^[7]; CDCA 协议和 CDCA-2D 协议中的 CDF 帧采用曼彻斯特编码, 长度由参数 β 控制; CDCA-2D 协议中采用的正交码组中码字数目 K 设定为 16; 式(11)中的估算修正参数 γ 设定为 5, 应答器的数目的范围为 50~600。仿真结果如图 4 所示。

从图 4 中可以看到, CDCA 协议性能大大优于 Q-算法, CDCA-2D 协议相比于 CDCA 协议进一步提高了读取的效

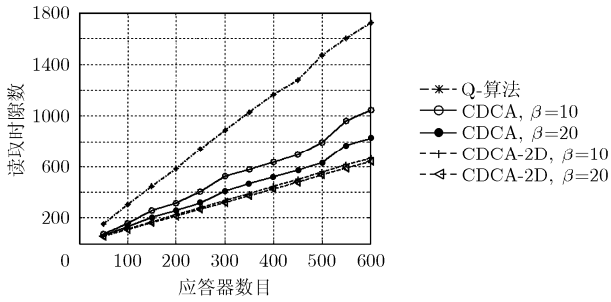


图 4 各个协议读取时间比较

率。在 CDCA 协议和 CDCA-2D 协议中, 降低 CDF 帧的长度(即增大 β 值)可以获得更好的系统效率。

6 结束语

本文提出了两种新的应用于 RFID 系统的防碰撞协议—CDCA 协议和 CDCA-2D 协议。新协议将 RFID 系统的读取过程分为两个阶段, 利用第 1 阶段的碰撞检测信息实现在第二个阶段的无碰撞通信。其中 CDCA-2D 协议在 CDCA 协议的基础上, 引入了时域和码域二维碰撞检测机制, 进一步提高了系统的读取效率。仿真结果表明, 和目前流行的 Q-算法相比, 新协议极大地提高了读取的效率, 可以大大提高现有 RFID 系统的应用水平。

参 考 文 献

- [1] Sarma S, Brock D, and Engels D. Radio frequency identification and the electronic product code [J]. *IEEE Micro*, 2001, 21(6): 50-54.
- [2] Chawla V and Ha D S. An overview of passive RFID [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2007, 45(9): 11-17.
- [3] Kim Sung Hyun and Park PooGyeon. An efficient tree-based

taganti-collision protocol for RFID systems [J]. *IEEE Communications Letters*, 2007, 11(5): 449-451.

- [4] Information technology automatic identification and data capture techniques radio frequency identification for item management air interface--part 6: parameters for air interface communications at 860-960 MHz [S]. ISO/IEC FDIS 18000-6, Nov. 2003.
- [5] Auto-ID Center. Draft protocol specification for a 900 MHz class 0 radio frequency identification tags [S]. Feb. 2003.
- [6] Philips Semiconductors, UCODE Proposal. <http://www.semiconductors.philips.com>, March 2005.
- [7] EPC Global Organization. EPC radio-frequency identification protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860MHz-960MHz Version 1.0.8. [S] EPCglobal, Dec. 2004.
- [8] Wang Jianwei, Wang Dong, and Zhao Yuping. A novel anti-collision algorithm with dynamic tag number estimation for RFID systems [C]. ICCT'06. International Conference on Communication Technology, Guilin, China, Nov. 2006: 1-4.
- [9] Capetanakis J I. Tree algorithms for packet broadcast channels [J]. *IEEE Trans. on Inform Theory*, 1979, 25(5): 505-515.

王建伟: 男, 1981 年生, 博士生, 研究方向包括 UWB 通信、RFID 系统、多载波通信、无线网络跨层设计与无线资源管理。

赵玉萍: 女, 教授, 博士生导师, 研究方向包括多载波和多天线通信系统、RFID 系统、数字电视、无线网络规划和无线资源管理。

Timo Korhonen: 男, 教授, 研究方向包括 RFID 系统、电力线通信、无线网络跨层设计与网络优化。