

捕获效应下的标签估计算法

崔英花

(北京信息科技大学 信息与通信工程学院,北京 100101)

摘要:传统的标签估计通常要统计标签和阅读器通信中的碰撞时隙和单标签时隙的个数.然而在实际通信过程中,由于捕获效应的存在,较强信号通常会抑制掉较弱信号.这就造成了实际统计情况与事实不符的现象,进而影响标签的正确估计.由于空时隙中没有标签响应,采用统计空时隙数进行标签估计不受捕获效应影响.仿真结果表明,统计空时隙的标签估计算法在捕获效应情况下,估计精度没有变化,同时对帧时隙大小不敏感,优于其他基于统计单标签时隙数和碰撞时隙数来进行标签估计的算法.

关键词:射频识别;标签估计;捕获效应

中图分类号:TN914

文献标志码:A

射频识别技术(Radio Frequency Identification, RFID)是一种自动识别技术.RFID 系统中的阅读器可以在短时间内识别大量的标签.由于 RFID 可以快速识别物体,并且成本低廉,管理智能方便,被广泛应用于仓储、货运、物流等行业.

标签估计是 RFID 系统中的关键技术之一.除了被用于标签盘点,它还被用在标签防碰撞技术中.比如在 Aloha 协议^[1]中,当标签数与帧内时隙数相等时,识别效率最优.在基于二进制树的算法中,标签数目有利于选择最优分支数目^[2-4].因此准确估计标签数对于提高标签识别效率起到了重要作用.

当前的 RFID 标准大多基于 Aloha 协议,该协议具有算法简单、易于实现的优点,包括时隙 Aloha(Slotted Aloha, SA)算法^[5]、帧时隙 Aloha(Frame Slotted Aloha, FSA)算法^[6]、动态帧时隙 Aloha(Dynamic Frame Slotted Aloha, DFSA)算法^[7]、增强型动态帧时隙 Aloha(Enhanced Dynamic Frame Slotted Aloha, EDFSA)算法^[8]等.典型的标签估计算法大多基于帧时隙 Aloha 模型,当阅读器查询一帧时隙后,会有 3 种情况出现:空闲时隙、单标签响应时隙和多于一个标签响应的碰撞时隙.用 N_0 、 N_1 、 N_c 分别来代表这 3 种时隙的个数.由于碰撞时隙至少有 2 个标签同时响应阅读器,可以用标签数的下限 $N_1 + 2N_c$ ^[9] 来估计标签数.假定帧时隙大小与标签数目相当,碰撞标签的期望值为 $2.39N_c$,则估计的标签值为 $N_1 + 2.39N_c$ ^[10].此外,空时隙个数的零估计方法(Zero Estimator)^[11-12]有时也被使用.

然而上述方法大多没有考虑捕获效应的影响,在实际的通信环境中有时无法很好地工作.捕获效应是无线通信中的一个常见现象,即当有多路信号到达阅读器时,较强信号会掩盖较弱的到达信号^[13-14].在 RFID 系统中,当多个标签同时传递信息给阅读器,由于标签与阅读器的距离不同,当阅读器接收到这些标签的信号强度差别较大时,有时只能识别出信号较强的一个标签,而将其他标签的信号视为噪声.这样,本来是多个标签冲突变成了只有一个标签响应阅读器.这种效应往往会引起标签丢失,并严重影响协议参数的最优确定.在标签估计中,阅读器会把碰撞时隙判断为单标签时隙,导致碰撞时隙和单标签时隙与实际情况不符,进而导致前述标签估计算法估计出来的标签数会有很大误差.

收稿日期:2017-06-14;修回日期:2017-07-13.

基金项目:国家自然科学基金(61340005);北京市自然科学基金资助项目(4132012);北京市教委科技发展计划资助项目(KM201411232011);北京市优秀人才培养资助 D 类项目(5211524100).

作者简介(通信作者):崔英花(1973-),女,吉林蛟河人,北京信息科技大学副教授,博士,研究方向为射频识别、无线通信,E-mail:cui_ying_hua@sina.com.

1 标签碰撞情况研究与分析

当阅读器查询一帧时隙后,会有3种情况出现:空闲时隙、单标签响应时隙和多于一个标签响应的碰撞时隙.用 N_0, N_1, N_c 分别来代表这3种时隙的个数,用 n 来代表实际的标签个数,用 N 来代表总时隙数.设空闲时隙概率 P_0 ,单标签响应时隙概率 P_1 ,碰撞时隙概率 P_c ,则它们的取值分别为 $P_0 = N(1 - \frac{1}{N})^n, P_1 = \frac{n}{N}(1 - \frac{1}{N})^{n-1}, P_c = 1 - P_0 - P_1$,其概率如图1~3所示.

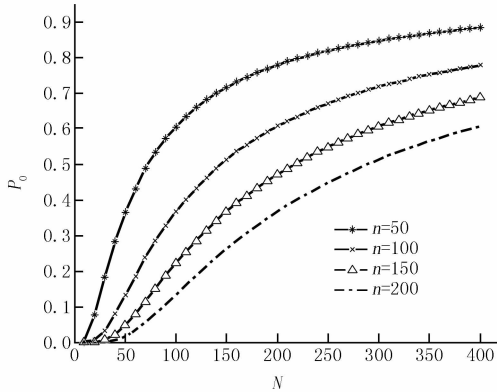


图1 空闲时隙的概率

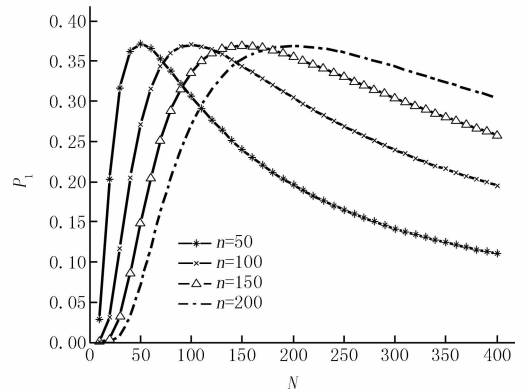


图2 单标签响应时隙的概率

从图1和图3中可以看出, P_0 是单调递增而 P_c 是单调递减的.随着时隙数增多,空闲时隙的概率会逐渐增加,而碰撞时隙的概率会逐渐减少.而随着待识别标签数的增加,空闲时隙的概率会逐渐减少,碰撞时隙的概率会逐渐升高. P_c 不是单调的.它先是逐渐上升,当标签数与时隙数相等时达到最大值36.8%,然后逐渐下降.这是因为当时隙数与待识别标签数小时,随着时隙数的增加,单标签时隙数会逐渐增加;当标签数与时隙数数量相等时,单标签时隙数达到最大值.但随着时隙数的增加,虽然单标签时隙数会增加,但由于总时隙数也在增加,因此其概率并没有得到改善,反而减少.

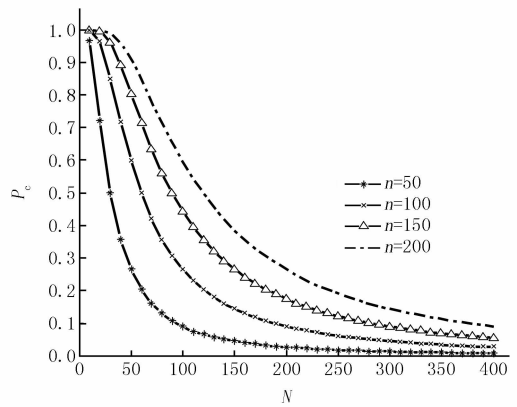


图3 碰撞时隙的概率

2 捕获效应下标签估计算法仿真与分析

根据上节分析, N_0, N_1, N_c 的期望则分别满足 $E(N_0) = N(1 - \frac{1}{N})^n, E(N_1) = n(1 - \frac{1}{N})^{n-1}, E(N_c) = N - E(N_0) - E(N_1)$.

通常的标签估计方法都是通过统计时隙中标签的碰撞情况来估计标签数.在实际估计过程中,假设 $\tilde{N}_0, \tilde{N}_1, \tilde{N}_c$ 分别为检测空时隙数、单标签时隙数和碰撞时隙数.用 $\tilde{N}_0, \tilde{N}_1, \tilde{N}_c$ 分别代替 $E(N_0), E(N_1), E(N_c)$.则标签数 \hat{n} 可以由以下3个公式估计:

$$\hat{n} = \frac{\lg \frac{\tilde{N}_0}{N}}{\lg(1 - \frac{1}{N})}, \quad (1)$$

$$\hat{n} = \tilde{N}_1 + 2\tilde{N}_c, \tag{2}$$

$$\hat{n} = \tilde{N}_1 + 2.39\tilde{N}_c. \tag{3}$$

考虑到捕获效应,假设捕获因子为 α ,即在通信中比例为 α 的碰撞时隙由于捕获效应,较强信号通常会抑制掉较弱信号,被认为是单标签时隙.则公式(2)和(3)可写为

$$\hat{n} = \tilde{N}_1 + \tilde{N}_c\alpha + 2\tilde{N}_c(1 - \alpha), \tag{4}$$

$$\hat{n} = \tilde{N}_1 + \tilde{N}_c\alpha + 2.39\tilde{N}_c(1 - \alpha). \tag{5}$$

定义估计误差

$$R_{err} = \frac{|\hat{n} - n|}{n}, \tag{6}$$

其中 \hat{n} 是估计标签数, n 为实际标签数 N .

图 4~6 分别仿真了采用统计空时隙数、单标签时隙数和碰撞标签时隙数的标签估计方法得到的估计效果.标签数为 100,帧时隙大小取 50~300.捕获因子分别为 0,0.1,0.2.从图 4 可以看出,根据统计空时隙数估计标签数,估计精度很高,小于 0.035.而且不受捕获因子的影响.同时估计误差对帧时隙的大小不敏感.当帧时隙大小远远小于标签数时,空时隙个数将大大减少甚至不存在.这种估计方法将失效,此时应迅速调整帧时隙大小,重新进行估计.

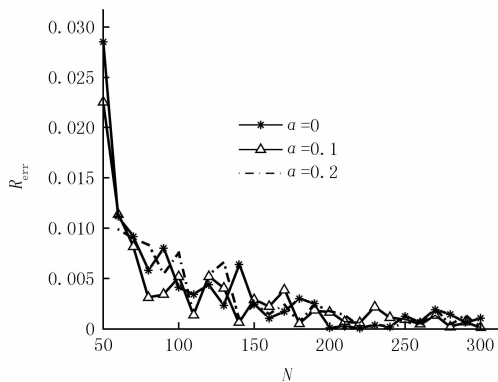


图 4 基于检测空时隙数算法,在捕获效应和非捕获效应情况下来估计标签的估计误差

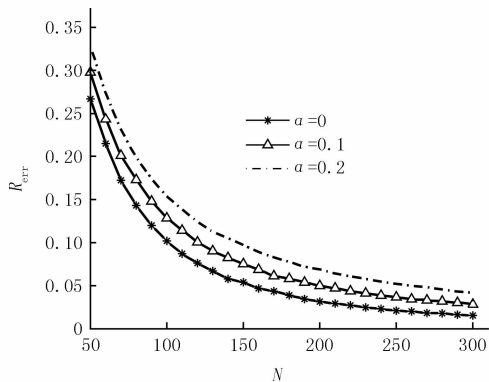


图 5 基于(4)式算法,在捕获效应和非捕获效应情况下来估计标签的估计误差

在图 5 中,标签估计误差会随着帧时隙数的增加而逐渐减小.由于有捕获效应影响了对碰撞时隙的正确估计,因此随着捕获因子的增加,估计误差会逐渐增大.

在图 6 中, $\alpha=0$ 这条曲线在标签数远远大于帧时隙数时,估计误差较大,但随着帧时隙数的逐渐增多,估计误差减少.当标签数与帧时隙数相近时,估计精度较高.当标签数与时隙数一致时,估计误差最小为 0.001 9.当标签数小于帧时隙数时,由于会有较多空闲时隙,且碰撞时隙内的标签数减少,所以该标签估计方法仍用每个碰撞时隙有 2.39 个标签来估计,误差会逐渐增大.

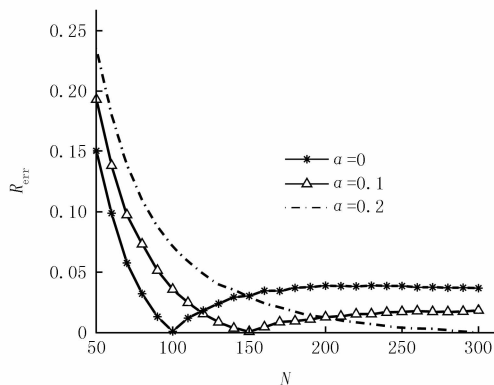


图 6 基于(5)式算法,在捕获效应和非捕获效应情况下来估计标签的估计误差

当标签数大于等于帧时隙数时, $\alpha=0$ 时的估计误差要比 $\alpha=0.1$ 和 $\alpha=0.2$ 时的估计误差小.当标签数大于等于帧时隙数时,由于这时碰撞时隙数较大,每个时隙碰撞的标签数会大于 2.39 个,因此标签估计性能受影响.随着捕获因子的增大,原本碰撞时隙被阅读器误认为是单标签时隙,更加剧了标签估计的误差,因此 $\alpha=0$ 的估计误差要小于 $\alpha=0.1$ 和 $\alpha=0.2$ 时的估计误差.而当标签数小于帧时隙数时, $\alpha=0$ 时的估计误差反

而会大于 $\alpha=0.1$ 和 $\alpha=0.2$ 时的估计误差.这是因为当标签数小于帧时隙数时,碰撞时隙数逐渐减少,碰撞时隙中碰撞标签数也会减少,若仍采用 2.39 个标签来估计碰撞时隙里的标签数是不准确的.由于捕获效应的存在,阅读器会把一些碰撞时隙认为是单标签时隙,因此会减少由于碰撞时隙标签数估计不准确而带来的误差.即随着捕获因子的增大,对标签估计的误差反而越小.但是这时空时隙数越来越多,在识别过程中浪费的时隙也越来越多,会大大降低系统的识别效率.

图 7 和图 8 进一步比较了非捕获效应条件下与捕获效应条件下 3 种标签估计算法的估计误差.可以看出空闲时隙估计算法在不同场合的误差都是最小的,而 $N_1 + 2.39N_c$ 估计算法则总体优于 $N_1 + 2N_c$ 估计算法.

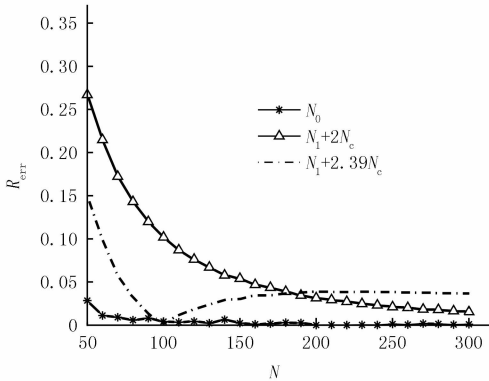


图 7 非捕获效应情况下 3 种算法的估计误差

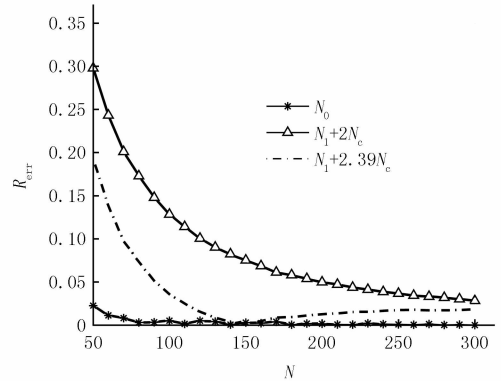


图 8 捕获效应情况下 ($\alpha=0.1$) 3 种算法的估计误差

3 结论

标签估计算法大都基于 Aloha 原理,阅读器通过统计在通信过程中检测到的单标签时隙和碰撞时隙数量来估计标签数目.但由于通信过程中存在捕获效应,阅读器收到的强标签信号会抑制掉弱标签信号.因此实际统计出来的单标签时隙和碰撞标签时隙与真实情况有差异,进而影响了标签估计的准确度.通过仿真分析可以看到,采用单标签时隙和碰撞时隙估计标签数的两种估计算法在捕获效应时性能均有下降.同时,采用 2.39 个标签作为碰撞时隙标签数量的估计时,只有在标签数与帧时隙大小相近时,才比较准确,而在帧时隙数远大于标签数时误差会较大.通过空闲时隙的数量来估计标签的数量,则不受捕获效应影响,同时对帧大小不敏感,可取得较高的精确度,优于其他统计单标签时隙和碰撞时隙的标签估计算法.

参 考 文 献

- [1] Finkenzeller K. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification[M]. 5th ed. New York: Wiley, 2010.
- [2] Arshad S, Nazir M H, Anwar S M, et al. Optimal enhanced dynamic framed slotted Aloha OEDFSA[C]//6th International Conference on Innovative Computing Technology, Dublin: [s. n.], 2016: 567-57.
- [3] Cui Y H, Zhao Y P. Performance evaluation of a multi-branch tree algorithm in RFID[J]. IEEE Transactions on Communications, 2010, 58: 1356-1364.
- [4] 林顺富, 赵伦加, 刘庆强, 等. 基于 0-1 二次规划的非干预式负荷识别算法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(08): 85-91.
- [5] Vinod N, Maheesha D, Kavinda D, et al. An extensive study of slotted Aloha-based RFID anti-collision protocols[J]. Computer Communications, 2012, 35(16): 1955-1966.
- [6] Liu F, Wang L, Cai Z et al. Research on RFID tag anti-collision algorithm based on aloha[J]. Ce Ca, 2017, 42(3): 1069-1072.
- [7] Elshabrawy T, Shereen E, Ashour M. Throughput evaluation of Dynamic Frame Slotted ALOHA for spatially distributed RFID tags[C]//2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference, Piscataway: IEEE Press, 2017: 166-172.
- [8] Wang C Y, Lee C C, Lee M C. An Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA Anti-Collision Method for Mobile RFID Tag Identification [J]. Journal of Convergence Information Technology, 2011, 6(4): 340-351.
- [9] Vogt H. Efficient object identification with passive RFID tags[C]//Proceedings of the International Conference on Pervasive Computing,

Piscataway: IEEE Press, 2002: 98-113.

- [10] Cha J R, Kim J II. Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system[C]. Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Systems Computing, Fukuoka: [s.n.], 2005: 63-67.
- [11] Cui Y II, Zhao Y P. A fast zero estimation scheme for RFID system [J]. Computer Communications, 2010, 33(11): 1318-1324.
- [12] Kodialam M, Nandagopal T. Fast and reliable estimation schemes in RFID systems[C]//Proceedings of the ACM Mobicom, Los Angeles: [s.n.], 2006: 322-333.
- [13] Yang L, Zhang G, Lin F, et al. An efficient estimation method coping with the capture effect for RFID tags identification and application in remote learning[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2016, 31(5): 2707-2712.
- [14] Xu C, Lu D. Research on the capture effect for RFID tag anti-collision algorithm[C]//3rd International Conference on Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem, Wuhan: [s.n.], 2016: 238-245.

Tag Number Estimation Algorithm with Capture Effect

Cui Yinghua

(Information and Communication Engineering Institute, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100101, China)

Abstract: The conventional tag number estimation algorithms usually count the number of the single tag slots and collision slots during the interrogation between the reader and tags. But the capture effect, which means the complete suppression of a weak signal in presence of a strong signal at the receiver, leads to incorrect counting results. It impacts the accuracy of the tag number estimation. Tag number estimation algorithm by counting the empty slots is not influenced by the capture effect because there is no tag responds in the empty slots. The simulation results show that the method based on counting the empty slots is not affected by the capture effect, which is also not sensitive to the frame size of the slots, and outperforms other algorithms based on counting single tag and collision slots.

Keywords: radio frequency identification; tag estimation; capture effect

[责任编辑 杨浦]