

RFID 动态帧时隙 ALOHA 防冲突中的标签估计和帧长确定

吴海锋¹ 曾玉¹

摘要 为提高射频识别 (Radio frequency identification, RFID) 标签的识别效率, 本文针对 RFID 动态帧时隙 ALOHA 防冲突系统, 提出了新的标签估计方法和帧长确定方案. 标签估计中采用了不同的贝叶斯代价函数, 提出了几种贝叶斯标签估计方法, 它们的估计结果准确, 而且通过减小标签数取值范围可使计算复杂度得到降低. 随后, 推导出一种根据标签数确定最优帧长的方案, 它能使系统达到最大的信道利用率, 该最大信道利用率要大于帧的时隙数等于标签数时所能达到的最大利用率.

关键词 射频识别防冲突, 动态帧时隙 ALOHA, 标签估计, 帧长

DOI 10.3724/SP.J.1004.2010.00620

Tag Estimate and Frame Length for Dynamic Frame Slotted ALOHA Anti-collision RFID System

WU Hai-Feng¹ ZENG Yu¹

Abstract In order to enhance radio frequency identification (RFID) tag identification efficiency, this paper proposes new tag estimates and an optimal frame length scheme for a dynamic frame slotted ALOHA anti-collision RFID system. The new tag estimates adopt three Bayesian risk functions and have three Bayesian estimates. These Bayesian estimates performances are better than those of the conventional methods, and their computational complexities are also lowered by narrowing search range. In addition, this paper derives an optimal frame length for obtaining the maximum radio channel efficiency, which is higher than the efficiency when the frame length is equal to the tag number.

Key words Radio frequency identification (RFID) anti-collision, dynamic frame slotted ALOHA, tag estimation, frame length

射频识别 (Radio frequency identification, RFID) 标签冲突本质上是多址接入问题, 目前, 许多学者把多址接入的防冲突思想用于 RFID 标签冲突中^[1-2], 提出了两大类算法: 树^[3-9] 和 ALOHA 类^[10-19] 算法. ALOHA 类算法适用于移动站点功能有限而基站功能强大, 且每个站点传送的数据不大的多址接入系统. 由于通常的 RFID 系统的阅读器为主动, 标签为被动, 且标签的数据量也不大, 因此 ALOHA 类算法在 RFID 标签防冲突中得到了广泛的应用. ALOHA 类算法可分为纯 ALOHA、时隙 ALOHA 和动态帧时隙 ALOHA. 纯 ALOHA 和时隙 ALOHA 系统效率较

低^[16-17], 为提高效率, 动态帧时隙 ALOHA^[10-12,16,18-19] 被提出, 其最大优点是, 帧的长度可根据阅读器识读标签的具体情况动态变化, 以此确保效率达到最大. 然而, 帧长的确定往往取决于标签数, 标签数又通常未知, 因此, 提高动态帧时隙 ALOHA 的性能应考虑: 1) 标签数的估计; 2) 根据估计的标签数确定帧长. 标签数估计中较简单的方法为下限值法^[11-14], Schoute 估计法^[10,13-15] 和空时隙数法^[18]. 这些方法已不再被普遍使用, 其原因是, 估计结果不太准确. 相比于以上三种方法, Vogt^[11-12,16-17] 与最大后验概率方法^[19] 的估计较为准确, 但其计算复杂度较高, 因为它们需要在标签数取值范围内进行多次计算来确定极值, 如果标签数的取值范围很大, 那么计算量也将很大. 提高 RFID 动态帧时隙 ALOHA 系统性能的另外一个问题是根据标签数确定帧的长度. 文献 [10, 13, 15, 19] 的帧长方案均假设冲突时隙、空时隙和可读时隙所占用时间相同. 然而, 如果把冲突时隙、空时隙和可读时隙的时间设置得不同, 系统效率可以有所提高. 在新一代的 RFID 国际标准, 如 ISO18000-6^[20-21] 和 EPC C1 Gen2^[22] 等, 这三种时隙的时间已经不再相同, 此时, 文献 [10, 13, 15, 19] 的帧长方案将不再适用. 将贝叶斯准则应用于多址接入已在文献 [23] 中讨论过, 并且文献 [13-14, 24] 还讨论了将贝叶斯准则应用于 RFID 系统的问题, 然而这些文献直接通过计算标签的概率分布函数去确定帧长, 而标签估计却未涉及. 本文采用了不同的贝叶斯代价函数, 提出了几种贝叶斯估计标签的方法, 它们在估计准确度上优于 Vogt 方法, 和最大后验概率方法相似, 但计算复杂度比这两者小. 另外, 本文还根据冲突时隙、空时隙和可读时隙占用时间的具体情况, 确定了标签数与帧长的关系式, 该关系式可以保证系统的信道利用率达到最大值. 当空时隙小于冲突时隙且冲突时隙小于可读时隙时, 由该关系式确定的信道利用率最大值将超过这三个时隙时间相同下的信道利用率极值 0.368.

1 系统描述

在 RFID 动态帧时隙 ALOHA 防冲突系统中, 一个信息帧的时隙数为 L , 若阅读的标签数为 n , 那么帧中的一个时隙为空、可读和冲突时隙的概率为^[11-12,15-17,19]

$$p_0 = \left(1 - \frac{1}{L}\right)^n \quad (1a)$$

$$p_1 = \left(\frac{n}{L}\right) \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1} \quad (1b)$$

$$p_\kappa = 1 - \left(1 - \frac{1}{L}\right)^n - \left(\frac{n}{L}\right) \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1} \quad (1c)$$

因此, 一个信息帧内平均的空时隙数、可读时隙数和冲突时隙数分别为

$$a_0(L, n) = L \left(1 - \frac{1}{L}\right)^n \quad (2a)$$

$$a_1(L, n) = n \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1} \quad (2b)$$

$$a_\kappa(L, n) = L \left[1 - \left(1 - \frac{1}{L}\right)^n - \left(\frac{n}{L}\right) \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1}\right] \quad (2c)$$

另外, 由式 (2) 还可以得到, 在一个长为 L 的信息帧内发生了 c_0 个空时隙、 c_1 个成功时隙、 c_κ 个冲突时隙下有 n 个标

收稿日期 2008-12-19 录用日期 2009-09-08
Manuscript received December 19, 2008; accepted September 8, 2009

国家自然科学基金 (60963026) 和云南省高校无线传感器网络技术重点实验室开放基金 (09ZK04) 资助

Supported by Supported by National Natural Science Foundation of China (60963026) and Open Foundation of Key Laboratory of Wireless Sensor Network Technology of Yunnan Province (09ZK04)

1. 云南民族大学电气信息工程学院 昆明 650500
1. School of Electrical and Information Technology, Yunnan University of Nationalities, Kunming, 650500

签的条件概率为^[19]

$$p(n|c) = \frac{L!}{c_0!c_1!c_\kappa!} p_0^{c_0} p_1^{c_1} p_\kappa^{c_\kappa} \quad (3)$$

其中

$$c = \langle c_0, c_1, c_\kappa \rangle \quad (4)$$

2 标签估计

2.1 贝叶斯标签估计

在动态帧时隙 ALOHA 的 RFID 防冲突系统中, 设 $\mathbf{c} = [c(0), c(1), \dots, c(M-1)]^T$ 为一个帧的空时隙、冲突时隙和可读时隙数的观测结果, 一般的统计方法可把 \mathbf{c} 作为随机变量, 标签数 n 作为确定的未知常量, 因此 \mathbf{c} 服从与标签数 n 的联合分布 $\mathbf{c} \sim p(\mathbf{c}, n)$, 然后再根据 $p(\mathbf{c}, n)$ 去估计标签数. 然而, 这种方法必须在大量观测结果的情况下才能保证估计精确, 即 M 很大. 在 RFID 系统中, 阅读器在一个帧内阅读标签后, 需要立即根据本次时隙帧内得到的观测值 c 去估计标签, 以便通过估计的标签数确定下一个帧的长度. 为了保证阅读器能在较短时间内阅读完标签, 不可能让阅读器在同一个帧内去反复读取标签来获得大量的观测结果, 此时 $M=1$, 在这种情况下一般的统计方法将不再可靠. 贝叶斯估计把 n 作为随机变量而非确定的未知常量, 并把先验分布向后验分布 $p(n|c)$ 转换, 在很少的观察结果 c 下也能得到较准确估计, 因此特别适合于 RFID 系统中的标签估计.

对标签数的贝叶斯估计可表示为

$$\hat{n} = \arg \min_{\tilde{n} \in \Omega} \sum_{n=1}^{+\infty} J(\tilde{n}, n) p(n|c) \quad (5)$$

其中, $J(\tilde{n}, n)$ 为代价函数, $p(n|c)$ 为样本 c 下关于 n 的条件分布. 集合 Ω 可以表示为^[11-14]

$$\Omega = \{\tilde{n}|c_1 + 2c_\kappa \leq \tilde{n} \leq N\} \quad (6)$$

其中, N 为系统所能读取到的最大标签数. 不同的代价函数具有不同形式的贝叶斯估计, 下面分析三种代价函数下的贝叶斯估计.

贝叶斯均方估计的代价函数表示为^[25]

$$J(\tilde{n}, n) = (\tilde{n} - n)^2 \quad (7)$$

把式 (7) 代入式 (5), 并求极值后相应的贝叶斯估计为

$$\hat{n} = \sum_{n=1}^N n \bar{p}(n|c) \quad (8)$$

其中, 把 p 归一化处理为 \bar{p} , 使 $\sum_{n=1}^N \bar{p}(n|c) = 1$. 贝叶斯绝对估计的代价函数表示为^[25]

$$J(\tilde{n}, n) = |\tilde{n} - n| \quad (9)$$

把式 (9) 代入式 (5), 并求极值后相应的贝叶斯估计为

$$\hat{n} = \arg \min_{\tilde{n} \in \Omega} \left(\sum_{n=1}^{\tilde{n}} p(n|c) - \sum_{n=\tilde{n}}^N p(n|c) \right) \quad (10)$$

最大后验概率估计代价函数为^[25]

$$J(\tilde{n}, n) = \begin{cases} 1, & |\tilde{n} - n| > \frac{\Delta}{2} \\ 0, & |\tilde{n} - n| \leq \frac{\Delta}{2} \end{cases} \quad (11)$$

其中, Δ 为很小的常数. 把式 (11) 代入式 (5), 并求极值后相应的贝叶斯估计为

$$\hat{n} = \arg \max_{\tilde{n} \in \Omega} p(\tilde{n}|c) \quad (12)$$

式 (12) 实际就是最大后验概率估计, 与文献 [19] 具有相同的形式.

2.2 低复杂度的标签估计

1) 低复杂度的贝叶斯估计. 式 (10) 和式 (12) 的贝叶斯估计要求在 \tilde{n} 的取值范围 Ω 内找到极值, 其实, 通过减小 Ω , 可以减少搜索次数, 从而降低复杂度. 把一个帧长内观测到的空时隙数 c_0 去代替其均值 $a_0(L, n)$, 那么由式 (2a), 有

$$\bar{n} = \frac{\ln\left(\frac{c_0}{L}\right)}{\ln\left(\frac{1}{L}\right)} \quad (13)$$

由于式 (13) 的估计只利用了一个帧内发生的空时隙数信息, 得到的估计 \bar{n} 并不准确, 因此并不能把该值作为最后的标签估计值. 把式 (13) 代入式 (2c), 有

$$\bar{c}_\kappa = a_\kappa(L, \bar{n}) = L - c_0 - \bar{c}_1 \quad (14)$$

把式 (13) 中的 \bar{c}_κ 与实际观测值 c_κ 进行比较. 若 $\bar{c}_\kappa \leq c_\kappa$, 即, 由 \bar{n} 得到的冲突时隙数值要小于实际值. 由于一个帧内发生的冲突时隙数 c_κ 是关于标签数 n 的增函数, 因此, $\bar{c}_\kappa \leq c_\kappa$, 则 \bar{n} 不会大于实际值; 同理, 若 $\bar{c}_\kappa \geq c_\kappa$, 则 \bar{n} 不会小于实际值. 通过以上分析, 可知, 在 $\tilde{n} \in \Omega$ 上的贝叶斯估计等价于在 $\tilde{n} \in \Psi$ 上的估计, 其中

$$\Psi = \bar{c}_\kappa \leq c_\kappa? \Psi_1 : \Psi_2 \quad (15)$$

$$\Psi_1 = \{\tilde{n}|\bar{n} \leq \tilde{n} \leq N\} \quad (16)$$

$$\Psi_2 = \{\tilde{n}|c_1 + 2c_\kappa \leq \tilde{n} \leq \bar{n}\} \quad (17)$$

其中, $x?a:b$ 定义为, 当 x 为真时, 取值为 a , 当 x 为假时, 取值为 b .

下面, 再来进一步缩减集合 Ψ , 令

$$\delta(\tilde{n}) = \sum_{n=1}^{\tilde{n}} p(n|c) - \sum_{n=\tilde{n}}^N p(n|c) \quad (18)$$

作出 δ 关于标签数 \tilde{n} 的关系曲线, 可知该曲线是一个具有唯一最小值的凹形曲线, 因此, 当 $\bar{c}_\kappa \leq c_\kappa$ 时, \tilde{n} 从 \bar{n}_1 增长到 \hat{n} , $\delta(\tilde{n})$ 为减函数, 其中, \bar{n}_1 为在 $\bar{c}_\kappa \leq c_\kappa$ 时通过式 (13) 计算的对数值. 若一旦出现 $\delta(\tilde{n} = n_x) < \delta(n_x + 1)$, 可知 n_x 就是所求的估计值 \hat{n} , 无需再考虑 $\tilde{n} > n_x + 1$ 下的情况. 同理, 若 $\bar{c}_\kappa \geq c_\kappa$, 将不再考虑 $\tilde{n} < n_x - 1$ 的情况. 因此, 最后的低复杂度贝叶斯绝对估计可以在 $\dot{\Psi}$ 上估计, 其中

$$\dot{\Psi} = \bar{c}_\kappa \leq c_\kappa? \dot{\Psi}_1 : \dot{\Psi}_2 \quad (19)$$

$$\dot{\Psi}_1 = \{\tilde{n}|\bar{n} \leq \tilde{n} \leq \hat{n} + 1\} \quad (20)$$

$$\dot{\Psi}_2 = \{\tilde{n}|\hat{n} - 1 \leq \tilde{n} \leq \bar{n}\} \quad (21)$$

同样, 对后验概率的曲线进行分析后也可以缩减集合 Ψ . 作出后验概率 p 关于标签数 \tilde{n} 的关系曲线, 可知该曲线是一个具有唯一最大值的凸形曲线. 同理于式 (19) ~ (21), 最后的低复杂度最大后验概率可以在 $\dot{\Psi}$ 上估计.

2) 低复杂度的 Vogt 估计. Vogt 的估计可以表示为^[11-12, 16-17]

$$\hat{n} = \arg \min_{\tilde{n} \in \Omega} \|\mathbf{A}(\tilde{n}) - \mathbf{C}\|^2 \quad (22)$$

其中, $\|\cdot\|$ 为欧氏范数, $\mathbf{C} = [c_0, c_1, c_\kappa]^T$, $\mathbf{A}(\tilde{n}) = [a_0(L, \tilde{n}), a_1(L, \tilde{n}), a_\kappa(L, \tilde{n})]^T$. 由于式 (22) 也是在 $\tilde{n} \in \Omega$ 上进行估计^[11-12, 16-17], 因此也可以通过缩减集合 Ω 来降低复杂度, 令

$$\delta'(\tilde{n}) = \|\mathbf{A}(\tilde{n}) - \mathbf{C}\|^2 \quad (23)$$

δ' 关于 \tilde{n} 的曲线也是具有唯一最小值的凹形曲线, 因此, 低复杂度的 Vogt 估计可以在 $\hat{\Psi}$ 上估计.

2.3 计算复杂度分析

由第 2.2 节可知, 贝叶斯标签估计和 Vogt 估计的计算复杂度在于标签数的搜索次数, 表 1 给出了各估计方法的计算复杂度.

表 1 计算复杂度比较

Table 1 Computational complexities

估计方法	计算复杂度
贝叶斯均方估计	$O(N)$
贝叶斯绝对估计	$O(2N - c_1 - 2c_\kappa + 1)$
最大后验估计	$O(N - c_1 - 2c_\kappa + 1)$
Vogt 估计	$O(N - c_1 - 2c_\kappa + 1)$
低复杂度绝对估计	$O(N + \hat{n} - \bar{n} + 2)$
低复杂度最大后验估计	$O(\hat{n} - \bar{n} + 2)$
低复杂度 Vogt 估计	$O(\hat{n} - \bar{n} + 2)$

3 帧长确定

在 RFID 动态帧时隙 ALOHA 中, 若一个帧的时隙数相比于标签数过长, 则空时隙过多, 相反, 则冲突时隙又过多, 这均会导致标签识别效率降低. 因此, 帧长与标签数应满足一定比例关系. 文献^[10, 13, 15-16, 18-19]从系统最大信道利用率的角度出发, 推导出若干标签数和帧长关系式, 这些文献假设了空时隙、冲突时隙和可读时隙所占用的时间都相同^[10, 13, 15-16, 19], 或冲突时隙和可读时隙的时间相同^[18]. 然而, 为了提高信道利用率, 有时并不一定要把这些时隙的时间设为一样. 在 ISO18000-6C^[20-21] 和 EPC C1 Gen2^[22] 标准中, 冲突时隙、空时隙和可读时隙所占用的时间就不一样. 在这样的系统中, 标签先向阅读器发送 16 位随机码 RN16, 若阅读器没有接收到任何信息, 则提前终止时隙; 若正确接收到, 标签再发送 64 位 EPC 数据; 若发生冲突, 则不再发送 EPC. 因此, 该系统的空时隙时间最短, 其次是冲突时隙, 可读时隙的时间最长.

设 t_0 , t_κ 和 t_1 分别为空时隙、冲突时隙和可读时隙所占用的时间, 那么系统信道利用率可以表示为

$$P_s = \frac{a_1(L, n) t_1}{a_0(L, n) t_0 + a_1(L, n) t_1 + a_\kappa(L, n) t_\kappa} \quad (24)$$

考虑一种线性模型, L 与 n 具有线性关系 $L = kn$, 那么

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} \left(1 - \frac{1}{kn}\right)^n = e^{-\frac{1}{k}} \quad (25)$$

把式 (25) 代入式 (24), 并令 $\alpha = t_0/t_1$, $\beta = t_\kappa/t_1$, 有

$$P_s \approx \left(k\beta e^{\frac{1}{k}} + k(\alpha - \beta) + 1 - \beta\right)^{-1} \quad (26)$$

由式 (26) 可得

$$P_s^*|_{\alpha < \beta < 1} > P_s^*|_{\alpha < \beta = 1} > P_s^*|_{\alpha = \beta = 1} \quad (27)$$

其中, $P_s^*|_{\alpha < \beta < 1}$, $P_s^*|_{\alpha < \beta = 1}$, $P_s^*|_{\alpha = \beta = 1}$ 分别为 $\alpha < \beta < 1$, $\alpha < \beta = 1$ 和 $\alpha = \beta = 1$ 时的最大信道利用率. 式 (27) 表明, 若系统的空时隙占用时间小于冲突时隙, 冲突时隙占用时间又小于可读时隙时, 系统的最大信道利用率可以得到提高. 其实, 当帧长等于标签数, 即 $k = 1$ 时, 将其代入式 (26) 和式 (27), 可知 $P_s^*|_{\alpha < \beta < 1} > P_s^*|_{\alpha = \beta = 1} = 1/e = 0.368$, 也就是说, 空时隙时间小于冲突时隙且冲突时隙时间又小于可读时隙时, 最大信道利用率可以超过三种时隙时间相同下的信道利用率极值 0.368.

在 RFID 动态帧时隙 ALOHA 中, 文献 [10, 13, 15, 19] 均认为, 当帧的时隙数确定为标签数时, 系统能达到最大信道利用率, 但是它们的前提条件是, 系统的空时隙、冲突时隙和可读时隙的时间均相同. 求式 (24) 中 P_s 关于 L 的导数, 并把 $L = n$ 代入, 可得

$$\left. \frac{dP_s}{dL} \right|_{L=n} = 0 \Leftrightarrow \alpha = \beta \quad (28)$$

式 (28) 表明, 若空时隙与冲突时隙的时间不相同, 即使按照文献 [10, 13, 15, 19] 的方案使帧的时隙数等于标签数也不能使系统的信道利用率达到最大值. 文献 [18] 虽然规定了空时隙时间与冲突时隙时间不同, 但冲突时隙与可读时隙相同, 因此这时取得的最大信道利用率只是式 (26) 中 $\beta = 1$ 时的特殊情况.

在本节最后, 给出系统达到最大信道利用率时的最优帧长方案. 假定式 (26) 中的 P_s 在 $k = k^*$ 达到最大值, 考虑一种最简单的模型: 帧的时隙数 L 与标签数 n 线性相关, 那么最优帧长可以表示为

$$L = \lfloor k^* n \rfloor \quad (29)$$

其中, $\lfloor \cdot \rfloor$ 为向下取整. 式 (29) 的关键问题就是对 k^* 的求解, 即求式 (26) 中 P_s 的最大值. 该问题涉及凹凸理论, 较为复杂. 为简化问题, 我们考虑另外一种方法. 对于一个 RFID 系统, α 和 β 为固定值, 因此无需对 k^* 实时求解, 而可预先求解后再存储; 也由于帧长值只取整数, k^* 不需要很精确, 因此可采用作图法来求 k^* , 做出式 (26) 中 P_s 关于 k 在一定 α 和 β 下的曲线图可知, 该曲线具有唯一最大, 而最大值所对应的 k 值即为所求. 例如, 当 $\alpha = 0.25$, $\beta = 0.5$ 时, P_s 在 $k = 1.3$ 时取得最大值, 因此 $k^* \approx 1.3$.

4 仿真结果

本节用计算机仿真的实验结果验证本文提出的方法, 计算机仿真采用蒙特卡洛方法, 所有结果由独立做 500 次实验平均得到.

4.1 标签估计

在本节中, 帧长定为 $L = 128$. 图 1 给出了下限值 (Lower bound, LB) 法^[11-14]、Schoute 估计法^[10, 13-15]、空时隙数 (Idle slot number, ISN) 法^[18]、Vogt 估计^[11-12, 16-17]、最大后验概率 (Maximum a posteriori, MAP) 方法^[19] 以及本文式 (8) 的贝叶斯均方估计 (Bayesian mean square error, Bayesian MSE) 和式 (10) 的贝叶斯绝对 (Bayesian absolute) 估计的相对误差随标签数 n 变化的曲线图. 其中, 相对误差

ε 由式 (30) 给出.

$$\varepsilon = \frac{\hat{n} - n}{n} \times 100\% \quad (30)$$

需要说明的是, 由于本文式 (12) 的贝叶斯后验概率估计与文献 [19] 的 MAP 估计在形式上完全相同, 所以此处不再给出贝叶斯后验概率估计的结果. 图中的 MAP 方法以及本文的 Bayesian MSE 估计和 Bayesian absolute 估计具有相似的曲线, 相互间相差不超过 1%. 另外, 这三者的相对误差均未超过 4%, 略优于 Vogt 估计, 而 LB 法、Schoute 估计法和 ISN 法均在 4% 以上. 图 2 给出了原方法与改进方法的计算复杂度曲线, 其中的计算复杂度由表 1 给出. 图 2 中的虚线为低复杂度估计, 实线为原估计, 虚线与实线相比, 计算复杂度减小了 300 以上.

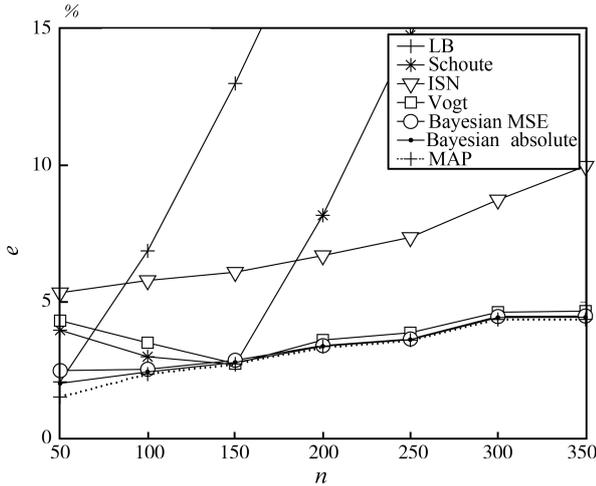


图 1 标签估计误差仿真结果
Fig. 1 Simulation results for tag estimate error

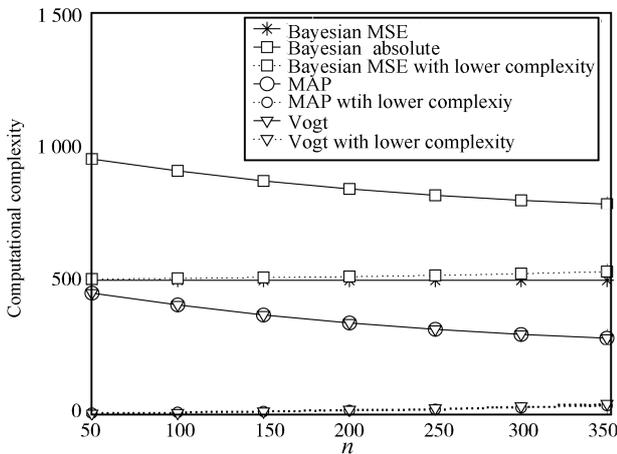


图 2 计算复杂度仿真结果
Fig. 2 Simulation results for computational complexity

4.2 帧长确定

本节中, 标签数固定为 $n = 100$, t_0 , t_1 和 t_κ 分别取 50, 200 和 $400 \mu\text{s}$, 相应地, $\alpha = 0.125$, $\beta = 0.5$. 图 3 给出了在不同帧长下平均每个标签识别时间随标签数变化的曲线, 其中

平均每个标签识别时间 t' 定义为

$$t' = \frac{\left(\sum_{i=1}^I c_0^i t_0 + c_1^i t_1 + c_\kappa^i t_\kappa \right)}{n} \quad (31)$$

其中, 识别所有标签的过程共需要 I 个帧. 从图 3 中可以看到 $L = 1.7n$ 时标签的识别时间最少, 大约在 550 到 $555 \mu\text{s}$ 之间, 而其他三种曲线大约在 565 到 $595 \mu\text{s}$ 之间. 由于通过式 (29) 的理论计算曲线可以得到, 当 $\alpha = 0.125$, $\beta = 0.5$ 时, 信道利用率在 $k = 1.7$ 时达到最大, 因此它的标签识别时间也最少.

5 结论

本文针对 RFID 动态帧时隙 ALOHA 防冲突系统, 提出了利用贝叶斯估计 RFID 标签的方法, 并且为了减小计算复杂度, 还讨论了几种低复杂度的估计. 另外, 为了得到最大的信道利用率还推导了一种根据标签数确定帧长的方案. 从本文的理论计算及仿真结果中, 得到以下结论: 三种贝叶斯估计方法: 均方估计、绝对估计和后验概率估计的估计性能相似, 其相对误差小于 4%, 而 Vogt 相对误差小于 5%, 因此贝叶斯估计方法略优于 Vogt 估计. 由于下限值法、Schoute 估计法和空时隙数法的相对误差均大于 5%, 因此贝叶斯估计方法要优于这三种方法. 提出的低复杂度绝对估计, 后验概率估计和 Vogt 估计在搜索次数可比原算法减少 300 次以上. 当空时隙占用时间小于冲突时隙, 且冲突时隙时间小于可读时隙时, 把帧的时隙数定为标签数并不能使标签识别时间减为最少. 例如, 空时隙、可读时隙和冲突时隙占用时间为 50, 200 和 $400 \mu\text{s}$ 时, 采用本文的方案, 把帧长时隙数设为 1.7 倍标签数, 每个标签的平均识别时间大约为 $550 \mu\text{s}$, 而把帧的时隙数定为标签数时, 平均识别时间大约在 $590 \mu\text{s}$ 以上.

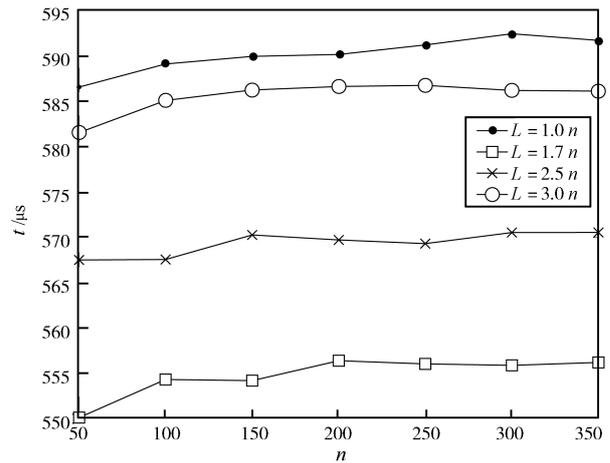


图 3 不同帧长值的平均标签识别时间
Fig. 3 Average tag identified time for frame length

References

- 1 Finkenzeller K. *RFID Handbook: Radio-frequency Identification Fundamentals and Applications (Second Edition)*. England: John Wiley and Sons, 2003. 1-10
- 2 Shin D H, Sun P L, Yen D C, Huang S M. Taxonomy and survey of RFID anti-collision protocols. *Computer Communications*, 2006, 29(11): 2150-2166

- 3 Capetanakis J I. Tree algorithms for packet broadcast channels. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1979, **25**(5): 505–515
- 4 Hush D R, Wood C. Analysis of tree algorithm for RFID arbitration. In: Proceedings of IEEE International Symposium on Information Theory. Cambridge, USA: IEEE, 1998. 107
- 5 Law C, Lee K, Siu K S. Efficient memoryless protocol for tag identification. In: Proceedings of the 4th ACM International workshop on discrete algorithms and methods for mobile computing and communications. Boston, USA: ACM, 2000. 75–84
- 6 Myung J, Lee W, Srivastava J. Adaptive binary splitting for efficient RFID tag anti-collision. *IEEE Communications Letters*, 2006, **10**(3): 144–146
- 7 Myung J, Lee W, Shih T K. An adaptive memoryless protocol for RFID tag collision arbitration. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2006, **8**(5): 1096–1101
- 8 Myung J, Lee W, Srivastava J, Shih T K. Tag-splitting: adaptive collision arbitration protocols for RFID tag identification. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2007, **18**(6): 763–775
- 9 Lai Y C, Lin C C. A pair-resolution blocking algorithm on adaptive binary splitting for RFID tag identification. *IEEE Communication Letters*, 2008, **12**(6): 432–434
- 10 Schoute F C. Dynamic frame length aloha. *IEEE Transactions on Communications*, 1983, **31**(4): 565–568
- 11 Vogt H. Multiple object identification with passive RFID tags. In: Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Hammamet, Tunisia: IEEE, 2002. 1–6
- 12 Vogt H. Efficient object identification with passive RFID tags. In: Proceedings of International Conference on Pervasive Computing. Zurich, Switzerland: Springer-Verlag, 2002. 98–113
- 13 Floerkemeier C. Transmission control scheme for fast RFID object identification. In: Proceedings of the 4th Annual International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops. Washington D. C., USA: IEEE, 2006. 457–462
- 14 Floerkemeier C, Wille M. Comparison of transmission schemes for framed ALOHA based RFID protocols. In: Proceedings of the International Symposium on Applications on Internet Workshops. Washington D. C., USA: IEEE, 2006. 92–97
- 15 Cha J R, Kim J H. Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system. In: Proceedings of the 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems. Washington D. C., USA: IEEE, 2005. 63–67
- 16 Lee S R, Joo S D, Lee C W. An enhanced dynamic framed ALOHA algorithm for RFID tag identification. In: Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services. Washington D. C., USA: IEEE, 2005. 166–174
- 17 Bonuccelli M A, Lonetti F, Martelli F. Tree slotted ALOHA: a new protocol for tag identification in RFID networks. In: Proceedings of the International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. New York, USA: IEEE, 2006. 603–608
- 18 Khandelwal G, Yener A, Lee K, Serbetli S. ASAP: a MAC protocol for dense and time constrained RFID systems. In: Proceedings of IEEE International Conference on Communications. Istanbul, Turkey: IEEE, 2006. 4028–4033
- 19 Chen W T. An accurate tag estimate method for improving the performance of an RFID anticollision algorithm based on dynamic frame length ALOHA. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2009, **6**(1): 9–15
- 20 Information Technology — Radio Frequency Identification (RFID) for Item Management-Part 6: Parameters for Air Interface Communications at 860 MHz to 960 MHz, International Standard ISO/IEC 18000-6, 2004
- 21 Information Technology — Radio Frequency Identification (RFID) for Item Management-Part 6: Parameters for Air Interface Communications at 860 MHz to 960 MHz, Amendment1: Extension with Type C and Update of Types A and B, International Standard ISO/IEC 18000-6, 2006
- 22 EPC Radio-Frequency Identification Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz–960 MHz Version 1.1.0 Draft1. EPCglobal Inc, 2005
- 23 Rivest R L. Network control by Bayesian broadcast. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1987, **33**(3): 323–328
- 24 Floerkemeier C. Bayesian transmission strategy for framed ALOHA based RFID protocols. In: Proceedings of IEEE International Conference on RFID. Grapevine, USA: IEEE, 2007. 228–235
- 25 Shen Feng-Lin, Ye Zhong-Fu, Qian Yu-Mei. *Statistics and Processing of Signal*. Hefei: China University of Science and Technology Press, 2003. 389–392
(沈凤麟, 叶中付, 钱玉美. 信号统计分析与管理. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003. 389–392)

吴海锋 中山大学博士后, 云南民族大学讲师. 主要研究方向为 RFID 技术. E-mail: whf5469@gmail.com
(WU Hai-Feng Postdoctor at Sun Yat-sen University and lecturer at Yunnan University of Nationalities. His main research interest is RFID technology.)

曾 玉 云南民族大学讲师. 主要研究方向为 RFID 技术. 本文通信作者. E-mail: yv.zeng@gmail.com
(ZENG Yu Lecturer at Yunnan University of Nationalities. His main research interest is RFID technology. Corresponding author of this paper.)