

7-3-2020

Research of Under-determined Blind Source Separation Anti-collision Algorithm Based on RFID Frame-slot

Xiaohong Zhang

School of Information Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

Yungang Jin

School of Information Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Research of Under-determined Blind Source Separation Anti-collision Algorithm Based on RFID Frame-slot

Abstract

Abstract: *For the algorithm of under-determined blind separation's result becomes worse as the increasing number of tags, causes the decline of the overall system performance or other issues, a novel parallelizable identification anti-collision algorithm based on NMF and framed-slot was proposed. The number of tags in each slot can be controlled within the optimum range by selecting the reasonable number of slots, remained the best condition of the RFID system. Compared with the Blind Separation and Dynamic Bit-Slot Group (BSDBG) algorithm using the same multi-antenna technology, the simulation results show that the tag identification rate improves from 180% to 389% and the tag identification speed of the proposed algorithm increases from 39% to 70% when the number of antennas is from 4 to 28. This algorithm has the advantages of high efficiency and low cost, has the very good application value in efficient field.*

Keywords

RFID, under-determined blind separation, anti-collision, framed slotted ALOHA (FSA), NMF

Recommended Citation

Zhang Xiaohong, Jin Yungang. Research of Under-determined Blind Source Separation Anti-collision Algorithm Based on RFID Frame-slot[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(5): 1100-1108.

基于帧时隙的欠定盲分离 RFID 防碰撞算法研究

张小红, 金允钢

(江西理工大学信息工程学院, 江西 赣州 341000)

摘要: 针对当识别标签数目大量增加时, 欠定盲分离算法出现的分离效果变差, 系统整体性能急速下降等问题, 提出一种基于约束性非负矩阵分解(NMF, Nonnegative Matrix Factorization)与帧时隙 ALOHA(FSA)的并行识别防碰撞算法, 通过合理的帧时隙数选择, 可以使每一时隙内的标签数目控制在最佳的范围内, 使得即使标签数目大量增加时, 仍能使 RFID(Radio Frequency Identification)系统性能保持在最佳状态。仿真结果表明, 在天线数相同的情况下, 改进的算法与基于动态位隙分组盲分离防碰撞(BSDBG, Blind Separation and Dynamic Bit-slot Grouping)算法相比, 当天线数为 4~28 时, 标签识别率提高了 180%~389%, 标签识别速度提高了 39%~70%, 同时改进的算法具有高效性和低成本性, 具有非常好的应用价值。

关键词: 射频识别; 欠定盲分离; 防碰撞; 帧时隙 ALOHA 算法; 非负矩阵分解

中图分类号: TN911.23

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2016) 05-1100-10

Research of Under-determined Blind Source Separation Anti-collision Algorithm Based on RFID Frame-slot

Zhang Xiaohong, Jin Yungang

(School of Information Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: For the algorithm of under-determined blind separation's result becomes worse as the increasing number of tags, causes the decline of the overall system performance or other issues, a novel parallelizable identification anti-collision algorithm based on NMF and framed-slot was proposed. The number of tags in each slot can be controlled within the optimum range by selecting the reasonable number of slots, remained the best condition of the RFID system. Compared with the Blind Separation and Dynamic Bit-Slot Group (BSDBG) algorithm using the same multi-antenna technology, the simulation results show that the tag identification rate improves from 180% to 389% and the tag identification speed of the proposed algorithm increases from 39% to 70% when the number of antennas is from 4 to 28. This algorithm has the advantages of high efficiency and low cost, has the very good application value in efficient field.

Keywords: RFID; under-determined blind separation; anti-collision; framed slotted ALOHA (FSA); NMF

引言

射频识别 (Radio Frequency Identification,



收稿日期: 2014-12-18 修回日期: 2015-04-02;
基金项目: 国家自然科学基金(11062002, 61363076),
江西省自然科学基金(20142BAB207020), 江西省教育厅
科技项目(GJJ14465, GJJ14439), 江西省研究生创新专
项资金(YC2014-S370);
作者简介: 张小红(1966-), 女, 河北昌黎, 博士, 教
授, 研究方向为非线性动力学理论, 视频保密通信。

RFID)是一种利用射频信号和空间耦合的传输特性进行双向通信, 实现对物体非接触式自动识别技术^[1], RFID 技术现广泛应用于门禁管理、图书管理和物流管理等行业中^[2]。在很多 RFID 的应用场合中, 阅读器要在短时间内快速识别多个标签, 但多个标签在同时响应阅读器发送的查询命令时容易发生标签碰撞, 从而严重影响标签识别的正确率和速度, 降低 RFID 系统的识别效率和性能。研究

<http://www.china-simulation.com>

• 1100 •

有效的防碰撞算法能够实现多个标签和阅读器之间快速而高效的通信^[3]。

RFID 系统现有两类标签的防碰撞算法, 即基于概率统计的 ALOHA 的不确定算法和基于树的确定性算法^[4-5]。其中 ALOHA 防碰撞算法只有在标签数量与时隙数相当的情况下, 才能保持比较高的标签识别率^[6], 最大值为 36.8%, 即便是具有自适应调整帧长的改进型动态帧时隙 ALOHA 算法的最大标签识别率也仅为 58%^[7]。EPC Gen2 规定了基于动态帧时隙随机算法的 Q 算法^[8], Q 算法通过时隙内预约机制来减少无效空闲时隙和碰撞时隙长, 来提高协议性能。具有一定的自适应性的 Q 算法, 可在一个盘存周期的任意时刻通过调整 Q 值来改变时隙数, 从而使未被识别的标签来重新选择响应的时隙, 进入下一帧的响应周期中, 然而由于 Q 值可能会发生反复变化, 进而对算法的标签识别率产生一定的影响, 使得算法的最大标签识别率仅在 50% 左右。

在实际应用中, 智能天线技术^[9]通过提高接收信号质量来提高 RFID 系统的抗碰撞能力, 但其成本较高, 不可能在实际应用中单纯依靠大量天线来提高多标签的识别率和系统性能。在近年来的研究中, 常采用与盲源分离(Blind Source Separation, BSS)^[10]技术相结合的办法, 即从观测到的若干个混合信号中, 直接分离出源标签信号。其中盲源信号分离又分为欠定盲分离^[11]和非欠定盲分离, 非欠定盲分离又包括超定问题(即源信号个数小于天线个数)和正定问题^[12](即源信号个数等于天线个数)。独立分量分析^[13](Independent Component Analysis, ICA)是非常经典的盲源分离方法, 但只适用于超定和正定的情况, 如栗华等提出的基于动态位隙分组盲分离的多标签防碰撞(Blind Separation and Dynamic Bit-slot Grouping, BSDBG)算法^[14], 利用位隙对标签进行分组及通过动态探索使每一组中的标签数满足非欠定盲源分离的条件。在实际应用中, 这种算法往往容易造成较高的硬件的成本和复杂度。岳克强提出的基于欠定盲分离的多标防碰

撞算法^[15]是在分析 RFID 实际通信中标签数目大于阅读器天线数目情况下, 建立了多标签防碰撞的欠定盲源分离通信模型, 但随着标签数量的增加, 分离性能和标签识别率(即阅读器每次操作可以成功读取的标签数)会大幅度降低。鉴于此, 本文结合帧时隙 ALOHA 算法提出了欠定盲分离的帧时隙 RFID 系统并行识别防碰撞算法, 仿真结果表明, 在标签数目大量增加的情况下, 分离效果和标签识别率都得到了明显的提高, 如在天线数 $M=3$ 和 $M=7$ 时, 标签识别率分别可以稳定在 2.33 和 6.81, 不会因标签数的增加而使系统性能降低, 大幅度提高了 RFID 系统的性能和工作效率, 使系统具有高效性。

1 算法系统描述

1.1 盲源分离系统模型

欠定盲源分离防碰撞系统由标签、阅读器及计算机系统组成, 如图 1 所示。当阅读器向标签发送查询信息时, N 个标签发出响应, 同时与阅读器同步通信。阅读器的天线接收响应信号时, 利用阅读器其内的约束 NMF(Nonnegative Matrix Factorization, 非负矩阵分解)^[16]盲源分离单元来处理响应的标签并存储相应的信息, 然后将存储的信息发送到数据处理中心进行相关的操作。

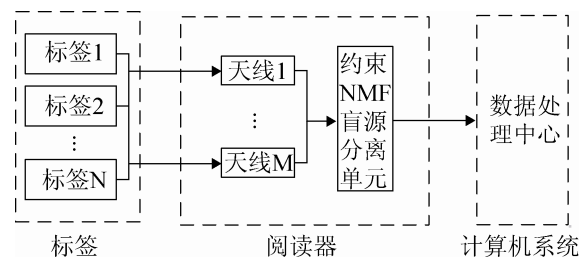


图 1 欠定盲源分离的天线系统模型

图 1 中所示为多标签多天线通信模型, 源标签信号可以表示为 $S = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)]^T$, 式中: $s_j(t)$ ($1 \leq j \leq N$) 为 N 个标签中第 j 个标签发出的信号。阅读器上接收到的 M 个混合信号即观测信号表示为 $X = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_M(t)]^T$, $x_i(t)$ ($1 \leq i \leq M$)

是阅读器上的第 i 根天线接收的信号。标签与混合信号之间的关系为:

$$x_j = \sum_{i=1}^N a_{i,j} s_j + r_j \quad (1)$$

式中, $i=1,2,\dots,N$, $j=1,2,\dots,M$, $a_{i,j}$ 表示为各种因素对阅读器接收功率产生影响的衰减因子。 r_j 为观测噪声。(1)式可以矢量表示为:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{S} + \mathbf{R} \quad (2)$$

\mathbf{A} 为混合矩阵, 元素为 $a_{i,j}$, \mathbf{R} 由高斯统计独立信号 $r_j(t)$ 构成, 与盲源信号分离的数学模型相同。当忽略噪声时可以表示为

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{S} \quad (3)$$

在上述分析中可知, 在通常多标签防碰撞情况下, 可以采用盲源分离的方法来处理多天线中的 RFID 碰撞问题, 即通过求出矩阵 \mathbf{A} 的逆矩阵 \mathbf{A}^{-1} 来分离出源信号 \mathbf{S} 。但在标签数目多于阅读器接收天线数目, 即 $N > M$ 时, 即使估计出了混合矩阵 \mathbf{A} , 由于 \mathbf{A}^{-1} 不存在, 也无法用传统的 ICA 方法分离出源信号。对应于盲分离中源信号数目大于观测信号数目的情况, 需采用欠定盲分离算法去处理。

在标签密集的实际环境中, 阅读器在读取标签时响应的标签数经常大于天线的数量, 但受成本制约, 天线数目不可能很多, 所以在解决实际 RFID 防碰撞问题时, 采用欠定盲分离算法更符合实际情况。

1.2 约束性欠定盲源分离

RFID 系统常采用 PSK 调制或 ASK 调制, 使接收到的标签信号并不是完全稀疏的信号。非负矩阵分解(NMF)的方法可以有效对 RFID 系统中非稀疏标签进行处理, 从而实现标签的防碰撞识别的目的。

NMF 基本思想为在非负限制下将矩阵 $V = [v_1, v_2, \dots, v_N] \in R^{m \times N}$ 分解成 2 个矩阵 $W = [w_1, w_2, \dots, w_n] \in R^{m \times n}$ 和 $H = [h_1, h_2, \dots, h_N] \in R^{n \times N}$ 的乘积^[17], 使分解结果尽可能的满足 $V \approx WH$, 其中 W 和 H 中的元素非负。数学模型模型表示为:

$$V = W \times H \quad (4)$$

一般情况下, 上述矩阵维数需要满足关系式 $(m+N)n < mN$ 。

非负矩阵分解直接用于求解欠定(即标签数目 N 大于天线数目 M)盲信号分离时, 分解结果不唯一, 无法正确分离源信号。为得到在欠定条件下分离性能好且结果唯一的目的, 需要对非负矩阵分解过程采用三重约束, 同时结合最小重构误差的目标函数, 选择优化函数 $F(V\|WH)$ ^[11]为:

$$F(V\|WH) = \partial_D D(V\|WH) + \partial_\phi \text{vol}(\phi(W)) + \partial_J J(H) + \partial_R R(H) \quad (5)$$

其中: $W_{ik}, H_{kj} > 0, \sum_i W_{ik} = 1, 1 \leq k \leq n, 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq N$ 。

$$D(V\|WH) = \frac{1}{2} \|V - WH\|^2 = \frac{1}{2} \sum_{i,j} (V_{i,j} - [WH]_{i,j})^2 \quad (6)$$

式中: $D(V\|WH)$ 是 V 与 WH 的距离函数, 即重构误差^[18]; $\text{vol}(\phi(W))$ 是混合矩阵 W 的行列式准则约束, 且 $\text{vol}(\phi(W))$ 表示 $\phi(W)$ 的体积, W 为方阵时, $\text{vol}(\phi(W)) = |\det(W)|$, W 不是方阵时, $\text{vol}(\phi(W)) = |\det(WW^T)|$; $J(H)$ 是分离信号 H 的稀疏性约束; $R(H)$ 是分离信号 H 的相关性约束; $\partial_D, \partial_\phi, \partial_J, \partial_R$ 是约束参数, 目的是为了保证算法收敛。

用梯度下降法^[15]来更新矩阵 W 和 H , 更新规则为:

$$W_{ik} = W_{ik} \left(\frac{[VH^T]_{ik}}{[WHH^T]_{ik} + \xi} - \partial_\phi \det(WW^T) \frac{[(WW^T)^{-1}W]_{ik}}{[H^T HW]_{ik} + \xi} \right) \quad (7)$$

$$H_{kj} = H_{kj} \frac{[W^T V]_{kj} - \partial_J - \partial_R \left(\frac{h_{kj}}{(h_k h_k^T)} \right)}{[W^T WH]_{kj} + \xi} \rightarrow \left[\frac{(HH^T)^{-T} H]_{kj}}{\xi} \right] \quad (8)$$

式中: ξ 是一个足够小的正常数, 用来防止公式中出现分母等于零的状况。每一次迭代完成之后将 W 和 H 的负元素置零, 并且采用 $W_{ik} = \frac{W_{ik}}{\sum_k W_{ik}}$ 使 W 的列向量归一化。当公式(7)和(8)迭代至 $F(V\|WH)$

不大于某一很小的阈值, 可以判断算法收敛, 得到正确的 W 和 H 。

在信号和混合矩阵非负的条件下, 将公式(3) $X = AS$ 观测信号矩阵 X 按式(4)分解, 即 $X = WH$, 使得 W 为混合矩阵 A 的估计, H 为源信号矩阵 S 的估计, 从而实现了 RFID 系统混合信号的盲源分离。

1.3 标签的时隙选择过程

RFID 在帧时隙算法对标签进行识别时, 每个标签都会从一帧包含的若干个时隙中随机选择一个时隙作为自己的响应时隙, 并且各个时隙被 N 个标签选择的概率是相同的。包含一个时隙中标签数为 0 个的, 称为空闲时隙; 一个时隙中响应的标签数为 1 个的, 称为成功时隙; 一个时隙中标签数大于 1 个的, 称为碰撞时隙。当标签数目一定时, 若一个帧中所含的时隙数较少, 则会有多个标签选择同一个时隙, 识别时会发生频繁的碰撞, 这时如果发生碰撞的标签数过多, 超过了一定天线数下分离效果最佳的标签数量, 就会造成分离效果很差, 甚至无法分离。然而如果一个帧中所含的时隙数过多, 就会有大量的时隙空闲, 从而造成系统的资源的浪费。欠定盲分离的帧时隙超高频 RFID 系统防碰撞算法可以在标签数目确定时, 通过选择合理的时隙数, 使每个时隙中碰撞的标签数处于最佳的范围, 即使在标签数量较大的情况下, 仍能使欠定盲分离系统保持最佳的分离效果和性能。

1.3.1 帧时隙 ALOHA 时隙数的选取

设标签数为 N , 时隙数为 f_s , 天线数为 M 的情况下, 系统取得最大吞吐量时对应的标签数为 L , 则一个时隙中含有 k 个标签的概率为:

$$p_a(f_s, N, k) = C_N^k \left(\frac{1}{f_s}\right)^k \left(1 - \frac{1}{f_s}\right)^{N-k} \quad (9)$$

一个时隙内的标签数 $\leq L$ 的概率为:

$$p_b(f_s, N, k) = \sum_{k=0}^L C_N^k \left(\frac{1}{f_s}\right)^k \left(1 - \frac{1}{f_s}\right)^{N-k} \quad (0 \leq k \leq L) \quad (10)$$

一个时隙内的标签数多于 L 的概率为:

$$p_c(f_s, N, k) = 1 - p_b(f_s, N, k) \quad (k > L) \quad (11)$$

根据标签数 N 动态选择时隙数 f_s , 使每一时隙内的标签数 \leq 最大吞吐量时对应的最佳标签数 L , 根据曲线拟合工具, 经过反复计算和调试, 可得选取的时隙数 f_s 为:

$$f_s = \text{round} \left(\frac{N(L + \alpha)}{\beta L^2 + \gamma L} \right) \quad (12)$$

其中 $\alpha \approx 10$, $\beta \approx 0.8$, $\gamma \approx 0.66$, $\text{round}()$ 表示四舍五入取整。

1.3.2 最佳标签数的选择

在普通的欠定盲分离防碰撞方法中, 设一个阅读器有 M 根天线, 在某一时隙内到达阅读器识别范围内的标签数为 N , RFID 系统在接收标签响应信号后, 能够正确识别的标签数目为 n , 则 RFID 系统在这个时隙中成功识别的标签数的均值为

$$N_s = N \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{N-1} \quad (13)$$

当标签数目足够多时, 可以把标签的到达过程(即标签到达阅读器识别范围内的过程)看作成为服从泊松分布的, 因此到达的 N 个标签在这个时隙内的分布概率为:

$$P_N = (G^N / N!) \exp(-G) \quad (14)$$

其中, G 为负载, 即阅读器有效识别范围内标签平均到达数量。因此某一时隙内吞吐量可表示为:

$$S_N = \sum_{N=0}^{\infty} N_s P_N \quad (15)$$

将(13)和(14)代入(15)可得:

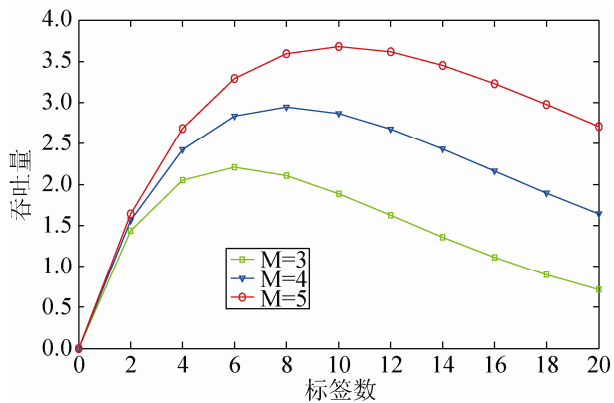
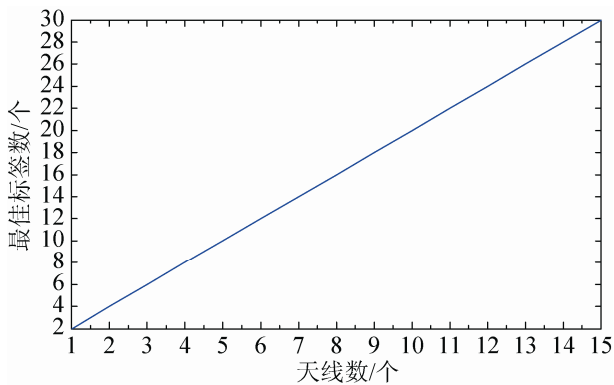
$$S_N = \sum_{N=0}^{\infty} N \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{N-1} \times (G^N / N!) \exp(-G) = G \exp(-G) \times \exp\left(\left(1 - \frac{1}{n}\right)G\right) = G \exp\left(-\frac{G}{n}\right) \quad (16)$$

经过对(16)求导可得, 当 $G = n$ 时, 吞吐量 S_N 取得最大值, 为 $S_{N_{\max}} = n/e$, 可知与原时隙 ALOHA 算法相比, 这种方法的最大吞吐量为它的 n 倍。结果如图 2(a)所示。

如图 2(a)可以看出, 当阅读器天线数目为 $M = 3$ 时, 吞吐量随标签的增加而增加, 并且在到

达标签数为 6 时达到吞吐量的最大值。根据公式 (15) 计算可知, 最大值为 2.208, 但当到达标签数过多时, 由于碰撞增加, 系统的吞吐量开始下降, 分离效果也变差。

同理, 在天线数分别为 $M=4$ 和 $M=5$ 时, 经过计算, 其吞吐量最大值分别为 2.944 和 3.678, 在图 2(a) 所示, 最大吞吐量对应的最佳标签数分别为 $L=8$ 和 $L=10$ 。如图 2(b) 可知, 最佳标签到达数目与天线数大约为 2 倍的关系。

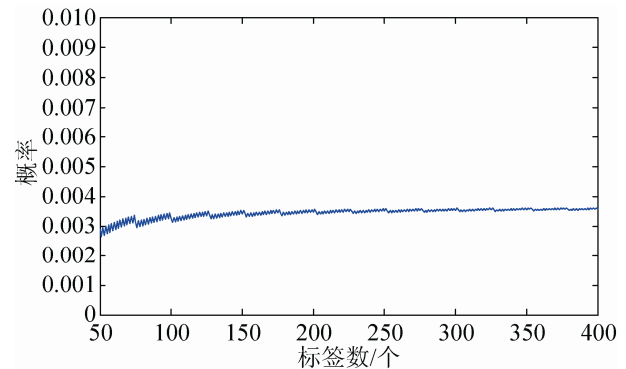
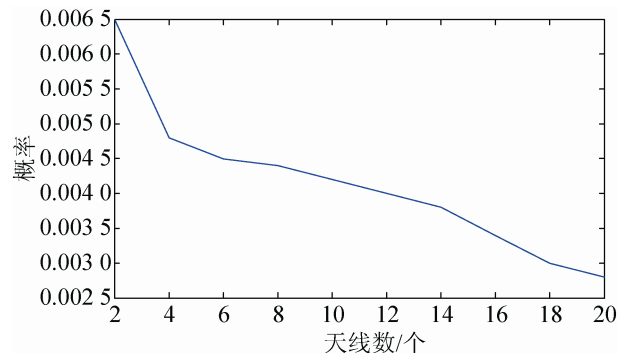
(a) 吞吐量比较 ($M=3,4,5$)

(b) 天线数与最佳标签到达数的关系

图 2 吞吐量变化情况与最佳标签数的关系

如图 3(a) 可见, 当周围标签数 $N=50 \sim 400$, 结合式 (12) 对一个帧时隙内的标签数进行控制, 可得当天线数为 $M=3$ 时, 所选择的时隙数可以使一个时隙内的标签数多于天线数所对应最大吞吐量时的标签数量 $L=6$ 时的概率 $p_c(f_s, N, k)$ 非常接近于 0, 因此算法时隙数的选取是合理的。由图 3(b) 可以看出, 当天线数增多时, 一个时隙内标签数大

于最佳标签数的概率一直在减小且都处于非常接近 0 的情况, 更说明时隙数的选择是正确的。

(a) 天线数 $M=3$ 时的概率

(b) 不同天线数时的概率

图 3 一个时隙内标签数大于最佳标签数的概率

2 算法分析与实现步骤

由于欠定盲分离算法虽然可以解决标签数大于天线数 (即 $N > M$) 的问题, 使其可以快速高效解决实际中 RFID 的应用问题, 但在达到最佳标签 (即一定天线数下, 系统最大吞吐量对应的标签数) 后, 系统吞吐量及其他性能持续下降, 分离效果变差, 甚至不能分离出源信号, 系统很不稳定, 故本算法让欠定盲分离与帧时隙相结合, 保证一个时隙内的标签数量不大于最佳标签数来保持系统性能和分离效果始终处于最佳状态。

2.1 结合帧时隙 NMF 算法标签识别描述

根据帧时隙算法的原理, 可知一个时隙中标签数目为 0 的概率为:

$$p_d(f_s, N, k) = C_N^0 \left(\frac{1}{f_s}\right)^0 \left(1 - \frac{1}{f_s}\right)^N = \left(1 - \frac{1}{f_s}\right)^N \quad (k=0) \quad (17)$$

一个时隙中标签数大于 0 的概率为:

$$p_e(f_s, N, k) = 1 - p_d(f_s, N, k) = 1 - \left(1 - \frac{1}{f_s}\right)^N \quad (k > 0) \quad (18)$$

根据计算可得, 基于帧时隙 NMF 算法的总查询次数 sum 为:

$$sum = f_s \times p_e(f_s, N, k) + 1 = f_s \times \left(1 - \left(1 - \frac{1}{f_s}\right)^N\right) + 1 \quad (19)$$

式(19)中, “+1”表示只进行了 1 次时隙数的选择的情况。由此可知, N 个标签的标签识别率为:

$$E(N) = \frac{N}{sum} \quad (20)$$

2.2 帧时隙 NMF 算法实现步骤

设阅读器有 M 个天线, 在阅读器周围存在足够多的标签, 标签数为 N , 开始进行标签的识别。整个算法步骤如下

步骤 1: 当标签进入阅读器识别范围时, 阅读器向标签发送 Query 命令, 开始盘存周期, 使标签准备就绪。

步骤 2: 在系统识别标签的过程中, 标签执行 16 位时隙计数器, 所有未识别的标签收到 Query 命令后, 在 $0 \sim \text{round}\left(\frac{N(L+\alpha)}{\beta L^2 + \gamma L}\right)$ 个时隙中随机选择一个时隙存入各自的时隙计数器中, 时隙计数器为 0 的标签开始响应。然后, 响应标签通过随机或伪随机数据发生器(RNG)产生一个 16 位的随机序列 RN16^[19], 并将各自的 RN16 序列发送给阅读器, 按响应标签的数目不同, 分为以下 2 种情况:

(1) 响应的标签个数 ≥ 1 时, 转至步骤 3 执行约束 NMF 算法

(2) 响应的标签个数为 0 时, 为空闲时隙, 转至步骤 5。

步骤 3: RFID 系统源信号为 $S = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)]^T$, 阅读器天线接收到的混合信号为 $X = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_M(t)]^T$, 其中标签数大于

天线数, 即 $N > M$ 的欠定问题。初始化 W 和 H 为非负矩阵, 进而用约束性 NMF 算法进行盲源信号分离, 可得到最终矩阵 W 和 H , 分离的 H 为源信号 S , 阅读器与响应标签建立联系, 标签进入确认状态, 转至步骤 4;

步骤 4: 处于确认状态的响应标签接收到 ACK 指令之后, 发送自己的响应信息, 阅读器利用步骤 3 的约束 NMF 算法分离并存储这些标签的标识信息, 此时标签被成功识别, 最后将成功识别的标签除去, 转至步骤 5。

步骤 5: 阅读器发送 QueryRep 命令, 进入准备状态并且没有被识别标签的时隙计数器值减 1, 转至步骤 2 继续进行标签识别, 直到识别完所有标签。

3 实验仿真与性能分析

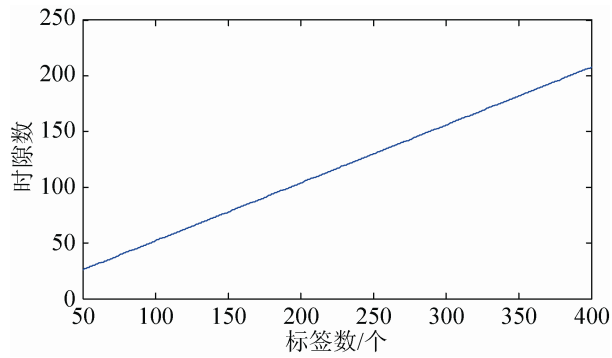
实验在标签数 N 大于天线数 M 的情况下(选择标签数为 $N = 50 \sim 400$), 设置 NMF 的约束条件, 根据文献 [11], 设置最小相关约束参数为 $\partial_R = 0.01$, 行列式约束参数为 $\partial_\phi = 1$, 稀疏性约束参数为 $\partial_J = \frac{1}{4 \times 1000}$, 迭代误差为 $\sigma = 10^{-6}$ 。结合

本文的帧时隙 NMF 算法实现步骤进行实验仿真, 在仿真过程中, 若相邻两次迭代误差 $\leq \sigma$, 则正确且唯一的分离出 W 和 H , 否则, 继续迭代。

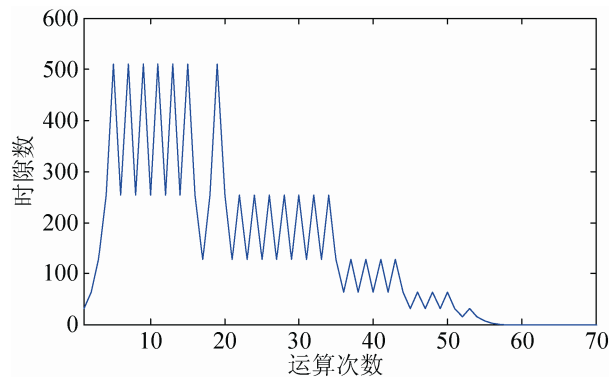
当天线数 $M = 3$, 本文算法标签识别率随标签数的变化和时隙数以及时隙数与标签数的关系如图 4(a)和图 4(b)所示, 图 4(b)为 Q 算法执行过程中时隙数的变化情况。

(1) 时隙数与运算次数比较

如图 4(a)所示, 本算法的时隙数虽然随着标签数目的增加而线性增加, 但与传统的防碰撞方法比较来说, 还是具有明显的优势。传统 Q 算法如图 4(b)所示, 其选取的时隙数不仅经常会出现大于本文算法时隙数的情况, 而且经常反复的增减, 会造成时隙资源的浪费, 使系统的整体性能明显降低。



(a) 本文算法时隙数变化情况



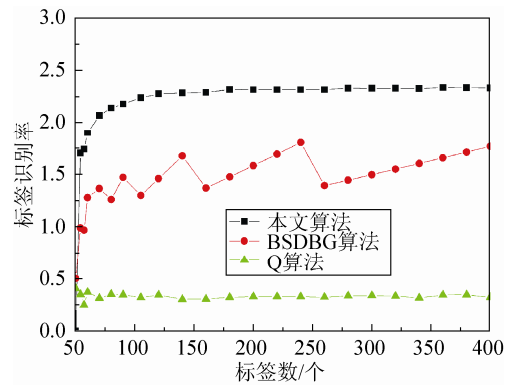
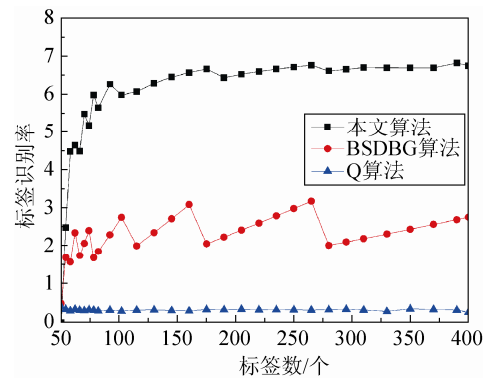
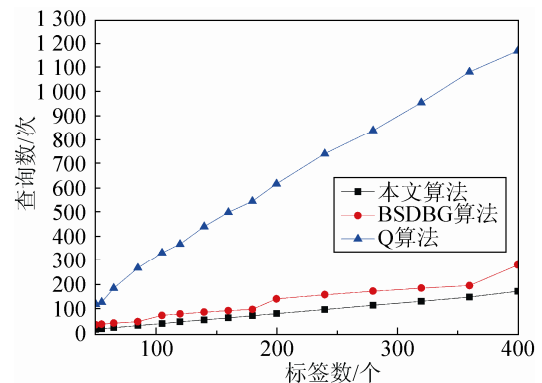
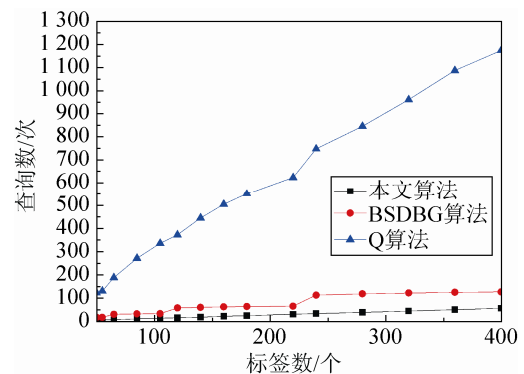
(b) Q算法时隙数的变化

图4 本文算法时隙数与Q算法时隙数变化情况($M=3$)

(2) 标签识别率比较

欠定盲分离的帧时隙RFID系统防碰撞算法基于位隙动态分组的盲分离(BSDBG)多标签防碰撞算法、传统的Q算法相比有很大的优势。在天线数为 $M=3$ 及 $M=7$ 的情况下,其标签识别率的比较如图5(a)和(b)所示。

由图5(a)和(b)可知,本文所提算法的标签识别率远高于基于位隙动态分组的盲分离(BSDBG)多标签防碰撞算法和Q算法,并且新算法的标签识别率逐渐稳定在某一较高值,天线数为 $M=3$ 时标签识别率稳定于2.24,BSDBG标签识别率1.55,Q算法为0.33;天线数为 $M=7$ 时稳定于等6.67,同等情况下BSDBG为2.53,Q算法为0.33。说明本文算法会使RFID多标签防碰撞系统的性能处于稳定且高效的状态,在应用中具有十分良好的效果。而BSDBG标签识别率波动性太大,对于分离效果的稳定性比较弱,在解决实际RFID问题时容易造成较混乱叠加碰撞结果。

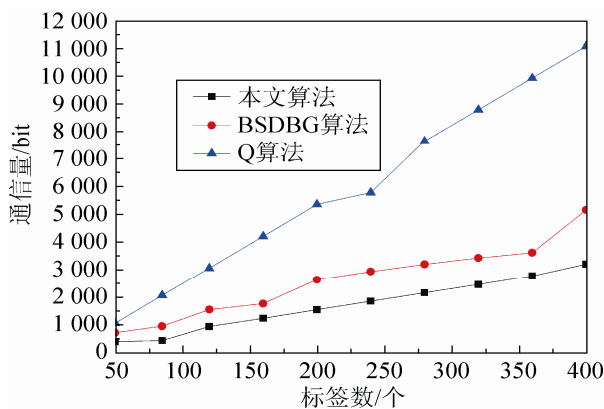
(a) 天线数 $M=3$ 标签识别率比较(b) 天线数 $M=7$ 标签识别率比较(c) 天线数 $M=3$ 查询数比较(d) 天线数 $M=7$ 时查询数比较图5 不同算法的标签识别率比较和查询数比较($M=3, M=7$)

(3) 查询数比较

由图 5(c)和(d)可以得到, 本文算法的查询数一直小于 BSDBG 算法且远远好于 Q 算法, 在天线增多的情况下本文算法对于 BSDBG 算法和 Q 算法的查询数优势更加明显。如天线数 $M = 3$ 时, 标签数为 400 时, Q 算法查询次数为 1 176.47 次, BSDBG 算法的查询数为 286.76 次, 而本文算法的查询数只用 178.7 次; 在天线数 $M = 7$ 时, 标签数为 400 时, Q 算法查询次数几乎不随天线数的改变而变化, 仍为 1 176.47 次, BSDBG 算法的查询数为 129.44 次, 本文算法的查询数只用 58.94 次。说明本文算法比 BSDBG 和 Q 算法所用时间更少, 时效性更好, 能进一步满足在实际 RFID 系统的快速识别的核心需求。

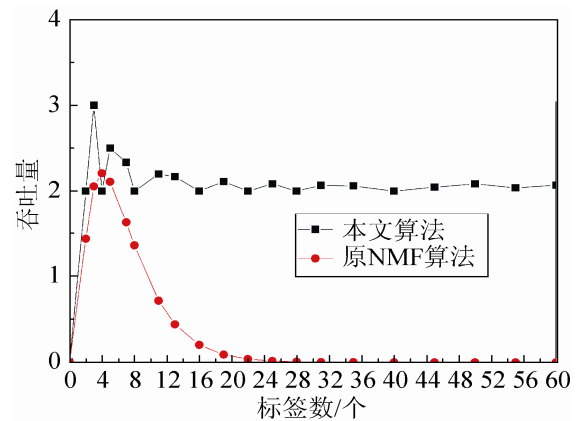
(4) 算法复杂度分析

通信复杂度分析是评估一个算法性能的重要方法。阅读器识别全部标签所发送的总比特数, 即其通信量是通信复杂度的重要指标, 在天线数 $M = 3$ 时, 本文算法的通信与 BSDBG 算法的以及 Q 算法的通信复杂度如图 6 所示。由图 6 可知, Q 算法的通信量增长速度最快, BSDBG 算法其次, 本文算法通信量增长速度最为缓慢。当标签数目为 400 时, Q 算法的通信量为 11 082 bit, BSDBG 算法为 5 160 bit, 而本文算法仅为 3 211 bit, 分别比 Q 算法的通信量下降了 71% 和 37.8%。说明本文算法的算法复杂度小于 BSDBG 算法和 Q 算法。

图 6 天线数 $M = 3$ 时通信量比较

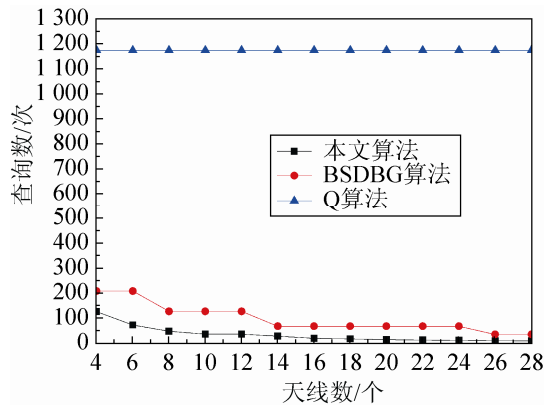
(5) 吞吐量比较

由图 7 可以看出, 在天线数 $M = 3$ 时, 本文算法的吞吐量随着标签数的增多的情况下, 一直保持在最佳状态, 并不会象 NMF 算法在标签数增多时, 在达到最大值后急剧下降, 甚至使系统无法分离出源标签信号。RFID 防碰撞算法的标签识别率与阅读器的标签吞吐率以及吞吐量密切相关, 也与整个 RFID 系统的工作效率密切相关。

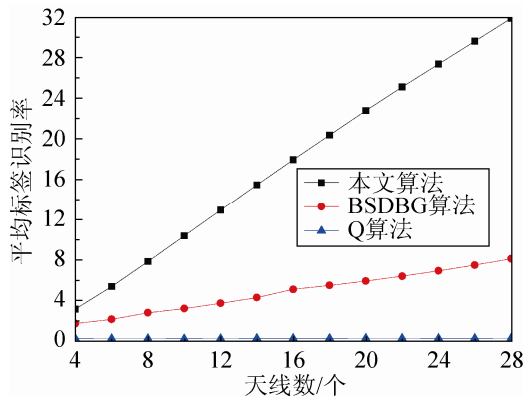
图 7 天线数 $M = 3$ 吞吐量比较

(6) 天线与查询数及标签识别率关联比较

本文算法的查询数及标签识别率与 BSDBG 算法相比, 具有较大的优势, 特别是在天线数增多的情况下, 如在天线数 $M = 28$ 时, 本文算法标签识别率均值达到 31.87 左右, 而 BSDBG 算法的标签识别率均值仍在 8.17 附近徘徊, Q 算法标签识别率均值始终在 0.33 左右波动。从图 8(a)中可知看出, 在当天线数为 4~28 时, 在本文算法比 BSDBG 算法的标签识别率提高了 180%~389%, 相比 Q 算法的标签识别率均值来说优势就更加明显, 标签识别率提高幅度更大。在天线数 $M = 28$ 时, 本文算法的查询数为 11 次, 而 BSDBG 算法的查询数为 36.99 次, Q 算法的查询数不随天线数的增加而变化, 为 1 176.47 次。从图 8(b)中可知看出, 在当天线数为 4~28 时, 在本文算法比 BSDBG 算法的标签识别速度提高了 39%~70%。在实际应用中, 对于标签识别的快速性和稳定性要求和由此产生的高效性具有较好的实用价值。



(a) 不同天线数查询数比较



(b) 不同天线数标签识别率均值比较

图8 不同天线数查询数比较和标签识别率均值比较

4 结论

本文提出欠定盲分离的帧时隙 RFID 系统并行识别防碰撞算法, 通过合理的时隙数选择, 使每一时隙内发生碰撞的标签数不大于所对应天线数的最佳吞吐量时的标签数, 使欠定盲分离的吞吐量在天线数一定时, 即使标签数目大量增加的情况下, 也保持在平稳较好状态, 且能使 NMF 分离效果保持在最佳的状态。仿真结果表明, 欠定盲分离的帧时隙 RFID 系统并行识别防碰撞算法的在标签数量较多时, 性能高于普通的欠定盲分离的并行识别防碰撞算法, 且其标签识别率远高于 BSDBG 算法和 Q 算法及其他常见的标签防碰撞算法。本文算法成本和复杂度较低, 用较少天线数就能完成同时识别较多标签的效果, 在实际应用中具有很好的价值。本算法相比于现有的标签防碰撞算法具有保持较高的标签识别率且用时较少, 成本低, 性能优

异, 在中大型企业的仓库、物流中具有较强的应用价值。

参考文献:

- [1] Lu Y, Wu Z, Gao Z M. The Research of Intelligent Storage System Based on UHF RFID [M]// Advanced Technologies, Embedded and Multimedia for Human-centric Computing. Netherlands: Springer, 2014: 655-661.
- [2] 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): 43-49.
- [3] 熊廷文, 谈熙, 闫娜, 等. 基于超高频 RFID 的实时定位系统的建模与仿真 [J]. 系统仿真学报, 2011, 23(1): 212-216. (Xiong Tingwen, Tan Xi, Yan Na, et al. Modeling and Simulation of RTLS Based on UHF RFID [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2011, 23(1): 212-216.)
- [4] Wu H, Zeng Y, Feng J, et al. Binary tree slotted ALOHA for passive RFID tag anticollision [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (S1045-9219), 2013, 24(1): 19-31.
- [5] 张学军, 蔡文琦, 王锁萍. 改进型自适应多叉树防碰撞算法研究 [J]. 电子学报, 2012, 40(1): 193-198.
- [6] 张小红, 肖娟凤. 无源 RFID 系统标签防碰撞优化算法研究 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26(6): 1320-1326. (ZHANG Xiaohong, XIAO Juanfeng. Passive RFID System Tag Anti-collision Optimization Algorithms [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2014, 26(6): 1320-1326.)
- [7] Zhang Lijuan, Zhang Jin, Tang Xiaohu. Assigned Tree Slotted Aloha RFID Tag Anti-Collision Protocols [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications (S1536-1276), 2013, 12(11): 5493-5505.
- [8] Zhenpeng L, Zhenyang G, Kaiyu S, et al. Anti-collision Algorithm for RFID Based on Continuous Collision Detection [J]. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering (S1693-6930), 2013, 11(12): 7476-7483.
- [9] 张玺栋, 张平, 康桂霞, 等. 智能天线辅助的 WSN 节点自定位算法 [J]. 北京邮电大学学报, 2014, 37(2): 28-31.
- [10] Sawada H, Araki S, Makino S. Underdetermined convolutive blind source separation via frequency bin-wise clustering and permutation alignment [J]. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, (S1558-7916), 2011, 19(3): 516-527.

(下转第 1116 页)