

频率漂移的 RFID 冲突标签的物理层恢复

李俊志, 吴海锋, 曾 玉, 院东珠
(云南民族大学电气信息工程学院, 云南昆明 650500)

摘 要: 在无线射频识别(RFID)系统中,物理层上恢复冲突标签可有效提高系统识别效率.然而在超高频(UHF)RFID系统中,频率漂移是一普遍现象,它对物理层的冲突标签恢复有一定的影响.本文针对频率漂移的标签冲突恢复问题,采用径向基函数(RBF)网络分离算法对冲突信号分离,并利用 FMO 电平边沿跳变的原理实现解码,以此实现冲突标签信号恢复.实验结果表明,当发生频率漂移时,本文的方法在误码率和分离效率上均优于传统算法.

关键词: 射频识别; 标签冲突; 频率漂移; 径向基函数网络

中图分类号: TP393.04 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2018)08-2004-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2018.08.028

Recovery of Collided RFID Tags with Frequency Drift on Physical Layer

LI Jun-zhi, WU Hai-feng, ZENG Yu, YUAN Dong-zhu

(School of Electrical and Information Technology, Yunnan Minzu University, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract: In RFID systems, the recovery of collision tag signals on a physical layer could enhance identification efficiency. However, frequency drift is very common for ultra-high frequency (UHF) RFID systems and will have an influence on the recovery on the physical layer. For the problem of the recovery with the frequency drift, this paper adopts a Radius Basis Function (RBF) network to separate the collision signals, and decode the signals based on FMO code to recovery the collided RFID tags. The numerical results show that, the method in this paper has better performance on bit error rate (BER) and separation efficiency than conventional methods when the frequency drift occurs.

Key words: (Radio Frequency Identification) RFID; tag collision; frequency drift; radius basis function network

1 引言

标签防冲突在 RFID 标签识别中是必不可少的技术^[1].传统方法主要在介质访问控制(MAC)层^[2-9],采用随机多址接入思想.然而,在物理层上分离方法能直接从冲突信号中恢复标签信号^[9-18],可有效提高标签识别效率.超高频(UHF)RFID系统与传统信号分离方法有所不同:(1)标签信号的基带频率容易漂移,导致码元周期为时变.在 EPC C1 Gen2^[19]标准下,标签信号的码元频率在一定范围内漂移,要确切估计码元周期较困难,而码元周期值是标签信号分离的一个先决条件.(2)冲突标签信号的分离为聚类问题,需要找到适合被动式通信系统简易的聚类方法.有监督方式可减少计算复杂度,但需估计信道,而准确估计信道较困难;

无监督方式,计算复杂又太高.

星座映射(CM)算法^[13]是一种无监督方法,没有通过估计信道聚类标签信号,但计算复杂度随冲突标签数而增大,而论文[13]也未说明解码方式.单天线迫零(SAZF)算法^[14]通过估计信道确定聚类中心点,只适用对两个冲突标签的信道估计.连续干扰消除信道估计(SCE)算法^[15]和基于前缀的最小二乘算法 LCE 算法^[16]也需估计信道分离冲突信号,都是利用前缀信号的码元周期和时延完成估计.如上所述,UHF系统信号频率漂移,将影响信道估计的准确性,导致信号分离性能下降.

本文针对上述问题,采用径向基函数(RBF)网络分类思想实现冲突信号分离,不需确切的信道信息.同时根据 FMO 编码特点,采用电平边沿检测实现解码,减少

收稿日期:2017-02-08;修回日期:2017-12-05;责任编辑:马兰英

基金项目:国家自然科学基金(No. 61762093);云南省第十七批中青年学术和技术带头人资助项目(No. 2014HB019);云南省高校科技创新团队支持计划资助

码元频率漂移对信号分离影响. 从实验结果看出, 当信号码元频率为时变时, 本文算法对 2 个及 2 个以上冲突标签信号分离的效率高于传统算法.

2 频率漂移问题

2.1 系统模型

在 RFID 系统中, 阅读器识别标签, 如图 1 所示. 当有 N 个标签在同一时隙应答时, 阅读器将接收到这 N 个标签的叠加信号, 则该信号记作^[14-16]

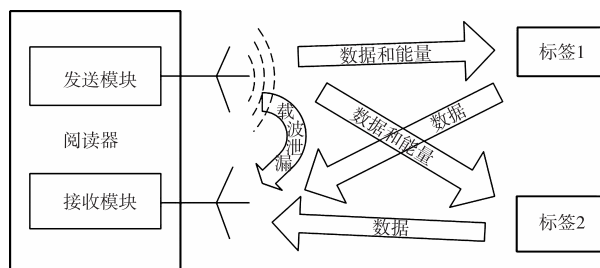


图1 阅读器与标签间的通信工作原理

$$z(t) = \sum_{n=0}^{N-1} h_n e_n(t) + \zeta(t) + L \quad (1)$$

其中, $\zeta(t)$ 是叠加在阅读器接收端的加性高斯白噪声; $e_n(t)$ 是开关键控信号, 即:

$$e_n(t) = \sum_{k=0}^{K-1} d_{n,k} g_{p_{n,k}}(t - kp_{n,k} - q_n) \quad (2)$$

$p_{n,k}$ 和 q_n 分别代表码元周期和时延, 且对不同 n 有不同周期和时延, 即 $p_{n_1,k} \neq p_{n_2,k}$, $q_{n_1} \neq q_{n_2}$, $n_1 \neq n_2$ ^[10-18]; $d_{n,k} \in \{0, 1\}$ 为发射二进制序列; K 为码元块长, 即标签 ID 长度; $g_{p_{n,k}}(t)$ 为调制脉冲波形, 即:

$$g_{p_{n,k}}(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < \max(p_{n,k}) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

在 ISO18000-6C^[21] 和 EPC C1 Gen2 中, 通常标签在与阅读器通信之前有一段静默期, 所有标签都处于吸收状态, 阅读器接收的信号仅有载波泄露 L , 此时可估计泄露值, L 已在文献^[14] 中得到较好的解决, 这里假定 L 已知.

2.2 聚类

注意到, 式(1)的信号 $z(t)$ 是阅读器对各标签叠加信号经 IQ 解调后的复基带信号^[14-16]. RFID 系统信道 h_n 在较短通信时间内为线性时不变信道^[19], 可表示为:

$$h_n = r_n e^{j\theta_n} \quad (4)$$

当阅读器接收到两个冲突标签的信号时, 经采样后的信号映射到 I/Q 平面上会出现四个信号簇, 如图 2 所示. 若两个冲突标签的信道系数分别为 h_1 和 h_2 , 则在不考虑载波泄露情况下, 四个聚类中心点分别为 $h_1 + h_2$, h_2 , h_1 , h_2 和 0, 而对应的这四个簇所发送码元是: (1, 1)、(1, 0)、(0, 1) 和 (0, 0). 因此, 只需通过聚类方法,

可将叠加的两个标签信号分离. 当冲突标签数为 3 时, 信号簇数为 8, 情形类似于图 2.

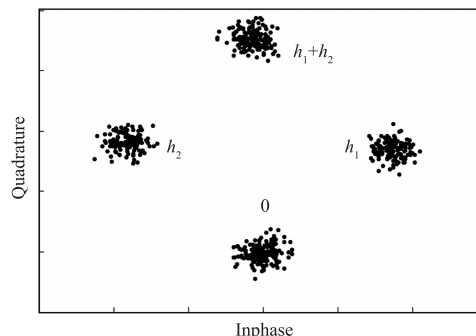


图2 信号经IQ调制后星座图

对于聚类方法, 无监督方法计算复杂度较高, 如 k 均值方法. 特别地, 被动式 UHF RFID 系统要求结构尽可能简单, 复杂度高花费代价大. 有监督方法, 确定各聚类中心点需要知道信道信息. 因此, 能否准确估计信道将影响聚类和分离性能.

2.3 频率漂移对信道估计的影响

EPC C1 Gen 标准对式(2)中码元周期 $p_{n,k}$ 有如下说明: 码元频率 $1/p_{n,k}$ 与名义链路频率 f_p 之间具有一定偏差, 通常偏差量为 22%, 即存在 $p_{n,k_1} \neq p_{n,k_2}$, $k_1 \neq k_2$, 如图 3 所示, ΔT 为周期偏移部分, T 为名义码元周期.

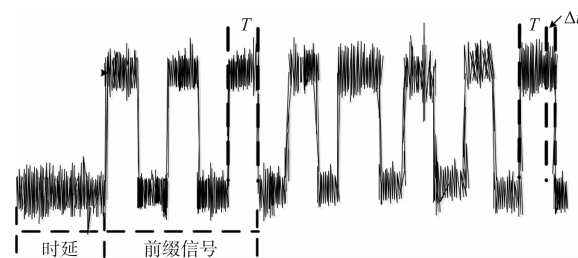


图3 码元频率漂移示意图

SCE 通过连续干扰消除估计信道, 其第 n 个标签信道可估计为:

$$\hat{h}_n = \langle z_n(t), \varphi_{p_n, q_n}(t) \rangle / \langle \varphi_{p_n, q_n}(t), \varphi_{p_n, q_n}(t) \rangle \quad (5)$$

其中, $\varphi(t)$ 为标签前缀信号, 通常已知, $\varphi_{p_n, q_n}(t)$ 为母函数 $\varphi(t)$ 的子函数, 定义为:

$$\varphi_{p_n, q_n}(t) = \varphi[(t - q_n)/p_n] \quad (6)$$

由式(5)可知, 该信道估计方法用 p_n 去替代 $p_{n,k}$, 就假定了 p_n 是不随码元变化的时不变量. 故式(5)估计的信道准确性将受到影响.

LCE 也通过估计信道系数实现聚类, 其信道矢量 \mathbf{H} 通过最小二乘估计^[16] 得到:

$$\mathbf{H} = \mathbf{P}^+ \mathbf{Y} \quad (7)$$

其中, \mathbf{Y} 是冲突信号变换矢量; \mathbf{P} 是系数矩阵, 第 i 行第 n 列由 $\varphi_{p_n, q_n}(t)$ 得到, 即:

$$P_{i,n} = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_{p_n, q_n}(t) \varphi_{u_i, v_i}(t) dt \quad (8)$$

其中 u_i 和 v_i 分别为时间系数和尺度系数,可随机选取.同式 (5) 一样, $p_{n,k}$ 仍然被 p_n 所替代. 因此,系数矩阵 \mathbf{P} 的构造将存在一定偏差,从而影响估计的信道矢量 \mathbf{H} .

2.4 频率漂移对解码方式的影响

冲突标签信号经过分离后,还需进行解码以恢复标签 ID. 频率漂移会对传统解码算法造成不利影响. SAZF 和 LCE 都采用匹配滤波器解码^[14,16],当基带信号码元频率固定时,通过匹配滤波器后,经周期采样得到的点为波峰或波谷,满足最大信噪比原则,如图 4 (a) 所示. 然而,当码元频率漂移时,通过匹配滤波器后,采样点并不满足最大信噪比原则,如图 4 (b) 所示.

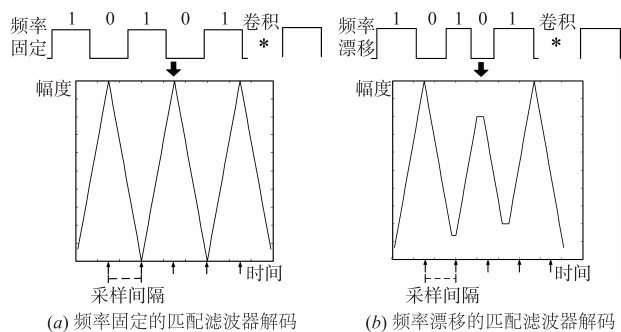


图4

SCE 采用 Viterbi 解码^[15],而 Viterbi 解码的一个重要步骤是计算各路径间的距离以确定最小路径,然而频率漂移会对计算距离造成不利影响. 图 5 给出了码元相同序列在频率固定和频率漂移下与期望序列的欧氏距离. 当频率固定时,实际波形和期望波形相减后为 0,即欧氏距离最小;当频率漂移时,即使码元相同但波形不一致,其差也不为 0.

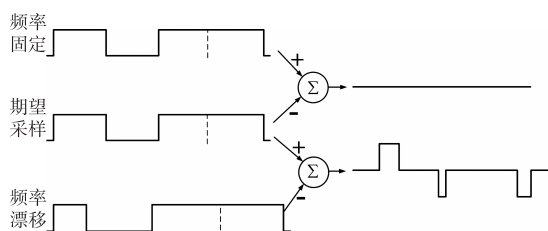


图5 频率固定和频率漂移下的距离差值

3 频率漂移的 RBF 网络分离算法

由上节分析,频率漂移对信道估计和信号解码均会造成不利影响,因此传统的信道估计和解码方法将难以适用. 本文采用 RBF 网络来分离冲突标签信号,通过训练方法确定聚类中心点,避免信道估计不准确问题. 然后根据 FMO 编码特点,通过边沿检测消除频率漂移对解码造成的不利影响.

3.1 RBF 网络算法

RBF 神经网络基本思想在于,将线性不可分的低维空间聚类问题映射至高维空间,以实现线性可分^[22]. 构建 RBF 网络如图 6 所示,输入向量 $\mathbf{x}(n)$ 分别为:

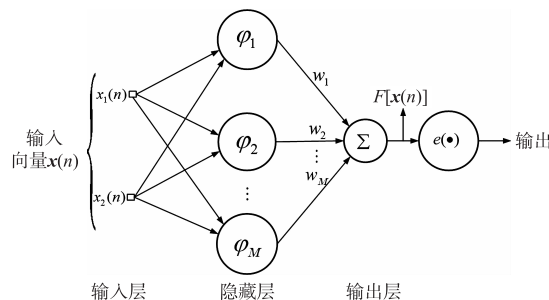


图6 RBF网络结构

$$\mathbf{x}(n) = \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Im}[z(t_n)] \\ \text{Re}[z(t_n)] \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中 $t_n = n\Delta t$, n 为采样指数, Δt 为采样周期.

RBF 结构实现的逼近函数形式定义为:

$$F[\mathbf{x}(n)] = \sum_{m=1}^M w_m \varphi_m[\mathbf{x}(n)] \quad (10)$$

其中, w_m 为权值; $M = 2^k$, k 为冲突标签数. 径向基核函数用高斯函数,即:

$$\varphi_m[\mathbf{x}(n)] = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_m^2} \|\mathbf{x}(n) - \mathbf{c}_m\|^2\right) \quad (11)$$

其中, \mathbf{c}_m 为第 m 个输入数据的 RBF 中心坐标值向量; σ_m 是第 m 个以 \mathbf{c}_m 为中心的高斯函数的宽的测量. 激活函数 e 表示为:

$$e\{F[\mathbf{x}(n)]\} = \begin{cases} 1, & F[\mathbf{x}(n)] \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

通常标签在发送 ID 信息前会发送一段前缀信息,该信号对于每个标签都是相同的,因此阅读器可预先知道前缀信息,但不知道前缀信号的符号周期,我们可采用文献[15]方法估计出信号的符号周期. 用前缀信息训练 RBF 神经网络,即确定中心点 \mathbf{c}_m 和权值 w_m . 假设 $n \in [1, N]$, N 为前缀信号最大采样数,最终 $\mathbf{c}_m = \hat{\mathbf{c}}_m(N)$, 下面对第 m 个中心点的确定采用迭代训练方法:

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{c}}_m(n) = \hat{\mathbf{c}}_m(n-1) + \mu * (\mathbf{x}(n) - \hat{\mathbf{c}}_m(n-1)), & \text{if } m = m' \\ \hat{\mathbf{c}}_m(n) = \hat{\mathbf{c}}_m(n-1), & \text{if } m \neq m' \end{cases} \quad (13)$$

其中, μ 为中心更新率, m' 由下式求得:

$$m' = \underset{1 \leq m \leq M}{\text{argmin}} \|\mathbf{x}(n) - \hat{\mathbf{c}}_m(n-1)\|^2 \quad (14)$$

初始值 $\hat{\mathbf{c}}_m(0)$ 采用文献[8]中方法估计出初始中心点. 不同于 SAZF 和 LCE 通过估计信道来确定中心点,式 (13) 采用训练方法经不断迭代得到的中心点将具有更高准确性,最后所得聚类中心如图 7 所示.

σ_m 由式 (15) 得到:

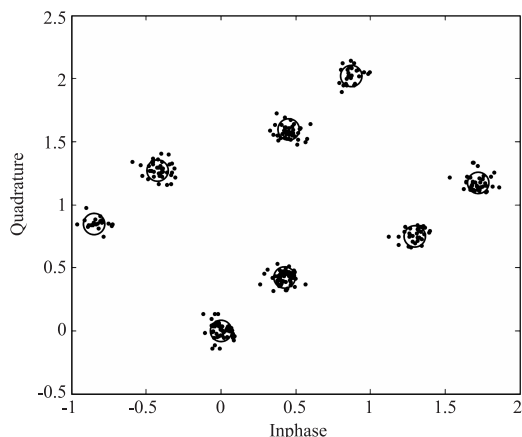


图7 聚类中心点

$$\hat{\sigma}_m = \frac{\sum_{n=1}^{\tilde{N}_m} \|\mathbf{x}'_m(\tilde{n}_m) - \mathbf{c}_m\|^2}{\tilde{N}_m} \quad (15)$$

其中, \tilde{N}_m 是第 m 簇中采样信号的个数, $\mathbf{x}'_m(\tilde{n}_m)$ 为第 m 簇中第 \tilde{n}_m 个采样信号.

权值训练由递归最小二乘算法得到:

$$\hat{\mathbf{w}}(n) = \hat{\mathbf{w}}(n-1) + R(n)\Phi(n)\alpha(n) \quad (16)$$

其中, $\hat{\mathbf{w}}(n) = [\hat{w}_1(n), \hat{w}_2(n), \dots, \hat{w}_M(n)]^T$, 初始值 $w_m(0) = 0, m = 1, 2, \dots, M$;

$$R(n) = R(n-1) - \frac{R(n-1)\Phi(n)\Phi^T(n)R(n-1)}{1 + \Phi^T(n)R(n-1)\Phi(n)} \quad (17)$$

$$\Phi(n) = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_M]^T \quad (18)$$

先验估计误差:

$$\alpha(n) = d(n) - \hat{\mathbf{w}}^T(n-1)\Phi(n) \quad (19)$$

$d(n)$ 为 $\mathbf{x}(n)$ 作为输入后网络输出的期望值, 即 1 或 0.

经训练后可分别得到每一个冲突标签在网络中对应的中心点和权值, 再将输入数据代入式(10), 可实现冲突信号分离. 图 8 给出 RBF 分离 3 个冲突标签的结果. 图 8(右) 表示在 IQ 平面上分离三个标签信号的结果, 分割线两侧分别表示标签信号 0 和 1. 图 8(左) 表示从冲突信号中分离出各标签信号的波形图.

3.2 解码方法

由图 8 可知, 经 RBF 网络分离后的信号仅是码元采样信号, 还需对其解码才能恢复标签 ID. 由第 2 节所述, 频率漂移会对传统的解码方法带来不利影响, 本文将利用 FMO 编码特点对其解码. 如算法 1 所示.

算法 1 FMO 解码算法

第一步, 对分离出的标签信号记录所有发生跳变的时刻 $t_i, i = 1, 2, \dots, N$, 其中 N 表示发生跳变总数;

第二步, 计算电平宽度, 即 $l_i = t_{i+1} - t_i$;

第三步, 若

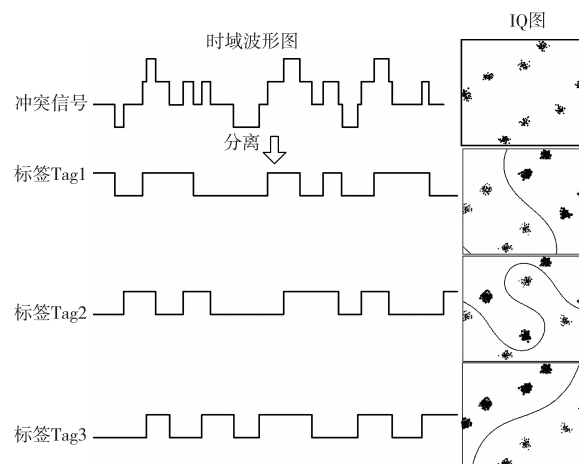


图8 三个冲突标签下, RBF算法分离出各标签示意图

(1) $l_i \in [T/1.22, T/0.78]$ 且 $l_{i+1} \in [T/1.22, T/0.78] \cup [2T/1.22, 2T/0.78]$, 则第 i 个码元 $ID_i = 0$;

(2) $l_i \in [2T/1.22, 2T/0.78]$, 则 $ID_i = 1$;

(3) $l_i \ll T/1.22$ 或 $l_i \gg 2T/0.78$, 无效跳变, 则 $t_i = t_{i+1}, t_{i+1} = t_{i+2}, \dots$;

第四步, $i = i + 1$, 若 $i = N$ 结束, 否则, 返回第三步.

EPC C1 Gen2 规定, RFID 标签信号用 FM0 或 Miller 进行编码. 一阶 FM0 ($M = 1$) 编码示意如图 9 所示, 每个码元与码元间均有跳变(1 至 0 或 0 至 1), 同时码元中心处有跳变则为 0, 反之为 1. 根据 FM0 编码原理, 只需判断何处有跳变即可进行解码, 避免了码元频率漂移带来的影响. 然而, 在 RFID 系统中, 由于不知码元频率如何变化, 仅通过边沿跳变还无法正确解码, 需设定一个频率变化范围. EPC C1 Gen2 规定码元频率与名义链路频率 f_p 的变化不会超过 22%, 因此码元频率应在 $[0.78f_p, 1.22f_p]$ 内变化.

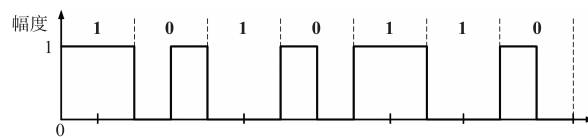


图9 FM0编码示意图

图 10 ~ 12 分别给出解码为 1 和 0 的情况, 将采样频率与名义频率比值 T 作为标准电平宽度, 此时电平宽度有以下情况:

(1) 相邻两电平宽度都在 $[T/1.22, T/0.78]$ 内, 则认为码元中心有跳变, 则解码为 0, 如图 10(a) 所示;

(2) 若前一电平宽度在 $[T/1.22, T/0.78]$ 内, 而后一电平宽度在 $[2T/1.22, 2T/0.78]$ 内, 则解码为 0, 如图 10(b) 所示;

(3) 若电平宽度在 $[2T/1.22, 2T/0.78]$ 内, 则认为码元中心无跳变, 则解码为 1, 如图 11 所示.

另外, 由于分离信号本身的误差, 还需判断何处为有效边沿跳变. 当跳变间电平宽度远小于 $T/1.22$ 或远

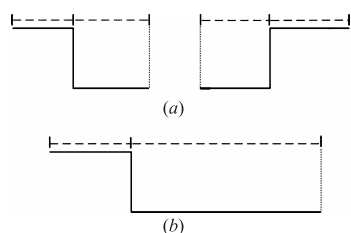


图10 (a), (b) 电平宽度解码为“0”

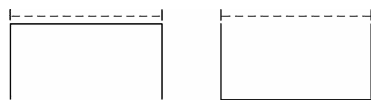


图11 电平宽度解码为“1”

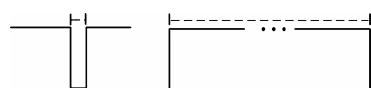


图12 无效跳变

大于 $2T/0.78$, 则为无效跳变, 如图 12 所示.

4 数字实验结果分析

4.1 系统设置

实验结果采用一个阅读器识别 3 个冲突标签, 独立重复运行 3000 次后取平均值。系统参数采用 EPC C1 Gen2 标准的规定, 同时参考文献 [13~16] 的设置方法, 具体如下:

(1) 信道: 在一个识别周期中平坦性衰落的线性时不变信道, 依据文献 [15, 16], 各个标签的路径衰落系数并不相同, 即 $E(|h_i|^2) \neq E(|h_j|^2)$, 当 $i \neq j$.

(2) 编码: 采用 $M=1$ 的 FMO 编码.

(3) 名义链路频率: $f_p = 50\text{kHz}$ [11, 18].

(4) 码元频率: 标签码元频率 $\frac{1}{P_{n,k}}$ 与名义频率 f_p 之间的误差最大不超过 $\pm 22\%$, 且各标签间的码元频率间的误差也不超过 $\pm 22\%$, 故各个标签码元频率在区间 $[0.78f_p, 1.22f_p]$ 中随机产生, 同时保证 $|p_{i,k} - p_{j,l}|/p_{j,l} < 22\%$, 即不同标签码元周期是不同的, 且同一标签内的码元周期是漂移的.

(5) 时延: 时延按文献 [21] 规定, $q_n < 24\mu\text{s}$.

(6) 对基带信号的采样频率: 750kHz.

(7) 码元块长: 标签信号的 ID 长 K 为 16 [19].

本文所涉及到的算法具体执行过程如下. SAZF、SCE 和 LCE 过程: (1) 信号映射到 I/Q 平面上; (2) 估计信道确定聚类中心点; (3) 计算点到聚类中心的欧氏距离, 实现标签信号分离. RBF 过程: (1) 训练前缀信息获得聚类中心点和权值向量; (2) 代入数据实现冲突标签信号的分离.

本实验通过各标签误码率和分离效率来评价各算

法性能, 标签误码率定义为:

$$R_e = m_k/m_i \times 100\% \quad (20)$$

其中, m_i 是标签的总码元个数, m_k 是标签中解码错误的码元个数, 较低的误码率将有较好的性能. 标签分离效率定义为:

$$P_e = n_b/n_a \times 100\% \quad (21)$$

其中 n_b 是成功分离的标签数, n_a 是冲突标签总数, 较高的成功分离率将有较好的分离性能. 实验中用解码的 ID 与真实标签 ID 对比, 只要解码的标签 ID 中有一个码元识别错误就视为分离失败.

4.2 分离效率

图 13 和图 14 给出了当码元频率固定, 不同信噪比下 SCE、SAZF、LCE 和 RBF 各标签误码率. 其中, SCETagn 表示 SCE 标签 n , $n=1, 2, 3$. 其他算法表示方法同上.

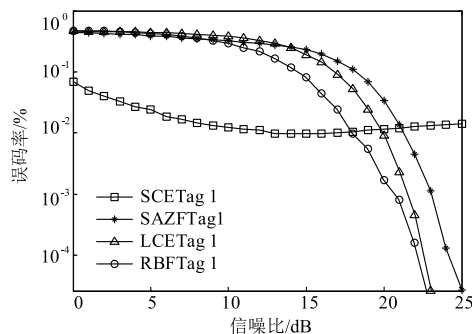


图13 码元频率固定, 各算法分离第一个标签误码率

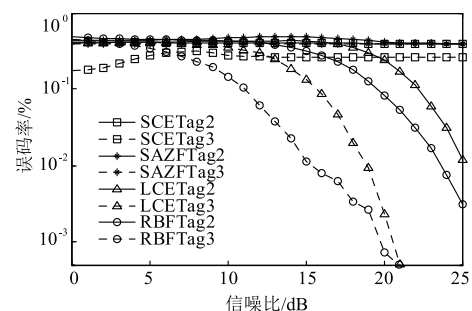


图14 码元频率固定时, 各算法分别分离第二个标签和第三个标签误码率

由图 13 可知, SAZFTag1、LCETag1 和 RBFTag1 误码率都随信噪比增大而逐渐减小, 而 SCETag1 误码率在 0 到 15dB 内逐渐降低, 但大于 15dB 后, SCETag1 误码率有略微增大趋势. 原因是, 标签与标签间信号的干扰, 随信噪比增加, 导致信干比降低. 在 0 到 10dB 内, SAZF、LCE 和 RBF 分离的 tag1 误码率大致相等; 大于 10dB 时, tag1 的误码率都不断减小, 在相同数量级下, 信噪比从小到大的顺序大致为 RBF、LCE 和 SAZF.

由图 14 可知, SCE 和 SAZF 的 tag2 和 tag3 的误码率较高. LCE 和 RBF 的 tag2 和 tag3 的误码率都随信噪

比增大而降低,且 RBF 比 LCE 更低.原因是,SCE 采用连续干扰消除,标签数多时估计性能恶化,而 SAZF 仅适用 2 个标签情况,故两种算法都无法分离 tag2 和 tag3. LCE 信道估计准确度相对较高,但由于采用匹配滤波器解码,使得性能稍差于 RBF. RBF 不需估计信道,解码效果好,准确度较高.

图 15 给出了码元频率固定下各算法的分离效率.由图可知,SCE 分离效率最高为 30%.其他算法分离效率从 5dB 开始随信噪比增大而增大,SAZF 在 23dB 处达到 33% 最大分离效率,而 LCE 和 RBF 分离效率在 25dB 时都能达到 95% 以上,但 RBF 优于 LCE.

图 16 给出了码元频率漂移下各算法标签误码率.由图可知,SCE、SAZF 和 LCE 的各标签误码率几乎不随信噪比变化,均处于 10^0 数量级左右,而 RBF 各标签误码率随信噪比增大而减小,误码率从 10^0 能减小至 10^{-4} .结果表明,频率漂移情况下,其他算法无法分离冲突标签.其原因在于,码元频率漂移影响其他三种算法的信道估计和解码,最终导致难以分离标签.相反,RBF 具有较低的误码率.

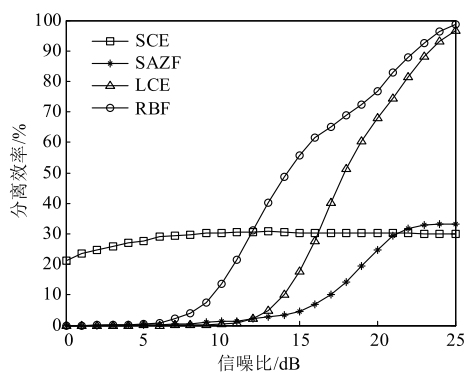


图 15 码元频率固定时,各算法分离效率

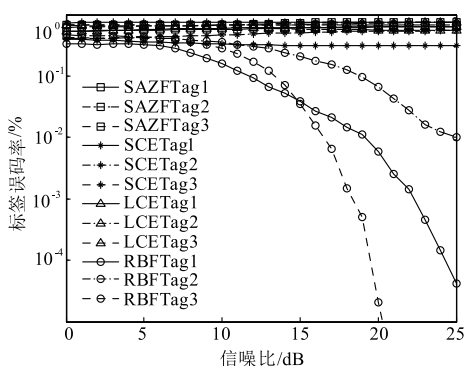


图 16 码元频率漂移时,各算法误码率

图 17 给出码元频率漂移下各算法的分离效率.从图 17 可知,大于 4dB 时,RBF 的分离效率呈增长趋势,在 25dB 时分离效率达 95%,而其他算法分离效率一直为 0.该结果表明,在码元频率漂移下,RBF 具有分离冲

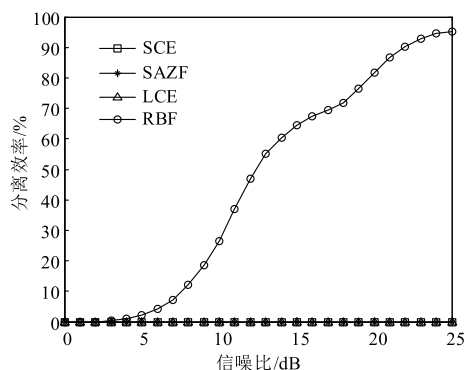


图 17 码元频率漂移时,各算法分离效率

突标签的能力,这一结果与图 16 也是一致的.

5 结论

RFID 标签信号频率漂移在 UHF 系统中是常见现象,本文采用 RBF 和 FMO 解码方法避免漂移对恢复信号的影响.从实验结果看出,当码元频率发生漂移时,RBF 误码率和分离效率优于传统算法,而传统算法较低的分性能表明它们无法在这样的环境下恢复冲突标签信号.相比于传统随机多址接入方法,本文物理层分离方法可以减少识别时间.

参考文献

- [1] KLAIR D K, CHIN K W, RAAD R. A survey and tutorial of RFID anti-collision protocols [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorial, 2010, 12(3): 400-421.
- [2] WU H F, ZENG Y, FENG J H. Binary tree slotted aloha for passive RFID tag anti-collision [J]. IEEE Trans Parallel and Distributed Systems, 2013, 24(1): 19-31.
- [3] YANG X, WU H F, ZENG Y, GAO F. Capture-aware estimation for the number of RFID tags with lower complexity [J]. IEEE Communications Letters, 2013, 17(10): 1873-1876.
- [4] ZHANG L J, XIANG W, TANG Xi H. An adaptive anti-collision protocol for large-scale RFID tag identification [J]. IEEE Wireless Communications Letters, 2014, 3(6): 601-604.
- [5] SHAO M, JIN X F, JIN L B. An improved dynamic adaptive multi-tree search anti-collision algorithm based on RFID [J]. International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 2014: 72-75.
- [6] WU H F, ZENG Y. Bayesian tag estimate and optimal frame length for anti-collision aloha RFID system [J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2010, 7(4): 963-969.
- [7] MAYER M, GOERTZ N. RFID tag acquisition via compressed sensing: fixed vs. random signature assignment

- [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2016, 15(3): 2118 – 2129.
- [8] ISMAIL I, IBRAHIM A. Modeling and simulation of base-band processor for UHF RFID reader on FPGA [J]. International Journal of Electrical and Electronic Systems Research, 2013, 6: 54 – 66.
- [9] MOHAMMED B, BELKACEM F, SMAIL T. Toward a new PHY layer scheme for decoding tags collision signal in UHF RFID system [J]. IEEE Communications Letters, 2016, 20(11): 2233 – 2236.
- [10] ZHENG Y Q, LI M. P-MTI: physical-layer missing tag identification via compressive sensing [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2015, 23(4): 1356 – 1366.
- [11] MOHAMMED B, BELKACEM F, SMAIL T. Backscatter signal model of passive UHF RFID tag application to collision detection [J]. Electronics Letters, 2016, 52(11): 974 – 976.
- [12] JELENA K, MARKUS R. RFID physical layer collision recovery receivers with spatial filtering [A]. RFID Technology and Applications (RFID-TA) [C]. Shun De, China, 2015. 39 – 44.
- [13] SHEN D, WOO G, REED D P, et al. Separation of multiple passive RFID signals using software defined radio [A]. IEEE International Conference on RFID [C]. Orlando, FL, 2009. 139 – 146.
- [14] ANGERER C, LANGWIESER R, and RUPP M. RFID reader receivers for physical layer collision recovery [J]. IEEE Transactions on Communications, 2010, 58(12): 3526 – 3537.
- [15] FYHN K, JACOBSEN R M, POPOVSKI P. Multipacket reception of passive UHF RFID tags: a communication theoretic approach [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2011, 59(9): 4225 – 4237.
- [16] DUAN H J, WU H F, ZENG Y. Channel estimation for recovery of UHF RFID tag collision on physical layer [A]. The 2015 International conference on CITS [C]. Gijon, Spain, 2015. 1 – 5.
- [17] BENBAGHDAD M, FERGANI B, TEDJINI S, et al. Simulation and measurement of collision signal in passive UHF RFID system and edge transition anti-collision algorithm [A]. IEEE RFID Technology and Applications Conference (RFID-TA) [C]. Tampere, 2014. 277 – 282.
- [18] BLETSAS A, KIMIONIS J, DIMITRIOU A G, et al. Single-antenna coherent detection of collided FM0 RFID signals [J]. IEEE Transactions on Communications, 2012, 60(3): 756 – 766.
- [19] EPC radio frequency identity protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860 MHz-960 MHz [S]. November, 2013.
- [20] NIKITIN P V, RAO K V S, MARTINEZ R D. Differential RCS of RFID tag [J]. Electronics Letters, 2007, 43(8): 431 – 432.
- [21] International Standard ISO/IEC 18000 – 6. Information technology radio frequency identification (RFID) for item management part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz [S]. 2004.
- [22] 简必建, 范菁. 基于神经网络的多传感加权融合算法的研究 [J]. 云南民族大学学报, 2016, 25(1): 75 – 80.

作者简介



李俊志 男, 1991 年生于河南驻马店. 现为云南民族大学硕士研究生. 主要研究方向为 RFID 标签识别技术.
E-mail: 1050643124@qq.com



吴海锋 (通信作者) 男, 1977 年生于云南昆明. 现为云南民族大学教授. 主要研究方向为 RFID 技术、神经网络与机器学习.
E-mail: whf5469@gmail.com



曾玉 女, 1981 年生于安徽无为. 现为云南民族大学讲师. 主要研究方向为 RFID 技术、神经网络与机器学习.
E-mail: yv.zeng@gmail.com



院东珠 女, 1989 年生于山东曲阜. 云南民族大学硕士研究生. 主要研究方向为 RFID 标签识别技术.
E-mail: 812728608@qq.com