

文章编号: 2095-4980(2013)05-0753-05

基于交织多址的密集射频识别系统检测方案

沈伟杰, 周小林, 屠艳菊

(复旦大学 通信科学与工程系, 上海 200433)

摘要: 为降低密集射频识别技术(RFID)网络在多读卡器、多标签环境中的冲突并提高网络容量, 提出一种新的多读卡器联合检测方案。该方案将 RFID 读卡器密集排列, 并应用交织多址技术, 使得处于多个读卡器覆盖范围内的标签之间的干扰能够得到解析。这使得读卡器间的联合检测与分集合并成为可能, 从而达到更高的信道复用率和网络容量。计算机仿真结果表明在密集 RFID 环境中该系统可以在同等或更好误码率条件下实现 2~6 倍的信道复用率。

关键词: 射频识别技术; 交织多址; 针孔信道; 联合检测

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201305.0753

An IDMA-based detection scheme for dense RFID networks

SHEN Wei-jie, ZHOU Xiao-lin, TU Yan-ju

(Communication Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: This paper proposes a novel multi-reader joint detection scheme for dense Radio Frequency Identification(RFID) networks to reduce interference among multiple readers and tags and improve network capacity. By deploying RFID reader in high density and applying the Interleave Division Multiple Access(IDMA) scheme, signals from multiple tags can be resolved. This allows joint detection and diversity combining among different readers, resulting in better channel reuse. Through computer simulations, it is shown that the proposed system can achieve channel multiplexing by around 2~6 times with equal or better BER in dense RFID environment.

Key words: Radio Frequency Identification; Interleave Division Multiple Access; Pinhole; joint detection

射频识别技术(RFID)是一种低成本、低复杂度的无线通信技术, 已经广泛用于仓储、物流的生产、监控、管理等产业环节, 对于提高产业自动化有重要意义^[1]。其中 900 MHz 频段的被动式 RFID 能够在标签无电池的情况下实现若干米的通信, 具有明显的吸引力。

但是 RFID 系统也有明显的缺点, 包括读写距离过短, 数据率不高, 可扩展性不佳等。在包括多个重叠读卡器和大量标签的大规模工业应用中, 系统内的互相干扰非常严重, 导致系统扩容困难, 读写性能低下, 难以满足数据率较高的新应用^[2]。在工业应用中往往需要布置多个 RFID 读卡器以提供足够的覆盖范围, 组成一种密集 RFID 网络。这些读卡器互相之间不可避免地会有重叠的覆盖区域。按照通信理论, 多余的读卡器能够提供更好的读写性能, 比如可以利用多天线和分集合并技术处理信号, 提高信号的检测概率和信道容量。但是在 RFID 网络中, 由于难以使用复杂的网络管理协议, 因此多个读卡器之间的相互干扰难以控制, 重叠区域读写更加困难。

RFID 网络中的信号冲突可以分成 2 类^[3]: 第一类是标签间冲突, 当多个标签同时响应查询命令时会导致信号冲突; 第二类是读卡器间冲突, 当网络包含多个读卡器时, 不同读卡器的命令会导致标签和读卡器自身的接收器不能正确解调信号。标签间冲突是 RFID 网络的经典问题, 有很多研究成果分别处理这 2 类冲突问题^[3]。一般使用诸如基于 ALOHA 的时分复用等信道复用方法克服。针对第二类读卡器间冲突, 研究者提出了很多读卡器调度策略, 通过对重叠读卡器执行最优调度, 使得同一时间在重叠区域内只有一个活跃的读卡器。这种方案会引入相当长的延时^[4]。文献[4]中提出了联合检测以加快读取过程, 但是调度过程变得更复杂。

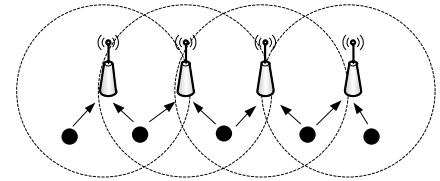
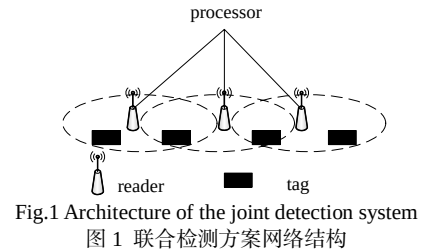
本文提出一种多读卡器联合检测方案。不同于一般的时分调度策略,引入了交织多址(IDMA)技术^[5-6],使得多个读卡器能够不经过复杂的调度过程,而是基于信号处理的方式联合检测标签信号,提高网络容量。

1 系统结构

本文提出的方案体系结构如图 1 所示。系统包括了多个密集部署的读卡器和一个逻辑上的中央处理器。处理器用来执行接收信号合并。为了降低冲突,在读卡器——标签的查询阶段,部分多余的读卡器保持静默。选择多余读卡器的方法和一般的读卡器调度算法相同。在标签响应阶段,所有的读卡器同时发送载波并接收相应信号。当同一帧被多个重叠读卡器接收时可以合并这些副本获得分集。在密集 RFID 网络中,读卡器之间干扰严重。本文主要关注标签到读卡器的反向通信阶段,读卡器到标签的前向通信与传统的 RFID 网络类似。在反向通信过程中,引入了基于交织多址的干扰消除技术以解析冲突信号。

标签冲突在密集 RFID 网络中会更严重。如图 2 所示,标签同时被多个读卡器覆盖。这样,在常见的标签冲突外,还会产生额外的跨区干扰,因为当标签响应某个读卡器时必然会干扰另一个。在基于 ALOHA 的复用方案下,这种干扰会导致更大的冲突几率。当网络规模进一步扩大后,这种干扰也会更严重。

此外,被动式标签通过调制反射信号的方式工作,因此在重叠区域的标签反射信号会包含不同读卡器的多路载波信号。这些载波信号相位不统一并且可能会有频率漂移。信号检测的复杂度高于单路信号。



2 信号处理

2.1 信道模型

被动 RFID 系统使用反向调制方式通信,这样的通信方式可以视为是一种前后级联的衰落信道^[7],因为接收信号强度同时依赖于读卡器到标签和标签到读卡器传播过程中的衰落,类似于针孔信道。在 RFID 网络中,针孔对应于标签天线。针孔信道会造成更大的路径损耗,更尖锐的衰落特性,并且降低多天线的性能增益。

本文使用多天线模型增强密集 RFID 网络的性能。多个读卡器在联合工作的条件下可以视为是多天线的实现。并且在每个标签上使用多个天线。文献[7]指出了标签多天线可以带来额外的分集,降低针孔效应的损害。

对于一个具有 N 个读卡器发送天线, L 个标签天线和 M 个读卡器, $(N \times L \times M)$ 接收天线的信道,第 m 个接收天线的信号可以表示为:

$$r_m(j) = \sum_l h_{l,m}^b \left(x_l(j) \sum_n h_{n,l}^f \right) + n_m(j) \quad (1)$$

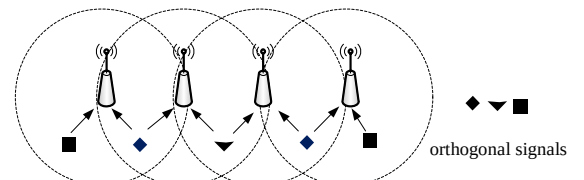
式中: $h_{l,m}^b, h_{n,l}^f$ 分别对应于前向和反向路径的信道矩阵; j 是 J 码片长的一帧中的比特序列; $x_l(j)$ 是标签第 l 个反射天线上的调制信号; $n_m(j)$ 是接收机的噪声。对所有 M 个接收天线,总的信号用矩阵的形式表达为:

$$R(j) = H_b X(j) H_f + N(j) \quad (2)$$

式中 H_b, H_f 分别为 $N \times L, L \times N$ 矩阵。

2.2 发送、接收机结构

交织多址方案应用于标签到读卡器通信阶段。图 4(a)给出了使用 2 个标签天线的发送端结构。标签 k 的数据帧 d_k 首先经过编码,然后再经交织器 π_k 交织。不同标签数据使用相同的编码器和不同的交织器。当标签有多个



天线时,每个天线配备不同的交织器。图中信号经过2个并行的交织器分别发送信号 x_{k1}, x_{k2} 。不同标签、天线的信号在信道中全部叠加在一起,表示为 r 。

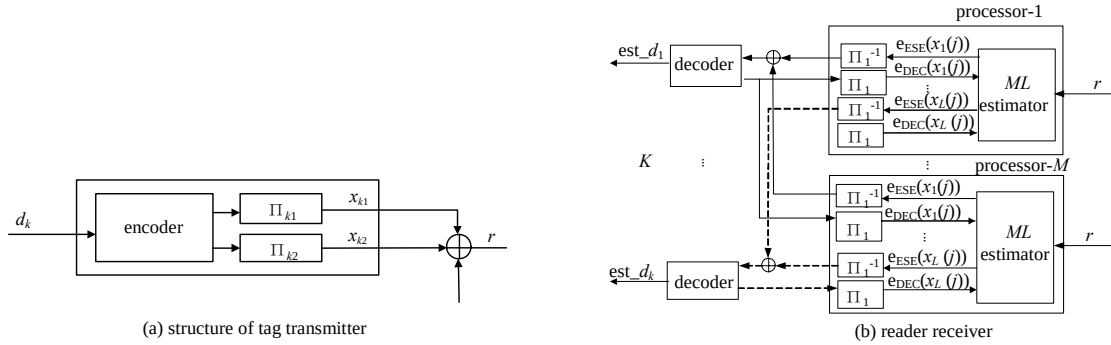


Fig.4 Structures of tag transmitter and reader receiver

图4 标签发送端结构和接收端结构

接收机通过计算可以分离出 r 中每个独立的信号。计算过程通过一系列处理器实现。对每一个标签的信号,首先经过一个最大似然比判决。判决信号在经过解交织后,同一个标签不同天线的信号做合并。合并后的信号经过前向纠错码解码器译码。译码信息进一步返回到接收信号中迭代处理。完整的算法可以参考文献[5],下文给出不同的部分。

合并的接收信号中,每一路都可以表示为信息和干扰之和:

$$r_{m,l}(j) = h_{m,l}^b \left(x_l(j) \sum_n h_{l,n}^f \right) + \xi_l(j) \quad (3)$$

$$\xi_l(j) = \sum_{l' \neq l} h_{m,l'}^b \left(x_{l'}(j) \sum_n h_{l',n}^f \right) + n_m(j) \quad (4)$$

式中: $r_{m,l}(j)$ 为第 m 个接收天线中来自标签天线 l 的信号; $\xi_l(j)$ 为其余所有标签天线的信号与噪声之和,代表目标信号的干扰。由此可以得到码片的最大似然比检测判决式:

$$L_{\text{ESE}}(s_l(j)) = \frac{2h_{ml}^b \sum_l h_{ln}^f}{\text{Var}[\xi_l(j)]} (r(j) - E[\xi_l(j)]) \quad (5)$$

式中 $E[\xi_l(j)]$ 与 $\text{Var}[\xi_l(j)]$ 代表了相对于第1路信号的干扰信号的均值和方差:

$$E[\xi_l(j)] = \sum_{l' \neq l} \left(h_{ml'}^b \sum_n h_{l'n}^f \right) E[x_{l'}(j)] \quad (6)$$

$$\text{Var}[\xi_l(j)] = \sum_{l' \neq l} \left| h_{ml'}^b \sum_n h_{l'n}^f \right|^2 \text{Var}[x_{l'}(j)] + \sigma_n^2 \quad (7)$$

3 仿真结果

为验证所提出的基于交织多址的多天线RFID系统性能,进行了一系列计算机仿真。作为对比的是相同编码和天线,但没有交织多址支持的RFID系统,称为未编码系统。性能通过一定 E_b/N_0 条件下的检测误码率表示,其中 N_0 不包括复用情况下其他标签的干扰。

3.1 多标签检测性能

图5给出了多标签解码性能特性。仿真设置中,帧长为128 bit,使用了1/2码率的卷积码并进一步用 $[-1, +1, -1, +1]$ 扩频。根据仿真结果,在 $2 \times 2 \times 2$ 天线数下可以同时解调16个标签, $4 \times 2 \times 4$ 天线数下可以同时解调48个标签。实际频带利用率可以表示为复用数 K 与码片率 R_c 的乘积 $\eta = KR_c$,分别为2 bit/s/Hz和6 bit/s/Hz。

图6给出了迭代收敛特性。在 $2 \times 2 \times 2$ 天线配置下需要迭代5次以获得足够的性能。在更高的复用率下迭代次数更多。对仿真中的48个标签复用所需次数为8次。

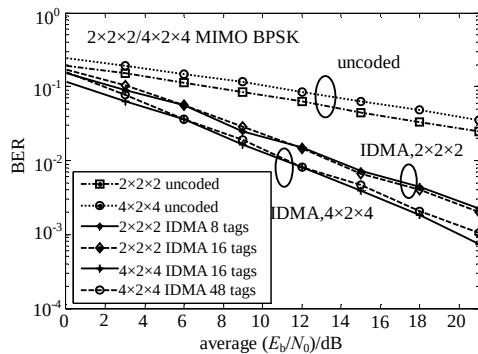


Fig.5 Comparison of multiple tags

图 5 多标签检测性能比较

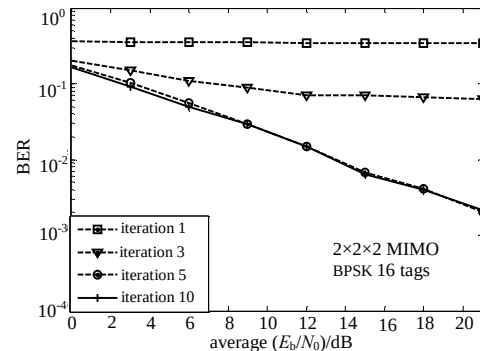


Fig.6 Comparison of iterations

图 6 迭代次数比较

3.2 简化系统的检测性能

IDMA 编码的一个优势在于可以更好地适应多路信号不同步的情况^[8]。图 7 给出了信号异步条件下的性能仿真。其中各个标签以及每个标签上的两路天线信号都有若干个码片的偏移,偏移量为 1~32 个码片时间,互相不重复。图中该方案较好地克服了这一问题,仅在高 E_b/N_0 区域性能有所下降。

图 8 给出了简易块交织器的解码性能。图 5~图 7 都基于随机交织器。在实际应用中,随机交织器的实现较困难,可以用行进列出式的块交织代替,实现非常简单。只要每一路信号的块宽度不同,信号检测机制仍然能够工作,并且性能并没有显著的损失。

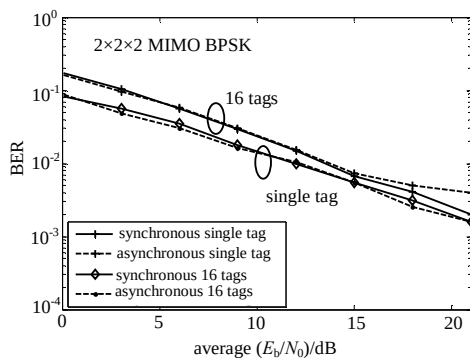


Fig.7 Comparison of asynchronous signals

图 7 异步解码性能比较

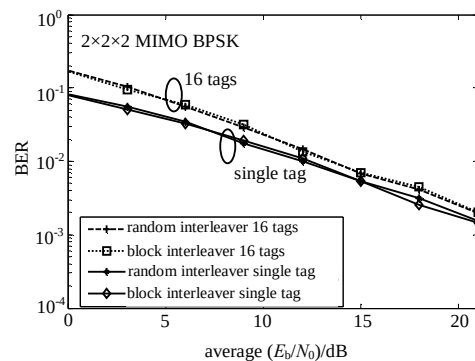


Fig.8 Comparison of simple interleaver

图 8 简易交织器性能比较

4 结论

本文提出了一种适用于大量读卡器和标签的密集 RFID 系统方案。这一方案利用了重叠读卡器进行标签信号的联合检测和分集合并。通过引入标签多天线和交织多址技术,多个标签的信号能够被解析和直接检测。仿真结果说明提出的方案能够以优于单标签未编码系统的误码率实现可观的信道复用率。

参考文献:

- [1] 王视环. 基于 RFID 和 WLAN 技术的物联网应用分析[J]. 信息与电子工程, 2010,8(5):603-606. (WANG Shihuan. Application analysis of IOT based on RFID and WLAN technologies[J]. Information and Electronic Engineering, 2010, 8(5):603-606.)
- [2] 林长星,张健,邵贝贝. 高速无线通信技术研究综述[J]. 信息与电子工程, 2012,10(4):383-389. (LIN Changxing,ZHANG Jian,SHAO Beibei. Survey of research on high speed wireless communication technology[J]. Information and Electronic Engineering, 2012,10(4):383-389.)
- [3] Klair D K,Chin K W,Raad R. A survey and tutorial of RFID anti-collision protocols[J]. Commun., Surveys Tuts., 2010, 12(3):400-421.
- [4] YANG Lei,HAN Jinsong,QI Yong,et al. Season:shelving interference and joint identification in large-scale RFID systems[C]// IEEE INFOCOM. Shanghai:[s.n.], 2011:3092-3100.

(下转第 774 页)