

无源超高频 RFID 系统识别区域分析及优化*

佐磊^{1)†} 何怡刚¹⁾²⁾ 李兵¹⁾ 朱彦卿¹⁾ 方葛丰¹⁾³⁾

1) (湖南大学电气与信息工程学院, 长沙 410082)

2) (合肥工业大学电气与自动化工程学院, 合肥 230009)

3) (中国电子科技集团公司第 41 研究所, 电子测试技术国防科技重点实验室, 青岛 266555)

(2012 年 1 月 7 日收到; 2012 年 6 月 1 日收到修改稿)

基于射频识别技术原理及射线跟踪理论, 导出了实际环境中射频识别系统完整传播链路模型. 提出基于目标区域识别率的系统性能评估方法, 并讨论了其主要影响因素. 结合电磁波传播理论及相干干扰抵消原理, 提出标签集及相位开关目标区域识别率优化方法. 在室内多径环境下, 测试了采用标签集及相位开关优化方法的目标区域识别率. 测试结果表明, 两种方法下的系统目标区域识别率分别提高 10% 和 7.6%.

关键词: 射频识别, 射线跟踪, 相干干扰, 识别率

PACS: 41.20.Jb, 42.25.Ja, 42.87.Bg

1 引言

随着无源超高频 (UHF) 射频识别 (radio-frequency identification, RFID) 技术在物流、生产以及交通运输等领域应用需求的日益增长, UHF RFID 系统的性能评估及最优化部署成为亟需解决的重要问题^[1]. 文献 [2] 给出了 RFID 系统链路预算模型, 并分析其主要影响因素. 文献 [3] 讨论了 IEC/ISO 18000-6C 部分参数设置对标签反向散射功率的影响, 并给出了参数的最优组合. 文献 [4, 5] 导出了不同负载情况下标签雷达散射截面的计算方法, 讨论了阻抗失配对系统反向链路调制系数的影响, 给出了散射调制系数的最优化区间. 文献 [3—5] 主要研究了系统参数设置及标签芯片阻抗等对 RFID 系统识别距离、标签反向散射功率等的影响, 并未讨论实际应用环境中的系统识别区域模型、识别性能评估及部署优化方法. 文献 [6] 利用射线跟踪法, 结合阅读器天线主瓣宽度、方向图、辐射功率和标签灵敏度等参数对系统性能的

影响, 给出了 RFID 系统识别区域的普适参数模型, 但该模型只适应阅读器单一面天线情形. 文献 [7] 设计了一种阅读器相控阵天线, 可增大系统识别区域, 但需要增加多个功分器及移相器, 且天线布局要求精确.

目前对 RFID 系统识别区域的研究主要集中在系统最大读取距离^[2—5] 和最大路径连通可读区域^[6] 两个方面. 前者重点讨论阅读器可识别标签的最远距离, 未考虑由于天线极化失配和多径等因素造成的盲区; 后者考虑了盲区的影响, 但所给出的识别区域模型未涵盖路径不连通的可读区域, 造成系统资源浪费. 采用目标区域识别率可有效评估 RFID 系统的识别性能, 基于标签集和相位开关的优化方法提高了 RFID 系统目标区域识别率, 方法结构简单, 对阅读器天线波束图和布置方式无特殊要求, 降低了系统成本, 易于快速部署.

2 UHF RFID 系统传播模型

典型 UHF RFID 系统如图 1 所示, 其中目标

* 国家杰出青年基金 (批准号: 50925727)、国家自然科学基金 (批准号: 60876022)、国家自然科学基金青年科学基金 (批准号: 51107034)、国防预研重大项目 (批准号: C1120110004) 和湖南省教育厅科学项目 (批准号: 11C0479) 资助的课题.

† E-mail: benzl0313@126.com

区域为标签及目标物所处空间(例如仓库、超市货架等), 可读区域为目标区域中标签可被识别空间, 盲区为目标区域中标签不可被识别空间, $Z_a = R_a + jX_a$ 为标签天线阻抗, $Z_{ic} = R_{ic} + jX_{ic}$ 为标签芯片阻抗. 天线辐射电磁波在传播过程中遇到障碍物发生反射现象, 若障碍物相对介电常数

为 ε_r , 电磁波入射角为 α , 则菲涅耳反射系数为^[8]

$$\Gamma(\theta) = \frac{\cos \theta - a \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + a \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2 \theta}}, \quad (1)$$

其中, $\theta = 90^\circ - \alpha$, 天线水平极化时 $a = 1$, 垂直极化时 $a = 1/\varepsilon_r$.

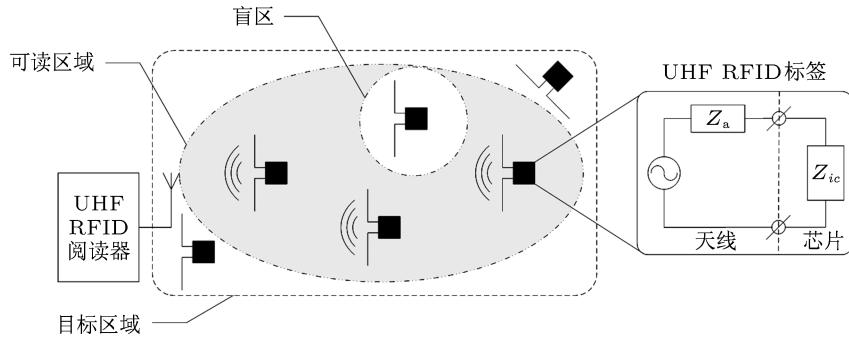


图1 典型 UHF RFID 系统示意图

UHF RFID 系统传播链路分为阅读器天线至标签的前向链路及标签至阅读器天线的反向链路. 假设前向链路中阅读器天线至标签天线的直射路径距离为 $R_{\text{dir},f}$, 反射路径距离为 $R_{\text{ref},f}$, 阅读器发射功率为 $P_{\text{reader},t}$, 则标签天线接收功率 $P_{\text{tag},r}$ 为

$$P_{\text{tag},r} = \frac{P_{\text{reader},t} G_r(\theta, \varphi) G_t(\theta, \varphi) \lambda^2 \chi_f}{(4\pi R_{\text{dir},f})^2 \rho} \times \left| 1 + \frac{R_{\text{dir},f}}{R_{\text{ref},f}(i)} \right| \times \sum_{i=1}^N \Gamma_f(i) e^{-jk(R_{\text{ref},f}(i) - R_{\text{dir},f})} \right|^2, \quad (2)$$

其中, $G_r(\theta, \varphi), G_t(\theta, \varphi)$ 为阅读器及标签天线增益, λ 为波长, χ_f 为阅读器与标签天线极化失配系数, ρ 为标签贴附物功率损耗系数. 标签天线接收阅读器天线辐射电磁波, 经标签整流电路为标签芯片供电, 标签芯片接收功率为 $P_{\text{tagic},r} = P_{\text{tag},r} \tau$, 其中 $\tau = 4R_a R_{ic}/|Z_a + Z_{ic}|^2$ 为功率传输系数. 标签利用反向散射调制将数据返回至阅读器, 标签天线反射功率为 $P_{\text{tag},\text{back}} = P_{\text{tag},r} K$, 其中 $K = 4R_a^2/|Z_a + Z_{ic}|^2$ 为阻抗匹配因子^[3]. 若标签芯片灵敏度为 $P_{\text{tagic},\text{sen}}$, 则 $P_{\text{tagic},r} \geq P_{\text{tagic},\text{sen}}$ 时, 标签被激活.

假设反向链路中标签天线至阅读器天线的直射路径距离为 $R_{\text{dir},b}$, 反射路径距离为 $R_{\text{ref},b}$, 则阅

读器天线接收到的反向散射功率 $P_{\text{reader},r}$ 为

$$P_{\text{reader},r} = \frac{P_{\text{tag},\text{back}} G_r(\theta, \varphi) G_t(\theta, \varphi) \lambda^2 \chi_b}{(4\pi R_{\text{dir},b})^2 \rho} \times \left| 1 + \frac{R_{\text{dir},b}}{R_{\text{ref},b}(i)} \right| \times \sum_{i=1}^N \Gamma_b(i) e^{-jk(R_{\text{ref},b}(i) - R_{\text{dir},b})} \right|^2. \quad (3)$$

阅读器采用收发共置天线时, 前向链路及反向链路传播路径及天线极化失配相同, 此时

$$P_{\text{reader},r} = \frac{P_{\text{reader},t} G_r^2(\theta, \varphi) G_t^2(\theta, \varphi) \lambda^4 \chi^2 K}{(4\pi R_{\text{dir}})^4 \rho^2} \times \left| 1 + \frac{R_{\text{dir}}}{R_{\text{ref}}(i)} \right| \times \sum_{i=1}^N \Gamma(i) e^{-jk(R_{\text{ref}}(i) - R_{\text{dir}})} \right|^4. \quad (4)$$

$P_{\text{reader},r}$ 经连接线传输至阅读器, 若阅读器接收功率大于其灵敏度, 则系统完成识别. 目前市场 UHF 频段 RFID 标签灵敏度 $P_{\text{tag},\text{sen}}$ 范围一般为 -11.5 — -12.5 dBm, 阅读器灵敏度 $P_{\text{reader},\text{sen}}$ 范围一般为 -77 — -80 dBm^[9]. 假设 $P_{\text{reader},t}$ 为 33 dBm, 若标签能被识别, 则路径损耗最大为 45.5 dB. 考虑标签芯片能量损耗, 假设 $P_{\text{tag},\text{back}}$ 为 -15.5 dBm, 则 $P_{\text{reader},r}$ 最小为 -61 dBm, 远大于 $P_{\text{reader},\text{sen}}$, 因此 $P_{\text{tag},\text{sen}}$ 成为制约 UHF RFID 系统性能的主要因素, 故本文只研究标签决定型 RFID 系统.

3 RFID 系统识别区域分析及优化

定义二元变量 $ID_i(P_{\text{readr},t})$ 表示目标区域内标签是否被激活

$$ID_i(P_{\text{readr},t}) = \begin{cases} 1, & P_{\text{tag},r}(i) \geq P_{\text{tag},\text{sen}}, \\ 0, & P_{\text{tag},r}(i) < P_{\text{tag},\text{sen}}. \end{cases} \quad (5)$$

若目标区域内有 N 个标签, 定义 RFID 系统目标区域识别率 $RRTR(P_{\text{readr},t})$ 为

$$RRTR(P_{\text{readr},t}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ID_i(P_{\text{readr},t}). \quad (6)$$

由(3)—(6)式可见, (6)式在描述 RFID 系统目标区域识别率的同时, 还反映其随阅读器发送功率改变而产生的非线性变化.

3.1 目标区域识别率影响因素分析

实际应用中, 设备部署产生的阅读器及标签天线极化失配、阅读器天线高度及阅读器多天线相干多径干扰等成为影响 $RRTR$ 的主要因素. 阅读器与标签天线的极化特性及部署方位导致天线极化失配. 当阅读器与标签采用线极化天线时, 假设阅读器与标签天线辐射场单位矢量分别为 \hat{e}_{reader} , \hat{e}_{tag} , 则 χ 为

$$\chi = |\hat{e}_{\text{reader}} \cdot \hat{e}_{\text{tag}}|^2 = |\cos \theta|^2, \quad (7)$$

其中, θ 为阅读器与标签天线极化方向夹角. 从(7)式可以看出, 阅读器及标签天线极化方向相同即 $\theta = 0^\circ$ 时, $\chi = 1$, 系统处于极化最优匹配; 随着 θ 增大, χ 快速减小, $RRTR$ 亦随之显著下降. 当阅读器与标签采用圆极化天线时, 天线极化失配影响可以忽略不计. 当阅读器采用圆极化天线、标签采用线极化天线时, 标签天线吸收的功率较二者均采用线极化天线且极化最优匹配时减小 3 dB^[10].

阅读器天线高度是影响 RFID 系统目标区域识别率的重要因素. 假设标签位置及阅读器天线发射功率一定, 由(2)式可知, 随着阅读器天线高度增加及多径效应的影响, $P_{\text{tag},r}$ 呈有波动的渐进减小^[8]. 图 2 所示为经典地面双射线模型. 为简化分析过程, 假设系统工作频率 $f = 915$ MHz, 标签距地面高度 $h_{\text{tag}} = 1$ m, 阅读器天线距地面高度 $h_{\text{reader}} = 1\text{--}5$ m, $\{G_{\text{reader}}, G_{\text{tag}}, \chi, \rho\} = 1$, $\Gamma = -1$, $P_{\text{readr},t} = 33$ dBm, $P_{\text{tag},\text{sen}} = -12$ dBm, 目标区域为阅读器天线前 1—10 m 距离. 在不同阅

读器天线高度下, 系统目标区域识别率 $RRTR$ 及最大读取距离 MD 如图 3 所示.

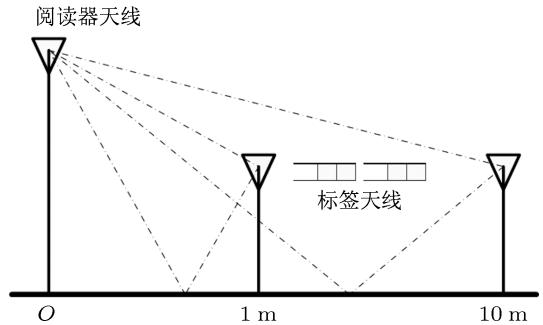


图 2 地面双射线模型示意图

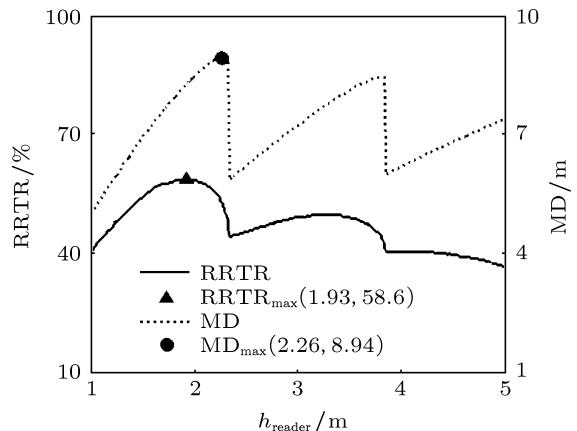


图 3 地面双射线模型 $RRTR$ 及 MD 随 h_{reader} 变化

从图 3 可以看出, $RRTR$ 与 MD 均随 h_{reader} 增加呈波动渐进减小, 二者为最大值时 h_{reader} 分别为 1.93 m 和 2.26 m. 由(3), (4)式可知, h_{reader} 越大, R_{dir} 与 R_{ref} 越大, 故 $RRTR$ 与 MD 呈减小趋势. 同时, 标签天线处直射路径与反射路径电磁波相位差 φ 在区间 $(0, 2\pi)$ 内周期变化, 当 $\varphi = \{0, 2\pi\}$ 时, 反射路径与直射路径电磁波同相, 标签天线处场强增大; 当 $\varphi = \pi$ 时, 两者反相, 则标签天线处场强减小, 故 $RRTR$ 与 MD 在随着 h_{reader} 增大而减小的过程中产生波动. 当 h_{tag} 与 h_{reader} 相差不大, 即 R_{dir} 与 R_{ref} 较小, 且 $\varphi = \{0, 2\pi\}$ 时, $RRTR$ 与 MD 取得最大值.

受阅读器天线增益、最大发射功率及部署环境等因素限制, 为提高 UHF RFID 系统识别率, 常采用单阅读器多天线布置方案, 但多天线间存在相干多径干扰影响, 又使得目标区域内产生新盲区. 假设标签位于目标区域内点 O , 阅读器天线与标签

距离为 d_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 点 O 处阅读器天线辐射电磁波电场强度为 E_i , 相位为 $\varphi_i = 2\pi d_i / \lambda$, 则标签天线感应电场强度为 $E = \left| \sum_{i=1}^n E_i e^{j\varphi_i} \right|$. 可见,

当 $\mathbf{E}_n \cong -\sum_{i=1}^{n-1} \mathbf{E}_i$, 即前 $n-1$ 个电场强度矢量和与第 n 个电场强度矢量关于 O 对称或近似对称时, E 较小甚至为 0, 则标签不能被激活.

3.2 目标区域识别率优化方法

方法 1 为减小 RFID 系统天线极化失配对目标区域识别率的影响, 本文提出标签集方法, 即对目标物贴附多个标签, 且标签与阅读器天线相对方位不同, 使得目标物处于任意方位时, 均有标签与阅读器天线处于极化最优或近似最优匹配, 确保目标物被识别, 从而提高系统目标区域识别率. 例如, 在目标物同侧贴附两个分别为水平和垂直放置的标签, 若一个标签因极化失配不能被激活即 $\theta_1 = 90^\circ$, 则另一个标签为极化最优匹配即 $\theta_2 = 0^\circ$, 目标物可被阅读器识别.

方法 2 为减小多天线相干多径干扰对系统目标区域识别率的影响, 本文根据相干干扰抵消原理, 提出相位开关方法, 即在阅读器与某发射天线之间设置一相位开关 (phase switch, PS), 其输出相位为 0 和 π , 如图 4 所示. 不失一般性, 假设 PS 输出为 0 时, 多天线相干干扰使得目标区域内点 O 处的标签接收电场强度较小, 成为盲区, 则 PS 输出为 π 时, 点 O 处的标签接收电场强度将变得较大, 变为可读区域; 反之亦然. 阅读器持续发射询问指令, 同时控制 PS 分别输出相位 0 和 π , 则最终读取结果为 PS 输出相位为 0 和 π 时的读取结果叠加. 可见, PS 法可消除多天线相干干扰造成的盲区, 提高系统目标区域识别率.

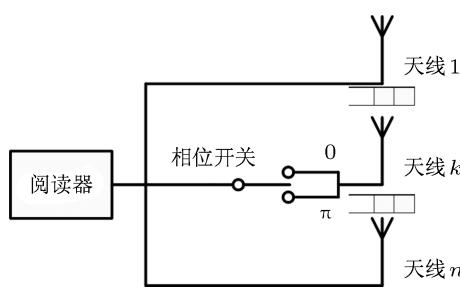


图 4 相位开关优化方法示意图

为简化分析过程, 以三天线为例. 假设阅读器

天线与标签处于同一平面, PS 与阅读器及天线 1 相连, 天线布置方位及点 O 处电磁波矢量分析如图 5(a) 和 (b) 所示, 其中 \mathbf{E} ($i = 1, 2, 3$) 为三个阅读器天线辐射至点 O 处电磁波电场强度矢量. 由图 5 可见, 若 PS 输出为 0 时, 点 O 处电场强度为 $E = |\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \mathbf{E}_3| < \{|\mathbf{E}_1|, |\mathbf{E}_2|, |\mathbf{E}_3|\}$, 即点 O 处由于多天线相干干扰接收到的电场强度较小, 成为盲区; 则 PS 输出为 π 时, 点 O 处电场强度为 $E' = |\mathbf{E}'_1 + \mathbf{E}'_2 + \mathbf{E}'_3| > \{|\mathbf{E}_1|, |\mathbf{E}_2|, |\mathbf{E}_3|\} \gg E$, 即点 O 处接收到的电场强度较大, 消除了盲区. 通过对 PS 输出及阅读器发送时间序列的控制, 可消除多天线相干多径干扰造成的盲区, 从而提高目标区域识别率. 相较于文献 [7], 本文提出的方法结构简单, 无需加入较多分离元件, 对天线波束图及布置方式没有要求.

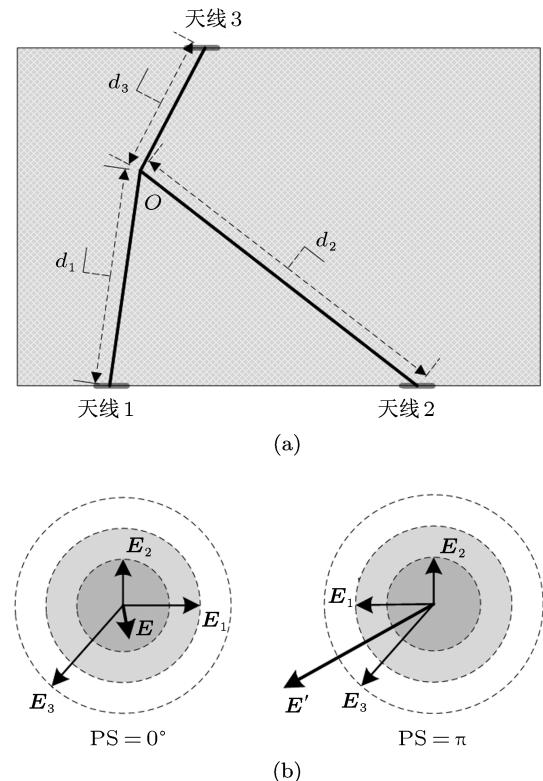


图 5 相位开关方法标签接收信号矢量分析 (a) 天线布置; (b) 点 O 处电磁波矢量图

4 实验结果及分析

实验采用台湾 FAVITE 公司生产的 UHF RFID 设备, 包括阅读器 FS-GM201, 阅读器天线 FS-GA204 及标签 FT-G1205, 其中 FS-GA204 为圆极化面天线, 工作频率为 865—870 MHz 和 902—

928 MHz, 增益为 8 dBi, 驻波比为 1.18. 为测试天线极化失配影响, 根据 ISO/IEC 18046-3 标准, 本文采用自制半波对称振子天线, 谐振频率为 915 MHz, 增益为 2.15 dBi, 驻波比小于 1.5. 标签布置如图 6 所示. 实验在 $6.5 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 的开阔室内环境进行, 目标区域由 60 个测试点构成, 分别位于距地面 130 cm 及 180 cm 水平面, 每个平面测试点 5×6 布置, 测试点的 x, y, z 方向间距均为 50 cm. 系统工作频率为 915 MHz.

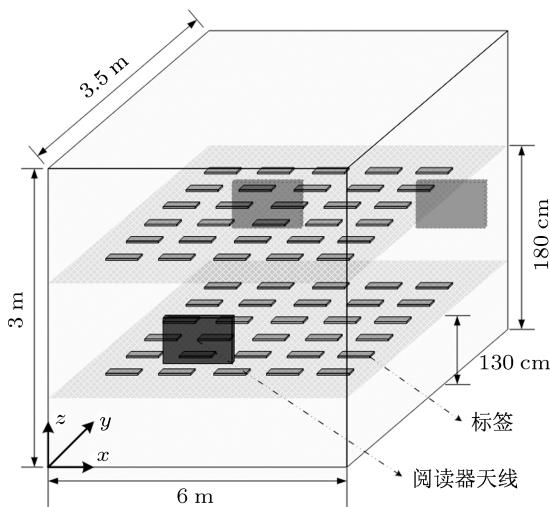


图 6 标签布置示意图

4.1 天线极化失配及标签集优化方法对 RRTR 影响测试

阅读器采用 FS-GA204 面天线 (天线 1) 和半波对称振子天线 (天线 2), h_{reader} 为 155 cm, 天线极化失配测试采用 60 个标签; 标签集方法测试采用 120 个标签, 每个测试点放置两个标签, 分别水平和垂直悬挂. $P_{\text{reader},t}$ 以 1 dBm 步长从 31 dBm 减小至 15 dBm, RRTR 测试结果如图 7 所示.

由图 7 可见, 标签水平悬挂时, 天线 1 与天线 2 都得到较好测试结果, 且由于天线 1 为面天线, 故较天线 2 的 RRTR 平均高 7.83%. 标签垂直悬挂时, 天线 1 与天线 2 较标签水平悬挂 RRTR 平均分别减小 17.89% 和 28.44%. 采用标签集优化方法时, 天线 1 与天线 2 较标签水平悬挂 RRTR 平均分别提高 12.01% 和 18.87%. 这是由于天线 1 为圆极化, 标签极化方向改变对 RRTR 影响较小, 故标签垂直比标签水平 RRTR 减小较少; 天线 2 为线极化, 当标签水平悬挂时, 大部分标签与天线 2 处于或近似处于最优匹配, 而当标签垂直悬挂时, 大部分标

签与天线 2 处于极化失配, 故标签垂直比标签水平 RRTR 减小较大. 从以上测试结果可以看出, 相比线极化天线, 圆极化天线受天线极化失配影响小, RRTR 较稳定, 因此实际商用阅读器天线多为圆极化天线. 但由于商用圆极化天线多为椭圆极化^[10], 因此天线极化失配仍是不可忽略的因素. 采用标签集优化方法, 使得测试点 (目标物) 与阅读器天线处于任意相对方位时, 均有标签与阅读器天线处于最优或近似最优极化匹配, RRTR 提高大于 10%, 有效减小了天线极化失配对系统性能的影响.

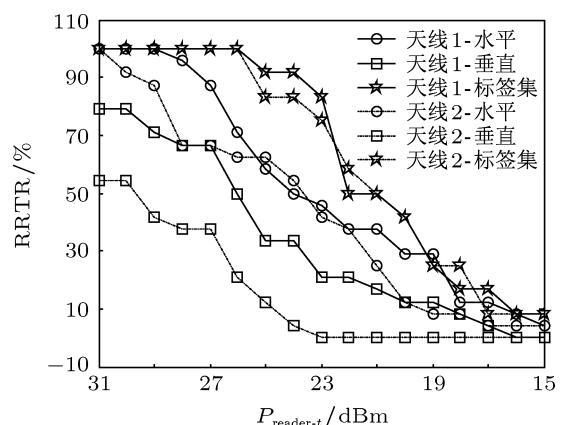


图 7 χ 改变及标签集方法下 RRTR 变化

4.2 阅读器天线高度对 RRTR 影响

测试标签数为 60. 阅读器天线采用 FS-GA204, 以 20 cm 步长从距地面 130 cm 增加至 210 cm. $P_{\text{reader},t}$ 以 1 dBm 步长从 31 dBm 减小至 15 dBm, RRTR 测试结果如图 8 所示.

由图 8 可见, 当 h_{reader} 为 130, 150 及 170 cm 时, 系统性能较好, 其 RRTR 小于 90% 分别出现在 $P_{\text{reader},t}$ 为 26, 24 及 27 dBm 三个点, 当 $P_{\text{reader},t} > 24 \text{ dBm}$ 时, 三者 RRTR 平均分别为 92.26%, 98.01% 及 83.33%. 当 h_{reader} 为 190 cm 和 210 cm 时, 系统性能较差, 其 RRTR 最大值分别为 33.33% 和 8.33%. 这是由于随着 h_{reader} 增加, R_{dir} 与 R_{ref} 增大, 由 (2) 式可知, $P_{\text{tag},r}$ 将快速减小. 因此当 h_{reader} 大于 150 cm 时, 天线越高, RRTR 越小, 至 190 cm 时, RRTR 已经下降至 35% 以下. 在实际应用中, 阅读器天线应朝向目标区域几何中心.

4.3 多天线及 PS 优化方法对 RRTR 影响测试

利用功分器连接 FS-GM201 阅读器与三个 FS-

GA204 天线. 利用 12 cm 折射率为 1.4 的延长线产生相位延迟 π . $P_{\text{reader-t}}$ 以 1 dBm 步长从 31 dBm 减小至 15 dBm, RRTR 测试结果如图 9 所示.

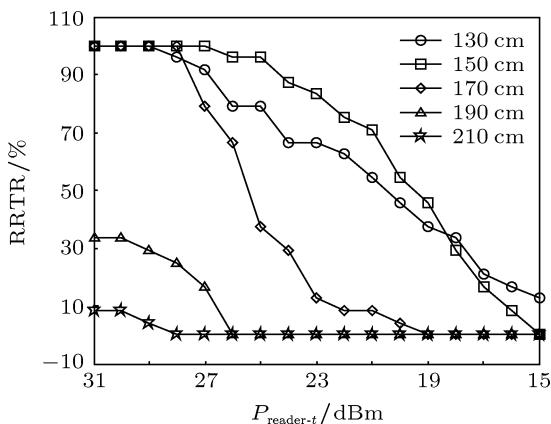


图 8 RRTR 随 h_{tag} 变化

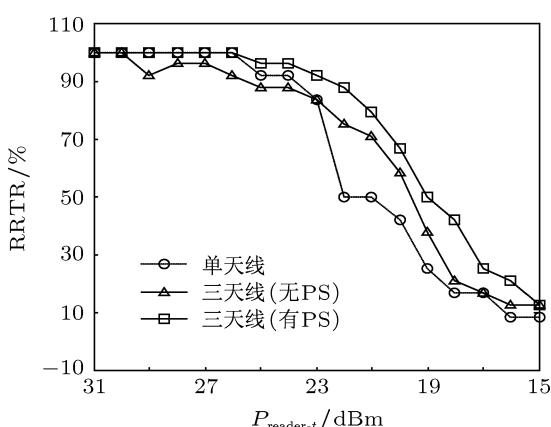


图 9 天线布置改变及 PS 方法下 RRTR 变化

由图 9 可见, 当 $P_{\text{reader-t}} \geq 23$ dBm 时, 采用 PS 方法多天线性能最优, RRTR 平均为 98.15%, 单天线为 96.29%, 不采用 PS 方法多天线为 92.59%. 当 $P_{\text{reader-t}} < 23$ dBm 时, 采用 PS 方法多天线性能最优, RRTR 平均为 47.92%, 不采用 PS 方法多天线为 38.02%, 单天线为 21.35%. 这是由于当 $P_{\text{reader-t}}$

较大时, 相比单天线, 采用多天线虽可增大天线覆盖目标区域范围, 但由于单天线已覆盖大部分目标区域, 此时多天线相干多径干扰造成的盲区成为影响 RRTR 的主要因素, 故多天线的使用并不能增强系统性能, 反而会降低 RRTR. 当 $P_{\text{reader-t}}$ 较小时, 天线覆盖目标区域范围大小成为影响 RRTR 的主要因素, 此时采用多天线可以明显增大覆盖范围, 且多天线相干多径干扰造成的影响较小, 故较单天线可以有效提高 RRTR. 采用相位开关方法后, 在增大天线覆盖范围的同时, 消除了多天线相干多径干扰造成的盲区, 相较于单天线和不采用 PS 方法多天线情况, RRTR 分别提高 10.79% 和 7.6%, 有效提高了系统性能.

5 结 论

识别区域是评估 UHF RFID 系统性能的重要指标, 本文提出了目标区域识别率的系统性能分析方法. 前述测试结果表明: 阅读器天线应面向目标区域几何中心; 商用阅读器天线多为椭圆极化, 极化失配仍是不可忽略的影响因素; 多天线相干多径干扰会产生新的盲区, 使用不当反而会减小目标区域识别率; 所提出的标签集和相位开关两种方法分别提高目标区域识别率 10% 和 7.6%. 本文有助于加深对多径环境下 UHF RFID 信道及系统性能评估方法的理解, 所提出方法有效提高系统目标区域识别率, 为 UHF RFID 系统设计、优化及快速部署提供参考依据. 需要指出的是, 本文提出的识别区域分析方法没有反映目标区域识别率的密度分布; 标签集方法增加了系统成本; PS 方法增加了系统读取次数. 下一步工作将结合瑞利和莱斯分布等电磁波传播统计模型与目标区域识别率, 建立反映识别率密度分布的 RFID 系统识别区域分析方法及评估模型, 研究自适应的 PS 优化方法, 在增加目标区域识别率的同时提高系统效率.

- [1] Marrocco G 2011 *Proc. IEEE Trans. Antennas Propag.* **59** 1019
- [2] Griffin J D, Durgin G D 2009 *Proc. IEEE Trans. Antennas Propag.* **51** 11
- [3] Hou Z G, He Y G, Li B, She K, Zhu Y Q 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 5606 (in Chinese) [侯周国, 何怡刚, 李兵, 余开, 朱彦卿 2010 物理学报 **59** 5606]

- [4] Tang Z J, He Y G 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 5126 (in Chinese) [唐志军, 何怡刚 2009 物理学报 **58** 5126]
- [5] Li B, He Y G, Hou Z G, She K, Zuo L 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 084202 (in Chinese) [李兵, 何怡刚, 侯周国, 余开, 佐磊 2011 物理学报 **60** 084202]
- [6] Marrocco G, Di Giampaolo E, Aliberti R 2009 *Proc. IEEE Trans.*

- Antennas Propag.* **51** 44
- [7] Abbak M, Tekin I 2009 *Proc. IEEE Trans. Antennas Propag.* **51** 185
- [8] Feuerstein M J, Blackard K L, Rappaport T S, Seidel S Y, Xia H H 1994 *IEEE Trans. Vehicular Technol.* **43** 487
- [9] Nikitin P V, Rao K V S, Martinez R, Lam S F 2009 *IEEE Trans. Microwave Theory Technol.* **57** 1297
- [10] Nikitin P V, Rao K V S 2008 *IEEE International Conference on RFID* Las Vegas, USA, April 16–18, 2008, p277

Analysis and improvement for UHF RFID reading region in real environments*

Zuo Lei^{1)†} He Yi-Gang¹⁾²⁾ Li Bing¹⁾ Zhu Yan-Qing¹⁾ Fang Ge-Feng¹⁾³⁾

1) (College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

2) (School of Electrical and Automation Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

3) (National Key Laboratory of National Defense Science & Technology on Electronic Test & Measurement, The 41st Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Qingdao 266555, China)

(Received 7 January 2012; revised manuscript received 1 June 2012)

Abstract

The reading region of ultra high frequency radio-frequency identification (UHF RFID) system is affected by polarization mismatch, reader antenna height, coherent interference and so on. Based on the principles of RFID technology and ray-tracing method, a complete propagation model in real environments is derived. Utilizing recognition rate of target region (RRTR), a method of evaluating the performances of a system is presented. In order to obtain the maximization of RRTR, two solutions including tag diversity and phase switch are proposed, which combines the theories of electromagnetic propagation and coherent interference suppression. The values of RRTR under different parameters are measured in outdoor and indoor environments with a commodity hardware. The measurement results show that the values of RRTR can be enhanced by 10% and 7.6% with the two solutions respectively.

Keywords: radio frequency identification, ray tracing, coherent interference, recognition rate

PACS: 41.20.Jb, 42.25.Ja, 42.87.Bg

* Project supported by the National Natural Science Foundation for Distinguished Young Scholars of China (Grant No. 50925727), the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60876022), the Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51107034), the National Defense Advanced Research Project (Grant No. C1120110004), and the Research Foundation of Education Bureau of Hunan Province, China (Grant No. 11C0479).

† E-mail: benzl0313@126.com