

# 基于光电技术的输送带射频识别动态测试研究

刘佳玲<sup>1,2</sup> 俞晓磊<sup>2\*</sup> 赵志敏<sup>1</sup> 兰秀凤<sup>1</sup> 于银山<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>南京航空航天大学理学院, 江苏 南京 211106

<sup>2</sup>江苏省质量和标准化研究院, 江苏 南京 210029

**摘要** 基于光电技术在输送带场景下对射频识别(RFID)动态性能进行了研究。利用激光测距技术设计了RFID动态识读距离测试系统,该系统可对单标签、多标签系统进行间接测距,以及可实现RFID标签识读距离和识读率的全自动测量。分别对单标签与多标签系统进行了动态性能测试,对测试结果进行了对比分析。结果显示,在单标签测试中,传送带的材质直接影响RFID标签的动态识读性能;而在多标签测试中,RFID标签的动态识读距离随标签数量的增加而减小,系统能够准确地检测出碰撞标签。

**关键词** 测量; 光电技术; 射频识别; 动态测试; 间接测距; 识读距离; 防碰撞

**中图分类号** TN247 **文献标识码** A

**doi:** 10.3788/LOP53.091204

## Study on Dynamic Testing of Radio Frequency Identification Under Transportation Line Based on Photoelectric Technology

Liu Jialing<sup>1,2</sup> Yu Xiaolei<sup>2</sup> Zhao Zhimin<sup>1</sup> Lan Xiufeng<sup>1</sup> Yu Yinshan<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>College of Science, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, Jiangsu 211106, China

<sup>2</sup>Jiangsu Institute of Quality and Standardization, Nanjing, Jiangsu 210029, China

**Abstract** The dynamic performance of radio frequency identification (RFID) under transportation line based on photoelectric technology is investigated. By the laser ranging technology, a testing system is designed to measure the dynamic reading distance of RFID. The reading distance of single-tag or multi-tag system can be measured indirectly, and the automatic measurement to the reading distance and literacy rate of RFID tags is realized. The single-tag and the multi-tag systems are respectively tested for their dynamic performances and the testing results are compared and analyzed. The results show that, in the process of testing the single-tag system, the dynamic reading performance of RFID tags is directly influenced by the material quality of conveyor belts. In contrast, in the process of testing the multi-tag system, the dynamic reading range of RFID tags decreases with the increase of the number of tags, and the collision tag can be detected accurately.

**Key words** measurement; photoelectric technology; radio frequency identification; dynamic test; indirect ranging; reading distance; anti-collision

**OCIS codes** 120.4630; 280.3420

## 1 引言

随着物联网通信环境的日趋复杂,射频识别(RFID)技术在实际应用场景下会受到多标签、多读写器以及各种外部噪声等的影响,出现识读距离不够、识读率低下和多标签碰撞等问题<sup>[1]</sup>。针对实际物联网对RFID检测技术的迫切需求,有必要对RFID系统的测试过程进行系统分析,提出合理的解决方案,并提供一

**收稿日期:** 2016-04-07; **收到修改稿日期:** 2016-05-22; **网络出版日期:** 2016-08-25

**基金项目:** 国家自然科学基金(61475071)、中国博士后基金(2015M580422)、江苏省自然科学基金青年基金(BK20141032)、江苏省研究生培养创新工程(KYLX\_0246)、中央高校基本科研业务专项资金

**作者简介:** 刘佳玲(1991—),女,硕士研究生,主要从事光电测控技术方面的研究。E-mail: 15150671728@163.com

**导师简介:** 兰秀凤(1976—),女,博士,副教授,主要从事现代光测技术的研究。E-mail: orchidxf@163.com

\* **通信联系人.** E-mail: nuaaxiaoleiyu@126.com

种动态测试手段,以提高产品的识读性能,降低测试成本<sup>[2]</sup>。作为物联网中获取信息的关键技术之一的光电技术,其重要的光电信息转换与光电能量转换技术成为研究 RFID 测试方法的重要基础。光电技术具有精度高、反应快、非接触、性能可靠、可测参数多等优点,同时光电传感器的结构简单,形式灵活多样,在工业自动化装置和机器人的检测和控制中得到广泛应用<sup>[3-4]</sup>。因此,以光电技术为基础,能够更加高效地评估 RFID 系统。

对于 RFID 系统的识读性能测试,国内外已有诸多研究。Marrocco 等<sup>[5]</sup>在真实环境下对自由空间模型进行分析,并通过三维现实环境模拟对 RFID 系统的识读范围进行了评估。Cheung 等<sup>[6]</sup>提出了一种在动态环境下的 RFID 配置优化方法(RFIDDO),该方法通过分析和可视化从实际操作环境获得的 RFID 性能数据来提高 RFID 的识读率。Nikitin 等<sup>[7]</sup>讨论了标签的灵敏度、极化方式、增益损耗、读写器灵敏度等参数对读写范围的影响。Lee 等<sup>[8]</sup>研究了 RFID 标签识读范围的影响因素,分析得出标签天线与标签芯片的品质因数会影响标签芯片的输入电压以及后向散射功率。雷伟敏<sup>[9]</sup>将 RFID 技术与光电开关结合,解决了两个 RFID 读写器识读同一标签时的碰撞问题。薛军兴等<sup>[10]</sup>对影响 RFID 系统的实际应用环境中的关键因素进行分析,利用电子设备模拟实际工作现场,并通过动态信号特征设计了 RFID 测试系统。俞晓磊等<sup>[11-14]</sup>设计出了一种用于物流输送线的 RFID 识读范围自动测量系统,并设计了一种闸门入口环境下的 RFID 多标签防碰撞识读距离测试系统,并对防碰撞算法进行了评估。国内外对于 RFID 性能测试的研究,一般局限于单因素条件,对于多因素复杂环境以及动态场景涉及较少。

本文基于光电技术,设计了一种模拟物联网实际使用环境的硬件检测平台,该平台符合 EPCglobal 国际标准<sup>[15]</sup>;在多因素复杂环境下研究了 RFID 动态测试系统的测距系统原理;设计了输送线场景下 RFID 识读距离测试方法,分别对单标签、多标签系统进行间接测距和动态性能测试的实验,并对结果进行了分析。

## 2 基于光电技术的测距系统原理

RFID 动态检测系统平台分为硬件和软件两部分。硬件部分主要由 RFID 天线、RFID 读写器、激光测距传感器、编码计数器、物流输送线模拟测试平台、PC 机、数据控制线等组成。软件部分由读写程序、测距程序等组成。

激光测距传感器因具有测量精度高、速度快、方向性好、设备结构简单等优点而受到广泛重视,而且激光具有良好的抵抗电磁波干扰的能力,尤其在探测距离较长时,激光测距的优越性更为明显<sup>[16]</sup>。因此此处的 RFID 动态检测系统选用的是激光测距传感器。

激光测距法通过调 Q 技术,将激光能量集中成极窄的光脉冲发射出去,使发射的激光亮度提高几个数量级,直接测量激光脉冲往返的时间  $t$ ,得到目标距离:

$$d = \frac{c \cdot t}{2}, \quad (1)$$

式中  $c$  为测试环境中的光速。该方法通过测量发射与接收激光脉冲之间的时间间隔,获取目标距离信息,具有激光发射峰值功率高、探测距离远以及对光源相干性要求低等特点,在地球地貌测绘、城市三维建模和工业测量等领域得到广泛应用<sup>[17-18]</sup>,因此适用于此处的 RFID 动态测试系统。

激光测距传感器结构如图 1 所示。激光发射模块对准测量目标发送激光脉冲,激光脉冲在经过透镜时,一束被反射进入激光接收模块,经光电转换及放大滤波整流后,电平信号送入含时间-数字转换芯片的计时器,开始计时;另一束激光脉冲经过透镜,遇到测量目标后发生漫反射,部分激光返回到激光接收模块,经过光电转换及放大滤波整流后,所形成的电平信号送入计时器,停止计时,由此获得激光往返的时间,即完成整个测量过程。

在整个系统中,将激光测距传感器通过串口通信的方式与 RFID 读写器、天线、控制器等连接,实现了多器件组合应用模式。

## 3 输送线场景下 RFID 识读距离测试

根据 RFID 原理设计一种新型的动态 RFID 识读距离间接测距算法,对单标签与多标签系统的识读距

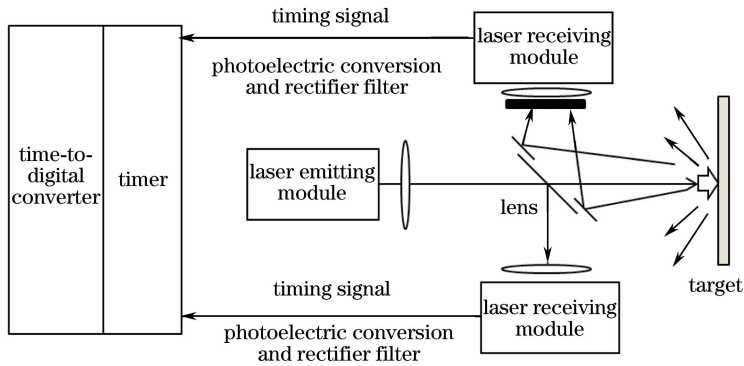


图 1 激光测距原理图

Fig. 1 Schematic diagram of laser ranging

离与识读率进行动态测试。识读距离定义为读写器能够有效识别 RFID 标签时 RFID 读写器天线几何中心与 RFID 标签几何中心之间的最大距离。

实验系统 RFID 天线选用美国 Laird 公司的 S9028 远场天线,最大识读距离约为 15 m。RFID 读写器选用美国 Impinj 公司的 Speedway Revolution R420 超高频(UHF)读写器。测距传感器选用德国 Wenglor 公司的 X1TA101MHT88 型激光测距传感器,该传感器最大测量距离为 20 m。

该系统包括以下 5 个模块。

1) 环形输送带模块。环形输送带由聚氯乙烯(PVC)皮带、碳钢滚筒两段输送带组成,在环形输送带上放置货物,RFID 标签贴附货物上,设定环形传输带传输速度,货物以一定的速度在环形输送带上先后通过 PVC 皮带输送带、碳钢滚筒输送带。

2) RFID 天线组和读写器组模块。在 PVC 皮带输送带和碳钢滚筒输送带上分别架设闸门,闸门上安装有 RFID 读写器和 RFID 读写器天线组,当货物通过输送带,闸门上的 RFID 读写器天线组检测到 RFID 标签时,RFID 读写器发送跳变信号给激光测距传感器。

3) 激光测距传感器模块。由电机带动光学升降平台,调整激光测距传感器高度,使激光测距传感器光束指向货物,测量标签与激光测距传感器之间的距离  $S$ 。

4) 数据采集模块。 $L$  为激光测距传感器到参考点(RFID 读写器天线组的几何中心)之间的距离,由  $R = |S - L|$  计算标签到参考点的距离,并记录 RFID 读写器接收的信号强度指示(RSSI)。距离参数示意图如图 2(a)所示,参考点位置如图 2(b)所示,系统测试实物图如图 2(c)所示。以上数据采集与计算由控制电路实现。

5) 显示模块。该模块用于显示当货物通过各段输送带时 RFID 读写器实时测量到的 RSSI 和货物到参考点的距离  $R$ 。

### 3.1 单标签系统间接测距算法

传送带按顺时针方向运转,单个包装箱从右边传送带开始沿传送带向龙门架移动,此时包装箱的运动方向与激光束方向相反,定义测距传感器光束与龙门架所在平面的交点为参考点  $A$ 。由于龙门架上的三个 RFID 天线和参考点的位置是相对固定的,因此两者之间的距离是定值,设天线到参考点  $A$  的距离依次为  $H_{11}$ 、 $H_{12}$  和  $H_{13}$ 。设激光测距传感器到参考点  $A$  的距离为固定值  $L_1$ ,货物到激光测距传感器的距离为  $S_1$ ,可以求得货物到参考点  $A$  的距离  $R_1$ :

$$R_1 = S_1 - L_1, \quad (2)$$

由于激光束垂直于龙门支架所在的平面,根据勾股定理,可以计算出 RFID 天线到 RFID 标签的距离值分别是

$$\begin{cases} D_{11} = (H_{11}^2 + R_1^2)^{1/2} \\ D_{12} = (H_{12}^2 + R_1^2)^{1/2} \\ D_{13} = (H_{13}^2 + R_1^2)^{1/2} \end{cases} \quad (3)$$

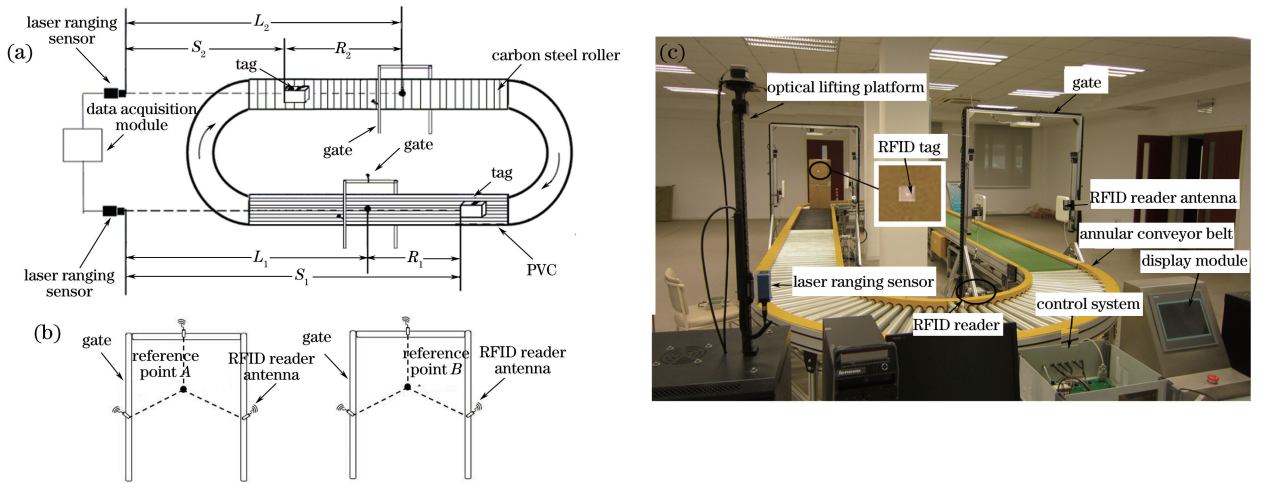


图 2 RFID 动态检测系统示意图和实物图。(a)距离参数示意图；(b)参考点示意图；(c)检测系统实物图

Fig. 2 Schematic diagram and physical map of RFID dynamic detection system. (a) Schematic diagram of distance parameters; (b) schematic diagram of reference points; (c) physical map of detection system

经过弯道后, 包装箱继续沿着传送带向另一个龙门架移动, 此时包装箱的运动方向与激光束方向相同, 调整激光测距传感器, 使激光光束瞄准货物上的标签, 两者处于同一水平线上, 定义测距传感器光束与龙门架所在平面的交点为参考点  $B$ 。设天线到参考点  $B$  的距离依次为  $H_{21}$ 、 $H_{22}$  和  $H_{23}$ 。设标签到参考点  $B$  的距离为  $R_2$ , 激光测距传感器到参考点  $B$  的距离为固定值  $L_2$ , 标签到激光测距传感器的距离为  $S_2$  (测量得出), 则

$$R_2 = L_2 - S_2, \quad (4)$$

可以计算出 RFID 天线到 RFID 标签的距离值分别是

$$\begin{cases} D_{21} = (H_{21}^2 + R_2^2)^{1/2} \\ D_{22} = (H_{22}^2 + R_2^2)^{1/2} \\ D_{23} = (H_{23}^2 + R_2^2)^{1/2} \end{cases} \quad (5)$$

### 3.2 多标签系统间接测距算法

当多个贴有电子标签的包装箱堆叠在一起通过装有 RFID 天线的龙门架时, 采用间接测距法测量这些电子标签的平均识读距离, 即多标签系统几何中心到 RFID 天线的距离。多标签系统间接测距法中的几何中心取代了单标签系统间接测距法中电子标签的地位, 因此使激光光束通过多标签系统的几何中心  $M$ , 多标签系统从左边传送带开始沿传送带向龙门架移动, 其运动方向与激光束方向相反, 如图 3(a) 所示。定义测距传感器光束与龙门架所在平面的交点为参考点  $A$ 。设天线到参考点的距离依次为  $H_1$ 、 $H_2$  和  $H_3$ , 几何中心到参考点  $A$  的距离为  $R$ , 激光测距传感器与参考点  $A$  之间的距离为  $L$ , 标签几何中心与激光测距传感器之间的距离为  $S$  (测量得出), 则

$$R = |S - L|, \quad (6)$$

可以计算出 RFID 天线到几何中心的距离值分别是

$$\begin{cases} D_1 = (H_1^2 + R^2)^{1/2} \\ D_2 = (H_2^2 + R^2)^{1/2} \\ D_3 = (H_3^2 + R^2)^{1/2} \end{cases} \quad (7)$$

当多标签系统经过弯道进入另一侧传送带时, 继续沿着传送带向另一个龙门架移动, 此多标签系统的运动方向与激光束方向相同, 如图 3(b) 所示。定义测距传感器光束与龙门架所在平面的交点为参考点  $B$ 。与图 3(a) 的情况类似, 可以计算出几何中心  $M$  到参考点  $B$  的距离  $R$  以及 RFID 天线到几何中心  $M$  的距离值  $D$ 。

采取多次测量取平均值的方式, 以确保识读距离测量的可靠性与稳定性。对同一个标签重复进行多次识读距离的测量, 取平均即为该 RFID 标签的识读距离。在 RFID 动态检测系统中, 动态测试系统工作流程

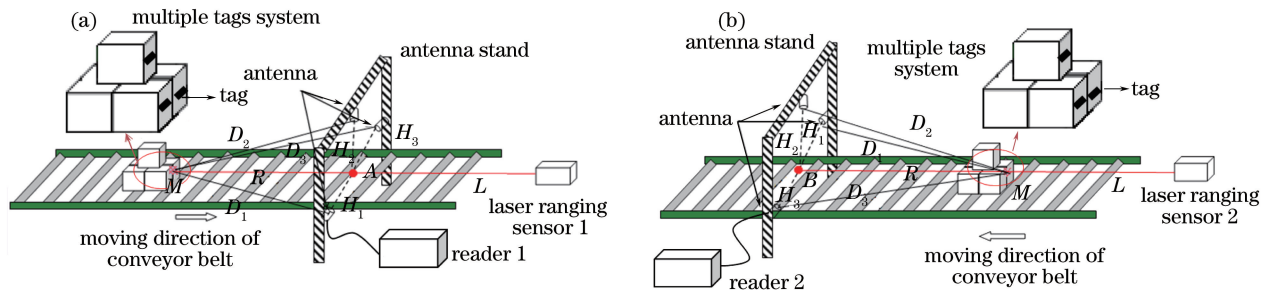


图 3 多标签系统间接测距示意图。(a)PVC 输送带一侧；(b)碳钢滚筒输送带一侧  
 Fig. 3 Schematic diagram of indirect ranging of multi-tag systems. (a) On PVC conveyor belt; (b) on carbon steel roller conveyor belt

图如图 4 所示。

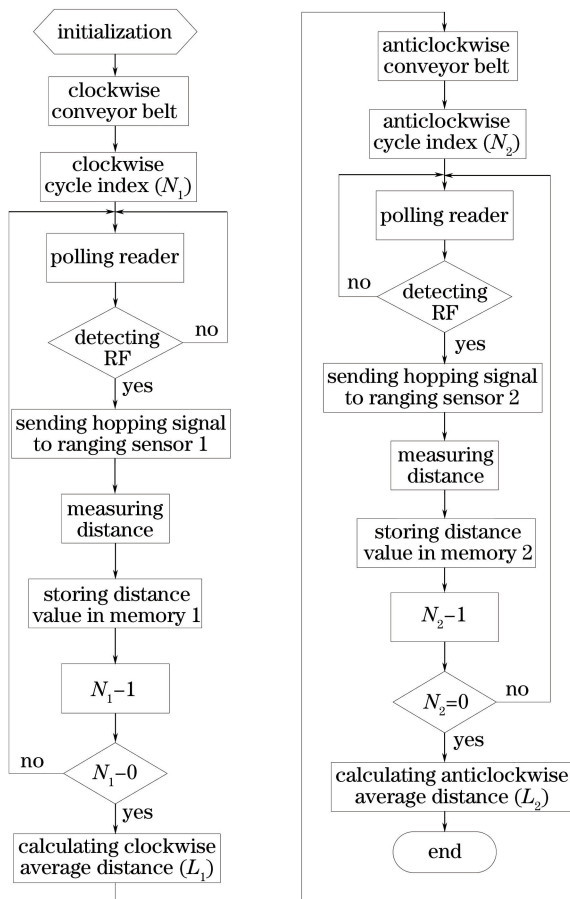


图 4 动态测试系统工作流程图  
 Fig. 4 Flow chart of dynamic test system

## 4 实验结果与分析

### 4.1 单标签性能测试实验

实验采用两种不同类型的电子标签作为样本标签来开展单标签性能测试实验，一种是粘贴型超高频标签，另一种是卡型超高频标签。实验中，在 PVC 皮带输送带上架设闸门，闸门上安装读写器 1 和 RFID 读写器天线组；在碳钢滚筒输送带上架设另一闸门，并在闸门上安装读写器 2 和 RFID 读写器天线组。

粘贴型和卡型超高频标签的动态性能测试结果见表 1，其中  $I$  表示 RSSI。以两种单标签性能测试得到的 RSSI 和识读距离这两项参数为判定依据，对比测试结果可以发现，读写器 1 与读写器 2 测试同一 RFID

标签得到的识读距离存在差异,其原因是传送带材质不同导致天线的识读性能受到明显影响,从而导致识读距离不同。PVC有着优良的电绝缘性,对超高频段的射频信号影响相对较小;而碳钢滚筒具有较高的磁化率,工作时易受到磁化,并且会对读写器天线的磁场产生干扰,导致最终识读距离大小受到影响。

表1 不同类型超高频标签测试结果

Table 1 Testing results of UHF tags with different types

Tag type	Reader	Cycle number	$I$ /dBm	Distance /m
Bonded UHF tag	Reader 1	1	-59.0	2.28
		2	-58.0	1.64
		3	-60.5	2.53
		4	-60.0	2.49
		5	-63.0	2.58
	Reader 2	1	-59.5	1.88
		2	-64.0	2.62
		3	-59.5	2.72
		4	-60.5	1.93
		5	-59.5	2.72
Carded UHF tag	Reader 1	1	-64.5	1.77
		2	-66.5	2.28
		3	-66.5	2.23
		4	-66.5	2.29
		5	-66.5	2.32
	Reader 2	1	-60.0	0.97
		2	-56.5	1.06
		3	-65.5	1.09
		4	-59.0	0.89
		5	-65.0	1.33

## 4.2 多标签性能测试实验

本次验证测试中的多标签性能测试分为三种情形,分别是双标签性能测试、五标签性能测试及六标签性能测试(5个实体标签和1个虚拟标签)。实验数据均采集自读写器1,标签样本均采用粘贴型标签。多标签识读距离定义为全部标签被识别时的读取距离,当一个或多个标签无法被读取时,读取距离定义为无效识读距离(N/A)。不同数量的标签组合的性能测试结果见表2。

与单标签性能测试相比,双标签性能测试结果存在三点不同:一是测试参数增加了识读率,用来描述多标签系统防碰撞性能,本次实验中的识读率为100%,表示两个标签都被检测系统成功识别,未发生标签碰撞;二是识读距离的测试结果明显变小,标签系统的识读距离随标签数量的增加而减小;三是在相同的发射功率下,测试得到的RSSI随标签数量的增加而增大。

对于五标签性能测试,本次实验的识读率为100%,表示5个标签都被检测系统成功识别,未发生标签碰撞。识读距离的测试结果与前述单标签与双标签性能测试的结果相比,均明显变小,再次验证了标签系统的识读距离随标签数量的增加而减小。

六标签性能测试的标签样本仍为5个实体标签,另外1个为虚拟标签,这样的标签样本组合可以模拟发生标签碰撞的情景。本次实验的识读率为83%,表明虚拟标签未被成功识别,即发生标签碰撞。该实验同时验证了本实验系统可对RFID系统的多标签防碰撞性能进行评估。

## 5 结 论

研究了RFID动态测试系统的测距系统原理;根据光电技术搭建了一种模拟物联网实际使用环境的硬件检测平台,该平台符合EPCglobal标准;设计了输送带场景下RFID识读距离测试方法,分别对单标签、多标签系统进行间接测距和动态性能测试实验,并对结果进行了分析。结果显示,在单标签测试中,传送带的

表 2 不同数量的标签组合的性能测试结果

Table 2 Testing results of tags with different numbers

Number of tags	Cycle number	Tag number	$I$ /dBm	Distance /m	Reading rate /%
2	1	1	-55.5	0.94	100
		2	-55.5	0.94	
	2	1	-43.5	0.74	100
		2	-43.5	0.74	
	3	1	-45.5	0.71	100
		2	-45.5	0.71	
5	1	1	-58.5	0.98	100
		2	-58.5	0.98	
		3	-58.5	0.98	
		4	-58.5	0.98	
		5	-58.5	0.98	
	2	1	-47.5	0.50	100
		2	-47.5	0.50	
		3	-47.5	0.50	
		4	-47.5	0.50	
		5	-47.5	0.50	
6	1	1	-60.5	N/A	83
		2	-60.5	N/A	
		3	-60.5	N/A	
		4	-60.5	N/A	
		5	-60.5	N/A	
	2	No RFID signal	-	N/A	83
		1	-49.0	N/A	
		2	-49.0	N/A	
		3	-49.0	N/A	
		4	-49.0	N/A	
		5	-49.0	N/A	
No RFID signal		-	N/A		

不同材质直接影响 RFID 标签的动态识读性能;在多标签测试中,多标签系统的动态识读距离随标签数量的增加而减小,甚至发生标签碰撞导致识读距离无法被检测。该方法既能测试单标签系统的最大识读距离,也能测试多标签系统的防碰撞性能。该研究为 RFID 动态性能测试与防碰撞性能评估提供了有效的测试手段。

### 参 考 文 献

- Nash II D, Mwakalonge J L, Perkins J A. An investigation of factors influencing performance of radio frequency identification (RFID): Applications in transportation[J]. Journal of Transport Literature, 2016, 10(4): 25-29.
- Yu Xiaolei, Yu Yinshan, Wang Donghua. Research on key technologies of RFID anti-collision and dynamic testing under IOT environment[J]. Internet of Things Technologies, 2012, 2(7): 25-29.  
俞晓磊, 于银山, 汪东华. 物联网环境下 RFID 防碰撞及动态测试关键技术研究[J]. 物联网技术, 2012, 2(7): 25-29.
- Buffi A, Nepa P, Lombardini F. A phase-based technique for localization of UHF-RFID tags moving on a conveyor belt: Performance analysis and test-case measurements[J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(1): 387-396.
- Sun Jiyong, Thierry Hernoult, Scott Irving, *et al.* Application of optical simulation analysis in the development of photoelectric sensor[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2009, 46(9): 77-80.  
孙吉勇, Thierry Hernoult, Scott Irving, 等. 光学仿真分析在光电传感器开发过程中的应用[J]. 激光与光电子学进展, 2009, 46(9): 77-80.
- Marrocco G, Giampaolo E D, Aliberti R. Estimation of UHF RFID reading regions in real environments [J]. IEEE

- Antennas and Propagation Magazine, 2009, 51(6): 44-57.
- 6 Cheung B C F, Ting S L, Tsang A H C, *et al.* A methodological approach to optimizing RFID deployment [J]. Information Systems Frontiers, 2014, 16(5): 923-937.
- 7 Nikitin P V, Rao K V S. Performance limitations of passive UHF RFID systems [C]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2006: 1011-1014.
- 8 Lee J W, Kwon H, Lee B. Design consideration of UHF RFID tag for increased reading range [C]. IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 2006: 1588-1591.
- 9 Lei Weimin. Development and application of data exchange system for transmission line based on RFID [J]. Internet of Things Technologies, 2014, 4(1): 66-67.  
雷伟敏. 基于 RFID 的输送线数据交换系统开发与应用 [J]. 物联网技术, 2014, 4(1): 66-67.
- 10 Xue Junxing, Chen Chang'an, Chen Jing. Approach to the dynamic modeling test method of RFID system [J]. Electronic Measurement Technology, 2007, 30(2): 176-178.  
薛军兴, 陈长安, 陈晶. RFID 系统动态仿真测试技术的研究 [J]. 电子测量技术, 2007, 30(2): 176-178.
- 11 Yu Xiaolei, Wang Donghua, Yu Yinshan, *et al.* RFID reading range automatic measurement system design for logistics transportation line: ZL201220434345.4 [P]. 2013-03-27.  
俞晓磊, 汪东华, 于银山, 等. 一种用于物流输送线的 RFID 识读范围自动测量系统: ZL201220434345.4 [P]. 2013-03-27.
- 12 Yu Xiaolei, Wang Donghua, Yu Yinshan, *et al.* RFID reading range automatic measurement method design for logistics transportation line: ZL201210312559.9 [P]. 2015-03-25.  
俞晓磊, 汪东华, 于银山, 等. 一种用于物流输送线的 RFID 识读范围自动测量方法: ZL201210312559.9 [P]. 2015-03-25.
- 13 Yu Xiaolei, Wang Donghua, Yu Yinshan, *et al.* RFID multiple tags anti-collision reading distance measurement system for gate environment: ZL201320196269.2 [P]. 2013-10-30.  
俞晓磊, 汪东华, 于银山, 等. 一种闸门口环境下 RFID 多标签防碰撞识读距离测试系统: ZL201320196269.2 [P]. 2013-10-30.
- 14 Ji Yuyu, Yu Xiaolei, Zhao Zhimin, *et al.* Probabilistic modeling in logistic RFID collision mechanisms and anti-collision detection [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part A: Physical Testing), 2013, 49(1): 6-10.  
季玉玉, 俞晓磊, 赵志敏, 等. 射频识别系统碰撞过程的概率建模及防碰撞检测 [J]. 理化检验 (物理分册), 2013, 49(1): 6-10.
- 15 EPCglobal, Inc. Community. Dynamic test: Conveyor portal test methodology [S/OL]. United-Kingdom: EPCglobal Ratified Standard, 2006: [2016-07-16]. [http://www.gs1.org/docs/epc/uhfg2\\_1\\_0\\_9-TestMethod-ConveyorPortal\\_1\\_1\\_4-20060405.pdf](http://www.gs1.org/docs/epc/uhfg2_1_0_9-TestMethod-ConveyorPortal_1_1_4-20060405.pdf).
- 16 Hao J, Pei W, Xia Y, *et al.* Adaptive pulse signal shaping of tag response signal for RFID tag test system [J]. Electronics Letters, 2014, 50(17): 1182-1184.
- 17 Chen Ruiqiang, Jiang Yuesong. Method of measurement on time-interval in pulsed laser ranging [J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(2): 0212004.  
陈瑞强, 江月松. 脉冲激光测距的时间间隔测量方法 [J]. 光学学报, 2013, 33(2): 0212004.
- 18 Huang Minshuang, Long Tengyu, Liu Huihui, *et al.* A high-precision pulsed laser ranging time interval measurement technology based on sine curves method [J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(8): 0808002.  
黄民双, 龙腾宇, 刘慧慧, 等. 基于正弦曲线的高精度脉冲激光测距时间间隔测量技术 [J]. 中国激光, 2014, 41(8): 0808002.