Scientific Journal of Information Engineering
October 2015, Volume 5, Issue 5, PP.159-166

The Study of RFID-Based Train Localization

Weiwei Wu, Xinlin Huang [#]

School of Electronics and Information /Tongji University/ Shanghai 200092, China

[#]Email: wuwei08@hotmail.com, xlhuang@tongji.edu.cn

Abstract

RFID (Radio frequency identification) is a technology of non-contact automatic identification. RFID has plenty of superiorities such as large capacity, wide spacing of recognition, high speed of transmission and fouling resistance. At present, the near field RFID technology has matured and gained massive commercial development, however long-range RFID technology is lagging behind. This paper describes key technology of long-range radio frequency identification. Based on active RFID readers and tags, designing a set of suitable signing system used in urban rail transit environment, which is able to provide auxiliary train location data to traffic management. The real-time train signing function means recording time point as the train inbound and outbound in local station. This paper discusses the feasible of using the train sign function on Shanghai metro by expounding its working principle and analyzing the location methods based on the RFID technology. According to the vehicle remote identification of project requirements, we use 2.4GHZ active RFID technology to make up the shortcoming as the passive one's short identification distance or be sensitive with environmental. In active label design, using microcontrollers and RF chip, which is low power consumption and good stability. Reader controller combine with the active tags construct the system of recognition. Ultimately we provide the software logic in terms of system functionality.

Keywords: RFID; Train Sign Function; Positioning; Reader; Tag

基于 RFID 的列车自动记点研究 *

吴伟伟，黄新林

同济大学 电子与信息工程学院，上海 200092

摘　要：无线射频识别是一种利用无线射频通信实现的非接触式自动识别技术，它具有大容量、远距离识别、高速识别、穿透力强、可多目标工作、耐污性能强等特点，近年来已受业界广泛关注。目前，近距离 RFID 技术发展状况已较为成熟并大量出现于商用，但远距离 RFID 技术发展相对滞后；针对后者的工作原理和技术改进值得我们深入研究，以求开发出一套主动式射频识别阅读器和标签，使其能适用于城市轨道交通运行环境，并为行车管理人员提供辅助列车定位功能的 RFID 记点系统。所谓记点就是通过实时记录每趟列车进、出站时间，实现在有限空间范围内定位列车的方法。研究通过对记点单元工作原理分析，以及基于 RFID 定位技术的特点分析，设计出一套在上海城市轨交通得以成功运用的记点系统试验方案。设计采用主动式 2.4GHZ 微波技术解决了无源 RFID 标签识别距离短，受环境影响大、不稳定的缺点。在主动式（有源）标签的设计中，采用微功耗单片机和射频芯片，使标签具有极低的功耗和较高的稳定性。最后根据系统功能给出了软件逻辑定义。

关键词：无线射频；记点；定位；阅读器；标签

引言

在轨道交通行业中，对列车位置的实时监控一直是保障线路运营安全和准点的核心问题。目前为人们

*本项研究工作得到了以下项目的资助：国家自然科学基金资助项目（61201225）；上海市浦江人才计划资助（13PJD030）；上海市科学技术委员会的资助，资助课题编号为 12ZR1450800；同济大学青年优秀人才培养行动计划资助（2013KJ007）；中央高校基本科研业务费专项资金资助（20140767）；上海市教育委员会和上海市教育发展基金会"晨光计划"资助(13CG18)。

广泛采用的方法有两种：分别是基于“区间闭塞”原理的信号控制技术来实现对列车的动态防护，和作为辅助定位手段的“到站记点”方式来实现站台层面的区间防护。前者由计算机联锁来防范机车冲突，特点是效率高，造价昂贵。后者借由扩大监督区域而方便以人工手段来进行区段防护，特点是安全性高但工作量大，效率较低，是一种独立于信号控制技术的降级运营方案。随着城市轨道交通运营发展，行车密度逐级加大的趋势迫使我们对“记点”这一高度依赖人工的定位技术进行升级，开发一种基于 RFID 技术的列车自动识别系统能够将人们从繁重的手工劳动中解放出来，大幅提升记点信息的实时性和准确性，从而为生产的实时调整、调度方案的决策提供更有效的参考依据。经过调试的记点系统能较好适应于城市轨道交通的特殊工作环境，运行时通过射频信号自动识别目标对象并对其信息进行标志、登记、储存和管理，具有全天候、无接触识别，无需人工干预，环境适应力及抗干扰能力强等特点。相较于传统的轨道电路或流行的 CBTC 系统，RFID 记点方案成本极低，实现了降级运营方案的自动化，去除人为干扰因素的同时极大地提升了后备运营模式的行车效率和安全性，为轨道交通企业生产带来很好的效益提升。

1 RFID 概述

RFID(Radio Frequency Identification)是一种非接触式自动识别技术，通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据[1]。当标签进入阅读器射频磁场时，标签被激发产生感应电流，将标签中储存的信息发射到阅读器中，阅读器通过解码系统识别标签，并将识别信息进一步传递到计算机信息处理系统进行分析处理和深入应用。

1.1 系统组成

RFID 系统一般由三部分组成，如图 1。

(1) 阅读器：用于读取标签所含信息，按照需求阅读器可具备读写或只读功能，故也称为读写器[2]。它利用射频信号从标的物读取或向目标写入信息的设备，主要由射频模块、控制模块及天线三部分组成。其中射频模块包括信号隔离装置、发射和接收单元，控制模块包括微控制器和外部接口，它能产生射频信号，同时通过天线接收信号并经过滤波、解调、AD 转换后，成为计算机能进行处理的数字信号。阅读器可通过串口或 USB 接口与计算机终端相连实现信息的后续分析处理，它是射频识别系统的核心。

(2) 标签：由芯片及耦合元件组成，每个标签都有一个惟一的 ID 号码 UID，在制作芯片时就烧制在 ROM 中。标签所含的 IC 芯片射频电路是其核心部件，内部是可程序化的集成电路和天线，标签与阅读器间通过无线射频信号进行信息的接收与传输[3]。标签的天线一般由刻蚀于塑料薄片上的印刷导体制成。

(3) 人机对话应用软件：应用软件系统主要完成对数据信息的存储和管理，并可以对标签进行读写的控制。数据管理系统可以是各种数据库或供应链系统或按需要定制面向特定行业的高度专业化的库存数据库。目的是对电子标签所采集的数据进行分析整理，再以符合系统应用目的的形式将其输出[5]。数据处理系统与读写器之间主要通过 RS422/485/232 接口，红外，USB 接口，以太网等方式进行通信。

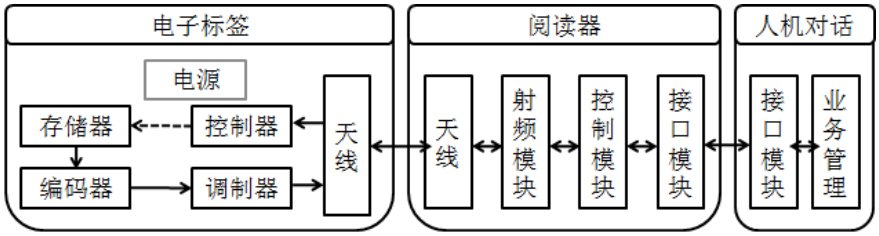

图 1 RFID 系统组成示意图

1.2 系统工作原理

RFID 系统的阅读器器通过天线发送射频能量从而在一定的区域内形成电磁场，当电子标签进入电磁场

作用范围内且该标签的序列号为射频信号所携带的序列号信息一致时，该电子标签被激活开始工作，进行信息采集和传送数据至阅读器。后者还可以根据数据处理系统的要求，实现对电子标签内部的数据改写，即阅读器既具有识别电子标签发送信息的功能，也具有改写电子标签原始数据的功能。同时，阅读器通过外部接口或者无线的方式实现与后台数据处理系统的信息交流传递[6]。RFID 系统的基本工作流程如图 2。

(1)阅读器将待发的信息编码加密后加载到高频载波信号上，再通过天线发送出去。

(2)电子标签处于载波信号作用的范围内时，对接收到的载波信号进行解码分析，判别请求命令及相应的权限确定处理方式。

(3)当电子标签接收到具有权限的“读命令”时，标签内部的控制电路读取相关存储数据，并进行对应的加密编码，然后通过天线以同样射频形式把信息返回给读写器。当电子标签接收到修改指令时，则电子标签内部的控制电路对存储器上的数据进行修改写入。若信息不满足相应的权限时，则标签向阅读器返回出错信息。

(4)阅读器收到电子标签发射出的信号后进行解调、解码，解密处理之后把信息发送给数据处理系统。

(5)给整套 RFID 系统配套对应的网络组成信息管理平台，针对不同的应用场合设置对应的后台处理程序，实现功能所需。

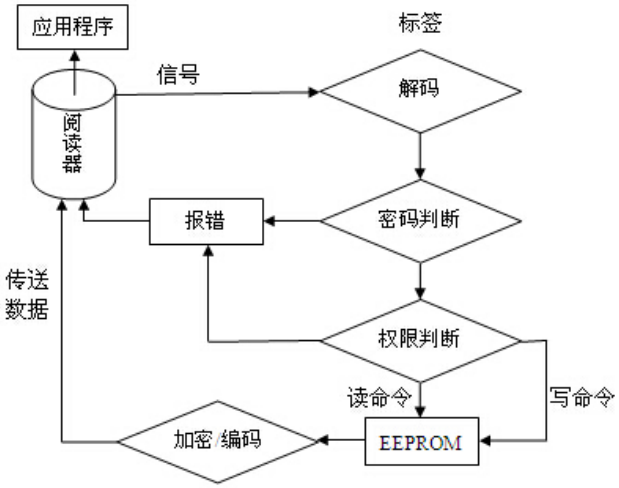

图 2 RFID 系统工作流程图

2 RFID 记点系统功能和框架设计

功能设计：

(1) 独立于信号系统，在信号系统失效情况下能够作为调度员和车站值班员判断列车位置的辅助手段。

(2) 通过对正线列车的可靠定位（识辨区域包括站台、交路折返线、存车线）实现车站自动记点功能。

(3) 日常情况下，用于了解车站及相关区间的列车运营情况，有助于车站管理与列车运营之间衔接。

(4) 系统需具有一定的开放性和冗余度，能够为日后运营管理提供必要支持。

系统架构包括车载设备、车站设备、控制中心(OCC)设备，如图 3 所示：

(1) 车载设备包括分别安装在列车头尾的电子标签，标签内存储有列车的车体号信息并配备高效电池。

(2) 车站设备由 4 台 RFID 阅读器、1 台数据处理器、1 台工作站（利用车控室既有工作站）、软件及供电电缆、通信电缆等组成。

(3) OCC 设备由 1 台应用服务器、1 台工作站和软件构成，用于对全线的列车运行到、发状况进行处理及监控，形成本线汇总的列车运行日志，并将列车运行信息发送到各车站。

系统工作流程可概括为：阅读器读取标签信息，根据预设规则输出通信报文至车站数据处理器；车站数据处理器根据逻辑规则判断列车位置状态形成记点数据；前者将本站数据通过骨干网传送至中央 OCC 服

务器，并接收来自 OCC 下传的对应邻站列车记点信息；本地工作站读取信息，并以列车运行日志和列车定位显示界面的方式向车站值班员展示。

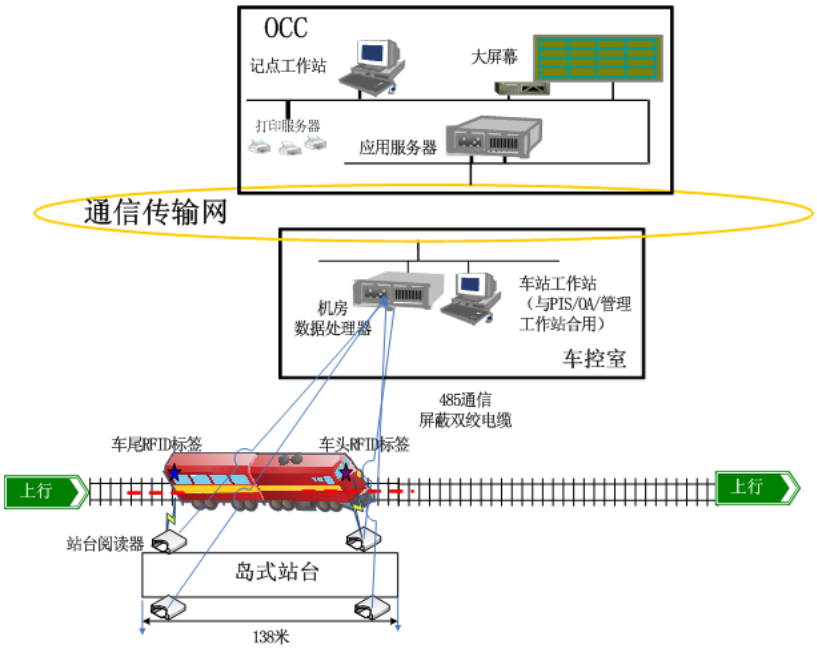

图 3 RFID 系统工作流程图

3　记点系统实施方案

3.1　阅读器与标签电路设计

(1)射频芯片选用：nRF24L01 是一款高性能单片无线收发芯片，工作在 2.4GHz ISM 频段，电压 1.9～3.6V，集成了功放、射频收发、调制器、频道选择等功能，采用抗干扰能力强的 GFSK 调制解调技术，传输速率可达 1Mbit/s。其内部框图如图 4 所示。

(2)微控制器选用：低功耗微控制器选用 MSP430 系列 16 位单片机通过 SPI 接口控制 nRF24L01。片内组合了不同功能模块，可以适应不同应用层次的需求。工作电压为 1.8-3.6V，并提供了五种低功耗模式，可最大限度地延长电子标签的电池寿命。MCU 自带 1kB 的 EPROM 和 128B 随机存取数据存储器 RAM，可以把 nRF24L01 的驱动程序写入闪存而无需外接 EPROM，有利于降低系统功耗。另外 MSP 内置的看门狗定时器可有效避免程序跑飞提升系统抗干扰性。

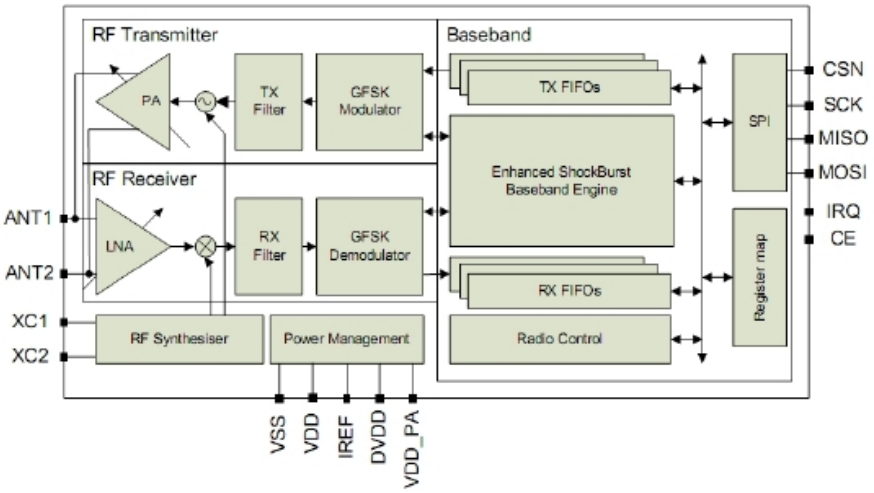

图 4 nRF24L01 内部框图

3.2 电子标签与阅读器安装

根据射频信号传输原理，理想状态下标签安装位置应在列车驾驶室外表面，从而确保收发端之间不受任何金属物遮挡。但经过与质量安全部、运营管理单位和车辆厂商深入讨论后，出于行车安全考虑，最终决定电子标签的安装方案必须以不破坏车体外形结构为原则进行设计。

以 3 号线列车为例，我们选择在驾驶室左侧前挡风玻璃内侧安装电子标签，采用高强度高耐候性的环氧树脂胶固定，适应温度-30°~160°。安装规范重点要求：

（1）每辆列车在其两端驾驶室各安装 1 个电子标签，固定应坚实可靠。

（2）标签 F 天线面向读写器方向，F 的垂直线与读写器的棒状天线平行。

（3）阅读器安装在车站或隧道，不得超过相关标准限界，棒状天线向上。

（4）阅读器读写器距地面 1 米以上，与车辆行进线垂直。

（5）尽可能避免阅读器与标签的可视距之间有大面积金属板。

在每个站台布置 4 个阅读器(R1、R2)，具体位置如图 5 所示。每个站台上、下行两端，即列车到站停准时头尾两端挡风玻璃截面的平行位置各安装一台阅读器。为确保数据传输的高可靠性，要求在列车停靠站时，阅读器与标签正好对上；同时考虑到停站位置精度等问题，在最坏情况下要求直线投影点误差不大于 2m，安装高度与标签至站台的垂直距离一致。

(a) 阅读器布置示意图

(b) 阅读器安装后效果

图 5 阅读器安装情况

4 记点逻辑算法和接口设计

4.1 命名定义规则

（1）命名规则：考虑到系统实现的规范与简洁，对设备采用统一的命名规则如图 5 所示，即 T1-D 表示下行列车的车头标签；R1-D 表示下行站台最先读到标签的阅读器。U 表示 Up 上行；D 表示 Down 下行；车头标签 Tag 为 1，车尾为 2；站台阅读器 Reader 最先读到车头标签的为 1，其次为 2。

（2）阅读行为 RB(Read Behavior)是指阅读器检测到对应标签的行为。参照上面的命名规则，无论何种情况，RB 一共只可能出现 5 种行为，如表 1 所示。一个正常的进站流程将是：列车未到站，RB 为 0；列车刚到站，R1 阅读器检测到 T1 车头标签；列车进站完成，R1 检测到 T2 车尾标签，同时 R2 检测到 T1 车头标签；然后列车出站，RB 为 0 时表示出站记点；R2 检测到 T2 车尾标签时，列车出清。

（3）阅读状态 RS(Read Status)针对具体的 RB 用以统计对应阅读行为的时间参数，其定义如表 2 所示。针对不同线路及车站该参数应根据实际情况可调，即 RS=1 表示列车仅越过；RS=2 表示列车在车站停

稳；RS=3 表示列车可能因为故障停站时间过长。

表 1 阅读器行为

定义行为 RB	注释
0	未读到
1	R1->T1
2	R1->T2
3	R2->T1
4	R2->T2

表 2 阅读器状态

每隔 1S 读到次数 n	RS 状态
0	0
1	1<=n<=2
2	3<=n<=30
3	60<=n

（4）车状态 TS(Train Status)的属性为布尔值，为真或假。若列车进站，则其进站状态为真；若列车故障，则其故障状态为真。当系统每检测到一趟新的列车，则初始化 TS 状态的所有属性为假，并初始化新的 RB 及 RB.RS。

4.2 进出站逻辑规则

列车对于车站主要为进站和出站逻辑，其流程分别如图 6 和图 7 所示。

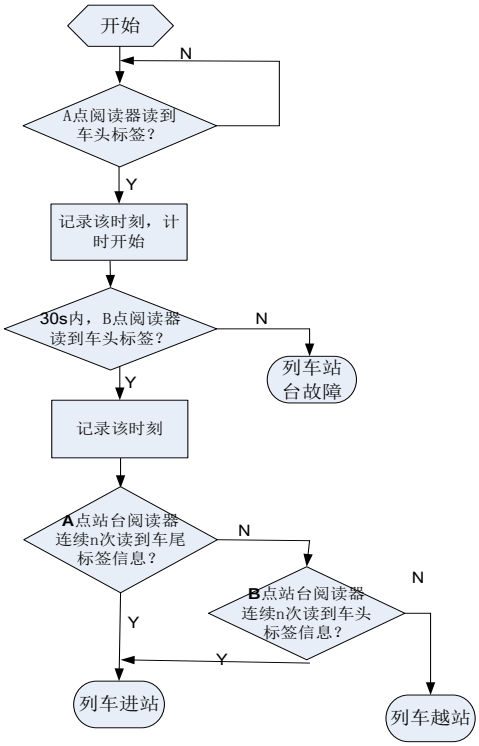

图 6 进站流程图

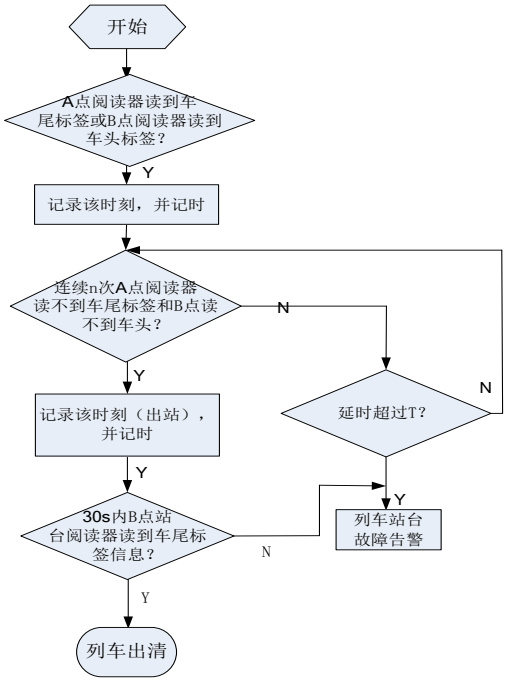

图 7 出站流程图

4.3 定位功能逻辑实现

逻辑流程通过模块化进行，逻辑判断功能实现记点、记时；“更新”模块负责所有状态的判断和更新，逻辑判断流程如图 8 所示。

1．当检测到新的列车 ID，逻辑判断流程如下：

(1) 到站逻辑：当 RB 为 1 时，即 R1 阅读器检测到 T1 车头标签，即判断列车到站。时间点 t1 选取实际读取次数 n(n<=2)对应时间的平均值。

(2) 进站逻辑：当 RB 为 2 时，即判断列车进站完毕，记录 t20（t20 为 t2 的临时时间点）。当 RB 为 2 或 3 的状态持续 3s，判断列车停稳进站记点 t2。时间点 t2 选取实际读取次数 n(n<=3)对应时间的平均值。

(3) 出站逻辑：当该列车进站状态为真，RB 从 2 或 3，变化为 0 时，判断列车出站。时间点 t3 选取 RB 变化为 0 及前 3 次 RB 为 2 或 3 对应时间的平均值。

(4) 出清逻辑：当 RB 为 4 时，即判断列车出清。时点 t4 选取实际读取次数 n(n<=2)对应时间的平均值。

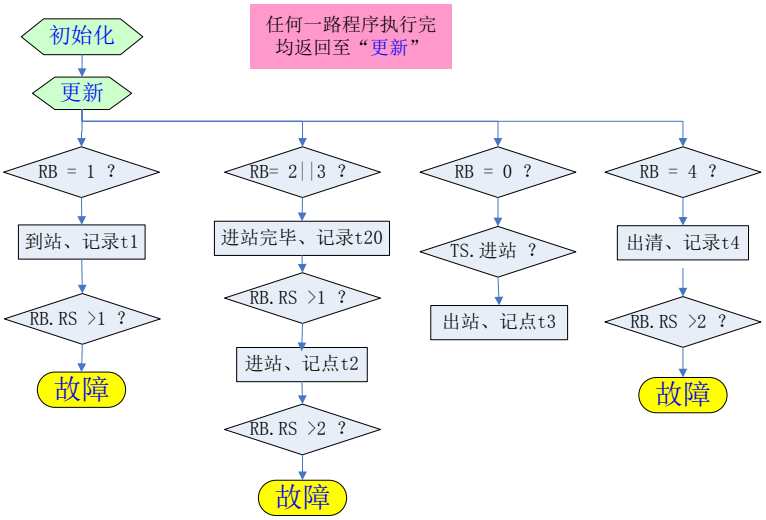

图 8 逻辑判断流程

2．降级模式下系统的可靠性分析

降级模式是考虑到系统硬件故障或损坏，如部分阅读器或标签不能正常工作，系统仅依靠剩余能工作的硬件实现部分系统功能。为了使降级模式下关键时间点 t1 和 t4 判断不受影响，引入时间常量（需实地调研，以 250 米站台为例）：

进站时间常量 TC1=7s，表示列车从进站至停稳。

停站时间常量 TC2=15s，表示列车从停稳至启动。

出站时间常量 TC3=8.5s，表示列车从启动至出清站台。

有 t20 未有 t1，则进站故障：t1=t20-TC1；有 t20 未有 t2，则越站：t2=t20

有 t3 未有 t4，则出站故障：t4=t3+TC3

降级模式主要是影响系统的阅读行为 RB，如表 3 列出了降级模式下逻辑算法的工作结果可知，只有当 R2、T2 同时失效或更差情况下记点将失败。

表 3 降级模式状态列表

降级模式(同侧站台)		RB 有效状态(除 0 外)	时间点记录结果			
			t1	t2	t3	t4
降级阅读器	R1 阅读器失效	3、4	t20-TC1	ok	ok	ok
	R2 阅读器失效	1、2	ok	ok	ok	t3+TC3
降级标签	T1 车头标签失效	2、4	t20-TC1	ok	ok	ok
	T2 车尾标签失效	1、3	ok	ok	ok	t3+TC3
降级阅读器及标签	R1 和 T1 失效	4	t4-TC3-TC2-TC1	t4-TC3-TC2	t4-TC3	ok
	R1 和 T2 失效	3	t20-TC1	ok	ok	t3+TC3
	R2 和 T1 失效	2	t20-TC1	ok	ok	t3+TC3
	R2 和 T2 失效	1	ok			

4.4 系统接口和运行界面

车辆接口：在列车首、尾驾驶室内分别安装一个 RFID 标签，位置与站台阅读器安装高度一致。

车站接口：在每个车站上、下行站台两端、靠近车辆停车位置处各安装一台 RFID 阅读器，位置面向轨道（使用定向天线）。数据处理器设置在通信机房。站台阅读器通过 485 屏蔽双绞线经电缆井与通信机房数据处理器通信。记点系统人机交互软件安装在车控室既有工作站，数据处理器与既有工作站连接。

控制中心接口：各车站的数据处理器通过线路传输系统提供的骨干网通道汇聚至 OCC，供 OCC 服务器进行数据记录，并以 NTP 申请校时的方式从 OCC 二级时间服务器获取标准时间信息，实现时间校准。

以上海地铁 3 号线虹口足球场站的人机接口界面为例，图 9 为当日 9 点 25 分车体号为 301，304 的列车

分别抵达上行和下行站台的实时状态。这时 RFID 记点系统正在监测标签信号并将各列车抵站信息不断刷新，操作者可以据此了解所辖区域内的列车信息和滞留情况。

图 9 实时记点信息

5 总结

本文对记点系统的设计主要侧重于实现站台区域的自动列车自动识别，同时受特定区域运营条件的限制，标签与阅读器通信的通信过程简单；即阅读器读取范围内不会在同一时点出现 2 个或以上标签，故未考虑系统防碰撞问题。这也就限制了本系统的应用范围。例如随着今后运营管理要求的提升，对折返区域或停车场出入库线的记点监控就需要考虑此类更复杂的干扰因素。

在未来的研究中，可对该系统在应对多标签共存情况下的防碰撞功能进行研究改进；另外当列车长时间停止于阅读器工作范围内时，有源标签持续工作的电池消耗问题也有待改进，这对减少系统的日常维护压力和绿色环保有着重要意义。总而言之 RFID 技术开发前景广阔，顺应科技的发展潮流，其功能优势将日趋突出和完善。

REFERENCES

[1] Juanjuan Tan, Xiuping Li, Wideband Double-UT RFID Tag Antenna Design. IEEEAPCCAS 2008.pp.1256-1259

[2] Soo-Cheol Kim, Sung Kwon Kim. An enhanced anti-collision algorithm for EPC Gen2 RFID System. Fifth FTRA International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2011: 293-296

[3] Ahmed Toaha Mobashsher, Mohammad Tariqul Islam and Norbahiah Misran. A novel High-Gain Dual-Band Antenna for RFID Reader Applications. Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol.9, 2010

[4] Ismael Abad, Carlos Cerrada, José Antonio Cerrada, etal. A language to manage RFID reader's networks[J]. Procedia Computer Science, 2011, (5): 835-840

[5] Avoine G.,Carpent X., and Martin B., Strong Authentication and Strong Integrit (SASI) Is Not That Strong, RFIDSec' 10, Security and Privacy Issues, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2010, pp. 50-64

[6] Piramuthu S., Vulnerabilities of RFID protocols proposed in ISF, Information Systems Frontiers, 14 (3), 2012, pp. 647-651

[7] E. Fernández, A.Beriain, H.Solar, etal. A low power voltage limiter for a full passive UHF RFID sensor on a 0.35μm CMOS process [J]. Microelectronics Journal, 2012, 43(10): 08-713

[8] Dominique Paret, RFID and contactless smart card application, Hoboken, NJ: Wiley, 2005

[9] Yu N. C., Contributions to RFID security. University of Wollongong, New South Wales, Australia, 2012

[10] Cho J. S., James J., and Park J. H., High Attack Cost; Hash Based RFID Tag Mutual

【作者简介】

[1] 吴伟伟（1986-），男，汉，学士，工程师，电子通信工程，2012 至今就读于同济大学攻读硕士学位。

Email: wuwei08@hotmail.com

[2] 黄新林（1985-），男，汉，博士，副教授/博士生导师，研究方向为信号处理、无线通信，2011 年于哈尔滨工业大学获得博士学位。Email: xlhuang@tongji.edu.cn