

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2014.02.010

# 基于 RFID 的工业炸药全流程智能监控系统研究与开发\*

许 亮<sup>①②</sup> 黄志平<sup>②</sup> 何小敏<sup>①</sup> 陈金德<sup>②</sup>

①广东工业大学自动化学院(广东广州,510006)

②广东振声科技股份有限公司(广东梅州,514795)

[摘 要] 针对工业炸药生产、仓储、销售和使用等全流程安全监管问题,提出用 RFID(radio frequency identification)进行产品标识与产品信息获取,构建工业炸药全流程监控系统。为了解决工业炸药物理实体与监控系统信息的映射,提出可监控单元模型。该系统是多层分布式的体系结构,由数据采集层、数据处理层和数据服务层组成,并详细描述了各层的功能;该系统采用 C#、ASP. Net 和 SQL Server 2005 开发,运行在 Windows 平台。在企业生产线现场应用结果表明,当 RFID 读写器与贴有 RFID 标签产品距离保持在 2~4 m 之间时,标签读取准确率可以达到 99.9%。

[关键词] 工业炸药;无线射频识别;全流程;智能监控

[分类号] TD235.2<sup>+</sup>1; TP273

## 引言

民爆器材具有易燃易爆的特点,其生产、销售、运输等环节都要防止“四超”行为发生,是一个与公共安全密切相关的特种行业<sup>[1]</sup>。

工业炸药生产过程涉及生产、仓储、销售和使用等环节,目前全行业为了监管炸药全流程,已采用基于条形码技术的生产数据采集系统。该系统主要包括开出库传票、接收库房出入库数据、接收生产线系统数据、数据备份和数据上报 5 个流程,由于条形码技术固有的不足,上述流程的数据采集是非自动化方式,对于安全监控至关重要的动态信息(如位置、时间)无法标识。

无线射频识别(radio frequency identification, RFID)是一种基于无线通讯技术的远距离自动识别技术。RFID 标签具有信息容量大、可重复使用、读写距离远、可批量读取等特性。通过给需要识别物体上粘贴 RFID 标签,利用在工业炸药监控流程中多点布置 RFID 读写器,结合 RFID 数据采集管理系统可以实时获取标签信息,从而实现工业炸药全流程的数据采集和动态监控。

目前 RFID 技术已被大量应用于物流运输、农产品追溯、危险化学品监控、仓储管理等领域。文献[2]研究了一种基于 RFID/GPRS 的汽车零件运输

跟踪系统。为了解决自动获取货物的实时信息,文献[3]在移动 Agent 平台上,建立了基于 RFID 的信息采集系统。在产品跟踪和追溯方面,文献[4,5]研究了有源无线射频识别技术,并利用 RFID 建立畜产品追溯系统。文献[6]提出一个基于 RFID、GPS、GPRS 和 GIS 技术的动态跟踪和监控管理系统,针对危险化学品生产、储存、运输、销毁等过程进行自动信息采集和安全监管。王竹萍等<sup>[7]</sup>提出建立基于条形码和 RFID 高校固定资产管理系统,并设计系统框架,讨论相关硬件与软件设计。文献[8]对 RFID 信息获取方法进行分析,提出一种基于 LDAP 信息获取机制,并将其与 EPCglobal 机制和 ID @ URI 机制进行分析与比较。徐中原等<sup>[9]</sup>利用 RFID 技术,构建 RFID 网络,以此为基础构建汽车速度分布式监测系统。Poon 等<sup>[10]</sup>综合采用 RFID、案例推理和路径优化等技术,提出基于 RFID 的仓储资源管理系统,该系统可以辅助人员管理仓库物资。Chow 等<sup>[11]</sup>提出基于 RFID 的产品质量保证系统,该系统可以帮助工作人员检查产品质量,收集、分析和测试生产线数据,并制定产品改进计划。

本文通过分析工业炸药全流程的监管过程,建立物理实体(炸药成品)与监控信息之间的监控单元模型,基于 RFID 和条形码技术,提出并构建工业

\* 收稿日期:2013-07-09

基金项目:国家科技支撑计划课题(2012BAK13B02);广东省重大科技专项(2012A080104012)

作者简介:许亮(1971~),男,博士后,讲师,从事机器学习、智能系统、RFID 技术研究。E-mail:celiangxu@gdut.edu.cn

炸药实时监控系统,用于解决工业炸药生产、仓储、销售、运输以及使用等过程动态信息获取和安全监控问题,并对系统结构和应用情况进行描述。

### 1 实时监控模型

可监控单元为工业炸药生产、流通和使用过程中的监控对象,可以是工业炸药原料、半成品、成品、包装箱、运输推车、托盘等。可监控单元包括定义标识信息和记录信息。标示信息的主要功能是确保监控的连续性;记录信息的主要功能是实现产品生产、流通、使用过程的追溯。通过监控单元的设计与构建,可以将对炸药实体单元的监控转变为可监控单元信息的监控,实现由物理实体监控向信息监控的转变。

定义可监控单元为对象集合  $M = \{M_1, M_2, M_3, \dots, M_n\}$ ,  $M$  可以是工业炸药的成品(药卷)或是一批成品  $\{M_1, M_2, M_3, \dots, M_n\}$  组成的装箱/托盘/推车。对象集合  $M$  于时间  $t$ , 经过某个过程, 其物品状态  $P_t(M)$  可以用下式描述:

$$P_t(M) = \left\{ \sum_{i=1}^n \text{Mat}_i(M), \sum_{j=1}^m \text{Feat}_j(M), \text{Rid}(M), \text{Loc}_t(M), \text{Userid}_t(M), \text{Proc}_t(M), \text{Ord}_t(M), t \right\}. \quad (1)$$

其中:

$\text{Mat}_i(M)$  表示炸药产品  $M$  的原材料信息;

产品特征参数  $\text{Feat}_j(M)$  表示工业炸药  $M$  的基本特征(属性),例如:规格、类型等,由生产商提供;

电子标签  $\text{Rid}(M)$  为工业炸药的电子标签编码,监控对象为成品、托盘、包装箱等的标签;

位置参数  $\text{Loc}_t(M)$  为工业炸药状态变化的位置,例如:生产线、仓库等,该数据对应的是 RFID 读写器的位置信息;

操作用户  $\text{Userid}_t(M)$  为工业炸药状态变化的操作用户,例如:生产商、销售商、用户等;

业务处理  $\text{Proc}_t(M)$  为工业炸药  $M$  在各个流程中发生的业务操作,例如:产品装箱、产品下线、入库、出库、销售等;

业务单据参数  $\text{Ord}_t(M)$  表示该对象  $M$  对应的业务单据,例如:出入库单据、销售单据等,该数据实现与企业业务数据的关联查询;

$t$  为炸药产品  $M$  状态变化时间,通过 RFID 读取产品标签时自动生成。

可监控单元  $M$  的监控信息为:

$$\text{Inf}(\text{Rid}(M)) = \left\{ \sum_{i=1}^n \text{Mat}_i(M), \sum_{j=1}^m \text{Feat}_j(M), \text{Loc}_t(M), \text{Userid}_t(M), \text{Proc}_t(M), \text{Ord}_t(M) \right\}. \quad (2)$$

通过可监控单元  $M$  的电子标签编码,可以监控

单元  $M$  的原材料种类和来源、产品属性、产品所处位置和状态等信息。

## 2 RFID 全流程智能监控系统框架

该系统采用 B/S 与 C/S 混合的多层分布式体系结构,以数据库为核心,将工业炸药生产过程各关键工序的数据经由 RFID 应用软件系统采集,通过网络传输到信息处理模块,并存储到产品信息数据库,从而实现数据共享、生产流程的动态监控和信息决策支持服务。

从信息流的处理看,RFID 全流程智能监控系统结构可分 3 层,如图 1 所示。

### 2.1 数据采集层

该层主要利用网络实时采集布置在全流程不同位置的读写器数据。无源 RFID 标签贴在每个成品/包装箱上,布置在关键工位(如生产线终端、仓储的门口等)的读写器实时读取经过该工位的标签信息,在线获取产品动态信息(主要是产品的位置、经过时间、状态、数量等)。从各个位置读写器采集的数据经网络传递给数据处理层。

### 2.2 数据处理层

数据处理层是对读写器产生的原始数据进行处理,从中提取有用信息,保存到数据库及提供给数据服务层。包装单元信息管理模块处理本层的数据。

如图 2 所示,当包含 RFID 标签的工业炸药成品进入读写器的工作范围时,该读写器自动读取标签信息以及非标签数据。资源管理模块实时采集 RFID 读写器数据,同时解析所获取的信息编码,并检索产品信息数据库,获取与该编码相关数据,处理和提取有用信息,并且把处理好的信息传递给基于案例推理引擎进一步处理。其中标签信息包括产品编码、生产厂家、下线时间等;非标签数据是指读写器的地理位置信息等。这两类数据都需要进行数据处理。数据处理主要是对一些孤立点数据或者异常数据进行处理,例如:错误数据、重复数据等。

### 2.3 数据服务层

数据服务层接受来自数据处理层有用信息,转换为不同数据格式,为各种监控模块(生产过程监控、运输过程监控、爆破监控)、溯源管理、电子行政审批等不同模块提供所需数据支持。

图 3 是系统的网络结构和 RFID 信息交换过程。工业炸药生产企业在局域网内通过 USB/IP 端口方式连接多点布置的 RFID 读写器,采集生产、仓储和销售过程的 RFID 信息,将 RFID 事件与企业业务流程集成,并通过 Internet 实时上传 RFID 信息到监控数据中心的产品信息数据库和监控数据库,同

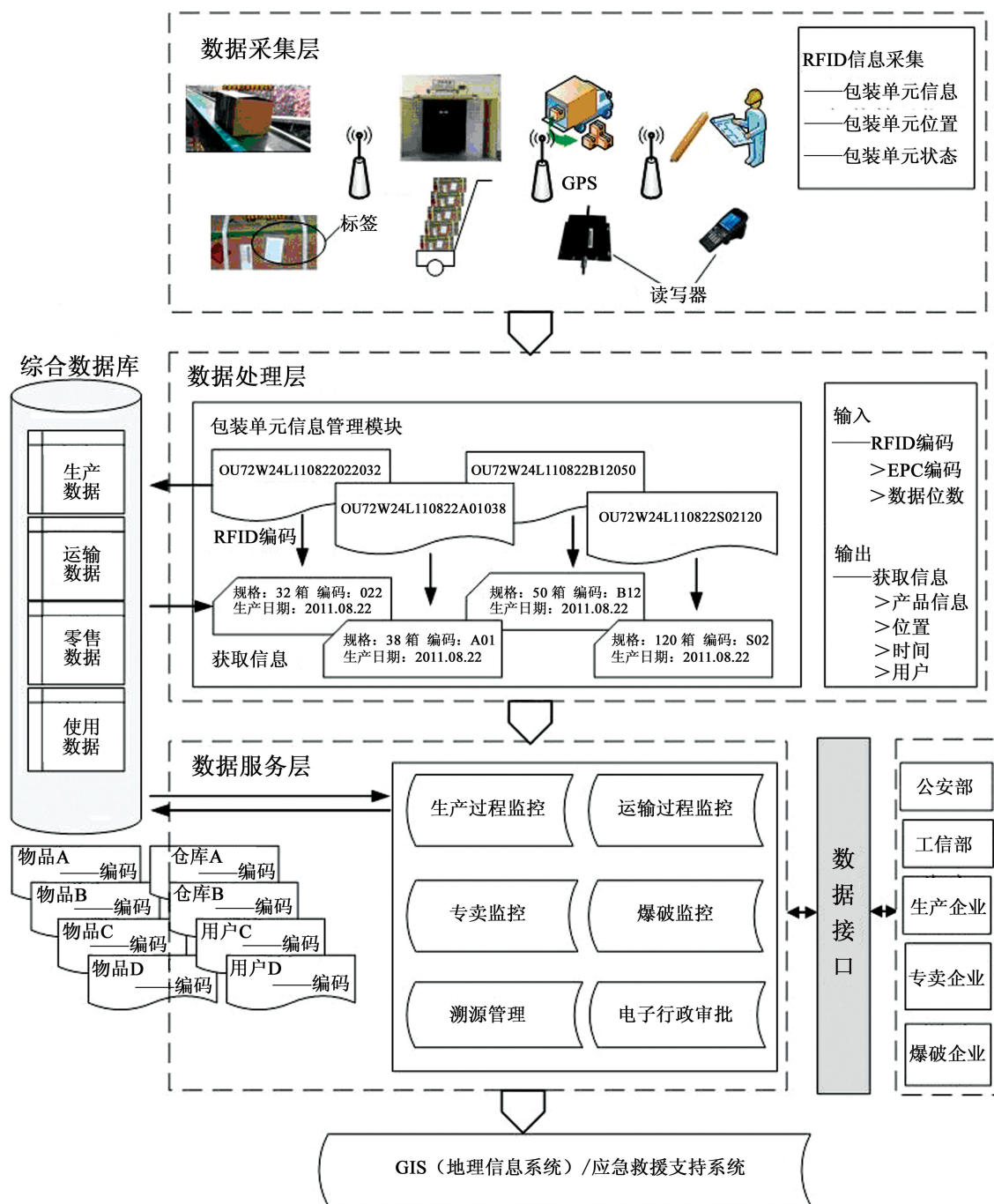


图 1 RFID 全流程智能监控系统结构

Fig. 1 Structure of RFID-based whole process intelligent monitoring system

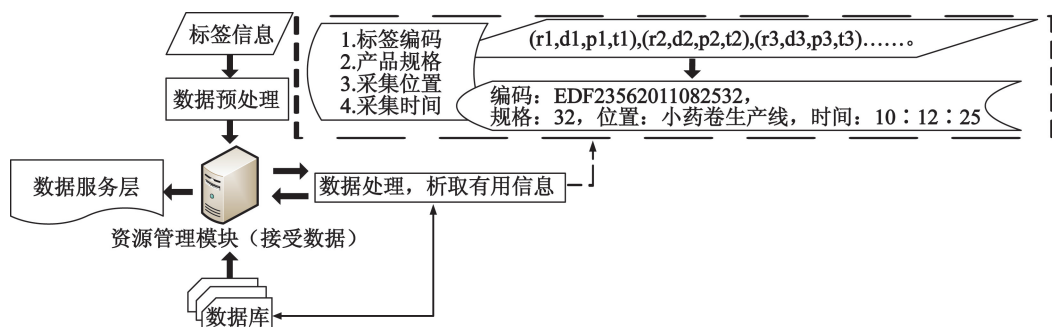


图 2 数据层中数据处理机制

Fig. 2 Data processing mechanism of the data layer





定参数很接近;而读取标签数,则和实际测试一致,为 1 个 RFID 标签;而在 B、C 两个点多标签读取准确率在 99.5%~99.8% 之间,可读取标签数小于等于实际测试标签数(5 个)。由于 RFID 读写器与标签之间距离以及两者之间角度的不同,影响到多标签读取准确率;当  $2\text{ m} < D < 3\text{ m}$  或者  $3\text{ m} < D < 4\text{ m}$ , A、B、C 点能够读取标签数都和实际测试标签数一致,均为 5 个,标签读取准确率也和读写器参数一致,为 99.9%。实验表明,2~4 m 是读取 RFID 标签准确率最高区域。RFID 读写器多标签读取准确率的变化,其原因在于乳化炸药成分包含油和水,其质量占总质量的 10% 左右。而油和水对无线射频信号有吸附作用,因此会导致读写器读写参数发生变化。所以,RFID 读写器布置在监控区域时,其合理工作区域应设定在 2~4 m 范围。

为了保证整个系统准确率,通过数据错误处理模块,例如:在生产线增加光电传感器,每读一个 RFID 标签数据,都和光电传感器数据比较;如果发现传感器和 RFID 数据采集系统数据不一致,则控制 RFID 读写器重新读取;针对不同数据采集环节,采用不同数据错误处理方式,可以使系统数据准确率达到 100%。为了验证系统数据准确率,本文以系统连续运行 3 d 采集的数据为例,该系统每天运行 8 h,每小时读取的标签数为 100 个。为便于对比,实验分为方案 1<sup>#</sup>和方案 2<sup>#</sup>,其区别在于是否包含数据错误处理模块。具体实验结果参见表 2。

表 2 系统数据准确率

Tab. 2 Accurate rate of the system data				
数据采集方案	读写器布置位置	RFID 标签读取数/个	系统数据准确率(不含数据错误处理模块)/%	数据错误处理模块处理的标签数/个
方案 1 <sup>#</sup> (不包含数据错误处理模块)	A	2 397	99.88	—
	B	2 396	99.83	—
	C	2 395	99.79	—
方案 2 <sup>#</sup> (包含数据错误处理模块)	A	2 400	100	3
	B	2 400	100	4
	C	2 400	100	5

注:方案 2<sup>#</sup>中 A 点数据错误处理机制是与光电传感器读数比较,如果不一致,则 RFID 读写器重新读取一次;B、C 两点数据错误处理机制采用每次出入库是批量进出特点,预先设定每批次读取数值,如果不一致,则重新进出库。

从表 2 可知,不包含数据错误处理模块,在 A、B、C 3 个位置的读写器都不能 100% 读取 RFID 标签数据,布置在生产线(A 点)的 RFID 读写器读取

准确率高与其他两点(B 点、C 点),原因在于 A 点读写器每次只读取一个 RFID 标签且两者距离较近,读写器天线与 RFID 标签的角度也是固定的。与之不同,B、C 两点的读写器每批次要读取 5 个 RFID 标签,且两者距离较远,角度也是变化的。如果在读取标签时,系统发现数据不一致,则利用数据错误处理模块,通过重新读取,可以纠正错误数据,使整个系统 RFID 标签读取准确率达到 100%。

该系统已成功应用于广东振声科技股份有限公司四 O 一厂工业炸药生产过程(图 4 所示)。系统的开发与实施,解决了工业炸药在生产、仓储和销售等环节的动态信息获取问题,为工业炸药的安全监管提供了新的解决方案。



图 4 系统软件运行截图

Fig. 4 Preview and running snap of the system software

#### 4 结论

基于 RFID 技术的工业炸药全流程动态监控系统采用 C/S、B/S 的混合计算模式的多层分布式结构。实验表明,当 RFID 读写器与贴有 RFID 标签的产品的距离保持在 2~4 m 之间时,标签读取的准确率可以达到 99.9%。

本文利用 SQL server、C<sup>#</sup>、ASP. Net 技术开发该系统,并在广东振声科技股份有限公司四 O 一厂进行试运行。实验结果表明,该系统可以快速、准确获取各个生产环节的产品动态信息,能够较好地实现工业炸药全流程的动态监控。

#### 致谢

本文所做工作感谢华南理工大学化学与化工学院李秀喜副教授。

#### 参 考 文 献

[1] 常新岩,谢永言,郑永芬. 工业炸药自动包装线的安全性探讨[J]. 爆破器材,2009,38(1):8-10.  
Chang Xinyan, Xie Yongyan, Zheng Yongfen. Discussion on safety of industrial explosive automatic packing line [J]. Explosive Materials, 2009, 38(1):8-10.  
[2] 胡玉琦,李泉林. 基于 RFID 的汽车零件运输跟踪系统设计[J]. 计算机工程与应用,2008,44(33):76-78.

- Hu Yuqi, LI Quanlin. Design of tracking system for automotive parts on transporting based on RFID [J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(33): 76-78.
- [3] 李锋. 基于RFID和Agent技术的物品跟踪系统[J]. 计算机工程, 2008, 34(4): 277-279.
- Li Feng. Goods tracing system based on RFID and Agent technology [J]. Computer Engineering, 2008, 34(4): 277-279.
- [4] 曹志勇, 赵金燕, 陶琳丽, 等. 畜产品追溯系统中关键RFID技术的研究与实现[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(23): 5382-5385, 5423.
- Cao Zhiyong, Zhao Jinyan, Tao Linli, et al. Critical RFID technique research and realization in animal products trace back system [J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(23): 5382-5385, 5423.
- [5] 卢功明, 张小栓, 穆维松, 等. 基于Web多层结构牛肉加工追溯系统的实现[J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(1): 20-22.
- Lu Gongming, Zhang Xiaoshuan, Mu Weisong, et al. Implementation of traceability system for beef processing based on webmultilayer structure [J]. Computer Applications and Software, 2010, 27(1): 20-22.
- [6] 陈媛, 张静, 黄丽丰. 基于RFID和GPRS技术的危险品物流系统模型研究[J]. 包装工程, 2008, 29(5): 78-80.
- Chen Yuan, Zhang Jing, Huang Lifeng. Study on dangerous goods logistics model based on RFID and GPRS [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(5): 78-80.
- [7] 王竹萍. 基于条形码和RFID技术的高校固定资产管理系统设计[J]. 杭州师范大学学报: 自然科学版, 2009, 8(1): 56-61.
- Wang Zhuping. The design for university fixed assets management systems based on bar code and RFID technology [J]. Journal of Hangzhou Normal University: Natural Science, 2009, 8(1): 56-61.
- [8] 郑方伟, 周明天, 余堃. RFID信息获取机制的分析与比较[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(1): 6-9, 13.
- Zheng Fangwei, Zhou Mingtian, She Kun. Analyzing and comparing of mechanisms for RFID information acquisition [J]. Application Research of Computers, 2010, 27(1): 6-9, 13.
- [9] 徐中原, 袁江, 邱自学, 等. 利用RFID读写器网络实现汽车速度的分布式监测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2010(4): 33-35.
- Xu Zhongyuan, Yuan Jiang, Qiu Zixue, et al. Distributed speed monitoring system for vehicle using RFID readers network [J]. Instrument Technique and Sensor, 2010(4): 33-35.
- [10] Poon T C, Choy K L, Chan F T S, et al. A real-time production operations decision support system for solving stochastic production material demand problems [J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(5): 4829-4838.
- [11] Chow H K H, Choy K L, Lee W B, et al. Design of a RFID case-based resource management system for warehouse operations [J]. Expert Systems with Applications, 2006, 30(4): 561-576.

## Research and Development on a Whole Process Intelligent Monitoring System of Industrial Explosive Based on FRID

XU Liang<sup>①②</sup>, HUANG Zhiping<sup>②</sup>, HE Xiaomin<sup>①</sup>, CHEN Jinde<sup>②</sup>

①School of Automation, Guangdong University of Technology (Guangdong Guangzhou, 510006)

②Guangdong Zhensheng Science and Technology Co., Ltd. (Guangdong Meizhou, 514795)

[ABSTRACT] For whole process security monitoring problems of industrial explosive such as production, storage, sale and use, a technology of radio frequency identification (RFID) was introduced into the process to get identification of product and acquire real-time data, and the whole process intelligent monitoring system for industrial explosive has been developed. A monitoring unit model was proposed to solve the physical entity of industrial explosive and the message map of monitoring system. The system was based on a multi-level distributed architecture consisting of data collection, analysis and service layers. The functions of each layer were described in detail. C#, ASP. Net and SQL Server 2005 were applied to develop the system which was running under the environment of Windows. Its application in a production process of industrial explosive showed that the distance between the RFID reader and the product with RFID tag could keep at 2-4m, and the accurate rate of RFID reader could reach to 99.9%.

[KEY WORDS] industrial explosive; radio frequency identification; whole process; intelligent monitoring