

# 化工装备运行状态的无线传感器网络监测系统

曹鹏彬,胡加强

(武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430074)

**摘要:**针对传统有线传感器系统对化工装备运行状态的实时监测存在布线繁琐、维护困难等问题,提出了一种基于无线传感器网络的化工装备运行状态监测系统方法.利用无线传感器网络代替有线传感器系统,结合现有实验设备,设计了基于虚拟仪器的数据采集与处理程序,借助“创世纪64”组态软件建立人机交互界面,实现了对化工装备运行状态的无线数据采集与实时在线或离线监控,具有实时显示、历史数据回放和报警信息处理等功能.

**关键词:**无线传感器网络;监测系统;虚拟仪器;化工装备;节点通信能力

**中图分类号:**TP212.9

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2012.07.011

## 0 引言

近年来,随着现代流程工业的生产设备朝着大型化、连续化、系统化以及自动化的方向发展,使得生产体系的各个环节联系越来越紧密.生产中重大装备的突发性故障,有可能引起“链式反应”,造成整条流水线或整个站场停产,甚至引起爆燃、有毒气体泄漏等重大安全事故的发生.因此,对化工装备运行状态的实时监控是保证流程工业生产安全进行的重要手段.然而,传统的有线传感器系统带来了布线繁琐复杂、网络线路维护困难等一系列难题.同时,由于在生产过程中,化工装备又大多处于高温、高压或有毒物质的物化反应状态,并且长期承受多物理场耦合与电化学腐蚀综合作用,其寿命与安全性往往难以预测,人为对设备的定期巡检也不能完全排除其潜在危险,这些不利因素限制了有线传感器网络系统在化工业生产中的应用.

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是随着微机电系统(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)、传感器技术、无线通信和数字电子技术的快速发展,而出现的一种新的信息获取与处理模式,具有组网灵活,安装、维护和使用方便等特点<sup>[1]</sup>,它的出现引起了全世界的广泛关注和研究,并涌现出在包括军事、地理环境

监测、医疗保健、目标跟踪、生物识别和工业过程监控等众多领域的应用<sup>[2-3]</sup>.

针对WSN的优势,提出了一种基于无线传感器网络的化工装备运行状态数据采集与监控系统(supervisory control and data acquisition system for the running condition of chemical equipments based on WSN, SCADA\_RCCE\_WSN)方案,它主要由现场数据采集、监测中心和远程服务中心3个部分构成.该方案能够有效地克服传统有线传感器网络系统的不足,有利于提高对化工装备运行状况监测的实时性和可靠性,为技术人员提供实时有效的监测信息和维护策略,降低生产成本,提高生产自动化程度和工厂管理水平.

## 1 SCADA\_RCCE\_WSN的整体框架与工作过程

### 1.1 SCADA\_RCCE\_WSN的整体框架

化工装备大多属于压力容器,它们在运行过程中的参数变化对其本身的安全性具有较大影响.这些参数包括设备内部物质物化反应过程的温湿度、压力、流体流量与流速、酸碱度等,另外还有设备自身所产生的振动、变形等.本文选用这些参数相对应的传感器作为传感器网络中的节点.

SCADA\_RCCE\_WSN系统主要实现对上述有关参数的综合监测并处理监测预警信息,它由生

收稿日期:2012-05-18

基金项目:武汉工程大学研究生教育创新基金项目(CX201128);湖北省自然科学基金项目(2008CDB292);湖北省教育厅优秀中青年人才项目(Q20091506);武汉工程大学青年科学基金资助项目(Q200910).

作者简介:曹鹏彬(1974-),女,湖北武汉人,副教授,博士.研究方向:过程装备的健康监测及仿真技术、智能装配技术等.

产现场无线传感器网络系统、监测中心以及远程服务中心等3个部分构成,如图1所示。

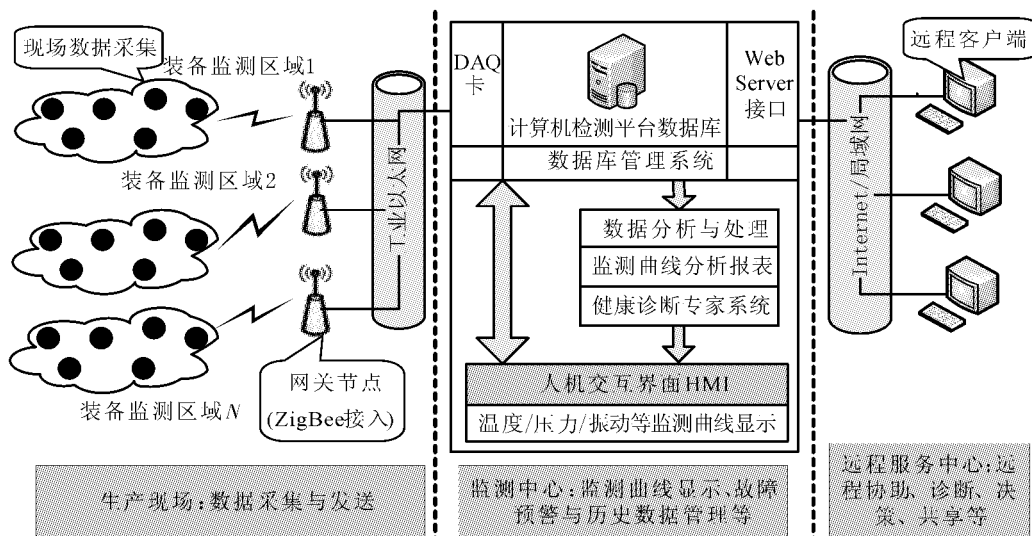


图1 基于 WSN 的化工装备数据采集与监控系统整体框架

Fig. 1 Overall framework of supervisory control and data acquisition system for chemical equipments based on WSN

在图1所示的系统整体框架中,3个组成部分的主要功能分别为:

无线传感器网络系统负责对若干个分布式生产现场设备运行状态参数的采集,并将数据信息通过无线方式传送给网关节点,经过工业以太网传送给监测中心。

监测中心通过读取现场数据,进行数据处理和存储,并通过建立人机交互界面实时在线监测设备状态和处理故障预警信息。

远程服务中心通过访问监测中心数据库,实时在线或离线了解设备状态,提供设备诊断与决策等远程协助服务。

## 1.2 SCADA\_RCCE\_WSN 的工作过程

基于 WSN 的化工装备运行状态数据采集与监控系统的工作过程如下:

(1) 监测节点部署在监测区域内,是构成无线传感器网络的基本单元,负责对化工装备运行状态参数的实时采集。采用建立在 IEEE802.15.4 上的 ZigBee 技术标准,各节点间构成 Ad hoc 自组织网络,并对网络数据进行信息融合,然后通过多跳路由的方式将融合后的数据传送到网关节点。

(2) 网关节点一般由处理能力、存储能力和通信能力较强的节点构成,负责控制子节点的数据采集与发送。网关节点将接收到的数据筛选和整理后,通过以太网或者无线方式发送给监测中心。

(3) 运行在监测中心计算机上的虚拟仪器软件(LabVIEW)通过数据采集卡读取网络数据,进行信号滤波处理,画出时域波形、频域波形和历史趋势分析图,并存储于计算机监测平台的 SQL

Server(Structured Query Language Server,结构化查询语言服务器)数据库。

(4) 监测中心采用“创世纪 64”(GENESIS64)组态软件绘制三维全景站场模型,建立人机界面,通过共享 SQL Server 数据库信息,实现监测数据的实时显示与处理,生成图形与报表,完成历史数据处理以及监测预警等。同时,建立化工装备运行状态健康诊断专家系统,根据现场信号处理结果,分析和提取信号特征,找出异常信号,通过推理分析得出准确的故障诊断结果,为设备的健康诊断提供决策依据。

(5) 最后,远程服务中心通过 Web Server(Web 服务器)接口和局域网或 Internet 访问监测中心,分析监测数据和预警信息,为监测中心提供协助、健康诊断、决策等服务。

## 2 SCADA\_RCCE\_WSN 的关键技术

### 2.1 LabVIEW 数据采集程序设计

为了提高 SCADA\_RCCE\_WSN 系统的实用性和开放性,在完成 WSN 与监测中心计算机的连接配置和调试之后,通过 LabVIEW 软件和数据采集卡(DAQ 卡)来实现对 WSN 网络数据的读取、处理与存储等操作<sup>[4]</sup>。

在综合分析现有实验条件、兼容性和低成本等因素,本文选用 NI PCI-6221 作为 DAQ 卡。利用 DAQmx 节点函数编制基于 LabVIEW 的数据采集程序,实现对现有换热器、搅拌反应釜等装备运行状态数据的采集功能<sup>[4]</sup>。基于 PCI-6221 的部分 LabVIEW 数据采集程序框图如图 2 所示。

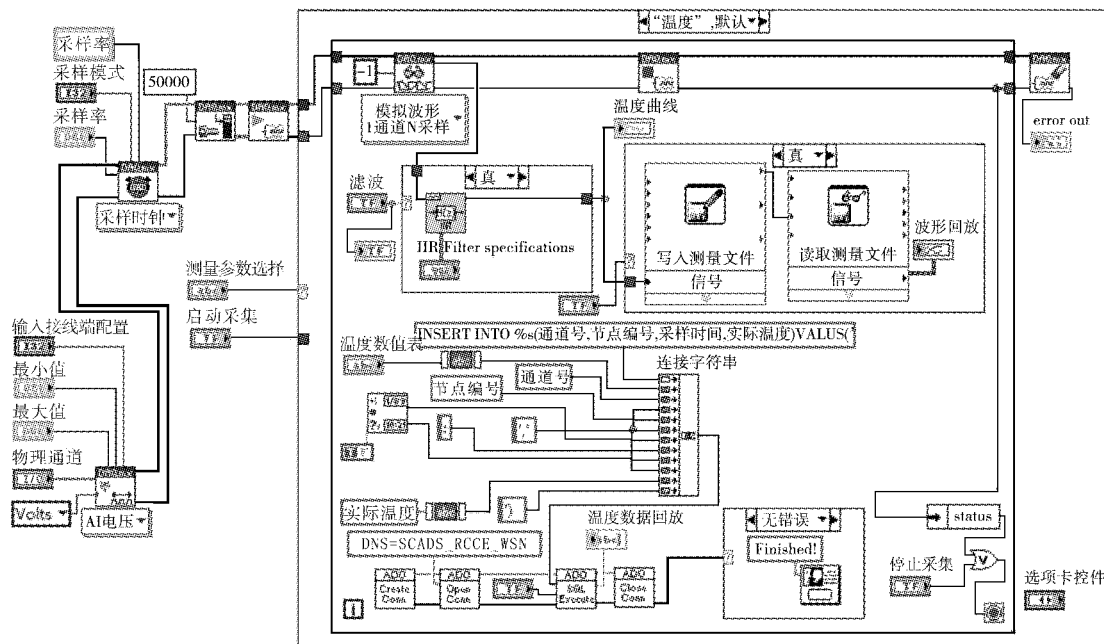


图 2 基于 PCI-6221 的 LabVIEW 数据采集与保存程序

Fig. 2 LabVIEW data acquisition and saving program based on PCI-6221

图 2 所示的数据采集程序可以实现通道配置、采样模式选择、实时数据显示、滤波等功能,并利用 LabSQL 工具包实现对 SQL Server 数据库的访问操作<sup>[5]</sup>,完成数据存储、历史数据查询等功能。

## 2.2 现场数据的共享

DataSocket 是一种简易高性能数据交换编程接口,它能有效地支持本地文件 I/O 操作、FTP 和 HTTP 文件传输、实时数据共享,并提供统一的 API(Application Programming Interface,应用程序编程接口)接口,实现跨机器、跨语言、跨进程的实时数据共享,特别适合于远程数据采集、监控和数据共享等应用程序的开发<sup>[6]</sup>。

为了提高系统的开放性,采用先进的网络通讯技术——DataSocket 技术实现现场数据共享<sup>[7]</sup>。利用 LabVIEW 平台的数据采集程序,将生产现场的设备运行状态信息读入监测计算机,并将数据存储在 SQL Server 数据库中,方便其他应用程序共享使用。

图 3 中,监测中心通过数据采集并和基于 LabVIEW 的数据采集程序,将生产现场的设备运行状态信息读入监测计算机,并将数据存储在 SQL Server 数据库中,方便其他应用程序共享使用。

GENESIS 64 软件通过访问 SQL Server 数据库,进行现场数据的分析与处理,实时显示在人机界面上。同时,远程客户端利用 Web Server 接口访问 SQL Server 数据库,实现对现场数据的远程浏览与共享。

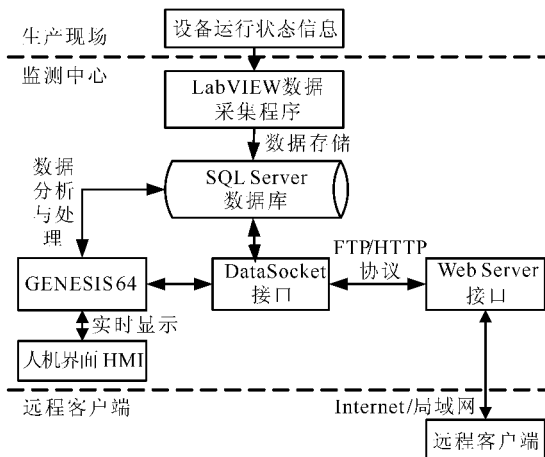


图 3 现场数据的共享过程

Fig. 3 Process of field data sharing

## 3 传感器节点的通信能力

与传统有线系统相比,基于 WSN 的化工装备数据采集与监控系统具有低成本、低功耗、无人值守和实时性强等优点,但是由于应用环境的复杂性,也会面临一系列难题。下文就传感器节点因环境因素(如路径损耗)和自身特性(如节点电容量)而导致的通信能力下降问题分别予以讨论。

### 3.1 路径损耗与通信能力

由于无线传感器网络各节点之间属于近距离无线通信,其通信能力的强弱与生产环境和系统特性有关,如金属设备、建筑物和其他障碍物等生产环境因素以及各节点间的相对距离、工作频率因素等。这些因素的影响可用无线传输过程中的路径损耗来表示。



自由空间路径损耗<sup>[8]</sup>可用式(1)描述:

$$P_L = 20\lg f + 20\lg d - 28 \quad (1)$$

式(1)中,  $P_L$  为路径损耗 (dB);  $f$  为工作频率 (MHz);  $d$  为两节点之间的距离 (m). 由此可见, 自由空间路径损耗是  $f$  和  $d$  的函数, 如图 4 所示.

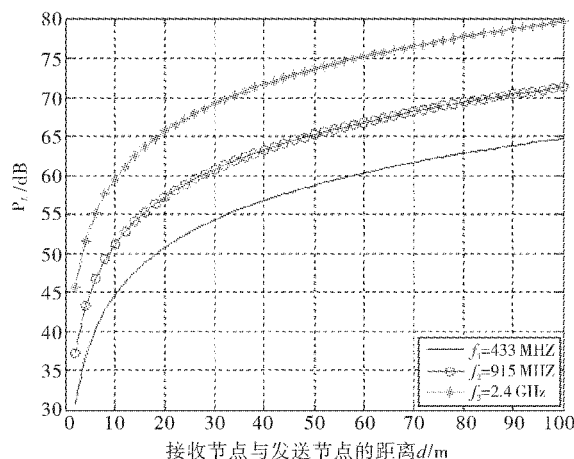


图4 节点距离、工作频率与路径损耗的关系曲线

Fig. 4 Curves of node distance, working frequency and path loss

由图 4 可知, 节点距离  $d$  和工作频率  $f$  对路径损耗的影响非常大,  $d$ 、 $f$  愈大, 路径损耗愈大. 在实际应用中, 无线信号传输的路径损耗将更大, 因为不仅要考虑  $d$ 、 $f$  的影响, 也需要考虑复杂的生产环境对无线信号的阻碍作用.

由上述分析可知, 合理地部署节点和选择工作频率是保证网络节点间通信可靠性的必要措施. 本文选择节点的工作频率为 2.4 GHz. 此外, 在同一设备或区域内布置多个相同类型节点, 可以利用节点之间的自组织能力和较高的容错性, 自动完成相邻节点发现和路由发现, 有效避免因生产环境因素所导致的某个区域内某些节点脱离网络或失效, 保证网络正常运行, 提高网络的抗毁性和传输数据的实时性.

### 3.2 节点电容量与通信能力

由于无线传感器网络低成本、低功耗、易于布置等方面的特殊要求, 各节点通常集成有电源模块, 采用电池供电, 其电容量有限, 通信能力受到限制. 节点的能量消耗与通信距离的关系可定义如下<sup>[9]</sup>:

$$E_{\text{cons}} = E_e + kd^n \quad (2)$$

式(2)中,  $E_{\text{cons}}$  表示一次通信的总电能消耗量,  $E_e$  表示此次通信中数据编码、调制等过程的能耗,  $k$  为传播损耗系数,  $n$  为传播损耗指数. 考虑多方面因素, 参数  $n$  一般取 3, 即能耗与距离的三次方成正比, 所以能耗将随距离的增加而急剧增加. 当节点位置相对固定时, 随着电能的减少, 传输距离也会相应缩短, 通信能力将急剧下降.

因此, 系统在实际应用中, 需要采取有效的动态能耗管理策略<sup>[10]</sup>, 改进路由算法机制<sup>[11]</sup>, 平衡节点负载, 减少丢包率, 提高处理效率和电能利用率; 同时减小节点的单跳通信距离, 延长传感器节点和网络寿命.

## 4 结 语

无线传感器网络具备自组织能力, 能够实时监测、感知和采集网络分布区域内的各种环境或监测对象的信息, 并通过多跳路由向网关传输, 非常适合生产单位分散、各个环节分布距离相对较远的化工生产过程. 本文将无线传感器网络应用到化工装备运行状况数据采集与监控系统中, 结合 LabVIEW 和 3D 组态软件 GENESIS64 各自的优势与特点, 构建了 SCADA\_RCCE\_WSN 系统. 下一步将在该系统方案的指导下, 利用换热器设备、搅拌反应釜等现有实验条件, 开展具体的实验工作, 搭建系统试验平台, 实现本方案系统的基本功能, 并为后续工作打下理论基础.

### 参考文献:

- [1] Yick J, Mukherjee B, Ghosal D. Wireless sensor network survey [J]. Computer Networks, 2008, 52(12): 2292-2330.
- [2] 余向阳. 无线传感器研究综述[J]. 单片机与嵌入式应用, 2008(8): 8-11.
- [3] Simplicio Jr M A, Barreto paulo S L M, Margi C B, et al. A survey on key management mechanisms for distributed Wireless Sensor Networks [J]. Computer Networks, 2010, 54(15): 2591-2612.
- [4] 夏志全, 吴和保, 龙玉阳. 基于 Lab VIEW 的快速热分析仪数据采集系统的研究[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 33(5): 94-96.
- [5] 张荣. LabVIEW 数据库与报表的混合编程设计技术[J]. 信息与电子工程, 2010, 8(2): 476-479.
- [6] 许林烽, 倪天权. 基于 LabVIEW 与 DataSocket 的测试系统设计[J]. 微计算机信息, 2006, 22(12-1): 166-168.
- [7] 王会清, 程勇. 基于 LabVIEW 的家庭智能报警系统研究[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 33(11): 78-82.
- [8] Shreharsha Rao. ZigBee ISM 频带传输距离估算[EB/OL]. <http://www.ti.com/general/cn/docs/gencontent.tsp?contentId=70065>. 2010-02-20.
- [9] 朱祥贤. 一种无线传感器网络中自适应的分簇路由算法[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(20): 94-98.
- [10] 秦岭, 胡荣强. 无线传感器网络节点的有效能耗最小化策略[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(2): 111-114.

(下转第 65 页)