

# 无线传感网络与DCS结合的化工过程远程监控系统开发

李培洪

万华化学集团股份有限公司，山东省烟台市，265505；

**摘要：**在化工生产过程中，传统的分布式控制系统（DCS）虽在工业控制领域应用广泛，但存在布线复杂、扩展性差等问题。无线传感网络（WSN）具有低成本、低功耗、自组织等特点，将其与DCS结合可有效弥补传统监控系统的不足。本文开发了一种基于无线传感网络与DCS结合的化工过程远程监控系统，详细阐述了系统的总体设计、硬件选型、软件实现以及系统测试等内容。经测试，该系统能够实现对化工过程参数的实时采集、传输、处理和远程监控，提高了化工生产的安全性和效率，具有较好的应用前景。

**关键词：**无线传感网络；DCS；化工过程

**DOI：**10.69979/3060-8767.25.09.018

## 引言

化工行业是国民经济重要支柱产业，生产具高温、高压等特点，对生产监控要求高。传统化工过程监控依赖DCS，通过有线通信连接传感器和执行器实现集中监控。但随生产规模扩大和工艺复杂，传统DCS存在不足：一是布线成本高、维护不便；二是系统扩展性差，新增监控点需重铺电缆，影响生产；三是灵活性不足，难对移动设备或难布线区域有效监控。无线传感网络由大量低成本、低功耗传感器节点组成，可实时感知、采集和传输参数。将其与DCS结合构建远程监控系统，能发挥两者优势，实现全方位、实时、灵活监控，对提高化工生产安全性和效率意义重大。国外在无线传感与工业控制结合研究起步早，如美国Crossbow公司开发相关工业监控产品，德国西门子公司在工业控制系统引入无线通信技术。国内研究虽起步晚但发展快，高校在无线传感网络多方面深入研究取得成果，企业也开始应用该技术，如中石化、中石油开展试点项目。本研究开发的基于两者结合的远程监控系统，能解决传统DCS问题，实现实时、准确、全面监控，可提高生产安全性、减少事故，优化生产过程、提高效率、降低成本，有重要经济和社会意义。

## 1 系统总体设计

### 1.1 系统设计目标

本系统的设计目标是构建一个集数据采集、传输、处理、显示和控制于一体的化工过程远程监控系统，具体目标如下：实现对化工生产过程中关键参数（如温度、压力、液位、流量、浓度等）的实时采集和传输，确保采集精度满足工业生产要求。采用无线传感网络与DCS相结合的方式，实现有线与无线通信的无缝对接，提升系统的灵活性和扩展性。开发功能完善的监控软件，实

现对采集数据的实时显示、历史数据查询、报警处理等功能，为操作人员提供直观、准确的生产信息。具备远程监控功能，使操作人员能够通过互联网在异地对化工生产过程进行监控和操作，提高管理效率。系统具有较高的可靠性和安全性，能够适应化工生产现场的恶劣环境。

### 1.2 系统总体架构

本系统采用分层架构设计，分为感知层、传输层、处理层和应用层：

**感知层：**由大量无线传感器节点组成，负责采集化工生产过程中的各种参数。传感器节点采用电池供电，具备低功耗、自组织、自适应等特点，能够根据环境变化自动调整工作状态。

**传输层：**包括无线网关和DCS通信网络。无线网关负责将感知层采集的数据通过无线通信方式传输到DCS系统，同时将DCS系统的控制指令传输到感知层的执行器节点。DCS通信网络采用有线通信方式，负责DCS系统内部的数据传输和控制指令的传递。

**处理层：**由DCS控制器和服务器组成。DCS控制器负责对传输层传来的数据进行处理和分析，根据预设的控制策略生成控制指令，并通过传输层发送到执行器节点。服务器负责存储采集的数据和系统配置信息，为应用层提供数据支持。

**应用层：**包括监控终端和远程监控平台。监控终端安装在生产现场的控制室，操作人员通过监控终端实时查看生产过程参数，进行操作和控制。远程监控平台通过互联网与服务器相连，实现对化工生产过程的远程监控和管理。

### 1.3 系统工作流程

系统的工作流程如下：感知层的传感器节点实时采

集化工生产过程中的参数,并将采集到的数据通过无线通信方式发送到无线网关。无线网关对接收到的数据进行处理和转换后,通过DCS通信网络传输到DCS控制器。DCS控制器对数据进行分析 and 处理,根据预设的控制策略生成控制指令,并将控制指令通过DCS通信网络发送到无线网关。无线网关将控制指令通过无线通信方式发送到感知层的执行器节点,执行器节点根据控制指令执行相应操作,如调节阀开度、控制电机转速等。服务器实时存储采集的数据和控制指令,监控终端通过访问服务器获取数据,实时显示生产过程参数,并进行报警处理等操作。远程监控平台通过互联网访问服务器,实现对化工生产过程的远程监控和管理。

## 2 系统硬件选型与设计

### 2.1 感知层硬件选型

感知层的核心设备是无线传感器节点,其性能直接影响系统的数据采集精度和可靠性。根据化工生产过程的特点和监控需求,需选择合适的传感器和无线通信模块。

**传感器选型:** 根据需要监测的参数,选择相应的传感器。例如,温度传感器选用DS18B20,其测量范围为 $-55^{\circ}\text{C}$ 至 $125^{\circ}\text{C}$ ,精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ;压力传感器选用MPX5010,测量范围为0至10kPa,精度为 $\pm 1\%FS$ ;液位传感器选用投入式液位变送器,测量范围为0至10m,精度为 $\pm 0.2\%FS$ ;流量传感器选用电磁流量计,测量范围为0至 $100\text{m}^3/\text{h}$ ,精度为 $\pm 0.5\%FS$ ;浓度传感器选用红外气体传感器,可测量多种气体浓度,精度满足工业要求。

**无线通信模块选型:** 鉴于化工生产现场环境复杂,存在较多干扰源,需选择抗干扰能力强、通信距离远的无线通信模块。本系统选用CC2530无线通信模块,该模块基于ZigBee协议,具有低功耗、高可靠性、抗干扰能力强等特点,通信距离可达100米以上,能够满足化工生产现场的通信需求。

**节点控制器选型:** 传感器节点的控制器选用MSP430系列单片机,该单片机具备低功耗、高性能等特点,能够满足传感器节点的控制需求。

### 2.2 传输层硬件设计

传输层主要包括无线网关和DCS通信网络。

**无线网关设计:** 无线网关是连接感知层和传输层的桥梁,其主要功能是实现无线传感网络与DCS通信网络之间的数据转换和传输。无线网关采用ARM处理器作为核心控制器,配备CC2530无线通信模块和以太网接口。ARM处理器负责数据处理和协议转换,CC2530无线通信模块用于与感知层的传感器节点通信,以太网接口用于

与DCS通信网络连接。

**DCS通信网络:** DCS通信网络采用工业以太网,其传输速率快、可靠性高,能够满足DCS系统内部大量数据的传输需求。工业以太网采用星型拓扑结构,通过交换机将DCS控制器、服务器、监控终端等设备连接起来。

### 2.3 处理层硬件选型

处理层主要包括DCS控制器和服务器。

**DCS控制器选型:** DCS控制器是系统的核心控制设备,负责对生产过程进行控制和调节。本系统选用西门子S7-400系列PLC作为DCS控制器,该PLC具备高性能、高可靠性、强大的控制功能等特点,能够满足化工生产过程的复杂控制需求。

**服务器选型:** 服务器用于存储采集的数据和系统配置信息,需具备较高的存储容量和处理能力。本系统选用高性能的工业服务器,配备大容量硬盘和多核处理器,能够满足系统的数据存储和处理需求。

### 2.4 应用层硬件选型

应用层主要包括监控终端和远程监控平台的硬件设备。

**监控终端:** 监控终端选用工业计算机,配备大屏幕显示器、键盘、鼠标等输入输出设备,用于操作人员实时查看生产过程参数和进行操作控制。

**远程监控平台:** 远程监控平台可以是普通计算机或移动设备(如笔记本电脑、平板电脑、智能手机等),通过互联网与服务器相连,实现远程监控功能。

## 3 系统软件设计

### 3.1 感知层软件设计

感知层的软件主要包括传感器节点的采集程序和无线通信程序。采集程序负责控制传感器进行数据采集,并对采集到的数据进行预处理(如滤波、校准等)。该程序采用C语言编写,基于MSP430单片机的开发环境。程序首先初始化传感器和单片机的相关寄存器,然后按照设定的采样周期控制传感器进行数据采集,将采集到的数据存储在单片机的内存中,并进行预处理。无线通信程序负责将预处理后的数据通过CC2530无线通信模块发送到无线网关,同时接收无线网关发送的控制指令。该程序基于ZigBee协议栈开发,实现了节点的组网、数据传输、路由选择等功能。节点上电后,首先进行网络初始化,加入无线传感网络,然后按照预设的通信协议与无线网关进行数据通信。

### 3.2 传输层软件设计

传输层的软件主要包括无线网关的通信程序和DCS通信网络的驱动程序。无线网关通信程序负责实现与感

知层传感器节点和DCS通信网络之间的数据通信。该程序采用C语言编写,基于ARM处理器的Linux操作系统。程序通过CC2530无线通信模块接收传感器节点发送的数据,进行协议转换后,通过以太网接口发送到DCS通信网络;同时,接收DCS通信网络发送的控制指令,进行协议转换后,通过CC2530无线通信模块发送到传感器节点。DCS通信网络驱动程序用于实现DCS控制器、服务器、监控终端等设备与工业以太网的通信。驱动程序根据工业以太网的通信协议编写,确保设备之间能够进行可靠的数据传输。

### 3.3 处理层软件设计

处理层的软件主要包括DCS控制器的控制程序和服务器数据库管理程序。DCS控制器控制程序负责对生产过程进行控制和调节,根据采集到的过程参数和预设的控制策略生成控制指令。该程序采用梯形图或结构化文本编写,基于西门子的STEP7编程软件。程序实现了数据采集、逻辑控制、PID调节等功能,能够满足化工生产过程的控制需求。服务器数据库管理程序负责对采集的数据和系统配置信息进行存储和管理。数据库采用MySQL数据库,程序采用Java语言编写,基于JDBC技术实现与数据库的连接和操作。程序实现了数据的插入、查询、更新、删除等功能,为应用层提供数据支持。

### 3.4 应用层软件设计

应用层的软件主要包括监控终端的监控软件和远程监控平台的Web应用程序。监控终端监控软件采用C#语言编写,基于Microsoft Visual Studio开发环境。软件具有以下功能:实时数据显示,以图形、表格等形式实时显示化工生产过程中的各种参数,如温度、压力、液位等;历史数据查询,能够查询历史数据,并以曲线、报表等形式进行展示;报警处理,当过程参数超过预设的阈值时,发出声光报警,并记录报警信息;操作控制,操作人员可以通过监控软件向DCS控制器发送控制指令,实现对生产过程的远程控制。远程监控平台Web应用程序采用HTML、CSS、JavaScript等技术编写,基于B/S架构。用户可以通过浏览器访问Web应用程序,实现对化工生产过程的远程监控。Web应用程序通过HTTP协议与服务器进行通信,获取实时数据和历史数据,并进行显示和分析。

## 4 系统测试与结果分析

### 4.1 测试环境搭建

为验证系统性能,搭建模拟化工生产过程的测试环境。该环境包含模拟化工生产设备(如反应釜、储罐、管道等)、安装在设备上用于采集参数的传感器节点、

无线网关等系统设备,以及用于校准传感器采集精度的数据采集仪器。

### 4.2 测试内容与方法

进行数据采集精度测试,对比传感器与采集仪器数据计算误差以验证精度;开展通信性能测试,测试通信距离等参数验证无线通信可靠性与实时性;实施系统功能测试,测试实时数据显示等功能验证功能完整性;开展系统可靠性测试,长时间运行系统观察状态验证可靠性。

### 4.3 测试结果与分析

数据采集精度测试显示,传感器节点采集误差在允许范围,能满足化工监控需求;通信性能测试表明,无障碍时通信距离、速率等指标良好,有障碍时仍能满足现场需求,无线通信可靠实时;系统功能测试显示,系统各功能表现良好,能满足远程监控需求;系统可靠性测试显示,系统连续运行30天无故障,稳定可靠,能适应恶劣环境。

## 5 结论

本研究成功开发基于无线传感网络与DCS结合的化工过程远程监控系统。系统采用分层架构,实现化工生产关键参数实时采集、传输、处理与远程监控。经测试,系统特点为:数据采集精度高,满足监控需求;无线通信可靠、实时性好,适应复杂环境;功能完善、操作简便,提供直观准确信息;具备远程监控,提升管理效率;可靠性高,可长期稳定运行。该系统弥补传统DCS不足,保障化工生产安全高效。不过,实际应用中仍有改进空间:提高无线传感网络抗干扰能力与通信距离;优化能耗管理,延长传感器寿命、降低维护成本;加强安全设计,加密数据传输;结合人工智能、大数据实现智能预测与优化控制,提高生产效率与产品质量。未来,无线传感网络与DCS结合更紧密,此远程监控系统将在化工行业更广泛应用。

### 参考文献

- [1] 张晓明, 苏国富. 嵌入式技术在氟冷机远程监控中的应用[J]. 电气应用, 2013(4): 4. DOI: CNKI: SUN: DGJZ. 0. 2013-04-022.
- [2] 肖玲. 无线体域网中人体动作监测与识别若干方法研究[D]. 湖南大学, 2014.
- [3] 陈延军, 潘泉, 王征. 无线传感器网络目标跟踪性能优化及仿真[J]. 传感技术学报, 2015, 28(4): 7. DOI: 10. 3969/j. issn. 1004-1699. 2015. 04. 016.
- [4] 吴明明. 基于无线传感网的工业远程控制及优化[D]. 江南大学, 2012. DOI: CNKI: CDMD: 2. 1012. 329517.