

学校编号: 10384  
学 号: 200429023

分类号 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学  
硕 士 学 位 论 文

基于 CAN 总线的工业控制系统的研究与应用

STUDY ON THE INDUSTRIAL CONTROL SYSTEM  
BASED ON CAN FIELD-BUS AND ITS APPLICATION

杨 振 宇

指导教师姓名: 陈文芴 教授

专 业 名 称: 机械电子工程

论文提交时间: 2007 年 5 月

论文答辩时间: 2007 年 5 月

学位授予日期: 2007 年 5 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2007 年 5 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

## 摘 要

随着计算机技术、通信技术和控制技术的发展和进步，传统的工业控制领域正经历着一场前所未有的变革，而工业控制的网络化，更拓展了工业控制领域的发展空间，带来新的发展机遇。基于嵌入式技术和现场总线技术的兴起和广泛应用，本文以工业现场和机电设备控制的需求为基础，研究开发基于嵌入式技术的能够完成多种控制任务和数据通信功能的多用途工业控制器，并以此为独立的智能控制节点构建一个基于现场总线的工业网络控制系统，以满足多种工业控制的要求。

本文所设计的系统中作为个体的智能控制器可以独立实现控制任务，也可以通过现场网络进行联机工作，具有个体系统的独立性与网络化的联机性相结合的特点，对解决各种中小型生产设备的自动化程序控制和系统管理对网络通信和实时控制的需求具有重要意义。总的来说，本文主要进行以下几个方面的工作：

- 对工业控制系统的发展状态进行分析，研究了工业控制器和网络化工业控制的应用背景和发展现状；
- 分析 CAN 总线满足工业控制网络要求的相关技术，提出工业设备网络控制系统的总体设计，构建系统的基本层次和功能；
- 在 CAN 通信的基础上，分析和定位控制对象，提出工业控制器的设计要求，选择嵌入式微处理器，进行控制器主控单元及外围电路的软硬件协同设计，主要包括传感器信号、开关量信号等被控量瞬时值的检测和输入模块，模拟量输入输出模块，数字量输出模块，电源模块，存储模块以及显示和人机接口模块等；
- 网络控制系统的应用层通信协议的设计，底层智能控制器节点通信功能的实现以及 PC-CAN 通信适配卡的设计；
- 分析工业控制系统在拉链机和铝锭连铸堆垛机组中的应用；
- 基于 CAN 总线的工业控制系统研究的总结与展望

**关键词：**工业控制器；CAN 网络；通信；控制系统

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## Abstract

With the development of computer, as well as communication and control technology, the traditional industrial control field is going through an unprecedented change, and industrial controlling network widens industrial control field, brings about a new opportunity for development. Based on the boosting of embedded technology and Field-bus, to meet the requirements for control in industrial fields and electromechanical devices, this dissertation develop a all-purpose controller based on embedded ini-controller, which can complete multi-function control and communication. It can also be compose a networked control system based on Field-bus to satisfy the needs of multi-task control.

In this paper, author has designed and realized a intelligent and multi-function industrial controller, which can complete control tasks of offline operation independently in the system, and also can work online through Field-bus network. The system have both characteristics of the independence and online network, and have some realistic meaning to meet the need of network's communication and Real-time control to complete automatic control of mini-medium scaled production equipment and system management. In general, This thesis mainly focuses on the following contents.

- The article analyses the development status of industrial control system, and studies the background of actual application of industrial controller and networked control system.
- Based on analyzing corresponding technology of CAN Field-bus meeting industrial control network, the second chapter introduces a control network system to industrial equipment, constructs it's basic structure and functions.
- Analyzing and locateing control objects base on CAN Field-bus communication, the fourth chapter proposes design requirements of industrial controller. Main control unit and peripheral circuits are designed with the new model-cooperation with software and hardware, and choosing the embedded high-performance microcontroller. The system mainly include the information examination and load module of sensors

signals or switch signals, analog input/output module, digital output control module, power supply module, memory module, display and user interface module and so on.

- The fifth chapter mainly expatiates definition of application layer protocol of the networked control system, realization of the communication function of intelligent controller nodes and design of PC-CAN adapters in the networked communication system.

- The sixth chapter mainly concern application of industrial control system in slide fastener machine and full-automatic aluminium ingot stacker-reclaimer.

- The seventh chapter mainly expatiates summary and outlook of industrial control system based on CAN Field-bus.

**Keywords:** Industrial controller ; CAN Field-bus network ; Communication;  
Control system

## 目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 课题的研究背景.....	1
1.2 课题的国内外研究概况.....	2
1.3 嵌入式技术在工业控制器中的应用.....	5
1.4 本课题的主要研究内容和意义.....	7
第二章 工业设备网络控制系统的总体设计.....	9
2.1 问题的提出和系统实现的功能.....	9
2.2 系统的组成和实现目标.....	10
2.3 现场总线的选择.....	12
2.4 基于 CAN 总线系统的拓扑结构.....	14
第三章 CAN 技术基础和 CAN 通信协议.....	17
3.1 控制器局域网 (CAN) 简介.....	17
3.2 CAN 总线的性能特点.....	17
3.3 CAN 总线的基本工作原理.....	18
3.4 CAN 的分层结构.....	20
3.5 CAN 的报文传输.....	21
第四章 工业控制器的设计.....	28
4.1 工业控制器总体设计.....	28
4.2 工业控制器的性能指标.....	29
4.3 主控模块.....	30
4.4 电源模块.....	34
4.5 I/O 模块.....	34
4.6 数据存储模块.....	41
4.7 CAN 通信接口模块.....	45
4.8 显示和人机接口模块.....	46
4.9 系统的抗干扰设计.....	48
第五章 网络层通信功能的实现.....	51

5.1 工业现场的数据通信 .....	51
5.2 应用层通信协议设计 .....	51
5.3 智能控制器节点通信功能的实现 .....	55
5.4 PC—CAN 通信适配卡的设计 .....	60
第六章 工业控制系统在生产设备中的应用 .....	68
6.1 概述 .....	68
6.2 在拉链机控制系统中的应用 .....	68
6.3 在铝锭连铸堆垛生产线系统中的应用 .....	76
第七章 结论与展望 .....	88
7.1 结论 .....	88
7.2 展望和不足 .....	88
参考文献 .....	90
致谢 .....	92
攻读硕士学位期间所完成的研究论文 .....	93

## Contents

<b>Chapter I Introduction</b> .....	1
1.1 Background .....	1
1.2 Progress in study of the topics at home and abroad .....	2
1.3 Applications of Embedded technology in industrial controller .....	5
1.4 The main content and significance of this issue .....	7
<b>Chapter II General scheme for industrial networked control system</b> .....	9
2.1 Issues raised and System functions .....	9
2.2 System components and objectives .....	10
2.3 Field-bus option .....	12
2.4 System topological structures based on CAN Field-bus .....	14
<b>Chapter III CAN Field-bus technology and CAN communication protocol</b> ....	17
3.1 Introduction of CAN .....	17
3.2 Performance characteristics of CAN Field-bus .....	17
3.3 Basic principle of CAN Field-bus .....	18
3.4 Layer structure of CAN .....	20
3.5 Message transmission of CAN .....	21
<b>Chapter IV The design of industrial controller</b> .....	28
4.1 Overall design of industrial controller .....	28
4.2 Performance indexes of industrial controller .....	29
4.3 Main control unit .....	30
4.4 Power supply module .....	34
4.5 I/O module .....	34
4.6 Memory module .....	41
4.7 CAN communication interface module .....	45
4.8 Display and user interface module .....	46
4.9 Anti-jamming design of system .....	48

<b>Chapter V Realization of network's communication function</b> .....	51
5.1 Data communication of industrial field .....	51
5.2 Application layer protocol design .....	51
5.3 Realization of communication function of intelligent node .....	55
5.4 The design of PC—CAN communication adapter .....	60
<b>Chapter VI Applications of industrial control system</b> .....	68
6.1 Outline .....	68
6.2 Application in slide fastener machin .....	68
6.3 Application in aluminium ingot stacker-reclaimer production line .....	76
<b>Chapter VII Conclusions and Outlook</b> .....	88
7.1 Conclusions .....	88
7.2 Outlook and shortage .....	88
<b>Reference</b> .....	90
<b>Thanks</b> .....	92
<b>Announced thesis during the period for master degree</b> .....	93

## 第一章 绪论

随着计算机技术、控制技术和通信技术的发展，传统的工业控制领域正经历着一场巨大的变革，网络化控制成为工业控制系统发展的方向。控制系统的结构也从最初的 CCS（计算机集中控制系统），到第二代的 DCS（分散控制系统），发展到现在流行的 FCS（现场总线控制系统）。控制网络对大数据量进行高速率传输的要求（图像、语音信号等的传输），又产生了多种领域以太网与控制网络的结合<sup>[1]</sup>。工业控制系统网络化将当今先进的嵌入式技术、多标准工业控制网络互联技术融合进来，拓展了工业控制领域的发展空间，给工业控制网络系统带来新的发展机遇。

### 1.1 课题的研究背景

在制造企业的生产现场，多个设备分布于厂房，其中有许多设备的运行完全依靠人工控制，生产信息的统计依赖于人工统计，生产效率和生产技术水平都很低。随着电子技术的飞速发展，许多劳动密集型生产行业开始采用先进的电子信息技术来装备和改造传统生产设备，采用先进的自动化控制方式替代原有的手工操作。现场总线技术是为了适应现代工业自动化的发展而出现的。现场总线将网络通信、网络控制与管理的概念引入工业控制领域，将自动化底层的控制设备与服务器互连，实现生产过程监控的网络控制。现场总线通信协议简单，易于实现，在工业现场有着广阔的发展前景。

一个独立的工业生产现场或机电设备包括各种传感器、执行器等装置，为了实现对这些装置的控制和管理，一般都用专门的工业控制器与它们相连，控制器对各种输入的信号进行数据处理后，通过输出口对各种执行机构进行控制。数据信号的处理过程可分为信息的提取和知识的提取两个步骤。信息的提取是工业控制的基础，主要是用来对现场数据进行采集的过程，现场数据的提取还包括从工业现场总线网络中交换数据，并在此基础上实现两台以上自动化设备联机工作，设备之间是通过工业现场总线实现信息指令交流，因此工业控制器必须具备总线通讯功能。知识的提取是对数据的再加工过程，这要求工业现场的设备控制器具有一定的智能，随着现代自动化技术的发展，工业现场控制器不仅需要满足传统

的工业控制功能，还要向灵活性、网络化、智能化的方向发展。

网络化的工业控制系统融合了现场设备的自动化控制和网络控制、网络管理功能，提高了工业控制的自动化水平，是工业控制领域中的一个重要研究课题。

## 1.2 课题的国内外研究概况

### 1.2.1 工业控制系统的发展现状

#### 1) 基于 PLC 的工业控制系统

可编程控制器（PLC）始终处于工业控制自动化领域的中心，为各种各样的工业控制系统提供可靠的控制方案。同时，PLC 也承受来自其他技术产品的冲击。目前全世界 PLC 生产厂家约 200 家，生产 300 多种产品<sup>[2]</sup>。国内 PLC 市场仍以国外产品为主，如 Siemens、MODICON、OMRON、三菱、GE 等产品。经过多年发展，国内 PLC 生产厂家也越来越多。

微型化、网络化、PC 化和开放性是 PLC 未来发展的主要方向。在基于 PLC 控制系统的早期，PLC 体积大价格昂贵；但经过近些年的发展，微型 PLC 已经出现，随着软 PLC 监控组态软件的进一步完善和发展，安装有软 PLC 组态软件和 PC-based 控制的市场份额将逐步得到增长。

#### 2) 以工业 PC 为基础的工业控制系统

20 世纪末，PC-based 的工业计算机（简称工业 PC）应运而生。它包含两种类型：IPC 工控机和 Compact PCI 工控机以及它们的变形，如 AT96 总线工控机等。由于基础自动化和过程自动化对工业 PC 的运行稳定性、热插拔和冗余配置要求很高，现有的传统的控制系统，自动化部分基本被 PLC 和 DCS 所垄断，过程自动化和管理自动化部分主要是由各种进口的过程计算机或小型机组成，但其硬件、系统软件和应用软件的价格很高，使众多企业止步。20 世纪 90 年代以来，由于 PC 工业的发展，以工业 PC、I/O 装置、监控装置、控制网络组成的 PC-based 的自动化控制系统得到迅速普及。由于基于 PC 的控制器被证明可以像 PLC 一样可靠，并且被操作和维护人员接受，所以，越来越多的制造商正在陆续采用或至少在部分生产中采用 PC 控制方案<sup>[2]</sup>。基于 PC 的控制系统易于安装和使用。有高级的诊断功能，为系统集成商提供了更灵活的选择。

#### 3) 面向测控管一体化设计的 DCS 控制系统

集散控制系统 DCS (Distributed Control System) 问世于 70 年代，生产厂家主要集中在美、德、日等国。我国从 70 年代后期起，首先在大型设备的进口

中成套引入国外的 DCS, 当时, 我国主要行业的 DCS 基本全部进口。80 年代初期, 在引进、消化和吸收的同时, 开始了 DCS 国产化的技术攻关。

近 15 年来, 我国 DCS 系统研发和生产发展很快, 崛起了一批优秀企业。这批企业研制生产的 DCS 系统, 不仅品种数量大幅度增加, 而且产品技术达到或接近国际先进水平, 打破了国外 DCS 系统在我国垄断的局面。这些专业化企业不仅占据了一定市场份额, 积累了技术, 同时使得国外引进的 DCS 系统价格也大大降低。据统计, 2005 年, 我国石化行业有 1000 多套装置需要应用 DCS 控制<sup>[2]</sup>; DCS 作为监控系统在仪表行业成为市场的主导产品。

#### 4) 基于 FCS 的控制系统<sup>[3]</sup>

20 世纪 80 年代中后期, 随着控制、计算机、通信、网络、集成电路及智能传感技术的发展, 在工业控制领域逐步形成了一种新兴的以网络集成为基础的控制技术, 即现场总线控制技术 FCS (Field-bus Control System)。它是集当今计算机技术、网络技术和控制技术为一体的当代最先进的计算机控制技术, 是一种全分散、全数字、全开放的控制系統。现场总线控制技术使控制系统的信息交换和沟通迅速覆盖了从现场设备层到控制、管理的各个层次。FCS 是继电动单元组合式模拟仪表控制系统、集中式数字控制系统、集散式控制系统后的新一代控制系统, 将逐渐成为本世纪计算机控制系统的主流。

### 1.2.2 FCS 是工业控制系统发展的趋势<sup>[4]</sup>

#### 1) DCS 系统的缺陷

传统 DCS 系统是非开放性系统, 软件、下位机、通讯协议都是专用的, 用户一旦采用, 系统的维护时则只能被动的依赖于原厂家, 而且 DCS 结构复杂且不通用, 一般用户本身难以自行处理。封闭结构的传统 DCS 系统由于缺少交流与竞争, 其产品性能价格比较差, 例如 DCS 分散程度不高, 无法做到单回路分散控制, 因此不得不使用大量的冗余设备, 导致成本高昂, 安装复杂, 可靠性也不高。

#### 2) FCS 的特点和优越性

FCS 是由 DCS 发展而来的, 是实现自动化系统最底层的现场控制器和现场智能仪表设备互联的实时控制通讯网络, 遵循 ISO (国际标准化组织) 的 OSI (开放系统互连) 参考模型的全部或部分通讯协议。FCS 对传统 DCS 的冲击来自于其本质优越于 DCS 系统的技术特点。现场总线技术不仅是一种通信技术, 它更融入了智能化现场原件、计算机网络和开放系统互连等技术, 与 DCS 相比, FCS 具有

以下技术特点和优势。

### **(1) 可靠性高**

现场总线采用分散式控制。现场设备既有检测、变换、工程量控制和补偿功能，也有运算和控制功能。通过现场总线，将传统 DCS、PLC 等控制系统复杂的控制任务进行分解，分散于现场设备中，由现场变送器或执行机构构成控制回路，并实行各部分的控制。同时也简化了系统结构、提高了系统的可靠性、自治性和灵活性。所以说，彻底分散的控制方法以及先进的数字通讯技术使系统可靠性大大提高。

### **(2) 互换性和互操作性好**

由于 FCS 采用开放的、唯一的国际标准，来自不同厂家的相同类型的设备可以互换，而无需专用的驱动程序，彻底改变了传统控制系统控制层的封闭性和专用性，因而用户可选用任意多家符合现场总线标准的产品集成自己的控制系统，而不必担心系统的兼容性，也不必为集成不同品牌的产品而增加额外的投资，大大方便了系统的维修和升级。

### **(3) 功能强**

FCS 含有大量的诊断信息，用户可以方便的查询所有设备的运行，能够及时发现潜在的故障并消除隐患，同时系统结构简化，便于维护，这使现场仪表除具有检测或执行功能外，还具有变换、补偿和控制功能，系统除具有监控操作功能外，还具有预测性维护、统计等非控制功能。

### **(4) 全数字通信**

FCS 采用完全的数字信号传输。这种数字化的传输方式使得信号的检错、纠错机制得以实现，因此它的抗干扰能力比较高，传输准确度也得到显著提高。

### **(5) 多分支结构**

传统控制系统中设备的连线都是一对一的，而现场总线是多分支结构，其网络拓扑可分为总线型、星型、树型等多种结构。这种多分支结构不仅大大节约布线电缆，而且使得布线简单、工程安装周期缩短、维护也很方便。这种结构具有系统扩展性。如新增设备，只需直接并行挂接即可，无须架设新的电缆，也无须系统停机。

### **(6) 系统的开放性**

现场总线标准实现了完全开放，无专利许可要求，面向世界上任何一个制造

商和用户。不同制造商生产的设备可实现完全的信息交换，用户可以按自己的需要和考虑，自由集成来自不同厂商的产品，也可以与不同层网络互连，标准的统一开放，打破了个别厂商的垄断，给该技术以强大的支持群体，促进了公平竞争，促进了技术进步<sup>[5]</sup>，因此系统集成的主动权完全掌握在用户而不是供应商或集成商手里。从以上分析 DCS 的弊端和 FCS 的优势可以看出，一个全数字化、全分散式、可互操作、开放式互连网络 FCS 是工业自动控制系统的发展趋势。目前，国际上各种各样的现场总线有几百种之多。

### 1.3 嵌入式技术在工业控制器中的应用

#### 1.3.1 嵌入式技术

随着电子技术的快速发展，特别是大规模集成电路的产生而出现的微型机，使现代科学技术得到了质的飞跃，而嵌入式微控制器技术的出现则给现代工业控制领域带来了一次新的技术革命<sup>[6]</sup>。由嵌入式微控制器组成的系统，最明显的优势就是可以把计算机系统嵌入到任何微型或小型仪器、以及工业生产设备中。为此嵌入式系统被定义为：以应用为中心、以计算机技术为基础、软硬件可裁剪、适应应用系统，对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。它主要由嵌入式微处理器、外围硬件设备以及用户应用软件等部分组成，用于实现对设备的控制、监视和管理等功能。嵌入式技术自出现以来，集合了先进的计算机技术、半导体技术、电子技术，和各个行业的具体应用相结合，这决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

嵌入式技术的发展基于嵌入式微处理器的广泛应用。自 20 世纪 70 年代单片机问世以来，电子技术飞速发展，特别是半导体技术的发展，各种系列和型号的微处理器依次推出，据目前统计，全世界嵌入式处理器的品种总量已经超过 1000 多种，流行体系结构有 30 几个系列，其中 8051 体系的占有多半，生产 8051 单片机的半导体厂家有 20 多个，350 多种衍生产品。嵌入式处理器的功能不断完善和增强（寻址空间从 64KB 到 16MB，处理速度从 0.1MIPS 到 2000MIPS，常用封装从 8 个引脚到几百个引脚），在接口电路设计、软件编程方面也日趋成熟。

#### 1.3.2 嵌入式处理器分类

嵌入式系统的核心部件是各种类型的嵌入式处理器，根据目前的应用现状，嵌入式计算机一般可以分为以下几种。

### 1) 微处理器 (Embedded Microprocessor Unit, EMU)

嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的 CPU, 和工业控制计算机相比, 嵌入式微处理器具有体积小、成本低、可靠性高的优点。在应用中, 将微处理器及其存储器、总线、外设等安装在专门设计的电路板上, 称为单板计算机。如 STD-BUS、PC104 等。为了满足嵌入式应用的特殊要求, 嵌入式微处理器虽然在功能上和标准微处理器基本是一样的, 但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性方面都有所增强。目前, 嵌入式处理器主要有 Am186/88、386EX、SC-400、Power PC、ARM 系列等。

### 2) 微控制器 (Microcontroller Unit, MCU)

嵌入式微控制器又称单片机, 即将整个计算机系统集成到一块芯片中。嵌入式微控制器一般以某一种微处理器内核为核心, 在芯片内部集成了 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时、计数器、WatchDog、I/O、串行口、A/D, D/A, FlashRAM, EEPROM 等各种必要功能和外设。为适应不同地应用, 一个系列的单片机一般具有多种衍生产品, 每种衍生产品的处理器内核都是一样的, 只是存储器和外设配置和封装不同, 这样使单片机最大限度地和应用需求相匹配。

和嵌入式微处理器相比, 微控制器的最大特点是单片化, 体积大大减小, 使功耗和成本下降, 可靠性提高, 微控制器是目前嵌入式系统工业的主流, 它的片上外设资源丰富, 适合于控制, 因此称为微控制器。嵌入式微控制器的品种和数量最多, 有代表性的通用系列包括: 8051、P51XAM、CS-251、CS-96/196/296、C166/167、MC68HC05/11/12/16 等, 目前 MCU 占嵌入式系统约 70% 的市场份额。

### 3) 嵌入式 DSP 处理器 (Embedded Digital Signal Processor, EDSP)

DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计, 使其适合于执行 DSP 算法, 具有较高地编译效率和指令执行速度, 逐步应用在数字滤波、FFT、频谱分析等方面。DSP 的应用使以通用单片机以普通指令实现 DSP 功能, 过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。嵌入式 DSP 处理器有两个发展来源, 一是 DSP 处理器经过单片化、EMC 改造、增加片上外设成为嵌入式 DSP 处理器, 二是在通用单片机或 SOC 中增加 DSP 协处理器。目前广泛应用的有代表性的 DSP 处理器有 Texas Instruments 的 TMS320 系列和 Motorola 的 DSP56000 系列。

### 4) 嵌入式片上系统 (System On Chip, SoC)

随着 EDI 的推广和 VLSI 设计的普及, 以及半导体工艺的迅速发展, 可以实

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库