

文章编号: 1002-0446(2005)04-0336-05

# 基于 PC104 和网络驱动电机的移动机器人控制系统<sup>\*</sup>

徐 贺, 王树国, 付宜利, 李 寒

(哈尔滨工业大学现代生产技术中心, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘 要:** 根据移动机器人重构和多执行器的特点, 研制出基于高可靠性的 PC104 和独特直流电机驱动控制网的开放型控制器. 控制指令和数据的广播或点对点的通讯以及电机运动模式的在线转换可以通过 RS232/485 网络轻松实现. 基于事件的分级并行竞争式的控制结构, 对于移动机器人在未知环境中的避障导航, 具有切实可行的实际意义. 实验表明: 这种控制系统具有多任务的适应性、结构开放性和高可靠性.

**关键词:** 移动机器人; 电机驱动控制网; 开放控制器

**中图分类号:** TP24

**文献标识码:** B

## Mobile Robot Control System Based on PC104 and Network-driven Motors

XU He, WANG Shu-guo, FU Yi-li, LI Han

(Advanced Manufacturing Technology Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** According to the reconfiguration and multi-effector characteristics of mobile robot, an open control system based on reliable PC104 and innovative driving & control networks for DC motors is developed. Broadcasting or spot-to-spot communication for data and commands, as well as the on-line conversion of the motor motion mode, can be realized easily via RS232/485 networks. A hierarchical parallel competitive control architecture based on event is practical for obstacle avoidance and navigation of mobile robots in unknown environments. Experiments show that this control system is open and reliable. It is also adaptive to multi-mission-orientated navigation.

**Keywords:** mobile robot; control & driving network for motor; open controller

### 1 引言 (Introduction)

用于未知环境中导航与定位的移动机器人的控制系统一直是技术前沿的集中体现. 关于开放的控制器模型, 目前有概念模型 NASREM (美国国家航空和宇航局与国家标准局)、下一代通用控制器 NGC (美国 Martin Marietta 公司)、统一遥控机器人结构计划 UTAP (美国空军研究所)、三层控制结构 (George Sardis 提出) 和基于端口的对象动态重新配置软件框架 (美国 Carnegie Mellon 大学) 等. 关于移动机器人的具体控制系统, 也有许多有特点的成功例子, 例如美国、日本和欧洲航天局等研制的空间机器人和军用机器人等<sup>[1]</sup>.

移动机器人控制系统的趋势是: 控制系统硬件的专门设计, 如宽温范围的电机、耐高真空度的轴承

等. 控制元件的“脱壳技术”, 把电力电子器件和电子元件集成到一起, 掩膜而成. 系统冲突恢复, 采用硬件的冗余和重构技术, 结合软件算法, 提高系统的可靠性和任务完成度. 硬件和软件的结合愈来愈紧密<sup>[2]</sup>.

### 2 导航机器人的结构和特点 (The features and architecture of navigation robot)

#### 2.1 导航机器人的设计约束

要求自主机器人能实现零转弯和全方位移动. 最大速度 0.29m/s 能适应不同形状和质量的搭载体物.

#### 2.2 导航机器人的结构与特点

导航机器人由 4 个包容式驱动轮和各自的独立

\* 基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2002AA422240).

收稿日期: 2004 - 09 - 24

转向机构组成轮系。它们由摇臂分别连接在悬挂有车体的差分机构的两侧。其特点如下:

1) 可重构式底盘结构:特殊设计的结构保证摇臂的长度可以伸缩,车重心可以升降,具有类似汽车的“主销后倾”和“车轮外倾或内倾”效应,可在行驶时产生回正力,保证直行性能。

2) 差分机构:可以均衡四轮负载,保证 4 个车轮在不平整的地方都接触地面。

3) 仿生可重构式包容轮:一方面直流电机包容在车轮内,简化了车的动力传输结构,减低整车重心;另一方面,可重构式车轮的轮缘和轮毂呈分离结构,可以安装不同型式的轮缘以适应不同类型地面。其中的沙地轮缘具有沙地环境中高通过性履刺结构和非对称胎面花纹等仿生特性。

4) 四轮电动独立转向,打破了传统的机械传动协调转向的定式,减少了摩擦、防腐和超重之虞。同时,可以衍生出多种形式的转弯模式,如全方位、爱克曼、双爱克曼、原地打转、差速和刹车打转等。图 1 为机器人和控制系统照片。

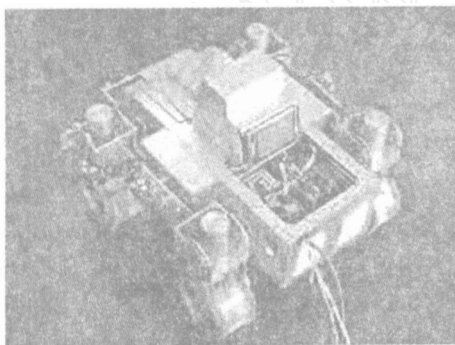


图 1 导航机器人及控制系统

Fig 1 Navigation robot and its control system

### 3 导航机器人控制系统 (Control system of navigation robot)

#### 3.1 控制系统的设计原则

- 1) 结构开放性:可以在不同的平台间移植。
- 2) 模块通用性:可应用在不同机器人系统上。
- 3) 可靠性:符合工业和其他行业应用要求。
- 4) 实时性:控制系统响应迅速。

#### 3.2 控制系统的硬件设计

本着以上原则,控制系统的设计采用了以 PC104 为核心,以直流电机驱动网为低层控制通道,以管理协调子模块 MCS 为枢纽的开放式控制器。图 2 是整个控制系统的组成框图。

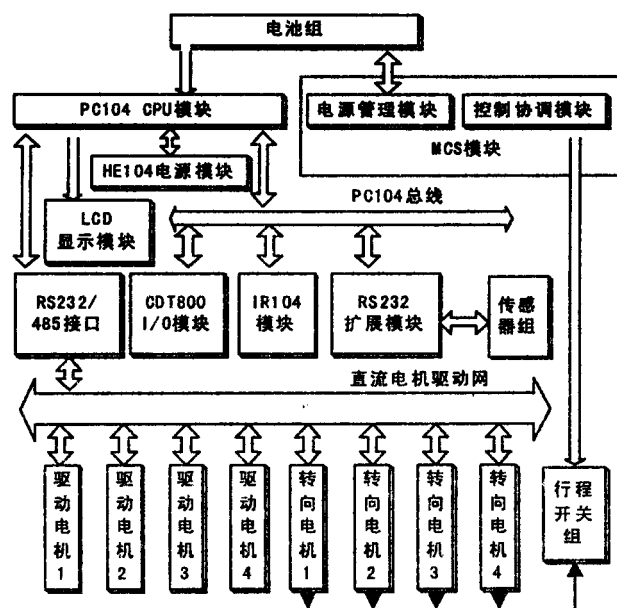


图 2 机器人控制系统组成

Fig 2 Architecture of robot control system

#### (1) PC104组成的开放式控制器

采用 PC104 是因为它有如下特点:结构小巧紧凑,仅 90 mm × 96 mm 面积内集成了 PC 机所有功能;采用自栈接的母线结构,级联牢固,易于扩充;整机功耗低;兼容性好,可以借鉴 PC 机成熟技术;外设丰富,应用简单。其组成如下:核心模块 SCM/SPT4: all-in-one 的高性能低功耗 CPU 模块, CPU 速度 800MHz, 在板集成了 256MB SDRAM、显示控制器,以太网控制器等。CDT800 数字 I/O 模块:它是一个 16 位计数器/定时器与数字量 I/O 模块。IR104 PC/104 模块:1) 20 路光电隔离数字输入;2) 20 路继电器输出。电源模块 HE104:提供  $\pm 5V$ 、 $\pm 12V$  直流电源。电压输入范围:6 ~ 40VDC。串行口扩展卡 EMM-8MXT:扩展 8 个串行口。

#### (2) 开放式直流电机驱动控制网

驱动电机和转向电机均采用德国 Faulhaber Group 的直流电机和减速器。特点是:体积小、质量轻。特别是长度较小,径向承载力较大(在同功率级别的产品中),适合作为轮内驱动的直流电机来使用。驱动器 MCDC2805,由高增益、宽范围 PWM 频率调节器、MOSFETS 功率器件和 16 位单片机、板上 E<sup>2</sup> PROM 及外围接口等一体化掩膜制成。特点是:具有力矩、 $kR$  补偿、步进、电压调节器、模拟量输入和程控序列等多种模式<sup>[3]</sup>。

本设计中,MCDC2805 应用了速度和位置两种

工作模式,其中,速度模式用于驱动电机,位置模式用于转向电机<sup>[3]</sup>。使用 MCDC2805 专用的 ASCII 指令编写底层控制软件,并将程序或设置参数存入 MCDC2805 的 E<sup>2</sup> PROM 中,即使控制器断电,这些信息仍然不丢失。

采用多路器 Multiplexer Board 和虚调制 RS232/485 电缆以及 MCDC2805 组成直流电机驱动控制网,具体连接如图 3 所示。PC/104 通过 RS232 口和 RS232/485 转换器与直流电机驱动网组成主从控制结构。用 ANSW0 指令关掉同步应答,以确保各个节点的马达的响应不冲突。

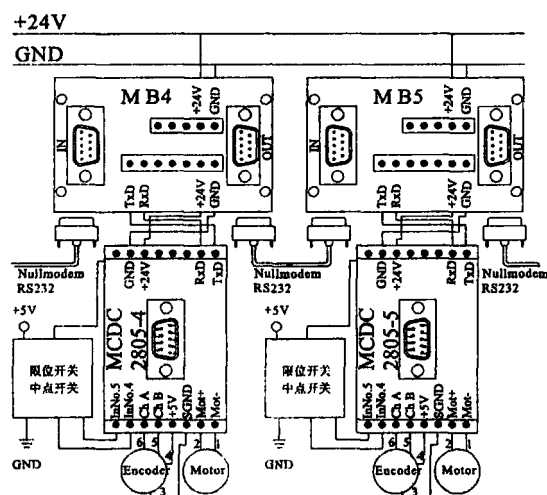


图 3 直流电机驱动网的连接示意图

Fig 3 Connection scheme for net-based DC motors

采用控制驱动网的优点:

a) PC104 可以和驱动网上各个节点的电机实现数据的广播和点对点的主从式通讯。

b) 各个节点的电机的参数 (如实际电流、速度和温度等) 与状态 (如运动模式、输入模式、驱动器的使能状态、位置和速度的到位信号、限位开关的触发电平的正负逻辑等) 以及故障状态的反馈 (如超温、过流、欠压和过压等) 等可以反馈到 PC/104。

c) 特殊的电机组成状态可以反馈给 PC/104, 以 8 bit 数据表示, 如上电初始原点控制序列的使能与否、自动应答的激活与否、输入管脚的配置状态等。

d) 加强的状态可以反馈给 PC/104, 以 5 bit 数据表示, 如偏差的设定、位置开关的激活模式、第 4/5 输入、输入管脚的逻辑电平的高低等。

e) 在线修改 MCDC2805 的配置。可以随时修改运动模式、PD 整定参数和各种阈值数据等。

f) 一个电机驱动网最多可以挂 255 个直流电

机。安装 RS232/485 转换接口, 最大安装距离达 1200m。

直流电机控制网的抗干扰设计使用以下方法:

电流环技术: 利用电流环的高抗干扰性, 把来自于 RS232C 的 TXD 和 RXD 引脚的 EIA 高低电平信号转换成 20mA 电流环的有无信号。通过光耦 6N137 实现电平—电流—电平的转换。抑制波形上升速度: 控制电压波形上升速率为  $1V/\mu s \sim 10V/\mu s$  来限制信号的快速变化, 由此产生的倾斜波形减少了高频分量, 也就减少了对临近电流的窜扰。降低波特率、屏蔽和合理的空间布置也是抗干扰的有效方法。

### (3) 人机界面的设计

显示器: 采用 6.4 寸 Sharp 超薄型彩色液晶显示器 LQ64D343, VGA 格式, 262144 色, 分辨率  $640 \times 480$ , 防闪设计。水平视角  $120^\circ$ ; 垂直视角  $90^\circ$ 。功耗 5.57W。5V 输入型逆变电源 CXAL10A 提供 2 路阴极荧光源。它显示控制信息参数。

手操盒: 采用线控方式。控制面板主要由开关、控制键盘和显示设备 3 部分构成。电源总开关, 负责移动机器人所有电源的通断; 工作模式切换开关, 负责在手动、自动以及待机模式之间的切换; 复位开关, 对移动机器人复位; 急停开关, 用于紧急转态时的急停。控制键盘采用数字小键盘, 用来输入数据。指示灯显示机器人工作状况。操作面板具有“傻瓜”式设计, 按流程设置按钮和指示信号, 符合人机工程学原则。通过以上人机界面, 可方便地进行人机交互。

### (4) 管理协调模块 MCS

它是自行设计的一个协调管理各个模块的硬件单元。包括电源管理、电源变换、报警显示、I/O 管理和保护功能等。其中的电源管理模块和主模块相接。电源管理采用专用的电路对电压和电流、电量同时管理, 超限报警。

## 4 软件设计 (Software design)

### 4.1 并行分级竞争控制结构

采用分级并行竞争式控制结构<sup>[4]</sup>, 如图 4 所示。低级的模式受高级模式制约。如果高级模式未激活, 则系统采用已被激活的低一级模式; 如果高级模式已激活, 则其输出抑制低级模式的输出, 高级模式接管控制系统, 直到其对应的信息输入复原或被更高级的模式所抑制。按照优先级从高到低的次序:

III 模式——紧急模式: 用于如下情况: 电源电压超限; 8 个电机驱动器 MCDC2805 的任意一个报警

(欠压、过压、超温、过流等);机器人遇阻和急停按钮人工停车等。在平板显示器给出图形文字报警,此时屏蔽所有低级模式。

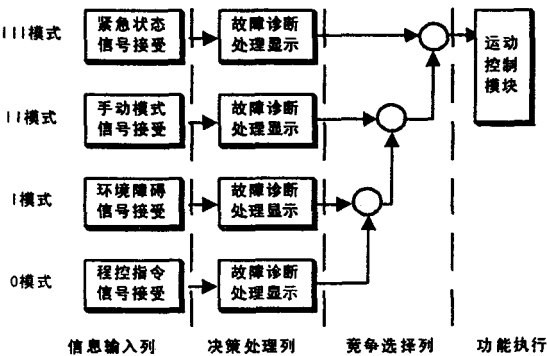


图 4 并行分级竞争控制结构示意图

Fig 4 Hierarchical parallel competitive control architecture

II模式——手动模式:用于手动控制。

I模式——自主避障模式:接收到障碍信号,激活该模式。通过障碍信息处理,结合环境信息和任务要求,给出避障策略,自动执行。

0模式——程控模式:由人机界面给出任务输入,结合定位和导航信息或数字地图完成预定轨迹。主机对机器人的命令集如下:

$$Cmd_{dn} = \{ V_i, Sign(V_i), j, Sign(j), Sm od, Bm od \}$$

- $V_i$ ——第  $i$  轮行驶速率,  $i=1, \dots, 4$
- $Sign(V_i)$ ——第  $i$  轮速度的方向,  $i=1, \dots, 4$
- $j$ ——第  $j$  轮的转向角度,  $j=1, \dots, 4$
- $Sign(j)$ ——第  $j$  轮的转向方向,  $j=1, \dots, 4$
- $Sm od$ ——机器人的转向模式
- $Bm od$ ——命令的发布模式

驱动电机控制网对主机的命令集如下:

$$Cmd_{up} = \{ P\_State_i, S\_State_j \}$$

$P\_State_i$ ——第  $i$  轮驱动电机单元的状态,  $i=1, \dots, 4$

$S\_State_j$ ——第  $j$  轮转向电机单元的状态,  $j=1, \dots, 4$

4 2 控制系统初始化

初始化:包括机器人走行部初始化,电控系统初始化和导航设备初始化。驱动器 MCDC2805 初始化是电机驱动网的重要部分。包括:1)节点地址。2)运动模式设置。3)电机参数设置。4)控制参数设置。5)故障诊断参数设置。6)电机使能设置。

4 3 直流电机驱动网的通讯的实现

电机控制器与 PC/104 之间的通讯是通过异步串行口来实现的, PC/104 通过串行口传送命令给网络控制器,控制器也可以通过它把各自状态反馈给 PC/104。

异步串行口的传输波特率为 9600,一次传输 5 位数据,无奇偶校验,1 位停止位。流程图如图 5 所示。

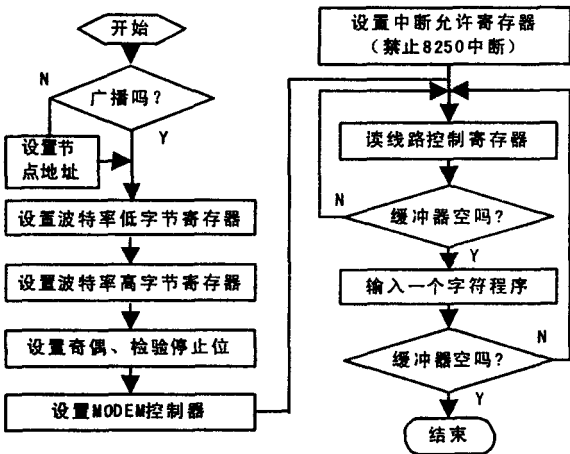


图 5 直流电机驱动网通讯程序框图

Fig 5 Communication diagram for network of DC motors

4 4 控制系统软件的总体框图

控制系统的流程图如图 6 所示。

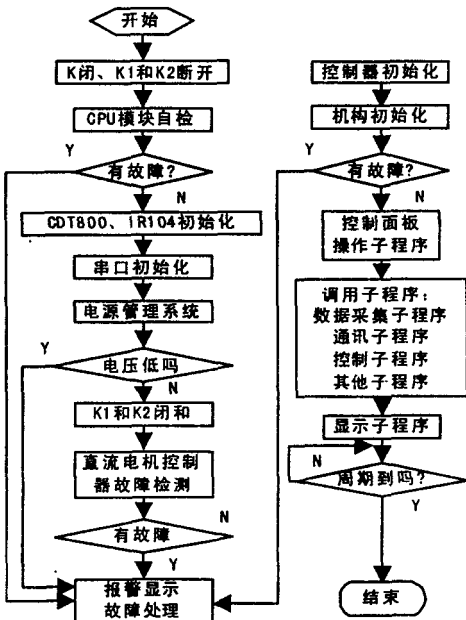


图 6 主程序流程图

Fig 6 Diagram of main control programme

## 5 关于窄小控制舱内的电磁兼容问题 ( About the EMC in small space )

控制器的质量和体积等受到严格限制, 整个控制系统安装在 400mm × 310mm × 190mm 的空间内。由于 MCDC2805 以脉宽调制方式工作, 在窄小的空间内会产生大量的谐波干扰; 继电器也会产生射频干扰; PC104 的高频干扰等使得在窄小的控制舱内存在尖锐的电磁兼容问题。同时负载平衡、散热和维护性等方面的问题交织在一起。主要措施如下: 采用 CAD 进行设计前验证; 针对体积和质量约束在配载、散热、电磁兼容和维护性等方面进行折中。采用屏蔽、接地、空间隔离等方法。对于静电采用金属拖链泄放。使用 PC104 的看门狗 WDT 防止程序死循环, 等等。

## 6 实验 ( Test )

### 6.1 直行实验

测试直线运动的前进、后退、加速和减速。结果表明: 直线运动的最大偏差为 8.9%, 加速和减速的能力为  $\pm 2.9 \text{ m/s}^2$ 。

### 6.2 全方位移动实验

分别测试了前后、左右、左前、左后、右前、右后方位和任意方位的全方位移动, 最大偏差为 8.9%。

### 6.3 零转弯半径实验

进行了多组零转弯半径实验, 轨迹中心点最大偏差为 0.9cm。

### 6.4 越障实验

在实验室中可以越过高度为 5.2cm 的障碍。

### 6.5 避障实验

采用全方位和零转弯半径相结合的模式, 实现了避障, 并能在此过程中加速和减速。

## 6.6 爬坡实验

在实验室中最大爬坡角度 12°。

## 7 结论 ( Conclusion )

本课题完成了基于电机驱动控制网和 PC104 的开放式移动机器人控制器的实现。多达 255 台电机可以通过 1 个 RS232/485 网络进行控制, 从而使移动机器人的执行器的硬件控制规范化; 同时工业级的 PC104 总线便于扩展和适应复杂环境。对窄小空间的控制器件的布置、散热、电磁兼容性和维护性的综合进行了有益探讨。控制系统分级并行竞争式结构的应用, 更能够提高自主机器人对环境的适应性。实验运行表明, 该方案充分满足未知环境下移动机器人导航控制的需要, 具有高可靠性、实时性和开放性。

## 参考文献 ( References )

- [1] 徐益. 移动机器人控制系统设计 [D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [2] Bresina J L, Smith D E, Golden K, *et al*. Increased flexibility and robustness of Mars rovers [A]. Proceedings of the 5th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space [C]. Paris, France: European Space Agency, 1999. 445 - 450.
- [3] 北京众志恒电机运动控制系统技术公司 [EB/OL]. <http://www.umotor.com.cn/motionctrl.htm>, 2003.
- [4] 周大威, 高学山, 王炎, 等. 全方位移动清扫机器人控制系统的研究 [J]. 高技术通讯, 2003, 6(1): 65 - 68.

## 作者简介:

徐 贺 (1964-), 男, 博士研究生. 研究领域: 特种机器人, 光电子技术.

王树国 (1958-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域: 机器人学.

付宜利 (1966-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域: 机器人, 数字化快速制造.