

文章编号: 1002-0446(1999)05-0370-05

## AC-RV 新型驱动单元研制<sup>\*</sup>

栾楠 陈建平 言勇华 刘宝生

(上海交通大学机器人研究所 200030)

**摘要:** 以高性能交流伺服电机与高精度、高刚度的 RV 减速器构成的驱动单元是新一代工业机器人比较流行的驱动方式. 本文主要介绍了上海市科委的新型驱动单元项目. 包括研制背景, 主要技术要求, RV 减速器的传动原理、优越性, 交流伺服电机的主要技术指标, 以及我们设计制作的基于 ISA 总线的交流伺服驱动卡的设计思想, 技术创新和实现. 最后给出了鉴定结果和对下一步研究工作的展望.

**关键词:** 交流伺服; RV 传动; 位置控制

**中图分类号:** TP24 **文献标识码:** B

### 1 引言

AC-RV 新型驱动单元是由高精度、高刚度的 RV(Rotate Vector)减速器和高性能交流伺服电机构成的新一代驱动装置. 主要面向机器人及其周边装置, 也可以用于其它需要精确位置控制的场合.

我国七五以来推出的工业机器人, 通常采用谐波减速器作驱动减速, 并采用直流伺服电机驱动. 谐波减速器具有重量轻、减速比高、传动精度高等优点, 但由于它采用弹性变形实现运动传动, 因此刚性较差. 在用于机器人大关节时, 在运转时容易产生共振. 直接驱动电机(D-D 马达)虽然可以解决减速器问题, 但控制困难, 技术上尚不成熟, 工艺复杂, 造价高, 致使该技术至今未大量推广. 而电机方面, 相对于交流伺服电机的发展, 直流电机的缺点是不言而喻的.

我们在本研究中采用的新一代 RV 减速器, 综合了少齿差、摆线针轮、行星减速器的优点, 精度高, 刚度好, 解决了谐波减速器存在的问题. 用于机器人大关节驱动取代谐波减速器, 可以使其传动控制得以简化, 运动特性得以改善. 驱动电机选用了松下的 MINAS 交流伺服电机, 是目前市场上最先进的交流伺服电机之一. 由于驱动单元的体积与重量大大减小, 精度和刚度大大提高, 可以使机器人机构(尤其是手腕部)设计得以简化, 从而可使机器人机构能设计得更为合理, 运动范围更大. 本项目已通过鉴定并应用于我研究所正在研制中的“新型六轴弧焊机器人”项目中. AC-RV 驱动单元可以较好地解决刚性、精度、重量体积、成本、可靠性之间的矛盾, 不仅可以用于机器人及其周边装置, 还可用于各类机电一体化装置的驱动控制, 具有广泛的应用前景.

### 2 主要原理和技术思想

RV 减速器的结构如图 1 所示. 由于采用了摆线轮和针轮啮合的形式, 两者是多个齿同时

<sup>\*</sup> 基金项目: 上海市科技发展基金(941111034)

收稿日期: 1999-01-08

啮合的“超静定啮合”,使得系统的精度、刚度和抗冲击能力大大提高,同时摆线轮的齿形在受力时应力分布要好于渐开线齿轮,也使得系统的上述性能大大优于传统的少齿差行星齿轮机构,但同时对设计计算和加工精度提出了较高的要求.RV 减速器的刚度一般要比同级别的谐波减速器高出 8-10 倍.由于各部分受力均匀,抗冲击和震动能力强,耐过载能力强,寿命长.(具体参数可查阅有关产品手册)

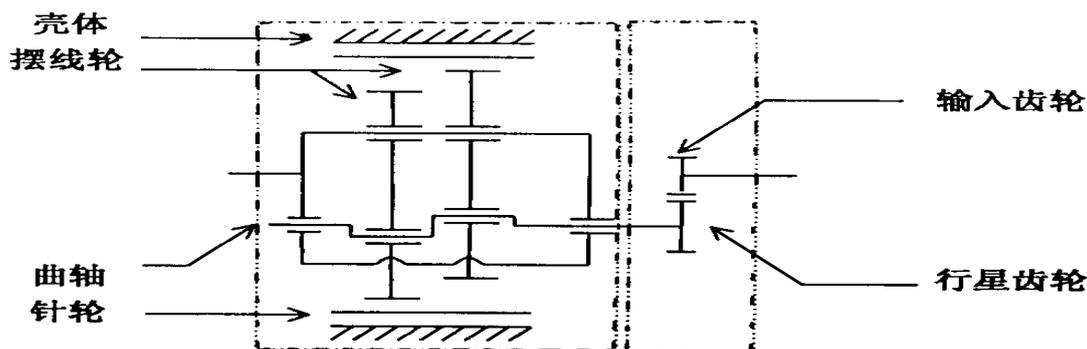


图 1 RV 减速器的结构图

日本松下的 MINAS 系列交流伺服电机及驱动器性能先进,体积小,重量轻,采用全数字化控制(具体性能和参数可查阅有关产品手册).配上新型的 RV 减速装置,从而使整个驱动单元的精度和速度上一个等级,同时有比较好的性能价格比.

为了充分发挥电机和减速器的优点,最大限度的提高系统的性能,对控制提出了新的要求.首先是控制精度方面,以前机器人控制器的 16 位精度(即理论上的最高分辨率为满行程的  $1/2^{16}$ ,但要受电机精度、传动比限制),已经不能满足日益提高的精度需要了.在新型驱动单元中位置控制精度至少要达到 20 位,才能满足新型机器人精度要求,考虑到其它用途上可能的精度要求,我们把位置控制精度放宽到 24 位(3 个字节).这样,在机械部分的设计中就可以忽略电气控制部分采样周期的数字化引起的误差,从而简化设计.其二是速度方面,为了充分利用伺服电机的高速度性能,每个采样周期的输出脉冲能力设计为 13 位(即每个采样周期最多发指令脉冲  $2^{13} - 1$ ),实际上频率再高则驱动器无法可靠分辨指令脉冲.控制电路采用 ISA 总线,可以根据不同情况采用工控机或 PC 机来实现控制功能.使其更容易推广.

### 3 主要技术问题

新型驱动单元控制部分的设计在基本原理上没有太多的困难,因为位置控制属于比较成熟的控制技术.主要的问题是提高位置控制的精度和速度,系统的抗干扰,可靠性等指标.系统设计中要解决的主要技术问题有以下几点.

(1) 控制器中各种逻辑关系的设计.控制过程中的各种时序逻辑关系是设计的重点.在硬件设计中我们引入了一种新型的可编程逻辑器件:ispLSI 器件.和以往的通用性逻辑器件如 GAL 器件,以及各类专用逻辑器件相比,ispLSI 器件具有很多优点和新的特点.ispLSI 器件功能强大,但在编程中也有一定的限制,在使用中有一个学习的过程.

(2) 印刷板设计.总的来说,印刷板的设计要综合抗干扰,减小面积,易于焊接元件等多方面的要求,合理布局,是一项需要较多经验技巧的工作.

(3) 信号传输及抗干扰措施. 工业现场中强电干扰多, 信号的传输以及控制器的正常工作都要考虑到抗干扰的问题.

#### 4 新型驱动单元控制设计

新型驱动单元是面向机器人研究的, 是一个实用性的课题, 而不是纯理论的研究. 所以在控制方案的选择中, 一是要以机器人的性能要求为主, 兼顾其它可能的应用场合的要求; 二是要以现有选定的 MINAS 驱动器的功能为基础, 追求实用性, 如精度、速度、抗干扰、可靠性等, 尽量采用简单成熟的方案, 不片面追求理论上的先进、深奥.

新型驱动单元控制硬件中需要自行设计的部分主要是驱动器与上位计算机之间数据交换用的接口卡, 称为交流伺服驱动卡. 它的主要功能是将驱动器反馈的码盘信号、控制信号转化为数字信号输入到上位机; 将上位机发出的位置指令及其它控制信号通过一定的处理转化为指令脉冲和相应的控制信号发往驱动器.

交流伺服驱动卡采用标准的 ISA(AT) 总线接口, 所以可以与大多数工业系统兼容. 它主要的逻辑结构如图 2 所示. 具体的工作过程如下:

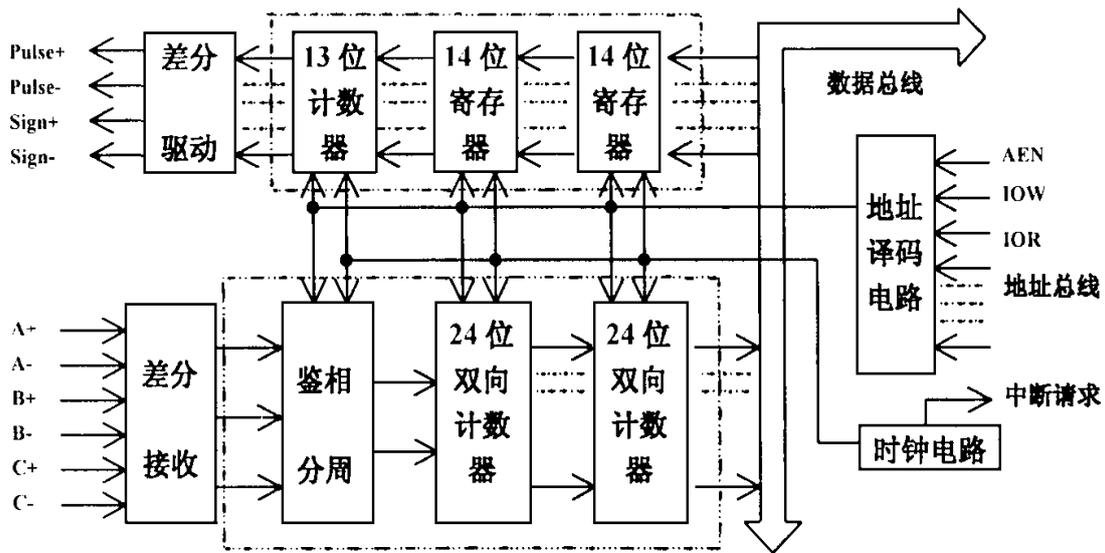


图 2 逻辑结构图

在控制部分, 首先是用差分接收器接收由驱动器传来的差分形式的码盘信号, 将之还原为正常的电平信号, 即码盘的 A、B、C 相信号. 然后通过对信号分周和对相位的比较, 产生正的或者负的(指电机的转向)脉冲信号. 信号送到一个 24 位的双向计数器计数, 即得到了位置量. 将数字锁存在锁存器中, 每个采样周期刷新一次, 等待上位机来读取. 而上位机发出的位置指令则锁存在一个 14 位的寄存器中, 由指令脉冲计数器将它们转化为指令脉冲, 通过差分驱动后发往电机驱动器去控制电机的运动.

我们在控制部分的电路设计中采用了一种新技术: 可在线编程的 ispLSI 芯片. 这是一种可以在线编程的大规模集成电路逻辑器件, 主要用于图像处理等高速、大容量信号处理. 和以往的通用型逻辑器件如 GAL 器件, 以及各类专用逻辑器件如各种计数器, 寄存器相比,

ispLSI 器件具有很多优点和新的特点. 它具有在系统可编程能力, 为反复调试和修改提供了极大的方便. 与软件的紧密结合是它的另一特点, 编程方便, 可用抽象的逻辑表达式编程, 也可以用逻辑图编程, 而且有强大的标准宏库可以调用. 它的高集成度使系统性能有了飞跃的提高, 既简化了印刷板的设计, 又减少了干扰和接触不良的故障隐患, 系统的可靠性可以大大提高. 它的响应时间快, 为  $7.5 \sim 15\text{ns}$ , 可以和高速的新型计算机匹配而充分发挥新型计算机的速度优势. 我们将这种技术引入到控制领域中, 也取得了很好的效果. 减少了元器件数, 提高了可靠性, 还简化了设计调试过程, 将部分的硬件设计和调试工作的工作量变为逻辑方程的软件设计和调试工作量. 由于采用了新型逻辑器件 ispLSI 器件, 很多功能原来需要很多芯片实现的现在都可以放在一、两片 ispLSI 器件中完成了. 结构图中的两个虚框表示两片 ispLSI-1016 器件. 这样大大减小了驱动卡的面积, 但增加了逻辑器件编程的工作量.

抗干扰的问题是电路设计的首要考虑, 印刷板上的抗干扰措施主要是:

(1) 码盘信号和指令脉冲频率比较高, 容易受到干扰, 而且直接影响位置精度, 所以要采用差分方式传输, 这样的抗干扰性强, 可以增加传送距离和提高可靠性.

(2) 将每个芯片的电源线和地线就近接上滤波电容.

(3) 布线时避免锐角走线, 转折处用 45 线过渡.

(4) 布线时尽量把高频信号线分开, 远离高电压、大电流的信号, 以减少干扰.

(5) 注意不同器件间信号的匹配, 如 TTL 芯片与 CMOS 芯片之间的信号连接等.

(6) 对于某些易受干扰的信号, 在性能允许的情况下适当增大信号负载, 因为较大的电流不易受到干扰.

(7) 在信号输送端加小的滤波电容去除毛刺(但要保证正常信号通过).

## 5 结论

经过设计、制作和调试工作, 新型驱动单元的研制已经全部完成, 并通过了上海市科委的鉴定. 各项功能和性能均达到或者超过了设计要求.

鉴定结论为:

该课题采用松下公司 MINAS MSM02 交流伺服电机和帝人制机公司的 RV-6A II 减速器构成的驱动单元, 研制了基于 ISA 总线的控制电路. 其控制分辨率达  $0.000350^\circ$  ( $360^\circ/10000/103$ ), 速度达到了  $2687\text{ r/min}$  (如果分辨率降低一倍, 则可达  $5000\text{ r/min}$ ). 控制的满行程达到了  $2^{24}$  脉冲当量, 相当于电机转 17000 转, 可以满足高性能机器人对控制的要求; RV 减速器的传动精度达到 1 弧分 (Arc minute), 也满足高精度机器人的要求. 该课题还针对机器人的传动要求, 对 RV 减速器进行了理论分析计算和制造设计, 为 RV 减速器的国产化打下了基础.

新型驱动单元实现了高精度、高速度的位置控制, 为后续课题: “新型六轴弧焊机器人” 的研制, 打下了良好的基础. 该机器人的总体设计, 即立足于此研究的基础上, 因此此项研究达到了预期的目的. 此外, 此驱动单元还可作为单独部件, 用于其他机电一体化装置的伺服驱动, 以提高其产品性能.

我们在采用新的技术方面进行了有益的和有效的尝试, 取得了宝贵的经验. ispLSI 器件是一种新型的逻辑器件, 它的出现很大程度上改变了以往的硬件设计方法, 使设计本身更加灵活、方便, 使产品更加小巧、而功能更强大. 通过新型驱动单元的设计, 基本掌握了这种新型器件的使用和设计方法, 也为以后更复杂的设计积累了宝贵的经验.

新型驱动单元课题本身是新型机器人的先期研究,它目前的样子距产品化、实用化还有一定的距离.应用到其它的工业系统中也需要相应的改动,以适应不同的要求.今后的发展方向,首先是要实现产品化.作为一个产品,除了功能外还有很多要注意的地方,如元件的通用性,对以前系统的兼容性,以及容错性,可靠性等.有很多的工作要做,例如可靠性分析和论证就是一件工作量很大的工作.其次是进一步实现结构上的优化,在满足功能的前提下尽量简化设计,降低成本.同时针对不同的使用环境实现系列化.

### 参 考 文 献

- 1 《机器人新型驱动单元研制报告》
- 2 《机器人新型驱动单元研究测试报告》,以上两篇为交通大学机器人研究所技术资料
- 3 《机器人新型驱动单元研究鉴定证书》,上海市科委文件
- 4 日本松下公司 MINAS 交流伺服电机、驱动器有关技术资料
- 5 日本帝人制机公司 RV 减速器有技术资料
- 6 美国 Lattice 公司 ispLSI 器件有关技术资料

## A NEW AC-RV DRIVE UNIT

LUAN Nan CHEN Jian-ping YAN Yong-hua LIU Bao-sheng

(Robot Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

**Abstract:** AC-RV drive unit, which is composed of high-powered AC servo-motor and high-precision high-rigidity RV (Rotate Vector) reducer, is the most popular drive mode of new industrial robot. This paper chiefly introduced the project "New AC-RV Drive Unit", which was supported by Shanghai Science and Technology Committee. The paper included background, technical requirements principle and advances of the RV reducer, and the guideline of servo-motor, etc. We also developed an AC servo drive card, which based on ISA bus. Its idea, innovation and realization are presented here. At last, the result is given and its future research work.

**Key words:** AC servo; RV motion; positional control

作者简介:

栾楠 (1973-), 男, 研究领域: 机器人控制.

陈建平 (1951-), 男, 研究领域: 机器人控制.