

文章编号: 1002-0446(2001)05-0416-05

# 基于 SERCOS 总线的两足步行机器人分布式运动控制系统\*

温 旭 石宗英 钟宜生 杜继宏

(清华大学自动化系 北京 100084)

**摘 要:** 本文介绍两足步行机器人运动控制系统结构的新发展, 并介绍一种适于多轴运动控制的通信系统——SERCOS 总线, 它的通信速率高, 实时性和确定性好, 很适合机器人各关节的协调运动控制, 便于构成分布式的机器人控制系统结构. 文中讨论了基于 SERCOS 总线的两足步行机器人控制系统结构设计, 并分析了其优点.

**关键词:** 两足步行机器人; 运动控制; 现场总线; SERCOS 总线.

中图分类号: TP24 文献标识码: B

## DISTRIBUTED MOTION CONTROL SYSTEM OF BIPED WALKING ROBOTS BASED ON SERCOS

WEN Xu SHI Zong-ying ZHONG Yirsheng DU Jirhong

(Department of Automation, Tsinghua University Beijing 100084)

**Abstract:** The development of motion control systems of biped walking robots is reviewed in the paper, and a new kind of communication system - SERCOS is introduced. SERCOS can undertake real time and have high transmission speed. It is fit for the harmonious motion control of multiple axes and for realizing the distributed motion control system of biped walking robots. The design of that control system is made and its advantages are stated.

**Keywords:** biped walking robot, motion control, field bus, SERCOS

### 1 引言(Introduction)

两足步行机器人, 是一种仿生机器人, 其采用的两足行走是步行方式中自动化程度最高, 最为复杂的<sup>[1]</sup>. 两足步行系统具有非常丰富的动力学特性, 对环境有良好的适应性, 同时它也对各关节之间的相互协调提出了更高的要求.

各国学者对两足步行机器人进行了较长时间的研究工作, 取得了不少成果. 日本本田公司于 1996 年 11 月展示了一个仿人形两足步行机器人 P2<sup>[9]</sup>, 1997 年又推出了两足步行机器人 P3. 2000 年 11 月, 本田公司又推出了新型两足步行机器人“ASIMO”, 身高则只有 120cm, 实现了小型轻量化, 该机器人代表了当前世界上步行机器人研制的最高水平.

我国从 80 年代中期开始研究两足步行机器人. 1988 年春, 国防科技大学<sup>[7]</sup>研制成功了我国第一台

平面型六自由度的两足机器人, 2000 年 11 月, 国防科技大学又研制出了我国第一台具有人类外观特征、可以模拟人类行走与基本操作功能的类人型两足步行机器人.

本文将讨论我们正在研究的两足步行机器人的运动控制系统采用的技术及其结构方案.

### 2 两足步行机器人运动控制系统结构(Motion control system structure of biped walking robots)

两足步行机器人的运动控制系统是机器人的心脏, 决定了机器人性能的优劣, 其结构也是多样的.

#### 2.1 传统的控制结构

传统的步行机器人控制系统多采用集中式结构<sup>[2]</sup>, 通常由一台计算机通过多块 A/D, D/A 板与下

\* 基金项目: 本研究得到了清华大学 985 基金和国家自然科学基金重点基金(69934010)的资助.

收稿日期: 2000-01-03

层的伺服驱动器和传感器连接通信. 由上位计算机来完成轨迹规划和任务调度, 协调下层各个控制板对各个关节进行控制. 这样的控制系统模块繁多, 模块之间的连接复杂, 依赖性强且相互耦合, 降低了系统的开放性和可靠性, 增加了功耗, 难以完成十几个轴以上的同步协调运动控制.

## 2.2 分布式的控制结构

90 年代以来, 计算机技术和网络技术的发展使得局域网的应用越来越广泛, 并产生了适用于工业控制的现场总线. 同时, 数字式伺服驱动器正在逐步取代模拟伺服驱动器. 它具有性能稳定、可靠性高、抗干扰能力强等优点, 不少产品还带有标准的现场总线接口, 形成了智能型数字控制执行单元. 数字式伺服驱动器和现场总线技术的引入, 为运动控制系统结构带来了重大的变革, 产生了利用数字通信的开放的分布式控制结构. 当前国外的许多步行机器人控制系统都采用了分布式控制结构, 它代表了步行机器人控制系统发展的方向.

日本本田公司机器人 P2 的控制系统采用的是集中方式, 而在 P3 中采用的是分布式结构<sup>[9]</sup>, 使机器人的体积和重量都大大地减小了. P2 机器人的计算机板在机器人的背部, 直接与每个关节驱动电机连线. 而 P3 机器人的计算机放在相应腿和臂关节上控制关节运动, 这些计算机象局域网一样采用内部总线连接, 连线的数量大幅度减少, 从 650 根减到了 30 根. 由于连线和体积的减少, P3 的能耗只相当于 P2 的 1/3, 连接器和接触器的数量也从 2000 多个减少到 500 个, 大大提高了机器人的可靠性.

在考察了国内外两足步行机器人控制系统的发展之后, 我们决定采用国际上先进的基于现场总线和数字伺服驱动器的分布式运动控制系统, 采用这种结构可以使控制系统实现硬件的模块化, 通信的数字化, 提高了系统的实时性和准确性, 降低主控制器的负担, 减少系统的体积和功耗, 增强系统的开放性、可靠性和鲁棒性, 使得控制系统可以完成以前集中控制方式难以实现的复杂的任务. 而选用何种总线结构, 是决定控制系统性能的关键要素之一.

## 3 SERCOS 总线简介(Introduction of SERCOS)

现场总线(Field Bus 简称 FB)是 90 年代初兴起的一种先进工业控制技术<sup>[8]</sup>. 它是一种全数字式、全开放、全分散式、可互操作的开放式互连网络的新一代控制系统, 是通信技术, 计算机技术和控制技术的

综合和集成. 目前现场总线已成为了世界上自动化技术的热点.

对于两足步行机器人的运动控制系统来说, 由于它主要是主机和各轴的伺服驱动器之间通信, 并涉及到了复杂的多轴同步协调运动控制, 因此对通信速率、确定性和实时性都提出了很高的要求. 同时整体结构还要求控制系统的体积和功耗都尽量小, 总线与上层计算机和下层驱动器的接口最好是有现成的统一的标准, 以方便设备的选用和连接. 在调研、比较了多种现场总线之后, 我们决定选用 SERCOS 总线.

### 3.1 SERCOS 总线标准及拓扑结构

SERCOS(Serial Real-time Communication System 串行实时通信系统)总线接口标准(IEC61491), 是一种用于数字伺服和传动系统的现场总线接口和数据交换协议, 能够实现工业控制计算机与数字伺服系统、传感器和可编程控制器 IO 口之间的实时数据通信. 1995 年, SERCOS 接口协议被确立为 IEC61491 SYSTEM-Interface 国际标准, 1998 年被确定为欧洲标准 EN61491. 它也是目前用于数字伺服和传动数据通信的唯一国际标准.

SERCOS 采用环型结构(如图 1 所示), 使用光纤作为传输介质, 是一种高速、高确定性的总线. 目前其产品的通信速率可达到 2、4、8、16Mbps, 可由用户设定. 采用普通光纤为介质时的环传输距离可达 40m, 可最多连接 254 个节点. 实际连接的驱动器数目取决于通信周期时间, 通信数据量和速率. 系统的确定性由 SERCOS 的机械和电气结构特性保证, 与传输速率无关, 系统可以保证微秒精确度的同步.

### 3.2 SERCOS 总线通信方式及协议

SERCOS 的通信采用主从通信方式, 控制器一般作为 SERCOS 接口的主站(Master), 总线上的其余设备(主要是驱动器)作为从站(Slave). 系统的工作周期  $T_{sysc}$  为  $62\mu s$ 、 $125\mu s$ 、 $250\mu s$ 、 $500\mu s$ 、 $1ms$ 、...、 $65ms$  可选, 主要取决于从站的数量和控制方式.

SERCOS 接口可以识别以下三种类型的报文: 主站同步报文(MST)、主站数据报文(MDT)和驱动器报文(AT). 主站可以固定周期用广播的形式向各从站发送同步报文 MST, 表示一次数据通讯周期开始, 负责协调控制各从站; 并根据从站的设备状态信息和系统要求向从站发送控制指令数据 MDT. 同步消息和控制指令数据都可以被各个从站同时接收. 各从站也可在被分配的时间片内向主站发送伺服反

馈数据 AT, 可将多种伺服信息实时的反馈给主站.

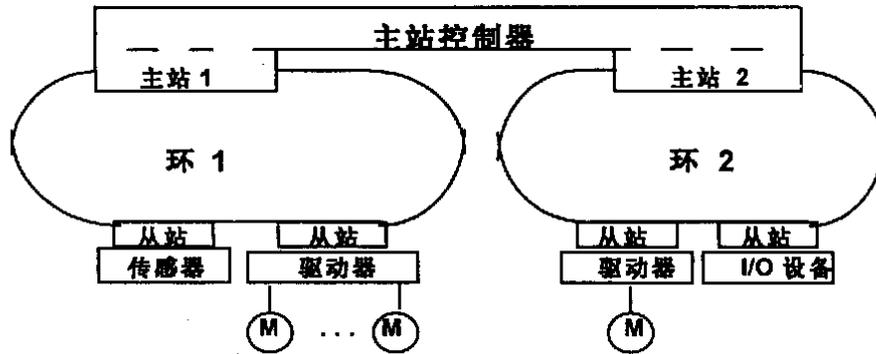
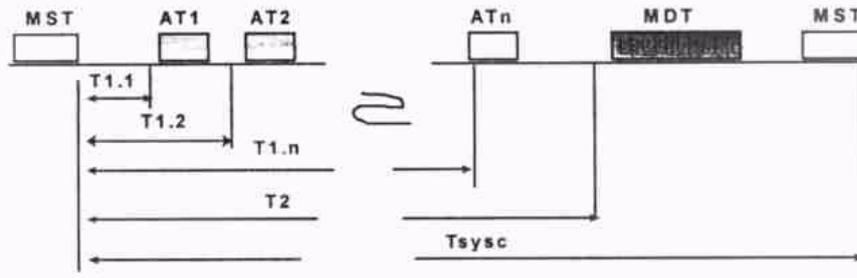


图 1 SERCOS 总线拓扑结构

Fig. 1 Topology structure of SERCOS

SERCOS 的数据报文一般以 01111110 为起始和结束的界定符 (delimiter). 在发送信号时, 该界定符可以被环上所有的设备节点同时检测到. 环上的每一

个节点可以被设定地址, 从 0~255, 其中地址 0 系统不使用, 255 为所有节点共有地址, 用于主站对所有从站的广播.



T1. x: 各个站 ATx 的发送时间; T2: MDT 的发送时间; Tsysc: 系统工作周期;

图 2 SERCOS 总线的工作时序

Fig. 2 The scheduling of SERCOS

SERCOS 协议规定, 在系统初始化阶段, 主站必须完成网络通信参数的配置, 主要包括: 系统工作周期  $T_{sysc}$ , 各个从站伺服数据  $AT_x$  的发送时间  $T1.1$ 、 $T1.2$ 、...、 $T1.n$ , 指令数据 MDT 的发送时间  $T2$ , 发向各个从站的指令数据  $MDT_x$  数据在 MDT 数据链中的位置和 MDT 的位置长度. 系统在初始化完成后, 按照图 2 的工作时序运行.

### 3.3 SERCOS 总线的主要优点

与其它工业现场总线和设备总线相比, SERCOS 总线的主要优点为:

(1) 数据传输速率高, 而且可以保证数据的严格同步实时传输;

(2) 主从站之间无须查询和应答, 具有极高的有效数据传输效率;

(3) 采用光纤作为传输介质能够提供很强的抗电磁干扰能力;

(4) 在伺服数据 AT 和指令数据 MDT 于不同时刻被发/收的情况下, 可以通过控制参数来精确规定它们的采样时刻和有效时刻, 确保系统的同步和精度.

(5) SERCOS 通信采用 NRZI(非归零) 编码及 HDLC 协议来保证传输的可靠性, 还可以提供出色的保护功能以防止驱动失控或电机转速过大.

## 4 控制系统方案(The scheme of the control system)

### 4.1 控制系统方案简介

我们设计了一个基于 SERCOS 总线的分布式

两足步行机器人运动控制系统(如图 3 所示), 主站计算机选用一般的 PC 机或工业 PC 机, 还可以使用嵌入式 PC/104 系统, 采用 Intel 公司的 Pentium II

级别 CPU, 来完成机器人运动的轨迹规划和各关节的动作协调。

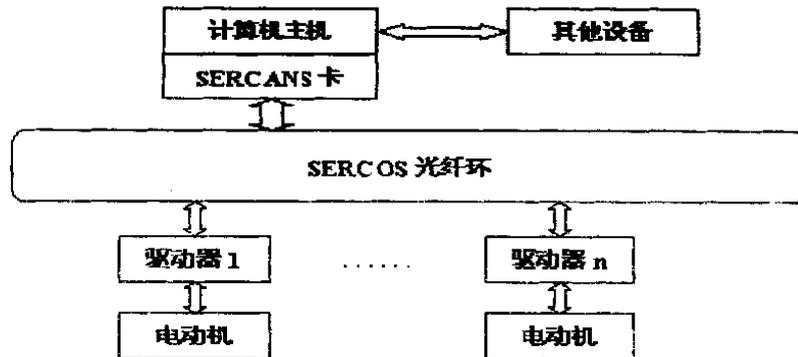


图 3 机器人控制系统结构

Fig. 3 Control system structure of the robot

SERCOS 驱动卡选用 SERCANS 卡, 其相应的软件驱动程序为 SoftSercans. SERCANS 卡直接插在 PC 机的主板 ISA 插槽上, 可自动完成控制器和数字伺服驱动器之间的通信、同步和纠错. SERCANS 目前设计可以最多支持 40 个轴, 如采用 Pentium 200 CPU 和 4M bps 的传输速率, SERCANS 可以在 1ms 内完成 8 个轴的通信, 占用的 CPU 资源不到 10%. SoftSercans 初始化 SERCOS 环, 并且管理环上的数据通信, 包括实时数据通信、服务通道和故障诊断等, 通过动态链接库和实时软件来建立 SERCANS 之间的通信。

我们设定 SERCOS 总线的传输速率为 4M bps, 两足步行机器人的腿部共有 16 个自由度(轴), 还需要陀螺仪、重力传感器、六维力传感器、接触器等. 主控制器每次向每个控制节点发送 4 个数据量, 每个控制节点向主控制器回送 3 个数据量, 共 7 个数据量, 每个数据占 4 个字节, 总共需要 28 个字节(Bytes); 每次发送的实际数据量是理论传输数据量的 3 倍; 保守的估计按 20 个轴计算, 主站与各从站之间收发的数据量约为:

$$20 \times 3 \times 7 \times 4 \text{Bytes} \times 8 \text{bits} = 13.44 \text{kbits}$$

则以 4M bps 的传输速率大概需要 3.36ms, 再考虑到数据间隙和采样、步态、姿态规划时间, 控制主机的控制周期可保证在 10ms, 完成步行机器人的静态和动态行走的控制是没有问题的. 如果采用更高的传输速率(目前最高可达到 16 M bps), 将上肢

的自由度也考虑进来, 完成手脚协调的高难度的动作也不成问题. 采用 4M bps 的传输速率完全可以满足初期阶段的两足步行的要求。

#### 4.2 该方案的优点

由于控制系统采用了模块化的硬件组合, 在硬件发生改变的情况下, 仅仅改动与它相连的总线配置, 增加或减少机器人的自由度也非常方便, 大大减少了系统硬件改动所需的时间. 现场总线可连接的设备类型和设备数目也相对较多, 除了能连接伺服驱动器以外, 还可以连接智能传感器和其它 I/O 设备。

此外, 分布式的运动控制系统结构还使得软件编程的灵活性大为提高, 可以采用结构化、模块化和面向对象的软件体系结构. 下层的智能控制节点在控制伺服电机的同时, 还可以完成一部分控制和轨迹插补任务, 分担了主站计算机的负担. 主站计算机还可以通过总线及时获得位置和转速的反馈信息, 进行步态和姿态的补偿校正, 从而提高了整个系统的控制性能。

## 5 结论(Conclusion)

本文回顾了两足步行机器人控制系统的发展, 并讨论了基于一种适于多轴运动控制的通信系统——SERCOS 总线的分布式两足步行机器人运动控制系统. 从长远来看, 随着硬件技术和软件技术的不断发展, 步行机器人的机动性、环境适应能力和自主

运动能力都将不断提高,实用性会越来越强.

### 参考文献 (References)

- 1 马培荪译.[南]伍科布拉托维奇. 步行机器人和动力学假肢. 科学出版社, 1983
- 2 赵雁南等. 现场总线和开放的机器人控制系统. 机器人, 1999, 11: 615
- 3 包志军等. 从两足机器人到仿人型机器人的研究历史及其问题. 机器人, 1999, 7: 312
- 4 机器人与控制技术. 诸静 编著. 浙江大学出版社
- 5 方亚彬, 陈秉聪等. 仿人步行二足机器人的研制. 机器人, 1994. 1
- 6 刘志远. 两足机器人的动态行走研究. 哈尔滨工业大学博士学位论文, 1991
- 7 马宏绪. 两足步行机器人动态步行研究. 中国国防科学技术大学博士学位论文, 1995
- 8 阳宪惠. 现场总线技术及其应用. 清华大学出版社, 1999

- 9 Hirai K The Honda humanoid robot: development and future perspective Industrial Robot, 1999, 26(4) 260- 266
- 10 Furusho J, Masubuchi M. A Theoretically Motivated Reduced Order Model for the Control of Dynamic Biped Locomotion. Journal of Dynamic System, Measurement and Control, June 1 987, 109/155.
- 11 Furusho J. Sensor-based Control of a Nine-link Biped. The International Journal of Robotic Research, 1990, 9(2)

### 作者简介:

温 旭 (1976-), 男, 硕士生. 研究领域: 计算机控制, 机器人学.

钟宜生 (1958-), 男, 教授. 研究领域: 鲁棒控制及应用.

杜继宏 (1941-), 男, 教授. 研究领域: 线性系统理论, 计算机控制, 机器人学.

(上接第 403 页)

## 5 结论(Conclusion)

本文所述的视觉全局定位系统能够准确地给机器人定位, 其位置重复性、定位精度和采样速率可以满足实用要求. 视觉信息处理受环境影响较大, 本文所述的视觉定位系统和方法在一般场合下, 仍存在稳定性和鲁棒性问题, 还有待于进一步研究改进.

### 参考文献 (References)

- 1 Borenstein J, Everett H R, Feng L, Wehe D. Mobile Robot Positioning: Sensors and Techniques, Journal of Robotic Systems, 1997, 14(4): 231- 249
- 2 Puneet Goel, Stetgios I, Roumeliotis and Gaurav S Sukhatme. Robust Localization Using Relative and Absolute Position Estimates. Proceeding of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1999: 1134- 1140
- 3 Claude Pegard, El Mustapha Mouaddib. A Mobile Robot Using a Panoramic View. Proceeding of the 1996 IEEE International Con-

ference on Intelligent Robotics and Automation, 1996: 89- 94

- 4 Nishizawa T, Ohya A, yuta S. An Implementation of On-board Position Estimation for a Mobile Robot-EKF Based Odometry and Laser Reflector Landmarks Detection. Proceeding of the 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1995, 395- 400
- 5 Margrit Betke, Leonid Gurvits. Mobile Robot Location Using Landmarks. IEEE Transaction on Robotics and Automation, 1997, 13(2): 251- 263

### 作者简介:

魏 芳 (1976-), 女, 硕士研究生. 研究领域: 图像识别与计算机仿真.

董再励 (1952-), 男, 副研. 研究领域: 机器人视觉, 三维测量, 虚拟现实.

孙茂相 (1939-), 男, 教授. 研究领域: 控制理论及其应用, 机器人规划与控制.