

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.02.025

## 小型仿人足球机器人控制系统

金晓飞, 彭胜军, 张瑞永, 马宏绪

(国防科学技术大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 针对当前小型仿人足球机器人在足球比赛中的复杂任务背景, 设计了可实时在线路径规划的小型仿人足球机器人控制系统。基于 Robotis 公司的 Dynamixel 系列 AX-12 型舵机和标准连接件设计了具有 20 个自由度的仿人足球机器人本体结构; 基于运算速度较高的 DSP 芯片 TMS320F2812 设计了主控制器; 应用 CMUcam3 视觉传感子系统进行图像采集和处理, 将获得的目标位置反馈给主控制器, 完成基于视觉伺服控制的实时路径规划任务。目前, 该仿人足球机器人可以在实验室环境中完成稳定直走、转弯和准确踢球等运动规划任务。下一步将重点研究最小损伤下的跌倒控制、爬起和不同动作单元的动态切换等复杂任务和多个仿人足球机器人的协调控制。

**关键词:** 仿人足球机器人; DynamixelAX-12 舵机; 数字信号处理器; TMS320F2812; CMUcam3

**中图分类号:** TP242.6 **文献标识码:** A

## Control System of Small Humanoid Soccer Robot

JIN Xiao-fei, PENG Sheng-jun, ZHANG Rui-yong, MA Hong-xu

(School of Electromechanical Engineering & Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** A control system which could finish the motion planning in real time was designed in order that the small humanoid soccer robot finishes some complex tasks in humanoid robot soccer competitions. The present study designed a humanoid soccer robot with 20-DOF based on the company Robotis' Dynamixel series robot actuators. The main controller of the robot was designed based on high capability DSP chip TMS320F2812. The visual sensor subsystem CMUcam3 gathered and processed the image, and then sent the goal position to the main controller which finally finished path planning task. At present this humanoid soccer robot can stably walk in line, swerve and precisely kick the little ball in the environment of laboratory. In the future, we are focused on safely falling over, stand-up control, dynamic switch of different actions and multi-robot's harmonious control.

**Keywords:** Humanoid soccer robot; DynamixelAX-12 actuator; DSP; TMS320F2812; CMUcam3

### 0 引言

仿人足球机器人是机器人技术研究的重要平台, 是人工智能领域最具挑战性的课题之一。目前, RoboCup 和 FIRA 都已经设立了仿人机器人足球比赛项目。该项目同时为仿人机器人技术和多机器人协作技术提供了一个良好的研究平台。仿人机器人足球比赛具有高度实时、动态的特性, 不仅要求机器人具有稳而快的行走能力, 而且要求机器人能够完成各种复杂动作, 能够准确而实时地识别环境中的静态目标和多个动态移动物体(包括球、本方机器人和对方机器人), 能够根据识别定位结果进行任务规划、路径规划和动作规划, 能够通过协作实现与另一队机器人的对抗。这对仿人机器人的复杂运动能力、实时环境识别能力、基于视觉伺服的控制能力、多机器人协作与对抗能力都提出了较高的要求, 并且这种要求将随着技术的发展而不断地提高。我国仿人机器人研究主要集中在两足稳定行走控

制、武术等复杂动作设计、机构与控制系统的集成等方面, 还未深入开展基于环境识别的自主运动控制和手脚协调作业技术的研究<sup>[1]</sup>。故主要研究设计了符合复杂任务背景需求, 具有自主运动控制能力的仿人足球机器人控制系统。

### 1 仿人足球机器人本体设计

仿人足球机器人在机器人足球比赛中的任务主要有找球、踢球、扑球(机器人守门时特有的动作)等, 其中找球的任务通过视觉部分来完成, 因此头部增加了前向和侧向 2 个自由度。为了较好地完成扑球任务, 肩部各配置前向侧向 2 个自由度, 肘部各 1 个自由度, 髋部 3 个自由度, 膝部 1 个, 踝部 2 个。仿人足球机器人总共需要配置 20 个自由度, 因此需要选取 20 个 AX-12+舵机, 如表 1。通过选取合适的连接件最终拼装连接得到小型仿人足球机器人样机, 如图 1。表 2 给出了机器人结构参数, 并在图 2 中给出机器人的几何尺寸分布图。

收稿日期: 2009-09-07; 修回日期: 2009-10-23

基金项目: 863 计划“多机器人系统技术”项目“竞技与娱乐多机器人系统”(2007AA041603)

作者简介: 金晓飞(1985-), 男, 宁夏人, 回族, 国防科技大学在读硕士研究生, 从事机器人控制研究。

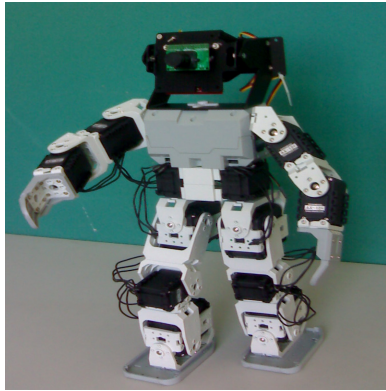


图 1 仿人足球机器人样机

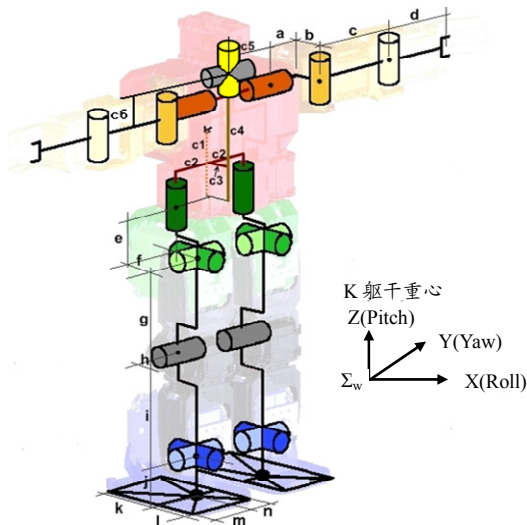


图 2 仿人足球机器人几何尺寸分布图

表 1 仿人足球机器人自由度分配

部位	自由度	方位分布
头部	2	前向 (Pitch)
		纵向 (Yaw)
肩部	2*2	前向 (Pitch)
		侧向 (Roll)
肘部	1*2	前向 (Pitch)
		前向 (Pitch)
腕部	3*2	侧向 (Roll)
		纵向 (Yaw)
膝部	1*2	前向 (Pitch)
		前向 (Pitch)
踝部	2*2	前向 (Pitch)
		侧向 (Roll)

表 2 仿人足球机器人几何尺寸分布(单位: mm)

名称	长度	名称	长度
c1	64	e	29
c2	33	f	17
c3	16	g	75
c4	87	h	15
c5	53	i	75
c6	20	j	33
a	23	k	59
b	15	l	41
c	68	m	38
d	100	n	22

## 2 控制系统硬件设计

仿人足球机器人的控制系统主要由基于

DSP2812 的主控制器模块、DynamixelAX-12 舵机模块和 CMUCam3 嵌入式视觉传感器模块 3 部分构成, 其中, 主控制器是机器人控制系统的核心。

### 2.1 主控制器的设计

Robotis 公司在其机器人开发硬件平台中自带控制板 CM5, 其核心是 8 位高性能低功耗的 AVR 单片机, 频率最高为 16 MHz, 运算速度最快为 16MIPS<sup>[2]</sup>。对于小型仿人足球机器人的运动解算和实时规划, 该运算能力很难满足实时控制和在线规划的运算要求。在 CM5 控制板上的 AVR 单片机出厂时进行硬件加密处理, 而且去掉 ISP 调试接口, 故很难按照一般的 AVR 单片机开发流程进行 C 语言编程, 难以实现在线调试。另外, 控制器提供的可视化编程模式只能开发简单的应用程序, 对复杂的控制和规划算法就无能为力。故小型仿人足球机器人主控制器并不采用 Robotis 提供的 CM5, 而是开发以 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320F2812 为中央处理单元的主控制器。TI 公司的 TMS320F2812 是高性能的 32 位 DSP 芯片。该芯片的工作频率可达 150 MHz<sup>[3]</sup>, 速度更快。且 F2812 片内 Flash 达 256 K 字节, 更重要的是 F2812 有外部存储器接口, 可扩展多达 1 M 的外部存储器空间, 可满足规划数据对存储空间的需求。另外, 该芯片采用两线异步收发模式的串行接口 (UART 串口), 供系统扩展多个串口。

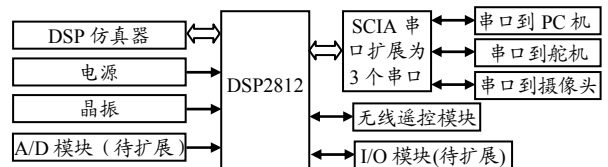


图 3 仿人机器人控制板结构图

图 3 为基于 F2812 的仿人足球机器人的控制板结构图。系统中的电源是 Robotis 提供的 9 V 直流电源, 而 DSP2812 要求的内核电压为 1.8 V, I/O 引脚电压为 3.3 V。故先将 9 V 直流电压通过 LM2576S5.0 转换为 5 V 电压, 然后, 将其作为 AMS1117-3.3 的输入电压, 则转换得到 3.3 V 的 I/O 引脚电压。将 3.3 V 的电压通过 AMS1117-1.8 转换得到 DSP2812 内核工作电压 1.8 V。DSP2812 有 2 个串口 SCIA 和 SCIB, 将串口 SCIA 通过 SP2338 扩展为 3 个串口, 分别接 PC 机、舵机和摄像头。为了无线遥控机器人, 控制板中 DSP2812 外接无线接口, 用于无线通信。图 3 中 A/D 模块和 I/O 模块功能作为将来控制系统增加其他传感器时扩展用。

## 2.2 CMUCam3 视觉传感器

视觉传感器采用 CMUCam3 嵌入式视觉系统, 该系统内建 ARM7TDMI 控制器, 完全开放源代码且可编程, 图像处理率为 26 帧每秒, 以 26 fps 的速率进行运动监测<sup>[4]</sup>。CMUCam3 能用来追踪或监测颜色。特别是在差别大并且颜色比较深的情况下, 更容易识别跟踪<sup>[5]</sup>。机器人足球比赛场地为绿色, 球的颜色为红色, 所以比较容易跟踪。仿人机器人运动过程中, 图像的采集、处理以及目标识别都由 ARM7TDMI 完成, ARM7TDMI 最终通过 RS232 串口将目标识别结果发送给主控制器, 然后由主控制器根据目标识别结果, 并结合之前离线规划结果完成路径规划、局部运动规划和步态规划任务。在图像采集的过程中, 并不采用传统的基于 PWM 信号控制的舵机来控制头部方向, 而是主控制通过控制安装在机器人头部的 2 个 AX-12 舵机实现对 CMUCam3 摄像头方向的控制。

## 2.3 DynamixelAX-12 舵机

DynamixelAX-12 舵机的位置和速度控制精度可达 1 024 级 (0~1 023), 关节型舵机对应最大转角为 300°, 控制角度分辨率为 300/1 024=0.3 度/步。通信波特率为 7 343 bps~1 Mbps, 命令信号是数字型数据包, 通信协议类型为半双工异步串口通信 (包括 8 位数据位, 1 位停止位, 无奇偶校验), 不同舵机之间通过唯一的 ID 进行识别, 最大有 254 个 ID。每个 DynamixelAX-12 舵机都有一个控制表存储舵机的状态和控制信息, 这个控制表由一个 RAM 区和 EEPROM 区组成, 对舵机的控制实际上是通过向其控制表中写指令; 而要获取舵机当前状态实际上就是读取控制表相应的值<sup>[6]</sup>。

主控制器和舵机之间通信通过发送和接受数据包实现, 数据包括指令包和状态包 2 种。指令包由主控制器发给舵机, 而状态包由舵机发给主控制器, 图 4 为舵机和主控制器之间的通信流程图。数据包的前两个字节 0xFF 是开始标志。ID 表示舵机的 ID 号, LENGTH 是指令包的长度 (参数数目 (N)+2), 指令包第 4 个字节 INSTRUCTION 是指令, 如 0X03 是向舵机写数据指令。而状态包第 4 个字节 ERROR 表示舵机返回的出错数据, 包括: 指令错误、过载错误、数据校验错误、溢出错误、过热、转角超限和输入电压错误。数据包 PARAMETER 1~N 指的是除了指令或出错数据外的其他附加数据。

CHECKSUM 是数据校验值, DynamixelAX-12 用户手册给出的校验算法比较简单, 如下:

$$\text{CHECKSUM} = \sim(\text{ID} + \text{LENGTH} + \text{INSTRUCTION} + \text{PARAMETER 1} + \dots + \text{PARAMETER N})^{[6]}$$

如果 CHECKSUM>255, 则以低字节作为 CHECKSUM 值 (~表示逻辑反)。运动规划的算法和数据就是以附加数据的形式通过 DSP2812 的扩展串口发送给舵机 DynamixelAX-12, 舵机按照控制表的当前值执行相应的动作。

## 3 控制系统软件设计

### 3.1 基于视觉伺服的运动规划和控制结构设计

仿人足球机器人控制系统的底层采用 PID 控制, 中层控制采用基于视觉反馈的动作单元切换方法, 高层采用基于视觉伺服的路径规划方法控制, 图 5 为视觉伺服的运动规划与控制结构图。视觉传感器 CMUCam3 进行图像采集和处理后, 通过串口给出目标识别结果数据, 然后由 DSP 主控制器根据目标识别结果, 并结合之前离线规划的结果完成路径规划、局部运动规划和步态规划任务。仿人机器人的动作单元主要包括: 直走、转弯、找球、踢球、扑球和爬起等, 控制系统首先通过仿真平台离线规划各动作单元的步态, 将得到的最优规划结果存储在主控制器中。CMUCam3 获得目标图像特征的二维信息后将其发送给主控制器, 主控制器依据当前机器人的位姿和目标位置, 在线路径规划获得机器人到达目标位置的最优路径。

机器人足球比赛中可能有移动的障碍物, 甚至目标物体小球也是运动的, 故采用基于视觉传感信息的在线滚动路径规划方法来实现机器人的路径规划任务。先利用视觉传感器反馈信息, 在局部环境下对仿人机器人进行足迹规划, 得到初始足迹位置到目标区域的离散足迹系列; 然后, 以离线规划好的姿态转换轨迹来实现机器在上述足迹序列上的姿态转换<sup>[7]</sup>。在一个滚动周期后, 通过视觉传感器重新获得目标信息, 再利用新的信息进行足迹规划, 不断重复以上步骤直到机器人到达目标区域。这里滚动周期是指视觉传感器两次返回传感信息的间隔。机器人到达目标区域后, 控制器发送指令控制机器人完成某个任务, 如机器人接收到踢球的指令, 则此时通过在线的局部运动规划, 机器人进行动作单元切换, 调用离线规划的踢球动作的规划数据, 控制舵机使机器人达到预定位姿, 并完成踢球任务。

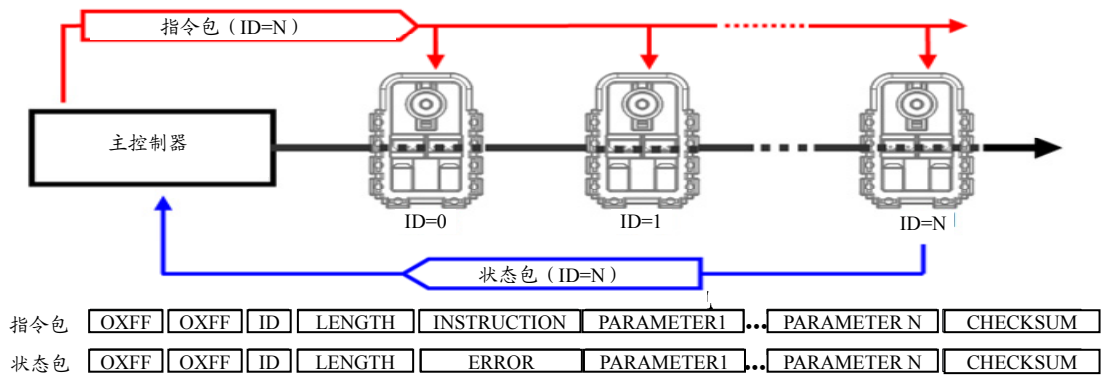


图 4 主控制器与舵机通信流程

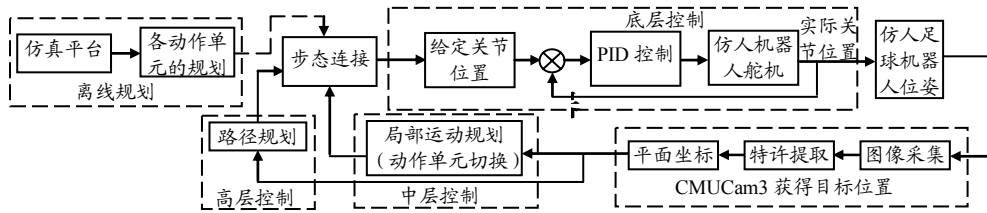


图 5 视觉伺服的运动规划与控制结构

### 3.2 控制系统主程序设计

主控制器 DSP2812 可通过汇编和 C 语言进行软件开发, 考虑到 C 语言简单易用、通用性强, 另外 CMUCam3 也可以经典 C 语言软件开发, 故选择 C 语言作为系统软件开发语言。控制系统的软件部分由系统初始化、主程序循环、定时器中断和串口中断等构成<sup>[9]</sup>。由于视觉系统返回的结果随环境的变化而变化, 视觉模块通过置位主控制器的中断寄存器, 将变化结果传给控制器, 再由控制器规划当前路径。另外通过设置定时器中断, 使得路径规划的结果得到执行。故中断程序在程序设计中很关键。

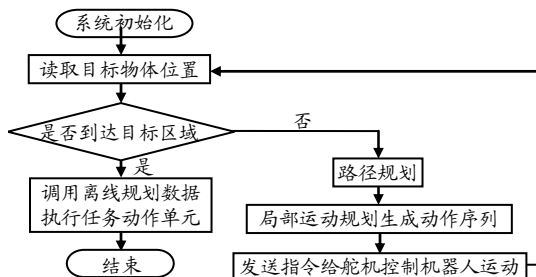


图 6 仿人足球机器人系统软件主程序流程图

仿人机器人控制系统主程序主要包括仿人机器人的在线路径规划程序、动作序列生成程序、动作单元切换程序等。图 6 为控制系统程序流程图, 在准备阶段完成整个控制系统的初始化, 然后, 主控制器读取视觉子系统反馈的目标物体的当前位置, 并判断机器人当前是否到达目标区域。如果到达, 则执行相应任务动作, 如踢球等, 否则进行运动规划, 生成动作序列, 控制机器人以最优路径接

近目标区域, 如此重复, 直到机器人完成任务动作。

## 4 结束语

实践证明, 该仿人足球机器人可完成稳定直走、转弯和精确踢球等运动规划任务。下一步, 将基于该平台, 重点研究最小损伤下的跌倒控制、爬起和不同动作单元的动态切换等复杂任务和多个仿人足球机器人的协调控制, 使得仿人足球机器人的自主运动控制能力进一步提升, 并完全适应仿人足球机器人的比赛环境。

### 参考文献:

- [1] 于秀丽, 魏世民, 廖启征. 仿人机器人发展及其技术探索[J]. 机械工程学报, 2009, 45(3): 71-75.
- [2] 北京智能佳科技有限公司: bioloid 机器人 CM-5 控制板 <http://bjrobot.cn.china.cn/selling-leads/detail,1358218840.html>
- [3] 孙丽明. TMS320F2812 原理及其 C 语言程序开发[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 1-3.
- [4] CMUCam3 Datasheet[S]. Carnegie Mellon University, 2007.
- [5] 刘祚时, 林桂娟, 张海英. 足球机器人的视觉系统的研制[J]. 传感器技术, 2004, 23(3): 38-42.
- [6] Dynamixel AX-12 User's Manual[R]. Robotis, 2006.
- [7] 夏泽洋, 陈恩. 仿人机器人足迹规划建模及算法实现[J]. 机器人, 2008, 37(3): 231-236.
- [8] 谭民, 徐德, 侯增广, 等. 先进机器人控制[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 294-297.
- [9] 韩占军, 赵丽萍. 基于维修质量综合评判的装甲装备维修周期决策[J]. 四川兵工学报, 2008(2): 16-20.