

RoboCup 小型足球机器人测速系统研究

李明雄, 赵 晓, 李晓明*

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为了实现对 RoboCup 小型足球机器人的实时测速, 设计了一种采用光电编码器和现场可编程门阵列 (FPGA) 实现的测速系统。采用 FPGA 作为控制芯片, 以可编程单芯片系统 (SOPC) 的设计方法进行设计, 嵌入 NIOS II 处理器, 利用 FPGA 的硬件可编程的特点设计各个功能模块, 并且采用了 M 法进行测速, 精度高、实时性好。系统实现了对每个足球机器人 4 个驱动电机的实时测速, 且在 FPGA 内部与足球机器人的 NIOS II 控制器进行连接, 简化了系统的设计, 减少了系统的体积, 方便对硬件进行修改、仿真以及系统的升级。通过 Quartus II Simulator 对所设计测速电路进行了仿真分析, 仿真结果验证了系统的可行性。

关键词: 足球机器人; 现场可编程门阵列; M 法; 光电编码器; 测速

中图分类号: TH824; TP24

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)02-0198-04

Velocity measurement system of small size soccer robot in Robocup

LI Ming-xiong, ZHAO Xiao, LI Xiao-ming

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to realize the real-time velocity measurement for small size soccer robot, a velocity measurement system based on optical encoder and field programmable gate array (FPGA) was designed. FPGA was selected as the control chip and design technique of system on a programmable chip (SOPC) was used by embedding NIOS II processor. Each function module was designed due to the hardware programmable property of FPGA. Moreover, M method with high-accuracy and high-real-time was adopted to measure the speed. Each robot soccer's four driven motor can be real-time measured. And as a result of the connection of FPGA and NIOS II in the robot soccer, the system was simplified and it was convenient to modify and simulate the hardware or upgrade the system. And also this velocity measurement was simulated by Quartus II Simulator. The simulation results verify the feasibility of the system.

Key words: soccer robot; field programmable gate array (FPGA); M method; optical encoder; velocity measurement

0 引 言

RoboCup 机器人足球世界杯赛是国际上级别最高、规模最大、影响最广泛的机器人足球赛事, 每年举办一次。RoboCup 竞赛现分有仿真组、小型组、中型组、标准平台组、类人组、家庭组等比赛^[1], 其中小型组是重要的一类比赛, 已经成为人工智能领域与机器人领域的基础研究课题。在小型组比赛中, 对电机的转速测量是对其进行闭环控制时必不可少的, 速度检测的实时性和精确性对足球机器人运动控制系统的性

能和效果有很大的影响^[2]。

目前测速系统主要基于传统的 SOC 系统和分立式器件构成的测速电路。基于 SOC 系统的测速电路, 以 MCU/DSP 为控制芯片, 并配备外围器件构成。典型的 MCU 测速系统方案是利用霍尔传感器采集脉冲信号, 通过单片机进行运算处理^[3], 但是单片机内部的计数器通常只有两个, 无法满足机器人的 4 路速度的实时测量要求。采用 DSP 方案, 增量式编码器结合 DSP 实现测速功能, 可直接与 DSP 正交解码模块相连, 结合芯片内部的计数器, 节省了硬件电路开支, 同

收稿日期: 2010-08-20

作者简介: 李明雄 (1985-), 男, 湖北黄冈人, 主要从事机电控制及自动化方面的研究。E-mail: xsctiger@126.com

通信联系人: 李晓明, 男, 副教授, 硕士生导师。E-mail: lxm_zju@yahoo.com.cn

时增强了可靠性^[4]。但是,一般 DSP 芯片只包含两个事件管理器,每个事件管理器内包含一个 QEP,能够完成对一组编码器输出信号解码。系统设计的机器人具有 4 个驱动电机,这样需要另外增加两个专门的解码器芯片。这种方案硬件成本高,且电路复杂^[5]。基于分立式器件构成的测速单元一般包括脉冲整形、判向电路、可逆计数器、归零控制和限位信号读取电路^[6]等。这种测量电路存在着电路结构复杂的缺点,除电阻、电容外,还需要多片门电路、触发器、外围芯片等,器件多、功耗大,易受外界噪声的干扰^[7],可靠性难以得到保证。

本系统采用 FPGA 作为控制芯片,以 SOPC 的设计方法进行设计,嵌入 NIOS II 处理器,利用 FPGA 的硬件可编程特点设计各个功能模块。FPGA 芯片密度已达到百万门级,在一片 FPGA 芯片上可以实现如 DSP、MCU、PCI 总线控制和各种控制算法等复杂的功能,这项技术称为嵌入式可编程单芯片系统(SOPC)。它既具有基于模板级设计的特征,又具有基于 ASIC 的系统级芯片设计的特征,具有了可重构性、高效自动化的设计方法^[8]。本系统具有 4 路测速功能,且在 FPGA 内部与足球机器人的 NIOS II 控制器进行连接,大大简化了系统的设计,减少了系统的体积,也方便对硬件进行修改仿真以及系统的升级。

1 系统构成

足球机器人的驱动电机采用的是德国 FAULHABER 公司生产的 2224U006SR 有刷直流电机,附有光电编码器和减速箱,并配以 9.7 比率的行星减速箱,更加增大扭矩。该电机体积小、扭矩大,为大多数世界队伍采用。测速系统采用 FPGA 作为逻辑芯片,系统的硬件结构和测速组成如图 1 所示。

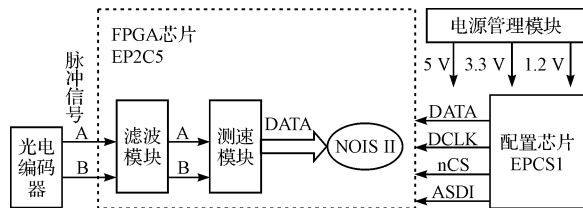


图1 测速系统结构原理图

其中,FPGA 芯片选用 Altera 公司的 Cyclone II 系列 EP2C5Q208C8N,核电压 V_{ccint} 接 1.2 V,I/O 电源 V_{ccio} 接 3.3 V 电源,4 个 BANK 连接相同的两组输入电压。电源管理模块采用低压稳压器 AMS1117 和 AMS1117-ADJ,输入 5 V 工作电压,前者可输出 3.3 V 电压,后者利用 ADJ 端输出 1.2 V 电压,供 FPGA 使

用。FPGA 的配置芯片选用串行配置器件 EPCS1,提供 1MB 的 FLASH 存储容量,用来存储硬件配置信息和控制程序。EPCS1 的工作电压是 3.3 V,将 DATA、DCLK、nCS、ASDI 与 FPGA 相连,并连接到 EPCS 下载口,用来下载配置信息。

驱动电机上的光电编码器在机器人运动时发出光电脉冲信号,构成测速系统的输入信号。测速系统主要包括滤波模块和测速模块。由于脉冲信号通常会有很多杂波及其他未知的噪声信号,滤波模块可以滤去杂波,从而提高了系统的抗干扰能力,保证测量的准确性。测速模块对脉冲信号进行处理,获得速度信号。FPGA 嵌入的软核处理器 NIOS II 是足球机器人的主控芯片,读取测速模块传送过来的数据,从而可以对系统进行运动控制。

2 测速方法

常用测速方法主要有定时测角法(M 法)及定角测时法(T 法),后来发展有 M/T 法及变 M/T 法^[9]等其他一些方法。这些方法基于增量式编码器,编码器测速脉冲可以看作一位二进制数,每次脉冲跳变表示转到新的分辨率区间。为了选择合适的测速方法,本研究进行了以下比较分析。

2.1 M 法

M 法通过测量一定时间内编码器的脉冲个数来获得速度值。设编码器每圈发出脉冲数为 P ,在指定的测量时间 T_g 内,编码器共发出 m_1 个脉冲,则电机转速 n 的表达式为:

$$n = 60 \cdot m_1 / P \cdot T_g \quad (1)$$

M 法的分辨率 Q ^[10] 及精度 ε 分别为:

$$Q = 60(m_1 + 1)P \cdot T_g - 60 \cdot m_1 \cdot P \cdot T_g = 60 \cdot P \cdot T_g \quad (2)$$

$$\varepsilon = Q_n = 60 \cdot P \cdot T_g / 60 \cdot m_1 \cdot P \cdot T_g = 1/m_1 \quad (3)$$

由式(2)可看出,M 法的分辨率与转速无关,在任何转速情况下,能检测到的速度最小改变量都相等。由式(3)可以看出,在测量时间一定时,只有当 m_1 增大(即速度增加)时,精度才会增加,因此 M 法适用于高速情况下的测量。

2.2 T 法

T 法的原理是通过测量相邻两个编码器脉冲的时间间隔来得到速度信息,即测频法。如果计时用的高频时钟脉冲频率为 f_c ,由编码器的相邻两个测速脉冲控制计时的起始和终止,如计时器计数值为 m_2 ,则转速 n 、分辨率 Q 及精度 ε 的表达式如表 1 所示。因此,

T 法的 Q 值随转速上升而增加,分辨率减小,在低速时有较高的分辨率。转速增加时, m_2 减小,测量误差增大,可见 T 法适合于低速情况下的测量,但低速测量时间会较长。

2.3 M/T 法

M/T 法是综合 M 法和 T 法进行改进得来的,它同时测量检测时间和此段时间内的编码器脉冲数。其原理是,设定一个时间间隔 T_g ,用 T_g 后第 1 个编码器脉冲来终止时间计数器 m_2 ,则测量时间 $T = T_g + \Delta T$ 。如编码器脉冲计数值为 m_1 , f_c 为高频时钟脉冲频率,则 M/T 法的转速 n 、分辨率 Q 及精度 ε 如表 1 所示。

表 1 常用测速方法比较

方法	测量温度 n	分辨率 Q	精度 ε
M 法	$1/m_1$	$60/P \cdot T_g$	$1/m_1$
T 法	$60f_c/P \cdot m_2$	$n^2 P/(60f_c + nP)$	$1/(m_2 + 1)$
M/T 法	$60f_c m_1/P \cdot m_2$	$n/(m_2 - 1)$	$1/(m_2 - 1)$

2.4 综合比较

将以上的分析综合起来,可以看出,分辨率与测量时间及转速都有关系。但是足球机器人处于高速运动的状态,采用 M 法进行测试,其精度更高、误差更小,因此本研究也采用 M 法实现转速测量。

3 系统设计

3.1 滤波模块设计

光电编码器输出的脉冲信号通常会有很多噪声,影响测量的准确性。数字滤波器模块对光电编码器输出的正交信号进行滤波。输入部分采用两种方法提高滤波性能,采用施密特触发器输入和具有 3 个时钟周期延迟的滤波器相结合来抑制数值较小的噪声和通常出现在电机系统应用中的数值较大并且时间很短的尖波。共模和差模的噪声都被滤除,由噪声引起的错误计数将会被去除。按照这个思路设计的滤波器如图 2 所示。

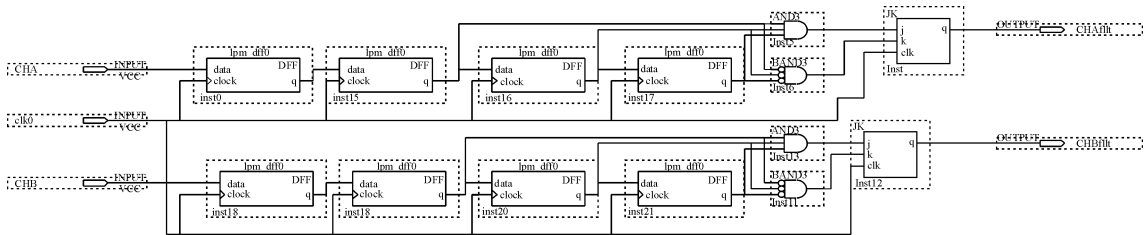


图 2 滤波模块电路

为了解决输入信号中那些上升时间缓慢的和数值较小(大约 $<1\text{ V}$)的信号,首先将信号通过施密特触发器进行缓冲。被清理过的信号接着又被传送到一个 4 位延时滤波器,每个信道的信号都在时钟周期的上升沿被采样,4 位移位寄存器存储了这些信号的时间信息。为了给 3 个连续的时钟上升沿呈现出一个稳定的水平,输入的任何变化都将被检测。因此,只有当输入在 3 个连续的时钟周期上升沿时刻有相同的值时,滤波器的输出波形才会发生变化。将输入信号 CHA、CHB 通过滤波器,而且 CHA、CHB 必须保持 3 个上升沿才能通过数字滤波器成为 CHAFILT、CHBFILT 信号,因此一般的低压噪声(小于 1 V)和噪声尖峰(短于 2 个时钟周期的脉冲)都会被数字滤波器滤除。

3.2 测速模块设计

本系统采用的直流电机内部集成了速度编码器,输出为两个相位相差 90° 的方波信号,因此,电机测速电路的任务已不再是如何使用传感器获得电机速度信息,而是如何对编码器输出信号进行精确测量,保证测

量结果与实际转速有良好的线性对应关系。

增量编码盘是一种测量角位移增量的传感器,输出信号 A 和 B 具有 90° 的相差。当 A 超前于 B 时,表明编码器中码盘是顺时针旋转的,反之,码盘为逆时针旋转。当增量编码盘的细分数为 N 时,增量编码盘的每一个脉冲代表的角位移为 $360^\circ/N$,A、B 信号的频率相同,频率大小反映当前电机速度,由这两个信号就可得到电机转向、转角和转速。本研究提出一种基于 FPGA 的硬件解码器设计,具体电路设计如图 3 所示。

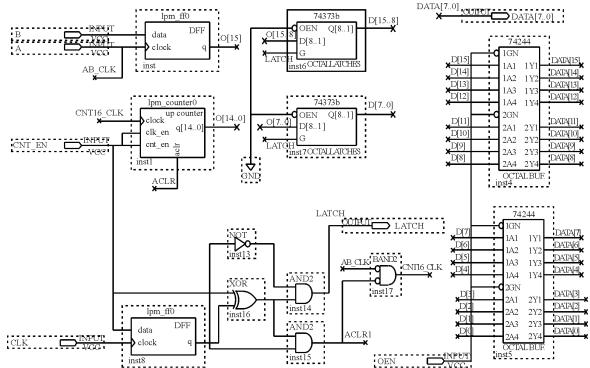


图 3 单轴测速电路

由于系统控制的电机转速较高,经过上一部分的论述,采用 M 法进行测速,对编码器码盘输出的 A、B 信号进行测量。A、B 信号频率相同,相位相差 90°。可以根据 A、B 信号通过 D 触发器后的输出波形,判断是 A 超前 B,还是 B 超前 A,即判断电机转向。测速电路中利用电机编码器的 A 相输入信号作为电机速度测量的计数脉冲。

将 Q 值作为速度数据 SPD[15..0]的最高位,当 SPD[15]=0 时,Nios II 读出当前的数据为正值,证明电机正转;当 SPD[15]=1 时,Nios II 读出当前数据为负值,判断电机反转。

工作原理如下:CLK 为 FPGA 外接晶振输出经整形后的 50 MHz 方波。CNTEN 信号与 CLK 信号经过一系列的逻辑门之后,在 CNTEN 信号变化后的第一次 CLK 脉冲到来时,产生与 CLK 脉冲同频率的脉冲信号 LATCH 与 ACLR。当 CNTEN 为低电平时,产生 LATCH 信号输出脉冲,控制 74373 将当前速度锁存到数据总线上。当 CNTEN 为高电平时,ACLR 输出脉冲,计数器同步清零。把它封装为 speed 模块,供更高级层次电路使用。

多个 speed 模块并联起来,加上滤波电路就可构成多路测速电路,其原理图如图 4 所示。4 路 speed 模块并联,通过 FPGA 内部的 74138 控制各子模块使能,选择当前总线上的数据。通过仿真,证明该设计逻辑正确,将其封装成名为 speed_all 的模块,方便程序系统整体调用。

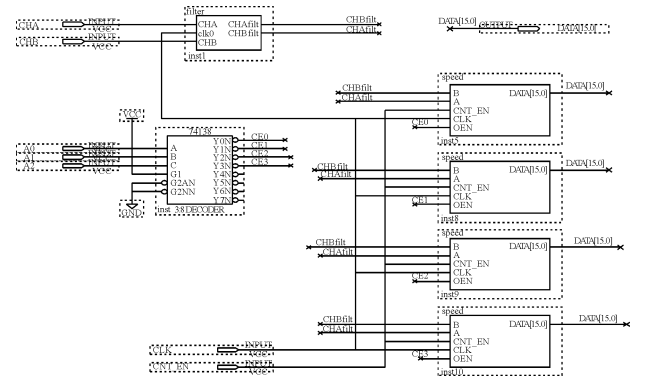


图 4 4 轴测速电路

由于速度检测采用的是 M 法测速,对于电机测速而言,把公式进行具体化:

$$n = \frac{M_1}{Z \cdot T_c} \text{ (r/s)} \tag{4}$$

式中: n —电动机的转速,根据系统需要,取单位 r/s, T_c —系统采样周期, Z —电动机每转一圈产生的总脉冲数,它是倍频系数和编码器光栅数的乘积。

在采样周期,主控器 Nios II 读取编码器脉冲数,计算转角增量,从而计算出电机的速度。

4 仿真分析

使用集成在 Quartus II 的仿真工具 Simulator 对滤波模块和测速模块分别进行仿真。滤波模块仿真图如图 5 所示,由图可知,脉冲信号须保持 3 个上升沿才能通过滤波器,一般的低压噪声都被滤除,满足了基本的滤波要求。单轴测速电路的仿真波形如图 6 所示,在 CNT_EN 信号的控制下,可以对脉冲进行计数、锁存、清零等操作,从而可以定时自动对电机测速,满足了比赛环境下实时测速的需要。由以上分析可知,本设计满足了小型组足球机器人的测速系统的要求。

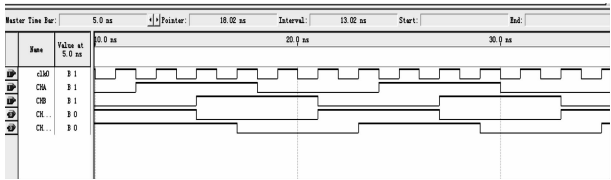


图 5 滤波模块仿真波形图

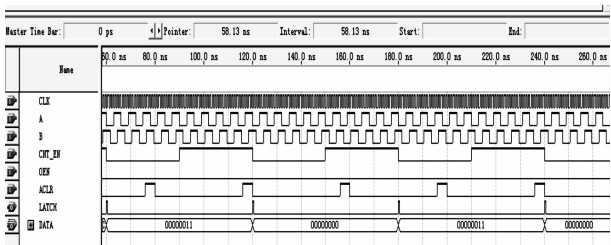


图 6 单轴测速模块仿真波形图

5 结束语

本研究针对小型组足球机器人比赛的测速要求,设计了基于光电编码器和 FPGA 实现的测速系统。采用 M 法测速,精度高,实时性好,且实现容易,适用于足球机器人高速运动的比赛环境。本系统可以对机器人 4 个驱动电机进行实时测速,大大提高了足球机器人的运动控制性能和效果。且在 FPGA 内部与足球机器人的 NIOS II 控制器进行连接,简化了系统的设计,减少了系统的体积,也方便对硬件进行修改、仿真以及系统的升级。通过集成在 Quartus II 的仿真工具 Simulator 对文中测速电路进行仿真分析,可知该系统是可行的。系统里面的滤波部分只是对一般的噪声信号进行了滤除,实际上可能有其他的噪声,考虑到足球机器人测速精度的重要性,因而需要继续改进。

(下转第 216 页)



图 7 网络视频监控软件客户端



图 8 集成后的视频客户端

表 1 异构视频系统集成技术工程应用比较

集成模型	设备信息 同步方式	视频服务 稳定性	前期开 发成本	后期扩 展成本
节点自治模型	自动	高	高	低
传统模型	人工操作	低	低	高

4 结束语

本研究提出了一种基于节点自治的异构视频系统

集成技术和模型,并使用 XML 和 WSDL 对异构系统中的设备信息和视频服务接口进行描述。节点自治加自描述机制的应用不仅实现了视频资源的共享访问,也克服了传统模型在扩展性方面的不足。若有新的视频系统加入,只要添加代理层,提供自描述和功能调用服务,用户节点就能对其资源进行访问。此外,从长远来看,欲实现异构系统间资源的统一管理和安全访问,上述集成技术和模型中还需添加相应的权限管理机制和安全机制,这也正是笔者未来努力的方向之一。

参考文献 (References):

[1] 李向东. 数字视频监控系统的研究与实现[D]. 西安:长安大学环境工程学院,2008.

[2] 赵青芝,叶旭东,朱善安. 基于 DM642 的无线视频监控系统[J]. 机电工程,2010,27(4):73-74.

[3] 汪洋洋,李 霞. 多源异构视频整合技术的应用[J]. 计算机工程,2008,34(23):235-257.

[4] 凌庆华,石志强,程伟明. 基于 SIP 的网络视频监控系统的设计与实现[J]. 计算机工程,2007,33(2):261-263.

[5] 钟远山. 一种统一的视频监控管理平台的研究与实现[D]. 广州:中山大学软件学院,2009.

[6] 张琳娜,王映辉. 基于节点自治的分布式数据共享模型[J]. 计算机工程,2009,35(3):32-38.

[7] MINSKY M. The society of mind[M]. New York: Simon and Schuster,1986.

[8] ONVIF. Open network video interface forum core specification[S/OL]. <http://www.onvif.org/>,2009.

[9] W3C. Extensible Markup Language (XML) 1.0[S/OL]. <http://www.w3.org/TR/1998/REC-xml-19980210>,1998.

[10] W3C. Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0[S/OL]. <http://www.w3.org/TR/wsdl20/>,2007.

[编辑:李 辉]

(上接第 201 页)

参考文献 (References):

[1] KONING J L, OUDEYER P Y. Modeling interaction strategies using POS: An application to soccer robots[J]. **Applied Intelligence**,2006(1):7-10.

[2] WU C J, LEE T L. A fuzzy mechanism for action selection of soccer robots[J]. **Journal of Intelligent and Robotic Systems**,2004(1):57-60.

[3] 赵 岩. 编码器测速方法研究[D]. 长春:中国科学院研究生院长春光学精密机械与物理研究所,2003:20-23.

[4] 邓 建,林 桦. 基于 DSP 的绝对式光电编码器的电机转速测量[J]. 电机与控制应用,2010,37(1):51-52.

[5] 张 翩,熊 蓉,褚 健. 一种全方位移动机器人的运动分析与控制实现[J]. 浙江大学学报:工学版,2005,38

(12):1650-1653.

[6] 赵建周,李安伏. 基于光电码盘传感器的位置检测控制电路设计[J]. 电气传动自动化,2007,29(1):52-56.

[7] 李为民,姜 漫. 基于光电编码器的速度反馈与控制技术[J]. 现代电子技术,2004(23):84-88.

[8] GALANIS M D, DIMITROULAKOS G, GOUTIS C E. Performance improvements from partitioning applications to FPGA hardware in embedded SoCs[J]. **The Journal of Supercomputing**,2006(2):185-190.

[9] 孙同景,徐 德. 单片机变 M/T 测速方法及其应用[J]. 电气传动自动化,1997,19(4):57-59.

[10] 高 苇. 电机转速测量系统[J]. 黑龙江冶金,2009(2):33.

[编辑:张 翔]