

可编程门阵列在无刷直流电机控制中的应用

魏 然, 金明河, 刘伊威, 刘 宏

(哈尔滨工业大学机器人研究所, 哈尔滨 150001)

摘 要: 随着微电子工艺向深亚微米发展, 使在一个芯片中可以集成很大的系统成为可能, 另外较大门数的可编程逻辑器件的出现为实现这种系统提供了方便和经济的途径。该文详细介绍了可编程门阵列器件(FPGA)及其在无刷直流电机控制系统中的应用。FPGA的使用简化了系统结构, 提高了系统工作的稳定性和可靠性。本系统利用硬件描述语言 VHDL 设计在片内实现电机控制逻辑。软件仿真和试验结果均表明输出波形稳定、精确。该系统已成功应用于机器人仿人灵巧手指中。

关键词: 可编程门阵列; 无刷直流电动机; VHDL; 控制

The Application of FPGA in BLDC Motor Control System

WEI Ran, JIN Ming-he, LIU Yi-wei, LIU-Hong

(Harbin Institute of Technology Robotics Research Institute, Harbin 150001, China)

ABSTRACT: As microelectronics processing techniques marches into nanometer scale, it is possible to integrate very large systems on a single chip. On the other hand, with the development of large gates PLD, it is convenient and cheap to implement the system by this method. The FPGA and it's application to Brushless DC Motor control system is introduced in detail. By using FPGA, the structure of control system is simplified, the stability and reliability of control system is greatly improved as well. As the core of the system, FPGA implements the most logic functions. Simulation and experiment results indicate that output waveform is stable and precise. This system has been successfully used in dextrous robot hand.

KEY WORDS: FPGA; BLDCM; VHDL; Control

0 引 言

近年兴起一种全新的设计思想, 这就是基于现场可编程门阵列(FPGA)及 EDA 方法学的硬件设计技术。与 ASIC 不同的是, FPGA 本身只是标准的单元阵列, 没有一般 IC 所具有的功能, 但用户可以根据需要, 通过专门的布局布线工具对其内部进行重新编程, 在最短的时间内设计出自己专用的集成电路, 从而大大提高了产品的竞争力。由于它以纯硬件的方式进行并行处理, 而且不占用 CPU 的资源, 所以可以使系统达到很高的性能。这种新的设计方法可以把 AD 接口、驱动器接口、通信接口集成在一块芯片上, 同时在算法上完成位置、速度甚至电流算法, 从而实现真正的片上可编程系统(SOPC)。这将成为下一代高性能伺服控制器集成化设计的一个趋势^[1]。

本文针对无刷直流电机, 按照模块化设计的思

想, 叙述了基于 FPGA 的伺服控制系统的设计, 并在单片 Altera FPGA 中完成了 3 路电机的闭环控制, 并成功应用于机器人多指仿人灵巧手系统。

1 系统构成及工作原理

机器人多指仿人灵巧手指单个关节伺服系统采用角度、角速度双环从属控制结构, 如图 1 所示。系统采用德国 FAULHABER 公司的无刷直流电机作为伺服系统的执行元件, 采用谐波减速器将电机轴高速运动转化为与关节轴的低速转动。驱动电路由专用驱动芯片 Si9979 和 MOSFET 构成。控制电路由一片 ALTERA 公司的 FPGA 实现。整个系统可以通过由 FPGA 实现的串行接口与 PC 机通信。

在本系统的设计过程中, 电机的换向、转速和加速度以及电机输出力矩是伺服系统设计必须考虑的因素。电机的旋转输出与手指关节的运动存在一个固定的关系, 这个关系由灵巧手机械系统的结构决定。本系统利用关节位置传感器获得旋转关节位置作为控制系统的位置反馈。在灵巧手抓握某个物体

收稿日期: 2004-11-22

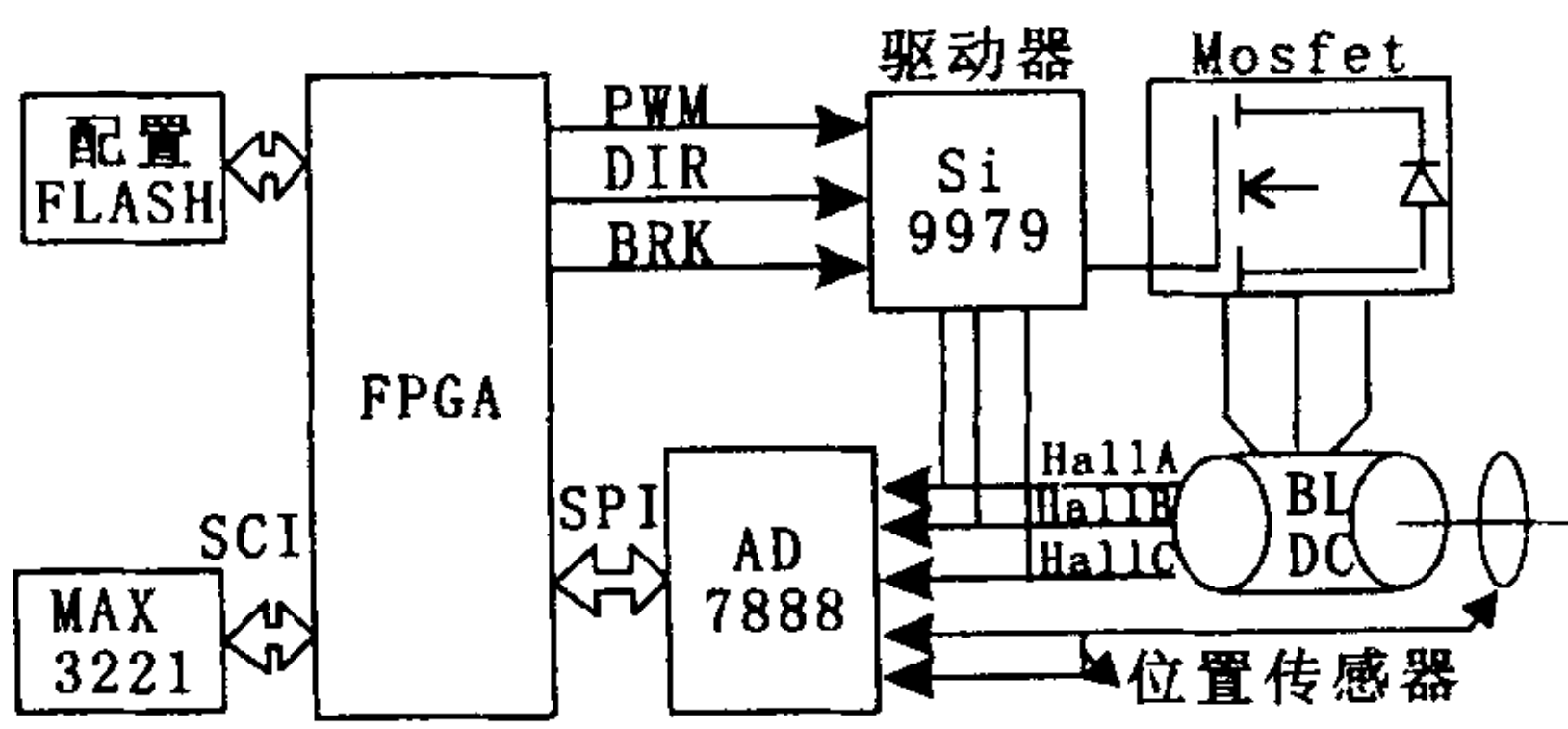


图1 无刷直流电机伺服系统组成

或者手指与外界环境接触时,系统利用关节力矩传感器反馈信号以实现精确的力矩控制。无刷直流电机内部集成了三相霍尔传感器, Si9979 根据这些霍尔信号产生基本的电机换向逻辑,实现无刷电机的无接触换向。电机霍尔传感器的输出信号除了实现电机换向逻辑转换外,另外一个重要的功能是计算转子的位置及速度。由于霍尔传感器本身具有较高的分辨率,而关节位置传感器的位置信号输出具有相对较大的噪声,因此驱动器控制采用霍尔信号折算得到的关节速度作为控制系统的速度反馈。传感器模拟输出信号通过串行 AD 转换成串行数字信号,串行 AD 通过 SPI 总线与 FPGA 实现通信。FPGA 对这些信号进行处理产生 PWM、方向和刹车控制信号,传输给 Si9979 驱动板,实现对无刷直流电机的驱动和灵巧手关节的力矩、位置闭环控制。

2 功能的实现

在本系统中使用一片 CYCONE 芯片完成无刷直流电机控制系统。对 FPGA 的内部设计采用了集中控制的方法,即所有的控制信号均是由一个核心的系统控制模块产生,其他的模块仅是执行一定的功能,由控制模块产生的控制信号来对各个功能模块进行控制实现 FPGA 的总体功能,便于分块调试和集成。系统控制模块负责各个模块之间的协调,并实现闭环控制。根据 FPGA 要实现的功能,设计了以下模块:控制串行 AD 的电机控制模块,与上位机通信的 UART 模块和系统控制模块。如图 2 所示。

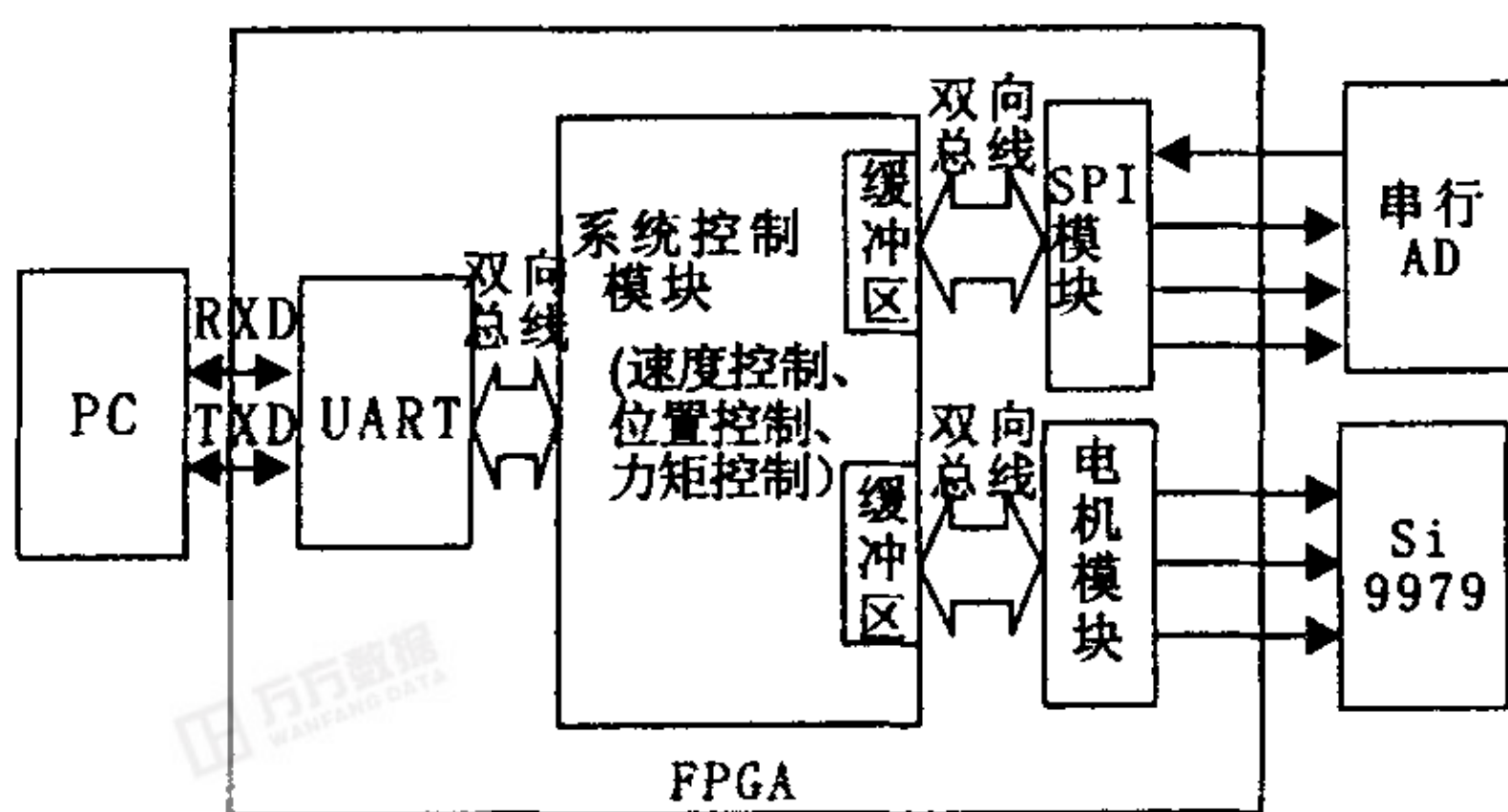


图2 FPGA 内部功能框图

下面以电机模块为例说明设计方法。由于 Si9979 是一款高性能的无刷直流电机控制芯片, Si9979 内部有输入控制信号逻辑电路、功率放大电路、电源分离悬浮电路、斩波电路及电流反馈和硬件死区产生电路等构成^[2]。FPGA 只需提供 PWM 信号、方向(DIR)信号、刹车(BRK)信号。设计的整体模块见图 3 所示。

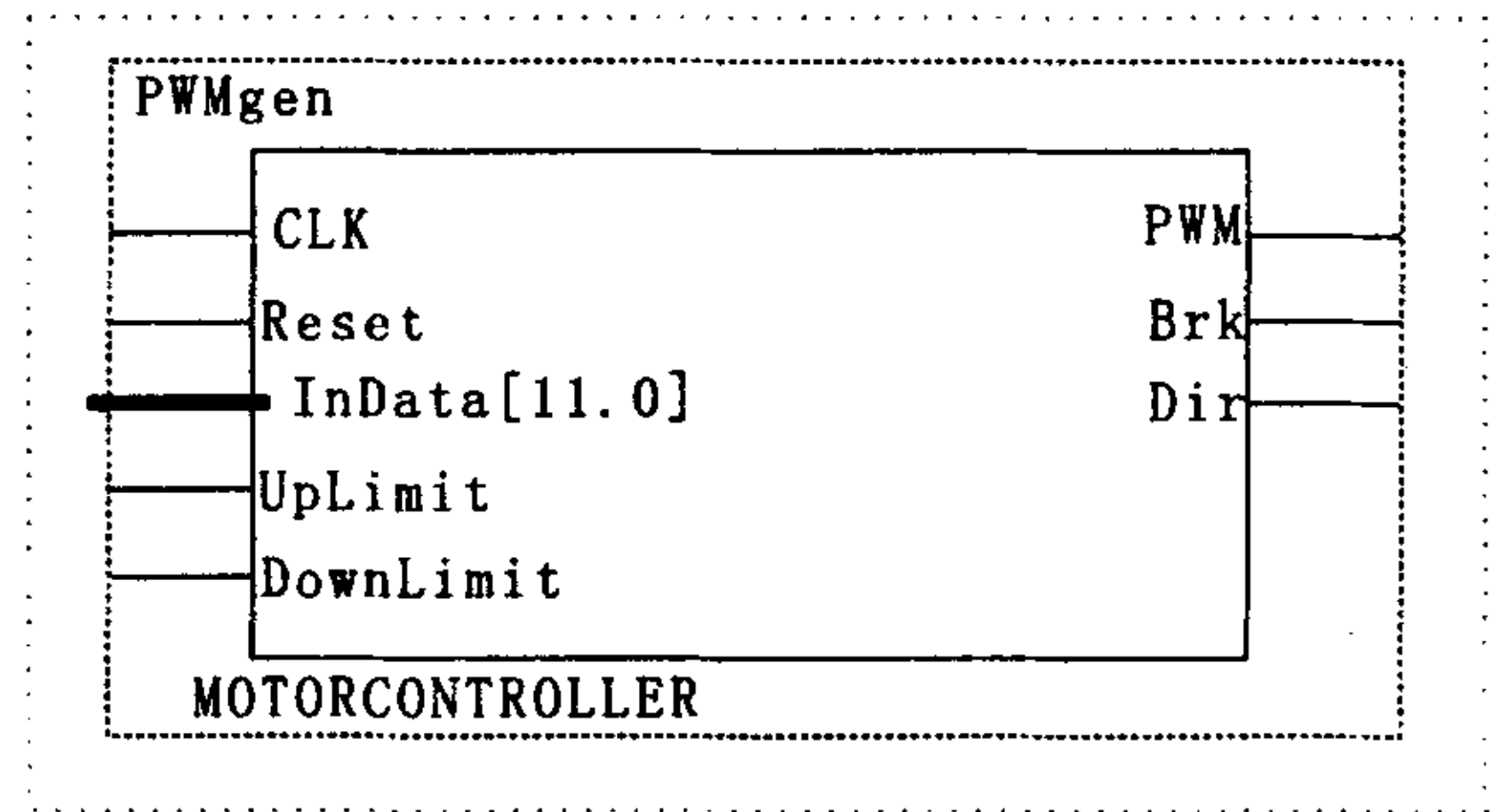


图3 整体模块

其中,CLK 为晶振频率,Reset 为系统模块,用来初始化电机模块的复位信号, InData[11:0]为系统控制模块,控制电机的信号。其中 InData[9:0]为 PWM 信号占空比, InData[10]为刹车(BRK)信号, InData[11]为方向(DIR)信号, UpLimit、DownLimit 为设定的机械位置极限。该设计可得到 25kHz 的固定脉冲周期(用软件设置分频器 Counter,可改变 PWM 开关频率,一旦设置完毕,则其脉冲周期固定),占空比的多少决定于分辨率为 1/1024 的 PWM 信号的大小。刹车信号由系统控制模块与预设的机械位置极限共同给出,保证当关节运动到机械位置极限时可以及时刹车,起保护作用。方向信号由系统控制模块给出^[3]。

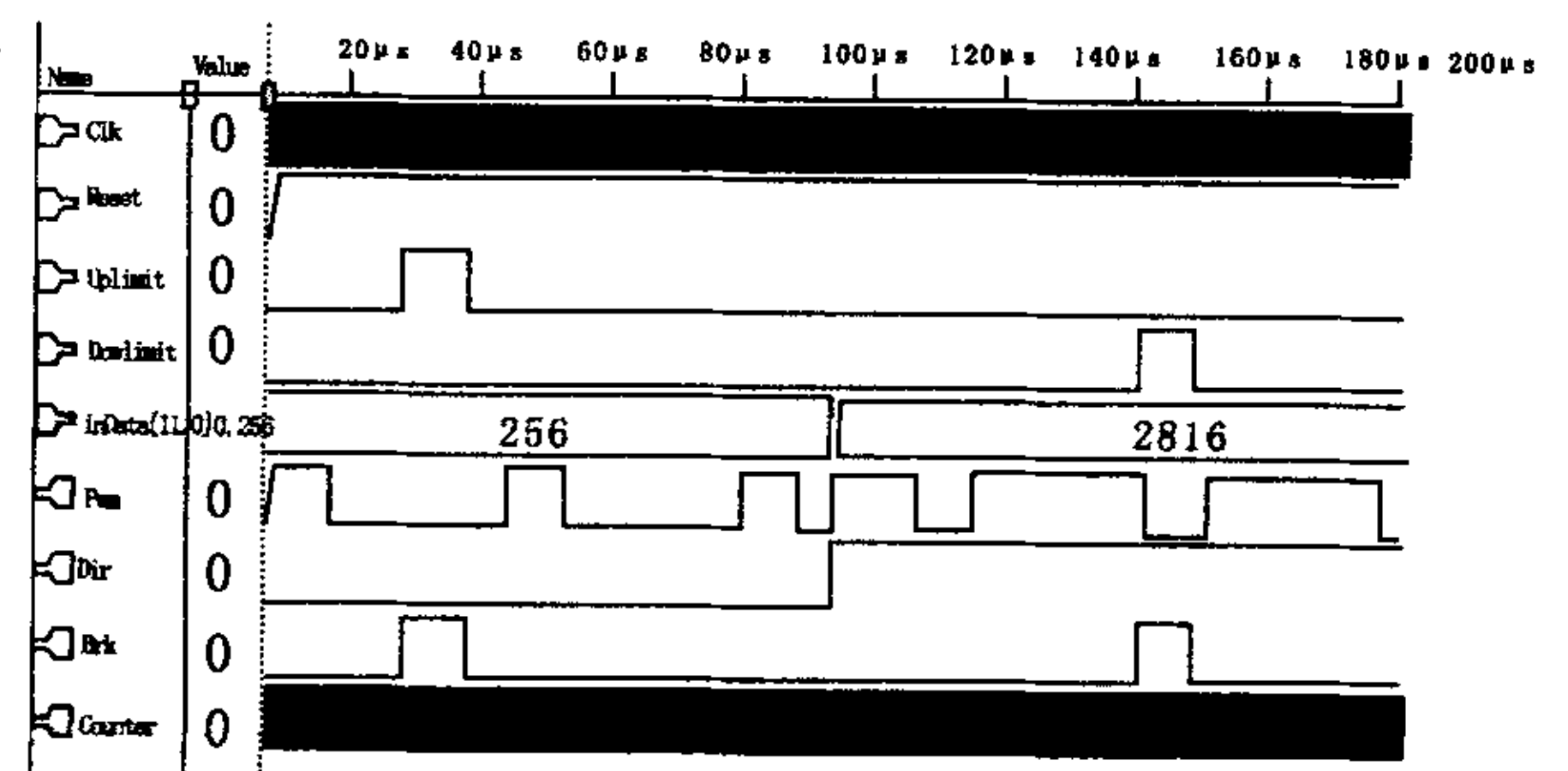


图4 电机模块仿真波形

本设计采用的是 ALTERA 公司推出的 Quartus II4.0 开发平台,仿真波形如图 4 所示。其中 CLK 是 25M 时钟的输入,输出为控制 Si9979 的 PWM,方向和刹车信号。仿真时,使 PWM 连续输出波形占空比为 0.25,0.75。根据前述,可以得出相对应的占空比数据 Value (二进制)分别为

0100000000、1100000000。图5是PWM的输出时序图。从PWM输出波形可以看出它能够按数据值Value所对应的占空比正确输出。事实上,在每个PWM周期都有一定的误差,是由占空比数据位精度决定的,精度为 $1/1024 \approx 0.001$ 。

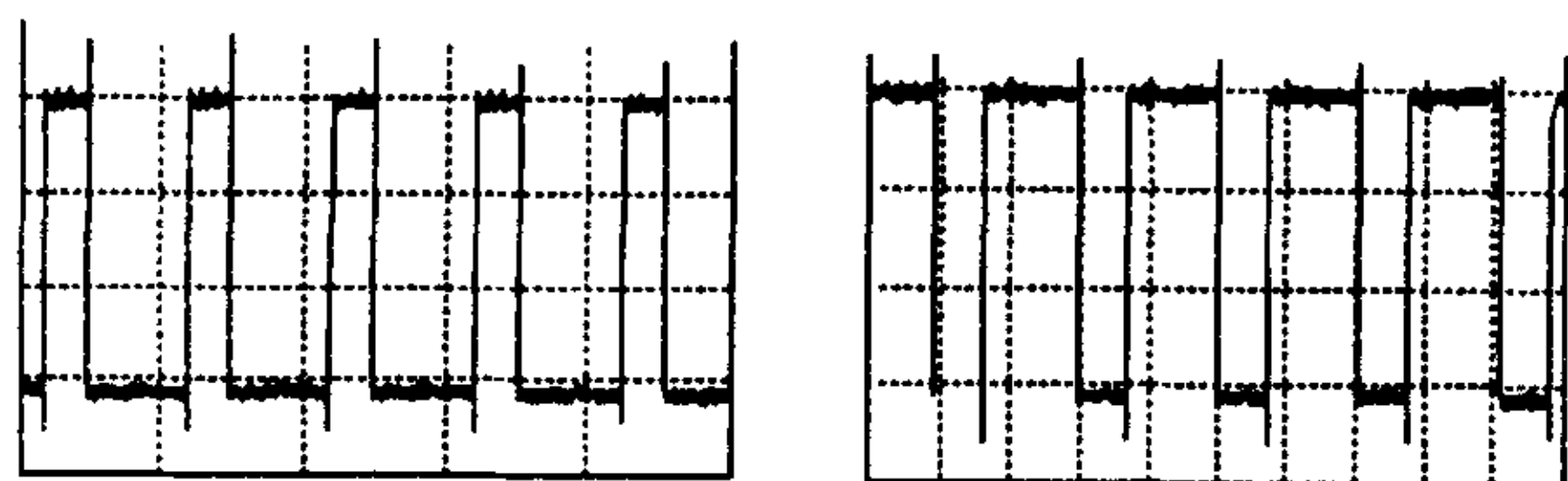


图5 PWM实际波形

3 实验结果

实验中PWM输出频率为25kHz,占空比数据位宽 $n=10$ 位,所需采用的时钟信号频率为25MHz。芯片选用EP1C6,其I/O电压为3.3V,内核电压为1.5V。图5所示占空比为0.25,0.75的

PWM波形。从实验波形可知,实际PWM输出占空比与理论值十分接近,这充分证明了该电路的正确性和可行性。

该灵巧手共有4个手指,每个手指装有3个无刷直流电机。电机驱动板、FPGA控制板分别安装于手指两侧。整个系统集成度高,运行稳定,抗干扰能力强,取得了良好的效果。

参考文献

- [1] 侯伯亭,顾新. VHDL 硬件描述语言与数字逻辑电路设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1998.
- [2] A Compact Controller for Brushless DC motor. Vishay Siliconix, 2000
- [3] 魏然. 基于DSP的DLR/HIT型灵巧手控制卡的研究[D]. 哈尔滨工业大学硕士学位论文,2003,6.

作者简介:魏然,男,硕士研究生,从事伺服系统的技术研究。

(上接第18页)

3 结论

从上述训练及仿真过程可以看出,神经网络具有较强的学习和逼近能力。根据得到的磁链及电流值,神经网络模型能够快速准确地估算出转子位置角度。若将本文训练好的网络模型应用于电机的实时控制当中,还能实现转子位置的在线检测及电机的调速控制,解决位置传感器带来的种种弊端。不足之处在于神经网络的训练需要大量的数据,数据样本较大时学习时间较长,对检测的实时性将带来影响;此外,不同学习算法的学习性能差异较大,因此,选择合适的学习算法尤为重要。

参考文献

- [1] 刘迪吉,张焕春等. 开关磁阻调速电动机[M]. 北京:北京机械工业出版社,1994.

- [2] 郑洪涛等. 基于模糊神经网络开关磁阻电动机高性能转矩控制[J]. 控制理论与应用,2003,20(4).
- [3] 闻新、周露等. MATLAB神经网络仿真与应用[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [4] 侯北平、卢佩. 基于MATLABR的BP神经网络建模及系统仿真[J]. 自动化与仪表,2001,16(1).
- [5] T. Lachman, T. R. Mohamad and C. H. Fong. Nonlinear modelling of switched reluctance motors using artificial intelligence techniques[J]. IEEE Proc. -Electr. Power Appl. . 2004,151(1):53-60.
- [6] Mese, E. ,Torrey, D. A. . An approach for sensorless position estimation for switched reluctance motors using artificial neural networks [J]. Power Electronics, IEEE Transactions on, 2002,17(1):66-75.

作者简介:周素莹(1978-),女,汉,河南上蔡人,博士研究生,主要研究方向:控制理论与控制工程,电力电子与电力传动。