

# 基于 LM3S811 的帆板控制系统设计与实现\*

徐明, 徐国洪, 胡华文  
(仙桃职业学院, 湖北 仙桃 433000)

**摘要:** 设计并实现了一个帆板自动控制系统。以 32 位 ARM 微控制器 LM3S811 为控制核心, 在设定的模式和间距(风扇与帆板之间的距离)下, 对帆板转角的控制进行了实验分析与讨论。实验中采用 PWM 技术和 PID 控制器来调节风扇风力的大小, 从而实现对帆板转角的实时控制。整个系统软硬件设计合理、操作简单方便, 控制精度较高。实验结果进一步验证了设计方案的正确性, 证实了所设计的系统具有一定的理论研究意义和实用性。

**关键词:** LM3S811; 脉冲宽度调制; PID; 占空比; 帆板

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)19-0085-03

## Design of a sailboard control system based on LM3S811

Xu Ming, Xu Guohong, Hu Huawen

(Mechatronics Department of Xiantao Polytechnic Institute, Xiantao 433000, China)

**Abstract:** A certain sailboard control system is designed and realized in this paper. Based on the 32-bit LM3S811 ARM microcontroller, under the condition of the assumed pattern and space between the sailboard and the fan, a detailed experimental analysis and discussion are given for the control of the angle of the sailboard. In order to control the angle of the sailboard, the wind power of the fan is modulated by using the pulse-width modulation (PWM) technique and the proportional-integral-derivative (PID) controller. The hardware and software of the whole system are designed reasonably, and the operation of the system is simple, convenient, and precise. Experimental results prove that the design of the system has certain theoretical research significance and practicality.

**Key words:** LM3S811 ARM microcontroller; pulse width modulation; PID; duty cycle; sailboard

帆板在行驶时, 其动力是风。当帆面与风向一致时, 帆不受力, 缺乏动力; 控制帆面转动, 帆面与风有了夹角, 帆面受到风力, 从而驱动帆板行驶。因此, 帆板行驶方向的改变是靠帆面位置的改变来实现对其的控制功能。根据以上帆板运动控制原理, 自制实验调节装置, 采用普通大功率散热风扇提供风力, 自选一定材料和厚度的帆板, 设计并制作一个帆板控制系统并进行实验分析, 该控制系统的示意图如图 1 所示。图中,  $\theta$  为帆板的转角;  $d$  为风扇与帆板转轴之间的间距。该系统实现的功能设定为: 用手转动帆板时, 能够数字显示帆板转角, 显示范围为  $0^\circ \sim 60^\circ$ , 分辨力为  $2^\circ$ , 绝对误差  $\leq 5^\circ$ ; 设定  $d=10\text{ cm}$  时, 通过操作按键控制风力大小, 使  $\theta$  能够在

$0^\circ \sim 60^\circ$  内变化, 并能被实时显示; 进一步地, 在此条件下, 要求  $\theta$  在 5 s 内达到设定值, 并实时显示, 且最大误差  $5^\circ$ ; 在  $d=10\text{ cm}$  时, 通过操作按键控制风力大小, 在 10 s 内使  $\theta$  稳定在  $45^\circ \pm 5^\circ$  内, 并实时显示  $\theta$ , 且测试时有声光报警提示; 间距  $d$  在 7~15 cm 范围内任意选择, 通过按键设定帆板转角  $\theta$ ,  $\theta$  范围为  $0^\circ \sim 60^\circ$ , 要求  $\theta$  在 5 s 内达到设定值, 并被实时显示, 同时最大误差  $\leq 5^\circ$ [1-2]。

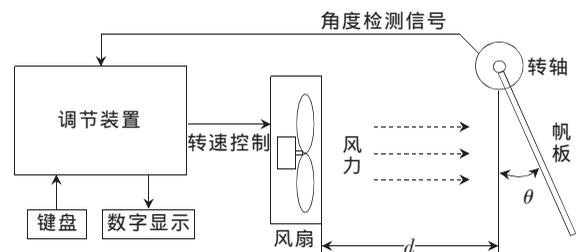


图 1 帆板控制系统示意图

\* 基金项目: 湖北省教育科学“十二五”规划 2012 年度立项课题 (2012B397); 湖北省职教研究中心关于 2012-2013 年职业教育科学研究课题 (G2012B20)

## 1 系统总体设计方案

设系统以 LM3S811 微控制器为核心控制器件,采用了 PWM 技术和 PID 控制算法通过对直流风扇转速大小的控制,实现了对帆板转角的实时控制和动态显示。系统总体结构如图 2 所示。本帆板控制系统中,精密角度传感器检测帆板运动转角的状态,并将帆板的位置信息传送给中央控制单元,中央控制单元 LM3S811 根据帆板位置信息和运动状态实时调整执行机构直流电机驱动电压的大小,从而实现对风扇风力大小的控制,最终完成对帆板运动转角的控制与显示。

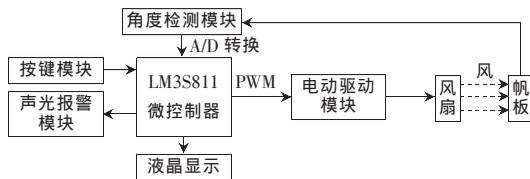


图 2 系统总体框图

系统上电复位后,根据按键输入帆板转角设定值,系统中央控制单元 LM3S811 发出启动指令,直流电机带动扇叶开始运转,产生的风力驱动帆板开始转动。其工作原理为:根据角度传感器输出的电压值变化信息,经微控制器处理后发出控制指令给执行电机驱动单元,通过改变电扇风力的大小,实现对帆板运动控制的实时检测和控制在。

## 2 系统硬件设计

设计中,帆板采用 2 片 15 cm×10 cm 的 KT 板材料制成,板体轻盈,对风力的强度要求不高,可以减少对风扇力度的要求;帆板支架由三面带有凹槽的木质框架制成,支架底座、大功率风扇均固定在透明绝缘底板上,而且木质框架外侧粘有复印的刻度尺纸条,可以直观地看到风扇和转轴之间的距离;垂直的铝合金框上面安装量角器和刻度指针,根据指针可以明确地观察到帆板转角的大小。

系统硬件电路采用模块化设计,主要包括:LM3S811 最小系统、角度检测电路模块、电机驱动模块、声光报警电路、键盘液晶 LCD 显示电路等。设计中分别对各个模块进行详细的分析制作与测试,使系统整体功能达到最佳状态。

### 2.1 LM3S811 最小系统电路

LM3S811 是基于 Cortex-M3 核心的低成本高性能嵌入式系统微处理器,32 位 RISC 高性能微控制器,工作频率为 50 MHz,内含 64 KB 单周期 Flash 和 8 KB 单周期访问的 SRAM,3 个通用定时器模块,1 个支持 SPI(串行外设接口)和 Microwire 的同步串行接口(SSI),多达 32 个通用 I/O 口<sup>[3-4]</sup>。该单元电路主要利用 ARM 实现工作模式选择、PID 调节数据存储显示等功能。

### 2.2 帆板角度检测电路

图 3 所示为帆板动作示意图。传感器所测的角度为  $\alpha$ ,由图可知转角  $\theta = \alpha$ ,传感器将被测量转换为电压量输

出,转角  $\theta$  与电压的关系式为  $\sin\theta = (V_{out} - V_0)/2$ ;其中  $V_{out}$  是当前显示的电压值, $V_0$  是  $\theta$  为  $0^\circ$  时的电压值。

角度检测电路采用专用精密角度传感器 N1000060。利用该芯片进行角度检测设计,省去了冗余机械结构部分,接口简单,并且其直接输出与倾角成确定关系的模拟电压信号,只需要单片机的一个 A/D 转换接口,就可完成转角测量数据采集。帆板角度检测电路如图 3 所示,角度传感器 N1000060 的供电电压为 5 V,其模拟输出范围 0.5 V~4.5 V,对应倾斜角  $-90^\circ \sim 90^\circ$ ,其输出信号最高刷新频率为 80 Hz,该信号送至单片机内部 10 位高速 A/D 口,得到的 A/D 值可以经过运算转换为倾角度数,运算方法为:

$$\theta = \arcsin[(V - V_0)/2] \cdot (180/\pi)$$

为了满足单片机采样需要,挑选了两个 982  $\Omega$  精密电阻对输出信号进行分压以提高角度检测的精度。帆板角度检测电路如图 4 所示。

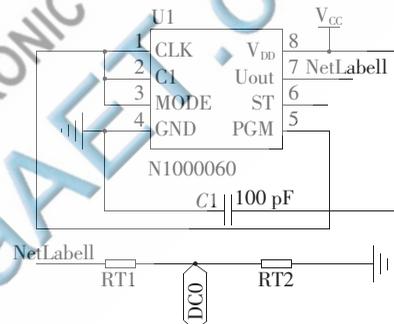


图 4 帆板角度检测电路

### 2.3 电机驱动模块电路

电机驱动电路如图 5 所示,它通过场效应管的导通情况来控制电机的转速。

利用 LM3S811 微控制器输出的 PWM 控制信号,实现场效应管的导通和关断。通过改变 PWM 的占空比,对输入电压和输出电压的比例进行调节。场效应管的栅极驱动,采用简单的三极管驱动放大电路,以改善场效应管的导通过程,减少驱动电源的功率。当 PWM 波输出高电平时,三极管导通,使场效应管的栅极电压低于源极电压,场效应管的源极和漏极导通,电机转动;当 PWM 波输出低电平时,三极管截止,电机停转。通过电机的停转控制风扇的转速<sup>[5-6]</sup>。

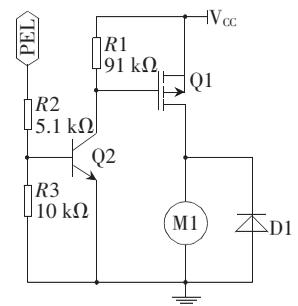


图 5 电机驱动电路

### 2.4 声光报警模块电路

如图 6 所示,声光报警系统由蜂鸣器驱动电路和发光二极管驱动电路组成。蜂鸣器驱动电路由三极管、蜂

鸣器、续流二极管和滤波电容、反相器组成，三极管在这里相当于开关，当 PA4 输出低电平时三极管饱和导通，蜂鸣器发声，发光二极管亮；当 PA4 输出高电平时三极管截止，蜂鸣器停止发声，发光二极管灭。

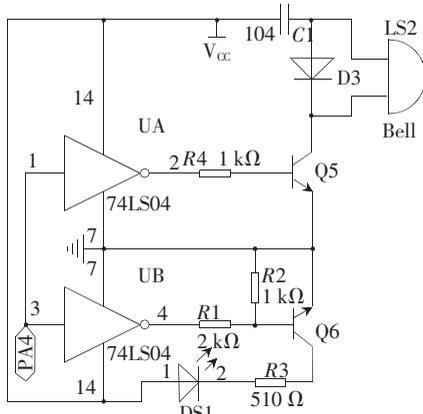


图 6 声光报警系统电路

### 3 系统软件设计

系统软件采用模块化程序设计，主要包括主控制程序、驱动电机子程序、角度检测子程序、键盘控制子程序、PID 调节子程序、液晶 LCD 显示子程序等，各子程序单独调试正确后再进行统一调试<sup>[7]</sup>。限于篇幅，仅给出主程序流程图和 PID 调节子程序流程图，分别如图 7 和图 8 所示。

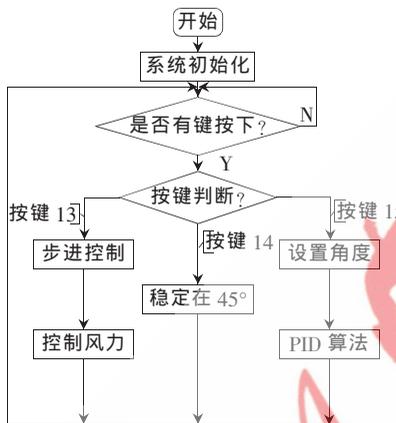


图 7 主程序流程图

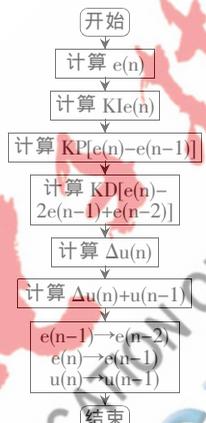


图 8 PID 子程序流程图

### 4 测试及结果分析

测试中的仪器为：示波器 (ADS1102C)、函数信号发生器 (YB1602)、数字万用表 (DT95038)、开关电源 (CL-D-60-T)、数字合成信号发生器 (YB3002-DDS)、毫伏表 (YB2172)、量角器、秒表等。

#### 4.1 手动转动帆板转角测试

将帆板和风扇的距离调整到适当位置，用手转动帆板，同时观察量角器上显示的帆板角实际值和液晶显示器上的显示值，记下数据。结果如表 1 所示。

表 1 测试结果 1

测量参数	数值
量角器读数/(°)	0 10 11 12 13 14 15 20 30 40 50 60
液晶显示/(°)	0 11 10 14 10 15 11 22 33 39 50 61
绝对误差/(°)	0 1 -1 2 -3 2 -4 2 3 -1 0 -1

从以上数据可知，手动测量时，分辨率可达到 1°，显示范围为 0°~60°，绝对误差 ≤ 5°，达到设计要求。

#### 4.2 间距 10 cm 时帆板转角基本测试

将帆板和风扇的距离调整到 10 cm，通过按键控制风扇的转速来调整帆板的转角，同时观察量角器上显示的帆板角实际值和液晶显示器上的显示值，记下数据。结果如表 2 所示。

表 2 测试结果 2

参数	数值
量角器读数/(°)	0 10 11 12 13 14 15 20 30 40 50 60
液晶显示/(°)	0 11 10 14 10 15 11 22 33 39 50 61

由上表数据可知，在  $d=10$  cm，通过按键控制风力大小，角度显示范围为 0°~60°，达到设计要求。

#### 4.3 间距 10 cm 时帆板转角实时功能测试

将帆板和风扇的距离调整到 10 cm，按下按键 14，当听到蜂鸣器的响声和 LED 灯光报警时，记录下此时秒表的记录时间、液晶显示值和量角器的读数，结果如表 3 所示。

表 3 测试结果 3

参数	数值
测试次数	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
量角器读数/(°)	45 46 44 45 46 45 45 48 43 45
液晶显示/(°)	45 45 45 45 45 44 44 45 45 45
完成时间/s	2 2.5 1.8 2 2.5 2 3 2.8 2.5 2

由上表数据可知，在  $d=10$  cm 处， $\theta$  能稳定在  $45^\circ \pm 5^\circ$  范围内， $\theta$  值能实时显示，整个过程在 5 s 内完成，同时有声光提示，达到设计要求。

以 LM3S811 ARM 微控制器为控制核心，设计并实现了帆板的自动控制，并进行了详细的实验测试和数据分析；利用 ARM 芯片的智能控制，实现了 PWM 调压和 PID 转速调节，使得帆板能较快且较准确地达到设定角度，并具有较好的稳定性。系统软件设计简单，计算量小，测试角度误差小，完全满足设计要求。实验测试数据证实了该设计具有一定的理论研究意义和实用性<sup>[7]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 宁秋平. 基于 AVR 单片机帆板控制系统的设计[J]. 世界电子元器件, 2012(12): 51-53.
- [2] 崔鸣, 尚丽. 基于 ARM 的帆板控制系统设计与实验分析[J]. 实验室研究与探索, 2012, 9(1): 57-90.
- [3] Luminary Micro Co. Ltd. LM3S811 Microcontroller DataSheet [EB/OL]. [2011-07-20] <http://focus.ti.com.cn/cn/docs/prod/folders/print/lm3s811.html>.
- [4] [英] 姚文详. ARM Cortex-M3 权威指南[M]. 宋岩译. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.
- [5] 王效华, 牛思先. 基于单片机 PWM 控制技术的实现[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(1): 94-98.
- [6] 李繁, 曾炼成, 严剑. 基于 LM3S811 的时间触发多任务调度器设计[J]. 计算机与现代化, 2011(12).

(收稿日期: 2013-06-03)

#### 作者简介:

徐明, 男, 1977 年生, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 嵌入式系统。

徐国洪, 男, 1963 年生, 副教授, 硕士, 主要研究方向: 数字信号处理。