

# 基于 MEMS 的微型飞行器姿态测量系统\*

曹晓棠, 石云波, 周兆英, 刘绍鹏, 郭 奇, 赵 斐

(中北大学 电子测试技术国家重点实验室, 山西 太原 030051)

**摘 要:** 利用三轴加速度计和三轴磁强计, 设计了基于 MEMS 技术的微型飞行器姿态测量系统。系统采用 C8051F 单片机进行各传感器的数据采集, 通过串口通信将采集的信息发送到上位机, 用四元数解算算法进行数据融合和姿态解算, 将俯仰角、横滚角、航向角等信息在上位机界面上显示出来。

**关键词:** 微机电系统; 姿态测量; 上位机

**中图分类号:** TP217.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-9787(2013)02-0122-02

## Attitude measurement system for micro air vehicle based on MEMS\*

CAO Xiao-tang, SHI Yun-bo, ZHOU Zhao-ying, LIU Shao-peng, GUO Qi, ZHAO Fei

(National Key Laboratory of Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Using three-axis accelerometer and three-axis magnetometer, an attitude measurement system based on MEMS for micro air vehicle is designed. The system uses C8051F MCU to collect datas of sensors, and datas are sent to upper PC by serial communication, then four element algorithm is used for data fusion and attitude calculation, the pitch, roll, heading angle is displayed on the interface of upper PC.

**Key words:** MEMS; attitude measurement; upper PC

### 0 引 言

姿态测量在机器人、微型飞行器<sup>[1]</sup>的位姿控制以及人体的姿态跟踪等方面起着非常重要的作用。它为飞控系统提供飞行数据, 进而实现更好的稳定飞行和轨迹预测。传统的姿态测量系统主要由高精度陀螺和加速度计组成, 体积较大, 结构复杂。微机电系统(micro-electro-mechanical system, MEMS)技术是将机械装置和集成电路集成在一个芯片内, 具有体积小、质量轻、功耗低等优点。本文设计的 MEMS 姿态测量系统集成了加速度计与磁强计, 利用 C8051F 进行数据采集, 通过无线传输, 将数据发送到上位机进行数据融合、姿态解算。整个电路体积小、质量轻、功耗低、性能可靠、使用方便。

### 1 测量原理

载体的姿态是相对参照系<sup>[3]</sup>而言的, 求载体的姿态, 即求载体坐标系相对于地理坐标系的姿态信息, 其中涉及到坐标系的转换。

#### 1.1 微加速度计测姿基本原理

加速度计是惯性导航和制导系统的基本测量元件之

一, 可以测载体的运动加速度, 并对加速度进行积分, 可得到载体的速度和位置等信息; 也可以在倾斜检测中测量静态加速度。

这里以单轴加速度为例说明其测量原理。当加速度计的某一敏感轴与重力加速度方向相同时, 其感应量对应  $g$ ; 当单轴加速度计的敏感轴与重力加速度方向相反时, 其感应量为  $-g$ ; 当物体姿态改变时, 加速度计敏感轴随物体转动角度, 则其感受到的加速度为  $a$ , 如图 1 所示。若定义  $\theta$  角如图 1 所示, 为单轴加速度敏感轴与水平面的夹角, 敏感轴的测量值为  $a$ , 如式(1),  $\theta$  角解算如式(2)

$$a = -g \sin \theta, \quad (1)$$

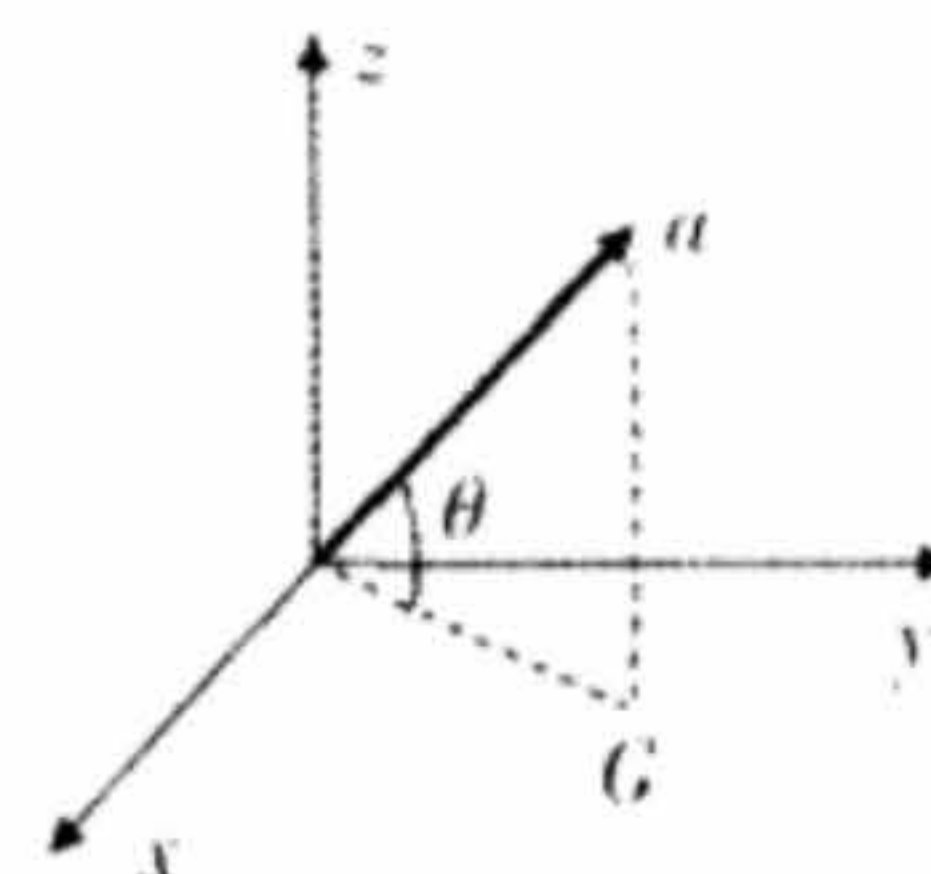


图 1 加速度计测量原理图

Fig 1 Diagram of measurement principle of accelerometer



$$\theta = -\arcsin \frac{a}{g} \tag{2}$$

1.2 微磁强计测姿基本原理

磁强计是用来测量磁感应强度的传感器,在姿态测量中多用于测量物体的方位角。建立“北-东-地”坐标系,如图2所示。 $H$ 为地球磁场,忽略磁偏角(大约为 $5^\circ$ ),磁倾角为 $\beta$ 。已知地磁场的大小约为 $0.5 \sim 0.6 \text{Gs}$ ,在水平面内分量与地球表面平行,指向地磁北极。初始位置定义: $X, Y$ 两轴位于平面内, $X$ 指向正北, $Y$ 指向正东。在图2中,当 $X, Y$ 两轴在平面内顺时针转过 $\psi$ 角时,在磁强计的 $X, Y$ 轴上测得的磁场强度分别是 $H_x, H_y$ 。根据磁强计测得的磁场值,即可获得航向角的信息如式(3)

$$\psi = -\arctan \frac{H_y}{H_x} \tag{3}$$

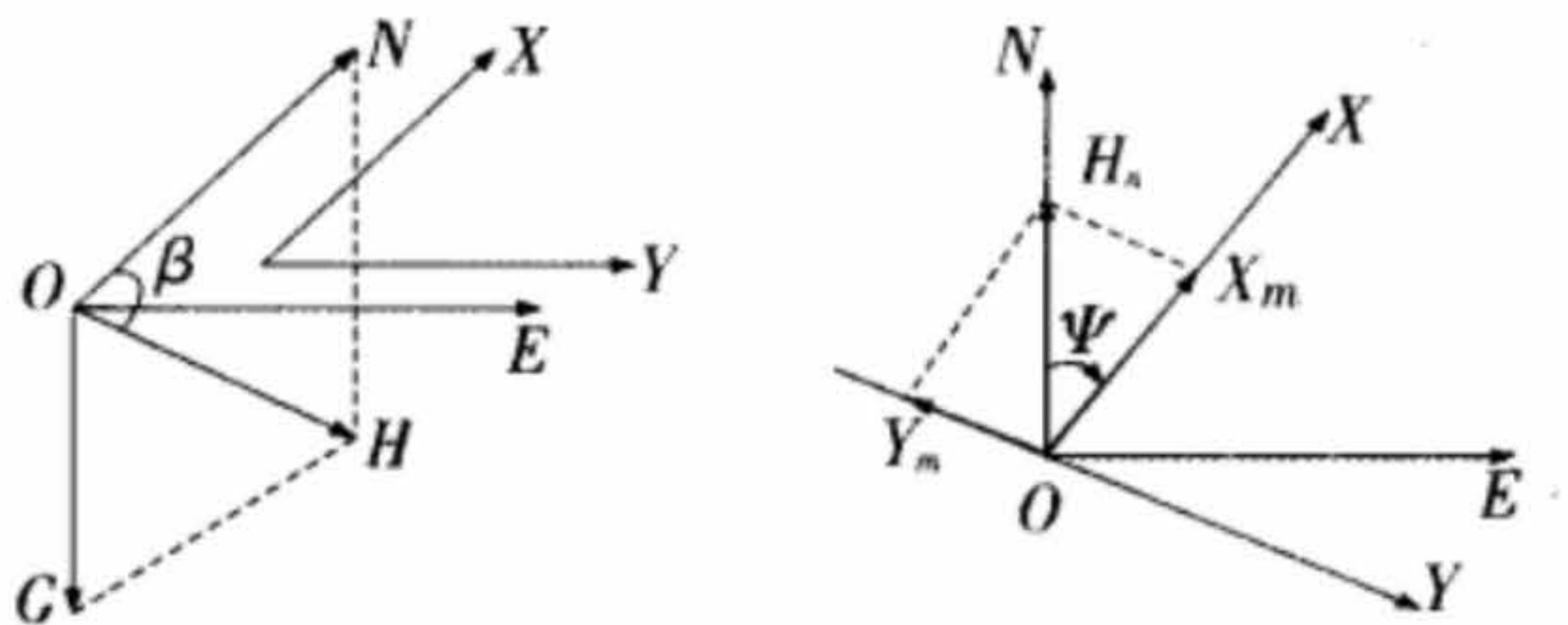


图2 磁强计方位解算原理图

Fig 2 Principle diagram of azimuth solution of magnetometer

2 硬件设计

本文所设计的无线姿态测量<sup>[4]</sup>系统包括电源模块、传感器模块、处理器模块、数据收发模块。系统结构如图3所示。

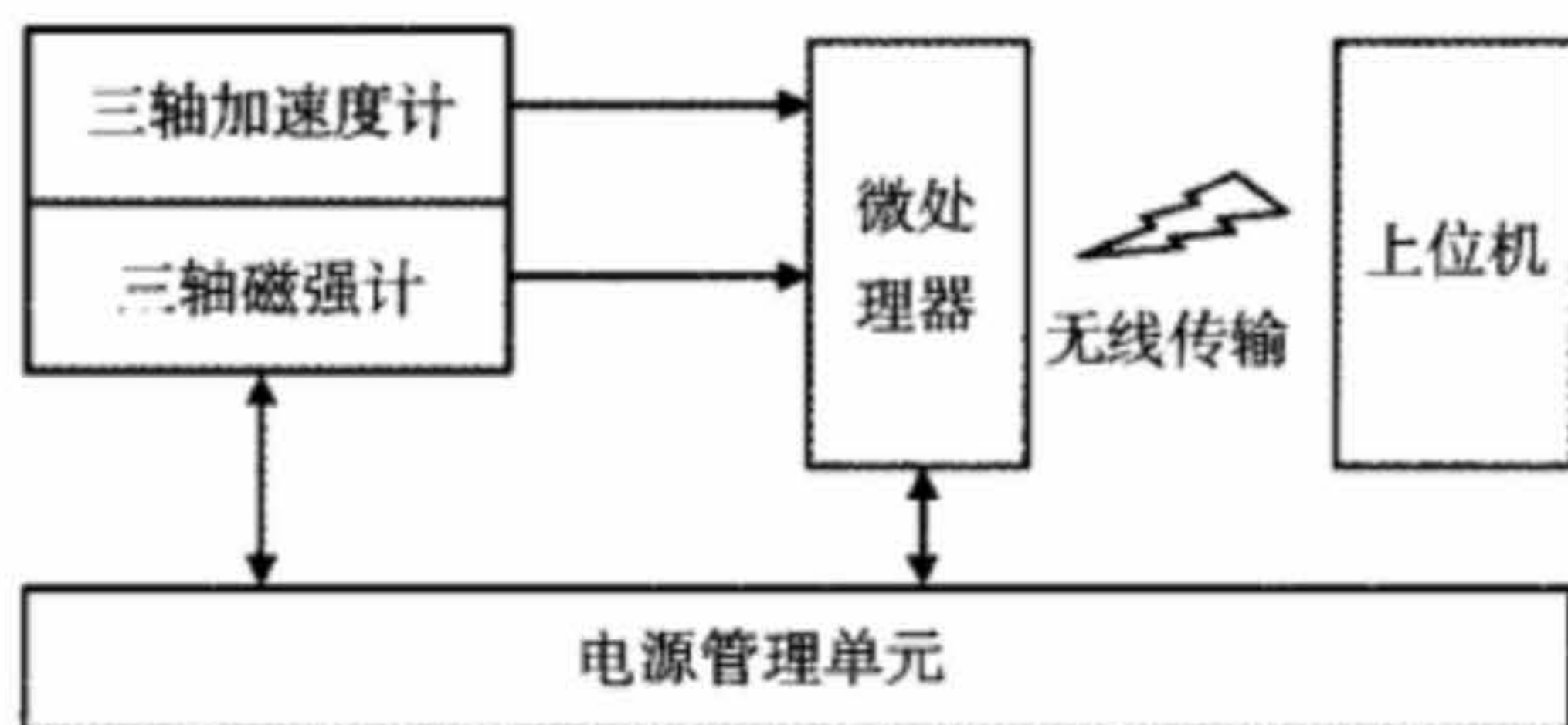


图3 硬件框图

Fig 3 Block diagram of hardware

电源模块包括一个电源接口和一个电源稳压芯片,为处理器和各传感器提供 $3.3 \text{V}$ 的电压,输入电压范围为 $2.6 \sim 12 \text{V}$ 。

传感器模块中包含三轴加速度计和三轴磁强计。2只传感器均采用数字接口。数字线性加速度计满量程为 $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16g_n$ ,10位ADC,灵敏度为 $256\text{LSB}/g_n$ 。磁强计的测量范围为 $\pm 4 \text{Gs}$ ,采用霍尼韦尔的各向异性磁阻技术,主要特点在于轴向高灵敏度和线性、固相结构、垂直轴间低灵敏度,用于测量地磁场的方向和磁力。它的分辨率可以达到 $7 \text{mGs}$ ,并且内部采用12位ADC,以保证对磁场强度的精确测量。压力传感器输出绝对大气压和温度信号,气压分辨率在 $0.024 \text{mbar}$ ,温度分辨率小于 $0.01^\circ\text{C}$ 。

微处理器<sup>[5]</sup>选用的是C8051F系列的单片机。它采用8051内核,包含ISP Flash存储器和JTAG接口,功耗低,运算速度可达 $50\text{MIPS}$ ,具有24个IO口,且有多种类型标准数字接口,如I<sup>2</sup>C, SPI, UART等。

数据收发模块中,通过UART(universal asynchronous receiver/transmitter)与上位机通信。它是一种通用异步串行数据总线,该总线双向通信,可以实现全双工传输和接收。因为计算机内部采用并行数据,不能直接把数据发到Modem,必须经过UART整理才能进行异步传输。

3 软件设计

本系统的软件分为单片机和上位机两部分。

单片机主要完成各传感器的数据采集和数据传输,在silicon laboratories IDE环境下对程序进行编译和在线调试。本模块采用 $24.5 \text{MHz}$ 的内部振荡器作为单片机时钟源,数据位8,停止位1,传感器数据采集频率为 $20 \text{Hz}$ 。单片机的流程图如图4。

上位机主要来完成数据的接收、数据融合<sup>[6]</sup>和姿态显示。界面主要显示有水平仪、磁罗盘和高度仪表盘以及解算出的俯仰、滚转、航向角和气压、温度、高度的实时数值。

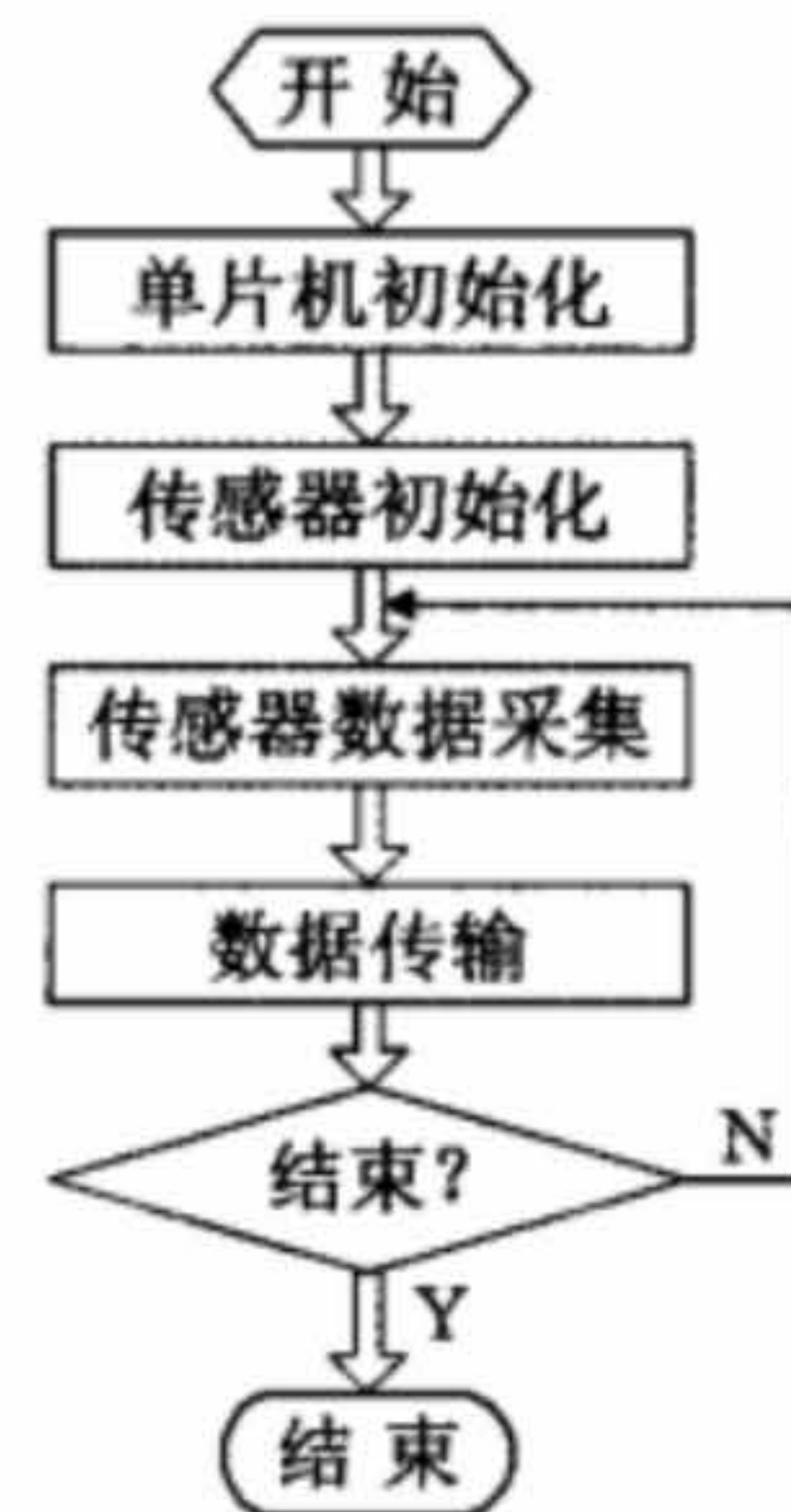


图4 单片机程序流程图

Fig 4 Program flow chart of MCU

4 实验结果

对设计的无线姿态测量系统采用四元数<sup>[7]</sup>算法进行姿态解算,有效避免了利用欧拉角解算时的奇异点问题。对其进行全姿态的角度测量。把其固定到转台上,每隔 $5^\circ$ 记录一组3个姿态角的输出。图5为转台转动一周,转台转角与各姿态角间的关系曲线。

5 结论

本文利用三轴加速度计和三轴磁强计与压力传感器设计了基于MEMS的微型飞行器无线姿态去测量系统,实验结果表明:该MEMS姿态测量系统能够测量的俯仰角为 $\pm 90^\circ$ ,横滚角为 $\pm 180^\circ$ ,航向角为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。俯仰角和横滚角的静态测量误差为 $\pm 0.8^\circ$ ,航向角的静态测量误差为 $\pm 1.2^\circ$ 。





图8 双模态图像采集系统

Fig 8 Dual-modal image acquisition system



图9 手指指节折痕与静脉图像

Fig 9 Images of finger vein and finger crease

节折痕图像。该系统为非接触式采集模式,成本低,且能够上位机采集软件中将 SVGA(分辨率  $800 \times 600$ ) 图像模式以 24 帧/s 的视频形式显示。因此,该系统采集的 2 种不同类型图像,能够实时提供给手指静脉与指节折痕双模态生物特征识别系统进行双模态识别算法研究与应用。

#### 参考文献:

- [1] Lu Yinghua, Fu Yao, Li Jinsong, et al. A multi-modal authentication method based on human face and palmprint [C]// Future Generation Communication and Networking, 2008: 193–196.

- [2] Fu Yao, Ma Zhixing, Qi Miao, et al. A novel user-specific face and palmprint feature level fusion [C]// Intelligent Information Technology Application, 2008: 296–300.
- [3] Kouno M, Ueki H, Umemura Shin-ichiro. Near-infrared finger vein patterns for personal identification [J]. Applied Optics, 2002, 41: 7429–7436.
- [4] Naoto M, Akio N, Takafumi M. Feature extraction of finger vein patterns based on repeated line tracking and its application to personal identification [J]. Machine Vision and Applications, 2004, 15(4): 194–203.
- [5] Takeda M, Uatosh S, Hiramatsu K, et al. Finger image identification method for personal verification [C]// Proceeding of the 10th International Conference on Pattern Recognition, 1990: 761–766.
- [6] Ribaric S, Fratric I. A biometric identification system based on eigenpalm and eigenfinger features [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(11): 1698–1709.
- [7] 李强, 裴正定, 孙冬梅, 等. 指横纹: 一种新的生物身份特征 [J]. 自动化学报, 2007, 33(6): 596–601.
- [8] 管凤旭, 王科俊. 基于自动调光功能的手指静脉图像采集系统 [J]. 电子技术应用, 2010, 36(10): 120–123.
- [9] 王晨晖, 管凤旭, 宋新景, 等. 掌纹和三维手形的多模态图像采集装置设计 [J]. 自动化技术与应用, 2011(7): 76–79.

#### 作者简介:

管凤旭(1973—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 副教授, 主要研究方向为生物特征识别、计算机控制及应用等。

(上接第 123 页)

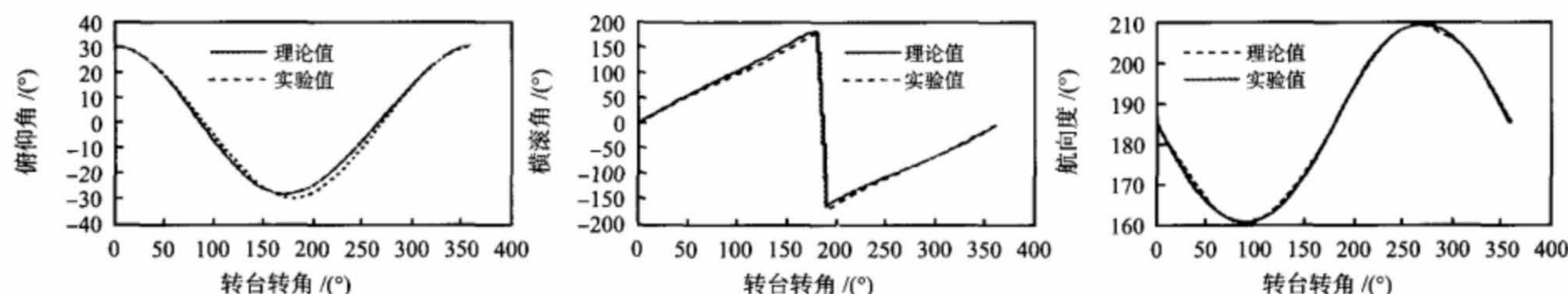


图5 静态误差测试结果

Fig 5 Test results of static error

#### 参考文献:

- [1] Zhu Rong, Zhou Zhaoying. A small low-cost hybrid orientation system and its error analysis [J]. IEEE Sensors Journal, 2009, 9(3): 223–230.
- [2] 王立代, 熊沈蜀, 周兆英. 基于 MEMS 压力传感器的微小型空速计 [J]. 清华大学学报, 2005, 45(8): 1066–1068.
- [3] Wu Huaiyu, Sun Dong, Zhou Zhaoying. Model identification of a small-scale air vehicle for loitering control design [C]// Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2004: 4035–4040.
- [4] 刘歌群. 小型无人机飞行控制器的硬件设计 [J]. 计算机测量

与控制, 2003, 11(2): 144–146.

- [5] 袁锁中. 数字式无人机飞行控制系统研制 [J]. 计算机测量与控制, 2003, 11(1): 64–68.
- [6] Zhu R, Sun F, Zhou Z Y, et al. A linear fusion algorithm for attitude determination using low cost MEMS-based sensors [J]. Measurement, 2007, 40(3): 322–328.
- [7] 付梦印, 邓志红, 张继伟. Kalman 滤波理论及其在导航系统中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.

#### 作者简介:

曹晓棠(1985—), 女, 山西临汾人, 硕士研究生, 主要从事微系统集成与微型飞行器测控技术研究。