

# 基于声音传感器阵列的空间定位系统

崔燕南, 刘永康, 李开良, 朱松盛, 王伟

南京医科大学生物医学工程系, 南京 210029

**摘要** 声源定位技术在视频会议、语音识别、目标定位和助听装置等领域有着重要的应用。声音传感器阵列相比单个声音传感器来说,除了可以提高信噪比外,还能够实现声源的定位和跟踪。本文采用 TI MSP430F149 单片机为声音传感器阵列空间定位系统的控制核心,选择蜂鸣器为声源,空间坐标系上的各接收器对采集到的声音信号进行放大和滤波处理,单片机控制器根据各接收器处理后的信号,运用基于时延的定位理论形成空间坐标系定位算法,定位声源。

**关键词** 空间定位;信号捕获;声音信号处理;MSP430F149

**中图分类号** TP302

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)19-0046-04

## Spatial Positioning System Based on the Sound Sensor Array

CUI Yannan, LIU Yongkang, LI Kailiang, ZHU Songsheng, WANG Wei

Department of Biomedical Engineering, Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

**Abstract** The source location technology has an important application in areas such as video conference, voice recognition, target location and hearing devices. Sound sensor array is composed by certain sound sensors. Compared with a single sound sensor, it can improve SNR. It has strong space selective and is available to sound signal without moving. At the same time, it can realize the self-adaptive detection, localization and tracking of sound source in a certain range, which makes it have wide application in many areas. How to blend the audio data from each node to achieve the accurate positioning and tracking is a hot study at present. This paper uses TI's MSP430F149 MCU as the control core of the sound sensor array spatial positioning system, selects a buzzer as the sound source. Different receiving points which on the space coordinate system collects sound signals to amplify and filter. According to the processed signal, MCU applies the positioning theory based on delay to form space coordinate localization algorithm and locate the sound source. The realization method is simple and test results indicate the position of high precision.

**Keywords** spatial position; signal capture; sound signal processing; MSP430F149

### 0 引言

声音传感器阵列<sup>[1]</sup>是指由一定的几何结构排列而成的若干个声音传感器组成的阵列,它具有很强的空间选择性,且不需要移动声音传感器即可获取声源信号,同时还可在一定范围内实现声源的自适应检测、定位及跟踪,这使得它被广泛应用于诸多领域。

如何融合声音传感器阵列中各个节点采集的音频数据、实现声源的精确定位和跟踪,是目前的一个研究热点。目标定位通常用 3 种类型的物理量进行计算<sup>[2]</sup>:接收信号的强度 (RSS)、到达时延/时延差 (TOA/TDOA) 和到达方向/到达角

(DOA/AOA)。在传统的简单波束形成器中,权值取决于各阵元上信号的相位延迟。后来出现的一些更复杂的波束形成系统对信号进行了滤波,根据不同的滤波器形成了不同的算法。本设计采用 TOA/TDOA 方法和基于空间坐标系的定位算法,利用 MSP430F149 实现系统控制,实现方法简单,测试结果表明定位精度较高。

### 1 硬件设计

#### 1.1 系统硬件设计概述

本设计主要实现声源的空间定位。为了完成此功能,采

收稿日期:2010-05-19;修回日期:2010-09-06

基金项目:南京医科大学教育研究课题(NJ22229050)

作者简介:崔燕南,硕士研究生,研究方向为电子技术与医疗仪器,电子信箱:cynxyxx@yahoo.com.cn;王伟(通信作者),实验师,研究方向为电子技术与医疗仪器,电子信箱:dragon\_ww@163.com

用声音发送模块、声音接收和处理模块、控制器模块<sup>[3]</sup>。系统硬件模块设计如图 1 所示。

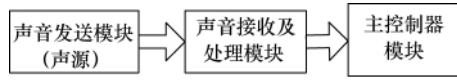


图 1 系统硬件模块设计框图

Fig. 1 System hardware module design diagram

### 1.2 系统电路连接及硬件资源分配

系统电路的连接及硬件资源分配如图 2 所示, 采用 Timer B 的 4 个捕获引脚和寄存器。

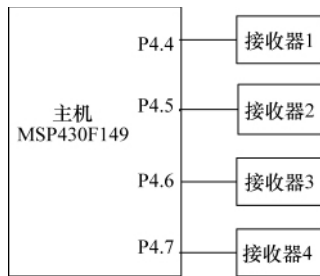


图 2 系统电路图

Fig. 2 System circuit

### 1.3 系统基本单元模块

#### 1.3.1 控制器模块

采用 TI 公司的 MSP430 系列型号为 MSP430F149 的单片机。这是一个特别强调超低功耗的单片机品种, 适用于采用电池供电的长时间工作场合。MSP430F149 带有 Flash 存储器, 灵活性较强。采用 16 位精简指令集系统 (RISC), 125ns 指令周期, 大部分的指令在一个指令周期内完成。MSP430F149 具有强大的中断功能, 内部有 2 个定时器: 带有 3 个捕获/比较寄存器的 16 位 Timer\_A 和带有 7 个捕获/比较寄存器的 16

位 Timer\_B, 可用于捕获声音信号, 记录时间差。

MSP430 的捕获功能是当外部有信号进来后 (触发), 将定时器 TxR 的值捕获到自己的锁存寄存器 TxCCR<sub>x</sub> (16 位可读可写) 中, 并可随时读出。捕获模式主要利用信号的正沿、负沿或正负沿的任一组合, 测量外部或内部事件; 也可由软件停止, 用于事件精确定位, 用于速度 (或频率) 或时间测量。本设计通过两次捕获外部事件即声音信号, 获得信号差。

#### 1.3.2 声音发送模块

蜂鸣器和三极管组成声音发送电路。该电路原理简单, 所用元器件较少, 控制方便。原理图如图 3 所示。蜂鸣器是电子电路中常用的发声器件, 分有源和无源两种。本设计采用无源蜂鸣器, 由三极管放大驱动电流驱动产生音频信号。

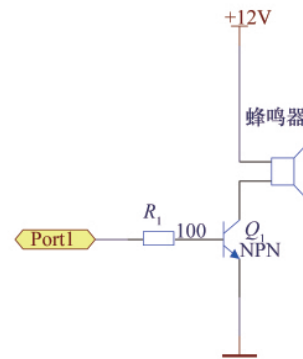


图 3 声音发送电路原理图

Fig. 3 Sound sender diagram

#### 1.3.3 声音接收和处理模块

采用麦克风接收音频信号, 经过简单的信号放大和滤波处理<sup>[4]</sup>, 由 555 触发器构成的单稳电路产生较好的方波信号。声音接收及处理的电路原理图如图 4 所示。

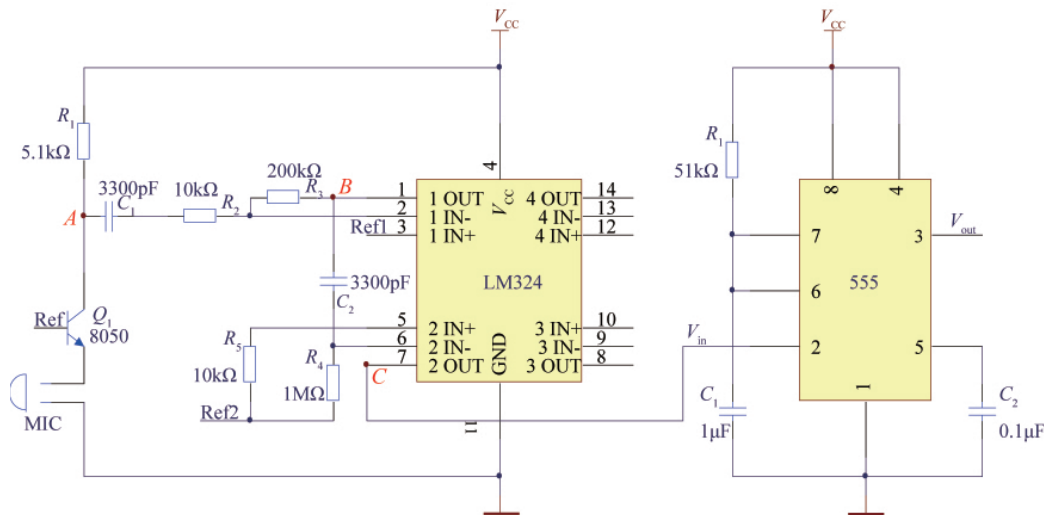


图 4 声音接收电路原理图

Fig. 4 Sound receiver diagram

MIC 接收的声音信号经三极管  $Q_1$  放大至  $A$  点, 经过电容  $C_1$  的隔直滤波和比较器 1 的放大作用输出至  $B$  点,  $B$  点输出电压再经过电容  $C_2$  和比较器 2 输出至  $C$  点。  $C$  点的输出电压经过 555 触发器组成的单稳态电路<sup>[6]</sup>, 将波形整形为方波。单稳电路的特点是在无外加触发信号作用时, 电路处于一种稳定工作状态, 称为稳态; 当输入端有外加触发脉冲信号的上升沿或下降沿作用时, 输出状态立即发生跳变, 电路进入暂时稳定状态, 称为暂稳态。滤波处理前后的波形如图 5 所示。

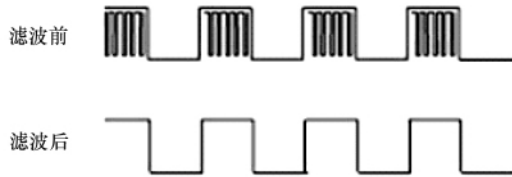


图 5 滤波处理前后的波形图

Fig. 5 Oscilloscope before and after filtering

## 2 软件设计

### 2.1 算法分析

声源空间定位示意图如图 6 所示。在空间坐标系的 3 个坐标轴和原点位置上分别固定 4 个接收器  $A, B, C, O$ , 坐标分别为  $(a, 0, 0), (0, b, 0), (0, 0, c), (0, 0, 0)$ 。声源  $S$  发出声波后, 4 个接收器先后接收到信号。由于不能测出信号到达的精确时间, 故利用时间差计算声源的位置。设声波沿媒介表面传播的速度为  $v$ , 接收器  $A$  和接收器  $O$  接收到信号的时间差为  $\Delta t_1$ , 接收器  $B$  和接收器  $O$  接收到信号的时间差为  $\Delta t_2$ , 接收器  $C$  和接收器  $O$  接收到信号的时间差为  $\Delta t_3$ , 则可移动声源  $(x, y, z)$  的位置为

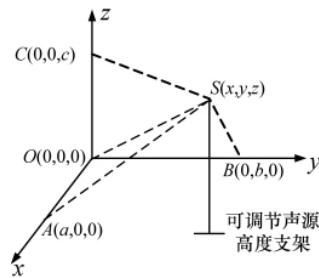


图 6 声源空间定位图

Fig. 6 Sound source location diagram

$$\begin{cases} \sqrt{(x-a)^2+y^2+z^2} - \sqrt{x^2+y^2+z^2} = \Delta t_1 \cdot v \\ \sqrt{x^2+(y-b)^2+z^2} - \sqrt{x^2+y^2+z^2} = \Delta t_2 \cdot v \\ \sqrt{x^2+y^2+(z-c)^2} - \sqrt{x^2+y^2+z^2} = \Delta t_3 \cdot v \end{cases}$$

### 2.2 程序流程图

MSP430F149 控制器的程序流程图如图 7 所示。

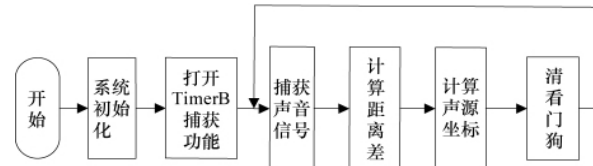


图 7 程序流程图

Fig. 7 Program flow chart

## 3 试验测试

### 3.1 测试结果

1) 以蜂鸣器为声源, 经放大电路放大和 555 触发器单稳态电路整形, 输出占空比为 1/5 的方波。利用示波器观察  $A, B, C$  点与  $O$  点接收到的周期性音频脉冲信号差, 如图 8 所示。

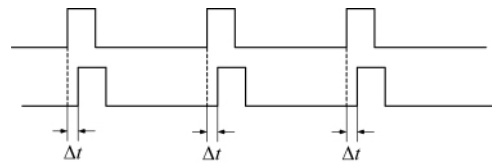


图 8 周期性音频信号

Fig. 8 Periodic audio signal diagram

2) 利用可调节高度支架调节声源的位置, 对声源分别为  $(50, 40, 30), (50, 50, 50)$  和  $(60, 55, 45)$  时进行测试, 每个位置点测试 5 次。3 个接收器  $A, B, C$  的坐标分别为  $(50, 0, 0), (0, 50, 0), (0, 0, 50)$ , 测试结果如表 1 所示。

### 3.2 测试结果分析

标准差  $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$ , 本测试  $n=5$ 。声源位于

$(50, 40, 30), (50, 50, 50)$  和  $(60, 55, 45)$  时的标准差如表 2 所示。

由表 2 可知, 本实验测得结果偏离原位置点的分散程度较小, 标准差均小于 1。测得结果中有个别数据由于外界干扰

表 1 声源定位测试结果 (单位: cm)

Table 1 Sound source location test results (unit: cm)

声源点	测量次数				
	1	2	3	4	5
(50, 40, 30)	(50.2, 39.8, 31.2)	(50.4, 41.0, 29.7)	(50.1, 40.3, 30.5)	(49.6, 39.7, 30.9)	(50.0, 40.8, 29.5)
(50, 50, 50)	(50.1, 49.2, 50.4)	(50.5, 50.2, 49.6)	(49.6, 49.3, 50.6)	(51.3, 50.8, 49.0)	(50.4, 50.7, 49.2)
(60, 55, 45)	(60.7, 54.8, 45.4)	(59.4, 54.3, 45.7)	(60.3, 54.8, 45.2)	(60.5, 54.7, 45.3)	(59.0, 54.2, 45.9)



表 2 声源定位测试结果误差计算 (单位:cm)

Table 2 Sound source location test results error calculation (unit: cm)

声源点	标准差		
	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
(50,40,30)	0.27	0.61	0.75
(50,50,50)	0.67	0.68	0.68
(60,55,45)	0.66	0.51	0.56

等因素,误差较大。

#### 4 结论

本设计以 TI MSP430 系列单片机 MSP430F149 为空间定位系统的控制核心,声音信号经模拟接收电路进行放大和滤波,单片机处理信号,定位声源。实验过程中,由于蜂鸣器的功率较低,导致接收器的接收信号范围受限;实验中无法保证球形声源,故不能保证各方向声音传播条件完全相同,因此也存在误差;若采用多个接收器形成多传感器阵列计算声源位置,可更精确。此系统仍存在误差,有待进一步改进。

#### 参考文献 (References)

- [1] 林志斌,徐伯龄.基于传声器阵列的声源定位[J].电声技术,2004,5:19-22.  
Lin Zhibin, Xu Boling. *Audio Engineering*, 2004, 5: 19-22.
- [2] 马登永,杨军.利用无线传感器网络实现运动声源的定位和跟踪[J].声学技术,2007,26(5):1024-1025.  
Ma Dengyong, Yang Jun. *Technical Acoustics*, 2007, 26(5): 1024-1025.
- [3] 王松武,于鑫,武思军.电子创新设计与实践[M].北京:国防工业出版社,2005.  
Wang Songwu, Yu Xin, Wu Sijun. *Electronic innovation design and practice*[M]. Beijing: Defense Industry Press, 2005.
- [4] 康华光,陈大钦,张林.电子技术基础:模拟部分[M].北京:高等教育出版社,2005:412-430.  
Kang Huaguang, Chen Daqin, Zhang Lin. *Electronic technology foundation: Simulation part* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005: 412-430.
- [5] 康华光,陈大钦,张林.电子技术基础:数字部分[M].北京:高等教育出版社,2005:414-421.  
Kang Huaguang, Chen Daqin, Zhang Lin. *Electronic technology foundation: Digital part* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005: 414-421.

(责任编辑 朱宇)

#### ·学术动态·



## “第37届国际高效液相色谱和相关技术会议及仪器展览会”征文

中国化学会将于2011年10月9—13日在大连召开“第37届国际高效液相色谱和相关技术会议及仪器展览会”。征文内容如下。

- 1) 分离科学原理:包括理论模型和数据分析;
- 2) 液相分离技术的研究进展:塔技术和固定相,整体柱和小颗粒超压和高温色谱法,微型分离和微全分析系统,微流控、芯片和纳米技术、微型检测、电分离技术,毛细管电泳样品制备方法;
- 3) 联用分离:LC-MS、CE-MS、LC-NMR及其他联用技术,多维分离技术,仪器仪表及检测方法;
- 4) 生命科学和药物发现的应用:代谢组学、蛋白质组学、糖组学,生物标志物的发现和验证,临床、法医和毒理分析,医药分离和分析,药物滥用和兴奋剂分析,天然产物分析,中医分析;
- 5) 其他方面的应用:食品安全,环境与农业分析,手性分离,聚合物分析,寡核苷酸分离。

联系方式:大连市中山路457号(116023)侯晓莉;电话:0411-84379520;传真:0411-84379559;电子信箱:hplc\_dalian@dicp.ac.cn。

#### 《科技导报》“智力休闲”栏目 征稿启事

“智力休闲”栏目包括填空补白、好玩的数学、推理小游戏、九宫填数4个子栏目,供读者读刊之余自娱自乐,并获取一些小知识。诚邀广大读者朋友为本栏目投稿,各子栏目文章基本要求如下。

- 1) 九宫填数:要求设计的游戏答案准确无误且唯一。
- 2) 填空补白:要求思想性、科学性、知识性和趣味性相统一,条目文字叙述力求准确、科学、严谨、精炼,尽量覆盖更多的知识面。
- 3) 好玩的数学:要求设计的游戏具备一定的趣味性和故事性。
- 4) 推理小游戏:主要强调游戏设计的推理性和故事性。

本栏目责任编辑:杨书卷;投稿信箱:yangshujuan@cast.org.cn。

