

2022 年陕西省大学生德州仪器 ( TI ) 杯  
模拟及模数混合电路应用设计竞赛  
设计报告封面

参赛队编号 (参赛学校填写)	学校编号		组 ( 队 ) 编号		选题编号
	2	3	0	1	E

说 明

1. 本页作为竞赛设计报告的封面和设计报告一同提交。
2. “学校编号”按照赛区组委会分配的数字填写；“组（队）编号”由参赛学校根据本校参赛队数按顺序编排，本科组学生选题队伍数字编排范围（01-50），高职高专组学生选题队伍数字编排范围（从 60 开始顺延）；“选题编号”由参赛队员根据所选试题编号填写。例如：“0105B”或“3367F”。

# 声源定位系统检测

## 摘要

本系统利用 LMX386 音频放大器实现对特制声源信号的放大，再通过 AD/DA 转化得到数字信号，利用 STM32F4 的定时器中断以及外部中断下降沿触发实现声源信号的采集，采用广义互相关函数估计时延，并通过 TDOA 算法进行准确计算计算出声源偏离监测点的距离以及偏离角。通过双曲线几何关系计算出的距离、角度并通过串口通信以 JSON 格式发出，STM32F1 对数据接收并进行解码并通过 OLED 屏幕将数据进行实时显示声源位置界面以及角度 $\theta$ 以及两点之间距离 $r$ ，人机交互界面可视化，直观在屏幕上显示声源位置。根据计算所得到的角度 $\theta$ 实现云台的转动以及对声源位置进行精准定位和声源跟随。

关键词：TDOA, 放大器, 下降沿触发, 并广义互相关函数, 声源定位

## 目录

1 系统方案.....	1
1.1 方案的选择与设计原理 .....	1
1.1.1 声源定位算法选用 .....	1
1.1.2 声源的制作与选择 .....	2
1.1.3 声音检测装置 .....	2
1.1.4 MCU 选用 .....	2
2 理论分析与计算.....	3
2.1 理论分析 .....	3
2.2 公式计算 .....	3
3 电路与程序设计 .....	5
3.1 设计流程图 .....	5
3.2 声源采集与计算 .....	6
3.3 云台控制与显示 .....	6
4 测试方案与测试结果 .....	6
参考文献 .....	8

# 1 系统方案

## 1.1 方案的选择与设计原理

本系统硬件主要声源发生装置，声音检测装置，MCU 控制组成，软件在与声源定位算法的设计与实现。下面分别论证这几个模块的选择。

### 1.1.1 声源定位算法选用

常用的信号定位算法主要有三大类：基于高分辨率谱估计的定位技术、基于可控波束形成（Beamforming）的定位技术和基于 TDOA 的定位技术，以上三种算法在阵列信号处理中，在信号处理中都有广泛的应用。但是声音信号与传统的电磁波信号存在许多的不同。我们对这几种方法进行改进在声音信号中采用了几种方案。

方案一：TDOA 的声源定位算法运算量小、算法简单易实现、定位精度较高、硬件成本低的特点，应用非常广泛，而且可以实现实时定位。算法实现原理简单，一般分为延时估计和声源定位两个部分，时延估计的精确度直接决定了声源定位的精度。

我们通过 4 个 LMX386 组成一个矩阵获得声源到各个麦克风之间的时间差。通过提高 MCU 的时钟频率来提高获得时间的精度。通过时间差建立 TDOA 数学模型，声源到一组 LMX386 的距离会有一个双曲线，两组 LMX386 可以得到两个双曲线的一个焦点，我们通过双曲线的定义可以得到焦点的坐标，进而求得声源到检测器的距离以及角度。基于 TDOA 算法麦克风阵列如下图所示。

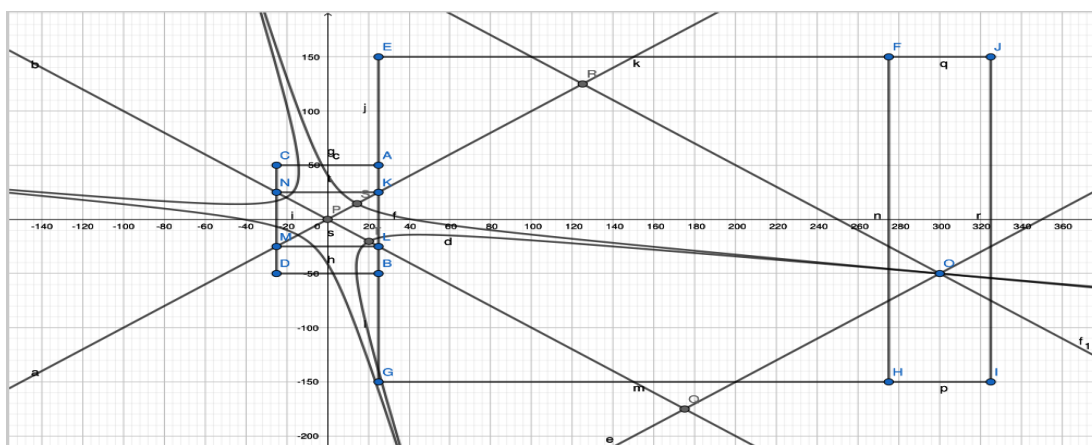


图 1 基于 TDOA 算法麦克风阵列

方案二：基于高分辨率谱估计的定位技术。传统的阵列处理的信号中的噪声一般为不相关的高斯噪声，声音信号中既有相关的高斯噪声，也有非高斯噪声。

对采集到的信号进行 FFT 变换得到频谱图，对频谱图进行频域的分析，通过相关系数分析来确定声源的位置，确定声源在 D 区域内的位置确定，因此采用方案一

### 1.1.2 声源的制作与选择

方案一：采用单片机产生方波再通过 PAM8403 功放使风鸣器发出声音，音源可通过功放调节声音音量，通过单片机输出不同方波信号改变蜂鸣器发出声源的频率。但是由于制作精度不够，不能很好的稳定特定频率声音。

方案二：采用市面上制作好的音箱做为音源，可通过软件生成拾音器特别灵敏的频率声音源。使得拾音器能够精确的捕捉到声音变化的下降沿，从而获得较为精确的时间差。

因此选用方案二音箱作为生源发生装置。

### 1.1.3 声音检测装置

采用 LM386 麦克风放大模块作为声音采集装置，LM386 是一种音频集成功放，具有自身功耗低、更新内链增益可调整、电源电压范围大、外接元件少和总谐波失真小等优点的功率放大器。采用 LM386 采集到的声音范围广，失真小，能较为精准并快速的捕获声音波形。同时采用四个麦克风组成麦克风阵列，对声源分别进行采集，从而得到两两麦克风之间的时间差。

### 1.1.4 MCU 选用

方案一：采用 stm32 系列 MCU 作为主控题目。题目要求精准定位以及准确跟踪，因此我们选取两款 MCU 将定位与跟踪分隔开来以减少误差。

STM32F4 具有 168KHZ 的时钟频率，计时时间可以达到 500ns，可以精准的计时，有效的减少时间误差，我们使用 STM32F4 进行实现对声源的采集，以及 TDOA 算法的实现。

STM32F1 可以通过定时器进行输出稳定的 PWM 波，可以精准的控制云台的转动，实现对声源的跟随与定位。利用的 GUI 技术对 OLED 屏幕进行操作显示声源在 D

区域内的实时位置以及距离坐标角度值。

方案二：采用一款 STM32 一款 MCU 来实现声源的控制与跟踪，MCU 的数量减少了，但是在采集和控制云台进行跟踪时，采集数据以及 OLED 屏幕显示会占用大量的资源，会使误差偏大。而且 STM32F1 的主频最高只有 72KHZ，声音传播的时间十分短暂，精度上会带来较大的影响，因此采用方案一。

## 2 理论分析与计算

### 2.1 理论分析

由于我们需要采用 DTOA 算法，需要得到两两拾音器之间的时间差，在麦克风阵列几何形状已知的情况下，声源定位问题变为对时延的估计问题。时延估计常用的有很多种比如使用广义互相关函数(Generalized Cross Correlation, GCC)估计时延，或者使用倒谱分析进行时延估计等，这里介绍常用的基于广义互相关函数时延估计方法。

互相关函数已经非常常用了，而广义互相关函数是为了减少噪声和混响在实际环境中的影响，在互功率谱域使用加权函数加权，然后经过 IFFT 运算后找到峰值估计时延，其流程如下图所示：

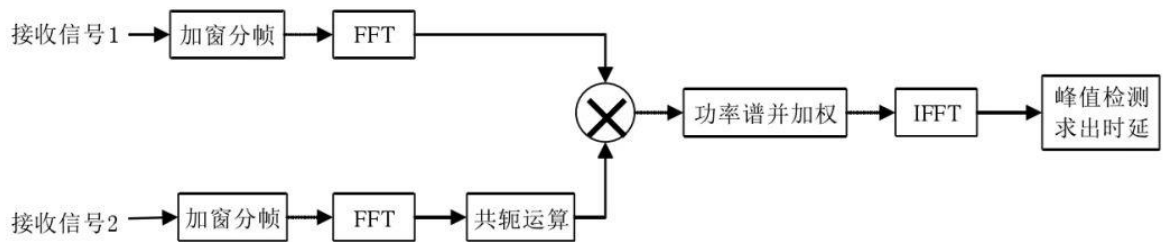


图 2 估计时延流程图

### 2.2 公式计算

我们将各个 LMX386 麦克风的位置分别记为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$ ,

根据双曲线几何公式可得：

$$r_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (1)$$

$$r_{i,1} = r_i - r_1 = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} \quad (2)$$

$$K_i = x_i^2 + y_i^2 \quad (3)$$

$$r_i^2 = x_i^2 + y_i^2 = K_i - 2x_i x - 2y_i y + x^2 + y^2 \quad (4)$$

$$r_{i,1}^2 + 2r_{i,1}r_1 = x_i^2 + y_i^2 - 2x_i x - 2y_i y + 2xx_1 + 2yy_1 - (x_1^2 + y_1^2) = r_i^2 - r_1^2 \quad (5)$$

根据 (1) (2) (3) (4) (5) 可以消除了未知数的平方项，仅保留一系列的线性方程：

$$\begin{cases} x = \frac{y_{2,1}r_{3,1}^2 - y_{3,1}r_{2,1}^2 + y_{3,1}(K_2 - K_1) - y_{2,1}(K_3 - K_1) + 2(y_{2,1}r_{3,1} - y_{3,1}r_{2,1})r_1}{2(x_{2,1}y_{3,1} - x_{3,1}y_{2,1})} \\ x = \frac{x_{2,1}r_{3,1}^2 - x_{3,1}r_{2,1}^2 + x_{3,1}(K_2 - K_1) - x_{2,1}(K_3 - K_1) + 2(x_{2,1}r_{3,1} - x_{3,1}r_{2,1})r_1}{2(x_{3,1}y_{2,1} - x_{2,1}y_{3,1})} \end{cases} \quad (8)$$

$$r_{i,1}^2 + 2r_{i,1}r_1 = (K_i - K_1) - 2x_{i,1}x - 2y_{i,1}y \quad (7)$$

$$2x_{2,1}x + 2y_{2,1}y = (K_2 - K_1) - (r_{2,1}^2 + 2r_{2,1}r_1) \quad (8)$$

$$2x_{3,1}x + 2y_{3,1}y = (K_3 - K_1) - (r_{3,1}^2 + 2r_{3,1}r_1) \quad (9)$$

通过 (6) (7) (8) (9) 可以得到生源距离麦克风阵列中心点距离：

$$x = \frac{y_{2,1}r_{3,1}^2 - y_{3,1}r_{2,1}^2 + y_{3,1}(K_2 - K_1) - y_{2,1}(K_3 - K_1) + 2(y_{2,1}r_{3,1} - y_{3,1}r_{2,1})r_1}{2(x_{2,1}y_{3,1} - x_{3,1}y_{2,1})} \quad (10)$$

## 3 电路与程序设计

### 3.1 设计流程图

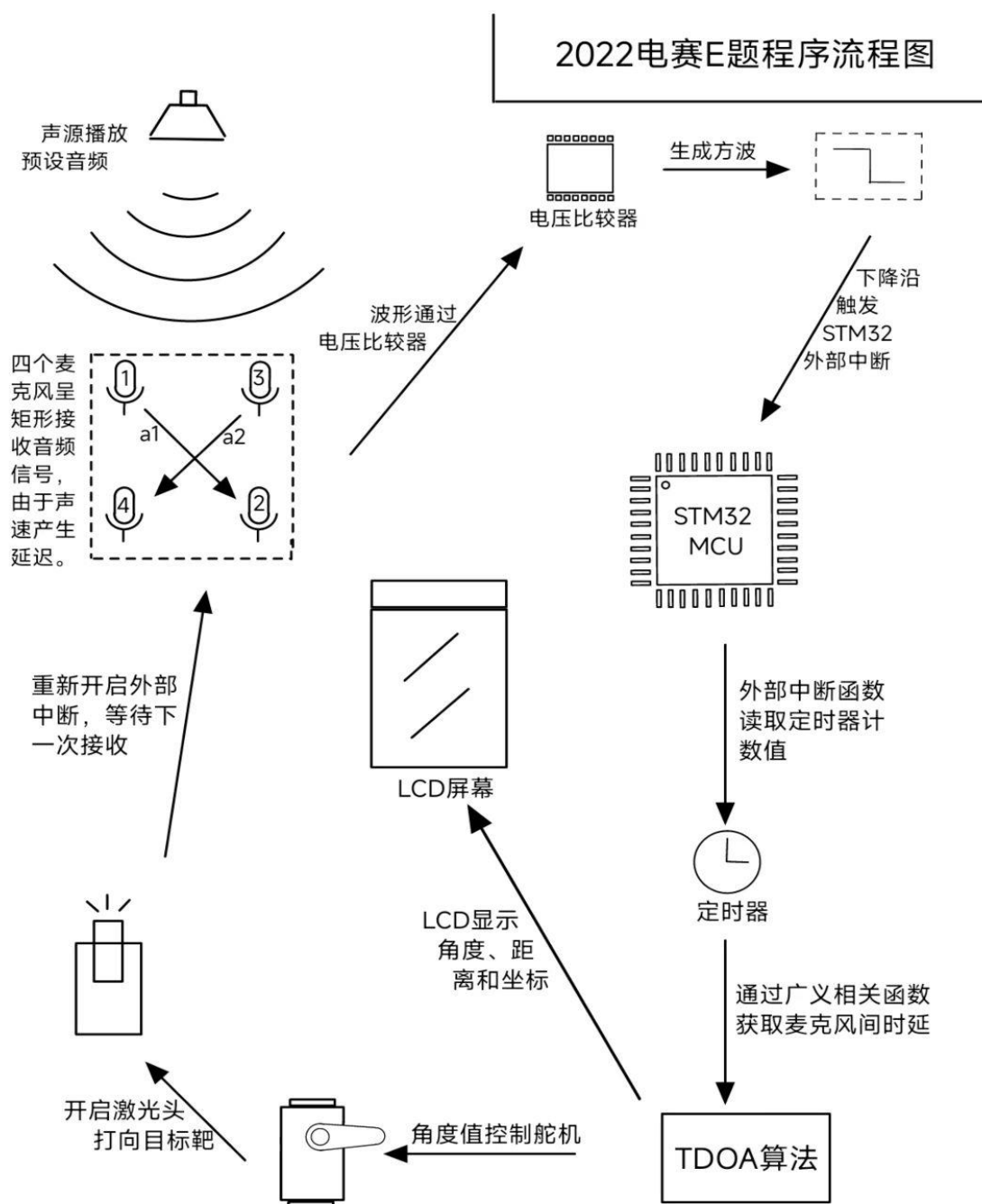


图 3 声源跟踪系统流程图



### 3.2 声源采集与计算

利用 STM32F4 的定时器 1 进行 1nm 的定时，来进行计时，通过 4 个外部中断来采集声源信息从而通过得到时间差，利用广义相关函数和 TDOA 算法得到精准角度，并将数据打包成 JSON 格式发送到 STM32F1 单片机。

### 3.3 云台控制与显示

通过 STM32F1 对 STM32F4 发来的数据进行解码并在 OLED 显示屏上显示角度，距离，以及实时位置。通过得到的角度给云台舵机合适的 PW 值，从而调整云台的角度使激光笔打到 D 区域内声源的中心。

## 4 测试方案与测试结果

通过多次测量得到测量值如下表：

位置	A、B 两点直线距离 $\gamma$ 单位：cm	AB 在地面的投影与图 1 中心线 的夹角 $\theta$ 单位：°
左侧	330.598466	26.555585
	332.456844	25.845654
	333.895464	26.456145
中间	300.057417	2.138763
	302.256841	-1.598421
	300.236948	-0.568194

右侧	334.256454	-25.628214
	333.594551	-26.894524
	333.956411	-25.256424

通过对多组测量值的分析发现声源跟踪检测系统能精确的定位生源，可将控制误差在 3cm 以内，最终验证算法的可靠性与系统的稳定性。

## 参考文献

- [1].黄桂根,傅有光,武月婷; 一种改进的基于 TDOA 统计的信号分选算法[J]
- [2].赵秋惠,周谷.一种改进的信号分选算法[J]. 信息化研究
- [3].张松复杂条件下的运动目标检测与跟踪算法研究[D]. 扬州大学. 2019
- [4].王丽被动侦探测下的多目标数据关联与定位算法研究[D].电子科技大学.2021