

# 基于非线性声学原理的音频定向传播器

高立尧 / 广东省广州市广东实验中学

指导教师 王 剑 全汉炎

## ◎ 项目背景

在一些对于环境要求较高的场合，需要一些高指向性的声音。例如商场中、汽车上、飞机上、餐厅里、游戏室、网吧、多国会议等都是这样的场合，都需要局部声音且不同区域之间的声音不能相互干扰。

上世纪 60 年代初韦斯特维尔特 (Westervelt) 提出了非线性声学原理。随着非线性声学的发展，声学研究获得了巨大的突破，改变了人们习惯上认为低频声波不可能形成尖锐指向性的观念，实现了既具有尖锐指向性同时又具有穿透性的低频非线性声波。

非线性声波的优点在于：

- ◆ 相对工作波长小尺寸的辐射器，可以得到高指向性的波束；
- ◆ 在低频下可以获得很宽的相对频带宽度；
- ◆ 几乎没有旁瓣，可以很好地提高设备的精度；
- ◆ 具有低频的穿透性，可以广泛应用声频定向技术。

## ◎ 仪器设计

### ➤ 仪器设计原理

2 列不同频率的超声波在空气中同向传播时，由于非线性传播的原因，2

列超声波会发生交互作用和自解调而产生频率为原 2 列超声波的频率之和（和频）与频率之差（差频）的新波。如果原超声波频率选择合适，使差频声波的波长处在可听声域，即可产生可听声，就如同用超声波在空气中建立了虚拟声源。超声波因在空气中耗散衰减快而传播距离近，可听声则可传播较远的距离。由于超声波传播的高指向性，使得由超声波差频产生的可听声波也具有较高的指向性。仪器原理见图 1。

### ➤ 超声波发生器的选择与配套电路设计

根据仪器设计的需要，我选用了

TCT40-16T 超声波发生器，见图 2。

单片机 STC12C5604 作为整个系统的控制核心，人体红外传感器、光强传感器及红外遥控接收到的信号都是它的输入信号，通过编写程序对这些信号作出不同的决策，输出控制信号对步进电机或者发声模块进行控制。系统电路原理见图 3。

该电路主要是给单片机提供电源，由 C1、C2 和晶振组成的时钟振荡电路及复位电路使单片机正常工作。其中晶振为 12M，所以该单片机工作时的时钟周期为  $1/12\mu\text{s}$ 。

除了单片机外，仪器还包括自动感

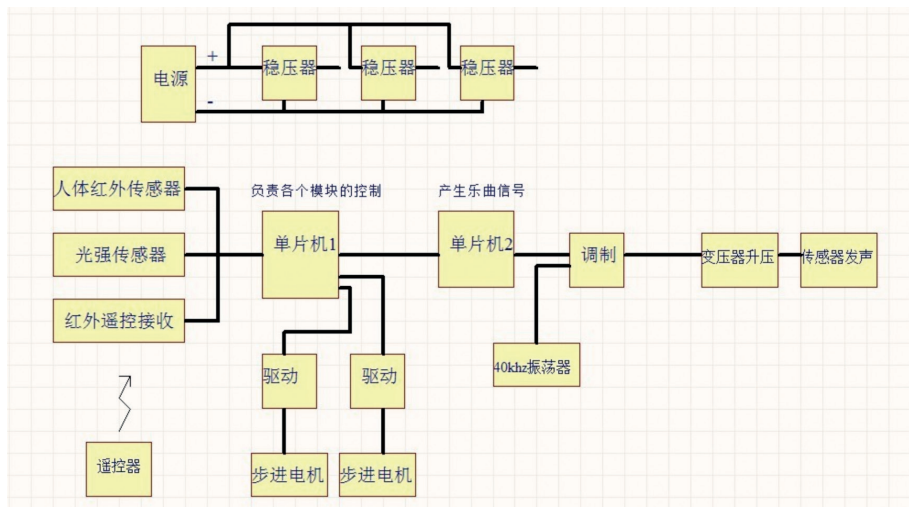


图 1 定向传声器原理

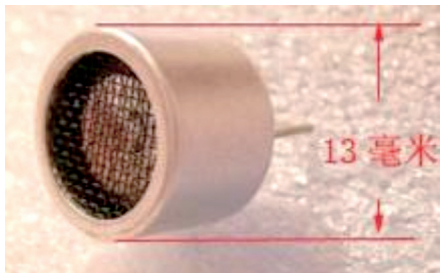


图2 超声波发生器实物

应模块、角度控制模块、红外遥控接收电路、功率放大电路和发声电路。

自动感应模块可以检测光照强度以及红外辐射强度。当光照强度较大、并且有人站在该装置前面时，红外辐射强度增大，从而触发系统控制发声部分工作。

角度控制模块有2个发声阵列，可以调节角度。用步进电机作为动力装置，可以实现较为精确的角度控制。

红外遥控接收电路使用红外接收一体管1838，其内部电路包括红外监测二极管、放大器、限幅器、带通滤波器、积分电路、比较器等。

功率放大部分采用共射放大电路，输出给超声波传声器的电压幅值最大接近50V。

发声电路中的乐曲信息已编程在另一片单片机的ROM里面，该单片机负责输出乐曲调制信号，另外有一40kHz

载波信号发生器，通过1个与门实现ASK调制。

### ◎ 制作过程

#### ➤ 电路模块的焊接

根据上述电路模块设计方案，将各个模块分开焊接制作。这样做的好处是当某个模块出现问题时，不会影响整个系统的工作，只要改变该模块的设计就可以了。电路比较简单的模块我们用洞洞板焊接制作，而复杂一点的模块则采用覆铜板热转印的方法制作印刷线路板。

#### ➤ 软件调试

电路模块制作并焊接完成以后，就要对主控制器以及乐曲发生器的2片单片机进行程序烧录及调试。计算机通过1根串口线连接单片机的下载接口，用keil C软件编写代码，生成需

要的.HEX文件，并通过STC-ISP烧录软件将程序烧录进单片机，然后重启整个系统，让单片机运行我们烧录进去的代码，测试各个模块运行是否正常，如果不正常，则重新修改代码，再次烧录并测试，这样反复进行调试，直到所有功能都实现为止。

#### ➤ 模型组装

将所有模块用胶枪固定在1块基板上，用铜柱作支撑，用有机玻璃板进行包装。2个发声阵列四周用吸音棉包围，留下声音传播方向的口。定向传声器实物如图4所示。

#### ➤ 性能测试

◆ 红外遥控距离测试。手持红外遥控器，从最接近装置的正前方开始，一边远离装置，一边用遥控器进行操作。

◆ 角度调节器可调节角度测试。操作遥控器控制步进电机转动，直到

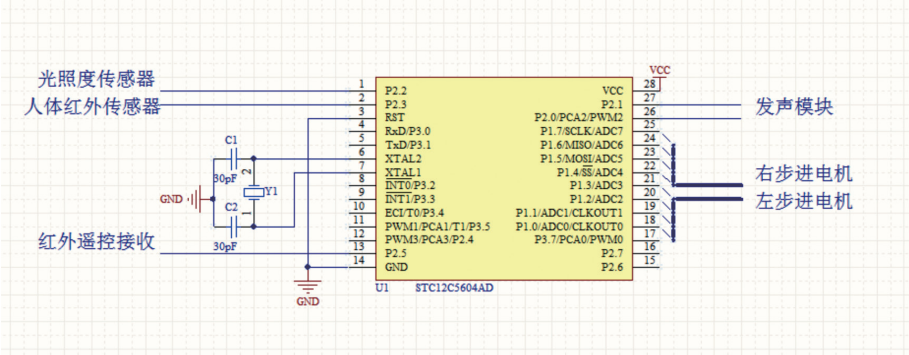


图3 单片机系统电路

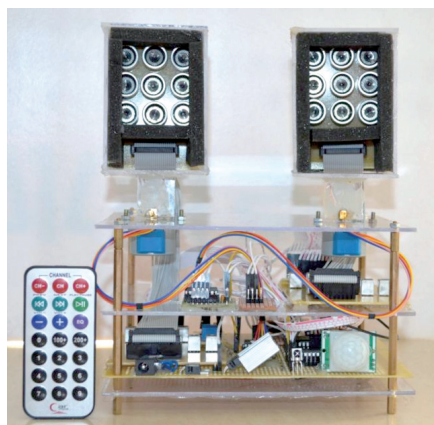


图4 定向传声器实物

连接线卡住转不动为止。经测试，步进电机极限旋转角度为  $220^\circ$ ，为保证装置正常可靠工作，选定旋转角度为  $180^\circ$ 。

#### ◆ 感应装置测试

选择自动感应模式，并且在白天情况下，测试者站于装置前一定距离处，观察自动控制效果。

由实验得出感应范围如图5所示。

用不透光物体遮挡光敏二极管，装置停止发声，说明光强检测电路工作正常。

#### ◆ 发声效果测试。

测试者站于装置前一定距离处，体

验发声效果。测试目的为判断声音的定向效果以及测试声波的发散角度。测试方法以健全人耳能听到为接收标准，在室外空旷处发射定向声波，由实验者根据发射距离接收发出的声音，测试发散角度。实验结果表明：该定向传声器具有一定的发射距离，且具有一定的定向发射特性，发射角度大约  $50^\circ$ 。

### ◎ 创新点

◆ 采用超声波发生器阵列，提高了声波的束射能量，能增大投射距离，并能获得较高的信噪比；

◆ 采用单发送阵列时，可实现音频信号的定向发射；

◆ 采用双发送阵列时，可实现音频信号的多方向发射；

◆ 智能化特点：能根据投射点的远近选择发射功率；具备红外感应器及光强感应器，投射器前端没有听众，或是夜晚的时候，能自动关闭投射装置。

### ◎ 推广前景

该仪器不但可以运用于安静的公共场所，而且可以让户外音频广告的声音限制于一定范围内传播，还可以应用于银行提款机语音提示信息、手机扬声器

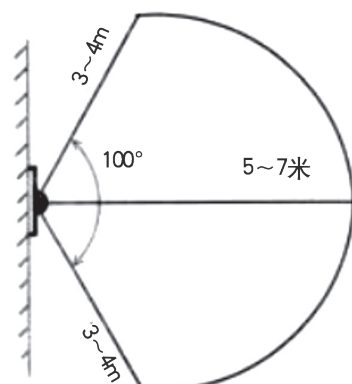


图5 感应范围

等场合。

目前声音定向传播器的国内外市场特别是国内市场基本还处于未开发状态，因此本项目的成果具有巨大的市场发展潜力。据匡算，本仪器的超声波发射电路、超声波转换器阵列、角度调节器等总支出在100元左右，非常符合学校、图书馆、家庭等使用对象的成本预期，有很好的价格优势。

该项目获得第28届全国青少年科技创新大赛创新成果竞赛项目中学组工程学一等奖。

### 专家评语

针对博物馆、图书馆等安静的场合，该作品设计了基于非线性声学原理的定向传音装置，选择了合适的声音频率，设计了阵列式传音器及功放电路，很好地实现了声音的定向传送。传音质量及音量有待进一步完善和提高。■