

基于四麦克风阵列的三维声源定位

王文龙¹ 张艳萍²

摘要

设计了一个三维声源定位系统,提出了一个新的系统模型,并对传统的基于声波到达时间差(TDOA)的算法进行了优化.通过检测麦克风接收到信号的时间差,结合已知的阵列元的空间位置确定声源的位置.该系统声源采集部分由4个阵列成正四面体的麦克风组成,算法的硬件实现由TMS320C5416DSP芯片完成.整个系统实现了声源定位的功能.

关键词

声源定位;DSP;麦克风;声程差

中图分类号 TP23;TE821

文献标志码 A

0 引言

Introduction

麦克风阵列声源定位有着广泛的用途,它可以用于高质量的语音识别软件的前端预处理,可用于强噪声环境下的声音获取(如飞机机舱),也可以用于电话会议、视频会议^[1-5]等系统中控制摄像头和传声器阵列波束方向对准发言人^[6-8],还可以用于助听器等装置中.目前麦克风阵列声源定位方法主要包括基于最大输出功率的可控波束形成技术、基于高分辨率谱估计技术和基于声波到达时间差(Time Difference of Arrival, TDOA)技术^[8-11],本文系统采用的是后者,因其计算量很小,加上DSP(数字信号处理)的高速运算性能,可以对声源实现实时的定位.麦克风阵列声源定位技术涉及到很多方面的理论知识,比较核心的就是阵列信号的处理,而信号采集的方式更是直接影响声源定位的准确性.通常为了追求精准的定位,一般三维定位阵列模型中采用的麦克风数量非常多,如圆形阵列、空间无限多麦克风阵列等.由于麦克风价格昂贵,多麦克风系统无法进入实际运用中.文献[12]基于双麦克风定位模型提出了基于麦克风阵列的二维平面定位算法,实现了声源的二维定位.

本文建立的采用四麦克风阵列的三维声源定位模型比以往多麦克风模型结构简单,容易实现量化生产,比二维定位实用性强.更小的搜索步长和正四面体空间结构弥补了因麦克风少使得精度低的不足.采用DSP芯片比以往借助PC机处理算法更快,可视化的终端方便使用者及时了解声源坐标.

1 系统模型和算法

System model and algorithm

如图1所示, m_1, m_2, m_3, m_4 分别代表4个相同的麦克风, S 代表声源.4个麦克风分别置于正四面体的4个顶点, m_1, m_3 在 x 轴上,且 m_1 在原点. r 表示4个麦克风之间的距离, d_1, d_2, d_3, d_4 分别表示声源到4个麦克风(阵元)的距离.每3个麦克风组成一个等边三角形.当任意一点 $S(x, y, z)$ 处有声音产生后,取麦克风 m_1 作为参考,则声源到达其他3个麦克风和麦克风 m_1 的时间差分别为 $\Delta t_{21}, \Delta t_{31}$ 和 Δt_{41} .假设当地的声速为 v ,则各麦克风之间的声程差分别为 $d_2 - d_1 = v\Delta t_{21}$, $d_3 - d_1 = v\Delta t_{31}$ 和 $d_4 - d_1 = v\Delta t_{41}$.则有

收稿日期 2010-05-05

作者简介

王文龙,男,硕士生,主要研究数字信号处理. wangwenlong_1981@yahoo.com.cn

张艳萍(通信作者),女,教授,硕士生导师,主要从事水声通信及数字信号处理的研究. zypgjc@163.com

1 南京信息工程大学 信息与控制学院,南京,210044

2 南京信息工程大学 电子与信息工程学院,南京,210044

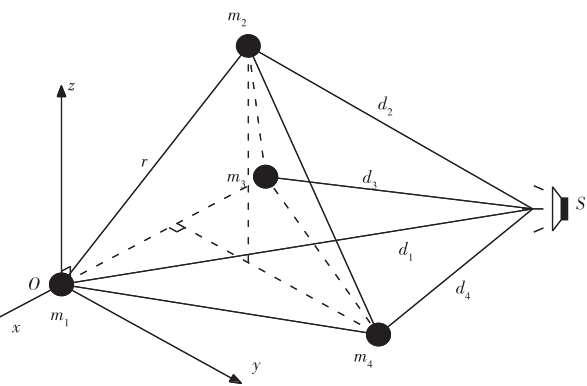


图1 三维声源定位模型

Fig. 1 Three-dimensional sound localization model

$$\begin{cases} \sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2+(z-z_2)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2} = v\Delta t_{21}, \\ \sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2+(z-z_3)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2} = v\Delta t_{31}, \\ \sqrt{(x-x_4)^2+(y-y_4)^2+(z-z_4)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2} = v\Delta t_{41}. \end{cases} \quad (1)$$

取 m_2, m_3 的连线的中点为坐标原点, 根据图1中的麦克风的坐标关系 $m_1(0,0,0), m_2(-r/2, \sqrt{3}r/6, \sqrt{6}r/3), m_3(-r, 0, 0), m_4(-r/2, -\sqrt{3}r/2, 0)$, 方程组(1)可化为

$$\begin{cases} \sqrt{(x+r/2)^2+(y-\sqrt{3}r/6)^2+(z-\sqrt{6}r/3)^2} - \sqrt{x^2+y^2+z^2} = v\Delta t_{21}, \\ \sqrt{(x+r)^2+y^2+z^2} - \sqrt{x^2+y^2+z^2} = v\Delta t_{31}, \\ \sqrt{(x+r/2)^2+(y+\sqrt{3}r/2)^2+z^2} - \sqrt{x^2+y^2+z^2} = v\Delta t_{41}. \end{cases} \quad (2)$$

其中, $\sqrt{x^2+y^2+z^2}$ 又是声源到原点的距离, 假设声源到 m_1 的实际距离为 R , 由于时延估计误差的存在, 导致 $R - \sqrt{x^2+y^2+z^2} = 0$ 在实际中并不严格成立. 利用 Matlab 解方程组(2)可以得到声源的理论坐标.

这里设 $F(s) = R - \sqrt{x^2+y^2+z^2}$, 当 $F(s)$ 有最小值时, $\sqrt{x^2+y^2+z^2}$ 和理论值误差最小. 假设 $\sqrt{x^2+y^2+z^2} \in (0, 50)$, 在 50 m 的搜索半径内根据系统的精度要求和 DSP 芯片的适时处理能力,

以步长 0.5 逐点求 $F(s)$, 当 $\sqrt{x^2+y^2+z^2} = a$ 时, $F(s)$ 可以得到最小值, 然后再取 $\sqrt{x^2+y^2+z^2} \in (a-0.5, a+0.5)$, 以更小的步长求 $F(s)$, 反复进行就可以得到比较准确的 $\sqrt{x^2+y^2+z^2}$, 这样就得到了较准确的声源坐标.

由于 DSP 的高速性能, 比起以往的算法, C5416 可以实时地处理更小的步长, 所以为了提高精度, 初始步长比以往减小了一半. 不过由于各麦克风之间的空间距离的限制, 初始步长如果选择过小, 系统误差并不会因此减小, 反而会延长处理的时间.

2 仿真分析

Simulation analysis

仿真实验采用单个声源, 播放一首事先准备好的男声诗歌朗诵作为声源. 当时声速取 340 m/s, 信噪比为 10 dB. 麦克风之间的距离为 10 cm, 采样频率为 10 kHz. 4 个麦克风接收到的信号都需要进行端点检测, 从而确定每 2 个麦克风接收到的同为语音信号的数据段, 然后在这些语音段进行时延计算. 麦克风与声源距离为 (0 ~ 10 m), 空间搜索步长为 0.5 cm. 麦克风坐标分别为 $m_1(0, 0, 0), m_2(-5, 5\sqrt{3}/3, 10\sqrt{3}/3), m_3(-10, 0, 0), m_4(-5, -5\sqrt{3}/2, 0)$.

图2给出了声源真实点和估计点对比结果. 由图2可知, 这种基于4麦克风阵列的声源定位系统有着很好的精确性, 能较好地估计出声源的位置.

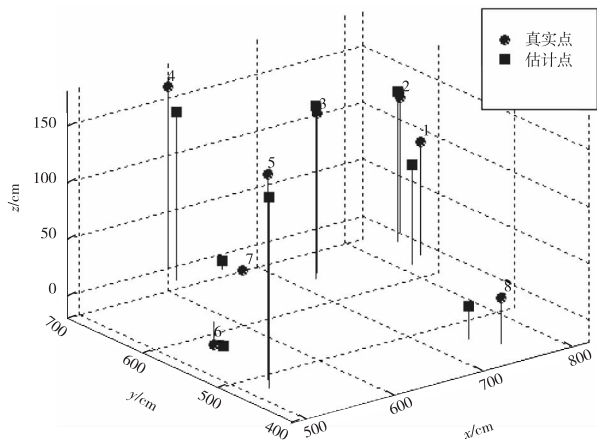


图2 声源真实点和估计点对比

Fig. 2 Comparison between real sound source and estimated ones

3 硬件实现

Hardware implementation

算法的处理硬件选择的是合众达电子技术有限公司的 SEED-DEC5416 开发板,这款开发板主要集成了 DSP、SRAM、FLASH、CODEC、UART、USB 等外设以及扩展总线。C5416 这块 DSP 芯片具有低功耗、稳定性好、运行速度快、数据处理能力强等优点,可以方便地处理音频信号。

图 3 为硬件定位系统。从图 3 可以看出,4 个麦克风采集的声源信号通过串口 RS232 送入 TLV320AIC23B 进行 A/D 转换,然后信号通过多通道缓冲型同步串口 McBSP 送入 DSP 进行算法处理^[13-15],处理结果输出给显示终端 LED 屏,从 LED 中可以直接读出声源的三维坐标。整个系统的逻辑控制有 CPLD (Complex Programmable Logic Device, 复杂可编程逻辑器件)完成,SRAM (Static RAM) 用来存放较大的数据。另外,还可以通过开发板上的 HPI 扩展总线与计算机进行通信。

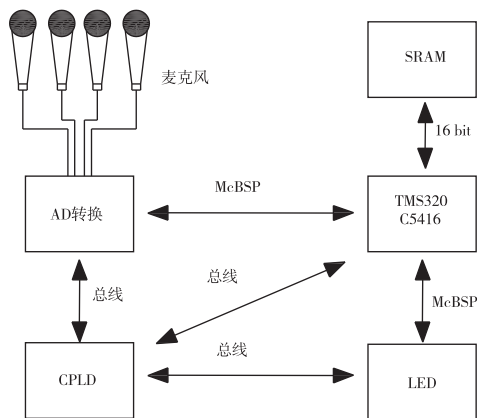


图 3 硬件定位系统

Fig. 3 Hardware positioning system

4 结语

Concluding remarks

本系统模型可以给出不错的定位效果,硬件实现也不复杂,比以往无限多麦克风三维定位系统极大地减小了尺寸。选用 DSP 芯片处理算法,满足了更小的搜索步长,提高了定位的速度和精度,实现实时定位。另外,本系统提供了一个数据显示窗口,使用更加便捷。但除了文中所述的定位算法本身的难点之外,还有很多因素影响着声源定位的精度,如房间的混响,墙壁的反射和噪音等。因此,可以考虑多种

算法相结合,这样可以进一步提高系统的应用价值,使之适用于多种声源定位领域。

参考文献

References

- [1] Brandstein M S, Silverman H F. A practical methodology for speech source localization with microphone arrays [J]. *Computer Speech & Language*, 1997, 11(2): 91-126
- [2] Brandstein M S. A framework for speech source localization using sensor arrays [D]. Brown University, Providence, RI, 1995
- [3] Brandstein M S. A pitch-based approach to time-delay estimation of reverberant speech [C] // *Proceedings of the IEEE ASSP Workshop Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*. New Paltz, NY, 1997
- [4] Mumolo E, Nolich M, Vercelli G. Algorithms for acoustic localization based on microphone array in service robotics [J]. *Robotics and Autonomous Systems*, 2003, 42(2): 69-88
- [5] Brandstein M S, Adcock J E, Silverman H F. Methods and apparatus for source location estimation from microphone-array time-delay estimates; United States, 5737431 [P]. 1998-04-07
- [6] Huang J, Ohnishi N, Sugie N. Sound localization in reverberant environment based on the model of the precedence effect [J]. *IEEE Trans on Instrumentation and Measurement*, 1997, 46(4): 842-846
- [7] Huang J, Ohnishi N, Sugie N. Spatial localization of sound sources: Azimuth and elevation estimation [C] // *IEEE. Proceedings of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*. Saint Paul, 1998: 330-333
- [8] Rabinkin D V, Renomeron R J, Dahl A, et al. A DSP implementation of source location using microphone arrays [C] // *Proc SPIE*. 1996, 2846: 88-99
- [9] Flanagan J L, Johnston J D, Zahn R, et al. Computer-steered microphone arrays for sound transduction in large rooms [J]. *J Acoust Soc Amer*, 1985, 78(5): 1508-1518
- [10] Ju T L, Peng Q C, Shao H Z. Speech source localization sub-space algorithm research based on microphone array in near field [C]. Beijing: ICEMI NJTU, 2005
- [11] Asano F, Asoh H, Matsui T. Sound source localization and separation in near field [J]. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics*, 2000, E83-A(11): 2286-2294
- [12] 崔玮玮, 曹志刚, 魏建国. 基于双麦克风的 2 维平面定位算法 [J]. *信号处理*, 2008, 24(2): 299-302
- [13] CUI Weiwei, CAO Zhigang, WEI Jianguo. Dual-microphone source location method in 2-D space [J]. *Signal Processing*, 2008, 24(2): 299-302
- [14] 邵怀宗, 林静然, 彭启琮, 等. 基于麦克风阵列的声源定位研究 [J]. *云南民族大学学报: 自然科学版*, 2004, 13(4): 256-258
- [15] SHAO Huaizong, LIN Jingran, PENG Qicong, et al. Study on localization for speech based on microphone array [J]. *Journal of Yunnan University for Nationalities: Natural Sciences Edition*, 2004, 13(4): 256-258
- [14] 林志斌, 徐柏龄. 基于传声器阵列的声源定位 [J]. *电声技术*, 2004(5): 19-23
- [15] LIN Zhibin, XU Boling. Sound source localization based on microphone array [J]. *Audio Engineering*, 2004(5): 19-23
- [15] 戴明楨, 周建江. TMS320C54x DSP 结构、原理及应用 [M]. 2 版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007
- [15] DAI Mingzhen, ZHOU Jianjiang. TMS320C54x DSP structure, principle and application [M]. 2nd ed. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2007

3-D sound localization based on four microphone array

WANG Wenlong¹ ZHANG Yanping²

1 School of Information and Cybernetics,Nanjing University of Information Science and Technology,Nanjing 210044

2 School of Electronic & Information Engineering,Nanjing University of Information Science and Technology,Nanjing 210044

Abstract This paper designs a 3-D localization system, and optimizes the traditional. Time difference of arrival (TDOA) algorithm through examination of the signal time differences, this proposed model localize the sound source with the help of known array elements' position. The sound collection part of the the system is a regular tetrahedron of four microphone array, and the hardware implementation is completed by the TMS320C5416DSP chip. The overall system can realize the sound localization function.

Key words sound localization; DSP; microphone; sound path difference