

Research of Array Element Screening Method for Microphone Array*

YE Yong, CHEN Jianfeng*, CHENG Ping, LENG Xin

(College of Marine, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Using TDOA algorithm in passive sound orientation, Higher phase consistency must be maintained in order to get time difference of the sound signal between each microphone array elements and then calculate the azimuth of the target accurately. From the papers and patent search, there is no effective way to filter out the microphone array at present. For this problem, microphone array element screening system is designed. Experimental results show that the high consistency of the microphone is more suitable for the formation of the microphone array.

Key words: sensor; microphone array; array element screening; TDOA; consistency; matching

EEACC:7230

doi:10.3969/j.issn.1004-1699.2012.011.008

用于麦克风阵列的阵元筛选方法研究*

叶永, 陈建峰*, 程萍, 冷欣

(西北工业大学航海学院, 西安 710072)

摘要: 在使用 TDOA 算法进行被动声定向时, 为精确获取麦克风阵列阵元之间接收声源信号的时间差, 进而计算目标的方位角, 麦克风阵元之间必须保持较高的相位一致性。而从论文与专利检索来看, 目前还没有有效方法筛选出符合要求的麦克风阵元。针对此问题, 本文基于麦克风阵列阵元相位一致性的指标, 设计出麦克风阵元筛选系统, 通过实测数据分析表明: 一致性较高的麦克风更适合组建麦克风阵列。

关键词: 传感器; 麦克风阵列; 阵元筛选; TDOA; 一致性; 匹配

中图分类号: TP212.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2012)11-1507-04

自 20 世纪 90 年代以来, 基于麦克风阵列的声音信号处理算法^[1] 逐渐成为一个新的研究热点。1996 年 Silverman 和 Brandstein 首次将麦克风阵列应用到声源定位中^[2], 用于实时跟踪说话人的位置。从定位原理来分, 目前麦克风阵列定位算法大致分为三大类, 即基于最大输出功率的可控波束形成技术^[3]、基于到达时间差(TDOA)定位技术^[4,5]和基于高分辨率谱估计的定位技术^[6,7]。波束形成技术已经广泛应用于基于麦克风阵列的语音拾取领域, 但要达到稳健有效的声源定位还比较困难。这主要是由于该方法需要进行全局搜索, 运算量大。高分辨谱估计定位技术大多数是针对远场窄带信号设计的, 然而目标声源一般是宽带信号, 且信号源不总是位于阵列远场, 此时窄带假设和远场假设不再成立, 因此不适用于定位系统。基于到达时间差

(TDOA)的定向算法运算量相对较小, 实时性较好, 硬件成本较低, 因而倍受关注, 成为声源定向中广泛采用的方法。

在使用 TDOA (Time Difference of Arrival) 算法进行被动声定向^[8]时, 为了精确获取不同麦克风阵元由于声传播距离不同而产生的时间差, 麦克风必须保持高度一致。然而, 现在市场上的一般麦克风都没有给出有关相位的一致性指标, 仅给出灵敏度指标, 灵敏度指标仅能反映其幅度一致性, 不能表征相位一致性。目前有一些通过相位补偿进行阵列校准^[9,10]的方法, 但该方法只限于窄带信号, 对于宽带信号, 不易实现; 而且实际中随温度, 湿度等外界条件的变化, 不同麦克风一致性也会发生相应变化, 此时校准参数^[11,12]仍有可能失去作用。

针对上述问题, 本文首先仿真分析麦克风相位

一致性对 TDOA 算法的影响,进而设计麦克风相位一致性测试流程,搭建了麦克风一致性测试系统,并通过筛选后的麦克风进行实验分析,验证此筛选方法能提高阵列定向精度。

1 一致性对 TDOA 算法的影响

麦克风的相位一致性是指两个或两个以上麦克风在相同的外界条件下感应同一声信号时表现的相位一致程度。此参数的好坏直接影响 TDOA 方法计算的时延差的精确程度,进而影响定向角度。

1.1 基于 GCC-PHAT 的 TDOA 算法简介

假设声信号自远场入射,采用 GCC-PHAT(相位变换加权法)^[13,14] 估计时延 $\hat{\tau}_{ij}$ 的方法如下:

$$R_{ij}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{G_{ij}(\omega)}{|G_{ij}(\omega)|} e^{j\omega\tau} d\omega \quad (1)$$

在噪声和信号不相关的情况下,有以下结论:

$$\frac{G_{ij}(\omega)}{|G_{ij}(\omega)|} = e^{-j\omega\tau_{ij}} \quad (2)$$

上式为归一化互功率谱,其保留了两信号的相位差信息,在理想情况下, $R_{ij}(\tau)$ 在正确时延处产生一个脉冲,通过峰值检测即可得到估计时延 $\hat{\tau}_{ij}$ 。波达方向角可以 α_{ij} 可以由下式获得:

$$\hat{\alpha}_{ij} = \arccos\left(\frac{c\hat{\tau}_{ij}}{d_{ij}}\right), \quad 0 \leq \hat{\alpha}_{ij} \leq \pi \quad (3)$$

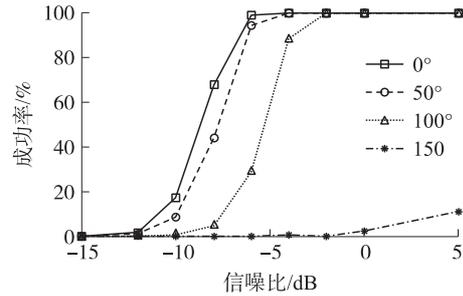
其中 c 为声音在空气中的传播速度, d_{ij} 表示两麦克风对之间的距离。

1.2 阵元相位不一致性对 TDOA 的影响

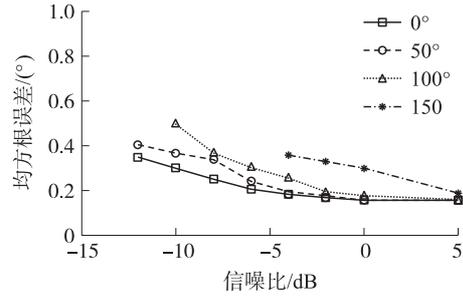
假设阵元的相位误差是均匀分布的随机数,大小在理想值的 0° 、 $\pm 50^\circ$ 、 $\pm 100^\circ$ 、 $\pm 150^\circ$ 之间变化,信噪比 SNR 分别设定在 15 dB、-12 dB、-10 dB、-8 dB、-6 dB、-4 dB、-2 dB、0 dB 和 5 dB,100 次蒙特卡洛计算,仿真结果如图 1。

图 1(a) 表明,当信噪比在 -15 dB ~ 5 dB 之间时,定向成功率随着信噪比的增大而提高,但随着相位误差的增大而减小;当信噪比在 5 dB 以上时,所列的相位误差范围内,检测概率均能达到 100%;当信噪比小于 -15 dB 时,定向成功率均为 0%,这是因为如此低的信噪比情况下,本文的 TDOA 估计方法几乎不能工作,我们提出的基于这种 TDOA 估计的定向方法基本失效。

图 1(b) 定向结果的均方根误差随着信噪比的增大而减小,当随着相位误差的增大而增大。值得注意的是,在图中看到有些曲线不完整,是因为在绘图时,当定向成功率为 0 时,均方根误差不可能计算,导致数据点缺失。



(a) 不同信噪比条件下方位角估计的成功率



(b) 不同信噪比条件下方位角的均方根误差

图 1 不同信噪比条件下方位角的平均成功率和平均均方根误差 $\alpha_s = 0 \sim 90^\circ$ (间隔 0.5°)

2 阵元筛选基本原理

2.1 阵元筛选方法

为了获得相位一致性较好的麦克风用于组建阵列,可采取如下方法对每个麦克风阵元进行比较筛选。

通过高保真音箱播放一段包含所有频率段的语音信号,如高斯白噪声,线性调频信号等均可。让待筛选的麦克风在相同条件下同步采集此信号,分别保存采集数据。

假设待筛选的第 i 号麦克风采集的声信号为 y_i ,第 j 号麦克风采集的声信号为 y_j ,声信号采样点数为 N ,两麦克风的相位匹配程度(一致性)为 χ_{ij} ,则

$$\chi_{ij} = 10 \lg\left(\sum_{k=1}^N y_{ik}^2\right) - 10 \lg\left[\sum_{k=1}^N (y_{ik} - y_{jk})^2\right] \quad (4)$$

理论上 χ_{ij} 数值越大,则认为两个麦克风越匹配,可以根据定向算法的实际需要,设定 χ_{ij} 的标准,例如:若设定 20 dB 为 χ_{ij} 的最低标准,当 χ_{ij} 大于 20 dB 时,可以认为两麦克风匹配。

2.2 系统构建

麦克风一致性测试的基本原理图如图 2 所示。其中白噪声为提前产生并保存好的信号,同步单元是为了保证喇叭播放和麦克风接收严格同步,消音箱单元为了消除周围环境噪声,使麦克风只接收喇叭发出的声音,Amp 单元为麦克风前置信号放大单元,将麦克风信号经过适当放大后保存。打开消音箱,更换麦克风,再次保存接收数据,通过一定的算

法分析,最终找出一致性较好的麦克风用于组建阵列。根据测试原理框图可以搭建如下测试系统。

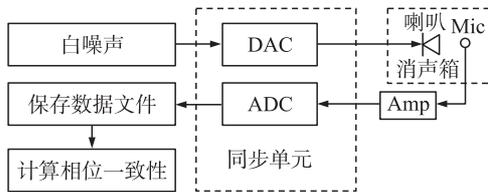


图2 麦克风相位一致性测试原理框图

采用NI公司的PCI-6110数据采集卡来实现数据的播放和采集,它具有4路同步采样模拟输入,2路模拟输出,其采样频率可以达到5 MS/s,8条数字I/O线,支持模拟与数字触发,这些指标均满足测试系统的技术要求。在本系统中通过数字I/O线编程产生触发信号实现输入与输出的同步。为了降低声音在空气中的传播损失以及各种干扰,可以将喇叭和麦克风固定在消音箱里,且两者位置保持不变。通过PCI-6110模拟输出A00端口播放1 s的高斯白噪声信号 $n(t)$,信号的采样率为44 100 Hz,麦克风同步接收,将接收到的信号放大后连接到端口A10,A10的采样率同为44 100 Hz,通过LABVIEW程序将A10端口的数据保存在文件中,参照式(4)计算任意两个麦克风的相位一致性参数 χ_{ij} ,进而筛选出符合要求的麦克风。

3 实验验证

可以通过互相关系数(互相关函数峰值)对此筛选方法进行验证。为了验证麦克风相位一致性对阵列定向TDOA算法的严重影响,可做以下实验:取采样点 $N=2\ 048$,采样频率 $f_s=44\ 100$ Hz,通过搭建的系统按照筛选流程对同一型号的一组麦克风进行筛选,分别找出一对相位一致性为27 dB的麦克风和一对相位一致性为11 dB的麦克风,一致性为27 dB的两麦克风与一致性为11 dB的两麦克风的互相关系数与信噪比SNR之间的关系如图3所示。

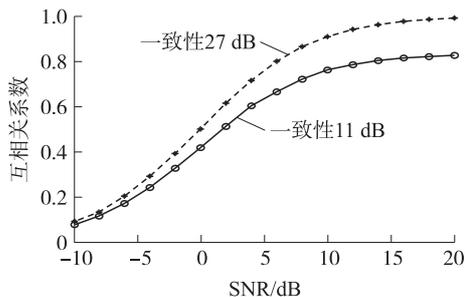


图3 一致性不同的两组麦克风互相关系数与信噪比之间关系图

由图3可以看出,随着信噪比的逐渐增大,一致

性为27 dB与11 dB的两组麦克风互相关系数均随之增大,当信噪比大于5 dB时,一致性为27 dB的两麦克风互相关系数增速明显加快,且信噪比为10 dB时,其互相关系数约为0.9,而一致性为11 dB的两麦克风互相关系数不到0.8,当信噪比大于10 dB时,一致性为11 dB与一致性为27 dB的两组麦克风互相关系数增速趋缓,当互相关系数为0.8时,一致性11 dB的麦克风需信噪比14 dB才能达到,而一致性为27 dB的麦克风仅需6 dB。故在其他条件相同时一致性较高的麦克风阵列互相关系数越大,越有利于采用TDOA算法进行声定向。

在实际情况下,由于AD采样精度,系统自噪声等影响,只需要使阵列各阵元一致性与系统匹配即可,无需追求太高一致性,导致定向成本增加。由于篇幅关系,关于一致性与系统综合匹配的问题在此不做介绍。

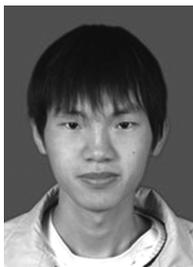
4 结论

为了提高TDOA算法进行麦克风阵列定向的精度,本文提出一种麦克风阵列阵元筛选方法,构建实际测试系统,通过系统筛选一批麦克风,并从中分别找出一组一致性参数高的和一致性参数低的麦克风用于验证方法的可行性,分析表明:一致性越高的麦克风组互相关函数峰值越大,越有利于TDOA算法通过寻找峰值计算定向角度。因此,通过该方法筛选出的麦克风阵元组建麦克风阵列可以明显提高TDOA算法声定向的性能。

参考文献:

- [1] Fallon M F, Godsill S J. Acoustic Source Localization and Tracking of a Time-Varying Number of Speakers [J]. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 2012; 20(4): 1409-1415.
- [2] Brandstein M, Silverman H. A Practical Methodology for Speech Source Localization with Microphone Array [J]. Computer, Speech, and Language, 1997, 11(2): 91-126.
- [3] Krim H, Viberg M. Two Decades of Array Signal Processing Research [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1996, 13(4): 67-94.
- [4] 程萍,陈建峰,马驰,张竹. 十字阵短时宽带声源实时定向算法 [J]. 应用声学. 2012, 31(2): 123-129.
- [5] 郭相科,刘进忙. 一种基于TDOA时差法声被动定位算法研究 [J]. 弹箭与制导学报. 2006, 26(2): 662-664.
- [6] 居太亮. 基于麦克风阵列的声源定位算法研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2006.
- [7] 李文,夏秀瑜,何培宇,李源. 基于麦克风阵列的近场声源定位 [J]. 四川大学学报(自然科学版). 2008, 45(2): 307-310.
- [8] Chen J C, Hudson R E, Yao Kung. Maximum-Likelihood Source Localization and Unknown Sensor Location Estimation for Wideband Signals in the Near-Field [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002; 50(8): 1843-1854.

- [9] 张琦,潘孟春,陈棣湘,庞鸿峰. 基于线性化参数模型的三轴磁场传感器校准方法[J]. 传感技术学报. 2012,25(2):215-219.
- [10] 王利,王同庆. 一种经济型测量麦克风的改装、校准及应用[J]. 航空动力学报. 2010,9:2041-2049.
- [11] 张鹏超,张强. 一种 NTC 热敏电阻校正方程的试验研究[J]. 传感技术学报. 2012,25(2):220-223.
- [12] 胡建平,肖华,彭启琮. 一种新的麦克风阵列幅度、相位误差有源校正方法[J]. 电子科技大学学报. 2007,36(6):1505-1507.
- [13] CHENG Ping, CHEN Jianfeng, MA Chi, et al. Optimized Cross Array Passive Localization Based on Crosspower-Spectrum Phase [C]//IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC)2011.9, pp. 20.
- [14] 万新旺,吴振扬. 基于自适应频率选择的鲁棒时延估计算法[J]. 东南大学学报(自然科学版). 2010,40(5):890-894.



叶 永(1987-),男,陕西商洛人,西北工业大学硕士研究生,研究方向为被动声定位,yezi060699@126.com;



陈建峰(1972-),男,山西稷山人,教授,博士生导师,研究方向主要包括阵列信号处理、声音信号处理、传感器网络、模式识别等,主持并参加国防预研项目、国家自然科学基金项目、创新基金项目、国防 863 项目等十余项。已发表学术论文 50 余篇,其中 SCI 收录 6 篇,EI 收录近 30 篇,chenjf@nwpu.edu.cn。