

# 基于麦克风阵列的时延定位算法研究

潘峥嵘, 段丽萍, 杨智刚

PAN Zhengrong, DUAN Liping, YANG Zhigang

兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 兰州 730050

College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China

**PAN Zhengrong, DUAN Liping, YANG Zhigang. Research on time-delay localization algorithm based on microphone array. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(20):188-191.**

**Abstract:** Aiming at low SNR of delay estimation of traditional Cross-power Spectrum Phase (CSP) method in the strong noise environment, an improved CSP method to solve this problem is proposed in this paper. The traditional method of CSP is studied and the speech signal energy on the ratio of total energy is analyzed. In order that the speech signal is not drowned in the strong noise environment, a nonlinear parameter changing with Signal to Noise Ratio (SNR) is defined. By adjusting the non-linear parameter to control the size of weighting function, thereby reducing the influence of noise, the anti-noise performance of the algorithm is improved. Three methods of time-delay estimation are compared on matlab platform by using eight linear array microphone voice signal acquisition in different SNR environments, and simulation results show that the improved CSP method has better positioning performance than traditional CSP and SCOT method in the strong noise environment.

**Key words:** sound localization; time-delay estimation; cross-power spectrum phase

**摘要:**针对互功率谱相位(CSP)法在低信噪比环境下,时延估计精度下降这一问题,提出了一种改进的CSP方法。研究了传统的CSP法,分析了语音信号能量在总能量中的比例问题,为保证强噪声环境下,语音信号不被淹没,定义了一个随信噪比变化的非线性参量,通过该非线性参量调节加权函数的大小,进而减小噪声的影响,提高算法的抗噪性能。采用8个线性阵列麦克风采集语音信号,在Matlab平台上,就传统的CSP算法,SCOT算法,改进CSP算法,在高信噪比和低信噪比环境下进行仿真验证,仿真结果表明,改进的CSP方法在强噪声环境下具有更好的定位性能。

**关键词:**声源定位;时延估计;互功率谱相位

**文献标志码:**A **中图分类号:**TN912.3 **doi:**10.3778/j.issn.1002-8331.1312-0447

## 1 引言

麦克风阵列技术源于声纳、雷达等系统中阵列信号处理技术,改变传统单个麦克风使用方式,利用多个麦克风组成一定形状的阵列,同时采集语音,用阵列信号处理的方法获得高质量的语音信号<sup>[1]</sup>。它在时域和频域的基础上增加一个空间域,对接收到的来自空间不同方向的语音信号进行处理,能够实现说话人方向的实时跟踪,从而可实现定向语音采集,提高信噪比<sup>[2]</sup>。近年来,基于麦克风阵列的声源位置估计已经成为一个十分活

跃的研究领域<sup>[3]</sup>,它在人机交互和智能空间等领域,比如多媒体系统,移动机器人<sup>[4]</sup>,视频会议系统<sup>[5]</sup>等方面有广泛的应用。

目前,基于麦克风阵列的声源定位方法主要分为三类<sup>[6]</sup>:第一类是基于波束形成的定位技术,该方法对初始点的选择非常敏感,因此,不太适用于实时处理系统。第二类是基于高分辨率谱估计的定位技术,该方法存在运算量大的缺点,并且不适用于近场。第三类是基于到达时间差的定位技术,该算法原理简单,且计算量小,估

**基金项目:**甘肃省自然科学基金计划项目(甘肃省科技计划资助No.1308RJZA273)。

**作者简介:**潘峥嵘(1964—),男,教授,硕士生导师,研究方向为计算机控制、智能检测与控制;段丽萍(1988—),女,硕士研究生,主要研究方向为服务型机器人的应用与研究;杨智刚(1984—),男,硕士研究生,主要研究方向为智能信息处理。  
E-mail: dlp\_lzlg@126.com

**收稿日期:**2013-12-31 **修回日期:**2014-03-18 **文章编号:**1002-8331(2015)20-0188-04

**CNKI网络优先出版:**2014-05-05, <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3778/j.issn.1002-8331.1312-0447.html>

计精度相对较高,所以在实际系统中应用较多<sup>[7]</sup>。

基于到达时间差的定位算法分为两个步骤<sup>[8]</sup>:第一步为时延估计,用于计算被测声源到达不同麦克风的时间差(Time Delay Of Arrival, TDOA);第二步为定位估计,根据所得到的TDOA及麦克风阵列中麦克风间的几何位置关系来计算声源的位置。

目前已经出现了多种时间差估计算法,如基本互相关法<sup>[9]</sup>、广义互相关法<sup>[10]</sup>、最小均方自适应滤波法<sup>[11]</sup>、互功率谱相位法(Cross-power Spectrum Phase, CSP)<sup>[12]</sup>等。其中,互功率谱相位算法能抑制旁瓣并且锐化互相关函数的主峰,从而提高时延估计的精度,但该算法也有一定的缺点,在高信噪比的环境下,CSP算法能得到很好的定位效果,但是,当环境噪声增大时,该算法的定位性能会急剧下降,针对该问题,本文提出一种改进的CSP算法,该算法通过改进加权函数来抑制噪声的影响。文章最后针对不同信噪比环境,对改进CSP算法,传统CSP算法和平滑相干变换(Smoothed Coherence Transform, SCOT)<sup>[13]</sup>算法进行了性能对比。经过验证,改进CSP算法在定位精度上较传统CSP算法和SCOT算法有明显的提高。

## 2 算法原理

### 2.1 广义互相关算法

广义互相关法通过求两信号间的互功率谱,并在频域内给予一定的加权来抑制噪声和反射的影响,再反变换到时域,从而得到两信号之间的互相关函数。该互相关函数的峰值位置即两信号之间的相对时延<sup>[14]</sup>。

对麦克风1和麦克风2(取自麦克风阵列中的任意两个)接收到的语音信号,进行预处理,包括,首先使用FIR带通滤波器滤除200~4 000 Hz以外的噪声信号;其次,用半重叠汉明窗对滤波之后的信号进行加窗处理,得到待处理的输入信号,记作 $x_1(n)$ 和 $x_2(n)$ ,对 $x_1(n)$ 和 $x_2(n)$ 进行FFT变换可得 $X_1(\omega)$ 和 $X_2(\omega)$ ,则,两输入信号的广义互相关函数 $R_{12}(\tau)$ 可以表示为:

$$R_{12}(\tau) = \int_0^\pi \psi_{12}(\omega) X_1(\omega) X_2^*(\omega) e^{-j\omega\tau} d\omega \quad (1)$$

其中 $R_{12}(\tau)$ 峰值处即为两麦克风之间的时延, $X_1(\omega)$ 和 $X_2(\omega)$ 分别为 $x_1(n)$ 和 $x_2(n)$ 的傅里叶变换, $\psi_{12}(\omega)$ 是广义互相关加权函数,选择不同的加权函数就得到不同的时延估计算法,常用广义加权函数如表1所示<sup>[15]</sup>。

表1 常用广义加权函数

名称	广义相关加权函数 $\psi_{12}(\omega)$
基本互相关	$\psi_{12}(\omega) = 1$
平滑相干变换SCOT	$\psi_{12}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{G_{x_1x_1}(\omega)G_{x_2x_2}(\omega)}}$
互功率谱相位CSP	$\psi_{12}(\omega) = \frac{1}{ G_{12}(\omega) }$

CSP方法是最常用的时延估计算法之一,传统的CSP方法在强噪声环境下定位性能差,在本文中,将对CSP法进行改进,使其在强噪声环境下可以获得更好的估计性能。

### 2.2 改进的互功率谱相位时延估计法

两个间距为 $d$ 的麦克风 $m_1, m_2$ 接收到的信号 $x_i(t)$ ( $i=1, 2$ )的理想模型为:

$$x_i(t) = \alpha_i s(t - \tau_i) + n_{ie}(t) \quad (2)$$

实际模型为:

$$x_i(t) = \alpha_i s(t - \tau_i) + n_{ie}(t) + n_{ir}(t) \quad (3)$$

其中, $S(t)$ 为声源信号, $\alpha_i$ 为声音传播过程中的衰减因子, $\tau_i$ 是声源到达两个麦克风所需要的时间, $n_{ie}(t)$ 为第 $i$ 个麦克风接收到的环境噪声。实际模型中不仅考虑环境噪声 $n_{ie}(t)$ ,还得考虑房间多径反射噪声 $n_{ir}(t)$ ,即混响。

由理想模型可知,两个麦克风接收信号 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 的互功率谱函数 $G_{12}(\omega)$ 为:

$$G_{12}(\omega) = X_1(\omega) X_2^*(\omega) = \alpha_1 \alpha_2 S(\omega) S^*(\omega) e^{-j\omega(\tau_1 - \tau_2)} + \alpha_1 S(\omega) e^{-j\omega\tau_1} N_{2e}^*(\omega) + \alpha_2 S^*(\omega) e^{j\omega\tau_2} N_{1e}(\omega) + N_{1e}(\omega) N_{2e}^*(\omega) \quad (4)$$

式中 $N_{ie}(\omega)$ 为 $n_{ie}(t)$ 的加窗傅里叶变换。由于 $s(t), n_{1e}(t), n_{2e}(t)$ 之间彼此不相关,因此式(4)可以简化为:

$$G_{12}(\omega) = \alpha_1 \alpha_2 S(\omega) S^*(\omega) e^{-j\omega(\tau_1 - \tau_2)} \quad (5)$$

当考虑房间多径反射噪声时,两麦克风接收信号的互功率谱函数 $G_{12}(\omega)$ 为:

$$G_{12}(\omega) = X_1(\omega) X_2^*(\omega) = \alpha_1 \alpha_2 S(\omega) S^*(\omega) e^{-j\omega(\tau_1 - \tau_2)} + \alpha_1 S(\omega) e^{-j\omega\tau_1} N_{2e}^*(\omega) + \alpha_1 S(\omega) e^{-j\omega\tau_1} N_{2r}^*(\omega) + \alpha_2 S^*(\omega) e^{j\omega\tau_2} N_{1e}(\omega) + N_{1e}(\omega) N_{2e}^*(\omega) + N_{1e}(\omega) N_{2r}^*(\omega) + \alpha_2 S^*(\omega) e^{j\omega\tau_2} N_{1r}(\omega) + N_{1r}(\omega) N_{2e}^*(\omega) + N_{1r}(\omega) N_{2r}^*(\omega) \quad (6)$$

由于 $s(t), n_{1e}(t), n_{2e}(t)$ 之间彼此不相关,因此式(6)可以简化为:

$$G_{12}(\omega) = X_1(\omega) X_2^*(\omega) = \alpha_1 \alpha_2 S(\omega) S^*(\omega) e^{-j\omega(\tau_1 - \tau_2)} + \alpha_1 S(\omega) e^{-j\omega\tau_1} N_{2r}^*(\omega) + \alpha_2 S^*(\omega) e^{j\omega\tau_2} N_{1r}(\omega) + N_{1r}(\omega) N_{2r}^*(\omega) \quad (7)$$

在高信噪比情况下,由于 $N_{ir}(\omega)$ 相对于 $S(\omega)$ 很小,它们之间的相关性也就随之很小,因此式(7)的后三项近似为零。于是互功率谱函数 $G_{12}(\omega)$ 可以近似表示为:

$$G_{12}(\omega) = X_1(\omega) X_2^*(\omega) \approx \alpha_1 \alpha_2 S(\omega) S^*(\omega) e^{-j\omega(\tau_1 - \tau_2)} \quad (8)$$

在实际环境中,往往存在较大的环境噪声和较强的混响,使得式(7)的后三项变得比较大,不可忽略,这样用 $|G_{12}(\omega)|$ 来近似 $|S(\omega)|^2$ 也会产生较大的误差,使得互相关函数的峰值不再明显,从而大大影响了CSP法的

性能。

在CSP方法中,是用 $|G_{12}(\omega)|$ 代替 $|S(\omega)|^2$ 的,所以,在高信噪比的情况下,两者之间的差值较小,可以近似做等效替换,在这种情况下估计出的时延精度较高;而在低信噪比的情况下,两者之间将会有较大的差值,不可近似替换,估计出的时延精度随之较低,而且随着信噪比的下降, $|S(\omega)|^2$ 在 $G_{12}(\omega)$ 中所占的比例也下降。因此,为了保证 $|S(\omega)|^2$ 在 $G_{12}(\omega)$ 所占的比例具有一定稳定性,在这将引入一个随信噪比变化的非线性参量,记作 $\lambda^2$ ,通过这个非线性参量来调节加权函数的大小,进而减小噪声的影响,提高算法的抗噪性能。

在传统的CSP算法中,对其加权函数 $\psi_{12}(\omega)$ 引入以上所述的非线性参量 $\lambda^2$ 后,记作:

$$\psi'_{12}(\omega) = \frac{1}{|G_{12}(\omega)|^{\lambda^2}} \quad (9)$$

这里,  $0.707 \leq \lambda \leq 1$ , 它是随着信噪比而变化的量,即

$$\lambda^2 = \begin{cases} \lambda_0, & \sigma < \sigma_0 \\ \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\sigma_1 - \sigma_0}(\sigma - \sigma_1) + \lambda_1, & \sigma_0 \leq \sigma \leq \sigma_1 \\ \lambda_1, & \sigma > \sigma_1 \end{cases} \quad (10)$$

其中 $\sigma$ 表示信噪比, $\sigma_0, \sigma_1, \lambda_0, \lambda_1$ 是根据实际情况定的常数,且 $\lambda_1 > \lambda_0$ 。那么,加权以后的CSP函数记作 $G'_{12}(\omega)$ ,则有:

$$G'_{12}(\omega) = \psi'_{12}(\omega)G_{12}(\omega) \quad (11)$$

若取 $\lambda = 1$ ,则为传统的CSP算法。

### 3 声源定位

阵列和声源位置的空间几何结构如图1。第 $i$ 对麦克风1和2在 $x$ 轴上,其连线的中点为原点,假设声源到这两个麦克风的时延差为 $\tau_i$ ,麦克风1和2的位置用矢量 $m_{i1}, m_{i2}$ 表示, $s$ 表示声源位置矢量,则声源 $s$ 应满足矢量方程:

$$\|m_{i1} - s\| - \|m_{i2} - s\| = d_i \quad (12)$$

其中, $d_i$ 是俩麦克风之间的声程差。

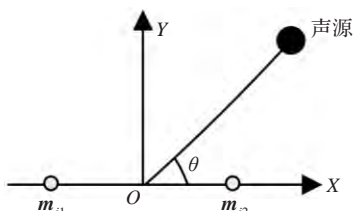


图1 阵列和声源位置的几何结构

将 $m_{i1} = (-\frac{|m_{i1} - m_{i2}|}{2}, 0)$ ,  $m_{i2} = (\frac{|m_{i1} - m_{i2}|}{2}, 0)$  带入式(12),两边平方可得:

$$\frac{\cos^2(\theta)}{d_i^2} - \frac{\sin^2(\theta)}{|m_{i1} - m_{i2}| \cdot d_i^2} = \frac{1}{4r^2} \quad (13)$$

假设声场为远场,则

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{d_i}{|m_{i1} - m_{i2}|}\right) \quad (14)$$

获得声源至一对麦克风的时延值,那么这个声源就处于以这对麦克风所处的位置为焦点,到达时延所对应的声音传输距离为参数的双曲面上。本文使用多对麦克风,可以得到多个时延值,也就得到了多个双曲面,声源位置就处于这些双曲面的相交点。

### 3.1 三种时延估计算法的定位性能对比

下面用计算机仿真的方法来验证前面的算法,仿真使用MATLAB语言。为了验证本文算法的有效性,本次仿真实验采用8个麦克风构成均匀线性阵列,如图2所示。

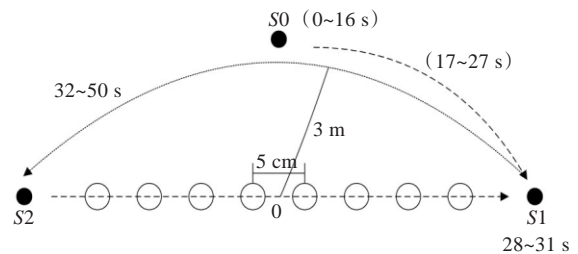


图2 麦克风阵列摆放位置与说话人运动示意图

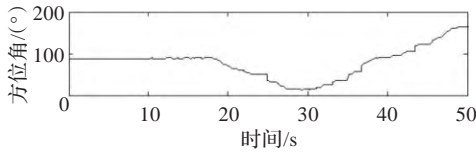
从左到右编号为1~8,相邻麦克风之间的距离为5 cm,测试语音信号长度为50 s。该语音信号中,说话人在一个适中的混响房间内,按正常语速围绕麦克风阵列移动。说话人初始位置的方位角为 $90^\circ$ (即 $S_0$ ),经过16 s后,说话人开始向 $0^\circ$ (即 $S_1$ )方向移动,最后回到 $180^\circ$ (即 $S_2$ )位置。假设声源处于远场模型,信号到各个麦克风之间的幅度衰减差异很小,可近似相等,说话人在距离麦克风中心3 m的圆周上运动。

该声源定位实验在一个 $10\text{ m} \times 5\text{ m}$ ,相对安静,混响适中的房间中进行,语音信号采样频率为16 kHz,采用帧移为256点的512点汉明窗(hamming)进行分帧。

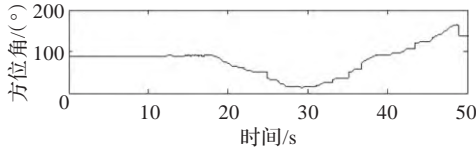
针对该实验环境,取 $\lambda_0, \lambda_1$ 分别为0.5和1,在 $\sigma_0 = 10\text{ dB}$ 和 $\sigma_1 = 30\text{ dB}$ 环境下对传统的CSP算法,SCOT算法和本文改进CSP算法三种时延定位算法进行仿真实验。

在高信噪比环境下,即 $\sigma_1 = 30\text{ dB}$ 时,三种算法具有比较接近的定位性能(图3示),此时本文的非线性加权因子接近于1,加权函数近似为传统CSP方法的加权函数,因而定位性能接近。在低信噪比时,三种算法的定位性能有较大的差别(图4示),改进的CSP算法具有最好的定位性能,因为改进的CSP方法在原加权函数中引入了一个非线性加权因子,该加权因子能根据环境的信噪比大小调节信号能量和噪声能量的比值,从最大程度降低噪声影响,从而加大了信号与噪声之间的可区分度,等效地提高了信噪比大小,提高了算法的定位精度。综合以上的结果表明,传统CSP算法和SCOT算法适合于信噪比较高环境下的定位,而改进的CSP方法在

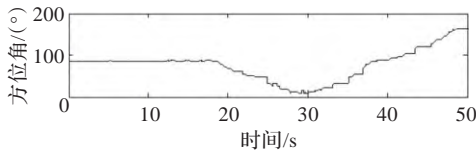




(a)本文算法定位结果

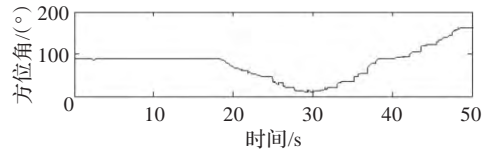


(b)传统CSP算法定位结果

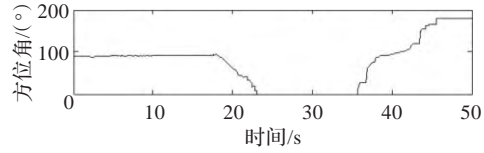


(c)SCOT算法定位结果

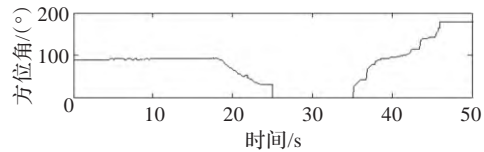
图3 信噪比为30 dB时三种方法定位结果



(a)本文算法定位结果

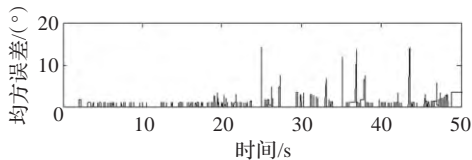


(b)传统CSP算法定位结果

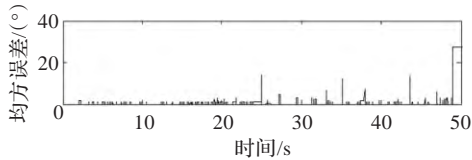


(c)SCOT算法定位结果

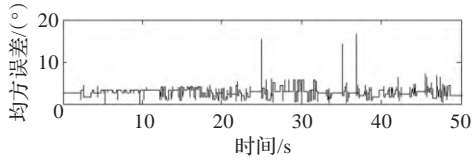
图4 信噪比为10 dB时三种方法定位结果



(a)本文算法定位误差曲线

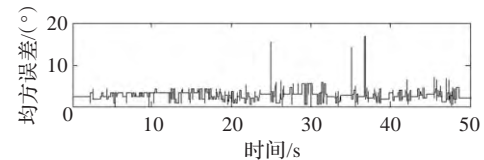


(b)传统CSP算法定位误差曲线

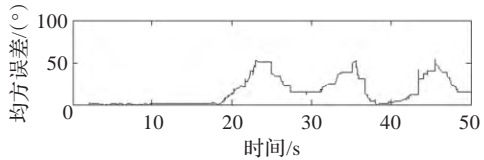


(c)SCOT算法定位误差曲线

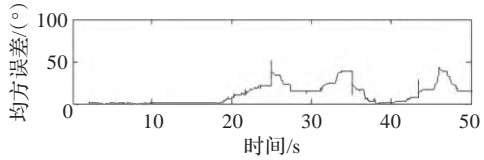
图5 信噪比为30 dB时三种算法定位误差



(a)本文算法定位误差曲线



(b)传统CSP算法定位误差曲线



(c)SCOT算法定位误差曲线

图6 信噪比为10 dB时三种算法定位误差

信噪比较低时仍然能取得很好的定位结果,该方法更适合于实际环境下的声源定位。

### 3.2 三种算法误差分析

在信噪比为30 dB时三种算法的定位误差都较小(图5示),在这种情况下三种算法都具有较高的定位精度。随着信噪比的降低,传统的CSP算法跟SCOT算法的误差曲线不再集中,有很大的差异(图6示),而改进的CSP算法具有最小的均方误差,表明改进CSP方法在信噪比较低时具有最高的定位精度。

综上,改进的CSP方法在保持传统CSP方法性能基础上,提高了原有方法在低信噪比时的定位性能,更适用于实际应用。

## 4 结论

声源定位技术广泛应用于机器人领域,到达时间差

作为一种普遍的声源定位方法之一,精确的时延估计从很大程度上决定了算法的最终定位效果,针对现有算法在低信噪比时估计时延精度差的问题,引入了一个随信噪比变化的非线性参量,改进了原有的加权函数,该方法很好地解决了低信噪比环境下的声源定位。下一步将把改进的方法应用于机器人定位,进一步验证该方法的有效性。

### 参考文献:

- [1] 刘真旭.基于麦克风阵列的实时声源定位[J].计算机应用与软件,2010,27(6):43-45.
- [2] 金乃高,殷福亮,陈喆.基于加权子空间拟合的声源定位与跟踪方法[J].电子与信息学报,2008,30(9):2134-2137.
- [3] 刘颖,刘建平,夏靖波.基于最小熵值的麦克风阵列声源定位算法[J].计算机工程,2012,38(7):146-147.

(下转197页)

- Applications (ICISA),2014:1-3.
- [3] Curone D, Tognetti A, Secco E L, et al. Heart rate and accelerometer data fusion for activity assessment of rescuers during emergency interventions[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2010, 14(3):702-710.
- [4] Zhang Z, Silva I, Wu D, et al. Adaptive motion artefact reduction in respiration and ECG signals for wearable healthcare monitoring systems[J]. Medical & Biological Engineering & Computing, 2014:1-12.
- [5] Pandey V K. Adaptive filtering for baseline wander removal in ECG[C]//2010 10th IEEE International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine (ITAB), 2010:1-4.
- [6] Kabir M A, Shahnaz C. Denoising of ECG signals based on noise reduction algorithms in EMD and wavelet domains[J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2012, 7(5):481-489.
- [7] Lee Y D, Jung S J, Seo Y S, et al. Measurement of motion activity during ambulatory using pulse oximeter and triaxial accelerometer[C]//3rd International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, 2008, 1:436-441.
- [8] Lee Y, Son M, Lee J H. Development of integrated module using wireless accelerometer and ECG sensor for ADL monitoring[C]//2007 9th International Conference on e-Health Networking, Application and Services, 2007:327-329.
- [9] Chang K M, Liu S H. Portable sleep monitoring by ECG and accelerator and bluetooth transmission[C]//2nd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics, 2009:1-4.
- [10] Jia R, Liu B. Human daily activity recognition by fusing accelerometer and multi-lead ECG data[C]//2013 IEEE International Conference on Signal Processing, Communication and Computing (ICSPCC), 2013:1-4.
- [11] Nimunkar A J, Tompkins W J. EMD-based 60-Hz noise filtering of the ECG[C]//Engineering in Medicine and Biology Society, 2007:1904-1907.
- [12] Nimunkar A J, Tompkins W J. R-peak detection and signal averaging for simulated stress ECG using EMD[C]//Engineering in Medicine and Biology Society, 2007:1261-1264.
- [13] Kabir M A, Shahnaz C. Denoising of ECG signals based on noise reduction algorithms in EMD and wavelet domains[J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2012, 7(5):481-489.
- [14] Zhao Zhidong, Ma Chan. A novel cancellation method of powerline interference in ECG signal based on EMD and adaptive filter[C]//2008 11th IEEE International Conference on Communication Technology, 2008:517-520.
- [15] Agrawal S, Gupta A. Fractal and EMD based removal of baseline wander and powerline interference from ECG signals[J]. Computers in Biology and Medicine, 2013, 43(11):1889-1899.
- [16] Pan J, Tompkins W J. A real-time QRS detection algorithm[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1985(3):230-236.

(上接 191 页)

- [4] 郭龙,熊伟,李牧东.一种基于 WSN 的机器人三维精确定位算法[J].无线电工程,2012,42(8):5-7.
- [5] Mennitt D, Johnson M. Multiple-array passive acoustic source localization in urban environments[J]. Acoustical Society of America, 2012, 127(5):2932-2942.
- [6] 彭迎标,杨尊先,林志贤,等.基于麦克风阵列的改进的 PHAT—GCC 语音定位算法[J].噪声技术,2013,37(2):62-65.
- [7] 史小红.基于 TDOA 的无线定位方法及其性能分析[J].东南大学学报:自然科学版,2013,43(2):252-257.
- [8] 谢锋,殷福亮.基于麦克风阵列的声源定位方法研究[D].辽宁大连:大连理工大学,2009.
- [9] 金光明,谢植,张传义,等.基于麦克风阵列多声源定位的新方法[J].东北大学学报:自然科学版,2012,33(6):769-773.
- [10] Knapp C H, Carter G C. The generalized correlation method for estimation of time delay[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1976, 24(4):320-327.
- [11] Reed E A, Feintuch E L, Breshad N J. Time delay estimation using the LMS adaptive filter-static behavior[J]. IEEE Trans on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1981:561-571.
- [12] Omolog M, Svaizer P. Use of the crosspower-spectrum phase in acoustic event localization[J]. IEEE Trans on Speech and Audio Processing, 1997, 15(3):288-292.
- [13] Sun Yongmei, Qiu Tianshuang. The SCOT weighted adaptive time delay estimation algorithm based on minimum dispersion criterion[C]//International Conference on Intelligent Control and Information Processing, 2010:35-38.
- [14] 陆晓燕.基于麦克风阵列实现声源定位[D].辽宁大连:大连理工大学,2003.
- [15] Doblinger G. Localization and tracking of acoustical sources[J]. Signals and Communication Technology, 2006:91-122.