

基于 GPRS 的声目标定位系统设计

吕永林¹, 字正华²

(1. 楚雄师范学院 经济信息管理及计算机应用系, 云南 楚雄 675000;

2. 云南财经大学 信息学院, 云南 昆明 650221)

摘要: 声定位技术在军事和民用领域中都具有广泛的应用。文中设计了一种基于 GPRS 无线传输网络的声目标定位系统, 数据采集和控制由以 TMS320VC5402 为数据采集处理器和 MC35 为 GPRS 无线传输模块的硬件系统完成。软件系统完成数据的预处理、目标识别和定位。同时, 鉴于时延估计算法和传声器阵列的选择是影响定位精度的主要因素, 选取四元十字面阵作为传声器阵列的设计方案, 针对非平稳信号提出了基于短时傅里叶变换(STFT)谱图的瞬时频域相关时延估计算法, 并进行了重点分析, 最后通过实验验证了系统的可行性。

关键词: GPRS; 声目标; 定位; 时延估计; 短时傅里叶变换(STFT)

中图分类号: TN912.34

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)09-0239-04

Design of Acoustic Target Localization System Based on GPRS

LÜ Yong-lin¹, ZI Zheng-hua²

(1. Department of Economic Information Management and Computer Application, Chuxiong

Normal University, Chuxiong 675000, China;

2. School of Information, Yunnan University of Finance and

Economics, Kunming 650221, China)

Abstract: The acoustic localization technique has been widely applied in civil and military aspects. An acoustic target localization system based on GPRS was designed in this paper. The hardware of system is built on TMS320VC5402 microprocessor and MC35 module. Software of system consists of data process, target recognition and localization. As the same time, the design of 4-element cross array and a time-delay estimation algorithm for non-stationary signal based on short time Fourier transform (STFT) spectrogram were proposed, and emphatically discussed. Experiment results verify the effectiveness.

Key words: GPRS; acoustic target; localization; time-delay estimation; short time Fourier transform

0 引言

声定位技术是通过声传感装置接收声波, 用电子装置将声信号转化为电信号, 再利用计算机系统对电信号进行分析处理, 以实现声源进行识别、探测, 并对声目标进行定位及跟踪的一门技术。声定位技术以其隐蔽性强、适用性高、低成本等独特优点而备受重视, 在军事和民用领域都有十分广阔的应用和重要意义^[1,2]。如军事领域, 战场环境中空中声目标的探测与定位、狙击手的定位与防御; 在民用领域中的视频会议系统中通过声定位, 控制摄像机自动转向发言人等。

国内近 20 年来在这一方面开展了大量研究工作, 其研究工作主要集中在采集声信号数据的传声器阵列设计方面的研究(包括硬件电路的设计和阵列结构的研究)和声目标定位算法的研究两个方面。而对于声定位系统的整体设计与实现方面的研究相对少一些。随着无线数据传输技术的发展和成熟, 充分利用无线网络进行数据传输, 实现远程监测具有十分重要的意义。GPRS(General Packet Radio Service)是在 GSM 网络基础上发展起来的一种采用分组交换技术的无线数据传输网络。进行数据传输时, GPRS 网络是在原有 GSM 网络的基础上, 引入了 PCU(分组控制单元)、GGSN(Gateway GPRS Supporting Node, GPRS 网关支持节点)和 SGSN(Serving GSN, GPRS 服务支持节点)等新部件构成的无线数据传输系统, 其用户能够在端到端分组方式下发送和接收数据, 将 IP 信息包从移动用户点传送至外部网络^[3]。由于 GPRS 无线传输网络在远

收稿日期: 2010-01-29; 修回日期: 2010-04-11

基金项目: 云南省自然科学基金资助项目(2005F0031Q)

作者简介: 吕永林(1973-), 男, 讲师, 硕士, 研究方向为模式识别; 字正华, 副教授, 博士, 主要研究方向为智能检测技术、信号处理、人工智能。

程数据传送中具有网络稳定、接入速度快、传输速率高、接入方便,适合在工作环境恶劣、地理位置偏僻、无人值守场所进行远程无线数据传输的特点,因此,设计一个数据采集、控制系统进行现场声目标数据采集,使用 GPRS 无线网络进行数据传输,远程计算机系统实现目标识别与定位的系统具有实际意义。鉴于时间延迟估计在目标定位算法中的重要性,文中对该部分进行了重点介绍。

1 系统组成

系统采用声传感器阵列和数字信号处理器(DSP)实现对声信号数据的采集与控制,然后通过 GPRS 无线网络将数据传送到远程计算机处理系统。计算机系统采用信号预处理、模式识别、目标定位技术对数据进行处理,最终获得目标类型与位置,实现远程的目标识别与定位。系统主要由三大部分组成,一是对目标声信号等数据进行采集的硬件部分,主要由声传感器、信号调理器、A/D 转换器、DSP 微处理器等数据采集和处理设备组成,其功能是完成数据采集控制和信号处理;第二部分是进行数据传输的 GPRS 无线网络,通过 GPRS 无线网络可实现远程数据实时传送;第三部分是对由 GPRS 无线网传送的声目标数据进行预处理、特征提取、分类识别、目标定位的软件部分(其包括时延估计和利用时延估计结果和传声器阵列的空间位置进行空间目标搜索定位估计两个部分),它是整个系统中最复杂、最重要的部分,是系统的核心,它控制系统的运行。这三大块构成了整个系统的主体架构。系统的基本组成结构如图 1 所示。

2 系统设计

2.1 传声器阵列设计

传声器阵列是指由一定的几何结构排列而成的若干个传声器组成的阵列,它具有很强的空间选择性,同时还可以在一定的范围内实现声源的自适应检测定位及跟踪^[4]。阵列的构建包括阵元间距、阵元个数和采

用的麦克风类型。在进行三维空间的声目标识别与定位中,通常采用多个声传感器构成的阵列进行数据采集。目前,常用的传声器阵列可分为线阵、面阵和立体阵,各种声传感器阵列各具特点^[5]。由于所设计的定位系统布设于地面,在充分考虑各种声传感器阵列的优缺点后,选择了可在整个平面,也可在平面为界的半个空间进行定位的面阵。同时,又考虑到十字形阵具有分维特性和阵列冗余度小的特点,以及四个阵元组成的阵列结构简单、方便布阵的特征^[6],最后,选取四元十字面阵作为传声器阵列的设计方案。四元十字阵示意图如图 2 所示,在实际使用过程中传声器阵列的位置由 GPS 定位系统确定。

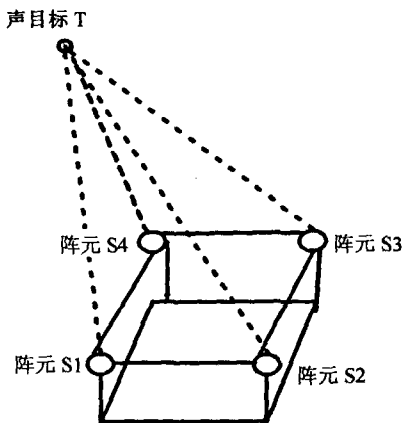


图 2 四元十字阵示意图

图 2 中设声目标 T 为点声源,并以球面波形式进行传播, T 的球坐标为 (r, φ, θ) ,即 T 到坐标原点距离为 r ,方位角 φ ,俯仰角为 θ ;阵元间距为 D ,声速为 C 。相对阵于阵元 S_1 ,声源到达阵元 S_2, S_3, S_4 的时延分别为 $\tau_{12}, \tau_{13}, \tau_{14}$,则可得目标定位方程^[7]如下:

$$\varphi \approx \arctan\left(\frac{\tau_{14} - \tau_{12}}{\tau_{13}}\right) \quad (1)$$

$$\theta \approx \arctan\left(\frac{C}{D} \sqrt{(\tau_{12} - \tau_{14})^2 + \tau_{13}^2}\right) \quad (2)$$

$$r \approx \frac{C(\tau_{12}^2 + \tau_{14}^2 - \tau_{13}^2)}{2(\tau_{13} - \tau_{12} - \tau_{14})} \quad (3)$$

可以看出,目标定位的精度主要与时延 $\tau_{12}, \tau_{13}, \tau_{14}$ 相关,时延精度越高,目标位置就越准确。因此,提

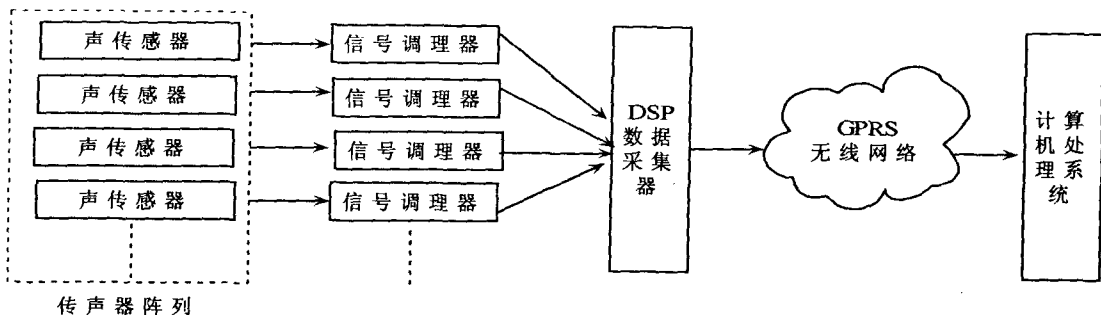


图 1 声目标定位系统组成结构

高时延估计的精度是对目标进行精确定位的关键。

2.2 数据采集系统与 GPRS 无线传输网络的设计

数据采集系统的核心主要由数据采集设备、数据微处理器 DSP 和 GPRS 无线模块组成,整个数据采集系统由 DSP 控制。数据采集设备完成声信号的调理、放大、模数转换及传输控制;DSP 一方面负责采集信号的控制和采集数据的接收,另一方面将采集到的数据进行打包、存储并与移动终端进行通信;GPRS 无线模块用于控制系统进行无线数据收发,实现与 GPRS 网络连接。在系统的设计中,DSP 采用由 TI 公司为实现低功耗、高性能而专门设计,主要应用于通信、数据采集等系统的 54x 系列芯中的 TMS320VC5402 数据信号处理器。其具有处理速度快(100MIPS)、功耗低、片内 RAM 容量大、性价比高等特点,其控制整个数据采集终端,并对采集到的数据加以处理。采集的数据通过 RS-232 接口与 GPRS 无线模块相连接,再由 GPRS 无线模块通过 GPRS 无线网络传送到远程计算机处理系统。GPRS 无线模块采用西门子公司的高性能、接口简单、性价比高的 MC35,完成 DSP 与 GPRS 间以及 GPRS 与计算机处理系统间的数据传送。数据采集与传输硬件结构如图 3 所示。

2.3 数据预处理及识别方法的设计

通过 GPRS 无线网络接收到的数据首先应进行数据预处理(包括声信号的滤波、去噪等方面),然后进行目标的识别与定位。作者在文献[8,9]中对声目标识别的技术与方法进行了阐述。采用小波包变换进行数据预处理、小波包能量特征提取方法进行特征提取和支持向量机(Support Vector Machine, SVM)的分类器进行目标分类,最后还给出了一个声目标识别系统的软件结构及主要实现算法,由于篇幅限制,在此对这一部分不再赘述。

2.4 时延估计方法的设计

现有的声定位技术有 3 类基本方法:

- (1) 基于最大输出功率的可控波束形成技术;
- (2) 基于高分辨率谱估计技术;
- (3) 基于声达时间差(时延估计)的定位技术。

前两种方法为直接定位法,计算量较大、效率低,在现代的声定位系统中很少采用。第 3 种方法是一种间接定位法,相对前两种方法而言计算量小,定位精度高,更利于实时处理,是目前最常用、使用最广泛的方法[4]。

法[4]。

在声目标定位系统中,利用时延估计对声信号进行处理是定位的重要环节。时延(信号到达传感器阵列中不同阵元的时间差)估计(Time Delay Estimation)的精度是整个定位系统的关键,决定了对目标定位的精度。因此,时延估计算法的设计就显得非常重要。目前的时延估计算法(如基于信号建模、自适应等)多数只能应用于平稳信号。在对各种振动冲击探测、超声测距、地震、声纳信号及其他被动声信号的处理中,声目标信号多为非平稳信号,而解决非平稳信号时间延迟估计方法中,基于时频分析的时间延迟估计是一种有效的途径。基于时频分析的时间延迟估计目前主要有基于小波变换的广义相关时延估计算法^[10]、基于 Wigner-Ville 分布(WVD)的时延估计法^[11](主要有基于 WVD 相关的估计方法、WVD 瞬时频域相关法以及 XWVD 峰值相关法)。针对非平稳信号时延估计,我们提出了一种基于短时傅里叶变换(STFT)谱图的瞬时频域相关法。

对获取的非平稳声信号进行短时傅里叶变换,两边取幅值的平方:

$$|STFT_x(t, \omega)|^2 = \left| \int x(\tau) g(\tau - t) e^{-j\omega\tau} d\tau \right|^2 = S_x(t, \omega) \quad (4)$$

式中 $S_x(t, \omega)$ 称为 $x(t)$ 的“谱图(spectrogram)”。显然,谱图是恒正的,且是实的。由于 $||g(\tau)|| = 1$, 所以,由(4)式可得:

$$\iint S_x(t, \omega) dt d\omega = E_x \quad (5)$$

即谱图是信号能量的分布。对信号 $x(t)$, 可以证明,其 WVD 和谱图有如下关系:

$$|STFT_x(t, \omega)|^2 = \frac{1}{2\pi} \iint W_x(u, v) W_h(t - u, \omega - v) du dv \quad (6)$$

式中 $W_h(t, \omega)$ 是对信号 $x(t)$ 作短时傅里叶变换时所用窗函数 $g(t)$ 的 WVD。因此,谱图也是一种时频分布,且是信号能量的分布。谱图和 WVD 都是 Cohen 类时-频分布的成员。谱图可以看作是对 WVD 的平滑,其结果是减少了交叉项的干扰,但同时降低了时频的分辨率。

对传感器接收的信号 $x_1(t)$ 与 $x_2(t)$, 分别作短时傅里叶变换,得到 $STFT_{x_1}(t, \omega)$ 和 $STFT_{x_2}(t, \omega)$, 定

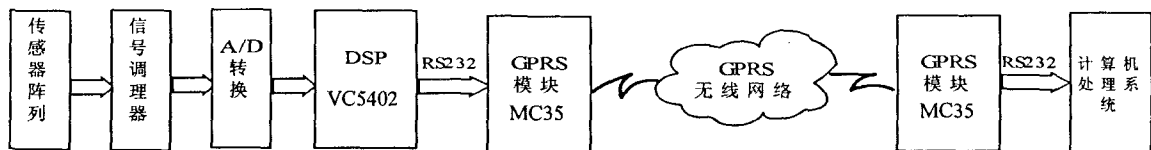


图3 数据采集与传输硬件结构图

义短时傅里叶变换谱图的瞬时频域相关函数为:

$$R_{\text{sft}}(t, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} |\text{STFT}_{x_1}(t, \omega)|^2 |\text{STFT}_{x_2}(t - \tau, \omega)|^2 d\omega \quad (7)$$

(7) 式是谱图 $S_x(t, \omega)$ 在频域的一维相关, 取不同 τ 值计算频域相关系数 $R_{\text{sft}}(t, \tau)$, $R_{\text{sft}}(t, \tau)$ 的大小表明 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 谱图中每个瞬时 t (对于 $x_1(t)$) 和 $t - \tau$ (对于 $x_2(t)$) 的频域能量之间的相关性, 当 $\tau = D$ 时经频域相关处理的信号能量集中, 获得最大的 $R_{\text{sft}}(t, \tau)$ 。这样基于短时傅里叶谱图瞬时频域相关的估计方法就是寻找在信号脉冲宽度内瞬时频域相关的最大值, 即:

$$R_{\text{sft}}(t, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} |\text{STFT}_{x_1}(t, \omega)|^2 |\text{STFT}_{x_2}(t - \tau, \omega)|^2 d\omega \leq R_{\text{sft}}(t, D) \quad (8)$$

通过对 STFT 谱图瞬时频域相关法与三种基于 WVD 时间延迟估计方法进行比较, 仿真结果表明^[12], 所提出的基于 STFT 谱图的瞬时频域相关法的时延估计可以达到克拉美 - 罗界, 并可获得最佳效果。

通过上述方法, 分别得到 $\tau_{12}, \tau_{13}, \tau_{14}$ 三个延迟估计数值。然后, 由(1)、(2)、(3)式计算出目标位置的空间坐标。

3 实验分析

实验过程中, 采用放置于高处的爆炸声信号作为目标源。声传感器阵列采用边长为 2m 的正方形四元面阵, 用自己设计的 DSP 数据采集系统采用触发方式进行数据采集。当信号幅度达到一定量值即认为目标有声音信号, 采集到的声信号数据通过 RS232 串口发送给 GPRS 模块, 然后再通过 GPRS 无线网络传送到远程计算机处理系统。计算机系统对接收到的数据信号进行分解、预处理、特征提取, 最后进行目标识别与定位。

实验表明, 该系统能够实时、正确地将传感器获取的信号远程传输, 并实现对爆炸源的空间位置进行计

算, 计算结果与实际位置误差在 10% 左右。

4 结束语

对基于 GPRS 的声目标定位系统的硬件和软件部分进行了设计, 实验验证了系统的有效性和可行性。鉴于实验所采用目标的单一性, 对于复杂的声目标进行识别与定位的算法还需进一步研究, 定位精度有待于进一步的提高。伴随着新一代无线数据传输技术 (如 3G 无线网络) 的逐渐成熟与发展, 开展基于 3G 的声目标识别与定位技术的研究将是下一步的工作。

参考文献:

- [1] Namorato M V. A concise history of acoustics in warfare[J]. Applied Acoustics, 2000, 59: 101 - 135.
- [2] 靳莹, 杨润泽. 声测定位技术的现状研究[J]. 电声基础, 2007, 31(2): 4 - 8.
- [3] 刘维群, 凌凤彩, 匡国防. 基于 GPRS 网络的远程数据采集系统及应用[J]. 微计算机信息, 2009, 25(6-1): 135 - 137.
- [4] 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 - 24.
- [5] 陈华伟, 赵俊渭, 蔡宗义, 等. 两种声学阵列的定向精度分析与仿真[J]. 声学电子工程, 2001(3): 6 - 11.
- [6] 贾云得, 冷树林, 刘万春, 等. 四元被动声敏感阵列定位模型分析和仿真[J]. 兵工学报, 2001, 22(2): 206 - 209.
- [7] 王昭, 李宏, 赵俊渭, 等. 空气声被动定位的误差分析[J]. 应用声学, 2000, 19(2): 39 - 43.
- [8] 吕永林. 声目标识别技术研究[J]. 楚雄师范学院学报, 2008, 23(3): 24 - 30.
- [9] 吕永林, 字正华. 基于 VC 与 Matlab 的声目标识别系统设计[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(9): 207 - 210.
- [10] 行鸿彦, 刘照泉, 万明习. 基于小波变换的广义相关时延估计算法[J]. 声学学报, 2002, 27(1): 88 - 93.
- [11] 戴延中, 李志舜. 基于 Wigner - Ville 分布的宽带回波到达时刻估计方法[J]. 声学学报, 2002, 27(1): 84 - 87.
- [12] 字正华, 石庚辰. 基于短时傅立叶变换谱图的非平稳信号时延估计方法[J]. 探测与控制学报, 2007, 29(6): 19 - 23.
- [8] Sajeev A S M, Wibowo B. Regression test selection based on version changes of components [C]//Tenth Asia - Pacific Software Engineering Conference. [s.l.]: [s.n.], 2003: 78 - 86.
- [9] Liang H. Regression testing of classes based on TCOZ specification [C]//Proceedings of 10th IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems (ICECCS). [s.l.]: [s.n.], 2005: 450 - 457.
- [10] Beizer B. Software testing techniques [M]. New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1990.
- [11] Hsia P, Li X, Kung C T, et al. A technique for the selective revalidation of OO software [J]. Journal of Software Maintenance: Research and Practice, 1997, 9(4): 217 - 233.
- [12] 张志军. 面向对象软件的回归测试策略研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2004: 32 - 35.
- [13] 郭宁. UML 及建模 [M]. 北京: 清华大学出版社、北京交通大学出版社, 2006: 52 - 59.

(上接第 238 页)