

基于传感器网络的广域噪声监测技术*

门春莲^{1,2†} 高文华¹ 杨亦春²

(1 太原科技大学 信息与电气工程学院 山西 030024)
(2 中国科学院声学研究所 噪声与振动重点实验室 北京 100190)

摘要 设计了一种针对城市环境噪声的广域噪声传感器网络系统,采用微型前置放大器和数字化网络采集仪组成检测系统,完成噪声信号的接收和采集,并通过软件设计完成采集的噪声信号存储、分析、显示及处理,实现了对噪声分布的图像化展示。

关键词 传感器网络, 城市噪声, 嵌入式系统

中图分类号: O429

文献标识码: B

文章编号: 1000-310X(2012)04-0314-06

The technology of wide range noise monitoring based on a microphone network

MEN Chunlian^{1,2} GAO Wenhua¹ YANG Yichun²

(1 College of Information and Electrical Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Shanxi 030024)
(2 Key Laboratory of Noise and Vibration Research, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract A noise monitoring system, the wide range spread microphone network, has been developed to measure urban noise distribution. This system was made up of miniature pre-amplifier, digitizer, data transfer linking by internet; data of all sensors' signal were acquired by this detection system. A software system has been made to calculate the sound field, to display its sound image and to save the raw data.

Key words Microphone network, Urban noise, Embedded system

1 引言

近年来,噪声对人类生活环境的污染越来越严重,尤其是城市噪声,已经成为城市环境的一大公害,常见的城市噪声如车辆、工业生产、建筑施工、社会生活等,严重干扰人类的工作和学习。世界卫生组织呼吁采取有效措施监测噪声情况,并采取相应的控制措施以减少对人们身体健康和生活质量的严重影响。目前有关噪声污染的投诉案件正出现

逐年增加的趋势,噪声污染的治理工作也日益引起有关部门的关注与重视。因此,对城市广域范围内的环境噪声进行监测很有必要。

国外科研工作者曾提出噪声地图来监测城市噪声的分布,噪声地图是将噪声数据、监测点的地理数据、温湿度数据、道路及地形建筑数据等进行分析 and 计算后生成的反映城市噪声情况的一种数据地图,主要是是软件仿真和地理信息系统综合而成的。

英国伯明翰市已经于 2000 年最早制作完成了

2011-12-09 收稿; 2012-04-05 定稿

* 国家自然科学基金面上项目(11074278, 11174320)资助。

作者简介: 门春莲 (1985-), 女, 河北保定人, 硕士研究生, 研究方向: 智能信号处理。

高文华 (1967-), 女, 教授, 研究生导师。

杨亦春 (1966-), 男, 研究员, 博士后, 研究生导师。

† 通讯作者: 门春莲, E-mail: menchunlian@163.com

全市的噪声地图^[1]。2004 年英国出版了世界上最大的官方噪声地图-《伦敦道路交通噪声地图》，人们只要登录噪声地图网站并输入邮编，就可知道其所居住街道的噪声级别^[2]。法国 CSTB/GEOMOD 与 ACOUSTB 合作开发的 MITHRA 技术，可直接显示和还原立体空间的噪声图像和仿真噪声^[3]，将噪声地图技术推到一个新高度。这种噪声地图可以定时更新，如英国为一年更新一次^[4]。

亚洲噪声地图建立晚于欧洲，日本、韩国等均建立了本地区的噪声地图，我国在 2009 年绘制出北京城区第一张 12.7 km² 的区域噪声地图。在该区域内，各个地理位置的噪声值分布用不同颜色的噪声等高线、网格和色块来表示。

本文将采用自行研制的广域噪声信号监测系统，设计了一种具有实时更新的噪声地图监测系统，保证了数据的有效性和可靠性，该系统采用嵌入式 Linux 操作系统采集传输噪声信号，各项参数

可调，通过广域有线或无线网络将噪声信号的数据文件信息传输到指定服务器。

2 系统硬件组成

广域噪声监测系统主要由微型前置放大器和数字化网络传输仪组成。一台数字化网络传输仪配接一个微型前置放大器和一个 1/2 驻极体电容测量传声器，组成噪声监测单元。广域噪声监测系统是由多个最小噪声监测单元和网络服务器构成的。该噪声监测系统可以对噪声实时监测，也可以将传声器采集到的数据通过互联网上传至服务器，通过下载服务器上的数据来分析噪声信号。

系统采用高速采集的方式，可以手动设定起止时间、采样率及增益等参数，控制噪声采集的时间长度和数据量，采集平台硬件系统采用如图 1 所示。采用了 S3C2440 处理器嵌入式 Linux 平台。

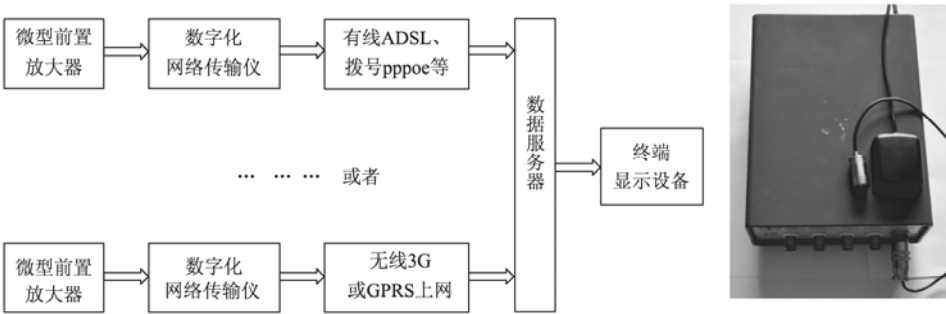


图 1 采集系统硬件框图及实物照片

2.1 微型放大器

微型放大器是一种新型的电压供电型低功耗的前置放大器，可缩小传感器安装空间，降低电磁波干扰，可靠性高。适用于驻极体电容传声器，具有阻抗变换功能和信号放大功能，输出阻抗小，具有良好的带负载能力，高一致性，图 2 为微型前置放大器实物图。

微型前置放大器在电路设计时要考虑元器件受温度漂移的影响，受温度影响小的比较好，同时还要考虑器件受湿度的影响，确保前置的温度系数小。本系统采用北京声望声电技术有限公司的 1/2 英寸预极化自由场传声器 MP201，其灵敏度为 50 mV/Pa，频率响应在 20 Hz~18 kHz，温度范围 -30~80℃，湿度为 0~98%。安装传声器后，当有噪声时，会改变传声器中两层膜间的距离，使声信

号转化为电信号，产生一个电压值，图 3 为微型前置放大器设计框图。



图 2 微型前置放大器

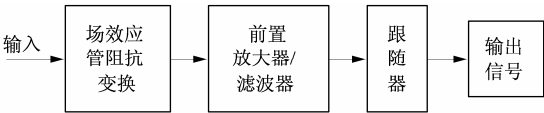


图 3 微型放大器设计框图

2.2 数字化网络传输仪

数字化网络传输仪采用三星公司的 16/32 位 RISC 的 S3C2440 处理器^[5-6]，是一种 ARM9 处理器的精简指令集的嵌入式计算机系统，实现了 MMU、AMBA BUS 和 Harvard 高速缓冲体系结构。图 4 是数字化网络传输仪的基本硬件组成，主要有 USB 接口、GPS、串口、ADC、网口接口及存储模块，此外还包括时钟控制、交直流切换及数据采集模块^[7]。

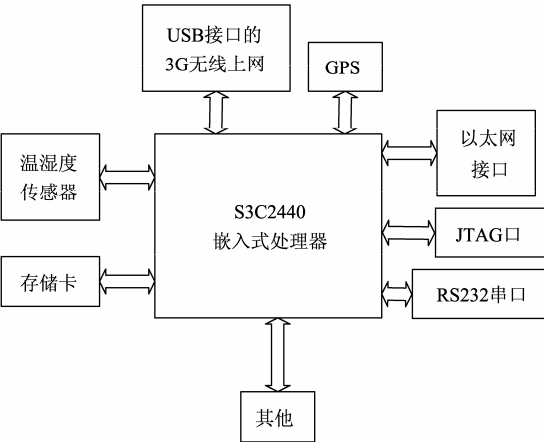


图 4 数字化网络传输仪框图

2.2.1 网络接口设计

数字化网络传输仪通过网络接口与 Internet 连接，采用 10/100 M 快速以太网控制芯片，与 RJ45 网络接口集成 10/100 M 网络脉冲变压器或滤波器。其中驱动程序、网卡的物理地址、IP 地址、网关和子网掩码等由 JTAG 口下载到 Linux 系统的 U-boot 中，通过嵌入于系统内部的 PPP 拨号模块，由 JTAG 口来控制无线、CDMA、modem 等模块拨号上网。并需要有 TCP/IP 协议的支持，在 TCP/IP 协议中下位机向上位机发送连接请求，上位机收到连接请求后向下位机发送连接请求，在收到下位机的确认信息后发送状态 ESTABLISHED，此时 TCP 连接建立，TCP 通信过程如图 5 所示。

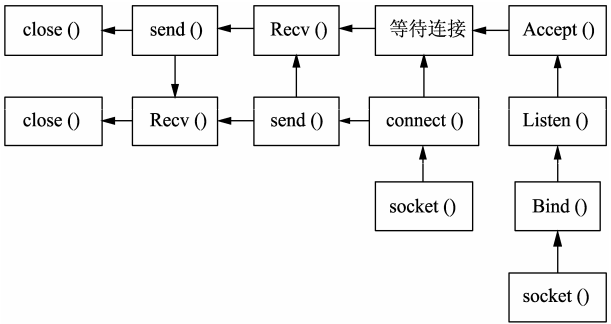


图 5 TCP 通信过程

2.2.2 GPS

GPS 定位方法按照参考点的不同位置可分为绝对定位和相对定位两种^[8]。绝对定位，即在地球协议坐标系统中，确定观测站相对地球质心的位置，这时可认为参考点和地球质心相重合。相对定位，即在地球协议坐标系统中，确定观测站与某一地面参考点之间的相对位置。其基本定位原理是：卫星不间断地发送自身的星历参数和时间信息，用户接收到这些信息后，经过计算求出接收机的三维位置、三位方向及运动速度和时间信息。本系统用 M-87 接收模块^[9]，采用绝对定位，是一个智能低功耗 GPS 传感器，其灵敏度为 159 dBm，允许输入电压为 3.3~5 V，接收频率最高可达 1575.42 MHz，最多可搜索 32 频道卫星，以 ASCII 码的格式传输，传输波特率为 115200。GPS 管脚接口如表 1 所示。

表 1 M-87 管脚接口

管脚	管脚名称	功能描述
1	VCC_IN	3.3~5 V 输入
2	TXA	串口输出 A
3	RXA	串口输入 A
4	RXB	串口输入 B
5	GND	接地
6	TIME MARK/RESET	时间标记秒脉冲/复位输入

2.2.3 USB 口与 SD 卡接口

在 S3C2440 内部集成了 USB 控制器，它作为主机的一部分，通过系统接口经过协议引擎报告和管理其状态，产生 SOF 标志包，从主机输出的数据经串行化和反串行化操作后输出，可以进行数据差错控制和远程唤醒，也可以将多个 USB 设备连接到主机控制。本系统驱动程序的编写主要考虑硬件提取层、中断服务程序、标准设备请求和主循环。程

序结构和数据传输的流向如图 6 所示。数字化网络传输仪的 USB 口主要是做无线网口用,即连接通过 USB 口传输数据的无线网卡。

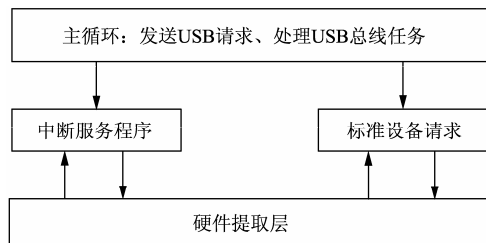


图 6 USB 驱动程序结构与数据传输流向

3 系统软件设计

该软件主要在嵌入式 Linux 操作系统基础上开发的应用程序。在完成了系统硬件的设计之后,建立了交叉编译环境、Boot loader、Linux 内核以文件系统,并对各个硬件部分编写了相应的驱动程序,保证了系统硬件部分的稳定性和可靠性,图 7 为其软件系统结构图。

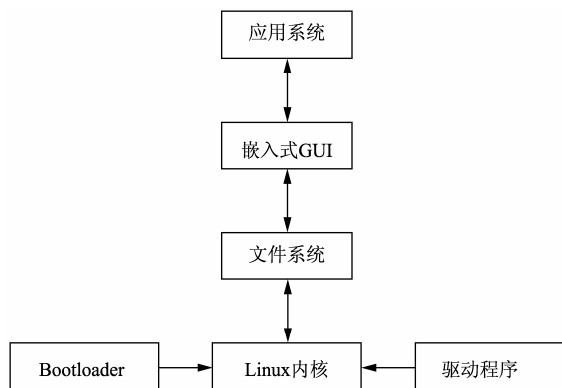


图 7 嵌入式软件系统结构

3.1 交叉编译环境建立

交叉编译是在宿主机上,可以安装开发工具,编辑、编译目标板的 Linux 引导程序、内核和文件系统,然后在目标机上运行。目标机和机主机之间通常可以使用串口、以太网接口、USB 接口以及 JTAG 接口等连接方式。本文采用 9 针 JTAG 接口方式,通过 JTAG 接口作为控制台,向目标板发送命令,显示信息,也可以传送文件,还可以调试内核及程序。针对 S3C2440 处理器,需在 ubuntu10.04 中安装交叉编译工具链。

宿主机与目标机经过编译器将程序转化为运

行该程序 CPU 所能识别的机器代码,嵌入式的交叉编译包括交叉编译、交叉链接等过程,交叉编译过程如图 8 所示。

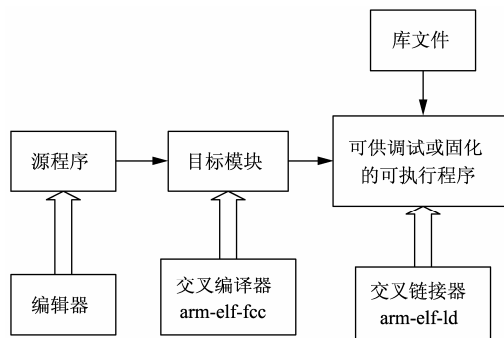


图 8 交叉编译过程

3.2 Boot loader 的移植

Boot loader 是在操作系统内核运行之前运行的一段程序,类似于 PC 机中的 BIOS 程序。通过这个程序可完成硬件设备的初始化,并建立内存空间的映射图,将系统的软硬件环境带到一个合适的状态,为调试系统内核做好准备。Boot loader 一般包括两种操作模式,自主模式是嵌入式产品发布时的通用模式,下载模式是目标机上的 Boot loader 通过串口连接或网络连接等通信手段从主机下载文件,用到的传输协议通常是 xmodem/ymodem/zmodem 协议中的一种,本系统采用 zmodem 作为传输协议,如图 9 所示。另外,不同的 CPU 有不同的 boot loader,本文的 S3C2440 处理器采用 U-Boot 来支持。



图 9 zmodem 协议

3.3 Linux 内核移植

Linux 内核结构有进程调度、内存管理、虚拟文件系统、网络接口和进程间通信五部分组成。Linux 内核是整个系统的核心,负责系统进程的调度,管理等。其移植过程要对内核先进行编译,然

后配置内核, 最后将内核烧写在 Flash 内。

4 噪声数据采集和处理

4.1 噪声数据采集过程

噪声数据采集选取的地点是东西方向北京市海淀区中关村北一街到中关村北二街, 南北方向选取的是中关村北四环西路到中关村北二条的一个方形区域。测试时间为 2012 年 2 月 13 日 (周一) 的早晚上下班高峰期以及晚上 11 点以后的噪声分布情况。在公路旁边布设噪声监测单元, 来检测周边的交通噪声及其他噪声。

具体采集传输过程是, 传感器与数字化网络传输仪上电之前, 要根据参数指标对仪器工作参数进行设置, 如采样率、采集起止时间, 仪器版本号、增益、要通过广域有线和无线两种模式上传的服务器, 并完成服务器的搭建。上电后先初始化, 并远程自动更新程序, 并在找到 GPS 定位后开始采集噪声信号。采集结束后, 仪器开始检测网络, 如果网络通, 则将通过网络自动将采集到的数据文件上传至服务器, 如果网络不通, 可将采集的数据可暂存入内置 SD 卡缓存中, 来防止数据丢失^[10], 等到网络通后将数据文件一起上传服务器, 图 10 为采集传输过程框图。

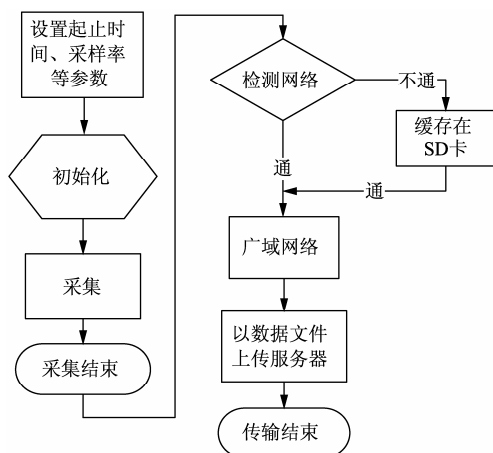


图 10 采集传输过程框图

4.2 噪声数据处理

噪声源向外界辐射的过程可以简述为: 噪声源、传播途径和接收者。噪声作为一种声波, 其计算遵循声波在空间传播的规律^[11]。声波传输过程会有声源指向性和声能量的衰减, 声能量在大气中传

播是有衰减的, 微型前置放大器可作为是声波的接收者, 一部分声波被微型前置放大器所接收。

采用网格布点测量的方法, 将被测城市区域划分距离为 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 的等网格^[12], 测试点一般选在网格的中心, 在不易测量时 (如有建筑物的阻挡), 可选在旁边位置测量。分别选在早上和晚上两个上班高峰期以及晚上十一点以后时间内, 噪声数据应以主要噪声来源的交通噪声为依据。

以 2012 年 2 月 13 日 (周一) 北京市海淀区东西方向中关村北一街到中关村北二街, 南北方向选取的是中关村北四环西路到中关村北二条 (经度 116.321 , 纬度 39.985) 采集的噪声为例, 布设了 27 个噪声采集单元, 通过远程登录服务器, 控制各噪声采集单元的起止时间, 实现了实时更新。

噪声地图的插值绘制过程如下:

设地图网格交叉处坐标为 (x_i, y_i) , $i=1, 2, \dots, 27$; 网格最短对角线方向上测得的能量分别为 E_i 和 E_j , 坐标分别为 (x_i, y_i) , (x_j, y_j) , 网格交叉处坐标为 (x, y) , 均为已知。求网格对角线上网格交叉处的能量 E_{ij} 为:

$$\frac{E_{ij} - E_i}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}} = \frac{E_j - E_{ij}}{\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}}, \quad (1)$$

则推导 E_{ij} 为:

$$E_{ij} = \frac{E_j \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} + E_i \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}}{\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2} + \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}}. \quad (2)$$

数据分析显示模块的设计在 VS2005 的环境下, 采用可视化编程语言 Visual C++ 编程^[13], 并融入 OLE、SQL 及数据库技术, 对噪声信号主要用 matlab 软件平台作为信号的处理工具。

图 11、12、13 分别为北京海淀区中关村北一街到北二街, 北二条到北四环西路 $400\text{m} \times 450\text{m}$ 范围内的噪声地图。从图 11 中看出, 北四环西路与北一街相比, 噪声在北四环上明显很大, 北四环路上噪声接近 80dB , 而在远离北四环西路的其他道路噪声分布低于 70dB 。因为是早晚高峰期, 人为主观估计两个时间区间的噪声分布情况类似, 这点从图 12 与图 11 噪声分布图可以得到证明。

但晚上 11 点以后, 其噪声分布有很大改变, 如图 13 所示。在北四环主干道上晚上 11 点以后的

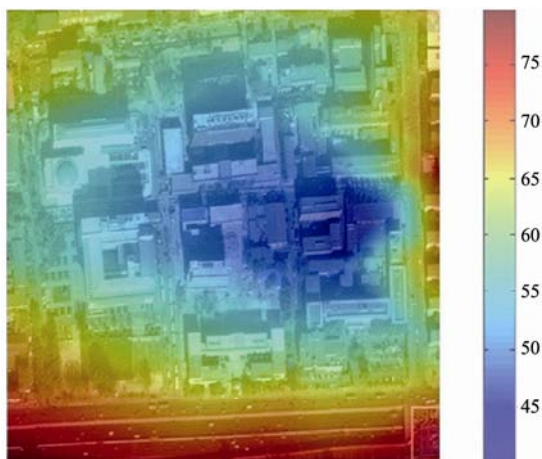


图 11 位于北京海淀区北四环西路与中关村北二条早高峰的噪声信号图

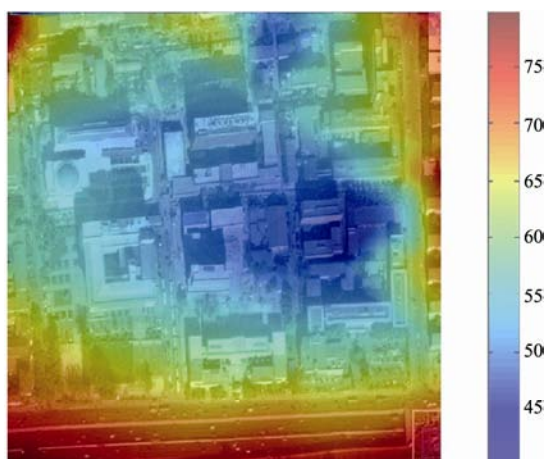


图 12 位于北京海淀区北四环西路与中关村北二条晚高峰的噪声信号图

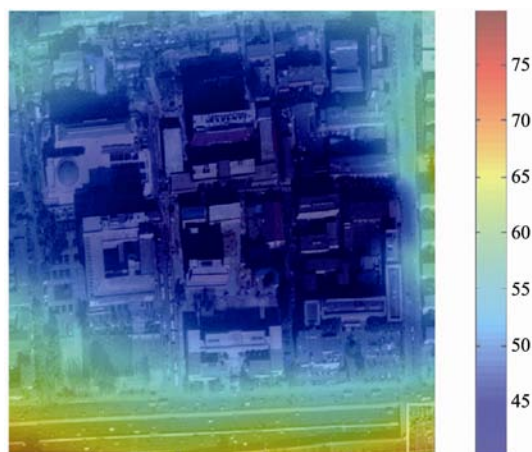


图 13 位于北京海淀区北四环西路与中关村北二条晚上 11 点的噪声信号图

噪声很小,最高达不到 65 dB,而早上和晚上的噪声最高达到将近 80 dB。远离北四环西路的其他非主干道路噪声也降低了,最高达不到 60 dB,早晚高峰最高将近 70 dB。

5 结论

本文分别对噪声监测系统的硬件和软件进行设计,通过实验将采集的噪声信号上传服务器,从服务器下载噪声数据文件,再对噪声数据文件采用 matlab 软件平台处理,得到北京海淀区北四环西路与中关村北二条的早晚高峰和晚上十一点的噪声分布图。

该噪声信号监测技术适合广域范围内噪声信号的采集接收,可靠性高,在布设完站点后,能在无人坚守的情况下通过广域网络将采集的数据文件上传至服务器,可以远程设置参数控制系统的工作,实现数据实时更新。通过对部分地区的检测可以更好的完善噪声监测系统,使我国的环境管理更加科学化。

参 考 文 献

- [1] JHON. Hinton. BUMP-The Birmingham Update Noise Mapping [J]. Acta Acoustic United with Acoustic, 2003, suppl. 1: 65.
- [2] 韩红霞,高俊,刘广亮,等. 英国伦敦城市发展的环境保护战略[J]. 国外城市规划, 2004, 19(2): 60-64.
- [3] 刘韬. 欧洲城市环境噪声地图与治理措施[J]. 建筑科技, 2007, 21: 46-47.
- [4] 刘立辉. 基于嵌入式系统平台的城市噪声分布地图[D], 2010. 5: 11-1.
- [5] 嵌入式 Linux 系统开发技术详解[M]. 基于 ARM. 北京华清远见培训教材, 2006. 6.
- [6] S3C2440 RISC Microprocessor Datasheet[M], Samsung Semiconductor Inc. 2004.
- [7] ARM920T Technical Reference Manual[M]. 2001, 23-26.
- [8] 崔保延(美), GPS 软件接收机基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007. 9.
- [9] M-87_SPEC_070627 英文数据手册[M], HOLUX 公司. 2007.
- [10] 魏新元, 郭泉, 门春莲, 等. 广域次声网络监测系统的设计[J]. 电声技术, 2011, 35(5): 47-54.
- [11] 马大猷. 噪声与振动控制手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [12] 倪乃琛, 沈保罗. 噪声与电声测量技术[M]. 上海: 同济大学出版社, 1989: 193-195.
- [13] 汪翔, 袁辉. Visual C++实践与提高. 网络编程篇[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.