

The Design and Implementation of Object-Monitoring Multimedia Sensor Node *

XU Zhi-sheng¹, SUN Yu-yan², LI Li-qun^{2,3}, SUN Li-min^{2*}

- 1. School of information Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;
- 2. State Key Laboratory of Information Security, Institute of Software of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
- 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract: The Multimedia WSN, which mainly focuses on sampling and collecting rich information such as audio, video and image, is a new kind of application mode of sensor network. It has very wide application prospect and has become research hotspot recent years. At present, multimedia sensor nodes from abroad are always expensive and narrowly targeted, while the design of domestic sensor nodes can not satisfy the high requirements of processing performance and RF bandwidth in Multimedia WSN. In this paper, we designed and implemented a new type of high-performance multimedia sensor node for birds' twitter monitor at Poyang lake. Experiment results prove that network composed of such nodes, can build routing effectively, sense and collect multimedia information in real-time.

Key words: sensor network; multimedia sensor node; audio/video; object-monitoring

EEACC: 6210 Q; 6450; 7210 G; 7230 S

面向声音监测的多媒体传感器节点硬件设计与实现 *

徐志生¹, 孙玉砚², 李立群^{2,3}, 孙利民^{2*}

- 1. 武汉理工大学信息工程学院, 武汉 430070;
- 2. 中国科学院软件研究所信息安全国家重点实验室, 北京 100190; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100190

摘 要: 多媒体传感器网络能够采集和传输信息丰富的音频、视频、图像等多媒体信息, 具有十分广泛的应用前景, 是近年来无线传感器网络的研究热点。目前, 国外多媒体传感器节点主要针对图像传输; 国内使用的节点大多都难以满足多媒体信息处理和传输等方面的应用要求。本文针对鄱阳湖鸟类声音监测的应用, 设计实现了一种新型的高性能多媒体传感器节点。实验结果表明, 由该节点组成的多媒体传感器网络, 能有效建立路由, 实时地感知和采集网络覆盖区域内的多媒体信息。

关键词: 传感器网络; 多媒体传感器节点; 音视频; 目标监测

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2008)11-1876-05

融合了网络技术、无线通信技术和低功耗嵌入式技术的无线传感器网络, 具有广泛的应用前景和潜在的实用价值, 被认为是对 21 世纪产生巨大影响的技术之一。20 世纪 90 年代国外就开始了无线传感器网络的研究工作, 并首先在军方得到了应用和推广。国内多个研究机构 and 高校也于 2001 年左右开始了无线传感器网络的研究工作, 目前已经取得了很大的进展和丰富的研究成果^[1]。

无线传感器网络已经广泛应用于感知和采集特定区域内的温度、湿度、光强、压力、酸碱度等标量信

息, 如在精准农业中的应用^[2]、在故宫环境监测中的应用^[3]、在冶金设备远程监测系统中的应用^[4]、在停车场管理中的应用^[5]等等。然而, 随着监测需求的不断提高, 由这些应用所获取的简单数据愈加不能满足人们对环境监测的全面需求, 迫切需要将信息丰富的音频、视频、图像等多媒体信息引入到以传感器网络为基础的环境监测活动中来, 实现细粒度、精准信息的环境监测。由此, 多媒体传感器网络应运而生。

近年来, 多媒体传感器网络技术的研究已引起

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助(973)(2006CB303007); 国家高技术研究发展计划(863)资助(2006AA01Z215, 2006AA01Z218)

收稿日期: 2008-06-10 修改日期: 2008-08-05

了科研人员的密切关注。国外一些学者较早开展了多媒体传感器网络方面的探索性研究,在 IEEE 系列会议、ACM 多媒体和传感器网络相关会议发表了一些重要的研究成果。美国加利福尼亚大学、卡耐基·梅隆大学、马萨诸塞大学、波特兰州立大学等著名学府纷纷成立了视频传感器网络组,并启动了相应的科研计划,表 1 给出了部分国外多媒体传感器节点。国内一些高校和研究所也开始了该领域的探索^[6]。但是,这些研究成果大多处于理论阶段。

表 1 多媒体传感器节点

名称	类型	处理器	传感器
eCAM	图像节点	DW8051	OV7640
Panoptes	图像节点	StrongArm	Logitech 3000
FireFly	音频节点	ATmega32	高灵敏度麦克风

本文所设计的多媒体传感器节点用于对鄱阳湖候鸟的音频信息进行采集,通过对音频信息进行相关分析获取候鸟的种类,迁徙时间,生活方式和习性等信息。整个监测系统由音频采集节点、信息汇集节点和监控主机(PC机)组成,如图 1 所示。音频采集节点布设在候鸟频繁活动区域附近,采集网络覆盖范围内的音频信息,信息经过适当处理,通过多跳的自组织网络传送给信息汇集节点。信息汇集节点接收感兴趣采集节点的音频信息,并以有线的方式传送给监控主机(PC机),以供观测、分析和总结候鸟的相关信息。下面部分将介绍应用与设计需求、多媒体传感器节点设计、实验测试和总结。

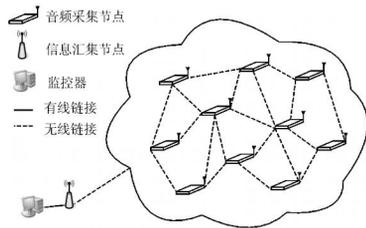


图 1 鸟类多媒体信息采集网络的结构

1 应用与设计需求

本系统是一个对复杂多变区域内候鸟的音频信息进行实时采集和传输的无线网络系统,主要硬件平台由三部分组成:音频采集节点、信息汇集节点和监控主机。各部分的功能如下。

音频采集节点带有音频采集功能和无线通信功能,能够实时采集或/和压缩音频信号,以及进行数据转发和路由功能,能够形成一个自组织的音频采集无线网络;

信息汇集节点带有无线接口和以太网接口,通过以太网接口连接监测主机(PC机);通过无线接

口与音频采集通信网络相连;

运行在监测主机上的应用软件可以播放采集的音频,同时能够对音频采集通信网络进行管理。

整个系统的功能具体包括:

采集节点的音频信息可以通过多跳的无线网络,经由末端节点传输到监控器上进行实时播放和存储;

网络能够动态地建立较高服务质量的路由;

监控主机能够对采集网络中的任何一个音频节点进行音频采集。

本系统中的音频采集节点、信息汇集节点需要根据具体的应用进行设计。按照应用需求,节点应具有以下特点:

功耗低,保证在电池供电的情况下,整个网络有较长的生命周期。

体积小,保证多媒体传感器节点布设在检测区域内,拥有一定的隐蔽性。

较高的处理性能,保证能够在网内实时地处理和转发音频数据。

较高的通信带宽,保证多跳传输时,能够实时有效地传输多媒体信息。

相对较大的存储容量,保证程序运行和音频数据的临时存储。

拥有相应的节能控制策略,保证网络在非服务时间内,能最大限度地降低功耗。

2 多媒体传感器节点设计

2.1 节点框架设计

多媒体传感器节点大致有两种设计方法。一种是在已有的标量传感器节点的基础上,扩展传感器模块,如 Cyclops^[7],CMUcam^[8],SensEye^[9]等。这几个节点是将图像传感器模块通过扩展与已有的传感器节点相连,拥有较好的扩展性,可能的不足是扩展的图像传感器子板上通常也有处理器,与传感器节点上的处理器形成器件冗余、增加系统复杂度,而且还会影响协议的跨层优化^[10]。另一种方法是全新设计传感器节点,如哈尔滨工业大学设计的 WISN 节点^[11]。该节点选用了高性能的 32 位 ARM7TDMI 处理器,使用 FPGA 芯片完成基于小波的图像压缩算法,无线传输模块使用 Chipcon CC1000。这种节点的优点是处理能力较强,其不足之处是射频通信带宽不高。

根据应用需求,结合上述两种设计方法各自的优点,本文所设计的多媒体传感器节点按功能由三个独立模块组成:母板模块、通信模块和音频传感器模块。图 2 为多媒体传感器节点的模块框架图。

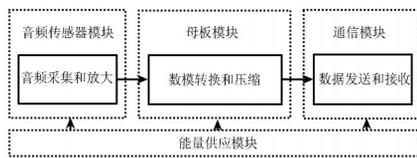


图2 多媒体传感器节点模块框架图

主板模块主要完成音频数据的模数转换、压缩等处理功能;通信模块主要完成音频数据的发送和接收功能;音频传感器模块主要完成音频的采集和放大等功能。能量供应模块为三个模块提供需要的工作能量以及相应的节能控制策略。

2.2 主板模块设计

主板模块主要由处理器单元、电源单元、扩展单元组成。

主板模块的主控微处理器对采集的音频模拟信号进行模数转换,然后将转换后的数据按一定的算法进行压缩,最后将压缩数据传送给无线收发模块并通过天线发送出去。设计中为了尽可能地减小无线通信的压力,保证语音实时传输,采用了G.726语音压缩算法对采集的原始数据进行4:1压缩发送。这样即使不能立即转发,节点256 K容量的SRAM也能暂存大约8 s的数据量。

为了使多媒体节点拥有较高的处理性能、较小的体积和较低的功耗,母板的核心单元选用了ATMEL公司以ARM7为核心的32 bit高性能处理器AT91SAM7S512^[12]。与一般的8 bit、16 bit单片机相比,其突出的特点是高性能、高集成度以及片外丰富的资源,进一步减小体积,虽然与表1中的一些32 bit微处理器相比处理能力稍弱,但功耗较低,在满足系统要求的处理性能的前提下,更符合本文的应用需求。

AT91SAM7S512微处理器具有以下特点:

集成了高性能32 bit RISC架构的ARM7 TDMI ARM THUMB内核。工作频率最高可达55 MHz,处理性能为0.9 MIPS。

片内集成512 kbyte FLASH和64 kbyte RAM能保存满足应用需求的程序和数据,这样可以最大限度地减小节点的体积。

核心工作电压为1.65~1.95 V,其它部分工作电压为3.0~3.6 V。片内集成有1.8 V电压调节块,无需外加1.8 V电压调整芯片,即可方便地采用两节干电池供电。

多达8通道、采样和保持时间可灵活配置的ADC。数据支持DMA传输,可进一步提升系统性能。

具有可编程的看门狗定时器,确保CPU长期正常工作。

主从SPI接口可以方便地与通信子板模块实现高速同步数据通信。

自带一个全速USB控制器,一个调试串口,两个通用串口和JTAG仿真调试接口,可以很方便地与PC机通信以及软件的调试和烧写。

2.3 通信模块设计

传感器节点的射频通信频率一般工作在2.4 GHz或1 GHz以下的ISM频段上,通常2.4 GHz的射频芯片比1 GHz以下的射频芯片的通信速率高,但其绕射能力和穿透能力却相对较弱,环境适应能力差,目前实际运用的1 GHz以下的射频芯片带宽大多不高,几乎不能实时可靠传输多媒体信息^[13]。高速传输和强环境适应性是多媒体传感器节点中一对相互矛盾的因素,为了保证在相对高速通信的情况下尽可能地提高节点的环境适应能力,本文选用了Chipcon公司1 GHz以下,最高通信带宽可达500 kbps的无线收发芯片CC1100^[14]。

CC1100是Chipcon公司基于SmartRF技术的0.18 μm CMOS工艺下制造的单芯片UHF无线收发器。

CC1100的工作频段为315、433、868、915 MHz,并且可以很容易地编程为300~348 MHz,400~464 MHz和800~900 MHz。芯片除了具有低电压(1.8~3.6 V),低功耗,可编程的输出功率(-30~10 dBm),高灵敏度和小尺寸封装等特点外,可以尽可能的减小节点的体积。其ASK、OOK、GFSK通信速率为250 kbit/s,MSK、2-FSK速率可达500 kbit/s,非常适合传输大数据量的多媒体信息。主要的工作参数可以通过串行总线接口进行编程,使用非常方便。CC1100可以通过简单的4线串行接口(SI、SO、SCLK、CSn)进行配置编程,另外还有两个可配置的状态输出引脚(GDO0、GDO2),应将这两个状态引脚作为微处理器的中断输入信号。图3所示为CC1100与AT91SAM7S512的连接示意图。CC1100内部有48个配置寄存器(0X00~0X2F),14个命令滤波寄存器(0X30~0X3D),12个状态寄存器(0X30~0X3D)。对CC1100寄存器的访问始于一个头字节(读写控制位,突发访问位和6位地址)。对配置寄存器既可以单独访问也可以冲突访问。数据在SI输入的同时将在SO输出芯片的状态信息。状态寄存器只能单独访问,读出的数据为芯片的状态信息。命令滤波寄存器的访问与写寄存器操作类似,不同的是没有数据传输。

2.4 音频传感器模块设计

语音采集模块的主要功能是适当地放大微弱的模拟语音信号并将其数字化。

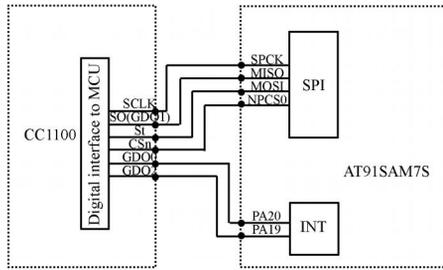


图 3 CC1100 与 AT91SAM7S512 接口示意图

语音信号通过音频传感器转换为模拟的电信号,经过放大和滤波,传送给微处理器采样,将其转换为数字信号。音频传感器选用的是柱极体话筒。为了有较高的灵敏度,宜选用动态电阻大,直流特性好的驻极体话筒。本节点采用的是东芝公司生产的一款驻极体话筒,其具有较高的灵敏度,可以在几米范围内采集到有效的音频信息。音频放大芯片采用 National Semiconductor 公司的低电压运放 LMV822^[15]。它具有工作电压低(2.5~5 V)和消耗电流(0.5 A/5 V)小的特点,并且其增益带宽为 5.5 MHz,完全可以满足语音放大的需要。LMV822 内部集成有两个独立的运放单元,可以对音频信号进行两级的放大,以提供足够的增益倍数^[16]。音频传感器模块设计如图 4 所示。

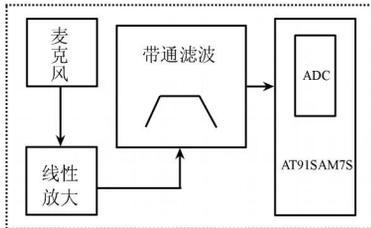


图 4 语音传感器模块连线示意图

通常,供电电压的不稳定,射频模块辐射的电磁波,都会对模拟的语音信号造成很大的干扰。为了降低噪声,提高语音信号的质量,在这个模块中设计了 3 阶 Butterworth 带通滤波器,以滤除带外噪声。滤波器设计方案如下:

带通滤波器需要对 300~3 400 Hz 带外噪声进行滤除,设计采用了低通滤波器串联高通滤波器的方案,如图 5 所示。

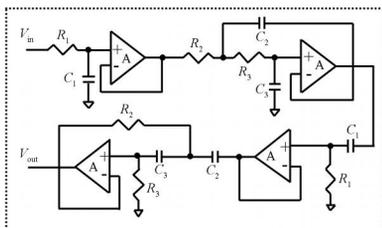


图 5 带通滤波器示意图

低通滤波器设计:

$$H(S) = H_1(S) \times H_2(S)$$

$$H_1(S) = \frac{1}{R_1 C_1 S}$$

$$H_2(S) = \frac{1}{R_2 C_2 R_3 C_3 S^2 + (R_2 + R_3) C_3 + 1}$$

通常令 $R_1 = R_2 = R_3 = R$

$$\text{并设 } S = \frac{S_0}{R^3 \sqrt{C_1 C_2 C_3}}$$

$$\text{得 } H(S_0) = \frac{1}{S_0^3 + aS_0^2 + bS_0 + 1}$$

$$a = \frac{(2C_1 C_3 + C_2 C_3)}{\sqrt[3]{C_1 C_2 C_3}} \quad b = \frac{(C_1 + 2C_3)}{\sqrt[3]{C_1 C_2 C_3}}$$

根据 Butterworth 三阶多项式:

$$S^3 + 2S^2 + 2S + 1$$

$$\text{推出 } \frac{(2C_1 C_3 + C_2 C_3)}{\sqrt[3]{C_1 C_2 C_3}} = 2, \quad \frac{(C_1 + 2C_3)}{\sqrt[3]{C_1 C_2 C_3}} = 2$$

得 $C_1 = 20 \text{ nF}; C_2 = 40 \text{ nF}; C_3 = 10 \text{ nF}$

三阶 Butterworth 低通滤波器的截止圆频率为 $\omega_{0c} = 1$,

$$\text{推出 } \omega_c R^3 \sqrt{C_1 C_2 C_3} = 1, \quad F_c = \frac{\omega_c}{2 \times 3.14} = 3\,400 \text{ Hz}$$

得 $R = 2.34 \text{ k}$

同理可得高通滤波器设计参数如下:

$$C_1 = C_2 = C_3 = 10 \text{ nF}; R_3 = 106 \text{ k}$$

3 实验测试

研制的多媒体传感器节点实物如图 6 所示。为了验证设计的合理性,对该多媒体传感器节点和组成的网络进行了性能测试^[17]。在空旷地带,节点的单跳通信距离可达 100 m 以上。网络性能实验由一台监控主机(PC 机),1 个 Sink 节点和 10 个多媒体传感器节点组成,各节点的部署位置如图 7 所示。每个节点距离地面的高度约为 1 m。调整多媒体节点建立路由时的功率为 -30 dbm,数据通信时的功率为 10 dbm。当在 PC 端点播某一节点时,首先以低功率建立路由,选择一条合理的通信路径;然后再以较高的功率进行数据传输,点播的节点采集周围的音频信息,其余节点只进行数据转发。

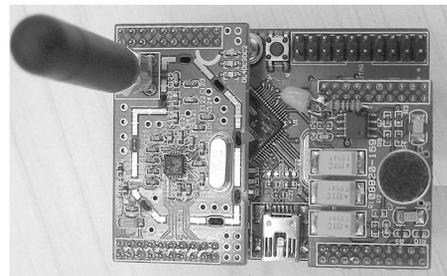


图 6 多媒体节点实物图

网络正常运行时,我们对每个多媒体传感器节点的丢包率分别进行了统计,统计结果如图 8 所示。从图中可以看出,每个节点的丢包率都不超过 9%,

距离较近的节点丢包率几乎为零。由此可知,整个网络的性能表现非常好。

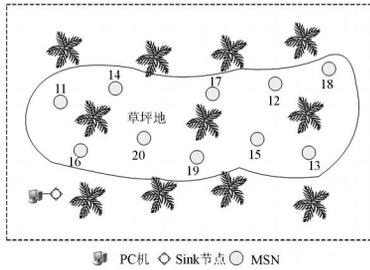


图7 实验场景示意图

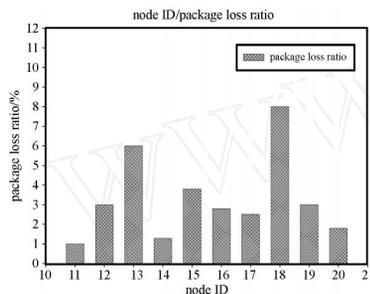


图8 节点/丢包率实验

当在PC机端依次控制每个节点采集感知区域内的音频信息,同时将采集到的音频信息实时播放时,可以在监控主机收听到非常清晰和流畅的声音,并且感知灵敏度很高。

4 总结

本文在分析多媒体传感器网络的特点的基础上,结合鄱阳湖鸟类声音监测系统,设计并实现了面向音频采集的多媒体传感器节点。实验测试数据和实际播放效果表明,由该节点组成的多媒体传感器网络在相应的协议支持下,能够有效建立路由,实时

地采集和传输感知区域内的音频信息。

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中等. 无线传感器网络[M]. 清华大学出版社, 2005.
- [2] 黄刘生,徐宏力,吴俊敏等. 无线传感器网络应用集锦(1)在精确农业中的应用[J]. 中国计算机学会通讯, 2006. 9.
- [3] 李栋,回春立等. 无线传感器网络应用集锦(2)在故宫环境监测中的应用[J]. 中国计算机学会通讯, 2006. 9.
- [4] 张晓彤,樊勇等. 无线传感器网络应用集锦(3)在冶金设备远程监测系统中的应用[J]. 中国计算机学会通讯, 2006. 9.
- [5] 孙利明,柯欣. 无线传感器网络应用集锦(4)在停车场管理中的应用[J]. 中国计算机学会通讯, 2006. 9.
- [6] 马华东,陶丹. 多媒体传感器网络及其研究进展[J]. 软件学报, 2006, 14(9): 2013-2028.
- [7] Rahimi M, Estrin D, Baer Retal, Cyclops: Image Sensing and Interpretation in Wireless Networks[C]// Proc. of ACM SenSys 2004, Nov, 2004.
- [8] Crossbow telosB Mote Specifications[EB/OL]. Http://www.xbrow.com.
- [9] Kulkarni P, Ganesan D, Shenoy P. LUOF. SensEye: A Multi-Ier Camera Sensor Network [C]// Zhang HJ, Chua T-S, eds. Proc. of the 13th Annual ACM international Conference on Multimedia '05. New York: ACM Press, 2005, 229-238.
- [10] Downs I, Rad L B, Aghajan H, Development of a Mote for Wireless Image Sensor Networks[C]// Proc. of COGnitive systems with Interactive Sensor (COGIS), Paris, March 20-06.
- [11] Cao Z, Ji Z, Hu M. An Image Sensor Node for Wireless Sensor Networks[C]// ITCC '05, vol. 2, -2005.
- [12] Atmel AT91 ARM Data Sheet.
- [13] 赵泽,黄希,崔莉. 无线传感器网络的节点技术[J]. 中国计算机学会通讯, 2006. 9.
- [14] Chipcon CC1100 Data Sheet[R].
- [15] National Semiconductor LMV822 Data Sheet[R].
- [16] 康华光,陈大钦. 电子技术基础模拟部分[M](第四版). 等教育出版社, 1999. 6.
- [17] 李石坚,廖备水,吴建. 面向目标跟踪的传感器网络设计、实现和布局优化[J]. 传感技术学报, 2007, 12.



徐志生(1982-),男,硕士研究生,主要研究方向为嵌入式系统体系结构,无线传感器网络, xuzhisheng@is.iscas.ac.cn



李立群(1984-),男,博士研究生,主要研究方向为无线传感器网络;



孙玉斌(1982-),男,助理研究员,主要研究方向为无线传感器网络,嵌入式操作系统;



孙利民(1966-),男,博士,研究员,博士生导师,主要研究方向为无线传感器网络, sunlimin@is.iscas.ac.cn