

基于 DSP 和双目视觉的多媒体传感器网络节点设计与实现

张云洲¹, 蒋培², 高亮¹, 李立强¹

(1. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 海军工程大学 兵器工程系, 湖北 武汉 430033)

摘 要: 针对无线传感器网络对于多媒体信息获取的实际需求, 以高性能 DSP 处理器为核心, 结合 ZigBee 无线通信, 设计实现了新型多媒体无线传感器节点。借助 DSP 的强大运算能力和外设接口, 在多媒体节点上配置了双目摄像机、加速度计等传感器, 实现了环境信息和图像数据的实时感知与获取, 并依托 ZigBee 协议形成了室内环境短距无线通信与监测能力。实验结果表明, 所设计的多媒体传感器节点能够准确、实时地进行综合感知数据的获取与处理, 满足无线多媒体传感器网络的应用需求。

关键词: 传感器网络; 多媒体节点; DSP 处理器; ZigBee 通信; 双目视觉

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)12-0210-07

Design and implementation of wireless multimedia sensor network node based on DSP and binocular vision

ZHANG Yun-zhou¹, JIANG Pei², GAO Liang¹, LI Li-qiang¹

(1. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: In order to meet the requirement of multimedia information acquisition in wireless sensor network, a new wireless multimedia sensor node is designed and implemented with the high-performance DSP processor as the core. ZigBee module is used to implement the wireless communication. In virtue of the powerful computing ability and peripheral interfaces of DSP processor, the multimedia node owns binocular vision and various sensors such as accelerometer. Therefore, it can attain the real-time perception of environmental information and acquire image/video data. Based on the ZigBee protocol, the sensor is able to fulfill short-distance wireless communication and monitoring duty in indoor environment. Experimental results show that the multimedia sensor node designed can accurately obtain and handle the synthetic sensing data in real time. It is suitable for the application of wireless multimedia sensor network.

Key words: sensor network; multimedia node; DSP processor; ZigBee communication; binocular vision

1 引言

无线传感器网络 (WSN, wireless sensor network) 深刻地改变了人类与自然的交互方式^[1,2], 并广泛应用于军事、工业、医疗、环境监测等诸多领域^[3,4]。随着人们对物理世界认识的加深和环境日趋复杂, 传统无线传感器节点所获取的简单数据已经无法满足人们实现全面检测环境的需求, 迫切需要将图像、视频、音频、空间立体感知等媒体信息

引入到无线传感器网络中来, 实现更精准、细微的监测, 多媒体传感器网络由此应运而生^[5]。

多媒体传感器网络是由一组计算、存储且具有无线通信能力的多媒体传感器节点组成的分布式传感器网络^[6]。相对 WSN 而言, 多媒体信息的引入使 WSN 的数据处理速度、网络存储容量、网络传输、能量供应等方面显著增强, 可完成传统无线传感器网络无法实现的复杂任务^[7], 满足人们对环境监测的多样化需求。受网络传输带宽、能耗、实时媒体传输、网络信

收稿日期: 2013-08-06; 修回日期: 2014-09-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61471110); 湖北省自然科学基金资助项目 (2014CKB514)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61471110); The Natural Science Foundation of Hubei Province (2014CKB514)

息处理、QoS 保障等方面的影响^[8]，无线多媒体传感器网络目前还处于理论研究阶段，且多数依赖于仿真环境开展研究。由于应用场合不同，无线传感器节点系统的设计有很大区别。

本文依托高性能 DSP 处理器，结合 ZigBee 无线传输协议，设计了一款支持图像处理、双目视觉及深度信息提取的无线多媒体传感器节点，同时集成了多种传感器形成了环境综合感知能力。

2 相关工作

从现有文献来看，无线多媒体传感器节点的硬件设计，一般是在无线传感器节点系统的基础上增加了视觉感知。归功于图像压缩与处理技术的进步^[9]，图像传感器实际已成为多媒体传感器网络节点的标准设备，复杂算法也开始引入节点信息处理。总体上，当前设计成功的多媒体传感器节点系统的主流方案可分为 2 种：1) 以通用处理器为核心处理部件的嵌入式系统节点；2) 利用 FPGA、ASIC 等专用器件设计的图形采集传输平台。

功能相对完善的多媒体传感器节点，主要有斯坦福大学的 MeshEye 节点、波特兰大学的 Panoptes 节点、加利福尼亚大学的 Cyclops 节点、马萨诸塞大学的 Quickcam Pro Camera、Stargate 节点、CMU camhe 和 Mica 节点等^[10,11]；国内的代表性 WMSN 节点主要有北京邮电大学的音频节点、南京邮电大学的 UbiCell 图像节点和 UbiCell 音频节点等^[12-14]。其中，Panoptes 节点基于 Strong ARM 设计的嵌入式平台，主频达 206 MHz，运行于 Linux 操作系统，采用 USB 接口的 WebCam 作为图像传感器模块，支持视频流数据的获取、压缩、过滤缓冲等处理功能^[15]。南京邮电大学设计的 UbiCell 节点，是以 OV7620 作为图像传感设备，以 ATmega128L 为控制核心，CC2420 作为通信模块设计的传感器节点；UbiCell 视频传感器节点则以 SoC2440 为主控制模块，外接以太网和 WLAN 网卡实现视频流的快速传输。

总体上，无线多媒体传感器节点的常用基本架构是以微处理器为核心，集成图像传感器、环境传感器和无线通信装置，其具体配置随实际应用而有所区别。现有的 WMSN 节点大多在单幅图像采集并有效传输方面展开研究与开发，不具备图像深度的测量功能。本文设计的无线多媒体传感器节点，除实现基本的图像获取及处理之外，着眼于获取现场环境的图像深度感知，目的在于实现现场环境的立

体感知，使节点的具备更强的图像感知与理解能力。

3 多媒体节点系统架构及功能

3.1 节点框图

多媒体传感器节点主要包括 4 个模块：传感器模块、数据处理模块、ZigBee 通信模块和控制模块。传感器模块主要包括热释外传感器、湿度、温度、加速度、电磁罗盘、音频传感器、图像传感器等，主要负责外部信息的感知；其中双目摄像机用于完成立体环境的监测，加速度、电磁罗盘传感器完成节点本身的姿态感知，湿度、温度、热释外用于监测现场环境的综合感知。主处理器主要由高性能数据处理器及其外部 RAM、Flash、时钟、电源等外部辅助设备组成，用于图像、音频等数据量相对较大信号的运算处理与识别。通信模块主要由 ZigBee 射频通信模块组成，用于无线多媒体传感器节点动态组网及节点数据的无线传输。控制模块主要有射频通信模块及其内嵌的微控制器内核组成，负责节点任务安排以及整个节点的功耗控制。图 1 所示为无线多媒体传感器网络节点的整体框架。

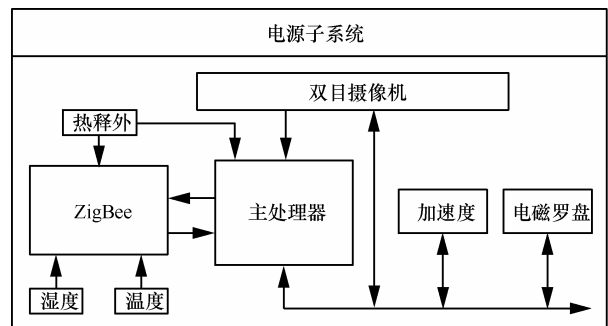


图 1 无线多媒体传感器节点整体框架

3.2 接口设计

随着传感器技术的发展，传感器集成化程度越来越高，通信接口日益趋向于标准化，用户使用越来越方便。双目摄像机通过专用解码芯片转化成数字信号后供处理器接收与处理，并将处理分析的结果通过 SPI 总线发送至 ZigBee 模块并将数据传送至控制中心，ZigBee 模块也可通过 SPI 总线向主处理器发送控制信号，用于控制 DM642 的工作过程。三轴加速度传感器、电磁罗盘以及视频解码芯片通过 I2C 总线与主控制器信息交换；温度传感器通过 C51 内核扩展的 GPIO 完成数据的读取，湿度传感器通过 8 bit ADC 接口读取，热释外传感器通过触发主控制器模块外部中断实现人体监测。

4 多媒体传感器节点的软硬件设计

4.1 核心处理器电路设计

1) DM642 数字信号处理器: TMS320DM642 是基于第二代高性能 VelociTI 超长指令字结构处理器开发的增强型微处理器, 在 720 MHz 的时钟下, 最高每秒可处理 5 760 百万条指令。C64x 内核具有 64 个 32 bit 的通用寄存器以及 8 个高度独立的功能单元、2 个乘法器以及 6 个算数逻辑单元 (ALU)。

DM642 拥有 3 路可配置的视频端口 (VIC) 以及以太网端口 (EMAC)、数据输入输出端口、VCXO 差分控制端口、多通道音频串口等接口, 还有 3 个独立 32 bit 计数器、1 条 I²C 总线。通过以上接口可实现多路视频音频信息的获取和外部设备通信及控制。

DM642 的视频端口 (VP0、VP1、VP2) 可与常规视频编解码器无缝连接, 每个端口拥有 5 120 byte 采集/显示缓冲, 可供 a、b 2 个通道同时使用。由于 DM642 兼具强大的数据处理能力和丰富的片上外设, 可以满足 WMSN 节点设计的需求。

2) 外部 RAM 及 Flash 接口设计: DM642 处理器芯片片内集成了 64 bit 宽度的 EMIF 接口, 有 4 个独立地址空间, 均可配置成同步和异步模式, 可与 SDRAM 以及异步 Flash 无缝连接。根据实际需求, 本文在数据处理模块设计了 2 片容量为 16 MB 和 1 片容量为 2 MB 的 Flash 存储芯片, 分别配置在 0x80000000 和 0x90000000 地址空间上, 其接口方式如图 2 所示。

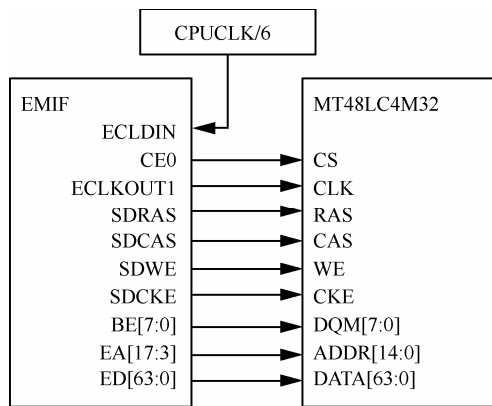


图 2 外部 RAM 接口

其中, RAM 用与缓存程序或数据, Flash 内部自 0x90000000 开始的 1 MB 空间用于存放系统启动程序, 剩余 1 MB 存放数据。系统中 2 片 SDRAM 芯片共同占用 EMIF 接口的地址总线, 而且 Flash

芯片和位于低位的 SDRAM 共用低 8 位数据总线及全部地址总线。为了确保信号质量, 本文在地址总线和数据总线上添加了阻值为 22 Ω 的匹配电阻, 其拓扑结构如图 3 所示。

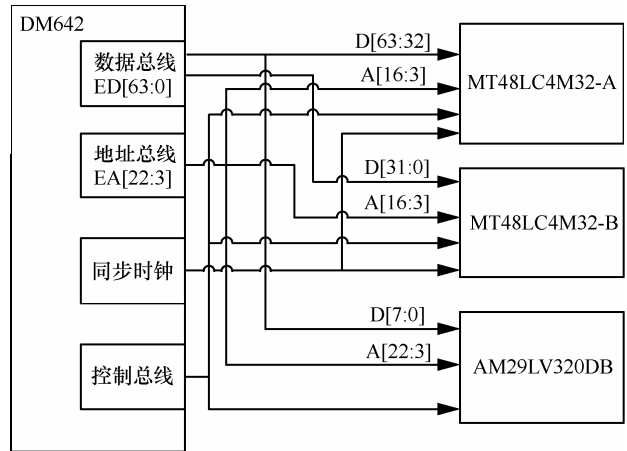


图 3 外部 RAM 和 Flash 的拓扑结构

4.2 综合感知子系统设计

1) 视频接口设计

本文的多媒体传感器节点采用双目摄像机, 以 2 片独立的解码芯片完成视频信号解码, 构成双路视觉信号的实时获取。TMS320DM642 芯片集成了 3 个相同的 20 bit VPort, 每个 VPort 可配置为 2 个 10 bit 的视频通道, 可独立配置成输入或输出模式。

2 片解码芯片分别占用 VPort2 端口的 2 个通道, 使用 8 bit 传输模式, 其接口方式如图 4 所示。

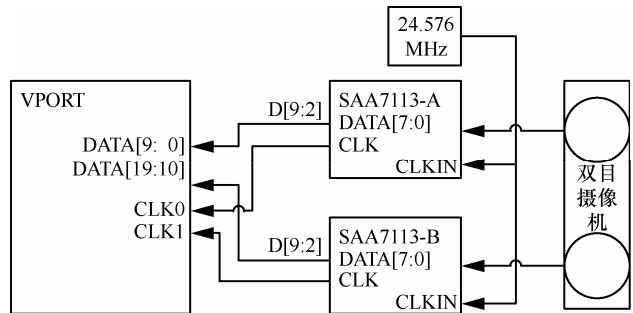


图 4 视频解码的接口设计

2) 音频编解码接口设计

本文的 WMSN 节点扩展了音频接口, 用于监听环境声音和音响信号。TMS320DM642 通过 I2C 完成对音频芯片 TLV320AIC23 的初始化配置, 通过将 MCBSP 接口配置成 SPI 总线模式与串行口进行数据交换。接口设计如图 5 所示。

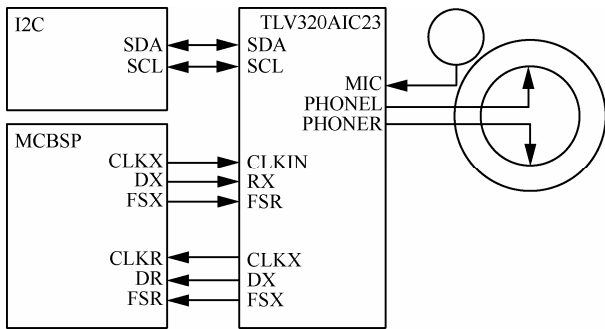


图 5 音频编码的接口设计

3) 传感器接口设计

无线多媒体传感器节点必须具备实时感知环境信息的能力，为此需要扩展多种传感器，以实现对所处环境以及对节点自身姿态的综合感知。图 6 给出了本文节点的综合感知接口设计。

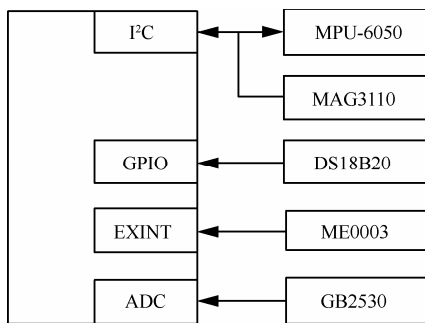


图 6 综合感知单元接口设计

其中，DM642 通过 I²C 总线与 MPU-6050 角度传感器和 MAG3110 地磁传感器进行数据交互；通过 GPIO 模拟 1-Wire 协议访问 DS18B20；以中断方式监测热释电红外传感器 ME003 的输出电平；通过 A/D 转换读取模拟传感器 GB2530 的数据。事实上，传感器通常采用 I2C、SPI、串口、1-Wire 等电气接口与数据协议，DM642 丰富的外设接口可以实现多种传感器的扩展。

4.3 无线通信接口设计

无线通信选用了 ZigBee 协议模块，实现系统的组网与节点间的数据传输。射频芯片选用 CC2530，内部集成了 C51 内核，并具备 GPIO、EXINT、SPI、UART 等可复用的输入输出引脚。其中，SPI 总线用于与 TM320DM642 处理器之间进行数据交互。

此外，为减轻核心处理器 TMS320DM642 的任务载荷，减少节点的总体能耗，将部分传感器通过 ZigBee 通信芯片 CC2530 的 C51 内核读取数据。

4.4 软件流程

本文所设计的 WMSN 节点系统中，DM642 和

CC2530 需要分别开发应用软件。其中，CC2530 的主要功能是完成节点间的组网控制、通信控制以及 DM642 启/停的控制。DM642 处理器的任务则包括双目摄像机的图像获取及处理、三轴加速度、电磁罗盘等传感器的读取与处理等。

图 7 给出了 WMSN 节点的软件设计流程。

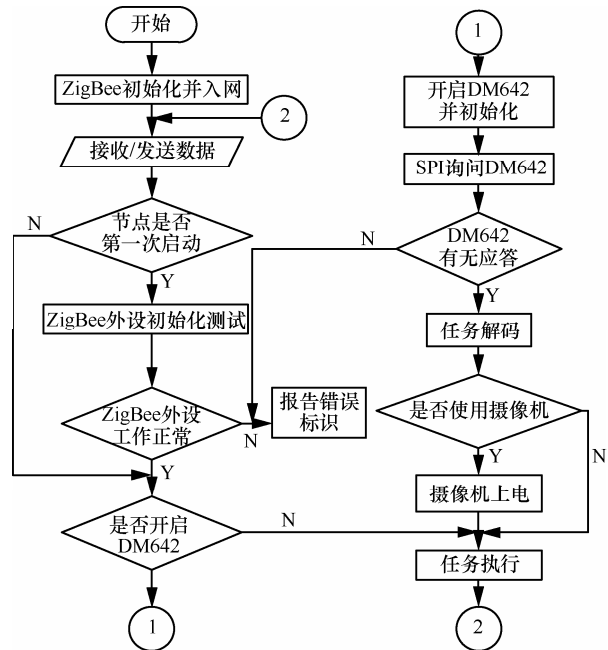


图 7 WMSN 节点软件设计流程

4.5 双目校正及立体匹配算法

1) 双目标定与校正

与一般摄像机标定相比，双目标定不仅需要得到每个摄像机的内参，还要确定 2 个摄像机之间的相对位置关系。随后根据双目标定结果进行的双目校正，可以使 2 幅图像的对极线处于同一水平线上，提高立体匹配的搜索效率。

本文标定及校正过程采用的 Matlab 开源标定工具箱具有很高的精度，之后将校正结果保存成查找表格，以便在系统实时运行时快速实现图像校正。

2) 立体匹配算法

考虑到资源的限制与实时性的要求，本文选择了基于加权窗口的区域灰度立体匹配算法获取深度信息。为减少因两摄像机亮度不一致造成的干扰，先采用水平 Sobel 算子对图像滤波，然后对滤波后的图像进行立体匹配。具体原理为：对左摄像机（参考图像）的每一点 $I_l(x, y)$ ，在右摄像机（目标图像）一定搜索范围内搜索其最佳的匹配点 $I_r(x+d, y)$ 。由于双目视觉系统的极限约束原理，匹

配点必然在同一水平线上, d 即为该点的视差值。为减少匹配过程的随机性, 选取 $I_l(x, y)$ 周围一定大小的支撑窗口 W , 在 W 内累计匹配代价 $C(x, y, d)$ 。匹配代价的累计采用加权的 SAD 度量函数为

$$C(x, y, d) = \sum_{i, j \in W} |w(x, y)I_l(x+i, y+j) - w(x, y)I_r(x+i+d, y+j)| \quad (1)$$

式(1)的加权系数 $w(x, y)$ 定义为

$$w(x, y) = \exp(-\gamma_c \Delta c_{xy} + \gamma_g \Delta g_{xy}) \quad (2)$$

其中, γ_c, γ_g 为控制常数, Δc_{xy} 是窗口内的点 $I_l(x, y)$ 与窗口中心点 I_{l_0} 的灰度值相关度, Δg_{xy} 是点 $I_l(x, y)$ 与窗口中心点的几何距离相关度。

然后, 选取目标图中匹配代价最小的点作为最佳匹配点, 两图像中相对应的匹配点的横坐标之差即为当前匹配中该点的视差值 d 。作为校验过程, 互换参考图像与目标图像再次匹配, 若在 2 次匹配结果深度图 D_r 与 D_l 中的任意点 $d_l(x, y)$ 与 $d_r(x+d_l(x, y), y)$ 满足

$$|d_l(x, y) - d_r(x+d_l(x, y), y)| < T \quad (3)$$

则认为该点视差值匹配正确。这里, T 为 2 次匹配结果的误差允许范围, 一般选择为 2。

在求得视差值 d 之后, 可以按照下式获得图像中场景的深度值

$$z = \frac{fT}{d} \quad (4)$$

其中, f 为摄像机焦距, T 为双目摄像机的基线宽度, 即左右两摄像机间的距离, Z 为物体到双目摄像机的物理距离。

5 实验及分析

5.1 视觉数据获取及处理

1) 单目图像采集。为测试节点双目摄像机的图像采集功能, 将摄像机安装于实验室门口上方垂直向下拍摄, 图像通过 CCS 中保存数据的方式将图像数据保存成 DAT 文件。通过 Matlab 读取并显示, 试验其中拍摄的左、右摄像机静态图像如图 8 所示。



(a) 左图像 (b) 右图像

图 8 左、右摄像机采集的静态图像

2) 双目立体视觉。为测试 WMSN 节点的立体视觉性能, 以 4.5 节的算法对左、右摄像机采集的 2 幅图像进行运算, 得到监测现场的深度信息并通过图像的形式表达出来。实际测试结果如图 9 所示。

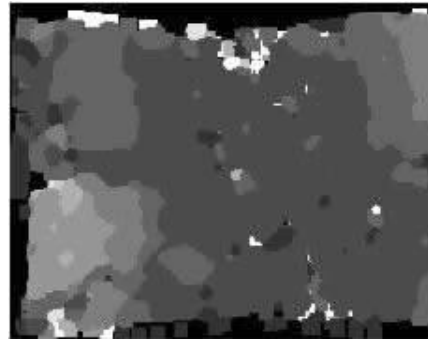
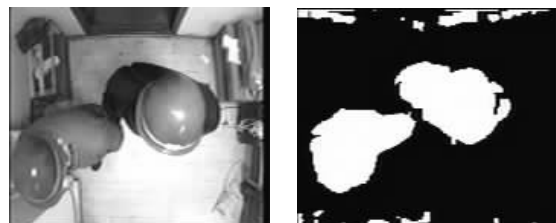


图 9 双目视觉获得的深度图

图像为灰度图, 其灰度值越高则表示与摄像机的距离越大。测试位置的深度信息在图 9 中可以清楚看出, 对照图 8 可以看出, 图像中间区域对应于地面, 与摄像头的距离最远, 在图 9 中颜色最深、灰度值最大。在图像周边, 放置的物品表面与摄像头的距离相对较小, 因此图像周边的灰度值相对较低。图 9 左下角部分图像灰度最低, 参照图 8 可以看出, 此处摆放的物体顶部距离摄像头的距离最小。通过对比可知, 深度信息显示与实际情况相符。

3) 人数统计实验。在立体视觉的基础上, 将本文设计的 WMSN 节点应用于建筑物进出人数的检测与统计。实验测试图像如图 10 所示, 分别给出了原始图像与运用算法处理之后的结果。在室内光线环境下, 对身高 1.50~1.85 m、以正常步速行进的进出人员进行了 100 次测试。其中, 单人间隔进出共 35 人次, 识别率达到 100%; 双人并排同向进出共 35 次, 识别率约 96%; 多人交叉进出共 30 次, 识别率约 93%。以上述形式进、出各 100 人次, 系统统计数据为进 97 次、出 94 次, 总体正确率达到 95.5%。在进出人员较为贴近、手持较大物品等情况下, 系统较容易产生错误计数的情况。



(a) 原始图像 (b) 处理结果

图 10 WMSN 节点的人数统计测试

5.2 通信实验

1) 组网测试。由相互距离为 30 m 的 5 个节点通过 ZigBee 通信模块组成小型网络。经测试，各个节点之间可相互进行数据传输，并能组成小型 Mesh 网络。

2) 通信距离测试。采用 2 个 WMSN 节点，分别处于固定位置和移动状态。通过一个节点连续向另外一个节点发送数据，发送成功表示通信正常，并通过 LED 闪烁表示；当 LED 无变化表示数据发送错误发送失败；经过测试，本文节点在视距范围的可靠通信距离达到了 60 m。

3) 数据传输测试。由 WMSN 节点将 1MB 大小的数据分组传送至另一个距离固定、可正常通信的 WMSN 节点，获得不同距离下的数据通信误码率，实验结果如图 11 所示。当节点间距离在 14 m 以内时，数据传输未发生错误，速率最高可达到 120 kbit/s；随着距离的增加，逐渐出现误码现象，在 20 m 距离的数据传输错误率大幅上升，通信质量已无法保障。由于 WMSN 节点的实际部署间距一般不超过 14 m，本文节点能够实现较可靠的无线数据通信。

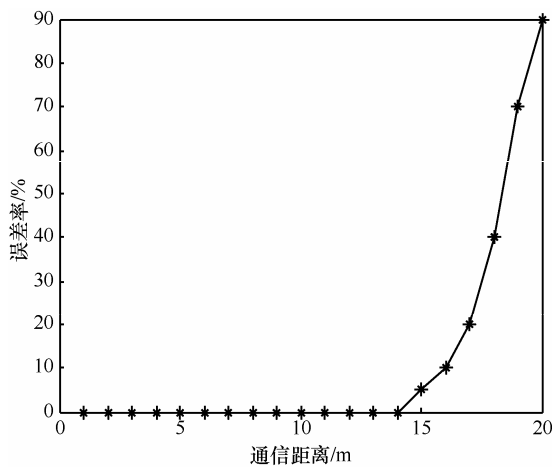


图 11 节点误码率随距离变化

为了测试节点的抗干扰能力，利用干扰源产生一定频率的干扰信号，并改变电压值使干扰信号强度变化。在一定距离（0~10 m）的干扰情况下无线通信的误码率，实测情况如图 12 曲线所示。可以看出，随着干扰强度的增加，数据通信误码率也逐渐增大；相对地，误码率的增加幅度较小，且变化较为缓慢，表明本文 WMSN 节点的数据通信具有较强的抗干扰性。

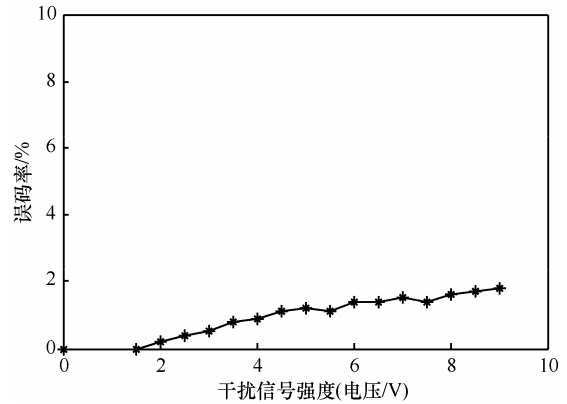


图 12 节点误码率随噪声强度变化情况

5.3 多媒体传感器节点的性能对比

为体现本文设计的 NeuWMSN 无线多媒体传感器节点的技术特色，将其参数与现有的无线多媒体传感器网络节点关键参数进行比较，如表 1 所示。

可以看出，在主处理器方面，多媒体传感器网络节点通常具有很高的主频，一般在 200 MHz，远高于常规的无线传感器网络节点^[16]。采用较高主频本文节点的处理性能高达 600 MHz，拥有强大的数据处理能力，计算能力优于其他节点；所采用的无线通信芯片 CC2530，是 CC2420 的改进型号，在数据通信方面具有较大优势；当前的多媒体传感器网络节点大多仅支持单目视觉，其图像分辨率最高为 640×480。本文节点是目前唯一实现双目立体视觉的多媒体传感

表 1 多媒体传感器网络节点的性能对比

| 节点名称 | 主处理器(主频) | 图像感知 | 图像分辨率 | 无线芯片(技术) | 性能/特征 |
|----------|----------------------|------|---------|----------------|---------------|
| CMU cam3 | MSP430(25 MHz) | 单目视觉 | 352×288 | CC2420(ZigBee) | 低功耗，帧率 26 帧/s |
| Imote2 | PXA270(520 MHz) | 单目视觉 | 640×480 | CC2420(ZigBee) | 音视频处理，计算速度快 |
| Stargate | PXA255(400 MHz) | 单目视觉 | 640×480 | 802.11b 蓝牙 | 音视频处理，计算速度快 |
| Uamps-2 | TMS320C55XX(200 MHz) | 单目视觉 | 640×480 | 802.11b/UWB | 音视频处理，计算速度较快 |
| Panopts | Strong ARM(206 MHz) | 单目视觉 | 320×240 | 802.11/蓝牙 | 视频获取及处理 |
| UbiCell | SoC2440(400 MHz) | 单目视觉 | 640×480 | CC2420(Zigbee) | 单帧图像获取及处理 |
| NeuWMSN | TMS320DM642(600 MHz) | 双目视觉 | 640×480 | CC2530(Zigbee) | 立体视觉，计算速度快 |

器网络节点, 图像分辨率达到 640×480 。由此可见, 本文所设计的 WMSN 节点性能较为优越。

在能耗方面, 由于多媒体传感器网络能够感知和处理大数据量的图像、音频、视频, WMSN 节点的能耗普遍较高^[1,7,17]。考虑到本文 WMSN 节点主要用于监控场合, 在能耗方面采用了空闲-状态切换的方式, 其工作模式为: 在空闲时, CC2530 无线模块通过继电器切断 DSP 系统的电源, 并转入休眠状态; 当红外传感器感知到目标存在时, 无线模块从休眠状态唤醒, 控制继电器接通 DSP 系统的电源, 采集图像并进行识别。CC2530 模块内置增强型的 8051 内核, 可以设置定时休眠-唤醒工作模式, 处于休眠模式时电流消耗约 $20 \mu\text{A}$ 。采用这种模式, 本文 WMSN 节点的 900 mA 锂电池供电可以持续工作较长时间。

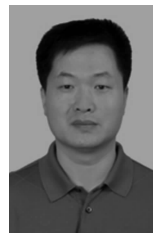
6 结束语

本文采用 DSP 处理器和双目摄像机, 结合无线通信和多种传感器, 设计并实现了新型 WMSN 节点。通过图像、通信等方面的实验验证, 该节点能够实现图像采集、压缩、传输等任务, 并能够通过双目立体摄像机获得现场环境的深度信息。通过 WMSN 节点的 ZigBee 无线通信协议, 可以实现多个节点的动态组网, 实现所采集数据和信息的快速传输。所设计的节点已成功应用于建筑物内的安全监控与人数统计, 在典型室内环境和噪声中表现出良好的稳定性。

参考文献:

- [1] AKYILDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, *et al.* Wireless sensor networks: a survey[J]. *Computer Networks*, 2002,38(4): 393-422.
- [2] 孙利民, 李建中, 陈渝等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [3] SUN L M, LI J Z, CHEN Y, *et al.* Wireless Sensor Networks[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.
- [4] ZHANG D M, MA H D, LIU L, *et al.* EAAR: an approach to environment adaptive application reconfiguration in sensor network[A]. *Proc of the Int'l Conf on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks (MSN 2005)*[C]. 2005. 259-268.
- [5] MA H D, LIU Y H. Correlation based video processing in video sensor networks[A]. *Proc of the IEEE WirelessCom 2005*[C]. IEEE Press, 2005. 987-992.
- [6] CUCCHIARA R. Multimedia surveillance systems[A]. *Proc of the ACM VSSN 2005*[C]. New York, 2005. 1-10.
- [7] DEBARDELABEN J A. Multimedia sensor networks for ISR applications[A]. *Conference Record of the Thirty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*[C]. 2003.2009-2012.
- [8] 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(9): 2013-2028.
- [9] MA H D, TAO D. Multimedia sensor network and its research progresses[J]. *Journal of Software*, 2006,17(9): 2013-2028.
- [10] 王汝传, 孙丽娟. 无线多媒体传感器网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
- [11] WANG R Z, SUN L J. Wireless Multimedia Sensor Networks[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2011.
- [12] 周四望, 王耀南, 林亚平等. 视觉传感器网络协作块压缩感知图像传输方法[J]. *仪器仪表学报*, 2011, 32(11): 2493-2498.
- [13] ZHOU S W, WANG Y N, LIN Y P, *et al.* Collaborative image transmission using block compressed sensing for visual sensor networks[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2011,32(11):2493-2498.
- [14] MCINTIRE D. Energy benefits of 32-bit Microprocessor Wireless Sensing Systems[R]. Sensoria Corporation White Paper, 2003.
- [15] BULENT T, KEMAL B, RUKEN Z. A survey of visual sensor network platforms[J]. *Multimedia Tools Application*, 2012, 60: 689-726.
- [16] 汪涛, 崔逊学, 李云. 基于 Stargate 的无线视频传感器节点的实现[J]. *西华大学学报*, 2009, 28(1): 25-28.
- [17] WANG T, CUI X X, LI Y. Realization of wireless video sensor node based on stargate[J]. *Journal of Xihua University: Natural Science Edition*, 2009,28(1):25-28.
- [18] 周春喜, 唐军, 金心宇. 面向目标跟踪的混合 WMSN 设计与实现[J]. *计算机工程与应用*, 2011, 47(2): 52-56.
- [19] ZHOU C X, TANG J, JIN X Y. Design and implementation of hybrid WMSN oriented to target tracking[J]. *Computer and Engineering Applications*, 2011,47(2):52-56.
- [20] 沙超, 王汝传. 无线多媒体传感器无网络节点关键技术研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2010.
- [21] SHAR C, WANG R C. Research on Energy Saving in Wireless Multimedia Sensor Networks[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunication, 2010.
- [22] FENG W, CODE B, KAISER E, *et al.* Panoptes: a scalable architecture for video sensor networking applications[A]. *Proc of the ACM Int'l Conf on Multimedia 2003*[C]. New York, 2003.151-16.
- [23] 吴键, 袁慎芳. 无线传感器网络节点的设计和实现[J]. *仪器仪表学报*, 2006, 27(9):1120-1124.
- [24] WU J, YUAN S F. Design and implementation of a general node for wireless sensor networks[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2006,27(9):1120-1124.
- [25] 罗武胜, 翟永平, 鲁琴. 无线多媒体传感器网络研究[J]. *电子与信息学报*, 2008, 30(6): 1511-1516.
- [26] LUO W S, ZHAI Y P, LU Q. Study on wireless multimedia sensor networks[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2008, 30(6): 1511-1516.

作者简介:



张云洲 (1974-), 男, 河南浉池人, 东北大学副教授、博士生导师, 主要研究方向为多媒体传感器网络、机器人、嵌入式视觉系统等。

蒋培 (1975-), 男, 湖北武汉人, 海军工程大学副教授, 主要研究方向为兵器工程、机械振动等。

高亮 (1989-), 男, 辽宁铁岭人, 东北大学硕士生, 主要研究方向为图像处理、模式识别等。

李立强 (1988-), 男, 山东德州人, 东北大学硕士生, 主要研究方向为嵌入式系统、图像处理等。