

文章编号: 1672-8785(2011)12-0017-06

# 基于热释电红外传感技术的目标定位研究

肖 佳 杨 波

(北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京 100191)

**摘要:** 利用配备有多重反射光学装置的热释电红外传感器感知节点接收运动人体的红外辐射能量。通过采集和分析红外传感器输出的模拟信号的特征, 可以提取人体的位置信息。当受试者沿离红外感知节点不同距离的路径通过节点观测区域时, 红外信号的最大峰值会随人体与节点距离的增大而下降。在此基础上, 设计了一种基于红外信号最大峰值的定位方法。与质心定位算法相比, 该方法的最大定位误差减少了 87.89 %。

**关键词:** 热释电红外传感器; 峰值检测; 目标定位; 无线传感器网络

**中图分类号:** TP212.9    **文献标识码:** A    **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.12.004

## Target Localization Based on Pyroelectric Infrared Sensing Technology

XIAO Jia, YANG Bo

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

**Abstract:** A pyroelectric infrared sensor equipped with a multiple reflection optical device was used to receive the infrared radiation emitted from a human body. By collecting and analyzing the signatures of the analog signals outputted from the pyroelectric infrared sensor, the location information of the human body could be extracted. When a person was passing through the area to be observed at a different distance from the infrared sensing node, the maximum peak of the infrared signal would be decreased with the increasing of the distance from the person to the infrared sensing node. A novel method for target localization based on the maximum peak of infrared signals outputted from the pyroelectric infrared sensor was designed. Compared with the centroid localization algorithm, the maximum localization error of this method was reduced by 87.89 %.

**Key words:** pyroelectric infrared sensor; peak detection; target localization; wireless sensor network

## 0 引言

作为目标监控、导航和智能家居等领域中的一项重要技术, 人体检测与运动跟踪技术一直倍受人们关注。传统的人体检测与跟踪技术一般是采用视频装置获取监测区域的图像片段,

然后通过图像处理方法提取人的位置和运动特征信息的<sup>[1]</sup>。虽然这种方法的监测与跟踪精度高, 但是它的高成本、有线数据传输方式以及安装繁琐等特点限制了其应用范围。热释电红外传感器可以用来检测周边环境中的红外辐射信息<sup>[2]</sup>, 并且具有体积小、成本低、功耗低和灵

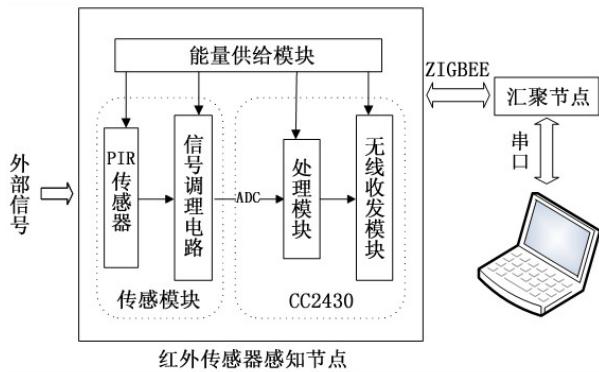
收稿日期: 2011-10-25

基金项目: 航空科学基金 (2008ZD51056)

作者简介: 肖佳 (1986-), 女, 湖南长沙人, 硕士, 主要研究方向为无线传感器网络。E-mail: xiaojia\_buaa@163.com

敏度高等特点。热释电红外传感器还可以被灵活地组建成无线监测网络以扩大监测范围，因而在监测人体目标的商业应用中也得到了广泛的应用。

热释电红外传感器可以用于协助视频监测或者独立完成目标监测任务。文献[3]通过用步进电机控制红外传感器的观测方向，实现了对目标的方位跟踪。文献[4]使用四个红外传感器实现了全方位覆盖监测。其中，四路红外传感器输出通过加法器相连后，输出信号反映了节点周围的红外辐射强度。文献[5]搭建了一个由多传感器组合的视频监控系统。该系统使用红外传感器和视频装置协同工作。当红外传感器监测到目标后，激活视频装置便参与跟踪。文献[6]采用遮挡红外传感器部分观测域的方法和特殊的安装方式，有效区分进入红外观测区域的人体的运动方向和数量。文献[7]将两个热释电红外传感器安装在公路两侧，并将目标出现在红外观测区域的时间长度划分为三个区间。其中，每个区间对应于一个目标出现的距离范围。上述文献基本上都是将热释电红外传感器当作开关传感器来使用，舍弃了红外模拟输出信号的细节信息，限制了红外传感器的应用。本文设计了配备热释电红外传感器的无线传感器网络感知节点。我们利用热释电红外传感器的模拟输出信号对监测区域内的运动人体进行探测，然后分别采集和分析红外传感器输出信号的幅值信息，从而对红外传感器用于人体精确定位的可行性进行研究。



(a) 热释电红外传感器网络方案

## 1 实验系统

### 1.1 总体设计

图1(a)所示为实验系统的示意图。我们将红外传感器感知节点布置在监测区域内。其中，热释电红外传感器用于感知外部的运动人体信息，其输出的小信号经调理电路被CC2340的ADC采样。输出红外信号经过处理模块的简单滤波处理后，通过ZIGBEE网络被发送至汇聚节点。汇聚节点通过串口通信方式将数据上传给数据处理中心。数据处理中心保存实时的信号数据，并采用MATLAB软件对数据进行分析。

### 1.2 硬件设计

图1(b)所示为分模块多层硬件节点的具体实现情况。节点可分为能量供应模块、传感器感知模块以及处理器与无线收发模块。由于单个红外传感器的观测角仅有 $120^\circ$ ，通过设置四个传感器可以将观测角扩充至 $360^\circ$ ，从而实现全方位监控。节点的尺寸为 $\phi 70\text{ mm}$ 。这种分层结构有利于减小节点的尺寸，并且可以节约二次开发的时间和费用成本。下面分别介绍各模块的具体实现情况。

#### 1.2.1 处理器与通信模块

处理器与通信模块用于采集传感器数据，进行定位计算以及实现与汇聚节点的通信功能。本文选用TI公司生产的CC2430芯片。

CC2430芯片的主要特点如下：(1)具有高性能和低功耗的8051微控制器核；(2)集成了符合



(b) 红外感知节点

图1 实验系统

IEEE802.15.4 标准的 2.4 GHz RF 无线电收发机；(3) 在休眠模式下仅有  $0.9 \mu\text{A}$  的流耗，外部的中断或 RTC 能够唤醒系统；在待机模式下流耗小于  $0.6 \mu\text{A}$ ，外部的中断能够唤醒系统；(4) 具有较宽的电压范围 ( $2.0 \sim 3.6 \text{ V}$ )；(5) 具有数字化的 RSSI/LQI 支持和强大的 DMA 功能；(6) 集成了 14 位模数转换 ADC；(7) 带有两个强大的支持

几组协议的 USART、一个符合规范的 MAC 计时器、一个常规 16 位计时器和两个 8 位计时器。同时，CC2430 芯片也支持 Tiny OS 操作系统。如果将 Tiny OS 系统移植到 CC2430 芯片上，那么以后的软件开发工作将会十分方便。图 2 所示为其外围电路。

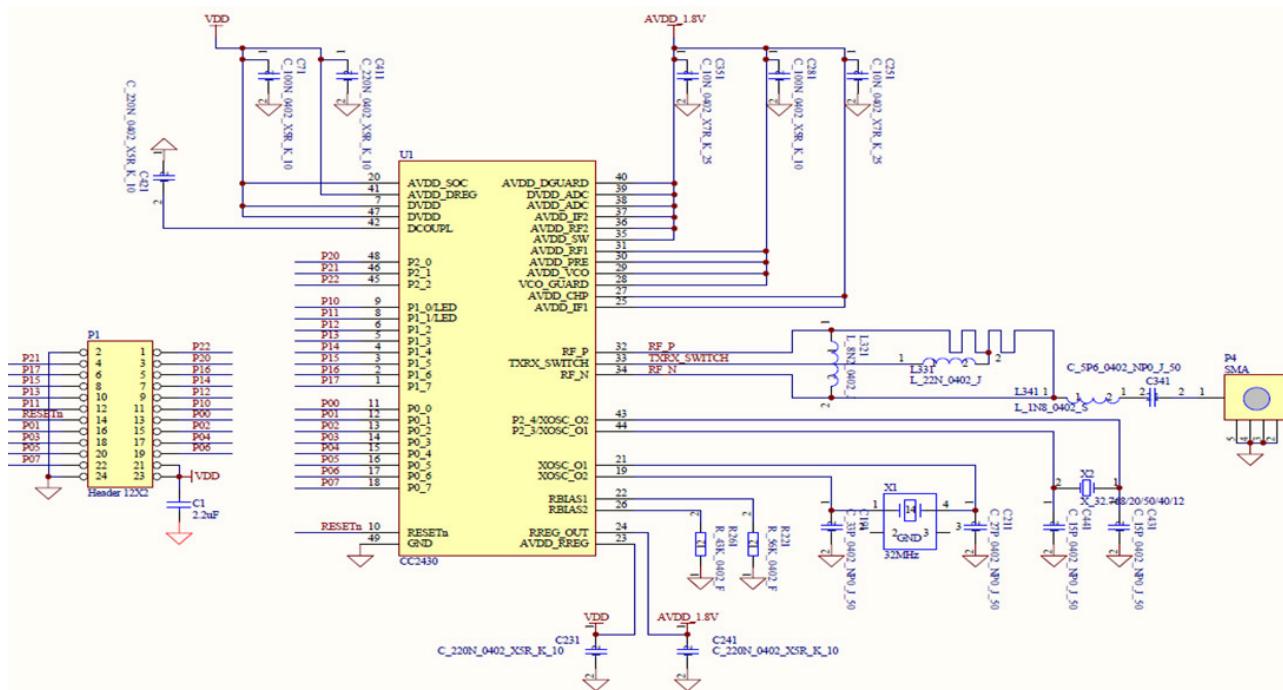


图 2 CC2430 芯片的外围电路

### 1.2.2 红外传感器模块

热释电红外传感器选用瑞士 Kube 公司生产的 C172 型红外传感器，同时配置该公司生产的 TR230 光学装置。该传感器具有功耗低、体积小和检测距离远等特点。由于红外传感器的模拟交变输出信号的峰峰值仅有几毫伏，必须对其进行放大滤波处理，以供 CC2430 芯片进行采样。图 3 所示为两级滤波放大电路。其中，运算放大器选用 TI 公司的 OPA2340 轨对轨运放芯片，以保证放大输出饱和电压与节点供电电压一致，从而最大程度地提高红外信号输出的有效动态范围。

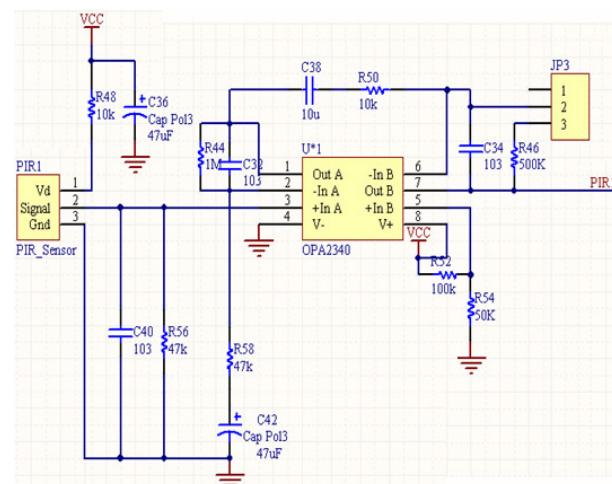


图 3 红外传感器数据采集模块

### 1.2.3 电源模块及串口通信模块

为了减小节点的尺寸，我们采用两节干电池给节点供电。另外，汇聚节点采用 ADM3312 芯片实现节点和数据处理 PC 机的通信。该芯片具有两个接收器和两个驱动器，其连接电路见图 4。

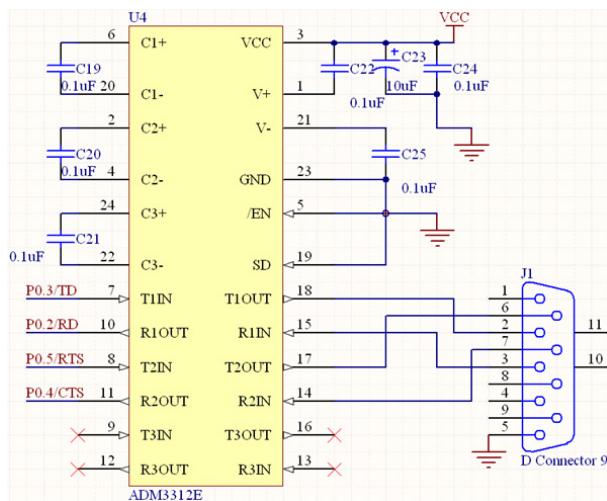


图 4 串口驱动电路

### 1.3 热释电红外传感器

由于人体会向外界辐射红外能量，热释电红外传感器利用热释电材料作为感应元件，通过获取人体辐射的红外能量，便可以达到感知人体的目的。因为环境温度会对感应单元的输出产生影响，为了有效地去除环境干扰，市面上的红外传感器一般都在内部串联了两个极性相反的感应单元。但这种结构使得红外传感器只能检测到位于检测范围以内的活动目标。

人体辐射出的红外能量相当微弱，因此需要通过增加镜头来汇聚外界的入射能量，以增大红外传感器的探测范围。本文采用 TR230 反射式光学结构。该结构采用了特殊设计，不仅可以增加红外探测范围，而且还可以将探测区域划分为一系列交错分布的探测盲区和非盲区，如图 5 所示。当人依次通过这些探测盲区和非盲区时，红外传感器就会输出图 5 所示的信号。通过对这一信号进行处理，便可以判断人体目标是否出现。

## 2 实验实施与分析

利用图 6 所示的实验系统，让受试者(女性，身高 152 cm，体重 45 kg)沿离红外传感器的距离为 D 的路径通过红外传感器观测区域，并记录红外传感器的输出信号。

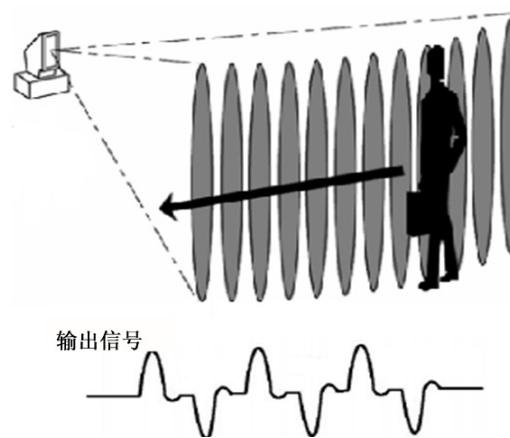


图 5 红外传感器的检测原理

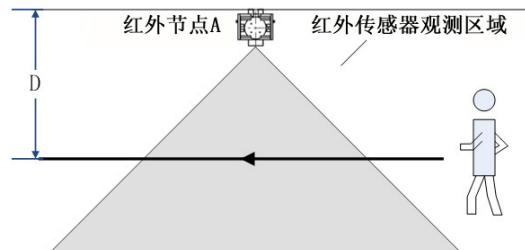


图 6 红外信号采集实验系统

将探测器安装位置的高度固定为 88 cm，受试者的行进步幅为 60 cm，速度为 1.1 m/s，D 的取值为  $\{D=0.365+0.60x|x=1,2,3,\dots,12\}$ 。图 7 所示为得到的部分模拟信号。

从图 7 中可以看出，当人体穿过红外传感器的监测范围时，依次出现了多个明显的信号峰。这是由于人体不断地穿越 TR430 的盲区和非盲区产生的。而且目标越接近红外窗口的法向线，信号幅值越大。同时，随着探测距离的增大，最大峰值呈现出了减小的趋势。因此，通过采集和处理这种峰值信号，可以获取人体的位置信息。

利用上述实验的多次测试结果得到了图 8 所示的距离与最大峰值电压之间的关系曲线。

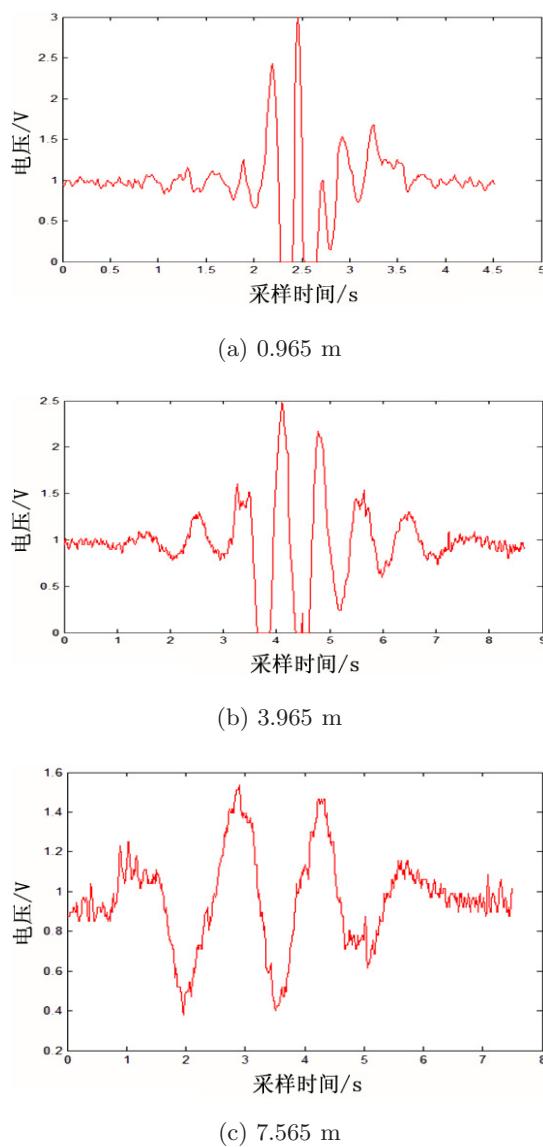


图 7 不同距离时的红外信号

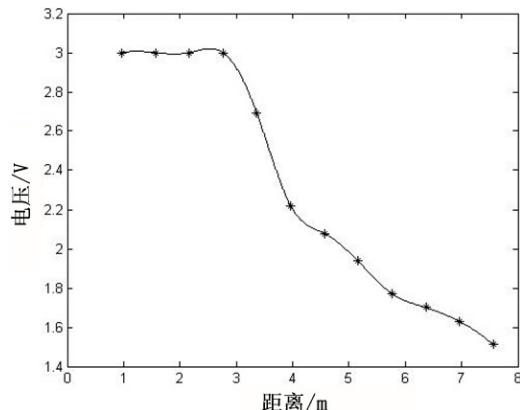


图 8 最大峰值电压与距离之间的关系

从图 8 中可以看出, 当目标距红外窗口 3~

8 m 时, 红外信号电压随距离的增加而单调递减, 故可直接利用最大峰值对目标进行定位。另外, 当目标距红外窗口 1~3 m 时, 红外传感器输出信号饱和, 不能对目标进行有效定位。为了克服红外传感器的这一定位缺陷, 可以利用红外传感器网络中两个相邻的红外节点来协同定位, 如图 9 所示。综合考虑红外传感器的探测范围、探测分辨率以及饱和工作区间, 设置两节点间的距离为 7 m。这样可以保证当目标从两个相邻的红外节点之间通过时, 至少有一个节点工作在非饱和状态。

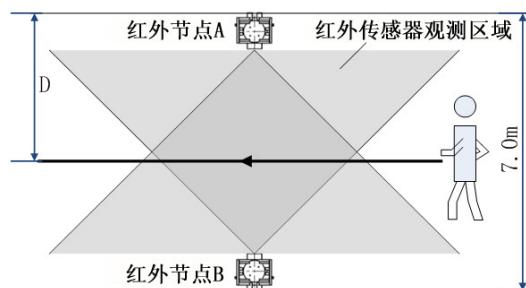


图 9 协同定位系统

当目标通过红外传感器的观测区域时, 红外节点 A 和红外节点 B 分别采集观测区域的红外辐射信号, 并通过 ZIGBEE 无线通信协议将其传送给汇聚节点。然后汇聚节点取各节点中红外信号不饱和的节点进行定位。

### 3 红外最大峰值定位法

对距离 – 电压曲线中的单调段分别进行一次多项式拟合、二次多项式拟合和三次多项式拟合, 分别得到式(1)、式(2)和式(3)所示的定位算法:

$$d_1 = -0.059V + 10.14 \quad (1)$$

$$d_2 = 4.2 \times 10^{-4}V^2 - 0.141V + 13.97 \quad (2)$$

$$d_3 = -1.37 \times 10^{-5}V^3 + 4.41 \times 10^{-3}V^2 - 0.51V + 25.64 \quad (3)$$

将测得的电压值分别代入式(1)~式(3), 得到了表 1 所示的定位距离及其相应的定位误差。由表 1 可知, 随着定位多项式算法次数的增加, 最大定位误差和误差平方和均会减小。在实际应用中, 可根据对定位精度的需求和存储资源的大

小来选择合适的算法。表1还列出了用质心定位算法和文献[7]中提出的定位算法获得的定位结果。由表1可知,本文提出的红外信号定位方法

的最大定位误差和多点定位误差平方和明显小于上述两种定位算法。与质心定位算法相比,一次拟合算法的最大定位误差减少了87.89%。

表1 采用不同定位算法得到的定位距离与定位误差(数值单位:m)

真实 距离	测量 电压	红外最大峰值定位法									
		一次拟合		二次拟合		三次拟合		质心算法		PIZZA 算法	
		定位 距离	定位 误差	定位 距离	定位 误差	定位 距离	定位 误差	定位 距离	定位 误差	定位 距离	定位 误差
2.765	2.976	2.685	0.080	2.866	0.101	2.785	0.020	3.500	0.735	3.500	0.735
3.365	2.764	3.272	0.093	3.250	0.115	3.339	0.026	3.500	0.135	3.500	0.135
3.965	2.473	3.993	0.028	3.838	0.127	3.918	0.047	3.500	0.465	3.500	0.465
4.565	2.102	4.915	0.350	4.772	0.207	4.724	0.159	3.500	1.065	3.500	1.065
5.165	1.937	5.325	0.160	5.256	0.091	5.183	0.018	3.500	1.665	5.825	0.660
5.765	1.819	5.619	0.146	5.627	0.138	5.572	0.193	3.500	2.265	5.825	0.060
6.365	1.606	6.147	0.218	6.347	0.018	6.435	0.070	3.500	2.865	5.825	0.540
误差平方和		0.233		0.110		0.071		18.02		2.640	

## 4 结束语

利用配置多重反射光学装置的TR230热释电红外传感器接收运动人体的红外辐射能量。通过对热释电红外传感器的模拟输出信号进行深入分析和研究后发现,红外传感器的输出最大峰值电压与人体距节点的距离之间存在一一对应的关系。本文提出了一种基于红外信号最大峰值的定位方案,并将该方案与目前常用的红外定位方法进行了对比。结果表明,该方案能够大大地提高目标的定位精度。

## 参考文献

- [1] Cai Q, Aggarwal J K, Inc R. Tracking Human Motion in Structured Environments Using Adistributed-camera System [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1999, **21**(11): 1241–1247.
- [2] Muralt P. Micromachined Infrared Detectors Based on Pyroelectric Thin Films [J]. *Reports on Progress in Physics*, 2001, **64**(10): 1339–1344.
- [3] Selvaraj Victor. Test-bed Design for Target Detection and Tracking Using WSN [D]. Chennai: Anna University, 2006.
- [4] Arora A, Ramnath R. Exscal: Elements of An Extreme Scale Wireless Sensor Network [C]. In Proceedings of The 11th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, 2005: 102–108.
- [5] Prati A, Vezzani R, Benini L, et al. An Integrated Multi-modal Sensor Network for Video Surveillance [C]. In Proceedings of The Third ACM International Workshop on Video Surveillance of Sensor Networks, 2005: 95–102.
- [6] Zappi P, Farella E, Benini L. Enhancing The Spatial Resolution of Presence Detection in A PIR Based Wireless Surveillance Network [C]. In Proceedings of The IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2007: 295–300.
- [7] Zappi P, Farella E, Benini L. Pyroelectric InfraRed Sensors Based Distance Estimation [C]. In Proceedings of The IEEE Conference on Sensors, 2008: 716–719.