

## PIR 的多节点目标多次定位研究

赵迪<sup>1,2</sup>, 杨卫<sup>1,2</sup>, 刘前进<sup>1,2</sup>

(1. 中北大学 电子测试技术国家重点实验室, 山西 太原 030051;

2. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

**摘要:** 为了充分利用热释电传感器(PIR)的被动探测特性, 拓宽热释电传感器在目标定位领域的应用。在峰-峰值时间差测距方法的理论基础上, 提出了一种利用 PIR 针对运动目标(人体)的定位理论, 并针对单节点实现目标定位存在定位盲区的不足出发, 设计巧妙的机构实现多节点目标多次定位。根据感知节点最优布设原则, 以双节点的最优布设为例展开讨论, 找出不同节点下的最优布设模型。通过对双节点最优布设模型下对运动目标多次的探测实验表明, 利用多节点实现运动目标探测区域多次定位的理论是有效和正确的。该方法打破了热释电传感器硬件常规使用方式, 进一步提升了 PIR 的使用范围。

**关键词:** 红外热释电传感器; 单节点; 多节点; 最优布设; 定位

**中图分类号:** TN219    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1007-2276(2014)04-1284-05

## Research on multiple nodes target repeatedly localization of pyroelectric infrared sensor

Zhao Di<sup>1,2</sup>, Yang Wei<sup>1,2</sup>, Liu Qianjin<sup>1,2</sup>

(1. Science and Technology on Electronic Test & Measurement Laboratory, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** In order to make full use of the passive detection features of the PIR and broaden the scope that the PIR applied in the field of target localization, one method of using PIR for moving targets (human) location theory was proposed based on the pyroelectric signal peak-peak value time difference method which was used to achieve the target's distance. And for the shortage of a single node's localization in blind area, reasonable optical lenses and ingenious machinery structure have been selected with good design, so the moving target's multipoint repeatedly localization was easily realized. According to the multi-nodes optimal layout principles, the different nodes optimal layout model was obtained respectively through discussing the optimal arrangement double-nodes. Finally, an experiment was implemented to verify the effectiveness and accuracy about moving target more position points localization under the two nodes optimal layout model. This method breaks the pyroelectric sensor hardware routine use, improving the range of use for PIR.

**Key words:** PIR; singal-node; multi-nodes; optimal layout; localization

收稿日期: 2013-08-05; 修订日期: 2013-09-03

基金项目: 国家自然科学基金(50675213)

作者简介: 赵迪(1991-), 女, 硕士生, 主要从事精密仪器及机械方面的研究。Email: 15035189826@163.com

导师简介: 杨卫(1957-), 男, 教授, 硕士生导师, 主要从事测试技术方面的研究。Email: yangwei@nuc.edu.cn

## 0 引言

人体检测与运动跟踪技术作为目标监控、导航和智能家居的一项重要技术一直以来备受人们关注,传统的人体检测与跟踪技术一般是采用视频装置获取检测区域的图像片段,然后通过图像处理方法提取人的运动特征信息的<sup>[1]</sup>,但是其高成本、安装繁琐等特点限制了其应用范围。热释电红外传感器(PIR)能利用非接触形式检测出人体辐射的红外射线并将其转化成电压信号,并且具有被动式接收、隐蔽性好、功耗低、灵敏度高等特点而广泛应用于目标探测领域。

参考文献[2]通过一个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。参考文献[3-4]搭建了一个由多维传感器组合的视频监控系统,实现全方位覆盖检测。文中在以上技术的基础上,突破PIR硬件系统常规使用方式,采用峰-峰值时间差测距法<sup>[5]</sup>实现较远距离,较大范围下的运动人体定位。

## 1 多节点目标多次定位理论

### 1.1 红外感知节点的搭建

文中的探测单元由PIR与红外透镜组成一个光学系统提高了PIR的探测距离。并在结构上进行创新设计,弥补红外透镜探测视场角小的特点,结合处理器拥有8路AD信号采集通道,设计完成了由8路探测单元所构成的红外感知节点。如图1所示,左侧为结构示意图,右侧为实物图。相邻探测单元间夹角 $\theta=45^\circ$ 。

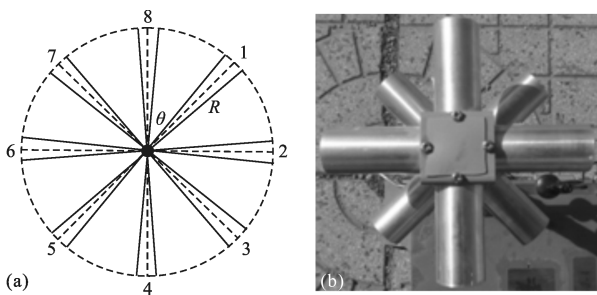


图1 8路探测单元感知节点

Fig.1 Sensor nodes with eight detecting round

### 1.2 多节点目标多次定位理论

对目标进行定位的过程,就是获得目标坐标参

数的估计值的过程。利用PIR实现目标定位过程就是根据探测量得到的目标热电信号确定目标距离与角度信息的过程。为此,提出一种新的定位方法,即通过对多节点合理布局实现运动目标多次探测的方法。具体内容如下:图2(a)为多节点目标定位示意图。图中 $O_1 O_2 O_3 \dots$ 表示在平面区域所布设的红外热释电传感器探测节点。这些探测节点布设遵循一定的规则,彼此之间形成一个大的探测区域,如图中粗虚线所示,细虚线表示目标运动方向,那么在目标经过探测区域内必然会被多个节点在不同时间探测到,假设目标在整个运动过程分别在点A、B、C、D、E被探测到5次,其中各节点时间的同步通过广播方式实现。各节点将探测到的目标角度及距离信息通过无线方式发送到上位机,上位机通过对所有节点实施全局坐标位置解算,即可得到各探测点在全局坐标系中的位置。从而实现了多节点目标多次定位。反过来,当获得了目标通过探测区域时的离散定位点全局坐标时,按照探测时刻先后顺序将各离散点彼此相连,便可得到目标通过探测区域时运动的近似轨迹。从而,便可相应地求出目标在运动过程中每一时刻点的坐标位置,实现运动目标的连续定位。

推导过程如下:图2(b)中, $O_i(x_i, y_i)$ 表示红外感知节点, $J(x_j, y_j)$ 表示探测到的目标。其中( $i=1, 2, 3 \dots j=A, B, C \dots$ ),假设 $O_i$ 在 $t_j$ 时刻探测到目标J距节点距离为 $L_i$ ,角度为 $\theta_i$ 。且已知目标运动速度为 $V$ ,探测时刻 $t_j$ ,求解 $J(x_j, y_j)$ 的全局坐标位置。在 $\triangle AO_3A'$ 中,有:

$$O_3A' = L_1 \times \cos\theta_1, AA' = L_1 \times \sin\theta_1$$

$$x_A = x_3 + O_3A' = x_3 + L_1 \times \cos\theta_1$$

$$y_A = y_3 + AA' = y_3 + L_1 \times \sin\theta_1$$

同理可以计算其他探测点的位置坐标。目标在整个运动区间内的轨迹即为4个分段轨迹之和。

接着通过推导实现对目标的任意时刻定位:以AB段轨迹为例,如图2(c)所示,通过前面求解知 $A(x_A, y_A)$ ,需要求出 $t_M$ 时刻目标的位置,也就是说要完成对 $t_M$ 时刻目标的定位( $t_0 \leq t_M \leq t_1$ )。已知目标运动时间 $t = t_M - t_0$ ,有 $AM = V \times t$ ,在 $\triangle ABC$ 中,有:

$$\theta = \arctan \left( \frac{y_A - y_B}{x_B - x_A} \right)$$

所以在 $\triangle AMD$ 中,有:

$$AD = AM \times \sin\theta = V \times t \times \sin \left( \arctan \left( \frac{y_A - y_B}{x_B - x_A} \right) \right)$$

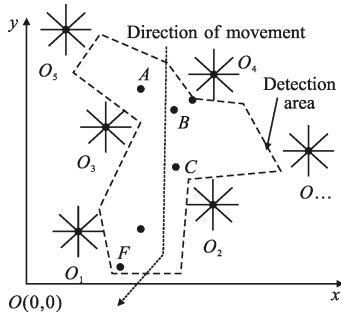
$$DM = AM \times \cos \theta = V \times t \times \cos \left( \arctan \frac{(y_A - y_B)}{(x_B - x_A)} \right)$$

推算出  $M$  点的坐标如下:

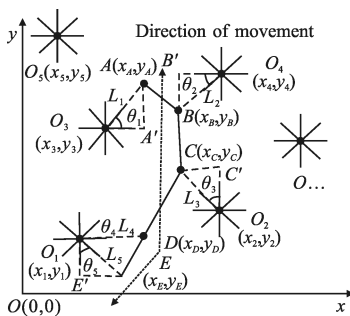
$$x_M = x_A + V \times t \times \cos \left( \arctan \frac{(y_A - y_B)}{(x_B - x_A)} \right)$$

$$y_M = y_A - V \times t \times \sin \left( \arctan \frac{(y_A - y_B)}{(x_B - x_A)} \right)$$

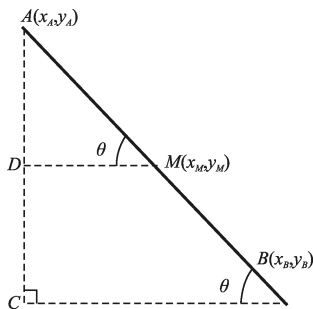
至此,便实现了  $AB$  段内任意一时刻目标的定位。



(a) 定位示意图  
(a) Schematic diagram



(b) 定位轨迹曲线图  
(b) Positioning trajectory



(c)  $AB$  段轨迹示意图

(c) Schematic diagram of  $AB$  trajectory

图 2 多节点目标多次定位图

Fig.2 Multi-node targets repeatedly location map

## 2 最优布设模型讨论

利用多节点实现目标多次定位,必然涉及多节

点的最优化布设问题。我们知道每个探测节点探测视场类似圆形区<sup>[6]</sup>,所以最优布设即是寻找多节点间重复覆盖率最小的布设,在此称为原则 1。然而单节点所构成的探测区域是由 8 个 PIR 所构成如图 1 的彼此独立的窄条形探测视场,在各窄条形探测视场之外圆形区域之内存在大量的探测盲区,因而多节点的最优化布设还需考虑使点间无探测盲区的出现,在此称为原则 2。

根据原则 1、2,下面通过三种布设模型来分析双节点探测圆的最优化布设模型。

方式 I,图 3 为双节点探测圆外切布设模型。细虚线组成的圆周表示由感知节点构成半径为  $R$  的感知圆,粗虚线表示双节点布局所构成的目标多点探测区域, $D_i$  表示沿方向  $i$  入侵。

在该种布设模型下,两节点所构成的目标多点探测区域覆盖面积为 0,覆盖率为 0,该种布设符合原则 1。考虑目标入侵的特殊情况,当目标沿方向 1、2、3、4 侵入时,目标行进路径为两节点的探测盲区,两节点所能探测到目标的次数为 0 次。沿方向 5 入侵时,入侵路线处于临界状态,节点 1、2 可能发现目标 1 次(节点 1 或者节点 2 发现目标),也可能为 2 次(节点 1、2 均发现目标),发现次数具有不确定性。因而在该模型下,不能实现目标多次被发现,不满足原则 2。综合覆盖率与探测率,两节点探测圆外切布设不是最优布设模型。

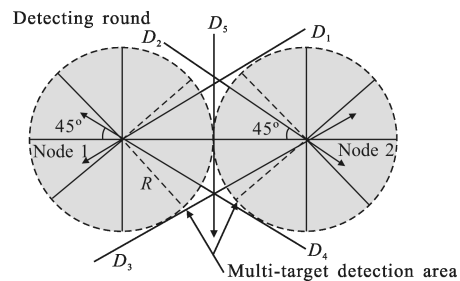


图 3 两节点探测圆外切布设模型

Fig.3 Two-node detecting round circle cutting model

方式 II,通过对方式 I 的讨论知道,双节点探测圆外切布设存在探测盲区,所以两节点探测圆相离时盲区会更大,所以双节点探测圆周相离时不满足最优布设原则。考虑两探测圆周相交的情形。图 4 为双节点探测圆临界相交布设模型。

由两节点所构成的目标多点探测区域覆盖面积

为  $S_{覆盖} = 2 \times (\pi R^2 / 4) - R^2 \approx 0.57R^2$ , 覆盖率为:

$$P = \left( \frac{S_{覆盖}}{S_{探测}} \right) \times 100\% = \left( \frac{0.57R^2}{R^2} \right) \times 100\% = 57\%$$

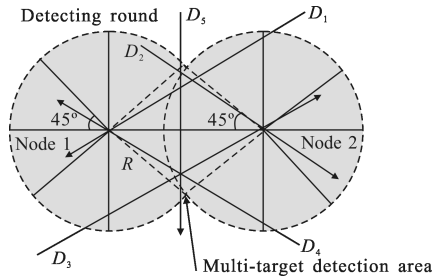


图 4 两节点探测圆临界相交布设模型

Fig.4 Two-node detecting round critica linter section layout

在满足无盲区探测的前提下, 进一步缩小两节点形成的探测区域。

由两节点所构成的目标多点探测区域面积  $S_{探测} = R \times R = R^2$ , 考虑目标入侵的特殊情况, 当目标沿方向 1、2、3、4 侵入时, 均能实现目标 1 次被发现。考虑更一般的情况, 当目标从其它未在图中标示出的方向行进时, 均能被多次 ( $\geq 2$  次) 发现, 满足原则 2。

方式 III, 图 5 为双节点探测圆边界与节点相交布设情形。由图可得:

$$S_{探测} = R^2 / 2$$

$$S_{覆盖} > 4 \times \left( \frac{\pi \times R^2}{8} - \frac{1}{2} \times R \times \frac{R}{2} \right) + \left( \frac{1}{2} \times R \times \frac{R}{2} \right) = 0.82R^2$$

$$P = \left( \frac{S_{覆盖}}{S_{探测}} \right) \times 100\% > \left( \frac{0.82R^2}{0.57R^2} \right) \times 100\% = 143.8\%$$

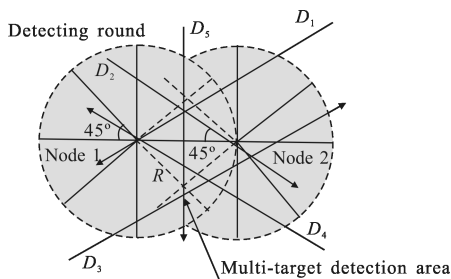


图 5 两节点探测圆边界与节点相交布设

Fig.5 Two-node detecting round circles' boundary intersects with node layout

与方式 II 比较的, 方式 III 所形成的覆盖区域是最小的, 随着两探测圆相交程度的加大, 探测区域圆周的覆盖率逐渐增大。方式 III 符合原则 1。综合两个布设原则考虑, 方式 II 满足最优布设。用同样的方法可分析得出探测圆相切相交布设为三节点最优模

型, 临界相切模型为四节点布设的最优布设模型。只要按照两条原则进行分析, 便可得到相应多节点下的最优布设模型。

### 3 系统测试结果及结论

为了验证上述实验装置和原理的准确性和可靠性, 针对双节点最优布设模型, 在野外进行了实验。

图 6 为两节点目标多次定位路径示意图, 目标沿图中三条选定的路径通过探测区域。目标多点探测区域由节点 1 的 1、2、3 号和节点 2 的 5、6、7 号 PIR 构成,  $R=30\text{ m}$ 。目标(人体)运动速度保持在步速为  $1.1\sim 1.5\text{ m/s}$ (成人正常步速), 室外温度为  $19^\circ$ , 风速 2.7 级。表 1、2、3 分别为目标沿路径 1、2、3 运动的实验结果。

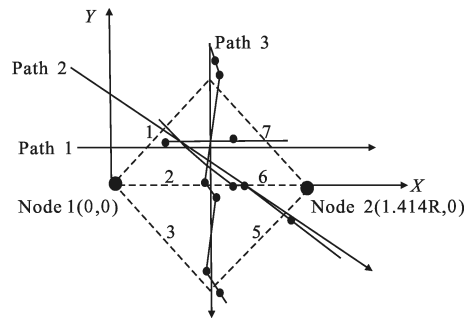


图 6 实验示意图

Fig.6 Schematic diagram of experiment

表 1 目标沿路径 1 运动实验结果

Tab.1 Result of target movement along path 1

Time	PIR	Real	Measure	Deviation
$t_1$	1#	(10, 10)	(11.02, 11.02)	(1.02, 1.02)
$t_2$	7#	(32, 10)	(30.4, 11.6)	(1.6, 1.6)

表 2 目标沿路径 2 运动实验结果

Tab.2 Result of target movement along path 2

Time	PIR	Real	Measure	Deviation
$t_1$	1#	(20, 20)	(21.5, 21.5)	(1.5, 1.5)
$t_2$	2#	(20, 0)	(21.8, 0)	(1.8, 0)
$t_3$	6#	(20, 0)	(22.2, 0)	(2.2, 0)
$t_4$	5#	(30, -16)	(28.4, -14.8)	(1.6, 1.2)

表 3 目标沿路径 3 运动实验结果

Tab.3 Result of target movement along path 3

Time	PIR	Real	Measure	Deviation
$t_1$	1#	(21, 21)	(21.6, 21.6)	(0.9, 0.9)
$t_2$	7#	(21, 21)	(21.3, 21.3)	(0.3, 0.3)
$t_3$	2#	(21, 0)	(19.9, 0)	(1.1, 0)
$t_4$	6#	(21, 0)	(21.6, 0)	(0.6, 0)
$t_5$	3#	(21, -21)	(19.7, -19.7)	(1.3, 1.3)
$t_6$	5#	(21, -21)	(22.6, -22.6)	(1.6, 1.6)

## 4 结 论

由实验结果可知,目标均能多次( $n \geq 2$ )被探测到;最大误差 1.5 m;在图 6 中用粗实线连接探测到的目标位置,近似描绘目标的真实运动轨迹。验证了多节点实现目标多次定位理论的准确性和可靠性,大大拓宽了 PIR 的使用范围,具有一定的研究价值。

### 参 考 文 献:

[1] Cai Q, Aggarwal J K, Inc R. Tracking human motion in structured environment using adistributed-camera system [J].

*IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1999, 21(11): 1241-1247.

- [2] Selvaraj Victor. Test-bed design for target detection and tracking using WS[D]. Chennai: Anna University, 2006.
- [3] 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.
- [4] Xu Wei, Yang Wei. Research on detection method of infrared sensor array [J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2009, 28(9): 16-18. (in Chinese)  
徐微, 杨卫. 一种红外传感器阵列探测方法的研究 [J]. 传感器与微系统, 2009, 28(9): 16-18.
- [5] Yang Wei, Li Bo, Sun Qiao. Research on time difference method for distance measuring on pyroelectric infrared sensing technology [J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2013, 32(4): 37-40. (in Chinese)  
杨卫, 李波, 孙乔. 基于热释电红外传感技术测距的时间差法的研究[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(4): 37-40.
- [6] Sun Qiao, Yang Wei, Yu Haiyang, et al. New target location method based on dynamic pyroelectric infrared sensor [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(9): 2288-2292. (in Chinese)  
孙乔, 杨卫, 于海洋, 等. 动态下红外热释电传感器的目标定位方法[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(9): 2288-2292.