

“米”字型 PIR 构建正方形模型的目标轨迹预推技术

刘希宾, 杨卫, 陈晓乐, 刘宁, 曾亮

(中北大学 电子测试技术重点实验室 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

摘要: 针对单感知平台动静热释电红外传感器(PIR)阵列在目标轨迹测量方面的局限性, 提出了利用 4 感知平台的“米”字型 PIR 阵列构成正方形感知模型实现对目标运动轨迹的测量。在该研究中, 单感知平台由 8 个 PIR 传感器组成“米”字型阵列, 每个传感器间隔 45° 均匀分布; 将 4 感知平台的“米”字型阵列规则排布建立封闭的正方形感知模型, 通过多传感器自适应加权融合算法将 4 感知平台的 32 路传感器角度信息进行融合, 再结合自身坐标信息及检测目标时间信息通过轨迹预推算法推导出准确的运动轨迹, 同时得到目标的运动速度。实验结果表明, 该方法有效弥补了单感知平台 PIR 阵列功能上只能实现单一定位且精度低的不足, 实现了目标运动轨迹的准确测量以及时序上目标位置的预判, 具有较大的理论意义与实际应用价值。

关键词: PIR; “米”字型阵列; 正方形模型; 算法; 轨迹预推

中图分类号: TN219 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201948.0120003

Technology of target trajectory extrapolation with M word PIR array square model

Liu Xibin, Yang Wei, Chen Xiaole, Liu Ning, Zeng Liang

(Science and Technology on Electronic Test & Measurement Laboratory, Key Lab of Instrumentation Science and Dynamic Measurement, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Aiming at the limitations of single pyroelectric infrared sensor (PIR) array in the target trajectory measurement, the method of using four PIR array sensing platforms to form the square perceptive model was put forward to measure the target trajectory. In this study, eight PIR probes were used to form M word array, with each probe evenly distributed at 45 degrees intervals. Four PIR array sensing platforms were arranged at the four vertices of the square model, and 32 sensor angle data fusion through the adaptive weighted fusion algorithm of multi-sensor data. At last, four sensing platforms used the coordinate and time information of the detected target to calculate the target's motion trajectory and obtained the target's speed. The experimental results show that this method can effectively make up for the deficiency of the function which can only realize positioning and low accuracy of single PIR array, and realize the accurate measurement of motion trajectory and the prediction of the target position in time sequence. So, this method has great theoretical significance and practical application value.

Key words: PIR; M word array; square model; algorithm; trajectory extrapolation

收稿日期: 2018-09-05; 修订日期: 2018-10-03

作者简介: 刘希宾(1990-), 男, 硕士生, 主要从事电子科学技术方面的研究。Email: 985700558@qq.com

导师简介: 杨卫(1957-), 男, 研究员级高级工程师, 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

热释电红外传感器(PIR)是一种被动式感知传感器,以非接触形式检测环境中红外辐射的变化,由于其具有功耗低、隐蔽性好、灵敏度高同时兼具成本低和可流动安装等特点,在安全侦控领域能够替代价格昂贵的图像及热成像红外设备被广泛应用^[1-2]。

研究者在利用单感知平台动静 PIR 阵列进行目标定位方面进行了大量的研究探索并取得了一定成果。参考文献[3-5]逐步研究了 PIR 的人体目标特征识别技术和影响 PIR 探测距离的因素,在对采集到的大量信号进行特征对比实验后,提出使用峰峰值时间差法的 PIR 测距方法,提高了测距系统的准确性和可靠性;参考文献[6]提出了一种动态下使用 PIR 发现人体目标并测向测距的目标定位方法,该方法根据采集到的波形信息发现运动目标并根据经验判断运动方向;参考文献 [7] 进一步提出了动静 PIR 相结合的目标定位方法,利用静态 PIR 对运动目标进行测距,利用动态 PIR 以 $10(^{\circ})/s$ 的速率对监控区域往复式扫描,当检测到运动目标时,通过帧差法得到目标的角度值,最后融合多个 PIR 的距离值和角度值确定出目标位置。但是单感知平台 PIR 阵列对目标测量的精度低,感知范围有限,具有较明显的不确定性和局限性。

近几年,国外有关利用红外技术进行目标定位的研究主要有两大发展趋势:一是利用红外热像仪、微光夜视仪等图像、视频采集系统进行信息采集,再经过相关处理算法进行图像处理,提取目标特征,并对目标进行感知定位;二是使用无线 PIR 网络技术,即利用配有菲涅耳透镜的 PIR 传感器阵列组成感知网络由计算处理单元及无线通信等模块实现目标定位。由于配有菲涅耳透镜的 PIR 视场角较大,需要通过多传感器阵列对感知区域进行划分并编码,然后综合各传感器采集的电压信号对目标进行区域定位,在此基础上传感器越多划分区域越小,定位精度越高^[8]。

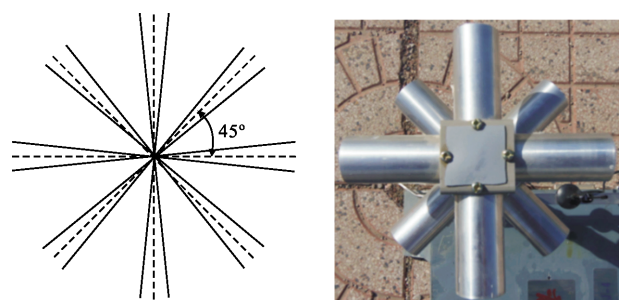
与国外发展现状相比,文中提出了“米”字型 PIR 阵列正方形感知模型的概念,在能预先推测目标将出现的位置和运动轨迹的情况下,还能得到目标的运动速度。国外则是将大量的精力放在了红外透镜加工工艺的研究上。

综合对国内外研究现状的对比和分析,文中的研究具有一定的创新性和技术突破。通过将 4 个单感知平台“米”字型 PIR 阵列规则排布构成封闭感知域,建立感知模型。当目标进入感知区后,4 感知平台利用检测到目标时的角度、时间信息等信息通过相应算法预推出目标的运动轨迹,同时得到目标的运动速度。这对后续进行目标合围等活动提供了充足的时间准备和有效的位置信息支持。

1 功能简介与感知模型建立

1.1 功能实现平台

“米”字型阵列是由 8 路 PIR 传感器组成,使全部探测元光轴处于同一水平面,相比于以往不同水平面的设计结构,对目标热信号检测的一致性和准确性大大提高,因为目标不同部位的热信号不一致,在检测时容易导致漏测或误测。8 路传感器彼此间呈 45° 均匀分布在竖直探测轴顶端构成“米”字型,目标角度的测量值为固定角度,即 $0^{\circ}, 45^{\circ}, 90^{\circ}, 135^{\circ}, 180^{\circ}, 225^{\circ}, 270^{\circ}, 315^{\circ}, 360^{\circ}$, 共 8 个角度。结构示意图和实物图如图 1 所示。文中选用基于两个反向串联敏感元构成的二元 PIR 配备红外透镜组成探测元,该传感器具有高灵敏度和极佳的信噪比,对外部噪声具有高抗干扰性,同时具备通过波形探测目标运动方向的功能^[9-10]。



(a) “米”字结构示意图

(b) “米”字结构实物图

(a) Schematic diagram of
M word array

(b) Real picture of
M word array

图 1 “米”字型 PIR 阵列图

Fig.1 M word PIR array

1.2 功能实现原理

目标感知可按信号的采集、处理、传输三大功能模块化设计实现,处理模块是整个感知功能的核心,

处理模块 1 由模拟信号处理电路和数字信号处理电路组成,处理模块 2 由主控电路组成,模块之间的逻辑关系如图 2 所示。模拟信号处理电路具有放大、去噪功能,能将采集的非常微弱的热释电原始信号变为稳定的信号输出。数字信号处理电路主要是将采集的模拟信号转换为数字信号。主控电路依据建立的正方形感知模型结合自适应加权融合算法解算出目标轨迹。

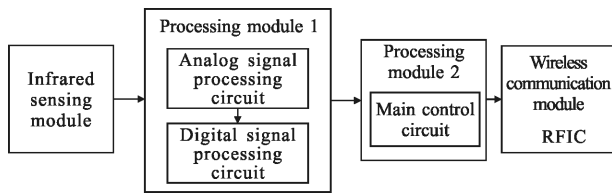


图 2 模块逻辑框图
Fig.2 Logic diagram of module

1.3 感知模型建立

模型中感知平台的布置不能是随机的,其排布需要按照一定的规则进行,同时“米”字型 PIR 阵列中相同路的感知线探测方向一致,才能保证整个感知系统的准确性。因此对感知模型的布局进行研究,首先明确以下几个概念:覆盖区域定义,假如一个节点的位置为 $p(x, y)$,目标区域 $p(x, y) \in C$,其覆盖区域定义如下: $S(x, y) = \{ \forall (x', y') \in C | ((x' - x)^2 + (y' - y)^2 \leq r^2) \}$ 。有效覆盖面积定义:节点的有效覆盖面积 S_{ECA} 为节点的覆盖范围 D (πr^2) 减去重复覆盖区域 z 的面积 S_z ,即 $S_{ECA} = D - S_z = \pi r^2 - S_z$ 。有效覆盖面积率 R_{BCA} 定义:节点的有效覆盖面积率 R_{BCA} 为节点的有效覆盖面积 S_{ECA} 除以节点的覆盖范围 D (πr^2),即 $R_{SCA} = \frac{S_{ECA}}{D} = \frac{D - S_z}{D} = 1 - \frac{S_z}{D} = 1 - \frac{S_z}{\pi r^2}$ 。感知模型的布局要求:(1) 不能存在探测盲点;(2) 有效覆盖面积和有效覆盖率尽量大;(3) 满足“米”字型 PIR 阵列感知功能实现的几何结构要求。

感知模型中感知平台的数量同样关系到对目标轨迹预推的精确性。感知平台过少,不能有效发现目标并对目标轨迹进行测量,或者误差较大;感知平台过多,会造成资源的浪费以及费用的增加。因此,模型建立的数量选取原则为在能满足感知精度要求的情况下,感知平台的数量越少越好。若干个感知平台

可以组构的数量可以大致分为几种情况。

(1) 当 $N \geq 5$ 时,组构成六边形感知模型如图 3(a) 所示,不难看出该种布局存在盲区,不能对感知区域进行全覆盖,不满足模型的布局要求,必须进行调整,调整后如图 3(b) 所示,但是该种布局又能分解成 $N=3, 4$ 的情况,不符合模型建立的数量选取原则。所以当 $N \geq 5$ 时不予考虑。

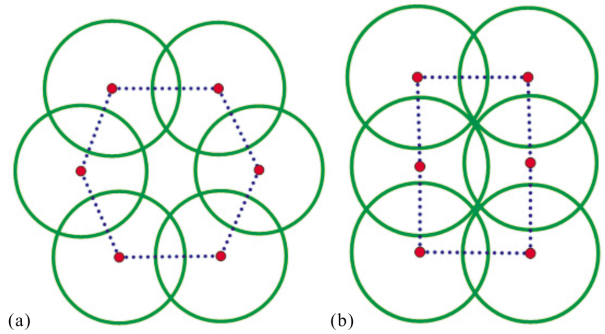


图 3 六边形布局模型
Fig.3 Hexagon layout model

(2) 当 $N=4$ 时,为便于理论研究,建立正方形感知模型如图 4 所示。由模型可以看出,感知平台之间部分感知线构成交叉重叠探测区域,不存在盲区,目标行走轨迹经过共同感知区时,至少能保证有一个感知平台感知到目标。满足感知模型的布局要求和数量选取原则。

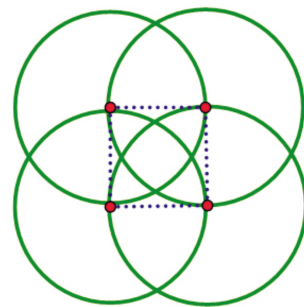


图 4 四边形布局模型
Fig.4 Quadrangle layout model

(3) 当 $N=3$ 时,图 5(a)-(c) 三角形可以分为等边三角形、等腰三角形、不等边三角形等多种形式,三角形布设简单、灵活,能够构成封闭的区域,是组构感知模型数量最少的一种形式。但是该种模型不满足“米”字型 PIR 阵列感知功能实现的几何结构要求。所以建立三角形感知模型不能有效进行目标轨

迹预推。

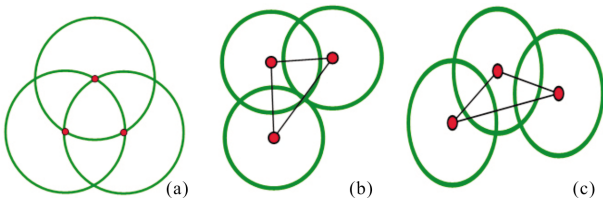


图5 三角形布局模型
Fig.5 Triangle layout model

综上所述,正方形感知模型能够满足目标轨迹预推模型的建立要求。为定量地描述目标的位置及位置的变化,需要统一全局坐标系,建立高精度的坐标系,如图6所示。对于任意轨迹,只要目标经过4个感知平台组成的最小封闭区域,探测线感知目标的次数至少有5次。

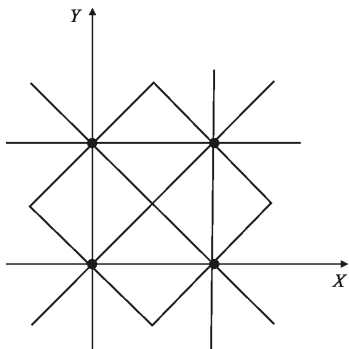


图6 正方形感知模型
Fig.6 Square sensing model

2 轨迹预推

2.1 数据筛选

正方形感知模型中共有32路传感器进行目标感知,在感知过程中产生的原始数据里不可避免地出现大量冗余信息,同时受外界环境干扰会产生数据漏报和误报现象。数据量的增加会占用和耗费大量的资源,使得处理起来的难度大大提高。进行有效地数据筛选能够去除冗余信息和错误信息,进而得到有价值的信息保证得出的结果真实准确,这也是数学建模完成轨迹预推的前提和基础。文中针对正方形感知模型的特点设计了数据筛选方法,该方法核心理念是在以标定值为参考基准的时序数据遍历,其具体实现的工作流程图如图7所示,其

中 N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 是按时序排列的标定值。

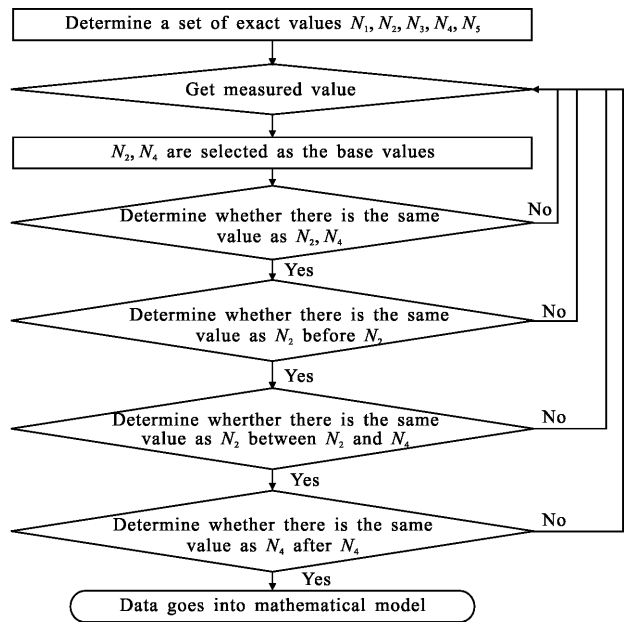


图7 数据筛选流程图
Fig.7 Flow chart of data screening

2.2 多传感器自适应加权融合算法

文中采用多传感器自适应加权融合算法^[11]将模型中4个感知平台32路传感器角度信息进行融合,该算法的核心思想是在保证总方差最小的条件下,根据各传感器的测量值,通过自适应的方式寻找与之对应的最优加权因子,使融合后的值最优。该算法的流程图如图8所示。其中 X_1, X_2, \dots, X_n 为各传感器的测量值, W_1, W_2, \dots, W_n 为各传感器的加权因子,待估计的真值为 X 。自适应处理器依据各测量值对应的测量误差结合估计值 X 经过总方差最小的规则约束条件得到最优加权因子。

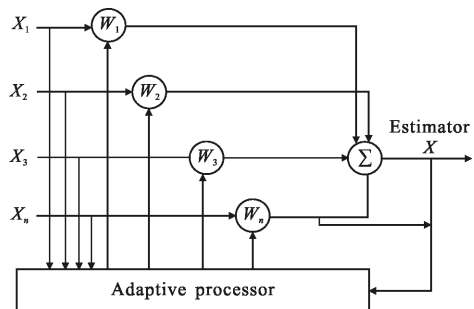


图8 自适应加权融合算法流程图
Fig.8 Flow chart of adaptive weighted fusion algorithm

$$d_{2T} = \sqrt{(x_{2T} - x_{0T})^2 + (y_{2T} - y_{0T})^2} \quad (19)$$

联立计算得出目标在真实轨迹上的最近合围点和最远合围点坐标 $(x_{1T}, y_{1T}), (x_{2T}, y_{2T})$ 。

最后可得出真实轨迹与测量轨迹分别的最近合围点间距离,计算公式如下:

$$e_1 = \sqrt{(x_{1p} - x_{1T})^2 + (y_{1p} - y_{1T})^2} \quad (20)$$

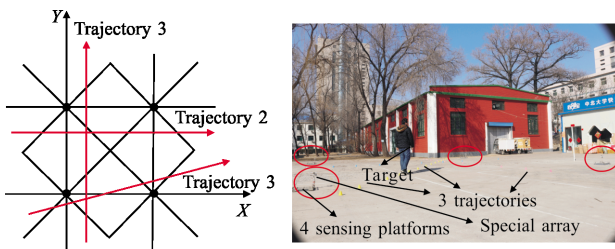
真实轨迹与测量轨迹分别的最远合围点间距离,计算公式如下:

$$e_2 = \sqrt{(x_{2p} - x_{2T})^2 + (y_{2p} - y_{2T})^2} \quad (21)$$

通过判断 e_1 和 e_2 是否小于合围半径,得出目标轨迹是否符合精度要求。

3 实验验证

为了验证文中提出的目标轨迹预推方法的有效性和可执行性,针对正方形感知模型进行了户外验证实验,为了体现原理的普遍适用性,选取 3 条具有普遍代表性的运动轨迹(如图 10(a)所示),实验场景如图 10(b)所示。首先按照正方形感知模型布局方案进行排布,建立坐标系,开启系统电源,待系统稳定之后由控制终端发送指令启动 4 台感知平台进入检测状态,目标(人)以 0.75~1.5 m/s 匀速按预定轨迹通过感知区,观察控制终端的演示软件显示的轨迹,并保存轨迹结果。计算 e_1 和 e_2 的值,判断预推轨迹的误差是否满足精度要求,最终的结果记录于表 1 中。实验得到的轨迹 2 测量结果如图 11(a)所示,图 11(b)则显示了最佳合围点。将测量结果与对应的预设真实轨迹进行比较,同时得出轨迹误差 e_1 和 e_2 ,可知利用正方形感知单元测量运动目标轨迹是可行的。



(a) 轨迹示意图

(b) 户外实验场景图

(a) Schematic diagram of trajectory

(b) Outdoor experiment scene graph

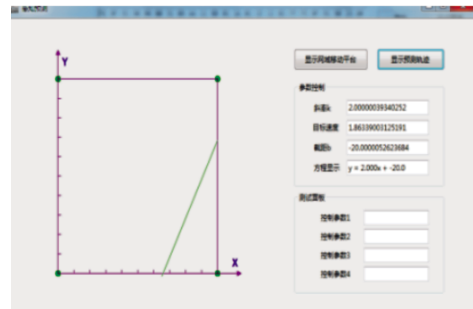
图 10 验证实验

Fig.10 Verified experiment

表 1 目标沿 3 条轨迹运动实验结果

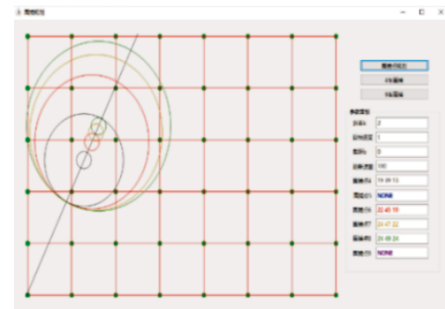
Tab.1 Result of target movement along 3 trajectories

Path/Num.	Real	Measure	e_1/m	e_2/m	Speed
1/1		$y=x-7.5$	0.10	0.10	1.21
1/2	$y=x-7.4$	$y=x-8.43$	1.03	1.03	0.98
1/3		$y=0.89x-5.83$	1.02	0.08	0.89
2/1		$y=-x+9.8$	0.50	0.50	1.03
2/2	$y=-x+9.3$	$y=-1.11x+10.55$	0.39	0.25	1.29
2/3		$y=-x+9.23$	0.07	0.07	0.94
3/1		$y=2x-24.0$	0.10	0.10	0.86
3/2	$y=2x-23.9$	$y=2.1x-20.5$	0.41	0.70	0.86
3/3		$y=2x-23.6$	0.30	0.30	0.91



(a) 目标轨迹测量结果

(a) Measurement result of trajectory



(b) 最佳合围点结果

(b) Best surround point result

图 11 演示软件显示测量结果

Fig.11 Measurement result of demo software

4 结论

由实验数据可知,预推轨迹与预设轨迹近似相

同,满足精度要求。提出的基于“米”字型 PIR 阵列正方形感知模型进行的目标轨迹预推的方法对单感知平台 PIR 阵列进行目标定位和轨迹测量的不足是很好补充和延伸,大大拓宽了 PIR 的使用范围,具有很高的使用价值。下一步工作将对基于该模型构成的网域测量系统实现目标轨迹测量进行研究,以期进一步提高目标轨迹精度。

参考文献:

- [1] Yi Jinqiao, Huang Yong, Liao Honghua, et al. Pyroelectric infrared sensor and it's application in people counting system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(4): 1186-1192. (in Chinese)
- [2] Jung Yun Sik, Lee Sang Suk, Rho Shin Baek. A study on the target tracking algorithm based on the target size estimation [J]. *Journal of Institute of Control Robotics and Systems*, 2014, 5(20): 1-29.
- [3] Li Boya, Li Fangmin, Liu Xinhua, et al. Design and implementation of single target tracking system based on PIR sensor [J]. *Journal of Sensor Technology*, 2014, 27 (9): 1214-1220. (in Chinese)
- [4] Lu Yun, Yang Wei, Zhao Junjiang, et al. New target location method on dynamic pyroelectric infrared sensor [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41 (9): 2288-2292. (in Chinese)
- [5] Yang Bo, Li Xiaoshan, Luo Jing. A novel multi-human location method for distributed binary pyroelectric infrared sensor tracking system: Region partition using PNN and bearing-crossing location [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2015, 8(6): 35-43.
- [6] Sun Qiao, Yang Wei, Yu Haiyang, et al. New target location method on dynamic pyroelectric infrared sensor [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(9): 2288-2292. (in Chinese)
- [7] Hou Shuang, Yang Wei, Liu Qianjin. Target localization method with dynamic and static combination of PIR [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2015, 26 (2): 315-319. (in Chinese)
- [8] Per Skoglar, Umut Orguner, David T?rnqvist. Pedestrian tracking with an infrared sensor using road network information [J]. *Skoglaretal EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2012, 26(3): 1-18.
- [9] Zhao Di, Yang Wei, Liu Qianjin. Multiple target localization with Multi-node of PIR [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(4): 1284-1288. (in Chinese)
- [10] Jiang Tao, Kong Deren, Guo Yuyan. Design of a new type of an infrared heat flux density sensor[J]. *Foreign Electronic Measurement Technology*, 2017, 36(11): 38-42. (in Chinese)
- [11] Li Yuanyuan, Zhang Lifeng. The adaptive weighted fusion algorithm of multi-sensor data and application research [J]. *Automation & Instrumentation*, 2008 (2): 10-13. (in Chinese)