

# 三角形模型的动态 PIR 目标轨迹预推算方法

刘 珊, 杨 卫, 邵星灵, 刘希宾

(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:** 针对热释电被动红外传感器 (passive infrared sensor, PIR) 阵列构建的四边形模型在目标轨迹测量方面的局限性, 提出了利用搭载动态 PIR 阵列的三感知平台构建三角形感知模型实现对运动目标轨迹测量的方法。单感知平台由 4 路 PIR 传感器组成, 相邻传感器水平方向间隔  $90^\circ$  均匀分布, PIR 转速为  $10^\circ/\text{s}$ 。首先将三感知平台布置为三角形感知模型, 然后对三感知平台上 PIR 传感器在转动过程中感知到的角度信息进行筛选, 最后将筛选后的有效信息结合感知平台自身坐标信息和时间信息, 根据相应轨迹预推算法推导出准确的目标运动轨迹和运动速度。实验结果表明, 该方法突破了四感知平台的几何形状限制, 降低了成本, 将预推轨迹的精度从 1.5 m 提高到了 1 m, 具有较大的理论意义与实际应用价值。

**关键词:** 动态热释电被动红外传感器; 三角形感知模型; 轨迹预推; 目标速度

中图分类号: TN219 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2020)02-0127-07

## Dynamic Passive Infrared Sensor Target Trajectory Prediction Method for Triangular Model

LIU Shan, YANG Wei, SHAO Xingling, LIU Xibin

(Key Laboratory of Electronic Testing Technology, Key Laboratory of Instrument Science and Dynamic Testing, Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** This study proposes a new method to limit the use of the quadrilateral model, which is applied in pyroelectric passive infrared sensor (PIR) arrays for target trajectory measurement. To this end, a triangle perception model using three sensing platforms equipped with a dynamic PIR array is introduced to measure the moving target trajectory. The single-sensing platform consists of four PIR sensors. The adjacent sensors are evenly spaced in the horizontal direction at  $90^\circ$ , and the PIR speed is  $10^\circ/\text{s}$ . Firstly, the three sensing platforms are arranged to form the triangle sensing model, and then, the angle information perceived by the PIR sensors from the three sensing platforms is filtered. Finally, the filtered effective information is combined with the sensing platforms' own coordinate information and time information according to the corresponding trajectory pre-rendering algorithm to derive accurate target motion trajectories and motion velocities. The experimental results show that the method overcomes the geometric constraints of the four sensing platforms, reduces the cost, and improves the accuracy of the prediction trajectory from 1.5 to 1 m. Thus, the proposed method has considerable theoretical significance and practical application value.

**Key words:** dynamic PIR, triangle perception model, trajectory prediction, target velocity

## 0 引言

热释电红外传感器 (passive infrared sensor, PIR) 是一种被动式感知传感器, 具有功耗低、体积小、灵敏度高、结构简单等特点, 广泛应用于目标检测和监视等领域<sup>[1-2]</sup>。

查阅相关国外文献, 多是将 PIR 与其他设备相结合, 经复杂算法处理后进行目标检测识别。文献[2]将树莓派和 Arduino 用 USB 电缆相连接, PIR 传感器安装在 Arduino 上, 网络摄像头安装在树莓派上。PIR 检测传感器周围的运动, 激活网络摄像头捕获图片, 树莓派用于处理接收到的传感器输入和处理行人及

收稿日期: 2019-04-15; 修订日期: 2020-01-26。

作者简介: 刘珊 (1994-), 河北石家庄人, 硕士生, 主要从事图像处理和机器视觉方面的研究。E-mail: liushan24@foxmail.com。

通信作者: 杨卫 (1957-), 山西太原人, 研究员级高级工程师, 研究生导师, 主要从事测试技术方面的研究。E-mail: yangwei@nuc.edu.cn。

人脸检测的图像。利用梯度 (histogram of oriented gradient, HOG) 和支持向量机 (support vector machines, SVM) 的直方图对可疑对象进行目标识别。文献[3]用 PIR 构成主动传感系统检测静态目标。文献[4]提出将 PIR 和振动传感器相结合,利用小波分析和经验模式分解对传感器信号进行处理。

查阅相关国内文献,多是用 PIR 进行目标定位<sup>[5]</sup>、目标跟踪<sup>[6]</sup>、目标的轨迹预推算等<sup>[7-10]</sup>。在用 PIR 进行目标定位及轨迹预推算的研究过程中,有单感知平台<sup>[7]</sup>,双感知平台<sup>[8]</sup>,三感知平台<sup>[9]</sup>,四感知平台<sup>[11,10]</sup>等。单感知平台研究过程中,文献[7]利用 PIR 处于静止状态时测得目标的运动方向及目标距节点距离,PIR 转动状态测得运动目标被探测到时的角度和时间,根据测得数据实现单节点目标运动轨迹的预推算。双感知平台研究过程中,文献[8]提出了一种基于双感知平台的动静 PIR 相结合的目标定位方法。静态 PIR 传感器对人员目标进行测距,动态 PIR 传感器以 10°/s 的速率对监控区域往复式扫描。通过帧差法得到目标的角度值,融合多个传感器的测量值进行交叉定位。三感知平台研究过程中,文献[9]针对静态 PIR 提出了三角交叉定位方法,采用位于同一平面内的 3 个节点,对同样位于同一平面的目标进行交叉定位。四感知平台研究过程中,文献[1]提出了基于正方形模型的 PIR 阵列感知,通过将 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推导出运动轨迹,得到目标运动速度。文献[10]通过峰峰值时间差法和探测区域划分编码的方式获取目标的距离和角度信息,根据众数判定的方法筛选提取出目标有效位置信息,用极径序列生成目标运动轨迹。

和国外相关文献对比,本文提出的方法不需要搭配其他感知设备,仅用 PIR 红外传感器这单一功能器件即可推算出运动目标轨迹和运动速度。和国内相关文献对比,本文设计的动态 PIR 阵列 360°匀速转动,克服了以往 PIR 阵列 90°往复转动过程中频繁启停造成的不能匀速转动的弊端;提出的由 3 个单感知平台构成的三感知平台通过动态 PIR (转速为 10°/s 的旋转 PIR) 对运动目标多次感知,弥补了单感知平台动态 PIR 容易造成漏检以及四感知平台对几何布局场景高要求的不足。将 3 个感知平台随机布撒成任意三角形,均可建立感知模型,当运动目标进入感知区域后,三感知平台利用检测到目标时传感器的角度、时间等信息,结合轨迹预推算算法得到目标的预测运动轨迹,同时得到目标的运动速度。采用 PIR 阵列动态化,在扩大感知范围的同时,使得每一路传感器对进

入感知区域的运动目标实现多次感知,在很大程度上提高预推算轨迹的精度。

## 1 单感知平台简介

### 1.1 单感知平台硬件结构搭建

针对以往的研究中设计过的四静四动的八路 PIR<sup>[8]</sup>、全为静态的八路 PIR<sup>[11]</sup>在多平台感知时对 PIR 传感器的大量使用,提出了动态的四路 PIR,大大节约了成本。分析探测元光轴处于不同水平面<sup>[8]</sup>和探测元光轴处于同一水平面<sup>[1,7]</sup>这两种形式,提出了利用四路传感器处于不同水平面的结构设计形式,在单路 PIR 3°感知视场角的刚性约束条件下,扩大了纵向感知范围,同时能够避免因目标热源信号强弱不均造成的大面积漏检,提高了感知目标的成功率。具体分析对比如下:

相邻 PIR 垂直方向间隔 1.5 cm,当对目标(人员)感知距离为 30 m 时,每路垂直方向上探测距离为:

$$l = 2 \times 30 \sin 1.5 = 1.57 \text{ m} \quad (1)$$

四路 PIR 垂直方向上累加探测距离为:

$$1.57 + 0.015 \times 3 = 1.615 \text{ m} \quad (2)$$

单感知平台实物图如图 1 所示。四路 PIR 水平方向间隔 90°均匀分布,成“十”字形状。纵向感知范围示意图如图 2 所示。感知平台上包括滑环和电机。滑环作用是解决转台转动时线路转动问题,电机作用是带动转台转动。

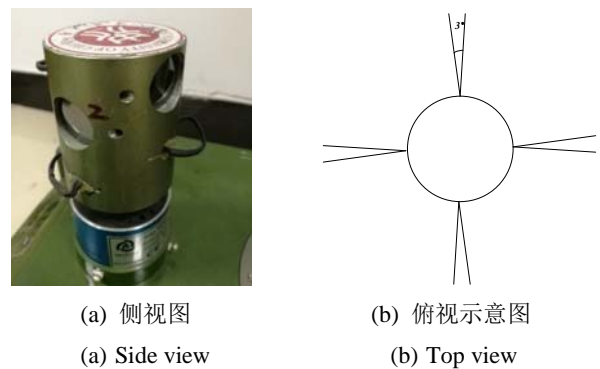


图 1 动态 PIR 阵列

Fig.1 Dynamic PIR array

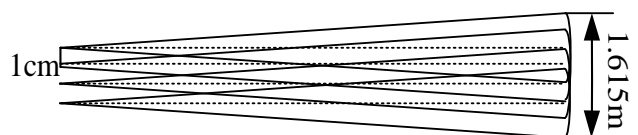


图 2 纵向感知范围示意图

Fig.2 Schematic diagram of the longitudinal sensing range

### 1.2 单感知平台硬件电路设计

单个感知平台的工作流程主要分为三大模块:转台模块、信号采集模块,信号处理模块,信号传输模

块、电源模块。转台模块利用可编程步进电机，根据 DSP 提供的信号控制 PIR 阵列匀速转动，使每路 PIR 可以对 360°检测范围内的目标进行检测。信号采集模块是由转速为 10°/s 的动态的 PIR 采集目标信息。信号处理模块包括两部分内容，处理模块 1 将采集到的模拟信号经放大滤波后传输到数字电路，数字电路主要是将其转换为数字信号。信号传输模块将数字信号传输到处理模块 2，处理模块 2 为主控模块，融合接收到的所有感知平台信息，根据建立的三角形感知模型结合轨迹预推算法解算出目标轨迹和目标的运动速度。

硬件电路中采用带有 DSP 指令的微控制器，型号为 STM32F407 系列，拥有 1Mb 零等待的闪存，包含 11 条兼容的数字信号控制器产品线，可以实现与数字信号处理器的完美结合。数字信号处理器为 TMS320C6747 系列，功耗低，外设接口多，适合浮点处理。整体处理速度高达 1.2 GHz，提高了计算速度，扩大了内存，延长了 PIR 感知的持续时间。硬件实物图如图 3 所示。模块间的逻辑框图如图 4 所示。

## 2 感知模型构建

感知模型需满足：1) 感知区域内不能存在探测盲点；2) 感知次数尽量多；3) 便于布撒，具有实用性。所提出的动态 PIR 阵列 360°扫描感知区域，不存在探测盲点，多次扫描可以有效增加感知次数。三角

形布置简单、灵活，是构建感知模型时数量最少的一种，不会造成资源浪费，相较于多边形感知模型降低了成本。本文所构建的模型改进了文献[1]对正方形几何结构的强制要求，增加了 PIR 感知次数，提高了轨迹算精度。三角形分为等边三角形图 5(a)、等腰三角形图 5(b)、一般三角形图 5(c)等。为了说明三角形感知模型的普遍适用性，本文采用一般三角形模型。



图 3 硬件实物图

Fig.3 Hardware diagram

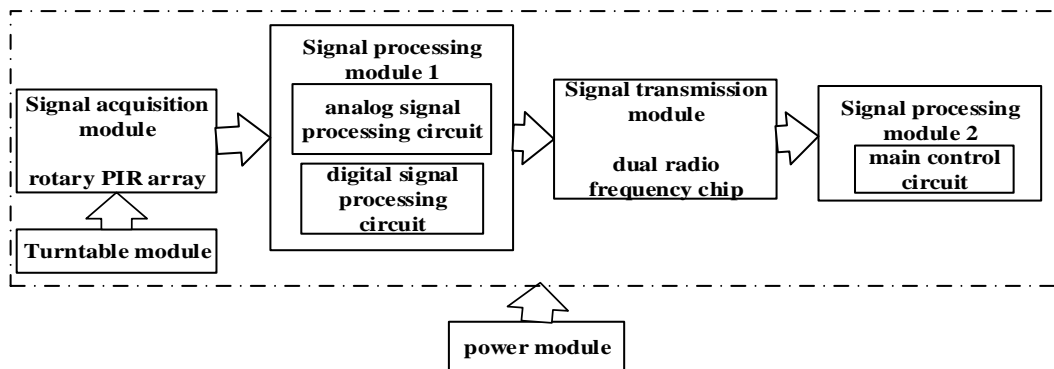


图 4 模块逻辑框图

Fig.4 Block diagram of the module

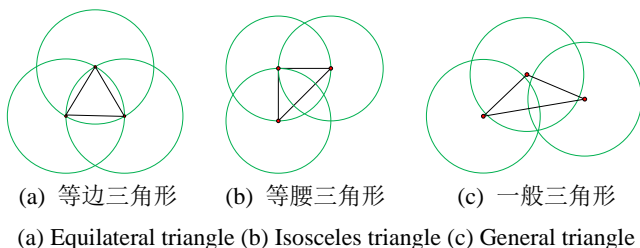


图 5 三角形布局模型

Fig.5 Triangle layout model

### 3.1 建立坐标系

为了准确地描述目标的位置及其运动变化，需要对三角形模型建立坐标系，如图 6 所示。为了便于计算，以  $R_1$  和  $R_3$  的连线为  $x$  轴，过  $R_1$  垂直  $x$  轴作  $y$  轴。三角形三边长分别为  $l_1, l_2, l_3$ ，目标以 1 m/s 进入感知区域，在一个感知圆内最多被感知到 6.67 次，计算如下：

$$\frac{60\text{m}}{1\text{m/s}} \times 10^\circ / \text{s} = 6.67 \quad (3)$$

## 3 轨迹预推算研究

当三角形模型 3 个感知平台的感知圆互相覆盖时, 不论从任意方向经过重叠感知区域, 至少能被感知到 7 次。

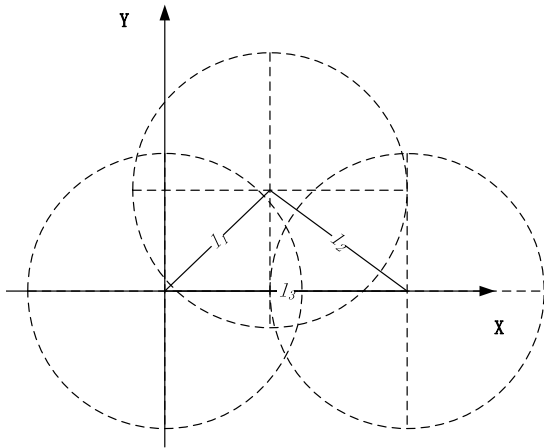


图 6 三角形感知模型坐标系

Fig.6 Triangle perceptual model coordinate system

### 3.2 数据筛选

三角形感知模型中共有 12 路传感器以 10°/s 的转速进行运动目标感知, 多路传感器不断采集目标信息会产生大量的冗余信息。而且动态 PIR 阵列在转动过程中易受外界环境影响, 例如风、非目标热源干扰等, 产生数据乱报误报, 造成无用数据量大大增加。对此, 进行有效地数据筛选, 降低计算量, 提高推算精度是至关重要的。本文针对三角形感知模型的特点设计了数据筛选方法, 阐述如下。

根据轨迹推算精度要求设置阈值为  $\delta$ 。首先将所有可能感知点标定出来, 判断获取的感知点与对应的标定之间的差值是否小于阈值  $\delta$ , 若小于则保留, 若大于则剔除。每 5 个符合条件的感知点计算一次推算轨迹, 每计算一次推算轨迹, 剔除这 5 个感知点中按时间顺序排列的第一个, 剩余的 4 个感知点与后面符合条件的感知点构成 5 个感知点, 再次计算运动轨迹, 当计算出的推算轨迹的数量不小于 2 条后, 进行轨迹拟合。数据筛选的程序框图如图 7 所示。

### 3.3 轨迹推算算法推导过程

目标在起点  $(x_0, y_0)$  以速度 1 m/s 匀速进入三角形感知平台构成的感知范围内, 为了便于验证, 规定目标每次进入感知区域时三感知平台上 PIR 的初始方向保持不变。运动目标进去感知区域的入侵角为  $\alpha$ ,  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7$ , 分别为传感器 7 次发现目标的时间, 目标在感知范围内做匀速直线运动。目标行进轨迹及三角形感知模型如图 8 所示。

单感知平台大小相对于感知平台之间的间距可以忽略为一个节点。三角形模型中,  $R_1R_2=l_1, R_2R_3=l_2, R_1R_3=l_3, \angle R_2R_1R_3=a$ 。  $R_1$  坐标为  $(0,0)$ ,  $R_3$  坐

标为  $(0, l_3)$ 。由三角形可知:

$$\cos a = \frac{l_1^2 + l_3^2 - l_2^2}{2l_1l_3} \quad (4)$$

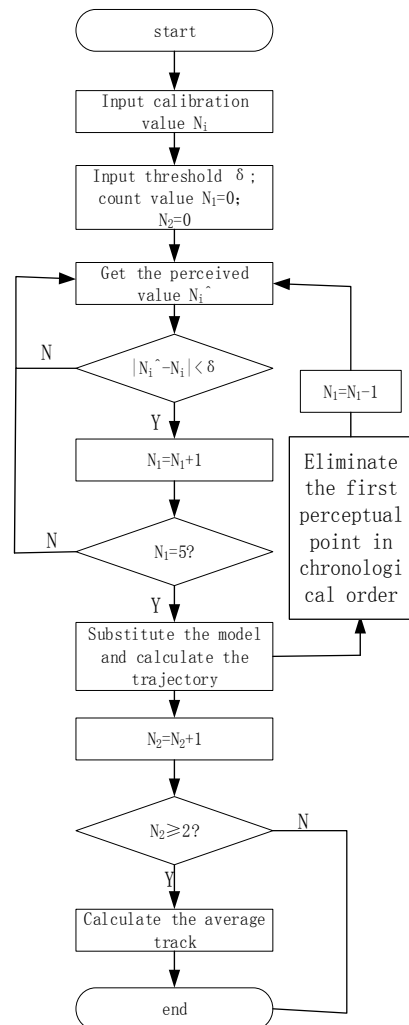


图 7 数据筛选流程图 Fig.7 Data screening flowchart

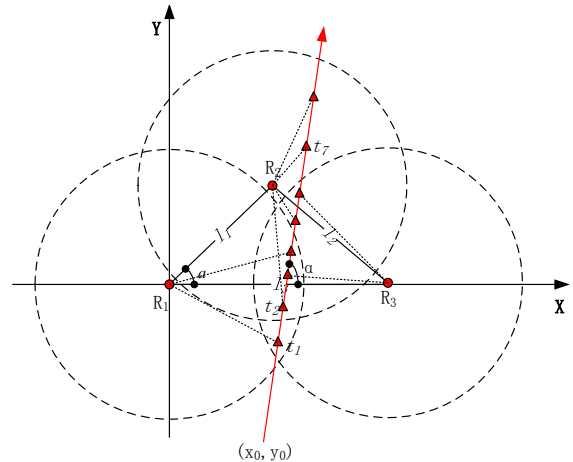


图 8 三角形感知模型目标轨迹推算

Fig.8 Triangle perceptual model target trajectory prediction

可得  $R_2$  坐标为  $(l_1 \cos a, l_1 \sin a)$ 。

目标行进中的实时坐标为:



$$\begin{cases} x = x_0 + v \cos \alpha \cdot t \\ y = y_0 + v \sin \alpha \cdot t \end{cases} \quad (5)$$

传感器节点  $R_1$  在  $t_1$  时刻发现目标，并给出其角度值  $\theta_1$ ，其直线方程可表示为：

$$y = \tan \theta_1 \cdot x \quad (6)$$

传感器节点  $R_2$  在  $t_2$  时刻发现目标，并给出其角度值  $\theta_2$ ，其直线方程可表示为：

$$y = \tan \theta_2 \cdot x + (l_1 \sin \alpha - l_1 \cos \alpha \tan \theta_2) \quad (7)$$

传感器节点  $R_3$  在  $t_3$  时刻发现目标，并给出其角度值  $\theta_3$ ，其直线方程可表示为：

$$y = \tan \theta_3 \cdot x + l_3 \quad (8)$$

将(6)、(7)、(8)分别代入式(5)，可得出探测到目标的时间  $t_1, t_2, t_3$ ：

$$t_1 = \frac{y_0 - x_0 \tan \theta_1}{v \cos \alpha \cdot \tan \theta_1 - v \sin \alpha} \quad (9)$$

$$t_2 = \frac{y_0 - x_0 \tan \theta_2 - (l_1 \sin \alpha - l_1 \cos \alpha \tan \theta_2)}{v \cos \alpha \tan \theta_2 - v \sin \alpha} \quad (10)$$

$$t_3 = \frac{y_0 - x_0 \tan \theta_3 - l_3}{v \cos \alpha \tan \theta_3 - v \sin \alpha} \quad (11)$$

同理，第4次、第5次、第6次、第7次及后续发现目标时的直线方程分别带入式(5)。可得到探测目标的时间  $t_4, t_5, t_6, t_7$ ：

$$t_4 = \frac{y_0 - x_0 \tan \theta_4}{v \cos \alpha \cdot \tan \theta_4 - v \sin \alpha} \quad (12)$$

$$t_5 = \frac{y_0 - x_0 \tan \theta_5 - (l_1 \sin \alpha - l_1 \cos \alpha \tan \theta_5)}{v \cos \alpha \tan \theta_5 - v \sin \alpha} \quad (13)$$

$$t_6 = \frac{y_0 - x_0 \tan \theta_6 - l_3}{v \cos \alpha \tan \theta_6 - v \sin \alpha} \quad (14)$$

$$t_7 = \frac{y_0 - x_0 \tan \theta_7}{v \cos \alpha \cdot \tan \theta_7 - v \sin \alpha} \quad (15)$$

式中： $\theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7$  分别是第4次、第5次、第6次、第7次发现目标时感知线的角度值。求解过程中有  $(x_0, y_0)$ 、 $v$ 、 $\alpha$  4 个变量，5 个方程即可解出所有变量值，测算出目标的行进轨迹和目标运动的速度。在动态 PIR 感知过程中，目标从进入感知区域到完全离开感知区域，感知次数至少大于 7 次，若某一路 PIR 漏检，仍可以推出预推算轨迹；若每一路都能感知到目标，那么每 5 个方程推出一次运动轨迹，最终的运动轨迹中参数的计算方式为：

$$x_0 = \frac{x_{01} + x_{02} + x_{03} + \dots + x_{0n}}{n} \quad (16)$$

$$y_0 = \frac{y_{01} + y_{02} + y_{03} + \dots + y_{0n}}{n} \quad (17)$$

$$v = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n}{n} \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}{n} \quad (19)$$

通过求多次感知得到的平均值提高预推算轨迹的精度。

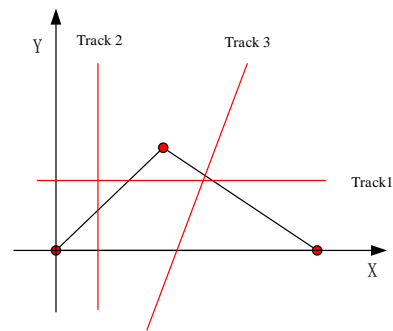
通过求解感知过程中，所有相同时序的标定与感知点的差值计算预推算轨迹的误差，误差  $e$  计算为：

$$e = \frac{\sqrt{(x_1 - \hat{x}_1)^2 + (y_1 - \hat{y}_1)^2} + \sqrt{(x_2 - \hat{x}_2)^2 + (y_2 - \hat{y}_2)^2} + \dots + \sqrt{(x_n - \hat{x}_n)^2 + (y_n - \hat{y}_n)^2}}{n} \quad (20)$$

## 4 实验验证

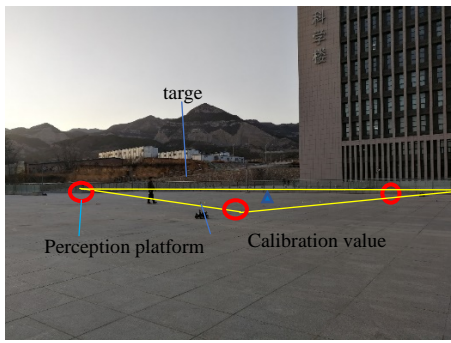
本文针对三角形感知模型进行了户外实验，验证了文中所提方法相对文献[1]中方法的优越性。具体实验过程为：在三角形感知范围内，目标的运动轨迹有无数种可能，选取其中 3 条具有代表性的运动轨迹代表所有可能的情况，如图 9(a)。按照  $l_1=32\text{ m}$ 、 $l_2=34\text{ m}$ 、 $l_3=49\text{ m}$  的三角形感知模型对感知平台进行布撒，以  $l_3$  为 X 轴方向，其垂直方向为 Y 轴，建立坐标系（图 6）。布置 3 条预定轨迹，开启系统电源，目标（人员）在指定位置就位，当感知平台处于稳定的感知状态时，目标（人员）以 1 m/s 沿其中一条预定轨迹匀速通过感知区域。预推算出的运动轨迹和运动速度将在上位机的演示软件中显示，保存显示的结果。将预推算轨迹结果与相应的预定轨迹作对比，计算得到预推算轨迹的误差  $e$ 。实验场景如图 9(b)。本文进行了大量实验，将最终的结果部分记录于表 1 中。实验得到的 3 条轨迹的预推算结果如图 10 所示。

由表 1 可以看出，动态 PIR 构建的三角形模型可以准确对运动目标的轨迹进行估算，并将正方形模型轨迹预推算的误差<sup>[1]</sup>由 1.5 m 提高到了 1 m。



(a) 预定轨迹示意图

(a) Schematic diagram of the predetermined track

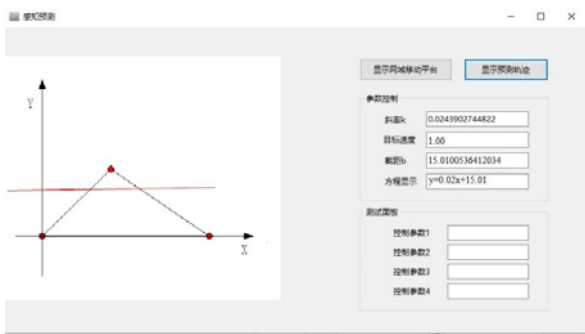


(b) 实验场景图

(b) Experimental scene

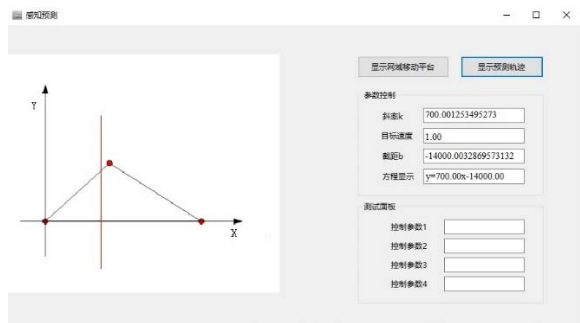
图9 实验验证过程

Fig.9 Experimental verification process



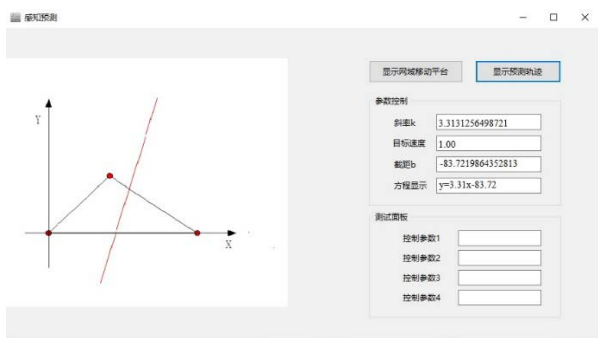
(a) 轨迹1 预推算结果

(a) Track 1 prediction result



(b) 轨迹2 预推算结果

(b) Track 2 prediction result



(c) 轨迹3 预推算结果

(c) Track 3 prediction result

图10 轨迹预推算结果

Fig.10 Track prediction results

表1 目标沿3条轨迹运动实验结果

Table 1 Results of the movement of the target along three trajectories

Path/ num.	Real	Measure	e/m
1/1		$y = 0.03x + 15.00$	0.46
1/2	$y = 15$	$y = 15.37$	0.32
1/3		$y = 0.02x + 15.01$	0.23
2/1		$x = 20.31$	0.27
2/2	$x = 20$	$x = 20.82$	0.73
2/3		$y = 700.00x - 14000.00$	0.12
3/1		$y = 3.37x - 83.67$	0.66
3/2	$y = \frac{10}{3}x - \frac{250}{3}$	$y = 3.35x - 83.01$	0.26
3/3		$y = 3.31x - 83.72$	0.50

## 5 结论

本文提出了一种基于动态PIR阵列构成的三角形感知模型的轨迹预推算方法,改善了四感知平台构建的正方形模型对模型几何形状的刚性要求。采用三角形模型,对于网域测量系统而言,模型布撒灵活,具有很高的实用价值。在实际测量过程中,动态PIR在感知范围内多次感知到运动目标,拟合出的运动轨迹,在精度上有了很大提高。接下来,我们将研究多个三角形模型对运动目标的联合定位及目标运动的实时轨迹预推算,从而针对目标的长时间远距离运动,得出在网域测量中的更加准确的位置预判。

## 参考文献:

- [1] 刘希宾, 杨卫, 陈晓乐, 等. “米”字型PIR构建正方形模型的目标轨迹预推技术[J]. 红外与激光工程, 2019, 48(1): 250-256.  
LIU Xibin, YANG Wei, CHEN Xiaole, et al. Target trajectory pre-pushing technique for constructing square model with "M" type PIR[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2019, 48(1): 250-256.
- [2] Nico Surantha, Wingky R Wicaksono. Design of smart home security system using object recognition and PIR sensor[J]. *Procedia Computer Science*, 2018, 135: 465-472.
- [3] MA R, HU F, HAO Q. Active compressive sensing via pyroelectric infrared sensor for human situation Recognition[J]. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Systems*, 2017, 47(12): 3340-3350.
- [4] Erden F, Alkar A Z, Cetin A E. Contact-free measurement of respiratory rate using infrared and vibration sensors[J]. *Infrared Physics & Technology*, 2015, 73: 88-94.
- [5] 杨丹, 徐彬. 基于人行为地图的室内PIR定位方法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2018, 39(6): 776-780.

- YANG Dan, XU Bin. Indoor PIR location method based on human behavior map[J]. *Journal of Northeastern University(Natural Science)*, 2018, **39**(6): 776-780.
- [6] 王泽兵, 崔宝珍, 秦丽, 等. 基于热释电感知的分布式粒子群优化目标跟踪[J]. *激光与光电子学进展*, 2017, **54**(10): 86-92.
- WANG Zebing, CUI Baozhen, QIN Li, et al. Distributed particle swarm optimization target tracking based on pyroelectric sensing[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, **54**(10): 86-92.
- [7] 卢云, 杨卫, 赵俊江, 等. PIR单节点阵列目标轨迹预测和定位技术[J]. *红外与激光工程*, 2016, **45**(10): 260-265.
- LU Yun, YANG Wei, ZHAO Junjiang, et al. Target trajectory prediction and localization technology for PIR single node array[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, **45**(10): 260-265.
- [8] 侯爽, 杨卫, 刘前进. 一种动静 PIR 相结合的目标定位方法[J]. *光子·激光*, 2015, **26**(2): 315-319.
- HOU Shuang, YANG Wei, LIU Qiang. A target positioning method based on dynamic and static PIR[J]. *Optoelectronics-Laser*, 2015, **26**(2): 315-319.
- [9] 王淑平, 杨卫, 侯爽. 基于 PIR 的三角交叉定位技术研究[J]. *电子器件*, 2016, **39**(4): 825-828.
- WANG Shuping, YANG Wei, HOU Shuang. Research on triangular intersection technology based on PIR[J]. *Electronic Devices*, 2016, **39**(4): 825-828.
- [10] 曹志斌, 杨卫, 邵星灵, 等. 基于众数判定的 PIR 传感器网络目标定位方法[J]. *中国测试*, 2018, **44**(7): 110-115.
- CAO Zhibin, YANG Wei, SHAO Xingling, et al. PIR sensor network target location method based on mode determination[J]. *China Test*, 2018, **44**(7): 110-115.