

文章编号:1007-757X(2024)03-0140-05

公共区域监控视频运动目标跟踪系统设计

周明政¹, 史亚锋¹, 吴道广¹, 吕春雷²(1. 中国电子科技集团公司第五十二研究所, 浙江, 杭州 310000;
2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林, 长春 130033)

摘要: 公共监控区域中的运动目标在运动方向和运动速度方面具有一定的随机性,这增加了目标跟踪难度。为了提升运动目标的跟踪性能,设计了公共区域监控视频运动目标跟踪系统。通过设计系统总体框架,确定了系统工作流程;基于建立的总体框架完成了系统各个硬件模块的设计,并着重设计了系统检测跟踪模块,使用 Kalman 滤波算法预测视频运动目标状态辅助该模块完成目标的精准跟踪;依据系统工作流程完成了系统的软件流程设计;结合系统的硬件、软件设计实现对公共区域的视频运动目标检测跟踪。实验结果表明,设计系统在跟踪公共区域的视频运动目标时,跟踪时间短、跟踪精度高、检测跟踪性能高。

关键词: Kalman 滤波算法; 运动目标; 复杂背景; 目标跟踪

中图分类号: TP391

文献标志码: A

Design of Video Moving Target Tracking System in Public Monitoring Area

ZHOU Mingzheng¹, SHI Yafeng¹, WU Daoguang¹, LÜ Chunlei²

(1. The 52nd Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Hangzhou 310000, China;

2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanic and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China)

Abstract: The moving target in the public surveillance area has certain randomness in the moving direction and speed, which increases the difficulty of target tracking. In order to improve the tracking performance of moving targets, a video moving target tracking system in the public surveillance area is designed. By designing the overall framework of the system, the workflow of the system is determined. Based on the overall framework, the design of each hardware module of the system is completed, and the system detection and tracking module is emphatically designed. The Kalman filtering algorithm is used to predict the state of video moving targets to assist the module to complete the accurate tracking of targets. The software flow design of the system is completed according to the system workflow. By the hardware and software design of the system, the video moving target detection and tracking in the public area is realized. The experimental results show that the designed system has short tracking time, high tracking accuracy and high detection and tracking performance when tracking video moving targets in public areas.

Key words: Kalman filtering algorithm; moving target; complex background; target tracking

0 引言

由于人们生活中的视觉信息大多蕴藏于运动物体中^[1],运动目标检测跟踪技术^[2]就此被提出,并一度成为研究的热门话题。由于近年来视频图像的背景信息愈加繁杂,光照渐变、外界扰动都会影响图像的背景清晰度和复杂度,如何提高运动目标跟踪质量,成为相关部门亟待解决的问题之一。

文献[3]基于刚体运动目标散乱问题提出了区域合并算法,将运动目标对称匹配,通过自适应滤波完成图像背景的背景补偿;基于相关跟踪检测要求完成目标跟踪平台总体设计;最后通过设计的检测跟踪系统实现运动目标的检测跟

踪。文献[4]将采集的视频图像分成彩色和灰度两种数据流形式,彩色视频数据用于目标跟踪,灰度视频流用于目标检测;通过像素帧差分方法编辑图像阵列特点并同步动态存储器完成实时控制;最后通过 FPGA 面板建立视频的目标检测跟踪系统,并通过该系统实现目标的检测跟踪。文献[5]在检测模式中,通过背景补偿的目标检测算法提取图像分类待测区域,使用神经网络搜索待测区域,完成图像的分类识别,从而实现图像目标检测;在跟踪模式中,提出了一种滤波跟踪算法,并利用该算法实现图像的目标跟踪;最后通过建立的自适应切换机制,对两种模式实时切换,从而实现目标的检测跟踪。上述方法虽然实现了目标跟踪和检测,但是由于

作者简介: 周明政(1979—),男,硕士,高级工程师,研究方向为电子信息;

史亚锋(1977—),男,硕士,高级工程师,研究方向为通信与信息系统;

吴道广(1987—),男,本科,工程师,研究方向为电子信息;

吕春雷(1980—),男,博士,副研究员,研究方向为目标探测、识别和跟踪、高速图像处理。

背景干扰因素的影响,导致运动目标跟踪时间长、跟踪精度低、图像目标检测跟踪效果差。

Kalman 滤波算法在有噪声信息干扰的情况下,可以找到被跟踪目标之间的相关性。该算法具有内存占用较小、速度快的优势,为此,本文设计了公共区域监控视频运动目标跟踪系统。在明确系统总体设计框架的基础上,从各个模块和软件两个方面设计了监控视频运动目标跟踪系统,并通过性能测试验证了该系统具有较好的跟踪精度和目标跟踪效果,且跟踪效率较高。

1 监控视频运动目标跟踪系统总体设计

1.1 整体框架设计

监控视频运动目标跟踪系统以 FPGA 面板^[6]为系统核心,通过对固定区域的实时监测,寻找运动物体并对其展开跟踪报警。系统整体框架如图 1 所示。

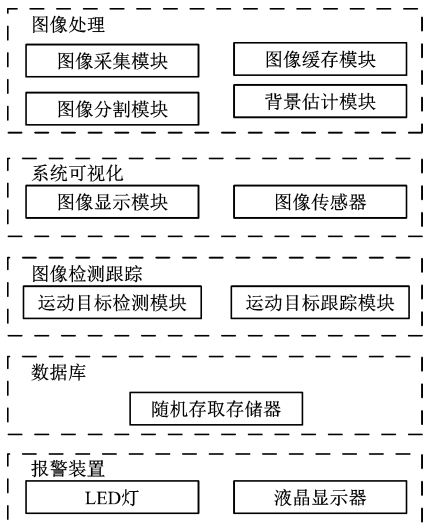


图 1 监控视频运动目标跟踪系统整体框架设计

由图 1 可知,监控视频运动目标跟踪系统由图像处理、系统可视化、图像检测跟踪^[7]、数据库、报警装置等部分组成。该系统采用图像传感器实时采集监控区域的周边信息,通过图像显示模块在系统浏览器上展示,运用运动目标检测跟踪的相关算法对采集图像实时检测判断。监测环境中,若出现运动目标,系统就会通过 LED 灯实施报警,并实时跟踪运动物体。

1.2 系统工作流程

监控视频运动目标跟踪系统在结构上分成系统硬件以及系统软件两部分。硬件主要负责设计系统各个模块功能;系统软件部分主要利用 Nios II IDE 集成环境,完成对运动信息提取、采集、预测、检测跟踪等流程设计,以及数据的传输控制设计。最后,将两部分组合构建完整的监控视频运动目标跟踪系统,具体流程如图 2 所示。

根据图 2 工作流程,在设计监控视频运动目标跟踪系统时,重点优化图像处理模块和运动目标检测跟踪模块两个部分,并优化软件流程。

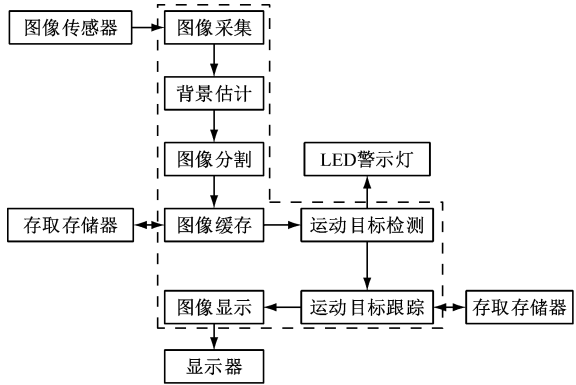


图 2 系统工作流程图

1.3 系统模块功能设计

根据上述总体框架和工作流程,以监控图像中的运动目标为对象,优化设计系统模块功能。

1.3.1 图像处理模块

监控视频运动目标跟踪系统的图像处理模块分成图像采集^[8]、图像背景估计、图像分割以及图像缓存几部分。

(1) 图像采集模块

图像采集模块主要通过传感器的驱动,完成对监控图像的采集,并使用固定格式将其存储至存取存储器中,具体模块结构如图 3 所示。

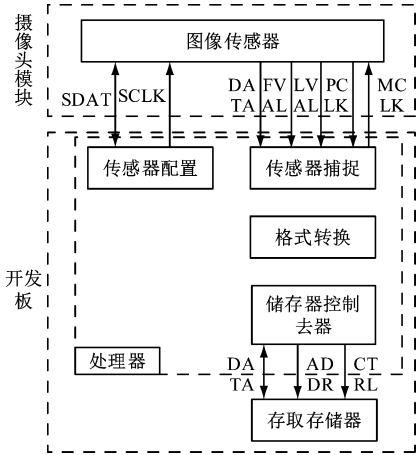


图 3 图像采集模块结构图

图 3 中,传感器捕捉时主要利用运动传感器获取运动目标的径向距离,并引导系统硬件的数据跟踪工作。同时参考图像传感器提供的距离参数,通过多传感器数据融合采集到监控图像中完整的运动目标信息。

(2) 背景估计模块

背景估计模块主要负责采集监控图像的背景估计。由于监控摄像机通常架设在室内,图像背景降维缓和,目标滞留时间较短,所以需要统计平均法对采集图像展开计算,根据背景图像的多帧平均值修改图像的大小,实现目标监控图像背景估计。如果监控摄像机架设于室外,则其容易受到光照等因素的影响,因此为了更加精准的实现运动目标跟踪,通过相关的滤波算法对其进行预处理,使运动目标和背景之间的边界清晰可见。

(3) 图像分割模块

图像分割模块主要负责图像的阈值分割^[9-10],获取监控图像中运动目标的二值化图像。依据背景估计模块的处理结果,通过背景减除法完成监控图像运动目标像素与背景像素的分离。该模块将自动阈值以及分割因子看作图像分割阈值,实现监控图像的目标分割。

(4) 图像缓存模块

监控视频运动目标跟踪系统利用存取存储器对监控图像实施缓存。基于 TRBD 套件程序,通过端口控制器控制存储器的图像读写。由于该检测跟踪系统需要缓存 3 帧以上的图像以供系统后续处理问题,因此需要将端口控制器设定成 1 个写端口,3 个读端口形式。

1.3.2 运动目标检测跟踪模块

运动目标检测跟踪模块为系统核心模块,主要负责检测采集监控图像中的目标运动类型以及目标跟踪。图像检测跟踪模块主要由运动目标检测^[11]以及运动目标跟踪 2 个子模块构成。

(1) 运动目标检测

监控视频运动目标跟踪系统使用三帧差分的边缘检测法对监控区域的运动目标实施检测,具体结构如图 4 所示。

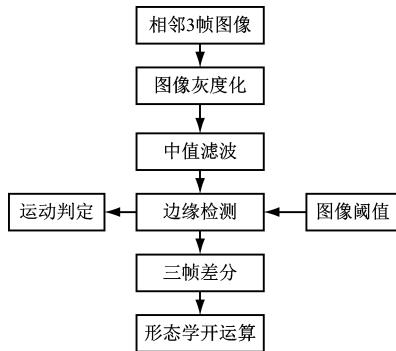


图 4 运动目标检测模块结构图

在运动目标检测过程中,首先获取包含运动目标的监控图像的相邻 3 帧图像,并对其进行灰度化处理;然后通过中值滤波方法检测运动目标边缘,实现三帧差分处理;最后通过形态学开运算实现监控图像中的运动目标检测。其中,边缘检测还可以通过图像处理模块中的图像阈值来完成,并以此为依据判断运动目标变化情况。

(2) 运动目标跟踪

运动目标跟踪^[12]是整个系统的核心,具体包括 CPU 开发平台,锁相环以及用户自定义组件。

由于运动目标的检测背景较为复杂,所以在该模块中,系统需要通过 Kalman 滤波算法实现对监控图像运动目标的跟踪。

设定采集图像的运动目标状态变量为 A_i ,其主要包括下述几个方面的参数:

$$A_i = (a_i, b_i, \Delta a_i, \Delta b_i, w_i, h_i, \Delta w_i, \Delta h_i) \quad (1)$$

式(1)中:运动目标在 (a, b) 两个方向的实时位置标记为 (a_i, b_i) ;位移位置标记为 $(\Delta a_i, \Delta b_i)$;运动目标长度、高度标记为 w_i, h_i ;相对长度、高度标记为 $\Delta w_i, \Delta h_i$;当前时刻标记为 T 。

假定运动目标图像在第 $i+1$ 帧的运动目标实际参数为 $a_{i+1}, b_{i+1}, w_{i+1}$ 以及 h_{i+1} ,通过计算获取运动目标的匹配值,过程如式(2):

$$\begin{cases} T > |a_{i+1} - \bar{a}_{i+1}| + |b_{i+1} - \bar{b}_{i+1}| \\ w_{i+1}/2 < \bar{w}_{i+1} < 2w_{i+1} \\ h_{i+1}/2 < \bar{h}_{i+1} < 2h_{i+1} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中:运动目标第 $i+1$ 帧的运动位置标记为 $(\bar{a}_{i+1}, \bar{b}_{i+1})$;均值长度标记为 $\bar{w}_{i+1}$;高度标记为 $\bar{h}_{i+1}$ 。具体跟踪流程如下。

(1) 对运动目标开展目标匹配,若未匹配成功,直接将其作为新的运动目标,并添加至目标列表中。

(2) 若成功匹配,利用 Kalman 滤波算法^[13]预测该目标状态,更新目标参数。

(3) 若目标未寻找到匹配物体,认定目标丢失,通过目标的预测状态完成下一步预测。

(4) 在采集的图像中,若连续 6 帧图像都未能寻找到运动目标,说明目标丢失,可直接从列表中剔除该运动目标。

2 监控视频运动目标跟踪系统软件设计

监控视频运动目标跟踪系统在设计软件时,采用嵌入式的 Linux 操作平台,开源式程序源代码,从而缩减硬件驱动程序编写流程。系统的软件模块结构如图 5 所示。

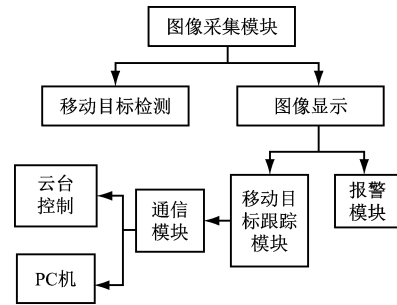


图 5 系统软件结构图

根据图 5 的系统软件模块,从图像采集模块、通信模块、报警模块三个方面设计其编写流程。

2.1 图像采集模块编写流程

监控视频运动目标跟踪系统软件图像采集^[14]模块具体编写流程如图 6 所示。

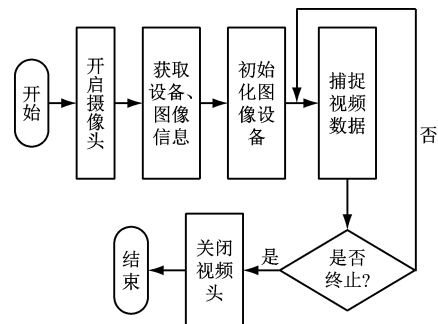


图 6 图像采集模块软件编写流程图

在设计摄像头时,需要将摄像机的调用模式设定成非阻

塞模式;图像信息检测时,通常检测图像的属性、对比度等参数,从而有效规避图像检测误差。

2.2 通信模块编写流程

通信模块主要依据运动目标位置参数,通过串口通信设备将图像数据信息传输至报警模块中。监控视频运动目标跟踪系统通信模块编写流程如图7所示。

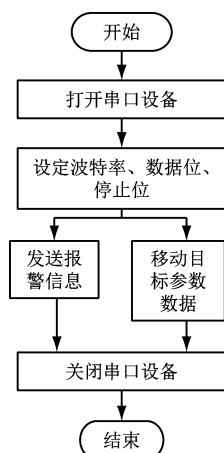


图7 通信模块软件编写流程

2.3 报警模块软件编写流程

监控视频运动目标跟踪系统在设计报警软件时,在ARM上安装了音箱,建立了音箱报警触发方式,当监测区域出现移动目标,报警程序开启,音箱启动并发出声音完成报警,报警程序流程为如果监测区域检测到了图像变化,将播放声音进行报警^[15]。

根据上述过程实现了监控视频运动目标跟踪系统软件设计。综上可以总结运动目标跟踪实现流程如下。

Step 1:利用报警模块监测运动目标信息,并对其进行预警,如果检测到运动目标,执行Step 2,如果没有检测到运动目标,持续监测。

Step 2:经过图像采集模块获取目标监控区域的图像,并通过背景估计和图像分割实现运动目标与背景图像的分离。

Step 3:通过灰度化处理、中值滤波等方式实现运动目标检测。

Step 4:依据目标检测结果,利用Kalman滤波算法实现目标跟踪。

3 性能测试及结果分析

通过性能测试以验证设计的运动目标检测跟踪系统的有效性。运动目标的固定监测区域如图8所示。



图8 监测区域示意图

3.1 实验设置

实验过程中分别采用公共区域监控视频运动目标跟踪系统(本文方法)、六足机器人动态目标检测与跟踪系统研究(文献[3]方法)、基于FPGA的运动目标实时检测跟踪算法及其实现技术(文献[4]方法)进行测试。

在开展运动目标检测跟踪时,选取图像分割效果、跟踪时间以及跟踪精准度3种指标作为运动目标检测跟踪方法的测试指标,以此测试本文方法、文献[3]方法以及文献[4]方法的检测跟踪性能。

3.2 实验结果及分析

(1) 图像检测跟踪效果测试

图像检测跟踪效果能够直接影响检测跟踪方法的性能,图像检测跟踪效果差,会降低运动目标检测跟踪方法的整体性能。因此选取测试环境某一时刻采集图像,测试3种检测跟踪方法的图像检测跟踪效果,测试结果如图9所示。

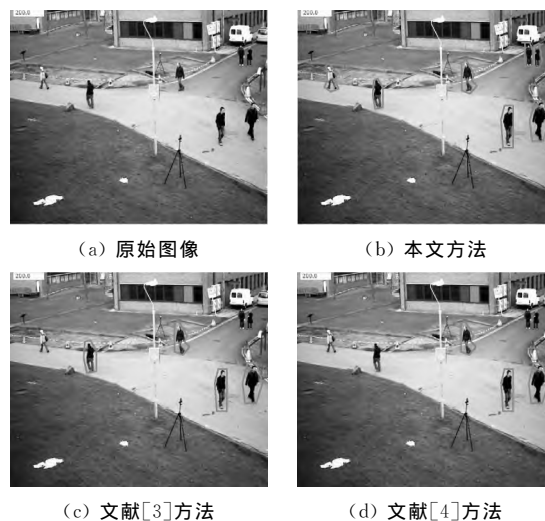


图9 不同方法的图像检测跟踪效果测试结果

分析图9可知,本文方法测试出的图像检测跟踪效果是3种方法中最好,可以检测到目标区域中出现的7个运动目标。文献[3]方法的目标跟踪效果低于本文方法,高于文献[4]方法测试结果。证明本文方法的图像检测跟踪效果好。其主要原因是,设计系统中的报警模块当监测到目标区域中出现运动目标时对其进行了预警,使得设计系统可以对运动目标及时地采集,有效提高了跟踪效果。

(2) 检测跟踪时间对比

跟踪时间的长短能够证明检测跟踪方法的检测跟踪性能,跟踪时间越长,说明检测跟踪方法的检测跟踪性能越差,跟踪时间越短,说明检测跟踪方法的检测跟踪性能越高。采用本文方法、文献[3]方法以及文献[4]方法开展运动目标检测跟踪时,对3种检测跟踪方法的跟踪时间展开测试,测试结果如图10所示。

分析图10可知,随着目标图像的增加,3种目标检测跟踪方法测试出的跟踪时间,都呈现出不同程度的上升趋势。但是,本文方法测试结果表明,该方法在3种检测跟踪方法中跟踪时间最短,证明该方法具备有效性。这主要是因为本

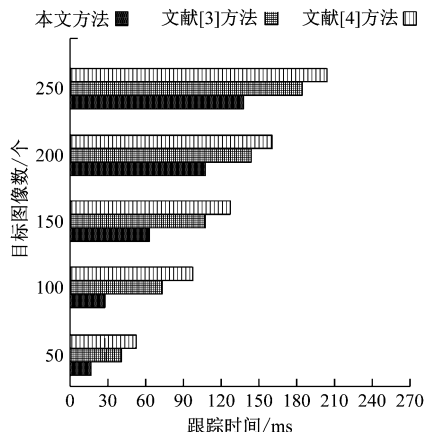


图 10 不同目标检测跟踪方法的跟踪时间测试结果

文方法在运动目标跟踪时,对监控区域图像预先进行了灰度化处理,通过检测运动目标边缘,判断运动目标变化情况,提高了跟踪效率。

(3) 跟踪精准度测试

跟踪精准度是测试运动目标检测跟踪方法的重要指标之一,跟踪精准度越高,证明检测跟踪方法的性能越高,反之则越低。采用本文方法、文献[3]方法以及文献[4]方法开展运动目标检测跟踪时,对3种方法的跟踪精度展开测试,测试结果如图11所示。

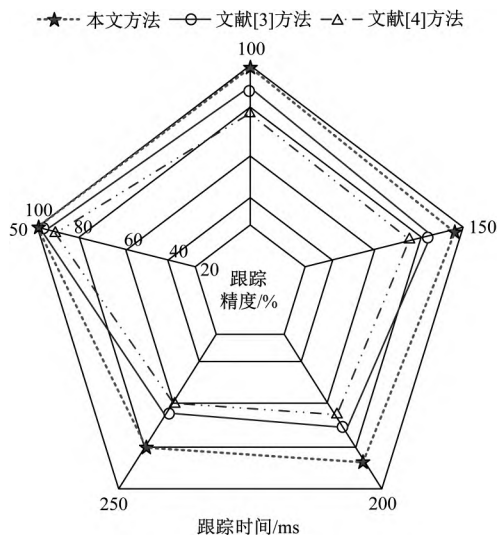


图 11 不同方法的跟踪精准度测试结果

依据图11分析,随着跟踪时间的增加,不同跟踪方法的跟踪精准度均出现下降趋势,其中,本文方法的测试结果是3种检测跟踪方法中最高的,因为本文方法在对运动目标跟踪时利用Kalman滤波算法预测运动目标状态,因此本文方法在开展运动目标检测跟踪时的跟踪精准度高。

综上所述,本文方法设计出的监控视频运动目标跟踪系统在仿真过程中,图像的跟踪时间短、跟踪精度高,证明该运动目标检测跟踪方法的检测跟踪性能好,具备有效性。

4 总结

随着监控系统使用范围的不断增加,对监测区域运动目

标开展检测跟踪就变得尤为重要。为了更精准地识别运动目标,设计了公共区域监控视频运动目标跟踪系统。该方法通过确定的系统总体方案,完成了系统硬件功能模块设计以及软件实现流程设计,最后通过该系统完成监控区域的运动目标检测跟踪。今后将针对报警模块进行进一步的优化。

参考文献

- [1] 王晨捷,张云,赵青,等. 分裂合并运动分割的多运动视觉里程计方法[J]. 中国图象图形学报, 2020, 25(9): 1859-1868.
- [2] 李敏,冯亚丽,吴东林. 采摘机器人动态果实目标检测与跟踪技术研究:基于云存储[J]. 农机化研究, 2020, 42(9): 207-211.
- [3] 王德鑫,常发亮. 六足机器人动态目标检测与跟踪系统研究[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(12): 180-185.
- [4] 邢凯,李彬华,陶勇,等. 基于FPGA的运动目标实时检测跟踪算法及其实现技术[J]. 光学技术, 2020, 46(2): 158-166.
- [5] 谢家阳,王行健,史治国,等. 动态云台摄像机无人机检测与跟踪算法[J]. 智能系统学报, 2021, 16(5): 858-869.
- [6] 田宇,施赛烽,郑子贤,等. 基于FPGA的高分辨率数字脉冲信号发生器的设计与实现[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2020, 43(2): 224-226.
- [7] 熊凌,赵梦萍,陈洋. 基于多峰检测与图像相似度的抗遮挡跟踪算法[J]. 电视技术, 2020, 44(6): 69-74.
- [8] 赵春溢,郭洪涛,郭涛,等. 一种风机叶片图像采集及缺陷检测系统[J]. 红外技术, 2020, 42(12): 1203-1210.
- [9] 程红,王志强,白新伟. 航拍胶片注释信息阈值分割算法研究[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(4): 45-47.
- [10] 杨蕴,李玉,赵泉华. 高分辨率全色遥感图像多级阈值分割[J]. 光学精密工程, 2020, 28(10): 2370-2383.
- [11] 欧先锋,晏鹏程,王汉谱,等. 基于深度帧差卷积神经网络的运动目标检测方法研究[J]. 电子学报, 2020, 48(12): 2384-2393.
- [12] 王忠立,李文仪. 基于点云分割的运动目标跟踪与SLAM方法[J]. 机器人, 2021, 43(2): 177-192.
- [13] 曹红燕,刘长明,沈小林,等. 基于GPS/INS的自适应无迹Kalman滤波算法[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2021, 40(6): 149-156.
- [14] 何少东,黄洪宇,陈崇成. 影像采集参数对无人机遥感估测树高精度的影响[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2020, 48(5): 558-565.
- [15] 韩文婷,姜昊,樊阳,等. 一种改进的MIMO生物雷达人体目标检测跟踪联合自适应算法[J]. 信号处理, 2021, 37(11): 2227-2234.

(收稿日期: 2022-08-05)