

自主导航农业车辆的全景视觉多运动目标识别跟踪*

李盛辉^{1,2} 田光兆¹ 姬长英¹ 周俊¹ 顾宝兴¹ 王海青¹

(1. 南京农业大学工学院, 南京 210031; 2. 南京理工大学紫金学院, 南京 210046)

摘要: 为提高自主导航农业车辆导航路径的准确性和行驶作业的安全性, 提出自主导航农业车辆的全景视觉多运动目标识别跟踪方案。该方案采用全景视觉进行无盲区的多运动障碍目标的检测, 并解决了多运动目标跟踪中遮挡重叠的问题。首先系统将多目相机采集的图像拼接成全景图像, 采用分段图像的改进核函数算法对运动目标进行快速自动检测跟踪; 其次采用基于路径预测的粒子滤波算法进行多运动目标跟踪并解决遮挡重叠的问题。通过试验表明: 采用改进的核函数目标快速跟踪算法, 与传统核函数跟踪算法相比, 减少系统内存消耗 66.8%, 加快运算速度 35.63%; 采用基于路径预测的粒子滤波多目标跟踪算法, 在多运动目标遮挡重叠的情况下, 平均提高运动目标跟踪成功率 39.5 个百分点, 算法平均耗时 0.78s。

关键词: 农业车辆 自主导航 全景视觉 多运动目标 核函数 粒子滤波

中图分类号: S219.1; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)01-0001-07

Multiple Moving Objects Tracking Based on Panoramic Vision for Autonomous Navigation of Agricultural Vehicle

Li Shenghui^{1,2} Tian Guangzhao¹ Ji Changying¹ Zhou Jun¹ Gu Baoxing¹ Wang Haiqing¹

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China

2. Zijin College, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210046, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of the navigation path and satisfy the safety of driving for autonomous navigation of agricultural vehicles, a method of detecting and tracking multiple moving objects was proposed based on panoramic vision. Panoramic vision possessed the advantages of non-blind area detection and the improved algorithm solved the problem of the overlap in multiple moving objects tracking. Firstly, multi-vision images were acquired to stitch panoramic images, the improved kernel function algorithm based on segmented image was used to detect and track the moving object automatically and rapidly. Secondly, the particle filter algorithm based on path prediction was used to track multiple moving objects and solved the overlap problem. Compared with the traditional kernel function algorithm, experiments showed that the memory consumption was reduced by 66.8% and the algorithm speed was increased by 35.63%. Multiple moving objects detection using the particle filter algorithm based on path prediction could take averagely 0.78 s to detect moving obstacles, and the success rate of moving objects tracking was increased by 39.5 percentage points under the condition of overlap in multiple moving objects.

Key words: Agricultural vehicle Autonomous navigation Panoramic vision Multiple moving objects Kernel function Particle filter algorithm

引言

为适应现代农业应用发展需要, 提高农业生产

效率, 自主导航的农业车辆在国内得到了广泛研究与应用, 并取得一定的研究成果^[1-7]。在实际农业生产应用中, 自主导航的农业车辆对障碍物的检

收稿日期: 2014-10-15 修回日期: 2014-11-23

* 国家自然科学基金资助项目(31401291)、江苏省自然科学基金资助项目(BK20140729)和校级科研重点资助项目(2012ZRKX0401003)

作者简介: 李盛辉, 博士生, 南京理工大学紫金学院讲师, 主要从事农业机器人视觉和导航技术研究, E-mail: lshhui2006@163.com

通讯作者: 姬长英, 教授, 博士生导师, 主要从事精准农业理论与技术研究, E-mail: chyji@njau.edu.cn

测识别将直接决定导航路径的正确性和行驶作业的安全性。实际应用的自主导航农业车辆较多采用GPS等技术进行导航,本文采用全景视觉技术,相较于单目和双目视觉,具有无视觉盲区的优点,能保证检测识别的可靠性。

障碍目标分为静止固定目标和运动目标,运动目标又分为单运动目标和多运动目标。国内外对于静止固定目标的检测已有了较为可靠的方法,同时在单运动目标识别与跟踪方面也有相关的研究成果^[8-14],而在多运动目标检测跟踪的研究方面则还处于起步阶段。自主导航的农业车辆在无人驾驶的作业情况下,如何检测跟踪农业作业环境中存在的较多诸如人、动物、农业机械等多运动物体,将直接决定自主导航农业车辆能否根据障碍目标进行导航路径的调整优化,从而确保车辆行驶作业安全,有着重要研究价值和意义。

本文采用改进的核函数目标快速跟踪算法,对运动目标进行自动识别与跟踪检测。采用基于路径预测的粒子滤波多目标跟踪算法对多运动目标进行跟踪,并通过路径预测有效地解决多目标遮挡的问题。

1 多目全景视觉系统

本研究使用加拿大 Point Grey 公司的 Ladybug3 多目全景系统。如图1所示,该系统由6个3.3 mm 焦距的 SonyICX274 型微镜头彩色 CCD 相机(5个在边侧,1个在顶侧)组成。相机最大分辨率为1 616 像素(H)×1 232 像素(V),最大帧速率在 JPEG 压缩图像时为16 帧/s,在无压缩图像时为6.5 帧/s。



图1 Ladybug3 多目全景视觉系统结构

Fig.1 Structure of Ladybug3 panoramic vision system

图2所示为 Ladybug3 多目全景视觉系统各个相机采集的图像,图3所示为根据多目相机采集图像拼接完成的全景图像。

2 改进的核函数运动目标快速跟踪算法

2.1 核函数目标跟踪算法

用传统的背景建模方法对运动目标进行跟踪,

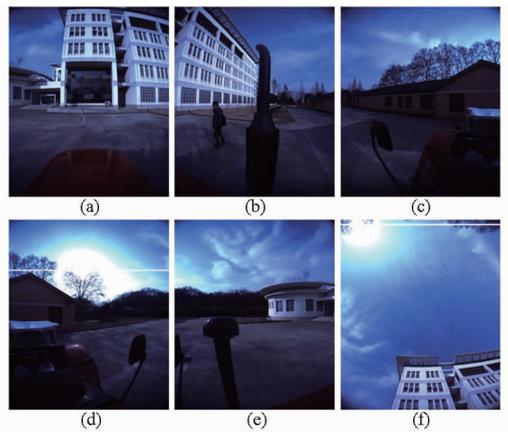


图2 全景系统各相机采集的图像

Fig.2 Camera images of panoramic vision system

(a) 相机1(侧面) (b) 相机2(侧面) (c) 相机3(侧面)
(d) 相机4(侧面) (e) 相机5(侧面) (f) 相机6(顶面)



图3 全景拼接图

Fig.3 Panorama stitching image

虽然可以较简单地对物体进行跟踪,但是对于较复杂背景的变化,算法的鲁棒性不强。核函数目标跟踪算法^[15-16]是一种较为高效的实时跟踪方法,该算法使用一个同性核函数对目标物体在空间上施加一个掩模,然后通过计算一个相似度函数,在其前一帧附近位置搜索最大相似度,通过迭代向相似度高的目标位置移动,最终算法得到收敛。

设 x_1, x_2, \dots, x_n 为 d 维空间 \mathbf{R}^d 中给定的 n 个点,则多元核密度估计公式为

$$\hat{f}_{h,k}(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中 $k(x)$ ——核函数

h ——核函数窗口大小(带宽)

本算法选用 Epanechnikov 核函数定义为

$$k_E(x) = \begin{cases} c(1 - \|x\|^2) & (\|x\| \leq 1) \\ 0 & (\|x\| > 1) \end{cases} \quad (2)$$

2.2 多线程的多目视觉图像预处理

核函数跟踪应用在全景视觉中,如不对图像进行一定的预处理,将会加大算法的复杂性,从而影响算法实时性,故本改进算法通过预处理提前框定运动范围 S 。本算法的图像预处理包括以下几部分:① 根据多目全景系统的组成,为6个相机各建立一个子线程,并行处理加快速度。② 每个子线程同时并行进行图像帧差算法的处理,通过设定一个合适

的阈值,框定出图像中发生运动的范围,便于后续算法的位置初始化,并缩小后续算法的图像搜索范围,加快算法的速度。

2.3 分段图像的改进核函数目标快速跟踪算法

针对例如人等非刚体跟踪过程中,由于存在跟踪的非刚性物体在运动中的形变、遮挡等干扰因素,直接采用核函数跟踪,容易使跟踪窗口发生漂移,造成跟踪物体的丢失,本改进算法将图像分段成子图像模块进行分段跟踪,再选取满足相似条件的子图像模块来确定物体跟踪位置。该改进算法由于对跟踪图像进行分段,减少了算法的计算复杂性,由于分段图像同时出现干扰等情况的可能性降低,增强了算法鲁棒性。本改进算法的重要步骤为:

(1) 根据 2.2 节图像预处理的图像帧差法框定出运动物体范围 S , 并取范围的中心位置作为其初始化位置。

(2) 对图像自上而下按 30%、40%、30% 的比例分为上、中、下 3 段子图像模块,由于中间段图像在实际情况下较为稳定且运动形变较小,故取较大权重。

(3) 对 3 个子图像分别根据式(3)设定目标模型(Target model)为 $\{\hat{t}_{m1u}\}$ 、 $\{\hat{t}_{m2u}\}$ 、 $\{\hat{t}_{m3u}\}$, 对于所有的特征值 $u = 1, 2, \dots, m$ 都存在,用 m 个区间直方图表示。

$$\hat{t}_{mu} = C \sum_{i=1}^n k(\|x_i^*\|^2) \delta(b(x_i^*) - u) \quad (3)$$

其中 $C = 1 / \sum_{i=1}^n k(\|x_i^*\|^2)$

式中 δ ——Kronecker delta 函数

$b(x_i)$ ——将像素 x_i 的特征值映射到相应直方图区间的索引函数

C ——归一化常量系数,使 $\sum_{u=1}^m \hat{t}_{mu} = 1$

3 个目标模型 $\{\hat{t}_{m1u}\}$ 、 $\{\hat{t}_{m2u}\}$ 、 $\{\hat{t}_{m3u}\}$ 跟踪的物体在前一帧的位置分别为 \hat{y}_{10} 、 \hat{y}_{20} 、 \hat{y}_{30} , 将中间段子图像模块的位置 \hat{y}_{20} 赋值给 \hat{y}_0 。

(4) 计算确定目标的新位置。对于所有候选目标区域的 h 窗宽像素点集 $i = 1, 2, \dots, n_h$, 计算出权重 $\{w_{1i}\}$ 、 $\{w_{2i}\}$ 、 $\{w_{3i}\}$

$$w_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{\hat{t}_{mu}}{\hat{p}_u(\hat{y}_0)}} \delta(b(x_i) - u) \quad (4)$$

其中 $\hat{p}_u = C_h \sum_{i=1}^{n_h} k\left(\left\|\frac{y-x_i}{h}\right\|^2\right) \delta(b(x_i) - u)$ 为候选

目标模型定义, $C_h = 1 / \sum_{i=1}^{n_h} k\left(\left\|\frac{y-x_i}{h}\right\|^2\right)$ 。

分别把 3 个目标的前一帧位置 \hat{y}_{10} 、 \hat{y}_{20} 、 \hat{y}_{30} 作为

当前帧中目标候选的初始位置,根据式(5)对于所有的 $u = 1, 2, \dots, m$ 计算确定 3 个目标的新位置 \hat{y}_{11} 、 \hat{y}_{21} 、 \hat{y}_{31} 。

$$\hat{y}_1 = \sum_{i=1}^{n_h} x_i w_i g\left(\left\|\frac{y-x_i}{h}\right\|^2\right) / \sum_{i=1}^{n_h} w_i g\left(\left\|\frac{y-x_i}{h}\right\|^2\right) \quad (5)$$

其中 $g(x) = -k'(x)$

(5) 计算判断新位置和目标模块的相似度。对于所有的 $u = 1, \dots, m$, 采用巴氏(Bhattacharyya)系数 ρ 来计算候选目标 \hat{p}_u 和目标 \hat{t}_{mu} 的相似度,相似度越大,候选目标和目标之间的巴氏距离越小,也就表示与目标越接近。 ρ 和巴氏距离 D 的计算式为

$$\rho(\hat{p}(y), \hat{t}_m) = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{t}_{mu}} \quad (6)$$

$$D(y) = \sqrt{1 - \rho(\hat{p}(y), \hat{t}_m)} \quad (7)$$

首先计算中间的相似度,若 $\rho(\hat{p}_2(\hat{y}_{21}), \hat{t}_{m2}) \geq \rho(\hat{p}_2(\hat{y}_{20}), \hat{t}_{m2})$, 即新位置和目标模块的相似度更大,将中间段子图像模块的新位置 \hat{y}_{21} 赋值给 \hat{y}_1 , 执行步骤(6)。反之,则比较上段子图像模块新位置 $\rho(\hat{p}_1(\hat{y}_{11}), \hat{t}_{m1})$ 与上一帧位置 $\rho(\hat{p}_1(\hat{y}_{10}), \hat{t}_{m1})$ 的相似度,和下段子图像模块新位置 $\rho(\hat{p}_3(\hat{y}_{31}), \hat{t}_{m3})$ 与上一帧位置 $\rho(\hat{p}_3(\hat{y}_{30}), \hat{t}_{m3})$ 的相似度,若上段子模块相似度大于下段子模块则将 $(\hat{y}_{11} + (\hat{y}_{20} - \hat{y}_{10}))$ 值赋予 \hat{y}_1 , 否则将 $(\hat{y}_{31} + (\hat{y}_{20} - \hat{y}_{30}))$ 值赋予 \hat{y}_1 。

(6) 判断算法是否完成。当 $\|\hat{y}_1 - \hat{y}_0\| \geq \varepsilon$ 时,将 \hat{y}_1 赋值给 \hat{y}_0 执行步骤(4),继续进行迭代。当 $\|\hat{y}_1 - \hat{y}_0\| < \varepsilon$, 完成算法。

2.4 运动目标快速跟踪结果

本文改进的核函数运动目标快速跟踪算法,主要由多线程的多目视觉图像预处理模块和分段图像的改进核函数目标快速跟踪模块组成。图 4 所示为改进算法检测跟踪到的自主导航拖拉机前运动行人目标。



图 4 运动目标快速跟踪检测图

Fig. 4 Moving objects fast-tracking image

3 基于路径预测的粒子滤波多目标跟踪

粒子滤波(Particle filter)算法^[17-18]通过计算概率密度函数来得到随机样本的空间传播状态。相比

传统的 Kalman 滤波等需要进行高斯线性约束的算法,该算法在视觉目标跟踪等非高斯非线性情况下有广泛的应用,通过前后观测值来预测目标的位置状态。但由于全景视觉图像的信息量较大,同时多运动目标容易出现重叠遮挡的情况,如直接使用该算法,在实时性和跟踪准确性上将得不到保证。本改进算法将路径预测与粒子滤波结合对多目标进行跟踪,快速定位运动范围,加快算法速度,根据遮挡程度的不同,采用不同的路径预测方法,提高算法鲁棒性。

3.1 抗目标遮挡的路径预测

由于多运动目标不可避免存在遮挡重叠的情况,而遮挡又分为小部分遮挡和大部分严重遮挡两种情况。多运动目标的跟踪如对遮挡重叠等情况不处理,就会对目标跟踪造成影响,甚至失败。本文的改进算法通过对路径的预测,结合粒子滤波对多目标进行跟踪。在发生小部分遮挡时采用 2.3 节的分段图像改进核函数算法进行位置预测,对于大部分严重遮挡,采用 Jain 提出的路径连贯性^[19]概念,图 5 所示为同时且独立运动的目标轨迹示意图,假设在 t 时刻 A 和 B 发生了遮挡,如不进行处理,将会使 \hat{A}_t 和 \hat{B}_t 的位置发生错误,但由于在较短时间内进行检测,物体不可能发生路径的突变,故可通过前时刻的位置来计算当前时刻的位置,这为运动目标在发生遮挡时的路径预测提供了依据,设在 $t-1$ 时刻 A 的位置为 \hat{A}_{t-1} , B 的位置为 \hat{B}_{t-1} ,在 $t-2$ 时刻 A 的位置为 \hat{A}_{t-2} , B 的位置为 \hat{B}_{t-2} ,则在 t 时刻 A 的位置为 $\hat{A}_t = 2\hat{A}_{t-1} - \hat{A}_{t-2}$, B 的位置 $\hat{B}_t = 2\hat{B}_{t-1} - \hat{B}_{t-2}$,通过本算法则能预测出 \hat{A}_t 和 \hat{B}_t 的位置。改进算法采用粒子滤波进行多目标的跟踪,在遮挡发生时利用改进核函数和路径连贯性结合得到一种较为快速准确的路径预测方法。

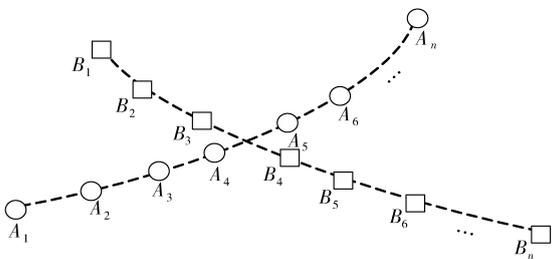


图 5 独立运动目标轨迹示意图

Fig. 5 Diagram of independent moving objects trajectory

3.2 基于路径预测的粒子滤波多目标跟踪算法

假设有 M 个目标,每个目标用 N 个粒子来估计状态,视觉目标的状态向量 \mathbf{X} 表示其在二维图像域上的位置,粒子的集合 $S_t = \{(X_t^i, w_t^i)\}, i = 1, 2, \dots, N$ 。其中 X_t^i 表示为 t 时刻视觉目标的状态, w_t^i 为粒

子的权值。本改进算法的主要步骤如下:

(1) 多线程开启,对 M 个目标开启 M 个线程,并行跟踪,提高速度。

(2) 对于每个跟踪目标,在 $t = 0$ 时,根据 2.2 节提出的预算法,确定运动目标的范围,在这个范围内根据粒子滤波的算法,初始化粒子样本集 $S_0 = \{(X_0^i, w_0^i)\}, i = 1, 2, \dots, N$ 。将 $t = 0$ 时刻所有粒子的权值 w_0^i 设为 $1/N, i = 1, 2, \dots, N$ 。假设目标在 $t = 0$ 时刻位置在 \hat{y}_0 。

(3) 令 $t = t + 1$,根据式(5)算出 \hat{y}_1 ,根据式(6)计算巴氏系数 ρ ,该系数表示跟踪得到的位置与目标的相似度。本算法中取 $G_1 = 0.85, G_2 = 0.35$ 。当 $\rho \geq G_1$ 时,表示跟踪正常,执行步骤(6)。当 $G_2 \rho < G_1$ 时,表示发生遮挡,但部分被遮挡,执行步骤(4)。

当 $\rho \leq G_2$ 时,表示发生遮挡,大部分被遮挡,执行步骤(5)。

(4) 根据分段图像模块进行跟踪,重新得到 \hat{y}_1 ,返回步骤(3)重新计算巴氏系数。

(5) 根据 3.1 节的路径连贯性进行路径预测跟踪算法,重新得到 \hat{y}_1 ,返回步骤(3)重新计算巴氏系数。

(6) 以 \hat{y}_1 为新的位置,重新分配粒子位置,更新得到新的粒子集合 $S_1 = \{(X_1^i, w_1^i)\}, i = 1, 2, \dots, N$ 。新的权值 w_1^i 计算式为

$$w_t^i = p(Z_t^i | X_t^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\lambda D^2/2} \quad (8)$$

式中 λ 为控制参量,同时根据跟踪目标的远近以巴氏距离设置权重系数,巴氏距离越近权重越高,距离越远权重越低,并对权值进行归一化 $w_{t+1}^i = w_t^i / \sum_{i=1}^N w_t^i$ 。

(7) 判断是否处理完视频的全部帧,如果否,进行下一帧图像的处理,执行步骤(3);如果是,执行步骤(8)。

(8) 算法结束,释放处理线程。

3.3 多运动目标跟踪结果

图 6 所示为 2 个行人相向行走的检测跟踪结果。图 6a 为 2 个行人在没有交叉遮挡前,改进算法检测跟踪到后用椭圆框圈出,右侧行人编号 000,左侧行人编号 001。图 6b 检测结果显示虽然 2 行人发生了交叉遮挡,但改进算法仍能对编号 000 行人和编号 001 行人进行正确区分和检测跟踪。如图 6c 所示,检测跟踪结果为 2 个行人交叉遮挡后,编号为 000 行人从右到左,编号为 001 行人从左到右,跟踪目标的编号并未发生改变,证明改进算法在 2 个行人发生交叉遮挡后,跟踪正常。图 7 所示为

4 个行人的检测跟踪结果,其中编号为 001 行人和 002 行人也发生了遮挡情况,改进算法能够进行正确编号标识。

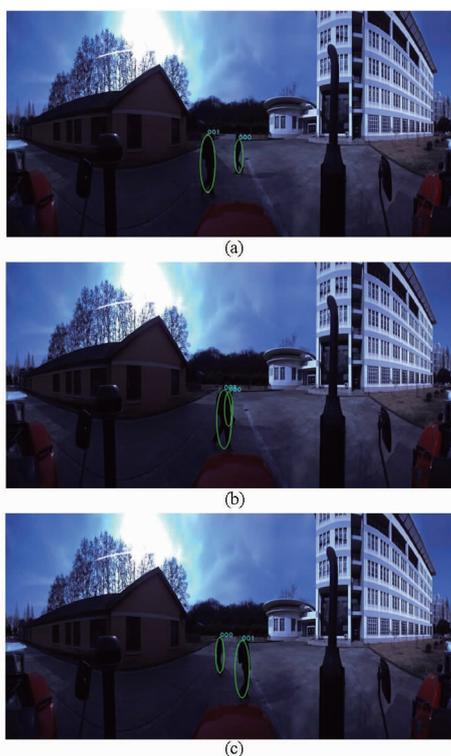


图 6 运动目标遮挡前后检测跟踪图
Fig. 6 Before and after overlap in moving objects tracking images
(a) 运动目标遮挡前 (b) 运动目标遮挡 (c) 运动目标遮挡后



图 7 多运动目标检测跟踪图
Fig. 7 Multiple moving objects detection and tracking image

4 系统整体试验数据及分析

试验以经过电控液压转向改造并加装 GPS 导航系统和 Ladybug3 多目全景视觉系统的中国一拖

东方红 SG250 型拖拉机为自主导航农业车辆测试平台,在南京农业大学工学院的校园内进行试验。表 1 所示为试验数据的硬件处理平台组成。试验算法在 Visual Studio 2008 软件开发平台下编程实现。

表 1 硬件处理平台参数

Tab. 1 Key parameters of hardware platform

硬件名称	参数
CPU	Intel Core i3-2348 (双核) 主频 2.3 GHz
内存	DDR3 4GB
显卡	NVIDIA HVS5400M + Intel GMA HD 3000 1 GB 显存
硬盘	500 GB (7 200 r/min)

4.1 改进核函数快速跟踪算法主要参数测试

试验将本文提出的改进核函数运动目标快速检测跟踪算法与传统核函数运动目标检测跟踪算法进行比较,用系统内存消耗、运动目标跟踪成功率和算法耗时等关键参数来分析评价改进算法。像素是图像的重要参数,直接决定了图像质量和处理数据量的大小,将试验分为 1、2、3 组,分别采用 320 像素 × 240 像素、512 像素 × 256 像素、1024 像素 × 512 像素图像进行试验测试。

表 2 所示为试验结果,不管是传统算法还是改进算法随着图像像素数提高,运动目标跟踪成功率都随之提高,但算法的内存消耗和时间也随之增加,由于改进算法采用多线程并行处理技术和分段图像处理方法,改进算法比传统算法在系统内存消耗和算法耗时等方面都有较大提高。试验 3 中,当图像为 1 024 像素 × 512 像素时传统算法在目标跟踪成功率为 75.2% 的情况下,系统内存消耗达到 161.91 MB,运算耗时为 1.66 s。而改进算法的系统内存消耗为 51.16 MB,运算耗时为 0.96 s 情况下,跟踪成功率为 97.6%。试验 2 中,改进算法在图像为 512 像素 × 256 像素时,目标跟踪成功率已达到 95.1%,而系统内存消耗仅为 11.91 MB,运算耗时 0.36 s,已能较好地满足实际系统需要的准确性和实时性。

综合分析各组试验数据,得到改进算法主要参数的测试结果,本文改进算法与传统算法相比跟踪成功率平均提高了 24.4 个百分点,系统内存消耗减

表 2 运动目标检测跟踪算法主要参数测试结果

Tab. 2 Experiment results of moving object detection algorithm parameters

试验编号	传统核函数运动目标跟踪			本文改进的核函数运动目标快速跟踪					
	内存消耗/MB	目标跟踪成功率/%	算法耗时/s	内存消耗/MB	目标跟踪成功率/%	算法耗时/s	跟踪成功率提高百分点	内存消耗降低率/%	运算提高率/%
1	19.69	46.3	0.31	6.93	71.6	0.22	25.3	64.8	29.03
2	36.33	69.5	0.56	11.91	95.1	0.36	25.6	67.2	35.71
3	161.91	75.2	1.66	51.16	97.6	0.96	22.4	68.4	42.16

少 66.8%, 算法速度提高了 35.63%。

4.2 多运动目标检测跟踪试验

由于多运动目标存在遮挡重叠等问题,目前对于多运动目标的识别跟踪,还未找到一种能在各种情况下都适用的可靠通用的方法。设计本试验,用来检验改进的基于路径预测的粒子滤波多运动目标检测跟踪算法在存在遮挡情况下的算法跟踪成功率和检测跟踪速度这 2 个重要参数的改进效果。为有效地分析这 2 个参数,在同一像素图像的情况下按多运动目标是否重叠分为两组进行对比试验,并在规定的像素下每组各独立完成 60 次试验。

试验中 A1、B1、C1 为无遮挡多运动目标组, A2、B2 和 C2 为有遮挡多运动目标组。A 组、B 组和 C 组分别采用 320 像素 × 240 像素、512 像素 ×

256 像素、1 024 像素 × 512 像素图像进行处理。

试验结果如表 3 所示,试验组 C1 和 C2 中,当图像像素为 1 024 像素 × 512 像素时,传统算法在无遮挡组试验中检测跟踪成功率为 73.3%,耗时为 1.91 s,但在遮挡组试验中成功率降为 53.3%,耗时增加为 2.95 s,而改进算法在无遮挡组和遮挡组的检测跟踪成功率分别为 96.7% 和 95.0%,耗时分别为 1.35 s 和 1.51 s,数据几乎相同。传统算法在每组像素下遮挡组比无遮挡组的检测跟踪成功率有明显下降,且算法平均耗时也有明显增加,说明传统算法对于多运动目标跟踪的鲁棒性较差。本文改进算法在每组像素下的遮挡组和无遮挡组的检测跟踪成功率几乎相同,且在跟踪成功率和运算速度上都较传统算法有较大的提高。

表 3 多运动目标检测跟踪试验结果

Tab. 3 Experiment results of multiple moving objects tracking

试验组号	是否遮挡	传统粒子滤波的多运动目标跟踪				本文改进的基于路径预测的粒子滤波多运动目标跟踪					
		试验次数	成功次数	成功率/%	单次平均耗时/s	试验次数	成功次数	成功率/%	单次平均耗时/s	成功率提高百分点	速度提高率/%
A1	否	60	26	43.3	0.42	60	43	71.7	0.31	28.4	26.2
A2	是	60	19	31.6	0.65	60	41	68.3	0.36	36.7	44.6
B1	否	60	40	66.7	0.71	60	56	93.3	0.51	26.6	28.2
B2	是	60	31	51.7	1.16	60	55	91.7	0.61	40.0	46.9
C1	否	60	44	73.3	1.91	60	58	96.7	1.35	23.4	29.3
C2	是	60	32	53.3	2.95	60	57	95.0	1.51	41.7	48.8

综合试验数据,改进算法的平均耗时为 0.78 s,比传统算法速度提高 37.3%,检测跟踪成功率比传统算法提高 33.1 个百分点。分析遮挡组试验数据,改进算法的算法速度比传统算法加快 46.8%,跟踪成功率比传统算法提高 39.5 个百分点,试验分析结果表明改进算法在多运动目标跟踪中具有较好的表现,并具有抗多运动目标重叠遮挡的能力。

5 结论

(1) 本文改进的核函数运动目标快速算法与传

统算法的主要参数进行比较,经过试验测试,减少系统内存消耗 66.8%,跟踪成功率提高了 24.4 个百分点,运算速度提高了 35.63%。

(2) 改进的基于路径预测的粒子滤波多运动目标跟踪算法,经过试验测试,多运动目标的平均检测时间为 0.78 s,比传统算法跟踪成功率提高 33.1 个百分点,速度加快 37.3%。在多运动目标存在遮挡的情况下,改进算法比传统算法速度加快 46.8%,跟踪成功率提高 39.5 个百分点。

参 考 文 献

- Li M, Imou K, Wakabayashi K, et al. Review of research on agricultural vehicle autonomous guidance [J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2009, 2(3): 1 - 16.
- Mizushima A, Ishii K, Noguchi N, et al. Development of a low-cost attitude sensor for agricultural vehicles [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 76(2): 198 - 204.
- 周建军, 郑文刚, 李素, 等. 基于 ISO 11783 的拖拉机导航控制系统设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 184 - 188. Zhou Jianjun, Zheng Wen'gang, Li Su, et al. Navigation control system for tractor based on ISO 11783 [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 184 - 188. (in Chinese)
- 李进, 陈无畏. 基于自适应导航参数的智能车辆视觉导航 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 19 - 24. Li Jin, Chen Wuwei. Navigation of vision-guided intelligent vehicle based on adaptive navigation parameters [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 19 - 24. (in Chinese)
- 姬长英, 周俊. 农业机械导航技术发展分析 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(9): 44 - 54.

- Ji Changying, Zhou Jun. Current situation of navigation technologies for agricultural machinery [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9): 44 - 54. (in Chinese)
- 6 郭娜, 胡静涛, 王鹤. 基于 GPS 导航的插秧机作业控制系统[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 200 - 204.
Guo Na, Hu Jingtiao, Wang He. Intelligent operation control system for rice transplanter based on GPS navigation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(1): 200 - 204. (in Chinese)
- 7 张智刚, 罗锡文, 周志艳, 等. 久保田插秧机的 GPS 导航控制系统设计[J]. 农业机械学报, 2006, 37(7): 95 - 97.
Zhang Zhigang, Luo Xiwen, Zhou Zhiyan, et al. Design of GPS navigation control system for rice transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(7): 95 - 97. (in Chinese)
- 8 Kise M, Zhang Q, Noguchi N, et al. Obstacle detection using laser range finder for autonomous agricultural machinery [J]. Transactions of the ASAE, 2005, 48(3): 1269 - 1278.
- 9 Aziza M, Arafa O, Sanaa I. Microcontroller-based mobile robot positioning and obstacle avoidance [J]. Journal of Electrical Systems and Information Technology, 2014, 1(1): 58 - 71.
- 10 张磊, 王书茂, 陈兵旗, 等. 基于双目视觉的农田障碍物检测[J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(4): 70 - 74.
Zhang Lei, Wang Shumao, Chen Bingqi, et al. Detection of obstacles in farmland based on binocular vision [J]. Journal of China Agricultural University, 2007, 12(4): 70 - 74. (in Chinese)
- 11 Belkhouche F, Rastgoufard P. Line of sight robot navigation toward a moving goal [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2006, 36(2): 255 - 267.
- 12 Jung E J, Lee J H, Yi B J, et al. Development of a laser-range-finder-based human tracking and control algorithm for a marathoner service robot [J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2014, 19(6): 1963 - 1976.
- 13 Rezaee H, Abdollahi F. A decentralized cooperative control scheme with obstacle avoidance for a team of mobile robots [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61(1): 347 - 354.
- 14 Chaoxia S, Yanqing W, Jingyu Y. A local obstacle avoidance method for mobile robots in partially known environment [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2010, 58(5): 425 - 434.
- 15 Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564 - 575.
- 16 Comaniciu D, Meer P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603 - 619.
- 17 Isard M, Blake A. Condensation-conditional density propagation for visual tracking [J]. International Journal of Computer Vision, 1998, 29(1): 5 - 28.
- 18 Crisan D, Doucet A. A survey of convergence results on particle filtering methods for practitioners [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 50(3): 736 - 746.
- 19 Jain R, Kasturi R, Schunck B G. Machine vision[M]. New York: McGraw Hill, 1995.

~~~~~

(上接第 13 页)

- 17 陈无畏, 施文武, 王启瑞, 等. 新型自动引导车导航与控制系统[J]. 农业机械学报, 2002, 33(2): 70 - 73.  
Chen Wuwei, Shi Wenwu, Wang Qirui, et al. A new navigation and control system for an automatic guided vehicle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(2): 70 - 73. (in Chinese)
- 18 陈军, 鸟巢谅, 朱忠祥. 拖拉机在牧草地上自动引导行走的控制[J]. 农业机械学报, 2005, 36(7): 104 - 107.  
Chen Jun, Torisu Ryo, Zhu Zhongxiang. Study on automatic guidance for tractor on grassland [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(7): 104 - 107. (in Chinese)
- 19 周建军, 张漫, 汪德华, 等. 基于模糊控制的农用车辆路线跟踪[J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 151 - 156.  
Zhou Jianjun, Zhang Man, Wang Maohua, et al. Path tracking for agricultural vehicle based on fuzzy control [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 151 - 156. (in Chinese)
- 20 Benson E, Stombaugh T, Noguchi N, et al. An evaluation of a geomagnetic direction sensor for vehicle guidance in precision agriculture applications [C] // ASAE Paper, 983203, 1998.
- 21 张美娜, 林相泽, 丁永前, 等. 基于性能指标的农用车辆路径跟踪控制器设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 40 - 46.  
Zhang Meina, Lin Xiangze, Ding Yongqian, et al. Design of path following controllers based on performance index for agricultural vehicle [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(9): 40 - 46. (in Chinese)