

基于 GPS 和机器视觉的组合导航定位方法

陈 艳, 张 漫^{*}, 马文强, 刘兆祥, 籍 颖

(中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 准确、可靠的位置信息是进行农业机械自动导航的前提。该文构建了一个基于 GPS 和机器视觉的多传感器组合导航定位系统。在此系统中, 采用 GPS 获取导航车的绝对位置信息、航向角度和行驶速度; 机器视觉通过图像处理获取导航基准线, 并得到代表作物行特征的点; UKF (unscented kalman filter, 无迹卡尔曼滤波) 滤波器用来对上述传感器获取的信息进行滤波, 并以电瓶车为平台, 对滤波前后的定位效果进行对比。试验结果表明, 使用 UKF 滤波后的定位精度和稳定性得到了改善, X 方向和 Y 方向标准偏差分别为 2.43、0.07 m, 定位曲线得到了平滑, 克服了使用单一传感器进行定位的弊端, 能够满足自动导航系统的要求。

关键词: 机器, 视觉, GPS, 无迹卡尔曼滤波, 导航

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.024

中图分类号: S220.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0126-05

陈 艳, 张 漫, 马文强, 等. 基于 GPS 和机器视觉的组合导航定位方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 126—130.
Chen Yan, Zhang Man, Ma Wenqiang, et al. Positioning method of integrated navigation based on GPS and machine vision[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 126—130. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

组合导航是未来导航技术应用的主要模式, 每种单一的传感器进行导航都有各自的独特性和局限性, 把几种不同的传感器信息组合在一起, 就能利用多种信息源互相补充, 构成一种冗余度和准确度更高的多功能系统^[1]。多传感器信息融合出现于 20 世纪 80 年代, 经过多年的发展, 出现了多种信息融合模型^[2-3]。Vijay 等^[4]研究了一种将视觉、激光雷达、速度传感器、惯性测量单元 (IMU) 等传感器信息进行融合的方法, 使用模糊卡尔曼滤波算法实现传感器的信息的融合。在车速分别为 1.8 和 3.1 m/s 的情况下, 平均偏差分别为 1.5 和 1.9 cm, 最大偏差不超过 4 cm。Francisco 等^[5]研究了一种模糊逻辑模型融合 GPS (global positioning system, 全球定位系统) 和视觉等传感器的信息, 利用视觉的相对信息校正 GPS 的误差。主要方法是通过判别各传感器输出数据的有效性, 利用基于传感器质量的权重值校正数据。

GPS 和摄像机是自动导航中使用较多的 2 种传感器^[6-7], 农田中作物收割与未收割的边界有时并非直线, 单独使用 GPS 进行导航, 在确定导航基准线方面存在一定的误差; 机器视觉进行此类作业, 可以实时提取出当前作物行的特征信息, 提高了定位的精度, 但是单独使

用机器视觉时, 图像处理过程中有时会出现漏检的情况, 因此考虑将 GPS 和摄像机 2 种传感器结合起来进行导航。

Kalman 滤波算法是应用最广泛的传感器信息融合方法, 该方法可对研究对象过去、现在和将来的状态做出线性最优估计, 适于动态环境中传感器信息的实时融合^[8-9]。但是 Kalman 滤波器是一种线性滤波器, 对于非线性系统无法得到满意的效果, 因此本研究采用 UKF (unscented kalman filter) 滤波算法进行信息的融合, 该算法通过 UT 变换, 用有限的参数近似系统状态量的统计特性, 再通过预测和更新进行系统的估计, 适合于非线性系统。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本文以改装的四轮电瓶车为研究平台, 进行组合导航定位系统的研究。该电瓶车由直流电机驱动, 在方向盘的轴上安装了转向步进电机, 在前轮连轴上安装了角度传感器, 通过改装直流电机驱动器实现自动调节速度。

GPS 选择美国 Trimble 公司生产的 RTK AgGPS332/MS750 作为 GPS 接收设备, 差分后定位精度为 1~2 cm; GPS 接收机输出的定位信息是标准的 NMEA-0183 语句格式, 本文采用 GGA 和 VTG 两种格式输出数据, GGA 语句可以获得导航车的位置, 包括经度和纬度; VTG 语句可以获得导航车的行驶速度和航向角度。

视觉传感器选用北京嘉恒中自图像技术有限公司生产的 OK AC1310 系列 CCD 摄像机, 输出图像为 .bmp 格式的彩色图像; CCD 尺寸为 60 mm×60 mm×50 mm; 像元大小为 4.65 μm ×4.65 μm ; 有效像素为 1 300×1 024; 帧频在全图模式下帧频从 8~24 Hz 可调; 电子快门最短

收稿日期: 2010-05-04 修订日期: 2010-08-30

项目基金: 国家自然科学基金项目 (30900869); 国家“863”计划项目 (2006AA10A304)

作者简介: 陈 艳 (1984—), 女, 天津人, 研究方向: 农业电气化与自动化。北京 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 100083

^{*}通信作者: 张 漫 (1975—), 女, 陕西人, 博士, 副教授, 中国农业工程学会会员 (E040100008M), 主要从事农业电气化与自动化方面的研究。北京 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 100083。Email: cauzm@cau.edu.cn

曝光时间可为 $20\ \mu\text{s}$; 该摄像机通过 USB2.0 接口与计算机进行数据传输。

1.2 试验方法

系统主要包括 2 个部分, GPS 部分和机器视觉部分, 如图 1 所示。

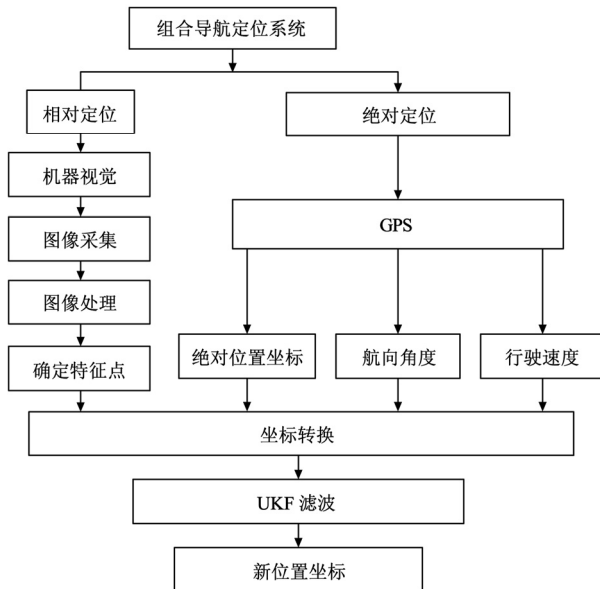


图 1 组合导航定位系统整体设计

Fig.1 Structure of integrated navigation positioning system

其中, GPS 部分主要是提供农机的绝对位置坐标、航向角度和行驶速度^[12]; 机器视觉部分是将采集到的图像经过图像预处理, 得到导航路径中已知点的相对位置坐标。在两部分处理完成之后, 将两组信息统一到同一坐标系下, 并进行 UKF 滤波, 得到新的位置信息。

1.2.1 机器视觉定位方法

机器视觉定位是从图像中提取出导航基准线, 并确定导航路径中的特征点。图像处理的主要流程包括灰度变换、图像分割、图像去噪、提取候选点、直线拟合、确定已知点, 如图 2 所示。

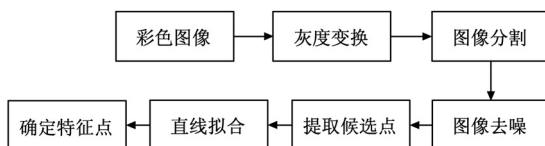


图 2 图像处理算法

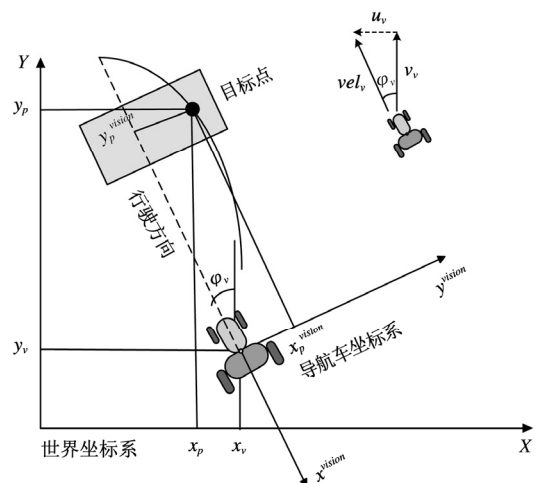
Fig.2 Image processing algorithms

对农田环境彩色图像进行处理分析时, 选择适宜的彩色特征模型有利于问题的顺利解决。综合分析农田景物的特点, 发现 2G-R-B 特征可以增强作物行与背景的对比度^[10], 因此本文应用此特征对图像进行灰度变换。得到灰度图像后, 需要对图像进行分割, 综合考虑了处理时间和处理效果等因素, 选择最大类间方差 (OTSU) 分割算法对灰度图像进行分割, 将作物行设定为目标像素, 即白像素。分割后的图像中, 目标像素群中存在许多噪声点, 因此选用形态学的膨胀和腐蚀算法对图像进行去

噪, 膨胀选用 1×3 模版, 腐蚀选用 3×1 模版。图像预处理完毕后, 需要在图像中提取出代表作物行特征的候选点, 本文选用基于移动窗口的垂直投影法进行候选点的选取, 基本方法为: 设定一个 1×20 的模版, 将此模版从图像底层开始由左向右移动, 计算模版中目标像素的灰度值, 扫描一行结束后, 计算各列灰度值的平均值和标准差并设定其和为灰度阈值, 图像中灰度值大于阈值的部分即为目标区域, 由于提取的部分为收割与未收割的边界, 在边界周围灰度值存在跳跃, 因此可以通过计算前后两点间的灰度差提取出边界候选点, 按照此方法将模版依次向上移动一个像素, 直到距离顶部 20 个像素为止。根据提取出的候选点, 运用基于已知点的 Hough 变换方法^[10]进行直线拟合, 已知点取所有候选点的分布中心。在得到导航路径之后, 选择其中的一个点作为代表路径的特征点, 记录其在图像坐标系中的位置。

1.2.2 传感器数据配准

组合导航系统的坐标系如图 3 所示, 图中共有 2 个坐标系, 视觉坐标系和大地坐标系, GPS 输出数据为 WGS-84 大地坐标系的经纬度信息, 经过高斯投影后转换到北-东平面坐标系下, 并以此坐标系为主坐标系, 统一 2 个坐标系^[13]。视觉坐标系的原点为摄像机光心在地面上的投影点, 其中 X 轴的正方向为行驶方向的负方向, Y 轴的正方向垂直于 X 轴, 水平向右。图 3 中的目标点即为前面介绍的图像处理算法得到的目标路径中的特征点, 根据摄像机的内外参数, 可以将图像坐标系转换到以导航车为主的视觉坐标系下, 其在视觉坐标系中的坐标定义为 $(x_p^{vision}, y_p^{vision})$ 。摄像机在大地坐标系中的位置是由 GPS 实时获得的, 其坐标为 (x_v, y_v) , 通过此坐标和导航车的航向可以将视觉坐标系转换到大地坐标系下, 从而求出目标点在大地坐标系下的坐标 (x_p, y_p) 。



注: ϕ_v 为导航车的航向角度, 由 GPS 获得; vel_v 为行进速度

图 3 导航系统坐标系图

Fig.3 Coordinates of navigation system

目标点在大地坐标中的坐标与视觉坐标系中的坐标可以通过式 (1) 得到

$$\begin{aligned} x_p &= x_v + x_p^{\text{vision}} \cos \varphi_v + y_p^{\text{vision}} \sin \varphi_v \\ y_p &= y_v - x_p^{\text{vision}} \sin \varphi_v + y_p^{\text{vision}} \cos \varphi_v \end{aligned} \quad (1)$$

式中 φ_v 为导航车的航向角度。

1.2.3 UKF 算法

UKF 滤波算法在处理系统状态方程时, 首先进行 UT 变换, 然后使用 UT 变换后的状态变量进行滤波估计, 以减小估计误差^[14]。考虑如下非线性模型:

$$x_k = A_{k-1}x_{k-1} + w_{k-1} \quad (2)$$

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (3)$$

式中, x_k 为系统的状态向量; z_k 为量测向量; H_k 为量测向量与状态向量的关系矩阵; w_k 和 v_k 分别为过程噪声和量测噪声, 二者为互不相关的零均值白噪声, 且分别具有协方差矩阵 Q_k 和 R_k 。

设 x 的统计特性满足 (\bar{x}, P_x) , 则可通过 (4), (5) 计算 σ 点及其权系数

$$\begin{aligned} \xi_0 &= \bar{x} \\ \begin{cases} \xi_i = \bar{x} + (\sqrt{(n+\lambda)P_x})_i, & i=1, 2, \dots, n \\ \xi_i = \bar{x} - (\sqrt{(n+\lambda)P_x})_i, & i=n+1, n+2, \dots, 2n \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \begin{cases} \omega_0^m = \lambda / (n + \lambda), \\ \omega_i^c = \lambda / (n + \lambda) + (1 - \alpha^2 + \beta), \end{cases} \\ \omega_i^m = \omega_i^c = 0.5 / (n + \lambda), \quad i=1, 2, \dots, 2n \end{aligned} \quad (5)$$

其中, $\lambda = \alpha^2(n + \kappa)$, n 为状态向量的个数, α 决定 σ 点的散布程度, 通常取一个较小的正值, κ 通常取为 0, β 用来描述 x 的分布信息, $(\sqrt{(n+\lambda)P_x})_i$ 表示矩阵平方根第 i 列, ω_i^m 为求一阶统计特性时的权系数, ω_i^c 为求二阶统计特性时的权系数。

UKF 计算一个循环的具体步骤如下:

1) 通过式 (4) 计算 σ 点 $\xi_{k-1}^{(i)}$, 其中的 P_x 取 P_{k-1} , \bar{x} 取 x_{k-1} 。

2) 通过式 (6) 计算 σ 点 $\xi_{k-1}^{(i)}$ 通过状态方程的传播, 并对系统的状态和滤波误差协方差进行预测。

$$\begin{cases} \xi_k^{(i)} = A_{k-1} \xi_{k-1}^{(i)}, \quad i=1, 2, \dots, 2n \\ \hat{x}_k = \sum_{i=0}^{2n} \omega_i^m \xi_k^{(i)} \\ \hat{P}_k = \sum_{i=0}^{2n} \omega_i^c (\xi_k^{(i)} - \hat{x}_k)(\xi_k^{(i)} - \hat{x}_k)^T + Q_{k-1} \end{cases} \quad (6)$$

3) 通过式 (4) 更新 σ 点 $\xi_k^{(i)}$, 其中的 P_x 取 \hat{P}_k , \bar{x} 取 \hat{x}_k 。

4) 通过式 (7) 计算输出预测。

$$\begin{cases} \xi_k^{(i)} = H_k \xi_k^{(i)}, \quad i=1, 2, \dots, n \\ \hat{z}_k = \sum_{i=0}^{2n} \omega_i^m \xi_k^{(i)} \\ P_z = \sum_{i=0}^{2n} \omega_i^c (\xi_k^{(i)} - \hat{z}_k)(\xi_k^{(i)} - \hat{z}_k)^T + R \\ P_{x,z} = \sum_{i=0}^{2n} \omega_i^c (\xi_k^{(i)} - \hat{x}_k)(\xi_k^{(i)} - \hat{z}_k)^T \end{cases} \quad (7)$$

5) 在得到量测 z_k 之后, 按照式 (8) 对预测的系统状态和预测的滤波误差方差阵进行更新。

$$\begin{cases} \hat{x}_k = \hat{x}_k + K_k (z_k - \hat{z}_k) \\ K_k = P_{x,z} P_z^{-1} \\ P_k = \hat{P}_k - K_k P_z^{-1} K_k^T \end{cases} \quad (8)$$

式中 K_k 为滤波增益阵。

1.2.4 建立多传感器信息融合模型

根据组合导航系统的模型和 UKF 滤波算法的基本原理, 确定 k 时刻的状态向量 x_k 为

$$x_k = (x_{v,k}, y_{v,k}, u_{v,k}, v_{v,k}, \varphi_{v,k}, x_{p,k}, y_{p,k}) \quad (9)$$

式中, $(x_{v,k}, y_{v,k})$ 为导航车在大地坐标系中的坐标; $(u_{v,k}, v_{v,k})$ 为导航车分别在 x, y 方向的速度分量; $\varphi_{v,k}$ 为导航车的航向角度; $(x_{p,k}, y_{p,k})$ 为目标点在大地坐标系中的坐标。

将 GPS 和视觉输出的信息作为观测值, 得到 k 时刻的量测向量 z_k 为

$$z_k = (x_{v,k}, y_{v,k}, \varphi_{v,k}, v_{v,k}, x_{p,k}, y_{p,k}) \quad (10)$$

式中, $(x_{v,k}, y_{v,k})$ 是 GPS 获得的导航车在大地坐标系中的位置坐标; $v_{v,k}$ 为 GPS 获得的导航车的行驶速度; $\varphi_{v,k}$ 为 GPS 获得的导航车的航向角度; $(x_p^{\text{vision}}, y_p^{\text{vision}})$ 为视觉获得的目标点在视觉坐标系中的位置坐标。

在导航车恒速行驶的条件下, 通过式 (11) 确定 k 时刻到 $k+1$ 时刻的状态转移矩阵 A 和状态向量与量测向量之间的转移矩阵 H

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$H_k =$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{u_{v,k}}{\sqrt{u_{v,k}^2 + v_{v,k}^2}} & \frac{v_{v,k}}{\sqrt{u_{v,k}^2 + v_{v,k}^2}} & 0 & 0 & 0 \\ -\cos \varphi_{v,k} & \sin \varphi_{v,k} & 0 & 0 & 0 & \cos \varphi_{v,k} & -\sin \varphi_{v,k} \\ -\sin \varphi_{v,k} & -\cos \varphi_{v,k} & 0 & 0 & 0 & \sin \varphi_{v,k} & \cos \varphi_{v,k} \end{bmatrix} \quad (11)$$

2 试验结果与分析

2.1 图像处理试验

为了验证图像处理的效果, 在北京小汤山精细农业示范基地采集了小麦的图像进行处理, 图像均为 640×480 的 bmp 图像, 共采集了 20 组, 在 VC++6.0 环境下, 使用该算法平均一幅图像的处理时间为 126 ms, 满足视觉导航的要求。取其中一组图像进行分析, 处理结果如图 4 所示。从图像中可以看出, 该算法能有效的降低图像中玉米秸秆的影响, 得到作物的边界。

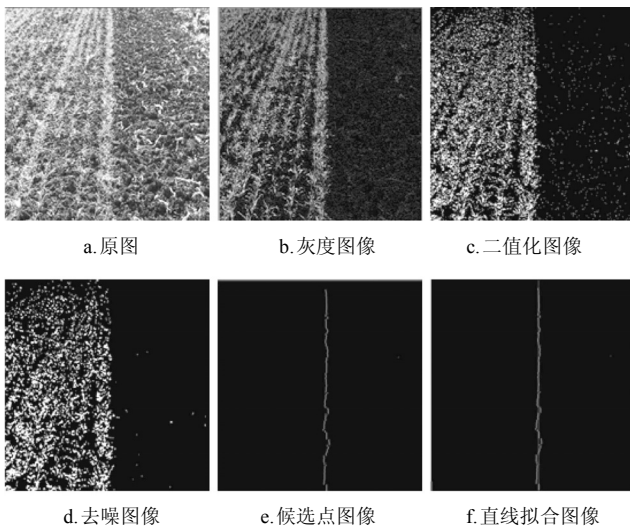


图4 图像处理效果图

Fig.4 Results of image processing

2.2 导航定位试验

为了验证组合导航系统的定位效果, 在中国农业大学校园内进行了试验, 如图 5 所示, 将摄像机安装在导航车前端的支架上, 距离地面高度为 0.93 m, 与水平面的夹角为 45°左右, 前视距离大约 1.75 m。在地面上粘贴宽 10 cm, 长 15 m 的绿色条带模拟农作物行。



图5 试验设备

Fig.5 Equipment of experiment

为了确定观测噪声协方差矩阵 R , 将各传感器打开, 导航车行驶 20 m 后得到各传感器的输出数据并以此作为参考, 计算各传感器的定位偏差。根据计算结果和以往的经验, 调整 UKF 滤波器中的 R 矩阵、 Q 矩阵和 P 矩阵的初值如式 (12) 所示

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} 0.01 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.01 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.01 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.01 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.01 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.01 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.05^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.05^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3^2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

试验中在中国农业大学校园内的空地上粘贴了一条宽约 10 cm, 长约 15 m 的绿色胶带模拟作物行, 将 GPS 天线安装在车体顶部, 摄像机安装在车体前端的支架上, 距离地面高度为 0.93 m, 与水平面之间的夹角为 45°, 人工驾驶导航车沿模拟的作物行以 0.5 m/s 的车速行进, 采集传感器数据。行驶方向为东西方向, 也就是沿着大地坐标系的 x 轴行驶, 共采集了 6 组数据, 选择其中一组进行分析, 定位效果如图 5 所示。

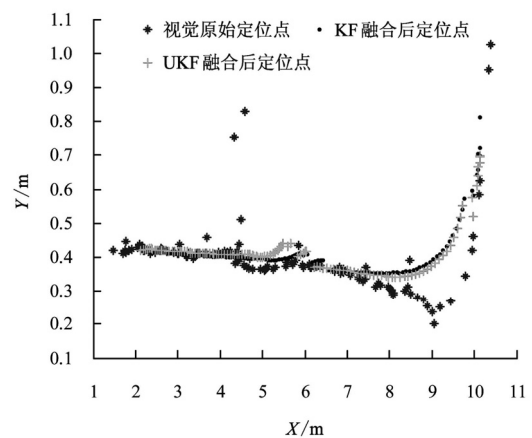


图5 视觉定位效果图

Fig.5 Positioning results of machine vision

从图 5 中可以看出, 滤波后, 减少了视觉定位信息中一些野值点的影响, 定位曲线得到了很好的平滑, 并且 UKF 算法比 KF 算法的滤波效果更好, 其定位数据的标准偏差与 KF 相比有所减小。表 1 显示了 KF、UKF 滤波前后定位数据的标准偏差。

表1 定位数据标准偏差

Table 1 Standard deviation of location data

	X 方向标准偏差/m	Y 方向标准偏差/m
原始定位信息	2.4470	0.108950
KF 滤波后	2.3741	0.079864
UKF 滤波后	2.4387	0.069911

3 结 论

本文构建了一个基于 GPS 和机器视觉的组合导航定位系统:

1) 采用过已知点的 Hough 变换进行直线拟合, 有效缩短了处理时间。

2) 采用 UKF 对传感器数据进行了滤波, 实验结果表明, 滤波后数据的标准偏差与原始定位数据相比, X、Y 方向的标准偏差分别由 2.45 减小到 2.44、0.11 m 减小到 0.07 m。

3) 使用两种传感器进行组合定位, 避免了视觉信息丢失时导航无法进行的情况, 提高了导航系统的定位精度和鲁棒性。

[参 考 文 献]

- [1] 张国良, 曾静. 组合导航原理技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2008: 101—128.
- [2] Powell N B, Boyette M D. A sensor integration meyhod for autonomous equipment[C]//ASABE paper number051137, 2005.
- [3] Randy R Price, Goutam Nistala. Development of an inexpensive autonomous guidance system[C]//ASAE Annual Meeting, Paper No. 051139, 2005.
- [4] Vijay Subramanian, Thomas F Burks. Sensor fusion using fuzzy kalman filter for autonomous vehicle guidance[C]//ASABE paper number 063031, 2006.
- [5] Francisco Rovira-Mas, Shufeng Han, Jiantao Wei. Fuzzy logic model for sensor fusion of machine vision and gps in autonomous navigation[C]//ASABE paper number051156, 2005.
- [6] Rovira-Mas F, Zhang Q, Reid J F. Hough-transform-based vision algorithm for crop row detection of an automated agricultural vehicle[J]. Journal of Automobile Engineering, 2005, 219(8): 999—1010.
- [7] Yoshisada Nagasaka, Naonobu Umeda, Yutaka Kanetai, etc. Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 43(3): 223—234.
- [8] 张智刚. 插秧机的 DGPS 自动导航控制系统研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2006.
Zhang Zhigang. Study on DGPS Automatic Navigation Control System Of Rice Transplanter[D]. Guang Zhou: South China Agricultural University, 2006. (in Chinese with English abstract)
- [9] Han S, Zhang Q, Noh H, et al. A dynamic performance evaluation method for DGPS receivers under linear parallel-tracking applications[C]//ASAE Paper, 2004: 321—329.
- [10] 周俊, 姬长英. 基于知识的视觉导航农业机器人行走路径识别[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 101—105.
Zhou Jun, Ji Changying. Road recognition for agricultural robot guided by machine vision[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(6): 101—105. (in Chinese with English abstract)
- [11] 赵颖, 孙群, 王书茂. 单目视觉导航智能车辆的自定位方法[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(9): 2372—2374.
Zhao Ying, Sun Qun, Wang Shumao. Study on self-localization of intelligent vehicle based on monocular navigation[J]. Computer Engineering & Design, 2008, 29(9): 2372—2374.
- [12] Han Chongzhao, Zhu Hongyan, Duan Zhansheng. Multi-information Fusion[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006: 29—41.
- [13] 周建军. 车辆自动导航定位与控制方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2009.
Zhou Jianjun. Positioning and Control Methods in Automatic Navigation of Vehicle[D]. Beijing: China Agriculture University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [14] 籍颖, 刘兆祥. 基于 Kalman 滤波农用车导航定位方法. 农业机械学报[J], 2009, 增刊(40): 13—17
Ji Ying, Li Zhaoxiang. Positions research of vehicle navigation system based on kalman filter[J]. Transactions of the CSAM, 2009, Sup(40): 13—17. (in Chinese with English abstract)
- [15] 韩崇昭, 朱洪艳, 段战胜. 多元信息融合[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 29—41.

Positioning method of integrated navigation based on GPS and machine vision

Chen Yan, Zhang Man^{*}, Ma Wenqiang, Liu Zhaoxiang, Ji Ying

(Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, China Agricultural University,
Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: Accurate and reliable location information is the basis for the autonomous navigation of off-road vehicle. In this paper, a multi-sensor navigation positioning system, integrated with a RTK-GPS (Trimble AgGPS332/MS750) and a CCD camera (OK AC1310) was constructed. The RTK-GPS was used for obtaining the absolute position data, heading angle and speed of the vehicle; and the calibrated CCD camera was used for obtaining the baseline for navigation through the image processing and the feature points of crop rows. Based on the kinematics model of navigation vehicle, UKF filter was established to filter the information of the two sensors. An electric power vehicle was applied to the platform, and the position effects before and after filtering were compared. Experiments results showed that the standard deviations of X and Y were 2.44 m and 0.07 m separately with smoother location curves and the impact of jump points reduced after filtering by UKF. This multi-sensor navigation positioning system can overcome the disadvantages for using a single sensor and meet the requirements of the autonomous navigation system of off-road vehicles.

Key words: machinery, vision, global positioning system, unscented kalman filter, guidance