

九轴陀螺仪在 AGV 自主导航中的应用设计

魏权利, 李莹莹, 何爱欣

(青岛科技大学 信息与科学技术学院, 山东 青岛 266061)

摘要: AGV 小车自主导航的应用研究, 是利用 MPU9250 传感器集成的三轴加速度计、三轴陀螺仪、三轴磁力计; 研究了地理坐标系, 并给出车体坐标系和场地坐标系的定义, 在此基础上, 首先进行车体坐标与地理坐标的转换, 确定小车从停车点到目标点的初始航向角, 然后通过卡尔曼滤波进行数据融合得到融合后的航向角, 随后通过 PID 控制算法控制小车运动过程的角度, 最后通过手动控制引导小车到达目标点的停车板上; 并且在此基础上形成了不同应用场所的导航图, 经现场实现卡尔曼滤波与导航效果良好。

关键词: 卡尔曼滤波; 自主导航; 九轴陀螺仪; PID 控制算法

Application Design of Nine-axis Gyroscope in AGV Automatic Navigation

Wei Quanli, Li Yingying, He Aixin

(School of Information Science and Technology, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: The applied research of AGV automatic navigation uses MPU9250 sensor integrating three-axis accelerometer, three-axis gyroscope and three-axis magnetometer. In the process of AGV moving, first, transformation of the car coordinates and geographic coordinates, determine the initial heading angle from the parking point to the target point, and then obtain the course angle after fusion through the Kalman filter data fusion, then fix the angle of AGV running process through the PID control algorithm, finally through manual control to guide the car parking to reach the target board. In this paper, the unfixed length navigation map of vehicle coordinate system and geographic coordinate system is studied.

Keywords: Kalman filtering; automatic navigation; nine axis gyroscope; PID control algorithm

0 引言

自动引导车辆 AGV (automated guided vehicles) 是指装备有电磁或光学等自动引导装置, 能够沿规定的导引路径行驶, 具有安全保护以及各种移栽功能的运输车^[1]。

目前比较常见的 AGV 导航方式有激光导航、电磁导航、坐标导航和光学导航等。从使用效果来看, 激光导航和光学导航对环境要求过高; 电磁导航需要对路面安装金属线, 并且导航路面难以更改或者扩展; 坐标导航则路面安装定位块较复杂, 工作量大而且定位不准确。本文以九轴陀螺仪进行导航, 对周围环境要求较低, 导航路径灵活, 而且导航精度较高, 后期维护成本也较低, 是一种较为理想的导航方式^[2]。

本课题为九轴陀螺仪在 AGV 自主导航中的应用设计, 是一种全方位移动平台控制系统, 通过对单台或两平台同步移动柔性连接、通过无线控制使 2 台 AGV 移动平台协同运动, 使其灵活应用在空间有限、机动性要求高的场合。在每台 AGV 小车上安装 MPU9250 九轴陀螺仪 (3 轴加

速度计、3 轴陀螺仪、3 轴磁力计), 系统采集九轴陀螺仪数据, 通过卡尔曼滤波进行数据融合输出融合后的航向角, 然后 AGV 行驶过程中应用该导航角通过 PID 控制算法进行控制实际行驶方向, 从而引导小车朝着目的地方向行驶^[3]。

1 应用场景

本设计为在动车车体装配车间使用, 系统使用两个 AGV 小车共同完成动车车体在车间的移动。AGV 小车使用麦克纳姆轮, 正常工作时, 从车接受主车发出的指令, 两者协调同步运行。两个 AGV 小车导航行走的现场平面如图 1 所示 (默认为 30m×15m), AGV 导航车的平时停车位置点与目标位置点如图 1 已标出。

图 1 中以 UL 为停车点, TB 为目标点为例进行研究。首先需要确定 AGV 从 UL 到 TB 初始航向角, 即 X、Y 轴的偏角或者地理坐标的夹角。然后通过卡尔曼滤波对航向角进行融合, 行驶过程中再通过 PID 算法不断控制运动角度, 直到最终到达 TB。其他停车位置到目的位置的研究过程类似。应用场地的坐标始终以 UL 为坐标原点, 向东为 X 轴, 向北为 Y 轴, 分别以 UL、UM、UR、DL、DM、DR 为出发原点, 以 TA、TB 为目标点, 计算各种出发点、目标点组合, 出发时的初始航向角。本设计默认 $X=30\text{ m}$, $X_1=15\text{ m}$, $X_2=7\text{ m}$, $Y_1=7.5\text{ m}$, $Y=23\text{ m}$ 。

AGV 小车装有麦克纳姆轮, 即每个轮子在任何转

收稿日期: 2019-04-08; 修回日期: 2019-04-27。

作者简介: 魏权利 (1960-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 教授, 主要从事嵌入式系统技术应用、计算机网络技术应用、人工智能技术应用方向的研究。

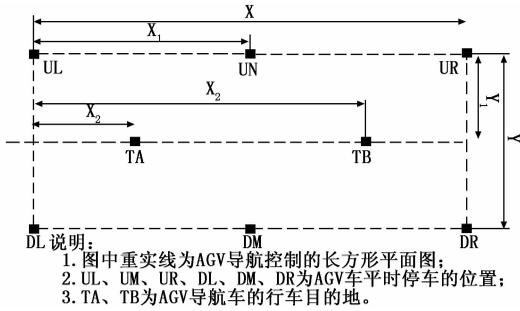


图 1 AGV 导航控制示意图

角的情况下，通过控制每一个轮子的速度和方向实现 3 自由度的全方位移动。AGV 小车车顶安装反射板，停车板上安装激光扫描仪，激光扫描仪通过对反射板的扫描判断小车是否到达停车板附近。目标位置点 TA 和 TB 处有停车板，停车板设计为长方形，中轴线平行于 TA 和 TB 连线，正好容小车停下。AGV 小车配有遥控器，当小车到达停车板附近时小车会发出警报，此时需要小车的操作人员通过遥控器指挥小车停到停车板上。

2 坐标系与姿态角

本课题用到车体坐标系、场地坐标系和地理坐标系。因车体坐标系是随时变动的，故需要依靠不变的地理坐标系确定航向角，因此需要将车体坐标系转换到地理坐标系，再进行相关角度计算^[4]。

2.1 车体坐标系

如图 2 所示。取平面图中小车的实际停放位置中心为坐标原点 O ， OX_b 轴的正向指向 AGV 小车的前方， OY_b 轴的正向指向 AGV 小车的右侧， OZ_b 轴的正向指向天，建立车体坐标系。

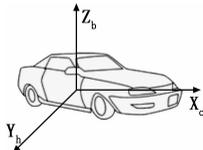


图 2 车体坐标系图

2.2 地理坐标系

如图 3 所示。取小车的实际停放位置为坐标原点 O ， OX_a 轴的正向指地球的东方， OY_a 轴的正向指向地球的北方， OZ_a 轴的正向指向天，建立地理坐标系。

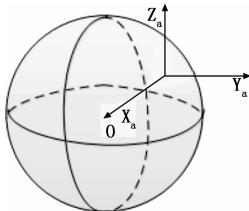


图 3 地理坐标系图

2.3 场地坐标系

以场地的右方作为 X 轴，下方为 Y 轴进行定义，用于计算场地的导航角。场地坐标系与地理坐标系之间的夹角为 α 。

2.4 坐标变换矩阵

本课题是将车体坐标系 $OX_bY_bZ_b$ 变换到地理坐标系 $OX_aY_aZ_a$ ^[5]，再对九轴数据进行卡尔曼滤波处理，最后得到融合后的航向角。

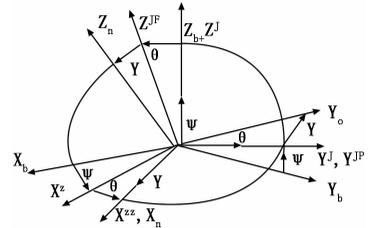


图 4 车体坐标系与地理坐标系变换图

如图 4 所示，车体坐标系分别绕 Z 轴旋转 ψ 度、绕 Y 轴旋转 θ 度、绕 X 轴旋转 γ 度，最后与地理坐标系重合。公式 1 即车体坐标系到地理坐标系的坐标变换矩阵，如下所示：

$$C = C1 \cdot C2 \cdot C3 = \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & -\sin\gamma \\ 0 & \sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\psi\cos\theta & -\sin\psi\cos\theta + \cos\psi\sin\theta\sin\gamma & \sin\psi\sin\theta & \sin\psi\cos\theta & \cos\psi\cos\gamma + \sin\psi\sin\theta\sin\gamma & \sin\psi\sin\theta\cos\gamma \\ -\sin\psi & \cos\psi\sin\gamma & \cos\psi\sin\theta & \sin\psi\sin\gamma & -\cos\psi\sin\gamma + \sin\psi\sin\theta\cos\gamma & \cos\psi\cos\gamma \end{bmatrix} \quad (1)$$

3 卡尔曼滤波与数据融合

本文首先用卡尔曼滤波对磁力计和加速度计的测量角度进行滤波，然后对磁力计和加速度计的输输出角度进行融合得到融合后的航向角^[7-9]。

3.1 卡尔曼滤波模型建立

本文认为磁力计、加速度计的角度变化都符合线性关系，故在卡尔曼滤波中建立状态方程和量测方程。

$$\hat{x}_k^- = \mathbf{A}\hat{x}_{k-1}^- + \mathbf{B}\varphi_k + \omega_{k-1} \quad (2)$$

$$y_k = \mathbf{H}\hat{x}_k^- + v_k \quad (3)$$

将 AGV 状态方程转换为加速度计相关量的方程，如公式 4 所示。将 AGV 的测量方程转换为磁力计相关量的方程，如公式 5 所示。

$$\hat{x}_k^- = \begin{bmatrix} \varphi_k \\ \beta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{k-1} \\ \beta_{k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_s \\ 0 \end{bmatrix} \varphi_0 \quad (4)$$

$$y_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_k \\ \delta_k \end{bmatrix} + v_k \quad (5)$$

$$\text{即 } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & -T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{B} = \begin{bmatrix} T_s \\ 0 \end{bmatrix}$$

其中 \hat{x}_k 是 k 时刻的最优估计值; \mathbf{A} 为角度值从 $k-1$ 时刻到 k 时刻的状态转移矩阵; \hat{x}_{k-1} 为 $k-1$ 时刻的系统最优状态; \mathbf{B} 为输入控制向量增益矩阵; Φ 为加速度计的测量值; ω_{k-1} 为输入噪声; y_k 是卡尔曼滤波之后的输出角度; H 为状态量到观测量的增益矩阵, 由于磁力计与加速度计线性无关, 故 $\mathbf{H} = [1 \ 0]$; v_k 为量测过程的系统噪声; γ_k 为 k 时刻磁力计的测量值; β_k 为 k 时刻加速度计的静态漂移; δ_k 为磁力计的静态漂移; T_s 为时间周期。

3.2 数据融合

卡尔曼滤波是用递推的形式, 对未来某一时刻状态进行估计。本文以加速度计的航向角作为测量值, 加速度计的航向角作为预测值, 然后根据前一时刻的预测值和测量值来估计当前时刻系统的最优值。

本文首先通过计算得到加速度计的航向角, 然后通过卡尔曼滤波模型公式计算航向角的测量值和下一时刻的预测值, 把磁力计测量的角度数据和加速度计计算的角度数据作为卡尔曼滤波的输入, 通过卡尔曼滤波 5 个公式计算得到融合后的航向角。

首先根据系统上一次得来的最优值计算出当前的估计值和协方差。

$$\gamma_k = \mathbf{A}\gamma_{k-1} + \mathbf{B}\varphi_{k-1} \quad (6)$$

$$P_k^- = \mathbf{A}P_{k-1}\mathbf{A}^T + \mathbf{Q} \quad (7)$$

再根据协方差大小计算出卡尔曼增益的大小。

$$K_k = P_k^- \mathbf{H}^T (\mathbf{H}P_k^- \mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1} \quad (8)$$

最后根据当前估计值和测量值计算出当前最优值和误差协方差。

$$\omega = \gamma_k + K_k(y_k - \mathbf{H}\gamma_k) \quad (9)$$

$$P_k = (\mathbf{I} - K_k \mathbf{H}) P_k^- \quad (10)$$

其中: γ_k 是 k 时刻磁力计的输出; \mathbf{A} 为状态转移矩阵; γ_{k-1} 是 $k-1$ 时刻磁力计的输出; \mathbf{B} 为输入控制向量增益矩阵; φ_{k-1} 为加速度计 $k-1$ 时刻的数值; P_k^- 为误差协方差预估计; P_{k-1} 为预估计的误差协方差矩阵; \mathbf{Q} 为输入过程的协方差矩阵, 即 $\mathbf{Q} = (X_k X_k^T)$; K_k 为卡尔曼增益, $K_k \in [0, \mathbf{H}^{-1}]$, 趋向 0 时取先验估计值, 趋向 \mathbf{H}^{-1} 时更趋向测量值; ω 为卡尔曼滤波融合后的航向角; \mathbf{H} 为状态量到观测量的增益矩阵; \mathbf{R} 为量测过程的误差协方差矩阵, 即 $\mathbf{R} = (y_k y_k^T)$; y_k 为卡尔曼滤波之后的输出角度; P_k 为误差协方差; \mathbf{I} 为单位矩阵。

4 PID 控制算法

由于 AGV 使用采样式控制, 不能连续不断的输出信号, 故不能连续控制, 所以本课题使用数字 PID 控制算法, 即在模拟 PID 算法基础上, 将微分和积分项进行离散化处理。

4.1 PID 控制算法

PID 控制器为一阶控制器, 设定值与输出值之间的差值组成系统偏差, 将系统偏差与比例系数 P 、积分系数 I 和微分系数 D 通过一阶线性关系构成控制量, 控制被控对象^[10]。将输入角度与输出行驶角度做差得到 $e(k)$ 作为

PID 的输入, 小车的输出为实际运行角度 $\theta(k)$ 。

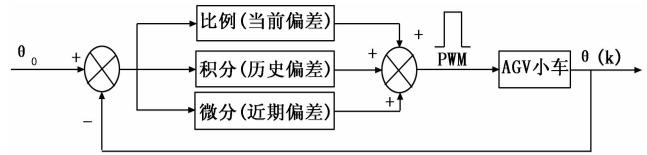


图 5 PID 控制原理图

在实际应用中, 需要通过大量实验来确定 PID 三个参数^[12]。其控制规律为:

$$\theta(k) = K_p \left[e(k) + \frac{1}{T_I} \int_0^k e(k) dk + T_D \frac{de(k)}{dk} \right] + \theta_0 \quad (11)$$

其中: $\theta(k)$ 是 k 时刻的航向角; K_p 为比例系数; T_I 为积分常数; T_D 为微分常数; θ_0 为初始角度。

4.2 数字 PID 控制算法

数字 PID 算法有两种离散化的方法, 分别是位置式和增量式, 由于增量式的计算较简单, 故本课题选用增量式 PID 算法^[11-12]。也就是把采样周期设为 T , 采样序号设为 k , 那么离散化的 kT 就可以近似替代连续采样 T 。用和的形式替代积分形式, 用增量式替代微分式, 就可以获得离散化的数字 PID 公式 (12) 和公式 (13)。

$$\theta_k = K_p [e_k + \frac{T}{T_I} \sum_{j=0}^k e_j + \frac{T_D}{T} (e_k - e_{k-1})] + \theta_0 \quad (12)$$

$$\Delta \theta_k = \theta_k - \theta_{k-1} =$$

$$K_p [e_k - e_{k-1} + \frac{T}{T_I} e_k + \frac{T_D}{T} (e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2})] =$$

$$K_p (1 + \frac{T}{T_I} + \frac{T_D}{T}) e_k - K_p (1 + 2 \frac{T_D}{T}) e_{k-1} + K_p =$$

$$Ae_k + Be_{k-1} + Ce_{k-2} \quad (13)$$

其中: θ_k 代表计算机第 k 次采样时的输出; e_k 代表第 k 次采样时输入数据的偏差值; K_I 代表积分系统, $K_I = K_p T / T_I$; K_D 代表微分系数, $K_D = K_p T_D / T$ 。

卡尔曼滤波输出的融合后的航向角作为数字 PID 算法中的输入值, 每隔一个时间周期都要重新计算从小车当前位置到目标位置的航向角, 作为小车下一次行驶的输入航向角, 此输入航向角与融合以后的航向角进行对比, 从而进行 PID 调节。

5 实际应用

5.1 系统编程流程

AGV 导航前期, 首先使用九轴陀螺仪的磁力计测量出工作场地与地理坐标系的夹角 α , 车体停放的位置姿态与工作场地平行; 根据图 1 所示的几何尺寸, 使用场地坐标计算出出发地点到目标地点的夹角 β , 并与 α 结合形成初始的车体导航角; 在出发地点, 通过麦克纳姆轮转动小车的车头, 使车头朝向目标点。

启动 AGV 车体向目标点出发。在行驶过程中, 通过九轴陀螺仪的磁力计读取 γ 角数据, 通过九轴陀螺仪的加速度计计算在采样周期内车体移动的夹角 φ , 其计算如公式 14 所示。

$$\varphi = \arctan\left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}\right) \quad (14)$$

其中： $k-1$ 时刻的坐标是 (X_1, Y_1) ， k 时刻的坐标值为 (X_2, Y_2) 。

将它们作为卡尔曼滤波的输入，通过卡尔曼滤波进行数据融合输出融合后的航向角，AGV 按照融合后的航向角控制行驶，同时通过 PID 算法调整 AGV 的行驶方向，使其更准确的朝着目标点行驶。

当小车到达停车板附近时，AGV 小车会发出警报，此时需要小车操作人员用遥控器手动控制小车移动到停车板上。此时小车需要按照初始出发时的角度调整落位。

全方位移动平台可以通过遥控器选择单车或者两车系统。在理想状态下，当两移动平台协同运动时，从车受控地与主车保持相同的姿态。

5.2 场地航向角计算

实际应用中，只考虑 X 轴和 Y 轴，不考虑 Z 轴。场地如图 1 所示，当停车点和目的地距离默认时，如果 AGV 小车从停车点 UL (0, 0) 到目标点 TB (23, 7.5) 移动，那么需要先把车体坐标与场地坐标结合转换到地理坐标系中，场地坐标的出发航向角为 18.06° 。小车出发后通过卡尔曼滤波把九轴陀螺仪磁力计测量的角度数据和根据加速度计计算的角度数据滤波融合后的输出控制航向角，然后通过 PID 积分控制算法不断地修正 AGV 小车运动过程中的运行角度，直到到达 TB 为止。其他停车点到目标点的移动过程类似。

AGV 小车的导航图如图 1 所示，以 UL 为原点建立坐标系，使车体坐标系与地理坐标系原点重合。AGV 小车从各出发点 to 目标点的初始航向角的关系如表 1 所示。

5.3 系统应用步骤

当 AGV 小车行驶的场地如图 1 所示，而且停车点与目标点的距离是默认距离时，将小车从停车点 UL (0, 0) 通过自主导航的形式到达目标点 TB (23, 7.5)，行驶过程如下：

1) AGV 小车出发之前，将车体坐标系转换到地理坐标系使两者重合，计算出小车从出发点 to 目标点的角度，本课题中的该角度为 18.06° ，计算场地坐标系与地理坐标系之间的夹角，本课题中假设场地坐标系与地理坐标系完全重合，即夹角为 0° 。将二者进行相加，得到的角度为小车的初始航向角。

2) 通过麦克纳姆轮原地调转 AGV 小车的车头，转动角度为初始航向角，本课题中为 18.06° 。

3) 小车出发后，通过四元数法进行三轴陀螺仪和三轴

磁力计角度的融合（此时没有去除噪声）。

4) 将三轴磁力计和三轴陀螺仪融合后的角度与三轴加速度计的航向角作为卡尔曼滤波的输入值，对角度进行卡尔曼滤波处理，将系统中与信号无关的噪声干扰去除，然后将两个角度进行融合，得到融合后的航向角。首先进行时间的更新，确定先验估计值和误差协方差预估计矩阵，然后再进行测量更新，最后确定小车的卡尔曼滤波增益、最优估计和误差协方差矩阵，时间更新与测量更新交替进行，直到小车到达目标点为止。

5) 小车行驶过程中，实时的计算小车的当前位置与目标位置的航向角，通过数字 PID 控制算法进行控制，使小车更准确的进行自主导航。

6) 当小车行驶至目标点附近时，目标点附近的激光扫描仪会发出警报声，此时需要操作人员使用遥控器控制小车准确的停到目标点的停车板上。

5.4 系统仿真

用 Matlab 将 AGV 从停车点 UL 到目标点 TB 点进行仿真，其中停车点与目标点的长度使用默认距离的十倍，真实轨迹代表从停车点到目标点直线行驶，路径使用黑色标记；观测轨迹为小车没有进行卡尔曼滤波之前的行驶轨迹，路径用蓝色标记；滤波轨迹为小车进行卡尔曼滤波之后的行驶轨迹，路径用红色标记。从图 6 中可以看出 AGV 小车的理想轨迹是从停车点到目标点直线行驶，但是实际行驶过程中小车并不能如此理想的从停车点到达目标点，从图中可以看出小车在没有滤波的情况下行驶过程毫无章法可言，忽上忽下而且偏离理想轨道的距离较远，最高达到 40 米，行驶路径过长而且复杂，而通过卡尔曼滤波之后的小车行驶过程中都是紧紧围绕理想轨迹周围运动，偏离理想轨迹的距离基本控制在 10 米以内，由此可以看出 AGV 通过卡尔曼滤波之后小车运行轨迹的精确度有了明显的提高，行驶距离更短，导航过程更加精确，由此可以证明卡尔曼滤波在 AGV 小车的自主导航过程中是起到一定作用的。

AGV 小车在图 7 的行驶过程中，对其误差进行仿真，图中理想轨迹与普通轨迹之间的误差叫做滤波前误差，用绿色点表示，而滤波后误差指滤波轨迹与理想轨迹之间的误差，用红色点表示，从图中可以看出，滤波前小车从停车点到目标点行驶过程中的误差较大，而且误差大小很不稳定，波动幅度达到 30 左右，而滤波后的误差相对滤波前而言比较平稳，除了小车刚启动时误差较大，波动幅度达到 13 左右，后续行驶过程中误差相比较稳定，波动幅度控制在 5 以下，由图中两个颜色的折线图可以看出滤波前后

表 1 单变量下 AGV 小车的航向角

目标点	UL	UM	UR	DL	DM	DR
TA	$\arctan(y_1/x_2)$	$\arctan[y_1/(x_1-x_2)]$	$\arctan[y_1/(x_1-x_2)]$	$\arctan[(Y-y_1)/x_2]$	$\arctan[(Y-y_1)/(x_1-x_2)]$	$\arctan[(Y-y_1)/(X-x_2)]$
TB	$\arctan[y_1/(x_2+x_3)]$	$\arctan[y_1/(x_2+x_3-x_1)]$	$\arctan[y_1/(X-x_2-x_3)]$	$\arctan[(Y-y_1)/x_2]$	$\arctan[(Y-y_1)/(x_2+x_3-x_1)]$	$\arctan[(Y-y_1)/(X-x_2-x_3)]$

小车行驶过程中的误差有了明显的提升, 小车行驶过程更加稳定, 导航过程更加精准, 更加验证了卡尔曼滤波对小车自主导航过程中起到了重要的作用。

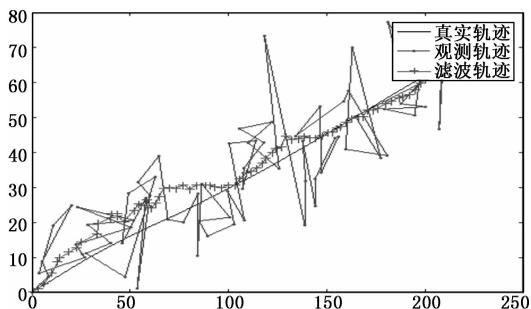


图 6 系统仿真图

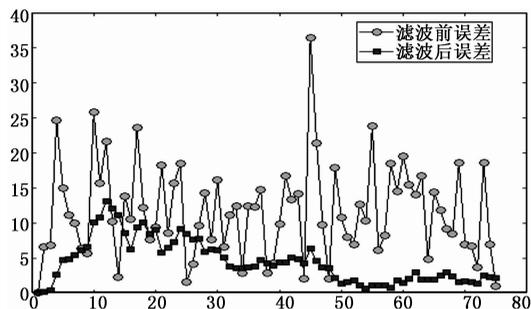


图 7 系统误差图

6 结论

AGV 小车运行过程中, 使用卡尔曼滤波和数字 PID 控制算法, 使小车行驶过程更精准, 停车点使用与人工控制相结合的方式, 可以使小车停车更精确。本课题对 AGV 小车在不定长导航图的初始导航角度进行研究, 可以根据研究结果, 确定所有类似导航场景中的初始航向角。该设计

(上接第 208 页)

度测量时分别选择不同的土壤样本进行相应温度和湿度的测量, 已达到测试基于 STC89C52 单片机土壤温湿度检测器功能实现的问题。从测试结果看: 当土壤温度在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内选择 8 个不同的温度值, 测试结果的误差范围在 $-0.4\sim+0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间; 当土壤湿度在 $0\sim 100\% \text{RH}$ 之间选择 7 个不同的湿度值时, 测试结果的误差范围在 $-3\sim+3\% \text{RH}$ 之间, 达到了设计的目的, 完成了土壤温湿度检测器的功能设计。

5 结束语

基于 STC89C52 单片机土壤温湿度检测器, 以 STC89C52 单片机为核心芯片, 并搭配 SHT11 温湿度传感器模块、液晶显示模块、报警模块等相关的外围功能模块。该土壤温湿度检测器利用温度和湿度传感器 SHT11 采集土壤的温度和湿度信息, 并将采集到的信息并传送到 STC89C52 单片机, 单片机将接收到的信号进行分析和处理, 并将采集到的温湿度信息发送到 LCD1602 进行显示。

通过编程实现, 很好地完成了系统的导航功能, 数据融合效果良好。

参考文献:

- [1] 张辰, 贝西, 黄志球. 自动导航车 (AGV) 发展综述 [J]. 中国制造业信息化 2010, 39 (1): 118-120.
- [2] 赵玉成, 袁帅, 马斌强, 等. 传感器在汽车电子控制系统中的应用 [J]. 农业网络信息, 2016 (04): 41-44.
- [3] 苏永华. 全方位移动式 AGV 技术研究 [J]. 制造业自动化, 2014, 36 (15): 10-14.
- [4] Li X, Chen W, Chan C Y. Multi-sensor fusion methodology for enhanced land vehicle positioning [J]. Information Fusion, 2019, 46.
- [5] 黄小平. 卡尔曼滤波原理及应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- [6] 张波, 李杰, 刘伟, 等. 基于卡尔曼滤波的动态角度测量系统设计 [J]. 电子器件, 2018, 41 (2): 375-379.
- [7] 刘春阳, 徐军领, 程洪涛, 等. MPU9250 传感器的姿态检测与数据融合 [J]. 河南科技大学学报, 2015, 36 (4): 14-18.
- [8] 宋迎春. 动态定位中的卡尔曼滤波研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2006.
- [9] 王迪. 基于卡尔曼滤波的惯性导航技术 [D]. 北京: 北方工业大学, 2018.
- [10] 张谦. 一种移动机器人扩展卡尔曼滤波定位算法及仿真 [J]. 广东第二师范学院学报, 2017 (05).
- [11] 历风满. 数字 PID 控制算法的研究 [J]. 辽宁大学学报 (自然科学版), 2005 (04): 85-88.
- [12] Yatsurugi M. Modeling and primary experiment of a 3-axis PID control with 50 nm resolution for a holonomic precision inchworm robot [A]. Proceedings of IEEE Conf. Control Autom. [C]. 2014.

同时, 通过将采集到的温湿度信息与设置温度和湿度的门限值进行比较, 进而控制声光报警模块, 实现超限报警功能。实验表明, 该检测器的温度范围为 $-40\sim+123.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、精度误差为 $\pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、湿度范围为 $0\sim 100\% \text{RH}$ 、误差为 $\pm 3.0\% \text{RH}$ 。实验结果表明土壤温湿度检测器的测量精度高、可靠性较高, 而且具有价格便宜、操作方便、方便携带及体积小的优点。

参考文献:

- [1] 庞岳峰, 朱巍巍, 谢克佳, 等. 基于 SHT11 传感器的测控设备温湿度监测系统 [J]. 无线通信技术, 2018 (5): 526-530.
- [2] 梁勇, 赵河明, 张恩慷. 基于单片机的目标信号采集无线传输系统设计 [J]. 机电技术, 2013 (12): 70-71, 77.
- [3] 刘娟花, 杨幸芳. 基于单片机的温湿度监测系统 [J]. 现代电子技术, 2017 (40): 165-168.
- [4] 吴立群, 陆善婷. 基于单片机的低碳节能环保控制系统的研制 [J]. 课程教育研究, 2016 (1): 250.