

缩微智能车室内定位系统研究

玄建永,王京春,陆 耿,江永亨,毕建权

(清华大学 自动化系,北京 100084)

摘 要:为在缩微交通环境下模拟实现现实交通中 GPS 对车辆的定位以及辅助驾驶功能,文中利用 RFID 以及网络通信技术建立了缩微智能车的室内定位系统,并在此基础上运用卡尔曼滤波算法对缩微智能车进行机动目标跟踪,实现了缩微车在缩微交通环境下的实时定位显示。大量实验结果表明,该室内定位系统能够可靠显示智能车的当前位置,定位误差小于 0.07 m,满足缩微交通环境下缩微车的定位需求。

关键词:缩微智能车;室内定位;RFID 定位;卡尔曼滤波

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)01-0001-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.01.001

Research on Indoor Position System for Autonomous Micro-vehicle

XUAN Jian-yong, WANG Jing-chun, LU Geng, JIANG Yong-heng, BI Jian-quan

(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In order to provide the function of vehicle position and driving assistance in micro traffic environment as that of GPS for primal size vehicle, an indoor position system is built for autonomous micro-vehicle using RFID and network communication technology. In the system, Kalman filter is introduced to track and position the target and micro-vehicle can be shown in real-time. Experiment results show that the system can track the position of micro-vehicle with an error smaller than 0.07 m in real time, which meets the position demands of micro-vehicle in micro traffic environment.

Key words: autonomous micro-vehicle; indoor position; RFID position; Kalman filter

1 概 述

为提高交通安全,有效地缓解城市交通拥挤以及环境污染,智能交通正在成为国内科研领域的一个热点。自动驾驶智能车作为其中的一项关键技术,吸引了众多科研人员的注意^[1]。美国、德国以及日本都各自研制出了其智能车辆系统,特别是美国国防部先进研究项目局于 2004 年~2007 年举办的 DARPA 挑战赛极大地推动了无人驾驶智能车的发展^[2-3]。在国内,2011 年 7 月 14 日,国防科技大学研制的智能车成功从长沙驶达武汉,里程达 286 公里。与此同时,为了研究无人驾驶智能车的群体智能行为以及车辆与道路环境的信息交互,包括清华大学、中国人民解放军某研究所在内的 11 家单位开始研究缩微智能车,到目前为止已经取得了突破性的进展。

为研究缩微智能车以及智能交通,课题组建立了缩微交通环境实验室,并按照真实道路环境以及车辆模型研制了大小为 1:10 的缩微交通环境以及智能车。该系统的建立,可以方便地模拟研究智能驾驶行为以及车路智能交互,为缩微环境下的智能交通提供支持。为了实现智能交通,在真实环境下,车辆可以根据 GPS 以及惯导系统辅助获得车辆以及道路的信息^[4]。在室内缩微交通环境下,无法获得 GPS 信号,并且缩微智能车上无法安装高精度的惯导系统,为了获取每辆缩微智能车的位置信息以及周围的道路信息,并将其在服务器上实时显示,课题研究中建立了缩微智能车的室内定位系统,这对于大空间室内环境下定位有很好的借鉴意义,并为实验室目前开展的群智能行为研究建立了平台。

收稿日期:2013-03-18

修回日期:2013-07-25

网络出版时间:2013-11-12

基金项目:清华大学科研基金(20111081071)

作者简介:玄建永(1987-),男,硕士研究生,研究方向为室内定位系统、缩微智能车驾驶、基于缩微智能车的车辆跟随系统;王京春,副教授,研究方向为多变量预测控制、工业系统参数辨识与建模、工业系统节能与优化技术、检测技术和实时数据库,以模型车为对象的智能驾驶技术和认知交互等。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20131112.1650.046.html>

2 室内定位方案的选取

目前国内外研究室内定位方法根据使用设备不同大体上可以分为以下几类:全景摄像头方案、Zigbee 方案、超声波定位、UWB(Ultra Wide Band)以及 RFID 定位^[5]。

全景摄像头方案可以很方便地获得所有智能车的位置信息。其缺点在于所有车的立体以及位置信息缩微到一幅图像上,图像处理(例如图像校正)困难,需要对每个智能车进行模式识别,要求处理器有很高的计算能力^[6]。

采用 Zigbee 进行室内方案成本低、功耗小、延时短、网络容量大。但是,由于该方案是利用无线网络信号的强度衰减进行定位计算的,因此定位精度不高^[7-9]。此外无线信号的穿透能力也较差。

超声波定位系统对于单个目标可以进行准确定位,并且容易建模控制,适用范围广^[10]。但是当环境中存在多个需要定位的目标时,目标信号之间会存在相互干扰^[11-12]。

UWB 系统信号穿透能力强,信号实时性高,定位准确,但是该系统价格昂贵,不适合普及应用^[13]。

RFID 定位简单实用,可靠性高,价格低廉,使用寿命长,其应用已经商业化^[14-15],它的缺点在于容易受到电磁信号的干扰,读取电子标签 ID 速度相对较慢^[16]。

课题研究中,室内定位系统需要能够对大量缩微智能车同时进行定位,这就要求定位信号之间不能存在相互干扰,定位准确可靠。此外,缩微智能车处理器计算能力有限,室内定位系统作为一个辅助驾驶功能,不能影响智能车的正常驾驶,综合费用等方面因素,最终选定了 RFID 定位方案。此外,实验室环境下不存在强电磁信号,缩微智能车行驶速度有限,有效地避免了 RFID 定位的缺陷。实验室最终选定 CY-14443A 系列射频读写模块,该模块定位距离为 1~10 cm,只有射频读写模块在电子标签正上方时,才能读到电子标签 ID,满足课题研究中在关键点定位的需求。

3 室内定位系统的组成以及工作原理

课题研究中,缩微智能车是按照真实车辆的行驶规则在缩微交通环境下行驶的,所以其行驶有很强的规律以及约束条件。基于该课题研究特点,该室内定位系统可以按照如下规则设计:在道路的关键点上,可以通过电子标签进行准确标定定位。而电子标签只是在一些离散点上才有,所以在电子标签之间的道路上,通过获得缩微智能车下位机反馈的行驶状态信息,融合离散点的电子标签信息,运用卡尔曼滤波算法对其进行机动目标跟踪。

该室内定位系统硬件包括:缩微智能车、PC 机、CY-14443A 系列射频读写模块、电子标签以及无线路由器。整个系统的工作原理如图 1 所示。

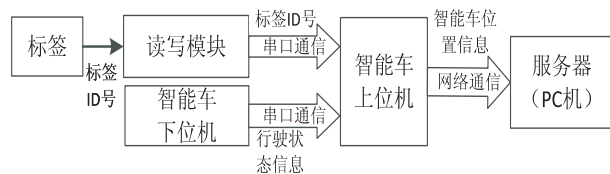


图 1 缩微智能车定位系统原理图

在缩微道路环境的关键点上,有规则地贴上了电子标签。智能车行驶到达电子标签正上方时,缩微智能车底盘上的读写模块就会读取电子标签的 ID 号,然后将该 ID 号通过串口通信发送到缩微智能车的上位机。这样,在行驶道路贴有电子标签的关键点上,通过电子标签的准确标定就可以对智能车进行精确定位。与此同时,缩微智能车上位机以一定的周期通过串口读取下位机电子调速驱动器 PWM 波占空比以及电机霍尔器件的速度反馈信息,这里获得的电机霍尔器件速度反馈是一些粗糙离散的脉冲个数,它在一定程度上能够反映智能车的当前行驶速度,需要对其进行滤波处理。综合考虑电子调速驱动器 PWM 波占空比以及霍尔器件速度反馈信息,建立缩微智能车的动态方程以及量测方程,就可以运用卡尔曼滤波算法实现标签之间智能车的机动目标跟踪。

4 基于卡尔曼滤波的机动目标跟踪

首先,建立缩微智能车的动态方程以及量测方程:

$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \frac{1}{m} \\ 0 \end{bmatrix} u + w(t) \quad (1)$$

$$z = [1 \quad 1]x + n(t) \quad (2)$$

式中,状态变量 $x = [v \quad s]^T$, v 为缩微智能车的前轮转速, s 为其行驶路程; $w(t)$ 和 $n(t)$ 分别为 2 维随机动态噪声以及 1 维随机量测噪声; u 为输入量,它与电子调速驱动器的 PWM 波占空比有一定的线性关系,给缩微智能车提供加速度,速度可以通过电机的霍尔器件反馈测得。将(1)、(2)两式离散化可得:

$$x_k = \Phi_{k,k-1} x_{k-1} + B_{k,k-1} u(k-1) + w_{k-1} \quad (3)$$

$$z_k = H_k x_k + n_k \quad (4)$$

$$\text{式中, } \Phi_{k,k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ T & 1 \end{bmatrix}, B_{k,k-1} = \begin{bmatrix} \frac{T}{m} \\ T^2 \end{bmatrix}, H_k =$$

$[1 \quad 1]$, T 为缩微智能车对霍尔器件反馈信息的采样周期, w_{k-1} 以及 n_k 为 0 均值高斯白噪声序列。由(3)可根据系统 $k-1$ 时刻状态变量最优结果计算其 k 时刻的预报值以及预报误差矩阵:

$$\hat{x}_{kl,k-1} = \Phi_{k,k-1} \hat{x}_{k-1} + B_{k,k-1} u(k-1) \quad (5)$$

$$P_{kl,k-1} = \Phi_{k,k-1} P_{k-1} \Phi_{k,k-1}^T + Q_{k-1} \quad (6)$$

式(6)中, P_{k-1} 为误差矩阵, 通过递推获得; $Q_{k-1} = E(w_{k-1} w_{k-1}^T)$ 。当获得 k 时刻的霍尔器件的速度反馈时, 结合式(5)的预报值, 可得到 k 时刻最优估计值:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{kl,k-1} + K_k [z_k - H_k \hat{x}_{kl,k-1}] \quad (7)$$

式中, K_k 为增益矩阵:

$$K_k = P_{kl,k-1} H_k^T (H_k P_{kl,k-1} H_k^T + R_k)^{-1} \quad (8)$$

$R_k = E(n_k n_k^T)$ 。该定位方案中, 行驶路程 s 只能在一些固定的离散点可以得到量测值, 而霍尔器件对速度的反馈信息是可以实时获得的, 所以在使用式(7)对 k 时刻状态变量的值进行估计时, 如果此时量测数据 Z_k 中的 S_k 量测值不能获得, S_k 取为 $s_{kl,k-1}$ 进行迭代计算。为保证下一次迭代的进行, 还需要计算 k 时刻的滤波方差矩阵:

$$P_k = [I - K_k H_k] P_{kl,k-1} \quad (9)$$

用式(5) ~ 式(9) 对状态变量进行滤波, 就可以实时得到在两个电子标签之间缩微智能车的速度以及位置信息。

5 实验测试

为了验证该室内定位系统的可行性, 研究中进行实验测试。选取实验所用路程为 10 m, 该段道路交通环境相对复杂, 包含基本交通环境要素: 直行道路、弯道、十字路口。从起点到终点每隔 1 m 贴有一个电子标签, 实验过程中缩微智能车行驶状况如图 2 所示。



图2 缩微智能车行驶状况

5.1 固定速度下的测试结果

使缩微智能车在 1 m/s 的固定速度下在缩微道路环境下行驶, 记录测量速度、滤波后的速度、到达每个电子标签智能车行驶的估计路程。独立重复 20 次实验, 实验结果如图 3 所示。

图 3 中, 从上到下依次为估计速度与量测速度差值的均方根误差 (RMSE)、误差以及智能车到达每个

标签估计行驶路程与实际路程的误差。由实验结果可以看出, 在 1 m/s 的固定速度情况下, 在读到第三个电子标签信息进行迭代更新之后, 卡尔曼滤波结果都能够趋于平稳。经过大量的实验, 当卡尔曼滤波达到稳定之后, 缩微智能车速度误差保持在 0.025 m/s 之内, 预测行驶到下个标签的位置与其真实位置最大差值在 0.055 m 之内, 平均误差为 0.011 m, 满足缩微智能车室内定位的需求。

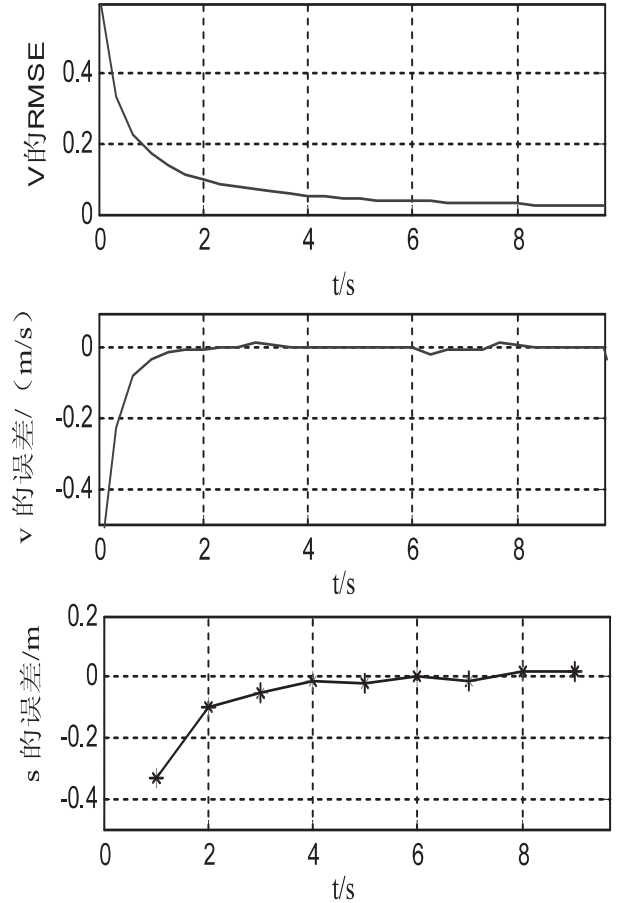


图3 $v = 1$ m/s 的实验结果

5.2 正常行驶情况下的测试结果

在正常行驶情况下, 缩微智能车根据道路环境调整自身速度, 其行驶速度在 0.45 m/s ~ 0.65 m/s 之间变化, 记录测量速度、滤波后的速度、到达每个电子标签智能车行驶的估计路程, 独立重复 20 次实验, 实验结果如图 4 所示。

图 4 中, 从上到下依次为估计速度与量测速度差值的均方根误差 (RMSE)、误差以及智能车到达每个标签估计行驶路程与实际路程的误差。由图 4 可以看出, 在读到第三个电子标签信息进行迭代更新之后, 卡尔曼滤波能达到稳定。经过大量的实验, 当卡尔曼滤波到达稳态之后, 速度最大误差在 0.036 m/s 之内, 缩微智能车预测行驶到下一个电子标签的位置与真实位置之间的平均误差为 0.02 m, 最大差值在 0.07 m 之

内,满足缩微智能车室内定位的需求。

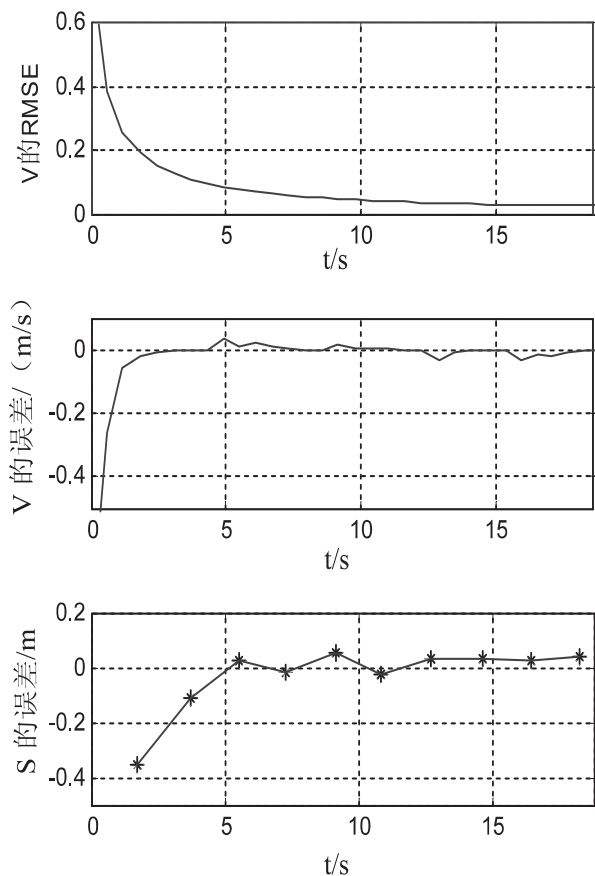


图 4 正常行驶情况下的实验结果

6 结束语

文中设计的室内定位系统高效地模拟了真实环境下 GPS 的功能,该方案可靠性高,实用性强,对智能车处理器计算能力要求不高。最大定位误差为 0.07 m,平均误差为 0.02 m,造成该定位系统误差的原因有:

- 1) 电机的霍尔器件反馈速度信息不够精确。
- 2) 射频读写模块读取电子标签的时间延迟。
- 3) 智能车在行驶过程中车轮的变形以及磨损。

真实环境下实验用 GPS/INS 定位精度一般在 1 ~ 2 m^[17],该定位系统同比例放大之后定位精度为 0.7 m。相比之下,该定位系统定位精度可达到实验要求。

该定位系统的不足在于当缩微智能车进行类似超车换道动作时,室内定位系统将会出现目标丢失现象直到读到下一个电子标签为止。后续的研究在于准确建立缩微智能车的动力学模型,并利用相应的滤波算法对其进行精确的机动目标跟踪。

参考文献:

- [1] 马育林. 智能车自动驾驶控制系统研制与试验[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [2] Kammel S, Ziegler J, Pitzer B. Team AnnieWAY's autonomous system for the 2007 DARPA urban challenge[J]. Jour-

nal of field robotics, 2008, 25(9): 616-639.

- [3] Thrun S, Montemerlo M, Dahlkamp H, et al. Stanley: The robot that won the DARPA grand challenge[J]. Journal of field robotics, 2006, 23(9): 661-692.
- [4] Miller I, Campbell M. Particle filtering for map-aided localization in sparse GPS environments[C]//Proc of IEEE international conference on robotics and automation. [s. l.]: IEEE, 2008: 1834-1841.
- [5] 梁韵基, 周兴社, 於志文, 等. 普适环境室内定位系统研究[J]. 计算机科学, 2010, 37(3): 112-116.
- [6] 陈浩耀. 面向多机器人编队的基于视觉定位系统研究[D]. 合肥: 中国科技大学, 2009.
- [7] 庞娜. 网状结构 ZigBee 无线传感器网络研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [8] Lee K K, Kim S H, Choi Y S, et al. A mesh routing protocol using cluster label in the ZigBee network[C]//Proc of IEEE international conference on mobile Ad hoc and sensor systems. [s. l.]: [s. n.], 2006: 801-806.
- [9] Seungwoo L, Byounggeun K, Hoon K, et al. Inertial sensor-based indoor pedestrian localization with minimum 802.15.4a configuration[J]. IEEE transactions on industrial informatics, 2011, 7(3): 455-466.
- [10] Gonzalez J R, Bleakley C J. High-precision robust broadband ultrasonic location and orientation estimation[J]. IEEE journal of selected topics in signal processing, 2009, 3(5): 832-844.
- [11] Gonzalez J R, Bleakley C J. Accuracy of spread spectrum techniques for ultrasonic indoor location[C]//Proc of 15th international conference on digital signal processing. [s. l.]: IEEE, 2007: 284-287.
- [12] Yun L, Finger A. Channel model-based sensing for indoor ultrasonic location systems[C]//Proc of 8th workshop on positioning navigation and communication. [s. l.]: IEEE, 2011: 83-88.
- [13] Thiel M, Sarabandi K. Ultrawideband multi-static scattering analysis of human movement within buildings for the purpose of stand-off detection and localization[J]. IEEE transactions on antennas and propagation, 2011, 59(4): 1261-1268.
- [14] Bahl P, Padmanabhan V N. An in-building RF-based user location and tracking system[C]//Proc of nineteenth annual joint conference of the IEEE computer and communications societies. [s. l.]: IEEE, 2000: 775-784.
- [15] Liu Y, Yang G. Indoor location algorithm on RFID and its improvement[C]//Proc of 3rd international conference on computer research and development. [s. l.]: IEEE, 2011: 56-59.
- [16] Dai H, Su D. Indoor location system using RFID and ultrasonic sensors[C]//Proc of 8th international symposium on antennas, propagation and EM theory. [s. l.]: IEEE, 2008: 1179-1181.
- [17] 李倩. GPS/INS 组合导航系统研究及实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.

缩微智能车室内定位系统研究

作者：

[玄建永](#)，[王京春](#)，[陆耿](#)，[江永亨](#)，[毕建权](#)，[XUAN Jian-yong](#)，[WANG Jing-chun](#)，[LU Geng](#)，[JIANG Yong-heng](#)，[BI Jian-quan](#)

作者单位：

[清华大学 自动化系, 北京, 100084](#)

刊名：

[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

ISTIC

[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：

[2014\(1\)](#)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201401001.aspx