

基于多模差分融合的高速车辆定位算法

姚 锐, 任维政

(北京邮电大学 电气工程学院, 北京 100876)

摘要: 针对车辆高速运动下定位延时大、精度低、稳定性差的问题, 发挥 GPS、RSSI 和 INS 三种定位模式的各自优势, 将 GPS 差分校准算法与 RSSI 测距相结合求解横坐标, 将 RSSI 测距与 INS 惯导迭代算法相结合求解纵坐标, 提出了一种适合高速运动车辆的多模差分融合精确定位算法; 以四车道的高速路为场景进行了仿真实验, 当车速为 70 km/h 时, 跟踪误差 < 1 m, 定位延时 < 0.2 s; 实验结果表明, 该算法可实现车身级和车道级定位, 在精确交通诱导、车辆防撞等智能交通领域具有应用前景和推广价值。

关键词: 无线传感器网络; 高速运动定位; RSSI; GPS; INS

High-speed Vehicle Localization Algorithm Based on Multi-mode Differential Fusion

Yao Kun, Ren Weizheng

(School of Electronic Engineering, BUPT, Beijing 100876, China)

Abstract: Aim to solve the problems of big delay, low accuracy and poor stability of localization under the high-speed situation of vehicles, play all the advantages of three positioning modes, including GPS, RSSI and INS systems. We combine GPS differential algorithm with RSSI ranging together to get abscissa, and fuse RSSI ranging and INS iterative algorithm to get ordinate, propose a multi-mode differential fusion precise localization algorithm for high-speed vehicles. During the simulation experiments based on a four-lane highway scene, the tracking error is less than 1 m, localization delay is less than 0.2 s when the speed is 70 km/h. Experimental results show that the algorithm can achieve lane-level localization accuracy, there are broad promotion prospects in the field of precise intelligent transportation and Vehicle Collision Avoidance System.

Keywords: rapid localization algorithm; differential fusion; Internet of vehicles; WSN network; real-time guidance

0 引言

随着汽车数量的大幅增加, 道路险情和交通事故数也大大增多, 基于 WSN 的交通诱导、车辆防撞系统应运而生, 而定位数据是此类系统的核心^[1]。而现今的 GPS 定位受卫星数量、遮蔽条件的影响, 定位精度遇到瓶颈^[2-3]; 而一些融合定位的尝试往往局限在双模定位, 或者需要昂贵的硬件支持^[4]。一般地, 目前定位系统的精度在 2 m 左右, 时延 0.5 s, 这并不能达到防撞系统中“车身级”定位的要求^[5-6]。

本文通过构建高速公路路段模型, 利用分治思想针对横坐标和纵坐标采用不同的融合定位算法, 提出了 GPS 差分校准、RSSI 相对测距与 INS 迭代相融合高速车辆无缝定位算法。

1 路段模型概述

本文所述核心模型的构建原型是四车道的高速道路, 如图 1 所示。

为方便研究, 假设路段上的感知节点如上图中的部署结构, 其中虚线框中的是差分单元模型, 是高速路路段模型中的特殊单元, 总共包含 3 个模型节点元素: 一个 GPS 差分参考节点和两个普通感知节点。实线框中的是普通节点单元, 包含两个普通感知节点。

普通节点提供节点 ID、节点坐标和节点类型 3 种核心数

收稿日期: 2014-09-29; 修回日期: 2014-12-16。

作者简介: 姚 锐 (1989-), 男, 甘肃张掖人, 硕士, 硕士研究生, 主要从事车联网、智能交通方向的研究。

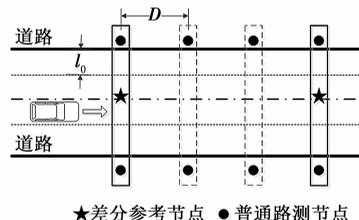


图 1 融合定位的高速路路段模型

据, 并提供基本的通信保障。而 GPS 差分参考节点具备还 GPS 接收机以获取所在区域的 GPS 系统误差。

道路的宽度用 L 表示, 车道的宽度为 l_0 , 车道的数量为 n 。在实际的高速道路中, 单车道宽度一般在 3.5~4 m 左右, 本文中取 l_0 为 3.5。 D 为最佳的单元间距 (普通单元与差分单元), 两种单元间歇部署的方式能最小化成本。为方便起见, 取车道数量为 4, 并将所有 GPS 数据信息作二维平面坐标的映射^[9]。将差分参考节点取为二维坐标系的原点, 取纸面向右为 x 正方向, 向上为 y 正方向。

2 多模无缝融合定位算法

多模无缝融合定位算法就是在传统 GPS 定位的基础上, 自适应后台的交通节点数据库进行地图匹配, 分别应用两种融合定位算法确定待测节点的二维坐标。算法的模块框架图如下所述:

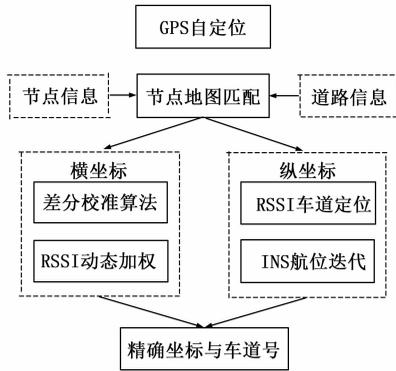


图 2 无缝融合定位算法的模块框架图

2.1 RSSI 值采集与 GPS 差分融合定位算法

由于 RSSI 数值受环境影响的因素很大, 因此在 RSSI 采集的过程中很可能出现跳跃性的“奇异值”^[7]。为了滤除此类数据的干扰, 获得较为准确和平滑的数据, 本文先后采用了融合均值滤波和高斯拟合滤波的方法。

1) 均值滤波:

假设同一路侧节点向车载节点发送 M 次数据, $RSSI_i$ 表示第 i 次测量的 RSSI 数值, 则有下面的公式^[8]:

$$\mu_i = \frac{\sum_{i=1}^M RSSI_i}{M} \quad (1)$$

$$\delta_i = |RSSI_i - \mu_i| \quad (2)$$

若 $\delta_i > \epsilon$ (其中 ϵ 是误差敏感度), 则将该数值舍去。

2) 高斯拟合滤波:

根据实际经验, 道路上的 RSSI 数值服从高斯概率分布, 故在多组测量数据中概率密度最大的测量值是真实值最接近的^[8]。采用高斯拟合滤波的拟合函数如下式所示:

$$y = y_0 + \frac{A}{\omega \sqrt{\pi/2}} e^{-2(x-x_c)^2/\omega^2} \quad (3)$$

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^k RSSI_i}{k} \quad (4)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (RSSI_i - x_c)^2}{k-1}} \quad (5)$$

当 $0.5 \leq y \leq 1$ 时, 认为是大概率事件, 予以保留, 然后取保留后的 RSSI 均值。式中 y_0 和 A 是待定系数, k 为锚节点数目。

由于差分参考节点附带 GPS 接收机, 故可以获取本地经纬度信息。该经纬度信息附带的系统误差为该参考节点所处路网环境的 GPS 系统误差。假设差分校准节点 R_0 , 设其真实经纬度映射到二维平面的坐标为 (x_{d0}, y_{d0}) 。而通过 GPS 接收机获取的二维转换坐标为 (x'_{d0}, y'_{d0}) , 故有转换后的校准坐标为:

$$(\Delta x_d, \Delta y_d) = (x_{d0} - x'_{d0}, y_{d0} - y'_{d0}) \quad (6)$$

最终的车载节点的 x 坐标如下式所示:

$$x_v = x'_v - \alpha \Delta x_d \quad (7)$$

其中: α 是与 RSSI 强度相关的系数, 用以确定校准坐标的权重。而在 GPS 定位时, 虽然 GPS 定位系统的精度与卫星数量关系不大, 但会很大程度影响定位的稳定性^[11]。在

卫星数量小于 3 颗时, 需要重新获取 GPS 坐标, 并同步信标差分节点的接收机测试值。

假设当前测得的车载节点与差分参考节点的 RSSI 值为 $PL(d)$, 假设加权参数 α 与 $PL(d)$ 满足指数关系, 如下式所示:

$$\alpha = A \log_{10} PL(d) - 0.35 \quad (8)$$

2.2 INS 航位迭代与 RSSI 校准融合的车道定位算法

该算法的主要目的是求得达到“车道级”精度的二维平面下的纵坐标和车道编号, 该算法的核心过程如下面的步骤:

1) 在首个差分节点单元下采用 RSSI 相对测距算法求得车道编号;

2) 在剩余的普通节点单元采用 INS 迭代算法进行跟踪和迭代, 直至下个差分节点单元。

2.2.1 RSSI 车道定位算法

RSSI 车道定位算法是在差分单元模型下进行的, 通过车载节点的航向信息确定车道位置。再根据车载节点与两个路侧节点的相对 RSSI 强度求差, 以确定所在的准确车道。这种方法避免直接通过 RSSI 衰减模型测距定位的弊端 (环境参数估计、障碍物干扰)^[9], 通过多组 RSSI 的采集、滤波的相对值比较, 即可实现车道定位。RSSI 车道定位算法的示意过程如图 3 所示。

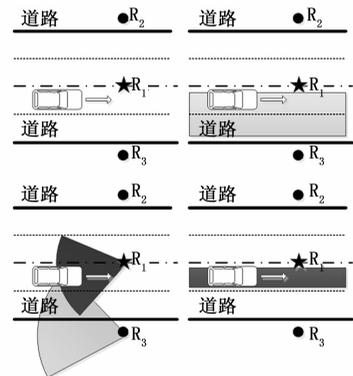


图 3 RSSI 车道定位算法的示意过程

假设车道从上至下的编号为 1~4, 最终的输出结果如下, n 表示车道数量:

$$y = -0.51_0 n + 2l_0 \quad (9)$$

2.2.2 INS 航位迭代算法

为了描述方便, 本文的数学描述均采用二维坐标的形式, 避免了原有的向量表示方法。INS 系统中, 假设已知初始位置为 (x_0, y_0) , 并且已知根据车载惯导系统获得的速度、加速度信息, 其中速度向量为 (v_x, v_y) 。考虑到本算法仅需考虑车道定位的要求, 因此只需保留纵坐标即可。因此, 车辆纵坐标的递推公式如下所示:

$$y_i = y_{i-1} + y_{ai} (i \geq 1) \quad (10)$$

INS 系统的计算过程是不间断迭代的, 而初始值 y_0 取为上一差分参考单元获取的纵坐标。该算法通过反复的选取 INS 系统的初始数据, 不仅起到了普通节点单元的车道定位, 而且保证了整体车道定位的精度^[10]。

3 仿真实验

为验证本文所提出的算法可行性, 选用仿真软件模拟真实

环境并估计定位的误差，软件环境采用 Matlab7.0。车辆的初始位置设为 (x_0, y_0) ，移动速度在 40~70 km/h 匀速提升，所处位置为如图 1 所示的四车道高速公路路段。

由于本文讨论的定位算法在纵向上主要是确定车道编号，因此具体的纵坐标的误差等级仿真意义并不大。下图展示了实际距离与横坐标定位误差的关系，并与传统的 GPS 定位、RSSI 测距定位做了比较。

图 4 中虚线为 RSSI 的定位误差曲线，稍居下侧的是 GPS 的误差曲线，处于最下侧且用“*”打点的是本文算法的误差曲线。

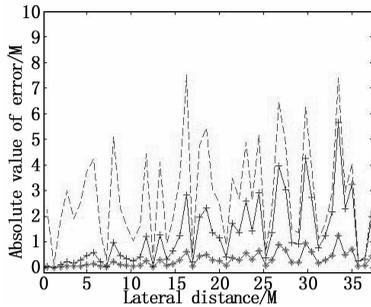


图 4 实际横向距离与误差仿真关系图

根据图 4 三段曲线可知，本文算法在 35 米内误差值稳定且在 2 米以下，15 米的范围内能到达 1 米以下；而 RSSI 测距和 GPS 定位的波动则很大，RSSI 定位的误差甚至超过了 7 米。通过仿真实验表明，该算法在时速不高于 70 km/h 下的移动跟踪误差能达到 1 m 以内，定位延时 0.2 s，比传统的 GPS 定位精度提高了 25% 左右。

4 结论

本文针对高速行驶车辆的定位困难问题，构建了高速路路

段模型，并在此基础上，通过将 GPS 差分定位、RSSI 相对测距和 INS 航位测距的多重方法无缝融合，实现了一个更高精度、更小延时的“车道级”和“车身体级”定位算法，为道路交通中高速、高精度定位的应用奠定了理论基础。尤其在安全预警、车辆防撞等需要更为精确的定位数据的智能交通领域具有广阔的应用前景和推广价值。

参考文献:

[1] Beutel J. Geolocation in a PicoRadio environment (MS. Thesis) [D]. Berkeley: UC Berkeley, 1999.

[2] Bulusu N. Self-Configuring localization systems (Ph. D. Thesis) [D]. Los Angeles: University of California, 2002.

[3] Vardhan S, Wilczynski M, Portie G J. Wireless integrated networks sensors (WINS): Distributed in situ sensing for mission and flight systems [J]. Piscataway, NJ: IEEE, 2000. 459-463.

[4] 吴晓平, 陆炳斌, 沈浩. 基于 RSSI 定位模型的非视距关系识别方法 [J]. 传感技术学报, 2013, 11 (23): 127-131.

[5] 陈锡剑, 程良伦. 基于 RSSI 的功率匹配定位算法的研究与实现 [J]. 传感技术学报, 2013, 12 (5): 17-20.

[6] Doherty L, Ghaoui L E, Pister K S J. Convex position estimation in wireless sensor networks [J]. Anchorage, AK, USA: IEEE Computer and Communications Societies, 2011. 1655-1663.

[7] 张爱清, 叶新荣. 基于 RSSI 每跳分级和跳距修正的 DV-HOP 改进算法 [J]. 仪器仪表学报, 2012, 33 (11): 120-124.

[8] 刘雪兰, 王宜怀. 无线传感器网络 RSSI 定位算法改进 [J]. 计算机应用与软件, 2013 (11): 608-613.

[9] 李论丁, 恩杰, 郝丽娜, 等. 一种改进的煤矿井下指纹定位匹配算法 [J]. 传感技术学报, 2014 (3): 122-125.

[10] 马燕, 袁蔚林, 陈秀万. 基于 WiFi 与 GPS 组合定位算法的无缝定位方法研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2013 (3): 970-974.

(上接第 2463 页)

参考文献:

[1] Shah V, Mandayam N B, Goodman D J. Power control for wireless data based on utility and pricing [A]. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications [C]. Boston, 1998: 1427-1432.

[2] Saraydar C, Mandayam N, Goodman D. Pricing and power control in a multicell wireless data network [J]. IEEE Journal on selected Areas in communication, 2001, 19 (10): 1883-1892.

[3] Zander J. Performance of optimum transmitter power control in cellular radio systems [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1992, 41 (1): 57-62.

[4] Koskie S, Gajic Z. A nash game algorithm for SIR-Based power control in 3G wireless CDMA networks [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2005, 13 (5): 1017-1026.

[5] Alpcan T, Basar T, Srikant R, et al. CDMA uplink power control as a noncooperative game [J]. Wireless Networks, 2002, 8 (6): 659-670.

[6] Koskie S, Gajic Z. A Nash game algorithm for SIR-based power control in 3G wireless CDMA networks [J]. IEEE/ACM Transac-

tions on Networking (TON), 2005, 13 (5): 1017-1026.

[7] Li F, Tan X, Wang L. A new game algorithm for power control in cognitive radio networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60 (9): 4384-4391.

[8] Lu K, Zhang L, Yang J. An efficient SIR-first adaptive power control method in cognitive radio network [A]. Global High Tech Congress on Electronics (GHTCE) [C]. 2012: 91-94.

[9] Xing Y, Mathurc N, Haleem M A, et al. Dynamic spectrum access with qos and interference temperature constraints [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2007, 6 (4): 423-433.

[10] Xiao M, Shroff N B, Chong E K P. Utility-based power control in cellular wireless systems [A]. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. INFOCOM [C]. 2001: 412-421.

[11] YATES R D. A framework for uplink power control in cellular radio systems [J]. IEEE Journal on Selected Areas In Communications, 1995, 13 (7): 1341-1347.

[12] Ortega J M, Rheinboldt W. Iterative Solution of Nonlinear Equations in Several Variables [M]. New York: Academic Press, 1970: 592-594.