

基于5G与车载传感器的车辆组合导航系统研究

岳克强¹, 卢朝洪², 李 巍², 孙玲玲¹

¹杭州电子科技大学电子信息学院, 浙江 杭州

²杭州云动智能汽车技术有限公司, 浙江 杭州

Email: yuekeqiang@163.com

收稿日期: 2020年9月1日; 录用日期: 2020年9月14日; 发布日期: 2020年9月21日

摘 要

车辆定位是车联网技术中重要组成部分, 当前城市高楼密集区等环境下, 车载全球导航卫星系统定位精度不佳, 难以实现高精度定位。随着5G无线通信的快速发展, 用组合定位来改善车辆定位精度具有重要意义。本文通过研究车辆运行中传感器采集到的速度及偏转角度信息, 结合5G通信系统, 提出一种基于5G的车载组合导航系统来提高定位精度, 仿真结果表明, 在室内或室内外交界处等缺少GNSS信号情况下, 组合导航系统能够有效提高车辆定位精度。

关键词

车辆定位, 5G, 车载传感器, 组合导航

Research on Vehicle Integrated Navigation System Based on 5G-Vehicle Sensors

Keqiang Yue¹, Chaohong Lu², Wei Li², Lingling Sun¹

¹College of Electronic Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou Zhejiang

²Hangzhou Yundong Smart Automobile Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Email: yuekeqiang@163.com

Received: Sep. 1st, 2020; accepted: Sep. 14th, 2020; published: Sep. 21st, 2020

Abstract

Vehicle positioning is an important part of the Internet of Vehicles technology. The vehicle-mounted global navigation satellite system is characterized with poor positioning accuracy and even inability to locate in the environment with complex multipath interference such as dense urban high-rise areas. With the rapid development of 5G wireless communication, it is of great significance to use

combined positioning to improve vehicle positioning accuracy. In this paper, by studying the speed and yaw angle information collected by the sensors during vehicle operation, combined with the 5G communication system, a 5G-based vehicle-mounted integrated navigation system is proposed to improve the positioning accuracy. The simulation results show that the vehicle positioning accuracy can be effectively improved by the integrated navigation system in indoor or indoor-outdoor boundary lack of GNSS signal.

Keywords

Vehicle Positioning, 5G, Vehicle Sensors, Integrated Navigation

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着汽车产业和第五代移动通信技术的快速发展,车联网技术在近年来得到迅速发展,并广泛应用于车辆调度、防盗报警等领域。作为车联网关键技术之一的车辆导航定位技术不仅能够提供基于位置的服务,还能够用于紧急情况下的救助、车辆的调度和行驶车辆的安全管理等方面,引起了广泛关注[1]。全球导航卫星系统(Global navigation satellite system, GNSS)可以为车辆提供连续实时、精度较高的三维位置信息而得到广泛应用。但随着现代化城市的建设,GNSS信号在城市高楼密集区、隧道、地下车库等盲区情况下失锁、丢星而无法单独实现可靠定位,通常采用由GNSS和无线通信等其它系统组成组合导航来实现定位[2]。无线通信系统作为车联网中的重要技术,为车联网提供全方位的网络连接,同时能够实现定位,近年来得到迅速发展。

无线通信系统中传统的3G/4G网络通过计算目标移动台的位置来定位,计算位置时需要用到的定位测量参数来自于对传播于多个基站和移动台之间的定位信号的测量,但是其实际定位精度普遍在100 m [3],无法满足用户定位精度需求。随着技术发展,5G是首个将定位服务作为设计目标之一的移动通信系统,5G在推进车联网技术的腾飞同时,可用于提高无线定位的精度和适用范围[4]。5G毫米波通信可以实现高数据传输速率、低延迟通信,能够获得高精度的波束到达方向,文献[5]分析了毫米波技术对于定位精度的影响,研究结果表明室外环境下存在可视路径时,5G定位能够很好地改善非可视距路径下的定位效果。文献[6]通过联合处理在分布式大规模MIMO基站处获得的观测数据对用户的位置进行定位,结果表明5G定位精度较高。文献[7]将5G与GNSS信号进行组合定位,仿真结果表明,在室内或室内外交界处等多径干扰严重的环境下,组合定位精度能够达到亚米级。随着5G技术发展,车辆导航系统能够结合5G通信实现组合导航的小型化、低成本,在不增加成本的基础上提高定位精度成为研究的趋势。本文通过研究车辆运行中惯性器件,采集到汽车每个时刻的速度及偏转角度信息,通过将此信息返回给用户后与5G通信结合,提出一种基于5G的车载组合导航系统,建立了松组合模式下的5G/车载传感器组合导航系统的状态方程和量测方程,系统中通过汽车自身传感器实时提供车辆姿态信息,与5G系统提供的位置信息通过卡尔曼滤波实现组合导航,满足车联网低成本需求,为车联网的发展提供了基础。

2. 车载自主导航系统

汽车实际行驶过程中会遇到隧道内、建筑物密集的闹市等复杂的地理环境,这种环境下GNSS不能

提供足够精确的位置信息，需要汽车依靠其他方式实现导航[8]。汽车通过 CAN 总线得到的车速传感器采集的汽车速度信息 v 以及通过方向盘角度传感器采集的角度信息 θ ，可以利用位置速度关系，得出每个时刻的位置从而进行导航。

汽车行驶轨迹导航需要考虑汽车运行过程种的速度、航向角，以及汽车进入 GNSS 信号盲区前一个时刻的位置，这个位置将被作为初始位置。通过测量汽车移动过程中的方向盘航向角变化值及汽车运动载体的位移量，来推算下一时刻汽车位置。汽车自主导航算法原理如图 1 所示，设汽车进入 GNSS 信号盲区前为 A 点，位置坐标为 (x_0, y_0) ，速度传感器测得速度为 v_A ，方向盘测得偏航角为 θ_A ，汽车在 GNSS 信号盲区中运行时间 T 到达位置 B 点的坐标为：

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_A \times T \times \theta_A \\ v_A \times T \times \theta_A \end{bmatrix} \quad (1)$$

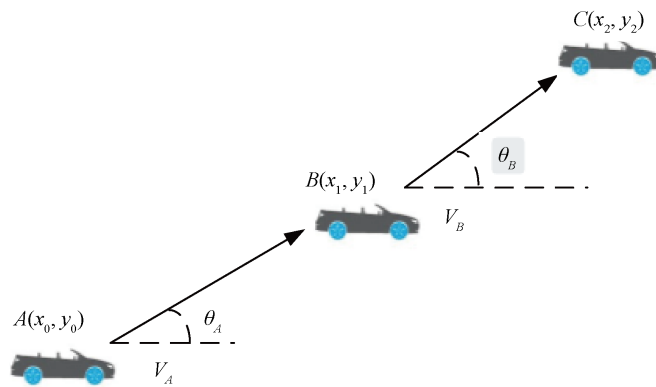


Figure 1. Vehicle autonomous navigation calculation
图 1. 车辆自主导航推算

由上述分析可知，如果汽车在进入 GNSS 信号盲区 t_0 时刻初始位置为 (x_0, y_0) ，则 t_n 时刻的位置 (x_n, y_n) 可由(2)式计算得到：

$$\begin{cases} x_n = x_0 + \sum_{i=1}^{n-1} v_i \cos \theta_i \\ y_n = y_0 + \sum_{i=1}^{n-1} v_i \sin \theta_i \end{cases} \quad (2)$$

式中 v_i 表示车辆运行过程中第 i 个位置的速度信息， θ_i 为车辆运行过程中第 i 个位置的方向盘提供的转向角信息，因此在 GNSS 信号盲区环境中，通过汽车 CAN 总线能够获取车载的速度传感器和方向盘传感器的参数，实现车辆运动行驶轨迹预测。车辆实际运行过程中，由于环境的变化，方向盘提供的角度 θ_i 和速度信息 v_i 变量在每一个时刻 T 都不完全相同，其精度情况决定了车辆的预测轨迹精度。

3. 基于 5G-车载传感器的组合导航系统

3.1. 5G 系统定位原理

5G 时代即将到来，5G 衍生出的大规模 MIMO、超密集网络、毫米波及 D2D 等关键技术将被广泛推广应用。毫米波具有大带宽，定位所需参数如到达时间(Time of Arrival, TOA)等的估计误差的克拉美罗下届小，同时抗干扰能力强。TOA 定位依据测量接收信号在基站和移动台之间的到达时间，然后转换为距离来进行定位[9]。TOA 需要移动台和基站之间严格同步，这将严重影响定位精度。基于信号达到时间差(Time Difference of Arrival, TDOA)通过检测信号到达基站的传播时间差，降低了算法对时间同步要求。

5G 通信中, 通过 TDOA 不仅能够提高测量的精度, 还能够提高多径测量的分辨率。TDOA 定位模型中, 设 A 为待估计的移动台位置坐标 (x, y) , 第 i 个基站的坐标为 $BS_i(x_i, y_i)$, A 点到达各个基站 BS_i 的距离分别是 $d_i (i \in (1, 2, \dots, N))$, 可通过如下公式计算得出[10]:

$$d_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (3)$$

TDOA 通过计算两基站到移动台的时间差, 从而计算出两基站到移动台的距离差, 基站 BS_1 和到其他基站 $BS_i (i \neq 1)$ 的距离差可以由下面的公式求得:

$$d_{i,1} = d_i - d_1 = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} \quad (4)$$

当基站数量大于 3 时, 通过上式联立方程组求解可以得到待测移动台位置坐标。

3.2. 组合导航系统

车载自主导航的角度 θ_i 和速度信息 v_i 精度决定了车辆轨迹预测精度, 但是由于方向盘转角传感器无法保证实时采集的 θ_i 的精度, 不能单独作为一个长航时的导航系统, 因此需要结合其他系统进行组合导航, 本文中提出采用 5G 系统与车载自主导航进行信息融合, 实现组合导航, 从而有效提高系统的导航精度。组合导航中车载自主导航系统辅助 5G 定位实现定位, 选择扩展卡尔曼滤波器[11] (Extended Kalman filter, EKF)实现信息融合, 当车辆导航定位开始时, 车辆自主导航系统处理模块与 5G 处理模块同时工作, 启动测量更新和状态更新的迭代计算, 将 5G 定位系统输出的定位信息与车辆自主导航系统输出的位置信息的误差值作为量测值, 进行扩展卡尔曼滤波组合, 输出的滤波结果作为车辆导航定位的最终数据, 同时扩展卡尔曼滤波的输出作为反馈信息修正车辆自主组合导航, 系统结构如图 2 所示。

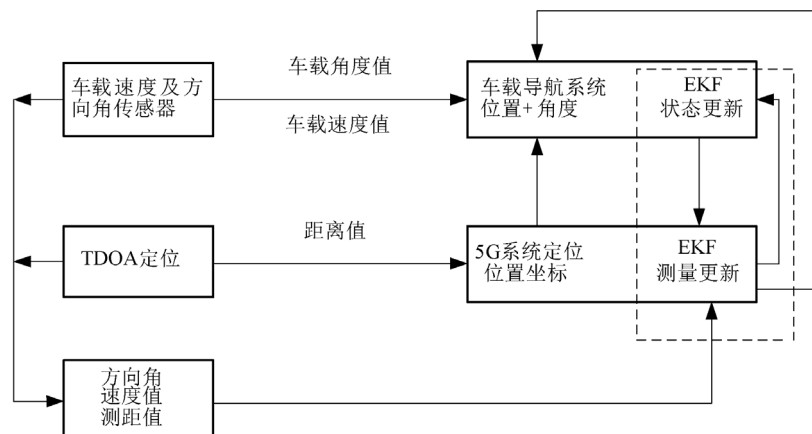


Figure 2. Diagram: integrated navigation system
图 2. 组合导航系统框图

当车辆进入 GPS 或北斗导航系统盲区, 无法解算车辆位置时, 通过 5G 系统与车载传感器的组合导航, 考虑一般的选择扩展卡尔曼滤波器非线性系统:

$$\begin{cases} X_{k+1} = F_k(X_k, k) + W_k \\ Y_k = H_k X_k + V_k \end{cases} \quad (5)$$

式中 F_k 和 H_k 为雅可比矩阵:

$$F_k = \left. \frac{\partial F}{\partial X} \right|_{X=\hat{X}_k^-}, \quad H_k = \left. \frac{\partial H}{\partial X} \right|_{X=\hat{X}_k^-} \quad (6)$$

其中: X_k 为状态量, Y_k 为量测量, W_k 和 V_k 分别为系统的过程噪声和测量噪声。

系统 EKF 的状态量如式(7)所示:

$$X = [\delta_\theta \delta_v \delta_c \delta_t] \quad (7)$$

车辆自主导航系统中, 车速传感器采集的汽车速度信息和方向盘角度传感器采集的角度信息可以与惯性导航系统中的加速度计和陀螺仪功能相似, 可通过加速度计和陀螺仪的状态误差来分析车辆自主导航系统的误差模型[10]中 δ_θ 为陀螺仪误差模型, δ_v 为车辆运行的速度误差模型, δ_c 为移动台和基站的测距误差, δ_t 为移动台接收到基站的时钟偏差。EKF 的量测量为:

$$Y = [\delta_\theta \delta_v \delta_x \delta_y] \quad (8)$$

式中 δ_θ 为方向盘角度传感器采集的角度信息与前一时刻的采集的角度信息差值, δ_v 为车辆的车速传感器采集的汽车速度信息与前一刻采集的汽车速度信息的差值, δ_x, δ_y 为当前时刻车辆自主导航系统解算的定位位置坐标与 5G 系统定位的位置坐标的差值。最后经过测量更新和状态更新的迭代计算, 输出导航定位结果。

4. 系统仿真与结果分析

为了验证组合导航系统性能, 本文通过 matlab 软件对 5G 与车载组合导航系统进行仿真验证。实验中选择三种导航方式进行性能比较: 基于 5G 的定位、基于车载传感器导航以及基于这两种方式的组合导航定位。实验环境为 300 m × 200 m 的视距区域, 车载导航系统中参数设置与文献[8]一致, 5G 定位系统中 4 个定位基站分布在实验环境的四个角落, 设置 5G 通信系统带宽为 20 MHz, 信噪比为 45 的 dB [7], 仿真中规划路径为行走“回”字行路线, 每条边都是直线, 定位结果如图 3 所示, 图中蓝色圆圈表示 5G 微基站的位置坐标, 依据 5G 通信范围设置 4 个基站位置为(0, 0), (0, 200), (300, 200), (300, 0)。

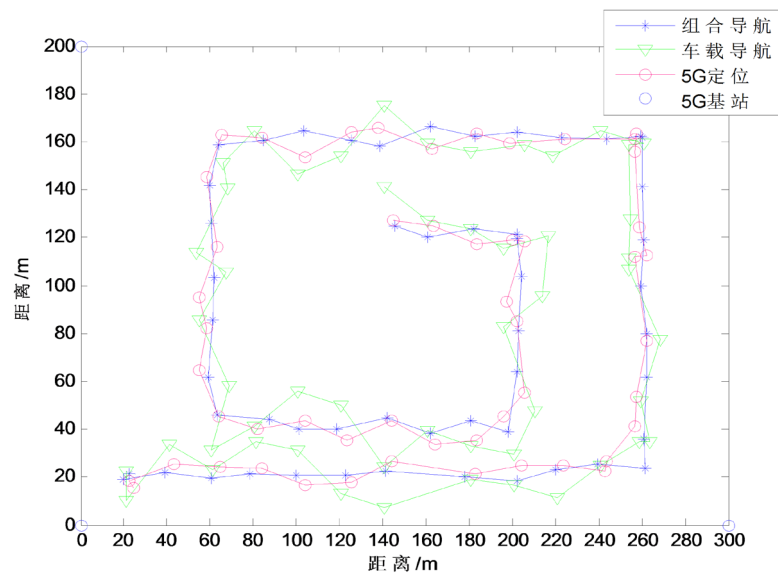


Figure 3. Trajectory simulation

图 3. 运行轨迹仿真

由图 3 仿真运行轨迹所示, 图中红色实线代表 5G 系统定位运动轨迹, 绿色实线代表车载传感器导航定位轨迹, 蓝色实线代表的组合导航定位系统的运行轨迹。从图中轨迹曲线可知, 组合导航系统的运

行轨迹误差最小，接近规划路径；在理想情况下，5G 通过 TDOA 定位有较好的性能，5G 的带宽使测距精度有更多的提升空间定位精度有较好的提高，在车联网应用中有较大的优势；同时由图中曲线可知，车载传感器定位误差最大，相对其他两种定位方式，误差较大。

为了更进一步验证组合导航系统性能，图 4 中给出了车载传感器自主定位、5G 定位和两种方式组合定位的定位轨迹误差比较，图中蓝色实线是组合导航定位误差曲线，绿色曲线是 5G 定位误差曲线，红色实线是车载传感器定位曲线，由图可知组合导航定位系统的误差最小，误差值在 3 米以下，5G 系统定位误差较车辆自主定位误差要小，误差值在 5 米以下，车辆自主定位误差最大，误差值在 8 米以下，由图可知，组合导航系统的性能最优。

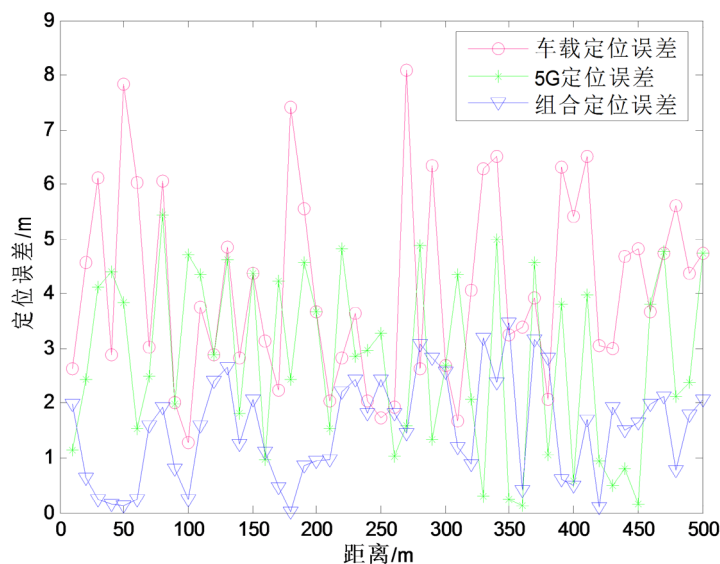


Figure 4. Error result comparison

图 4. 误差结果比较

表 1 中给出了车载导航、5G 定位和两种方式组合进行导航三种方式的定位误差平均值比较。由表中结果可知单一定位方式的定位误差较大，车载导航定位平均误差为 4.715 m，5G 定位系统的平均误差为 2.6963 m，两种方式组合导航定位的平均误差为 1.7813 m，与两种单一定位方式相比，车载传感器导航+5G 的组合导航方式系统性能有了较大提高，定位误差平均值较低。

Table 1. System resulting data of positioning error

表 1. 定位误差数据

定位方式	误差平均值
车载导航	4.715
5G 导航	2.6963
5G + 车载导航	1.7813

5. 总结

车联网技术向着智能化、网联化方向演进并迅速发展，车辆导航一直是车联网发展的关键技术。本文通过构建松组合形式的扩展卡尔曼滤波器，对 5G 系统和车载自主导航系统进行组合定位并通过软件

进行仿真。结果表明,所提出的组合系统充分发挥各自的优势,降低了室外环境中 5G 定位和车载导航系统的自有误差,有效提高了组合系统的定位精度。在未来 5G 系统广泛应用情况下,所研究的组合定位系统具有较高的精度及可用性,具有较好的工程实践价值。

基金项目

浙江省基础公益研究计划资助项目(LGG18F010010)、浙江省重点研发计划项目(项目编号:2019C01070)。

参考文献

- [1] 邱佳慧,陈祎,刘琪.车联网标准化及其演进策略[J].移动通信,2018,42(4):41-47.
- [2] 许扬胤,杨元喜,何海波,等.北斗全球卫星导航系统试验卫星测距信号质量分析[J].武汉大学学报(信息科学版),2018,43(8):1214-1221.
- [3] Wang, J., Ni, D. and Li, K. (2014) RFID-Based Vehicle Positioning and Its Applications in Connected Vehicles. *Sensors*, **14**, 4225-4238. <https://doi.org/10.3390/s140304225>
- [4] 刘雪梅.基于第三代移动通信的蜂窝网无线定位技术的研究[D]:[硕士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2004.
- [5] 程飞,章平,陈新泉,等.5G移动通信系统中协作定位技术展望[J].天津理工大学学报,2020,36(2):45-511.
- [6] Abu-Shaban, Z., Zhou, X., Abhayapala, T., Wymeersch, H., *et al.* (2018) Error Bounds for Uplink and Downlink 3D Localization in 5G Millimeter Wave System. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **17**, 4939-4954. <https://doi.org/10.1109/TWC.2018.2832134>
- [7] 彭友志,田野,张炜程,等.5G/GNSS融合系统定位精度仿真分析[J].厦门大学学报(自然科学版),2020,59(1):101-107.
- [8] 李文娟.车联网中车辆定位及其优化技术研究[D]:[硕士学位论文].南京:南京邮电大学,2013.
- [9] Garcia, N., Wymeersch, H., Larsson, E.G., *et al.* (2017) Direct Localization for Massive MIMO. *IEEE Transactions on Signal Processing*, **65**, 2475-2487. <https://doi.org/10.1109/TSP.2017.2666779>
- [10] 曾焱垚,赵久奋,朱昱.基于TDOA测量的协同导航建模与仿真[J].科学技术与工程,2013,13(9):2513-2516.
- [11] 黄金鹏,尚俊娜,岳克强,等.惯导系统辅助CSS的室内定位方法[J].传感技术学报,2018,31(3):386-393.