

12-13-2019

Cooperative Vehicle Positioning Method based on V2X Enhanced GPS

Jiuling Wang

1. School of Information & Communication Engineering, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100101, China; ;

Shaobo Wu

1. School of Information & Communication Engineering, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100101, China; ;

Yuanli Zhang

2. Communication Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China; ;

Jiahui Qiu

3. Network Technology Research Institute of China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100048, China;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Cooperative Vehicle Positioning Method based on V2X Enhanced GPS

Abstract

Abstract: *In order to further improve the vehicle positioning accuracy and adaptability to the environment, V2X (vehicle to everything) communication network is used for auxiliary positioning to enhance the GPS/DR integrated positioning. Firstly, the three subsystems of GPS, DR and V2X auxiliary positioning independently perform filtering estimation, and then a better estimation from the GPS and V2X auxiliary positioning is selected to conduct global optimal fusion with DR, and finally the three sub-filters are reset with the feedback of the optimal result.* Simulation results show that when the GPS signal is seriously affected by multipath interference, the positioning performance of the method in this paper is improved by 64% and 36%, respectively, compared with the single GPS and GPS/DR integrated positioning, which has higher accuracy and better environmental adaptability than the conventional scheme.

Keywords

integrated navigation, cooperative positioning, filtering estimation, information fusion, V2X

Authors

Jiuling Wang, Shaobo Wu, Yuanli Zhang, Jiahui Qiu, and Liu Qi

Recommended Citation

Wang Jiuling, Wu Shaobo, Zhang Yuanli, Qiu Jiahui, Liu Qi. Cooperative Vehicle Positioning Method based on V2X Enhanced GPS[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(12): 2901-2906.

利用 V2X 增强 GPS 的协同车辆定位方法

王玖玲¹, 吴韶波¹, 张媛利², 邱佳慧³, 刘琪³

(1. 北京信息科技大学信息与通信工程学院, 北京 100101; 2. 西安电子科技大学通信工程学院, 陕西 西安 710071;
3. 中国联通网络技术研究院, 北京 100048)

摘要: 为进一步提高车辆定位精度和对定位环境的适应能力, 利用车联网 (V2X) 通信网络进行辅助定位, 以实现 GPS/DR 组合定位的增强。首先 GPS、DR 和 V2X 辅助定位 3 个子系统独立地进行滤波估计, 然后从 GPS 和 V2X 辅助定位中选择一个较好的估计结果和 DR 进行全局最优合成, 最后以最优合成的结果反馈重置 3 个子滤波器。仿真结果表明, 在 GPS 信号受多径干扰严重的时候, 与单独 GPS 定位和 GPS/DR 组合定位相比, 协同定位方法在性能方面分别提升了 64% 和 36%, 比常规方案有更高的定位精度和更好的环境适应能力。

关键词: 组合导航; 协同定位; 滤波估计; 信息融合; 车联网

中图分类号: TN967.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 12-2901-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-FZ0309

Cooperative Vehicle Positioning Method based on V2X Enhanced GPS

Wang Jiuling¹, Wu Shaobo¹, Zhang Yuanli², Qiu Jiahui³, Liu Qi³

(1. School of Information & Communication Engineering, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100101, China;
2. Communication Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China;
3. Network Technology Research Institute of China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100048, China)

Abstract: In order to further improve the vehicle positioning accuracy and adaptability to the environment, V2X (vehicle to everything) communication network is used for auxiliary positioning to enhance the GPS/DR integrated positioning. Firstly, the three subsystems of GPS, DR and V2X auxiliary positioning independently perform filtering estimation, and then a better estimation from the GPS and V2X auxiliary positioning is selected to conduct global optimal fusion with DR, and finally the three sub-filters are reset with the feedback of the optimal result. Simulation results show that when the GPS signal is seriously affected by multipath interference, the positioning performance of the method in this paper is improved by 64% and 36%, respectively, compared with the single GPS and GPS/DR integrated positioning, which has higher accuracy and better environmental adaptability than the conventional scheme.

Keywords: integrated navigation; cooperative positioning; filtering estimation; information fusion; V2X

引言

智能交通系统是将多种先进技术综合运用于



收稿日期: 2019-05-16 修回日期: 2019-07-12;
基金项目: 北京市教委科技创新服务能力建设项目 (77F1910960);
作者简介: 王玖玲(1995-), 男, 陕西安康, 硕士生, 研究方向为多源信息融合; 吴韶波(1970-), 女, 江苏常熟, 硕士, 副教授, 研究方向为智慧感知与信息处理。

交通运输系统, 从而解决交通安全、交通拥堵和能源消耗等问题^[1]。而在众多面向提高交通效率和安全的应用中, 车辆高精度定位是一项基础性技术。近年来, 基于无线电测距的协同定位^[2]被认为是一种能进一步提高车辆导航中全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 和航迹推算系统 (Dead Reckoning, DR) 定位精度和可靠性

的方法。车辆协同定位是指目标车辆与邻近车辆或基础设施通过 V2V (Vehicle to Vehicle)、V2I (Vehicle to Infrastructure) 通信交换位置信息, 通过测量信号的 RSSI、TOA、TDOA 等指标获得目标车辆与邻近车辆的相对距离或角度, 进而确定目标车辆位置的方法^[3]。

在车辆组合定位方面, 学者们展开了一些研究, 文献[4]中提出了一种改进的平方根无迹卡尔曼滤波 (Square root unscented Kalman Filter, SRUKF) 算法融合 GPS/DR 的定位方法, 提高了计算效率。文献[5]研究了采用交互式多模型扩展卡尔曼滤波融合 GPS 和专用短程通信 (DSRC) 信号多普勒频移数据的定位方法。文献[6]针对无线测距过程中频繁地交换大量距离信息会造成信道堵塞的问题提出了一种优化算法。文献[7]中同时利用 V2I 信号的到达时间和到达角采用扩展卡尔曼滤波以估计车辆的位置。文献[8]研究了在车联网环境下利用 V2V 通信结合雷达、摄像头等传感器的定位问题。这些研究的关注点在于改善定位过程中某一个环节或定位解算的方法, 没有综合考虑多种影响定位性能的因素。

为了提高定位精度、环境适应能力和容错性, 本文利用车联网技术进行无线测距实现 V2X 辅助定位, 并在 GPS 信号质量恶化时将 V2X 和 DR 定位进行融合以保证定位连续性; 在对车辆运动状态建模时, 所采用的当前统计模型能自适应地调节系统参数; 融合算法采用联邦卡尔曼滤波, 针对各子系统的特点采用不同的子滤波器并使用融合-反馈模式以兼顾计算效率和容错性, 最终实现连续、稳定和较高精度的实时车辆定位。

1 V2X 定位原理

在协同定位中, 车辆和路边基础设施都可以作为辅助定位的节点, 目标车辆利用 LTE-V-direct^[9] 技术通过 V2V 或 V2I 通信的方式收集两类信息: 辅助定位节点的位置和目标车辆与定位节点之间的相对距离。车辆节点的位置可通过多种定位方式

获得; 基础设施节点的位置可通过更精确的测量方式预先测定; 而两个节点间的距离可通过测量 V2V 或 V2I 通信信号传输时延来获得。IEEE802.15.4a 中的双向测距方法 (Two Way Ranging, TWR) 可以实现目标车辆与定位节点间的距离测量^[10], 一个典型的协同定位场景如图 1 所示。

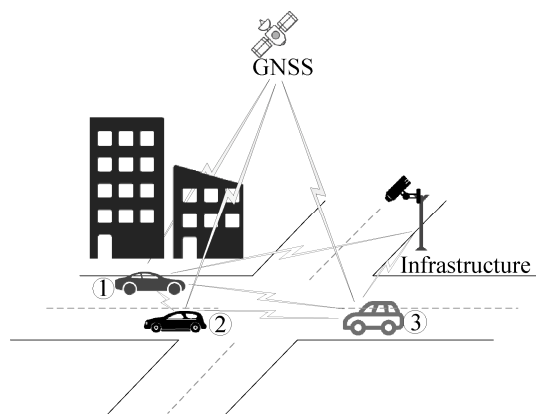


图 1 车辆协同定位场景

Fig. 1 Cooperative positioning scenario

1 号车辆由于高楼的遮挡, 无法接收到卫星信号导致 GNSS 定位失效, 2 号和 3 号车辆对卫星信号的观测环境较好其定位精度较高, 且路边基础设施的位置已知。此时 1 号车辆将作为目标车辆, 2 号、3 号车辆和基础设施作为辅助 1 号车辆定位的节点, 目标车辆获取这些辅助定位节点的位置和距离信息从而帮助自身精确定位。假设车辆在二维平面内行驶, 忽略高度上的变化, 以目标车辆和定位节点之间的距离作为观测量, 理想情况下车辆位置坐标可通过解方程组(1)获得。

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \dots \\ d_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} \\ \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2} \\ \dots \\ \sqrt{(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: (x, y) 为目标车辆的位置坐标; (x_k, y_k) , $(k=1, 2, \dots, N)$ 为节点 k 的坐标; N 为当前可辅助定位的节点总数, 在二维平面内可用于辅助定位的节点数量应满足 $N \geq 3$; d_k 为目标车辆与辅助定位节点 k 之间的距离。实际上由于测量误差的存在很

难得到 (x, y) 的精确解, 可利用 Taylor 级数对方程线性化, 通过多次迭代直到位置坐标满足某一精度标准为止, 也可利用 Kalman 滤波、最小二乘等方法估计位置坐标。

2 融合定位算法

在车辆组合定位中大多使用 Kalman 滤波器来融合多个不同类型传感器的数据^[11]。根据融合结构可将滤波器分为集中式滤波和分散式滤波两类, 集中式滤波只用一个滤波器处理所有子系统的信息, 理论上能得到状态的最优估计, 但是计算量随状态向量维数 3 次方增加, 难以保证系统的实时性。分散式滤波根据各个子系统的特点分别设置独立的局部滤波器, 然后在主滤波器中对局部滤波器的估计结果进行融合, 其特点是设计灵活、计算量小、容错性好。本文采用分散式滤波的思想, 滤波器结构如图 2 所示。

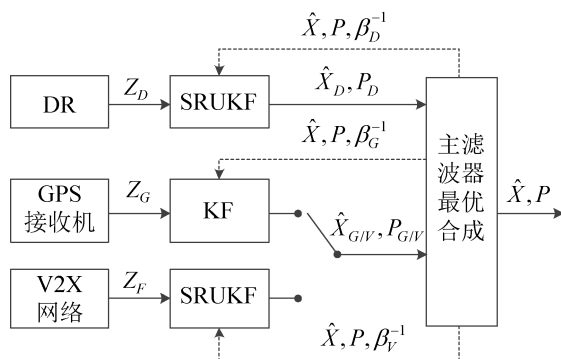


图 2 滤波器结构
Fig. 2 Filter structure

DR、GPS 和 V2X 辅助定位子系统各对应一个局部滤波器, 其中 GPS 子系统采用标准卡尔曼滤波器(KF), DR 和 V2X 子系统采用 SRUKF。每个局部滤波器都只处理对应子系统的数, 然后从 GPS 和 V2X 局部滤波器中选择一个较好的估计结果, 将其和 DR 的估计结果一起送入主滤波器进行数据融合从而得到全局最优的估计值。全局最优估计值和估计误差协方差矩阵再被反馈到子滤波器中重置自滤波器的估计结果, 这种融合-反馈机制能有效提高定位精度和容错性。

采用当前统计模型^[12]描述车辆运动状态的变化过程, 取系统状态变量为 $\mathbf{X}=[e \ v_e \ a_e \ n \ v_n \ a_n]^T$, 其中 e, v_e, a_e 分别表示东向位置、速度和加速度, n, v_n, a_n 表示北向位置、速度和加速度。离散系统状态方程为

$$\mathbf{X}_k = \phi_{k,k-1} \mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{U}(k) + \mathbf{W}(k) \quad (2)$$

2.1 子滤波器估计

对于 GPS 子系统, 将 GPS 输出的东向位置和北向位置作为观测量, 其量测方程为

$$\mathbf{Z}_G(k) = \mathbf{H}\mathbf{X}(k) + \mathbf{V}_1(k) \quad (3)$$

式(3)中

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{V}_1(k) = \begin{bmatrix} v_e(k) \\ v_n(k) \end{bmatrix} \quad \mathbf{R}(k) = \begin{bmatrix} \sigma_e^2 & 0 \\ 0 & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: \mathbf{H} 为量测矩阵; $\mathbf{V}_1(k)$ 为量测噪声向量; v_e, v_n 分别为 GPS 东向、北向位置的量测噪声且互不相关, 分布近似为 $(0, \sigma_e^2), (0, \sigma_n^2)$ 的高斯白噪声, $\mathbf{R}(k)$ 为量测噪声方差矩阵。GPS 系统的状态方程和量测方程都是线性的, 可用标准卡尔曼滤波进行状态估计, 更新过程如下:

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{X}}_{k,k-1} = \phi_{k,k-1} \hat{\mathbf{X}}_{k-1} + \mathbf{U}_{k-1} \\ \hat{\mathbf{X}}_k = \hat{\mathbf{X}}_{k,k-1} + \mathbf{K}[\mathbf{Z}_G(k) - \mathbf{H}\hat{\mathbf{X}}_{k,k-1}] \end{cases} \quad (6)$$

对于 DR 子系统, 以角速率陀螺仪输出的角度和里程计在一个采样间隔内输出的距离作为观测量, 其量测方程为

$$\mathbf{Z}_D(k) = \mathbf{hd}(\mathbf{X}_k) + \mathbf{V}_2(k) \quad (7)$$

式(7)中

$$\mathbf{hd}(\mathbf{X}_k) = \begin{bmatrix} \frac{v_n(k)a_e(k) - v_e(k)a_n(k)}{v_e^2(k) + v_n^2(k)} \\ T\sqrt{v_e^2(k) + v_n^2(k)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\mathbf{V}_2(k) = \begin{bmatrix} v_\omega \\ v_\phi \end{bmatrix} \quad \mathbf{R}_2(k) = \begin{bmatrix} \sigma_\omega^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\phi^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中: $\mathbf{hd}(\mathbf{X}_k)$ 为量测过程的非线性函数; $\mathbf{V}_2(k)$ 为量测噪声向量; v_ω, v_ϕ 分别为陀螺仪、里程计量测噪声且互不相关, 分布近似为 $(0, \sigma_\omega^2), (0, \sigma_\phi^2)$ 的高斯白噪声; $\mathbf{R}_2(k)$ 为量测噪声方差矩阵。DR 系

统的量测方程是非线性的, 采用 SRUKF 进行状态估计, 具体计算方法见文献^[4], 递推过程如下:

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{X}}_{k,k-1} = \phi_{k,k-1} \hat{\mathbf{X}}_{k-1} + \mathbf{U}_{k-1} \\ \hat{\mathbf{X}}_k = \hat{\mathbf{X}}_{k,k-1} + \mathbf{K}[\mathbf{Z}_D(k) - \hat{\mathbf{Z}}_{k,k-1}] \end{cases} \quad (10)$$

对于 V2X 子系统, 以目标车辆和辅助定位节点之间的相对距离作为观测值, 其量测方程为

$$\mathbf{Z}_V(k) = \mathbf{h}_V(\mathbf{X}_k) + \mathbf{V}_3(k) \quad (11)$$

式(11)中

$$\mathbf{h}_V(\mathbf{X}_k) = \begin{bmatrix} \sqrt{(x_1 - e)^2 + (y_1 - n)^2} \\ \sqrt{(x_2 - e)^2 + (y_2 - n)^2} \\ \dots \\ \sqrt{(x_N - e)^2 + (y_N - n)^2} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\mathbf{V}_3(k) = [v_1 \quad v_2 \quad \dots \quad v_N]^T \quad (13)$$

$$\mathbf{R}_3(k) = \text{diag}(\sigma_1^2, \sigma_1^2, \dots, \sigma_N^2) \quad (14)$$

式中: $\mathbf{h}_V(\mathbf{X}_k)$ 为量测非线性函数; $\mathbf{V}_3(k)$ 为量测噪声向量; $v_i (i=1, 2, \dots, N)$ 为目标车辆与第 i 个节点间的距离量测噪声, 且噪声不相关, 近似为 $(0, \sigma_i^2)$ 的高斯白噪声; N 为可用于辅助定位的节点总数, $\mathbf{R}_3(k)$ 为量测噪声方差矩阵。V2X 子系统的量测方程也是非线性的, 滤波计算过程同 DR 子系统。

2.2 主滤波器估计

由于估计误差方差矩阵主对角线元素反映了状态向量各元素的估计方差, 所以在 3 个子滤波器得到各自局部最优估计之后, 可以将估计误差方差矩阵的迹作为比较估计性能优劣的依据。从 GPS 和 V2X 子滤波器中选择较好的估计结果将其和 DR 的估计值以及误差方差矩阵传递到主滤波器中进行最优合成, 合成方法如下:

$$\begin{cases} \mathbf{P} = (\mathbf{P}_{G/V}^{-1} + \mathbf{P}_D^{-1})^{-1} \\ \hat{\mathbf{X}}_k = \mathbf{P} [\mathbf{P}_{G/V}^{-1} \hat{\mathbf{X}}_{G/V(k)} + \mathbf{P}_D^{-1} \hat{\mathbf{X}}_{D(k)}] \\ \mathbf{Q} = (\mathbf{Q}_{G/V}^{-1} + \mathbf{Q}_D^{-1})^{-1} \end{cases} \quad (15)$$

式中: $\hat{\mathbf{X}}_k$, \mathbf{P} 和 \mathbf{Q} 分别是全局最优状态估计、估计误差方差矩阵和过程噪声方差矩阵, 下标 G/V , D 分别表示 GPS 系统或 V2X 辅助定位系统、DR 系统。主滤波器完成最优合成之后, 以 $\hat{\mathbf{X}}_k$, \mathbf{P} 和

\mathbf{Q} 对子滤波器进行信息反馈。

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{X}}_{i(k)} = \hat{\mathbf{X}}_{i(k)} \\ \mathbf{P}_{i(k)} = \beta_i^{-1} \mathbf{P}_k, i = G, D, V \\ \mathbf{Q}_{i(k)} = \beta_i^{-1} \mathbf{Q}_k \\ \beta_{G/V} + \beta_D = 1 \end{cases} \quad (16)$$

式中: β_G , β_D , β_V 为 3 个子滤波器的信息分配系数, 采用融合-反馈模式, 主滤波器分配系数为 0, 由于在全局最优估计时只合成了两个子滤波器的数据, 所以子滤波器信息分配系数为 0.5。

3 仿真结果与分析

为验证组合定位方法的性能, 设定目标车辆机动参数为: $\tau_{ae} = \tau_{an} = 0.1 \text{ s}^{-1}$, 以 36 km/h (10 m/s) 的速度向东行驶, 加速度噪声 $\sigma_{ae} = \sigma_{an} = 0.3 \text{ m/s}^2$, 最大机动加速度 $a_M = 10 \text{ m/s}^2$ 。假设车载 GPS 在定位环境较好的情况下误差标准差为 $\sigma_e = \sigma_n = 15 \text{ m}$, 在受到多径干扰和遮挡的时候为 $\sigma_e = \sigma_n = 50 \text{ m}$ 。陀螺仪和里程计测量噪声标准差分别为 $\sigma_\omega = 0.005 \text{ rad/s}$ 和 $\sigma_\phi = 0.1 \text{ m}$ 。目标车辆与辅助定位节点 i 都有 V2X 通信和无线测距模块并且不考虑非视距的影响, 距离测量误差为零均值标准差为 $\sigma_i = 3 \text{ m}$ 的高斯白噪声。为减小计算量设定用于辅助定位的车辆数 $N = 4$, 并以 36 km/h 速度向东行驶, 车辆间距为 30 m。采样间隔 0.2 s, 采样点数为 300, Monte Carlo 仿真次数为 300。

为了检验 GPS/DR/V2X 组合定位方法的性能, 以均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)作为仿真统计指标, 比较了单独的 GPS 定位、GPS/DR 组合定位和 GPS/DR/V2X 协同定位 3 种方式在 GPS 无多径干扰和有多径干扰情况下位置估计的 RMSE, 仿真结果分别如图 3~4 所示。从图 3~4 中可以看出 GPS 单独定位效果最差, GPS/DR 组合定位方式能提高定位精度, 而协同定位方法则能进一步地提高定位性能。在 GPS 信号无多径干扰的时候, 单独 GPS 定位精度在 5 m 左右, 采用 V2X 的协同定位方法精度能达到 2 m, 而在 GPS 信号受

到多径干扰以后, 3 种定位方式的精度都有所下降, 单独 GPS 定位误差已达到 12 m 左右了, 但协同定位方法在一段时间内定位结果还可以保持较高的精度水平, 有效避免了 GPS 信号受多径干扰严重时导致定位失效的问题。

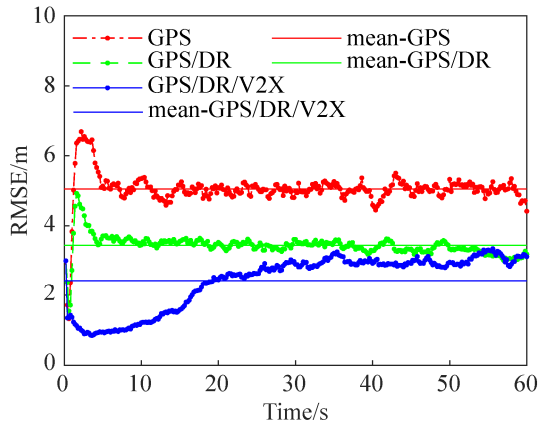


图 3 无多径干扰时位置估计 RMSE

Fig. 3 RMSE of position estimation without multipath interference

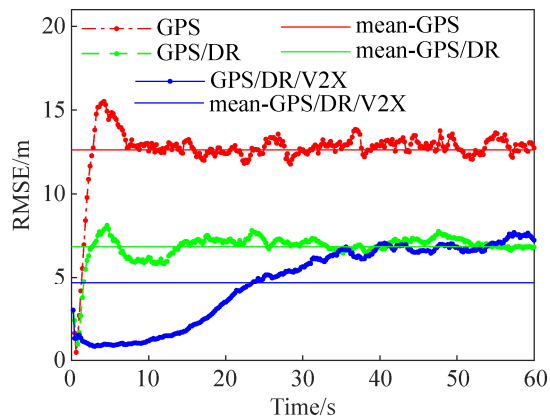


图 4 有多径干扰时位置估计 RMSE

Fig. 4 RMSE of position estimation with multipath interference

式(17)定义了性能提升率作为评价定位性能改善程度的指标, 其值为正则说明方式 A 相较于 B 性能得到改善, 而且值越大代表改善程度越高, 反之则表明性能恶化。

$$\eta = 1 - \frac{RMSE_A}{RMSE_B} \times 100\% \quad (17)$$

协同定位方法相对于单独 GPS 定位和 GPS/DR 组合定位在无多径干扰和有多径干扰情

况下的性能比较如表 1。数据显示在无多径干扰时, 协同定位方法相比于 GPS 单独定位和 GPS/DR 组合定位性能分别提升了 51% 和 28%, 而在 GPS 信号受多径干扰严重的时候定位性能分别提升了 64% 和 36%。说明融入了 V2X 的协同定位方法能明显提高定位精度, 尤其是在 GPS 信号质量恶化的时候作用更加显著, 也体现了协同定位方法对定位环境的适应性。

表 1 GPS/DR/V2X 协同定位性能提升率
Tab. 1 GPS/DR/V2X co-positioning performance improvement rate

定位方式	无多径干扰	有多径干扰	性能提升率/%
	mean-RMSE/m	mean-RMSE/m	
GPS	5.10	12.45	51/64
GPS/DR	3.50	7.02	28/36
GPS/DR/V2X	2.52	4.52	None

为了进一步检验协同定位方法的性能, 对有反馈方式和无反馈方式的协同定位方法的性能进行了比较, 结果如图 5 所示, 有反馈方式的 RMSE 明显小于无反馈方式, 说明这种融合-反馈机制能提高系统的容错性进而改善协同定位系统精度。

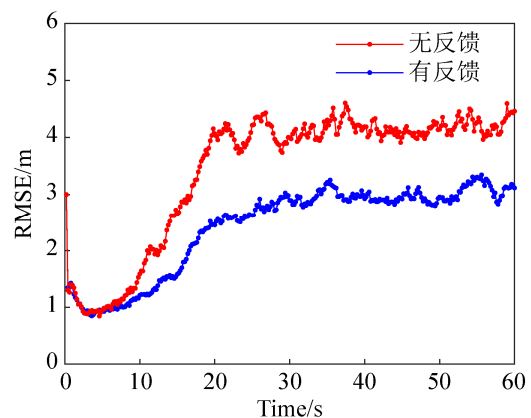


图 5 反馈对定位性能的影响

Fig. 5 The impact of feedback on positioning performance

4 结论

本文主要针对在车辆定位中 GPS 信号质量不佳的情形, 提出了利用 V2X 通信实现车辆协同定

位的方法。采用当前统计模型描述车辆运动, 能动态自适应地调节系统参数, 提高了定位系统的适应性。仿真结果表明当 GPS 信号质量恶化时, 选择 V2X 辅助定位结果和 DR 进行融合能显著增强定位系统的稳定性和定位连续性。与单独 GPS 定位和 GPS/DR 组合定位方式相比, 协同定位方法在定位性能方面分别提升了 64% 和 36%, 有效避免了 GPS 信号受到严重多径干扰时车辆定位失效的问题, 具有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] SINGH I, LEE S W. Self-adaptive Requirements for Intelligent Transportation system: A Case Study[C]. Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju Island, Korea: IEEE, 2017: 520-526.
- [2] Alam N, Dempster A G. Cooperative Positioning for Vehicular Networks: Facts and Future[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (S1524-9050), 2013, 14(4): 1708-1717.
- [3] Parker R, Valae S. Vehicular Node Localization Using Received-Signal-Strength Indicator[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology (S0018-9545), 2007, 56(6): 3371-3380.
- [4] 杨静, 郑南宁. 一种基于 SR-UKF 的 GPS/DR 组合定位算法[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(3): 721-725.
Yang Jing, Zheng Nanning. Integrated Positioning Algorithm for GPS/DR Based on SR-UKF[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(3): 721-725.
- [5] Yao J, Balaei A T, Hassan M, et al. Improving Cooperative Positioning for Vehicular Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology (S0018-9545), 2011, 60(6): 2810-2823.
- [6] Tian D X, Liu W H, Duan X T. A Vehicular Positioning Enhancement with Connected Vehicle Assistance Using Extended Kalman Filtering[C]. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, Beijing, China: Springer Verlag, 2017: 597-608.
- [7] Zhang R, Yan F, Shen L F. A Vehicle Positioning Method Based on Joint TOA and DOA Estimation with V2R Communications[C]. IEEE Vehicular Technology Conference, Sydney, Australia: IEEE, 2017.
- [8] Sanghyuck N, Danhee L, Jaehwan L, et al. CNVPS: Cooperative Neighboring Vehicle Positioning System Based on Vehicle-to-Vehicle Communication[J]. IEEE Access (S2169-3536), 2019, 7(1): 16847-16857.
- [9] Chen S Z, Hu J L, Yan S, et al. LTE-V: A TD-LTE-Based V2X Solution for Future Vehicular Network[J]. IEEE Internet of Things Journal (S2327-4662), 2016, 3(6): 997-1005.
- [10] Cui X R, Gulliver T A, Song H B. Real-Time Positioning Based on Millimeter Wave Device to Device Communications[J]. IEEE Access (S2169-3536), 2016, 4(8): 5520-5530.
- [11] Yang X Y, He H. GPS/DR Integrated Navigation system based on Adaptive Robust Kalman Filtering[C]. 2008 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings (ICMMT), Nanjing, China: IEEE Computer Society, 2008: 1946-1949.
- [12] Zhou H R, Kumar K S P. Current' Statistical Model and Adaptive Algorithm for Estimating Maneuvering Targets[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics (S0731-5090), 1984, 7(5): 596-602.