



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115932923 A
(43) 申请公布日 2023. 04. 07

(21) 申请号 202211710699.1

(22) 申请日 2022.12.29

(71) 申请人 浙江工业大学

地址 310014 浙江省杭州市拱墅区潮王路
18号

(72) 发明人 张文安 彭龙瑞 张亚 史秀纺
杨旭升 付明磊

(74) 专利代理机构 杭州浙科专利事务所(普通
合伙) 33213

专利代理师 汤明

(51) Int. Cl.

G01S 19/44 (2010.01)

G01S 19/37 (2010.01)

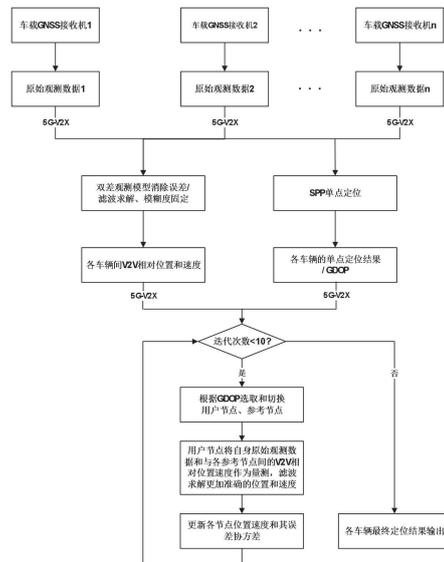
权利要求书5页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,车辆搭载的GNSS接收机接收卫星的原始观测值,利用车载通讯设备向周围的车辆传送自身的GNSS观测值,同时接收来自周围车辆的GNSS观测值,实现车辆间的GNSS信息交互。通过建立车间双差模型,消除卫星钟差、接收机钟差、电离层延迟、对流层延迟等误差,通过固定车间双差整周模糊度得到各车辆间的V2V相对位置速度,车辆间共享接收机单点定位结果和求得的V2V相对位置速度,经协作定位算法得到较单点定位更准确的绝对位置。



1. 一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤S1:各车辆利用车载GNSS接收机接收GNSS原始观测数据;

步骤S2:各车辆利用搭载的通讯设备向周围的车辆传送自身的GNSS观测值,同时接收来自周围车辆的GNSS观测值;

步骤S3:针对某一台车辆,当其接收到来自周围车辆GNSS观测值时,通过建立V2V双差观测模型消除误差,得到V2V双差观测值;

步骤S4:在当前历元,基于V2V双差观测模型,应用扩展Kalman滤波得到相对位置和速度的浮点解;通过固定双差整周模糊度得到固定解,即该历元下V2V相对位置和速度,求得所有车辆之间的V2V相对位置和速度并在车间共享;

步骤S5:各车辆利用原始观测数据对自身做单点定位SPP,同时利用粗差检测剔除计算过程中残差较大的卫星,得到粗略的绝对位置、速度和几何精度因子GDOP,GDOP值反映单点定位的不确定性,各车辆间共享单点定位结果及GDOP;

步骤S6:开始第一轮定位,按照GDOP从高到低排序,首先选择位置不确定性最大,即GDOP值最大的车辆节点作为优先定位的用户节点,其余节点作为用户节点的参考节点;利用用户节点和各参考节点间的V2V相对位置和速度作为约束,结合参考节点自身的GNSS原始观测信息滤波求解得到用户节点更准确的绝对位置和速度;按GDOP从高到低的排序,其余节点依次作为用户节点,更新各节点的位置速度并共享;

步骤S7:第一轮定位后,所有节点的位置和速度估计作为下一轮迭代的初值,更新所有车辆节点的位置和速度;每完成一轮迭代之后,所有节点的位置估计精度都将有所提高,故每轮迭代结束后将各节点的位置和速度误差协方差适当降低,以逐渐减少对自身GNSS观测数据信任程度,而更加相信参考节点的信息;经若干次迭代,即可有效提高各车辆的定位精度,得到较单点定位更准确的位置和速度。

2. 根据权利要求1所述的一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,其特征在于,所述步骤S1中,GNSS原始观测数据包括伪距观测值、载波相位观测值、多普勒观测值以及卫星星历,融合观测方程可表示如下:

$$\begin{cases} P_r^s = \rho_r^s + c\delta t_r - c\delta t^s + I_r^s + T_r^s + \varepsilon_p \\ \Phi_r^s = \rho_r^s + c\delta t_r - c\delta t^s - I_r^s + T_r^s + \lambda N_r^s + \varepsilon_\phi \\ D_r^s = -(\dot{p}_r^s + c\delta \dot{t}_r - c\delta \dot{t}^s - \dot{I}_r^s + \dot{T}_r^s + \varepsilon_D) \end{cases}$$

其中,r表示接收机,s表示卫星, P_r^s 为伪距观测值, Φ_r^s 为以米为单位的载波相位观测值, D_r^s 为多普勒观测值, ρ_r^s 为卫星s到接收机r的真实几何距离,c为光速, δt_r 为接收机钟差, δt^s 为卫星钟差, I_r^s 为电离层延迟误差, T_r^s 为对流层延迟误差, ε_p 、 ε_ϕ 、 ε_D 为伪距、载波相位、多普勒的观测噪声, λ 为载波波长, N_r^s 为载波相位整周模糊度。

3. 根据权利要求1所述的一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,其特征在于,所述步骤S2中,各车辆的通讯装置采用基于5G的车联网技术5G-V2X;所述步骤S7中,迭代次数设置为n次,第x,x<n轮迭代结束后将参考节点的位置误差协方差调整为初始协方差的1/x。

4. 根据权利要求1所述的一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,其特征在

于,所述步骤S3中,参与运算的原始GNSS观测值有载波相位和伪距,而这两种观测量均是对距离的一阶观测量,对于速度变化的估计误差将上升到原观测误差的 $\sqrt{2}$ 倍;当运动载体变速特征显著,将带来较大的模型误差,造成估计精度降低;针对这一问题,将多普勒观测量用于载波相位的定位解算,建立V2V双差观测模型,V2V双差观测值包括双差伪距观测值、双差载波相位观测值、双差多普勒观测值,公式如下:

$$\begin{cases} \nabla\Delta P_{ij}^{pq} = \nabla\Delta\rho_{ij}^{pq} + \nabla\Delta\varepsilon_{ij,P}^{pq} \\ \nabla\Delta\Phi_{ij}^{pq} = \nabla\Delta\rho_{ij}^{pq} + \lambda\nabla\Delta N_{ij}^{pq} + \nabla\Delta\varepsilon_{ij,\Phi}^{pq} \\ \nabla\Delta D_{ij}^{pq} = -(\nabla\Delta\dot{\rho}_{ij}^{pq} + \nabla\Delta\varepsilon_{ij,D}^{pq}) \end{cases}$$

其中,i,j表示两相邻车辆上的接收机,p,q表示两颗不同的卫星, $\nabla\Delta$ 为双差符号, $\nabla\Delta P_{ij}^{pq}$ 、 $\nabla\Delta\Phi_{ij}^{pq}$ 、 $\nabla\Delta D_{ij}^{pq}$ 分别为双差伪距观测值、双差载波相位观测值、双差多普勒观测值, $\nabla\Delta\rho_{ij}^{pq}$ 表示卫星p,q在两台接收机i,j间的双差几何距离, $\nabla\Delta N_{ij}^{pq}$ 为双差载波相位整周模糊度, $\nabla\Delta\varepsilon_{ij,P}^{pq}$ 、 $\nabla\Delta\varepsilon_{ij,\Phi}^{pq}$ 、 $\nabla\Delta\varepsilon_{ij,D}^{pq}$ 分别表示双差伪距观测值噪声、双差载波相位观测值噪声和双差多普勒观测值噪声。

5.根据权利要求1所述的一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,其特征在于,所述步骤S4中,设两相邻车辆上的接收机i,j的共视卫星为m颗,卫星1为参考星,Kalman滤波状态参数分别为V2V相对位置、V2V相对速度以及双差模糊度,记为 $x = [\Delta r \ \Delta v \ N_{ij}^{21} \ N_{ij}^{31} \ \dots \ N_{ij}^{(m-1)1}]^T$ 其偏导矩阵记为H,Kalman量测向量记为 $y = [\nabla\Delta P_{ij}^{21} \ \nabla\Delta\Phi_{ij}^{21} \ \nabla\Delta D_{ij}^{21} \ \dots \ \nabla\Delta P_{ij}^{(m-1)1} \ \nabla\Delta\Phi_{ij}^{(m-1)1} \ \nabla\Delta D_{ij}^{(m-1)1}]^T$ 可得Kalman滤波观测方程 $y = H\tilde{x} + w$,w为量测噪声且服从高斯分布 $w \sim N(0, R)$,R为量测噪声w的协方差矩阵;利用扩展Kalman滤波EKF解算得到模糊度参数和其他参数的浮点解X及其对应的协方差矩阵Q,

$X = \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix}$ $Q = \begin{bmatrix} Q_{\hat{a}} & Q_{\hat{a}\hat{b}} \\ Q_{\hat{b}\hat{a}} & Q_{\hat{b}\hat{b}} \end{bmatrix}$ 其中 \hat{a} 表示n个双差模糊度参数的浮点解, \hat{b} 表示基线向量坐标增量的浮点解。

6.根据权利要求1所述的一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,其特征在于,所述步骤S4中,针对全模糊度固定算法难以固定所有模糊度的问题,在LAMBDA算法基础上采用基于模糊度固定成功概率的子集选取方法的部分模糊度算法,降低模糊度维数,减小模糊度搜索的空间,提高模糊度固定率和定位可靠性;将原空间的浮点模糊度和方差作为输入,利用LAMBDA算法中的降相关过程将原始空间的模糊度及其方差转换为新空间内的模糊度矢量和对应的协方差矩阵: $\hat{z} = Z^T \hat{a}$ $Q_{\hat{z}} = Z^T Q_{\hat{a}} Z$,式中 Z^T 为降相关矩阵,计算模糊度固定成功率,公式如下:

$$\begin{cases} P = \prod_{i=n-k}^n (2\Phi(\frac{1}{2\sigma_{i|l}}) - 1) > P_0 \\ \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{1}{2}y^2) dy \end{cases}$$

其中,k为向量 \hat{z} 中满足上式的最大模糊度个数, $\sigma_{i|l}$ 表示为模糊度搜索时第i次搜索的

条件方差的均方根,由对角矩阵D,D为 Q_z 的Cholesky分解因子,得到,预设一个成功率阈值 P_0 ,依次选择最小方差的模糊度参数,计算相应的累积成功率P,直到大于成功阈值 P_0 或者所有的模糊度参数都满足要求;根据此步骤从降相关后的向量 \hat{z} 中挑选符合要求的 $n-i+1$ 个模糊度的子集,利用LAMBDA算法中的搜索过程固定该 $n-i+1$ 个模糊度参数;根据前 i 个模糊度参数与后 $n-i+1$ 个模糊度参数之间的相关性,即利用对应的协方差阵调整前 i 个参数,得到模糊度的固定解 \tilde{a} ;通过 $\tilde{b}=\hat{b}-Q_{\tilde{b}\tilde{a}}Q_{\tilde{a}}^{-1}(\hat{a}-\tilde{a})$ 获得最后的坐标固定解,式中 \tilde{b} 为基线固定解,即得到该历元下车辆 i,j 的V2V相对位置和速度 $\Delta r_{ij}\Delta v_{ij}$,其误差为 $\varepsilon_{\Delta r_{ij}}\varepsilon_{\Delta v_{ij}}$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,其特征在于,所述步骤S5中,车辆在城市峡谷等恶劣观测条件下行驶时受遮挡和多径效影响导致观测值噪声大,若直接使用会对定位结果产生影响,针对此问题对伪距进行粗差检测,在单点定位中采用卡方检验的方法检测并剔除残差较大的卫星;在卡方检验中,每颗卫星的观测残差统计量可表示为: $x^2=V_z^T(H_k P_{k/k-1} H_k^T+R_k)V_z$

其中, V_z 表示当前历元的某颗卫星的残差, H_k 为滤波的设计矩阵, $P_{k/k-1}$ 为待估参数的协方差矩阵, R_k 为观测噪声矩阵;在 $\alpha=0.01/n$ 置信区间内, n 表示当前历元的可用卫星数,依次对每颗卫星进行卡方检验,如果其中某颗卫星的 x^2 超过设定的阈值,则将其标记成粗差并剔除。

8. 根据权利要求1所述的一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,其特征在于,所述步骤S5中,单点定位求解的基本思想是利用单台接收机的伪距和伪距率作为观测,采用Kalman滤波估计接收接收机的位置和速度,对接收机 i ,状态向量为: $x_i=[r_i\ v_i\ \delta t_i\ \delta i_i]^T$,其中, $r_i\ v_i$ 为接收机 i 的位置和速度, $\delta t_i\ \delta i_i$ 为接收机 i 的钟差和钟漂;其

系统运动方程为 $x_{i,k}=F_{k/k-1}^i x_{i,k-1}+W_{k-1}$,其中, $F_{k/k-1}^i=$

$$\begin{bmatrix} I_3 & I_3 \cdot \Delta t & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{3,3} & I_3 & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 1 & \Delta t \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

为状态转移矩

阵,其中 I_3 表示 3×3 单位矩阵, Δt 表示时间间隔,数字下标1,3表示行数和列数; W_{k-1} 为系统噪声;量测为各车辆的伪距观测量和伪距率观测量,伪距率由多普勒观测量求得,

$$\dot{\hat{P}}_i^p = -D_i^p \cdot \lambda, \text{ 即: } \begin{cases} \tilde{P}_i^p = h_p(x_i, s^p) + \varepsilon_p \\ \dot{\tilde{P}}_i^p = h_{\dot{p}}(x_i, s^p) + \varepsilon_{\dot{p}} \end{cases}$$

其中 $s^p=[r^p\ v^p]$ 为卫星 p 的位置、速度,可通过卫星星历求得, h_p 为伪距量测函数: $h_p(x_i,$

$$s^p)=r^p-r_i+\delta t_i, h_{\dot{p}}$$

为伪距率量测函数: $h_{\dot{p}}(x_i, s^p)=\left(\frac{r^p-r_i}{\|r^p-r_i\|}\right)^T \cdot (v^p-v_i), \varepsilon_p$ 和 $\varepsilon_{\dot{p}}$ 为伪距和伪

距率的量测噪声;上式用 $Z_k=h(X_k)+V_k$ 表示, $Z_k=[\tilde{P}_i^p\ \dot{\tilde{P}}_i^p]^T, V_k=[\varepsilon_p\ \varepsilon_{\dot{p}}]^T$ 为量测噪声;已

知系统运动方程和量测方程,利用EKF即可求得接收机位置速度,EKF公式如下:

$$\begin{cases} \hat{X}_{k/k-1} = f(\hat{X}_{k-1}) \\ P_{k/k-1} = F_{k/k-1} P_{k-1} F_{k/k-1}^T + Q_{k-1} \\ K_k = P_{k/k-1} H_k^T (H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k)^{-1} \\ \hat{X}_k = \hat{X}_{k/k-1} + K_k [Z_k - h(\hat{X}_{k/k-1})] \\ P_k = (I - K_k H_k) P_{k/k-1} \end{cases}$$

其中 $P_{k/k-1}$ 为 $k-1$ 时刻到 k 时刻的一步预测误差协方差矩阵, P_k 为 k 时刻估计误差协方差矩阵, K_k 为Kalman增益, Q_{k-1} 表示系统过程噪声, R_k 为量测噪声 V_k 的协方差矩阵,最终求得单点定位接收机的位置和速度为 \hat{r}_i \hat{v}_i ,其噪声为 $\varepsilon_{\hat{r}_i}$ $\varepsilon_{\hat{v}_i}$ 。

9. 根据权利要求1所述的一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,其特征在于,所述步骤S6中,利用V2V相对位置和速度作为约束结合用户节点自身GNSS观测数据做滤波解算,设共有 n 个车辆节点;求解用户节点 u 的位置和速度,状态向量的选取为: $X_u \triangleq [r_u, v_u, \delta t_u, \delta i_u]^T$,系统的运动学方程为 $X_{u,k} = F_{k/k-1} X_{u,k-1} + W_{k-1}$,其中 $F_{k/k-1}$ 为状态转移矩阵,

$$F = \begin{bmatrix} I_3 & I_3 \cdot \Delta t & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{3,3} & I_3 & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 1 & \Delta t \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 0 & 1 \end{bmatrix}, W_{k-1} \text{ 为系统噪声;量测为卫星伪距、伪距率和V2V相对位置及速度,}$$

$$\text{即: } \begin{cases} \tilde{P}_u^p = h_p(\mathbf{x}, s^p) + \varepsilon_{P,u} \\ \dot{\tilde{P}}_u^p = \dot{h}_p(\mathbf{x}, s^p) + \varepsilon_{\dot{P},u} \\ r_{u,1} = \hat{r}_1 + \Delta r_{u1} + \varepsilon_{\hat{r}_1} + \varepsilon_{\Delta r_{u1}} \\ v_{u,1} = \hat{v}_1 + \Delta v_{u1} + \varepsilon_{\hat{v}_1} + \varepsilon_{\Delta v_{u1}} \\ \vdots \\ r_{u,n} = \hat{r}_n + \Delta r_{un} + \varepsilon_{\hat{r}_n} + \varepsilon_{\Delta r_{u1}} \\ v_{u,n} = \hat{v}_n + \Delta v_{un} + \varepsilon_{\hat{v}_n} + \varepsilon_{\Delta v_{u1}} \end{cases}$$

$$\text{上式用 } Z_k = h(X_k) + V_k \text{ 表示, } Z_k = \begin{bmatrix} \tilde{P}_i^p & \dot{\tilde{P}}_i^p & r_{u,1} & v_{u,1} & \cdots & r_{u,n} & v_{u,n} \end{bmatrix}^T,$$

$V_k = [\varepsilon_{P,i} \quad \varepsilon_{\dot{P},i} \quad \varepsilon_{\hat{r}_1} + \varepsilon_{\Delta r_{u,1}} \quad \varepsilon_{\hat{v}_1} + \varepsilon_{\Delta v_{i,j}} \quad \cdots \quad \varepsilon_{\hat{r}_n} + \varepsilon_{\Delta r_{u,1}} \quad \varepsilon_{\hat{v}_n} + \varepsilon_{\Delta v_{u,1}}]^T$ 为量测噪声;同步骤S5,已知系统运动学方程和量测方程,利用EKF求解即可求得用户节点的位置和速度。

10. 根据权利要求1所述的一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,其特征在于,所述步骤S4、S5和S6中,EKF滤波假设观测噪声服从0均值高斯分布,然而GNSS测量不可避免地会受到周跳或粗差的影响,尤其是在复杂的城市环境中,这与上述假设相违背;为抵抗异常测量的影响,构建鲁棒EKF滤波模型,引入鲁棒因子:

$$r_{ii} = \begin{cases} 1 & \delta\tilde{z}_{k,i} \leq k_0 \\ \frac{k_0}{\delta\tilde{z}_{k,i}} \left(\frac{k_1 - \delta\tilde{z}_{k,i}}{k_1 - k_0} \right)^2 & k_0 < \delta\tilde{z}_{k,i} \leq k_1, \\ 0 & \delta\tilde{z}_{k,i} > k_1 \end{cases}$$

其中 $\delta\tilde{z}_{k,i} = \frac{|Z_{k,i} - h(\hat{X}_{k/k-1})|}{\sqrt{R_k + H_k P_{k/k-1} H_k^T}}$, 其中 $Z_{k,i}$ 表示 k 时刻第 i 个观测量, $h(\hat{X}_{k/k-1})$ 表示观测函数, k_0 和 k_1 的优选取值为 1 和 3; 通过鲁棒因子区分量测信息的可信度, 将量测信息分为三个

等级, 根据鲁棒因子调整观测误差协方差矩阵 R :
$$\begin{cases} \bar{R}_{ii} = R_{ii} / r_{ii} \\ \bar{R}_{jj} = R_{jj} / r_{jj} \\ \bar{R}_{ij} = \sqrt{1 / r_{ii} r_{jj}} R_{ij} \end{cases}$$
, 建立鲁棒 EKF 滤波, 其中

R_{ij} 表示调整前 R 矩阵第 i 行 j 列的元素。

一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法

技术领域

[0001] 本发明涉及定位技术领域,具体涉及一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法。

背景技术

[0002] 随着车辆导航、自动驾驶等技术的发展,高精度高可靠性定位已成为智能汽车的核心关键技术。目前车辆定位主要采用卫星导航技术、惯性导航技术及基于视觉的导航技术等。其中GNSS(Global navigation satellite system,全球卫星导航系统)应用广泛,其可以为全球用户提供全天候、全天时、高精度的定位服务。随着我国北斗三号系统的建成及在全球范围内提供高精度服务,以北斗卫星导航系统为代表的GNSS系统会在车辆定位领域发挥越来越重要的作用。

[0003] 基于GNSS的车辆绝对位置可以根据SPP(Single Point Positioning,单点定位)或RTK(Real-time Kinematic,实时动态载波相位差分定位技术)定位获得。单点定位获得的位置精度一般在3到10米,仅能提供车辆的概略位置。采用RTK技术可以获取车辆的实时厘米级定位结果,但是RTK基准站的建设成本高,每个基准站仅能覆盖有限的区域,需建立基准站与移动站之间稳定的通讯链路,实施过程中易发生因通讯中断而得不到有效定位位置的现象,且RTK技术需要用户向基准站发送自身位置,可能涉及隐私泄露等问题。

[0004] 随着无线通信技术的不断进步,V2X(vehicle-to-everything,车与外界的信息交换系统)迅速发展。V2X主要包括V2N(车辆与网络)、V2V(车辆与车辆)、V2I(车辆与道路基础设施)和V2P(车辆与行人)。其中V2V(Vehicle-to-Vehicle,车与车)通信技术不受限于固定式基站,可为移动中的车辆提供端到端的无线通信。通过V2V通信技术,车辆终端彼此直接交换信息,无需通过基站转发。

[0005] 采用V2V通信技术可以实现车辆间GNSS信息的共享,利用车辆间的GNSS原始观测值作差分可以消除电离层误差、对流层误差、卫星时钟误差、接收机时钟等误差,这种协作定位方式可以获得厘米级的V2V相对位置,且不用建设基站,但是其无法得到车辆准确的绝对位置。

发明内容

[0006] 本发明针对现有技术的上述缺点,提出了一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,车辆搭载的GNSS接收机接收卫星的原始观测值,利用车载通讯设备向周围的车辆传送自身的GNSS观测值,同时接收来自周围车辆的GNSS观测值,实现车辆间的GNSS信息交互。通过建立车间双差模型,消除卫星钟差、接收机钟差、电离层延迟、对流层延迟等误差,通过固定车间双差整周模糊度得到各车辆间的V2V相对位置速度,车辆间共享接收机单点定位结果和求得的V2V相对位置速度,经协作定位算法得到较单点定位更准确的绝对位置。

[0007] 本发明提出的一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤S1:各车辆利用车载GNSS接收机接收GNSS原始观测数据;

[0009] 步骤S2:各车辆利用搭载的通讯设备向周围的车辆传送自身的GNSS观测值,同时接收来自周围车辆的GNSS观测值;

[0010] 步骤S3:针对某一台车辆,当其接收到来自周围车辆GNSS观测值时,通过建立车间双差模型消除误差,得到V2V双差观测值;

[0011] 步骤S4:在当前历元,基于V2V双差观测模型,应用扩展Kalman滤波得到相对位置和速度的浮点解,通过固定双差整周模糊度得到固定解,即该历元下V2V相对位置和速度。求得所有车辆之间的V2V相对位置和速度并在车间共享;

[0012] 步骤S5:各车辆利用伪距等原始观测数据对自身做单点定位(SPP),同时利用粗差检测剔除计算过程中残差较大的卫星,得到粗略的绝对位置、速度和几何精度因子GDOP, GDOP值可以反映单点定位的不确定性。各车辆间共享单点定位结果及GDOP;

[0013] 步骤S6:开始第一轮定位,按照GDOP从高到低排序,首先选择位置不确定性最大,即GDOP值最大的车辆节点作为优先定位的用户节点,其余节点作为用户节点的参考节点。利用用户节点和各参考节点间的V2V相对位置和速度作为约束,结合参考节点自身的GNSS原始观测信息滤波求解得到用户节点更准确的绝对位置和速度。按GDOP从高到低的排序,其余节点依次作为用户节点,更新各节点的位置速度并共享;

[0014] 步骤S7:第一轮定位后,所有节点的位置和速度估计作为下一轮迭代的初值,更新所有车辆节点的位置和速度。每完成一轮迭代之后,所有节点的位置估计精度都将有所提高,故每轮迭代结束后将各节点的位置和速度误差协方差适当降低,以逐渐减少对自身GNSS观测数据信任程度,而更加相信参考节点的信息。经若干次迭代,即可有效提高各车辆的定位精度,得到较单点定位更准确的位置和速度。

[0015] 进一步的,所述步骤S1中,GNSS原始观测数据为伪距观测值、载波相位观测值、多普勒观测值以及卫星星历,融合观测方程可表示如下:

$$[0016] \quad \begin{cases} P_r^s = \rho_r^s + c\delta t_r - c\delta t^s + I_r^s + T_r^s + \varepsilon_p \\ \Phi_r^s = \rho_r^s + c\delta t_r - c\delta t^s - I_r^s + T_r^s + \lambda N_r^s + \varepsilon_\phi \\ D_r^s = -(\dot{p}_r^s + c\dot{\delta}t_r - c\dot{\delta}t^s - \dot{I}_r^s + \dot{T}_r^s + \varepsilon_D) \end{cases}$$

[0017] 其中,r表示接收机,s表示卫星, P_r^s 为伪距观测值, Φ_r^s 为以米为单位的载波相位观测值, D_r^s 为多普勒观测值, ρ_r^s 为卫星s到接收机r的真实几何距离,c为光速, δt_r 为接收机钟差, δt^s 为卫星钟差, I_r^s 为电离层延迟误差, T_r^s 为对流层延迟误差, ε_p 、 ε_ϕ 、 ε_D 为伪距、载波相位、多普勒的观测噪声, λ 为载波波长, N_r^s 为载波相位整周模糊度。

[0018] 进一步的,所述步骤S2中,作为优选,各车辆的通讯装置采用基于5G的车联网技术5G-V2X。

[0019] 进一步的,所述步骤S3中,参与运算的原始GNSS观测值一般只有载波相位和伪距,而该两种观测量均是对距离的一阶观测量,对于速度变化的估计误差将上升到原观测误差的 $\sqrt{2}$ 倍。当运动载体变速特征显著,将带来较大的模型误差,造成估计精度降低。针对这一问题,本发明将多普勒观测量用于载波相位的定位解算。V2V双差观测值包括双差伪距观测值、双差载波相位观测值、双差多普勒观测值,公式如下:

$$[0020] \quad \begin{cases} \nabla \Delta P_{ij}^{pq} = \nabla \Delta \rho_{ij}^{pq} + \nabla \Delta \varepsilon_{ij,P}^{pq} \\ \nabla \Delta \Phi_{ij}^{pq} = \nabla \Delta \rho_{ij}^{pq} + \lambda \nabla \Delta N_{ij}^{pq} + \nabla \Delta \varepsilon_{ij,\Phi}^{pq} \\ \nabla \Delta D_{ij}^{pq} = -(\nabla \Delta \dot{\rho}_{ij}^{pq} + \nabla \Delta \varepsilon_{ij,D}^{pq}) \end{cases}$$

[0021] 其中, i, j 表示两相邻车辆上的接收机, p, q 表示两颗不同的卫星, $\nabla \Delta$ 为双差符号, $\nabla \Delta P_{ij}^{pq}$ 、 $\nabla \Delta \Phi_{ij}^{pq}$ 、 $\nabla \Delta D_{ij}^{pq}$ 分别为双差伪距观测值、双差载波相位观测值、双差多普勒观测值, $\nabla \Delta \rho_{ij}^{pq}$ 表示卫星 p, q 在两台接收机 i, j 间的双差几何距离, $\nabla \Delta N_{ij}^{pq}$ 为双差载波相位整周模糊度, $\nabla \Delta \varepsilon_{ij,P}^{pq}$ 、 $\nabla \Delta \varepsilon_{ij,\Phi}^{pq}$ 、 $\nabla \Delta \varepsilon_{ij,D}^{pq}$ 分别表示双差伪距观测值噪声、双差载波相位观测值噪声和双差多普勒观测值噪声。

[0022] 进一步的,所述步骤S4中,设两相邻车辆上的接收机 i, j 的共视卫星为 m 颗,卫星1为参考星, Kalman滤波状态参数分别为V2V相对位置、V2V相对速度以及双差模糊度,记为 $x = [\Delta r \ \Delta v \ N_{ij}^{21} \ N_{ij}^{31} \ \dots \ N_{ij}^{(m-1)1}]^T$ 其偏导矩阵记为 H , Kalman量测向量记为 $y = [\nabla \Delta P_{ij}^{21} \ \nabla \Delta \Phi_{ij}^{21} \ \nabla \Delta D_{ij}^{21} \ \dots \ \nabla \Delta P_{ij}^{(m-1)1} \ \nabla \Delta \Phi_{ij}^{(m-1)1} \ \nabla \Delta D_{ij}^{(m-1)1}]^T$ 可得Kalman滤波观测方程 $y = H\tilde{x} + w$, w 为量测噪声且服从高斯分布 $w \sim N(0, R)$, R 为量测噪声 w 的协方差矩阵。利用扩展Kalman滤波(EKF)可以解算得到模糊度参数和其他参数的浮点解 X 及其对应的协方差矩阵 Q , $X = \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix}$ $Q = \begin{bmatrix} Q_{aa} & Q_{ab} \\ Q_{ba} & Q_{bb} \end{bmatrix}$ 其中 \hat{a} 表示 n 个双差模糊度参数的浮点解, \hat{b} 表示基线向量坐标增量的浮点解。

[0023] 进一步的,所述步骤S4中,针对全模糊度固定算法难以固定所有模糊度的问题,本发明在LAMBDA算法基础上采用基于模糊度固定成功概率的子集选取方法的部分模糊度算法,降低模糊度维数,减小模糊度搜索的空间,提高模糊度固定率和定位可靠性。将原空间的浮点模糊度和方差作为输入,利用LAMBDA算法中的降相关过程将原始空间的模糊度及其方差转换为新空间内的模糊度矢量和对应的协方差矩阵: $\hat{z} = Z^T \hat{a}$ $Q_z = Z^T Q_a Z$,式中 Z^T 为降相关矩阵。计算模糊度固定成功率,公式如下:

$$[0024] \quad \begin{cases} P = \prod_{i=n-k}^n (2\Phi(\frac{1}{2\sigma_{i|I}}) - 1) > P_0 \\ \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{1}{2}y^2) dy \end{cases}$$

[0025] 其中, k 为向量 \hat{z} 中满足上式的最大模糊度个数, $\sigma_{i|I}$ 表示为模糊度搜索时第 i 次搜索的条件方差的均方根,由对角矩阵 D (D 为 Q_z 的Cholesky分解因子)得到,预设一个成功率阈值 P_0 ,依次选择最小方差的模糊度参数,计算相应的累积成功率 P ,直到大于成功阈值 P_0 或者所有的模糊度参数都满足要求。根据此步骤从降相关后的向量 \hat{z} 中挑选符合要求的 $n-i+1$ 个模糊度的子集,利用LAMBDA算法中的搜索过程固定该 $n-i+1$ 个模糊度参数。根据前 i 个模糊度参数与后 $n-i+1$ 个模糊度参数之间的相关性,即利用对应的协方差阵调整前 i 个参数,得到模糊度的固定解 \tilde{a} 。通过 $\tilde{b} = \hat{b} - Q_{ba} Q_a^{-1} (\hat{a} - \tilde{a})$ 获得最后的坐标固定解,式中 \tilde{b} 为基线固

定解,即得到该历元下车辆*i, j*的V2V相对位置和速度 $\Delta r_{ij} \Delta v_{ij}$,其误差为 $\varepsilon_{\Delta r_{ij}} \varepsilon_{\Delta v_{ij}}$ 。

[0026] 进一步的,所述步骤S5中,车辆在城市峡谷等恶劣观测条件下行驶时受遮挡和多径影响导致观测值噪声大,若直接使用会对定位结果产生影响,本发明针对此问题对伪距进行粗差探测,在单点定位中采用卡方检验的方法探测并剔除残差较大的卫星。在卡方检验中,每颗卫星的观测残差统计量可表示为: $x^2 = V_z^T (H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k) V_z$ 。

[0027] 其中, V_z 表示当前历元的某颗卫星的残差, H_k 为滤波的设计矩阵, $P_{k/k-1}$ 为待估参数的协方差矩阵, R_k 为观测噪声矩阵。在 $\alpha = 0.01/n$ 置信区间内(n 表示当前历元的可用卫星数),依次对每颗卫星进行卡方检验,如果其中某颗卫星的 x^2 超过设定的阈值,则将其标记成粗差并剔除。

[0028] 进一步的,所述步骤S5中,原始单点定位求解的基本思想是利用单台接收机的伪距和伪距率作为观测,采用Kalman滤波估计接收接收机的位置和速度,对接收机*i*,状态向量为: $x_i = [r_i \ v_i \ \delta t_i \ \delta \dot{t}_i]^T$,其中, $r_i \ v_i$ 为接收机*i*的位置和速度, $\delta t_i \ \delta \dot{t}_i$ 为接收机*i*的钟差和钟

漂。其系统运动方程为 $x_{i,k} = F_{k/k-1}^i x_{i,k-1} + W_{k-1}$,其中, $F_{k/k-1}^i = \begin{bmatrix} I_3 & I_3 \cdot \Delta t & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{3,3} & I_3 & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 1 & \Delta t \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为状态转

移矩阵,其中 I_3 表示 3×3 单位矩阵, Δt 表示时间间隔,数字下标1,3表示行数和列数, W_{k-1} 为系统噪声。量测为各车辆的伪距观测量和伪距率观测量(伪距率可以由多普勒观测求得,

$$\dot{P}_i^p = -D_i^p \cdot \lambda), \text{即: } \begin{cases} \tilde{P}_i^p = h_p(x_i, s^p) + \varepsilon_p \\ \dot{\tilde{P}}_i^p = h_{\dot{p}}(x_i, s^p) + \varepsilon_{\dot{p}} \end{cases}$$

[0029] 其中 $s^p = [r^p \ v^p]$ 为卫星*p*的位置、速度,可通过卫星星历求得, h_p 为伪距量测函数:

$$h_p(x_i, s^p) = \|r^p - r_i\| + \delta t_i, h_{\dot{p}} \text{为伪距率量测函数: } h_{\dot{p}}(x_i, s^p) = \left(\frac{r^p - r_i}{\|r^p - r_i\|} \right)^T \cdot (v^p - v_i), \varepsilon_p \text{和 } \varepsilon_{\dot{p}} \text{为}$$

伪距和伪距率的量测噪声。上式用 $Z_k = h(X_k) + V_k$ 表示, $Z_k = [\tilde{P}_i^p \ \dot{\tilde{P}}_i^p]^T, V_k = [\varepsilon_p \ \varepsilon_{\dot{p}}]^T$ 为量测噪声。已知系统运动方程和量测方程,利用EKF即可求得接收机位置速度。EKF公式如下:

$$[0030] \begin{cases} \hat{X}_{k/k-1} = f(\hat{X}_{k-1}) \\ P_{k/k-1} = F_{k/k-1} P_{k-1} F_{k/k-1}^T + Q_{k-1} \\ K_k = P_{k/k-1} H_k^T (H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k)^{-1} \\ \hat{X}_k = \hat{X}_{k/k-1} + K_k [Z_k - h(\hat{X}_{k/k-1})] \\ P_k = (I - K_k H_k) P_{k/k-1} \end{cases}$$

[0031] 其中 $P_{k/k-1}$ 为*k-1*时刻到*k*时刻的一步预测误差协方差矩阵, P_k 为*k*时刻估计误差协方差矩阵, K_k 为Kalman增益, Q_{k-1} 表示系统过程噪声, R_k 为量测噪声 V_k 的协方差矩阵。最终求得单点定位接收机的位置和速度为 $\hat{r}_i \ \hat{v}_i$,其噪声为 $\varepsilon_{\hat{r}_i} \ \varepsilon_{\hat{v}_i}$ 。

[0032] 进一步的,所述步骤S6中,改进后利用V2V相对位置和速度作为约束结合用户节点

自身GNSS观测数据做滤波解算,设共有n个车辆节点。求解用户节点u的位置和速度,状态向量的选取为: $X_u \triangleq [r_u, v_u, \delta t_u, \delta i_u]^T$, 系统的运动学方程为 $X_{u,k} = F_{k/k-1} X_{u,k-1} + W_{k-1}$, 其中 $F_{k/k-1}$ 为状

态转移矩阵, $F = \begin{bmatrix} I_3 & I_3 \cdot \Delta t & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{3,3} & I_3 & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 1 & \Delta t \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 0 & 1 \end{bmatrix}$, W_{k-1} 为系统噪声。量测为卫星伪距、伪距率和V2V相对

位置及速度,即:
$$\begin{cases} \tilde{P}_u^p = h_p(\mathbf{x}, s^p) + \varepsilon_{P,u} \\ \dot{\tilde{P}}_u^p = \dot{h}_p(\mathbf{x}, s^p) + \varepsilon_{\dot{P},u} \\ r_{u,1} = \hat{r}_1 + \Delta r_{u1} + \varepsilon_{\hat{r}_1} + \varepsilon_{\Delta r_{u1}} \\ v_{u,1} = \hat{v}_1 + \Delta v_{u1} + \varepsilon_{\hat{v}_1} + \varepsilon_{\Delta v_{u1}} \\ \vdots \\ r_{u,n} = \hat{r}_n + \Delta r_{un} + \varepsilon_{\hat{r}_n} + \varepsilon_{\Delta r_{un}} \\ v_{u,n} = \hat{v}_n + \Delta v_{un} + \varepsilon_{\hat{v}_n} + \varepsilon_{\Delta v_{un}} \end{cases}$$

[0033] 上式用 $Z_k = h(X_k) + V_k$ 表示, $Z_k = [\tilde{P}_i^p \quad \dot{\tilde{P}}_i^p \quad r_{u,1} \quad v_{u,1} \quad \cdots \quad r_{u,n} \quad v_{u,n}]^T$,

$V_k = [\varepsilon_{P,i} \quad \varepsilon_{\dot{P},i} \quad \varepsilon_{\hat{r}_1} + \varepsilon_{\Delta r_{u,1}} \quad \varepsilon_{\hat{v}_1} + \varepsilon_{\Delta v_{u,1}} \quad \cdots \quad \varepsilon_{\hat{r}_n} + \varepsilon_{\Delta r_{u,n}} \quad \varepsilon_{\hat{v}_n} + \varepsilon_{\Delta v_{u,n}}]^T$ 为量测噪声。同步骤S5, 已知系统运动学方程和量测方程, 利用EKF求解即可求得用户节点的位置和速度。

[0034] 进一步的, 所述步骤S4、S5和S6中, 标准EKF滤波假设观测噪声服从0均值高斯分布, 然而GNSS测量不可避免地会受到周跳或粗差的影响, 尤其是在遮挡严重等复杂的环境中, 这与上述假设相违背。为抵抗异常测量的影响, 本发明构建鲁棒EKF滤波模型, 引入鲁棒因子

[0035]
$$r_{ii} = \begin{cases} 1 & \delta \tilde{z}_{k,i} \leq k_0 \\ \frac{k_0}{\delta \tilde{z}_{k,i}} \left(\frac{k_1 - \delta \tilde{z}_{k,i}}{k_1 - k_0} \right)^2 & k_0 < \delta \tilde{z}_{k,i} \leq k_1 \\ 0 & \delta \tilde{z}_{k,i} > k_1 \end{cases}$$

[0036] 其中 $\delta \tilde{z}_{k,i} = \frac{|Z_{k,i} - h(\hat{X}_{k/k-1})|}{\sqrt{R_k + H_k P_{k/k-1} H_k^T}}$, 其中 $Z_{k,i}$ 表示k时刻第i个观测测量, $h(\hat{X}_{k/k-1})$ 表示观测

函数, k_0 和 k_1 的优选取值为1和3。通过鲁棒因子区分量测信息的可信度, 将量测信息分为三

个等级, 根据鲁棒因子调整观测误差协方差矩阵R:
$$\begin{cases} \bar{R}_{ii} = R_{ii} / r_{ii} \\ \bar{R}_{jj} = R_{jj} / r_{jj} \\ \bar{R}_{ij} = \sqrt{1 / r_{ii} r_{jj}} R_{ij} \end{cases}$$
, 建立鲁棒EKF滤波, 其

中 R_{ij} 表示调整前R矩阵第i行j列的元素。

[0037] 进一步的, 所述步骤S7中, 作为优选, 迭代次数设置为n次, 第x ($x < n$) 轮迭代结束后将参考节点的位置误差协方差调整为初始协方差的 $1/x$ 。

[0038] 本发明的优点在于,利用V2V通信技术共享车辆GNSS信息,应用协作定位的思想,在不依赖于固定基准站和移动网络服务商的前提下提升了车辆的绝对定位精度,为偏远地区等难以架设基站的地区提供了仅使用GNSS信息就能获得较单点定位更高精度的定位方法。同时,该技术不仅局限于车辆协作定位,同样可以拓展至船舶编队、无人机编队等需要高精度位置信息的应用场景。

附图说明

- [0039] 图1为本发明基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法的流程图;
- [0040] 图2为车辆间共享GNSS观测数据并求得V2V相对位置速度的示意图;
- [0041] 图3为各车辆单点定位得到粗略定位结果的示意图;
- [0042] 图4为车辆协作定位示意图;
- [0043] 图5为本发明单台车辆内部系统图及信息交互示意图;
- [0044] 图6为本发明的系统图及多车信息交互示意图。

具体实施方式

[0045] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0046] 本发明提出了一种基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法,车辆搭载的GNSS接收机接收卫星的原始观测值,利用车载通讯设备向周围的车辆传送自身的GNSS观测值,同时接收来自周围车辆的GNSS观测值,实现车辆间的GNSS信息交互。通过建立车间双差模型,消除卫星钟差、接收机钟差、电离层延迟、对流层延迟等误差,通过固定车间双差整周模糊度得到各车辆间的V2V相对位置速度,车辆间共享接收机单点定位结果和求得的V2V相对位置速度,经协作定位算法得到较单点定位更准确的绝对位置。

[0047] 实施例1

[0048] 步骤S1:各车辆利用车载GNSS接收机接收GNSS原始观测数据;

[0049] 步骤S2:各车辆利用搭载的通讯设备向周围的车辆传送自身的GNSS观测值,同时接收来自周围车辆的GNSS观测值;

[0050] 步骤S3:针对某一台车辆,当其接收到来自周围车辆GNSS观测值时,通过建立车间双差模型消除误差,得到V2V双差观测值;

[0051] 步骤S4:在当前历元,基于V2V双差观测模型,应用扩展Kalman滤波得到相对位置和速度的浮点解,通过固定双差整周模糊度得到固定解,即该历元下V2V相对位置和速度。求得所有车辆之间的V2V相对位置和速度并在车间共享;

[0052] 步骤S5:各车辆利用伪距等原始观测数据对自身做单点定位(SPP),同时利用粗差检测剔除计算过程中残差较大的卫星,得到粗略的绝对位置、速度和几何精度因子GDOP,该值可以反映单点定位的不确定性。各车辆间共享单点定位结果及GDOP;

[0053] 步骤S6:开始第一轮定位,按照GDOP从高到低排序,首先选择位置不确定性最大,即GDOP值最大的车辆节点作为优先定位的用户节点,其余节点作为用户节点的参考节点。

利用用户节点和各参考节点间的V2V相对位置和速度作为约束,结合参考节点自身的GNSS原始观测信息滤波求解得到用户节点更准确的绝对位置和速度。按GDOP从高到低的排序,其余节点依次作为用户节点,更新各节点的位置速度并共享;

[0054] 步骤S7:第一轮定位后,所有节点的位置和速度估计作为下一轮迭代的初值,更新所有车辆节点的位置和速度。每完成一轮迭代之后,所有节点的位置估计精度都将有所提高,故每轮迭代结束后将各节点的位置和速度误差协方差适当降低,以逐渐减少对自身GNSS观测数据信任程度,而更加相信参考节点的信息。经若干次迭代,即可有效提高各车辆的定位精度,得到较单点定位更准确的位置和速度。

[0055] 步骤S1中,GNSS原始观测数据为伪距观测值、载波相位观测值、多普勒观测值以及卫星星历,融合观测方程可表示如下:

$$[0056] \quad \begin{cases} P_r^s = \rho_r^s + c\delta t_r - c\delta t^s + I_r^s + T_r^s + \varepsilon_p \\ \Phi_r^s = \rho_r^s + c\delta t_r - c\delta t^s - I_r^s + T_r^s + \lambda N_r^s + \varepsilon_\Phi \\ D_r^s = -(\dot{p}_r^s + c\delta \dot{t}_r - c\delta \dot{t}^s - \dot{I}_r^s + \dot{T}_r^s + \varepsilon_D) \end{cases}$$

[0057] 其中,r表示接收机,s表示卫星, P_r^s 为伪距观测值, Φ_r^s 为以米为单位的载波相位观测值, D_r^s 为多普勒观测值, ρ_r^s 为卫星s到接收机r的真实几何距离,c为光速, δt_r 为接收机钟差, δt^s 为卫星钟差, I_r^s 为电离层延迟误差, T_r^s 为对流层延迟误差, ε_p 、 ε_Φ 、 ε_D 为伪距、载波相位、多普勒的观测噪声, λ 为载波波长, N_r^s 为载波相位整周模糊度。

[0058] 步骤S2中,各车辆的通讯装置采用基于5G的车联网技术5G-V2X。

[0059] 步骤S3中,参与运算的原始GNSS观测值一般只有载波相位和伪距,而该两种观测量均是对距离的一阶观测量,对于速度变化的估计误差将上升到原观测误差的 $\sqrt{2}$ 倍。当运动载体变速特征显著,将带来较大的模型误差,造成估计精度降低。针对这一问题,本发明将多普勒观测量用于载波相位的定位解算。V2V双差观测值包括双差伪距观测值、双差载波相位观测值、双差多普勒观测值,公式如下:

$$[0060] \quad \begin{cases} \nabla \Delta P_{ij}^{pq} = \nabla \Delta \rho_{ij}^{pq} + \nabla \Delta \varepsilon_{ij,P}^{pq} \\ \nabla \Delta \Phi_{ij}^{pq} = \nabla \Delta \rho_{ij}^{pq} + \lambda \nabla \Delta N_{ij}^{pq} + \nabla \Delta \varepsilon_{ij,\Phi}^{pq} \\ \nabla \Delta D_{ij}^{pq} = -(\nabla \Delta \dot{p}_{ij}^{pq} + \nabla \Delta \varepsilon_{ij,D}^{pq}) \end{cases}$$

[0061] 其中,i,j表示两相邻车辆上的接收机,p,q表示两颗不同的卫星, $\nabla \Delta$ 为双差符号, $\nabla \Delta P_{ij}^{pq}$ 、 $\nabla \Delta \Phi_{ij}^{pq}$ 、 $\nabla \Delta D_{ij}^{pq}$ 分别为双差伪距观测值、双差载波相位观测值、双差多普勒观测值, $\nabla \Delta \rho_{ij}^{pq}$ 表示卫星p,q在两台接收机i,j间的双差几何距离, $\nabla \Delta N_{ij}^{pq}$ 为双差载波相位整周模糊度, $\nabla \Delta \varepsilon_{ij,P}^{pq}$ 、 $\nabla \Delta \varepsilon_{ij,\Phi}^{pq}$ 、 $\nabla \Delta \varepsilon_{ij,D}^{pq}$ 分别表示双差伪距观测值噪声、双差载波相位观测值噪声和双差多普勒观测值噪声。

[0062] 步骤S4中,设两相邻车辆上的接收机i,j的共视卫星为m颗,卫星1为参考星,Kalman滤波状态参数分别为V2V相对位置、V2V相对速度以及双差模糊度,记为 $x = [\Delta r \quad \Delta v \quad N_{ij}^{21} \quad N_{ij}^{31} \cdots N_{ij}^{(m-1)1}]^T$ 其偏导矩阵记为H,Kalman量测向量记为 $y = [\nabla \Delta P_{ij}^{21} \quad \nabla \Delta \Phi_{ij}^{21} \quad \nabla \Delta D_{ij}^{21} \cdots \nabla \Delta P_{ij}^{(m-1)1} \quad \nabla \Delta \Phi_{ij}^{(m-1)1} \quad \nabla \Delta D_{ij}^{(m-1)1}]^T$ 可得Kalman滤波观测方程

$y = H\tilde{x} + w$, w 为量测噪声且服从高斯分布 $w \sim N(0, R)$, R 为量测噪声 w 的协方差矩阵。利用扩展Kalman滤波(EKF)可以解算得到模糊度参数和其他参数的浮点解 X 及其对应的协方差矩阵 Q , $X = \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix}$ $Q = \begin{bmatrix} Q_{\hat{a}\hat{a}} & Q_{\hat{a}\hat{b}} \\ Q_{\hat{b}\hat{a}} & Q_{\hat{b}\hat{b}} \end{bmatrix}$ 其中 \hat{a} 表示 n 个双差模糊度参数的浮点解, \hat{b} 表示基线向量坐标

增量的浮点解。

[0063] 步骤S4中,针对全模糊度固定算法难以固定所有模糊度的问题,本发明在LAMBDA算法基础上采用基于模糊度固定成功概率的子集选取方法的部分模糊度算法,降低模糊度维数,减小模糊度搜索的空间,提高模糊度固定率和定位可靠性。将原空间的浮点模糊度和方差作为输入,利用LAMBDA算法中的降相关过程将原始空间的模糊度及其方差转换为新空间内的模糊度矢量和对应的协方差矩阵: $\hat{z} = Z^T \hat{a}$ $Q_{\hat{z}} = Z^T Q_a Z$,式中 Z^T 为降相关矩阵。计算模糊度固定成功率,公式如下:

$$[0064] \quad \begin{cases} P = \prod_{i=n-k}^n (2\Phi(\frac{1}{2\sigma_{i|I}}) - 1) > P_0 \\ \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{1}{2}y^2) dy \end{cases}$$

[0065] 其中 k 为向量 \hat{z} 中满足上式的最大模糊度个数, $\sigma_{i|I}$ 表示为模糊度搜索时第 i 次搜索的条件方差的均方根,由对角矩阵 D (D 为 $Q_{\hat{z}}$ 的Cholesky分解因子)得到,预设一个成功率阈值 P_0 ,依次选择最小方差的模糊度参数,计算相应的累积成功率 P ,直到大于成功阈值 P_0 或者所有的模糊度参数都满足要求。根据此步骤从降相关后的向量 \hat{z} 中挑选符合要求的 $n-i+1$ 个模糊度的子集,利用LAMBDA算法中的搜索过程固定该 $n-i+1$ 个模糊度参数。根据前 i 个模糊度参数与后 $n-i+1$ 个模糊度参数之间的相关性,即利用对应的协方差阵调整前 i 个参数,得到模糊度的固定解 \tilde{a} 。通过 $\tilde{b} = \hat{b} - Q_{\hat{b}\hat{a}} Q_a^{-1} (\hat{a} - \tilde{a})$ 获得最后的坐标固定解,式中 \tilde{b} 为基线固定解,即得到该历元下车辆 i, j 的V2V相对位置和速度 $\Delta r_{ij}, \Delta v_{ij}$,其误差为 $\varepsilon_{\Delta r_{ij}}, \varepsilon_{\Delta v_{ij}}$ 。

[0066] 步骤S5中,车辆在城市峡谷等恶劣观测条件下行驶时受遮挡和多径效应影响导致观测值噪声大,若直接使用会对定位结果产生影响,本发明针对此问题对伪距进行粗差探测,在单点定位中采用卡方检验的方法探测并剔除残差较大的卫星。在卡方检验中,每颗卫星的观测残差统计量可表示为: $x^2 = V_z^T (H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k) V_z$ 。

[0067] 其中: V_z 表示当前历元的某颗卫星的残差, H_k 为滤波的设计矩阵, $Q_{k/k-1}$ 为待估参数的协方差矩阵, R_k 为观测噪声矩阵。在 $\alpha = 0.01/n$ 置信区间内(n 表示当前历元的可用卫星数),依次对每颗卫星进行卡方检验,如果其中某颗卫星的 x^2 超过设定的阈值,则将其标记成粗差并剔除。

[0068] 步骤S5中,原始单点定位求解的基本思想是利用单台接收机的伪距和伪距率作为观测,采用Kalman滤波估计接收接收机的位置和速度,对接收机 i ,状态向量为: $x_i = [r_i \ v_i \ \delta t_i \ \delta \dot{t}_i]^T$,其中, $r_i \ v_i$ 为接收机 i 的位置和速度, $\delta t_i \ \delta \dot{t}_i$ 为接收机 i 的钟差和钟漂。

其系统运动方程为 $x_{i,k} = F_{k/k-1}^i x_{i,k-1} + W_{k-1}$, 其中 $F_{k/k-1}^i = \begin{bmatrix} I_3 & I_3 \cdot \Delta t & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{3,3} & I_3 & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 1 & \Delta t \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为状态转移矩

阵, 其中 I_3 表示 3×3 单位矩阵, Δt 表示时间间隔, 数字下标 1, 3 表示行数和列数, W_{k-1} 为系统噪声。量测为各车辆的伪距观测量和伪距率观测量 (伪距率可以由多普勒观测量求得,

$$\dot{\tilde{P}}_i^p = -D_i^p \cdot \lambda), \text{ 即: } \begin{cases} \tilde{P}_i^p = h_p(x_i, s^p) + \varepsilon_p \\ \dot{\tilde{P}}_i^p = h_{\dot{p}}(x_i, s^p) + \varepsilon_{\dot{p}} \end{cases}$$

[0069] 其中 $s^p = [r^p \ v^p]$ 为卫星 p 的位置、速度, 可通过卫星星历求得, h_p 为伪距量测函数:

$$h_p(x_i, s^p) = \|r^p - r_i\| + \delta t_i, h_{\dot{p}} \text{ 为伪距率量测函数: } h_{\dot{p}}(x_i, s^p) = \left(\frac{r^p - r_i}{\|r^p - r_i\|} \right)^T \cdot (v^p - v_i), \varepsilon_p \text{ 和 } \varepsilon_{\dot{p}}$$

为伪距和伪距率的量测噪声。上式用 $Z_k = h(X_k) + V_k$ 表示, $Z_k = [\tilde{P}_i^p \ \dot{\tilde{P}}_i^p]^T$, $V_k = [\varepsilon_p \ \varepsilon_{\dot{p}}]^T$ 为量测噪声。已知系统运动方程和量测方程, 利用EKF即可求得接收机位置速度。EKF公式如下:

$$[0070] \begin{cases} \hat{X}_{k/k-1} = f(\hat{X}_{k-1}) \\ P_{k/k-1} = F_{k/k-1} P_{k-1} F_{k/k-1}^T + Q_{k-1} \\ K_k = P_{k/k-1} H_k^T (H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k)^{-1} \\ \hat{X}_k = \hat{X}_{k/k-1} + K_k [Z_k - h(\hat{X}_{k/k-1})] \\ P_k = (I - K_k H_k) P_{k/k-1} \end{cases}$$

[0071] 其中 $P_{k/k-1}$ 为 $k-1$ 时刻到 k 时刻的一步预测误差协方差矩阵, P_k 为 k 时刻估计误差协方差矩阵, K_k 为Kalman增益, Q_{k-1} 表示系统过程噪声, R_k 为量测噪声 V_k 的协方差矩阵。最终求得单点定位接收机的位置和速度为 $\hat{r}_i \ \hat{v}_i$, 其噪声为 $\varepsilon_{\hat{r}_i} \ \varepsilon_{\hat{v}_i}$ 。

[0072] 步骤S6中, 改进后利用V2V相对位置和速度作为约束结合用户节点自身GNSS观测数据做滤波解算, 设共有 n 个车辆节点。求解用户节点 u 的位置和速度, 状态向量的选取为:

$X_u \triangleq [r_u, v_u, \delta t_u \ \delta i_u]^T$, 系统的运动学方程为 $X_{u,k} = F_{k/k-1} X_{u,k-1} + W_{k-1}$, 其中 $F_{k/k-1}$ 为状态转移矩阵,

$$F = \begin{bmatrix} I_3 & I_3 \cdot \Delta t & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{3,3} & I_3 & 0_{3,1} & 0_{3,1} \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 1 & \Delta t \\ 0_{1,3} & 0_{1,3} & 0 & 1 \end{bmatrix}, W_{k-1} \text{ 为系统噪声。量测为卫星伪距、伪距率和V2V相对位置及速度,}$$

$$\text{即: } \begin{cases} \tilde{P}_u^p = h_p(\mathbf{x}, s^p) + \boldsymbol{\varepsilon}_{P,u} \\ \dot{\tilde{P}}_u^p = h_{\dot{p}}(\mathbf{x}, s^p) + \boldsymbol{\varepsilon}_{\dot{P},u} \\ r_{u,1} = \hat{r}_1 + \Delta r_{u1} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\hat{r}_1} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\Delta r_{u1}} \\ v_{u,1} = \hat{v}_1 + \Delta v_{u1} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\hat{v}_1} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\Delta v_{u1}} \\ \vdots \\ r_{u,n} = \hat{r}_n + \Delta r_{un} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\hat{r}_n} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\Delta r_{un}} \\ v_{u,n} = \hat{v}_n + \Delta v_{un} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\hat{v}_n} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\Delta v_{un}} \end{cases}$$

[0073] 上式用 $Z_k = h(X_k) + V_k$ 表示, $Z_k = [\tilde{P}_i^p \ \dot{\tilde{P}}_i^p \ r_{u,1} \ v_{u,1} \ \cdots \ r_{u,n} \ v_{u,n}]^T$,

$V_k = [\boldsymbol{\varepsilon}_{P,i} \ \boldsymbol{\varepsilon}_{\dot{P},i} \ \boldsymbol{\varepsilon}_{\hat{r}_1} \ \boldsymbol{\varepsilon}_{\Delta r_{u,1}} \ \boldsymbol{\varepsilon}_{\hat{v}_1} \ \boldsymbol{\varepsilon}_{\Delta v_{u,1}} \ \cdots \ \boldsymbol{\varepsilon}_{\hat{r}_n} \ \boldsymbol{\varepsilon}_{\Delta r_{u,n}} \ \boldsymbol{\varepsilon}_{\hat{v}_n} \ \boldsymbol{\varepsilon}_{\Delta v_{u,n}}]^T$ 为量测噪声。同步骤S5, 已知系统运动学方程和量测方程, 利用EKF求解即可求得用户节点的位置和速度。

[0074] 步骤S4、S5和S6中, 标准EKF滤波假设观测噪声服从0均值高斯分布, 然而GNSS测量不可避免地会受到周跳或粗差的影响, 尤其是在遮挡严重等复杂的环境中, 这与上述假设相违背。为抵抗异常测量的影响, 本发明构建鲁棒EKF滤波模型, 引入鲁棒因子

$$[0075] \quad r_{ii} = \begin{cases} 1 & \delta \tilde{z}_{k,i} \leq k_0 \\ \frac{k_0}{\delta \tilde{z}_{k,i}} \left(\frac{k_1 - \delta \tilde{z}_{k,i}}{k_1 - k_0} \right)^2 & k_0 < \delta \tilde{z}_{k,i} \leq k_1 \\ 0 & \delta \tilde{z}_{k,i} > k_1 \end{cases}$$

[0076] 其中 $\delta \tilde{z}_{k,i} = \frac{|Z_{k,i} - h(\hat{X}_{k/k-1})|}{\sqrt{R_k + H_k P_{k/k-1} H_k^T}}$, k_0 和 k_1 的取值为1和3。通过鲁棒因子区分量测信息的可信度, 将量测信息分为三个等级, 根据鲁棒因子调整观测误差协方差矩阵R:

$$\begin{cases} \bar{R}_{ii} = R_{ii} / r_{ii} \\ \bar{R}_{jj} = R_{jj} / r_{jj} \\ \bar{R}_{ij} = \sqrt{1 / r_{ii} r_{jj}} R_{ij} \end{cases}, \text{ 建立鲁棒EKF滤波, 其中 } R_{i,j} \text{ 表示调整前R矩阵第i行j列的元素。}$$

[0077] 步骤S7中, 迭代次数设置为n次, 第x ($x < n$) 轮迭代结束后将参考节点的位置误差协方差调整为初始协方差的1/x。

[0078] 实施例2

[0079] 图2、3、4出示了一个采用本发明基于V2V的共享GNSS车辆增强协作定位方法的四车编队示意图。

[0080] 如图2所示, 首先四台车辆利用携带的GNSS接收机接收来自卫星的GNSS观测值, 利用5G-V2X设备, 在四台车辆间共享各车辆GNSS接收机接收到的原始观测数据。以车辆1与车辆2为例, 每两台车间通过共享的GNSS观测组成双差观测模型, 通过滤波和模糊度固定求得两车间的相对位置速度, 得到四台车辆间的V2V相对位置和速度。

[0081] 如图3所示, 以车辆1为例, 四台车辆根据自身GNSS接收机的伪距等观测数据做单

点定位,求得各车辆单点定位得到的粗略位置和速度以及几何精度因子GDOP值。

[0082] 利用5G-V2X设备共享上述步骤中得到的车间V2V相对位置速度及四台车单点定位得到的粗略位置速度以及GDOP值。

[0083] 如图4所示,开始第一轮协作定位:按GDOP值降序排序,将四台车编号为节点1,节点2,节点3,节点4。首先选择节点1作为用户节点,其余三台车辆作为参考节点。除利用用户节点自身的伪距等GNSS观测值外,将参考节点单点定位位置和与用户节点间的相对位置作为约束辅助用户节点做滤波定位。节点1定位完成后,更新其自身位置,接着节点2作为用户节点,其余车辆作为参考节点,对节点2进行定位。以此类推直到节点4定位完成。

[0084] 第一轮定位完成后,各节点的位置精度理论上有所提升,因此开始第二轮定位前将各节点位置误差的协方差调整为初始位置协方差的1/2,再分别按顺序将节点1234作为用户节点做滤波定位。以此类推,第x轮定位开始前将各节点位置误差协方差变为初始位置协方差的1/x,共进行10轮定位迭代,最终得到四车协作定位的最终结果。

[0085] 实施例3

[0086] 图5、6出示了一种基本发明一种基于V2V的共享GNSS车辆协作定位方法的系统,该系统主要包括:若干GNSS接收机,若干5G-V2X模块,若干V2V定位模块、单点定位模块和协作定位模块。

[0087] 如图5所示,GNSS接收机用于接收卫星伪距,载波相位,多普勒观测等GNSS原始观测数据并将数据提供给5G-V2X模块、V2V定位模块,单点定位模块和协作定位模块;5G-V2X模块用于车间V2V通信,共享各车辆GNSS原始观测数据,车辆单点解定位结果及GDOP,以及协作定位过程中车辆的实时定位结果;V2V定位模块利用来自GNSS接收机和5G-V2X模块的数据计算本车辆与其他车辆间的相对位置速度;单点定位模块利用来自GNSS接收机的数据计算车辆单点定位结果和GDOP;协作定位模块利用来自GNSS接收机、V2V定位模块和5G-V2X模块的数据计算车辆协作定位位置及速度。

[0088] 如图6所示,为本发明的系统图和车间数据交互示意图,其中V2V定位模块、单点定位模块和协作定位模块结合统称为数据处理模块。各车辆通过5G-V2X模块与其他所有车辆交换GNSS原始观测数据信息、单点定位信息、及协作定位过程信息,最终实现各车辆协作定位。

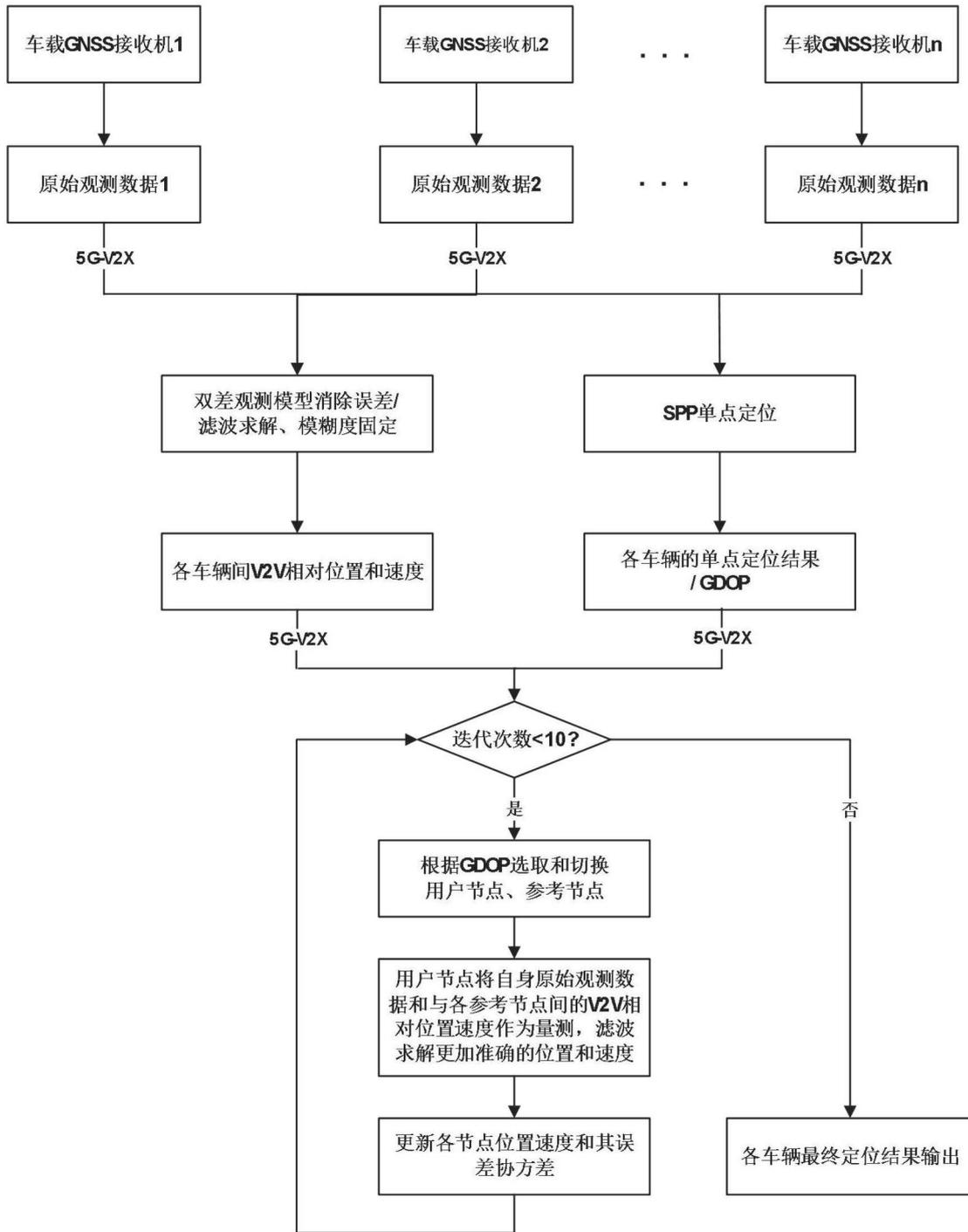


图1

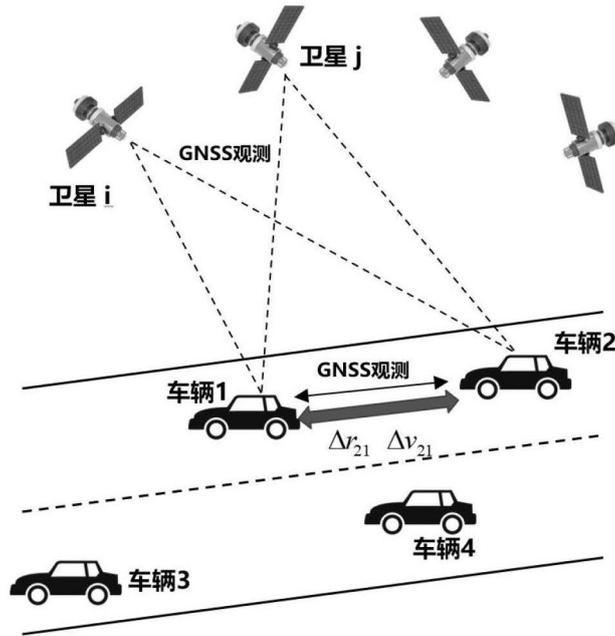


图2

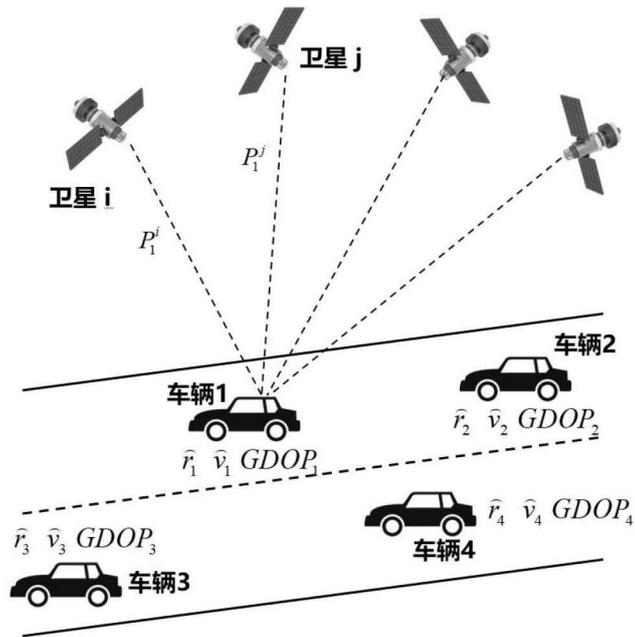


图3

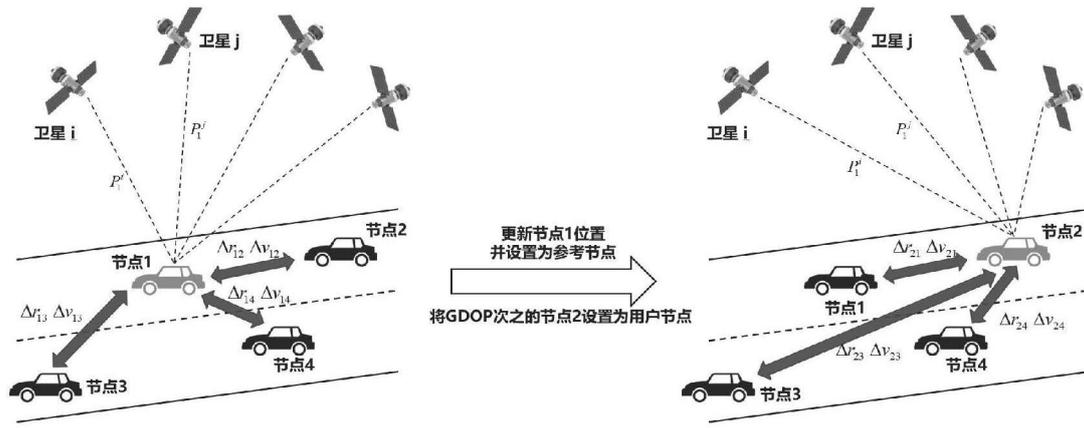


图4

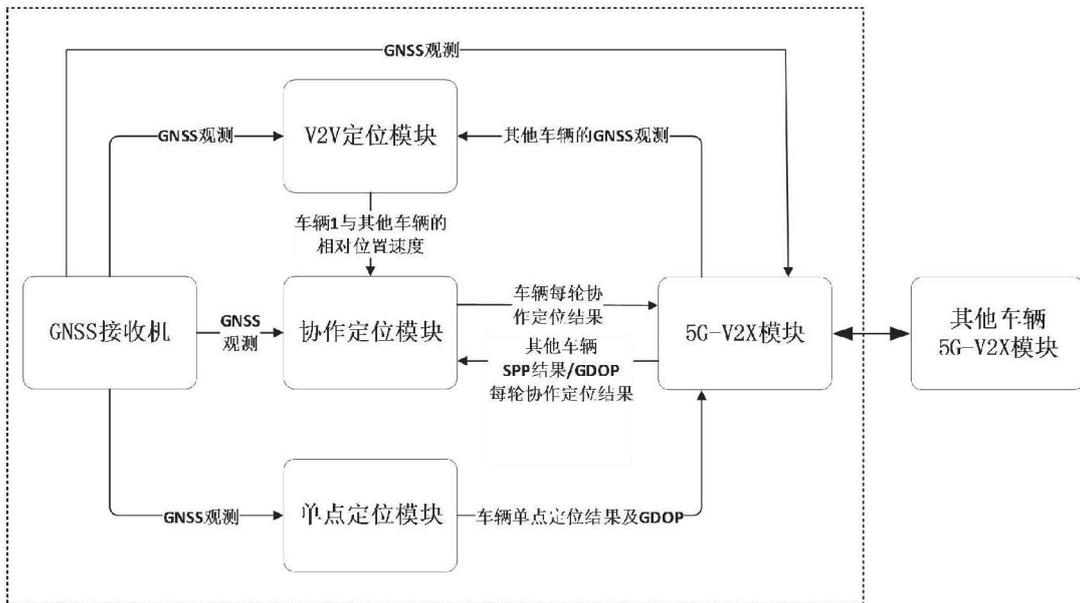


图5

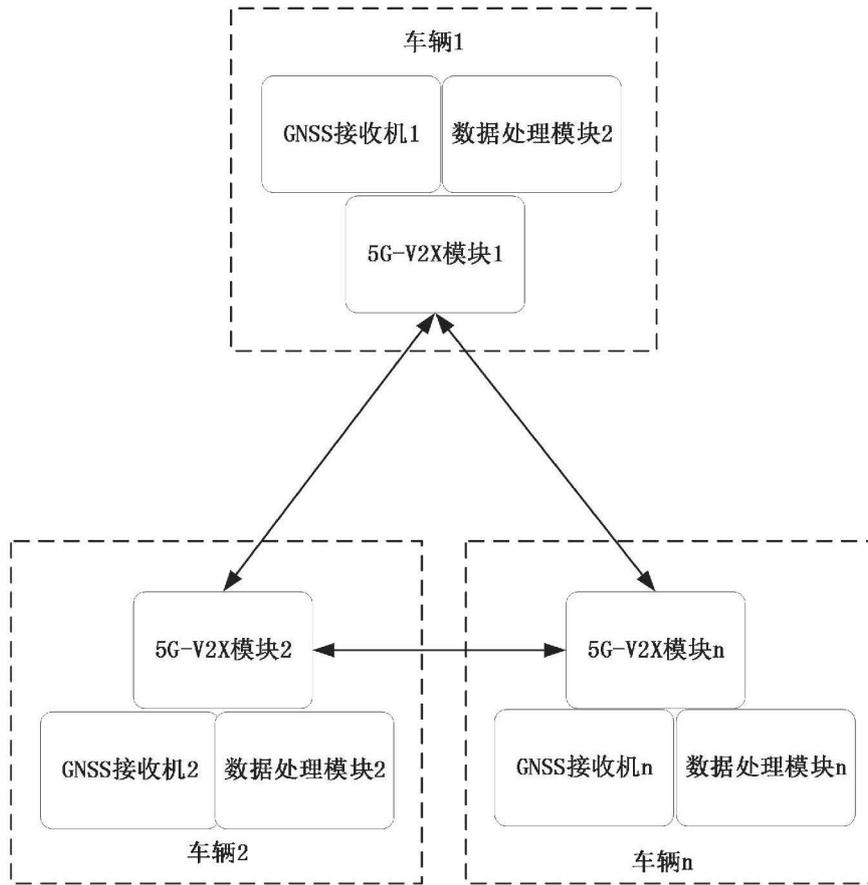


图6