DOI: 10.12265/j.gnss.2020111601

# 基于 GNSS 多径信号的反射面参数估计算法

邵乙伦1,赵娟2,刘承禹2,王岩2,陈新1

(1. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院,上海 200240;2. 96901部队 25分队,北京 100094)

摘 要:全球卫星导航系统(GNSS)多径信号广泛存在于城市峡谷等复杂导航定位场景中.多径信号在干扰GNSS接收机并造成系统定位精度下降的同时,也为接收机提供了周边反射面环境信息.在码相位延迟幅度联合跟踪算法(CADLL)实现GNSS多径信号感知和特征参数提取的基础上,设计实现了基于粒子滤波的反射面参数估计算法.该算法可以在GNSS多径 环境中增强接收机的环境感知能力,相关环境信息可应用于场景感知、避障、路径规划和定位 增强等领域.静态环境下进行GNSS多径信号采集和算法测试,实验结果表明该算法能够有效 估计反射面位置参数,反射面方位角均方根误差(RMSE)小于10°,反射面俯仰角RMSE小于 5°,反射面距离RMSE小于10 m.

关键词:环境感知;全球卫星导航系统(GNSS);粒子滤波;多径信号处理;反射面定位 中图分类号:TN961 文献标志码:A 文章编号:1008-9268(2021)01-0001-06

## 0 引 言

无人机、智能车等移动载体利用各式传感器 收集环境反射信号来感知周边环境.该环境信息 可应用于场景感知、避障、路径规划和定位增强 等领域[1-2].在全球卫星导航系统(GNSS)多径反 射信号利用方面,全球卫星导航系统反射(GNSS-R) 技术是一种新型的微波遥感技术.该类技术的核 心是通过观测目标 GNSS 反射信号特征参数来估 算目标参数,如测算海面高度、海面风场、土壤湿 度等[3-4]. 然而上述研究无法直接应用于接收机周 边环境感知及导航定位,在城市峡谷环境下,GNSS 信号被城市建筑等障碍物阻挡并产生大量多径信 号.目前,该类多径信号主要被归类为有害干扰 信号并被 GNSS 接收机加以抑制或剔除[5-7]. 若能 有效利用多径信号中的空间环境信息,则可以在 不增加额外开销的情况下提高接收机的环境感知 能力.

针对上述问题,本文提出了一种基于 GNSS 多径信号的反射面参数估计算法.在 GNSS 多径 信号感知和特征参数提取方面,码相位延迟幅度 联合跟踪算法(CADLL)对接收机跟踪环路的时 域相关峰进行检测,在多径信号存在时利用标准 参考波形对发生畸变的时域相关峰进行扣减,将 多径信号成分从时域相关峰中剥离<sup>[8]</sup>.该算法在 抑制多径误差的同时能够实现多径信号特征参数 的提取.在分析了GNSS多径信号结构及其几何 传播过程后,给出了多径信号传播模型.由于相 关模型含有大量的非线性运算,本文选用粒子滤 波算法作为反射面定位算法.粒子滤波算法是一 类贝叶斯估计方法,该算法利用蒙特卡洛法对复 杂的统计积分公式进行数值估计,能够对非线性 及非高斯噪声系统参数进行估计<sup>[9-10]</sup>.GNSS 真实 信号实验结果表明,本文所提算法能够有效估计 GNSS多径信号反射面位置参数.

## 1 系统模型

## 1.1 GNSS 多径信号特征参数

城市峡谷等复杂场景下, GNSS 信号经一次 或多次反射到达接收机天线, 产生多径效应. 接 收机接收到卫星直达径(LOS)信号和多径信号. 根据 GNSS 信号结构, 接收到的 GNSS 信号 s(t)可

收稿日期:2020-11-16

**资助项目:**国家重点研发计划项目(2018YFB0505103);国家电网有限公司科技项目(SGSHJX00KXJS1901531) 通信作者:陈新 E-mail: xin.chen@sjtu.edu.cn

表示为

$$s(t) = AD(t) \sum_{i=0}^{N} \alpha_i C(t - \tau_i) \cos(2\pi (f_0 + f_{di})t + \varphi_i).$$
(1)

式中:i=0表示 LOS 信号;A 为 LOS 信号的幅值; D(t)为导航电文; $\alpha_i$ 为多径信号相对 LOS 信号的 衰减系数; $C(t-\tau_i)$ 为扩频码; $\tau_i$ 为多径码相位延 迟; $f_0$ 为载波频率; $f_{di}$ 为载波多普勒频率; $\varphi_i$ 为多 径信号相对 LOS 信号的相位变化.易知 $\alpha_0 = 1, \tau_0 = 0,$  $\varphi_0 = 0.$ 多径信号特征参数,即多径衰减系数 $\alpha_i$ 、码 相位延迟 $\tau_i$ 、多普勒频率 $f_{di}$ 和相位偏移 $\varphi_i$ ,唯一确 定了 GNSS 多径信号.

#### 1.2 GNSS 多径信号传播模型

根据卫星、接收机、反射面间的几何关系,建 立 GNSS 多径信号传播模型. 该模型假设多径信 号经反射面单次反射后到达接收机天线.以接收 机初始时刻位置为原点建立东、北、天(E、N、U) 地理坐标系.下文所述的位置、速度参数均使用 该地理坐标系表示. 传播模型的几何关系如图 1 所示.卫星位置为psat,卫星速度为vsat,反射面镜 像卫星位置 $p_{\text{mirsat}}$ ,镜像卫星速度为 $v_{\text{mirsat}}$ ,接收机 位置为precy,接收机速度为precy,反射面法向量为  $n_{\rm n}$ ,反射面距离为d,反射面方位角 $\varphi_{\rm avi}$ 定义为反射 面法向量在地理坐标系水平面内的投影向量与 N方向间的夹角(北偏东为正),反射面俯仰角 $\theta_{ele}$ 定义为反射面法向量与法向量水平面投影间的夹 角(法向量指向天向时为正).反射面法向量、反 射面距离、反射面方位角、俯仰角、距离唯一确定 了反射面位置参数.



图 1 GNSS 多径信号传播模型几何关系

反射面法向量可以由反射面方位角、俯仰角 表示:

$$\boldsymbol{n}_{\rm p} = \left[\cos(\theta_{\rm ele})\sin(\varphi_{\rm azi}), \cos(\theta_{\rm ele})\cos(\varphi_{\rm azi}), \sin(\theta_{\rm ele})\right]^{\rm T}.$$
(2)

反射面解析方程表达式如下:

$$n_{px}x + n_{py}y + n_{pz}z + d = 0. (3)$$

镜像卫星的位置速度参数可以利用反射面解 析方程计算得出,也可以采用类似于姿态求解过 程中等效旋转矢量的思路来求解<sup>[11]</sup>.基于等效旋 转矢量方法,公式(4)、(5)给出了镜像卫星位置 速度求解公式.

$$\boldsymbol{p}_{\text{mirsat}} = -2d\boldsymbol{n}_{\text{p}} - (\boldsymbol{I}_{3} + (\boldsymbol{n}_{\text{p}} \times)(\boldsymbol{n}_{\text{p}} \times))\boldsymbol{p}_{\text{sat}}, \qquad (4)$$

$$\boldsymbol{v}_{\text{mirsat}} = -(\boldsymbol{I}_3 + (\boldsymbol{n}_{\text{p}} \times)(\boldsymbol{n}_{\text{p}} \times))\boldsymbol{v}_{\text{sat}}, \qquad (5)$$

$$(\mathbf{n}_{\rm p}\times) = \begin{pmatrix} 0 & -n_{\rm pz} & n_{\rm py} \\ n_{\rm pz} & 0 & -n_{\rm px} \\ -n_{\rm py} & n_{\rm px} & 0 \end{pmatrix}.$$
 (6)

式中: $I_3$ 为三维单位向量, $(n_p \times)$ 为反射面法向量的反对称矩阵.

由于多径反射信号的幅值与反射面的介质相关,因此很难建立幅值与反射面位置参数的数学模型.本文主要对多径码相位延迟 *τ*和多普勒频率 漂移 *f*dfading进行建模分析.

多径信号的码相位延迟τ是由 LOS 信号和多 径信号的传播路径长度差异造成,因此可以利用 式(7)建立模型.

$$\tau = \|\boldsymbol{p}_{\text{mirsat}} - \boldsymbol{p}_{\text{recv}}\| - \|\boldsymbol{p}_{\text{sat}} - \boldsymbol{p}_{\text{recv}}\|.$$
(7)

式中,"||||"为向量取模运算.

多径多普勒频率漂移 f<sub>dfading</sub>反映了多径信号 多普勒频率相对于 LOS 信号多普勒频率的偏移, 与卫星和接收机的运动有关,可以建模为式(8).

$$f_{\text{dfading}} = \frac{-1}{\lambda} \left[ (\boldsymbol{v}_{\text{mirsat}} - \boldsymbol{v}_{\text{recv}}) \cdot \frac{\boldsymbol{p}_{\text{mirsat}} - \boldsymbol{p}_{\text{recv}}}{\|\boldsymbol{p}_{\text{mirsat}} - \boldsymbol{p}_{\text{recv}}\|} - (\boldsymbol{v}_{\text{sat}} - \boldsymbol{v}_{\text{recv}}) \cdot \frac{\boldsymbol{p}_{\text{sat}} - \boldsymbol{p}_{\text{recv}}}{\|\boldsymbol{p}_{\text{sat}} - \boldsymbol{p}_{\text{recv}}\|} \right]$$

$$(8)$$

式中: λ为载波波长;"·"为向量点积运算.

## 2 粒子滤波多径反射面参数估计

在接收机跟踪环路, CADLL 算法实现了 GNSS 多径信号的感知和特征参数提取, 为反射面参数 估计提供了多径码相位延迟 τ和多普勒频率漂移 fdtading 原始观测量.接收机 PVT 解算模块提供的接 收机、卫星的位置、速度信息为 GNSS 多径信号 传播模型提供参数信息.由传播模型可以看出, 反射面位置参数与多径信号观测量之间存在大量 的非线性运算,常规的卡尔曼滤波已无法满足此 类非线性观测需求.因此,本文采用适用于非线 性系统的粒子滤波算法来估计反射面位置参数信 息,计算过程分为以下几个步骤: 1) 初始化

在反射面方位角、俯仰角、距离组成的三维 空间中均匀抽取M个粒子初始值 $\{x_0^i, i = 1, 2, \cdots, M\}$ :

$$\boldsymbol{x}_{0}^{i} = \begin{bmatrix} \varphi_{\text{azi}}^{i}, & \theta_{\text{ele}}^{i}, & d^{i} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}.$$
(9)

式中,  $\varphi_{azi}^i$ 、 $\theta_{ele}^i$ 、 $d^i$ 分别是第*i*个粒子的方位角、俯仰角、距离状态值.

由于算法中所讨论的 GNSS 多径信号反射 面主要指城市建筑外墙,因此反射面俯仰角初始 化值的取值范围限制在 [-10, 10]°;反射面方位角 初始化值的取值范围是 [ $\varphi_{azisat} - 90, \varphi_{azisat} + 90$ ]°,其 中 $\varphi_{azisat}$ 为卫星方位角;反射面距离初始化值的取 值范围是 [0,  $\tau_0$ ] m,其中 $\tau_0$ 为初始多径码相位 延迟.

粒子的初始权重ω<sub>0</sub>为1/M,在平衡计算效率 和计算精度的基础上适当选择粒子初始化密度及 粒子总数 M.

2) 系统状态更新

本文假设反射面为单一平面且保持静止,因 此粒子更新方程如下式所示:

$$\mathbf{x}_{k}^{i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x}_{k-1}^{i} + \mathbf{v}_{k-1}.$$
(10)

式中: $x_k^i$ 为更新后粒子值; $x_{k-1}^i$ 为更新前粒子值;  $v_{k-1}$ 为系统随机噪声.

3) 计算多径观测量预测值

根据每个粒子的方位角、俯仰角、距离值及 接收机、卫星的位置、速度信息,利用多径信号传 播模型中式(7)、(8)计算预测多径码延迟  $\tau^i_{pred}$ 和 预测多普勒频率漂移  $f^i_{ifadinenred}$ .

4) 粒子权重更新及归一化

本文假设多径观测量服从独立的二维高斯分 布,则粒子权重更新过程如下式所示:

$$\omega_k^i = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \mathrm{e}^{-\frac{1}{2}\left[\left(\tau - \tau_{\mathrm{pred}}^i\right)^2 / \sigma_1^2 + \left(f_{\mathrm{dfading}} - f_{\mathrm{dfadingpred}}^i\right)^2 / \sigma_2^2\right]}.$$
 (11)

式中:σ<sub>1</sub>表示码延迟观测噪声标准差;σ<sub>2</sub>表示多 普勒频率漂移观测噪声标准差.

若粒子俯仰角不满足[-10,10]°取值范围或粒 子方位角不满足式(13)所示的取值范围,

$$\lambda = \arccos(-\tan(\theta_{\text{elesat}})\tan(\theta_{\text{ele}}^i)), \qquad (12)$$

$$\varphi_{azi}^{i} \in \left[ \varphi_{azisat} - \lambda, \quad \varphi_{azisat} + \lambda \right].$$
(13)

式中, θelesat为卫星俯仰角, 则认为该粒子值不满足

镜面反射几何关系并将该粒子的权重归零.

粒子权重归一化过程如下式所示:

$$\omega_k^i = \omega_k^i / \sum_{i=1}^M \omega_k^i.$$
(14)

5) 粒子重采样

根据更新后的粒子权重对粒子进行重采样操作,防止粒子退化.根据更新后的粒子权重值,计 算权值累积分布函数(CDF),如下式所示:

$$F_{\rm cd}(l) = \sum_{i=1}^{l} \omega_k^i.$$
<sup>(15)</sup>

生成 0到 1之间均匀分布的 M个随机数  $\{u^i, i = 1, 2, \dots, M\}$ ,对于每一个随机数的索引i,找到 权值累积分布函数 $F_{cd}$ 值大于 $u^i$ 的第一个索引j, 用索引为j的粒子值 $x_i^j$ 赋值作为重采样后索引号 为i的粒子 $\tilde{x}_i^i$ ,完成粒子重采样过程.

 $j = \operatorname{index}(F_{\rm cd}(l) > u^{i}), \tag{16}$ 

$$\tilde{x}_k^i = x_k^j. \tag{17}$$

6) 计算反射面位置参数估计值

反射面方位角估计值 $\tilde{\varphi}_{azi}$ 、俯仰角估计值 $\tilde{\theta}_{ele}$ 、距离估计值 $\tilde{d}$ 是粒子值的平均,如式(18)、(19)、(20)所示.

$$\tilde{\varphi}_{azi} = \sum_{i=1}^{M} \tilde{\varphi}_{azi}^{i} / M, \qquad (18)$$

$$\tilde{\theta}_{\rm ele} = \sum_{i=1}^{M} \tilde{\theta}_{\rm ele}^{i} / M, \tag{19}$$

$$\tilde{d} = \sum_{i=1}^{M} \tilde{d}^i / M.$$
<sup>(20)</sup>

式中,  $\tilde{\varphi}^{i}_{azi}$ 、 $\tilde{\theta}^{i}_{ele}$ 、 $\tilde{d}^{i}$ 分别是重采样后粒子的方位角、俯仰角、距离值.

7) 计算多径信号反射点位置

多径信号反射点坐标(*p*<sub>rpx</sub>, *p*<sub>rpy</sub>, *p*<sub>rpz</sub>)可通 过求解如下方程组得到:

$$p_{rpx} - n_{mpx}t = p_{recvx}$$

$$p_{rpy} - n_{mpy}t = p_{recvy}$$

$$p_{rpz} - n_{mpz}t = p_{recvz}$$

$$(21)$$

$$n_{px}x + n_{py}y + n_{pz}z = -d$$

式中:t为辅助参数;  $(p_{recvx}, p_{recvy}, p_{recvz})$ 为接收 机位置坐标; $n_{mp}$ 为镜像卫星单位视线矢量,坐标

$$\boldsymbol{n}_{\rm mp} = \frac{\boldsymbol{p}_{\rm mirsat} - \boldsymbol{p}_{\rm recv}}{\|\boldsymbol{p}_{\rm mirsat} - \boldsymbol{p}_{\rm recv}\|}.$$
 (22)

## 3 实验结果与分析

本文分两次实验对算法进行测试.两次实验 分别是上海交通大学微电子楼天台的标定实验以 及上海市陆家嘴市区环境实验.实验使用 GNSS 中频采样设备对 GNSS 原始信号采样得到中频原 始数据,利用实验室包含 CADLL 算法的软件接 收机对中频原始数据进行基带信号处理和 PVT 解算得到多径信号观测数据及定位解算导航信 息.将观测数据代入粒子滤波反射面参数估计程 序,计算得出反射面参数估计结果,其中反射面 估计频率为 10 Hz.

GNSS 信号中频采样过程中尽量增加采样带 宽以提高多径特征参数提取精度,本文 GNSS 信 号采样带宽为 32 MHz.

#### 3.1 微电子楼天台标定实验

上海交通大学微电子楼天台北侧和西侧天空 被建筑外墙遮挡,另外两侧天空则是开阔的.接 收机天线置于天台地面,方位角接近90°的低仰角 卫星信号经西侧建筑外墙反射产生多径信号, GNSS 天线同时接收 LOS 信号和多径信号.微电 子楼天台标定实验中, GNSS 信号及接收机参数 如表1所示.

表 1	天台标定实验	GNSS 信	号及接	收机参数
-----	--------	--------	-----	------

项目	参数
信号频点	BDS B1I
PRN	20
卫星轨道	MEO
卫星方位角	61.1°
卫星俯仰角	16.8°
接收机经度坐标	31.025 033 7°E
接收机纬度坐标	121.439 745 4°N
接收机速度	0 m/s

使用高精度实时动态(RTK)接收机测量墙面标定点坐标,通过解析几何计算可以得到地理坐标系下的反射面参数标定值.相对接收机位置处的地理坐标系,天台实验的标定结果为反射面方位角 $\varphi_{azicali}$ =69.8°,俯仰角 $\theta_{elecali}$ =0°,距离 $d_{cali}$ =19.6 m.将多径观测数据代入粒子滤波反射面估计程序,反射面估计结果如图2所示.



根据反射面参数估计结果和反射面参数标定 值,评估反射面估计效果.反射面估计的绝对值 误差如图 3 所示.





计算反射面估计的均方根误差(RMSE),计 算公式如式(23)所示,计算结果如表2所示.

$$RMSE(y) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (y^{i} - y_{cali})^{2}}.$$
 (23)

式中: y为反射面参数估计值; y<sub>cali</sub>为反射面参数标 定值; N为实验数据长度.

表 2 天台标定实验反射面位置估计 RMSE

方位角/(°)	俯仰角/(°)	距离/m
4.93	0.46	1.01

从实验结果可以看出,反射面位置参数估计 结果收敛于标定值,估计 RMSE 较小,算法实现了 对微电子楼天台西侧建筑外墙反射面位置参数的

## 估计.

### 3.2 陆家嘴市区环境实验

在陆家嘴市区环境进行数据采集并进行粒子 滤波反射面参数估计, GNSS 信号及接收机参数 如表3所示,反射面参数估计结果如图4所示.对 反射点位置坐标求平均值得到反射点位置估计, 如图5所示.

	表 3	陆家嘴市区环境	GNSS 信号及接收机参	ѷ数
--	-----	---------	--------------	----

项目	参数
信号频点	BDS B1I
PRN	06
卫星轨道	IGSO
卫星方位角	173.9°
卫星俯仰角	41.8°
接收机经度坐标	31.235 476 8°E
接收机纬度坐标	121.497 832 5°N
接收机速度	0 m/s





图 5 陆家嘴市区环境实验反射点位置估计结果

图 6 为粒子滤波反射面参数估计算法多径码 相位延迟原始观测值.由图 6 可知,码相位延迟值 小于 80 m. 根据 GNSS 多径反射信号传播几何关 系,该多径信号的反射面距离小于 80 m. 由卫星 方位角为 173.9°可知,反射面方位角的取值范围 为[83.9,263.9]°.利用百度地图接收机所在位置处 的全景地图,满足上述方位角和距离要求的反射 面仅有如图 5 所示的东亚银行金融大厦.算法实 现了市区环境 GNSS 多径信号反射面感知与参数 估计.



由反射面估计结果可知反射面方位角在175° 左右.由于本文反射面法向量定义为由反射面指 向地理坐标系坐标原点,而卫星方位角或百度全 景地图朝向的法向量定义为地理坐标系中由接收 机指向目标,因此实验估计的反射面在百度地图 全景功能中的朝向为355°.图7为利用百度全景 地图得到的多径反射场景示意图,其中反射点所 在建筑为东亚银行金融大厦.



图 7 陆家嘴市区环境实验多径反射场景

## **4** 结束语

本文对城市峡谷环境下 GNSS 信号中的 LOS 信号和多径信号的传播模型进行建模分析,基于 粒子滤波算法实现了多径反射面的位置参数估 计.该算法具有较高精度.静态环境下,反射面方 位角 RMSE小于 10°,俯仰角 RMSE小于 5°,距离 估计 RMSE小于 10 m. 在不增加传感器的情况下, 本文所提算法提高了接收机的周边环境感知能 力,相关感知信息可应用于场景感知、避障、路径 规划和定位增强等领域.

#### 参考文献

- [1] 李治泽. 基于激光雷达的四旋翼飞行器SPLAM研究与实现[D]. 长沙: 国防科技大学, 2017.
- [2] 蔡雄风.城市综合环境无人驾驶车辆导航方法研究[D].上 海:上海交通大学, 2017.
- [3] 万玮,李黄,洪阳,等. GNSS-R遥感观测模式及陆面应用[J]. 遥感学报, 2015, 19(6): 882-893.
- [4] 陈锐志, 王磊, 李德仁, 等. 导航与遥感技术融合综述[J]. 测 绘学报, 2019, 48(12): 1507-1522.
- [5] GROVES P, JIANG Z Y, RUDI M, et al. A portfolio approach to NLOS and multipath mitigation in dense urban areas[C/OL]//Proceedings of the 26th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, 2013: 3231-3247. https://www.ion.org/publications/ abstract.cfm?articleID=11264.
- [6] YEDYKONDALU K, SARMA ACHANTA D, SATYA V. Estimation and mitigation of GPS multipath interference using adaotive filtering[J]. Progress in electromagnetics research m, 2011(21): 133-148. DOI: 10.2528/PIERM1108 0811.
- [7] VAN NEE R, TOWNSEND B, FENTON P, et al. L1 carrier phase multipath error reduction using MEDLL technology[C/OL]//Proceedings of the 8th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS), 1995: 1539-1544. https://www.ion.

org/publications/abstract.cfm?articleID=2407.

- [8] CHEN X, DOVIS F, PINI M. An innovative multipath mitigation method using coupled amplitude delay locked loops in GNSS receivers[C]//Proceedings of IEEE/ION PLANS 2010, Indian, 2010: 1118-1126. DOI: 10.1109/PLANS.2010. 5507230.
- [9] ARULAMPALAM M S, MASKELL S, GORDON N, et al. A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-Gaussian Bayesian tracking[J]. IEEE transactions on signal processing, 2002, 50(2): 174-188. DOI: 10.1109/78.978374.
- [10] CHEN Z S. Bayesian filtering: from Kalman filters to particle filters, and beyond[J]. Statistics, 2003, 182(1): 1-69. DOI: 10. 1080/02331880309257.
- [11] 秦永元. 惯性导航[M]. 北京: 科学出版社, 2014.

#### 作者简介

**邵乙伦**(1987—),男,硕士研究生,研究 方向为卫星导航定位.

赵娟 (1990—),女,研究实习员,研究方 向为制导与制导抗干扰技术.

**刘承禹** (1979—),男,研究员,研究方向 为制导与制导抗干扰技术。

**陈新** (1982—),男,博士,副教授,研究方 向为卫星导航定位.

## **Reflection plane parameters estimation with GNSS multipath signal**

SHAO Yilun<sup>1</sup>, ZHAO Juan<sup>2</sup>, LIU Chengyu<sup>2</sup>, WANG Yan<sup>2</sup>, CHEN Xin<sup>1</sup>

 School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;
 25 Unit, 96901 Troops, Beijing 100094, China)

**Abstract:** GNSS multipath signals widely exist in complex navigation and positioning scenarios such as urban canyons. Although the multipath signal interferes GNSS receiver and reduces positioning accuracy, it provides environment information around the receiver. Based on the coupled amplitude delay locked loops algorithm (CADLL) which senses GNSS multipath signals and extracts feature parameters, a particle filter-based reflection plane parameters estimation algorithm is designed and implemented. The algorithm can enhance the receiver's environment perception in the GNSS multipath environment, the corresponding information can be applied to the fields of scene perception, collision avoidance, path planning and positioning augmentation. GNSS multipath signal recording and algorithm testing are carried out in a static environment. The experimental results show that the algorithm can effectively estimate the position parameters of the reflecting plane. The root mean square error (*RMSE*) of the azimuth angle of the reflection plane is less than 10 degrees, the *RMSE* of the elevation angle is less than 5 degrees, and the *RMSE* of the distance is less than 10 meters.

Keywords: environment perception; GNSS; particle filter; multipath signal processing; reflection plane localization