



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107942356 B

(45)授权公告日 2019.09.10

(21)申请号 201711127678.6

(22)申请日 2017.11.09

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107942356 A

(43)申请公布日 2018.04.20

(73)专利权人 武汉大学
地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学

(72)发明人 张小红 郭斐 任晓东

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 42222

代理人 严彦

(51)Int.Cl.
G01S 19/37(2010.01)

(56)对比文件

- CN 107132558 A, 2017.09.05,
- CN 106896386 A, 2017.06.27,
- CN 107064972 A, 2017.08.18,
- CN 101299063 A, 2008.11.05,
- CN 104614741 A, 2015.05.13,
- CN 102353969 A, 2012.02.15,
- CN 105572703 A, 2016.05.11,
- CN 103675862 A, 2014.03.26,
- EP 1729145 B1, 2013.08.07,
- 刘志强等.顾及码频间偏差的GPS/GLONASS
实时卫星钟差估计.《武汉大学学报 信息科学
版》.2017,第42卷(第9期),1209-1215.
- 刘志强等.单站多参数GLONASS码频间偏差
估计及其对组合精密单点定位的影响.《测绘学
报》.2015,第44卷(第2期),150-159.

审查员 伍晓霞

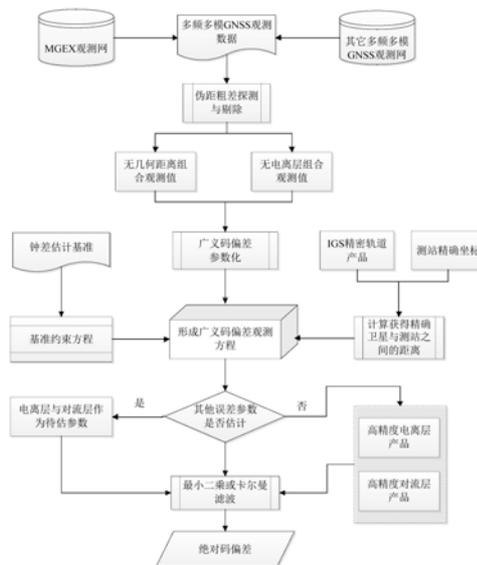
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种多频多模GNSS广义绝对码偏差估计方
法

(57)摘要

本发明涉及多频多模GNSS广义绝对码偏差估计方法,将当前多频多模GNSS码偏差进行重新定义与归类,利用多频多模GNSS观测网的原始伪距观测数据,分别构建无几何距离观测方程和无电离层观测方程,在观测方程中完整地表达各项码偏差,根据设计矩阵中各项偏差参数的可区分性,结合矩阵秩亏的条件数对偏差参数进行重新组合,采用最小二乘估计码偏差及其他参数;通过引入与现有钟差产品相同的观测基准,即可将相对码偏差参数转换至绝对码偏差参数。本发明可以提供面向原始观测值的准绝对码偏差值,为导航定位用户提供简便、统一的偏差校正方法,极大降低多频多模GNSS数据处理的复杂度。



1. 一种多频多模GNSS广义绝对码偏差估计方法,其特征在于,包括以下处理,

步骤1,将当前多频多模GNSS码偏差进行重新定义与归类,重定义的码偏差包括特定观测值偏差OSB、信号间偏差DSB和无电离层信号偏差ISB;

步骤2,基于全球MGEX跟踪站网及其他观测网的多频多模GNSS观测数据,根据不同码观测值类型,分别构建无几何距离观测方程和无电离层观测方程;

步骤3,根据步骤2所得观测方程表达式,进行各项偏差的完整表达,实现参数化,得到广义码偏差观测方程表达式;

步骤4,根据步骤3所得观测方程表达式的设计矩阵分析偏差参数的可区分性,利用秩亏的条件数对偏差参数进行重新组合,通过进行多频多模GNSS码偏差估计的基准统一及绝对化,约束观测方程,使得各项参数能够估计;所述进行多频多模GNSS码偏差估计的基准统一及绝对化,实现如下,

1) 采用与钟差产品相同的观测基准;

2) 在卫星端,对于CDMA方式的GPS、Galileo和BDS,每个星座分别引入一个零基准,卫星端偏差和为0;对于FDMA方式的GLONASS,则需要每个频率上引入一个零基准;

3) 在接收机端,假设GPS对应的ISB为0,以GPS作为参考系统;

由上述1)和2)定义的基准,建立DSB、ISB和OSB参数的映射关系,得到绝对形式的码偏差改正数;基于这个绝对形式的码偏差改正数,用户端能够对原始观测值直接进行改正;

步骤5,对步骤4所得观测方程中除码偏差参数外的其他参数进行处理,其它参数中,卫星与地面接收机的距离通过精密星历产品和测站坐标信息精确计算,而电离层和对流层参数采用参数估计或外部高精度电离层和对流层产品修正;

步骤6,采用最小二乘或卡尔曼滤波器估计码偏差及其他相关参数,获得绝对码偏差参数,该绝对码偏差参数支持用户端对原始观测值直接进行改正。

2. 根据权利要求1所述多频多模GNSS广义绝对码偏差估计方法,其特征在于:步骤2中,所述无几何距离观测方程和无电离层观测方程,其观测值的截止高度角设置为 20° 。

3. 根据权利要求1所述多频多模GNSS广义绝对码偏差估计方法,其特征在于:步骤4中,为解决偏差估计模型秩亏问题,将不能分离的参数进行合并,减少待估参数;或引入相对基准,增加虚拟观测方程。

一种多频多模GNSS广义绝对码偏差估计方法

技术领域

[0001] 本发明属于GNSS数据处理领域,是一种多频多模GNSS广义绝对码偏差估计方法。

背景技术

[0002] 全球卫星导航系统(简称GNSS)是国家重大的空间和信息化基础设施,在国民经济建设和国防安全领域发挥了重要的作用。继美国的GPS和俄罗斯的GLONASS系统之后,欧盟建设了Galileo系统,我国也正在大力发展具有自主知识产权的北斗卫星导航系统(简称BDS)。卫星导航从单一的系统垄断进入了多GNSS竞争与合作的新时代。目前,已有超过80颗在轨GNSS卫星向全球用户提供十余个不同频率的卫星信号。随着GPS/GLONASS的现代化、Galileo/BDS的全球组网及其信号体制升级,未来将有更多的可用卫星和更加丰富的频率资源。多频多模GNSS的出现给导航定位带来了新的发展机遇。联合多频多模GNSS数据处理可以显著增加卫星数量,提高观测系统的冗余度,优化空间几何构型,加速模糊度收敛与固定,进而提升导航与位置服务的精度、连续性和可用性。

[0003] 与此同时,多频多模GNSS的发展也产生了一些新的问题和挑战。特别是GNSS信号基准的不一致性,使得多频多模GNSS的兼容与互操作问题日益突出。描述多频多模GNSS信号时间基准偏差的参数,目前主要有信号间偏差(ISC)、信号群延迟(TGD)、差分码偏差(DCB)、频率间偏差(IFB)及系统间偏差(ISB)。这些偏差对于多频多模GNSS数据处理极为不利,尤其是在电离层延迟估计与建模、时间传递(授时),以及非差精密单点定位(PPP)等方面,严重影响数据处理的精度和可靠性,必须对其进行精确改正。主要存在以下问题:

[0004] 1) 多频多模GNSS码偏差估计模型不完善,估值精度和可靠性受限。以差分码偏差估计为例,现有的方法忽略了GLONASS频分多址的特性,采用与GPS类似的估计方法(即不同卫星的接收机DCB相同),导致GLONASS的差分码偏差估值精度和可靠性偏低。

[0005] 2) 多频多模GNSS的发展使得传统差分码偏差校正变得更加复杂,用户需要根据具体的观测模型(单频/双频/三频,组合/非组合等形式)推导正确的改正方法,这给普通的导航定位用户增加了难度。

[0006] 3) 与码相关的偏差包括差分码偏差、频率间偏差、系统间偏差等,而当前普通导航定位用户可用的产品只有DCB,尚缺乏IFB和ISB产品。而这些产品恰恰又是多频多模GNSS兼容与互操作的重要参数。

[0007] 针对以上问题,本发明给出了一种多频多模GNSS绝对码偏差估计方法,有效解决多频多模GNSS给导航定位数据处理带来的诸多问题,为导航定位用户提供简单、统一的偏差校正方法。

发明内容

[0008] 本发明提供一种多频多模GNSS广义绝对码偏差估计方法,所获得绝对码偏差参数可以大幅降低导航定位用户对码观测值码偏差校正的复杂程度。

[0009] 本发明提供一种多频多模GNSS广义绝对码偏差估计方法,包括以下处理,

[0010] 步骤1,将当前多频多模GNSS码偏差进行重新定义与归类,重定义的码偏差包括特定观测值偏差OSB、信号间偏差DSB和无电离层信号偏差ISB;

[0011] 步骤2,基于全球MGEX跟踪站网及其他观测网的多频多模GNSS观测数据,根据不同码观测值类型,分别构建无几何距离观测方程和无电离层观测方程;

[0012] 步骤3,根据步骤2所得观测方程表达式,进行各项偏差的完整表达,实现参数化,得到广义码偏差观测方程表达式;

[0013] 步骤4,根据步骤3所得观测方程表达式的设计矩阵分析偏差参数的可区分性,利用秩亏的条件数对偏差参数进行重新组合,通过基准统一及绝对化方法,约束观测方程,使得各项参数能够估计;

[0014] 步骤5,对步骤4观测方程中除码偏差参数外的其他参数进行处理,其它参数中,卫星与地面接收机的距离通过精密星历产品和测站坐标信息精确计算,而电离层和对流层参数采用参数估计或外部高精度电离层和对流层产品修正;

[0015] 步骤6,采用最小二乘或卡尔曼滤波器估计码偏差及其他相关参数,获得绝对码偏差参数,该绝对码偏差参数支持用户端对原始观测值直接进行改正。

[0016] 而且,步骤2中,所述无几何距离观测方程和无电离层观测方程,其观测值的截止高度角设置为 20° 。

[0017] 而且,步骤4中,为解决偏差估计模型秩亏问题,将不能分离的参数进行合并,减少待估参数;或引入相对基准,增加虚拟观测方程。

[0018] 而且,步骤4中,进行多频多模GNSS码偏差估计的基准统一及绝对化,实现如下,

[0019] 采用与钟差产品相同的观测基准;

[0020] 在卫星端,对于CDMA方式的GPS、Galileo和BDS,每个星座分别引入一个零基准,卫星端偏差和为0;对于FDMA方式的GLONASS,则需要在每个频率上引入一个零基准;

[0021] 在接收机端,假设GPS对应的ISB为0,以GPS作为参考系统;

[0022] 由上述定义的基准,建立DSB、ISB和OSB参数的映射关系,得到绝对形式的码偏差改正数;基于这个绝对改正数,用户端能够对原始观测值直接进行改正。

[0023] 与现有技术相比,本发明具有如下优点和有益效果:

[0024] 1) 本发明中,建立的多频多模GNSS广义码偏差精确估计的数学模型,可以解决当前码偏差估计方法估计得到的不同偏差参数之间一致性(自洽性)较差的问题。

[0025] 2) 通过将现有差分码偏差参数转换为绝对码偏差参数,解决当前多频多模条件下,差分码偏差校正公式复杂多变、用户端不易实现等的问题。

[0026] 3) 本发明可以提供面向原始观测值的准绝对码偏差值,为导航定位用户提供简便、统一的偏差校正方法,极大降低多频多模GNSS数据处理的复杂度。本发明将在全球卫星导航系统国际化应用发挥重要作用,具有重要市场价值。

附图说明

[0027] 图1为本发明实施例的多频多模GNSS码偏差估计总体框架图。

[0028] 图2为本发明实施例的多频多模GNSS码偏差绝对化校准示意图。

具体实施方式

[0029] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下将结合附图及实例对本发明进行进一步详细说明,应当理解,此处描述的具体实施方式仅用于解释本发明,并不限定本发明。

[0030] 本发明实施例的技术方案如下所述:

[0031] (1) 将当前多频多模GNSS码偏差类型进行重新定义与归类,使其更加规范和统一。

[0032] 重定义的码偏差包括特定观测值偏差 (Observable-Specific Signal Bias,简称OSB)、信号间偏差 (Differential Signal Bias,简称DSB) 和无电离层信号偏差 (Ionosphere-Free Signal Bias,简称ISB)。其中,OSB为绝对值,DSB和ISB为相对值。对于伪距观测值而言,这三类偏差可称为广义码偏差。新定义的ISB(包括卫星端和接收机端)与原来的系统间偏差 (Inter-System Bias,特指接收机端) 并不矛盾,而是广义上的延伸。

[0033] (2) 基于全球MGEX跟踪站网及其他观测网的多频多模GNSS观测数据,根据不同码观测值类型,分别构建无几何距离观测方程和无电离层观测方程。

[0034] 进一步地,所述的MGEX跟踪站网及其他观测网包含分布于全球的100~180个MGEX测站、以及各国家和地区可获取的多频多模GNSS观测数据,测站选取尽量多,并且其分布尽量均匀,以便提高码偏差参数的估计精度。

[0035] 进一步地,所述的无电离层观测方程和无几何距离观测值,其截止高度角选取大于 20° ,以削弱多路径误差对绝对码偏差估计精度的影响。

[0036] 实施例中,基于全球MGEX观测网及其他观测网的多频多模GNSS观测数据,分别构建无几何距离观测方程和无电离层观测方程,其观测值的截止高度角设置为 20° ,以削弱多路径效应的影响。

[0037] (3) 根据(2)所得观测方程表达式,进行各项偏差的完整表达(即参数化),得到广义码偏差观测方程表达式。

[0038] (4) 根据(3)所得观测方程表达式的设计矩阵分析偏差参数的可区分性,利用秩亏的条件数对偏差参数进行重新组合,通过基准统一及绝对化方法,约束观测方程,使得各项参数可估。

[0039] 本步骤为解决偏差估计模型秩亏问题,将不可分离的参数进行合并,减少待估参数;或引入相对基准,增加虚拟观测方程。

[0040] (5) 对(4)观测方程中除码偏差参数外的参数(如电离层参数、对流层参数、卫地几何距离等)进行处理,其中卫地距离(卫星与地面接收机的距离)可以通过精密星历产品和测站坐标信息精确计算,而电离层和对流层参数可以采用参数估计或外部高精度电离层和对流层产品修正两种方法。

[0041] (6) 采用最小二乘或卡尔曼滤波器估计码偏差及其他相关参数,获得绝对码偏差参数,该绝对码偏差参数支持用户端对原始观测值直接进行改正。

[0042] 参见图2,本发明实施例进一步提出步骤(4)中多频多模GNSS码偏差估计的基准统一及绝对化方法,包括以下步骤:

[0043] 步骤1,为了保持与钟差产品的兼容性,可采用与钟差产品相同的观测基准,即GPS:C1W/C2W, GLONASS:C1P/C2P, BDS:C2I/C7I, Galileo:C1C/C5Q。

[0044] 步骤2,在卫星端,对于CDMA方式的GPS、Galileo和BDS,每个星座分别引入一个零

基准,即卫星端偏差和为0;对于FDMA方式的GLONASS,则需要每个频率上引入一个零基准。

[0045] 步骤3,在接收机端,假设GPS对应的ISB为0,即以GPS作为参考系统。

[0046] 步骤4,由上述步骤1~3定义的基准,即可建立DSB、ISB和OSB参数的映射关系,得到绝对形式的码偏差改正数。基于这个绝对改正数,用户端即可对原始观测值直接进行改正,得到多频多模GNSS绝对码偏差值。

[0047] 见图1,本发明实施例包括如下步骤:

[0048] 步骤1,选取全球MGEX网及其他观测网的多频多模GNSS观测数据,测站选取尽可能全球均匀分布并且数量尽可能多,以便提高码偏差估值精度和可靠性。数据采样率为30s,另外为避免低高度角卫星对电离层建模精度和码偏差估计精度的影响,将卫星截止高度角设为 20° 。

[0049] 步骤2,将现有不同接收机产生的所有码观测值类型分类,确定其可估性(即保证该码观测值类型有可跟踪的观测站)。在RINEX2标准文件下,GPS和GLONASS有P1、C1、P2、C2四种码观测值类型。而在RINEX3标准下,每个卫星系统最多定义了15种码观测值。但是目前MGEX观测网所能追踪到的观测值类型有限,并不能确定RINEX3标准给出的所有码观测值的码偏差参数。表1给出了MGEX观测网可跟踪的码观测值类型及可跟踪到的测站数目。

[0050] 表1全球MGEX网的接收机类型及对应的观测值类型与测站数目

接收机类型	观测值类型	测站数目
JAVAD TR_G3TH/ TRE_G3TH DELTA/ TRE_3 DELTA	G: 1C 1W 2W 2X 5X ; R: 1C 1P 2C 2P E: 1X 5X	34
JAVAD TRE_G2T DELTA	G: 1C 1W 2W 2X 5X; E: 1X 5X	3
LEICA GR10/GR25/	G: 1C 2S 2W 5Q;	24

	GR50	R: 1C 2P 2C E: 1C 5Q 7Q 8Q ; C: 2I(1I) 7I	
	LEICA GRX1200+GNSS	G: 1C 2X 5X 2W ; R: 1C 2P E: 1X 5X 7X 8Q	3
	NOV OEM6	G: 1C 2W 5Q ; R: 1C 2P E: 1C 5Q	2
	SEPT ASTERX3	G: 1C 2W 5Q ; R: 1C 2C 2P E: 1C 7Q 8Q 5Q ; C: 2I 7I	1
[0052]	SEPT POLARX4	G: 1C 1W 2W 2L 5Q R: 1C 2P 2C 3Q	11
	SEPT POLARX4TR	G: 1C 1W 2W 2L 2L ; R: 1C 2P 2C ; C: 2I 7I	13
	SEPT POLARX5	G: 1C 1W 2W 2L 5Q ; R: 1C 2P 2C 3Q E: 1C 5Q 7Q 8Q ; C: 2I(1I) 7I	5
	TRIMBLE NETR9	G: 1C 2W 2X 5X ; R: 1C 1P 2C 2P E: 1X 5X 7X 8X ; C: 2I 7I 6I	79

[0053] 步骤3,利用步骤1获得的原始观测数据,计算无几何距离观测值和无电离层观测值,分别建立含有信号间偏差参数DSB和无电离层偏差参数ISB的观测方程。具体包括:

[0054] a) 首先,根据原始观测数据,得到其伪距观测方程,可写为:

$$[0055] \quad P_{\text{sig},r}^{\text{sys},s} = \rho_r^s + c(t_r - t^s + B_{\text{sig},r}^{\text{sys},s} - B_{\text{sig}}^s + \tau^{\text{sys}}) + T_r^s + I_{f_{\text{sig},r}}^s \quad (1)$$

[0056] 式中,下标sig代表卫星信号,r代表接收机,f代表信号频率;上标sys代表卫星系统,s代表某一特定的卫星,c为真空中的光速; ρ_r^s 表示已顾及地球潮汐和天线相位中心偏差改正后的卫星至接收机的几何距离; t_r 和 t^s 分别表示接收机钟差和卫星钟差; τ^{sys} 代表卫星系统sys相对于某一参照系的系统时偏差; T_r^s 和 $I_{f_{\text{sig},r}}^s$ 分别代表对流层延迟和电离层延迟。

B_{sig}^s 表示信号sig在卫星端产生的码偏差, $B_{\text{sig},r}^{\text{sys},s}$ 表示信号sig在接收机端产生的码偏差。

[0057] 对于频分多址的GLONASS系统,卫星信号sig在接收机端产生的,码偏差 $B_{\text{sig},r}^{\text{sys},s}$ 不仅取决于信号类型,还与卫星有关(频率不同);而对于码分多址的GPS、BDS、Galileo系统, $B_{\text{sig},r}^{\text{sys},s}$ 可退化为 $B_{\text{sig},r}^{\text{sys}}$,同一星座、同一信号在接收机端产生的码偏差相同,与卫星无关。此外,在后面参数估计前,利用粗差探测方法对伪距观测值中的粗差进行剔除,如“数学期望平

移”模型或“方差扩大”模型。

[0058] b) 然后,根据公式1的“干净”伪距观测值组成无几何距离观测值和无电离层观测值,并将其进行参数化,即广义码偏差参数化,得到含有DSB和ISB待估参数的观测方程。其方程可写为:

$$\begin{aligned}
 GF_{sig1sig2,r}^s &= P_{sig1,r}^s - P_{sig2,r}^s \\
 [0059] \quad &= c \underbrace{(B_{sig1,r}^s - B_{sig1}^s - B_{sig2,r}^s + B_{sig2}^s)}_{DSB_{sig1sig2,r}^s} + I_{f_{sig1},f_{sig2},r}^s \quad (2)
 \end{aligned}$$

[0060] 以上式(2)即为广义码偏差观测方程。

$$\begin{aligned}
 IF_{sig1sig2,r}^s &= \kappa_1 P_{sig1,r}^s + \kappa_2 P_{sig2,r}^s \\
 [0061] \quad &= c \underbrace{(\kappa_1 B_{sig1,r}^s - \kappa_1 B_{sig1}^s + \kappa_2 B_{sig2,r}^s - \kappa_2 B_{sig2}^s)}_{ISB_{sig1sig2,r}^s} + \rho_r^s + T_r^s \quad (3)
 \end{aligned}$$

[0062] 出于完整性的考虑,式(3)给出了码偏差的绝对值。但是,由于卫星和接收机端不同信号对应的码偏差强相关,其绝对值并不可估。为了解决偏差估计模型的秩亏问题,可以采用两种途径:一种方法是将不可分离的参数进行合并,减少待估参数;另一种方法是引入相对基准(固定其中某些参数),即增加虚拟观测方程。此外,公式(2)中含有的电离层参数可以采用外部高精度电离层模型修正或直接作为未知参数进行估计;公式(3)中的测站与卫星之间距离参数可以直接通过精确的测站坐标和精密轨道产品(例如IGS精密轨道产品)计算,对流层延迟参数可以采用外部高精度对流层模型(即高精度对流层产品)修正或直接作为未知参数进行估计。

[0063] 步骤4,将码偏差基准统一,并实现绝对码偏差参数的准确估计。为了保持和IGS钟差产品的兼容性,实施例采用与钟差估计相同的观测值基准,即建立基准校准公式如下:

$$[0064] \quad \begin{cases} ISB_{sig1sig2}^G, ISB_{sig1sig2}^E, ISB_{sig1sig2}^C = 0 \\ ISB_{sig1sig2}^{R1}, \dots, ISB_{sig1sig2}^{Rj}, \dots, ISB_{sig1sig2}^{Rn} = 0 \\ ISB_{sig1sig2,r}^G = 0 \end{cases} \quad (4)$$

[0065] 在卫星端,对于CDMA方式的GPS、Galileo和BDS,,每个星座需引入一个零基准;而对于FDMA方式的GLONASS,则需要每个频率上引入一个零基准。在接收机端,假设GPS对应的ISB为0,即以GPS作为参考系统。不同系统对应的sig1/sig2观测值分别为GPS:C1W/C2W, GLONASS:C1P/C2P, BDS:C2I/C7I, Galileo:C1C/C5Q;

[0066] 步骤4,根据步骤2和步骤3给出的参数估计模型以及数据处理方法,采用最小二乘或卡尔曼滤波估计器将未知参数进行估计。

[0067] 步骤5,用户使用步骤4估计得到的绝对码偏差,可以直接对原始观测值进行校正,与用户采用何种定位模型无关,从而大大降低多频多模GNSS数据处理的复杂程度。

[0068] 具体实施时,以上步骤可采用软件方式提供自动运行

[0069] 需要强调的是,本发明所述的实施例是说明性的,而不是限定性的,因此本发明并不限于具体实施方式中所述的实施例,凡是由本领域技术人员根据本发明的技术方案得出的其他实施方式,同样属于本发明保护的范围。

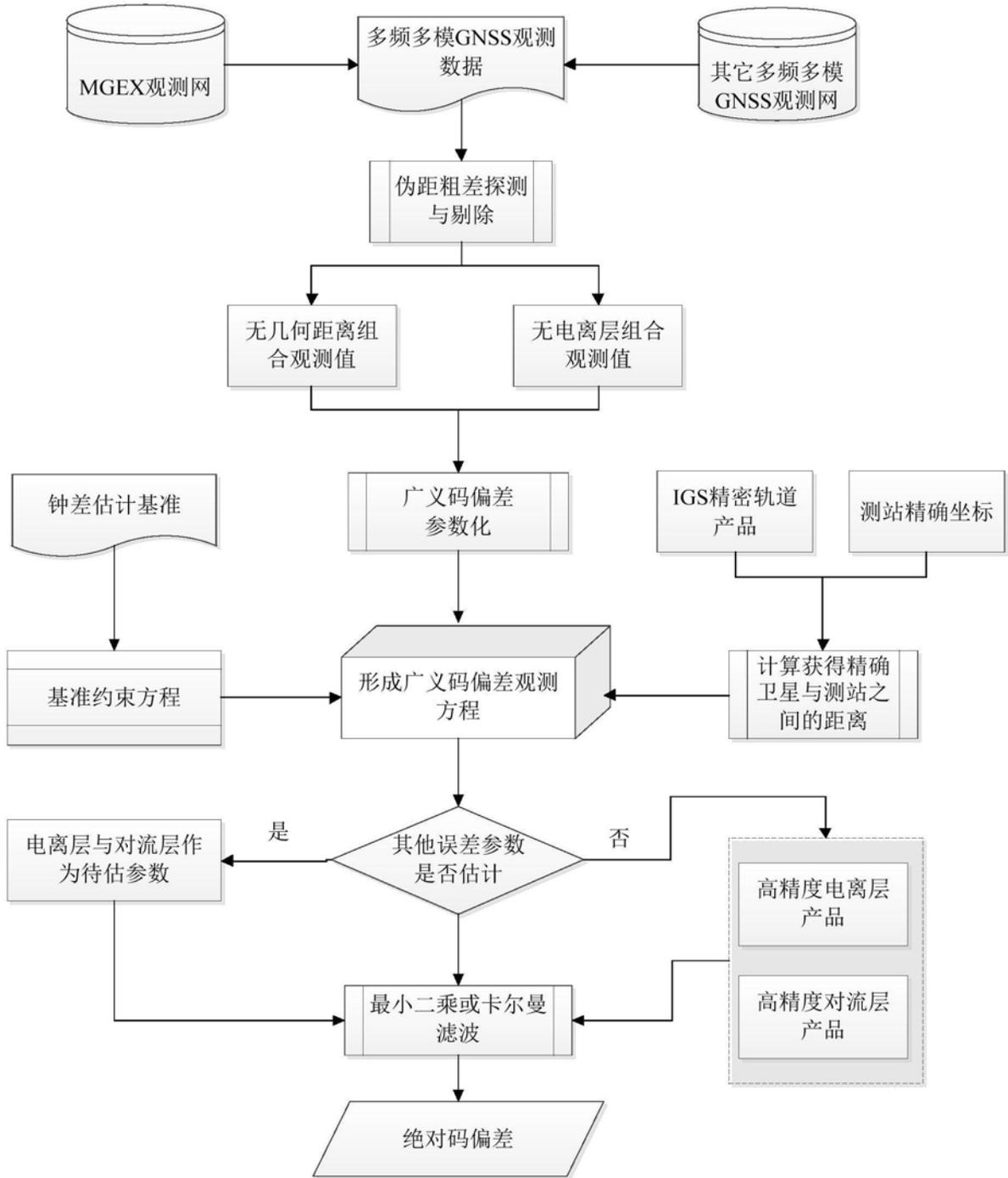


图1

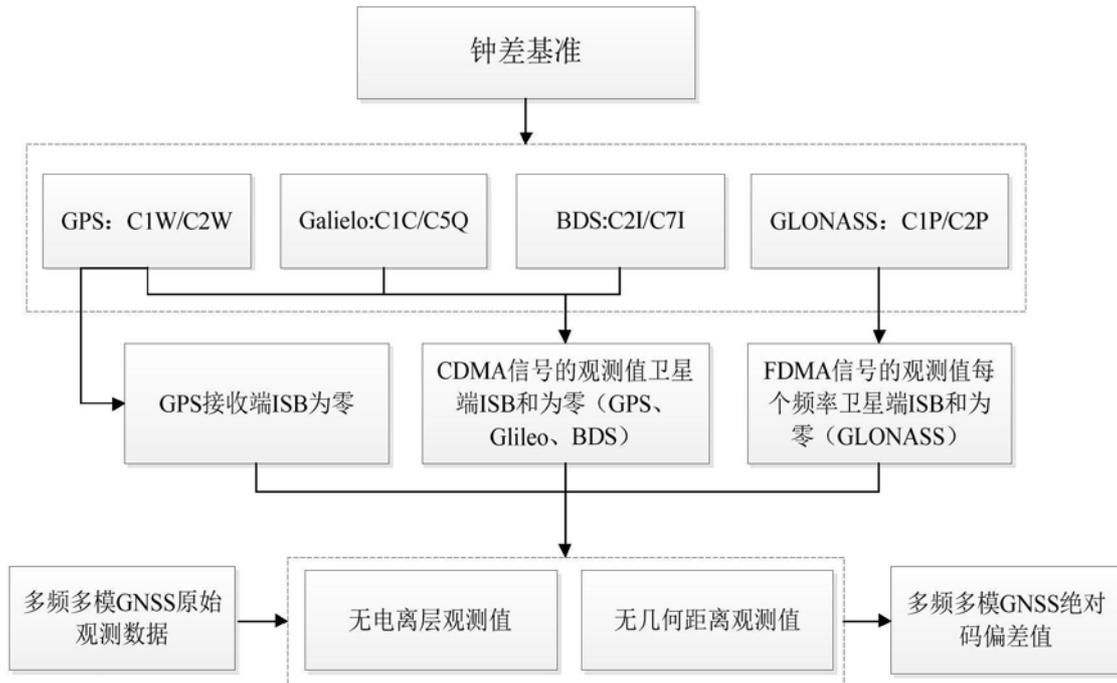


图2