



武汉大学学报(信息科学版)

Geomatics and Information Science of Wuhan University

ISSN 1671-8860, CN 42-1676/TN

《武汉大学学报(信息科学版)》网络首发论文

题目: 北斗 B1C、B2a 信号非理想性分析及接收约束建议
作者: 高扬, 沙海, 楚恒林, 王梦丽
DOI: 10.13203/j.whugis20200568
收稿日期: 2020-10-15
网络首发日期: 2021-11-16
引用格式: 高扬, 沙海, 楚恒林, 王梦丽. 北斗 B1C、B2a 信号非理想性分析及接收约束建议[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版),
<https://doi.org/10.13203/j.whugis20200568>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

引用格式：

高扬, 沙海, 楚恒林, 等. 北斗B1C、B2a信号非理想性分析及接收约束建议[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, DOI: 10.13203/j.whugis20200568 (GAO Yang, SHA Hai, CHU Henglin, et al. Non-ideality characteristic analysis and receiver design constraints recommendation for BeiDou System B1C and B2a Signals. GAO Yang, SHA Hai, CHU Henglin [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, DOI: 10.13203/j.whugis20200568)

北斗 B1C、B2a 信号非理想性分析及接收约束建议

高扬¹ 沙海¹ 楚恒林¹ 王梦丽¹

¹ 北京卫星导航中心, 北京 海淀区, 100094

摘要：卫星导航信号的非理想性可使不同接收机之间出现测距偏差, 是影响卫星导航系统服务精度和完好性的重要因素。本文针对北斗系统 B1C、B2a 新体制信号的非理想性进行分析, 利用大口径天线采集了全部北斗三号在轨卫星播发的 B1C、B2a 信号 (共 27 颗卫星信号), 评估了不同接收带宽、码鉴相间距下测距偏差的大小与变化特点; 进一步, 以双频多星座星基增强服务应用为例, 分析了两个信号在相应接收机中的设计约束条件。研究结果显示: 在接收机常用的参数范围内, B1C、B2a 信号非理想性引入的测距偏差分别不超过 0.7 米和 0.4 米; 在测距偏差小于 0.1 米的性能约束下, B1C、B2a 信号可用的约束条件参数范围优于国际民航标准草案中相关要求。

关键词：B1C 和 B2a 信号; 非理想性; 测距偏差; 接收机设计约束

中图分类号：TN967.1

文献标志码：A

全球卫星导航系统通过导航信号向用户提供导航定位授时服务。由于星上器件的非线性特点, 卫星实际播发的导航信号存在一定的非理想性^[1,2], 接收机采用不同的接收方法或接收参数, 获得的测距结果将存在一定偏差, 偏差大小由信号非理想程度和接收机差异程度共同决定^[3-4]。随着卫星导航系统以及星基增强系统服务精度和完好性要求的不断提高, 信号非理想性引入的测距误差对服务性能的影响逐渐突显, 并引起了越来越多的关注, 相关的研究主要包括两方面:

一是分析评估信号非理想性特点, 以进行准确的、定量的描述。相关研究通常针对实际的卫星信号开展, 例如, 文献[4]评估了全球定位系统(global positioning system, GPS) L1C/A 信号的测距偏差, 文献[5-6]提出测距偏差曲线评估方法并对 Galileo 系统试验卫星信号进行长期分析; 文献[7-8]展示了北斗 B1I 信号测距偏差现象并进行建模, 文献[9-10]进一步对北斗全球试验系统和最简系统信号的测距

偏差进行分析, 文献[11-14]等对 GPS 畸变信号特点进行评估和建模等。

二是研究测距偏差的削弱方法, 以降低其对系统服务的影响。由于信号非理想性取决于星上器件的工艺水平, 不能彻底消除或大幅改善, 因此, 通常要基于信号的非理想特点, 采用合理约束接收机设计的方式来实现。最典型的, 在应用于民用航空领域的星基增强服务中, 通过国际民航组织 (international civil aviation organization, ICAO) 标准文件严格约束用户机设计^[15], 同时配合信号质量监测功能^[16-17], 共同消除信号非理想性影响, 实现服务的高精度、高完好、高可靠。

B1C、B2a 信号是北斗三号系统导航定位服务主用新体制信号^[18], 目前已经完成了 24 颗地球中圆轨道 (medium earth orbit, MEO) 卫星、3 颗倾斜同步轨道 (inclined geosynchronous orbit, IGSO) 卫星的全星座部署并正式服务, 下一步还将加入 ICAO 标准, 成为双频多星座星基增强系统

收稿日期 2020-10-15.

第一作者: 高扬, 博士, 工程师, 主要从事卫星导航信号处理工作。bikong_001@aliyun.com.

通讯作者: 高扬, 博士, 工程师。bikong_001@aliyun.com.

(dual-frequency and multi-constellation satellite based augmentation system, DFMC SBAS) 服务中的被增强信号。因此, 需开展 B1C、B2a 信号的非理想性研究, 明确其在 DFMC SBAS 接收机中的设计约束, 以满足民航领域应用需求。

本文针对这一需求背景, 对 B1C、B2a 信号开展相关的研究: 利用大口径天线采集了全部北斗三号在轨卫星播发的 B1C、B2a 信号(包括 24 颗 MEO 和 3 颗 IGSO), 以获得高载噪比、无多径、无干扰的纯净信号样本; 利用软件接收机对采集信号进行事后的处理评估, 分析了不同接收带宽、码鉴相间距下的测距偏差大小及变化特点; 综合所有卫星数据结果, 提出了 B1C、B2a 信号在 DFMC SBAS 接收机中设计约束条件的初步范围建议。

分析结果显示: 在接收机常用的参数范围内, B1C、B2a 信号非理想性引入的测距偏差分别不超过 0.7 米和 0.4 米; 在 DFMC SBAS 接收机设计中, 在偏差小于 0.1 米的性能约束下, B1C、B2a 信号可用的约束条件参数范围较宽泛, 优于国际民航标准草案中相关要求的参数范围, 北斗卫星实际信号质量可较好满足标准要求。

1 信号与接收方式

1.1 B1C 信号

B1C 信号是北斗新体制民用单频主用信号^[18], 与 GPS 的 L1C、Galileo 的 E1C 信号兼容互操作。其用于测量的导频支路采用 QMBOC(6,1,4/33)调制^[19-20], 包括 BOC(1,1)和 BOC(6,1)两个分量, 支持两种测量方式^[21]: 一是同时使用 BOC(1,1)和 BOC(6,1)进行测量, 二是仅使用 BOC(1,1)分量测量。在民航领域应用中, 北斗系统已经明确推荐采用第二种测量方式, 因此本文仅针对该方式研究。

1.2 B2a 信号

B2a 信号是北斗 B2 频点宽带信号的下边带部分^[22-23], 独立使用时可视为 QPSK(10)信号, 与 B1C 信号共同提供民用双频服务^[24], 与 GPS 的 L5、Galileo 的 E5a 信号兼容互操作。B2a 信号包括导频支路和数据支路, 均采用了 BPSK(10)调制方式。在民航领域应用中, 北斗系统已经明确推荐使用导频支路并采用本地信号 BPSK(10)的方式进行测量, 因此本文仅针对该方式研究。

2 分析方法

2.1 信号采集与处理

信号非理想分析通常有两种方式: 一是对一台接收机的多个跟踪通道配置不同参数, 同时对一颗星的信号实时测量, 比较各通道测距值差异^[25-26]; 二是采集保存卫星信号数据, 事后用不同接收方法重复处理, 获得测距偏差^[27-28]。由于第二种方法更为灵活, 本文采用第二种方式进行, 具体的: 在信号采集方面, 考虑到非理想性导致的测距偏差一般分米级, 与多径误差或噪声误差接近甚至更小。因此, 本文采用直径 40 米的大口径天线对信号进行接收, 其 L 频段(1.1-1.7GHz)增益约 50dB, 波束宽度约 1 度, 使多径、噪声影响可忽略; 在天线后端, 采用 750Mpsps 采样率、14bit 量化的采样设备, 对导航信号进行宽带射频直接采样, 确保卫星信号的原始特征; 在信号处理方面, 采用了软件接收机, 通过软件配置模拟不同的射频特性、鉴相方法和鉴相参数, 实现对测距偏差的全面分析。

2.2 接收方法与参数范围

影响测距偏差的接收机关键参数主要包括接收机前端带宽、码鉴相方法、码鉴相参数, 可选的范围极大。考虑到使用性能、常用处理方式、当前国际民航标准制定情况等因素, 本文研究中对几方面因素进行以下的限定。

前端带宽方面: 前端带宽最小应该包括信号频谱主瓣的大部分能量, 最大不应超过卫星信号的发射带宽。因此, 对 B1C 信号, BOC(1,1)分量最小带宽约为 4MHz, 最大带宽约为 32MHz^[19]; 对 B2a 信号, BPSK(10)分量的主瓣带宽为 20.46MHz, 但接收机也可选用更窄的 12MHz^[17], 而考虑 B2a 为 ACEBOC(15,10)宽带信号一部分^[18], 其最大带宽可取 40MHz。

码鉴相方法方面: 导航信号的码环鉴相方法多样, 最常用的为早-迟鉴相方法, 此外还有多种抗多径方法或无模糊的鉴相方法等。目前国际民航组织正在制定的 DFMC SBAS 标准草案中, 对 GPS 的 L1C/A 和 L5 信号、Galileo 的 E1C 和 E5a 信号均推荐采用早-迟鉴相方法^[17]。考虑北斗信号与其互操作的特点, 鉴相方法也应一致。因此, 本文仅针对早-迟鉴相方法进行分析。

码环鉴相参数方面: 在早-迟鉴相方法下, 鉴相参数仅包括鉴相间距。考虑 B1C 信号 BOC(1,1)调制自相关函数的多峰性, 鉴相间距范围为 0.01~0.5 码片; B2a 信号为 BPSK(10)调制, 鉴相间距范围为 0.01~1.5 码片。

2.3 基准接收机参数

由于测距偏差体现在不同的接收机配置下，分析评估需选取一个参考的基准接收方法。目前北斗尚未公开监测接收机参数，这里以其他系统已经公布的参数为参考。欧洲、美国的现有星基增强系统监测接收机对 Galileo E1C 信号、GPS L1C/A 信号的接收标准统一，对 Galileo E5a、GPS L5 信号接收标准统一^[17]。考虑 B1C、B2a 分别与 E1C、E5a 信号的互操作特性，星基增强系统监测接收机对 B1C、B2a 最大可能采用相同的方法和参数。因此，本文中以该方法和参数为参考基准。具体的：对 B1C，接收前端带宽 24MHz，早-迟鉴相间距 0.1 码片；对 B2a，接收前端带宽 24MHz，早-迟鉴相间距为 1.0 码片^[17]。

3 处理结果及分析

3.1 B1C 信号结果与分析

B1C 信号的处理结果以两种形式给出，分别如图 1、图 2 所示。

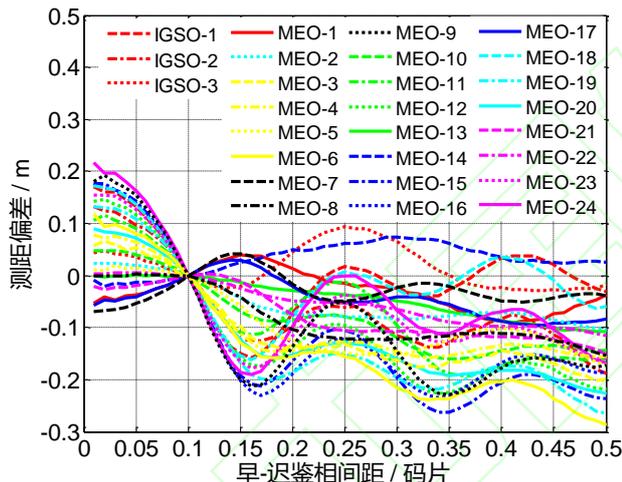


图 1 24MHz 带宽下 B1C 信号测距偏差与鉴相间距关系
Fig.1 B1C ranging bias under various correlation spaces with 24MHz bandwidth

图 1 展示了 24MHz 前端带宽下，每颗卫星 B1C 信号测距偏差随鉴相间距的变化情况（由于以鉴相间距 0.1 码片为基准，因此该点处的测距偏差均为 0）。可见各颗卫星起伏特点和幅度有较大的差异，在全局范围内没有明显的一致性；仅在 0.01~0.15 码片范围内，呈现了局部单调变化的特点。

考虑图 1 中各卫星在变化趋势、幅度上存在较大差异，进一步遍历信号带宽和鉴相间距两个参数，在每组参数下，取所有卫星中测距偏差绝对值的最大值，以获得更为保守的评估，结果如图 2 所示。

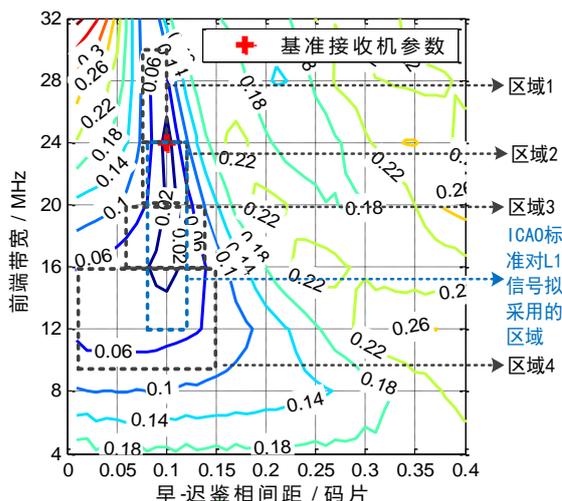


图 2 B1C 信号测距偏差与信号带宽和鉴相间距关系
Fig.2 B1C ranging bias under various signal bandwidths and correlation spaces

图 2 以等高线方式给出了 B1C 信号测距偏差与带宽和鉴相间距的关系，并用黑色和蓝色虚线框给出了建议接收机约束区域，内容分别说明如下：

1) 关于测距偏差的变化范围：从全局看，不同参数的接收机相比于参考接收机的偏差绝对值最大为 0.35 米。考虑理论上最坏情况，即测距偏差符号相反，则不同接收机之间的偏差最大不超过 0.7 米。

2) 关于测距偏差随接收机参数的变化特点：其左半部分（鉴相间距为 0~0.25 码片），等高线呈现以基准接收机参数为中心、向外逐渐变大的规律的特点；右半部分（鉴相间距为 0.25~0.5 码片），等高线变化无明显规律，偏差大多在 0.2 米以上随机分布。考虑到右半部分误差普遍较大且无趋势性特点，我们以下仅对左半边进行分析。可见，带宽越宽时，等高线的密度越大（如图 2 左上部分），即测距偏差对接收机参数的变化越敏感；带宽越窄时，等高线的密度相对稀疏（如图 2 左下部分），即测距偏差对接收机参数的变化不敏感。具体的，在带宽 18MHz 以下，鉴相间距 0.25 码片以内的范围，等高线分布相对最为疏松，即测距偏差对接收机参数变化的容忍性较高。

3) 关于 DFMC SBAS 用户接收机可选用参数范围：DFMC SBAS 中对信号畸变导致的误差的分配一般在 1 米左右^[17]，本文对正常信号取保守值，以畸变情况的十分之一，即 0.1 米为门限评估用户接收机的可用参数范围。为便于描述，这里采用多个矩形区域叠加方式描述可用区域，如图 2 中黑色虚线框所示，具体包括 4 个区域，各区域参数范围见表 1。

表 1 B1C 信号接收机可用参数范围

Tab.1 Applicable receiver parameters for B1C

区域名称	前端带宽 /MHz	鉴相间距 /码片
B1C 信号区域 1	24-30	0.08-0.1
B1C 信号区域 2	20-24	0.08-0.12
B1C 信号区域 3	16-20	0.06-0.13
B1C 信号区域 4	10-16	0.01-0.15
ICAO 对 GNSS 系统 L1 信号拟采用的区域 ^[17]	12-24	0.08-0.12

表 1 中,除了给出 B1C 信号可用区域外,同时也给出了 ICAO 的 DFMC SBAS 标准草案中拟对其他 GNSS 系统 L1 频段信号(包括 GPS L1C/A, GLONASS L1OC, Galileo E1C)的建议使用区域^[17],对应图 2 中蓝色虚线框部分。可见, B1C 目前可用的区域包括了标准建议范围,约束条件相比于标准要求更为宽松。

3.2 B2a 信号结果与分析

B2a 信号的处理结果以两种形式给出,分别如图 3、图 4 所示。

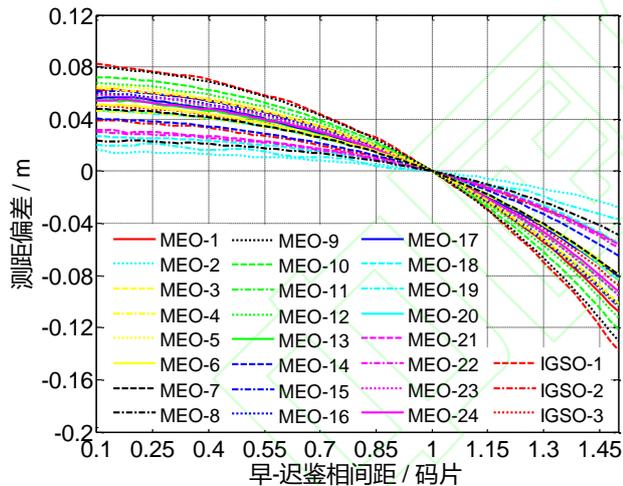


图 3 24MHz 滤波带宽下 B2a 信号测距偏差与鉴相间距关系
Fig.3 B2a ranging bias under various correlation spaces with 24MHz bandwidth

图 3 展示了 24MHz 前端带宽下,每颗卫星 B2a 信号测距偏差随鉴相间距的变化情况(由于以鉴相间距 1.0 码片为基准,因此该点处的测距偏差均为 0),可见各颗卫星的起伏特点有一定的相似性,总体呈现了单调变化的特点,且鉴相间距越大,曲线的斜率越高,不同卫星变化的幅度有一定差异。

进一步遍历信号带宽和鉴相间距两个参数,在每组参数下,取所有卫星中测距偏差绝对值的最大值,以获得更为保守的评估,结果如图 4 所示。

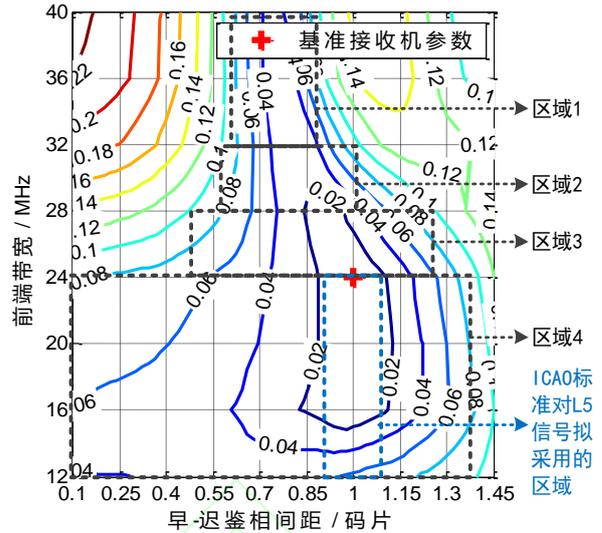


图 4 B2a 信号测距偏差与信号带宽和鉴相间距关系
Fig.4 B2a ranging bias under various signal bandwidths and correlation spaces

图 4 以等高线方式给出了 B2a 信号测距偏差与带宽和鉴相间距的关系,并用黑色和蓝色虚线框给出了建议接收机约束区域。内容分别说明如下:

- 1) 关于测距偏差的变化范围:从全局看,不同参数的接收机相比于基准接收机的偏差绝对值最大为 0.2 米。考虑理论上最坏情况,即测距偏差符号相反,则不同接收机之间的偏差最大不超过 0.4 米。
- 2) 关于测距偏差随接收机参数的变化特点:与 B1C 特点类似,带宽越宽时,等高线的密度越大(如图 4 上半部分),即测距偏差对接收机参数的变化越敏感;带宽越窄时,等高线的密度相对稀疏(如图 4 下半部分),即测距偏差对接收机参数的变化不敏感。具体的,在带宽 28MHz 以下,鉴相间距 1.15 码片以内的范围,等高线分布相对最为稀疏,测距偏差对接收机参数变化的容忍性较高。

3) 关于 DFMC SBAS 用户接收机可选用参数范围:对 B2a 信号,同样以测距偏差不大于 0.1 米为门限,评估用户接收机的可用参数范围。与 B1C 类似,为便于描述,采用多个矩形区域叠加方式描述可用区域,如图 4 中黑色虚线框所示,具体包括 4 个区域,各区域参数范围见表 2。

表 2 B2a 信号接收机可用参数范围

Tab.2 Applicable receiver parameters for B2a

区域名称	前端带宽 /MHz	鉴相间距 /码片
B2a 信号区域 1	32-40	0.6-0.8
B2a 信号区域 2	28-32	0.6-1.0
B2a 信号区域 3	24-28	0.5-1.2
B2a 信号区域 4	12-24	0.1-1.4
ICAO 对 GNSS 系统 L5 信号拟采用的区域 ^[17]	12-24	0.9-1.1

表 2 中, 同时也给出了 ICAO 的 DFMC SBAS 标准草案中拟对其他 GNSS 系统 L5 频段信号(包括 GPS L5Q, GLONASS L3OC, Galileo E5a-Q)的建议使用区域, 对应图 4 中用蓝色虚线框部分。可见, B2a 目前可用的区域包括了标准建议范围, 约束条件相比于标准要求更为宽松。

4 结语

本文基于对北斗三号在轨卫星实际信号的采集和分析, 评估了 B1C、B2a 信号非理想性可能引入的测距偏差范围, 分析了测距偏差随信号带宽和鉴相间距的变化规律, 并以 DFMC SBAS 监测站接收机为参考基准, 给出了测距偏差小于 0.1 米约束下用户接收机可用的设计约束参数范围。结果显示:

1) 在接收机一般可采用的前端带宽、鉴相间距范围内, B1C 测距偏差不大于 0.7 米, B2a 测距偏差不大于 0.4 米。

2) 对 B1C、B2a 信号, 测距偏差对接收机参数变化的敏感性随信号带宽的降低而降低, B1C 信号在带宽 18MHz 以下、鉴相间距 0.25 码片以内, B2a 信号在带宽 28MHz 以下, 鉴相间距 1.15 码片以内, 测距偏差对接收机参数变化的敏感度较低, 这些区域可作为接收机参数的优选区域。

3) 以 DFMC SBAS 监测接收机为参考基准, 在测距偏差小于 0.1 米约束要求下, B1C、B2a 信号用户接收机可选参数范围优于国际民航标准中对同类信号的要求, 有充足的余地进一步考虑其他方面约束需求。

参 考 文 献

[1] Pagot J B, Julien O, Thevenon P, et al. Estimation of GNSS Signals' Nominal Distortions from Correlation and Chip Domain [C]. Proceedings of ION ITM, Dana Point, California, Jan. 2015, pp. 415-427.

[2] Phelts R E, Walter T, Enge P, et al. Signal Deformation Monitoring for Dual-Frequency WAAS [C]. Proceedings of ION ITM, San Diego, California, Jan. 2013, pp. 93-106.

[3] Wong G, Phelts R E, Walter T et al. Alternative Characterization of Analog Signal Deformation for GNSS-GPS Satellites [C]. Proceedings of ION ITM, San Diego, California, Jan. 2011, pp. 497-507.

[4] Wong G, Phelts R E, Walter T et al. Characterization of Signal Deformations for GPS and WAAS Satellites [C]. Proceedings of ION GNSS, San Diego, California, Sep. 2010, pp. 3143-3151.

[5] Soellner M, Kurzhals C, Kogler W, et al. One Year in Orbit GIOVE-B E1 CBOC Signal Quality Assessment [J]. GPS World, 2009, 20(9):28-38.

[6] Gunawardena S, Carroll M, Raquet J, et al. High-Fidelity Signal Deformation Analysis of Live Sky Galileo E1 Signals using a Chip Shape Software GNSS Receiver [C]. Proceedings of ION GNSS+, Tampa, Florida, Sep. 2015, pp. 3325-3334.

[7] Wanninger L, Beer S. BeiDou Satellite-induced Code Pseudorange Variations: Diagnosis and Therapy [J]. GPS Solutions, 2015, 19(4): 639-648.

[8] LOU Yidong, GONG Xiaopeng, GU Shengfeng, et al. The Characteristic and Effect of Code Bias Variations of BeiDou [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2017, 42(8): 1040-1046 (楼益栋, 龚晓鹏, 辜声峰, 等. 北斗卫星伪距码偏差特性及其影响分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(8): 1040-1046)

[9] XU Yangyin, YANG Yuanxi, HE Haibo, et al. Quality Analysis of the Range Measurement Signals of Test Satellites in BeiDou Global System [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2018, 43(8): 1214-1221 (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)

[10] HE Yilei. Quality Analysis of Satellite Signal for BDS-3 Simplest System [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(3): 394-402 (何义磊. 北斗三号最简系统卫星信号质量分析 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(3): 394-402)

[11] Edgar C, Czopek F and Barker B. A Co-operative Anomaly Resolution on PRN-19 [C]. Proceedings of ION GPS, Nashville, Tennessee, Sep. 1999, pp. 2269-2271.

- [12] Enge P, Phelts R E and Mitelman A M. Detecting Anomalous signals from GPS satellites [C]. Proceedings of ICAO, GNSS/P, Toulouse, France, 1999.
- [13] Phelts R E, Shallberg K, Walter T, et al. WAAS Signal Deformation Monitor Performance: Beyond the ICAO Threat Model[C]. Proceedings of the ION 2017 Pacific PNT Meeting, Honolulu, Hawaii, May 2017, pp. 713-724.
- [14] ZHANG Zhengwen, KOU Yanhong, LIU Jiansheng. Impact Analysis of GNSS Signal Imperfections on Intersystem and Intrasystem Interference [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2011, 36(4): 471-475(张铮文, 寇艳红, 刘建胜. 发射信号不完善性对卫星导航系统内及系统间干扰的影响分析 [J]. 武汉大学学报 • 信息科学版, 2011, 36(4): 471-475)
- [15] International Civil Aviation Organization. ISBN 978-92-9258-504-4. ICAO International Standards and Recommended Practices. Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation. Volume I Radio Navigation Aids Seventh Edition [S]. Canada: International Civil Aviation Organization, July 2018.
- [16] Wong G. Impact of Nominal Signal Deformations on Satellite Navigation Systems [D]. California: Stanford University, 2014.
- [17] Pagot J B. Modelling and Monitoring of New GNSS Signal Distortions in the Context of Civil Aviation [D]. Toulouse, France: Signal and Image processing, Institute National Polytechnique de Toulouse (INPT), 2016.
- [18] Lu M, Li W, Yao Z, et al. Overview of BDS III new signals [J]. Navigation, 2019, 66(1):19-35.
- [19] China Satellite Navigation Office. BDS-SIS-ICD B1C-1.0 BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document Open Service Signal B1C (Version 1.0) [S]. Beijing: China Satellite Navigation Office, December, 2017. (中国卫星导航系统管理办公室. BDS-SIS-ICD B1C-1.0 北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件公开服务信号 B1C (1.0 版) [S]. 北京: 中国卫星导航系统管理办公室, 2017 年 12 月)
- [20] Yao Z, Lu M, Feng Z M. Quadrature Multiplexed BOC Modulation for Interoperable GNSS Signals [J]. Electronics Letters, 2010, 46(17):1234.
- [21] Yao Z, Lu M. Optimized Modulation for Compass B1-C Signal with Multiple Processing Modes[C]. Proceedings of the 24th International Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation ION GNSS 2011, Portland OR September 19-23, 2011.
- [22] China Satellite Navigation Office. BDS-SIS-ICD B2a-1.0 BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document Open Service Signal B2a (Version 1.0) [S]. Beijing: China Satellite Navigation Office, December, 2017. (中国卫星导航系统管理办公室. BDS-SIS-ICD B2a-1.0 北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件公开服务信号 B2a (1.0 版) [S]. 北京: 中国卫星导航系统管理办公室, 2017 年 12 月)
- [23] Yao Z, Lu M. Dual-frequency Constant Envelope Multiplex with Non-equal Power Allocation for GNSS [J]. Electron Letter, 2012, 48(1):1624-1625.
- [24] Yao Z, Lu M. Constant Envelope Combination for Components on Different Carrier Frequencies with Unequal Power Allocation [C]. Proceedings of ION ITM 2013, Institute of Navigation, San Diego, CA, January, pp 629-637
- [25] Gunawardena S and Graas F. Analysis of GPS Pseudorange Natural Biases using a Software Receiver [C]. Proceedings of ION GNSS, Nashville, Tennessee, Sep. 2012, pp. 2141-2149.
- [26] Gunawardena S and Graas F. High Fidelity Chip Shape Analysis of GNSS Signals using a Wideband Software Receiver [C]. Proceedings of ION GNSS, Nashville, Tennessee, Sep. 2012, pp. 874-883.
- [27] Thoelet S, Erker S and Meurer M. GNSS Signal Verification with a High Gain Antenna – Calibration Strategies and High Quality Signal Assessment [C]. Proceedings of ION ITM, Anaheim, California, Jan. 2009, pp. 289-300.
- [28] Lestarquit L, Gregoire Y and Thevenon P. Characterising the GNSS Correlation Function Using a High Gain Antenna and Long Coherent Integration - Application to Signal Quality Monitoring [C]. Proceedings of IEEE/ION PLANS, Myrtle Beach, South Carolina, Apr. 2012, pp. 877-885.

Non-ideality characteristic analysis and receiver design constraints recommendation for BeiDou System B1C and B2a Signals

GAO Yang¹, SHA Hai¹, CHU Henglin¹, WANG Mengli¹

1. Beijing Satellite Navigation Center, Beijing 100094, China

Abstract: Non-ideality of navigation satellite signals can cause ranging bias between different receivers, which is an important factor that may degrade the accuracy and integrity performance of global navigation satellite system. In civil aviation and other high integrity services, it is necessary to consider the non-ideality characteristics of the signal and define the design constraints of the user receiver, so as to reduce the impact of non-ideality and ensure service safety. The B1C and B2a signals of BeiDou System (BDS) are planned to join the international civil aviation standard, so it is necessary to study their non-ideality characteristics and define the receiver design constraints. This paper analyzed the non-ideality characteristic of BDS B1C and B2a signals. In order to avoid the influence of noise and multipath, a large aperture antenna was used to collect all the in-orbit satellite broadcasting B1C and B2a signals (including 27 satellites) to obtain pure signal samples. Then, the software receiver was used to process the signal samples under various receiving parameters to obtain the ranging biases under different receiver front-end bandwidth and code discriminator space, and the ranging bias range and variation with the receiving parameters are evaluated. Furthermore, taking the application in Dual Frequency Multi-Constellation Satellite Based Augmentation Service (DFMC SBAS) as an example, the receiver design constraints of the two signals were analyzed. The research results show that the range biases introduced by the non-ideality of B1C and B2a signals are less than 0.7 m and 0.4 m respectively under the parameters range commonly used by receivers. Under the requirement of range bias less than 0.1 m, the applicable parameter range of receiver design constraints for B1C and B2a signals is better than the relevant requirements of the international civil aviation organization draft standard. There is sufficient margin to further consider other constraints.

Key words: B1C and B2a signals; non-ideality; ranging bias; receiver design constraints

First author: GAO Yang, PhD, Engineer, specializes in satellite navigation signal processing. E-mail: bikong_001@aliyun.com

Corresponding author: GAO Yang, PhD, Engineer. E-mail: bikong_001@aliyun.com

网络首发:

标题: 北斗B1C、B2a信号非理想性分析及接收约束建议

作者: 高扬, 沙海, 楚恒林, 王梦丽

收稿日期: 2020-10-15

DOI: 10.13203/j.whugis20200568

引用格式:

高扬, 沙海, 楚恒林, 等. 北斗B1C、B2a信号非理想性分析及接收约束建议[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, DOI: 10.13203/j.whugis20200568 (GAO Yang, SHA Hai, CHU Henglin, et al. Non-ideality characteristic analysis and receiver design constraints recommendation for BeiDou System B1C and B2a Signals. GAO Yang, SHA Hai, CHU Henglin [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, DOI: 10.13203/j.whugis20200568)

网络首发文章内容和格式与正式出版会有细微差别, 请以正式出版文件为准!

您感兴趣的其他相关论文:

GNSS 单系统及多系统组合完好性分析

赵昂, 杨元喜, 许扬胤, 景一帆, 杨宇飞, 马越原, 徐君毅

武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(1): 72-80.

<http://ch.whu.edu.cn/cn/article/doi/10.13203/j.whugis20180425>