

GNSS-MR 技术在海洋潮位监测中的应用

王永春

(天津百世特海洋科技有限公司, 天津 300457)

摘要: 为提高海洋潮位监测结果精度, 引进 GNSS-MR 技术, 设计海洋潮位监测方法。设计 GNSS 大地监测系统的观测站位于海洋平面附近, 确保由接收机接收的信号为直射信号经过直接反射后合成的信号, 实现基于 GNSS-MR 技术的海洋潮位信号采集; 使用二阶多项式处理方式, 去除趋势信号中的直射信号, 在现有信号的基础上, 利用时序残差, 转换发射信号处理尺度; 根据每日能反演的各卫星的反射信号反馈结果, 以对应的观测潮台监测时刻潮高为依据, 计算得到多个测站的实时空间点, 以此为依据, 实现对潮位变化的监测与反演。以某地区海港岸边 GPS 连续运行观测站作为研究场所, 设计对比实验, 实验结果证明: 设计方法可以有效提高监测结果的准确性。

关键词: GNSS-MR 技术; 预处理; 信号采集; 应用; 潮位监测; 海洋

中图分类号: P228.42 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 01—0101—03

海平面波动(潮位变化)会对人们的生活环境产生较大的影响, 特别是沿海国家和海岛地区的人们, 非常规的潮位变化会引起周边居民的迁移。从 1980 年~2016 年期间, 海平面的涨落速度达到了 3.2mm/a, 超过了同期平均值。据相关部门预计, 到本世纪末, 全世界将近 3 亿人将会受到海平面升高的直接威胁^[1]。因此, 准确、有效地监测海洋平面变化, 有助居民群体更好地了解海平面变动趋势与产生原因, 总之, 加强对海洋灾害的监测, 是人类社会可持续发展的关键举措之一^[2]。海洋潮位变化是海洋动态环境监测中的一个重要信息, 也是海洋生态系统、海洋环流以及全球气候变化等方面的一个重要研究课题。为建立一个统一的全球高程基准, 引进 GNSS-MR 技术作为支撑。近十年来, 由于 GNSS 具有全天候、高精度、近实时、连续发射等优点, 已被广泛应用于大地测量多个工作领域, 但至今未实现将此技术应用与海平面潮位变化的监测工作中。随着全球导航卫星系统建设的逐步成熟, GNSS-MR 技术在定位、导航、授时等方面的应用也得到了验证。本文也将以此为切入点, 设计全新的方法, 用于监测海洋潮位变化, 旨在通过此次设计, 降低海平面上涨等自然灾害造成的地方经济发展损失。

1 基于 GNSS-MR 技术的海洋潮位信号采集

为实现对海洋潮位实时变化的精准监测, 本文引进 GNSS-MR 技术, 设计海洋潮位信号采集的过程^[3]。在此过程中, 考虑到 GNSS 大地系统采集信号传输路径较多, 不同路径传输信号会导致信号存在定位偏差。为降低偏差对监测结果的影响, 在研究前, 设计 GNSS 大地

监测系统的观测站位于海洋平面附近, 确保由接收机接收的信号为直射信号经过直接反射后合成的信号^[4]。信号采集过程如下图 1 所示。

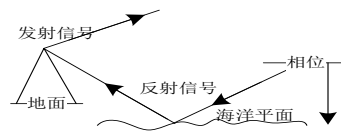


图 1 基于 GNSS-MR 技术的海洋潮位信号采集

图 1 中, 反射信号传输路径相位与海洋平面间的垂直高度为 h , 是 GNSS-MR 系统反射信号的垂直传输距离。设反射信号与海洋平面间的夹角角度为 θ , 设信号反馈频率或终端采样频率为 $1s^{[5]}$ 。此时, 将终端海洋潮位监测站的接收机天线信号作为信号放大器在终端接收信号后的大小量值。之后设 GNSS-MR 接收信号是前端发射机发射信号(I 直射信号)与信号经过海水反射后合成的信号, 设发射与折射信号在大气空间中的振幅为 A_1 与 A_2 。为降低 GNSS-MR 大地系统观测信号的反馈误差, 应满足下述关系。

$$A_1 \geq A_2 \quad (1)$$

其中 A_1 可控制信号的整体振幅变化趋势, A_2 可直接干预局部信号周期性振荡。为降低振荡信号对采集过程造成的影响, 利用 GNSS-MR 自带的观测程序, 处理信号振幅与直接接收信号之间的关系^[6]。此过程如下计算公式所示。

$$S = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2h \cos \theta \quad (2)$$

式中: S 为采集的潮位信号。按上述, 完成信号采集。

2 接收机反射信号的分解与预处理

由于大地系统接收机接收的信号在与时序适配后,

大多呈抛物线形状，其中反射与直射信号在数值差异大^[7]。故要实现基于反射信号的监测，需在上述的基础上，按相关工作的需求，用二阶多项式去除趋势信号中的直射信号。处理过程中，由于抛物线两段的卫星高度角相对较低，对应的信号呈较为明显的周期性震荡^[8]。因此，在现有信号的基础上，利用时序残差，对反射信号进行尺度转换。处理过程如下式。

$$S(v) = 10^{\frac{db-Hz}{20}} \quad (3)$$

式中： $S(v)$ 为对采集海洋潮位信号 S 的尺度转换处理； $db-Hz$ 为信号信噪比单位的转换。故可使反射的海洋潮位监测信号，在后续的频谱分析中可精准识别周边频率中的噪声，从而提高频谱分析结果的准确性与有效性^[9]。在此基础上，得到的尺度转换信号按照信号的残差序列排序，按下式，提取信号的振幅。

$$A_3 = A \cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda} \sin E + \theta\right) \quad (4)$$

式中： A_3 为尺度转换信号在残差序列排序后的振幅； A 为原始信号振幅； λ 为载波信号的波长； E 为卫星角高度。接着按下式，进一步对计算公式(4)标准化处理。

$$A_3 = A \cos(2\pi ft + \theta) \quad (5)$$

式中： f 为信号频率； t 为信号发射时间戳。两者分别可用 $2h/\lambda$ 、 $\sin E$ 计算得到。 f 还涉及一些频谱信息。为对反馈信号的深度挖掘与剖析，用频谱分析技术，分解复杂反射信号为若干个简单信号，分解处理过程如下式。

$$H(t) = [H(t_0) + H_i(t_0)] - K(t) \quad (6)$$

式中： $H(t)$ 为反射信号分解处理过程； $H(t_0)$ 为原始信号； i 为分解维度； K 为水面参照高度。之后，按预处理步骤，再处理信号，完成接收机反射信号分解与预处理。

3 潮位变化监测与反演

在监测过程中，根据每日能反演的各卫星的反射信号反馈结果，以对应的观测台监测时刻潮高为依据，计算出多个测站的实时空间点^[10]。采用3次中误差计算原理，剔除显著的异常值，然后计算数据的均值，得到一个精确的站点高度。然后线性尺度化处理反射信号，去除直射信号与残差序列。对不符合上述采样的数据，利用ELE重采样，根据 $\sin(ELE)$ 计算，得到精准的

监测信号，并录入LSP中，设计信号的频谱分析，识别当前状态下的信号是否超出噪声阈值，若超出，剔除此信号，若未超，提取当前状态下海洋平面的高度，将监测的结果作为真实结果，反演信号值。由此得到水面高度的限制范围，完成监测方法设计。

4 实际应用与实验分析

4.1 实例应用分析

为检验监测方法在实际应用中的效果，以某地区海港岸边GPS连续运行观测站为研究场所，该场所紧邻海洋建设，观测站周边无其他建筑物遮挡，可在开阔的空间内，接收海平面反射信号。为使布置的观测站可在实际应用中发挥预期效能，选TRIMBLE NETR-9型号的大地接收机，主动接收反射信号。再配备SCIT型号的整流罩与TRM59800.80扼流圈天线，为监测终端的数据反馈过程提供保障。选此海洋观测站历史监测数据为样本，用本文方法监测海洋潮位变化，将结果与历史数据比对，完成检验。在监测前，需根据实际需求，设计GNSS-MR的技术参数，如下表1所示。在完成相关参数布置后，用本文设计方法监测的结果如图2所示。

表1 监测中GNSS-MR的技术参数设计

序号	项目	参数
(1)	信号在终端的处理方式	Base-line
(2)	数据在终端的迭代处理方式	1-ITER
(3)	单位时间有效观测量	LC_AUTVLN
(4)	延迟参数	12
(5)	梯度参数	2
(6)	海洋潮位模型	Otl.grid
(7)	气压模型	BERNE
(8)	惯性架构	J-2000
(9)	大气对流层误差计算模型	SAAS
(10)	监测过程中的截止角度	10°~20°
(11)	观测终端站点约束条件	0.05°约束
(12)	其他参数	默认参数

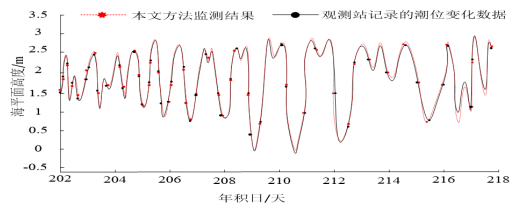


图2 本文方法实际应用检测结果

从图2中可知，本文设计方法得到的结果与观测站记录的海洋潮位变化曲线一致，说明本文的监测方法，所得监测结果精度高，在实际应用中效果良好。

4.2 对比实验

为满足实验结果的可比性需求,进一步验证本文方法的可靠性,展开如下对比实验。引进基于LS-SVM技术的监测方法与基于Copula函数的监测方法,作为传统的方法1、2。分别用三种方法,在同一场所,同一布置设备的基础上,按规范监测地区海洋潮位的变化,监测结果如下图3所示。

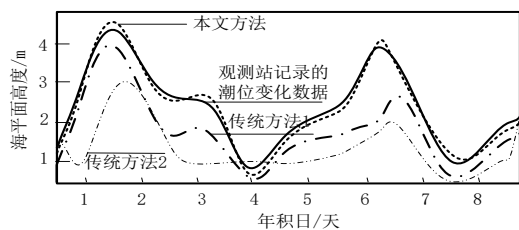


图3 监测结果对比

将观测站记录的海洋潮位变化数据作为参照数据,对比三种方法监测的数据。根据图3可知,本文方法监测结果与观测站记录的海洋潮位变化曲线基本重合,而传统方法的监测结果与观测站记录的海洋潮位变化曲线差异较大。因此,本文设计的基于GNSS-MR技术的监测方法,可以有效提高监测结果的准确性,可靠性强,具有一定的实际应用价值。

5 结束语

自我国第三次工业革命后,因全球矿物燃料燃烧,各种类型温室气体被释放,造成了严重的地球温室效应,使北极冰盖和冰层融化,导致地球海水容量不断增大、全球海平面持续上升,引发了海啸、洪水、海水入侵、土壤污染等多种灾害,损害了海洋生态环境与沿海地区基础生活设施,并在一定程度上威胁了周围居民的生活环境安全。为此,本文通过海洋潮位信号采集、接收机反射信号的分解与预处理、潮位变化监测与反演,完成了GNSS-MR技术在海洋潮位监测中的应用研究。通过测试后证明该方法可提高监测结果准确率,以此种方式,为海洋周边居民的生活安全提供保障。

参考文献:

[1] 徐丽君,程新平.基于距离倒数加权的多站潮位改正方法可行性分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2022,46(04):755-758.
[2] 李彬,何用,方神光.风暴潮作用下的大湾区海堤安全设计潮位探究——以伶仃洋河口湾为例[J].人民珠江,2021,42(12):70-75.

[3] 陈翠英,向征,王海军,等.山东省小清河流域暴雨——潮位遭遇组合规律研究[J].水电能源科学,2022,40(02):10-12+5.

[4] 陈殊,何秀凤,王笑蕾,等.基于小波分析的多模多频GNSS-MR潮位反演[J].大地测量与地球动力学,2022,42(04):365-370.

[5] 游高冲,郭杭,罗孝文,等.基于LS-SVM的多系统融合GNSS-MR潮位反演[J].海洋学研究,2022,40(01):72-80.

[6] 王磊之,崔婷婷,李笑天,等.降水变化条件下沿海地区暴雨-潮位遭遇联合风险[J].水资源保护,2022,38(04):110-116.

[7] 阳军生,戴勇,房中玉,等.潮位变化对江底大直径盾构管片受力影响现场测试研究[J].岩土工程学报,2020,42(S1):203-207.

[8] 王森,刘立龙,黄良珂,等.基于潮汐调和分析的全球定位系统-多路径反射测量技术潮位预报[J].科学技术与工程,2021,21(09):3481-3486.

[9] 陈浩,徐宗学,班春广,等.基于Copula函数的深圳河流域降雨潮位组合风险分析[J].北京师范大学学报(自然科学版),2020,56(02):307-314.

[10] 张大伟,张鹏,郭珊,等.珠海市中珠联围降雨与潮位遭遇联合分布概率及内涝风险研究[J].中国农村水利水电,2020(09):143-147.

