

工程测绘中 GPS 定位误差控制与现场实操优化

朱雷

夏邑县自然资源局, 河南省商丘市夏邑县, 476400;

摘要: 在工程测绘领域, GPS 定位技术凭借其高效、精准等优势得到广泛应用。然而, GPS 定位过程中存在的误差会影响测绘结果的准确性。本文深入分析了 GPS 定位误差的来源, 包括卫星误差、信号传播误差、接收机误差等。同时, 探讨了一系列误差控制方法, 如差分 GPS 技术、误差模型修正等。此外, 针对现场实操提出了优化策略, 涵盖测量前准备、测量过程操作要点、数据处理与质量控制以及特殊环境下的实操优化等方面。通过对误差控制和现场实操的研究与优化, 旨在提高工程测绘中 GPS 定位的精度和可靠性, 为工程建设提供更有力的技术支持。

关键词: 工程测绘; GPS 定位; 误差控制; 现场实操优化

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 11. 028

引言

工程测绘是工程建设的重要基础工作, 其测量结果的准确性直接关系到工程建设的质量和安全。GPS 定位技术以其全天候、高精度、高效率等显著优点, 在工程测绘中发挥着至关重要的作用。它能够快速、准确地获取测量点的三维坐标信息, 大大提高了测绘工作的效率和精度。然而, 在实际应用中, GPS 定位会受到多种因素的影响, 产生各种误差, 这些误差会降低测量结果的准确性, 进而影响工程建设的质量和进度。因此, 研究 GPS 定位误差控制与现场实操优化具有重要的现实意义。通过有效的误差控制和实操优化, 可以提高 GPS 定位的精度和可靠性, 确保工程测绘结果的准确性, 为工程建设提供坚实的基础。

1 GPS 定位误差分析

1.1 卫星误差

卫星误差主要包括卫星轨道误差和卫星钟差。卫星轨道误差是指卫星实际运行轨道与理论轨道之间的偏差。由于卫星受到多种因素的影响, 如地球引力场的不均匀性、太阳和月球的引力作用、太阳光压等, 其实际运行轨道会偏离理论轨道。这种轨道误差会导致测量点的定位结果产生偏差。卫星钟差是指卫星上的原子钟与标准时间之间的差异。虽然卫星上的原子钟具有很高的精度, 但由于各种因素的影响, 如钟的老化、温度变化等, 卫星钟会产生一定的误差。卫星钟差会使卫星发射信号的时间不准确, 从而影响测量点的定位精度^[1]。

1.2 信号传播误差

信号传播误差是 GPS 定位中较为复杂且影响较大的

误差源, 主要包括电离层延迟、对流层延迟和多路径效应。电离层是地球大气层中的一层, 其中含有大量的自由电子和离子。当 GPS 信号穿过电离层时, 会受到电子和离子的影响, 导致信号传播速度发生变化, 从而产生电离层延迟。电离层延迟的大小与信号传播路径上的电子含量、信号频率等因素有关。对流层是地球大气层的最底层, 其中的水汽、温度和压力等因素会影响 GPS 信号的传播速度, 产生对流层延迟。对流层延迟的大小与信号传播路径上的气象条件有关。多路径效应是指 GPS 信号在传播过程中, 受到周围物体的反射和散射, 使得接收机接收到的信号包含了直射信号和反射信号。反射信号的传播路径比直射信号长, 会导致信号到达接收机的时间发生变化, 从而产生定位误差^[2]。

1.3 接收机误差

接收机误差主要包括接收机钟差、接收机噪声和天线相位中心误差。接收机钟差是指接收机内部的时钟与标准时间之间的差异。由于接收机时钟的精度有限, 会产生一定的误差。接收机钟差会影响信号接收时间的测量, 从而导致定位误差。接收机噪声是指接收机在接收和处理 GPS 信号过程中产生的随机噪声。噪声的存在会降低信号的质量, 影响信号的测量精度。天线相位中心误差是指天线实际相位中心与理论相位中心之间的偏差。天线相位中心会随着信号的入射方向、极化方式等因素的变化而发生变化, 从而导致定位误差。

1.4 其他误差

除了上述误差外, GPS 定位还可能受到其他因素的影响, 如地球自转、相对论效应等。地球自转使得卫星

相对于地面的位置发生变化,会对GPS定位产生一定的影响。相对论效应是指由于卫星和接收机处于不同的引力场和运动状态,会导致卫星钟和接收机钟的时间流逝速度不同,从而产生时间误差,影响定位精度。

2 GPS 定位误差控制方法

2.1 差分GPS技术

差分GPS技术是一种有效的误差控制方法,它通过在已知坐标的参考站上设置GPS接收机,对卫星信号进行观测,计算出参考站的定位误差。然后,将这些误差信息通过数据通信链路发送给流动站,流动站根据接收到的误差信息对自身的定位结果进行修正,从而提高定位精度。差分GPS技术可以分为位置差分、伪距差分和载波相位差分等不同类型。位置差分是最简单的差分方法,它直接将参考站的定位误差发送给流动站,流动站根据这些误差对自身的定位结果进行修正。伪距差分是通过测量卫星信号的伪距来计算误差,然后对流动站的伪距测量值进行修正。载波相位差分是目前精度最高的差分方法,它通过测量卫星信号的载波相位来计算误差,能够实现厘米级甚至毫米级的定位精度^[3]。

2.2 误差模型修正

误差模型修正通过构建针对性数学模型,对GPS定位中的典型误差进行精准抵消,是提升定位精度的核心环节。针对电离层延迟误差,主要采用双频观测值法与电离层模型法两类方案:双频观测值法利用GPS接收机同步接收不同频率的卫星信号,依据信号在电离层中传播速度的差异,反向推算延迟误差大小并完成修正,无需依赖外部数据即可实现实时误差补偿;电离层模型法则基于电离层的物理特性(如电子密度分布规律)构建数学模型,结合区域电离层变化规律,对延迟误差进行估算与修正,适用于难以获取双频观测条件的场景。

面对对流层延迟误差,气象参数模型法是主流解决方案。该方法通过实时采集测量点的温度、气压、湿度等气象数据,代入预设的对流层延迟计算模型,将气象条件对信号传播的影响量化为具体误差值,进而完成修正,让定位结果更贴合实际环境。

2.3 观测值组合

观测值组合通过对不同类型GPS观测数据的优势互补,实现误差的消除或减弱,进一步提升定位可靠性。最典型的组合方式是载波相位观测值与伪距观测值的协同应用:载波相位观测值具备极高的测量精度,能捕

捉到微小的位置变化,但存在整周模糊度(即信号传播过程中完整周期数的不确定性)问题,直接影响结果准确性;伪距观测值精度相对较低,却无需解决整周模糊度,可快速获取初步定位结果。

将两类观测值结合时,可先用伪距观测值确定大致位置,为载波相位观测值的整周模糊度解算提供初始依据,再利用载波相位观测值的高精度优势优化定位结果,最终实现“快速定位+高精度修正”的双重效果^[4]。

2.4 数据处理算法优化

数据处理算法优化通过改进计算逻辑,充分挖掘观测数据价值,是提升GPS定位精度的软件层面关键。最小二乘法作为经典算法,核心思路是通过最小化观测值与模型预测值之间的误差平方和,求解定位所需的未知参数(如测站坐标),该方法原理简洁、计算量适中,在静态定位场景中应用广泛,但面对动态环境下的误差波动,适应性存在局限。

卡尔曼滤波法则更适用于动态定位场景,它通过构建系统状态方程(描述测站位置变化规律)与观测方程(关联观测数据与系统状态),采用递归方式实时更新状态估计值:每获取一组新的观测数据,便结合上一时刻的状态估计与当前观测误差,对测站位置进行动态调整,既能快速响应位置变化,又能有效抑制随机误差的影响。通过对算法的持续优化,如改进最小二乘法的迭代收敛速度,减少计算耗时;增强卡尔曼滤波法的抗干扰能力,降低异常观测值对结果的影响,可让GPS定位在不同场景下均能保持高精度与高可靠性。

3 GPS 测量现场实操优化策略

3.1 测量前准备工作

测量前的充分准备是保障GPS定位精度与可靠性的基础,需从设备检查、点位选择、资料收集三方面系统推进。设备检查环节,需对GPS接收机进行全面调试:逐一测试信号接收灵敏度、数据存储完整性等核心功能,确保设备无硬件故障;对接收机时钟进行精准校准,使其与标准时间同步,避免时间偏差影响定位计算;仔细检查天线安装状态,确保天线固定牢固无松动,相位中心与测量点位精准对齐,防止因天线偏移引入误差。

点位选择需兼顾信号接收与环境干扰规避:优先选择视野开阔区域,避开高大建筑物、茂密树林等遮挡物,减少卫星信号被阻挡的概率,降低多路径效应影响;同时远离变电站、高压线路、电台等强电磁干扰源,避免电磁信号干扰接收机正常工作。此外,需提前收集测量

区域相关资料,包括高精度地形图、已有控制点坐标等,通过对照地形图规划测量路线,结合控制点坐标验证后续测量结果,为实操提供数据参考与校验依据。

3.2 测量过程中的操作要点

测量过程需严格遵循操作规程,以标准化操作减少人为误差。设备安装与设置环节,需将接收机天线平稳架设至三脚架上,调整三脚架高度与水平度,确保天线处于水平状态且高度符合测量要求;根据测量任务需求,合理设置接收机工作模式(如静态测量、动态测量)、采样间隔等参数,确保参数设置与任务目标匹配,避免因参数不当影响数据质量。

观测时间控制与数据记录需严谨:根据测量精度要求确定足够的观测时长,保障数据采集的充分性;观测期间保持接收机稳定,避免触碰三脚架或天线导致设备震动,防止点位偏移;实时记录关键信息,包括卫星信号强度变化、观测起止时间、测量点位编号等,为后续数据处理与问题排查留存依据。同时,需定期对实时测量数据进行初步检查,若发现卫星信号骤降、数据异常波动等情况,及时暂停观测并排查原因,确保每一组数据的有效性^[5]。

3.3 数据处理与质量控制

数据处理是将观测数据转化为精准定位结果的关键,需结合专业软件与质控手段提升数据可靠性。首先选择适配的专业数据处理软件,按照软件流程完成数据预处理:先进行数据格式转换,确保不同设备采集的数据兼容;再开展数据编辑,剔除无效观测值;针对载波相位观测数据,进行周跳修复,消除信号中断导致的整周计数偏差。

预处理完成后,结合此前介绍的误差控制方法(如差分处理、误差模型修正)对数据进行深度处理,进一步抵消电离层、对流层等误差影响。质量控制环节需多角度验证数据质量:通过计算观测值残差,判断观测数据与模型预测值的契合度,残差超出合理范围则需回溯检查;对比重复测量点的坐标差值,评估测量结果的一致性,若差值过大需分析是否存在设备故障或操作失误;对异常数据及时处理,必要时重新开展观测,确保最终输出的定位结果精准可靠。

3.4 特殊环境下的实操优化

特殊环境会加剧 GPS 定位干扰,需针对性制定优化

策略。山区环境中,地形起伏导致卫星信号易被山体遮挡,信号接收稳定性差:可通过延长观测时间,增加数据采集量以抵消信号波动影响;优先选择山顶、开阔山谷等高位点位,避开山谷底部、山坳等信号盲区,提升卫星可见数量。

城市高楼密集区面临严重的多路径效应与信号遮挡问题:需选用抗多路径性能更强的专用天线,搭配差分 GPS 技术,强化对多路径误差的抑制;规划测量路线时避开高楼间狭窄街道,优先选择城市广场、公园等开阔区域,减少建筑物对信号的遮挡与反射。

沙漠环境中,高地面反射率易引发强烈多路径效应:可在天线周围铺设信号吸收材料,减弱地面反射信号对接收机的干扰;同时注意天线架设高度,适当提高天线距离地面高度,减少地面反射信号的影响范围,保障定位数据的稳定性与精度。

4 结论

本文深入分析了工程测绘中 GPS 定位误差的来源,包括卫星误差、信号传播误差、接收机误差和其他误差等。针对这些误差,提出了一系列有效的误差控制方法,如差分 GPS 技术、误差模型修正、观测值组合和数据处理算法优化等。同时,从测量前准备工作、测量过程中的操作要点、数据处理与质量控制以及特殊环境下的实操优化等方面,提出了现场实操优化策略。通过这些误差控制方法和实操优化策略的应用,可以有效提高工程测绘中 GPS 定位的精度和可靠性,为工程建设提供更准确的测量数据。

参考文献

- [1] 侯兵雷. 卫星导航时间信息专用测试设备的研制[D]. 北京交通大学, 2019.
- [2] 葛倩, 侯守明, 赵文涛. 基于卡尔曼滤波和改进 DBSCAN 聚类组合的 GPS 定位算法[J]. 全球定位系统, 2021, 46(01): 28-35.
- [3] 田星, 孙卫国. 工程测量中 GPS 技术在矿山定位的精度分析[J]. 中国金属通报, 2024, (12): 67-69.
- [4] 姜卫平, 谢秉辰, 陈渠森, 等. 融合 GNSS 与 RTS 观测值的紧组合变形监测方法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2025, 50(05): 823-835.
- [5] 李瑞阳, 夜子凤. 房产测绘全球定位技术的应用探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (06): 184-186.