

卫星坐标计算程序项目说明

一、项目概述

本项目是一款基于 MFC 框架与 GDI+ 技术开发的卫星坐标计算工具，支持多系统 GNSS 卫星（GPS、北斗、GLONASS 等）的广播星历解析、卫星坐标计算与卫星位置可视化展示。本项目严格按照教材中的卫星轨道运动与坐标计算理论进行程序设计，核心功能围绕“星历加载-坐标计算-结果可视化-数据导出”的流程实现，可满足卫星导航相关学习、科研场景下的卫星位置计算需求。

二、核心文件功能与关键函数解析

2.1 主对话框核心文件

头文件 `SatelliteCoordCalcDlg.h` 和源文件 `SatelliteCoordCalcDlg.cpp` 是项目的核心文件，也是控制中枢，包含对话框界面初始化、星历解析、坐标计算、绘图等核心逻辑。

2.1.1 头文件（`SatelliteCoordCalcDlg.h`）：定义核心结构体与类接口

1. 核心结构体

(1) `SBroadcastEphemeris`: 存储单颗卫星的广播星历参数，包括轨道长半径平方根 \sqrt{a} 、偏心率 e 、近地点角距 ω_p 等 19 个关键参数，符合开普勒轨道参数+摄动改正参数的星历格式。

(2) `SSatCoordResult`: 存储卫星坐标计算结果，包含卫星 PRN 号（`strPRN`）、计算时刻（`strUTC`）及地心地固坐标系（WGS-84）下的 X/Y/Z 坐标，是坐标计算的最终输出载体。

2. 关键类成员

(1) `m_arrEphemeris`: `CArray` 容器，存储所有加载的卫星广播星历数据，支持动态扩容，适配多颗卫星的星历管理。

(2) `m_pCoordsysImage`: GDI+ 的 `Image` 指针，加载坐标系背景图片（如地心地固坐标系示意图），为后续卫星点绘制提供背景载体。

(3) `m_satTypeColors`: `std::map` 容器，建立卫星系统与颜色的映射（如 GPS 为

红色、北斗为绿色)，实现不同系统卫星的可视化区分。

2.1.2 源文件 (SatelliteCoordCalcDlg.cpp): 实现核心功能逻辑

1. 初始化相关函数

(1) OnInitDialog(): 程序启动时的初始化入口。通过 GdiplusStartup 初始化 GDI+ 环境、使用相对路径加载坐标系背景图片、初始化结果列表控件、设置测站默认坐标 (北京房山站 BJFS 示例值)。

关键逻辑: 图片加载失败时弹窗提示路径问题, 避免程序崩溃。

2. 星历加载与解析函数

(1) OnBnClickedBtnOpen(): 打开星历文件按钮点击事件。通过 CFileDialog 弹窗让用户选择 RINEX 格式广播星历文件 (.rnx/.obs), 逐行解析文件内容, 提取卫星 PRN 号与星历参数并存储到 m_arrEphemeris。

关键逻辑:

- 跳过文件头部: 识别 “end of header” 标记, 仅解析星历数据区;
- PRN 行检测: 通过首字符 G/C/R/E 等识别卫星系统, 初始化 SBroadcastEphemeris 结构体;
- 参数校验: 解析完成后检查关键参数 (如 $\sqrt{a} > 0$ 、 $e < 1$), 过滤无效星历, 避免后续计算异常。

(2) SplitString(): 星历行字段分割工具函数。处理 RINEX 文件中常见的多空格、制表符分隔格式, 支持科学计数法负号处理, 确保星历参数正确提取。

3. 卫星坐标计算函数

(1) CalcGPSSatCoord(): 核心计算函数, 实现卫星坐标从星历参数到地心地固坐标的转换。按无摄运动+摄动改正的计算流程, 输入单颗卫星的星历与计算时刻, 输出 X/Y/Z 坐标。

关键计算步骤:

- 平均角速度计算: $n = n_0 + \Delta n$, 其中 $n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$, μ 为地球引力常数, a 为轨道长半径);
- 归化时间计算: $t_k = t_{GPST} - t_{oe}$, 将计算时刻转换为星历参考历元 t_{oe} 的相对时

间，确保在 ± 3.5 天内；

- 偏近点角迭代求解：通过牛顿迭代法求解开普勒方程 $E_k = M_k + e \sin E_k$ ，收敛阈值设为 10^{-12} ，确保计算精度；
- 摄动改正：通过 C_{uc}, C_{us} 等调和项参数，修正升交距角 Δu 、卫星矢径 Δr 、轨道倾角 Δi ；
- 坐标转换：将轨道平面坐标系坐标转换为地心地固坐标系，考虑地球自转影响。

(2) UTC2GPST()/UTC2GPSTSeconds(): 时间转换工具函数。将 UTC 时间转换为 GPS 时间（参考教材中 GPS 时与 UTC 时的差异，考虑 18 秒闰秒补偿），为坐标计算提供统一的时间基准。

4. 可视化与交互函数

(1) OnBtnClickedBtnDraw(): 绘制卫星图按钮点击事件。基于 GDI+ 绘制卫星点、PRN 号与图例，实现计算结果的可视化展示。

关键逻辑：

- 坐标缩放：统计所有卫星 X/Z 坐标范围，计算缩放比例，确保卫星点完整显示在控件内；至于绘制卫星图时，为什么选择用 X,Z 轴坐标而不是 X,Y 轴坐标，原因如下：
 - 地心地固坐标系中，X 轴对应东西方向，即本初子午线方向，Z 轴对应南北方向，即地球极轴方向），二者构成的 X-Z 平面近似为子午面，与用户日常感知的东西-南北空间方向一致。用 X、Z 坐标绘图，可直接体现卫星的东西位置与纬度高低（Z 值越大，卫星越靠近北极），符合人类对空间的直观认知。
 - 避免 Y 坐标导致的平面投影重叠。地心地固坐标系的 Y 轴是赤道面内垂直 X 轴的方向，近似东西垂直方向，若选择 X、Y 坐标绘图，本质是展示赤道面内的投影，此时高纬度卫星（Z 值大）与低纬度卫星（Z 值小）可能因 X、Y 值相近而重叠，无法体现卫星的南北分布差异；而选择 X、Z 坐标，可清晰区分卫星的南北位置，更符合卫星轨道倾角、升交点赤经等参数对卫星空间分布的影响。
- 卫星点绘制：通过 FillEllipse 绘制直径为 10px 的圆形，从 m_satTypeColors 获取颜色按卫星系统着色；
- PRN 号标注：在卫星点右侧绘制 PRN 文字，提升可读性。

(2) DrawLegend(): 图例绘制函数。在坐标系控件右上角绘制卫星系统-颜色对应表 (如 GPS (G)-红色), 帮助用户快速识别卫星类型。

(3) OnLButtonDblClk(): 鼠标双击事件。双击坐标系控件时, 打开放大视图对话框 (CEnlargedViewDlg), 展示更大尺寸的卫星图, 提升细节查看体验。

5. 数据导出函数

OnBnClickedBtnSave(): 保存结果按钮点击事件。通过 CFileDialog 选择保存路径, 将结果列表中的卫星 PRN、X/Y/Z 坐标以制表符分隔格式写入 TXT 或 Excel 文件。

2.2 放大视图对话框文件

头文件 EnlargedViewDlg.h 和源文件 EnlargedViewDlg.cpp 是卫星图的放大工具, 解决主对话框中卫星点密集、细节难查看的问题, 也是该项目的核心文件。

1. SetData(): 接收主对话框传递的坐标系图片与卫星坐标结果, 为放大绘制提供数据;

2. OnPaint(): 复用主对话框的绘图逻辑, 但使用更大的控件尺寸, 支持卫星点与 PRN 号的放大显示, 便于查看密集卫星的位置差异。

2.3 应用程序入口文件

头文件 SatelliteCoordCalc.h 和源文件 SatelliteCoordCalc.cpp 是程序的启动入口, 负责 MFC 应用程序的初始化与主对话框的启动。

InitInstance(): MFC 应用程序的核心初始化函数, 创建主对话框 CSatelliteCoordCalcDlg 并显示, 启动程序消息循环。

2.4 预编译与资源文件

1. pch.h: 预编译头文件, 包含 framework.h 等常用头文件, 减少编译时间;

2. resource.h: 资源文件, 定义所有控件 ID, 如 IDC_BTN_OPEN 为打开星历按钮 ID、IDD_SATELLITECOORDCALC_DIALOG 为主对话框 ID, 统一资源管理。

三、面向用户的功能说明

3.1 核心功能

3.1.1 多系统星历加载

支持主流 GNSS 星历格式。加载 RINEX 格式的广播星历文件（.rx/.obs），自动识别 GPS（G 开头 PRN）、北斗（C 开头 PRN）、GLONASS（R 开头 PRN）等卫星系统。无需手动解析星历文件，一键导入即可获取所有卫星的轨道参数，节省数据预处理时间。

3.1.2 卫星坐标计算

可进行批量计算，一键计算所有加载卫星在指定 UTC 时刻的地心地固坐标；还可以单颗计算，输入卫星 PRN（如 G01、C05），仅计算目标卫星坐标，适用于针对性分析。计算精度匹配广播星历水平（米级），可直接用于学习、科研中的卫星位置验证。

3.1.3 可视化展示

不同系统卫星用不同颜色区分，如 GPS 用红色、北斗用绿色；同时在右上角标注图例，显示卫星类型-颜色对应表；支持双击放大，双击坐标系控件，打开全屏放大视图，查看密集卫星细节。将抽象的坐标数据转化为直观的图形，便于理解卫星在空间中的分布规律。

3.1.4 数据导出

程序可以将计算结果卫星 PRN 及相应 X/Y/Z 坐标保存为 TXT 或 Excel 文件，制表符分隔格式兼容 Excel 导入，用于用户的后续分析。

3.1.5 数据清除

可一键清空计算结果列表、卫星坐标数组，清除绘图区域，恢复初始界面状态。便于切换星历文件、计算时刻、测站坐标、单个卫星 PRN 等，提升操作效率。

3.2 使用流程

1. 准备工作：获取 RINEX 格式广播星历文件（可从 IGS 官网下载），将坐标系图片（coordsys.png）放在程序同目录。
2. 打开文件：双击或右键 SatelliteCoordCalc.sln 解决方案文件，运行。

2. 加载星历：点击按钮【打开广播星历（rnx）】，选择星历文件，一定要是.rnx/.obs结尾的文件，弹窗提示“星历加载成功！已识别有效卫星数据。”则说明文件信息读取成功；失败则会弹窗显示“星历加载失败！未找到有效卫星数据。”需检查文件路径或权限）。
3. 设置计算时刻：在“输入时刻（UTC）”右侧的 6 个编辑框分别输入年/月/日/时/分/秒（如 2023-09-09 00:00:00）。
4. 设置测站位置：在“测站位置（BJFS）”右侧的 3 个编辑框分别输入测站的 X,Y,Z 坐标（默认为北京房山区测站坐标）。
5. 计算坐标：分为单个卫星计算和批量计算。
 - 单颗计算：输入 PRN（如 G01），点击【计算单个卫星坐标】，若弹窗显示“找到 xx（具体数字）条匹配的星历数据，计算完成！”则说明计算成功，仅显示目标卫星结果，如图 1 所示；若弹窗显示“未找到指定 PRN 的星历数据！”则说明该广播星历文件中没有目标卫星数据，需修改输入卫星 PRN.

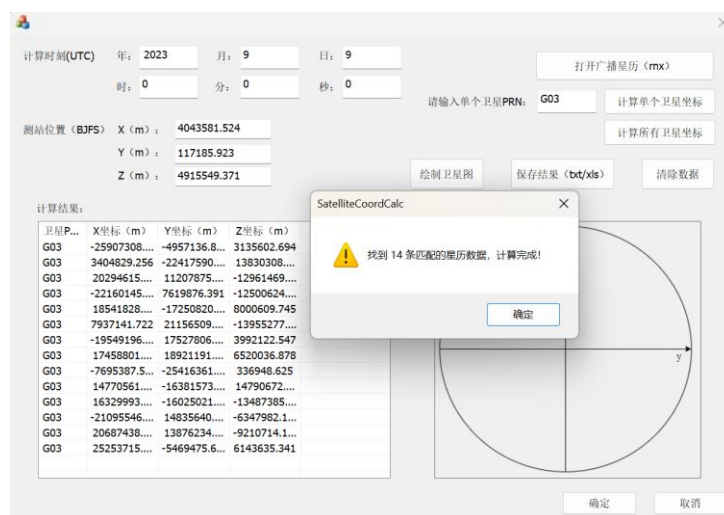


图 1 单个卫星成功计算结果

- 批量计算：点击【计算所有卫星坐标】，成功会弹窗显示“所有卫星坐标计算完成！”结果显示在列表中，如图 2 所示；失败会弹窗提示“以下卫星计算失败：”。

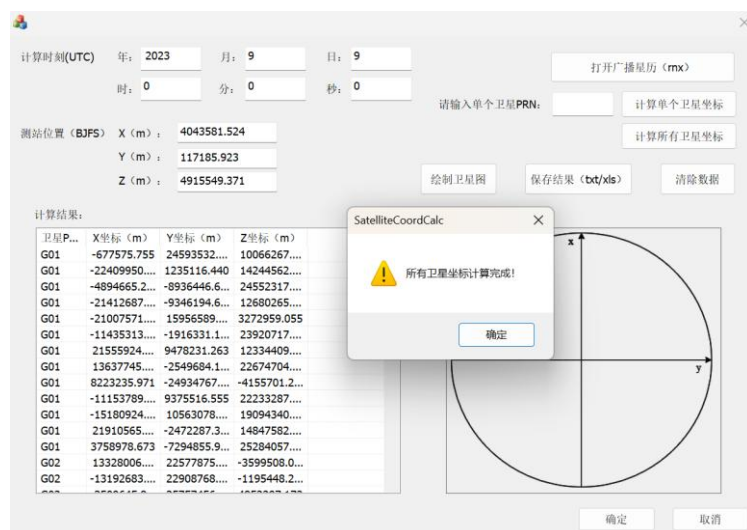


图 2 所有卫星成功计算结果

6. 可视化: 计算成功后, 点击【绘制卫星图】, 查看卫星分布, 绘制成功则弹窗显示“所有卫星点已按类型着色并绘制图例!”双击可放大查看, 单个卫星计算和所有卫星计算的绘制情况分别如图 3、4 所示。

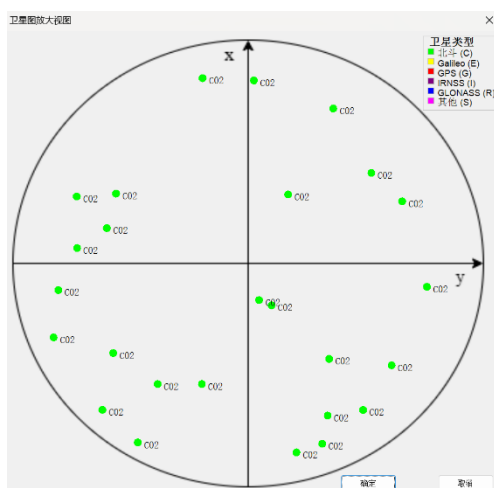


图 3 单个卫星绘制结果

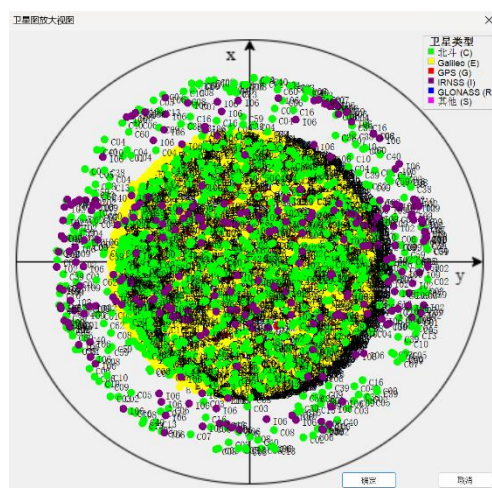


图 4 所有卫星绘制结果

隐藏功能: 若计算完单个卫星坐标并绘制图像后, 不清除数据的话会一直保留, 若此时再计算其他卫星坐标并绘制, 图上会同时存在前者与后者的轨迹。

7. 导出结果: 计算成功后, 点击【保存结果】, 选择路径与格式 (可选 txt 格式和 xls 格式), 保存计算数据。

8. 清除数据 (可选): 如果想切换文件、修改计算时间、测站位置等操作, 为了避免重新运行程序, 可点击【清除数据】, 将清除列表中的计算结果和卫星图中的点状绘制。

3.3 项目特色与技术亮点

1. 跨系统兼容：支持 GPS、北斗、GLONASS 等多系统卫星，满足多 GNSS 融合应用需求。
2. 高移植性：坐标系图片使用相对路径，星历加载支持任意路径选择，程序可在不同设备上运行。
3. 可视化友好：通过 GDI+实现高质量绘图，卫星点、文字、图例布局合理，提升用户体验。
4. 鲁棒性强：关键步骤（如星历参数校验、迭代收敛判断、文件打开权限）均有错误处理，避免程序崩溃。

3.4 注意事项

1. 星历格式：仅支持 RINEX 格式广播星历（.rnx/.obs），其他格式（如 SP3 精密星历）需转换；
2. 图片路径：确保 coordsys.png 与.exe 程序可执行文件或.sln 解决方案文件同目录，否则背景图片无法加载。
3. 权限问题：保存结果时确保目标路径有写入权限（避免 C 盘根目录）。