

MTSA 用户手册

[软件介绍](#)

[安装要求](#)

[界面元素](#)

[菜单栏](#)

[工具栏](#)

[显示列表](#)

[绘图窗口](#)

[功能区](#)

[功能使用详解](#)

[文件操作](#)

[导入文件夹](#)

[加载其他文件](#)

[移动分析](#)

[数据格式转换](#)

[单一文件转换](#)

[批量文件转换](#)

[数据预处理](#)

[异常值剔除](#)

[时间序列插值](#)

[共模误差分析](#)

[时间序列分析](#)

[谱分析](#)

[小波多分辨率分析](#)

[经验模态分析](#)

[数学模型](#)

[GNSS 坐标时间序列拟合模型](#)

[IQR 法则](#)

[空间滤波（共模误差提取）](#)

软件介绍

GNSS 基准站坐标变换序列反映了地球物理负荷等各种因素作用下基准站位置的变化特性，对于地壳形变、陆地水等各类负荷变化的反演分析有重要意义。随着全球和区域高精度的 GNSS 基准站观测网络的建立，观测精度不断提高，GNSS 基准站网坐标序列已经成为研究地壳形变、地表质量迁移变化及其对全球变化不可或缺的数据。

MTSA 是基于 Matlab 平台开发的一个能够处理 GNSS 基准站网坐标序列数据的软件，软件集成了基本的时间序列分析模块，界面友好，功能完善，可在 Windows、Linux 等系统上运行。

安装要求

生成的可执行文件需要 Matlab 运行环境的支持，若用户没有安装 Matlab 软件，则需安










装 Matlab 组件运行环境（matlab component runtime,MCR），下载网址为 <http://www.mathworks.cn/products/compiler/mcr/index.html>），选择时注意需选择与机器上 Matlab 版本相对应的组件。

界面元素

菜单栏

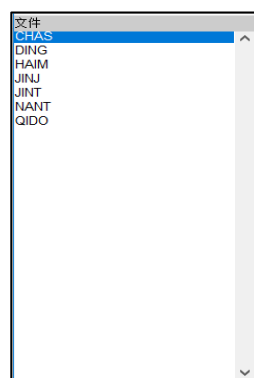
MTSA 菜单栏包含文件、工具、关于三项。各项包含若干子菜单。文件下菜单下包含若干与文件操作相关联的功能，工具提供了 GNSS 时间转换和时间序列格式转换二个实用工具关于提供了 MTSA 的相关信息。

工具栏

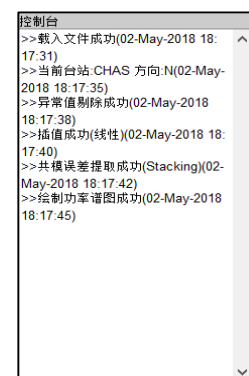
-  可以选择包含所有数据的文件夹
-  可以按照指定数据格式进行转换
-  能够对绘图区域的图形进行放大
-  能够对绘图区域的图形进行缩小
-  能够对绘图区域的图形进行移动
-  能够对绘图区域的图形位置进行重置
-  能够向前移动选择测站
-  能够向后移动选择测站
-  提供一些基本参数设置

显示列表

显示列表包含文件列表和控制台输出列表。当用户导入数据时，文件列表会显示所有的测站名，用户点击对应的文件，就可以对其分析。控制台输出列表显示软件运行过程中所有操作的输出信息。



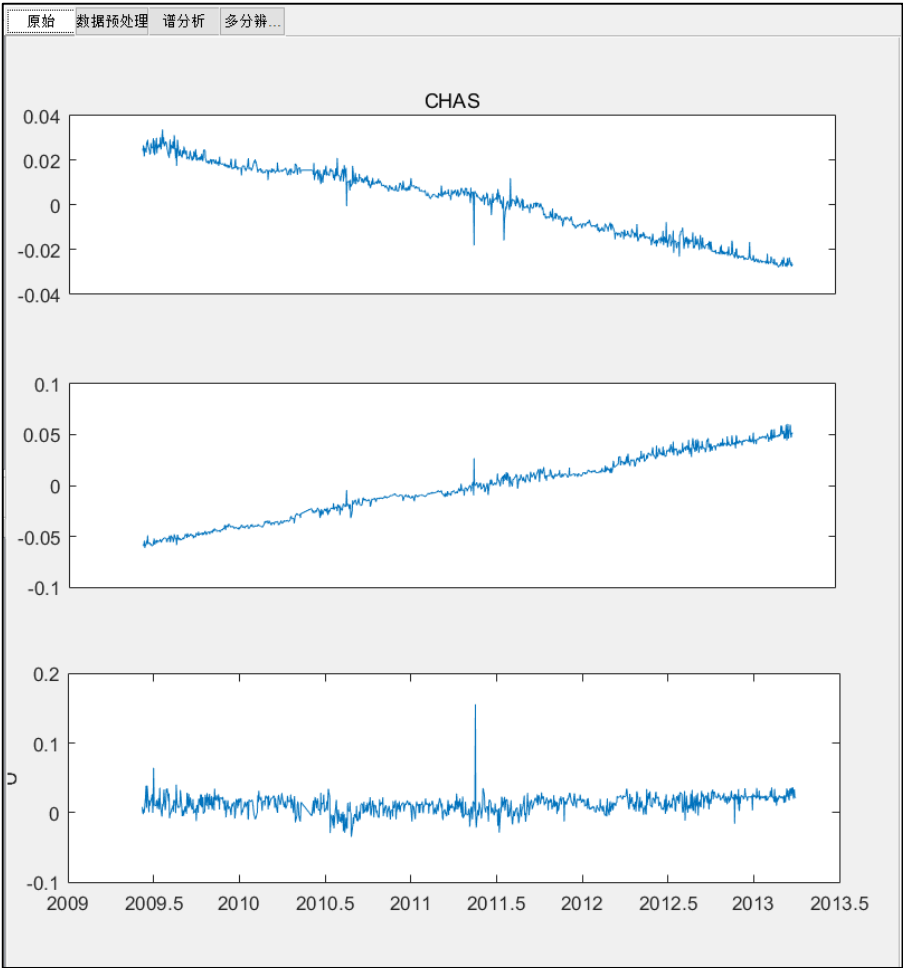
文件列表



控制台

绘图窗口

本窗口由一个分页面板组成，用于显示分析过程中各个部分的图形并提供图形的相关操作。具体的包括但不限于原始数据序列、残差序列、异常值序列、共模误差、功率谱图和小波分解图。



绘图窗口


功能区

本部分为软件核心模块，提供了必要的数据预处理和时间序列分析方法。注意使用本模块时，必须按照软件模块顺序操作。具体的操作见功能使用详解中的数据预处理和时间序列分析部分。

功能使用详解

文件操作


导入文件夹

点击文件菜单下的打开或者点击工具栏上的可以加载文件夹，注意文件内只允许存放指定三种格式（见论文）的数据且所有测站的数据格式应统一。


加载其他文件

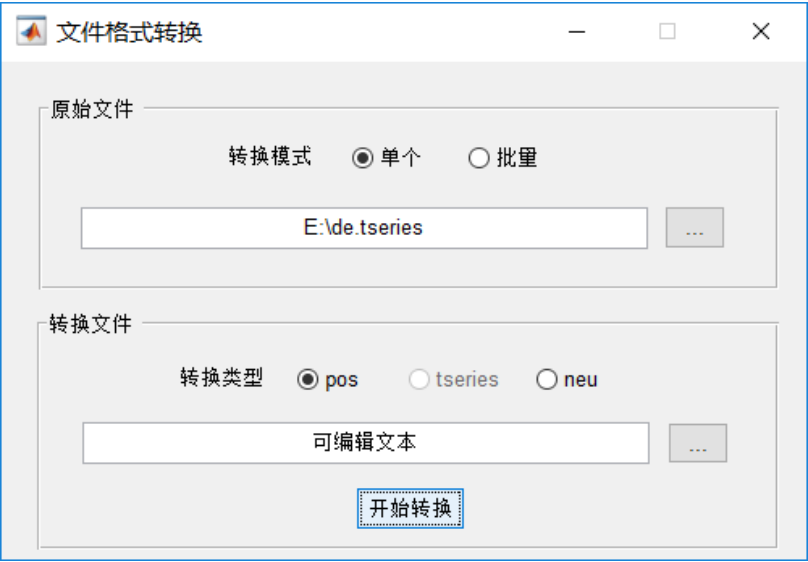
导入文件夹后，若用户还想添加其他文件，可以点击文件列表和控制台之间的添加按钮。

移动分析

用户可以随意选择分析的测站，可以通过工具栏上的或者文件列表和控制台之间的按钮进行移动分析。

数据格式转换

点击工具菜单下的格式转换或者点击工具栏上的可以弹出格式转换工具箱，可以选择单个文件转换还是批量转换，MTSA 能够自动识别原始文件格式，所以可以避免同一格式之间的转换。



数据格式转换

数据预处理

异常值剔除

MTSA 提供了两种方法进行异常值的探测。（1）阈值法-根据用户给定的限值（如三倍中

误差),超出限值之外的当作异常值剔除,(2)改进的 IQR 法则-基于统计学的稳健孤立值探测法,根据统计指标构造构造相应的探测区间。

插值

MTSA 提供了线性插值、牛顿插值和三次样条插值法。

共模误差分析

Dong^[5]等研究表明,在对区域 GNSS 网站点坐标序列进行分析时,不同站点坐标时间序列中包含一种与时空相关联的误差,即所谓的共模误差,分析各站点形变特征时应去除。MTSA 提供了 Stacking、PCA 和 KLE 三种滤波方法提取共模误差,选择滤波方法后点击提取,数据预处理分页上会显示所提取的共模误差。

数据预处理

异常值

下分位

-7.30748

上分位

8.35475

窗口长度

356

剔除

插值

☒ 线性 ☐ 牛顿 ☐ 三次样条

插值

共模误差

☒ Stacking ☐ PCA ☐ KLE

提取

时间序列分析

谱分析

弹出式...

P0

69.9802

Alpha

0.101563

WN

2.31

FN

3.52

RN

0.15

分析

多分辨率分析

信号长度

1438

小波

db

6

层数

10

小波

EMD

时间序列分析

谱分析

软件中选好谱分析类型后点击分析按钮，则在中间谱分析分页上自动画出当前测站的三个方向的功率谱周期图和拟合图，右侧会显示谱指数和噪声分量值。

多分辨率分析

在多分辨率分析模块中，MTSA 提供了小波多分辨率分析和经验模态分析。与谱分析不同的是，多分辨率分析能够同时在时域和频域上识别时间序列信号的特性。小波法通过选定基函数，使用 Mallat 算法将任何一个平方可积空间中的信号按照指定分辨率分解成一系列正交小波子空间的信号，根据子信号的的低频部分和高频部分完全重构。软件右下方提供了多分辨率分析的模块，选择好小波基函数及分解层数后，点击小波按钮，则在中间多分辨率分析分页上自动绘出分解图。与小波分析不同，经验模态分解无需设定基函数，就可以根据时间序列中本身具有的时间特性自适应的分解成若干本征模函数，每个函数分量对应着时间序列信号的不同时间分辨率的局部特征，获取本征模函数的过程可参考文献^[9]。点击 EMD 按钮，则会相应地在多分辨率分析分页上绘出分解图。

数学模型

GNSS 坐标时间序列拟合模型

一般来说，如果不考虑其他因素的影响，可以对 GNSS 站坐标分量单日解建立如下的参数模型：

$$y(t_i) = a + bt_i + c \sin(2\pi t_i) + d \cos(2\pi t_i) + e \sin(4\pi t_i) + f \cos(4\pi t_i) + \sum_{j=1}^{n_g} g_j H(t_i - T_{gj}) + v_i$$

上式中， a 代表初始测站坐标， b 代表线性速率， c, d 代表半周年系数， e, f 代表一周年系数， g 代表在历元 T_g 处由于天线相位变化等引起的阶跃偏移量， v_i 为残差序列。

IQR 法则

标准 IQR 法则是在假定数据符合标准正态分布情况下，对数据从小到大排列，取其中位值和标准化的 IQR 参数进行数据集散性分布的度量。数据从小到大排列后，取离 1/4 处最近的值为下分位值 Q_1 ，离 3/4 处最近的值为上分位值 Q_2 ，四分位间距 IQR 表示为：

$$IQR = Q_2 - Q_1$$

则异常值探测区间为:

$$[Q_1 - 1.5 \cdot IQR, Q_2 + 1.5 \cdot IQR]$$

空间滤波（共模误差）

共模误差的主要提取方法有 Stacking、PCA 和 KLE。

Stacking 定义为当前历元各站点残差的加权平均值作为所有站点的共模误差。其计算公式为:

$$\varepsilon(t_i) = \frac{\sum_{k=1}^n x(t_i, s_k) / \sigma_{i,k}^2}{\sum_{k=1}^n 1 / \sigma_{i,k}^2}$$

PCA 方法按照主成分的贡献度与特征值大小成正相关的原则提取主模式分量，而主模式分量在一定程度上可以反映原矩阵的某些特征。其计算公式为

$$b_{ij} = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m x(t_k, s_i) x(t_k, s_j)$$

$$B = V \Lambda V^T$$

$$X = A V^T$$

$$x(t_i, s_j) = \sum_{k=1}^n a(k, t_i) v(k, s_j)$$

$$\varepsilon(t_i, s_j) = \sum_{k=1}^p a(k, t_i) v(k, s_j)$$

KLE 方法是基于 PCA 方法的，与 PCA 方法不同的是，它对残差时间序列的协方差矩阵进行了标准化。

数据插值

间断小于 15 天的，利用前后 5 天数据进行线性内插，并加 GAUSS 随机噪声（水平方向 $((\text{水平方向 } N(0, (2\text{mm})^2), \text{高程方向 } N(0, (10\text{mm})^2))$)；

间断长于 15 天的，直接在断点处加 GAUSS 随机噪声（水平方向 $N(0, (2\text{mm})^2)$, 高程方向 $N(0, (10\text{mm})^2)$)。

谱分析

功率谱分析就是对时间序列的频率窗进行分析，从而得到功率谱密度图。该图以周期为横坐标，以频谱值为纵坐标，对该图分析即可得到其对应的周期。其数学基础为离散傅里叶变换。对时间序列 x ，可通过离散傅里叶变换计算其功率谱密度

$$P(f) = \frac{1}{N} \left| \sum_{k=1}^{N-1} x e^{-2i\pi n f} \right|^2$$

GPS 坐标时间序列的功率谱形式固定：

$$P(f) = P_0 f^{-\alpha}$$

P_0 和 α 可通过对上式进行对数拟合得到。可通过 α 来判断噪声组合模型，一般来说，GNSS 坐标序列噪声模型可用白噪声+闪烁噪声+随机漫步噪声来表示

$$Q_{xx} = \sigma_w^2 I + \sigma_f^2 R_f + \sigma_{rw}^2 R_{rw}$$

对应的噪声分量可通过极大似然法或方差分量估计得到。

多分辨分析

对于长度为 N 的离散时间序列信号 $\mathbf{x} = [x_0 \ x_1 \ \cdots \ x_{N-1}]^T$ ，采用二进小波进行变换计算时，其样本数必须是 2 的整次幂，即 $N = 2^J$, $J \in \mathbb{Z}$ ，其中 \mathbb{Z} 表示整数集， J 为二进小波分解的最大层数，第 j 层 ($j \leq J-1$) 的尺度为 $\tau_j = 2^j$, ($j = 0, 1, 2, \dots, J-1$)，相应的小波系数有 $N / 2\tau_j = N / 2^{j+1}$ 个。若母小波函数为 $\varphi(t)$ ，则经偶数平移 $2k$ 后的第 j 层二进小波可表示为

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \varphi(2^{-j}t - 2k), \quad j, k \in \mathbb{Z} \quad (1)$$

由于前 $J-1$ 小波系数的总数为 $\sum_{j=0}^{J-1} \frac{N}{2^{j+1}} = N-1$ ，比样本数 N 少一个，因此必须加上最后一层，即第 $J-1$ 层的一个尺度系数才能重构原信号。若离散信号 \mathbf{x} 的第 j 层二进小波变换表示为

$$\mathbf{w}_j = \mathbf{W}_j \mathbf{x} \quad (2)$$

变换矩阵 \mathbf{W}_j 可表示为

$$\mathbf{W}_j = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{j,0} \\ \mathbf{W}_{j,1} \\ \vdots \\ \mathbf{W}_{j,n_j-1} \end{bmatrix}, \quad \text{其中: } \mathbf{W}_{j,0} = \begin{bmatrix} \int_{s_0} \varphi_{j,0}(t) dt \\ \int_{s_1} \varphi_{j,0}(t) dt \\ \vdots \\ \int_{s_{N-1}} \varphi_{j,0}(t) dt \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

其余 $k \neq 0$ 的系数 $\mathbf{W}_{j,k}$ 都可通过 $\mathbf{W}_{j,0}$ 平移得到，即

$$\mathbf{W}_{j,k} = T_j^{2k} \mathbf{W}_{j,0} \quad (4)$$

其中，平移算子 T_j^{2k} 是将 $\mathbf{W}_{j,0}$ 的各元素平移 $2^{j+1}k$ 位。若将小波系数按层数从低到高排列，并加上 1 个尺度系数 \mathbf{v}_{j-1} ，则二进小波变换系数可表为

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_0 \\ \mathbf{w}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{w}_{J-1} \\ \mathbf{v}_{J-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_0 \\ \mathbf{W}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{W}_{J-1} \\ \mathbf{V}_{J-1} \end{bmatrix} \mathbf{x} = \mathbf{W}\mathbf{x} \quad (5)$$

式中, \mathbf{V}_{J-1} 为满足 $\mathbf{V}_{J-1} \perp \mathbf{W}_j$ 的单位向量, 根据正交条件可唯一确定, 尺度系数 $\mathbf{v}_{J-1} = \mathbf{V}_{J-1}\mathbf{x}$ 。
变换矩阵 \mathbf{W} 是规范正交矩阵, 满足 $\mathbf{W}^T\mathbf{W} = \mathbf{W}\mathbf{W}^T = \mathbf{I}_N$, 其中, \mathbf{I}_N 表示 N 阶单位阵。