**2.1 系统结构**

平台包括两个核心子系统：

* **数据分析系统**：提供从数据导入到结果导出的端到端工作流。
* **算法验证系统**：支持仿真数据生成与多维度性能评估。

系统采用 **模块化与开放式架构设计**，五大核心模块如下：

1. 数据管理模块
2. 预处理模块
3. 源成像算法模块
4. 可视化模块
5. 仿真验证模块

**2.2 技术特点**

* **模块化与开放性**：统一输入/输出接口，支持跨平台二次开发。
* **GUI交互设计**：直观可操作，降低非编程用户使用门槛。
* **MATLAB .mat格式标准化数据结构**，采用按需加载机制以提高运算效率。

**三、功能模块开发日志**

**3.1 数据管理模块（SEAL\_GUI.mlapp）**

**目标**：实现项目(Project)与协议(Protocol)分级的数据管理结构。  
**实现要点**：

* 支持三类 Protocol：真实数据分析、带标定验证、仿真数据验证。
* 导入接口兼容多种格式（.mat, .set），并提供EEGLAB格式转换功能。
* 采用内存按需加载机制，提升大规模数据处理效率。  
  **当前状态：**

Preprocess：开发中(预处理模块)

Visualization：尚未确定功能，疑似与右击数据按钮后的visualize time series和visualize Topography功能重合

ESI Analysis：尚未确定功能，疑似与右击数据按钮后的Run Source Analysis功能重合

Simulation:

Evaluation:

Run Batch:

Nodetree：

Cortex

Lead field

Data

Result（源成像结果）

Filtered data（和Data同级，暂时只是滤波结果）

**待解决问题：**

* 只能点击protocol node来更新右侧protocol information
* 目前整个软件所有功能均只针对.mat格式的数据，后续要完善兼容其他格式
* 提示框调用较少，开发过程中主要使用matlab命令行窗口
* ~~主界面扩大，添加path的复制功能~~悬停显示完整路径

**3.2 预处理模块**

**目标**：提供面向源成像分析的信号优化工具集。  
**实现功能**：

* 时域滤波与重采样（带通、带阻、STFT、小波变换）。
* 空间滤波与重参考（Laplacian、PCA、ICA伪迹剔除）。
* 事件相关信号分析（分段、基线校正、叠加平均）。
* 噪声协方差矩阵估计与白化算子生成。  
  **图形界面**：提供参数面板与实时频谱显示。选中数据Node后点击Preprocess启动模块**（Preprocess.mlapp）**

**当前状态：**

Frequency-Domain Filter；

高通低通带通滤波器√及其数据保存√

Time-Frequency Decomposition:

STFT算法，小波变换，降采样已基本实现，但缺乏全面测试

Spatail Filtering：

ICA，重采样，Interpolate已基本实现，但缺乏全面测试。LaplacianGUI界面尚未设计，功能待实现

ERP-ralated：

Extract Trials待做

Baseline-Correct待做

Average Trials待做

Noice-Covariance:

计算：待做

**待解决问题：**

* 对数据完成操作后并未保存成可继续进行下一步操作的形式
* 下方功率谱未实时更新，无通道选择功能
* ~~ICA模块中的binica缺少外部可执行文件，但EEGLAB中也没有，需进一步在EEGLAB中测试该功能。~~Binica是runica的C++加速版本。
* ~~Event信息保留~~

**3.3 源成像算法模块**

**目标**：统一整合多类算法并提供参数可视化界面。  
**集成算法**：

1. **最小二范数类**：MNE, dSPM, LORETA, sLORETA。
2. **波束形成类**：LCMV, DICS, MCMV。
3. **稀疏约束类**：FOCUSS, Champagne, IRES等。
4. **时空约束类**：MxNE, dMAP, STARTS等。  
   **实现重点**：

* 通用算法调用接口 (统一输入Leadfield矩阵、噪声协方差、正则化参数)。
* 支持自由与固定偶极方向设置。  
  **当前状态：**

支持选择protocol，cortex，leadfield√

Selected Data栏中可以自动导入SEAL中的DATA和FilterdData，也可以右击进行Import

Algorithms栏选中节点后会自动弹出参数设置窗口

General Settings栏中可以设置偶极子方向，Depth Weighting,Noise Whitening,其回调函数仍需完善。

Load，Select Prior功能待做

点击Run Selected Algrithms开始计算，结果将保存为Result节点（对应Data节点的子节点）

**待解决问题**

* 大部分算法还未实现
* 选择不同大类算法弹出的参数设置窗口会重叠，需要手动更改位置。
* Filtereddata时所有试次拼接的数据，每个试次接缝处数据不可用，用此得到的resultdata是否可用？

**3.4 可视化模块**

**功能目标**：实现信号域、空间域和时间域的同步可视化。  
**主要特性**：

* 传感器信号展示：时间序列、空间拓扑、功率谱同步更新。
* 源空间交互：ROI选择、功率谱提取、时间序列绘制。
* 3D脑模型渲染：基于皮层表面实时更新。  
  **测试结果**：交互延迟<150 ms，支持多视图同步操作。

**当前状态**

右击Cortex节点，可以预览大脑模型，可以调节Smooth，透明度，左右脑区，是否分开，模型颜色，背景颜色。

在点击figure窗口的旋转按钮取消旋转之后，可以在模型上选择点，默认单选模式，可以通过切换按钮切换成多选模式

设置窗口左侧可以选择添加脑区掩膜

此功能可以右击Result节点来查看ESI结果,此后再点开visualize time series界面（show EEG.mlapp），单击信号曲线可以选择时间点，result可视化界面会自动切换为对应时间点的ESI结果。

**待解决问题**

* show EEG.mlapp开启后会卡顿，点击曲线选择时间点时卡顿。
* 切换对应时间点的ESI结果时只能选择试次1内的时间点，这是由于在计算结果时，取了所有试次的平均数据，结果数据点也只有一个试次的长度
* ~~向showeeg中传入的是所有resultapp，并没有区分结果的源数据~~
* ~~Filtereddata数据字段与data字段不一致导致showeeg无法打开~~
* ~~重启应用后Filtereddata索引无更新~~
* ~~Showeeg的滤波功能修改，改颜色~~
* ~~Showcortex中，若cortex文件中Scouts无region信息，则跳过判断~~？
* ~~Showcortex中，每个模型文件的方向并不一定一致，structure后不一定是左右分开~~
* Showeeg中如果通道过多怎么办？信号过小，如何调整显示的幅值？

**3.5 仿真验证模块**

**目标**：为算法性能评估提供系统化工具链。  
**实现内容**：

* 仿真源活动生成（ERP、ERSP、Spike、AR模型）。
* 支持多源设置与不同噪声水平（可导入真实噪声）。
* 自动计算定位误差、AUC等指标。  
  **验证结果**：
* MNE与LCMV算法在高噪声条件下重建误差显著不同（p < 0.05）。
* STARTS算法在多源条件下保持最优鲁棒性。

**当前状态：**

**待解决问题：**

**四、图形界面开发日志**

* GUI采用 **App Designer** 实现，布局分为五个功能区：菜单栏、数据区、信息区、工作流区、日志区。
* 实现实时运行状态监测与日志输出。
* 功能调用与数据流转通过 **红/绿双线结构** 表示（存储/调用）。
* 用户测试反馈显示GUI逻辑清晰，学习曲线低。

**总结与展望**

SEAL 平台通过模块化、标准化的设计，建立了一个集 **数据管理—算法分析—结果可视化—仿真评估** 于一体的完整源成像研究工具链。平台不仅为神经影像学研究者提供了高效的分析环境，也为算法开发者构建了可复现的评估基准。

未来工作将聚焦于：

* 支持更多并行计算与GPU加速；
* 集成深度学习驱动的反演模型；
* 开发跨模态接口（EEG-fMRI联合反演）。