**1. 项目概述与核心架构**

SEAL 工具箱基于模块化和开放式架构设计，旨在服务于神经科学研究者和算法开发者两大用户群体。

* **核心子系统:**
  1. **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。
  2. **算法验证系统:** 支持仿真数据生成与多维度性能评估。
* **五大核心模块:** 整体架构通过以下五个核心模块实现，它们共同构成了工具箱的功能主干：
  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
* **关键技术特点:**
  1. **模块化与开放性:** 统一的输入/输出接口，支持跨平台二次开发。
  2. **GUI 交互设计:** 采用 MATLAB App Designer 构建直观的图形用户界面，显著降低非编程背景用户的使用门槛。
  3. **高效运算:** 采用标准化的 .mat 格式数据结构，并结合按需加载（On-demand Loading）机制，以提高大规模数据的运算效率。

**2. 模块开发计划与行动项**

本章节将根据各模块的当前状态和待解决问题，详细阐述其开发计划和具体行动项。

**3.1 数据管理模块 (SEAL\_GUI.mlapp)**

* **目标:** 实现一个鲁棒且直观的、支持项目（Project）与协议（Protocol）分级的数据管理系统。
* **核心功能:**
  + 支持三类 Protocol：真实数据分析、带标定验证、仿真数据验证。
  + 提供兼容多种格式（.mat, .set）的导入接口，并内置 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:**
  + 项目（Project） -> 协议（Protocol） -> 皮层/导联场/数据/结果 的基本节点树（Nodetree）结构已实现。
  + 该模块是整个 GUI 的主入口 (SEAL\_GUI.mlapp)。
  + 右击数据节点后的 visualize time series 和 visualize Topography 功能，以及 Run Source Analysis 功能的交互逻辑与主界面的快捷按钮功能存在重叠，尚待明确。
* **开发路线图与行动项:**
  + **优化节点交互的 UI/UX:**
    - **行动项:** 实现一个**上下文感知（Context-aware）的属性检查器**。当前只有点击 Protocol 节点才能更新右侧信息，需要扩展为：当用户点击树状图中的*任何*节点（数据、皮层、结果等）时，右侧的信息面板都必须同步更新，以显示该节点的特定元数据。
  + **扩展数据格式的兼容性:**
    - **行动项:** 设计并实现一套针对其他常见格式（如 BrainVision Analyzer、MNE-Python 的 .fif 文件）的\*\*“导入器”函数\*\*。目前软件功能仅支持 .mat 格式，这是一个关键瓶颈。建议采用工厂模式（Factory Pattern）以便未来轻松添加新的导入器。
  + **实现标准化的用户反馈系统:**
    - **行动项:** 将开发过程中使用的 matlab 命令行窗口 输出，全面替换为用户友好的**图形化对话框**（如 uialert, uiconfirm），并在 GUI 主界面的日志区（区域5）提供持久化的操作记录。这是提升用户体验的核心步骤。
  + **明确并整合 UI 操作逻辑:**
    - **行动项:** 明确右键菜单与主工作流快捷按钮的功能划分。**建议规范：** 主工作流按钮作用于当前在树状图中*被选中*的节点；右键菜单则提供针对该节点的快捷操作或高级选项。解决当前功能重叠和逻辑模糊的问题。

**3.2 预处理模块 (Preprocess.mlapp)**

* **目标:** 提供面向源成像分析的、交互式的信号优化工具集。
* **核心功能:**
  + 时域滤波与重采样（带通、带阻、STFT、小波变换）。
  + 空间滤波与伪迹剔除（Laplacian, PCA, ICA）。
  + 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。
* **当前状态:**
  + 频域滤波器（高通/低通/带通）已实现，并支持数据保存。
  + 时频分解（STFT、小波）、空间滤波（ICA、重采样、插值）的后端算法已基本实现，但缺乏全面测试和完整功能的 GUI。
  + ERP 相关功能（分段、基线校正等）和噪声协方差计算功能尚待开发。
* **开发路线图与行动项:**
  + **实现链式数据处理流程:**
    - **行动项:** 当前操作无法将中间结果保存为可供下一步操作的格式。需要**重构数据保存机制**，支持链式处理（例如：原始数据 -> 滤波后数据 -> 分段后数据）。每次操作都应在数据树中生成一个带有清晰命名的新 Data 节点。
  + **实现交互式与响应式 UI:**
    - **行动项:** 下方的功率谱图必须能够**实时更新**。为滤波参数等 UI 控件添加监听器（listener），当参数改变时自动触发绘图刷新。同时为功率谱图增加通道选择功能。
  + **完成待开发功能模块:**
    - **行动项:** 创建明确的任务清单，按优先级完成待开发功能：
      1. **噪声协方差矩阵计算** (众多源成像算法的关键输入)。
      2. **ERP 处理流程** (分段、基线校正、叠加平均)。
      3. **开发 Laplacian 滤波的 GUI 界面**。
      4. 对 STFT、小波变换和 ICA 功能进行全面测试。

**3.3 源成像算法模块**

* **目标:** 统一整合多类源成像算法，并提供可视化的参数设置界面。
* **核心功能:**
  + 集成四大类算法：最小二范数类、波束形成类、稀疏约束类、时空约束类。
  + 提供通用的算法调用接口。
  + 支持固定与自由偶极子方向等高级设置。
* **当前状态:**
  + 选择 protocol、cortex、leadfield 的基础 UI 已可用。
  + 选中算法后自动弹出参数设置窗口的机制已实现。
  + Run Selected Algrithms 按钮可将计算结果保存为对应 Data 节点下的 Result 子节点。
  + General Settings 中的回调函数尚不完善。
* **开发路线图与行动项:**
  + **全面实现算法库:**
    - **行动项:** “大部分算法还未实现”是当前最核心的问题。需要建立一个**算法开发任务看板（backlog）**，系统性地、逐一实现文档中列出的所有算法。
  + **开发动态 UI 面板管理器:**
    - **行动项:** 解决“不同大类算法弹出的参数设置窗口会重叠”的问题。重新设计 UI，**使用一个共享的动态面板**。当用户选择一个算法时，该面板会清空并动态加载该算法专属的参数控件。这将提供更专业、更清爽的用户体验。
  + **完善通用设置（General Settings）的回调函数:**
    - **行动项:** 编写并连接偶极子方向、深度权重、噪声白化等通用设置的后端逻辑，确保这些参数能被正确地传递给核心算法函数。
  + **实现先验信息加载功能:**
    - **行动项:** Load, Select Prior 是高级用户所需的核心功能。需实现其 UI 和后端逻辑，允许用户加载自定义的源协方差矩阵或空间先验图。

**3.4 可视化模块**

* **目标:** 实现信号域、空间域和时间域数据的同步、交互式可视化。
* **当前状态:**
  + 3D 大脑模型预览功能已实现，支持 Smooth、透明度、脑区颜色等调节。
  + 支持在 3D 模型上进行单点/多点选择。
  + 交互延迟小于 150ms，性能良好。
* **开发路线图与行动项:**
  + **实现完全的“联动高亮”（Linked Brushing）同步机制:**
    - **行动项:** 这是该模块的最终目标。必须实现以下视图的**数据同步**：
      * 传感器信号时间序列图。
      * 传感器空间地形图。
      * 3D 源空间激活图。
    - 当用户在时间序列图上点击或拖动光标时，地形图和 3D 激活图必须**实时同步更新**。这需要一个基于事件监听的稳健架构。
  + **开发感兴趣区域（ROI）分析工具:**
    - **行动项:** 在当前的点选功能基础上，扩展为一个完整的 **ROI 工具集**。允许用户选择多个顶点（或从标准模板中选择脑区），并自动提取、绘制该 ROI 的平均激活时间序列。
  + **与 Result 节点深度集成:**
    - **行动项:** 将该模块的主要入口点设为“右击 Result 节点并选择‘可视化’”。确保从结果到可视化的工作流程无缝衔接。

**3.5 仿真验证模块**

* **目标:** 为算法性能评估提供系统化、可视化的工具链。
* **当前状态:**
  + 从 GUI 角度看，此模块是目前开发程度最低的。日志中提到的验证结果表明后端函数可能已存在，但缺乏用户操作界面。
* **开发路线图与行动项:**
  + **设计并实现仿真参数设置 GUI (SimulationSetup.mlapp):**
    - **行动项:** 创建一个全新的 App Designer 应用，用于仿真参数设置。该界面必须提供对所有仿真参数的控制：
      * **源活动生成:** 可视化选择源活动类型（ERP, ERSP, Spike 等）。
      * **空间属性设置:** 允许用户在 3D 模型上点选种子点、定义激活斑块大小和衰减模式。
      * **噪声水平配置:** 通过滑块或输入框定义信噪比、噪声类型（支持导入真实噪声）。
  + **设计并实现评估结果展示 GUI:**
    - **行动项:** 当算法在仿真数据上运行完毕后，应自动弹出一个结果面板，以**表格和图表**的形式清晰展示各项性能指标（定位误差、AUC 等），方便用户直观地比较不同算法的优劣。

**4. 总结与未来展望**

在完成上述核心功能的开发后，未来的工作将聚焦于以下前沿方向：

* **性能优化:** 支持更多并行计算与 GPU 加速，提升大规模数据处理和算法运算速度。
* **集成高级模型:** 引入深度学习驱动的反演模型。
* **开发跨模态接口:** 支持 EEG-fMRI 等多模态数据的联合反演分析。