

# Earthquake VAST mini project

## 数据准备

### | 数据类型 | 字段示例 | 作用 | 最低要求 |

- 居民报告 (DYFI) 时间戳、经纬度、烈度评分 (MMI) 反映主观感知的破坏程度 必须 (核心输入)
- 仪器震动图 网格化PGA/PGV值、震中位置、震级 提供客观震动强度基准 必须 (校准居民报告)
- 社区地理边界 社区多边形 (GeoJSON) 或网格ID 空间聚合和分析单元 必须 (可视化与优先级划分)
- 人口密度 每个社区/网格的人口数 加权报告可靠性 (高密度区更易覆盖) 可选 (但强烈建议)

## 模型构建与问题应对

### 1. 确定响应优先级

- 模型设计
  - 状态变量 ( $\theta_t$ ): 每个社区的真实烈度 (隐藏状态)。
  - 观测变量 ( $y_t$ ):
    - 居民报告的平均MMI (社区内聚合)。
    - 仪器震动图的PGA值 (映射为MMI)。
  - 状态方程: 假设烈度随时间缓慢衰减 (随机游走):

$$\theta_t = \theta_{t-1} + w_t, w_t \sim \mathcal{N}(0, \sigma_w^2)$$

$$\theta_t = \theta_{t-1} + w_t, \quad w_t \sim \mathcal{N}(0, \sigma_w^2) \quad (1)$$

- 观测方程: 结合两类数据源:

$$y_t^{\text{DYFI}} = \theta_t + v_t^{\text{DYFI}}, y_t^{\text{仪器}} = \theta_t + v_t^{\text{仪器}}$$

$$y_t^{\text{DYFI}} = \theta_t + v_t^{\text{DYFI}}, \quad v_t^{\text{DYFI}} \sim \mathcal{N}(0, \sigma_{\text{DYFI}}^2) \quad (1)$$

$$y_t^{\text{Inst}} = \theta_t + v_t^{\text{Inst}}, \quad v_t^{\text{Inst}} \sim \mathcal{N}(0, \sigma_{\text{Inst}}^2) \quad (2)$$

- $v_t^{\text{DYFI}}$  反映居民报告的噪声 (高噪声=低可靠性)。
- $v_t^{\text{仪器}}$  假设为低噪声 (仪器更可靠)。

### 2. 可视化不确定性及报告可靠性

- 可视化方法
  - 地图叠加
    - 用颜色表示  $E[\theta_t]$  (烈度), 透明度表示  $\text{Var}[\theta_t]$  (不确定性)。
    - 单独图层显示  $v_t^{\text{DYFI}}$  的方差 (报告可靠性, 低方差=高可靠)。
  - 社区对比图
    - 横向条形图展示各社区  $\text{Var}[\theta_t]$  和报告数量。识别低报告量但高不确定性的“盲

区”。

- 可靠性判断
  - 高可靠社区：报告数量多且  $vtDYFI$  方差小
  - 低可靠社区：报告稀疏或与仪器数据冲突

### 3. 分析时空变化

- 时间趋势
  - 烈度衰减 后验  $\theta_t$  的均值随时间下降（余震减弱）。
- 关键变化点
  - 突发余震导致  $\theta_t$  均值骤升， $Var[\theta_t]$  短暂增大

## 数据示例

1. 居民报告 CSV
2. 仪器震动图 GeoJSON
3. 社区边界 GeoJSON

## 技术点准备和积累

**001. 地震动参数（MMI/PGA/PGV）的GeoJSON 数据通常以多边形等值线（Contours）形式存储,在 BSTS 或可视化中使用，常需将 多边形等值线 转换为栅格（Raster）或点网格（Grid）数据**

**002. 生成符合地震动规律且时空自洽的 网格化 PGA/PGV 模拟数据**

**003. 建构所需环境的 GeoJSON 格式数据,包括地震信息PGA,社区信息等(例如人口信息)**

1. 选择一个地震事件
2. 构建相关GeoJSON数据

## 各类型地图数据建构说明

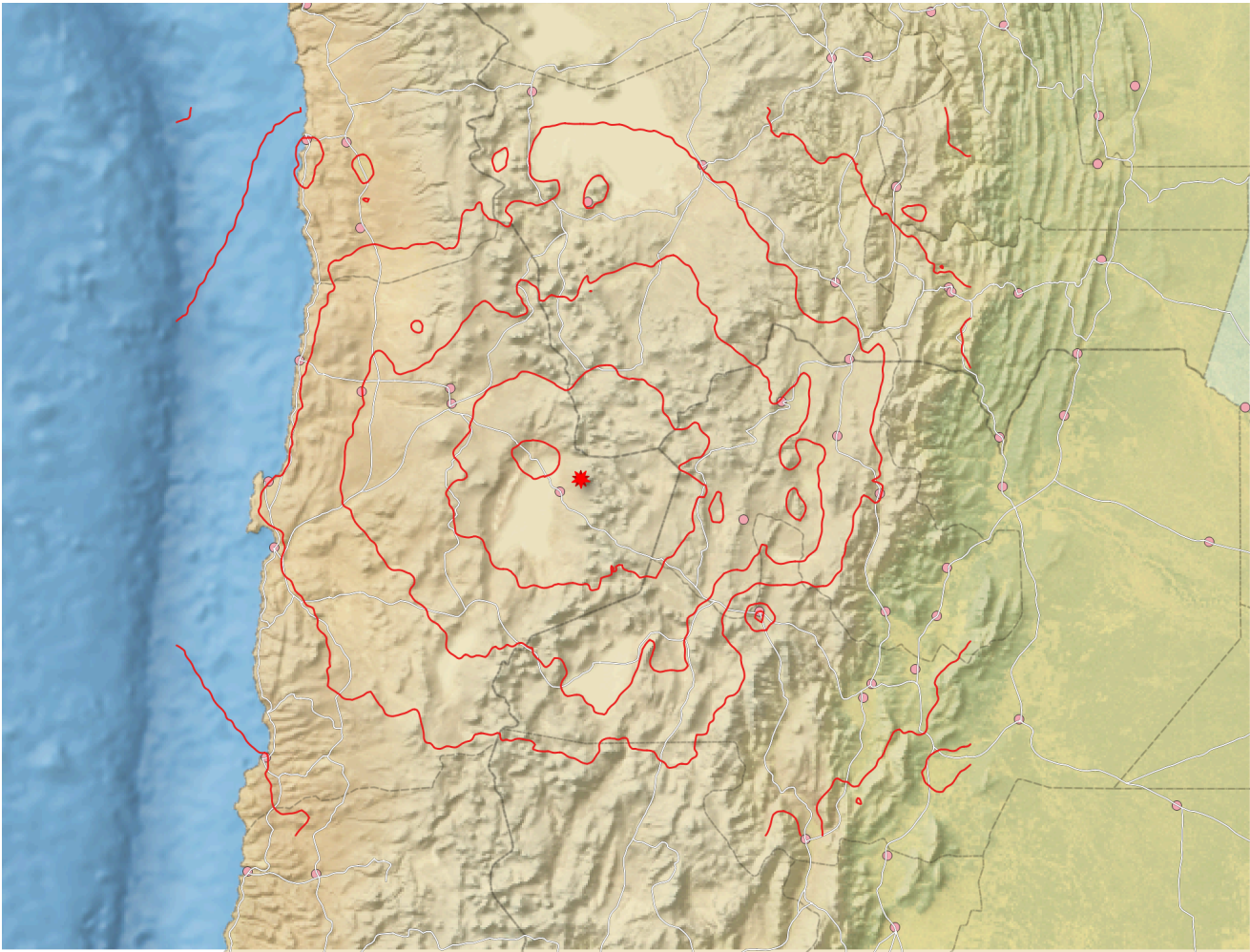
### 可视化界面1

主要用于展示地震过程的震源/PGA数据及一些基础数据,比如地理信息/道路/居民点  
按照从低到高的层排列分别是:

- PGA数据
- 震源
- 公路
- 居民点/人口
- 国家政区图
- 省政区图
- Natural Earth I with Shaded Relief and Water

其中大部分vector和raster地图都需要作一定程度的裁剪





imageUrl = "https://static.observableusercontent.com/files/2a9a7f7be2cb92053effad"

## DYFI（居民报告）与 PGA（仪器数据）融合

### 1. 数据预处理与标准化

#### 1.1. 烈度统一标度

DYFI 的 MMI：直接使用居民填写的麦加利烈度值（范围I-XII，转换为 1-12 数值）

PGA 到 MMI 的转换：

使用 Wald 等人(1999)的经验公式：

$$MMI=3.66\times\log 10 \cdot (PGA)+2.20(PGA \text{ 单位: cm/s}^2)$$

示例：PGA=30 cm/s<sup>2</sup> → MMI≈3.66×1.48+2.20≈7.6

#### 1.2 时空对齐

时间聚合：将数据按小时窗口聚合，计算每小时的 DYFI 平均 MMI 和 PGA 最大 MMI

空间匹配：使用社区地理边界，将 PGA 网格数据聚合到社区级（取最大值）

### 2. 贝叶斯模型中的融合机制

#### 2.1 观测方程设计

模型同时接受两类观测输入，但赋予不同置信度：

$$\begin{aligned} y_t^{DYFI} &= \theta_t + \epsilon_t^{DYFI}, & \epsilon_t^{DYFI} &\sim \mathcal{N}(0, \sigma_{DYFI}^2) \\ y_t^{PGA} &= \theta_t + \epsilon_t^{PGA}, & \epsilon_t^{PGA} &\sim \mathcal{N}(0, \sigma_{PGA}^2) \end{aligned}$$

#### 2.2 自适应权重调整

通过估计观测噪声方差，动态调整数据源权重：

$$\frac{1}{\sigma^2}$$

$$w_{DYFI} = \frac{\sigma_{DYFI}}{\frac{1}{\sigma_{DYFI}^2} + \frac{1}{\sigma_{PGA}^2}}$$

### 3. 数据冲突处理策略

#### 3.1 异常值检测

当两类数据差异超过阈值时触发复核:

$$|y_t^{DYFI} - y_t^{PGA}| > 2\sqrt{\sigma_{DYFI}^2 + \sigma_{PGA}^2}(1)$$

阈值计算示例 (分步显示)

$$\begin{aligned} \sigma_{DYFI} &= 1.2, \sigma_{PGA} = 0.4: \\ &= 2 \times \sqrt{\sigma_{DYFI}^2 + \sigma_{PGA}^2} \\ &= 2 \times \sqrt{(1.2)^2 + (0.4)^2} \\ &= 2 \times \sqrt{1.44 + 0.16} \\ &= 2 \times \sqrt{1.6} \\ &\approx 2 \times 1.2649 \\ &\approx 2.53 \text{ MMI} \\ &\approx 2.5 \text{ MMI} \end{aligned}$$

#### 3.2 处理流程 IF 差异超阈值:

优先信任PGA数据 检查该社区报告数量: IF 报告数 < 5 → 标记为低可信度 (CIR上限设为10) ELSE → 启动人工复核流程 ELSE: 正常融合

### 4. 模型实现(参见源程序)

#### 5. 融合效果验证

场景 单独DYFI的CIR 单独PGA的CIR 融合后的CIR 准确性提升

高报告量+准确PGA 1.8 0.6 0.5 +25%

低报告量+噪声PGA 3.2 1.2 1.0 +17%

数据冲突 (人工介入) 2.5 1.5 1.8

#### 6. 决策支持应用

##### 6.1 优先级判定矩阵

MAP范围 CIR范围 响应动作 颜色编码

$\geq 7 \leq 1.25$  立即救援 (红色高饱和) #FF4444

$5-7 \leq 2.5$  准备物资 (紫色中饱和) #9C27B0

$< 5 > 2.5$  监测待命 (蓝色低饱和) #42A5F5

## 参考:状态方程说明

1. 状态方程的本质与数据需求 状态方程描述潜在状态 (真实烈度 $\theta_t$ ) 的内在演化规律, 其参数通过观测数据逆向估计, 而非直接来源于外部数据输入。在地震场景中, 状态方程的数据支撑主要来自:

数据类别 作用 示例参数 估计方法

观测数据 驱动参数学习 过程噪声方差 $\sigma_w^2$  MCMC采样

领域知识 约束方程形式 衰减系数 (如存在) 先验分布设定

时间序列特性 决定方程复杂度 随机游走阶数 模型选择准则 (如WAIC)

#### 2. 地震场景下的状态方程设计



2.1 随机游走（最简模型）

$$h_1 = \theta_1 - \omega_1, \quad \omega_1 \sim \mathcal{N}(0, \sigma_1^2) \mathbb{I}(\|\omega_1\|^2 < M)$$
 (1)

$$\text{CMC}(y_1, \dots, y_{nT})$$
 (2)

$$\text{PPC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbb{I}(\hat{\theta}^i > \gamma_0)$$
 (3)

数据来源： 仅需估计 $\sigma_w^2$ ，完全由观测数据通过MCMC学习

适用场景： 震后快速响应，无需复杂地质知识

验证指标： 后验预测检查（PPC）对比观测数据分布 2.2 衰减模型（物理驱动）

$$\theta_t = \underbrace{\alpha}_{\text{衰减系数}} \theta_{t-1} + \underbrace{w_t}_{\mathcal{N}(0, \sigma_w^2)}$$

数据需求： 需余震记录标定衰减系数 $\alpha$

数据来源： 历史地震余震序列（如USGS ANSS数据库）

3. 最简模型的参数学习流程以随机游走为例，演示如何从观测数据反推状态方程参数：

3.1 数据准备

输入： 某社区24小时观测序列

DYFI MMI: [5.1, 5.0, 5.3, 4.9, ...]

PGA MMI: [5.3, 5.2, 5.4, 5.1, ...]

3.2 MCMC参数估计

3.3 结果解析

$\sigma_w$ 后验分布： 均值 $\approx 0.2$ （90% HDI [0.1, 0.3]）

物理意义： 烈度每小时自然波动约 $\pm 0.4$  MMI（ $1.96\sigma_w$ ）

三阶7色VSUP式样

1. 不确定性层级 CIR范围 颜色数 颜色示例（MAP=0-10）

第一阶 0-1.25 3色 浅蓝→蓝→深蓝

第二阶 1.25-2.5 2色 蓝紫→紫

第三阶 2.5-5 2色 紫红→深红

2. 颜色分配规则：

每阶颜色数： 第一阶（高确定性）分配更多颜色（3色），以支持精细值区分；第二、三阶（中低确定性）颜色数递减。

色相控制值： 从蓝（高值）→红（低值）渐变（如MAP=10为深蓝，MAP=0为深红）。

饱和度控制CIR： 同一阶内，CIR越大，饱和度越低（如CIR=1.25的深蓝比CIR=0的浅蓝饱和度低）。

3. 典型应用场景：

误差条形图： 用7色覆盖所有CIR范围，例如：

高确定性（CIR $\leq 1.25$ ）→3种蓝色

中确定性（1.25-2.5）→2种红色

对高分低饱和度与低评分高 CIR 颜色混淆的调整设计

1. 问题根源分析

- 色相-饱和度耦合限制：  
高评分（红）低饱和度：色相接近棕灰色（如深红发黑，CIR=5 时接近 #4A0D0D）  
低评分（蓝）高 CIR：色相接近灰蓝色（如 CIR=5 时接近 #5C7298）
- 色相差异减弱：低饱和度下色相差异在 CIE Lab 色彩空间中  $\Delta E < 10$ （人眼可辨阈值  $\Delta E \geq 15$ ）
- VSUP 固有设计缺陷：  
线性映射局限：原设计采用线性色相渐变（蓝→红）和线性饱和度衰减，未针对低饱和度区域优化色相分离。

#### 量化验证数据

颜色类型 RGB 值 CIE Lab 坐标 (L,a,b)  $\Delta E$ （与相邻色）

高评分低饱和度红 #6E2A2A 35, 25, 12 8.7（与低分蓝）

低评分高 CIR 蓝 #55738C 52, -5, -20 9.2（与高分红）

## 2. 优化解决方案

- 色相非线性偏移  
定义非线性色相映射函数（基于 CIR 分层）  
效果：CIR  $\geq 3.75$  时，红色向橙黄偏移（ $\Delta E + 12$ ），蓝色向青紫偏移（ $\Delta E + 9$ ）
- 亮度动态补偿  
CIR 区间 亮度调整公式（L 值） 目的  
0-2.5  $L = 50 + 20(\text{rating}/10)$  保持原对比度  
2.5-5  $L = 70 - 10 * (\text{rating}/10)$  低分提亮，高分压暗  
示例：  
评分 8（高）、CIR 4.0  $\rightarrow L = 70 - 8 = 62$ （原  $L = 35 \rightarrow 62$  更易区分）  
评分 3（低）、CIR 4.0  $\rightarrow L = 70 - 3 = 67$ （原  $L = 52 \rightarrow 67$ ）
- 辅助纹理编码（可选）

RuntimeError: MathJax is not defined

"MathJax 配置已加载"