

补充说明：ADC值校正局限性

- 理想情况下，ADC值校正需要考虑探测器在事件发生时（具体到那一秒）的温度和电压信息。
- 由于卫星公司在卫星数据下传方面的特殊机制，同一时间点的科学数据和housekeeping数据可能不会在同一下传文件中，甚至可能在不同日期下传。例如，一个事件对应的温度和电压数据可能出现在几天后的文件中。
- 如果遍历所有housekeeping数据文件去查找匹配时间戳的温度偏压数据，效率太低。
- 目前程序是按照每个下传文件为单位去处理数据（每个 .dat 文件作为一个处理单元），无法对时间戳进行跨文件搜索，导致无法直接获取事件发生时的温度和电压信息。
- 由于无法实时匹配温度和电压，`calibrate_adc` 方法当前仅返回简单的ADC值（对于通道3返回NaN，其他通道直接返回输入值，未进行温度-偏压校正）。

按天切分数据以优化查找

- 当前程序按照下传文件（.dat）处理数据，每个文件可能包含多天的科学数据和housekeeping数据。
- 由于下传机制的随机性，同一时间点（UTC）的科学数据和housekeeping数据可能分散在不同文件中。
- 如果将数据按天切分并存储，文件名可以直接反映数据的日期范围，从而快速定位对应时间点的housekeeping数据。
- 将科学数据（EVENTS、SPECTRA）和housekeeping数据（HOUSEKEEPING）按天（以UTC时间为基准）切分，存储为独立的FITS文件。
- 文件名中嵌入日期信息（如YYYYMMDD），这样每次搜索就只需要在对应那一天的一个文件里去搜索，极大减小了搜索量。
- 在一天的文件里，使用二分查找与事件 UTC 最近的housekeeping记录，获取SIPM_TEMP 和 VMON 值。找到了之后就直接进行标准。

```
def calibrate_adc(self, adc_value, channel, temp, bias):
    if channel == 3:
        return np.nan
    adc_calibrated = self.adc_mapping.adcmap(channel, adc_value, temp, bias)
    return adc_calibrated
```

使用时序数据库Apache IoTDB

- IoTDB以时间戳为核心组织数据，支持高效的时间范围查询、最近点查询和插值操作，非常适合用于处理科学数据和housekeeping数据的时间戳匹配。

- IoTDB的NEAREST查询功能可直接返回与给定时间戳（如事件UTC）最接近的housekeeping记录，取代按天FITS文件中的线性搜索或二分查找。
- 将所有科学数据和housekeeping数据存储在IoTDB中，按时间戳和通道组织，无需按文件切分。
- IoTDB仅作为中间存储和查询工具。

补充说明：添加高通量模式数据到最终FITS文件

- 当前最终FITS文件（`G11_evt_YYYYMMDD.fits`）仅包含特征量模式（EVENTS）数据，即单个光子事件的精确时间（`TIME`）和能量通道（`PI`）。
- 探测器经常在特征量模式和高通量模式（SPECTRA）之间切换，导致时间序列上存在空缺（即高通量模式时间段无事件数据）。
- 这些空缺影响时间序列分析（如光变曲线生成），因为无法完整覆盖观测时间。
- 高通量模式以固定时间间隔（通常每秒）记录能谱数据，包括短周期能谱（`SHORT_SPECTRA`，20个时间bin×8个能量通道）和长周期能谱（`LONG_SPECTRA`，82个能量通道）。
- 能谱数据基于ADC值统计到固定区间（`adc_bounds`），但ADC值需通过温度和偏压校正转换为能量值。由于温度和偏压每秒变化，能量边界（`ENERGY_MIN`和`ENERGY_MAX`）也需每秒重新计算。

- 当前FITS结构：**

- 主HDU（PRIMARY）：空。
- 扩展HDU（不再存储特征量模式以外的信息）：
 - HDU **EBOUNDS**：
 - 列：
 - Channel（整数）：能量通道编号（1到N）。
 - E_MIN（浮点数，单位：keV）：通道能量下限。
 - E_MAX（浮点数，单位：keV）：通道能量上限。
 - 用途：定义能量通道的边界。
 - HDU **GTI**（Good Time Intervals）：
 - 列：
 - START（浮点数，单位：秒）：观测开始时间（相对于2018-01-01T00:00:00）。
 - STOP（浮点数，单位：秒）：观测结束时间。

- 用途：观测计划指定的有效观测时间区间，用于时间筛选。对于11B来说，由于24小时开机，实际上有效观测时间就是从文件开始到文件结束的全部时间。
- HDU **EVENTS{channel}** (每个通道一个，如 EVENTS0、EVENTS1、EVENTS2)：
 - 列：
 - TIME (浮点数，单位：秒)：事件时间（相对于2018-01-01 T 00:00:00）。
 - PI (整数)：能量通道编号（基于 EBOUNDS 的能量分区的编号）。
 - DEAD_TIME (字节，单位：微秒)：死时间（固定为4微秒）。
 - EVT_TYPE (字节)：事件类型，用于判断事件的能量是否超出了 EBOUNDS 定义的所有能量范围（0：能量低于最低通道；1：正常事件；2：能量高于最高通道）。
 - 用途：提供光子事件的时间和能量通道信息，适合能谱和光变曲线分析。
- 头信息 (Header)：
 - 包含元数据：DATE (文件创建时间)、FILE_VER (版本，如 PRELIMINARY)、MISSION (GRID)、CUBESAT (GRID-11B)、DATE_OBS (观测开始时间)、DATE-END (观测结束时间)、DATE_REF (参考时间2018-01-01 T 00:00:00)。

- 包含 EBOUNDS (静态的能量边界，适用于特征量模式)、GTI (根据观测计划拟定的有效观测时间区间) 和 EVENTS{channel} (4个通道的事例数据)。
- 缺乏高通量模式数据。

新的FITS文件结构

为满足上述需求，应该修改最终FITS文件 (`SAT-A_evt_YYYYMMDD.fits`) 的结构，包含以下扩展HDU：

主HDU (PRIMARY)

- 内容：空。

扩展HDU 1：模式切换时间表 (MODES)

- 替换原GTI扩展：
- 新扩展 MODES 记录特征量模式 (EVENTS) 和高通量模式 (SPECTRA) 的切换时间段，描述探测器在每个时间段的工作模式。
- 列：
 - START (浮点数，单位：秒)：时间段开始时间（相对于2018-01-01T00:00:00）。
 - STOP (浮点数，单位：秒)：时间段结束时间。

- MODE (字符串): 工作模式 (EVENTS 表示特征量模式, SPECTRA 表示高通量模式)。

扩展HDU 2: EBOUNDS (特征量模式的能量边界)

- 内容: 与当前一致, 定义特征量模式的静态能量通道边界。
- 列:
 - Channel (整数): 能量通道编号 (1到N)。
 - E_MIN (浮点数, 单位: keV): 通道能量下限。
 - E_MAX (浮点数, 单位: keV): 通道能量上限。

扩展HDU 3: EVENTS{channel} (特征量模式的事例数据)

- 内容: 与当前一致, 按通道存储特征量模式的事件数据。
- 列:
 - TIME (浮点数, 单位: 秒): 事件时间 (相对于2018-01-01 T 00:00:00)。
 - PI (整数): 能量通道编号 (基于 EBOUNDS)。
 - DEAD_TIME (字节, 单位: 微秒): 死时间 (固定为4微秒)。
 - EVT_TYPE (字节): 事件类型 (0: 低于最低通道; 1: 正常事件; 2: 高于最高通道)。

扩展HDU 4: SPECTRA{channel} (高通量模式能谱数据)

- 内容: 新增扩展, 存储高通量模式的能谱数据和每秒的动态能量边界。
- 列:
 - TIME (浮点数, 单位: 秒): 能谱数据的采样时间 (每秒一个时间点, 相对于2018-01-01T00:00:00)。
 - SHORT_SPECTRA (20×8数组, 整数): 短周期能谱 (20个时间bin × 8个能量通道)。
 - LONG_SPECTRA (82元素数组, 整数): 长周期能谱 (82个能量通道)。
 - LONG_EBOUNDS_MIN (82元素数组, 浮点数, 单位: keV): 长周期能谱的每秒动态能量下限 (对应 LONG_SPECTRA 的82个通道)。
 - LONG_EBOUNDS_MAX (82元素数组, 浮点数, 单位: keV): 长周期能谱的每秒动态能量上限 (对应 LONG_SPECTRA 的82个通道)。
 - SHORT_EBOUNDS_MIN (8元素数组, 浮点数, 单位: keV): 短周期能谱的每秒动态能量下限 (对应 SHORT_SPECTRA 的8个通道)。
 - SHORT_EBOUNDS_MAX (8元素数组, 浮点数, 单位: keV): 短周期能谱的每秒动态能量上限 (对应 SHORT_SPECTRA 的8个通道)。
- 说明:
 - 动态 EBOUNDS_MIN 和 EBOUNDS_MAX 支持每秒变化的能量校正, 反映温度和偏压的影响。
- 头信息 (Header):
 - 包含元数据: DATE (文件创建时间)、FILE_VER (版本, 如 PRELIMINARY)、MISSION (GRID)、CUBESAT (GRID-11B)、DATE_OBS (观测开始时

间)、 DATE_END (观测结束时间)、 DATE_REF (参考时间2018-01-01 T 00:00:00)。

时间覆盖

- **EVENTS{channel}和SPECTRA{channel}的 TIME 字段与MODES**扩展的 START 和 STOP 对应，确保整个文件的观测时间（从文件开始到结束）被完全覆盖。
- 例如， MODES 扩展可能包含：

```
START: 1734567890.0, STOP: 1734567990.0, MODE: EVENTS  
START: 1734567990.0, STOP: 1734568090.0, MODE: SPECTRA
```

- **EVENTS**数据覆盖 MODE=EVENTS 的时间段。
- **SPECTRA**数据覆盖 MODE=SPECTRA 的时间段。
- 两者拼接后形成连续时间序列，无空缺。