

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2016.z1.05

# SED Machine 整合场光谱仪的数据处理

林省文<sup>1</sup>, RITTER Andreas<sup>2</sup>, 叶永烜<sup>1</sup>

(1. 台湾“中央大学”天文研究所, 桃园 32001; 2. 普林斯顿大学 佩顿厅 天体物理科学系, 普林斯顿 08544)

**摘要:** SED Machine 是一部低分辨率整合场光谱仪, 装置于帕罗马山天文台的 1.5 米望远镜上, 能够同时取得视野  $30'' \times 30''$  天区内的影像与光谱, 用来进行快速的天体分类。SED Machine 包含两个套件: (1) 彩虹相机, 一组四色相机, 用来定位观测天体与流量校正。(2) 整合场光谱仪 (IFU), 解析度约 100 的整合场单元光谱仪。介绍了 IFU 的数据处理步骤, 包含散射光去除、谱线定位与抽谱、波长校正、焦平面影像重组与天光背景去除以及流量校正。最后展示了部分 SED Machine 初期测试数据的处理结果。

**关键词:** 整合场单元光谱仪; 光谱; 流量

**中图分类号:** P111.3 **文献标识码:** A

## 1 SED Machine 简介

当巡天计划发现大量的新天体之后, 对这些天体进行分类是一个重要但不易的后续工作。大部分新发现的天体, 如超新星、小行星等, 因为没有后续的分类或追踪而失去其科学价值。为了改善巡天计划无法快速分类天体的问题, 加州理工学院设计了新时代的天体分类仪器——Spectral Energy Distribution (SED) Machine<sup>[1, 5, 6]</sup>。SED Machine 是一个低色散度 (100) 的整合场光谱仪, 并搭配一组称为彩虹相机的四色相机。它能够以数分至数十分钟左右的曝光时间取得一个到数个天体的光谱, 分类天体的时间花费比传统的亮度颜色分类更少, 而且更为精确。这种高效率的光谱仪适合搭配中小口径的望远镜以进行巡天计划的后续观测, 可弥补大型望远镜与传统光谱仪观测时间取得不易的问题。

SED Machine 与传统光谱仪不同之处在于使用整合场单元 (Integral Field Unit, 简称为 IFU) 而不是一般的狭缝分光。IFU 主要由三组菱镜与一小透镜数组 (lenslet array) 构成, 兼具成像与分光的功能。我们能够由 IFU 产生的 2D 光谱重新组合回原先观测到的影像, 再由

---

资助项目: MOST 104-2119-M-008-024; 西部之光项目 (2015-XBQN-A-02, XBBS201221); 台湾青年访问学者项目 (2015TW2JA0001, 2015TW2JB0001)

通讯作者: 林省文, edlin@gm.astro.ncu.edu.tw

这个影像来判断观测天体的位置并取出其光谱。比起传统光谱仪, IFU 不用狭缝, 不需要事先对准狭缝的位置而节省观测准备的时间, 且由于 IFU 能够成像, 可以有效利用所有来自于观测天体的光子而缩短曝光时间。

## 2 IFU 数据处理

我们利用 C 与 C++ 语言开发, 用 STELLA<sup>[8, 9]</sup> 的自动光谱处理软件为基础, 进行自动化的 IFU 数据处理。包含散射光的去除、自动二维谱线定位、波长校正、焦平面影像重组、流量校正等, 其处理流程如图 1 所示。以下对于各个步骤一一简介。

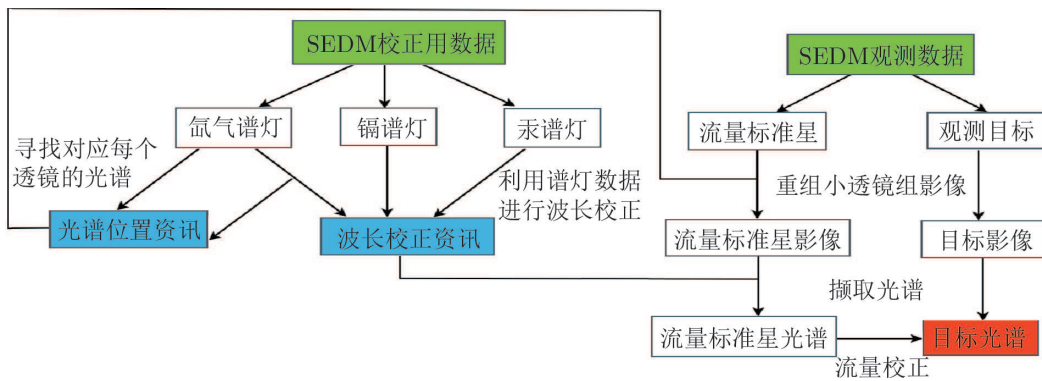


图 1 SED Machine IFU 的数据处理流程

### 2.1 散射光去除

一些光学系统造成的散射光造成二维光谱抽取的困难 (如图 2 a) 所示), 因此在抽谱前必须将其去除。我们有两种方法可以拟合背景中的散射光: 一种是高斯过程 (Gaussian Process, 也称为 Kriging), 另一种是 TPS (Thin Plate Spline)。利用高斯过程计算散射光背景须花费较多的时间, 利用 TPS 处理的时间只占其 1/10。除后的光谱见图 2 c)。由图 2 可知, 去除散射光后谱线的分离更明确。

### 2.2 二维谱线定位与抽谱

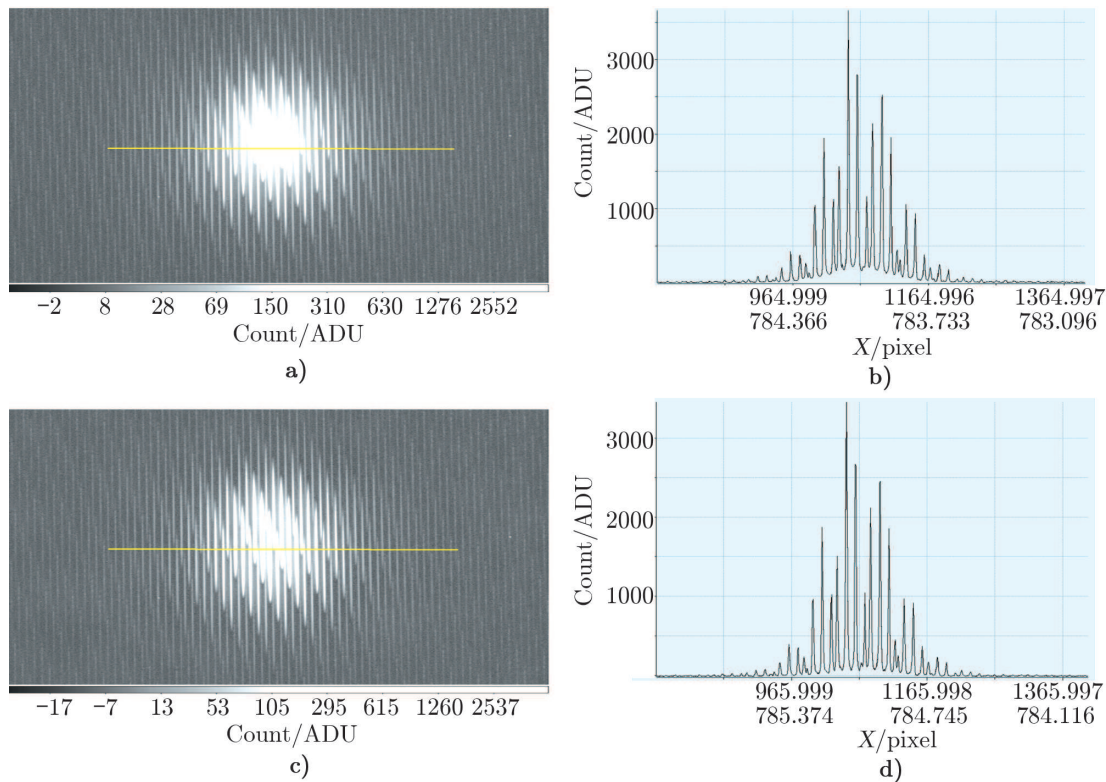
我们利用氙气谱灯的影像定位每条二维光谱的位置, 以用来抽谱。氙气谱灯的特色是有很强的连续谱, 能够照亮谱线红端至蓝端所在的位置。每条被标定的谱线都对应到在焦平面上的其中一个小透镜 (lenslet), 我们给每一条定位的谱线设一个编号, 以用来重组焦平面上的影像。根据谱线定位, 我们利用逐列抽取光谱, 相加之后将二维光谱转成一维光谱。

### 2.3 波长校正

我们利用氙气谱灯、氩灯或镉灯以及汞灯作为红、绿和及蓝端的谱线标准灯。这三个谱灯大约有 13 条谱线, 涵盖 9 000 Å 至 4 000 Å。波长校正在没有使用镉灯的状况下, 误差的均方根大约在 10 Å 以下; 加上镉灯, 能使均方根降至数 Å。

### 2.4 焦平面影像重组与天光背景的去

藉由二维谱线定位的结果, 我们能够将二维光谱重组为在分光前的焦平面, 也就是小透



注：可以发现，去除散射光之后(图 d) 比之前(图 b)) 谱线间的分离更明确。

图 2 a) 和 c) 表示 IFU 二维光谱; b) 和 d) 表示二维光谱的横切面

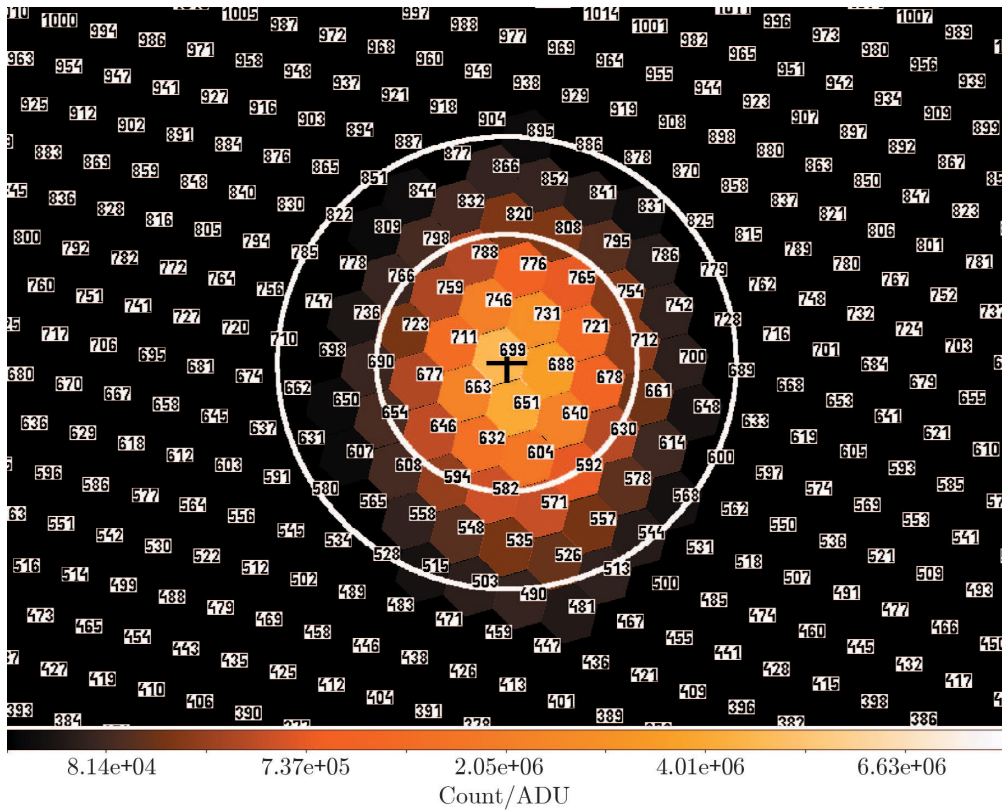
镜阵列所在位置看到的影像，如图 3 所示。由这个影像，我们用类似孔径测光的方法，圈选属于目标的孔径以及属于天光背景的区域，抽取、迭加并减去天光区域小透镜对应到的光谱。对于一些较暗的天体，由于目标亮度与天光背景差不多，我们不容易由重组的影像上分辨出目标的位置。在这种状况下，我们会对天体做两次曝光，将两笔资料对减扣除天光背景，便能显现出目标的位置。选取出目标与天光背景之后，利用抽谱的方法<sup>[7]</sup>取代一般简单的直接相加，并自动去除宇宙射线的干扰以及优化天光背景的去。对于不同小透镜的光谱间的互相干扰，我们利用拟合多个高斯函数的方式将他们区分开来。

## 2.5 流量校正

目前我们利用观测目标与流量标准星时的大气质量，配合帕罗马山天文台的大气消光曲线来校正目标流量。未来将利用 SED Machine 本身的彩虹相机测量的实时波长与大气消光关系来校正目标流量。

## 3 IFU 数据处理结果

我们使用 SED Machine 观测了 Be 星(见图 4) 以及一些小行星的反射光谱(见图 5)，结



注: 图中数字表示的是小透镜阵列中每个透镜的序号。

图 3 IFU 分光前, 于小透镜阵列所在位置时的影像

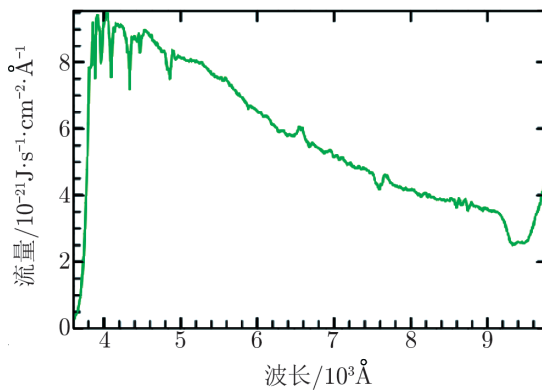


图 4 星团 NGC 6330 中发现的 Be 星光谱<sup>[10]</sup>

果显示, 我们的软件与步骤已成功分析 IFU 的资料。图中的 Be 星可明显分辨出  $H\alpha$  的发射线处于大约  $6500 \text{ \AA}$  的位置, 其他巴尔末系列 (Balmer series) 的吸收线也清晰可见。小行星的反射光谱除了拍摄小行星之外, 还必须拍摄一个太阳同类型的恒星光谱, 将两者相除得到反射光谱。我们将 SED Machine 取得的小行星光谱与 SMASSII 小行星光谱分类数据库<sup>[2-4]</sup> 比较并进行分类, 结果如图 5 所示。可以看到, SED Machine 除了能区分出几个主要光谱类型的小行星之外, 也能轻易区别其中的亚型, 例如 C、Ch 与 Cg, 因此 SED Machine 非常适合用来进行小行星的分类。

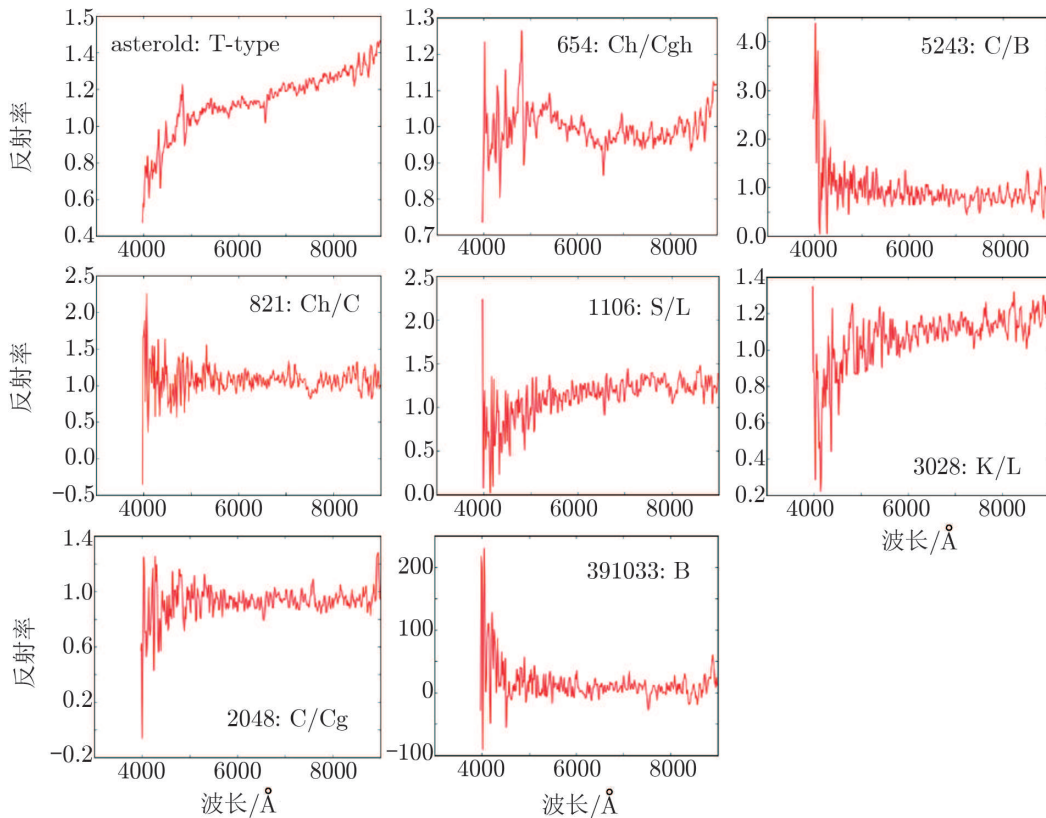


图 5 一些小行星的光谱与它们的分类

## 4 总 结

SED Machine 能够取得不同天体的低分辨率光谱并进行分类。而我们开发的处理程序已能顺利处理其 IFU 的光谱, 并得到合理的波长校正与流量校正。此外, 我们也利用 SED Machine 的测试资料成功分辨出 Be 星与不同类型的小行星。未来我们将利用 SED Machine 进行更多的天体分类与相关研究。

## 参考文献:

- [1] Ben-Ami S, Konidaris N, Quimby R, et al. Proc. SPIE, 2012, 8446: 316
- [2] Bus S J, Binzel R P. Icarus, 2002, 158: 106
- [3] Bus S J, Binzel R P. Icarus, 2002, 158: 146
- [4] Bus S J. PhD Thesis, US: massachusetts institute of technology, 1999: 311
- [5] Ngeow C C, Konidaris N, Quimby R, et al. IAUS, 2013, 290: 281
- [6] Ritter A, Ngeow C C, Konidaris N. COSKA, 2014, 43: 209
- [7] Ritter A, Hyde E A, Parker Q A. PASP, 2014, 126: 170
- [8] Ritter A, Washuettl A. Astronomische Nachrichten, 2004, 325: 663
- [9] Strassmeier K G, Granzer T, Weber M, et al. Astronomische Nachrichten, 2004, 325: 527
- [10] Yu P C, Lin C C, Lin H W, et al. AJ, 2016, 151: 121

## SED Machine IFU Data Reduction

LIN Hsing-Wen<sup>1</sup>, RITTER Andreas<sup>2</sup>, IP Wing-Huen<sup>1</sup>

(1. *Institute of Astronomy, "Central University", Taoyuan 32001; 2. Department of Astrophysical Sciences, Peyton Hall, Princeton University, Princeton 08544*)

**Abstract:** The SED Machine is a low resolution lenslet-based Integral Field Spectrograph. It was designed for the rapid classification of astrophysical objects and is able to obtain spectra within a  $30'' \times 30''$  field. The SED Machine consists of two instruments: 1) Rainbow Camera: a four-color camera for target identification and on-the-fly flux calibration. 2) IFU, an integral field spectrograph with resolution 100. In this article, we introduce the data-reduction process of the IFU, which includes scattered-light subtraction, automatic identification of the object spectra, wavelength calibration, reconstruction of the lenslet image, and flux calibration. Finally we present some reduction results of the IFU test data

**Key words:** Integral Field Spectrograph; spectral; flux