

星团

李依含 2200011656

December 2024

目录

1 图像平场暗场处理	1
2 图像对齐叠加	2
3 流量定标	2
3.1 流量定标	2
3.1.1 PSF Photometry	2
3.1.2 Aperture Photometry	2
4 极限星等	5
5 视星等	6
6 确认星团内成员并绘制赫罗图	6
7 几种测光方法的评价	8
8 误差	9
9 感想和收获	9

1 图像平场暗场处理

直接用了 combine 好的定标文件，减暗场除以平场。

2 图像对齐叠加

这里我最开始使用的是 astropy 包的 reproject 函数，但是它由于插值的问题会引入一些坏点，所以在助教学长的推荐下，我改用了 drizzle，解决了这个问题。

3 流量定标

上课时王菁老师使用的是 SDSS 数据，可以根据不同半径的圆环内部的通量密度得到图像 ADU 和流量的对应关系。但这里用到的参考星表是 APASS，不是这样的格式，所以我用了 photutils 的 PSF Photometry 和 Aperture Photometry 分别进行流量定标。

3.1 流量定标

3.1.1 PSF Photometry

这里先估计并减了背景：将星团 mask 掉之后使用 ModeEstimatorBackground 估计了一个 2D 的背景。

1. Gauss PSF：使用的是 photutils 已有的 CircularGaussianPRF 模型来拟合图像中的点源，从而获取每个点源的 ADU。这里通过 epsf 得到的半高全宽，对每个波段都调整了高斯模型的 fitshape 和半高全宽。
2. EPSF：使用了 photutils 的 epsf，选图像中独立且清晰的点拟合一个 psf 模型。再将这个模型应用到探测到的点源上，测量每个点源的 ADU。并获取了模型的半高全宽，应用于之后的孔径测光。(EPSF 得到的半高全宽分别为 V: 7, B: 13, Sloan i: 10)

3.1.2 Aperture Photometry

孔径测光使用了上边 epsf 测光的点源坐标和拟合出来的半高全宽，分别用 1.5 倍、2 倍和 2.5 倍 FWHM 半径的圈，统计点源的 ADU，并用最外边的环估计了背景值，这样相当于对每个点源都再减去了其本地的背景值，应当可以避免一些污染的问题。

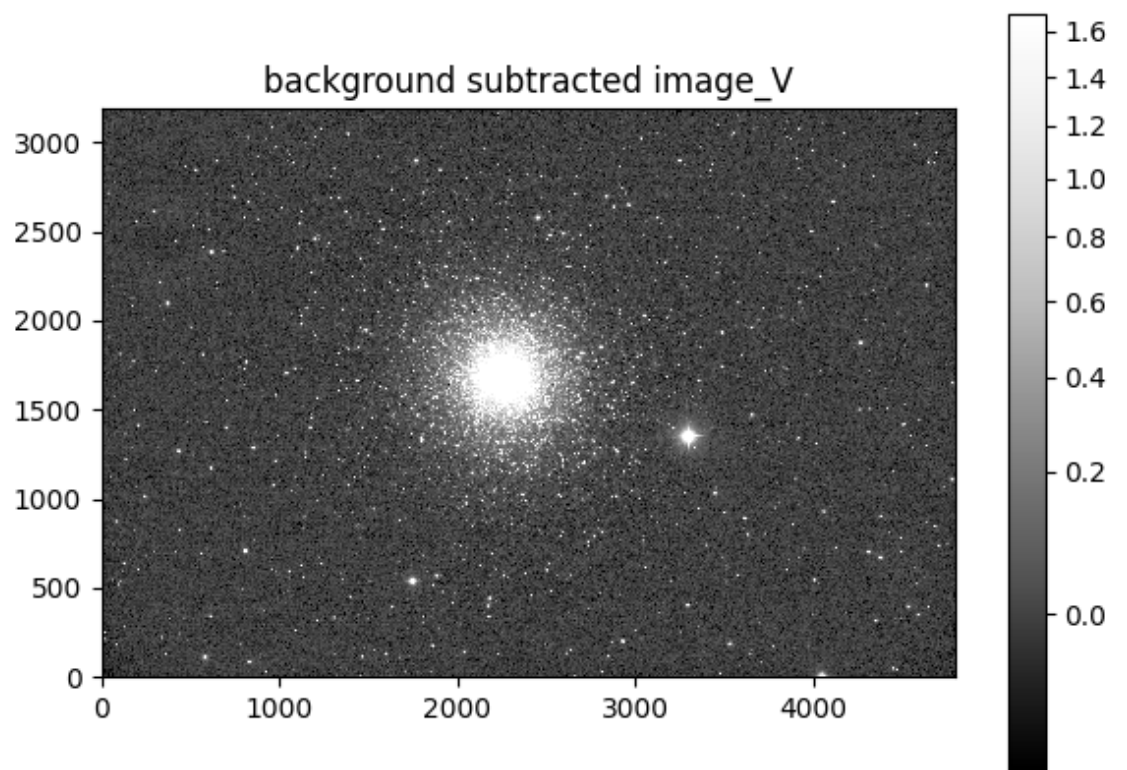


图 1: 减背景后的 V 波段图像

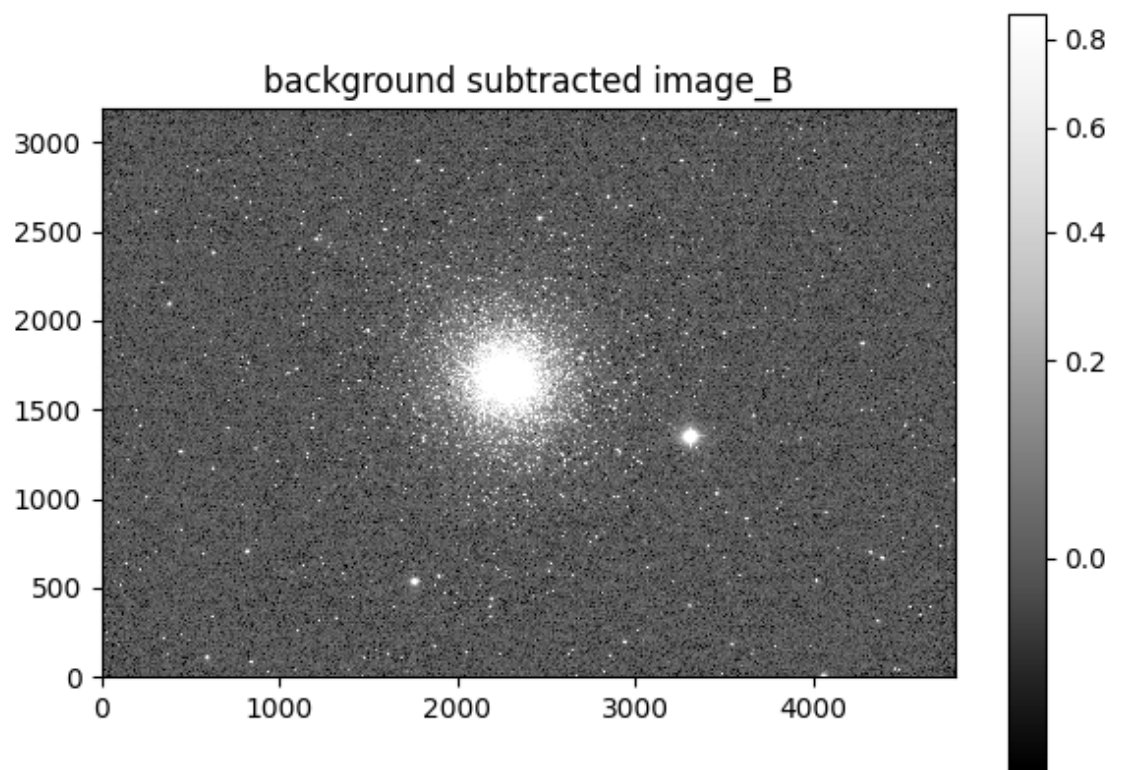


图 2: 减背景后的 B 波段图像

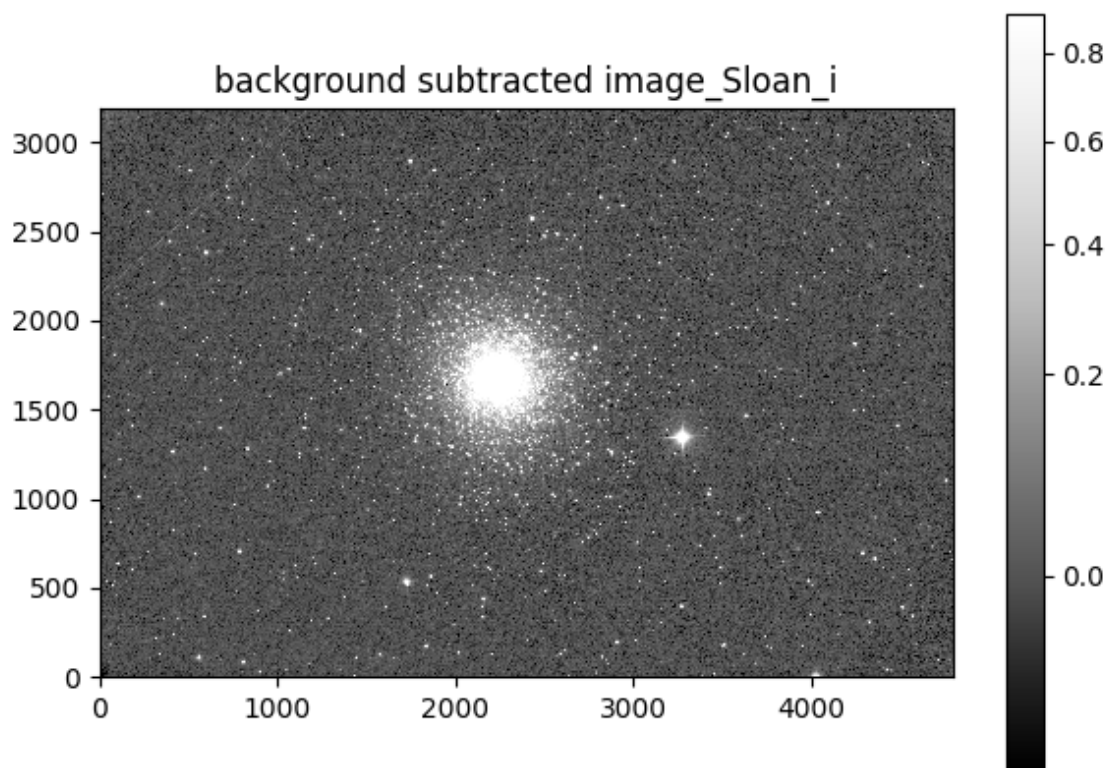


图 3: 减背景后的 Sloan i 波段图像

4 极限星等

这里选测到的点源里最暗的星的星等作为极限星等。

- V 23.8
- B 24.3
- Sloan i: 22.7

5 视星等

这里把测到的星团里的星的星等作了平均得到。

- **V** 6.88
- **B** 7.07
- **Sloan i** 5.95

这里出现了和星系相似的情况，Sloan i/r 测得的星等都比另外两个波段亮。我求了 APASS 星表中的 $mag_V - mag_{Sloan_i}$ ，结果是 0.6，这可能是因为大部分恒星的温度都较低，还有可能由于受到了星际消光和星际红化的影响。

6 确认星团内成员并绘制赫罗图

我从 gaiadr3，通过限制赤经赤纬、视差和自行得到了大致的星团成员星表，和我之前找到的图中的点源交叉匹配，就得到了有视差数据的表。将交叉匹配到的星的赤经赤纬和视差输入 dustmaps（一个获取 3d 消光地图的 python 包），可以得到每颗星的色余。再利用线性回归得到的 B 和 V 波段的 mag0 将每个点源的 ADU 转化为视星等，减去色余就得到了星际消光改正的 B-V 值。

最后我从这个网址下载了一份 M15 的测光数据，和我得到的赫罗图叠加画在了一起作为参考。

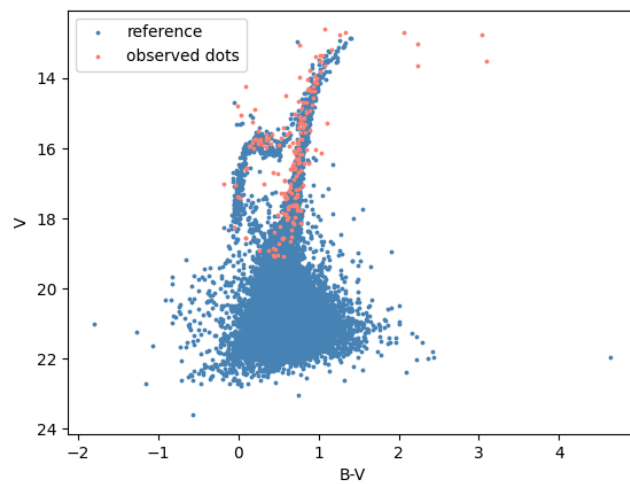


图 4: Gauss PSF 得到的赫罗图

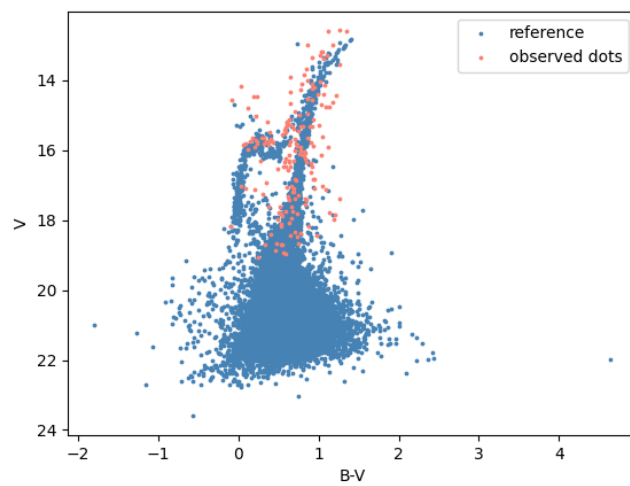


图 5: EPSF 得到的赫罗图

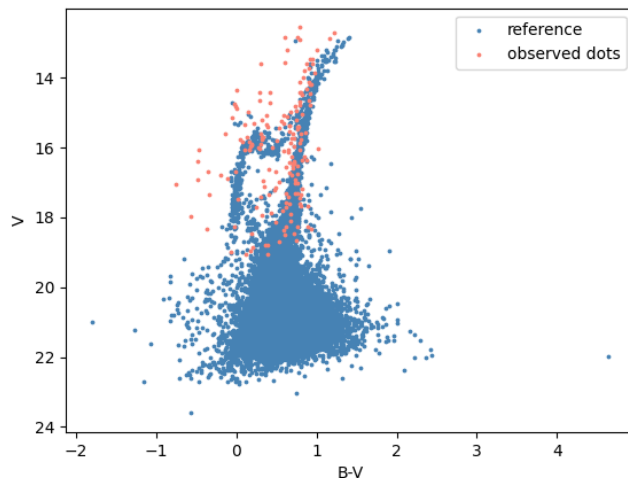


图 6: Aperture photometry 得到的赫罗图

7 几种测光方法的评价

根据画出来的赫罗图，（如果认为文章里的数据是正确的）Gaussian 模型测光的结果看起来大致符合数据，有一些离群值，结合之前线性回归时的图像，这些点的出现可能是因为高斯模型的半高全宽不够大，导致有些点源的 ADU 没有被完全统计进来。

EPSF 模型的结果看起来在横轴上散开了，而点在纵轴上的分布几乎没有变化，这样可能是 V 波段的星等测量结果没有什么问题，但是 B 波段的星等出现了一些偏差。模型估计出的半高全宽也是 B 波段最大，所以我猜测可能是 B 波段的图像星点相对更加弥散，导致模型没有很好地反映出星点的流量的分布情况，于是测光结果误差相对更大。

Aperture 测光的结果大致看起来还可以，在靠上部分的地方看起来和数据偏差比较大，这可能是由于更亮的星的扩展的面积更大，导致 aperture 没有完全统计星的全部流量。这里 Aperture 测光还有一点问题，因为星团附近星点分布太过密集，所以可能临近星点的污染比较严重，有可能多个星同时落在了最小的那个圈里。算背景的时候也可能会因为环里充满了一些比较暗弱的星，导致背景估计值过高。

没想到最终赫罗图看起来竟然是 Gauss PSF 测光的结果最好。但是

EPSF 结果看起来更稳健，几乎所有的星的流量都大致测对了，极端偏离的 outlier 更少。孔径测光应当在星点分布更稀疏的情况下更准确，在这里，它考虑局域背景的特点反而会导致误差增大。

8 误差

1. 总误差: $\sigma_{\text{target}} = \sqrt{\sigma_{ZP,\text{total}}^2 + \sigma_{\text{photometry}}^2}$ ，其中前一部分是线性回归时的误差以及参考星表的星的误差，后一部分是图像的测光误差。这里以 V 波段为例进行分析，寻找主要的误差来源。
2. 测光噪声 $\sigma_{\text{total}} = \sqrt{\sigma_{\text{photon},\text{total}}^2 + \sigma_{\text{bg}}^2 + \sigma_{\text{readout},\text{total}}^2}$
 - (a) 读出噪声: $\sigma_{\text{read},\text{total}} = \frac{\sigma_{\text{read}}}{\sqrt{N}}$ ，取 $\sigma_{\text{read}} = 3.7$, $N = 10$ ，则 $\sigma_{\text{read},\text{total}} = \frac{3.7}{\sqrt{10}} \approx 1.17 \text{ e}^- = 1.17 \text{ ADU}$
 - (b) 背景噪声: 认为 $\sigma_{\text{bg}} = \sigma_{\text{bkg rms}}$ ，其中 $\sigma_{\text{bkg rms}}$ 是由 photutils 的 Background2D 给出的背景噪声估计值。V 波段为 $\sigma_{\text{bg}} = 3.89$
 - (c) 光子噪声: gain 为 1，因此光子噪声应当为 $\sigma_{\text{photon},\text{total}} = \sqrt{\text{Signal}}$ 。V 波段为 $\sigma_{\text{photon},\text{total}} = 1.50$
3. 线性回归+星表误差: $\sigma_{\text{final}} = \sqrt{\sigma_{\text{regression}}^2 + \sum \left(\frac{\sigma_{\text{mag},i}^2}{N} \right)}$ ，前一项为线性回归的误差，后一项是星表给出的每颗星的星等误差
 - (a) 线性回归误差: 线性回归的函数可以直接给出误差。V 波段为 0.8 mag
 - (b) 星表误差: APASS 数据已经给出了各波段星等的误差。V 波段平均值大概 0.07 mag
4. 将测光噪声转换为星等 $\sigma_{\text{pho},\text{mag}} = \frac{2.5}{\ln(10)} \cdot \frac{\sigma_{\text{ADU}}}{\text{ADU}} = 0.29 \text{ mag}$ ，因此线性回归的误差应当为主要误差。

9 感想和收获

首先太感谢助教金秉诚学长了，他不厌其烦地指导我评价结果的好坏，并逐步优化。没有他的帮助我这份作业根本无从下手。虽然最后结果还是有很多可以完善的地方。

这门课的任务量远超我的想象，收获自然也是成正比得大。直面生图和生数据令人胆寒，但是最终画出来的赫罗图又是振奋人心的。这门课用最原始最有力的方式告诉我，除了神秘、美丽、欢欣和宏大，观测或许更多的时候是细微、繁琐甚至折磨的，我又生出对天文工作者的敬佩之情，并对前路有了更真实的认知。