

一种基于交叉相关的类星体的红移测量方法

刘蓉¹, 段福庆^{2*}, 罗阿理³

1. 西安电子科技大学数学系, 陕西 西安 710071
2. 中国科学院自动化所模式识别国家重点实验室, 北京 100080
3. 中国科学院国家天文台, 北京 100012

摘要 给出了一种新的类星体光谱的红移测量方法。首先, 利用提取出的发射谱线信息确定一组红移候选; 然后, 按这些红移候选将静止模板光谱红移, 计算所得光谱与目标光谱的相关值; 最后, 确定最大相关值对应的红移候选为目标光谱的红移。相对于已有的基于谱线匹配的方法, 此方法的性能受谱线提取效果的影响较小。实验结果表明: 此方法的鲁棒性较好, 性能优于基于谱线匹配的方法。

主题词 类星体; 交叉相关; 光谱分析; 红移

中图分类号: TN911.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0593(2005)07-1155-03

引言

我国在建的一台大天区面积多目标光纤光谱望远镜(简称LAMOST), 每个观测夜可以得到2万~4万条天体光谱。面对如此巨大的海量数据, 采用自动的光谱分析方法已成为必然的选择。类星体是迄今为止观测到的最明亮、最遥远的天体, 是宇宙诞生早期的产物, 具有重要的研究价值。红移是类星体最重要的物理参量。所谓红移现象, 是指由于天体的高退行速度, 使得观测到的谱线的波长比其静止波长长。设谱线的静止波长为 λ' , 观测波长为 λ , z 是红移值, 则

$$\lambda = (1 + z)\lambda' \quad (1)$$

红移测量是类星体光谱分析的重要任务。

类星体的观测光谱有如下特点: 光谱的信噪比低, 红移大, 在可观测区间内谱线稀少, 另外, 由于类星体是遥远的天体, 它们辐射的光要穿越很长的距离才能到达地球, 空间介质的吸收和其他影响造成了发射线形状的剧烈改变。这些特点使得类星体红移的自动测量非常困难。目前研究有关类星体的红移测量方法的文献很少, 基本上都是基于谱线匹配的方法, 如Hough变换法^[1]、密度估计法^[2]。这些方法的核心思想是: 寻找谱线提取结果中与静止模板中的谱线按某个红移候选耦合最多的那些谱线, 则相应的红移候选为目标光谱的红移值。这类方法严重地依赖谱线提取的效果。然而, 由于类星体光谱的上述特点, 谱线提取的效果往往很差, 这就很难得到正确的结果。为了降低红移测量中谱线提取的影响, 本文给出了一种新的交叉相关方法。首先利用谱线提取

的结果确定红移候选; 然后按红移候选将静止模板光谱红移, 求生成的光谱与目标光谱的相关值, 最大相关值对应的红移候选即为目标光谱的红移。这种方法很大程度地提高了红移测量的正确率。

1 方法

1.1 光谱的预处理

天体光谱中一般都会存在较强的大气吸收线或发射线。在作交叉相关时, 这些天光线会与模板中的一些强谱线产生较大的相关值, 因而会对红移测量产生很大的负面影响。本文在目标光谱上可能存在天光线的固定波长(如557, 630 nm等)左右6 nm的范围内进行中值滤波。

由于连续谱的存在, 谱线的真实强度不能准确地反映出来, 因此必须要去除连续谱。本文采用带宽为60 nm的中值滤波器对目标光谱进行中值滤波来拟合连续谱。本文用目标光谱除以连续谱。

天体光谱中的噪声可近似为随机白噪声^[3], 适合用小波软阈值法^[4]处理。小波阈值法的基本思想是: 按照一定的预设阈值压缩信号的小波系数, 然后用被压缩后的系数重构信号以达到去噪的目的。采用小波软阈值法对光谱进行去噪可参见文献^[3]。

1.2 提取发射线信息

我们把预处理后的光谱称之为谱线光谱。由于本文的红移测量方法对谱线提取的依赖程度相对较小, 因此可以采用已有的几种阈值处理方法^[5, 6]进行发射谱线的提取。但是,

收稿日期: 2005-03-16, 修订日期: 2005-07-10

基金项目: 国家“863”计划(2003AA133060)和国家重大科学工程LAMOST计划资助项目

作者简介: 刘蓉, 女, 1972年生, 西安电子科技大学博士研究生 * 通讯联系人

采用传统的整体阈值处理往往会提取出许多伪谱线,而伪谱线过多势必会增加红移测量的计算量,并且也会影响到红移测量的准确度。通过对类星体的模板和大量观测光谱的分析我们得出:类星体的观测光谱中谱线少且分布稀疏,因此本文采取我们在文献[6]中提出的局部阈值处理来提取发射谱线信息。

1.3 红移确定

利用提取出的发射谱线信息,我们首先定义目标光谱的红移候选。假设 $L = \{\lambda_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ 为从目标光谱中提取出的发射谱线的特征波长集合, $L' = \{\lambda'_i, i = 1, 2, \dots, M\}$ 为类星体模板中发射谱线的特征波长集合。令 $z = \frac{\lambda}{\lambda'} - 1$, 其中 $\lambda \in L, \lambda' \in L'$ 。

定义 1: 如果 $z \geq 0$, 则称 z 为目标光谱的红移候选。

本文确定红移的过程为

Step1: 对静止模板光谱进行连续谱去除。

Step2: 确定目标光谱的红移候选集 $Z = \{z_i, i = 1, 2, \dots\}$ 。

Step3: 对每一个红移候选 $z_k \in Z$, 根据式(1)将去除连续谱后的静止模板光谱红移, 计算所得到光谱与经过预处理的目标光谱的相关值。

Step4: 最大相关值对应的红移候选即为目标光谱的红移。

在第 3 步中求两条光谱的相关时, 首先将两条光谱归一化为单位向量, 然后将两个单位向量的内积作为两条光谱的相关值。

2 实验

本文采用的类星体的静止模板光谱为 Vanden Berk 等^[7]在 2001 年利用 2 000 多条类星体的观测光谱合成的 1 个光谱如图 1 所示。第 1 组实验数据为模拟生成的类星体光谱。在红移区间 $z \leq 2$ 内按步长 0.01 产生 201 个红移值, 按这些红移值将静止模板光谱红移生成 201 个光谱, 截取波段为 380~742 nm 的部分。第 2 组数据是取自 SDSS 的 3 056 条观测光谱。所有光谱的分辨率为 0.5 nm。

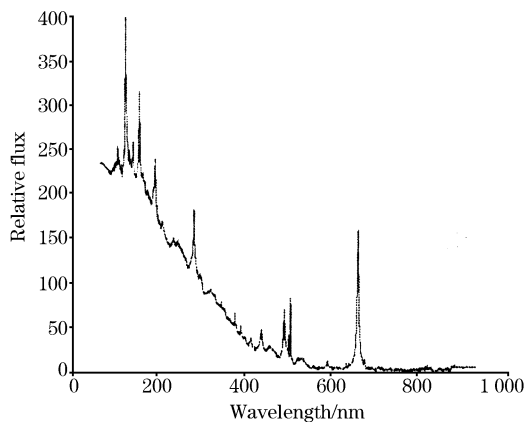


Fig. 1 The quasar template

2.1 模拟实验

我们对第 1 组模拟光谱加不同均方差的高斯白噪声, 并利用本文方法确定红移值。在每个信噪比下进行了 100 次实验, 对实验结果取平均, 得到正确率随信噪比的变化如图 2 所示。从图中可明显看出: 正确率随着信噪比的增加越来越高, 这说明本文方法具有很好的稳定性; 另外, 当信噪比为 8 时, 正确率达到 93% 以上, 这说明本文方法具有很好的鲁棒性。

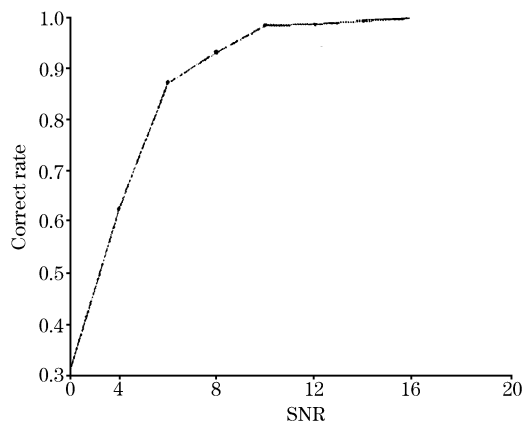
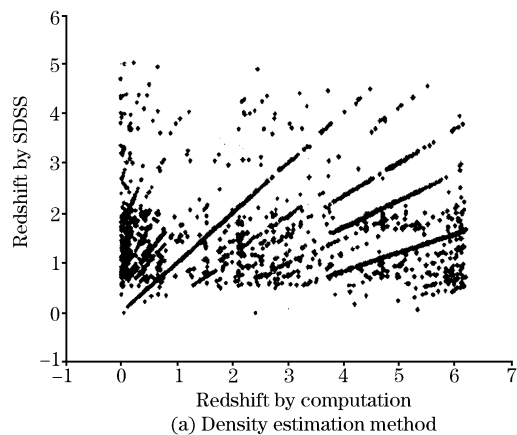


Fig. 2 Correct rate vs SNR



(a) Density estimation method

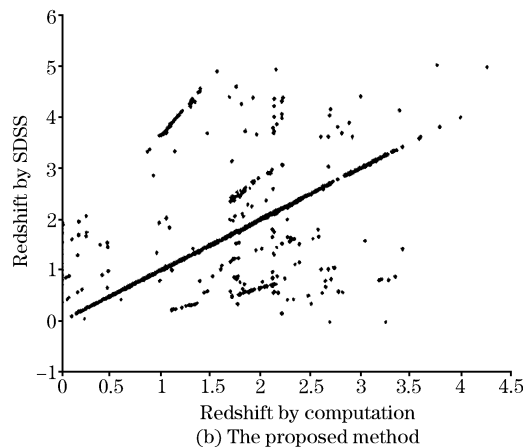


Fig. 3 Redshift result

2.2 实测光谱实验

对第2组数据,我们分别采用本文方法和密度估计方法计算红移。计算结果如图3所示,图3(a)为密度估计方法得到的结果,图3(b)为本文方法得到的结果,其中,横轴表示通过计算得到的结果,纵轴表示SDSS提供的结果。可以看出,本文方法的正确率较密度估计方法有较大的提高。这是因为基于谱线匹配的方法都是基于一个假设:在谱线提取的结果中,只有谱线才会与静止模板中对应的同一种谱线存在红移耦合关系式(1),也就是说,在红移候选集中,红移值附近的点一般来说是最密集的。可以说:基于谱线匹配方法的性能是谱线提取方法性能的直接体现。而类星体光谱本身具有的高红移和高噪声等特点使得谱线的提取非常困难,谱线提取的结果中一般都会存在许多伪谱线,因而已有的几种基于谱线匹配的方法不适用于类星体光谱的红移测量。而本文方

法的性能受谱线提取效果的影响较小。原理上来说,只要在谱线提取的结果中存在谱线,本文方法都应该能得到正确的结果。但是,本文方法与模板有很大关系,当实际观测光谱与模板有很大差异时,本文方法就很难得到正确的结果。

3 结论

本文给出了一种新的类星体光谱的红移测量方法。该方法首先进行发射谱线提取;然后利用提取出的发射谱线信息确定红移候选;最后根据红移候选进行交叉相关确定红移。相对于基于谱线匹配的方法来说,该方法的性能受谱线提取效果的影响较小。实验结果表明:本文方法的性能优于基于谱线匹配的方法。本文方法所得结果的置信度可以通过后续的谱线证认来确定,这也是我们进一步的工作内容。

参 考 文 献

- [1] HUANG Ling-yun, HU Zhan-yi(黄凌云,胡占义). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2003, 23(1): 187.
- [2] DUAN Fu-qing, WU Fu-chao, LUO A-li, et al(段福庆,吴福朝,罗阿理,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), accepted.
- [3] QIN Dong-mei(覃冬梅). Doctoral Dissertation. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, 2003.
- [4] Donoho D. L. IEEE Trans. on IT, 1995, 41(3): 613.
- [5] ZHAO Rui-zhen, HU Zhan-yi, ZHAO Yong-heng(赵瑞珍,胡占义,赵永恒). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2005, 25(1): 153.
- [6] DUAN Fu-qing, WU Fu-chao, LUO A-li, et al(段福庆,吴福朝,罗阿理,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), accepted.
- [7] Vanden Berk D E, Richards G T, et al. Astrophysical Journal, 2001, 122(8): 549.

A Method for Redshift Determination of Quasars Based on Cross Correlation

LIU Rong¹, DUAN Fu-qing^{2*}, LUO A-li³

1. Department of Mathematics, Xidian University, Xi'an 710071, China

2. National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

3. National Observatory of Beijing, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China

Abstract This paper presents a novel method for redshift determination of quasars. Firstly, a group of redshifts were determined using the emission line info extracted from the observed spectrum; Secondly, the template was redshifted according to the candidates, and the correlation between the observed spectrum and the redshifted template was measured. Finally, the redshift candidate corresponding to the highest correlation was chosen as the redshift. Compared with the existing methods based on spectral line matching, the proposed method has a lower dependence on the quality of spectral line extraction. Experiments show that this method is robust and superior to the methods based on spectral line matching.

Keywords Quasar; Cross-correlation; Spectral analysis; Redshift

(Received Mar. 16, 2005; accepted Jul. 10, 2005)

* Corresponding author