

LAMOST 光纤定位子系统干涉 消除方法的初步研究*

彭小波, 翟超, 邢晓正, 胡红专, 李为民

(中国科学技术大学精密机械与精密仪器系, 合肥 230027)

摘要:针对 LAMOST 光纤定位系统中期试验机构(由 19 个单元组成)在运行过程中出现的单元之间干涉现象,提出了一种消除干涉和观测星像方法.该方法根据星像的分布特点,通过星像分配、预处理减少机械干涉的发生概率,然后干涉检测、干涉处理以消除干涉,获得星像点的观测顺序及各单元的运行线路,确保观测过程中不会出现单元之间的机械干涉现象.软件仿真表明,该方案满足子系统需要,可获得较高的观测效率,对以后整个并行光纤观测系统(4 000 个单元)具有一定的参考价值.

关键词:LAMOST;机械干涉;退避算法;观测效率

中图分类号:TH75 **文献标识码:**A

0 引言

LAMOST(large sky area multiobject fiber spectroscopy thlescope)项目是我国正在进行的重大科学工程之一.其焦面由 4 000 根光纤组成,观测时要求每根光纤分别对应一个星像.目前采用的方案是每根光纤及其控制机构组成一个定位单元,整个焦面由 4 000 个这样的单元组成^[1].光纤定位单元采用双回转结构.它包括臂长相等的一中心回转轴和一偏心回转轴,两回转轴均由电机驱动,它们的运动使光纤端部可以到达观测区域圆中的任何位置.两回转轴均由驱动脉冲来控制其运动.在中期试验机构中,制作了 19 个这样的单元,组成一个观测子系统.在子系统运行过程中,出现了单元之间的干涉现象,针对这一现象,本文提出了一种消除干涉和安排观测的方法.

1 星像分配

1.1 星像点分布特点

LAMOST 的主要观测对象为星系、类星体和恒星.根据已知的天文学资料,星系在天球上的二维分布是近似均匀的,其实际分布与均匀分布的偏离,可以用角相关函数表示,在 4 000 个单元中根据均匀随机分布确定的星系数目比考虑到成团效应的实际数仅超出 3%,

* 收稿日期:2001-12-26

作者简介:彭小波,男,1978 年生,博士.研究方向:精密仪器与机械. E-mail:pxb@mail.ustc.edu.cn

所以近似为均匀分布是可行的,但均匀总体中有限元素的样本是不均匀的。

设一个系统有 M 个单元,且每个单元重叠区域与其观测区域的面积比为 e , 将 N 颗随机星像点投到该系统上,对某个单元,其观测范围内落入 k ($0, 1, \dots, N$) 颗星像点的概率为

$$C_N^k \cdot \left(\frac{1+e}{M}\right)^k \cdot \left(1 - \frac{1+e}{M}\right)^{(N-k)} = \frac{N!}{(N-k)!k!} \cdot \left(\frac{1+e}{M}\right)^k \cdot \left(1 - \frac{1+e}{M}\right)^{(N-k)}$$

表 1 星像分布概率

Tab. 1 Probability of galaxy images distribution

k	概率/%	单元数	k	概率/%	单元数
0	≈0	≈0	9	13.7	2.60
2	0.5	0.09	10	12.1	2.30
4	3.3	0.63	11	9.6	1.83
6	9.5	1.80	12	7.0	1.32
7	12.3	2.34	13	4.6	0.87
8	13.8	2.63	14	2.8	0.53

LAMOST 视场为 20 平方度,亮度大于 20.5 等的星系的面密度大约为 700/平方度,可取 800/平方度作为计算值,即在 LAMOST 视场中共有 16,000 个待测的星系,平均每个单元内星像数为 $4^{[2]}$ 。

要对 19 个单元组成的子系统 ($e = 0.475$) 留观测余地,取每个单元内平均有 6 颗星像点,等价于将 114 颗随机星像点投到子系统上,则某单元内有 k 颗星像点,概率如表 1。其中的大部分单元内落入 4 颗到 14 颗不等,显示出星像

点的多点平均、少点不均,多次平均、少次不均、大区平均、小区不均的分布特征^[3]。

1.2 星像点分配

根据光纤定位单元的排列方式,一个单元的观测范围可以分成三个区域,如图 1 所示。

一个是只能由该单元自己观测的区域 1(图中的水平线部分,占总面积的 52.5%),另一个是可由该单元或者其某个相邻单元观测的区域 2(图中的反斜线部分,占 38.1%),最后一个是可由该单元或者其某两个相邻单元观测的区域 3(图中的正斜线部分,占 9.4%)。采取的分配策略是将区域 1 中的星像首先分配,然后分配区域 3 的星像,分配的原则 1 是尽量使每个单元要观测的星像数接近。原则 2 是对于星像数一样的两个单元,则将星像分配给离该星像近的单元,目的是减少观测中的机械干涉概率。最后分配区域 2 中的星像,遵循区域 3 的两个分配原则。

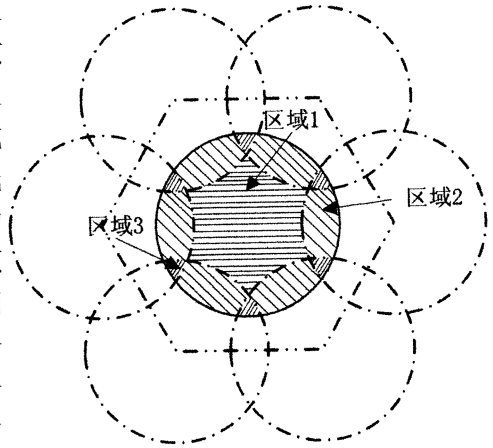


图 1 单元星像分配区域图

Fig. 1 Distribution areas of a unit

2 干涉检测及处理

2.1 干涉问题的提出

LAMOST 子系统中光纤单元以蜂窝状重叠排列,每个光纤单元的有效覆盖面为 $\Phi 35$ mm 的圆,而相邻两根光纤的中心距为 26 mm,所以相邻两根光纤单元存在很大的重叠观测区。如图 2 所示,如果有两个星像点 1、2 位于重叠观测区,并且单元 1、2 同时各自去观测它们,由于光纤头夹持机构具有一定的尺寸,会造成光纤头夹持机构在空间上产生重叠,这种现象称之为机械干涉。一旦干涉出现,光纤头就无法捕捉到星像,同时会严重地损害定位单

元,并且对整个系统的正常运行产生不良影响.

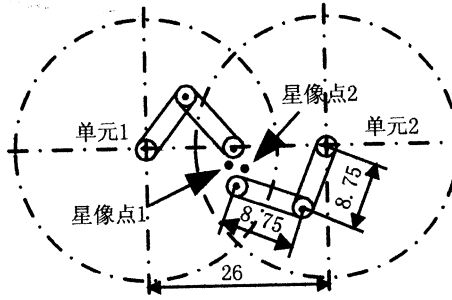


图 2 机械干涉示意图

Fig. 2 A mechanical collision

2.2 预处理

星像点分配完毕后,由于前述的干涉问题的存在,必须对各个单元的运行路线和观测顺序进行规划.其目标是避免干涉和提高观测效率.首先将各单元内的星像按一定的次序排列起来,以尽量减少干涉概率为排列准则.这里按照单元内各星像点对应的中心轴张角顺序由小到大依次排列,使得各个光纤观测臂基本都伸向一个方向,不易发生干涉^[4].

2.3 干涉检测

预处理只能减少干涉发生的概率,却不能完全避免干涉,因此需要一个干涉检测环节.单元之间的干涉有两种,一种为静态干涉,另一种为动态干涉.静态干涉是指由于光纤头几何尺寸造成的最终观测位置处的干涉;而动态干涉是指光纤头从起始位置出发向目标位置运行的过程中产生的干涉.然而静态本身就是动态的一种特殊情况,即动态过程中的某一个静止位置,所以核心问题就是动态干涉的检测问题.

2.3.1 最大安全夹角

由单元的机械尺寸和单元之间的相互位置关系可以得到一个偏心轴和中心轴的最大安全夹角,如图 3 所示,OA = 8.75, AB = 8.75, OC = 13, BC = 2.5, BO = OC - BC = 10.5, 则可计算如下:

$$\angle OAB = 2\arcsin\left(\frac{BO/2}{AO}\right) = 73.74^\circ.$$

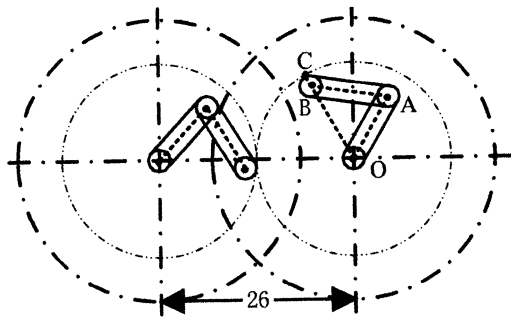


图 3 最大安全夹角示意图

Fig. 3 The maximal safe angle

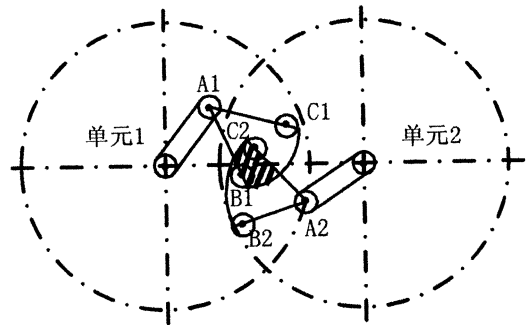


图 4 干涉检测

Fig. 4 Collisions detection

往小方向取整为 73°, 这里的 $\angle OAB$ 就是偏心轴和中心轴的最大安全夹角, 只要偏心轴与中心轴的夹角小于或等于该角度, 无论两轴如何运动, 都不会产生干涉. 干涉只出现在偏心轴从 73°角伸展开的过程中. 所以动态干涉问题就是偏心轴伸展过程中的干涉问题.

2.3.2 干涉检测的最短距离法

动态检测有两种方法, 一是重叠区域法, 二是最短距离法. 如图 4 所示, 重叠区域法就是得到每一轮观测中各个单元偏心轴的伸展区域, 然后判别区域之间是否有重叠部分(图中

阴影部分),如果有,则会出现干涉.这种方法特点是不用检测单元每运行一个步距角的干涉情况,只需知道单元偏心轴的起始位置和终止位置,就可计算.缺点是计算比较繁琐、算法复杂.

最短距离法是依据线段之间的最短距离来判断干涉的.当偏心轴需要从 73° 伸展到更大角度时,则每当单元走过一个步距角,判断两个单元偏心轴之间的最短距离,即求图中的线段 A_1B_1 和线段 A_2B_2 之间的最短距离.方法如下,将线段之间的最短距离问题分解成求解点到线段的距离,如求图 5 中的 B_1 到线段 A_1B_2 的距离以及 B_2 到线段 A_1B_1 的距离,然后取较小值.利用勾股定理和海伦公式可编制求最短距离的子函数(c 语言)如下:

```
double The_Shortest( double b, double c ) // b、c 分别为两边长
{
    const double a = 8.75; // 偏心轴和中心轴回转半径 8.75
    double s, area, h;
    if ( b > c )
        if ( a * a + c * c < b * b ) return c; // 钝角三角形
    if ( b < c )
        if ( a * a + b * b < c * c ) return b;
    s = ( a + b + c ) / 2;
    area = sqrt( s * ( s - a ) * ( s - b ) * ( s - c ) ); // 海伦公式求面积
    h = 2 * area / a;
    return h; }

```

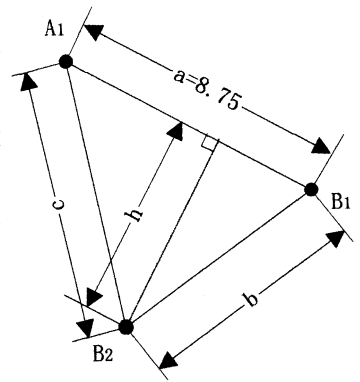


图 5 点到线段距离

Fig. 5 Point to segment distance

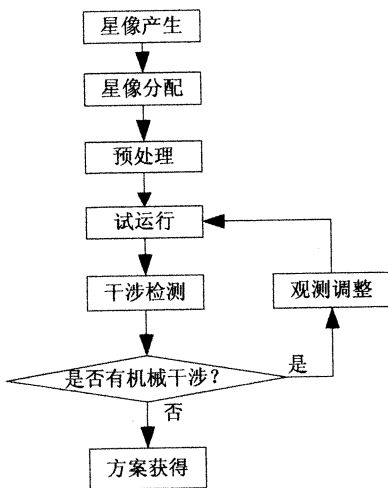


图 6 主要流程

Fig. 6 Main flow chart

如果距离小于单元光纤夹的直径 5 mm,则在此时会 出现干涉,如果大于 5 mm,则偏心轴继续伸展,每伸展一个步距角,判断最小距离,直到到达目标观测位置 A_1C_1 和 A_2C_2 .显然最短距离法算法简单,且与单元实际工作情况接近,很直观,所以目前采用此法.

2.4 干涉处理

检测到干涉后,则必须对其进行处理.当两个单元各自去观测目标星像点时,如果发生了干涉,说明这两个单元不能并行地去观测这两个星像点.这里用到的是一种“退避算法”来处理干涉,即遇到干涉,则发生干涉的单元在这一轮观测中退让避开该星像点,添补单元内其它的待观测星像点,而在其它的轮次中再观测该星像.如果该单元内所有的待观测点都会出现干涉,则必须给该单元增加一个“零星像”,该星像坐标与单元中心的坐标一致,当单元去观测“零星像”,其实是单元中心轴和偏心轴不

动,这样以达到避开干涉的目的.

仿真软件主要流程图如图 6 所示,经过试运行、干涉检测和干涉处理后,最后得到子系统的运行方案.

3 仿真结果及讨论

根据上述的星像分配和系统观测方案,利用仿真程序分析该方案的消除干涉效果和总体观测效率.

在仿真模拟中,利用均匀分布随机数在子系统观测范围内生成星像点.每 114 个随机星像点作为一次观测任务.软件仿真观测,可得到一次观测任务中每轮观测的光纤利用率和观测完备率.多次观测任务平均,数据如表 2.

根据数据可作观测效率图 7.如图中曲线所示,干涉处理后实际的光纤利用率和观测完备率与不考虑干涉时都很接近.说明以上描述的子系统观测方案因处理机械干涉问题而牺牲的观测效率比较小,是比较理想的.整个观测过程中没有机械干涉,成功地完成了机械干涉的检测和消除.

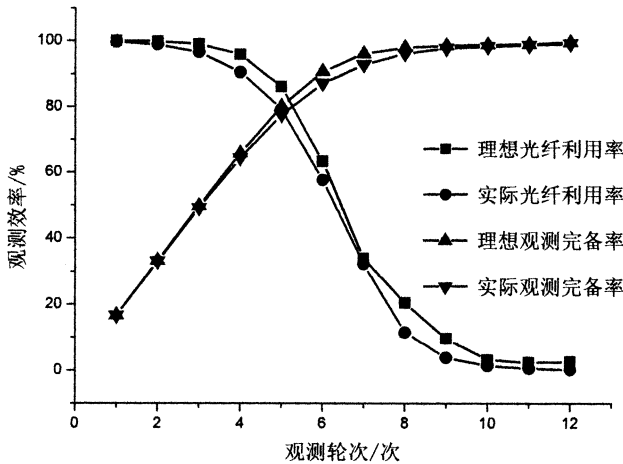


图 7 观测效率图

Fig. 7 Graph of observation efficiency

表 2 观测效率数据

Tab. 2 Observation efficiency

轮次	光纤利用率/%		观测完备率/%	
	理想	实际	理想	实际
1	≈1	0.997	0.167	0.166
2	0.998	0.989	0.333	0.331
3	0.99	0.966	0.498	0.492
4	0.959	0.905	0.658	0.643
5	0.860	0.792	0.801	0.775
6	0.633	0.576	0.907	0.871
7	0.339	0.323	0.961	0.928
8	0.205	0.115	0.980	0.962
9	0.097	0.039	0.986	0.978
10	0.032	0.014	0.989	0.983
11	0.024	0.006	0.990	0.987
12	0.026	0.002	0.996	0.992

4 结论

LAMOST 子系统消除干涉和观测星像方法通过软件仿真检测并消除观测过程中出现的机械干涉,得到各星像的观测顺序以及各单元中心轴和偏心轴的运行路线,并达到了较高的观测效率.由于软件仿真的条件和真实情况下的单元的运行条件基本一致,所以仿真后所产生的 19 单元子系统的整体运行方案可以运用于其实际工作过程,可以确保各单元安全、有效运行.

参 考 文 献

- [1] 邢晓正,胡红专,杜华生等.用于 LAMOST 的并行可控式光纤定位系统[J].中国科学技术大学学报,1997,27(4):492-493.
- [2] 褚耀泉.光纤分区定位方案的效率问题[R].北京:LAMOST 科学部技术,1998.
- [3] 庄叶涛.LAMOST 分区观测法及其效率的方针研究[D].合肥,中国科学技术大学,1997.
- [4] 张保增.LAMOST 光纤定位系统的模拟仿真[D].合肥,中国科学技术大学,2001.

Primary Research of Ways to Avoid Collisions and Observe Images for LAMOST Fiber Positioning Sub-System

PENG Xiao-bo, ZHAI Chao, XING Xiao-zheng, HU Hong-zhuan, LI Wei-min

(Department of Precision Machinery and Precision Instrument, USTC, Hefei 230027)

Abstract: A method to avoid collisions for LAMOST sub-system (including 19 Units) is briefly introduced. According to this method, proper image assignment and preparatory processing can decrease the probability of mechanical collisions. Further more, collisions can be detected and eliminated through a retreat algorithm. Finally the ways of allocating images and the running routes of all units are obtained. It ensures that there is no mechanical collision during observations and higher observation efficiency can be achieved. Software simulation indicates that the observation planning method can meet the Sub-system's need and it is definitely valuable for the whole parallel controllable optical fiber positioning system (including 4,000 Units).

Key words: LAMOST; mechanical collisions; retreat algorithm; observation efficiency

更 正 声 明

由于编辑工作失误,致使鲁健等人的论文《高取向 PZT 铁电薄膜的溶胶-凝胶法制备》(中国科学技术大学学报,2002,32(6):748-753)图 3、图 4 中存在错误,即“Intensity/10⁻⁵ cps”应为“Intensity/10⁵ cps”。特此更正,并向作者、读者致歉。

《中国科学技术大学学报》编辑部