

磁场测量系统改造中的控制理论应用

陈 鹰¹ 魏衡华¹ 孙德敏¹ 薛美盛¹ 姚成贵²

1 (中国科学技术大学自动化系 合肥 230027)

2 (中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

摘要 为了提高测量效率,我们希望利用控制理论改造加速器磁场测量系统。构造了闭环的测量系统,在保证测量精度不变的条件下实现了连续测量,减少了测量所需时间。由此验证了引入反馈等控制概念可以改善测量工作效率。

关键词 磁场测量,同步精度,控制理论应用

中图分类号 TL506

磁场测量是测量某磁体的磁场强度分布特性。用两台直流伺服电机构成测量平台,上面安装测量磁场的特斯拉计。主控计算机驱动电机运动,随着电机运动,仪表探头画出一条测量曲线,记录运行曲线上某些采样点的磁场强度,用于分析待测磁体的磁场分布。

在进行国家同步辐射实验室(合肥)磁场自动测量系统改造的过程中,发现过去的旧系统没有应用反馈概念,这样的开环系统可以完成测量任务,但无法实现连续测量。本工作应用控制理论来提高测量效率。

1 系统介绍

磁场测量的目的是得到磁场强度分布的数据。为了做到每次重复测量所得的值有分析意义,每次的采样点应在误差允许范围内保持一致。这是它的测量位置重复性精度要求。在采样点要读位置(从激光测距仪读)和磁场强度(特斯拉计),要保证从两仪器读得的值对应于同一采样点(在误差允许范围内)。这是磁测的同步精度要求。在同样的精度要求下,测量时间越短,测量效率就越高。

系统硬件环境如下 所用电机是原用于数控机床的直流伺服电机。用 PCL832 伺服控制卡驱动,控制卡给出电机要走的脉冲数(3mm 对应 2000 脉冲),电机就走相应距离。新系统除更换了主机之外其他硬件未作改动。

为了解释方便,特别提出一个典型测量任务 要求测量 2000mm 的一条直线上的磁场强度分布,每 0.5mm 采样一次。要得到的结果是激光测距仪读出的位置序列(0, 0.5, 1, 1.5, …)和特斯拉计得到的相应位置的磁场强度。

在旧系统上,特斯拉计和激光测距仪工作于自动方式,即不断采样,随时准备读取。由伺服控制卡给出 0.5mm 对应的脉冲命令,电机走完命令脉冲之后停下,读激光测距仪,读特斯拉计。再走下一个 0.5mm,同样进行采样。可以看出测量是开环进行的,不断重复直到测量的终点。

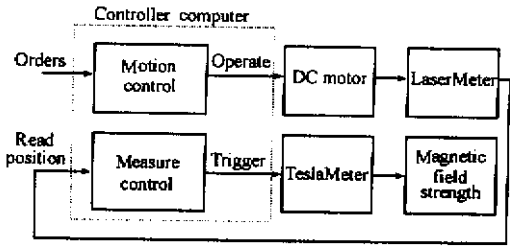
其工作思想是,每次给出 0.5mm 的设定值,让电机自己完成运动,静止采样以避免同步误

差。由于磁测系统中随机干扰小到可以忽略,所以开环情况下位置精度也可以保证(误差 < 0.01mm)。但这样就无法做到连续测量,测量时间无法提高。由于系统采用的电机在启动和停止时有较大惯性,发出停止命令后至少要 1s 的时间才能静止在设定位置。这是系统中电机和伺服驱动卡的固有特性,它决定了步进方式在走停切换上的时间代价会很可观。移动的平均速度可达 5mm/s,(更高的速度走 0.5mm 意味着更长的停顿时间),则理论运行时间为:

$$T = 1 \times 2000 / 0.5 + 2000 / 5 = 4400s \approx 73min$$

由上可知,要提高效率,就要求在连续运动中进行测量。开环移动给出设定值之后不实时跟踪位置,只能得到终点的位置,作不到运动过程中的精确定位。

在新的测量系统软件里我们应用了反馈概念,让电机匀速运行,时刻从伺服控制卡中读出当前的位置(脉冲数换算成位移,误差 0.01mm 以下),根据此输出值决定采样的时机。结果保持了磁测的位置精度和旧系统一致,实现了连续测量。实现原理如下所示:



以反馈达到位置定位精度要求很简单,在连续测量中达到同步精度要求是更关键的问题。两种仪器都通过 IEEE488 总线和主机相连。要读数时由程序发出 ASCII 字符串格式的指令,仪器采集数据后把数字量转换成字符串,程序再从总线上读取。仪器读数所用的时间,对激光测距仪是 45ms,对特斯拉计是 20ms。在此时间段内电机在移动,以 5mm/s 的速度计算,20ms 内移动了 0.1mm。想达到同步精度要求 0.01mm,运行速度要降到 0.5mm/s,整个测量时间为 $2000 / 0.5 = 4000s$,相当于没有改善。所以不能读完一个仪器再读下一个。

我们利用 IEEE488 总线上特斯拉计触发和读数可以分开进行的特点,先对两仪器几乎同时发出‘采样’指令,读数则分别读。如图 1 所示:

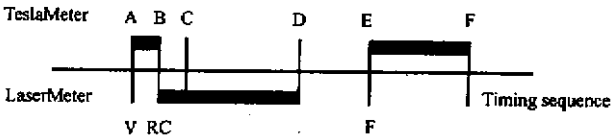


图 1 采样时序分配
Fig. 1 Sample sequence scheduling

图上的 A 点是采样点位置,目标是两仪器读出的数据对应 A 点附近 0.01mm 以内的位置。流程是 在 A 点向特斯拉计发‘V’指令,特斯拉计在 B 时刻接到指令并采样 B 点的磁场强度。程序在 B 点向激光测距仪发‘RC’指令,激光测距仪在 C 时刻接到指令,采样 C 点的位置。然后程序花从 C 到 D 的时间把激光测距仪的结果读回。再从 E 时刻到 F 时刻向特斯拉计发‘F’指令把特斯拉计结果读回。以上 AB 之间用时不超过 1ms,BC 之间也小于 1ms,CD 和 EF 之间间隔是上面提到的 45ms 和 20ms。BE 之间的时间间隔和所用特斯拉计有关,我们使用的是 DTM151 型特斯拉计。其手册中指出,触发方式下 V 指令生效后,至少需要 150ms

才可以发 F 指令读取场强。即 BE 之间至少为 150ms。理论上每两个采样点之间最少要用 $AB + BE + EF = 171\text{ms}$ 才能正常采样数据。

这里的关键是,特斯拉计工作于触发方式下,采样和读数可分开——每次用 F 指令读得的值是上一个 V 指令采样的值,和 F 指令发出的时刻和位置无关。则用以上时序所读出的位置和磁场强度,分别对应 BC 间的两点位置,同步误差取决于 1ms 内电机移动距离。在测量速度 10mm/s 条件下,同步误差小于 0.01mm。

2 实际控制

由以上分析为基础,进行了新磁测系统软件的编写,并在实际硬件环境下进行了验证。我们针对其主体部分——直线测量的情况加以说明。

理论的程序实现依照以下算法(程序伪码):

//初始化...

//采样循环,位置从 0 到目标长度:

pos = ReadDecoder(); //从伺服控制卡读位置

if (pos == CountGetPoint()) { //判断是否采样点

TrigTesla(); TrigLaser(); //触发两仪器,令之采

//样.(时序 ABC)

Laser = ReadLaser(); //激光数据读出.

Sleep_Nms(); //等待特斯拉计准备好

Telsa = ReadTesla(); //磁场数据读出.

} else { //不在采样点,作其他工作}

//继续循环直到结束

实际运行中,考虑到连续运行的稳定性和电机长时间工作的磨损,把连续测量速度定为 1.25mm/s,定位精度达到 0.005mm,同步精度 0.002mm,理论测量时间

$$T = 2000 / 1.25 = 1600\text{s} \approx 27\text{min}$$

实际运行加上头尾的启动和停止时间,某些时刻的读数延迟,30min 左右可以测量完毕。旧的系统可以用更大速度行走(5mm/s),但每步停下来测量的时间是运行的瓶颈,实际运行时间 76min。新系统为了保证连续运行中采样的稳定,选择了保守的运行速度,但节省了停止的时间。总的运行效率得到了较大提高。

3 结束语

在磁场测量领域引入控制理论的思想之后,实现了连续测量,在保证测量精度的前提下,提高了系统运行效率,节省了单次运行的时间,使测量所需时间成倍缩短,有助于对大批量数据的分析处理。

在新的领域引入反馈概念,结合其自身规律进行控制,就可以提高工作效率,改善工作状况。我们对加速器磁场测量系统进行改造的实例,正说明了这一点。

参 考 文 献

SUN Baogen, HE Duohui, GAO Yunfeng, *et al.* Nucl Tech, 2001, **24**(1) 47—51

2 陈学兵, 孙友梅, 李桂生, 等. 核技术, 1997, **20**(10) 515—618

CHEN Xuebing, SUN Youmei, LI Guisheng, *et al.* Nucl Tech, 1997, **20**(10) 515—618

3 钱仲敏, 靳根. 原子能科学技术, 1998, **32**(6) 538—542

QIAN Zhongmin, JIN Gen. Atom Energy Sci Tech, 1998, **32**(6) 538—542

The application of control theory to magnetic measurement

CHEN Ying¹ WEI Henghua¹ SUN Demin¹ XUE Meisheng¹ YAO Chenggui²

1 (Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

2 (National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230029)

Abstract

In order to improve the efficiency of measurement, we introduced the control theory to the magnetic measurement system in NSRL. We succeeded in building a closed loop system, and performed measurement on the fly. While keeping the same accuracy as before, the efficiency has been greatly improved. It can be concluded that feedback is an effective method to advance measure system.

Key words Magnetic measurement, Synchro precision, Controll theory

CLC TL506