

用数字滤波器改善光电经纬仪 机械谐振频率的方法

张卫国 曹永刚 陈 涛

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 分析了经纬仪机械谐振频率对系统动态特性的影响,阐述了用双T数字滤波器消除机械谐振频率影响的方法。

关键词 谐振频率 数字滤波器 采样周期

1 前 言

八十年代以来,随着科学技术的飞速发展,各种高精度、高速度的飞行器竞相研制,这对靶场的光测设备提出更高的要求。一方面,要求光测系统不仅具有“一机多用”的功能,装备有高速摄影、激光、红外、电视、雷达等跟踪测量分系统,而且应具备高精度、稳定性好及快速响应等性能。跟踪架头部质量加大,系统整机结构的固有频率就降低。另一方面,对光测系统的跟踪精度要求的提高,这就必须增加伺服系统的带宽。伺服带宽的增加和整机结构固有频率的降低,使二者带宽逐渐靠近,在这种情况下,伺服系统中的噪声很容易激起系统的谐振,造成系统的不稳定。因此,改善系统整机结构的谐振频率,消除机械谐振的影响,确保系统的稳定性、快速性、及精确性,是倍受人们关注的问题。

2 机械谐振频率对系统性能的影响及其改善

机械谐振频率对系统的性能起着至关重要的作用,不仅影响系统的频率响应、动态特性,而且直接关系到系统的稳定性、快速性及系统的精度。

将经纬仪机械结构简化为一个二阶的电机—弹簧—质量的系统可得出动力学方程:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + F \frac{d\theta}{dt} = K(\theta - \theta_0)$$

J ——转台负载惯量;

K ——弹性连接体扭转刚度;

F ——阻尼系数;

θ ——电机转子输入转角信号;

θ_0 ——转台输出转角

则可得出:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - 2\zeta^2}$$

$$\omega_0 = \frac{K}{J}$$

$$\zeta = \frac{F}{2} \frac{1}{KJ}$$

ω ——机械谐振频率;

ω_0 ——整机无阻尼固有频率;

ζ ——阻尼比。

上式表明整机机械谐振频率 ω 的大小取决于整机结构的无阻尼固有频率 ω_0 及阻尼比 ζ 。经纬仪能正常工作必须保证系统具有良好的稳定性。工程上常以‘相角裕量’来反映系统的相对稳定性。相角裕量:

$$\gamma = \arcsin(2\zeta \sqrt{1-2\zeta^2})$$

γ 值越大,说明系统越稳定,反之, γ 值越小,系统稳定性越差。因此一旦系统的参数 K, J, F 被确定,机械谐振频率 ω 也就定了,其相应的相角裕量也就定了。可见机械频率的大小与相角裕量相关,影响着系统的稳定性。衡量系统快速性的一个重要指标是控制系统的闭环频带宽度 B 。它是指由零频率到闭环截止频率 ω_c 的频带宽度。 ω_c 值越大,系统的频带越宽,这意味着系统的过渡时间短。

$$\omega_c = \omega_0 \sqrt{1 - 2\zeta^2 + \sqrt{2 - 4\zeta^2 + 4\zeta^4}}$$

上式说明 ω_c 的大小取决与 ω_0 及 ζ 而 ω_0 及 ζ 决定了机械谐振频率 ω 的大小,因此机械谐振频率 ω 对闭环频带宽度 B 起限制作用。

综上所述:整机机械谐振频率 ω 由 ω_0 及 ζ 决定,最终体现在整机结构的刚度 K 、惯量 J 和阻尼力 F 等基本参数上。由于整机机械谐振实际上是机电耦合相互作用的结果,因此解决机械谐振问题 需要从整机机械结构设计和伺服控制系统设计双方共同配合,站在系统的高度统筹考虑加以解决。改善系统机械谐振频率有两种途径:一结构设计上增强整机刚度,减小惯量以及提高整机机械系统阻尼来提高结构固有频率来提高机械谐振频率。这势必带来设计和加工的难度增加了成本。二是通过电子学方法解决,这种方法灵活、方便成本低,见效快。在模拟控制系统中,通常采用双 T 网络来减小机械谐振对系统跟踪性能的影响,这种方法存在很多缺点。(1)、参数整定困难。(2) 实际的双 T 是等效结果。(3) 随着使用条件、环境变化时,经纬仪的谐振点也变化,无法保证滤波效果。(4) 硬件结构复杂,环境条件对其影响大,可靠性差。(5) 变

带宽控制难以实现。随着计算机和计算机控制技术的发展, 经纬仪的跟踪伺服控制系统基本上采用数字化控制系统取代了模拟控制系统。设计好消除机械谐振影响的数字滤波器是改善和提高跟踪性能的必要条件。

3 双 T 网络

1、双 T 网络的模拟式

$$D(S) = \frac{1 + \left(\frac{S}{\omega}\right)^2}{1 + K \frac{S}{\omega} + \left(\frac{S}{\omega}\right)^2}$$

通过调整 K 值增大带宽。

双 T 网络的幅频特性如图 1

所示

相频特性如图 2 所示:

由图可见 K 值增大带宽增大, 但相角滞后随之增大。

2、数字实现

(1) 采用双线性变换, 将

$$S = \frac{2}{T} \cdot \frac{1 - Z^{-1}}{1 + Z^{-1}}$$

代入上式得:

$$D(Z) = K_{DT} \frac{1 + B_1 Z^{-1} + B_2 Z^{-2}}{1 - A_1 Z^{-1} - A_2 Z^{-2}}$$

$$K_{DT} = \frac{1 + \frac{4}{\omega^2 T^2}}{1 + \frac{2K}{\omega T} + \frac{4}{\omega^2 T^2}}$$

$$A_1 = - \frac{2(1 - \frac{4}{\omega^2 T^2})}{1 + \frac{2K}{\omega T} + \frac{4}{\omega^2 T^2}}$$

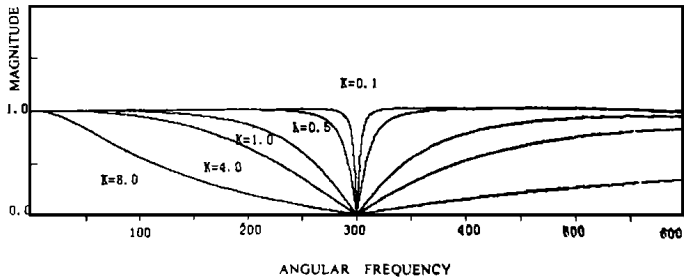


Fig. 1 Magnitude-frequency characteristic

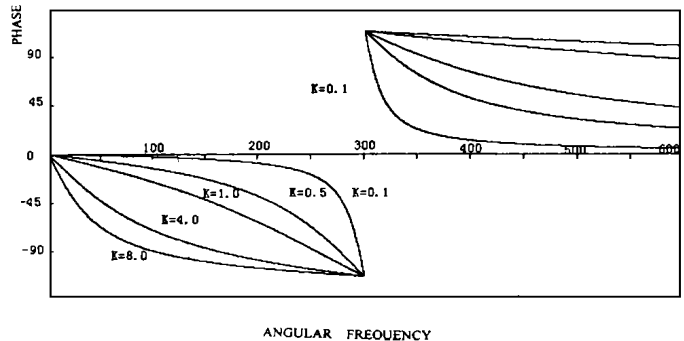


Fig. 2 Phase-frequency characteristic

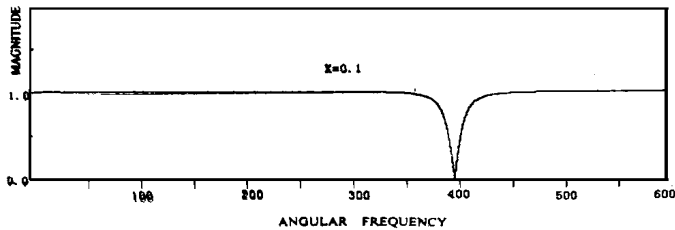


Fig. 3 Magnitude-frequency characteristic

$$A^2 = - \frac{1 - \frac{2K}{\omega T} + \frac{4}{\omega^2 T^2}}{1 + \frac{2K}{\omega T} + \frac{4}{\omega^2 T^2}}$$

$$B_1 = \frac{2(1 - \frac{4}{\omega^2 T^2})}{1 + \frac{4}{\omega^2 T^2}} \quad B_2 = 1$$

(2) 数字滤波器的幅频特性和相频特性

幅频特性如图 3 所示:

相频特性如图 4 所示:

如图 (3) 图(4) 所示: 谐振频率为 400, 采样周期为 0.001, K 取 0.1 时的幅频特性和相频特性, 在谐振点幅值衰减为零, 相角滞后 90° ; 其它点相角滞后很小。

(3) 采样周期 T 的选择

以上是谐振频率为 150, 采样周期 T 取不同值时的数字滤波器的幅频特性和相频特性曲线。可见采样频率的选取是至关重要的。我们按照以下原则:

(1) 从尽可能保证不失真地恢复原来信号的观点出发, 采样频率必须满足香农采样定理, 即 $\omega > 2\omega_c$ (采样频率大于两倍以上截止频率)

(2) 从跟踪性能和抗干扰性能的考虑则取 $\omega = (5 \sim 15)\omega_c$

(3) 考虑计算机工作量、运行速度及精度等因数, 采样周期至少要保证 计算机完成全部的信号采样 数据处理、控制算法, 输出操作所用时间 T_c 。因此 $T_s > T_c$ 。

综合以上考虑, 再根据实验结果, 我们取采样频率 $\omega = (10 \sim 20)\omega_c$ 。

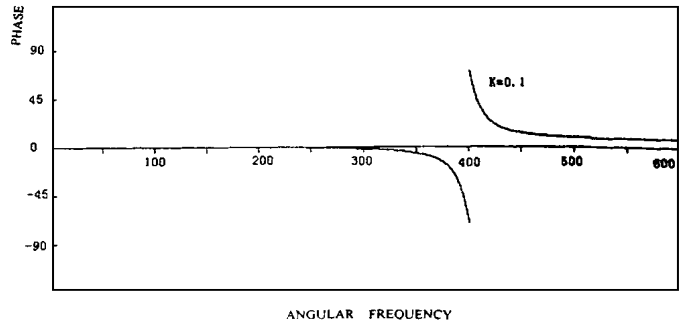


Fig. 4 Phase-frequency characteristic

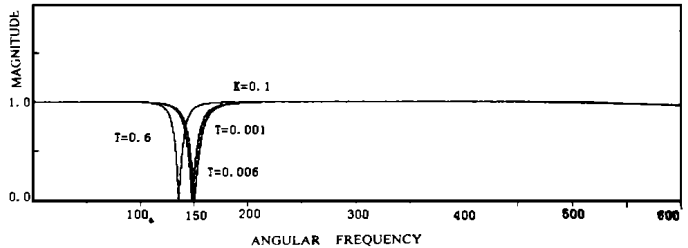


Fig. 5 Magnitude-frequency characteristic with different K values

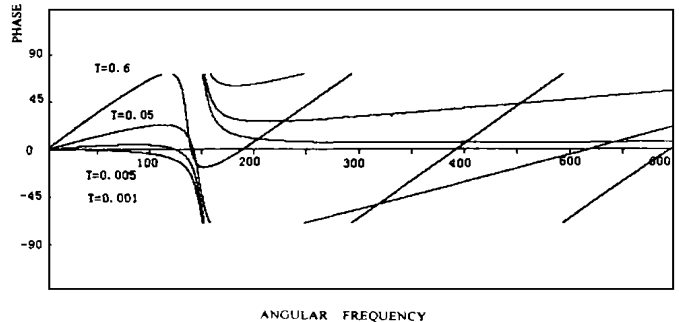


Fig. 6 Phase-frequency characteristic with different values

4 实 现

1、数字滤波器的结构

上图是数字滤波器的结构。其差分方程如下:

$$\begin{aligned} \omega(N) &= X(N) + A_1\omega(N-1) \\ &\quad + A_2\omega(N-2) \\ Y(N) &= K_{DT}(\omega(N) + B_1\omega(N-1) \\ &\quad + B_2\omega(N-2)) \end{aligned}$$

2、软件的实现

程序的流程图:

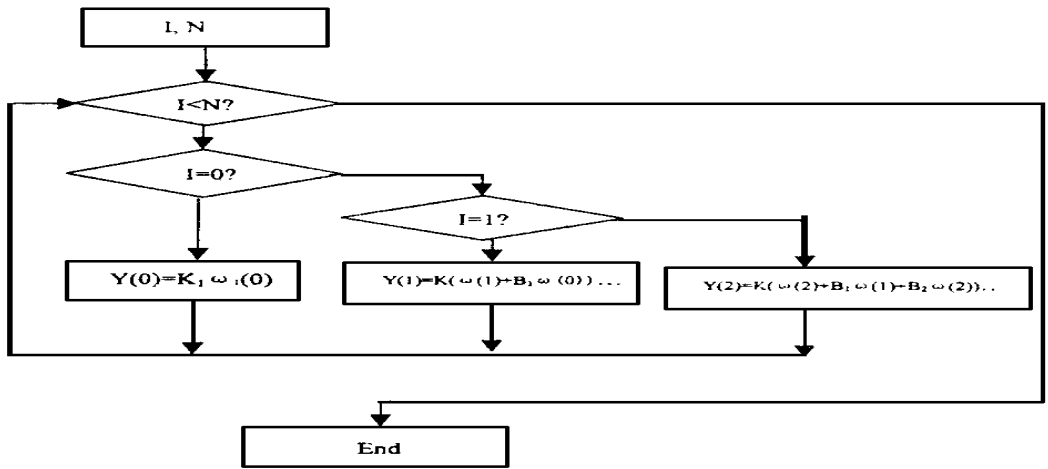


Fig. 8 Program flow diagram of digital filter

5 实验与讨论

该数字滤波器是通过软件实现的。我们把一正弦波信号输入滤波器其输出如图所示。在160F经纬仪上我们采用了该滤波器,其效果很好。明显提高了系统带宽,改善了系统的跟踪性能。

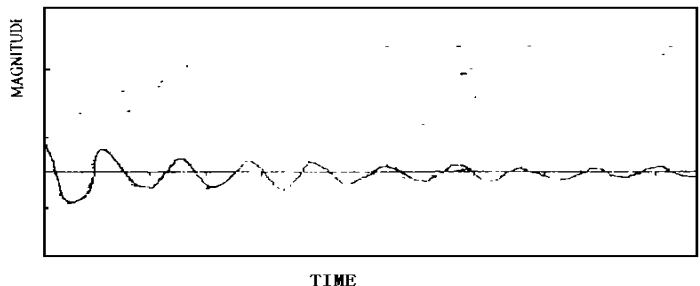


Fig. 9 Digital filter experiment curve

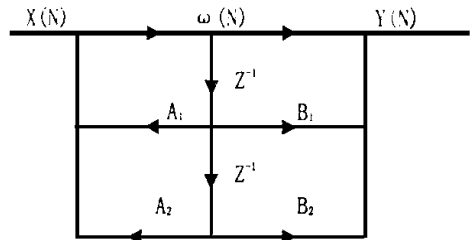


Fig. 7 Digital filter structure

参 考 文 献

- 1 王树勋. 数字信号处理基础及实验. 长春: 吉林大学出版社, 1989.
- 2 卢锷. 改善光电跟踪测量系统机械谐振频率方法探讨. 光学精密工程, 1994, 2(2): 48 ~ 52
- 3 Salvatti Fred. Optimal Tracking Algorithm—A DSP Approach. Proc SPIE, 2468: 68 ~ 79

Digital Filter Approach to Improving the Resonance Frequency of Photoelectric Theodolite

ZHANG Wei-Guo, CAO Yong-Gang, CHEN Tao
(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

This paper describes the influence applied by mechanical resonance frequency of photoelectric theodolite dynamical behaviours. We supply a double T network digital filter approach to eliminate the influence of mechanical resonance frequency.

Key words: Resonance frequency, Digital filter, Sampling cycle

张卫国 男, 1968年11月生, 1990年毕业于长春光学精密机械学院应用光学专业, 后在38623部队从事技术工作, 现为中国科学院长春光学精密机械研究所读硕士研究生。工程师, 学习机电控制专业。