

一种电视成像系统动态传递函数的快速测量方法

董再天¹, 张一军², 陶忠²

(西安应用光学研究所, 西安 710068)

摘要:为了研究平台振动与电视成像系统传递函数之间的关系,提出了一种电视成像系统动态传递函数快速测量方法。通过将压电陶瓷带动的快速反射镜系统引入 I-SITE 测量系统光路中的方法,实现了对不同振动环境下电视成像系统传递函数的快速测量。通过测量发现,平台低频振动时,随着频率的增加,电视成像系统动态传递函数下降速度比静止时增加了 10.1% ~ 41.2%;平台高频振动时,随着频率的增加电视成像系统动态传递函数下降速度比静止时增加了 42%。

关键词:电视成像系统;平台振动;电视成像系统动态传递函数;快速反射镜

本文引用格式:董再天,张一军,陶忠.一种电视成像系统动态传递函数的快速测量方法[J].兵器装备工程学报,2016(9):128-132.

Citation format: DONG Zai-tian, ZHANG Yi-jun, TAO Zhong. Dynamic Transfer Function Measurement of Television Imaging System[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016(9):128-132.

中图分类号:O439

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2016)09-0128-05

Dynamic Transfer Function Measurement of Television Imaging System

DONG Zai-tian¹, ZHANG Yi-jun², TAO Zhong²

(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710068, China)

Abstract: A dynamic transfer function of television imaging system was designed in order to study the dynamic transfer function of television imaging system affected by vibration. The dynamic transfer function was measured by putting the fast-steering mirror(FSM) which drove by a piezoelectric ceramic into I-SITE comprehensive measurement system. The experiment data show that the downtrend of the dynamic transfer function is increasing 10.1% ~ 41.2% compared with static condition with the increasing frequency of vibration and then begins to fall in the low vibrating condition and the downtrend of the transfer function is fluctuating increasing 41.2% compared with static condition with the increasing frequency of vibration and then changes slowly in the high vibrating condition.

Key words: television imaging system; vibration of the platform; dynamic transfer function of television imaging system; fast-steering mirror

用于远距离探测的高分辨率电视成像系统,由于受到平台振动的影响,成像品质不稳定^[1]。平台的振动使目标和电视成像系统之间产生相对运动,这种相对运动引起目标所成的像,在一个曝光周期内偏离或者往复地经过静止时的位

置,从而造成图像品质下降^[2-3]。电视成像系统传递函数是电视成像系统成像品质的综合评价指标,通过研究平台振动对电视成像系统传递函数的影响,可以分析出振动对系统成像品质的影响规律,提高系统的设计能力。由于电视成像系

收稿日期:2016-04-21;修回日期:2016-05-15

作者简介:董再天(1989—),男,硕士研究生,主要从事光电总体设计研究。

统传递函数是在振动条件下测量的,因此叫作电视成像系统动态传递函数。

目前国内外^[4-9]对这方面的研究越来越重视。电视成像系统动态传递函数测量主要集中在两个方向:一是利用动态目标模拟器或机械振动平台等使目标振动,电视成像系统静止^[10-11];二是利用机械振动平台使电视成像系统振动,目标静止^[12-13]。这两种方法都能对电视成像系统动态传递函数进行测量,但是其实时性、测量精度等不够理想。

本研究采用在 I-SITE(integrated system for imager test and evaluation)综合测量系统的光路中引入可控压电陶瓷带动快速反射镜系统的方法,测量了不同振动条件下电视成像系统动态传递函数。I-SITE 综合测量系统,自动化水平高,能够快速给出测量结果。可控压电陶瓷带动快速反射镜系统具有控制简单,精度高等优点,能够准确地模拟不同振动条件。通过将可控压电陶瓷带动快速反射镜系统和 I-SITE 综合测量系统组合,实现了对电视成像系统动态传递函数的快速测量。

1 电视成像系统动态传递函数的快速测量方法

1.1 可控压电陶瓷带动的快速反射镜系统

可控压电陶瓷带动的快速反射镜系统可以模拟平台不同的振动条件,主要由函数发生器、压电陶瓷控制器、示波器、压电陶瓷和快速反射镜等组成。通过函数发生器将不同频率、振幅以及振动形式的函数波输入到控制器,控制器将按照相同的频率、振动形式,以及相应的振幅控制压电陶瓷带动快速反射镜振动。振幅的计算式为

$$A = \frac{U}{\eta} \quad (1)$$

式中: A 为快速反射镜的振幅; U 为函数发生器输出振动形式的振幅; η 是一个与控制器有关的系数。另外,反射镜的位移可以通过压电陶瓷上的位移传感器实时地传递给示波器,通过示波器,可以实时观测到反射镜的位移变化。

1.2 I-SITE 综合测量系统

I-SITE 综合测量系统可以测量电视成像系统的线扩展函数(LSF)、分辨率以及传递函数(MTF)等多种参数,其主要由标准光源、反射镜、凹面镜和信号处理计算机等组成。测量时,标准光源通过狭缝射出,经过反射镜反射到凹面镜形成平行光线,到达电视成像系统形成图像。电视成像系统将采集到的信号传递给信息处理计算机,并由计算机将信号处理计算得到被测电视成像系统传递函数。

1.3 电视成像系统动态传递函数的快速测量

本研究采用将可控压电陶瓷带动快速反射镜系统引入 I-SITE 综合测量系统的光路中的方式测量电视成像系统动态传递函数。测量原理如图 1 所示。

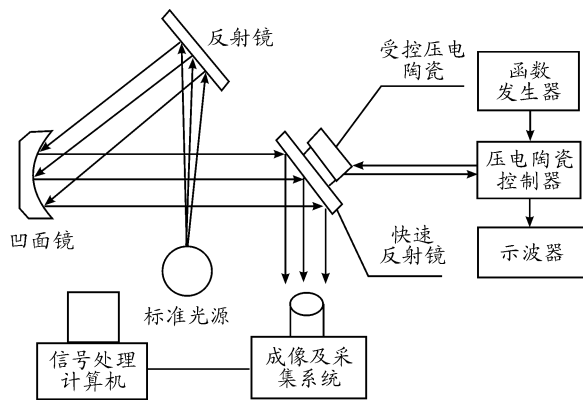


图 1 电视成像系统动态传递函数测量装置示意图

测量光路如图 1,标准光源通过狭缝射出,经过反射镜反射到凹面镜形成平行光线,平行光线再经过安装在可控压电陶瓷带动的快速反射镜到达电视成像系统。电视成像系统将采集到的信号传递给信息处理计算机,并由计算机将信号处理成可视化的信息。测量时,通过函数发生器,将相应波形、频率和振幅的电压信号传递给控制器,控制器控制压电陶瓷带动快速反射镜按照相应的波形、频率和振幅往复偏转。压电陶瓷的偏转角度信息由传感器采集并通过信号线传递给示波器,从而确定压电陶瓷的偏转信息。利用快速反射镜的这种往复偏转,模拟平台的各种振动条件,通过 I-SITE 综合测量系统测量,即可得到实时的电视成像系统动态传递函数。

1.4 平台振动对电视成像系统动态传递函数影响分析

平台的振动对电视成像系统的影响主要表现在像移量以及能量集中度。像移量是指一次曝光时间内所成图像运动的最大距离。能量集中度是指点目标所成的像的能量集中情况。平台的振动频率、幅值等都会改变电视成像系统的像移量和能量集中度,影响电视成像系统动态传递函数下降速度。根据振动周期与电视成像系统的曝光时间,可以将振动分为低频和高频^[9]。低频是指平台的振动频率小于电视成像系统的曝光频率;高频是指平台的振动频率大于电视成像系统的曝光频率。平台低频振动时,电视成像系统的成像品质随着振动频率的增加不断下降。当平台高频振动时,电视成像系统成像品质会很模糊,但是这种模糊程度随着频率的增加,改变越来越不明显。电视成像系统动态传递函数作为成像品质的综合评价方法,可以对不同振动条件下的成像品质进行量化对比。

以物空间上点的成像为例,当平台运动时,一个曝光周期内点目标所成像的能量不再聚集在特定的传感器单元上,而是随着运动发散在图像所经过的每一个传感器单元上。在曝光时间内,物空间上的点所成像的能量越集中,系统的点扩展函数就越集中,系统的传递函数下降越慢。

当平台低频振动时,物空间上的点所成像的运动历程如图 2(a)、图 2(b)、图 2(c)所示,随着移动量的增加,物空间

上的点所成像经过的传感器单元越多,物空间上的点所成像的能量越发散,系统的点扩展函数也更加发散,电视成像系统动态传递函数下降速度也增加。如图 2(c),当平台的振动频率与曝光频率之比在 0.5~1 时,由于平台出现了返回运动,物空间上的点所成像在右侧传感器单元上停留时间增加,因此能量更加集中在右侧传感器单元上,系统的点扩展函数就相对集中,此时电视成像系统动态传递函数的下降速度也减小。

当平台处于高频振动时,物空间上点所成的像做往复运

动,只要平台的振幅确定,那么系统所成像的发散范围也就确定了。随着平台振动频率的增加,物空间上点所成像的能量发散程度变化也越来越微弱。如图 2(e)当平台运动历程中,经过左侧的两个传感器单元的时间大于右侧,说明在曝光时间内,左侧两个传感器单元所接收到的能量较多。如图 2(d)、图 2(e)、图 2(f),随着振动频率的增加,这种差别越来越微弱,此时,电视成像系统动态传递函数下降速度变化也很微弱。

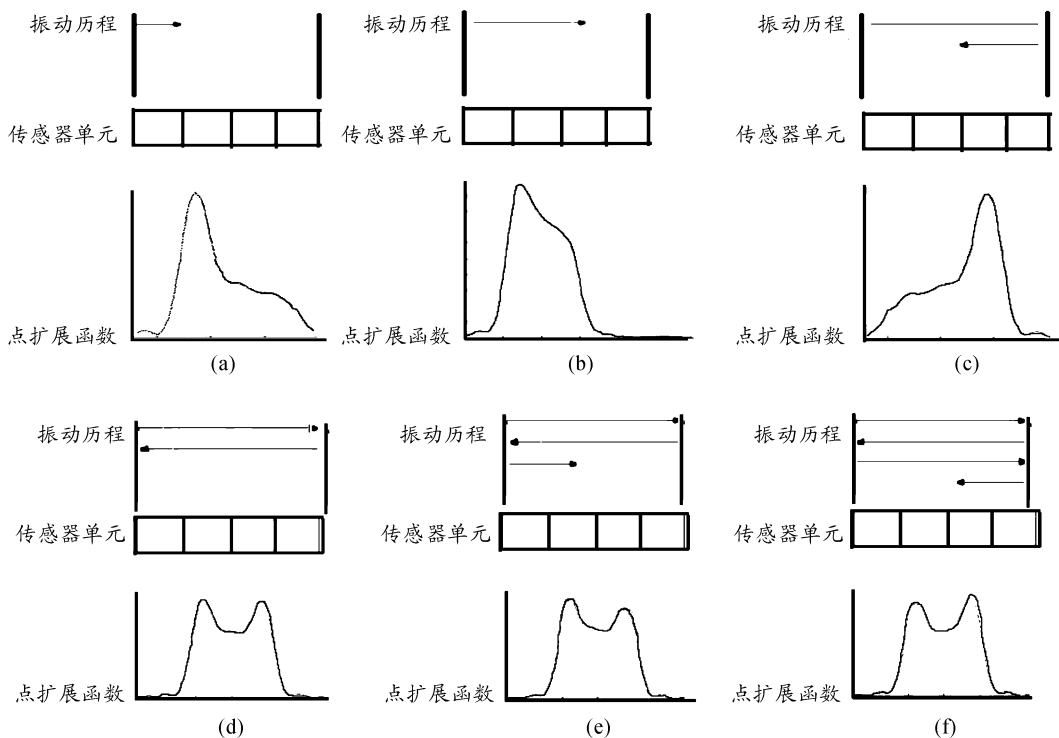


图 2 振动历程对应的点扩展函数示意图

2 测量结果

平台的运动形式往往具有很多不确定性,本文主要研究其中的正弦振动。通过分析发现,平台振动频率在低频阶段和低频阶段的影响并不一致。本文将对平台的低频振动和低频振动分别设置不同的频率值进行测量。测试对象是由一个焦距 400 mm, F 数 3.8 的光学成像系统、曝光周期 0.025 s 的传感器、处理电路和显示器组成的电视成像系统。

2.1 低频正弦振动

在低频阶段,选取振动频率分别为 5 Hz、10 Hz、20 Hz 和 30 Hz,振幅为 0.37 mrad 的条件下进行测量。

图 3 是在静止状态下采集到的图像,图 4(a)、图 4(b)、图 4(c)、图 4(d)分别是在振动频率 5 Hz、10 Hz、20 Hz 和 30 Hz,振幅为 0.37 mrad 的条件下采集到的图像。从图像中

可以看出,与静止状态相比,随着振动频率的增加,狭缝所成图像的宽度不断增加。这是由于随着频率的增加,系统的像移量增加。

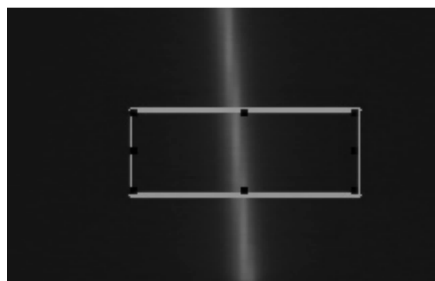


图 3 静止状态下采集的图像

图 5 是实际测量得到的低频阶段电视成像系统动态传递函数。从图 5 可以看出,当平台低频振动时,随着振动频

率的增加,电视成像系统动态传递函数总体上下降更迅速。平台振动频率分别为 5 Hz、10 Hz、20 Hz 和 30 Hz 时,电视成像系统动态传递函数下降速度相比于静止时,分别增加了 10.1%、32.9%、41.2%、35.1%。这说明,平台在低频振动时,电视成像系统动态传递函数下降速度,随着平台振动频率的增加不断加快。当平台振动频率为 30 Hz 时,电视成像系统动态传递函数下降速度却小于频率为 20 Hz 时电视成像系统动态传递函数下降速度。这是由于振动频率为 30 Hz 时,出现了图 2(c) 所示的返回运动,使系统能量集中度相对于振动频率为 20 Hz 时有所增加。

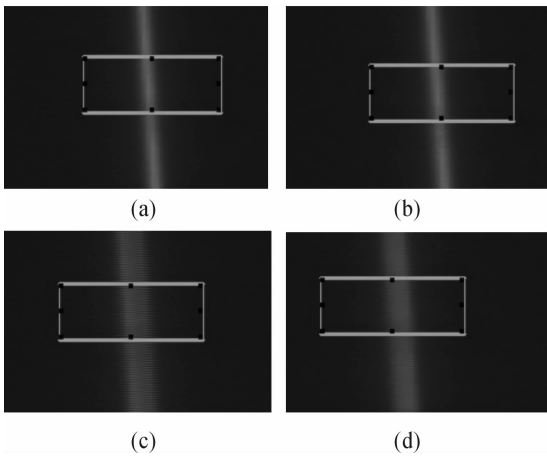


图 4 低频阶段采集到的图像

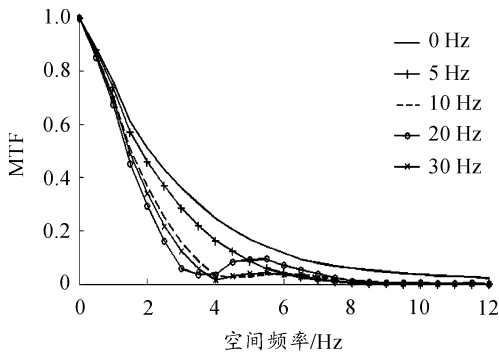


图 5 低频阶段电视成像系统动态传递函数

2.2 高频正弦振动

为了验证高频阶段电视成像系统动态传递函数,本文选取振动频率 50 Hz、60 Hz、70 Hz、80 Hz 和 210 Hz,振幅为 0.37 mrad 进行测量。

图 6(a)、图 6(b)、图 6(c)、图 6(d)、图 6(e) 分别是在振动频率为 50 Hz、60 Hz、70 Hz、80 Hz 和 210 Hz,振幅为 0.37 mrad 时,电视成像系统在高频振动时采集到的图像。从图像中可以看出,在高频振动阶段,电视成像系统对狭缝所成的图像宽度基本相同。这是由于高频阶段,电视成像系统所成图像的像移量相同,均为两倍的振幅。

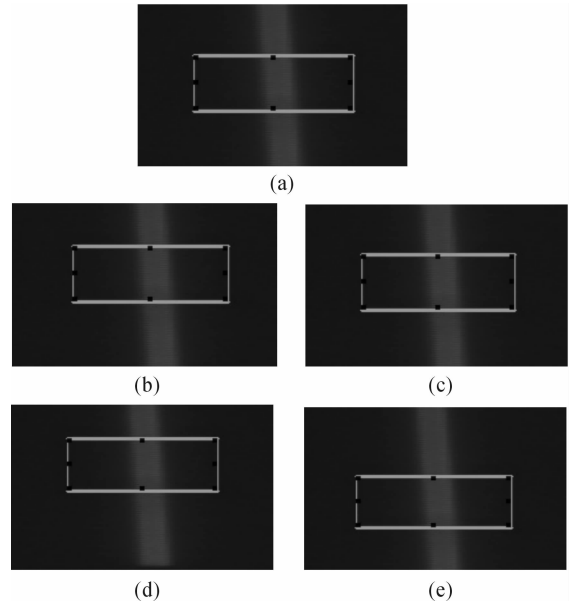


图 6 高频阶段采集到的图像

如图 7,当平台高频振动时,电视成像系统动态传递函数相比于静止状态,下降更为迅速。平台振动频率为 50 Hz、60 Hz、70 Hz、80 Hz 和 210 Hz 时,电视成像系统动态传递函数下降速度相比于静止状态,增加了 40.1%、41.6%、40.3%、41.5%、41.9%。从图 7 中可以看出,当平台高频振动时,电视成像系统动态传递函数下降速度随着频率的增加不断增加,但这种增加趋势变得越来越缓慢。

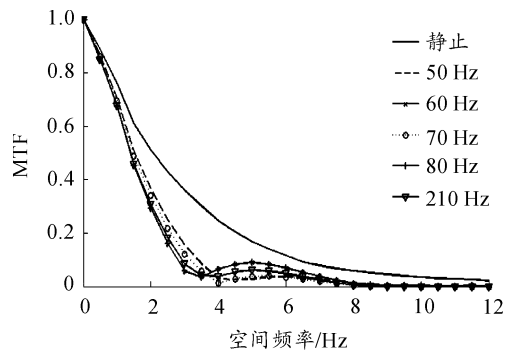


图 7 高频阶段电视成像系统动态传递函数

3 结论

本文对平台在不同振动条件下的电视成像系统动态传递函数进行了实验测量。通过测量发现,当平台低频振动时,随着振动频率的增加,电视成像系统动态传递函数下降速度不断加快。当平台高频振动时,随着系统平台振动频率的增加,电视成像系统动态传递函数下降速度变化很微弱,当平台高频振动时,随着振动频率的增加,电视成像系统动态传递函数下降速度波动不断减弱,逐渐接近静止时的 1.42 倍附近。基本上均比静止时增加了 42%。

参考文献:

- [1] 顾学海,王利平,顾国华.基于灰度投影改进的电子稳像[J].应用光学,2013,34(6):957-963.
- [2] 付中梁,冯华君,徐之海,等.二维任意运动形式模糊图像的恢复[J].光学学报,2010,30(2):369-372.
- [3] 刘志明,朱明,陈黎,等.长焦距全景式航空遥感器拖影分析及补偿抑制方法[J].光学学报,2013,33(7):0711001.
- [4] 王婉婷,郭劲,姜振华,等.视轴抖动对成像质量影响的研究[J].中国激光,2014,41(4):0409001.
- [5] 李宏壮,韩昌元,马冬梅.航天光学遥感器在轨调制传递函数神经网络评价方法[J].光学学报,2007,27(4):631-637.
- [6] 于洵,宋无汗,王英,等.一种光电系统动态调制传递函数测量方法的研究[J].应用光学,2013,34(6):928-932.
- [7] 王晓燕,闫吉庆,唐义,等.高频振动模糊图像仿真与分析[J].光学技术,2011,3(37):346-350.
- [8] HSU S W, CHANG C Y, CHUNG Z Y, et al. Improved measurement of dynamic modulation transfer functions on display using pursuit camera method based on wavelet-denoising method [J]. Optical Review, 2011, 18 (1): 153-156.
- [9] KONSTANTIN B YUSHKOV, VLADIMIR YA. MOLCHANOV MTF formalism for measurement of spectral resolution of acousto-optical devices with synthesized transmission function[J]. Optics Letters, 2013, 38(18):3578-80.
- [10] 杜言鲁,丁亚林,许永森,等.正弦振动下动态调制传递函数分析与研究[J].光学学报,2015,35(7):119-126.
- [11] 王俊,王家琪,卢镔,等.图像二维运动时光学传递函数计算[J].光学学报,2001,21(5):581-585.
- [12] 钱义先,梁伟,高晓东.高分辨率航空相机动态调制传递函数数值分析[J].光学学报,2009,29(1):192-196.
- [13] 赵妍妍,袁艳,苏丽娟.任意方向匀速直线运动模糊的点扩展函数估计[J].中国激光,2012,39(8):193-199.
- (责任编辑 杨继森)
-
- (上接第 109 页)
- [23] 李智信.卫星自适应传输中的关键技术研究[D].北京:北京理工大学,2014.
- [24] ALVAREZ D M, LOPEZ V R, MOSQUERA C. SNR Estimation for Multilevel Constellations Using Higher-Order Moments in Signal Processing[J]. IEEE Transactions on, 2010, 58(3):1515-1526.
- [25] 许华,王爱粉,杨晓宇.常规数字通信信号信噪比估计综述[J].信号处理,2013(6):723-733.
- [26] TAKEDA D, CHOW Y C P, STRAUCH H. Threshold Controlling Scheme for Adaptive, Modulation and Coding System [J]. in Proc. IEEE PIMRC, 2004(2):1351-1355.
- [27] 薛德友.星地链路通信自适应编码调制技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- [28] 范晨,陈美娅,苏丽君,等.自适应调制编码系统门限调整算法研究[J].北京邮电大学学报,2006(4):49-53.
- [29] 刘勇,周奇,刘盛雄.一种新的基于单片机的滚动编码算法[J].重庆理工大学学报(自然科学),2014(11):98-101.
- (责任编辑 杨继森)