

成像激光雷达中的 MEMS 振镜振动特性研究

曲 杨 王春晖 庞亚军 唐甜甜

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 分析了激光成像雷达系统中的微机电系统(MEMS)振镜的振动特性,对影响 MEMS 振镜角度的关键因素:频率和驱动电压对振动角度的影响进行了实验测量。研究表明,选择 60~200 Hz 要求的扫描频率、60 V 以上的驱动电压可以实现角度相对较大、同时又能满足系统 64~256 s⁻¹分辨率要求。

关键词 成像系统;激光成像雷达;微机电系统;频率;角度

中图分类号 O436 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201434.s111004

Vibration Performance Researching in the MEMS Galvanometer of an Imaging Lidar System

Qu Yang Wang Chunhui Pang Yajun Tang Tiantian

(Institute of Optoelectronics, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract The micro electro mechanical system (MEMS) galvanometer of an imaging lidar system is analyzed, experiment measures the key elements of the vibration performance of MEMS: frequency and driving voltag. The results show that scanning in the frequency of 60~200 Hz and driving voltage below 60 V can make wide angle scanning and satisfy the demand of 64~256 point per second.

Key words imaging systems; imaging lidar; micro electro mechanical system; frequency; angle

OCIS codes 110.6880; 010.3640; 280.3640

1 引 言

三维成像激光雷达是将目标回波的二维信息和距离像合成目标图像的一种成像方法,每一个像素点对应着一组三维坐标,目标的二维信息可以通过二维扫描器件来获得,由于激光雷达具有三维成像能力、抗干扰性能好等优点,在精确制导、目标识别等领域获得了迅速发展。应用在机器人视觉系统中,不仅可以完成探测地形、隐身飞机、潜艇、水雷及目标跟踪等军事任务,在民用方面,可以用于车辆自动驾驶系统,铁路、隧道、涵洞施工中高精密三维测量^[1-2]。传统三维扫描成像激光雷达的工作原理是利用二维机械扫描器件,如旋转多面棱镜、X-Y 二维检流计式扫描振镜等^[3],使激光器发射的激光束

传输到目标区域进行扫描,同时将从目标反射回来的信号传输到光电探测器件上,从而提取目标的距离、方位、轮廓、强度等信息,实现对目标的成像,该扫描方式简单易行,光路容易调节,但是由于步进电机的使用,引入了外部的振动误差,降低了系统的测量精度^[4],另外由于采用的是单元探测器加光机扫描的工作方式,虽然作用距离较远,但存在着成像速度低的问题^[5],其中基于微机电系统(MEMS)技术的变形镜因其体积小、能耗低、响应速度快、集成度高等优势受到了广泛关注^[6-7]。

MEMS 振镜扫描需要高频谐振的支持,实时成像要求的谐振频率可能达到 10⁴ Hz 甚至更高,因此,这就需要用小光斑来实现高频谐振,但小光斑的

收稿日期: 2014-01-15; 收到修改稿日期: 2014-03-13

基金项目: 国家自然科学基金(61078063)

作者简介: 曲 杨(1982—),男,博士研究生,主要从事激光雷达和微弱光电信号检测方面的研究。

E-mail: 14240829@qq.com

导师简介: 王春晖(1965—),男,教授,博士生导师,主要从事激光雷达技术方面的研究。

E-mail: wangchunhui02@sohu.com

劣势在于扫描角度小,仅能达到 $\pm 8^\circ \sim \pm 15^\circ$ 左右,不符合三维成像系统的大视场要求,因此需要扩大MEMS振镜的摆动幅度,即扫描范围^[8]。

目前在MEMS振镜扫描范围上,主要有以下几种解决方法:

1) 采用焦平面阵列技术可以完美解决扫描范围的问题,但是采用焦平面阵列技术的激光雷达不易于小型化、且造价高;

2) 采用性能更优越的MEMS振镜,目前可以实现高频、大视场的MEMS扫描振镜造价太高,且技术并不成熟^[9];

3) 为MEMS振镜添加视场扩展光学系统,这是现在小型化MEMS激光雷达比较可行的方案之一,通过采用在MEMS的入射光路中放置正透镜、在出射光路中放置副透镜的方法,可有效地将MEMS系统的扫描角度从 $\pm 8^\circ \sim \pm 15^\circ$ 扩展至 $\pm 20^\circ \sim \pm 30^\circ$ 左右^[10];

4) 根据MEMS振镜扫描频率与角度的关系,尽可能让工作频率靠近能够进行大角度扫描的频率范围,实现控制MEMS振镜扫描角度的目标。

在本系统方案中,系统拟定的分辨率为 $64 \sim 256 \text{ s}^{-1}$,采用的MEMS是台湾OPUSMicro公司的PE165012型二维MEMS扫描振镜,该振镜直径为 $1.7 \mu\text{m}$,可以同时二维方向上进行扫描。该振镜系统分为独立的振镜和电路驱动板。

2 MEMS振镜扫描角度和扫描频率的关系

在驱动电压固定时,MEMS振镜的扫描频率越大,扫描角度越小。为了对其进行定量分析,进行以下实验,实验原理图如图1所示。

图1中激光光束为He-Ne光,MEMS振镜和观察屏之间的距离为 L ,当MEMS振镜在一维方向上进行扫描时,可以在观察屏上看到一条亮度均匀的红色亮线,通过测量得出此红色亮线的长度为 $2y$,则此时MEMS振镜的扫描角度 2θ ,则

$$y = L \times \tan \theta, \quad (1)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{y}{L}\right), \quad (2)$$

$$2\theta = 2\arctan\left(\frac{y}{L}\right). \quad (3)$$

首先对X轴进行验证实验,MEMS振镜和观察屏之间的距离 $L = 72.5 \text{ cm}$,MEMS振镜的驱动为 80 V 。取不同的X轴的扫描频率 f ,得到不同的亮

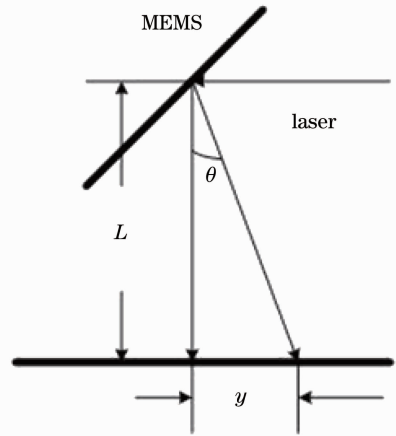


图1 实验原理

Fig. 1 Experimental principle

线长度 $2y$,由(3)式可求出不同的扫描角度 2θ 。具体结果如表1所示。

表1 扫描频率和X轴扫描角度

Table 1 Scan frequency and angle of X axis

Scanning frequency /Hz	$2y / \text{cm}$	Scanning angle / $(^\circ)$
10	8.5	6.7098
15	8.3	6.5522
20	8.2	6.4734
25	8.0	6.5522
30	7.9	6.2371
35	7.8	6.1583
40	7.6	6.0007
45	7.5	5.9219
50	7.4	5.8431
55	7.3	5.7642
60	7.2	5.6854
65	7.1	5.6066
70	7.0	5.5277
75	6.8	5.3700
80	6.7	5.2912
90	6.5	5.1334
100	6.2	4.8968
150	5.1	4.0289
200	3.8	3.0024
250	2.5	1.9755
300	1.8	1.4224
350	0.9	0.7113
400	0.6	0.4742
450	0.4	0.3161
500	0.2	0.2371

由表1可知,当驱动电压为 80 V 时,MEMS振镜的扫描角度和X轴扫描频率之间的关系如图2所示。可以看出,在驱动电压为 80 V 固定时,MEMS振镜的X轴扫描频率越大,扫描角度越小。

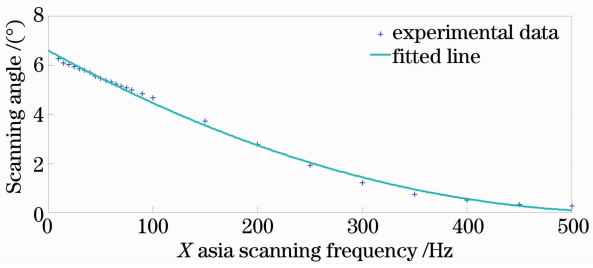


图 2 X 轴扫描频率和扫描角度关系曲线
Fig. 2 Curve of the scan frequency and angle of X axis

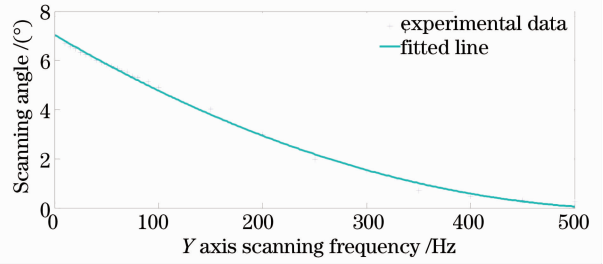


图 3 Y 轴扫描频率和扫描角度关系曲线
Fig. 3 Curve of the scan frequency and angle of Y axis

对于 MEMS 振镜 Y 轴扫描频率和扫描角度关系的实验,原理如图 1 所示,实验过程同 X 轴一样。MEMS 振镜和观察屏之间的距离 $L = 72.5 \text{ cm}$, MEMS 振镜的驱动电压为 80 V 。取不同的 Y 轴的扫描频率 f ,得到不同的亮线长度 $2y$,由(3)式可求出不同的扫描角度 2θ 。具体结果如表 2 所示。

表 2 扫描频率和 Y 轴扫描角度

Table 2 Scan frequency and angle of Y axis

Scanning frequency /Hz	$2y / \text{cm}$	Scanning angle /($^{\circ}$)
10	7.9	6.2371
15	7.7	6.0795
20	7.6	6.0009
25	7.5	5.9219
30	7.4	5.8431
35	7.3	5.7642
40	7.2	5.6854
45	7.0	5.5277
50	6.9	5.4489
55	6.8	5.3700
60	6.7	5.2912
65	6.6	5.2123
70	6.5	5.1334
75	6.4	5.0546
80	6.3	4.9757
90	6.1	4.8179
100	5.9	4.6601
150	4.7	3.7131
200	3.5	2.7655
250	2.4	1.8965
300	1.5	1.1854
350	0.9	0.7113
400	0.6	0.4742
450	0.4	0.3161
500	0.2	0.2371

由表 2 可以作出当驱动电压为 80 V 时, MEMS 振镜 Y 轴扫描频率和扫描角度之间的关系图,如图 3 所示。可以看出,当驱动电压固定时, MEMS 振镜 Y 轴扫描频率越大,扫描角度越小。

3 MEMS 振镜扫描角度和驱动电压的关系

当 MEMS 振镜输入的信号频率固定后,可以通过改变电压的方式来实现对扫描角度的调节。对于 X 轴扫描角度和驱动电压之间的关系,实验原理图如图 1 所示, MEMS 振镜和观察屏之间的距离 $L = 72.5 \text{ cm}$,将 MEMS 振镜的 X 轴扫描频率固定为 $f = 320 \text{ Hz}$ 时,改变驱动电压值,得到不同的亮线长度 $2y$,由(3)式可求出不同的扫描角度 2θ ,结果如表 3 所示。

表 3 驱动电压和 X 轴扫描角度

Table 3 Driving voltage and angle of X axis

Drinving voltage /V	$2y / \text{cm}$	Scanning angle /($^{\circ}$)
10	0.6	0.4742
20	1.1	0.8693
30	1.6	1.2644
40	2.2	1.7385
50	2.7	2.1338
60	3.3	2.6276
70	3.9	3.0814
80	4.3	3.3762
90	4.9	3.8709
100	5.4	4.2655
110	5.9	4.6601
120	6.3	5.0757

由表 3 可以作出当 MEMS 振镜 X 轴扫描频率 $f = 320 \text{ Hz}$ 时, MEMS 振镜 X 轴方向扫描角度和驱动电压之间的关系图,如图 4 所示。

对于 MEMS 振镜信号驱动电压和 Y 轴方向扫描角度的关系实验,原理如图 1 所示,实验过程同 X 轴方向一样, MEMS 振镜和观察屏之间的距离 $L = 72.5 \text{ cm}$,将 MEMS 振镜的 Y 轴扫描频率固定为 $f = 220 \text{ Hz}$ 时,改变驱动电压值,得到不同的亮线长度 $2y$,由(3)式可求出不同的扫描角度 2θ ,具体结果

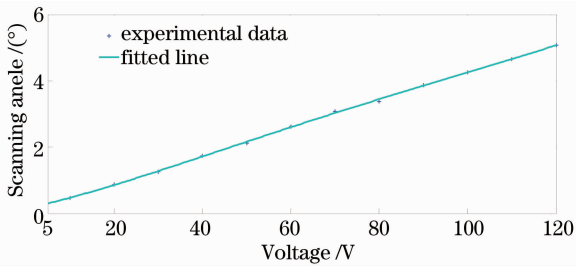


图 4 X 轴驱动电压和扫描角度关系曲线

Fig. 4 Curve of the driving voltage and angle of X axis

如表 4 所示。

表 4 驱动电压和 Y 轴扫描角度

Table 4 Driving voltage and angle of Y axis

Driving voltage /V	2y /cm	Scanning angle / (°)
10	0.7	0.5532
20	1.3	1.0274
30	1.8	1.4224
40	2.5	1.9755
50	3.1	2.4495
60	3.7	2.9568
70	4.3	3.3972
80	4.8	3.7512
90	5.4	4.2656
100	6.1	4.8735
110	6.7	5.2912
120	7.4	5.8642

由表 4 可以作出当 MEMS 振镜 Y 轴扫描频率为 $f=220$ Hz 时, MEMS 振镜 Y 轴方向扫描角度和驱动电压之间的关系图, 如图 5 所示。

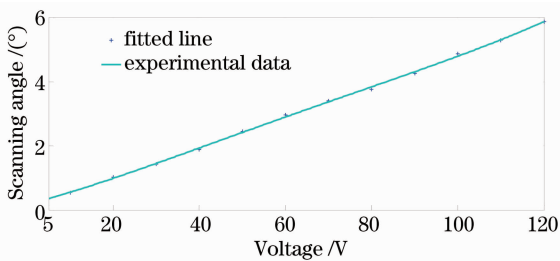


图 5 Y 轴驱动电压和扫描角度关系曲线

Fig. 5 Curve of the driving voltage and angle of Y axis

由以上实验结果可以得出, 通过调节驱动频率和电压可以实现对 MEMS 振镜扫描角度的控制, 应选择扫描角度相对较大、同时又能满足系统最低分辨率要求的扫描频率。通过表格数据可以看出, 选择 60~200 Hz 的扫描频率、60 V 以上的驱动电压可以实现较大、较稳定的扫描。

4 结 论

针对激光三维视觉成像系统中应用的 MEMS, 对特定型号的 MEMS 振镜扫描特性进行了讨论, 并对 MEMS 振镜扫描角度和频率间的关系特性进行了验证, 最终得出通过调节驱动频率和电压可以实现对 MEMS 振镜扫描角度的控制, 选择 60~200 Hz 的扫描频率、60 V 以上的驱动电压可以实现角度相对较大、同时又能满足系统要求的 $64\sim 256$ s⁻¹ 分辨率。

参 考 文 献

- 1 Tan Zhiguo, Lu Min, Guo Yulan, *et al.*. Multi-view point cloud scenes mosaic based on projective distribution entropy [J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(11): 222-229.
谭志国, 鲁敏, 郭欲兰, 等. 基于投影分布熵的多视点三维点云场景拼接方法[J]. 中国激光, 2012, 39(11): 222-229.
- 2 J Lee, Y J Kim, K Lee, *et al.*. Time-of-flight measurement with femtosecond light pulses [J]. Nat Photonics, 2010, 4(10): 716-720.
- 3 K M Morzinski, D T Gavel, A P Norton, *et al.*. Characterizing MEMS deformable mirrors for open-loop operation: high-resolution measurements of thin-plate behavior [C]. SPIE, 2008, 6888: 68880S.
- 4 Wang Chunhui, Ji Yiqin, Gao Long, *et al.*. Optical design of large working area $f\theta$ scanning lens for 2 μ m laser heterodyne interferometry system [J]. Chinese J Lasers, 2011, 38(12): 1216002.
王春晖, 季一勤, 高龙, 等. 2 μ m 激光外差干涉系统中大口径 $f\theta$ 扫描系统的光学设计[J]. 中国激光, 2011, 38(12): 1216002.
- 5 Zhang Yong, Cao Xibin, Wu Long, *et al.*. Experimental research on small scale risley prism scanning imaging laser radar system [J]. Chinese J Lasers, 2013, 40(8): 0814001.
张勇, 曹喜滨, 吴龙, 等. 小面阵块扫描激光成像系统实验研究[J]. 中国激光, 2013, 40(8): 0814001.
- 6 Wang Weimin, Tao Fenggang, Yan Shengmei, *et al.*. Study on a novel segmented micro-deformable mirror with tip-tilt motion [J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(7): 0716002.
汪为民, 陶逢刚, 颜胜美, 等. 新型分立倾斜式微变形镜研究[J]. 中国激光, 2011, 38(7): 0716002.
- 7 Hu Fangrong, Ma Wenying, Wang Weimin. Fabrication of electrostatically actuated MEMS deformable mirror with continuous surface [J]. Chinese J Lasers, 2011, 38(10): 1016001.
胡放荣, 马文英, 汪为民. 静电驱动连续面形微机电系统变形镜的制作[J]. 中国激光, 2011, 38(10): 1016001.
- 8 Dong Guangyan, Liu Zhongjiu. MOEMS microlens technique and its application on lidar [J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2011, 6(1): 36-38.
董光焰, 刘中杰. 光学 MEMS 微镜技术及其在激光雷达中的应用[J]. 中国电子科学研究院学报, 2011, 6(1): 36-38.
- 9 L A Poyneer, D Dillon. MEMS adaptive optics for the Gemini Planet Imager: control methods and validation [C]. SPIE, 2008, 6888: 68880H.
- 10 M Scholles, A Bräuer, K Frommham, *et al.*. Ultracompact laser projection systems based on two-dimensional resonant microscanning mirrors [J]. J Micro/Nanolith MEMS MOEMS, 2008, 7(2): 021001.

栏目编辑: 张浩佳