

# 数码相机防抖技术及检测方法进展

王潇潇\*, 谭山, 黄锋

(广州计量检测技术研究院, 广东广州, 510663)

**摘要:** 本文通过对相关国内外专利及文献的检索, 综述了近年来数码相机防抖技术的进展, 包括机械防抖和数字防抖技术; 同时报道了防抖性能检测技术的最新动态, 提出防抖技术及检测方法领域的发展趋势。

**关键词:** 数码相机; 防抖技术; 减震技术; 防抖检测

中图分类号: TB852.1

DOI:10.16520/j.cnki.1000-8519.2016.21.131

## The development of image stabilization technique and measurement for digital camera

Wang Xiaoxiao\*, Tan Shan, Huang Feng

(Guangzhou institute of measuring and testing technology, Guangdong, Guangzhou, 510663)

**Abstract:** In this paper, the progress of digital camera image stabilization technology including mechanical and digital technique in recent years is reviewed by retrieving relevant domestic and international patents and literature. Also, the latest developments in anti-shake performance testing technique are reported; and the trends of image stabilization technology and testing methods in the field are proposed.

**Keywords:** digital camera; image stabilization technology; vibration reduction; measurement for anti-shake

### 0 前言

在摄影实践中, 无论是数码相机或传统的胶片相机, 拍摄者的抖动均会造成影像模糊。医学上, 这种发生在所有健康个体中有节奏的、不自觉的肌肉收缩现象, 称为生理震颤。该种生理现象人类无法克服, 因此, 为了得到更优质的影像效果, 实现最大程度的影像还原, 摄影产品的防抖技术应运而生。随着数码影像技术的不断发展, 数码相机日益轻便化、小型化、模块化, 加之数码相机消费市场的迅速扩大, 使得拍摄者越来越向大众化方向发展, 因此, 在数码相机中应用防抖技术成为一种趋势, 而对于防抖技术的不断优化与创新随之成为当今数码影像界的研发热点。各国相关企业及研究机构为此做了许多有意义的工作, 由于该领域的技术发展可以影响市场取向, 产生直接的经济利益, 因此数码相机的防抖技术多以专利的形式出现。李晶等人检索了2012年6月以前在中国申请的相机防抖技术专利文献, 主要从专利分布角度介绍这一领域中国专利的现状和发展趋势, 总结出相机防抖技术专利的特征。本文鉴于该领域的国际化特点, 通过国内外相关期刊文献及专利文献的分析, 从技术角度综述了数码相机防抖技术的进展, 并对数码相机防抖性能检测技术的最新动态进行了报道。

### 1 数码相机防抖技术进展

各个厂家开发的防抖系统和方法多种多样, 总结起来主要分为机械防抖系统和数字防抖系统两类。机械防抖(又称光学防抖)又可分为镜头防抖和传感器防抖。镜头防抖是在镜头中设置防抖补偿镜组, 根据相机的抖动方向和程度, 调整镜组位置和角度, 使光路保持稳定。传感器防抖是依靠移动成像传感器来补偿抖动造成的光轴偏移, 是一类新颖的机械防抖方式。对于数字防抖系统, 有厂商采用提高ISO的方式, 使快门可以在感受抖动之前完成拍摄, 此种机制会带来更高的噪点, 且不属于严格意义上的相机防

抖机制, 因此, 本文中的数字防抖系统主要指算法补偿防抖技术。

#### 1.1 机械防抖(光学防抖)系统

尼康公司1994年推出的VR(Vibration Reduction)防抖技术袖珍相机和第二年佳能推出的IS(Image Stabilizer)防抖系统镜头, 是业界公认的全球开发最早、影响力最为广泛的两大光学防抖系统, 其原理都是利用镜头中浮动镜片纠正“光轴偏移”, 由检测部分、补偿振动镜片组和驱动控制部分组成, 镜头中的陀螺仪(角速度传感器)检测到镜头光轴的晃动, 数据经过微处理器的运算, 实时修正镜头内部的镜片位置, 有效减少外部振动对最终相机成像造成的影响。此种方案可从取景器中直接观察防抖效果, 从而获得清晰的影像。柯尼卡美能达研发的CCD AS(AntiShake)技术, 是通过对成像传感元件进行机械支架浮移处理以补偿振动, 是传感器防抖技术的代表。为了使机械防抖系统的响应时间更短, 体积更小, 图像还原更准确, 成本更低, 各制造商及科研机构在驱动器的开发、运动传感器的研制、控制电路的设计, 透镜组的布置, 处理算法的优化等众多方面做了大量的工作。

##### 1.1.1 光学元件驱动器

光学元件(包括棱镜组和光学传感器)的驱动有多种方式, 主要有音圈马达(VCM)和压电(PZT)驱动器等。Yu HC等人报道了用于机械光学防抖系统的VCM驱动棱镜装置。该装置为四个球轴承的对称结构, 其双轴稳定时间小于0.03 s, 增加的推力球轴承减少了移动部件与固定部件的摩擦力, 使驱动电流小于5 mA, 图1为系统设置示意图。Yeom等人研究了基于CCD移动的光学防抖驱动器装置, 该装置为四个球轴承的非对称VCM结构。Song等人利用调整棱镜组原理, 采用柔性运动机制, 将音圈驱动光学防抖器应用于移动电话成像模组中。Kim等人研究了由四个球轴承和一个枢轴轴承组合的混合VCM光学防抖驱动器, 其半径

国家质量监督检验检疫总局科技计划项目(2014QK057)资助

方向和切线方向的交流灵敏度分别为 1.91 G/V 和 2.17 G/V。Richard J. Topliss 等人在 2015 年授权的专利中,公开了基于 VCM 的棱镜模组,该模组既包含了可双向调节镜头的 OIS 系统,又融合了可三维调节的自动对焦功能,可用于小型化的手机拍摄模组。

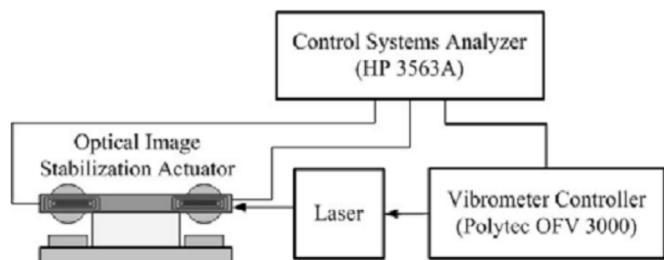


图 1 系统设置示意图

音圈马达驱动器产生响应的驱动电压较低,成本低廉,近年来在光学防抖领域受到关注。而压电(PZT)驱动器在响应时间、可靠性及体积上的优势,也吸引了众多研究者的目光。Kauhanen 和 Rouvinen 等人研究了双压电晶片弯曲制动器在移动电话光学防抖模块中的应用。Hyun Phill Ko 等人在美国专利 US8405921 中公开了一种压电致动器,其能够简化镜筒的致动机构,并通过改变压电驱动器的设计提高动作的可靠性。柯尼卡美能达的 CCD 防抖系统(Anti-shake System)中也采用了压电制动的方式。图 2 是美能达压电制动器的原理图。多个压电驱动器序列(图 2-31)附着在具有移动滑块(图 2-4a)的横杆(图 2-32)上。成像传感器置于滑块上,压电单元的膨胀与收缩实现了 CCD 在横杆上的移动。

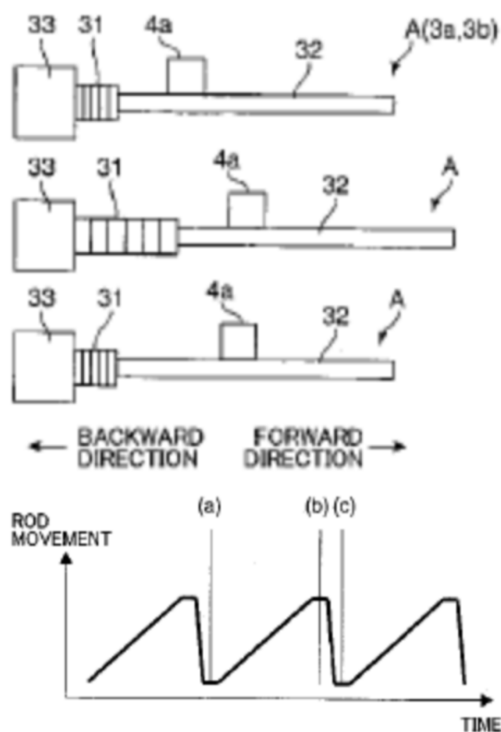


图 2 美能达压电制动器原理图

### 1.1.2 运动感测元件

MEMS(Micro Electro-Mechanical Systems)技术及光刻技术的发展实现了陀螺仪和加速度计两种惯性传感器的小型化和经济化,使其成为数码相机及手机摄影模组抖动探测的重要部

件。对于陀螺仪的小型化,另一个重要原因是振动陀螺仪技术的产生,其无需机械轴承支持,由振动元件代替转子,大大节省了空间,使防抖系统在小型相机甚至手机上的应用成为可能。Analog Devices Inc. 公司推出的 ADXRS 系列集成角速度传感陀螺仪,将振动单元联接于多晶硅框架上,使其仅能对一个方向产生共振。硅电容式传感器与固定硅束相互交叉于基质上,用以测试振动单元及其框架的科里奥利位移,其外观如图 3 所示,可以满足 2 轴和 3 轴的应用需求,灵敏度达到  $0.018^\circ / s / LSB$ 。韩国首尔国立大学 2000 年研制的基于体-表混合工艺的单晶硅陀螺仪,其厚度为  $40 \mu m$ ,分辨率为  $9^\circ \text{ hr}^{-1} \text{ Hz}^{-1} / 2$ 。卡耐基梅隆大学(CMU)报道的基于 post-CMOS 工艺的 MEMS 陀螺仪利用 CMOS 斩波稳定技术,分辨率达到  $0.02^\circ \text{ s}^{-1} \text{ Hz}^{-1} / 2$ 。He G 等人开发的基于体硅加工工艺的振动环型单晶硅陀螺仪,厚度为  $150 \mu m$ ,其分辨率达到  $10.4^\circ \text{ hr}^{-1} \text{ Hz}^{-1} / 2$ 。我国清华大学、北京大学、中科院微系统所等院校及科研单位也相继展开了 MEMS 微陀螺仪技术的研发工作。清华大学导航与控制研究组的陀螺仪高精度静电技术,使姿态漂移仅为每小时万分之五。虽然目前图像稳定系统中运动检测以使用 MEMS 陀螺仪为主流,但在特定的情况下采用 MEMS 加速度计也是一种有效的解决方案。根据原理不同 MEMS 加速度传感器主要分为电容式、压阻式、压电式、隧道电流式和热对流式等。目前市场上商业化的加速度计主要是采用压阻式、电容式和热对流式。日系厂商主要采用压阻式技术,ADI、ST 等欧美厂商则采用电容式技术,对流式的代表厂商则为 MEMSIC。

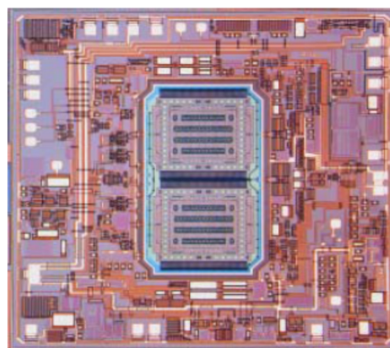
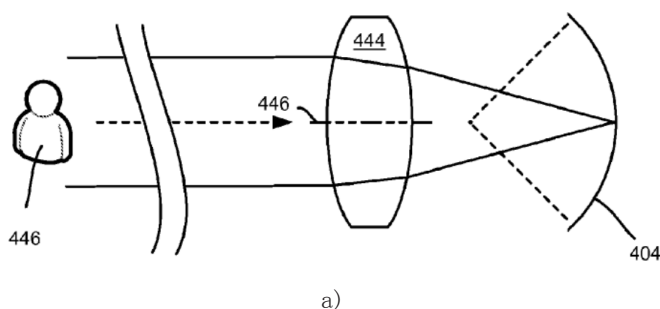


图 3 ADI 公司 iMEMS ADXRS 角速度陀螺仪外观图

### 1.1.3 感光元件及光路

2014 年, Brian K. Guenter 等人在曲面传感器上增加防抖功能的摄影模组获得专利授权。2012 年以来,包括索尼、柯尼卡美能达、东芝等厂家相继推出了曲面传感器的相关专利。曲面传感器的出现,最直接的优势是解决了广角镜头畸变和边缘分辨率不足的问题,降低了镜头设计和制造的难度,同时,镜头结构的简化也为摄影模组的进一步小型化、轻薄化提供了契机。基于曲面传感器的防抖功能,其主要设计思路是陀螺仪检测到相机运动数据,控制器使曲面传感器绕其曲率中心做旋转,在一个或多个方向补偿相机的抖动,原理示意图见图 4。



a)

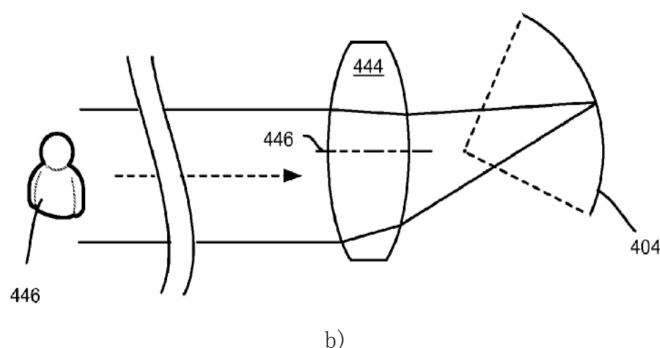


图4 根据相机抖动方向曲面传感器进行旋转补偿的示例图

## 1.2 数字防抖系统

数字防抖就是根据相机抖动的情况,在数据取样和图像合成时,通过软件计算的方式来弥补抖动所带来的影响。数字图像稳定技术(也称数字防抖)可通过两个阶段得以实现:运动评估、运动补偿。各种方案的创新均源自这两个阶段的不同处理算法。目前运动评估主要包括基于特征的方法和基于像素的方法。特征提取法的运算速度虽然比直接像素法快,但该方法更倾向于局部特征的辨识,其运算效率取决于特征点的选取,因此其在无意识的抖动应用中具有局限性。由于直接像素法测量的是每个像素的贡献,因此它可以得到运动评估的最优化信息。为了克服运算速度的缺陷,可采用基于图像金字塔的分层技术或者图像函数的泰勒级数展开法作为全像素分析的替代法。运动补偿是通过动态评估单元提供的动态参数进行影像的行、列重组,从而实现稳定影像的过程。利用最小绝对差(MAD)或最小平方差(MSE)的全搜索(FS) 页框匹配法(Frame matching)是当前较为有效的运动补偿算法,但此类方法运算量大,往往需要强力的处理核心来实现。

## 2 数码相机防抖检测技术进展

在数码相机防抖技术不断发展的背景下,防抖检测技术的研究显得不甚突出。但为了满足研发需求及产品检测需要,部分科研院所、检测机构及企业对数码相机防抖性能检测技术也进行了不同程度的研究。科隆大学的图像科学与媒体技术系,针对拍摄者的抖动评价和相机防抖性能检测做了较为系统的研究。他们选择年龄在17-35岁的健康个体,对单反相机和消费相机(包括液晶取景拍摄和光学取景器拍摄)进行拍摄,测试抖动幅度,结果如图5所示。因此其随后研究的防抖测试仪振幅上限被设定为 $0.6^{\circ}$ 。

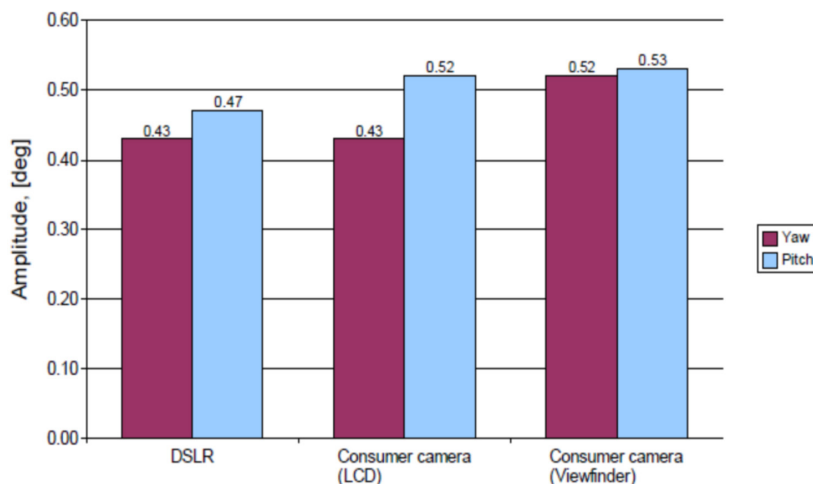


图5 测得最大振幅的平均值示意图

对于手持相机的抖动频率,有文献报道其活跃峰值在8-12Hz。松下公司的测试结果表明,抖动频率与振幅具有相关性,手部抖动的频率越高,其振幅越小(见图6)。Ricoh等人也得到了同样的结果,这说明低、中频率的抖动对影像清晰度的影响更为明显。因此,目前防抖检测装置振动频率的设置上限一般不超过15Hz。

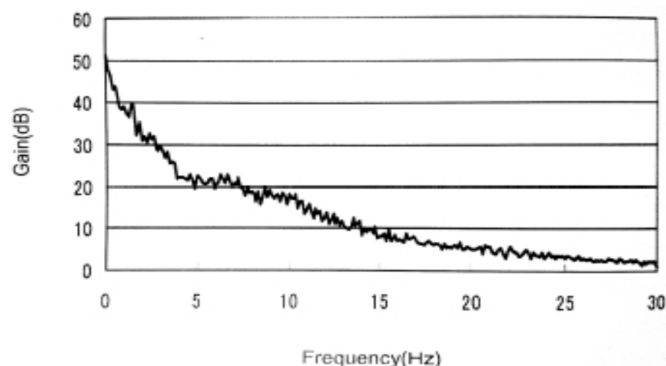


图6 图像抖动频率分析结果示意图

Borys Golik等人研制的防抖检测装置(振动部件如图7所示),其框架由水平和垂直方向的两个旋转轴组成。分别在固定频率不同振幅(10Hz- $0.1^{\circ}$ 、 $0.2^{\circ}$ 、 $0.3^{\circ}$ 、 $0.4^{\circ}$ 、 $0.5^{\circ}$ )及固定振幅不同频率下( $0.2^{\circ}$ -1Hz、3Hz、5Hz、8Hz、10Hz、13Hz、15Hz),数码相机对分辨率测试图进行拍摄,通过分析所得图像的MTF值得出该相机的防抖性能。

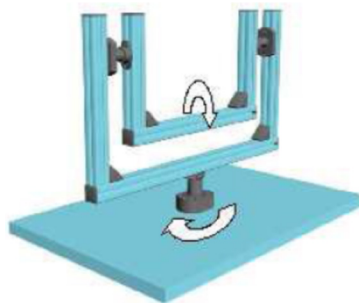


图7 防抖检测装置振动部分

目前,国内对防抖性能检测的研究并不多见,但2013年发布的GB/T 29298-2012《数字(码)照相机通用规范》首次将防抖性能列入检测规范。规范规定的检测设备包括:ISO12233规定



的视觉分辨率测试卡、振动装置及配置图像处理软件的计算机。其中振动装置的频率及振幅分别设定为 5 Hz 和  $\pm 0.1^\circ$ ，在此条件下，数码相机对分辨率测试图进行拍摄，通过图像分析最终得到防抖性能的评价。

### 3 结语

数码相机的防抖技术在光路补偿和 CCD 移动补偿的思路下，一直没有新突破。但在材料科学的推动下，微电子技术不断发展，使得机械防抖技术在器件的集成化、小型化、稳定性、经济性方面产生了飞跃。目前的防抖技术不仅仅只应用于高端相机，普通的消费级相机也具备了光学防抖功能，甚至具有摄影模组的移动电话也开始运用光学防抖技术。因此，防抖元件的经济化、小型化成为目前研究的热点。而由于数字防抖技术对硬件开发的依赖性较小，也吸引了许多研究者的目光，期望随着运算速度的不断提升、算法的不断开发优化，可将该技术由动态影像防抖逐步向静态影像防抖领域发展。

防抖检测技术的研究对防抖技术发展、产品性能优化具有推动作用。当前的技术集中在依托振动设备测试相机分辨率的方案上。其中设定合理的振动频率及振幅成为评估相机防抖性能的前提，研制多方向多模式的振动机制成为防抖检测技术的关键。

### 参考文献

- [1] 李晶, 李婉怡, 卢浩; 相机防抖技术的专利分析 [J]; 电视技术; 2012, 36(S2), 64-66.
- [2] Yu HC, Liu TS; Design of a slim optical image stabilization actuator for mobile phone cameras[J]; Phys Status Solidi; 2007 C 4(12): 4647 - 4650.
- [3] Yeom DH; Optical image stabilizer for digital photographing apparatus[J]; IEEE Trans Consumer Electron; 2009 55(3):1028 - 1031.
- [4] Song MG, Hur YJ, Park NC, Park YP, Park KS, Lim SC, Park JH; Development of small sized actuator for optical image stabilization. IEEE Trans Magn; 2009 (7):152 - 157
- [5] Song MG, Baek HW, Park NC, Park YP, Park KS, Lim SC; Development of small sized actuator with compliant mechanism for optical image stabilization. IEEE Trans Magn; 2010, 46(6):2369 - 2371
- [6] Kim C, Song MG, Park NC, Park YP, Park KS, Song DY; Design of a hybrid optical image stabilization actuator to compensate for hand trembling; Microsyst Technol; 2011, 17(5):971-981
- [7] Richard J.Topliss; VCM OIS actuator module; US 9134503B2[P], 2015.9.15.
- [8] Kauhanen P, Rouvinen J; Actuator for miniature optical image stabilizer[J]; In: IEEE trans magnetics, 10th international conference on new actuators(2006), pp 549 - 552
- [9] Hyun Phill Ko; Won Seob Oh, Jae Hyuk Park; Piezo actuator and lens actuating module using the same; US:8405921 [P], 2013.3.26.
- [10] Hirota Toshihiko, Tanaka Yoshiharu; Camera with shake correction mechanism; US: 7471886[P], 2008.12.30.
- [11] Geen John A.; Micromachined gyroscope; US 6877374[P], 2005.4.12
- [12] Geen John A., Carow Donald W.; Micromachined gyros; US 6122961[P], 2000.9.26
- [13] Geen John A.; Feedback mechanism for rate gyroscopes; US 6470748[P], 2002.10.29.
- [14] Geen John A.; Apparatus and method for calibrating MEMS inertial sensors; US 8701459[P], 2014.4.22
- [15] Lee S, Park S, Kim J, et al. Surface/bulk micromachined single-crystalline -silicon micro-gyroscope[J]. IEEE/ASME Journal of Microelectromechanical Systems, 2000, 9(4):557-567
- [16] Luo H, Zhu X, Lakdawala H, et al. A copper CMOS-MEMS z-axis gyroscope[C]. The 15th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, 2002. 631-634
- [17] He G, Najafi K. A single crystal silicon vibrating ring gyroscope[C]. 15th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, 2002. 718-721
- [18] 杨海军, 滕云鹤, 郭美凤, 等. 环形激光陀螺仪的机械抖动控制及信号读出的研究 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 1998, 38(11):33-35.
- [19] 苏小波, 振动环型 MEMS 陀螺仪的研究与相关设计 [D], 无锡: 江南大学; 2011.
- [20] Geen, J., Krakauer, D.; New iMEMS Angular-Rate-Sensing Gyroscope [EB/OL]; [2003.3][2014.6]; <http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/37-03/gyro.html>
- [21] Brian K.Guenter, Redmond, WA(US); Neel S. Joshi, Seattle, WA(US); Anti-shake correction system for curved optical sensor; US 8699868 B1[P], 2014.4.15.
- [22] Itonaga Soichir; Solid-state imaging device and electronic equipment; JP, 2012-182194 A [P].
- [23] Suzuki Kazuhiro, Ueno Risako, Kwon Honam, Kobayashi Mitsuyoshi, Funaki Hideyuki; Solid state imageing device, solid state imaging element, and method for manufacturing solid state imaging element; JP 2013-084880,A[P].
- [24] Sato Masae, Ozaki Yuichi; Image pickup lens and image pickup apparatus; JP, 2013-025202,A[P].
- [25] Golik B; Development of a test method for image stabilization systems[D]; Diploma Thesis at the Cologne University of Applied Sciences(2006).
- [26] Borys Golik, Dietmar Wueller; Measurement Method for Image Stabilizing Systems[J]; SPIE-IS&T; 2007(6502), 650200.1-650200.10.
- [27] H. Kusaka, Y. Tsuchida, and T. Shimohata; Control technology for optical image stabilization[J]; SMPTE Journal, 2002(111), pp. 609 - 615.
- [28] T. Kitazawa et al.; Imaging Apparatus, and Method and Device for Shake Correction in Imaging Apparatus; United States Patent Application No. 20020163581; 2002.11.7.