

文章编号 1004-924X(2009)08-2017-07

CMOS 图像传感器中卷帘式快门特性及其应用

刘 智^{1,2}, 柴 华¹, 李娜娜^{1,3}

(1. 长春理工大学, 吉林 长春 130022; 2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022;
3. 中国科学院 光电研究院, 北京 100080)

摘要:结合 CMOS 图像传感器研究了 CMOS 图像传感器卷帘式快门的具体应用。介绍了卷帘式快门的特点和工作原理,分析了具有卷帘式快门的 CMOS 图像传感器的成像特性,并对其进行了成像实验。探讨了一种利用卷帘式快门相机拍摄的单精度视图来计算高速物体在三维空间中的位姿和速度的新方法。最后,提出了一个运动目标的透视投影模型,讨论了估计目标位姿和速度的方法。实验结果表明:具有卷帘式快门的 CMOS 图像传感器对运动物体成像时会产生一定程度的畸变,畸变的程度与积分时间等传感器参数的设置有关。在误差最小化的情况下得到了运动物体的位姿和速度参数,计算误差在 2.5% 以内,测量精度为 0.01 rad/s。对实验结果的分析证明了方法的可行性。这种计算方法能够使得低价格、低耗能的 CMOS 相机转化为一种新的速度传感器。

关键词: CMOS 图像传感器; 卷帘式快门; 全局快门; 相机标定

中图分类号: TP212.9 **文献标识码:** A

Shutter mode of CMOS image sensor and its application

LIU Zhi^{1,2}, CHAI Hua¹, LI Na-na^{1,3}

(1. *Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;*
2. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun 130022, China;*
3. *Photo-Electronic Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

Abstract: In order to research the specific applications of a CMOS image sensor with a rolling shutter, this paper researches the specific CMOS image sensor. Firstly, the principle and characteristics of the global shutter and rolling shutter of the CMOS imager are introduced, and the impact of the rolling shutter on measurement precision of the imaging system is analyzed. An imaging experiment is taken to analyze the rolling shutter. Then, a new method for computing instantaneously 3D poses and velocities of fast moving objects is presented by using a single view. Finally, a general perspective projection model of a moving 3D point is presented, and a method to estimate the pose and velocity is discussed. Experimental results indicate that distortion appears when moving objects are imaged by the CMOS imager, and the degree of distortion has close relations with some parameters of CMOS imager such as integration. Moreover, the post and velocity parameters of a motion object can be obtained which shows in the case of minimizing errors. The calculation error is under 2.5% and the measure-

收稿日期:2008-09-24; 修订日期:2009-10-24.

基金项目:吉林省教育厅科技计划项目;吉教科合字[2006 第 21 号]

ment accuracy is 0.01 rad/s. After analysis, the experimental results have proved that not only the approach is practicable but also it can transform a low cost and low power CMOS camera into a new velocity sensor.

Key words: CMOS image sensor; rolling shutter; global shutter; camera calibration

1 引言

在机器人、自动监控、交通以及气象等技术领域,得到一张无失真、无虚点的图像是十分重要的。为了达到这些要求,需要用到图像传感器,而且这种图像传感器要在很短的时间内能够同步曝光出所有的像素。

标准的 CMOS 图像传感器是一种价格低、功耗低的传感器,因而越来越广泛地应用于各种数码相机及成像测量系统中。常见的 CMOS 图像传感器有全局式快门和卷帘式快门两种工作方式。在卷帘式快门方式下工作的 CMOS 图像传感器的缺点是对运动物体成像发生失真,因为它不能使像面上的所有像素同时曝光,而是在时间上有延迟地一排一排的曝光。这种失真在重建或对高速运动物体的成像检测任务中是一种主要的阻碍。因此,如果不考虑变形问题的话,CMOS 卷帘式快门照相机在价格和帧频之间可提供一种更好的折衷。

众所周知,在有关图像计算方法的文献中,既没有关于利用卷帘式快门恢复物体的位移的计算方法,也没有关于用单精度视图来计算速度参数的方法。所有的位移恢复方法都是假设所有图像传感器的像素是同时曝光的。本文试图从应用角度,对 CMOS 图像传感器卷帘式快门的工作原理和应用技术进行简单的介绍和分析,并结合具体的 CMOS 图像传感器和成像实验结果进行讨论。

2 CMOS 图像传感器的卷帘式快门原理

CMOS 图像传感器中的卷帘式快门与胶片式像机中的机械式焦平面快门有相似的工作原理(有时把卷帘式快门称作电子焦平面快门)。机械

式帘布快门由两片在胶卷前方移动的帘布产生一个宽度可调的缝隙。帘布移动的速度是一定的,曝光时间由释放第一块帘布到释放第二块帘布之间的时间来控制。缝隙的宽度决定了胶片上任何一点的曝光时间。类似地,复位电压同时加在感光像元阵列中的一些行上。某一行的预充电压一旦关闭,曝光过程就开始了。在阵列读出时间的某一时刻,该行被读出,曝光就结束了。通过改变处于复位状态的像素行的数目就可以改变曝光时间。

图 1 中 Reset 所指的一行像素是处于复位状态的一个复位行,马上就要进入复位状态,随着行地址选通信号的变化,下面的各行像素逐渐依次结束复位状态,进入光积分过程,图 1 中所示的每行像素的积分时间约为 5 个行周期。处于光积分的像素行始终保持一定的数量。具有卷帘式快门

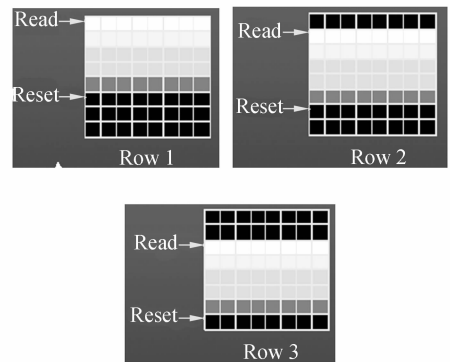
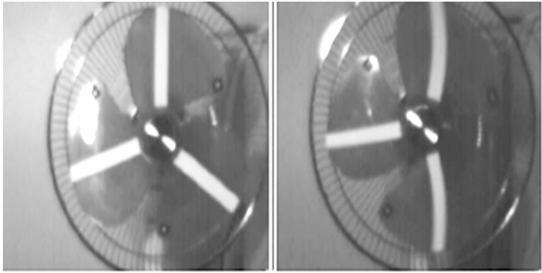


图 1 卷帘式快门的工作原理

Fig. 1 Working principle of rolling shutter

的 CMOS 图像传感器曝光时,就像是被自上向下移动的两个帘子遮挡一样,处于两个帘子之间缝隙处的像元(Read 与 Reset 之间的几行)处于光积分状态,上面的帘子下面(Read 所指的行)就是当前正在被读出的像元行。处于积分状态的像素行数,也即像素的积分时间可以通过 CMOS 图像传感器的控制总线(通常是 I²C 总线)来进行调整^[1]。

由于运动物体的运动特性与卷帘式快门工作方式的原因,图像传感器的积分部分在图像传感器的像面上移动需要一段时间,因此对于一些移动的人造物品来说,在成像时可能会产生各种各样的变形,如图 2 所示。



(a) 静态物体 (b) 动态物体
(a) Static object (b) Moving object

图 2 卷帘快门照相机拍摄的风扇失真的事例图
Fig. 2 An example of distortion of a rotating ventilator observed with a rolling shutter camera

3 卷帘式快门的应用

3.1 卷帘式快门对图像的影响因素

根据前面的介绍,卷帘式快门对运动物体成像时的影响是存在的,如果成像物体在与 CMOS 图像传感器行扫描相垂直的方向上有运动分量,则扫描得到的图像将会出现失真,失真的严重与否取决于物体移动的快慢程度和 CMOS 图像传感器每行像素的积分时间。

物体的运动方向与卷帘式快门运动的方向不同时,所成的物体像就会有不同的变化。运动方向相同或相反时,物体像就会变长或者变短;当两者成一定角度时,所成的像就会有一定的倾斜角度。物体运动速度一定,帧频一定,则曝光周期越长,所成图像变形越严重。

3.2 透视投影模型及其应用

针孔照相机的内部参数定义为

$$\mathbf{k} = \begin{bmatrix} \alpha_u & 0 & u_0 \\ 0 & \alpha_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

令 $\mathbf{P}=[X, Y, Z]^T$ 为物体帧的三维坐标, \mathbf{R} 和 \mathbf{T} 分别是物体和相机图片之间的转动矩阵和平移矢量,令 $\mathbf{m}=[u, v]^T$ 是 \mathbf{P} 在图像上的投影,令 $\tilde{\mathbf{m}} =$

$[\mathbf{m}^T, 1]^T, \tilde{\mathbf{P}}=[\mathbf{P}^T, 1]^T$, 则 \mathbf{P} 与 \mathbf{m} 间的关系为:

$$\tilde{\mathbf{m}} = k[\mathbf{R} \quad \mathbf{T}]\tilde{\mathbf{P}}, \quad (2)$$

其中, s 是随机比例因子,注意到在此并未出现透镜失真参数,但在校准过程中会获得,而且在纠正图像数据中应把它考虑进去。

假设,已知一个物体 $\mathbf{P}_i = [X_i, Y_i, Z_i]^T$ 的角速度和线速度分别是 $\boldsymbol{\Omega} = [\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z]^T, \mathbf{V} = [V_x, V_y, V_z]^T$, 在 t_0 时刻被卷帘快门照相机拍摄下来, t_0 表示传感器的最顶部受光的瞬时时刻,从 \mathbf{P}_i 发出的光在延迟时间 T_i 内被拍摄,如图 3 所示, T_i 是 \mathbf{P}_i 发出的光线所必须的一个曝光时间,因此,为了得到 \mathbf{P}_i 的映射 $\mathbf{m}_i = [u_i, v_i]^T$, 物体的位移参数必须在 T_i 时间内由公式(2)纠正过来,因为所有的行都有着相同的曝光和积分时间,我们可以令 $\tau_i = \tau v_i$, τ 是两个图像行曝光的时间间隔,因此 $\tau = \frac{f_p}{v_{\max}}$, 其中 f_p 是帧周期, v_{\max} 是图像的高度,

假设 τ_i 非常小,则公式(2)可以被写成

$$\tilde{\mathbf{m}}_i = k[(\mathbf{I} + \tau v_i \hat{\boldsymbol{\Omega}})[\mathbf{R} \quad \mathbf{T}] + \tau v_i \mathbf{V}]\tilde{\mathbf{P}}_i. \quad (3)$$

其中的 \mathbf{R} 和 \mathbf{T} 表示物体在 t_0 时刻的旋转和平移矩阵瞬时值, $\hat{\boldsymbol{\Omega}}$ 是矢量 $\boldsymbol{\Omega}$ 的反对称矩阵, \mathbf{I} 是 3×3 单位矩阵,公式(3)是由卷帘快门照相机所拍摄的物体的三维空间中的位移、速度和参数 τ 的表达式,在方程的两边都包含了未知数 v_i , 这是因为图像中映射点的坐标不仅取决于物体的运动也取决于图像传感器的扫描时间。此方程可以把 v_i 作为中间变量来求解,通过对 v_i 的代入便可得到 u_i 。

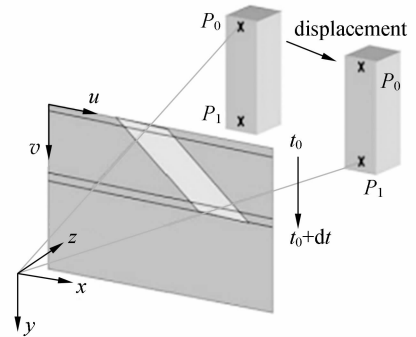


图 3 运动物体在三维空间上的投影;主要取决于时间间隔, P_0 和 P_1 不能在同一个位置上被映射
Fig. 3 Perspective projection of a moving 3D object; depending on the time delay, points P_0 and P_1 can not be projected from the same object pose

3.3 计算运动物体的瞬时位移和速度

在这一部分,我们假设将运动物体的三维空间坐标 \mathbf{P}_i 映射为由卷帘快门照相机所拍摄的二维空间中的 \mathbf{m}_i , 我们想利用由三维映射到二维的方法来计算物体在 t_0 时刻的位移和速度, 公式(3)中的比例因子可以由下面的式子得出:

$$\begin{cases} u_i = \alpha_u \frac{(\mathbf{R}_1 + \tau v_i \hat{\mathbf{\Omega}}_1) \mathbf{P}_i + T_x + \tau v_i V_x}{(\mathbf{R}_3 + \tau v_i \hat{\mathbf{\Omega}}_3) \mathbf{P}_i + T_z + \tau v_i V_z} + u_0 = \xi_i^{(u)}(\mathbf{R}, \mathbf{T}, \mathbf{\Omega}, \mathbf{V}) \\ v_i = \alpha_v \frac{(\mathbf{R}_2 + \tau v_i \hat{\mathbf{\Omega}}_2) \mathbf{P}_i + T_x + \tau v_i V_x}{(\mathbf{R}_3 + \tau v_i \hat{\mathbf{\Omega}}_3) \mathbf{P}_i + T_z + \tau v_i V_z} + v_0 = \xi_i^{(v)}(\mathbf{R}, \mathbf{T}, \mathbf{\Omega}, \mathbf{V}) \end{cases}, \quad (4)$$

式中的 \mathbf{R}_i 和 $\hat{\mathbf{\Omega}}_i$ 分别表示 \mathbf{R} 和 $\mathbf{\Omega}$ 的第 i 行, 左边减去右边, 并且将 u_i 和 v_i 代入, 则方程可以被看成是关于位移和速度参数的误差函数:

$$\begin{cases} u_i - \xi_i^{(u)}(\mathbf{R}, \mathbf{T}, \mathbf{\Omega}, \mathbf{V}) = \varepsilon_i^{(u)} \\ v_i - \xi_i^{(v)}(\mathbf{R}, \mathbf{T}, \mathbf{\Omega}, \mathbf{V}) = \varepsilon_i^{(v)} \end{cases}.$$

我们应得出 $(\mathbf{R}, \mathbf{T}, \mathbf{\Omega}, \mathbf{V})$ 误差函数的最小值如下:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n [u_i - \xi_i^{(u)}(\mathbf{R}, \mathbf{T}, \mathbf{\Omega}, \mathbf{V})]^2 + [v_i - \xi_i^{(v)}(\mathbf{R}, \mathbf{T}, \mathbf{\Omega}, \mathbf{V})]^2. \quad (5)$$

$$T_{\text{曝光时间}} = \frac{[(\text{CLK}[5:0] + 1) \times 2] \times 858 \times \text{EC}[7:0] \times 2}{F_{\text{CLK}}} = 858 \times T_{\text{像素时钟}} \times \text{EC}[7:0] \times 2, \quad (6)$$

式中, F_{CLK} 是 CMOS 图像传感器的外接晶振频率, $\text{CLK}[5:0]$ 是时钟分频寄存器的低 6 位, $\text{EC}[7:0]$ 是曝光控制寄存器的取值。

在前面分析的基础上, 本小节对一个比较典型的实验例子即以交流电(50 Hz)为电源的光源(如日光灯)及被日光灯照射的物体成像进行讨论。实验是在自行研制的 CMOS 实验数字相机的基础上进行的, 该数字相机以 OmniVision 公司生产的 OV7620 CMOS 图像传感器为核心, 可通过 USB 接口向计算机传送数字图像数据。

图 4 是 CMOS 图像传感器在卷帘式快门方式下直接对日光灯成像(无光学系统)时所获得的图像, 4 张图片对应的时钟预分频器设置分别为 1、2、3 和 4, 系统时钟为 27 MHz。图中的栅格是由工频交流电的周期与卷帘式快门共同作用的结果。我国市电的频率是 50 Hz, 也就是说, 在 1 s 的时间里, 电压要完成从零到最大值再到零再到

这种带有 12 个未知数的方程, 在得到至少 6 个有效数的情况下, 可以用最佳非线性最小二乘法来求解。这可以被看作是一个带有校准照相机的光束纠正器, 注意到, 在我们的计算中, 旋转矢量 \mathbf{R} 常用单位四元 $q(\mathbf{R})$ 来代替, 因此, 我们可以令 $q(\mathbf{R}) = 1$, 并将其看成是一个已知方程, 很明显, 这种非线性的算法只能用于求解初始解并用其来趋近于它的准确解。

4 实验及其结果分析

4.1 测量交流电频率实验

影响卷帘式快门工作特性的参数主要有每行像素的曝光时间、图像传输帧频等。这里我们以采用卷帘式快门的 OV7620 型 CMOS 图像传感器为例进行分析。OV7620 是 OmniVision 公司生产的一种符合 NTSC 电视标准的 CMOS 图像传感器, 其像元阵列为 640×480 (VGA 格式), 最小成像照度 1 lx, 直接 8 bit 灰度数字图像数据输出, 帧频 ≤ 30 frame^[2]。

OV7620 图像传感器曝光时间与时钟分频参数之间的关系如下:

反方向的最大值再从反方向的最大值回到零这样一个过程 50 次, 每一次为一个周期, 一个周期的时间是 $1/50 = 0.02$ s, 变化的曲线可用一正弦曲

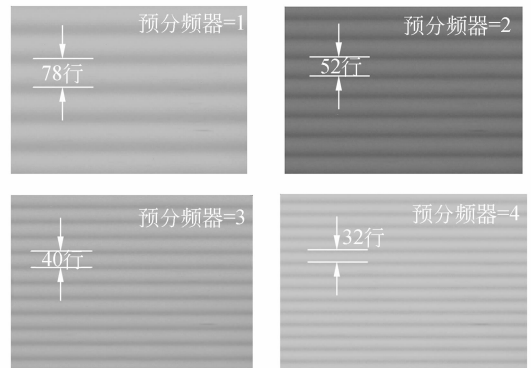


图 4 不同时钟预分频器设置(1, 2, 3, 4)时对日光灯成像得到的图像

Fig. 4 Images of fluorescent lamp taken under different settings of clock prescaler(1, 2, 3, 4)

线表达。日光灯是纯电阻负载,其亮度和电压的绝对值有关,和方向(极性)无关,所以日光灯的亮度在 1 s 内要完成从黑到逐渐变亮直至最亮而后逐渐变暗直至完全变黑这样一个过程 100 次。所以,日光灯接上 50 Hz 的市电,亮度的变化频率为 100 Hz。工频交流电的频率为 50 Hz,周期为 20 ms,而日光灯频率为 100 Hz,周期内有一个正峰值和一个负峰值,在图中分别表现为一个亮条。交变时刻表现为暗条。也就是说,两个亮条为日光灯的一个周期,一个亮条为交流电的一个周期。根据 CMOS 图像传感器中时钟预比例寄存器、曝光量控制寄存器、帧频寄存器的设置情况,就可以通过图像中两个暗条之间的亮条的像素行数,推算出工频交流电的频率。其原理如图 5 所示。

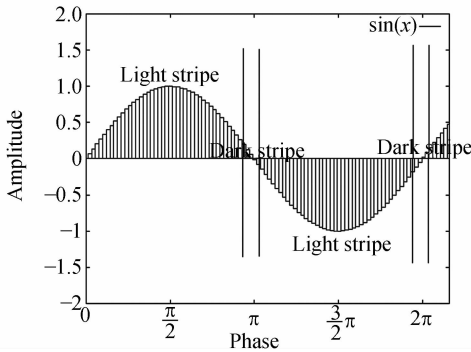


图 5 卷帘式快门下对工频交流电光源成像原理示意图

Fig. 5 Imaging principle of light powered by alternating current under rolling shutter mode

实际上 CMOS 图像传感器在卷帘式快门方式下对工频交流电光源成像时,像元的曝光过程就是如图 5 中所示的滑动窗口对工频交流电进行积分的过程,不同的像元积分时在波形中所处的位置不同,因此积分后得到的结果也不同。由于由交流电供电的日光灯电压的变化可用一正弦曲线表示,我们设为 $y = \sin(t + \varphi)$, φ 为初始相位,利用高等数学中求最大值的方法,对其求一阶导数,由

$$\begin{cases} (\sin x)' = \cos x \\ (\cos x)' = -\sin x \end{cases}$$

即 $d\sin(t + \varphi) / dt = \cos t$, 令 $dy/dt = 0$, 可得当 $t = 2k\pi + \pi/2$ 为极值点。再对其求二阶导数,得到 $d^2\sin(t + \varphi) / dt^2 = -\sin t$ 带入 $t = 2k\pi + \pi/2$, 式子小于零,可得该点为最大值点。即当交流电峰

值处于积分过程的中间时刻时,积分值最大,对应图像当中的亮条中心,因此,两个暗条之间的亮条时间间隔就是工频交流电的周期。

按照式(1),时钟预分频器设置为 1、2、3 和 4,系统时钟为 27 MHz 时,对应的像元行周期分别为 $254.22 \mu\text{s}$ 、 $381.33 \mu\text{s}$ 、 $508.44 \mu\text{s}$ 和 $635.56 \mu\text{s}$,对应的亮条(或暗条)的间隔分别为 78 行、52 行、40 行和 32 行,由此可以计算得到交流电周期分别为 19.829 ms、19.829 ms、20.337 ms 和 20.337 ms,与实际测量得到的交流电频率误差不到 2%。由此看来,前面对卷帘式快门工作特性的分析是正确的。

4.2 速度和位姿测量实验

3.2 和 3.3 中提到的算法^[4-9],在多次的成像实验中得到了检验,把标有 10×10 方格的纸贴在圆盘上,让小电机带动圆盘转动。利用 uEye1540M 相机拍摄一系列高速运动的上述物体,相机分辨率为 1280×1024 ,拍摄时所用帧频为 8 frame/s。利用张正友^[4]所描述的方法进行标定,通过对方格中心的次像素的准确计算及对透镜失真参数的纠正,我们便可精确地得到图像的点坐标,相应地,利用监督方法可构造点的模型。

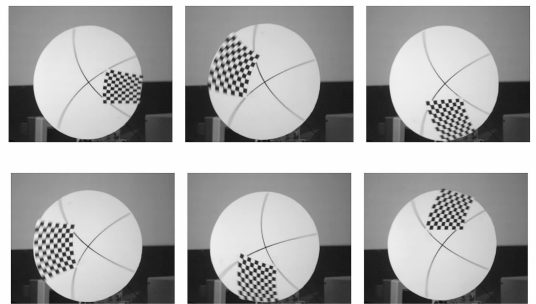
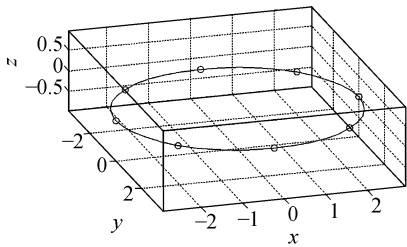


图 6 拍摄旋转运动物体的采样图

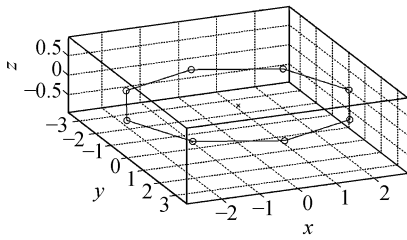
Fig. 6 Image samples with motions of coupled rotation and translation

各个图像的位姿和速度参数可用公式(4)计算出来。图 6 为从一组图像中取样出的图像,在这个实验中,可以看到应用卷帘式快门相机拍摄的高速运动物体产生了畸变。畸变随转动位置变化不同,因而形状有所不同。此实验是对算法在耦合旋转运动和平移运动中的测试,将前面所描述的参照物装配在旋转机制中,则它的圆形轨迹便会被建立,而且位于一系列的静态图像中,已将



(a) 耦合旋转和平移目标的位姿图

(a) Constructed trajectory



(b) 耦合旋转和平移目标的速度图

(b) Rotational and translational velocities

图 7 耦合旋转和平移目标的位姿和速度结果图

Fig. 7 Pose and velocity results of object with coupled rotation and translation

参考圆形轨迹在测试时标准矢量 $Z = [0.00, 0.00, 0.00]^T$, 因此 Z 就可以代表旋转中心, 然后, 拍摄一系列运动目标的图像, 图 6 就是物体在旋

表 1 旋转角速度的计算值和测量值比较(单位: rad/s)

Tab. 1 Comparison of computed and measured rotational velocities (rad/s)

图片号	测量值	计算值
1	8.53	8.74
2	8.53	8.59
3	8.53	8.64
4	8.53	8.49
5	8.53	8.61
6	8.53	8.67
7	8.53	8.50
8	8.53	8.45

参考文献:

- [1] 刘智. CMOS 图像传感器在星敏感器中应用研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2004.
LIU ZH. *Research on application of CMOS imager in star tracker* [D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

转时拍下的图像。图 7 的上、下部分分别代表了由算法算出的轨迹和旋转角速度向量大小。表 1 为旋转速度的计算值与测量值的大小。

5 结 论

与全局快门相比, 卷帘式快门的实现方法简单, 成像质量优良, 具有较低的噪声。本文对 CMOS 图像传感器中普遍采用的快门方式一卷帘式快门的工作原理进行了介绍, 对其产生的影响也进行了分析。在分析中为了讨论方便, 取了一些具体值, 并结合这些值做了讨论并进行了实验研究。研究结果表明, 具有卷帘式快门的 CMOS 图像传感器对运动物体成像时会产生一定程度的畸变, 畸变的程度与积分时间等传感器参数的设置有关。因此在采用这种传感器的系统中, 需要考虑卷帘式快门工作方式对检测过程产生的影响。

本文还对一种新颖的用卷帘式快门相机的单精度视图来计算位姿和速度的方法进行了分析和验证, 建立了动态的三维空间中透视投影方程, 求出了相机的校准误差函数的方程, 可以在误差最小化的情况下得到目标的位姿和速度参数, 对实验结果的分析已经证明了其可行性, 经过计算误差在 2.5% 以内, 测量精度在 0.01 rad/s。这种方法还提供了单精度视图的瞬时速度参数, 使得它成为许多研究领域一种新的工具, 瞬时速度信息可以在运动轨迹系统及直观随动系统中来预测被测目标的状态。在未来的工作中, 为提高速度测量的精确度, 可以研究用线性来解决非线性的最佳化方法。

2004. (in Chinese)

- [2] 张弛, 于世洁, 尤政. 高分辨率双快门模式 CMOS 图像传感器控制电路的设计与仿真[J]. 通信学报, 2006(8): 155-159.
ZHANG CH, YU SH J, YOU ZH. High-resolution dual-mode CMOS image sensor shutter control circuit design and simulation[J]. *Journal of Communication*, 2006(8): 155-159. (in Chinese)

- [3] WILBUM B, JOSHI N, VAISH V, *et al.*. High-speed videography using a dense camera array[C]. *IEEE Society Conference on Pattern Recognition (CVPR'04)*, 2004.
- [4] ZHANG Z Y. A flexible new technique for camera calibration[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(11): 1330-1334.
- [5] MEINGAST M, GEYER C, SASTRY S. Geometric models of rolling-shutter cameras[C]. *Proc. of the 6th Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-Classical Cameras*, 2005.
- [6] MEMONY Q, KHANZ S. Camera calibration and three-dimensional world reconstruction of stereo-vision using neural networks[J]. *International Journal of Systems Science*, 2001, 32(9):1155-1159.
- [7] OMAR A A, ADRIEN B, NICOLAS A. Kinematics from lines in a single rolling shutter image[C]. *CVPR'07*, 2007.
- [8] ANDREW I. Complex articulated object tracking [J]. *Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*, 2005, 5(3):21-31.
- [9] TSAI R Y. An efficient and accurate camera calibration technique for 3d machine vision[C]. *Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1986:364-374.

作者简介:



刘 智(1971—),男,河北定州人,工学博士,现为长春理工大学电信学院教授,主要从事固态成像技术及激光偏振调制与解调技术的研究。E-mail:liuzhi@cust.edu.cn



李娜娜(1978—),女,吉林长春人,长春理工大学光学工程专业博士研究生,中国科学院光电研究院工程师,主要从事光电测控技术与仪器方面的研究。E-mail:lindali_2004@hotmail.com



柴 华(1983—),女,吉林长春人,现为北京师大慧信息科技有限公司工程师,主要从事数字电视码流的研究。E-mail:chaisusan@sina.com

● 下期预告

应用噪声分析的波长 SPR 数据处理

郝 鹏^{1,2}, 吴一辉¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

为了在保证波长 SPR 分析仪动态范围的同时,提高其分辨率。首先,分析了波长 SPR 整个系统噪声对其探测力的影响,以波长 SPR 分析仪的信噪比为目标,对波长 SPR 的数据处理进行优化。优化结果为:最佳处理曲线为 SPR 信号最强时波长所对应的反射系数 R_1 与信噪比最大时波长所对应的反射系数 R_2 之间的前半部分 SPR 曲线。其次,基于这段最佳处理曲线,采用了一种部分质心法数据处理方法。实验结果表明,采用此种算法可使 SPR 分析仪动态范围扩大一倍,在探测器光谱仪波长分辨率提高 4 倍的情况下,SPR 分析仪的分辨率提高了将近 10 倍。采用此种算法测量折射率在 1.332 5~1.360 0 间的甘油溶液,线性相关系数 > 0.99 ,说明此种算法对测试结果的线性度不会产生不利的影响,完全满足波长 SPR 数据处理方法的要求。