

应用于微光 CMOS 图像传感器行车记录仪的快速权重均值自动曝光算法^{*}

周辉¹, 黄焕立¹, 李玉琪¹, 户晋文²

(1.广州飞歌汽车音响有限公司, 广东 广州 510670; 2.华南理工大学, 广东 广州 510740)

摘要:为解决传统行车记录仪后路流媒体摄像头所拍摄的画面质量严重受到机动车后方光照强度制约的问题,采用微光 CMOS 图像传感器设计像素电路,并开发权重均值曝光算法和快速自动曝光控制算法,使每个栅格像素积分时间不同。试验显示,暗光情况下,快速自动曝光控制算法在速度上有很大提升,且误差较小;与未更改曝光时间的低照度 CMOS 图像传感器行车记录仪相比,在后车开启远光灯及汽车后方光线环境复杂的情况下,采用微光 CMOS 图像传感器快速权重均值自动曝光算法的行车记录仪能达到或接近人眼所见的真实视觉效果。

关键词:汽车;行车记录仪;微光 CMOS 图像传感器;权重均值;自动曝光

中图分类号:U463.99

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2017)03-0009-04

行车记录仪的图像质量受到多种外界环境的影响,如路况、天气状况、环境光线(夜间路灯、行车灯)等。为获得满意的图像,要求行车记录仪在图像分辨率、细节呈现等方面具有更好的性能。然而对于普通行车记录仪,因为天气、光线、路况及车况等不同,要实现对机动车后方场景的准确成像,需要有相应的自动曝光算法等技术辅助。特别是在夜间,由于后方来车的头灯(包含近光灯与远光灯)与路面之间形成高反差的照度环境,在同一成像画面中需要对高达几十万倍甚至上百万倍光强的区域进行亮度细节还原;汽车后路流媒体摄像头很难在微光(对于行车记录仪而言,微光是指在夜间路灯、夜间月光或黑夜环境下的光线状态)条件下清晰地记录汽车的行驶环境信息。而行车记录仪用户要求在微光条件下可清晰地记录外界环境信息如后车的车牌号码等。微光图像传感器能在光线微弱的黑暗条件下探测图像信息,并能显示人眼可分辨的图像。微光 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)图像传感器是 CIS(CMOS Image Sensor)发展的一个重要方向。目前,Omni Vision 公司推出的 OV7950 型 CMOS 图像传感器可实现在星光级别(0.01 lux)下的正常摄像和拍照。

当曝光时间(光电流不断累积成电荷的光电转换过程的积分时间)加倍时,信号强度加倍,即图像亮度加倍。该文采用微光 CMOS 图像传感器研发

一种新型行车记录仪,其每个区域像素积分时间不同,区域光照强度低时采用长时间曝光,区域光照强度高时采用短时间曝光,使行车记录仪能在微光条件下清晰地记录行车环境信息。

1 材料与方法

1.1 适合于微光应用的像素电路设计

目前市场上商用的 CMOS 图像传感器的像素设计主要是针对消费电子领域开发的,这些像素设计虽然工艺上很成熟,但都不适合在微光条件下应用,需针对微光应用背景进行适合的像素设计。

1.1.1 像素结构选取

CMOS 图像传感器发展过程中出现了 3 种广泛应用的像素结构,按其中晶体管的数目可分为三管(3T)像素、四管(4T)像素、五管(5T)像素。四管像素在三管像素结构中加入一个传输管 M1 和一个电荷的储存节点即浮扩散点(FD),如图 1 中虚线所示的电容,故四管像素可实现真正的相关双采样,消除像素中的 FPN 噪声,噪声水平低。由于四管像素在像素内加了一个晶体管,其填充因子小于三管像素。五管像素在四管像素的基础上增加一个曝光控制管 M5,故五管像素可实现像素阵列的全并行曝光,提高 CMOS 图像传感器的帧频。但由于五管像素无法实现相关双采样,其噪声高于四管像素。综上,选取 3 种像素结构中噪声最小的四管像素结构

^{*} 基金项目:广州市科技计划项目(2014J4300028)

作为微光 CMOS 图像传感器设计中的像素结构。

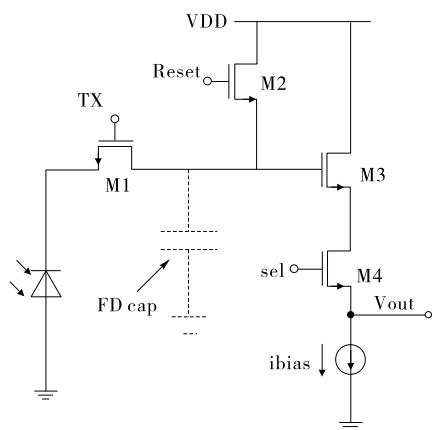


图1 四管像素电路图

1.1.2 微光 CMOS 图像传感器的读出电路设计

CMOS 图像传感器作为一个传感器系统,若只能探测微光信号的像素并不够,高性能的信号读出电路同样是微光 CMOS 图像传感器设计成败的关键。由于微光 CMOS 图像传感器需探测很小的信号,要求信号读出电路产生的噪声小于需探测的最小信号量。CMOS 图像传感器系统中的信号读出电路包括相关双采样电路(CDS)、可编程信号放大电路(PGA)、模数转换电路(ADC)。

1.2 权重均值曝光算法

黑暗中,后车轮廓的边缘与背景光的泛光容易交织在一起。权重均值算法根据后路流媒体摄像头安装在标准位置后实际采样成像得到的图像,分析并整理出后方来车头灯在图像画幅中出现的区域,将该区域定义为感兴趣区域(Region of Interest, ROI)。以整个画幅为中心,将 ROI 区域分成 5 个栅格,计算各栅格所占 ROI 面积的比例,根据镜头主光线角度特性,基于各栅格 ROI 面积占比调整其测光权重。

根据各栅格实际测光得到的实时图像亮度,辅以权重计算,越靠近中心则所占权重越大,越远离中心则所占权重越小,计算得到当前图像的亮度水平,调整曝光参数,让当前图像的亮度水平朝目标亮度靠近。如图 2 所示,将图像划分为几个不同的栅格,假设图像的主要信息集中在中间栅格(No.3)部分。如果被拍摄主体处在背光(微光)状态下,那么常用的曝光方式无法达到理想效果。但在该算法下,给中间栅格(No.3)的平均曝光时间分配权重大于其他几个栅格,使每个栅格像素积分时间不同,光强低

栅格内采用长时间曝光,光强高栅格内采用短时间曝光。

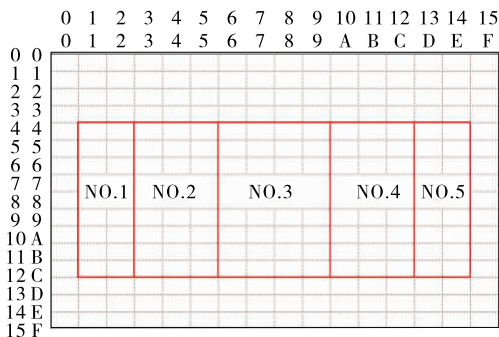


图2 自动曝光法一权重均值算法示意图

图 3 中门限值 T_1 、 T_2 通过实验设置。根据系数 D_b 判断一幅图像是否背光,公式如下:

$$D_b = [R_0 + \max(R_2, R_3)] - (R_1 + R_4) \quad (1)$$

式中: R_i 为区域 i 的平均亮度; $\max(R_2, R_3)$ 用于判断光源处于场景左边还是右边。

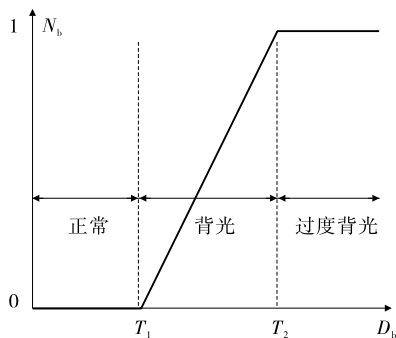


图3 权重系数函数

根据图 3 中 D_b 的大小确定区域(如 No.3)的权重值。其余区域的权重判定过程与此相同。

1.3 快速自动曝光控制算法设计

与采用固定步长控制曝光方法不同,快速自动曝光是基于 CMOS 器件的感光特性建立数学模型,基于查找表的方式采用多次曝光快速逼近的策略实现快速曝光控制。

快速自动曝光控制算法的步骤:先设定曝光控制的基本参数,包括目标亮度标准值、亮度阈值、极低亮度阈值、光强范围查找表及对应的亮度增益值。其中设定极低亮度阈值的原因是在低亮度下,曝光强度值与曝光时间之间呈非线性关系而使计算出现误差,选择一个极低亮度阈值可使模型结果更加精确。设定好必需参数后,对 CIS 进行曝光并通过镜头方式施行区域测光,提取图像并进行图像处理,计

算曝光时间、亮度增益和图像曝光强度统计值。考虑到高对比度光照的情况,将图像分成 $N \times N$ (从硬件实现的角度考虑, N 取值为 2 的幂次方) 大小的块。这种算法通过赋予每个图像块不同的权重,无论是在背光还是在逆光情况下都能保证取中所假设的主体位置始终得到最好的曝光。

2 试验与分析

2.1 曝光控制算法评估

基于 MATLAB 开发自动曝光算法验证平台,主要验证传统自动曝光算法、快速自动曝光算法的速度和精度。取暗光下 5 幅图像对两种算法进行验证,暗光范围为 6~200 lux,并假定目标亮度值为 500 lux。表 1 为两种算法在暗光情况下的表现。

从表 1 可看出:传统自动曝光算法在暗光情况下达到曝光强度范围所需的平均帧数为 12.6,平均误差为 6.25%,而快速自动曝光算法在暗光情况下

达到曝光强度范围所需的平均帧数为 3.6,平均误差为 6.85%。在暗光情况下,快速算法在速度上有很大提升,且误差较小。

2.2 行车记录仪实测

为了验证微光 CMOS 图像传感器快速权重均值自动曝光算法行车记录仪的真实效果,应用行车记录仪后路摄像头进行实测试验。选取 4 种试验场景,其中:2 种场景为夜间,后车开启远光灯(场景一);2 种场景为日光,后车不开灯(场景二)。实测结果见图 4。

从图 4(a)来看,虽然后车与前车有一定的距离,但由于传统行车记录仪摄像头视角内的所有区域的曝光时间固定,图像亮度过亮,后方来车的头灯与路面之间形成高反差的照度环境,导致图像中的车灯非常刺眼。

从图 4(c)来看,在自然光线下,由于传统行车记录仪摄像头视角内的所有区域的曝光时间固定,图像亮度偏低,后车细节较难分辨。

从图 4(b)、(d)来看,当后车与本车的距离在肉眼可辨识车牌号码范围内时,微光 CMOS 图像传感器快速权重均值自动曝光算法行车记录仪的后路摄像头可清晰地捕获其车牌号码,这种分辨率是当前市面上的后路行车记录仪所无法达到的。对于后路行车记录仪,图 4(b)中后车开启远光灯,属于强光,图 4(d)为自然光线下,属于自然光;对于摄像头视角内的不同区域,强光下的区域通过减小其曝光时

表 1 暗光下传统自动曝光算法、快速自动曝光算法效果对比

图像	所需帧数		图像亮度/lux		误差/%	
	传统算法	快速算法	传统算法	快速算法	传统算法	快速算法
1	15	7	490.0	498.5	1.81	0.30
2	17	3	451.1	497.8	9.77	0.44
3	11	3	473.3	475.5	5.34	4.89
4	8	2	476.5	405.0	4.71	18.99
5	12	3	451.8	451.9	9.63	9.62



(a) 场景一下传统行车记录仪摄录的图像



(b) 场景一下微光CMOS图像传感器行车记录仪摄录的图像



(c) 场景二下传统行车记录仪摄录的图像



(d) 场景二下微光CMOS图像传感器行车记录仪摄录的图像

图 4 两种行车记录仪的实测图像对比

间权重缩短积分时间,保证图像亮度适中,光线不刺眼;自然光线或弱光下的区域通过增加其曝光时间权重延长积分时间,保证图像亮度。因此,在图像中可清晰地分辨后车车牌号码。

3 结语

通过使用微光 CMOS 图像传感器,并开发权重均值曝光算法,达到了调整不同区域内曝光时间的目的,即光强低栅格内采用长时间曝光,光强高栅格内采用短时间曝光,使当前图像的亮度水平朝目标亮度靠近。与未更改曝光时间的低照度 CMOS 图像传感器行车记录仪相比,在后车开启远光灯及汽车后方光线环境复杂的情况下,应用微光 CMOS 图像传感器快速权重均值自动曝光算法的行车记录仪能达到或接近肉眼所见的真实视觉效果:近距离可看清后车车牌号码,近距离低光强区域可看清后车的细节信息。

参考文献:

- [1] 梁佳毅.高性能数码相机自动曝光算法研究与实现[D].上海:复旦大学,2008.
- [2] 孟梦.高清摄像机自动白平衡和自动曝光算法研究及

实现[D].西安:西安电子科技大学,2014.

- [3] 戈志伟,姚素英,徐江涛,等.一种应用于 CMOS 图像传感器的快速自动曝光控制方法[J].天津大学学报,2010,43(10).
- [4] 朱天成.微光 CMOS 图像传感器关键技术研究[D].天津:天津大学,2009.
- [5] 安毓英,曾小东.光学传感与测量[M].北京:电子工业出版社,1995.
- [6] Tetsuya Kuno, Hiroaki Sugiura. A new automatic exposure system for digital still cameras[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1998, 44(1).
- [7] Jia Yi Liang, Ya Jie Qin, Zhi Liang Hong. An auto-exposure algorithm for detecting high contrast lighting conditions[A]. 2007 7th International Conference on ASIC[C]. 2007.
- [8] 贡青,李锦萍,闵子建,等.一种基于 CMOS 图像传感器的 flicker 自动检测方法[J].首都师范大学学报:自然科学版,2007,28(2).
- [9] 戈志伟.面向 CIS 图像处理 SoC 的算法、架构及复杂多媒体 SoC 中通信网络研究[D].天津:天津大学,2012.
- [10] 祝晓笑.安防用 CMOS 图像传感器片上数字系统设计与实现[D].成都:电子科技大学,2015.

收稿日期:2016-12-12

(上接第 8 页)

参考文献:

- [1] 陈家瑞.汽车构造[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 王望予.汽车设计[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [3] 余志生.汽车理论[M].第 3 版.北京:机械工业出版社,2000.
- [4] 周伟.某微型纯电动汽车动力系统匹配设计与性能研究[D].长沙:湖南大学,2013.
- [5] 郝魁,负海涛,孙华伟,等.微型纯电动汽车动力系统匹配设计[J].青岛理工大学学报,2015,36(1).
- [6] 陈丁跃.基于 ADVISOR 仿真的纯电动汽车动力系统匹配研究[D].西安:长安大学,2014.
- [7] Richard Saeks, Chadwick J Cox, James Neidhoefer, et al. Adaptive control of a hybrid electric vehicle[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2003, 3(4).
- [8] Ardalan Vahidi, Anna Stefanopoulou, Huei Peng. Current management in a hybrid fuel cell power system: a model predictive control approach[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2006, 14(6).

- [9] 柳建新,徐贤亚,尚明利,等.增程式电动客车动力系统匹配设计仿真分析[J].客车技术与研究,2016,38(2).
- [10] 陈敏,王振国.某 A 级纯电动汽车动力系统匹配及仿真[J].公路与汽运,2014(4).
- [11] 兰俊福.某款混合动力客车动力系统匹配及控制方案设计[J].客车技术与研究,2016,38(5).
- [12] 安瑞兵. Cruise 仿真在汽车动力总成匹配优化中的应用[J].客车技术与研究,2015,37(5).
- [13] 刘和平,余银辉,王强,等.微型电动轿车动力性匹配设计及仿真[J].微电机,2010,43(5).
- [14] 刘清虎,郭孔辉.动力参数的选择对纯电动汽车性能的影响[J].湖南大学学报:自然科学版,2003,30(增刊 1).
- [15] 冉振亚,曹文明,杨超,等.一种新型双能源电动汽车的动力传动系统[J].重庆大学学报:自然科学版,2004,27(6).
- [16] 朱正礼,殷承良,张建武.基于遗传算法的纯电动轿车动力总成参数优化[J].上海交通大学学报,2004,38(11).

收稿日期:2016-12-05