

高动态范围条件重置方法的改进研究

Study of improvement of conditional reset method

(1.中科院长春光学精密机械与物理研究所;

2.中国科学院研究生院,3.山东山大华特科技股份有限公司; 孙立雷^{1,2} 朱玮¹ 王春阳³ 刘华军⁴ 张鹏⁴

4.中国人民解放军91550部队装备部)

SUN Li-lei ZHU Wei WANG Chun-yang LIU Hua-jun ZHANG Peng

摘要:条件重置方法是提高 CMOS 图像传感器动态范围的有效方法之一,但方法本身存在着一些缺点。为了提高条件重置方法的准确度,文章对条件重置方法进行了分析,对存在的缺点进行了改进设计,结果表明在提高 CMOS 图像传感器动态范围的前提下,误差减小,精度提高。

关键词: CMOS 图像传感器; 改进的条件重置方法; 动态范围提高

中图分类号: TN911.74

文献标识码: A

Abstract: conditional reset technique is one effective method to improve the dynamic range of CMOS image sensors. But conditional reset technique has shortcomings, in order to improve its veracity, this article presents the analysis of conditional reset, and gives the improvement about the defects, the results indicates that on the basis of increasing dynamic range, error is reduced and precision is boosted.

Key words: CMOS image sensor; improved conditional reset method; dynamic range enlarging

引言

传感器的动态范围定义为最大非饱和输入信号和最小可测信号的标准偏差的比值。一个高质量的图像传感器等价于一个高动态范围的图像传感器。

传统结构的 CMOS 图像传感器动态范围大约为 65~75dB, 环境图景的动态范围往往超过 100dB, 造成了 CMOS 图像传感器所拍摄的图像对比度不够。当环境光线的光强超过传感器的动态范围时, 积分达到饱和, 强光部分的图像信息丢失。已经提出的提高 CMOS 图像传感器动态范围的方法有光敏单元阱容调整, 多次采样, 对数像素结构, 时间-饱和和条件重置方法等。

本文主要针对条件重置方法反馈信号的缺陷, 进行了改进电路设计。

1 传统 CMOS 图像传感器

CMOS 图像传感器主要分为无源像素结构, 有源像素结构和数字像素结构。无源像素结构由于大噪声的弱点已经被淘汰, 数字像素结构正在应用研究阶段, 所以通常所说的 CMOS 图像传感器为 CMOS 有源像素结构 (CMOS-APS)。典型 CMOS 有源像素结构的像素单元结构及光生电压信号关系图如图 1 所示:

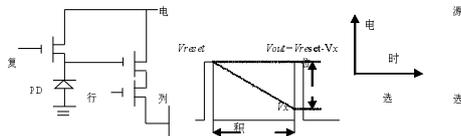


图 1 CMOS-APS 像素结构

Fig.1 pixel structure of CMOS-APS

CMOS-APS 结构由三个晶体管和一个光敏二极管组成。光敏二极管在电路中处于反向偏置, 无光照时, 反向电阻很大, 与普通二极管一样, 电路中仅有很小的反向饱和漏电流, 一般为 10⁻⁸~10⁻⁹A, 称为暗电流, 此时二极管截止。当有光线照射到 PN 结上时, PN 结附近受到光子的轰击, 半导体内被束缚的价

孙立雷: 硕士

电子吸收光子能量被激发而产生光生电子-空穴对, 使少数载流子浓度增加, 因此通过 PN 结的反向电流也随着增大, 形成光电流, 相当于二极管导通。入射光线强度变化, 通过外电路的光电流强度也会随之变化。

在对电路重置后, 光敏二极管赋值为电压 Vreset, 光线照射到光敏二极管上产生光电流, 随着光电流的产生, Vreset 下降, 在积分时间结束后对输出电压进行采样为 Vx, 光产生的电压信息为

$$Vuot = Vreset - Vx \quad (1)$$

光线强度和积分时间决定动态范围的大小。光线强度越大, 积分曲线斜率越大, 反之, 积分曲线斜率越小。

2 条件重置方法

文献中给出了条件重置算法的像素单元结构, 图 2 给出了条件重置单元的像素结构和条件重置原理, 图中虚线部分为在典型 CMOS-APS 基础上外加的条件重置电路。它的原理是在积分时间内等时间间隔的多次采样, 有一基准电压 Vref, $V_{ref} = \frac{V_{reset} + V_{sat}}{2}$ (2) 采样电压与基准电压相比较, 当采样电压小于基准电压时, 通过条件重置, 光敏二极管重新积分。积分期间重置信息存入外部存储器中。积分结束时, 电压值被采样并送入模数转换器中转换为数字信号, 然后与存储器中的重置信息组合形成最后的采样值。如图, 在积分时间 Tint 内进行 4 次采样, 在 2T 时, 采样值小于基准电压 Vref, 重置之后重新积分 (图中的实线部分), 最后产生的信号可以被检测到, 从而动态范围得到扩大。

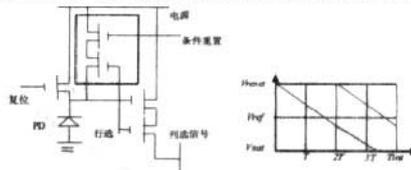


图 2 条件重置像素单元及条件重置原理图

Fig.2 pixel structure of conditional-reset

3 条件重置算法的缺陷分析

在文献中指出了条件重置方法的两个缺陷。由下图 3 给出:

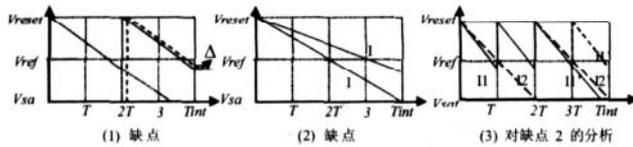


图3 缺陷分析

Fig.3 defects analyze

第一个缺点如图3中(1)所示,光敏二极管有寄生电容,在重置过程中充电,消耗时间 T_{reset} 。在高帧频 CMOS 图像传感器中,积分时间短,充电时间在积分时间里所占的比例不可忽略,因此结果将有很大的误差。实际采样的电压为:

$$\Delta U' = 4 \times [V_{reset} - (V_{sam} + \Delta V)] \quad (3)$$

因此产生了 $4\Delta V$ 的误差。

第二个缺点是如图3中(2)所示,在 $3T$ 时间的采样对 $I1-I2$ 之间的光不产生任何作用,可以取消。对文献中给出的第二个错误,经过分析发现存在很大的缺陷。通过图3中(3)所示,可以看到,在 T 时间采样得到 $I1$ 的电压小于基准电压,经过重置,在 $2T$ 时间采样,再经过重置,假如去掉 $3T$ 时间的采样,重置之后的光 $I1'$ 不能被探测到;在 $3T$ 时间采样,重置后的光 $I1'$ 就能被探测到了。所以, $3T$ 时间采样是必须进行的,关键在于是否要对电路进行重置。如文献中提出的去掉 $3T$ 处的采样,通过图示可以看到,传感器所能探测到的光的最大强度为 $I2'$ (重置之后为 $I2'$), 也就是图像传感器的动态范围最大扩大 2 倍,而不是 4 倍。图像传感器只能探测到比 $I2$ 光强度弱的那部分光,同时可以看到,在 T 时间的采样也变得多余。

所以要想提高重置技术的精确度,在 $3T$ 时间是否采样重置必须要看清楚针对哪部分光。只要光强大于 $I2$ 的光都应该采用 $3T$ 时间采样重置的方法,对于光强小于 $I2$ 的光,都可以取消 $3T$ 时间的重置。

4 改进的条件重置方法

通过对图3的分析,可以看到,将采样值与基准电压 V_{ref} 比较的结果分析,可以分为以下 4 种情况。

- (1) T 处采样 $V_{sample} < V_{ref}$, 重置 $2T$ 处采样 $V_{sample} < V_{ref}$, 重置 $3T$ 处时 $V_{sample} < V_{ref}$, 重置。
- (2) T 处采样 $V_{sample} > V_{ref}$, 不需要重置 $2T$ 处采样 $V_{sample} < V_{ref}$, 重置 $3T$ 处采样 $V_{sample} > V_{ref}$, 不需要重置。
- (3) T 处采样 $V_{sample} > V_{ref}$, 不需要重置 $2T$ 处采样 $V_{sample} > V_{ref}$, 不需重置 $3T$ 处采样 $V_{sample} < V_{ref}$, 经过上述分析,这个重置是错误的,所以不需要重置。
- (4) T 处采样 $V_{sample} > V_{ref}$, 不需重置 $2T$ 处采样 $V_{sample} > V_{ref}$, 不需重置 $3T$ 处采样 $V_{sample} > V_{ref}$, 不需重置。

采样电压 V_{sample} 与基准电压 V_{ref} 经过比较器比较,当采样电压 $V_{sample} > V_{ref}$ 时,比较输出值为 1, 相反为 0, 上述 4 种情况可以用二进制表示为:

- (1) 110 (2) 010 (3) 001 (4) 000

在第(3)种情况时,在 $3T$ 处采样得到 $V_{sample} < V_{ref}$ 的情况下,没有必要对电路进行重置。

重置信号电路设计如下图 4:

利用了 3 位移位寄存器,每一次采样后的比较值都存入寄存器内。CR 为清零脉冲,CP 脉冲由外部存储器定义的采样时间产生,采样一次产生一个 CP 脉冲。

$Q_0Q_1Q_2$ 的初始值分别为 0, Q_0, Q_1, Q_2 在不同时刻的值可以分为以下几种情况,在表 1 中给出:

为了在 001 情况下, $Q_0Q_1Q_2$ 为 100 时,进行采样不重置,所

以需要在信号输出时取反,使产生信号变为低电平,避免重置的产生。在电路设计时加了一个反向输出门。通过对 Q 值的画简,设计电路图,画简过程如公式(4)表示。

$$\begin{aligned} & Q_0Q_0Q_0 + Q_0Q_0Q_1 + Q_0Q_0Q_2 + Q_0Q_1Q_0 + Q_0Q_1Q_1 + Q_0Q_1Q_2 \\ & + Q_0Q_2Q_0 + Q_0Q_2Q_1 + Q_0Q_2Q_2 + Q_1Q_0Q_0 + Q_1Q_0Q_1 + Q_1Q_0Q_2 \\ & + Q_1Q_1Q_0 + Q_1Q_1Q_1 + Q_1Q_1Q_2 + Q_1Q_2Q_0 + Q_1Q_2Q_1 + Q_1Q_2Q_2 \\ & + Q_2Q_0Q_0 + Q_2Q_0Q_1 + Q_2Q_0Q_2 + Q_2Q_1Q_0 + Q_2Q_1Q_1 + Q_2Q_1Q_2 \\ & + Q_2Q_2Q_0 + Q_2Q_2Q_1 + Q_2Q_2Q_2 \end{aligned} \quad (4)$$

通过上述改进设计,动态范围在误差减小的基础上提高了 4 倍。如果将采样时间 $2n$ 份划分,动态范围可以提高 $2n$ 倍。

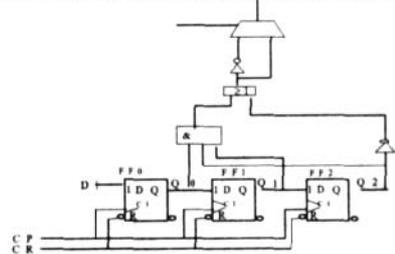


图4 改进的条件重置方法电路设计

Fig.4 circuit design of improved conditional-reset

(111)	(010)	(001)	(000)
100	000	000	000
110	100	000	000
111	010	100	000

表 1 $Q_0Q_1Q_2$ 的不同时刻的值

Table 1 values of $Q_0Q_1Q_2$ at any times

结束语

动态范围是评价图像传感器的一个重要标准,它决定了图像传感器的质量。本文作者的创新点在于提出了对条件重置方法的改进方法,改进的条件重置算法相比于 Sung-Hyun Yang 和 Kyoung-Rok Cho 提出的条件重置算法和文献[3]中的改进算法,避免了不需要的重置,可以更好的提高 CMOS 图像传感器的动态范围。

参考文献

- [1]裴志军,国澄明,姚素英.CMOS 图像传感器动态范围的扩展技术[J].传感器技术,2003,22-6: 1-7。
- [2]Sung-Hyun Yang and Kyoung-Rok Cho. High Dynamic Range CMOS Image Sensor with Conditional Reset[R].IEEE2002CUSTOM INTEGRATED CIRCUITS CONFERENCE 2002 265-268。
- [3]姜秀彬,毛霖,何乐年.一个提高 CMOS 图像传感器的动态范围的算法[J].微电子学与计算机,2006 23-2:45-48。
- [4]陈晓东,苏皖新,邢忠宝,王华龙.基于单片机的 OLED 显示器的应用[J].微计算机信息,2006 02z 5-6 82。

作者简介:孙立雷(1983-),女(汉族),山东济南人,中科院长春光学精密机械与物理研究所,硕士,主要研究方向是高帧频摄像机 CMOS 图像传感器的控制研究;王春阳(1983-),男(汉族),山东济南人,学士,助理工程师,主要从事计算机交换技术;朱玮(1962-),男(汉族),吉林省长春市人,研究员,主要从事光电经纬仪的网络通讯研究;刘华军(1962-),男(汉族),湖北武汉市人,工程师,主要从事光电经纬仪的网络通讯研究;张鹏(1962-),男(汉族),新疆乌鲁木齐人,工程师,主要从事光电经纬仪的网络

Biography: SUN Li-lei (1983-),female (the Han nationality), ShanDong Province, ChangChun Institute of Optoics, Fine Mechanics and Physics, Master, major in high frame frequency CMOS image sensors control.

(130033 吉林 长春 中科院长春光学精密机械与物理研究所) 孙立雷 朱 玮 (下转第 71 页)

的,该映射关系通过 EEPROM 为媒介得以表现并保存。上位机每发送一次新的端口配置, f 就改变一次, 新的硬件端口功能也相应改变。例如, 原来的控制器第一路 AD 接口初始设置为“采集进堆温度信号”, 第二路 AD 设置为“采集出堆温度信号”, 在这里, “第一路”和“第二路”就是映射模型中的 x , 表示这是在控制器上的硬件端口序号; 而“进堆温度”和“出堆温度”则是上位机所要配置的 y , 表示端口的实际应用功能; 而 f 则把两者关联起来, 表示了 x 到 y 的映射关系。当上位机将这两路 AD 接口交换配置时, f 也相应发生变化, 配置的结果就是“第一路”AD 端口变成“采集出堆温度信号”, “第二路”AD 端口则变成“采集进堆温度信号”了。

(2) 执行引擎

上位机完成了对控制器的配置工作后, 在软配置模块中各个升级信息的映射模型也就相应建立完毕, 这时, DSP 再通过执行引擎将各个映射模型调用到主程序相应的程序模块中。执行引擎是一个比表示配置信息的映射模型更高级的映射模型, 同理也可以把它抽象成一个函数映射 $f: x \rightarrow y$, 在这里, x 是指软配置模块中的升级信息映射模型, 如 AD 端口映射模型、I/O 端口映射模型、自关机条件映射模型、传感器标定映射模型等; 而 y 则是主程序中执行这一部份升级信息的程序模块, f 则完成相应映射模型到程序执行模块的映射。

3 多性能协调控制策略

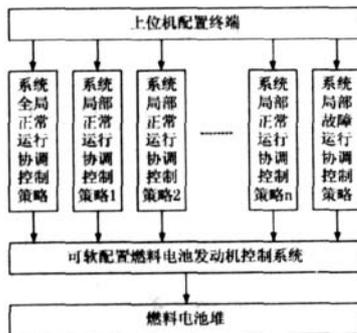


图5 多性能协调控制策略示意图

可软配置燃料电池发动机控制系统的另一个特在于其控制策略的多样性。传统的控制系统对于单个控制对象而言一般只有一种控制策略, 在控制过程中无法满足用户或功能扩展的需求, 有时为了满足不同的控制目标而不得不重新烧写程序甚至重新设计控制器。如图所示, 本系统通过上位机软切换控制器中集成的策略库, 可以方便的使用多种不同的控制策略对燃料电池发动机进行控制。可供选择的控制策略有系统全局正常运行协调控制策略、系统局部正常运行协调控制策略以及系统局部故障运行协调控制策略。多种控制策略的备选在很大程度上满足了控制系统的不同需求, 并且操作简易, 人机对话友好。

4 结论

本文根据可软配置燃料电池发动机的配置升级功能需求, 设计了可软配置控制器以及相应的配置升级机制, 控制器实现了对内部端口结构以及控制系统运行参数的可软配置升级。本文还提出了燃料电池发动机控制系统多性能协调控制策略, 并对其在该控制系统中的应用进行了初步的探索。实践表明, 该控制系统运行状况稳定、可靠, 并获得了良好的控制效果。

本文作者创新点:

1、设计了可软配置燃料电池发动机控制系统的映射模型

以及执行引擎

2、使控制系统具备软配置功能

3、设计了多性能协调控制策略, 实现多性能协调控制

参考文献

- [1]陈清泉,孙立清. 电动汽车的现状和发展趋势[J]. 科技导报, 2005, 23(4):24-28
- [2]衣宝廉. 燃料电池的原理、技术状态与展望[M]. 北京化学工业出版社, 2003
- [3]全书海,王超,宋娟. 车用燃料电池发动机控制系统与协调控制研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2005,03.
- [4]徐翠琴,吴蕾,全书海. 基于VB的燃料电池发动机监控系统设计. 微计算机信息(测控自动化),2007,23(3-1):21-23
- [5]Phillips AM, Jankovic M, Bailey KE. Vehicle system controller design for a hybrid electric vehicle [A]. Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Control Applications [C]. Anchorage : IEEE,2000.297-302.
- [6]Tian, Shuo, Ouyang, Minggao. Advanced ECU software development method for fuel cell systems [J]. Tsinghua Science and Technology Volume:v10 Issue:n5 October 2005 P610-617
- [7]王继月,陈启军. 燃料电池堆控制系统的实现[J]. 电子技术, 2005,02.
- [8]王忠群,谢晓东. 基于体系结构和面向构件的软件重配置技术[J]. 微机发展, 14,7.

作者简介: 阮诗峰(1982-) 男,汉族,硕士,武汉理工大学自动化学院,研究方向:控制理论与控制工程; 全书海(1955-) 男,汉族,博士生导师,武汉理工大学自动化学院,研究方向:智能控制、检测技术与图像处理等方面。

Biography: RUAN Shi-feng (1982-), Male, Master, College of Automation, Wuhan University of Technology, Research Direction: Control Theory and Control Engineering;

(430070 武汉理工大学 自动化学院 武汉)阮诗峰 全书海 陈启宏 谢长君

(College of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070)RUAN Shi-feng QUAN Shu-hai CHEN Qi-hong XIE Chang-jun

通讯地址:(430070 武汉理工大学 马房山东院 自动化学院 自研 0513 邮箱)阮诗峰

(收稿日期:2008.9.15)(修稿日期:2008.10.25)

(上接第 119 页)

(100039 北京 中国科学院研究生院)孙立雷

(250061 山东 济南 山东山大华特科技股份有限公司)王春阳

(116023 辽宁 大连 中国人民解放军 91550 部队装备部)

刘华军 张鹏

(ChangChun Institute of Optoics, Fine Mechanics and Physics, ChangChun 130033) SUN Li-lei ZHU Wei

(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China) SUN Li-lei

(ShanDa HuaTe Joint-stock company, ShanDong JiNan

250061) WANG CHUN-yang

(4.Equipment department of 91550 China PLA troops,

DaLian LiaoNing 116023) LIU Hua-jun ZHANG Peng

通讯地址:(130033 长春经济开发区 东南湖大路 16 号 光机所 研究生公寓 C 座) 孙立雷

(收稿日期:2008.9.15)(修稿日期:2008.10.25)