

· 工程应用 ·

电荷耦合器件被动式测量的信号处理

Charge Coupled Devices Passive Measuring Signal Processing Techniques

吴福杰**
Wu Fujie

侯振程
Hou Zhencheng

杨正才
Yang Zhengcai

(重庆大学电气工程系, 重庆, 630044; 第一作者 31 岁, 男, 工程师, 硕士)

摘要 指出了在电荷耦合器件(CCD)被动式测量中影响测量结果一致性的两个问题, 即被测物发光强度的变化和环境的變化对测量结果一致性的影响。同时提出了解决这两个问题的信号处理方法, 给出了相应的电路原理图, 出示了实验波形。

关键词 电荷耦合器件; 测量; 信号处理

中国图书资料分类法分类号 TN27; TN386.5

被动式测量

ABSTRACT In accordance with the CCD non-contact passive measuring method, two problems, which influence the identity of measuring results, are presented in the paper. Meanwhile, the signal-processing techniques for solving the two problems are introduced and principled circuits are given. Finally, experimental waveforms are showed.

KEYWORDS charge coupled devices; measurements; signal processing

0 引言

CCD 测量技术分为主动式和被动式两种。近几年来, CCD 测量技术作为一种高新技术得到了迅速的发展^[1-3]。然而几乎所有 CCD 测量技术所取得的成果都是在采用主动式测量方法下取得的^[1,2]。而对于 CCD 被动式测量方式则相对地比较陌生, 而且采用者甚少^[1,4,5]。为此笔者就 CCD 被动式测量方式下的信号处理技术进行讨论。

1 CCD 被动式测量原理

CCD 被动式测量的原理是: 利用被检测物体的自身光作为光源, 检测 CCD 光敏元上物像所占的光敏元的个数, 然后根据光敏元的尺寸以及光学系统的放大倍数换算, 就可以得到被测物体的尺寸^[4,5]。可见, 被动式测量取消了照明系统, 它适用于高温炽热物体或发光物体

* 收文日期 1996-03-19

** 现在攀枝花钢铁公司自动化部工作

的尺寸测量。但由于存在着多种影响测量精度的因素难以克服，所以应用很少，且报道的资料更少。这是因为：CCD 输出信号由于受 CCD 转移损失和被测物体发光强度不均匀等因素的影响，故使 CCD 的输出不是理想的方波而是具有一定斜度的梯形波。为此当测量环境光强和被测物发光强度发生变化时，都将影响“二值化”电平切割 CCD 输出信号部位发生变化，造成测量结果缺乏一致性^[1]，使这种测量方法难以实现。图 1(a)，(b)分别为环境光和被测物发光强度发生变化而被测物尺寸和测量物距不变时，CCD 输出和二值化波形。

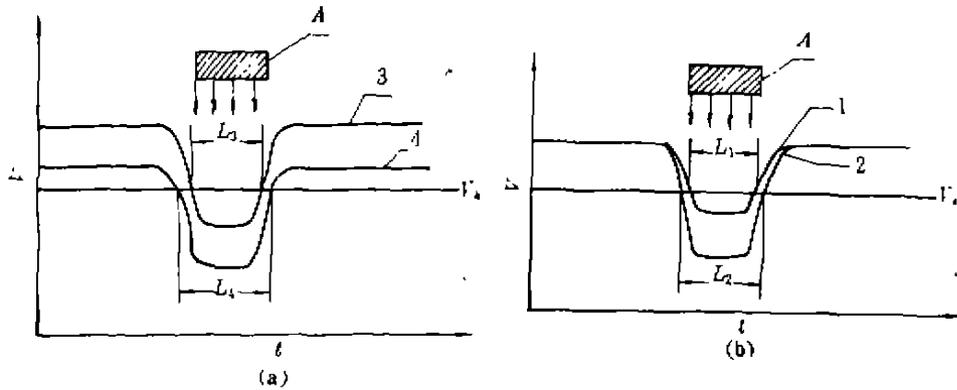


图 1 环境背光及发光强度对 CCD 输出信号的影响
 V_t ——切割电平；1, 2, 3, 4——CCD 输出信号；A——被测物

环境光随着天气和昼夜的变化而不同。环境光的变化使 CCD 输出信号发生上下平移。在图 1(a)中波形 3 的环境光比波形 4 的弱。

被测物的发光强度往往不是固定不变的。比如在线热轧钢坯的温度就在 800~1 200℃ 之间。图 1(b)中波形 2 的被测物光强比波形 1 高。

在对以上信号进行二值化时，所得二值化脉宽为 L_1, L_2, L_3, L_4 。可见 $L_2 > L_1, L_4 > L_3$ ，所得结果不具备一致性。

为了解决上述问题，笔者设计了如图 2 所示的信号处理电路。

下面笔者把图 2 所示的电路分为 A, B 两部分进行详细的分析和讨论。

笔者皆以松下 MN3660 型 CCD 为例进行讨论。MN3660 型 CCD 光敏元尺寸为 $14 \mu\text{m} \times 14 \mu\text{m}$ ，光敏元数为 2 048 位。驱动波形如图 3 所示，为两相。为了得到最佳的转移条件，两相时钟脉冲应严格地互补，一个相的上升沿与另一相的下降沿交叠于中部^[4,5]。图 3 中 φ_{sc} 为转移栅脉冲，其周期即为 CCD 的光积分周期。 φ_1, φ_2 为移位栅脉冲， φ_2 为复位栅脉冲。采样保持脉冲

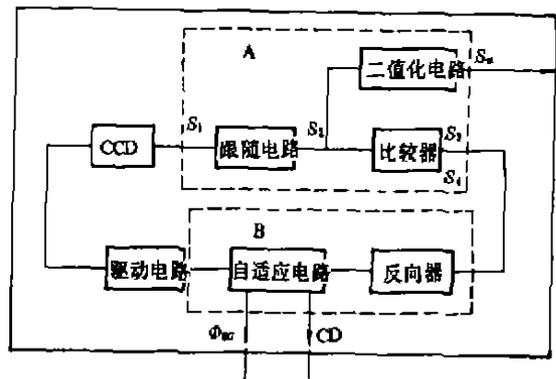


图 2 一次信号处理框图

冲应严格地互补，一个相的上升沿与另一相的下降沿交叠于中部^[4,5]。图 3 中 φ_{sc} 为转移栅脉冲，其周期即为 CCD 的光积分周期。 φ_1, φ_2 为移位栅脉冲， φ_2 为复位栅脉冲。采样保持脉冲

与 φ_n 合二为一。

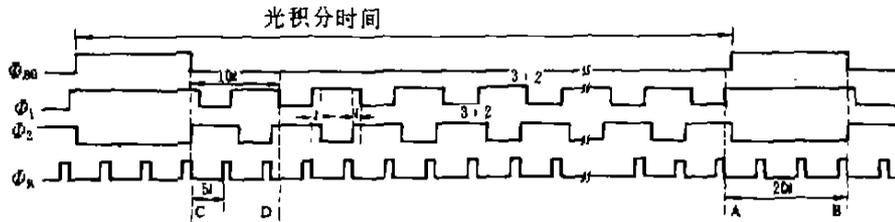


图3 CCD驱动脉冲时序图

2 CCD自动跟随电路

图2中的A部分如图4所示。这一部分包括了自动跟随电路、二值化电路、光强判断比较器电路等。 φ_{s0} 来自CCD自适应电路。C部分即为自动跟随电路。

在被测物光强、尺寸和测量物距皆不变,而只当环境光变化时,跟随电路的工作波形如图5所示。

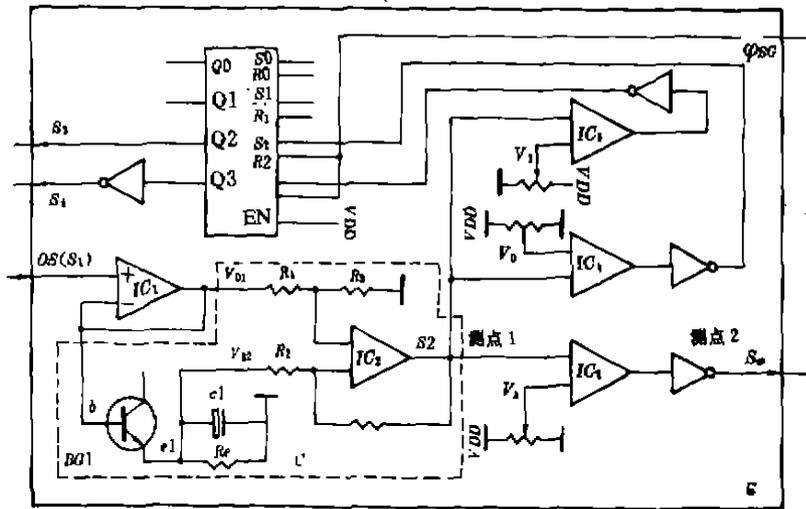


图4 自动跟随电路电原理图

图5中波形2和波形1分别为环境光强和光弱时CCD输出信号。波形3为波形2或1通过由 IC_2 组成的差动放大器后的波形。由图5可知,无论环境光强如何,通过差放后,CCD输出信号的基线电平值都保持在 $\beta \times 0.6V$ 的电平上(β 为差放的电压放大倍数),避免了由于环境光的变化CCD输出信号的上下平移浮动。其原因为:

CCD输出信号 OS (即 V_{01})通过 BG_1 后滤波得到直流电平 V_{02} 。如设 $V_{s01}=0.6V$,则无论环境光如何,直流电平 V_{02} 总比 V_{01} 的基线电平低 $0.6V$ 。因此 V_{01}, V_{02} 通过差放后,波形3的基线电平总为 $\beta \times 0.6V$,而波形3的下限幅值却保持浮动,其值为:

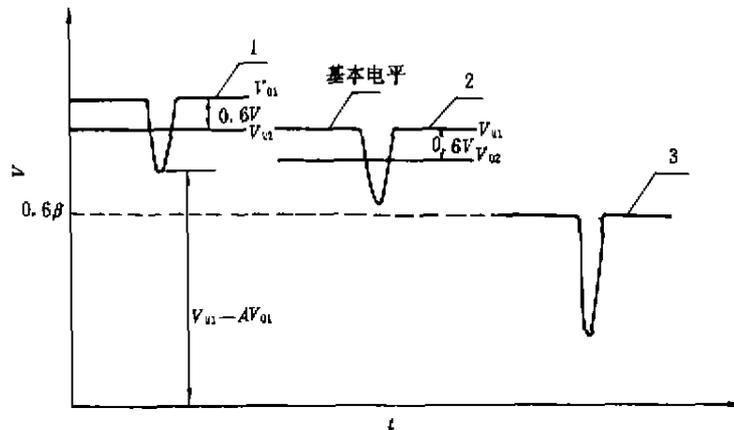


图 5 自动跟随电路波形图

$$\beta[(V_{o1} - \Delta V_{o1}) - V_{o2}] = 0.6\beta - \beta\Delta V_{o1}$$

可见 CCD 输出信号的下限幅值通过差放后被放大 β 倍。

图 4 中, IC_4, IC_5, IC_6 组成光强判断比较器电路。该电路的输出为 CCD 自适应电路的工作提供信号。为了防止在一个 CCD 自扫描周期内, 由于被测物上的暗斑的存在而使 S_3, S_4 的脉冲个数不只一个, 因此设置了 R-S 触发器。在 CCD 的 S_2 信号下限幅值为各种可能的情况下, 该电路工作时的输出波形如图 6 所示。

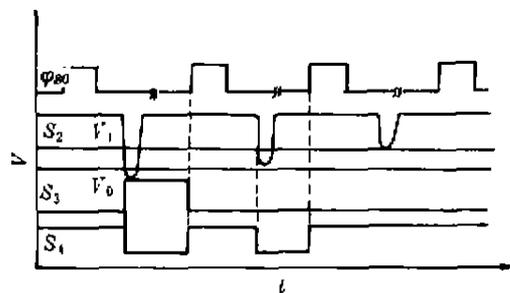


图 6 CCD 光强判断比较器电路输出信号图

3 CCD 自适应电路

图 2 的 B 部分为 CCD 自适应电路。其电路原理图如图 7 所示。 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_R, \varphi_{SC}$ 为 CCD 驱动时序脉冲。 S_2, S_3, S_4 来自图 4。 S_2 为 CCD 二值化脉宽信号。 CD 为自适应结束信号。 LT, HT 为光强太弱、太强的报警信号。

自适应电路的功能为: 使 CCD 的光积分时间自动适应被测物的光强变化, 即根据被测物光的强弱而改变 CCD 的光积分时间, 而最终使 CCD 输出信号的幅值不因被测物光的强弱变化而改变。从而使 CCD 的输出达到最佳。

光积分时间的改变通过时序分配器 4017, 二进制计数器 4520, 比较器 4585, 可逆计数器 40193 等工作, 改变 CCD 转移栅 φ_{SC} 的周期而实现。 φ_{SC} 周期的改变限制在一定的范围内。当 φ_{SC} 的周期改变到极大值时, LT 信号变为高电平, 禁止 φ_{SC} 周期的进一步增长, 此时表明被测物光太弱。当 φ_{SC} 周期改变到极小值时, HT 信号变为高电平, 禁止 φ_{SC} 的周期进一步缩小, 表明被测物的光太强。由于 MN3660 型 CCD 有 2 048 位光敏元和 46 位哑元, 因此 φ_{SC} 的

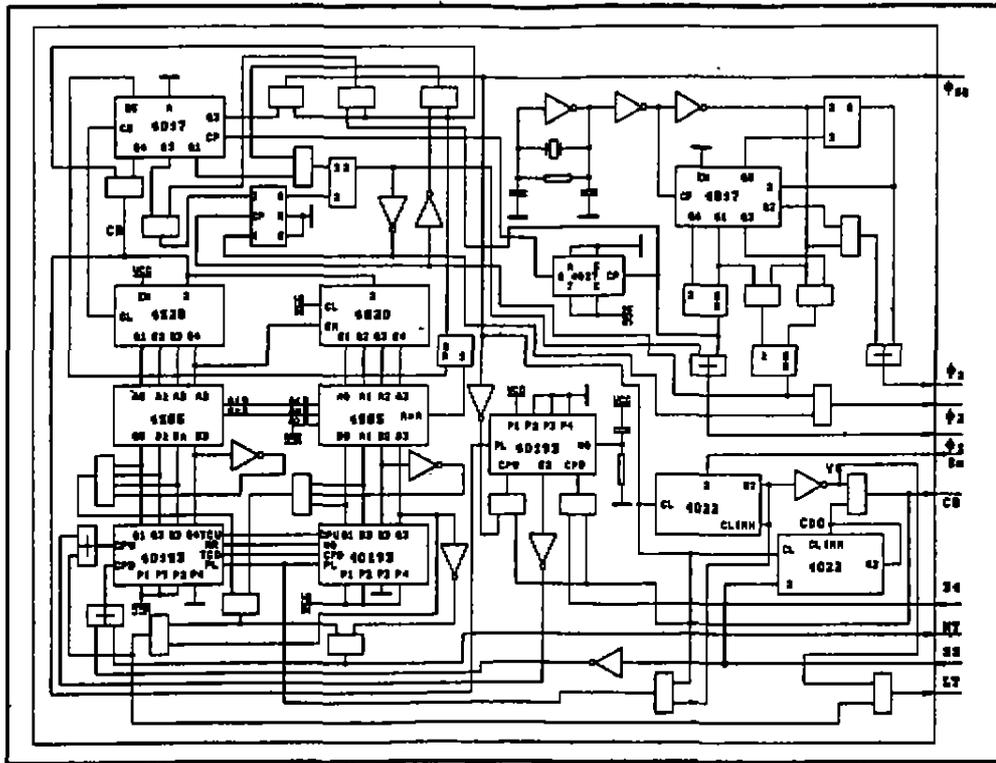


图 7 自适应电路原理图

最小周期 T_{min} 应大于或等于 φ_1, φ_2 周期 T_φ 的 1.047 倍。即: $T_{min} \geq 1.047T_\varphi$ 。如果这一条件不满足, 则 CCD 存储电荷将不可能完全转移。在图 7 中, 计数器 4520 的计数频率为 φ_1 的 20 分频, 而 40193 (接在 4585B 端) 的计数范围为 55~183。所以 φ_{50} 的最长周期 $T_{max} = 183 \times 20T_\varphi$ 。 φ_{50} 的最短周期: $T_{min} = 55 \times 20T_\varphi > 1.047T_\varphi$ 。

在实际应用中, 通过调整摄像镜头的光阑指数和切割电平 V_0, V_1 之值, 使被测物发光强度的变化范围在 CCD 自适应电路的变换范围之内, 当 CCD 的输出信号 S_2 的下限幅值不在 V_1, V_0 范围之内时, 在自适应电路的作用下, CCD 的光积分时间将逐次减少或逐次增加, 直至 S_2 的下限幅值满足 $V_1 \geq S_2 \geq V_0$ 为止。当 CCD 自适应过程结束后, CD 信号变为高电平, 允许计算机采样。

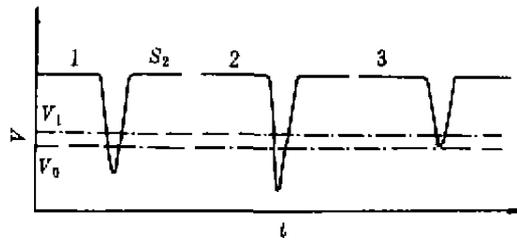
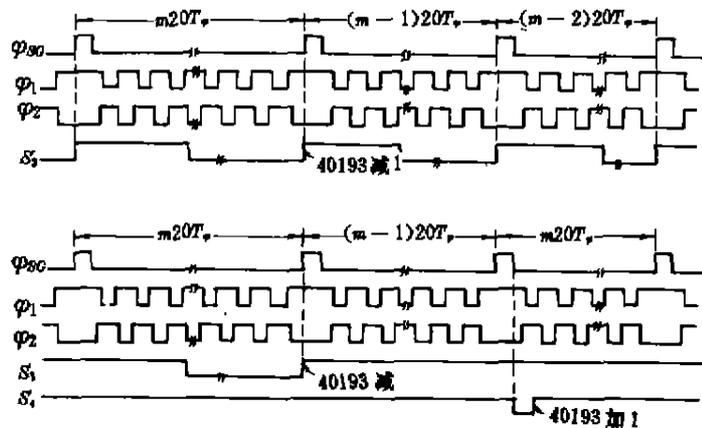


图 8 S_2 信号比较器

图 8 为 CCD 自适应过程结束后 CCD 的 S_2 信号与无自适应电路处理的 S_2 信号比较图。相同宽度和不同发光强度的物体, 在测量物距相同时, 如无自适应电路处理, S_2 的波形为 1, 2。在自适应电路处理后, 两种发光情况下的 S_2 波形均为波形 3。

图 9(a) 为 CCD 自适应电路工作时 φ_{50} 缩短时序图。图 9(b) 为 φ_{50} 缩短和增加时序图。从此图可以很容易地看出自适应电路的工作过程。

图 9 φ_{90} 缩短和增加时序图

4 实验结果

为了验证自动跟随电路,自适应电路的正确性,笔者做了以下实验:

用光源箱代表被测物,以调压器改变光源的发光强度来模拟被测物的光强变化,同时改变室内灯光照明,以表示各种不同的测试环境。测示系统由光源箱、调压器、CCD 测量仪、示波器等组成。为了说明问题,笔者做了两组对比实验,一组包括自动跟随电路以及自适应电路,在室内光线不同的情况下,改变光源箱的光强测得。如图 10(a)、(b)所示。另一组不包括自适应电路,仅包括自动跟随电路,在室内光线不同的情况下测得。如图 10(c)、(d)所示。

以上两组波形的示波器扫描时间为 0.5 ms/格。其中图 10(a)、(c)的波形为探头 1 接至图 4 中测点 1 所得。探头 1 的电压档为 0.2 V/格。图 10(b)、(d)的波形为探头 2 接至图 4 中测点 2 所得。探头 2 的电压档为 0.5 V/格。

在图 10(a)、(c)中,调压器的电压为 80 V;在图 10(b)、(d)中,调压器的电压为 108 V。

从图 10(a)、(b)中可以看出:

1) 光积分时间发生了变化。其中图 10(b)的光积分时间比图 10(a)短得多。其原因在于图 10(b)的被测物发光强度比图 10(a)强。其中(a)图光积分时间比 T_{max} 减少 $18 \times 20T_p$, (b)图光积分时间比 T_{max} 减少 $125 \times 20T_p$ 。

2) 由于 CCD 光积分时间发生了变化,使 CCD 曝光量没有因被测物发光强度的变化而改变,从而保证了 CCD 的 S_2 信号下限幅值不因被测物的发光强度的改变而改变。图 10(a)、图 10(b)二值化脉宽不变,通过计算机采集显示表明皆占 MN3660 型 CCD 的 260 个感光单元。

3) 环境光的变化对 CCD 的 S_2 信号没有影响,即 S_2 信号不随环境光的变化而上下平移。

从图 10(c)、(d)中可以看出:

1) 光积分时间没有变化,但 S_2 下限幅值却发生了变化。被测物的发光强度越高, S_2 的幅值越大。

2) 在图 10(d)中,二值化脉宽严重变大。其原因在于被测物发光强度过强,CCD 在饱和后产生溢出现象。

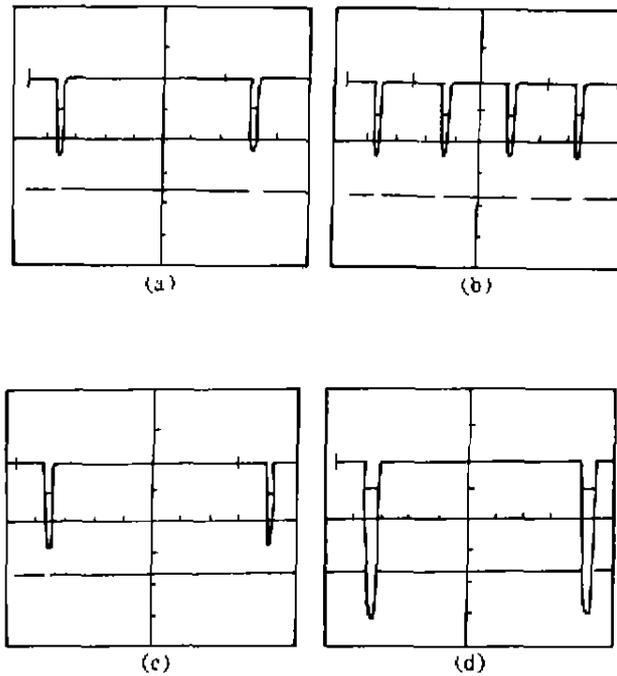


图 10 自动跟随电路的波形图

3) 环境光对 S_2 信号没有影响。

5 结 论

通过实验可以看出实验结果与前面的分析完全一致。在自动跟随电路和自适应电路的作用下, CCD 输出波形不随环境光的变化而上下平移浮动, 且下限幅值不随被测物发光强度的改变而变化, 有力地保证了测量结果的一致性, 极大地提高了测量精度, 使 CCD 被动式测量方式的测量精度提高。笔者曾用以上的信号处理方法, 采用被动式测量方式, 针对在线热轧钢坯(温度范围为 $800 \sim 1200^\circ\text{C}$), 进行了测宽测厚装置的研究, 从该装置在现场的试运行情况看, 效果是十分令人满意的。

事实上 CCD 被动式测量方式之所以很少使用, 就在于其测量结果缺乏一致性。而笔者提出的信号处理方法成功地克服了这一问题。因此该信号处理方法具有较大的实用推广价值。

参 考 文 献

- 1 李庆文. CCD 图象传感器在工业测量中的应用. 半导体光电, 1984, 5(2): 3~6
- 2 林智淮. 使用 CCD 与微型计算机的非接触精密光学测量系统的研究. 半导体光电, 1984, 5(2): 21~24
- 3 刘贤德. CCD 及其应用原理. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990. 50~85
- 4 王庆有, 孙学珠. CCD 应用技术. 天津: 天津大学出版社, 1993. 65~102
- 5 刘颖, 徐荣甫. CCD 摄像器件原理、特性及应用. 光学技术, 1993, (增刊): 23~26