

# TDI CCD 相机的实验与研究

王海宁 魏仲慧 何昕

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 目前, CCD 已被广泛地应用于各个领域。这里, 我们介绍一种特殊的线阵 CCD 相机, 它应用时间延迟积分(TDI)技术, 可在低光照情况下, 获得高灵敏度、高输出速率、高空间分辨率和大的动态范围。为了应用 TDI 方式及验证它的效果, 我们使用加拿大 DALSA 公司生产的 CT-E1 2048×96 TDI 线阵 CCD 相机, 设计制作了一套完整的系统, 并做了捕获运动图像的实验。该系统包括: 相机、相机控制器、图像捕获器、微机和转台。实验结果表明: 当 CCD 相机的行转移速率和物体的运动速率不同步时, 不能够获得清晰的图像。而当我们使用相移补偿技术, 使两个速率相匹配后, 得到了非常清晰的图像。

**关键词:** 时间延迟积分(TDI); 相移补偿技术; 行转移速率; 图像捕获器

## 1 引言

TDI(Time Delay Integration)是一种扫描方法, 是基于对同一物体多次曝光这一概念的, 因此它能够提供更比其它扫描方法更高的灵敏度, 同时它所需的传输接口也和通常的线阵 CCD 有所不同。

在 TDI CCD 中行称为级(stage), 而列数称为元数(pixel)。

当图像沿垂直方向运动时, 在每个像元中产生的信号电荷与图像运动同步地转移到下一行的相应像元中去, 并与那个像元中产生的信号电荷相加, 这个过程不断地重复直到这些相加的电荷通过“传输门”转移到“读出移位寄存器”, 由以上工作过程可以看出, 对应于一行像元的图像信号相加的次数与 CCD 的级数相同。如级数为  $M$ , 信号在转移到输出移位寄存器之前相加了  $M$  次, 则积分时间是通常线阵 CCD 的  $M$  倍。只要行转移的速率与图像在 CCD 焦面上的运动速率完全同步, 则这种积分时间的增加(即延迟)对系统原有的 MTF 毫无影响, 这就是 TDI CCD 的相移补偿原理。

实际上, TDI 扫描方式与通常的线扫描方式类似, 只是需要一个额外的时钟信号来控制行转移操作, 且要求这个信号与图像的运动相同步。

## 2 实验原理

为了验证 TDI 方法及熟悉 TDI CCD 相机的应用, 我们设计了一套测试系统, 如图 1。实验中, 首先我们需要运动的图像, 其次需要 CCD 的行转移速率与图像的运动严格匹配, 再要将扫描获得的图像数据存贮起来, 因此这套系统包括: 相机一台、转台一个、锁相时序发生器一个、图像捕获器一块和微机一台。

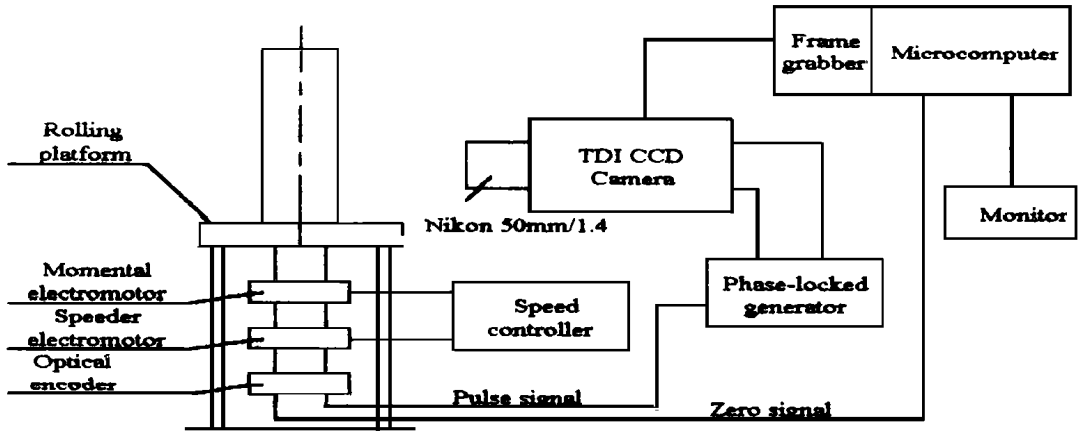


Fig. 1 The structure of the test system

### 2.1 相机

我们对 DALSA INC. 生产的 CT-E1 2048 × 96 TDI 线阵 CCD 相机进行了测试。其特性如下:

- 2048 像元, 96 TDI 级
- 像元尺寸:  $13 \mu\text{m}(\text{H}) \times 13 \mu\text{m}(\text{V})$
- 8 通道并行输出, 每通道数据速率达 15 MHz, 则有效速率可高达 120 MHz
- 动态范围: 3000 : 1
- 所有的控制信号和数据信号采用 RS422 接口标准

### 2.2 转台

转台用来产生运动的图像, 要求转台是可控制的, 以便于调节速率。它包括力矩电机、调速电机和光学编码器三个部分。力矩电机、调速电机受控于调速控制器。光学编码器输出两个信号, 一是确定图像起始位置的零位信号, 直接输入微机; 二是外同步信号, 输入到锁相回路产生相机所需的像元时钟脉冲和行转移脉冲。若转台上的转筒直径为  $d$ , 转台周期用  $T_c$  表示, 则图像运动速率  $V_I$  为  $\pi d/T_c$ 。通过调节调速电机, 可调节转台转速, 即调节图像运动速率。

### 2.3 锁相时序发生器

锁相时序发生器产生 TDI CCD 所需的像元时钟脉冲 MCLK 和行转移脉冲 EXESYN, 并

使行转移脉冲与图像运动的速率  $V_I$  严格锁相同步。

若要使行转移频率与图像的运动速率同步, 有如下等式成立:

$$V_I = \frac{\pi d}{T_c} = \frac{N \cdot a}{T_L} \quad (1)$$

其中  $N$  为镜头的放大倍数, 采用 NIKON 公司的 50 mm 焦距镜头, 若物矩用  $H$  表示, 则  $N = H/50$ ,

$a$  为相机的像元尺寸, 为  $13\mu\text{m}$ ,

$T_L$  为在此图像运动速率及放大倍数下应具有的行转移周期, 则  $f_L = 1/T_L$  为行转移速率。如果将速率  $f_L$  的脉冲作为行转移脉冲输入给相机, 将使其与图像运动完全同步。

## 2.4 图像捕获器

图像捕获器主要包括: 输入接口、输出接口、地址发生器和图像存储器。原理如图 2 所示。

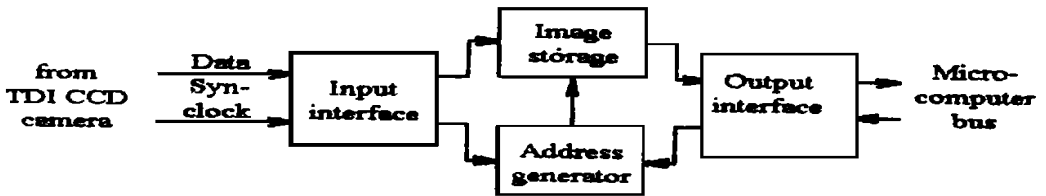


Fig. 2 The principle block diagram of frame grabber

输入接口用来建立捕获器与 TDI CCD 相机之间的联系, 接收差分输入的数据和同步时钟(包括数据选通脉冲信号 STROBE 和行有效信号 LVAL)。输出接口用来管理捕获器与微机之间的接口关系, 同时它还要接收微机发出的命令以及向微机发出状态信息。图像存储器容量为  $2048 \times 512$  字节 = 1 M 字节, 即此存储器可存贮所用相机的 512 行图像数据。地址发生器在相机写入期间产生存储器所需的全部地址, 其它时间呈高阻态, 也即释放捕获器内的地址总线。

实验时, 微机发出起始信号后, 捕获器启动地址发生器, 地址发生器在 CCD 相机的同步时钟的控制下工作, 根据地址发生器产生的地址将图像数据写入图像存储器, 写满 512 行后, 停止地址发生器的工作, 同时向微机发出“CCD Write Finished”信号, 等待微机读取数据。这里采用存储器映射方式和微机接口, 微机可以像读取自身内存里的数据一样, 方便地从映射区内将图像数据读出来。图像大小为  $2048 \times 512$  像元, 由于显示屏大小的限制, 可以采取键盘控制的方法, 漫游观察图像。

## 3 实 验

实验中所使用的微机为 486 DX 兼容机, 主频为 66 MHz。镜头采用 NIKON f 50/1.2。

实验过程如下:

### 3.1 准备

将待扫描的图像贴在转台的转筒上, 相机安装在三角架上; 根据预想的放大倍数, 调整好相机和转台的距离后, 再调整镜头的焦距。

### 3.2 对焦

在转台不动的情况下,启动图像捕获器,当微机接收到“CCD Write Finished”信号时,表示图像捕获器已存贮完所需的图像数据,可以读取数据并显示。这时所得的图像是对固定的一行图像成像,每行的数据和前一行是相同的,图像是否清晰主要和镜头焦距有关。因此若图像不清晰,重复 3.2 步,直到得到令人满意的图像为止,说明焦距已调节好,不可再动。

### 3.3 摄取图像

使转台在调速控制器的控制下匀速转动,保证锁相回路跟踪住输入脉冲。微机发捕获图像的起始信号,接收到图像捕获器发出的“CCD Write Finished”信号,表示图像捕获器已存贮完所需的图像数据,然后进入图像显示状态。软件流程图如下。

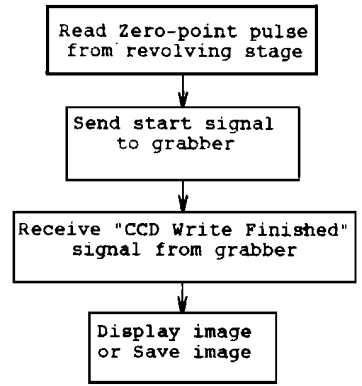


Fig. 3 Software flow chart

## 4 实验结果

实际上 TDI CCD 行转移速率与图像运动速率总是会存在着不匹配的现象。若图像运动速率为  $V_I$ , 行转移速率为  $V_T$ , 则称  $|V_I - V_T|/V_I$  为失配率,在 DALSA 公司的手册中,可以看到当  $M\Delta V/V$  小于 2 时( $M$  为 TDI CCD 的级数),对系统的 MTF 无影响。

我们对自制的测试卡进行了成像实验。测试卡是由激光打印机打印的,由水平和 45 倾角的黑白条组成,条的宽度分别为 1.6 mm、0.8 mm、0.4 mm、0.2 mm。实验结果表明,TDI CCD 在相移补偿适当的条件下可以获得很好的图像。图 4 是对测试卡的成像。

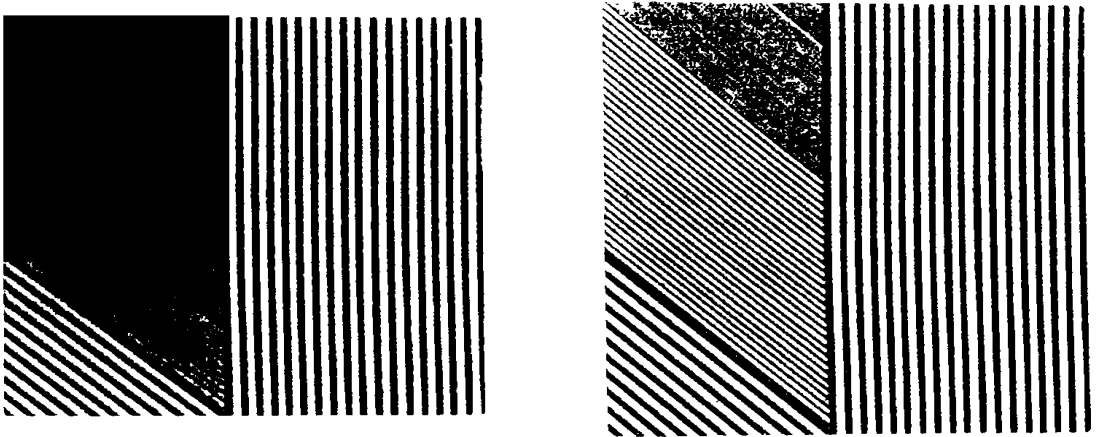


Fig. 4 (a) is obtained when mismatch ratio is 6%

(b) is obtained on the condition of matching well

在实验中发现 CT-E1 相机 8 通道的每一通道的前面两个像元的响应明显降低。

严格说来,相机应置于稳固的平台上,既便于调节,又保证它不受外界干扰。由于实验条件

有限, 相机只能置于三角架上, 不能够精确调节。同时, 原则上对转台的要求也很严格, 但此次实验所用的转台轴系不是很平稳, 所以图像中有抖动产生。

## 5 结 论

(1) TDI CCD 相机的灵敏度比其它 CCD 相机高得多

(2) 应用 TDI CCD, 对速度要求非常严格

这只是初步实验, 使我们摸清了 TDI CCD 的性能, 为今后的应用开拓了广阔的前景。

中国科学院长春光机所光电工程部的郝志航研究员、耿玉芝研究员、阮锦老师在此次实验中给予了大力支持和帮助, 在此表示由衷的感谢。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] CL-E1/F2 Camera User's Manual, DALSA INC. 04/01/94
- [ 2 ] 朱传乃主编. 386/486 微型计算机系统原理与维修. 北京: 人民邮电出版社, 1995
- [ 3 ] 甘登岱等编. 硬件及接口技术. 北京: 航空工业出版社, 1992

## Experiment and Research of TDI CCD Camera

Wang Haining, Wei Zhonghui, He Xin  
(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

At present, CCD is widely applied in many fields. Here, we introduce you a special linear area CCD camera which use Time-Delay-Integration (TDI) technique to provide high sensitivity, high speed, high spatial resolution and wide dynamic range performance under low light condition. In order to apply the TDI method and verify the effect, we do an experiment of grabbing moving image using CT-E1 2048X96 TDI Line Scan CCD camera produced by DALSA INC.. We design a grabber and make a complete system. Which includes: Camera, Camera Control, Frame Grabber, Rolling platform, PC. The result indicates that when the line-shift-rate of the CCD camera is not synchronized with the rate of moving object, the image that we obtain is not clear. But when we use phase-shift-compensation technique and make the line-shift-rate of the camera match the rate of the image, we can get very distinct image.

**Key words:** Time-delay-integration (TDI); Phase-shift-compensation; Line-shift-rate; Frame grabber

王海宁, 女, 1969 年出生。1992 年毕业于北京航空航天大学电子工程系。