

非系统参变量对 TDICCD 成像质量的影响

何 斌

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 对非系统变量在 TDICCD 成像质量的影响进行了讨论,且给出了校正方法。

关键词 TDICCD 图象 姿态

1 引言

CCD 成像器具有图象信号的实时处理、显示和无线电传输等优点,因此,它已经在航空和卫星摄像中广泛使用。为了提高信噪比,普遍采用 CCD 的 TDI 工作模式,即 TDICCD 成像器。在图象生成过程中,由于成像系统本身具有非线性或者视角不同,都会使生成的图象产生失真,降低成像质量。对于卫星图象,产生图象失真的因素更多更复杂。一般可分为系统失真和非系统失真。系统失真是指光学系统本身产生的失真,如:安装误差,非线性等。非系统失真是指由于卫星飞行姿态变化(侧滚,俯仰,偏航),轨道高度和速度的变化以及地物相对运动引起的失真。本文针对几个主要的非系统参变量对 TDICCD 成像器成像质量的影响进行探讨和研究。

2 问题提出

TDI 工作模式

图1所示,一个 $M \times N$ 的像面由 N 个阵列 M 级像元组成,每一级(行像元)对应于一条地物 $d \times l$ 。为了提高 CCD 输出信噪比,采用时间延时积累方式,具体工作方式如下:

1) 若 CCD 像元采样 $d \times l$ 地物,则第 i 级 CCD(第 i 行像元)采样,然后以像移速度相匹配的速度 \bar{v} 电延迟,传输给 $i + 1$ 级;

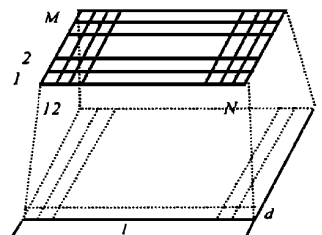


Fig. 1 TDICCD principle figure

2) 第 $i+1$ 级对 $d \times l$ 地物采样, 并将 $i, i+1$ 级的采样值累积相加;

3) 对 1), 2) $i = 1, 2, \dots, M-1$ 重复采样累积, 直到 M 级像元采样完成后, 输出 $d \times l$ 地物的采样信号为止;

TDICCD 工作模式使得输出信号比线阵 CCD 输出信号增加 M 倍, 因此大大提高了噪比, 非常适合低辐照出射度景物的摄像。

2.2 影响成像质量的因素

TDICCD 成像质量的因素主要可分为两方面, 其一, 光学系统, CCD 器件本身和电路设计; 其二, 由于 TDICCD 多应用于航空或空间运动中摄像, 因此, 飞机和卫星的姿态对 TDICCD 成像的影响, 必须给予考虑。

2.2.1 MTF 分析^[1]

CCD 成像是否满足要求, 一般用 MTF(调值传递函数)的分析计算来评价其成像的质量。TDICCD 影响 MTF 下降的因素有四个: 1) 光敏元几何尺寸; 2) 电荷传输速度与像移速度的匹配程度; 3) 电荷运动的离散特性; 4) 电荷传输失效率。通过对各因素的 $MTF_i, MTF_v, MTF_a, MTF_e$ 计算, 可以得到总的 MTF_s , 即:

$$MTF_s = MTF_i \times MTF_v \times MTF_a \times MTF_e$$

MTF_s 越高, TDICCD 成像质量越好。

2.2.2 几何变形分析

由 2.1 可知, 对相同地物采样值进行多级累加是 TDICCD 的主要功能, 为了保证成像质量, 在理想情况下要满足条件: 1) 像移速度与级传输速度相等, 即像面与物面相对静止; 2) 任意一列采样的相同地物的几何形状相同, 使得 M 级累积的像不发生几何变形, 保证图象无畸变现象。然而, 实际应用过程中, 并不能满足理想条件。TDICCD 实际成像, 不仅存在像移速度矢量与级转移矢量的不同步, 而且对相同地物采样的各级累积量, 由于投影面列方向的变形, 因此产生不同形状地物采样值, 使得最后输出的积分图象产生明显变形, 直接影响成像质量。引起变形的系统原因可由 MTF 分析, 非系统原因主要是姿态的变化。由于姿态对 TDICCD 成像产生的影响只能限制和校正, 因此下面主要讨论姿态对成像的影响, 几何畸变和校正方法等问题。

3 非系统变量引起图象失真

3.1 引起失真的主要变量

航空或卫星摄像影响图象质量的主要非系统变量是姿态变量和速度。特别是姿态的变化, 即侧滚、俯仰、偏航的变化。对 TDICCD 的图象成像质量有较大的影响。因像移速度的问题, 可以通过 MTF_i 的分析得到解决, 这里主要讨论一下三个姿态变化对图象质量的影响。

3.2 姿态变化引起的几何变形

为了讨论方便, 这里假定其他非系统变量引起的图象已得到补偿。在这种条件下, 若侧滚 ψ 、俯仰 φ 、偏航 θ 没有变化, 即 $\psi = \varphi = \theta = 0$, 则 TDICCD 成像可以保证在积分方向上每一阵列累加等面积、等形状的采样值, 且无失真的积分, 以提高信噪比。反之, 当 $\psi = \psi_0, \varphi = \varphi_0, \theta = \theta_0$ 时, 由于光学系统视场角的存在, 必然要引起几何变形。

3.2.1 Ψ, φ, θ 分别引起的几何变形

尽管在实际应用中三个变量可能同时起作用,但为了便于分析,先分别讨论每个变量单独作用时的情况,依据光学理论中的透视变换可以给出三种工况的成像变形图。

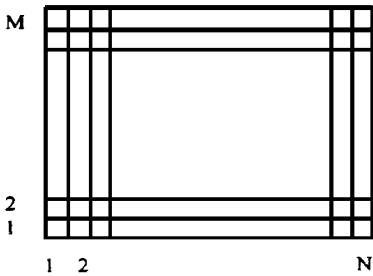


Fig. 2 Image with $\Psi = \varphi = \theta = 0$

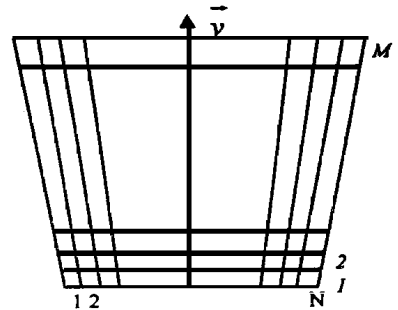


Fig. 3 Image with $\Psi = \Psi_0, \varphi = \theta = 0$

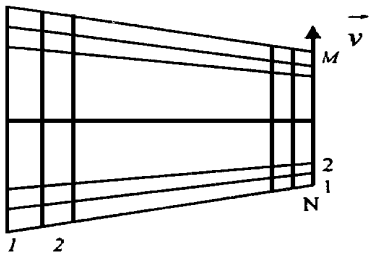


Fig. 4 Image with $\Psi = 0, \varphi = \varphi_0, \theta = 0$

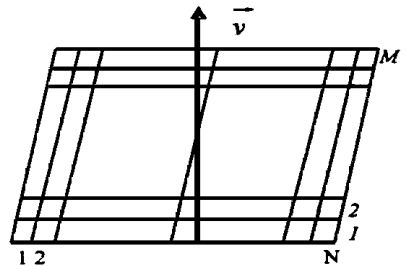


Fig. 5 Image with $\Psi = 0, \varphi = 0, \theta = \theta_0$

由于TDICCD 经过 M 级后的输出电信号 S 正比于辐照度 H 和积分时间 T , $S = kHMT$ (k 为比例系数)。投影成像发生几何变形,TDICCD 的辐照度和积分时间并不改变,即若 H, M, T 一定,则 TDICCD 每列几何变形,只能造成图象的变形和分辨力的下降。

1) 当 $\Psi = \varphi = \theta = 0$ 时,即无姿态变化,各列 M 级的采样形状相同、数值相等,不产生畸变。

2) 当 $\Psi = \Psi_0, \varphi = 0, \theta = 0$ 时,由 Fig. 3 可知: a) TDICCD 列方向产生倾斜角,沿 \vec{v} 方向的采样,由于每一像元在地物上的投影变长,因此空间分辨力比无姿态时明显下降。b) 随着级数 M 的增加,最后一级的采样值下降,即在 M 级延时累加时,最后一级的贡献减少。c) 在 \vec{v} 方向上每个像元对应的地物距离 d 变长,相对单位时间内的像移速度增大,使 MTF_v 发生变化,降低列方向的传递函数。

3) 当时,由 Fig. 4 可知,尽管在行方向上造成了几何变形,但由于列方向没有发生变形,使得 TDICCD 在积分方向上不发生畸变现象,只是单纯产生几何变形。

4) 当 $\Psi = 0, \varphi = 0, \theta = \theta_0$ 时,由 Fig. 5 所示,显然积分方向与飞行方向偏离 θ 角,行方向产生像位移,从而造成图象模糊。

3.2.2 姿态组合引起的图象畸变

由3.2.1可知,姿态的变化对图象质量有较大的影响。在实际成像过程中经常是两个以上的姿态变量变化,依据3.2.1的分析结果,可得出 Ψ, φ, θ 同时作用的成像变形图。

因为 Ψ, φ, θ 变化的不同排序将引起不相同的图象畸变,所以共有12种不同的变形图。这里给出典型的图象变形图。其他变形图的可由 Fig. 3, 4, 5组合产生。

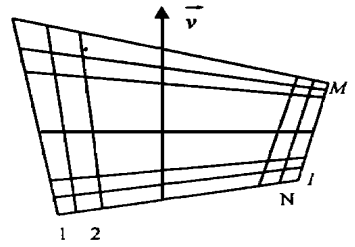


Fig. 6 Image with $\varphi = \varphi_0, \Psi = \Psi_0, \theta = \theta_0$

4 图象变形的校正

4.1 成像前校正

TDICCD 的特点就是积分级的调整,因此可以在光学系统设计过程中或成像前就考虑不同成像的工况情况。虽然级数可以用于提高信噪比,但并不是 M 越多成像质量越好。这一点可以由 Fig. 3得出,在有姿态变化时, M 越多,最后一级采样值贡献越少变形越大。由此可知,在满足信噪比余量的情况下,尽可能减少级数,这样可以校正部分图象变形,提高其质量。

4.2 成像后校正

一般情况下,图象失真的校正过程分为空间坐标变换和校正后像点取值两部分^[2]。问题的关键标准像面的确定。由于非系统变量的变化时随机的,标准坐标系很难确定。这里应用 TDICCD 连续成像的特点给出一种近似标准像点方法。取 TDICCD 连续几个成像区间,其中有数幅图象,且设每幅图象的坐标系 (x_i, y_i) , 当没有非系统变量的随机变化时,连续数幅图象上各像点对的坐标值完全相同; 当非系统变量随机变化时,通过最小差值法建立近似标准像面,即求 $\Delta x_i = \min_{i,j} x_i - x_j, \Delta y_i = \min_{i,j} y_i - y_j$, 取 $\Delta x_i, \Delta y_i$ 最小的点为近似标准像点,建立标准像点和标准像面,然后可以采用已经成熟的二元多项式法求出各像点的校正像面坐标值,实现图象的几何变形校正。

5 结 论

综上所述关于非系统变量 Ψ, φ, θ 对 TDICCD 成像质量影响的讨论,可得出如下结论:

- 1) 姿态的变化 TDICCD 成像有较大的影响;
- 2) TDICCD 积分级数可以降低姿态对成像的影响程度;
- 3) 可以用近似标准像点方法改善图象质量。

参 考 文 献

- 1 Barbe D F. Imaging Devices Using the Charge-Coupled Concept. Proc IEEE, 1975, 63: 38 ~ 67
- 2 荆仁杰等. 计算机图象处理. 杭州: 浙江大学出版社, 1990. 193 ~ 203

Non-system Variable Having Influence on Imaging Quality of TDICCD

HE Bin

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

Abstract

Non-system variables having influence on imaging quality of TDICCD are discussed in the paper. The adjustment method is proposed.

Key words: TDICCD, Image, Attitude.

何 斌 男,副研究员,1990年毕业于北京理工大学研究生院自动控制专业,获硕士学位,现工作在长春光机所光学工程中心,从事 EDA 和图象处理工作。