

电子带宽对高速视频成像系统的限制

达争尚 陈良益

(中国科学院西安光机所水下光电探测技术室, 西安 710068)

摘要 分析了高速视频成像系统的信息传递关系,从系统传递一定的信息量出发,得出其对电子系统带宽的要求;以靶场应用为对象,通过对满足测试需要的高速信息流量的分析计算,得出结论:在实际的电子线路和计算机处理技术的能力下,由于电子系统带宽的制约,高速视频成像尚不能完全取代传统的胶片式高速摄影系统.

关键词 高速视频录像;信息传递;系统带宽;高速摄影;靶场测试

中图分类号 TB872 **文献标识码** A

0 引言

电子系统的带宽限制了其所能传递的最大信息流量,对高速视频系统而言,由于所成的图像为电子图像,图像要经电子系统的处理,因此电子系统的带宽必然是信息传递环节中的一个影响因素,在有些应用情况下它可能会成为制约系统性能的“瓶颈”环节. 本文首先对高速视频成像系统的信息传递关系进行了分析,从传递一定的信息量出发,得出视频成像系统对电子系统带宽的要求,并以靶场的实际应用要求为依据,计算了高速成像系统应具有的信息流量,作者认为,目前的电子系统传递、处理乃至存储如此高的信息流量是有困难的,得出结论:由于电子系统带宽的制约,高速视频成像尚不能完全取代传统的胶片式高速摄影系统(注:本文所论述的高速视频系统指能连续拍摄多幅画面的高速成像系统,对应于高速摄影中的间歇式摄影机和棱镜补偿式摄影机^[1,2]).

首先讨论视频成像系统的信息传递关系.

1 视频成像系统组成

一个典型的视频系统成像过程如图1所示. 成像过程为:光学系统将目标的光学像成在光电器件

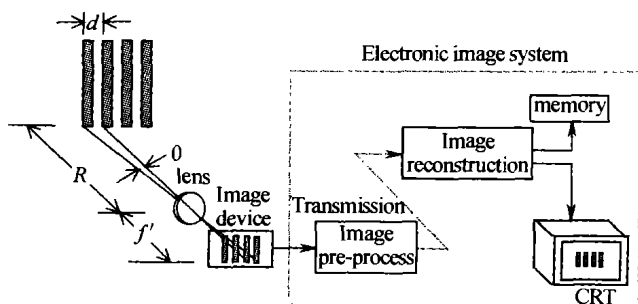


图1 视频系统成像示意图
Fig. 1 The block diagram of visual image system

靶面上,经光电转换后形成电子图像,电子图像在驱动电路作用下有序的读出,即为视频信号,视频信号经电子系统预处理、传输、重建后显示在CRT上或存储起来. 虚线框内为电子图像系统,具体包括有信号的放大、滤波、量化、编码、存储、处理、显示等单元.

2 系统的信息传递关系

物方的目标信息经光学系统、光电器件、电子图像系统传递过程中的信息相互关系如下:

如图1,假设物空间黑白条纹的间隔为 d (mm),则物空间的角分辨为

$$u_{ob} = \frac{1}{1000} \left(\frac{R_1}{d} \right) \text{cycles/mrad} \quad (1)$$

R_1 为作用距离,若焦距为 f' (m),则像空间的分辨率为

$$u_i = \frac{u_{ob}}{f'} \text{mm}^{-1} \quad (2)$$

u_i 是像方焦平面的分辨,注意式(1)和式(2)的单位不同:当 u_{ob} 的单位是 cycles/mrad 时, f' 的单位必须是 m 才能保持一致, u_i 的单位是 mm^{-1} .

电子图像系统的模拟放大器和滤波器是一维的,调制数据流串,其频率与水平方向的视场(HFOV)和读出一行的时间有关,设行读出时间为 t_{H-LINE} ,则电子频率为^[3]

$$f_e = \frac{HFOV \cdot f' u_i}{t_{H-LINE}} \text{ (Hz)} \quad (3)$$

f_e 的单位是 cycles/s (Hz),对于有 N_H 个水平像元的探测器来说

$$f_e = \frac{(N_H - 1) d_{CCH} + d}{t_{H-LINE}} u_i \text{ (Hz)} \quad (4)$$

d_{CCH} 为像元的中心间距, d 为像元大小,设像元为方型且像元间无间隙,则: $d_{CCH} = d$,式(4)演变式为

$$f_e = \frac{N_H d_{CCH}}{t_{H-LINE}} u_i \text{ (Hz)} \quad (5)$$

当 u_i 为 Nyquist 频率,即 $u_i = 1/2 d_{CCH}$ 时,有

$$f_c = \frac{N_H}{2t_{H-LINE}} \quad (6)$$

此即为信号放大器和滤波器对带宽的要求。

又知,对带宽为 f_c 的电学系统,其脉冲响应为^[4]

$$A(t) = \frac{\sin(2\pi f_c t)}{2\pi f_c t} \quad (7)$$

电路所能分辨的两相邻脉冲的最短时间间隔为: $\Delta t = 1/2f_c$ 。当行读出时间为 t_{H-LINE} 时,则一行所能分辨的“像素”数为

$$N = \frac{t_{H-LINE}}{\Delta t} = 2f_c t_{H-LINE} \quad (8)$$

式(6)表明了传递一定信息量时对模拟电子带宽的要求,式(8)表明一定带宽的系统最大所能传递的信息量,两者实际上是一致的,是设计电子重建系统带宽的依据,同时表明:带宽与系统所传递的信息是相互制约的。

对图像处理系统中的数字滤波器,其频率(采样率)与采样的时钟频率有关

$$f_{cs} = \frac{1}{T_{CLOCK}} \quad (\text{Hz}) \quad (9)$$

若对式(6)确定的带宽信号采样,由采样定理知,满足电子信息域的最低采样频率为 $f_{cs} = 2f_c$ 。

若量化的位数为 K ,则数字图像域的带宽即信息速率为

$$f_{cs} = Kf_c = 2Kf_c \quad (10)$$

式(10)是对数字图像的处理及存储等的带宽要求。

3 靶场应用对高速成像系统信息速率的要求

对高速摄影来说,信息内容包括有空间信息和时间信息^[5,6],在靶场应用中空间信息率即为空间分辨率,时间信息为拍摄频率,不同的具体应用对这两种信息量的要求不同。对测量目标的飞行姿态而言,一般分辨率要求为 30 ~ 40 lp/mm,而拍摄目标对摄影频率的要求在 1000 fps 以内。以 GJW-180 摄影机为例,总体要求摄影分辨率为 35 lp/mm,最高摄影频率为 800 fps,下面分析当采用高速视频系统时这一信息量指标对电子带宽的要求。

由采样定理知,探测器所能复现的最高空间图像频率为阵列的 Nyquist 频率,即 $u_i = 1/2d_{CCH}$,而对光学-探测器分系统,点目标形成的光学图像瑞利斑直径为

$$d_{AIRY} = 2.44\lambda f'/D \quad (11)$$

由瑞利判据^[7]知:光学系统所能区分的两个点目标像的最小间距为瑞利斑的半径,因此,当 $d_{AIRY} = d_{CCH}$

时,刚好能满足采样定理的要求。若 $d_{AIRY} < d_{CCH}$,则系统是探测器受限系统;若 $d_{AIRY} > d_{CCH}$,则系统是光学受限系统。假设像元是方型的,且 $d_{CCH} = d$ (像元大小),光学-探测器分系统形成的综合分辨按下式计算^[3]

$$R_{EQ-SYS} = d \sqrt{\left(\frac{1.845}{x}\right)^2 + 1} \quad \text{其中 } x = d/F\lambda \quad (12)$$

满足采样定理时, $x = 2.44$, $R_{EQ-SYS} = 1.25d$ 。

由上式可确定一定的分辨对像元大小的要求,当分辨率要求为 35 lp/mm;即 $R_{EQ-SYS} = (1/2 \times 35) \text{ mm}$ 时,探测器像元大小应为: $d = R_{EQ-SYS}/1.25 = 11.4 \mu\text{m}$,考虑到电子图像重建系统并非理想的(在 Nyquist 频率时对调制度有很大的衰减),计算信息速率时取 $d = 10 \mu\text{m}$,假设探测器的光学格式为 1/2 英寸 (12.8 × 9.6 mm,比胶片小),则包含的像素数为:

$$\text{水平方向: } 12.8 \times 10^3 / 10 = 1280$$

$$\text{垂直方向: } 9.6 \times 10^3 / 10 = 960$$

水平方向的像素数即为(6)中的 N_H ,若拍摄频率按 400 fps 计算(最高 800 fps),则每帧曝光时间为: (1/400)s,由于垂直方向有 480 行像素,行读出时间 t_{H-LINE} 为

$$t_{H-LINE} = 1/1280 \times 960 \quad (13)$$

将以上数据代入式(6)得模拟电子系统的带宽为

$$f_c = \frac{N_H}{2t_{H-LINE}} = \frac{1280 \times 400 \times 960}{2} = 245.76 \text{ MHz} \quad (14)$$

若 AD 转换的量化位数为 10 位,则数字图像域的带宽为

$$f_{dc} = 2 \times 10 \times f_c = 4.92 \text{ GHz} \quad (15)$$

就目前电子线路的处理速度来说,245.76 MHz 的模拟带宽虽没有达到极限,但对靶场应用来说,尤其在远距离探测时,由于系统本身的信噪比小,而前置处理电路采用 245.76 MHz 的模拟带宽,势必会附加更多的噪声进来,影响有用信号的提取,这在实际的工程中是必须要考虑的问题。

而 4.92 GHz 的数字带宽对计算机图像存储和处理来说还是有困难的,同时成像器件的驱动也成为问题。例如英特尔的第四代 CPU 的主频不过 3 GHz,而执行指令的速度还要小一个量级;Handland^[8]公司的最新高速视频产品 SVR3,其相机和计算机之间通过光纤传输的数字信号流仅为 200 Mbits/s,传输一幅图像的时间在秒的量级(相机的曝光时间可达 20 ns)。由此可见,电子学系统的带宽是制约高速视频成像系统的一个重要环节,而对胶片式高速摄影系统,由于影像直接成在胶片上,

所以不存在电子带宽限制的问题。

针对高速视频成像的带宽制约问题,人们设想用“并行处理”的方法予以解决,在图像源方面,开展的主要工作有图像的“光学拼接”;在电子图像域,主要研究数据的大比率压缩、编码、解码等。这些方法目前大多还处于实验研究阶段,尚未见有付诸工程实例的报道,其效果、性能价格比等也不可不知。

4 结论

视频成像系统的实时性、易操作性、与计算机可直接接口等特点是其较之于胶片式摄影系统的最大优点,它必然是成像系统发展的方向。但是在靶场应用领域,尤其在测量空间目标的飞行姿态和遭遇过程时,电子系统不能够传输、处理、存储系统所要求的高速数据流,带宽的制约是限制视频系统在高速分析领域应用的一个重要因素,可以认为:高速视频成像尚不能完全取代传统的胶片式高速摄影系统。

参考文献

- 1 龚祖同,张耀明. 高速摄影总论与间歇式高速摄影. 北京: 科学出版社,1980. 1 ~ 20
Gong Z T, Zhang Y M. General Introduction on High-speed Photography and Intermittence High-speed Photography.

- Beijing: Science Press,1980. 1 ~ 20
- 2 乔亚天. 光学补偿高速摄影. 北京: 科学出版社,1984. 18 ~ 32
Qiao Y T. Optical Compensation High-speed Photography. Beijing: Science Press,1980. 18 ~ 32
- 3 Holst G C. CCD ARRAYS, CAMERAS, and DISPLAYS. Bellingham, WA: SPIE Press,2000. 73 ~ 89,236 ~ 35
- 4 Tekalp A M. Digital Video Processing. New York: Prentice Hall PTR,1998. 30 ~ 35
- 5 陶纯堪,陶纯匡. 光学信息论. 北京: 科学出版社,1999. 18 ~ 24
Tao C K, Tao C K. Discuss on Optical Information. Beijing: Science Press,1999. 18 ~ 24
- 6 达争尚,陈良益. 高速摄影系统与高速视频系统信息量的分析. 光子学报,2002, (Z3): 67 ~ 80
Da Z S, Cheng L Y. Acta Photonica Sinica,2002, (Z3): 67 ~ 80
- 7 赵凯华,钟锡华. 光学. 北京: 北京大学出版社,1982. 212 ~ 220
Zhao K H, Zhong X H. Optics. Beijing: Peking University Press,1982. 212 ~ 220
- 8 Products Handbook. London: HANDLAND company, 2002

The Limitation of Electronic Band-width to High-speed Visual Image System

Da Zhengshang, Chen Liangyi

Department of underwater Opt-electronic Testing Engineering, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of C A S, Xi'an 710068

Received date:2003-06-19

Abstract In the field of high-speed phenomenon analysis, the problem whether high-speed visual image system can take the place of traditional film image system always bothers the user, in this paper, the information transition relationship in the high-speed visual image system is analyzed, that shows the electronic image reconstruction system's band-width must satisfy the need of high speed data rate. Based on the range test use, the needed data speed rate is calculated; the electronic system can not satisfy this speed rate need when consider the development level of the electronic circuit and computer technology at present time, so the following conclusion is drawn: the high-speed visual image system still can not take the place of the high-speed photography in all aspect.

Keywords High-speed videography; Information transition; System band-width; High-speed photography; Range test



Da Zhengshang was born in 1973, in Shaanxi Province. graduated from Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS in 1996 as a bachelor and received his Master degree in optical engineering in 2000. Now he is a PH. D. candidate in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, majoring in opt-electronic testing engineering.