

高分辨率回束视象管的应用

回束视象管 (RBV) 是一种性能良好的电子图象传感器和电存储元件。它能够接受连续和断续的曝光。为信号的处理或显示, 能够以一次扫描或多次重复扫描读出信息。分辨率是 10,000 电视行/图象高度, 每毫米 100 对线, 性能赶上或超过胶片, 特别是在低对比度成象情况下成象衬度低的胶片。电子变焦距能够有效用于图象放大和数据压缩。回束视象管这种良好的性能和灵活性, 使其广泛应用于侦察、扫描变换、信息存储与检索, 自动检验与试验的系统中。本文概

被压缩。低光平图象的探测需要最优化的信噪比和减少不合需要的传感器的存贮效应。被称为束位置调制的间歇扫描技术曾被用来消除由于慢扫描而带来的信噪比损失。偏置照明技术的应用提供了减少存贮效应的方便手段, 这种不希望的存贮效应是与电视摄像机单次曝光的特点相联系的。

由于应用低噪声场效应管放大器, 使放大器产生的噪声减少到等效于每象素 400 个电子的均方根噪声电流。在实验室实验中曾探测到相当于一千瑞利极光的微弱图象, 一千瑞利极光包含每象素 600 个一次光子 (等效于 3000 个电子的电荷)。相对低的 200 条电视线分辨率允许在较大的动态范围内应用, 因而亮 500 倍的图象也能由摄像机处理。

值得提出的是, 具有 10% 量子效率的光电阴极, 600 个一次光子仅对应 60 个光电子, 它固有的信噪比是 $\sqrt{60} \approx 8:1$, 这非常接近于信号——放大器噪声比。对于较强烈的图象, 光电子的统计起伏是会比较大的, 并且会比摄像机放大器产生的噪声还大。光

括论述了回束视象管的特性曲线和性能参数, 以及列举可能应用的实例。

绪 言

回束视象管象征着电子束读出图象传感器的设计和性能的重大发展。实时军事侦察和地球资源应用的需要推动了它的发展。将来在其它方面的应用, 回束视象管也有很大的潜力。

回束视象管的工作原理与以前为电视工

电子统计噪声的优势不能用实验显示, 因为把依赖于光电子的瞬时噪声从 SEC 管的小比例非均匀性中分离出来是困难的。当摄像机与数字计算机的接口完备时, 比较连续的帧会简单得多并且也能安排更加可靠的这种测量。

没有在“猫头鹰”中利用的另一个引人注目的特点是摄像机的长时间积分能力。仅仅由于小的变更, 曝光时间就被延长了。实验已证明可实行两分钟曝光, 并且没有发现可察觉的图象变坏。用这个方法可以满意地探测到微弱 1000 倍的图象。随着近来在空间飞行器中稳定化技术的发展, 象这样的摄像机对微弱图象进行长时间曝光照象是很有用的。

为了在另外的空间飞船上应用, 修改的“猫头鹰”摄像机应当是相对简单的, 因为它是一个完整的, 自同步的, 具有独立操作能力的“猫头鹰”卫星系统的电视摄像机。

[译自 IEEE 1969 Vol 57 No3 P 281

[梁玉华 译 陈长喜 校]

业所发展的各种传感器的原理有联系。光敏层是一种类似于商品视象管所采用的光电导体，回束读出类似于超正析摄像管。性能的最重大的发展表现在电子光学方面。轴外象差的严格校正和电子束着陆误差的减少，使大靶面整个范围内都具有良好的性能。

回束视象管最佳的使用需要一些特殊的操作方式，以提高性能，并可以把它用在多种类型的数据处理系统里。回束视象管电视摄像系统的独特的特点包括：整个靶面分辨率都高；有光和电的输入数据能力；“快照”数据输入能力；图象放大和信息安排用的电子学扫描光栅变焦距；对比增强；高存储能力。

这些特点使得在很好制定的元件制作工艺基础上的高性能系统的设计有额外的自由。

结 构

$4\frac{1}{2}$ 吋的回束视象管断面和外部的磁电子光学的略图如图1所示。这些高分辨率电子图象传感元件是空军航空实验室发起而由美国无线电公司在谢德(O.H. Schade)的技术指导下多年发展的结果。回束视象管包括一个大的50mm×50mm光电导敏感层或静电储存靶。也可采用同样设计的25mm×25mm光敏层的2吋回束视象管。

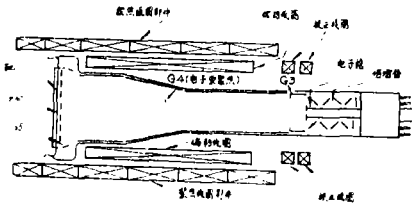


图1 $4\frac{1}{2}$ 吋回束视象管

回束视象管的电子光学包括磁聚焦和偏转元件。四个线圈提供聚焦场，并仔细地成形以便校正由于偏转场引起的轴外像差。主镜分辨率等效于工作在可见光谱区受衍射限

制的 $f/1$ 光学系统。边缘分辨率本质上和中心分辨率一样好，在整个靶面上电子束着陆误差已经减少到接近于0.01伏。

回束视象管的高增益回束读出具有高灵敏度，宽视频带宽，和长时间多帧读出。

各种不同的电子枪设计方案已经成功地用于回束视象管。性能良好的管子包含一个贮备式阴极，且能在二种方式下工作。一种方式供给读出的弱电流和小直径电子束，另一种方式为使靶迅速产生偏压供给强电流。这种强电流方式已使“快照”工作得以实现。

传感器特性

回束视象管的电子光学在整个光敏层上都提供了显著的孔径响应。图2表示一个典型的 $4\frac{1}{2}$ 吋回束视象管方波响应特性曲线，为了比较还包括标准电视传感器性能。回束视象管具有约10倍于标准电视传感器的线性（面积相当于100倍）分辨率，每毫米100对线的高分辨率（10000电视行/图象高度）已在整个光敏层得到证明。

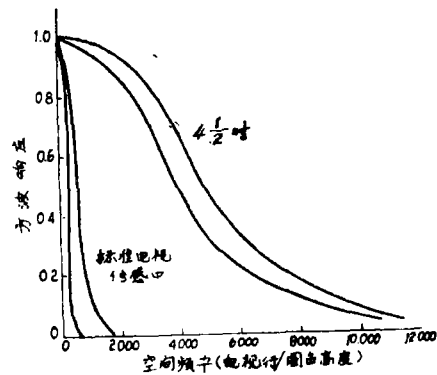


图2 孔径响应

回束视象管采用标准的碲硫化物，氧硫化物靶(ASOS)，能提供图象传感和静电存储功能。读出可在定态光学曝光下连续进行，对包括快门曝光或电学存入的断续输入也可接近实时读出。用断续输入，信息可以

用不同方式读出, 包括慢速, 单帧扫描或电视显示器显示用的快速多帧扫描。在多帧读出方式中, 可在约一分钟内进行连续的高质量显示。所有读出方式均可通过光栅转向和电子变焦距进行电子学放大(典型地10比1)。

断续“快照”曝光可以通过靶偏压的适当调节, 使得仅仅读出有用信息的曝光电平, 从而使对比度显著提高。这种读出方式在航空侦察应用中提供“雾状背景消除”。这项技术的原理在图3示出。与普通的回束读出作一比较, 在普通的回束方式中所有的存储信息都是用相当大的电子束电流读出。“雾状背景消除”技术可以显著减少电子束电流和有关噪音。读出后, 人为的照明靶以擦掉任何剩余象的调制。然后通过扫描使靶偏压, 为下一次曝光做准备, 这样工作周期就完成了。

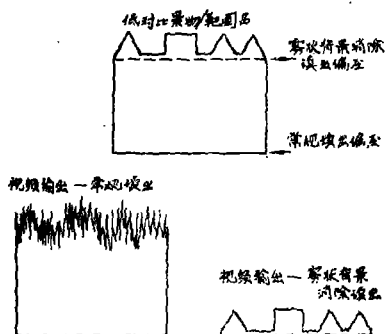


图3 图象对比增强技术

这种对比增强技术可以有效地利用直至很低的对比率。已证明具有优于人眼的低对比阈值的能力。回束视象管性能的极限是由靶的存储能力和在“准备”程序时确定的偏压电位所决定。下面描述设计和性能参数之间的关系。

对于 ASOS 光电导体, 响应率约与靶的极化电位成正比。任何曝光情况下, 存储信号电位可以表示为:

$$V_s = V_p \left[1 - \exp\left(-\frac{\epsilon_s}{\epsilon_T}\right) \right] \exp\left[-\left(\frac{1-C}{C}\right) \frac{\epsilon_s}{\epsilon_T}\right] \quad (1)$$

式中: V_s = 存储信号电位—伏

V_p = 靶极化电位—伏

ϵ_s = 信号(差)曝光—呎—烛光秒

ϵ_T = 光电导体曝光灵敏度常数—呎—烛光秒

C = 对比度系数

同样:

$$C = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_H} = \frac{\epsilon_H - \epsilon_L}{\epsilon_H}$$

式中:

ϵ_H = 强光曝光—呎—烛光秒

ϵ_L = 弱光曝光—呎—烛光秒

在回束视象管的输出端, V_s 会产生一定的零空间频率的差值信噪比 ($SNR\Delta$)。

方程 (1) 表明, 对任何 V_p 和 C , V_s 随 ϵ_s 增长到最大值, 然后再下降。最大值相当于最佳曝光条件。表示为:

$$\epsilon_{s,opt} = \epsilon_T \ln\left(\frac{1}{1-C}\right) \quad (2a)$$

$$\text{或 } \epsilon_{H,opt} = \frac{\epsilon_T}{C} \ln\left(\frac{1}{1-C}\right) \quad (2b)$$

对这种曝光条件, 最大存储信号电位是:

$$V_{s,max} = V_p C (1-C) \left(\frac{1-C}{C}\right) \quad (3)$$

这种存储电位会产生一定的最大的差值信噪比 ($SNR\Delta$)。

如果特殊的应用需要有一定的差值信噪比 ($SNR\Delta$) 性能, 这就对曝光 ϵ_s 和对比度 C 提出要求。由方程 (1) 和 (3) 导出的这些要求的图式表示由图 (4) 给出, 图是根据典型系统设计参量包括 $SNR\Delta = 30$ 而作的。这个数值将产生优质图象, 且离成象条件的阈值还远。尽管如此, 但要注意, 对极化电位在数十伏范围内, 即使对比度 (C) 低达仅百分之几, 仍可获得这种高性能。在实验室和野外试验中, 这种性能已被实验所证实。

图5表示回束视象管的分辨本领和胶片的分辨本领的比较。这些特性曲线从谢德 (O.H. Schade) 完成的工作推算出的。这

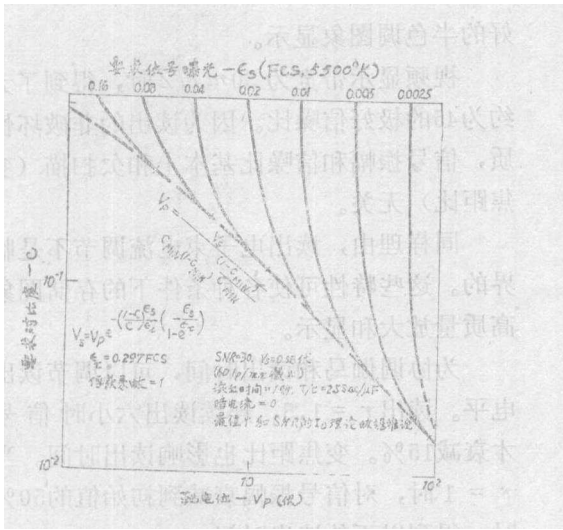


图 4 ASOS光电导体特性

种比较所用的方法，把调制传递函数（包括一个衍射限制的 $f/5.6$ 透镜），信噪比特性，和灰度传递函数结合起来，提供一种作为平均曝光和景物对比度函数的性能上限。应注意到，回束视象管工作范围超过所有胶卷型号的范围。回束视象管摄像机的性能在高对比度下和 So-206 胶片相同，比 3414 胶片稍差，而在低对比度条件下则超过这二种胶片的性能。

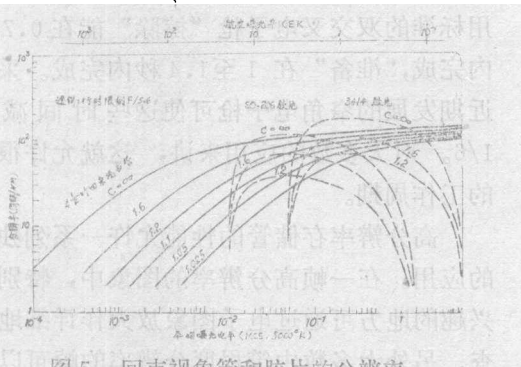


图 5 回束视象管和胶片的分辨率

即使在对比度低于胶片和人的视觉极限时，用回束视象管也可获得优质图象。这种突出的能力可能由回束视象管高性能靶和读出时间采用对比增强技术来得到。这种能力在不利的天气条件下获得航空图象是特别重要的。

为了提供有效的侦察能力，重要的是要相当快地重复“快照”周期，以便允许获得

相邻和立体重迭信息。因为曝光和擦除程序仅需零点几秒，则周期时间主要决定于读出时间（带宽限制）和准备时间（电子枪电流限制）。一种特殊的电子枪设计可以仅用半秒钟就作好准备。周期时间可以表示为：

$$T_c = (T_p + \frac{K}{B}) \frac{1}{Z^2}$$

式中： T_c = 周期

T_p = 靶准备时间

B = 读出的视频带宽

K = 包括读出光栅线数和消隐参数的常数

Z = 准备和读出光栅的电子可变焦距比

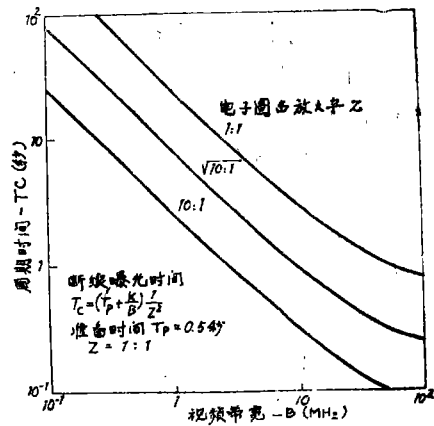


图 6 回束视象管周期时间特性

图 6 所示是 $6,000 \times 6,000$ 电视行/图象高度系统的典型周期时间特性曲线。要注意，在感兴趣的大部分带宽上，周期的变化与带宽成反比。此外，在电子变焦距工作方式中周期能够显著地缩短。该图说明宽的数据速率范围和回束视象管“快照”工作方式中能够达到的快的读出工作周期。

静电存储管

回束视象管亦可作为一个电子写入——读出存储管工作。可以采用一个标准的 ASOS 光电导体靶，整个分辨本领基本上同用光学输入得到的一样好。电学和光学的输

人可以叠加。如同仅用光学输入一样，读出可用慢扫描单帧或快扫描多帧来完成。在采用多帧读出方式时，即使读出基本上破坏，信息还可以无闪烁地显示约一分钟。存储在靶任何部位的信息均可用电子变焦距放大。

已经认识到，如果读出过程能做到原样不受破坏，则回束视象管的电学存储特性可以更进一步提高。这一点已通过 RBV 中采用一种新型的存储靶实现了。靶的结构是 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，并且在硅的基底上有 7,000 条 SiO_2 条纹。这种结构相同于在很多通用的非破坏读出存储管所采用的结构。这种新型器件突出的设计特征包括：

大型高密度存储靶。

在整个大的成象面上分辨率都高（100 对线/毫米）的电子光学系统。

为了快速“擦除”和“准备”而采用的强电流能力的双交叉电子枪。

为在读出电流低时，得到宽的频带，采用回束读出。这些低的电流会大大延长读出时间和靶的寿命。

图 7 表示用低速和高速书写方式得到的一组典型的孔径响应。当保持全灰度性能时，用方波调制测量了这个响应。这是一种比通常用的正交读出/写入缩小光栅法更为谨慎的测量。采用所有方式都观察到 5000 至 6000 电视行/图象高度的目视极限分辨率。为了参考，图 7 亦包括用 1 吋硅存储管所得到的典型等价孔径响应。

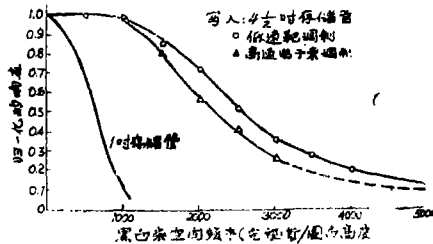


图 7 孔径响应

在读出时，主要靠调节靶的偏压使得信号转换和灰度最佳化。对于线性转换，至少可观察到十个 $\sqrt{2}$ 的灰度等级。这可提供极

好的半色调图象显示。

视频显示带宽为 30mHZ 时，得到了大约为 45 的极好信噪比。因为读出的非破坏性质，信号振幅和信噪比基本上和欠扫描（变焦距比）无关。

同样理由，读出电子束电流调节不是临界的。这些特性可使各种条件下的存储图象高质量放大和显示。

为协调伽马和读出时间，可以调节读出电平。读出 $r = 1.5$ ，连续读出六小时信号才衰减 15%。变焦距比也影响读出时间。当 $r = 1$ 时，对信号振幅衰减到初始值的 50% 时，得到以下的读出时间。

变焦距比	面积比率	读出时间 (分)
1 : 1	1 : 1	190
3 : 1	9 : 1	15
10 : 1	100 : 1	1.5

对不读出的存储信息，经过几天后观察，基本上没有减少。存储一个月后，虽然观察到信号衰减很多，但视频质量仍十分令人满意。

存储管工作时，优先采用快速“擦除”（解调）和低速度“准备”（偏压）顺序。采用标准的双交叉电子枪“擦除”能在 0.7 秒内完成，“准备”在 1 至 1.4 秒内完成。采用近期发展的窄角电子枪可使这些时间减至 1/6。对大多数的应用来讲，这就允许很快的工作周期。

高分辨率存储管的性能允许一系列独特的应用。在一帧高分辨率的图象中，特别感兴趣的地方可通过电子图象放大作详细地考查。另外大多数中等程度分辨率的帧可以存储，然后可以有选择地读出每一帧。输入和输出数据速率可以在一个大的范围内改变。

应 用

为侦察而发展的回束视象管，已经成功地应用于飞机和宇宙飞行器上以提供实时输出。在这类的系统中回束视象管起着双重的

光导摄像管的烧伤现象

研究光导摄像管烧伤程度的测定法，与测定信号电流长时间的过度现象一起，为定量掌握烧伤作用条件的依赖关系作出了努力。其结果，明确了烧伤与上升时的过度现象的对应关系。另外还发现了负烧伤对于光通量、靶压显示出逆抛物线状的依赖关系。

1. 前言

光导摄像管的图像烧伤是从很早以前就知道的一种现象。但是，无论是在理论上，还是在实验上，与已有详细调查研究的残留图像等的特性相比较。对于烧伤的研究还没有定性归纳发表的例子。像这样研究烧伤的落后现象，可以说是由于好像是一见很难捉摸似地复杂，以及缺乏为努力发现定量测定

作用。它不仅作为主要的传感器作用，而且它的存储能力还可作扫描转换、电子放大和显示时的多帧读出。

为空军研制的机载系统是高性能飞机上用的 AN/UXD 型电子摄像机系统。这种系统采用了 $4\frac{1}{2}$ 英寸回束视像管做成一个箱安装在 RF-4 飞机上，在各种飞行地形和能见度条件下已经成功地应用。自动曝光和对比度控制，向前运动的补偿，环境控制等附件工作良好。在飞行试验中获得的图象在高对比度下能与胶片相比，在低对比度下超过胶片。

星载系统采用 2 英寸回束视像管，已成功地用于地球资源的普查。

回束视像管也能有效地用于信息转换和恢复。数据可以是各种光学和电学的信息安排和速率。而且这些参数可以作为信息处理的一个主要部分近似计算。典型的应用包括传真发射和接收，记录和照片存入、恢复和注解、警用和民用数据终端，导航和气象数据分配系统以及森林火灾控制。

在工业制造过程中，回束视像管可以有效地用于检验和测试工作，测量元件的光学

烧伤的原因造成的。烧伤一般是当光导摄像管的入射光通量变化了的时候，在输出信号里产生的一种过度现象。但与普通的残留图像不同，它的衰减时间具有长到数秒~数分的特征。这次我们在 Sb_2S_3 光导摄像管上，考察了烧伤的直接的、定量的测定法，以此测定了对烧伤的光导摄像管作用条件的依赖关系。另外，以调查伴随烧伤的过渡现象的目的，也观测了光导摄像管的长时间响应特性。对这些结果进行了若干考察，报告如下：

性能，并与存储的标准相比，从而为元件验收或废除及过程的控制提供依据。这种方法能显示选择的信息以允许适当的人为干涉。

在医学方面提供了许多有效地应用回束视像管的机会。包括患者监视， x 射线，原子核，超声和热成象，图象增强和比较，以及数据记录和恢复。对 x 射线成象，回束视像管的对比度增强能力能大大改进象的能见度并减少曝光。为直接使用 x 射线，希望有附加的象增强，并且期望研制一种具有积分增强器部分的回束视像管。

结 论

回束视像管是一种高性能的图象传感器和存储器元件。它的高分辨率和操作的灵活性使其能在自动控制和人工控制的系统内有效地处理大量的数据。在未来的应用中，回束视像管也具有很大的潜力。

译自 "Optical Engineering"

Vol: 16.No: 3 1977

P 257

〔陈翔宇译 裴玉珩、贾欣志校〕