

电子束数字录象析象技术及系统

刘长发 马菊仙

(中国科学院自动化研究所)

摘 要

本文简要介绍了电子束图象记录、图象解析的原理和方法,介绍了在此基础上建立的 EBR-83 型电子束数字录象析象系统。

该系统的特点是可以输入输出高分辨率和高灰级图象,其最佳空间分辨率为二微米,灰级高于 128 级,在有效成象面积内($30 \times 30 \text{ mm}^2$)可存贮数十兆字节图象信息。

一、引 言

随着现代科学技术的发展,高质量图象记录、存贮、处理技术迅速发展起来,如激光录象、电子束录象、CRT 图象输出输入和光机滚筒输入输出等技术,其中 CRT 和光机滚筒系统已广泛应用于图象处理技术中,而激光和电子束装置只在少数发达国家进行了研究,这两种高分辨率的录象技术可应用于空间、遥感图象记录及处理,还可用于磁转胶(录象磁带至电影胶片的转换),及计算机文件的缩微输出存贮,因此引起了人们的关注。电子束系统的特点是图象分辨率高、曝光能量强、图象灰级多、易于感受电磁控制。建立这样一个系统涉及到电子学、自动控制、电子光学、光学、精密机械、真空技术以及计算机应用技术等。EBR-83 系统是国内建立的第一个电子束录象析象系统。

二、电子束曝光成象与析象的基本原理

所谓电子束曝光是由电子作用于感光材料,使之感光的过程,它的物理化学过程和光子曝光是相似的,但比光子曝光有若干突出的优点。电子束的波长短、能量密度高、可直接由电磁场进行控制等。电子在 20 千伏的加速电压下其理论波长是 0.07 埃,而一般可见光的波长约为数千埃,这是电子成象分辨率高于光学分辨率的根本原因,在光学系统和 CRT 系统中,光学部件的光能损失和 CRT 屏面的光散射现象都是影响成象质量和信噪比的重要因素。但在电子束系统中,聚焦电子束具有很高的能量密度,一个电子的能量约为一个光子能量的数千倍,电子直接曝光几乎不存在能量损失,而且散射也是很轻微的。

聚焦电子束束斑的能量函数虽为高斯分布,但与 CRT 的光斑相比可近似看成一个

理想光源。图 1 为光源函数及曝光斑示意图。

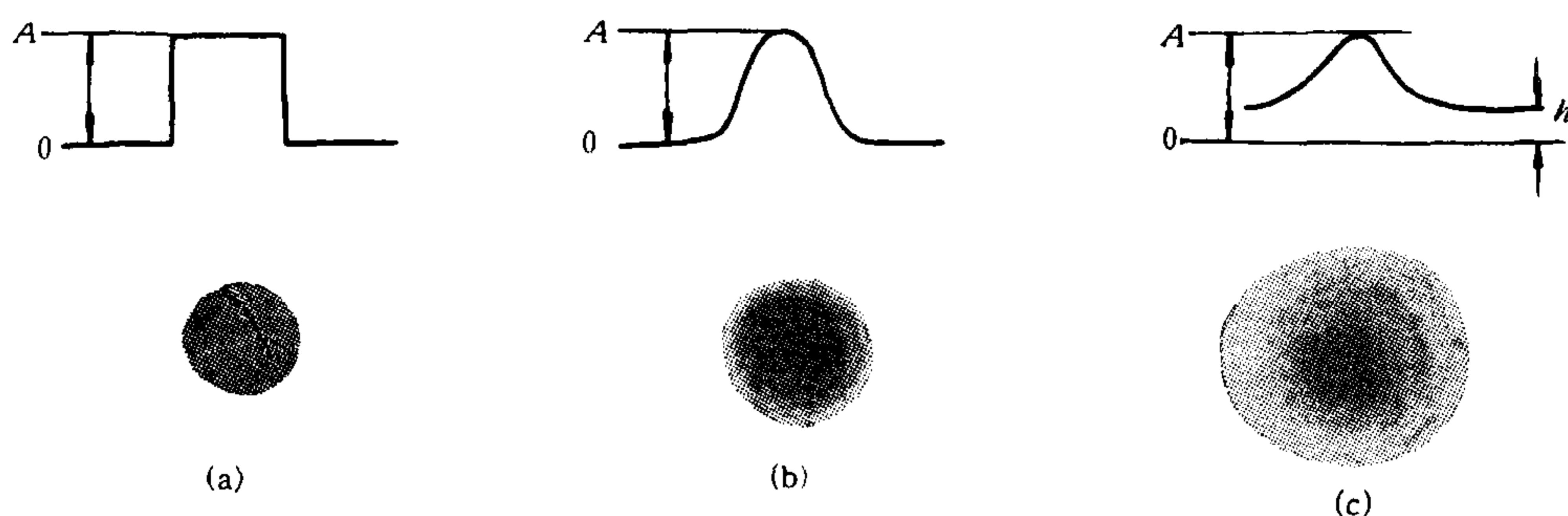


图 1

(a) 理想光斑 (b) 电子束光斑 (c) CRT 光斑

若利用上述三种光斑进行曝光成象则会产生不同的结果,如图 2 所示。

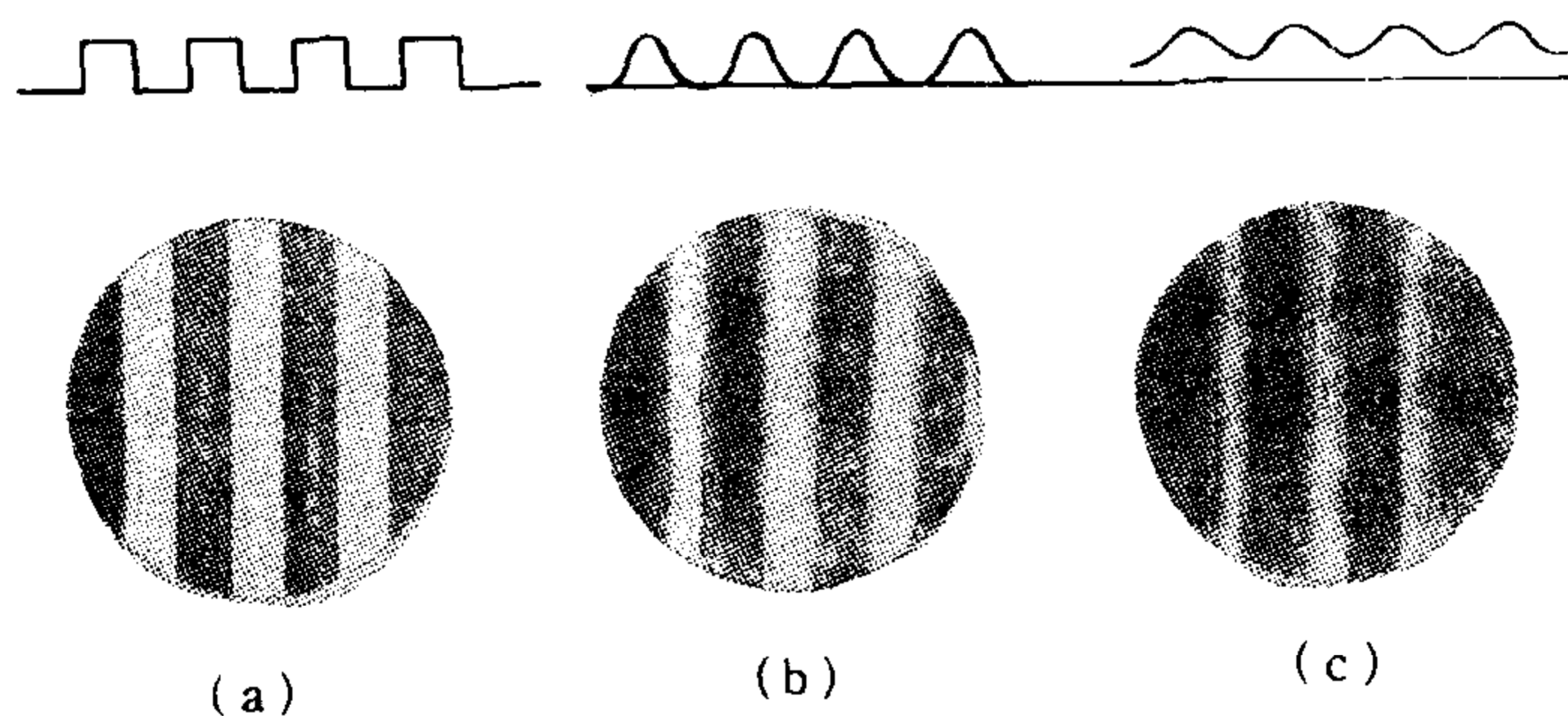


图 2

(a) 理想光源 (b) 电子束光源 (c) CRT 光源

用理想光斑曝光,不会产生任何失真,黑区函数幅值为 A ,白区为零,即反差为 A 。用电子束曝光,由于其能量函数曲线并非理想的矩形波,所以在白区也会产生少量曝光,但基本上可视为零,反差近似为 A 。用 CRT 装置曝光时,由光散射等原因在白区的曝光强度以 h 表示,则图象反差为 $A-h$ 。 h 的存在使曝光图片上产生了一层灰雾。为了消除这一影响,必须牺牲分辨率,即增加光栅间隔。显然用电子曝光明显优于 CRT 装置曝光。光子曝光黑白底片密度 $D = \lg(I_1/I_2) = -\lg T$ 。其中 $T = (I_2/I_1) \times 100\%$ 为底片透过率, I_1 为入射光强, I_2 为透射光强, D 是底片曝光时光能量的函数。

电子束曝光的曝光能量以入射电子密度表示,即每平方厘米的电子数 (e/cm^2)。通过实验得到了如图 3 所示的电子曝光底片特性曲线,该曲线底部为雾区,顶部为饱和区,中间部分为较宽的线性区。该线性区表示电子束曝光有可能获得较宽的灰度分割。

对于图象的底片密度 D 的控制可在成象过程中用程序控制入射电子束能量 e/cm^2

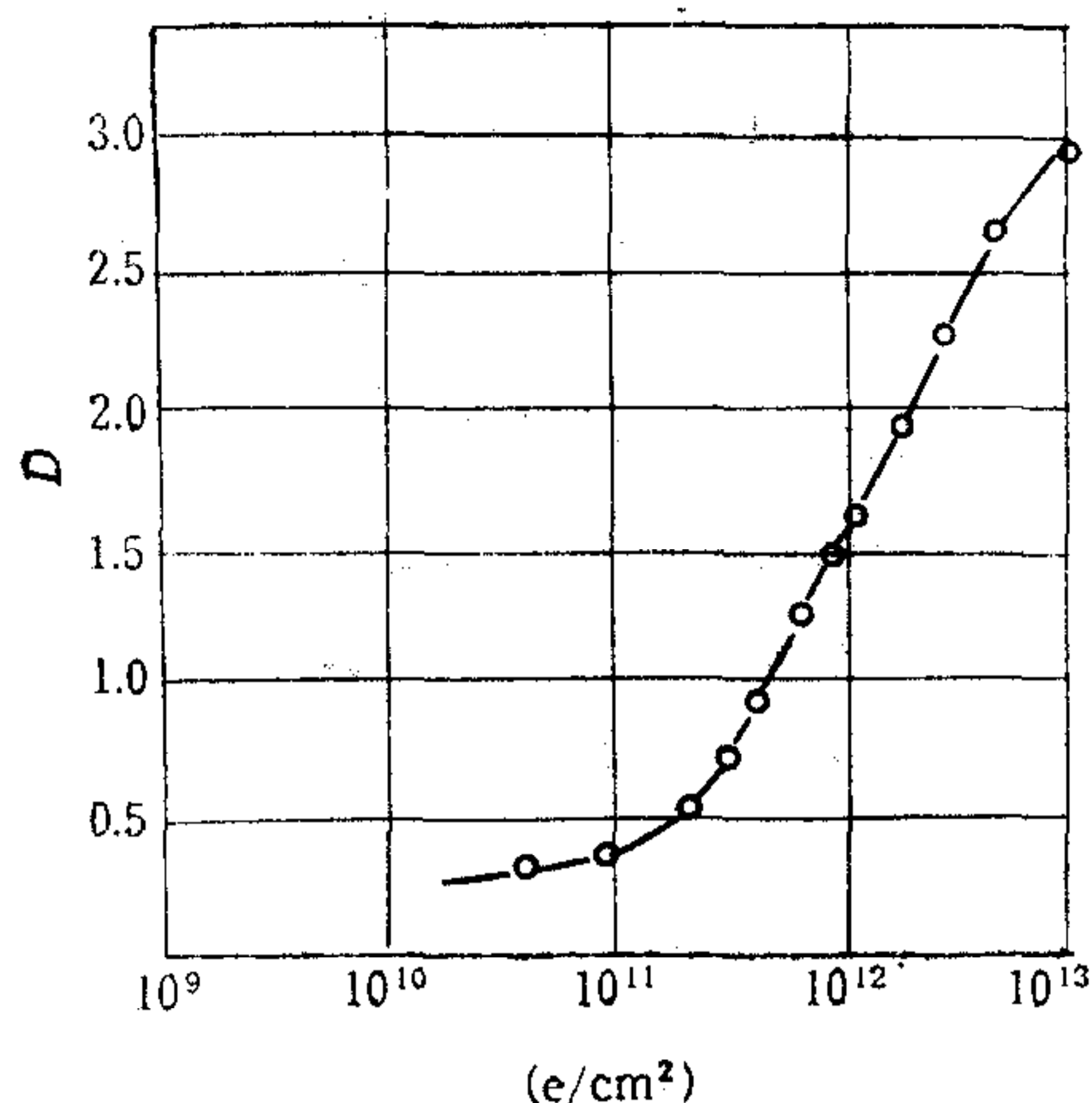


图3 电子束曝光底片特性曲线

来达到。实验表明，在曲线线性区域内可取得 128 级的灰度控制。

在研究了电子束的曝光特性及灰度调制特性后再研究数字成象的过程和特点。一幅黑白底片上的图象经采样及数字化后，用离散函数 G 来表示：

$$G = \begin{bmatrix} G_{0,0} & G_{0,1} & G_{0,2} & \cdots & G_{0,m-1} \\ G_{1,0} & G_{1,1} & G_{1,2} & \cdots & G_{1,m-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ G_{n-1,0} & G_{n-1,1} & G_{n-1,2} & \cdots & G_{n-1,m-1} \end{bmatrix} \cdot$$

G_{ij} 表示图象在点 (x_i, y_j) 的象元函数。

二维数组 G 输入计算机后，一般要根据不同的要求进行数据处理，处理后的函数以 G' 表示：

$$G' = \begin{bmatrix} G'_{0,0} & G'_{0,1} & G'_{0,2} & \cdots & G'_{0,m-1} \\ G'_{1,0} & G'_{1,1} & G'_{1,2} & \cdots & G'_{1,m-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ G'_{n-1,0} & G'_{n-1,1} & G'_{n-1,2} & \cdots & G'_{n-1,m-1} \end{bmatrix} \cdot$$

G' 和 G 之间可能是线性或非线性关系，一般由处理方法决定。

根据函数 G' 实现图象重建时，每一象元函数 G'_{ij} 的几何位置要依次在重建象平面上确定，重建象元灰级 $P(x_i, y_j)$ ，根据图象转换关系由程序决定。图象放大倍数 K 可根据重建图象的大小确定，曝光束径及象元间距 $\Delta x'$ 和 $\Delta y'$ 取决于放大倍数 K 。

$$\Delta x' = K(x_i - x_{i+1}), \quad \Delta y' = K(y_j - y_{j+1}).$$

再建图象以 P 表示：

$$P = \begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{0,1} & \cdots & P_{0,n-1} \\ P_{1,0} & P_{1,1} & \cdots & P_{1,m-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{n-1,0} & P_{n-1,1} & \cdots & P_{n-1,m-1} \end{bmatrix} \cdot$$

当 $K = 1$ 时,重建图象等于原始图象尺寸;当 $K > 1$ 时,则大于原始图象;当 $K < 1$ 时,则小于原始图象。由于电子束有较小的束斑,故 $K < 1$ 时的图象缩微技术是很有实际价值的。它可以实现计算机文件缩微输出 (Computer output microfilm),即实现图象及文字信息的高密度存贮。

重建图象象元 P_{ij} 为新图象象元在 (i, j) 点的灰级,它是曝光能量、材料灵敏度、显影条件的函数,在实验中可根据若干经验数据来确定。

电子束析象的过程是以电子束为激发光源的图象解析过程,即将模拟图象信息解析为数字量信息的过程。在析象系统中由于未加场镜等光学部件和放大器电路,因而大大减少了光能损失及系统噪音。

电子束析象具有以下特点:

(1) 析象分辨率高。与 CRT 相比,电子束不存在玻璃介质的散射效应。在 CRT 系统中当电子束斑为 10 微米时,测得屏面光斑直径为 15 微米。如果加上玻璃屏,测得玻璃面上的光斑直径为 110 微米。玻璃介质的光散射效应如图 4 所示。图中 h 为玻璃厚度, D 为玻璃面上的光斑直径, d 为荧光层光斑直径。

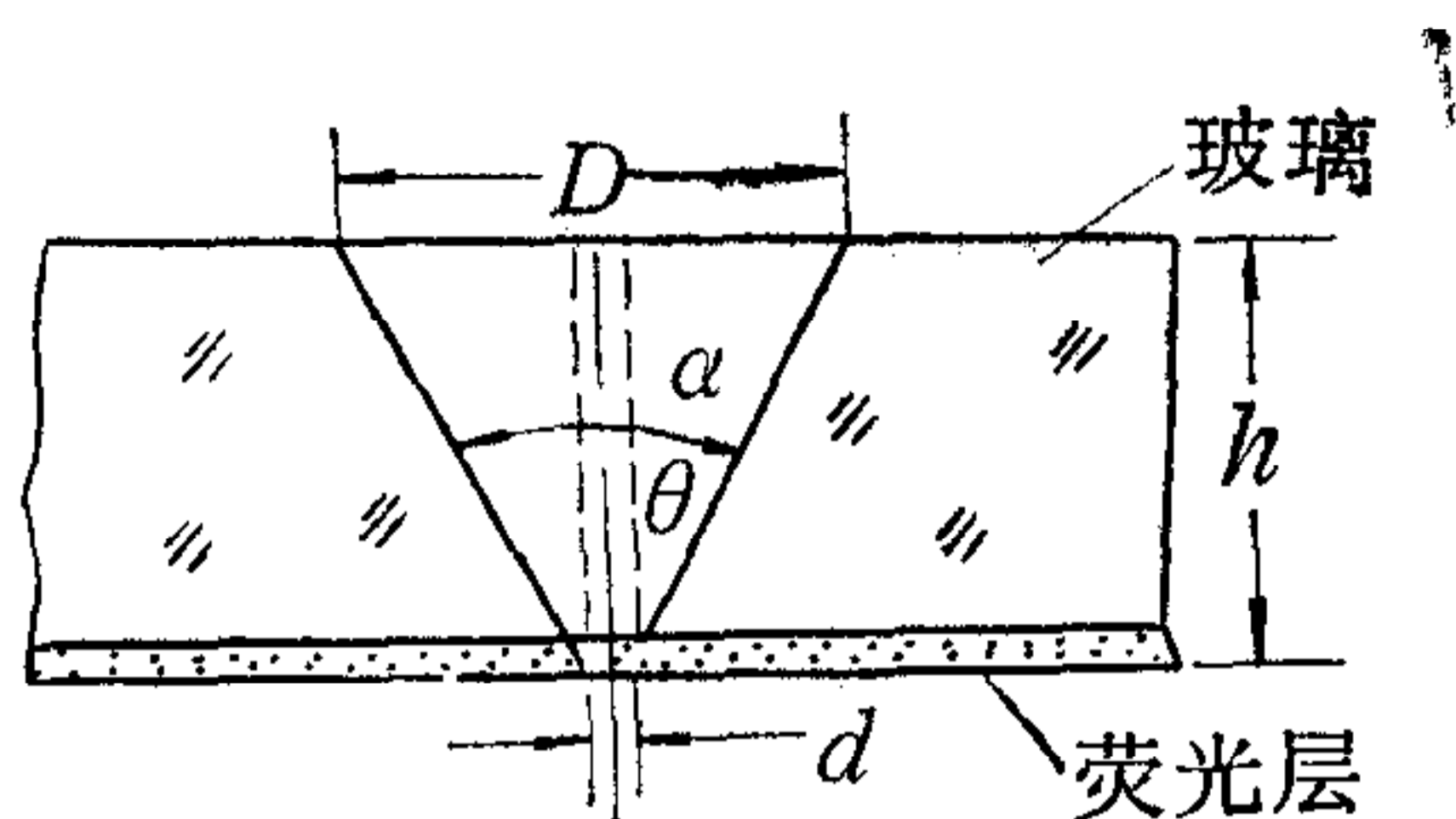


图 4 玻璃介质的散射效应

由图 4 可知,若忽略荧光粉层的厚度(厚度一般只有几微米)则有:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{0.5(D - d)}{h} \quad (4)$$

由(4)式可得

$$D = 2h \operatorname{tg} \theta + d \quad (5)$$

由(5)式可知, D 将随玻璃厚度 h 的增加而增加,在电子束析象系统中,由于没有玻璃屏效应,故分辨率大大提高。

(2) 光源能量大。电子束的束能很强,能量损失又很小,在无电子放大电路的情况下,光电倍增级的输出可达 10 伏左右,但在同样情况下,CRT 系统输出仅为毫伏级。

(3) 信噪比高。

(4) 亮度均匀性好。

三、EBR-83 型软硬件系统概述

本系统的基本功能是录象和析象,对于计算机而言就是图象的输出和输入。系统由电子束录象部分、电子束析象部分、计算机控制系统及相应软件系统组成,如图 5 所示。

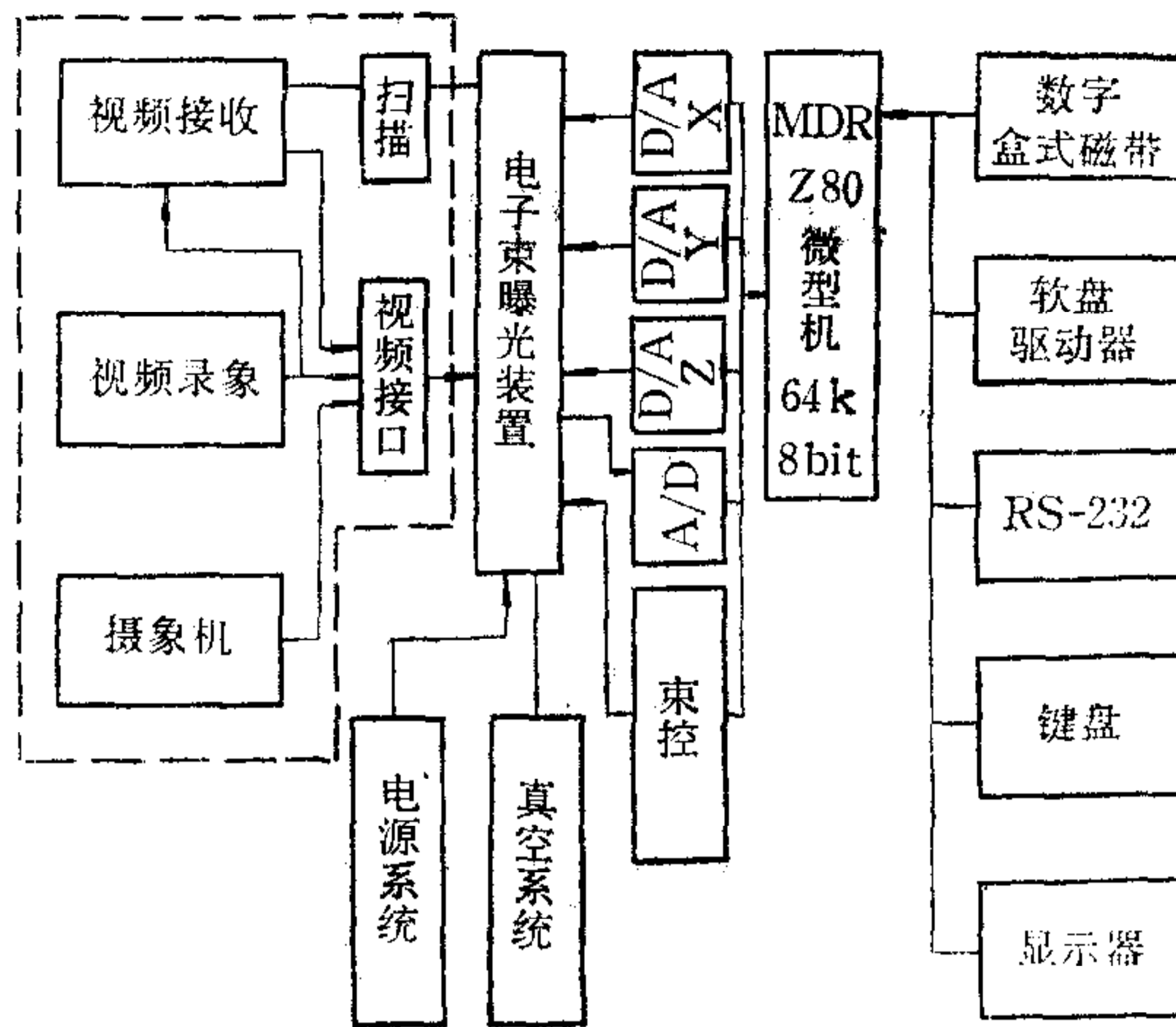


图5 系统框图

1. 电子束录象系统

录象系统主要由电子光学镜筒及其控制电路组成,电子光学镜筒包括三极电子枪,两级电磁透镜, x 、 y 偏转线圈和束控极等。

2. 电子束析象系统

析象系统在真空室外装有光学缩小镜头,光电倍增器、调焦部件和遮光罩。光电倍增器输出信号直接输至模数变换器后被计算机采样。

3. 计算机控制系统

本系统用 MDR-Z80 微型计算机作为系统控制机。主机内存 64 k byte,字长 8 bit,主振频率为 2.5MC。除显示器、打印机、键盘等外部设备外,系统还配有录象析象 A/D, D/A 模拟接口部件、数据通讯部件、双卡数字磁带机等。系统框图如图 5 所示。

软件系统的主要功能是控制多灰级图象输入输出及图象处理,软件系统主要包括控制程序、图象处理程序和系统操作服务程序等。

1. 控制程序

控制程序可用于实现录象和析象功能,字符、图表、图象缩微输出功能, A/D, D/A 通道模拟量输入输出功能, RS-232 数据通讯接口控制功能等多种控制。

2. 数据处理程序

系统设置了一些必要的图象及其他数据处理程序,包括一维数据分析处理程序和二维图象处理程序。一维数据分析处理程序有富氏变换、消除直流分量、加窗函数、自相关、互相关、功率谱计算程序等。二维图象处理程序有采样数据压缩、线性变换、直方图分析及处理、析象系统可信灰级分析计算程序等。

3. 系统服务程序

系统服务程序主要包括数据的输入输出、磁带的读写、编辑、复制程序,监控程序,编辑汇编程序,反汇编程序和防跳键程序等。

4. 系统调试程序

为调试系统功能及测试系统精度,编制了部分经常使用的校准系统的程序,如 A/D,

D/A 精度测试程序、偏转放大器调试程序和分辨率测试程序等。

四、系统的主要性能指标

1. 空间分辨率

成象分辨率为 2μ 至 200μ 连续可调,析象分辨率为 12μ 至 300μ 间连续可调。

2. 灰级分辨率

黑白图象采样灰级分辨率大于 200 级,黑白图象录象输出灰级大于 128 级。

3. 图象精度

实测扫描几何精度为 $5-6\mu$ 。采样器本底噪音为 $2\text{mV}(1/1000)$ 。采样系统误差

$$\Delta G = \Delta(x + y) + \Delta(t) + N(t),$$

实测值为 $3/2047$ 。式中 $\Delta(x, y)$ 为屏均匀性误差; $\Delta(t)$ 为漂移误差; $N(t)$ 为随机误差(包括噪音)。

4. 扫描面积

成象面积一般为 30×30 平方毫米,最大为 50×50 平方毫米。

5. 感光材料的适应性

电子束曝光除可用一般黑白胶片外,更适用于低灵敏度的超微粒片、酸敏变色片和重氮材料。酸敏片等材料一般不需经过显影和定影的处理,可实时显像。

五、实验结果及使用情况

本系统已用于若干应用领域,取得了理想的结果,从而证明该系统在许多方面是有应用价值的。

(1) 多灰级调制输出。在黑白银卤片上用计算机产生了 128 级灰卡,该灰卡经 3CS 型显微密度计测试,其特性曲线为一近似直线,从而证明系统具有高灰级输出特性。

(2) 黑白图象输出。对于数字图象信息(存贮于计算机或磁带机等)可在计算机控制下在胶片上重建可见多灰级图象,图象灰级最高为 256 级。

(3) 实时有色图象输出。可在不同的有机染料涂片上曝光成象,其成象过程是实时的,无需任何显影定影处理,并可显示红、绿、蓝、黄、品红、青、紫等多种颜色的多灰级图象。

(4) TV 图象输出。通过摄象机系统可以记录 TV 制式的图象,从而证实本系统可将磁带图象转换到电影胶片上。

(5) 计算机缩微图象和字符文件输出(COM)。由于本系统分辨率高,因此可将图象、图表、文字以缩微形式输出。本系统已将英文文稿、图象和中文文字缩微输出,其缩微比为 80:1。这是国内计算机文件的缩微存贮技术的一个突破。

(6) 高精度黑白图象处理。黑白图象经本系统解析输入计算机,并由本系统进行处理后可输出数字图象并记录在胶片上,这一结果说明系统是输入输出可逆和可实现磁转胶、胶转磁两种功能的一个高精度黑白图象处理系统。

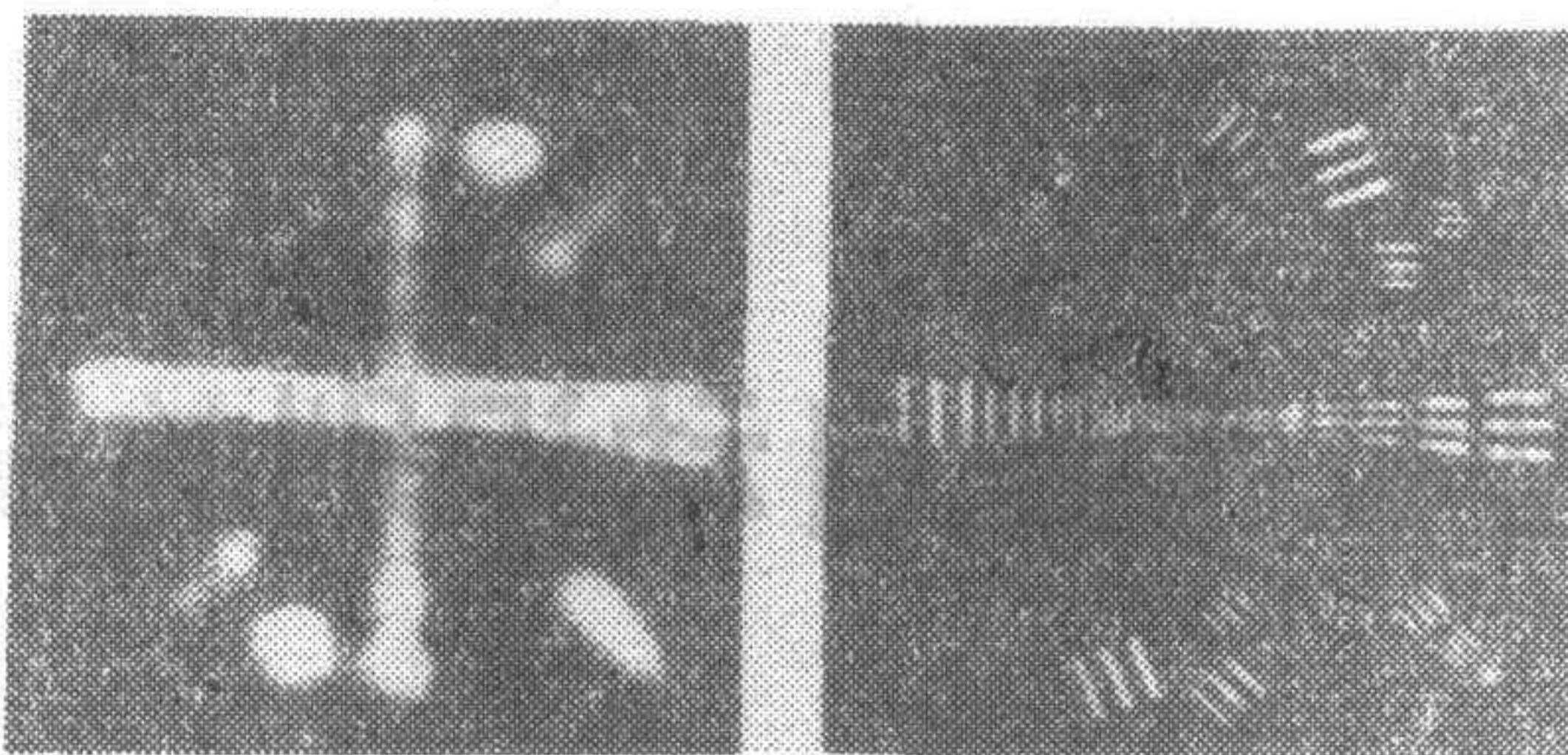


图6 模拟模糊图象处理结果

系统经过二年多的应用,对于模糊图象的处理、生物图片的处理等均获得较为理想的结果(见图6)。一九八三年六月接受了国防科委二十一所的图象处理任务,在 EBR-83 系统上进行了原始照片的输入采样、预处理、模糊图象复原处理等一系列完整的处理过程,取得了较好结果,得到用户的好评。

参 考 文 献

- [1] 刘长发, 马菊仙, 电子束成象的研究, 自动化学报, 9(1983).
- [2] Sullivan, P. A., Electron Beam Recorder, *IEEE Transaction on Electron Devices*, ED-18(1971).
- [3] Sullivan, P. A., Nucleation-Film/Electron-Beam Recorder: Near-Real-time-Display System, *IEEE Transaction on Electron Devices*, ED-20(1973), No. 11.
- [4] Pete Comandini and Toniroth, Film Recording in the Image Transform System, *SMPTE Journal*, 87(1978).
- [5] Werschker, D. L., Image Transform from Tape to Film, *BKSTS Journal* 60(1978), No. 2.

ELECTRON BEAM DIGITAL IMAGE RECORDING AND ANALYSIS TECHNIQUE AND THE EBR-83 SYSTEM

LIU CHANGFA MA JUXIAN

(Institute of Automation, Academia Sinica)

ABSTRACT

The principles and methods of the multi-gray level electron beam image recording and electron beam image analysis are presented. The EBR-83 system based on these principles and methods is introduced.

The advantage of this system lies in that it can output and input image information. The spatial resolution is $2\mu\text{m}$, and the gray level is better than 128. The recording image area is $30\times 30\text{mm}^2$, in which tens million bytes of information can be stored.