

# 图象平行处理用的一种光学数字计算机

**摘要** 本文讨论了能够并行处理图象的光学—数字计算机 (ODC)。叙述了若干光学和模拟电子学预处理运算。这些包括应用变化去分离图象中的目标, 应用自相关技术找出图象中的隐周期性, 根据颜色进行掩模, 付立叶分析, 以及彩色景物的面积计量分析等。讨论了光学数字计算机的专门设计。计算机是由光学系统, 图象分析仪, 带宽压缩器和数字仪以及数字计算机组成。提供了若干应用。把重点放在处理航空照片和射线照片上。

## I 引言

近几年来, 由于 NASA 发射探测地球资源的地球资源技术卫星 (ERTS) 以及对肺病变的检查, 需要图象机械化处理。在地球资源技术卫星 (ERTS) 形式的图象中的信息是大量的。估计要求传输的速度为  $10^{12}$  比特/秒<sup>[1]</sup>。也估计了在美国每年将检查多达  $3 \times 10^5$  张 X 照片<sup>[2]</sup>。

光学数字计算机 (ODC) 把光学系统的平行处理能力、大的灵活性和数字计算机的互相联系的能力结合起来。光学数字计算机 (ODC) 的光学部分把以图象为基础的数据变换成对数字计算机处理较有效的形式。光学处理的最好的应用是对于数据的简化, 也就是说去掉对使用者很少有用或没用的图象部分。

本文叙述光学数字计算机 (ODC) 及一些应用。这篇文章分成三部分。第一部分描述光学数字计算机的光学和其他模拟分系统的一些并行预处理运算。第二部分叙述光学数字处理系统用的专门设计。第三部分说明对航空图象和射线图分析的几种应用。

## II 图象的并行预处理

### 组织变化分析

人工摄影判读器在判读景物中使用图象

的机构和组织是很拿手的。例如, 当从天空观察时, 湖泊的组织不同于森林的组织, 湖泊和森林的组织又不同于棉田的组织。在放射学中, X 射线图象组织, 用来判读病人的情况。表征患肺病的人们的胸部 X 射线像的绝大多数产生有代表性的组织图象, 它使图象成为颗粒状的外观; 正常的 X 射线图象看起来很平滑和几乎无颗粒。

一个简单的组织标记是组织的变化。如果一个简单的组织标记是组织的变化。如果  $g(x, y)$  表示图象透明照片在  $(x, y)$  点的透射率, 则组织变化  $\sigma^2(x, y)$  由下式确定

$$\sigma^2(x, y) = [\overline{g(x, y)} - \mu(x, y)]^2 \quad (1)$$

其中  $\mu(x, y)$  是在  $(x, y)$  点处的平均透射率, 上面的横线表示总的平均运算。如果这个过程是稳定的, 那么  $\mu(x, y) = \mu_0$ , 也就是说平均值与位置无关。在图 1 中上面位置表示的相干光学系统可用来完成透明图片组织变化的估计。这个透明图片位于透镜  $L_1$  的前边, 并且在付立叶平面 F 中, 衍射光的平均分量被光轴上的光阑拦掉。已经表明: 在  $L_2$  后面距离  $z \approx f$  处, 平均辐照度 (在一维中) 由下式给出<sup>[3]</sup>

$$I(\xi) |_{\xi \rightarrow x} = \sigma^2(x) \quad (2)$$

### 空间自相关函数(SAF)

上面的技术提供有用的组织测量, 但不能提供  $g(x)$  的相关特性的任何测量。为了得到后者信息, 我们应用由下式确定的空间自相关函数

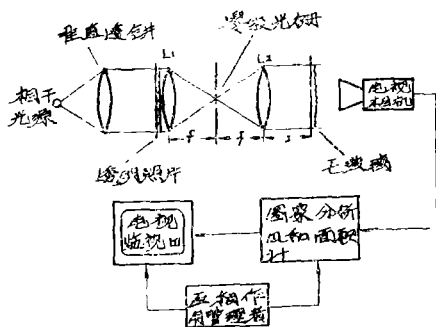


图1 图象组织分析用的光学计算机方框图

$$R(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x)g^*(x-\alpha)dx \quad (3)$$

计算  $R(\alpha)$  的一个简单方法是对辐照度频谱  $|G(u)|^2 = |F[g(x)]|^2$  作光学逆付立叶变换, 其中  $F[\ ]$  表示付立叶变换运算。付立叶辐照度频谱能记录在完好校正的透镜的焦面中的胶片上。通常需要像 Pota [5] 那样的显影液以便在大的空间频谱带上记录足够的振幅  $|G(u)|^2$ 。使用 Pota 一般导致  $|G(u)|^2$  高频分量的增强, 并产生正比于  $\nabla^2 R(\alpha)$  的一项, 而不是公式 (3), 其中  $\nabla^2$  是拉普拉斯算符。最后被增强的空间自相关函数仍是有用的。文献 [6] 中说明了在揭露隐相关中应用被增强的空间自相关函数。

### 组织分类的掩模

图象中各种组织化了的目标的分离可用掩模方法来做到, 并去掉没有在预先规定的组织分类中所有目标。掩模可以用照相方法或电子学方法做出来; 照相掩模的例子在 [7] 中给出。在本文第IV部分中说明电子学的掩模。无论用电子学方法还是用照相方法制作掩模板, 其掩模函数均由下式给出:

$$m(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{对于}(x, y) T_l < \sigma^2(x, y) < T_u \\ 0 & \text{对于其他值} \end{cases} \quad (4)$$

其中  $T_l$  和  $T_u$  是预先规定的阈限。不先要求预先说明目标的位置; 目标的组织变化的标记和阈限  $T_l$  和  $T_u$  确定了在简化了的

图象中可见的目标种类。

图1中表示的相干光学系统产生出组织图象, 并由这个图象进行掩模。关于这个过程的情况在 [3]、[4] 中介绍。

### 色调掩模

有时要把那部分不需另加光学或数字处理但做组织掩模又难以分离的图象进行掩模。在肺部X射线的自动分类中, 就是这种情况, 在这里仅仅肺被数字化了。在这种情况下以灰度色调为基础的掩模也能完成。通过把图象色调函数定量化成两个灰度级, 可把图象变换为二进制图象。这可应用高对比度胶片的照相方法, 或应用下面描述的图象分析仪的电子学方法来做到这一点。Rosenswein 等人 [8] 讨论过类似的方法。用于分离肺叶的这个程序避免了用来获得肺叶边界所必需的有效而又冗长的大量数字化工作。

### 付立叶频谱

在一些景物分析和图象识别应用中, 可能希望同时抽取整个图象的信息。而不是获得局部特征的信息或以逐点分析为基础的信息。这里用的函数是  $W(u, v) = |G(u, v)|^2$ , 即前面所说的辐照度频谱。付立叶辐照度频谱可以用光学方法由相干光学系统来获得, 或用数字方法由快速付立叶变换 (FFT) 来获得。图2表示如何使用频谱分析器来得到X射线样品的辐照度频谱。被标记的一般化了的孔径函数的方盒是对任何装置所共有的, 它完成切趾 (亦即透过率渐变的孔径) 或者允许频谱在低频被检验 (亦即一个  $\pi$  相位板)。

在光学数字计算机 (ODC) 中, 辐照度频谱可用于完好校正透镜的焦面中的两维光分布。电视摄像机扫描这个场并把视频信号提供给数字仪, 而后数字仪把数据提供给计算机。数字化特性的提取和/或分类工作可由互相作用的管理者来开始进行。在计算付

立叶频谱中不牵涉到计算机本身。后面我们讨论最小二乘法它应用采用光学方法由规格化的辐照度频谱所抽取的数据来计算X射线图象中不透明度的数量和尺寸。对于用相干光学频谱分析器得到  $W(u, v)$  的详细过程由文献 [10] 给出。

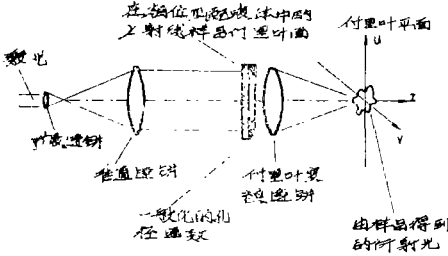


图2 光学频谱分析器

### 彩色掩模

彩片图象掩模是由通过具有通路波段中为  $\lambda_i (i=1 \dots L)$  的一系列窄带光谱滤光片来观察图象所获得。被第  $i$  个滤光片透过的照明用来使高对比摄影胶片曝光，经过显影之后，它具有二元掩模的状态，掩模的补片对任何目标是透明的，它在  $\lambda_i$  处的光谱辐照度超过胶片曝光阈限，后者由管理人员控制。基本的掩模板和它们的对于  $L$  波长的每一个掩模板所获得的补片的各种逻辑组合被迭加起来，以便产生一个单一的组合的掩模板。通过这个组合的掩模板可看见的目标的种类是这样的一种，即它的光谱标记能够使它通过每一个基本的掩模板 [7]。这种技术对于图象处理中的大比例的数据简化是有用的 [11]

模拟摄影掩模技术的电子学掩模在原理上用下面的方法制成，即同时对同步扫描的几种单色扫描仪的输出进行比较和限制。但是我们还不知道有谁采取过这种途径。

### 彩色景物的面积计量

在由航空图象提取信息的过程中，使用者可能主要对图象中的面积测量方面感兴

趣，而不必说明边界或其它的地貌轮廓。下面概述解决这个问题的光学—数字方法。

在被一类  $N$  个目标的成员所占有的景物中，设  $H_{ij}$  表示第  $i$  个目标在波长  $\lambda_j$  处的辐照度。项组  $\{H_{ij}; i=1 \dots N; j=1 \dots L\}$  表示该类型中  $N$  个目标的光谱标记的总数。

提供这些数据（可由这些数据来进行最小二乘法的面积矢量的计算）的光学系统表示在图3中。通过中心波长  $\lambda_j$  的窄带滤光片来观察彩色图像，并且借助于光探测器的帮助来对被滤了光的图像中的准单色能量进行积分。由此我们得到一个简单的积分辐照度的基准矢量的分量  $D_j, D_j$ ，与未知面积矢量  $\{K_i\}$  和标记分量  $H_{ij}$ ，有下面关系：

$$D_j = \sum_{i=1}^N H_{ij} K_i \quad (5)$$

当对波长  $\{\lambda_j; j=1 \dots L\}$  中的每一个重复计算时，我们得到矩阵方程

$$D = HK \quad (6)$$

其中  $D, H, K$  分别是  $L \times 1, L \times N, N \times 1$  的矩阵。式 (6) 中  $K$  的解是由众所周知的最小二乘法计算 [12]。它由下式给出：

$$K = (H^T H)^{-1} H^T D \quad (7)$$

$K$  在各种噪声情况下的计算其本身就是一个课题，并且其结果是可以利用的 [13]。这个例子表明了包括充分利用光学数字计算机 (ODC) 运算的一种应用。基准矢量  $D$  由非相干光学系统提供。以  $D$  为基础的面积计量分析用数字方法来作。实际上，光学彩色掩模（像以前所论述的那样）能用来简化目标数目的大小  $N$ 。

## III 光学数字计算机的描述

图4是光学—数字计算机 (ODC) 的方框图。在适当的光学系统（即彩色处理用的非相干光学系统或几乎每一种其他处理作用的相干光学系统）的输入面中，这图象典型地是一张摄影透明照片，付立叶变换透

镜序列、空间滤波器、漫射器和照明用的相干光源所组成的,在这种情况下,光源是波长为 632.8 毫微米的氩-氦激光。相干光学系统的输出或者是组织变化的图象,空间功率谱,相关函数,或者是某些其他的相干光分布。被扩展了动态范围的电视摄像机扫描这个输出场并把相机的视频信号输入到两个分系统之一。在图 4 右边分路所表示的分系统由灰度分析器,电子面积计和显示监视器组成。在予处理图象中,灰度分析器把经过予处理的图象中的灰度量化成 10 个不同的等级,并把每个等级编码为 10 种彩色中的一种颜色,其范围从暗蓝色(最亮色调)到红色(最暗色调)。定量化和颜色编码的作用将增强原始图象。在原图象中细微的灰度等级变化被强烈地增强,因此人工控制就会意识到图象中的变化和趋势。例如,在胸部 X 光照片中两个肺叶之间的微小变化被明显的表示出,因此很容易观察到。另外,彩色编码也允许定量测量灰度并能使管理者去选择光学予处理的图象的哪一部分,而后将由计算机作进一步处理。

面积计用来测量图象中被各种目标所复盖的面积,对此,被予处理过的图象要满足特定的阈值条件 [7]。这些面积数给出作为总图象面积的百分数,并出现在数字读出计上。灰度等级的量值是可以调节的,并且它可以包含由  $D = 0$  到  $D = 3.0$  的摄影密度范围,而  $\Delta D = 0.15$  或更小的灰度分辨率是很

容易获得的。通过以探针的方式使用分析器,则只有在给定的组织或色调种类的这些目标才变成可见的。除了这里的掩模是用电子学的方法制作的以外,这类似于以前的照相掩模技术。

为了用计算机作进一步分类,左边支路表示的系统能够对于处理过的图象进行采样和数字化。这系统允许在磁带上数字化地存贮单一视频图象,因此可由计算机分析。该系统把图片编码为  $512 \times 512$  个点的矩阵(即总数为 262144 个点)。每点由亮度的 6 位二进制组成(对应于 64 个不同的灰度级)。

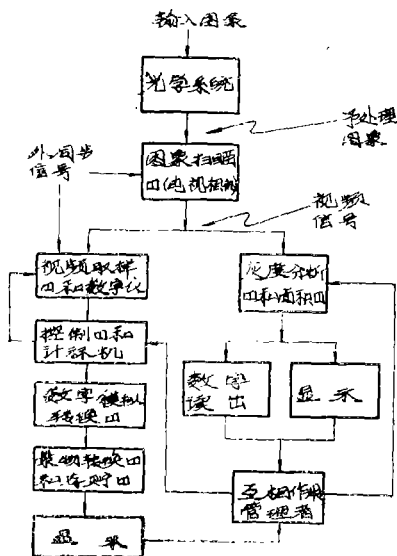


图 4 光学数字计算机的方框图

这个系统有四个基本组成部分:视频相机和监视器;采样仪和数字仪,它除了把视频信号数字化和进行采样以外,还要在外部控制下提供临时的数字贮存;接口电子学设备;META-4 电子计算机和读出子程序,它为数字仪提供控制信息并读出和贮存数字化了的视频数据。

通过互相联系的管理者以两种方法之一可以获得对要数字化的视场控制。他可以调整光学扫描机构,以便使电视相机仅仅扫描感兴趣的部分图象,或者他用软件控制视频采样仪去取样被图象所围限的予处理过的视

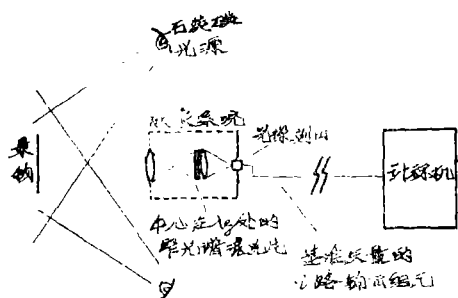


图 3 非相干光学结构,该结构提供这样的数据,用这些数据可能进行彩色图象的最小二乘法的面积计量分析

场的这些部分。

视频数字仪接受输入视频信号和控制信息并产生输出数字数据。所有时间都应用这视频信号。对于两个交错视场的每一个来说，它的格式大约是256条水平扫描线的2:1交错。数字仪仅对每半帧（即1/60秒）256条扫描线的每一条线上的一点进行取样和编码，这个程序在对传输数据所要求中的带宽方面能进行有意义的简化，并且采用了图象无变化的优点。在内扫描方式中，视频数字仪的最大扫描速率是每秒钟6.7水平位置以及每半帧262.5个垂直位置；最大的输出数据速率是2250象素/秒。在外扫描方式中，图象视场的数字化用计算机和磁带体控制，其数据速率要比扫描速率大约慢8倍。这个数字仪也有一个输出，它可与视频监视器相联，显示还在被扫描的图象，表示视频电平的轨迹，表示垂直扫描线电流位置的一条线以及表示最小和最大允许的视频电平的一组线。在图5中左端处的线表示零电平，即最小可容许的最大视频电平，轨迹表示实际的视频电平，其次一条线表示最大所容许的电平，右边的线表示扫描线的电流位置。

接口电子学设备包括12个触发器，其目的是把由META-4计算机到数字仪的数据封闭起来。接口控制线路的方框图表示在图6中。接口还包括线路驱动器和变换器，以

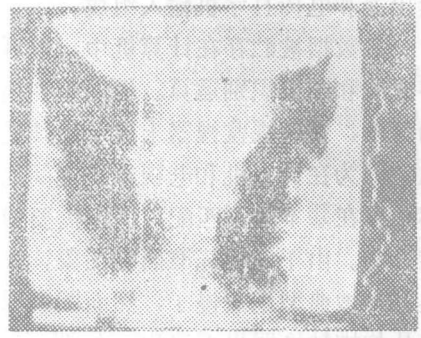


图5 在监视器上显示的胸部X射线的扫描图象（当它出现在监视器上时）右边的垂直波前表示垂直扫描线的电流位置，左边的轨迹表示对应的视频电平。在轨迹任意一边的垂直线表示最大和最小可允许的视频电平。

便在相同的传输线上把信息从数字仪传给META-4，该传输线从META-4接收信息。读出子程序是META-4计算机上的程序运算，它在数字视频数据的一个垂线中读出，它可称为汇编语言或者形式变换（Fortran）。如果用形式变换（Fortran）主程序来称呼，则这个称呼取CALL READ形式(N,A)，其中A是任何法定的形式变换（Fortran）的符号名称，N是确定扫描线的水平位置0-511之间的一个数。

计数机系统由具有高速磁心存储的8000个16位二进制的META-4高速计算机，磁盘驱动装置，七个通道数字磁带，卡

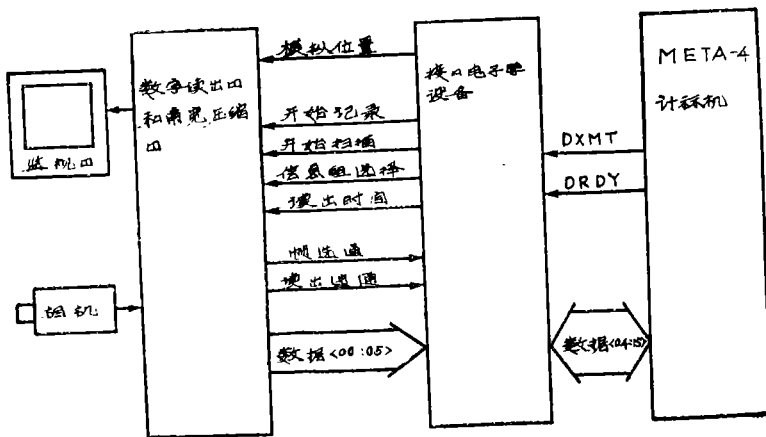


图6 表示控制诸信号和数据流程的模拟数字分系统方框图

片读出器和电传打字机输入组成。

一旦数据被贮存在计算机中,就可开始数字滤波和图像识别运算。借助于扫描转换器的帮助,在电视监视器上显示出被处理的图象。因为在计算机和电视系统之间的数据速率中存在基本的不匹配,所以需要扫描转换器。由于电视标准而把图象读入扫描转换器时被典型地放慢了,然而图象以电视速率从扫描转换器里面读出。如果在计算机和监视器之间接口一个扫描转换器,那么就不需要在计算机和监视器之间相位闭合。

## IV 应 用

在这节中我们说明在II部分中讨论的某些光学和电子学图象处理运算。我们也叙述一些目前在进行中的光学—数字处理程序。

图7表示农业景物的红外航空摄影(Ektachrome)胶片的印制品[14]。这些景物包括强烈被组织化的果园和丛林以及被微弱组织化的棉田和休耕田。当这个印制品被放进图1中透镜 $L_1$ 前面,则在毛玻璃板上呈现出组织变化的图象。电视相机扫描图象并且以探针方式工作的图象分析器。仅显示落入特定结构种类的这些目标。各种组织种类通过改变组合在分析器内的电子色调—组织窗口的位置和宽度而被加以分离和个别地加以突出出来。例如,当色调—组织窗口调整到只接纳强烈被组织化的目标时,则监

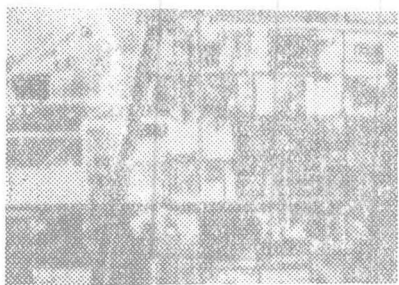


图7 农业景物的红外航空摄影的印制品

视器突出有果实的果园,丛林和若干行树和一些特定的人工的结构,而掩模掉所有未被组织化的目标结构。图8表示了监视器显示的一个图象。组织处理的另外些例子在[7]中给出。

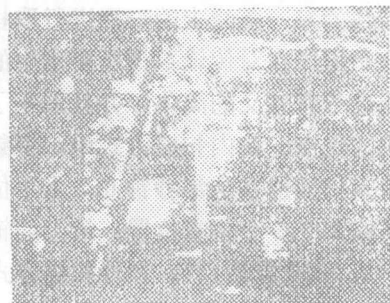


图8 图7中的强结构目标在监视器上显示的图象

在图9是由图5中的肺部X射线照片得来的二元图象,它是用第II部分中讨论的色调掩模技术获得的。这个图象可以被认为是把X射线摄影的肺部以外的所有部分排除在外的掩模。例如,首先图象分析器识别感兴趣部分的这些图象点,与这些点相对应的电信号供给计算机,在这里用于肺病变诊断的比较成熟数字运算可以进行,并去掉与问题无关的信息。

图10表示光学频谱分析器的一种应用。一个非正常的X射线肺叶(3/3q范畴)的辐照度频谱表示在图10(a)中;正常肺叶的频谱表示在图10(b)中。两个频谱被规化,以便使它们具有同样的零级峰值(灰度比例规化)。非正常频谱意味着包含中间频率较高。在一般的应用中,辐照度频谱应被数字化并输给分类用的计算机。无须进行扫描就同时得到完整的二维频谱。这是相干光学系统能十分有效地进行并行处理的一个例子。除了空间辐照度频谱以外,分类程序将使用其他的标记,或者用光学方法获得,或者用数字的手段获得。一个例子是数字化得到的灰度等级图表。为肺叶的正常范围32个灰度等级图表表示在图11(a)中。而对应的非正常肺

部的图表表示在图 11(b) 中。对于两个图表的标准的偏差与平均灰度的比例大致是相同的。对于正常肺叶为 0.41。对于非正常肺叶为 0.40。在两个图表示之间的最突出的定性差别在于它们的分布形状：双峰的为正常，单峰的为非正常。然而在一类型内，图表的形状表现出相当大的变异性，而图表本身不是肺病的图象识别的可靠的标记。



图 9 二元图像的监视器显示，它是用灰度色调掩模方法由图 5 中的图象得到的

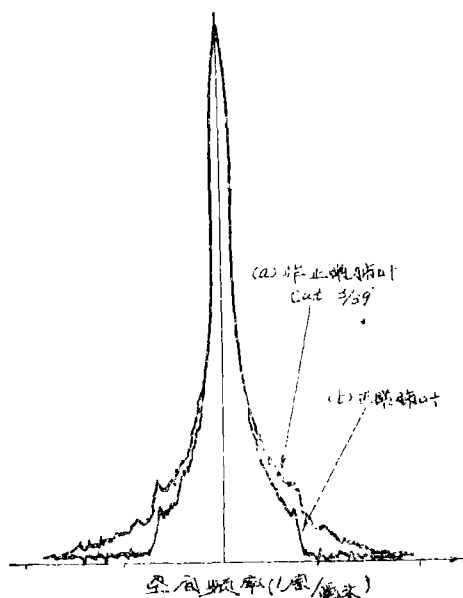


图 10 光学频谱分析器的应用  
(a) 非正常肺叶的辐射频谱的轨迹  
(b) 正常肺叶的相应轨迹

现在我们考虑解决 X 射线分类的新奇的最小二乘法方法，这种方法充分应用光学—数字处理机。假设 X 射线图象的肺部像场大

量的直径为  $d_1$  的  $N_1$  个圆和大量的直径为  $d_2$  的  $N_2$  个圆，并以此类推直到大量的直径为  $d_L$  的  $N_L$  个圆所组成。那么，在很大的程度上，矢量  $\vec{N} = (N_1, N_2, \dots, N_L)^T$  是肺病变存在的程度的很好的指示，因为肺病的标准 X 射线像的分类主要建立在大量圆点的尺寸和数量的基础上。 $\vec{N}$  的计算可以用光学—数字计算机和直接得到，下面对此做简要解释。

如果  $G_i(w) [w = (u^2 + v^2)^{1/2}]$  表示大量直径为  $d_i$  的圆的衍射图样，那么经过平均之后，与肺部区域相关联的衍射图样（即功率谱） $W(w)$  由下式给出

$$W(w) = N_1 G_1(w) + N_2 G_2(w) + \dots + N_L G_L(w) \quad (8)$$

现在  $G_i(w) (i = 1 \dots L)$  可由分析方法获得，或最好用使用相干光学系统的方法来获得。用光学频谱分析器得到等待分类的 X 射线图象的衍射图样  $W(w)$ 。如果  $W(w)$  在空间频率  $w_1, w_2, \dots, w_M$  处被数字化和被采样，那么我们则得到系统

$$\begin{aligned} W(w_1) &= N_1 G_1(w_1) + \dots + N_L G_L(w_1), \\ &\vdots \\ W(w_M) &= N_1 G_1(w_M) + \dots + N_L G_L(w_M), \end{aligned}$$

它可写成  $\vec{W} = \vec{G} \vec{N}$  (9)

方程 (9) 的最小二乘法的解，简单地写为：

$$N_{LS} = [G^T G]^{-1} G^T \vec{W} \quad (10)$$

这个技术试图直接提供放射线工作者在肺病变诊断中所使用的重要数据。

原图 11(a)、(b) 略。

在这个方法的初步实验中，我们构成由三种不同直径的大量的圆所组成的透明照片。用相关光学系统得到每种圆的衍射图样并用光学—数字计算机扫描、取样和数字化。对于所有三种大量的圆的种类（即 (9) 式中  $G$  矩阵）的被取样的衍射图样贮存到计算机中。而后由大量的混合分类所组成的输入图

象放到系统中，并要求计算机从10个频谱取  
样中来计算三个分量N矩阵表1提供其结果。

表 1

	在矩阵取样中 大量的实际数字	取样中大量 光学数字估算
小	50	52
中	25	27
大	15	16

在 Pneumoconiosis 型 X 射线图象中的  
绝大部分不是严格的圆，对于给定的一类圆  
的衍射图样将由该类各种采样的平均值来计  
算。目前 Pneumoconiosis 胶片的采样为用  
这种技术进行处理而处理。

由于篇幅有限，没有包括任何彩色图象  
处理，应用被增强的空间自相关函数和说明  
边界轮廓技术的例子，感兴趣的读者可参  
考文中列出的文献 [7]。用色调梯度采样

方法来描述边界轮廓的方法在文献 [7] 中  
说明。

## V 结 束 语

我们提供了光学—数字计算机的一种设  
计，它应用光学和电子学分系统作予处理，  
并且用数字计算机作最后处理。已经评论了  
为读者打算的若干经过选择的处理技术。我  
们的目的不是建议用数字计算机代替光学系  
统或者用光学系统代替数字计算机。在我们  
的详述中这样的提法可能忽略了光学和数字  
系统的本质不同的能力。本文的目的是想说  
明图象画幅中的数据的光学和模拟予处理是  
在数字计算机处理之前的许多应用的有用步  
骤。

译自“IEEE” Transactions on computers  
Vol C-24 No. 4 1975 P340  
(吴桂英 译、胡家陞 校)

(上接第 4 页)

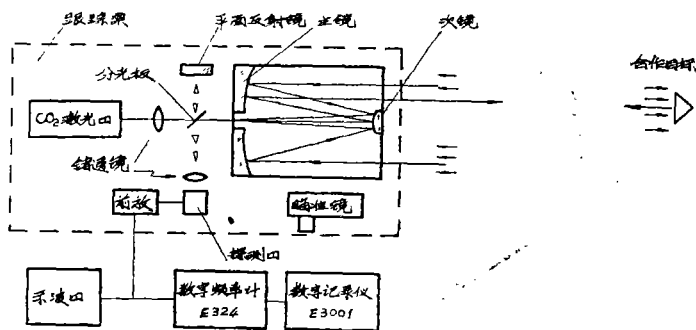


图 2 汽车直接挡加速曲线图

120公里/小时。

图 2 是汽车直接挡加速曲线图，数字记  
录仪以每秒 2 次速率打印，测量精度为  $\pm 5$   
毫米/秒。

试验中有些问题有待进一步解决，例  
如，跟踪架并不是专门为测汽车速度而设计  
的，所以跟踪不够方便，有时跟不上；还有  
测量点的时间间隔是数字频率计的显示时  
间，如果需要精确的时标，则在试验时要进

行校准。

这种方法也可以推广应用于测量其它各  
种车辆、船舶和运动目标的动态性能。

## 参 考 资 料

- [1] 砷化镓激光汽车测速仪，激光 1975，  
3. 16。
- [2] 用碲镉汞元件进行光外差探测研究。  
红外物理与技术，1975. 3. 40—42。