

数字式微分校正与图象相关的 信息处理机

G. Konecny * 等

摘 要: 图象校正与图象相关是摄影测量判读的两项重要任务。如果它们有可能使每幅图象的判读时间缩短至几分钟, 那么就使新的自动方法成功。这一点似乎要通过数字图象处理来达到。这种方法目前受到如下的限制: 1) 输入和输出; 2) 数据传递; 3) 存储; 4) 计算。鉴于以上限制, 作为几何图象处理最有效的手段为: a) 在输入和输出过程中, 数据传递速度为1MHz的快速磁鼓; b) 数据传递和数据存储用的高密度磁带(HDDT); c) 为计算机用的并行透视程序计算机。

文章介绍一种联机方法, 这种方法是由一组按“流水线”方式工作的并行透视程序计算机, 与一套具有高速转鼓的激光偏折系统组合而成。正如在类似的系统中一样, 应当设计一个面积相关器, 它可以很快地把要校正的图象进行相关处理。这样就引出一个数字图象处理系统的建议, 该系统今天可用于摄影图象的处理, 将来可用于数字照相机图象的处理。

新式数字化的元件在今天有可能制成数字式信息处理机, 它将会有效地用于技术方法的自动化。在新方法和新仪器的研制过程中, 首先涉及到的问题, 就是能否使现有的方法简化、便宜、快速和准确。摄影测量判读的可能性, 目前为得到最理想的坐标图产品、地图、数字地形模型或正投影图, 提供了另外一种途径, 这些情况示于图1。

1. 摄影测量方法的自动化

利用模拟判读仪制作地图的经典途径, 实际上是一种联机方法, 而分析判读(航空三角测量)和地图辅助品的制作(数字等高线模型和正投影图), 可以看作脱机过程。在必要的操作程序自动化的情况下, 有可能使测量、记录、计算以及新近的图象相关和绘图的部分任务做到自动化, 但图象判读的自动化却有一定的困难, 尚未能在实际中实现。所以, 在可能实现的摄影测量部分自动化过程中, 选择一种脱机处理为宜。

* 作者系西德汉诺威工业大学摄影测量和工程测量研究所的教授兼工程师。

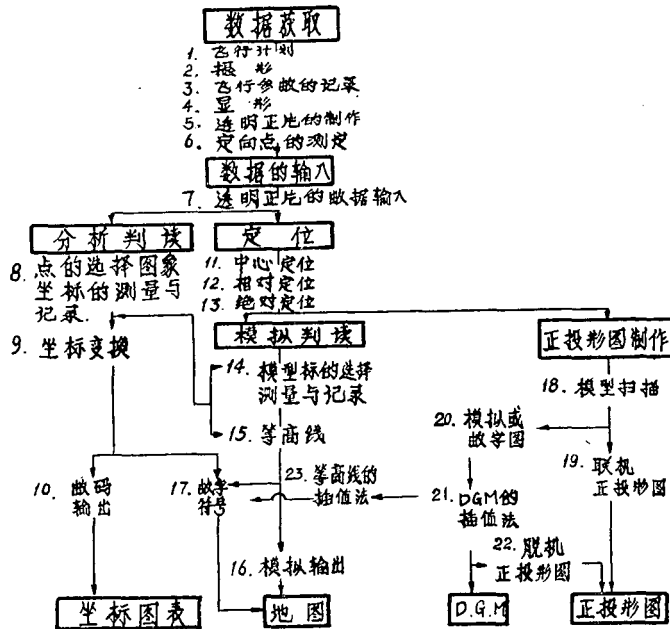


图1 摄影测量技术的数据处理

但是，在一种尽可能行之有效的摄影测量数据处理中（联机和脱机），薄弱环节是几何变换和图象相关，特别是当人们想到制作地图辅助品（正投影图、数字等高线模型）的时候更会感到如此。

人们可能会提出这样一个问题：进一步发展摄影测量自动化究竟有无意义？对此应当注意到，人们用目前的方法在近期几乎不能完成世界的制图问题〔1〕、〔2〕，于是就提出来寻找一种方法，能够快速而便宜地从辅助品制成地图，虽然这种方法就质量来说只能满足一般要求。

（1）大家知道，制一张地图用正投影图的高度标记或数字化的方法较普通办法要快一些。

（2）自动化图象相关开辟了一条新的快速制图法的可能途径，实际上是指正投影与等高线图可以快速获得。

（3）此外，应当注意能以联机或脱机的形式，很快地产生正投影图和等高线图的新的数字式方法。

为了实现这种可能性，自然有必要对新的仪器研制给予高额投资。表1和表2粗略地计算了地图原稿制作的速度和每份图稿的开支。给出的数值仅仅是估算的参考值，从表中可以看出：

a) 常用的制作正投影图和图稿的方法，目前正在和半自动的方法（轮廓用手动模型扫描，等高线由计算机推导）相互竞争。半自动的制图方式速度快，但是不一定便宜。

b) 电子图象相关的自动方法，目前确实速度较快，但是花费也较昂贵。

c) 只有当快速的、尚未提供使用的数字化图象处理系统的全自动化能够实现，每

张图的价格才能降低。

当然，最后成品的质量问题很重要，然而可以确信，自动化数字方法实际上等于一种摄影测量术的点测方法，与比较快的但不十分精确的半自动轮廓扫描相比要精确些（前者为 $\pm 0.1\%h$ ，后者为 ± 0.3 至 $0.4\%h$ ）。诚然，在大比例尺寸照相的自动图象相关判读的过程中，等高线精度成了问题，这是由于相关器的下列特性造成的：它对出现的所有物体（树顶与建筑物）都进行互相关运算，而不是仅限于理想的地形高度。虽然如此，但对于小比例尺的照像判读和正投影图的制作来说，所得的等高线精度却可满足要求。

表 1 制 图 的 速 度

	DGM (I型)	等 高 线	正 投 影 图	图 稿
一 般 方 法	5.5 小时	10 小时	5 小时	15 小时
半 自 动	5.5 小时	手动扫描6 小时	5.5 小时	11.5小时
现在的全自动相关处理	1.5 小时	自动扫描2 小时	1 小时	6 小时
将来的全自动脱机 数字处理	10 分钟	30 分钟	20 分钟	5.5小时
将来的全自动联机 数字处理	10 分钟	10 分钟	10 分钟	5小时10分

表 2 制 图 单 价

	投 资	工时价格：每小时25DM（西德马克）			
		DGM	等 高 线	正 投 影 图	图 稿
一 般 方 法	5年花300000DM = 30DM/小时	302DM	550DM	275DM	825DM
半 自 动	5年花500000DM = 50DM/小时	412DM	450DM	412DM	540DM
现在的全自动 相关处理	5年花2500000DM = 500DM/小时	788DM	1050DM	525DM	650DM
将来的全自动脱机 数字处理	5年花1000000DM = 400DM/小时	70DM	212DM	124DM	267DM
将来的全自动联机 数字处理	5年花1500000DM = 600DM/小时	104DM	104DM	104DM	230DM

2. 摄影测量学中数字图象处理

数字图象处理之所以特别适用，是因为它能够将潜于乳胶膜中的、不经处理人眼看不见的图象衬比，经过灰度范围的扩大而放大。

数据图象处理的问题，就在于在一张摄影图片中存储了庞大的数据，在一张幅面为23厘米×23厘米的航空图片中（这张图可在放大5倍时在立体模型中观察得到）其数据量达 10^9 比特（见表3），如果这样幅面的一张图象单用眼睛来观察，足有 $2 \cdot 10^8$ 比特。相反，从典型的地球卫星发回的一张数字记录卫星图象的数据量只有 $5 \cdot 10^7$ 比特。而适用于胶版印刷的这样一张相同幅面的图象，其数据量甚至少于 $2 \cdot 10^7$ 比特。

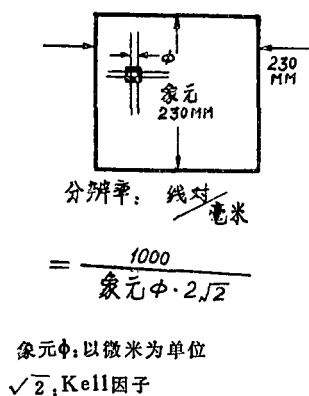


表3 航空图象中的数据量

	象元 ϕ	分辨率	每23cm 的象元	每张23×23cm 图象的象元	每张图象的 Bit数
摄影测量	12.5 μm	26LP/mm	18400	$338 \cdot 10^6$	$3.04 \cdot 10^9$
摄影判读	25 μm	13LP/mm	9200	$84 \cdot 10^6$	$756 \cdot 10^6$
地球卫星	50 μm	7LP/mm	4600	$21 \cdot 10^6$	$189 \cdot 10^6$
照相平版 印刷术	100 μm	3.5LP/mm	2300	$5 \cdot 10^6$	$47 \cdot 10^6$
	167 μm	2.1LP/mm	1377	$1.9 \cdot 10^6$	$15 \cdot 10^6$

虽然数字化图象处理有优点，但如何去完成上述的数据量还是个问题。这方面受四种限制：

- 1) 输入和输出；
- 2) 数据传输；
- 3) 存储；
- 4) 计算。

表4 说明输入输出限制的概况

表4 航空图象处理中，数字数据输入和输出的局限

仪 器	速 度	分辨率为下列值时，每张图象扫描的速度				
		12.5 μm	25 μm	50 μm	100 μm	167 μm
慢速磁鼓	7KH _z	13.4时	3.3时	50分	12分	4.5分
快速磁鼓	1MH _z	5.6分	1.4分	21秒	5秒	1.9秒
带有磁鼓的行式电子 耦合器件	250H _z 。内有1728象 元 \sim 400KH _z	14.0分	3.5分	52秒	12.5秒	4.8秒*
电子束	500KH _z	11.2分	2.8分	42秒	10秒	3.8秒

* 目前已有达到5MH_z。输出速率的行式电子耦合器件

目前慢速磁鼓的数字系统一般局限在7KHz 只有像美国宇航局这样的机构，追求制作地球卫星照片电子射线记录器，这种仪器在质量上是满理想的，而在花费上却超过设计上改善的磁鼓仪器。用带有行式电子耦合器件的磁鼓达到 400KHz 的数据，或用快速磁鼓达到1MHz 的数据，今天付出适当的开支在技术上是可以实现，它能够在相应的时间里进行较高和最高分辨率的图象扫描和图象再现。

表 5 数字数据传输和存储局限

仪 器	传 输	存 储	说 明
磁 鼓	8毫秒/通道	2兆字节 = $16 \cdot 10^6$ 比特	太 小
磁 盘	400通道 × 20个面 20毫秒/转 $8 \cdot 10^6$ 比特/秒	88兆字节 = $700 \cdot 10^6$ 比特	1张照片，分辨率为 $25\mu\text{m}^*$
计算机相容磁带 (CCT)	8条通道 $3 \cdot 10^3$ 比特/厘米/通道 $8 \cdot 10^6$ 比特/秒	720米 $1.7 \cdot 10^9$ 比特 一张分辨率为 $25\mu\text{m}$ 的照片 → 84秒	25张照片，分辨率为 $25\mu\text{m}$
高密度磁带 (数字式) (HDDT)	28条通道 $3 \cdot 10^5$ 比特/厘米/通道 $8 \cdot 10^7$ 比特/秒	2800米 $2.3 \cdot 10^{12}$ 比特— 一张分辨率为 $12.5\mu\text{m}$ 的照片 → 34秒	900张照片，分辨率为 $12.5\mu\text{m}$

* 目前已供应1MHz, 400兆字节的磁盘。
表中出现的以 μm 为单位的“分辨率”，确切地说应为象元 ϕ 的大小，文中他处也有，均按原文译出一译者。

数字式图象处理的第二种限制在于数据传输的速度（见表 5 第一格）。

作为传输的介质，磁带似乎比磁盘好些。

存储的局限性是第三个限制，也因为这个缘故，宁肯选择磁带（见表 5 第二格和第三格）

目前，具有活动臂的可更换的磁盘只能把 23×23 厘米的图象分解为微米的象元。一盘计算机的相容磁带 (CCT)，已经存储分辨率为 25 微米的 2.5 幅图象，而一卷高密度磁带 (HDDT) 能够包含分辨率为 12.5 微米的 900 张图象，磁鼓对于所需要的图象存储来说是太小了。

第四个限制就是计算问题，这是一项图象加工的任务。首先涉及到的问题是由图象坐标到地形坐标的转换，然后再按共线方程转换回来，这种转换包含有象元微分校正的内容，它可以用两种方式来实现〔3〕。

a) 直接法（见图 2）它是把图象的灰度值借助已知常数 a_{11} 、到 a_{33} 、 x_0 、 y_0 、 z_0 、 x_c' 、 y_c' 和 c 转换为输出值 x 和 y ，假如要完成一张正投影象，那么只有作为 x' 、 y' 的函数的 z 已知才行，另外一个缺点是与规则的输入网格相适应的输出数值，产生不规则的场，而它又必须经过内插处理，方能变为有规则的输出网格，甚至要用脱机方法。

b) 第二种是与其相反的间接法（见图 2）该方法可以应用联机计算法。一个规则网格的输出数值，是从输入网格中（存储器中）寻找到的输入单元，得出其灰度值。

数字校正的问题在于：通过共线性方程而引出的灰度值，只有当他们在可能畸变的范围，在（直接存取）“随机存取”中可以寻址时，才有可能转换。这就是说，对于数字校正的脱机处理来说，必须有一个足够大的“随机存取存储器”（RAM或核心）提供使用。

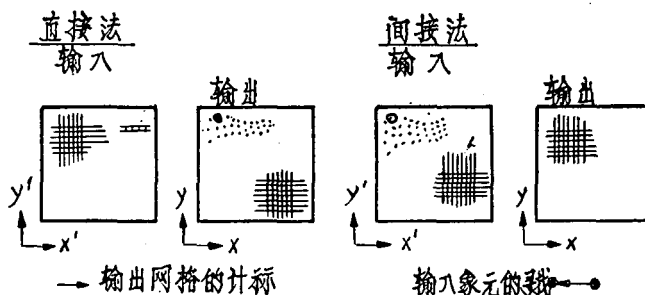


图2 数字校正

$$x = (z - z_0) \frac{a_{11}(x' - x_{c'}) + a_{21}(y' - y_{c'}) - a_{31}c}{a_{13}(x' - x_{c'}) + a_{23}(y' - y_{c'}) - a_{33}c} + x_0;$$

$$y = (z - z_0) \frac{a_{12}(x' - x_{c'}) + a_{22}(y' - y_{c'}) - a_{32}c}{a_{13}(x' - x_{c'}) + a_{23}(y' - y_{c'}) - a_{33}c} + y_0;$$

常数

$$a_{11}, \dots, a_{33}, x_0, y_0, z_0, x_{c'}, y_{c'}, c$$

$$x' = -c \frac{a_{11}(x - x_0) + a_{12}(y - y_0) + a_{13}(z - z_0)}{a_{31}(x - x_0) + a_{32}(y - y_0) + a_{33}(z - z_0)} + x_{c'};$$

$$y' = -c \frac{a_{21}(x - x_0) + a_{22}(y - y_0) + a_{23}(z - z_0)}{a_{31}(x - x_0) + a_{32}(y - y_0) + a_{33}(z - z_0)} + y_{c}'$$

问题 1

输入 x', y' $Z = f(x', y')$ 来自不规则网格的存储器
输出 x, y $d'(x', y') = d(x, y)$ } 脱机

问题 2

x, y 有规则的网格

问题 1 和 2

输入 x $Z = f(x, y)$ 来自存储器
输出 x', y' $d(x, y) = d'(x', y')$ } 联机

分辨率 *	线	象元 **
12.5微米	5520	30.5 兆
25 "	2760	7.6 "
50 "	1380	1.9 "
100 "	690	476 千
167 "	414	171 千

译注：* 应为象元 ϕ 的大小
** 应为存储器所需容量，兆字节

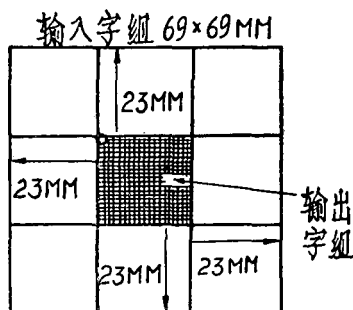


图3 数字校正所要求的存储容量

存储器的大小取决于可能出现的畸变，在注明 $d\varphi, d\omega < 5^\circ$ 的航空图象中，对例如分辨率为26线对/毫米（=12.5微米象元量）来说，存储器的容量为30.5兆字节（见图3）

$$dx' = \frac{x'}{z} dz_0 + \frac{x'}{z} dz + y' dx + \frac{x'y'}{c} d\omega - (1 + \frac{x'^2}{c^2}) \cdot c \cdot d\phi$$

$$dy' = \frac{y'}{z} dz_0 + \frac{y'}{z} dz + x' dx - (1 + \frac{y'^2}{c^2}) \cdot c \cdot d\omega + \frac{x'y'}{c} \cdot d\phi$$

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| $dz_0 < 10\%z$ | $dx', dy' < 8\text{mm}$ |
| $dz < 10\%z$ | $dx', dy' < 8\text{mm}$ |
| $dx < 10^\circ$ | $dx', dy' < 20\text{mm}$ |
| $d\omega < 5^\circ$ | $dx', dy' < 23\text{mm}$ |
| $d\phi < 5^\circ$ | $dx', dy' < 23\text{mm}$ |

目前尚未有这样的存储器，所以今天对航空图象以数字式途径做几何图象处理，只能联机进行，这就是说要把透视处理计算机与偏转系统联接起来。

如果大批量存储器可以作随机存取来使用，那么透视信息处理机在以后就会无需偏转系统也能使用。

3. 用于数字微分校正的一种透视信息处理机系统

透视—信息处理机可以用U.Helava所说明的“数字投影仪”与微处理机构成〔4〕。但人们也可用适当设计的硬件做成。这时算术上的运算进行如何之慢，几乎是无关紧要的（见图4）。

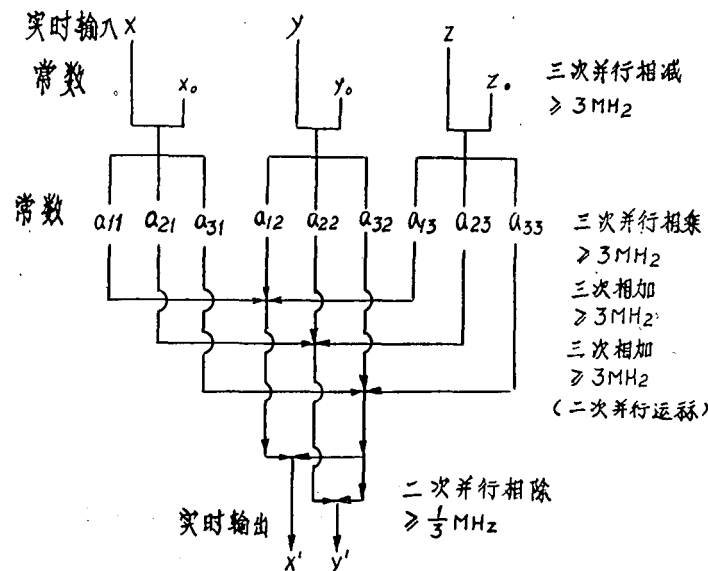


图4 用带有偏转系统的透视处理机进行数字校正

假如输出数据速率由于除法部件很慢而限制在 $1/3\text{MHz}$ 时，那么，附加四个除法器即够用，把它们并联加入透视式信息处理机的流水线结构，以便使输出数据达到 1MHz 〔5〕。图5说明了这一流水线系统。

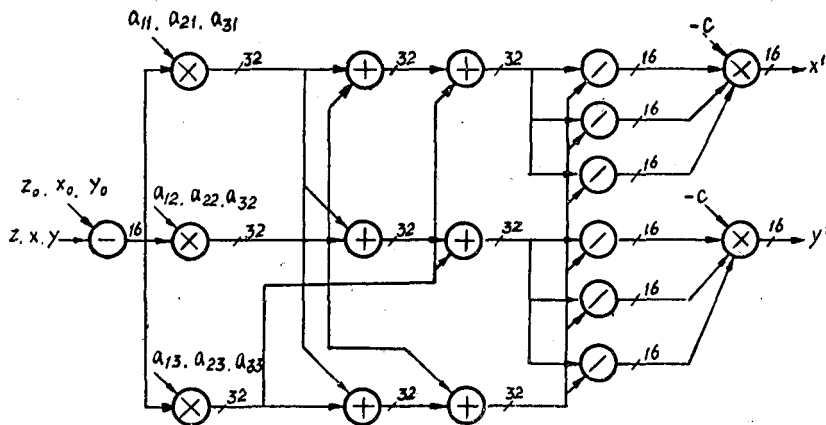


图5 硬件透视式（流水线）信息处理机

透视式信息处理机系统的第二个部件就是偏转系统，通过在必要的偏转范围，并联一台声、光激光偏折器来实现偏转，这样速度很快，以至可以达到1MHz的实时扫描率。这一偏折系统见图6所示。

配备上述装置后，有可能用相应的经费来研制一台数字式微分校正仪。

4. 面积图象相关用的数字处理机

摄影测量航空图片的数字化图象相关处理，按中心辐射线原理上是可能的〔6〕，〔7〕，〔8〕。按中心辐射线的图象相关的优点在于二维相关问题还原为一种线性相关。正如Helava和Hobrough指出的那样，为了达到高的精确

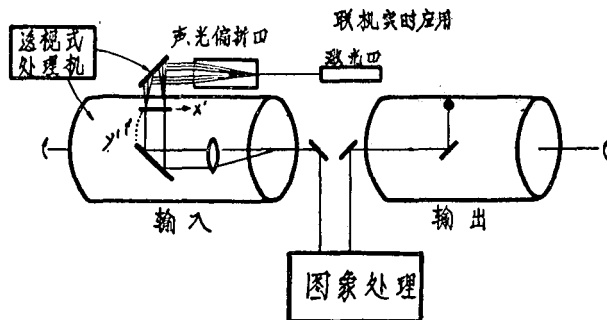


图6 具有偏转系统的透视式信息处理机的联机实时应用

度，诚然需要一种花销很大的图象内容的变换。必要的计算与判定只能通过混合的（模拟数字）结构复杂的专用计算机来完成。

如果制作一台并列处理的适当的数字信息处理机〔9〕，尽管精确的面积相关可能性稍低些，但相对来说要简单一些。在一组立体图象对的相对（或者绝对）定位实施以前，按中心辐射线进行图象相关的任务，也成功地变成校正图象的面积相关。

然后，图象相关算法可以按图7简单地应用。

1. 用 V_{11} 到 V_{qq} 求得一个可能为 U^p 的互相关的最大相关系数；
2. 这种现象出现于四条带，其中第四带有最粗的平均象分辨率（3.75毫米），第一带分辨率为30微米。

$$K = \frac{\Sigma_u \cdot V - 1/q^2(\Sigma_u \cdot \Sigma_v)}{\sqrt{(\Sigma_u^2 - 1/q^2(\Sigma_u)^2)(\Sigma_v^2 - 1/q^2(\Sigma_v)^2)}} = \frac{A - 1/q^2(B \cdot C)}{\sqrt{(D - 1/q^2(B^2))(E - 1/q^2(C^2))}}$$

带IV：增量3.75mm

总计18.75mm

带 III:	增量 750 μ m	总计 3.75mm
带 II:	增量 150 μ m	总计 0.750mm
带 I:	增量 30 μ m	总计 150 μ m

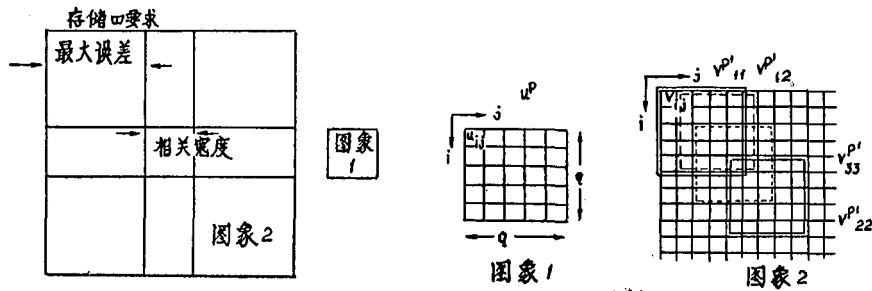


图 7 数字式面积相关

为互相关系数的分辨能力制作一种简单的相关信息处理机，它能以 $\frac{1}{3}$ MHz 的速度工作（图 8）。

相关计算机输出速率的提高，也可通过计算机流水线结构中的并联处理装置来完成，如果那里慢速的处理单元决定了整个系统输出速率的话，在速度为 1MHz 的先决条件下，对于在四个带的 5 个象元的相关场（象幅为 23×23 cm 的立体模型，纵向覆盖为 60%）处理时间只有 10 分钟。

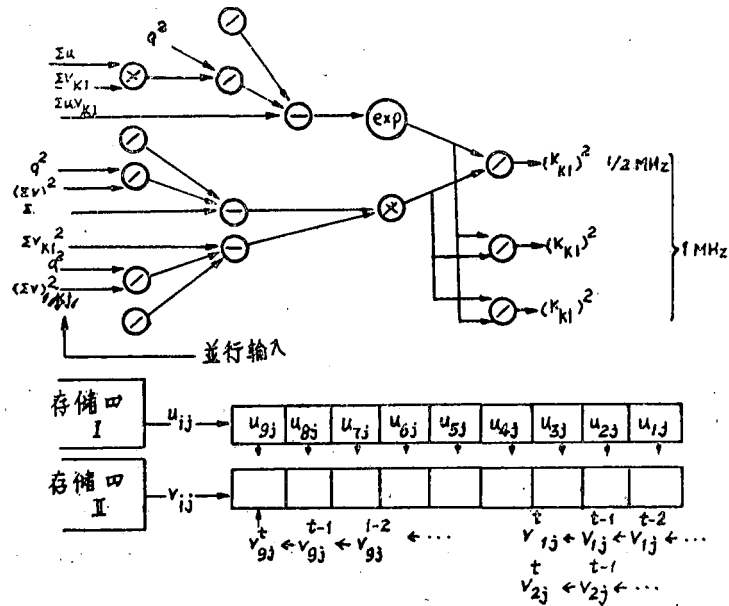


图 8 K^2 相关信息处理机

对 11×11 象元的相关场的判读时间约为 35.5 分钟（见表 6）。

使用多种信息处理机中，有一种甚至达到速度为 3MHz，时间为原有的三分之一。

表 6

要求的相关处理时间

矩阵q	K ^P /U ^P	带数	信息处理机 单元数	输出速率	总计计算时间	
					100% 1个象	60% 1个立体模型
11	33	3	41	1MH _s	35.5分	21.3分
11	33	3	59	3 "	11.8分	7.1分
5	15	4	41	1 "	16.7分	10.1分
5	15	4	59	3 "	5.5分	3.3分

5. 结 论

在上述微分校正和图象相关的信息处理机的基础之上，最后来设计一种数字摄影测量的处理系统，该系统估计能够在最短的时间里，按等高线信息用数字方式提供正投影图。

这样一种系统，随便怎么使用均可，不管图象联机扫描现在是否可能，也不管是否在十年之后才会有可能直接用上最高分辨的数字图象（见图 9。）

目前，人们期待着用由 Fairchild 公司提供的 500×500 象元范围的数字摄影机，将工作能力提高到 18000×18000 象元的水平上，并能以高密度数字磁带 (HDDT) 存储图象。另一方面人们也希望有一种批量存储器，它在允许的畸变范围有可能以数字方式，对图象进行校正和相关处理。

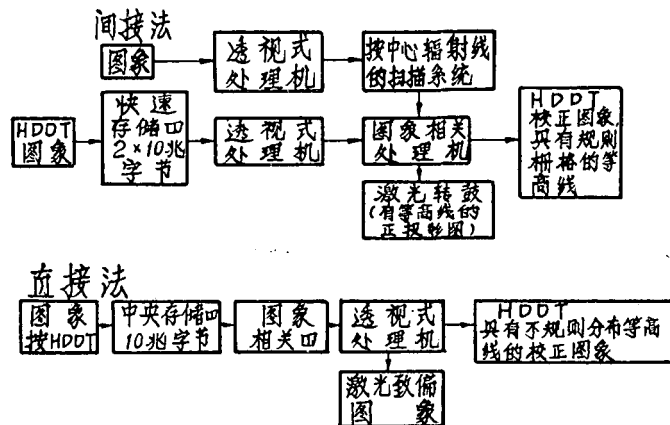


图 9 数字式摄影测量处理系统

这样展望大胆吗？经费的因素将能左右这项研制吗？这是一个悬而未决的问题。当然，从 C-RBV 型地球卫星发回的、由计算机相容磁带 (CCT) 得到的数字卫星图象，降低要求，用同样的处理方法在短期内是可能的。尽管那里处理的只是 2300×2300 象元的电视图象，但如果联接上较大的存储器，判读的原则仍适用于高分辨率的摄影系统。

参考文献 (略)

周毓平译自 Bildmessung und Luftbildwesen 1978.3. s.99—109

于前洋校