

快速数字图象处理装置的发展趋势 (下)

——阵列处理器及各种通用与专用图象处理装置的性能和应用

二、通用图象处理装置

这里所说的通用图象处理装置，不是指以特定领域的图象作为对象数据，不是单功能的，而是具有图象处理用的并行存取或并行处理部分，因而，它是一种能够通过程序（或微程序）灵活地加以更改的处理装置。从保持处理内容的位置精度与两维性上看，它比阵列处理器更具备符合于图象处理所要求的功能。

实现这种通用图象处理装置的方法有两种：一种叫作完全并行式，另一种叫做局部并行式。所谓的完全并行式就是具有与图象大小相应的单位处理器，而且各个处理器是相对应于每个图象配置的。从实际组装的观点看，图象的大小（处理器的数目）及处理器的功能都间接地对处理器有一定的限制。但由于完全是并行处理的，所以，速度相当快。局部并行式是从实际出发考虑的，是一种适应于现代硬件技术的装置，它有能对应于某一适当大小的局部区域图象数据并行存取或并行处理的专用电路。图象的整体处理是通过一个机构扫描各个局部处理区域实现的，其局部处理区域的大小能决定并行处理的能力。从图象存储及运算电路等方面看，这是一种符合于目前技术现状，并且容易实现的装置。由于对处理功能给予一定限制，并采用了快速运算元件和流水线技术，致使其处理速度几乎与电视扫描速度相当。下面举例介绍一下具有代表性的图象处理装置。

(1) 完全并行式处理器

完全并行式图象处理装置的方案是由 Unger 提出的(4)。他指出了现在的逐次式计算机处理图象效率低的缺点，而提出了图10的方案。这种装置由互相连接的逻辑单元和向其发出指令的主控制部分所组成。主控制部分解读出指令并给逻辑单元下达指示。每个逻辑单元都有一位于累加运算的寄存器和几个存储器，此外，还有逻辑和、逻辑非、移位和处理存储器存取数据等的功能。将这些功能配合起来，做了“0”“1”文字图样的图象处理的模

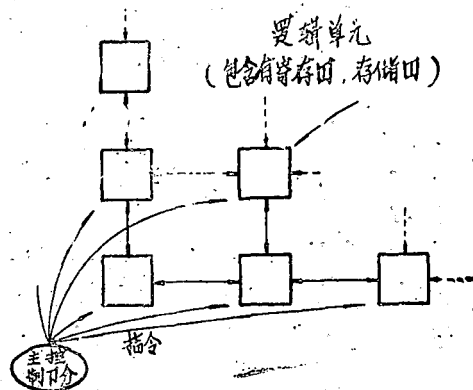


图10 Unger 机器的结构

拟表演实验。模拟实验是用大小为 36×36 的文字图样做的，做了消除噪声与提取特征点等的图象处理，然后还做了英文字母的文字识别实验。Unger的这种思想成为下面要介绍的 Illiac III、PPM 以及 CLIP 等装置的研制依据。

Illiac III

McCormic 等人为自动分析泡室照片而研制了 Illiac III (5) (注1)。这个装置是为满足每年需自动分析处理1000多万张数目庞大的泡室胶片的实际要求而设计出来的。

Illiac III 由五个部分组成，其中包括图象输入部分、图样运算部分、(PAU)、表格处理部分、数值运算部分与结果输出部分。在 PAU 中进行图象处理。如图 11 所示，PAU 是由 32×32 个基本运算单元组合而成的。基本运算单元接成四方形格子或六角形格子，每个单元都能进行简单的逻辑运算与阈值处理。PAU 指令的字长为 40 位，它能决定输入输出的控制，邻近数据的处理，移位的控制和重复次数的控制等。综合上述指令就能实现双值化处理、细线化处理、消除噪声与提取特征点等，从而实现对粒子射线飞行轨迹分析的图象处理。通常称 Illiac III 为专用图象处理装置的先驱，但由于当时受到电路技术水平所限，基本运算单元就占了整个一块印刷电路板，PAU 本身共需 1024 块电路板，所以它成了一个非常复杂的庞然大物。

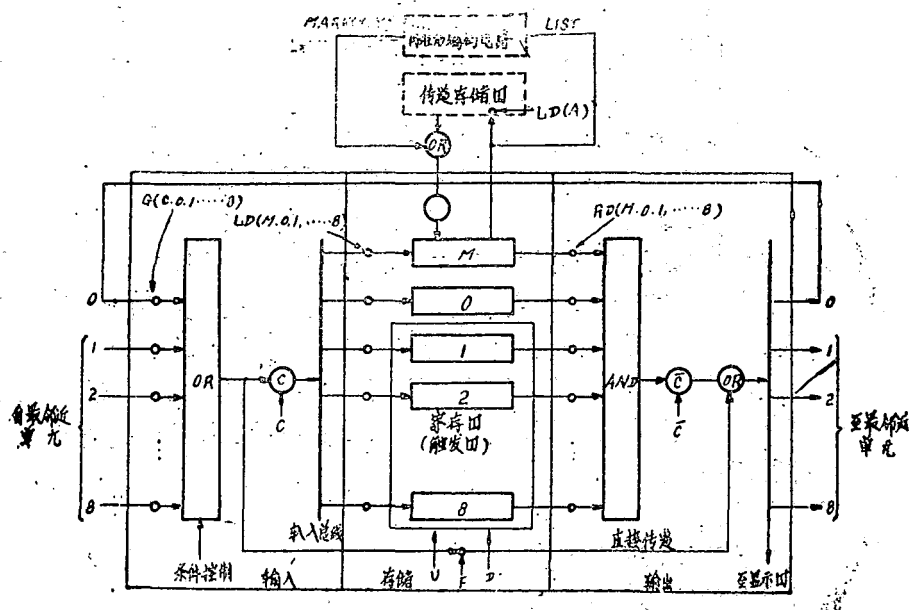


图 11 Illiac 的基本运算单元的结构

并行图象处理机

并行图象处理机 (Parallel Picture Processing Machine—PPM) 是由 Kruse 研制出来的。如图 12 所示，它是由与八个邻近的四方形格子互相连接的基本逻辑单元和控制部分组成的 (瑞典 Linköping 大学) (29)。各运算单元同步动作，它们的输入由八个

注 1) Illiac III 与 Illiac IV 都是美国伊利诺大学研制的，只是根据研制的年代加了编号，并无其他特殊意义。前者用于图象处理，后者作为科学计算的并行计算机。

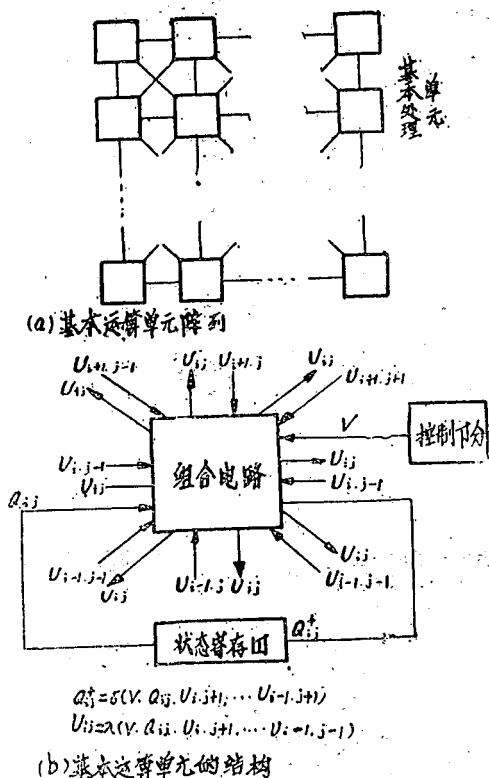


图12 并行图象处理器(PPM)的结

邻近单元与控制部分馈入。其输出由各个输入信号和状态组合电路来决定。PPM是按着既能处理双值图象，又能处理具有灰度等级的图象设计的，它能消除噪声，进行细线化处理，做阈值处理和微分处理等。虽然构思 PPM 的思想基础和 Unger 机器一样，想做成完全并行式的，但在硬件实施上，只装了一种 3×3 局部区域数据的基本运算单元，而整个图象的处理是靠扫描各局部已并行处理的结果来实现的。PPM 直接处理的对象是大小为 64×64 、灰度等级为 4 位的图象信息，其基本处理速度为每个象素 $1.2 \sim 3.6$ 微秒。PPM 由电视摄像机、显示器、图象存储器等组成，它可以用于分析指纹，发现疟疾 (malaria) 寄生虫、检查印刷电路板等 (30、31)。

细胞逻辑图象处理器 (Cellular Logic Image Processor—CLIP)

这是 Duff 等人以大规范集成电路研制成功的完全并行式图象处理器 (英国伦敦大学—University College London) (32)。这个系列的 CLIP—4 如图 13 所示，是以 96×96 个基本运算单元并排组成的，用 nMOS 电路实现大规模集成化，在一块芯片上可以组装 8 个单元。单元之间的连线可以是四角形格子和六角形格子，各单元的运算是由逻辑函数构成的；由 $C_1 \sim C_8$ 来控制各个单元。A 寄存器用于输入输出图象数据，而 D 是容量为 32 位的随机存储器。CLIP—4 是由外部的一连串指令控制其动作的，对不需要传送的运算来说，处理 96×96 的图象只需要 10 个微秒。象素之间的传送速度为 1 个微秒。CLIP 能完成下述的基本图象处理操作：双值图象的细线化、消除噪声测量面积与周长，以及提取具有灰度等级图象的轮廓线和阈值处理等。另外，还可以用来分析显微镜图象。

(2) 局部并行处理器

在图象处理中，运用平均化法、微分、提取特征等的局部处理的机会很多。这

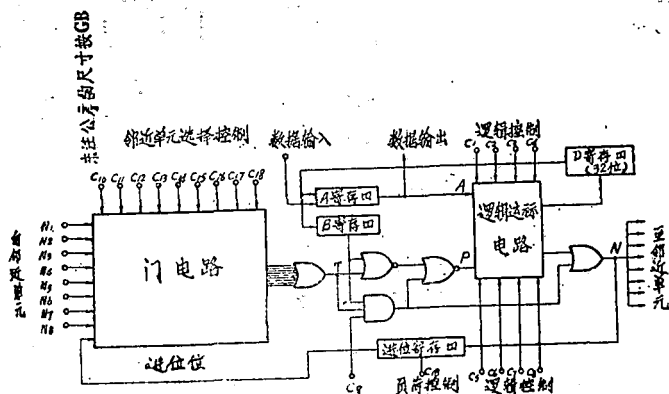


图13 CLIP的基本运算单元的结构形式

种局部处理随着一次成为对象的局部区域的形状与大小不同，其复杂程度也不一样，但一般的大小多数是 $3 \times 3 \sim 16 \times 16$ 。如果用完全并行式来实现局部处理，则因为完全并行仅仅直接与六个邻近区域在八个邻近区相连接着，所以，只对局部区域大小的存取和处理就得费去很多时间，结果就不可能充分利用完全并行式的特点。另外，从用硬件实现这种装置的技术观点看，以现有的技术水平来实现能并行存取整个图象的存储器的设计，还是很复杂的，但并行存取适当大小的局部区域内的图象数据，却是完全能够实现的。于是，依据某一制式把局部区域在整个图象上移动就可以了。即局部并行处理是由并行存取局部区域图象数据的处理运算部分与使局部处理遍及整体的控制部分组成，可以说，它不论在技术上还是在造价上，都与现在的技术水平相称。下面介绍一下截止目前为止所研制的具有代表性的局部并行处理器。

通用图象处理器(General Picture Processor—GPP)

为了快速处理从显微镜得到的细胞图象，Lemkin 等人研制了通用图象处理器 GPP (美国National Institute of Health)(33)。

GPP是用PDP 8/E小型计算机控制显微镜的扫描机构与图象显示器，然后再接到具有图象存储器的系统上的。为了快速存取图象数据，图象地址寄存器有三个系统，以便计算 3×3 局部区域内的地址。图象数据依据其地址输入或输出到图象缓冲寄存器中。图象处理的程序存储于程序存储器里，使用程序存储器。ALU (运算器) 与图象数据等来做图象处理，并能实现在 3×3 之内的空间滤波与逻辑滤波等。

程序是用48位的微程序语言构成的，装置上具有容量为 4 k 个字的程序寄存器。十六位程序寄存器就有四个。在程序指令中，包括寄存器之间的数据传递、算术运算、转移、条件转移和输入输出等许多种。

图样处理器(Pattern Processor)

为了识别三维物体，谷内田等人研制出了能快速完成那种过去费时间的予处理与特征提取的图样处理器 (日本大阪大学) (34)。

图样处理器的结构示于图14。自三维空间得到的图象数据通过输入装置存储于两维存储器中。图样处理器由主计算机发出来的微程序控制，该微程序存储于程序存储器(256个字，每个字12位)之中。微指令包括逻辑运

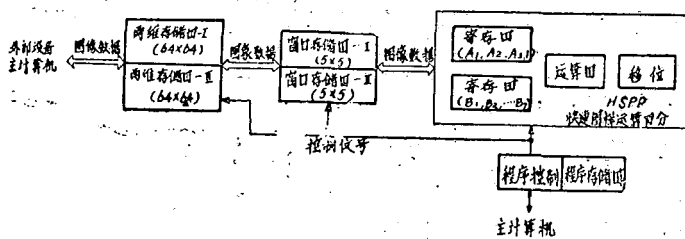


图14 图样处理器的结构形式

算、算术运算、传递、移位、空白(跳越)、转移等，一个指令的周期为100个毫微秒。

两维存储器能够存储两张大小为 64×64 个象素的图象(每个象素用 6 位)，“窗口”存储器予备存储 5×5 个象素。两维存储器是一种速度比较低，而容量比较大的存储器，而“窗口”存储器是一种速度高而容量小的存储器，用它来弥补两维存储器与快速图样运算部分之间的速度差异而起到缓冲作用。快速图样运算部分 HSPP 是由 ALU 与一组寄存器构成的，它能快速执行微指令中的算术逻辑运算、数据传递及移位等操作。

这种图样处理器有以下各种特征：①具有能快速对局部区域 5×5 之内的数据进行读出与处理的“窗口”存储器与HSPP，②具有任意选用光栅扫描与随机跟踪扫描来扫描“窗口”存储器的存取方式灵活的两维存储器；③能够靠改变控制系统的微程序来形成各种各样的图象处理程序。

图样处理器能做具有灰度等级图象的阈值处理、微分处理、细线化、线跟踪及消除噪声，能对线状图形曲率等进行各种予处理和特征提取。对大小为 64×64 的图象取 3×3 的小块面积的微分处理时间为12毫秒，细线化处理时间为15毫秒，取 5×5 小块的微分处理时间为29毫秒。

图象予处理器(Image Pre-Processor)

河原等人研制成功了利用微型计算机控制的通用图象予处理装置IPP（日本日本光学）〔35〕。它是由能进行 3×3 局部处理具有灰度等级图象的图象处理部分与双值图象的图象处理部分、进行象素之间运算的图象运算部分、处理特征点个数的计数器部分与两块 256×256 的图象存储器构成的。

IPP所能胜任的处理类型有：平均化、阈值处理、细线化、图样匹配（Pattern-matching）与象素之间的逻辑运算等。它的主要服务对象是显微镜图象。处理大小为 256×256 的图象的处理速度为50~100毫秒。

图象处理器(Image Processor-IP)

松岛等人对图象数据处理研制成功了一种带有快速处理阵列结构的图象处理器IP（日本日立制作所中央研究所）〔30~39〕。

IP的结构示于图15。整个IP是由主计算机控制的，而快速两维图象处理是由IP中存储图象的存储器、局部存储器、运算器处理元件（PE）阵列组及微指令处理部分来完成的。图象存储器能存储两张大小为 256×256 的图象，而运算器阵列组是由排列为 4×4 格子形式的处理元件（Processing Element PE）组成，它能完成快速阵列运算。在存储器与运算器之间有能存取 4×4 局部区域数据的局部寄存器，这样就能实现并行处理。PE指令包括：控制、寄存器的传递、存储与逻辑运算等，另外还能用运算器阵列进行并行处理。

利用IP处理图象的处理速度如下：双值化处理 256×256 的图象的处理时间约为11.5毫秒，对 4×4 进行负荷相关处理的时间约为34.4毫秒。

还能够利用这种IP来进行物体识别的予处理（检出方向码）及特征提取处理。IP所能胜任的图象处理工作有：阈值处理、空间微分、方向码变换、平均化、数据变换、由扩大缩小等予处理求方向码的投影分布、作直方图、求平均值和从计算面积中提取特征等。对大小为 256×256 的图象的处理时间为0.2~1.2秒。

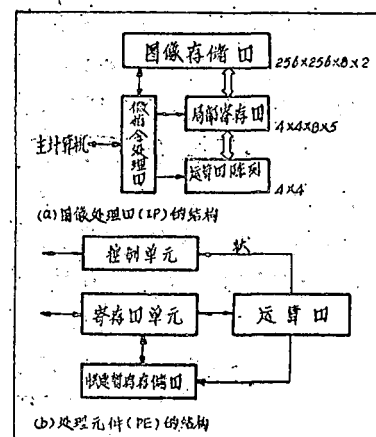


图15 图象处理器IP的系统结构

并行图样处理器(Parallel Pattern Processor_PPP)

森等人从加快图象信息处理运算中最常用的那部分的速度出发,而研制成功了并行图样处理器PPP(日本东京芝蒲电气综合研究所)(40~42)。PPP是以图象存储器为中心构成的,这样,在图象处理系统中就省去了传递图象数据所浪费的时间。

图16为PPP的结构。PPP是由主计算机及其接口、图象存储器及其接口、微程序控制部分、表存储器及各种图象运算部分构成的。此外,在PPP之内,备有一组八位数据总线、专门用于图象数据的快速数据总线以及用于表存储器的地址总线。

微程序控制部分控制着与主计算机的通讯联系、图象存储器的数据传送与选择、数据总线的数据流、选择各运算部分的制式与运算等,因而它起着控制PPP整机的作用。除此之外PPP还备有算术逻辑运算器与乘法器,至于图象之间的运算等是由微程序实现的。地址控制部分在对图象存储器的输入数据进行两维座标变换计算的同时,还能控制处理“窗口”。由于能快速进行座标计算,所以也能实现仿射(affine)座标变换。

在本装置中,由各个专用的运算部分承担图象运算。由于采用了流水线控制与并行运算,才实现了快速处理。其运算功能有以下几种:①求 8×8 负荷框区的积和,② 3×3 框区的逻辑过滤(用于双值图象),③加添区域编号(用于双值图象),④数据变换,⑤制作灰度等级的直方图,⑥仿射座标变换,⑦象素之间的运算(微程序处理)等。

特别是积和运算,由于负荷框区大小不一样所形成的乘法、加法及数据存储取的次数特别多,这样也就需要相当长的处理时间,但在PPP中,采用图17的电路,使得速度既快,电路又简单。由于乘法器与加法器是每八个为一组的,并且又采用了流水线控制的运算方式,所以,求 8×8 的负荷框区的积和运算(共有乘法64次,加法64次,存取数据128次)只需要1个微秒,这比现有的计算机的速度要快上一百倍左右。

对于其他图象的运算,基本上做到了每个象素用1个微秒,对于大小为 512×512 的图象的处理时间约为262毫秒。应用PPP的基本图象运算示例及其所需的处理时间列于表3。此外,如将PPP的基本运算功能一并编成微程序,就能做到以一次微分运算操作求出梯度向量的大小及其方向标度。

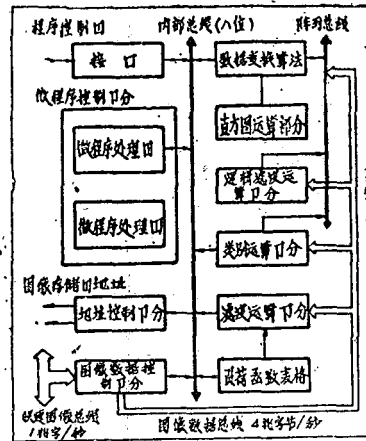


图16 并行图样处理器 (PPP) 的结构

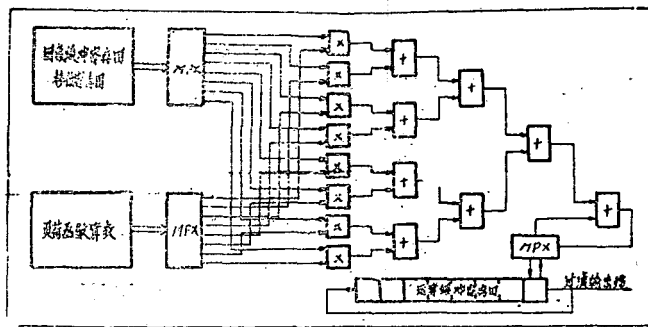


图17 积和电路的结构

表 3、应用并行图样处理器的处理示例及其所需要的时间

基本运算	图象处理	处理时间
空间滤波 (8×8)	二次微分(拉普拉斯算子) 平滑处理	约262毫秒 约262毫秒
逻辑滤波 (3×3)	检出端点及分支点等 细线化处理	约262毫秒 262毫秒× 直线的最大直径
分类	图象分离 测量粒度分布	约655毫秒 约786毫秒
数据变换	非线性校正 灰度限制	约262毫秒 约262毫秒
作直方图	灰度的密度分布	约262毫秒
多谱带图象 像素之间的运算	两张图象的逻辑运算 线性运算	约500毫秒 约1.8秒
仿射变换	移动、回转、扩大、缩小 斜交轴变换	约262毫秒 约262毫秒

注) 以处理512×512的图象为例。

由于其硬件数量远远少于小型计算机，所以，PPP是个显著改善了图象处理费用效果比的装置。最近又发表了一种并行图象处理装置·IPU43。它在PPP功能的基础上，又增加了二维付里叶变换与最优度分类等新的运算功能。

边缘处理装置(Edge Processing Unit EPU)

Robinson等人研制成功了从电视图象中实时提取图象轮廓的边缘处理器(EPU)(美国Northrop公司)(44)。其结构示于图18。

图18边缘处理装置的结构

EPU 能对经过模拟—数字转换得到的数字电视信号，同时快速地用四个系统对3×3的负荷框区进行其积和计算。另外，该积和电路还能完成平均化、增强和微分等项处理任务。图18的EPU是从四个负荷框区的微分计算中，表示出微分的最大值，并求出

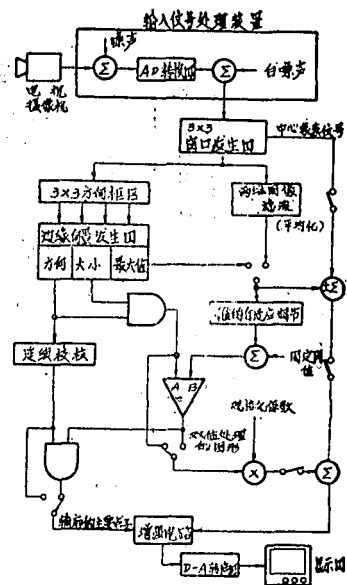


图18边缘处理装置的结构

该数值及其方向当作轮廓信息。从轮廓方向的连续性及其局部阈值的决定中，可以确定出拟似轮廓，然后把逼近的拟似轮廓图象输出去。

自具有灰度等级的图象中提取轮廓时，可用这种EPU作为使各种参数调整为最佳值的实验装置。

三、专用图象处理装置

上述的阵列处理器与通用图象处理装置广泛应用于处理一般图象。

在本节标题之下，打算介绍几种为特定的使用目的研制的装置。如在医学图象、文字、遥感图象和工业图象等领域中，仅仅需要处理一种特定的图象。在诸如图样识别中，图样识别过程可以分为输入→予处理→特征提取→识别→输出这五个步骤。这里所说的专用处理装置是，只将这之中的各个步骤，或者其中的某几个步骤设计成用快速方法处理的一种装置。

双值图象处理器(Binary Image Processor_BIP)

用于处理双值图象的双值图象处理器(BIP)是Gray研制成功的(美国III公司)(45)。它在诸如文字识别、指纹分析、泡室胶片分析中起着重要作用，并且能提取几何学上的特征而来进行测量。

BIP的结构示于图19，可以根据36位参数寄存器的内容规定整个运算。运算本身与50兆赫的时钟同步，并以流水线方式来完成。BIP的结构特征之一是在保持原来的图象数据的两维形式之下来进行处理。因此，它能够通过参照邻近的象素值来处理有关的各个象素。其运算方法是局部并行式的，即先以布尔代数的形式把邻近的数据表示出来，然后再以光栅扫描的方法对整个画面进行处理。

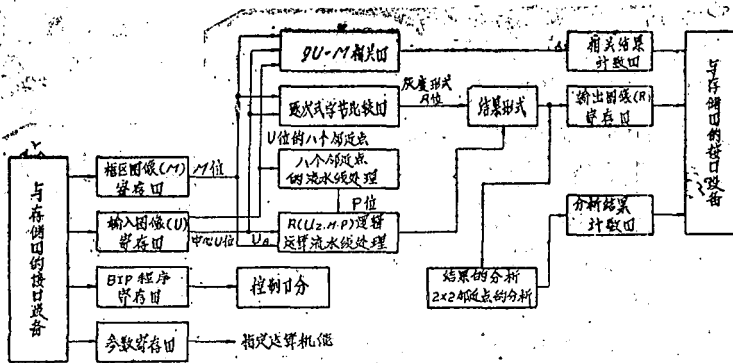


图19 双值图象处理器的结构。BIP为双值图象处理装置，通过布尔代数运算来求出有关输入图象与框区图象的 3×3 的邻近点的输出图象。根据分析 2×2 区域内的图样得出输出图象，并数出各个图样出现的频率(频繁程度)。

经过处理结果所得到的图象显现于 2×2 的框区之内，然后同时测量十六种图样中每一种所出现的频率。

图象数据与表示处理步骤的程序都存储于同一个存储器中，可以由程序指定出图象数据中作为处理对象区域的“窗口”。再有，测量结果也存储于同一个存储器之中。

由于BIP是这样的一种结构,所以,它能完成双值图象的基本几何学特征的提取与测量工作,如测量欧拉数(注2);求出两个象素之间的相关性、提取轮廓线、提取骨架线和测量图象面积等。从结构上也可以看得出来,其处理速度完全取决于所使用的存储器的周期时间,如果两次的读出周期与一次的写入周期只用一个微秒能完成,那么处理十个象素的时间只需要一个微秒。

GLOPR

Golay提出了关于六角形格子排列的图象变换逻辑的方案(48),而Golay逻辑处理器的GLOPR是由Preston等人研究成功的(美国Perkin-Elmer公司)。

在六角形格子排列的双值图象中,对于某一个象素,只要整理出与其六个相邻近点上出现的图样,就能得到如图20所示的14种形式。GLOPR能从与其相邻各点的关系出发对各个象素进行分类,从而完成图象轮廓线的检出、图象的细化与骨架线的提取等工作。

GLOPR装置以广泛应用于染色体的分类与白血球分类等医学图象处理为主。尤其是在专门用于白血球分类的装置CELLSCAN中就装有GLOPR(49)。

	0 0	1 0	1 1	1 1	1 1	1 1
图样	0 + 0	0 + 0	0 + 0	0 + 1	0 + 1	0 + 1
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 1	1 1
序号	0	1	2	3	4	5
	1 1	1 0	1 1	1 1	1 1	1 0
图样	1 + 1	0 + 1	0 + 0	0 + 0	0 + 1	0 + 1
	1 1	1 0	0 1	1 0	1 0	0 0
序号	6	7	8	9	10	11
	0 0	1 1				
图样	1 + 1	0 + 0				
	0 0	1 1				
序号	12	13				

图20 Golay的14种六角形格子邻近点的图样形式

MIDAS

遥感数据分类处理专用装置MIDAS(美国ERIM)(50)是由Kriegler等人研制成功的。它是一种能处理搭载于卫星或飞机上的多谱带扫描仪(MSS)所得的图象,而进行植物分类、土地利用分类和监视公害等的图象处理系统。

注2) 两维平面上的欧拉数是自独立分离出来的图形数目中减去这之中的空穴图形数之差。

在遥感中，多数情况下适于用最优化法来对像多谱带扫描仪图象的多谱带数据进行图象分类，但是，用通用计算机来完成最优化法运算非常费时间。譬如，飞机起飞15分钟就可能得到一整盘磁带数据，若用通用计算机对这盘数据进行分类，就得二百五十个小时。

在MIDAS上处理多谱带扫描仪图象的关键一着是，在装置上装有用最优化法进行快速分类的专用处理装置。这种快速分类装置示于图21。把图象数据视为 n 维空间的向量，然后看这些向量与予先准备好的哪一个向量相近，并求出向量与该类向量的距离（优度），而将其划到最相近的类别中去。在最优化法中，假定各种类别都是按正态分布的，并可以用平均值与离散度表示它们。令输入向量 $X (X_1, X_2, \dots)$ 与类别向量 $j(M_j, \Sigma_j)$ 之间的距离为 d_j ，则 d_j 可以由下式求出

$$d_j = (X - M_j)' \Sigma_j^{-1} (X - M_j) \dots \dots \dots (3)$$

式中

M_j —— 类别向量的平均值

Σ_j —— 类别向量的共离行散列式

T_j —— 转置行列式

- 1 次方 —— 逆行列式

用同样方法对各种类别 ($j = 1 \sim N$) 进行计算，并采用最相近的类别编号。MIDAS 是用定点法对八位数据作这种运算的，而四条通道的多谱带扫描仪图象数据能分成十六种类别，八条通道的数据能分成八种类别。这两种情况下的处理速度都很快，每秒能处理 2×10^5 个像素。

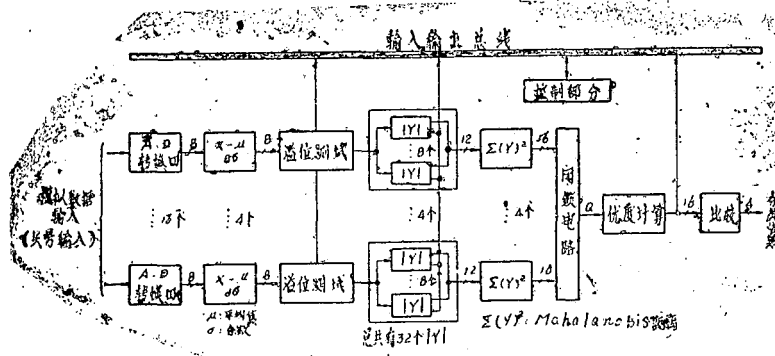


图21 MIDAS并行运算器的结构。用时分制运算方式计算八个通道的多谱带数据的优度值，从而求出八个类别的优度值。

图象分析处理器(Image Analysis Processor_IAP)

分析遥感数据的专用装置，图象分析处理器(IAP)是由Goodenough研制的(加拿大遥感中心) (51)。

正如在MIDAS一节中所介绍的，通常遥感数据量极为庞大，对一个一个数据进行处理所花费的时间太多。在会活式处理方式中，尤其感到数据量大是个大问题，这样，

不论从处理速度上，还是从降低处理费用上考虑，都希望用硬设备来解决。IAP也就是基于这种观点研制成功的，因此，它具备如下三种功能：由参照图表法进行最优度分类；实现两维快速付里叶变换；控制图象数据的传输。如图22所示，IAP是由四个基本单元构成的。这就是与主计算机的接口部分、流水线方式的运算处理部分、构成CIAS部件之一的Image100的接口部分以及执行算术逻辑运算与控制的控制部分。

Image100 是美国通用电气公司(GE)研制的专用遥感图象处理系统。它是由图象数据的输入输出设备、专用的处理硬设备和小型计算机等构成的(52)。图象处理功能有利用多维分片法的分类、谱带间的运算、绘制直方(计算)图等。Image100能实时地完成上述各项处理功能。

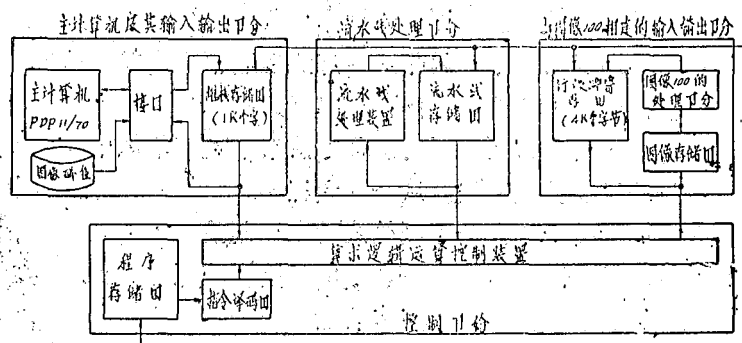


图22 图象分析处理器IAP的结构。主计算机与图象磁盘传送的数据为18位，其间通过一k个字堆栈存储器。流水线处理装置用100个毫微秒就能对18位浮点数据的二次方和的各项进行运算。行缓冲存储器为RAM，它能对 Image 100 进行处理的数据起缓冲作用，其缓冲的数据量为32行，每行512个像素。

它只能对Image 100的图象存储器中的数据进行两维快速付里叶变换，数值数据以阶数部分为5位，尾数部分为13位的浮点法表示。另外，可以通过直接控制磁盘装置使图象数据在其与Image 100的图象存储器之间传送。

IAP的处理速度：就最优度分类值而言，把大小为 3240×2286 的四个通道的大地卫星图象分为93组的分类时间为13.9分钟；就两维快速付里叶变换而言，对 512×512 的图象数据进行正变换需要12.8秒，反变换需要17秒；另外，把大地卫星的四个通道的整张画面以大小为 512×512 一幅一幅地适当分割开来，并传送到Image 100的图象存储器中，只需要1分钟。

四 结束语

到此为止，考察与分析了各种图象处理装置，但还遗留一个问题，那就是这些装置与图象输入输出设备之间的关系。如果图象输入或输出设备仍然慢腾腾地需要挺长的时间，那么，既或能够实现快速图象处理，也没有多大意义。最近虽然已经开始研制平面型传感器与显示器，但仍需采取措施使这类输入输出设备能与整机的功能完全匹配。除此之外，数字图象处理中像素数据的内插与外插问题，仍然是一个为了提高(下转79页)