

# 字 计 算 机

**摘要**—正在发展一种利用二元图象做为基本计算实体的超高速度计算机。基本逻辑元件同时地实现几千个运算。利用纤维光学，显示，薄膜技术和半导体工业技术来制造硬件。

## I 前 言

GODDARD 空间飞行中心，承担了一个计划来发展一个改进了的处理二维数据的方法。从这个计划引伸出一种新型数字计算机的概念。这些计算机利用包含几千个单元的二元图象（如黑和白）作为它们的基本计算实体。这与利用单个位作为其基本计算实体的普通计算机正相反。这些新计算机同时并行地执行几千个运算。所以运算的潜力比目前的计算机快几个数量级。

并行性的利用不是新的。光学数据系统（相干和非相干的）能同时实现几千个模拟运算。在数字领域里通过同时实现许多二元计算，类似地增加速度的想法已经成为理论研究和实验工作的课题。所有的实验工作都是通过把许多组计算元件联结起来而达到并行性的。相反，这里报道的工作是在最基本的逻辑元件基础上达到并行性的。

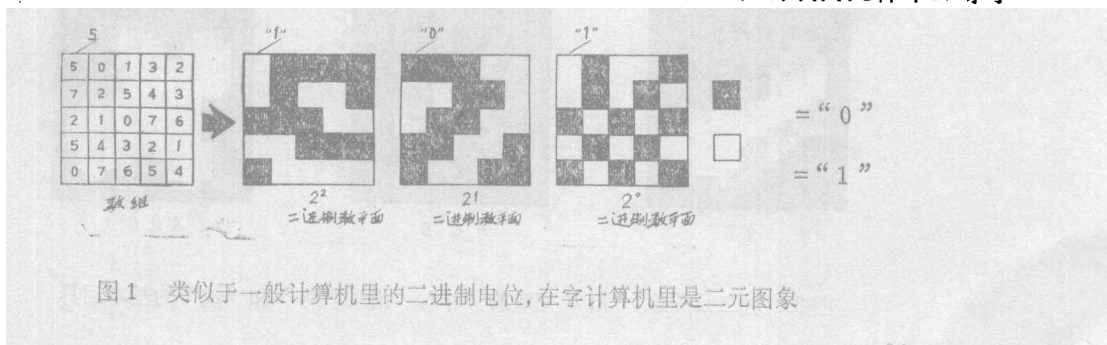
中国人写文字利用象形文字做为其最基本的元素。相反，西方语言利用字母做为它的最基本的元素。类似地，这里报告的计算机利用象形文字（图象）而不是“字母”（单个位）。所以这种计算机称为“字”计算机。

这里“ese”是“字”的英文译音，“字”是象形文字的中国语。“ese”计算机有各种形式，本文将介绍基本概念，并说明制造这种系统的光学方案的进展。

## II 概 述

字计算机通过并行地执行几千个运算，来增加它的速度。不同于一般计算机，一般计算机操作单个数而字计算机操作数组。在一个字计算机里这些数组就是图象。类似于一般计算机里的二进制电位，在字计算机里是二元图象（图1）。

假设能对有 $N \times N$ 个元素的图象进行运算。进一步假设能以普通计算机所达到的速度，同时对 $N \times N$ 个元素完成最基本的逻辑运算。因为是同时运算，所以单位时间所完成的运算是普通计算机元件作串行运算的 $N^2$ 倍。具体地说，如果我们建造一个能对一个由 $1024 \times 1024$ 个元素组成的图象作运算的系统。这一系统将有一个实在的速度优点，它比对应的普通系统快一百万倍。即使并行元件运算速度比相应的串行元件慢100倍，这个有 $1024 \times 1024$ 个单元的系统的速度仍将快一万倍。在正在研制的元件中 $N$ 等于



纤维光束在光学字系统里用来传输图象。利用非相干可见光和光学纤维的根本原因是为了使元件之间的上千个联结更加容易。

字系统中的硬件是同时对整个图象进行运算的器件。没有扫描也没有逐点运算。图2介绍这种器件的方框图概念。基本运算是“非”，“滑动”，“或”，“与”。图3表示二元图象A和B，以及对这些图象作的上述运算。首先考虑“非”元件。对于普通数字计算机来

如，它有一百万个点，则要求它执行一百万个“非”运算。相反，单个的“字”“非”器件一次就产生了有一百万个点的图象的“非”运算。这多少有点类似照相胶片，它一次就拍下了整个图象。

“滑动”是把一个图象在X或Y方向平移一给定距离（图象单元的数目）的运算。用纤维光学作的器件能对整个图象一次完成这种运算。

字“或”和“与”器件同样必须对正个图象作运算。在这些运算中，能够完成“或”或者“与”运算之前必须设法把两个图象汇集起来。可以用纤维光学技术来组合图象（或交插），而联合使用半导体和电发光技术也提供了一个制造实际“与”和“或”元件的方法。

为了把真实的灰度图象输入给一个字计算机，首先必须进行一个数字转换。在这里输入是一个灰度图象，输出是二元图象的集合。为了保持字计算机并行性的速度的优点，模数转换必须以并行的方式完成（比如图象上的所有点必须同时被转换）。要实现这一转换要求发展图象阈值器件。

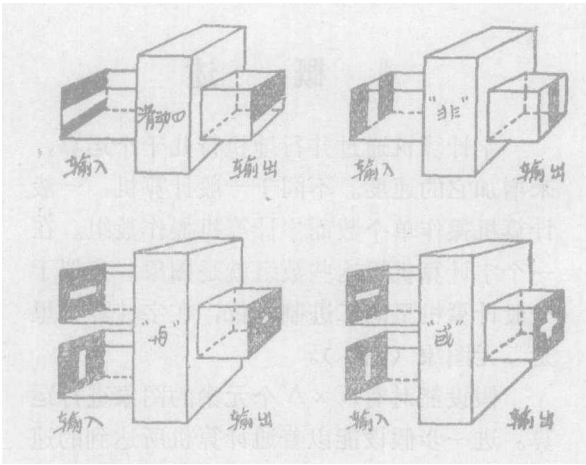


图2 在字系统里硬件的概念图解

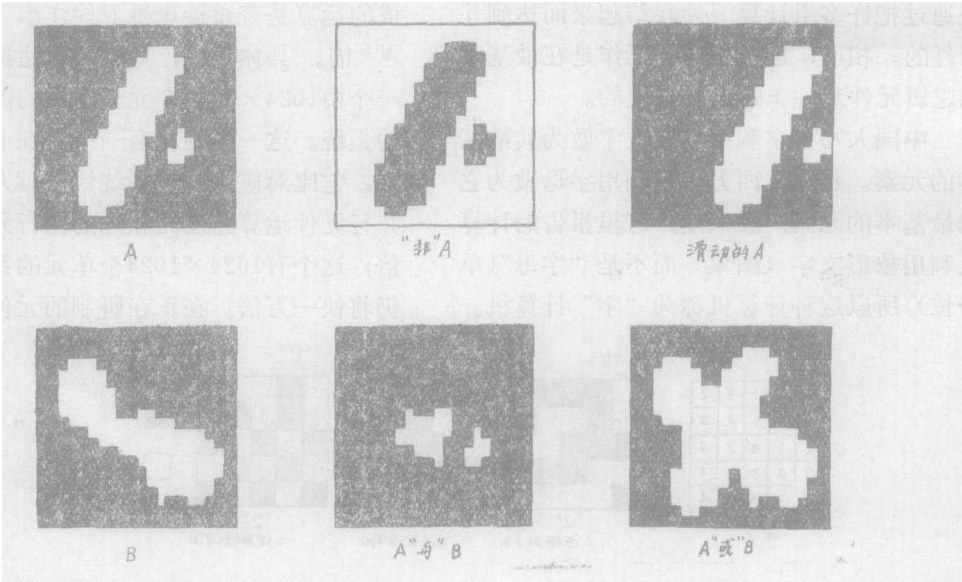


图3 对二元图象A和B完成的“非”，“滑动”“与”和“或”的基本运算

## Ⅲ 逻辑元件

字计算机处在初期发展阶段。GSFC 的试验系统，利用了液晶光阀作为字“或非”逻辑器件（原来是为显示目的发展起来的元件）。在 GSFC 的另一个实验已经用 Parasonic 研制的光导电发光“非”器件完成了。ITT 生产的“相关”管，也能以缓慢的速率完成并行逻辑运算。所有上述器件有一共同障碍，使得它们不适合任一个研制的计算系统。所以，正在研究合适的字计算机元件。

目前研制的元件有16384个元素，以 $128 \times 128$ 的方阵排在 $25.4\text{mm}$ （一英寸）的正方形上。对于最初的元件来说，响应速度规定在5毫秒。由于并行性有效二进制码速率达到每秒 $3 \times 10^6$ 位。

图4是一个“非”器件的略图。用纤维光束把输入送给光敏元件。这些元件把光信号变换成电信号，这是由电子电路转换的。然后转换器的输出加在发光元件上。正在研制一种“非”门，利用薄膜场效应晶体管作转换，利用电发光元件的阵列作输出。

逻辑元件，例如“与”和“或”器件，要求把两个输入图象汇集，然后进行运算。图5(a)用图示说明了，对图象的一个元素得到“与”功能的一个方法。每个光敏元件联结一束光学纤维。上面的光学纤维从图象A的元素把信息传输过来。类似地，底下的纤

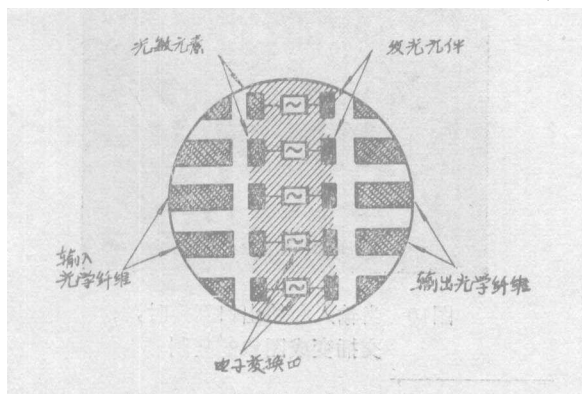


图4 一个“非”器件的略图

维从图象B的相应元素把信息传输过来。只有当图象A的那个元素和图象B的元素都是白的才会有一个输出。

要把单元“与”电路做成一个字“与”器件，图5(a)说明的电路必须重复制作几千个，每个这种电路都放在阵列里的适当位置上。图5(b)图示这一字“与”器件。当一对光学纤维照明两个联结到同一“与”器件上的光敏电阻时，相联的发光元件就会有一个输出。一个“或”器件是类似的。正在研制的其他元件使用了同“非”器件一样的工艺。

数字系统的放大器有一个阈值输入和一个饱和的输出。这些非线性保证了在器件输出端的“1”和“0”有正确的振幅，即使这些振幅的等级已不再是原来输入上的正确振幅。所有的字逻辑器件都有这种特性。除了完成清晰的“1”和“0”外，即使输入的位置可能是不正确的，上述器件也会提供在正确空间位置上的输出。即使输入元素可能是

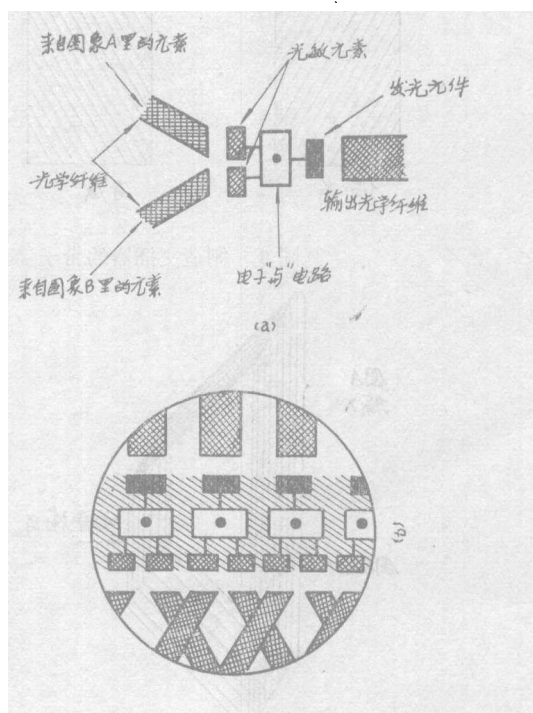


图5 把单元“与”电路做成一个字“与”器件。  
(a)对图象上一个元素获得“与”功能的方法。(b)图示一个字“与”器件

不同形状的，它们也将产生正方形的输出元素。一个器件有刚才描述的校正属性，但并没有任何逻辑功能，称为“字放大器”。下一节将说明字放大器的作用。

### IV. 交插器件

上述讨论没有涉及这样一个问题，如何把从两个图象来的光学纤维适当地邻接起来，以便使“与”和“或”电路起作用。能完成上述作用的器件称为交插器。

加利略电光公司和伊利诺斯技术研究协会与GSFC订了合同正在制造有  $128 \times 128$  个元素的交插器件。要制造这种器件，他们首先制造一个光学纤维平板，如图 6 所示。然

后把这些纤维板切成一定的角度，如图所示。在实际器件中纤维走向对于矩形的一个边为  $12^\circ$ 。然后把这些平板按“奇”层“偶”层交替堆置起来做成器件，如图 7 所示。图象 *A* 的元素向下移动到输出，而图象 *B* 的元素是向上移动到输出的。

图 8 表示加利略电气光学公司制作的一个交插器方案的样品。图 9 表示在一个光学台上的两个图象的交插。一个图象是小鸟，另一个是笼子，类似于照片的上面的两个图象。

如果输入和输出互相交换，则交插器就变成一个图象的重复器件。这在图 10 中已说明了。重复器件的每一个元素的输出是矩形的而不是正方形的。所以一个放大器或一个“非”器件，必须放在一个重复器件的输出

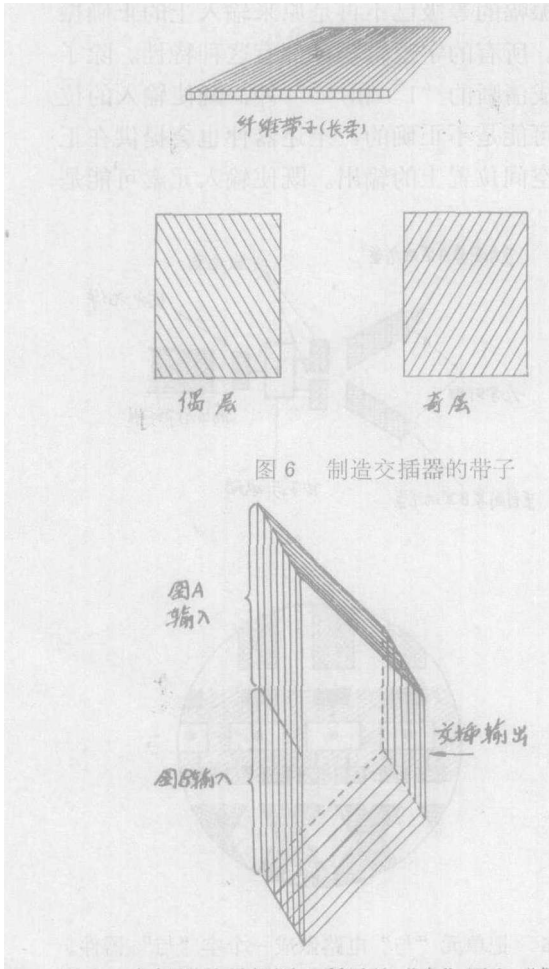


图 6 制造交插器的带子

图 7 交插器件是把图 6 所示的“奇”层和“偶”层交替堆置起来作成的

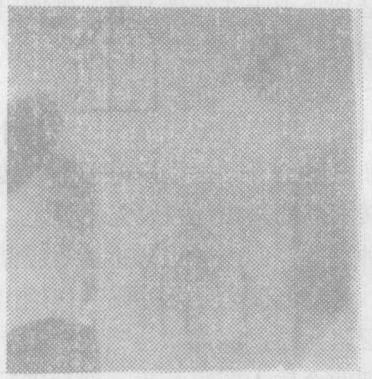


图 9 表示在一个光学台上的两个图象的交插

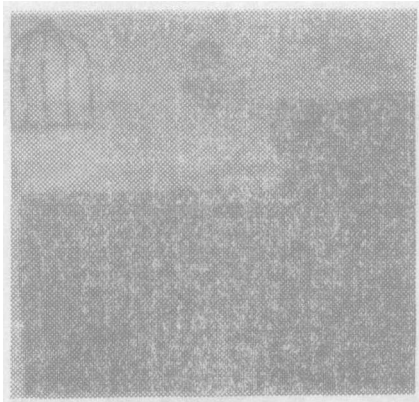


图 10 当输入和输出互换时，交插变成图象的复制

注：图 8 省略

端，输入才能够输送给交插器。

## V 滑动元件

滑动是一个在 $X$ 或 $Y$ 方向上平移图象阵列的运算。它是用一个移位装置平移图象来完成的。图11表示利用一个图象母线的“一个元素向下”滑动的一种可能的执行过程。在这个执行过程中，遮盖输出母线顶上的一行，使要输入给该行的值为零。利用图11的器件，一个输入图形 $M$ 是

$$M = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

输出将是 $M'$

$$M' = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{matrix}$$

在刚才描述的简单的滑动运算里，滑出输出图象边框的行或列被切断了。在一个环形滑动器件里，行或列是在输出图象的相对一侧输入的。在效果上，把图象环绕向左，向右，向上或向下。例如，设阵列 $M$ 为

$$M = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

它输入给一个垂直向下一个元素 环 形 滑 动 器，那么输出图象将是

$$M' = \begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{matrix}$$

这种环形滑动运算可以这样来完成，从输入图象母线中把底行分离出来，再把它环绕到输出图象母线的顶行，如图12所示。

另一个制造滑动器的方法要用对交插器所描述的制造方法。这里已制作一个倾斜光学纤维束，如图13所示。至于一个环形器件，图14所示的方案是一个可行的解决办法。这种滑动器是以一个与交插器件相同的方式制

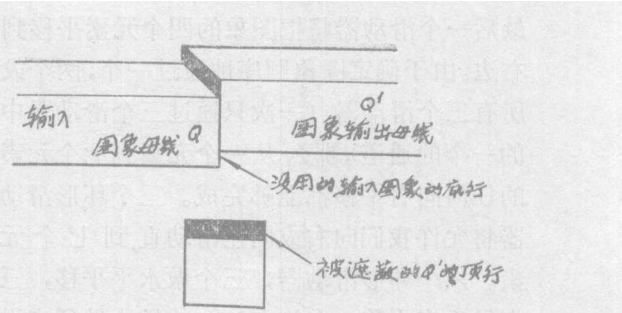


图11 表示利用一个图象线的“一个元素向下”滑动的执行过程



图12 “一个元素向下” 环形滑动器

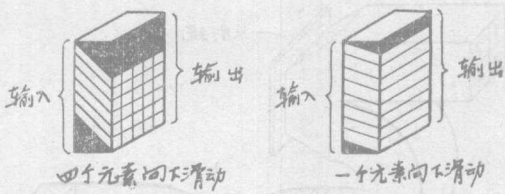


图13 倾斜束滑动器

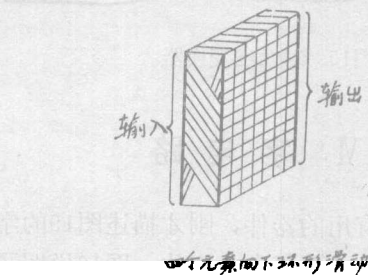


图14 倾斜束环形滑动器

作的。但是纤维光束板切成的角度不同。奇层板切成一个角度，偶板切成另一角度。

由于有选择地确定图象依次通过滑动器的通道，这是一个二进制关系，那么任何滑动都能完成。例如设有三个滑动器：一个滑动器将把图象的一个元素平移到右边，第二个滑动器将把图象的两个元素平移到右边，

最后一个滑动器将把图象的四个元素平移到右边。由于确定图象顺序地通过一个,两个或所有三个滑动器(一次只通过三个滑动器中的一个的通道),那么,从一个元素到七个元素的任何向右平移都能够完成。三个环形滑动器将允许我们向右或向左滑动直到七个元素。六个环形滑动器,三个做水平平移,三个做垂直平移,允许在 $8 \times 8$ 的场中做任意滑动。类似地,只需要20个环形滑动器就能在 $1024 \times 1024$ 个单元的图象的百万个元素里作任意平移。

滑动元件是一类称为“机间通信器件”的元件的一个例子。在所有机间通信器件里的共同点是,通过这一器件之后,元素的位置改变了。一个奇特型式的机间通信元件的例子是一个组合器件,它交换了列和行。图15说明了这种器件。

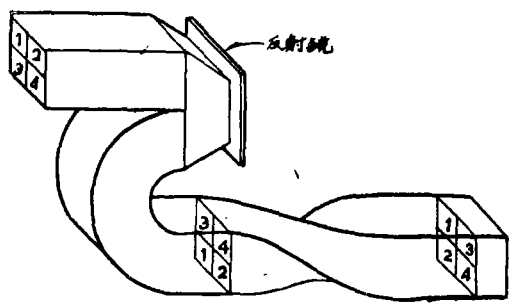


图15 对角线变换器

## VI 字 电 路

要制造有用的器件,刚才描述图19的字元件必须组合成更复杂的实体。图16说明了各种元件的透视略图。图17指出如何把一些元件组合成简单逻辑电路。图18图示了在三维空间,元件是如何互相联结形成一个“异或”电路的。图19是一个结构如图18所示的“异或”电路的塑料实物大模型。

一个全加器的最小有效输出是两个“异或”运算的结果,而最高有效位是三个“与”运算的“或”运算,所以运算电路是容易构造的。

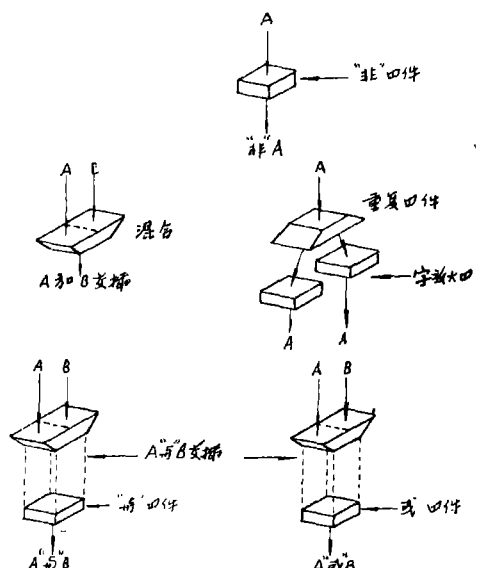


图16 各种字元件的透视略图

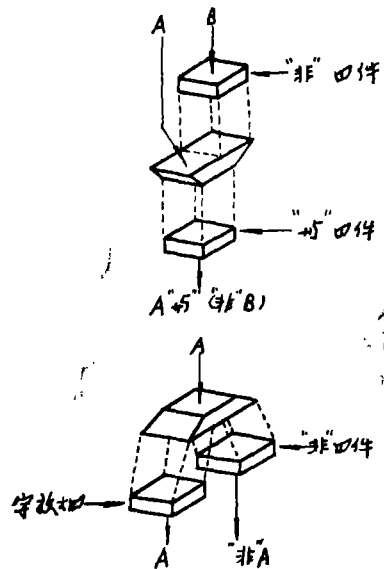


图17 如何把一些字元件组合成简单逻辑电路

字计算机,和所有的计算机一样,需要储存元件。图20的实物大模型表示字触发器。输入被“或”元件放大,其输出通过下面的纤维光学环和“与”元件反馈回输入端。为了保持反馈作用,“清除”输入必须全是白的。对于任一元素反馈线路中断时,这个元素的清除输入是黑的。因此图20的电路允许在任意元素上信息的替换,首先由清除输入上的黑元素指出新信息的位置,然后通过输入入口把信息放到这些位置上。

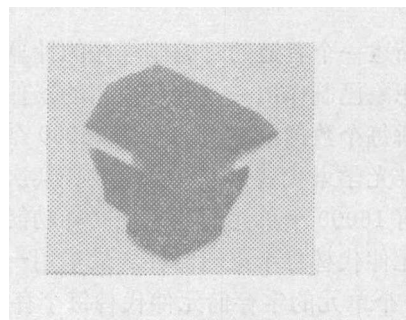
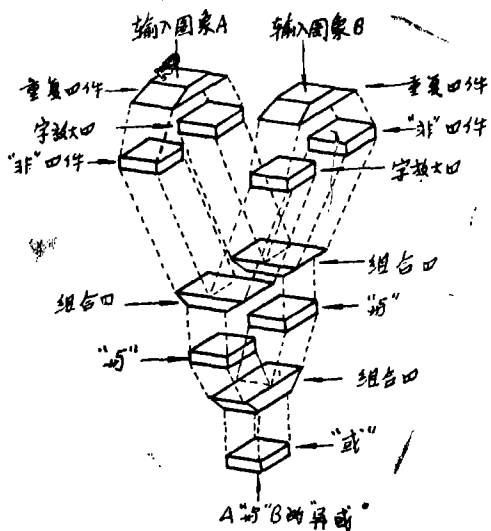


图18 图示了在三维空间,元件是如何互相联结形成一个“异或”电路的

图19 构造如图18所示的“异或”电路的塑料实物模型

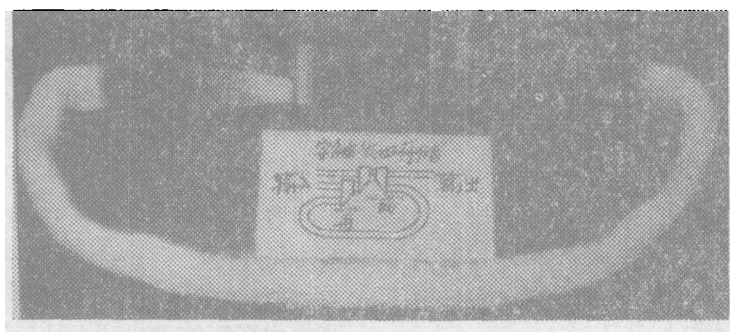


图20 一个字触发器存储元件的实物大模型

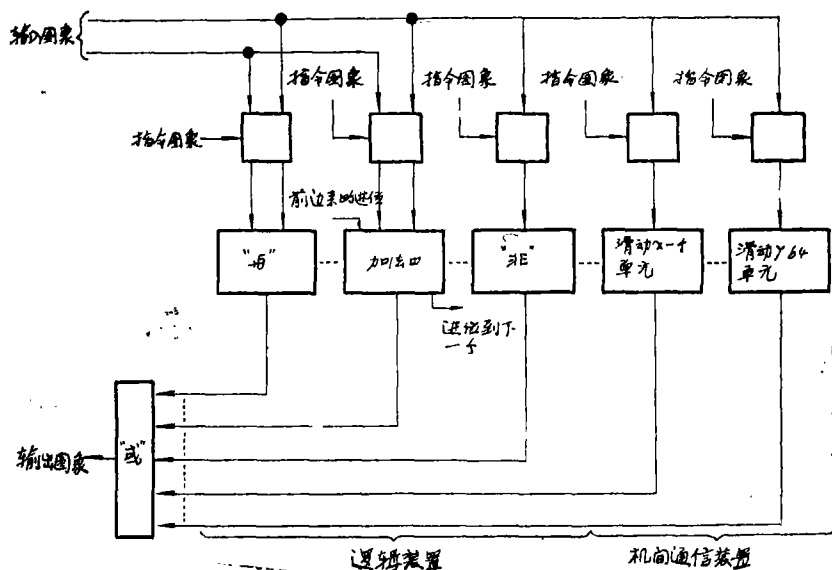


图21 单个字运算器

## Ⅶ 通用的字计算机

描述一个普通的可编制程序的计算机。现在想象已制作出一系列替换用的器件。首先割断每个数据线并用一个有 16000 个单元的纤维光学束代替每个丢弃的线。其次，用一个有 16000 个单元的能完成同样功能的字逻辑元件代替每个逻辑器件。最后用一个有 16000 个单元的字存储元件代替每个存储器件。我们现在已用相应的字器件代替了每一个普通器件。结果有 16000 个独立的计算机。其中每一个在结构上都和原来的等效并能执行原来计算机所能完成的每一种运算。每一个都能用与原来完全一样的方法作程序设计。事实上，一个对这些“基元”计算机作程序设计的人并不知道在基元计算机周围有几千个基元计算机围绕着。用字元件代替一般元件，我们就制造了 16000 个计算机来代替原来的单个计算机。

在这个神奇的机器中有一个障碍。这 16000 个计算机不能彼此联系，为了使一个并行计算机有价值；这一机间通信是必须的。

为了使基元计算机之间能通信，必须使用滑动器件。所以一个字运算器要有通常的逻辑和运算元件。另外它包含一些滑动器件。图 21 表示单个字运算器。逻辑门分就是普通运算器的二维推广。加上这个门分就成了机间通信器件。对于一个有  $128 \times 128$  个单元场的计算机，将要引入 14 个滑动器件。指令是以图象形式给出的。图 22 是图 21 上的矩形所指出的控制硬件的细节图。正如在所有的计算机里，控制是通过“与”门完成的。

指令图象可以有任意形式，在大多数基本的具体设备里，这些图象或者是完全白的场或者是完全黑的场。这一匀场指令图象把图 22 的功能基本简化为两个快门的功能。一个白指令等效于打开快门，黑指令等效于关上快门。这一匀场指令允许用普通的电子计

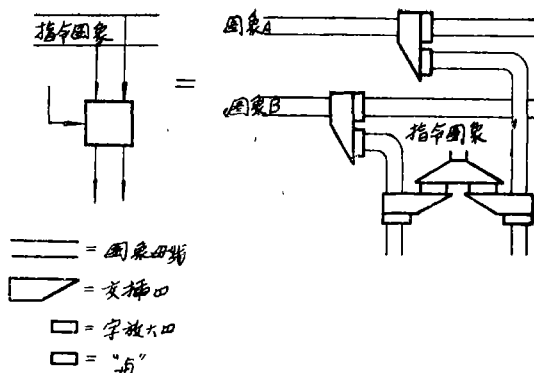


图 22 是图 21 上的矩形所指出的控制硬件的细节图

算机来控制运算器，因为一般计算机电路能产生所要求的指令电压来控制这些“快门”。所有运算，包括滑动运算，现在都容易给予程序设计。这就使对逐点运算所发展的图象处理程序得到了字运算器的并行性的优点。

在这个“匀场指令”运算模式里，对一个图象的一个点执行的任何运算，也对该图象的所有点完成了。没有一个方法能对图象的一半作“非”运算(例如)同时又滑动另一半。另一方面，如果指令图象是不均匀的，图 22 电路将允许有这种程序设计。这时一半指令图象对于“非”运算是白的，同时对于所要求的滑动运算，指令图象的另一半也是白的。这种图象指令本身必须由一个字系统来产生。通过利用“不均匀”的指令图象人们能设计一个程序，它将首先把陆地和水分开，其次寻求在陆地区域上的棉田，同时寻找在水里的鲑鱼。

## Ⅷ 字计算机程序

任意一个字计算机都是普通计算机的二维推广。(换句话说，任意一个字计算机都能压缩成一个普通型计算机)。由此可见，任意一个在给定的一般计算机上能够通过 的程序，也能在相应的字计算机上通过。特别是，那些已经对地球资源数据处理研制出的

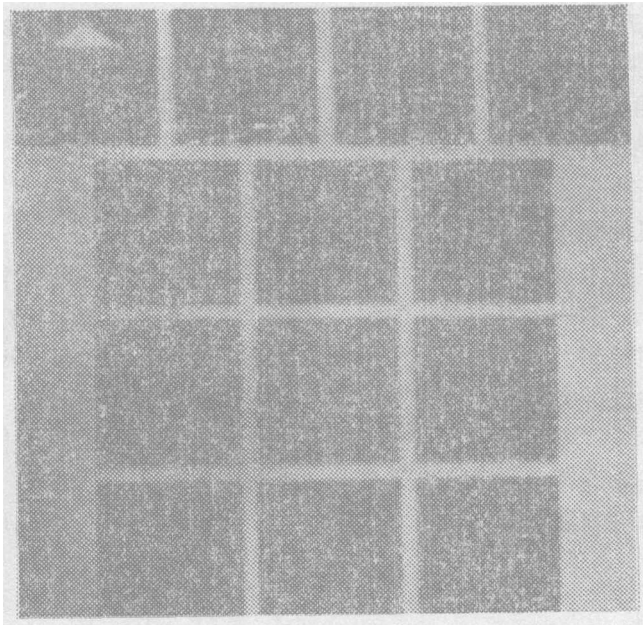


图23 从上左边图象中抽取白元素数目的字运算。答案（以二进制数表示）在右下边的图象上

算法，也能进行程序设计通过字系统。如果把一个小麦识别程序应用于一个多光谱输入图象的所有点上，那么输出可以是一个平面，其上的白元素就是被识别出来的小麦的位置。如果上述运算是在宇宙飞船上完成的。那么数据已经以并行的方法处理而从输入透镜送给了输出。可以想象这个数字输出可以用一个扫描过程传送到地面。

有一些涉及使用机间通信器件的程序。因此这些程序是独特的字计算机程序，没有相应的普通计算机程序。一个包含加法和滑动的字运算例子是计算二元图象上白元素的总数。这个要作字运算的方法是把图象变换成一个在阵列底行上的黑元素和白元素的序列。这个元素序列是一个二进制数，它就是第一个图象上的白元素的数目。在图23中，上左边的是原始图象，处理图象在右下边。原始图象包含190个白元素。处理图象的底线包含黑和白元素形成的二进制数是101111101。这个数是数190的二进制表示。图23的中间图象是在字处理程序的每次迭代之后的图象。对于所表示的 $64 \times 64$ 个元素的图象，只需要12次迭代运算。对于一个 $1024 \times 1024$ 个元素的图象将要求20次迭代运算。在文献[10]

里介绍了详细的算法。

## IX 硬件的发展

研制的第一代计算机元件是一个 $128 \times 128$ 的阵列，包含16384个元素。阵列大小是 $2.56\text{mm} \times 2.56\text{mm}$ 。逻辑元件的响应时间被规定为小于5毫秒，为了使一个器件有输入到其他几个器件的作用，增益（输出光与输入光之比）应大于10。

薄膜“非”元件的电功率损耗大约是100毫瓦。

工业承包商已经要求发展新的制造方法。例如，要建立一个交插器，要求在空间给定点引出的32000条纤维在平面的X和Y方向上有 $\pm 0.1$ 密耳（千分之一吋）的精度，它在另一平行平面上终止，也要求同样精度。长的光学“图象母线”很容易用比这个严得多的X、Y容限来制造。然而在精确定位很短的纤维时有一些问题。在图9和10上表示的交插器里，纤维束的位置大约超出了所要求的精度的10倍。

由于光学字逻辑器件的要求，薄膜工艺已有了进展。图24和25说明了薄膜“非”器

注：24,25图省略

件的发展状况。图24表示在器件里所用的 $128 \times 128$ 的薄膜晶体管阵列。图25表示一个“非”器件样品的输出。在图上只包括一分 $35 \times 33$ 个元素。能够看到在这第一次制造出来的器件上不是所有元素都被运算了。随着发展，从字计算机的观点看薄膜技术是最有前途的。因为薄膜技术可以把器件直接沉积在纤维光学面板上。第一个组装起来的字系统是很大的并且消耗相当大的功率。在用大功率的第一代器件进行实验时，计划要促进先进元件的研制。

首要的长远的任务是寻求：1)减少单个元件的功率消耗。2)研制复合运算的元件，

例如计数和存储元件。3)研制微秒级运算的器件。4)研制包含比第一代16384个单元更多单元的器件。

## X 结 论

本文叙述了一种数字计算机的概念，它同时完成几千个数字计算，并说明了如何利用电光学的方法实现这些概念。使用字系统将使许多问题得到解决，这包括图象处理和一般的矩阵问题，速度比用普通计算机要快几个数量级。

(周玉斌 译 逯小靖 校)