

光数字计算机的内连接

王 雅 黎

摘要: 本文综述了目前可用于数字光计算机中的各种内连技术及其应用层次。

引 言

目前所设想的光数字计算机或计算单元主要是由非线性器件(如逻辑门)和这些器件或器件组之间的内连接(内通讯)所构成。而逻辑门的功能、内连的布局方式等和计算机算法之间又相互制约。

先比较电子计算机的电内接和光计算机的光内连的优缺点。

1. 电内连不可避免地存在电阻、电容,因此电信号传递的速度要受 RC 驰豫时间的限制,只能达到光速的千分之几。而光内连传递速度可达光速,比电内连在速度上提高近三个数量级。同时由于速度大大提高并且传播速度受器件的影响不像电子线路中那么复杂,因此“时钟歪斜”问题就相对容易解决。

2. 电子计算机的大规模集成电路的另一个问题是芯片上逻辑门之间内连所占面积太大。为解决这个问题采用高标准结构的集成电路以减少芯片上内连数目和连线长度,但是这对于需要整体内连的算法是一个很大的限制。另一个问题是芯片上的输入输出问题。在大规模集成电路情况下,虽然一片芯片上可容纳 10^5 — 10^6 个逻辑门,但引出线的数量有限($\sim 10^2$)所以只好采用多路转换器和信号分离器,结果带来了运算时间和硬件方面的问题^[1]。

3. 在一定距离内,电子间通过电磁场相互作用,因此很容易产生自身干扰和互相干扰。光束可以独立无干扰地传播。因此采用光内连可以获得并行的输入输出。

4. 借助于实时光学内连接器件有可能实现再编程序的功能^[2],从而增加计算机的灵活性。

由于光内连有以上的优点,1984年 Goodman 描述了一些可用于电子器件连接的光学技术^{[2][3]}。他认为在目前光逻辑门器件还不成熟而电子逻辑器件已很容易实现,有可能把光内连技术引入到电子计算机中以克服它的局限性。

光 内 连 技 术

光内连技术大致可以分为两类。一类是由集成光波导和光纤提供的,称之为波导连接;另一类就是自由空间连接,它仅依赖于光通过自由空间的传播进行连接,可能利用某种形式的聚焦元件包括透镜、反射镜及全息元件构成的各种成象光内连器。

各种连接方式分别用于不同层次的连接。纤维光学内连器将主要在较高层次上得以应

用, 连接距离以米来量度。在那些连接距离以厘米或更小单位来量度的低层次结构上集成光波导和自由空间连接将是主要的。

1. 自由空间内连接

自由空间内连接可以分为聚焦型和非聚焦型两种 (见图 1), 聚焦型优于非聚焦型之处在于能量利用率高。

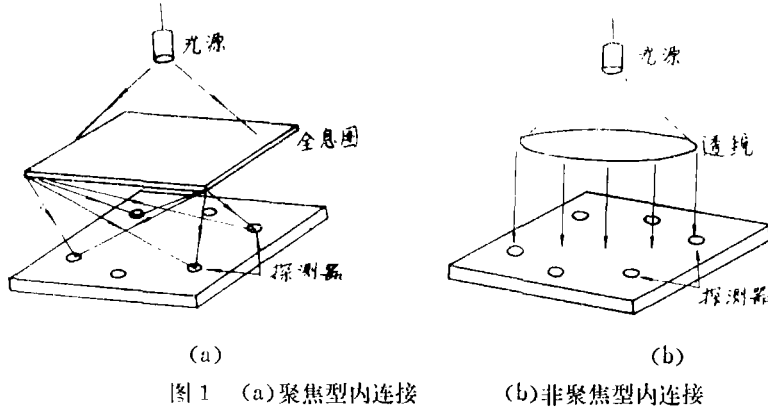


图 1 (a) 聚焦型内连接 (b) 非聚焦型内连接

对于自由空间内连的研究, 早在1976年O'Brien等人就用反射镜法对于液晶光阀上的逻辑门进行了光内连, 但内连数目少^[4]。1980年M. F. Fatehi等人利用透镜、平面镜或全息图进行自由空间内连, 控制运算功能, 使用休斯公司的液晶光阀阵列^[5] (500×500象元) 做为图象转换器研制出了逻辑门和存储器, 用于时序回路而设计出位移寄存器和累加器。这种光内连系统具有高信息密度和并行处理能力。1983年Barr和Lee研制了采用光学逻辑门阵列和光学内连方式的顺序逻辑系统^[6]。该系统能进行二维图象处理和并行光学运算。同一年法国光学研究所的Chavel, 瑞典林彻平大学的Forchheimer及美国南加里福尼亚的Jenkins 等人发表文章^[7], 报告了使用液晶光阀阵列的几种并行逻辑运算方法, 他们建议使用计算全息图进行逻辑门间的光学内连。

1984年美国南加州大学 (USC) 研制出一种光学顺序逻辑系统^[1], 光内连器是一个计算机生成的全息图。该全息图可以控制光束以完成门输入和门输出之间的连接。这种全息图是用Lee算法由计算机生成的。全息图记录在光刻蚀材料上。它是由电子束刻蚀而成的, 所用的电子束刻蚀机步进精度为0.125μm, 刻出的线宽可达0.5μm, 图面大小可达1.024×1.024mm, 能拼接的最大面积为102×102mm, 由此该机提供了很大的空间带宽积。该逻辑系统的结构如图2所示。

由于通过全息图光束能独立地、无干扰地进行传播并聚焦于输入门阵列, 所以能完成局部的和总体的连接。它的主要优点是并行处理能力。另外利用实时记录材料如BSO, LiNbO₃等, 整个系统能完成实时重新配线或改型, 这就使得算法灵活多变。

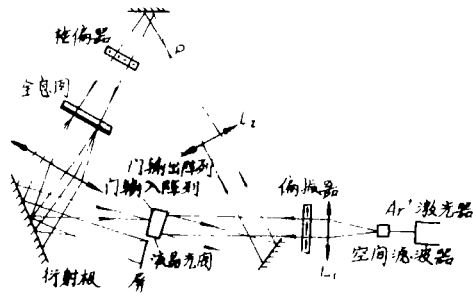


图 2 USC的光学顺序逻辑处理系统

全息内连大致可以分为三种方式^[8]。

(1) 空间可变内连

这种全息内连系统的原理如图3所示

该内连系统采用由计算机生成的子全息图阵列组成的多重全息图，每个逻辑门输出都有一个子全息图与之对应。其工作原理是：首先把门输出阵列（它是内连系统的输入）成象在全息图上，当子全息图被相应的门输出照明时，它的Fourier域内的再现像可以是一个分立的“亮点”集合，而每一个“亮点”照明一个门输入，由于原则上子全息图可以设计成任意组合的“亮点”集合，所以可以完成任意形式的内连。如果把这“亮点”的集合看成是系统的脉冲响应或点扩散函数的话，那么这个系统就是通常的空间可变系统。

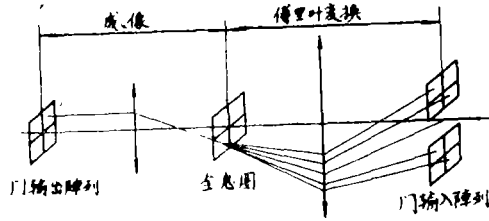


图3 空间可变内连系统

空间可变全息内连的优点在于：设计者原则上可以根据需要实现任何内连连线图。缺点是受空间可变元件的限制。上述系统使用多重计算全息图，子全息图的数目等于逻辑门的数目 N ，为实现任意寻址，要求全息图的空间带宽积与 N^2 成正比，在目前的器件水平，逻辑门数目限制在 10^4 的数量级。

(2) 空间不变内连

这种方法是Huang提出的^[9]，利用一个全息空间不变滤光片和一个成象光学系统就能完成这种内连。由于系统的脉冲响应对于每一个门输出都是相同的，所以称为空间不变全息内连。图4给出这种系统简图。图5给出一个内连网络图，图上每一个点表示一个逻辑门，每一个箭头表示从一个门输出到另一个门输入的内连接。

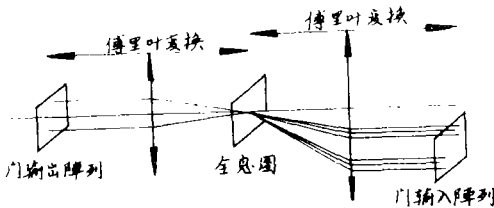


图4 空间不变内连系统

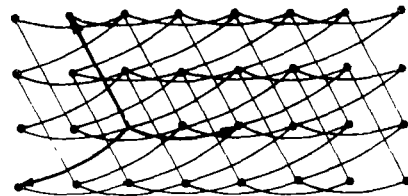


图5 一个空间不变内连网络

空间不变内连的优点是只要利用一张简单的傅里叶平面全息图就能实现这种内连，这在制作上比前一种简单，而且可以完成大量逻辑门的内连，所要求的空间带宽积正比于逻辑门数 N 。因此在目前水平，可完成 10^8 逻辑门的内连。它的缺点是只能完成如图5那种规则的内连，灵活性较空间可变内连差。

(3) 混合型内连^{[7][10]}

当需要连接大量逻辑门而又不能把它们以规则的方式连起来时，利用前面的两种内连方式结合起来形成混合型内连（图6）就能实现系统的内连接。混合型内连的主要思想是：首先确定不同的内连图形数目 M ，然后用这 M 个图形来组合所需的内连线路。希望 M 远小于逻辑门个数 N ，即 $1 \ll M \ll N$ ，

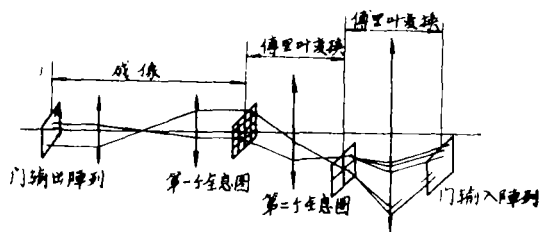


图6 混合型内连系统

因此这种系统介于空间可变和空间不变系统之间。它的工作原理是：门输出阵列成象在第一个全息图上，这是个多重全息图对应于每个逻辑门有一个子全息图。它的作用是偏转来自门输出的光到达第二个全息图的某一子全息图上。第二个全息图也是个多重全息图，它由 M 个子全息图组成，这些子全息图在门输入阵列上产生 M 个不同的连接图形。

混合型全息内连的空间带宽积正比于 MN ，由于 $M \ll N$ ，所以它对空间带宽积的要求比空间可变内连要低得多。第二张全息图通常对空间带宽积要求很低。这就使得混合型内连克服了空间可变内连对空间带宽积的严格要求，又完成与空间不变内连相近的变化的连接图形。如果 $M = 50$ ，那么在目前条件下可实现 $N = 10^7$ 个逻辑门的内连。

通过以上的分类分析可以看出混合型全息内连性能最好。

以上三种方式的全息内连器件制作技术与一般的全息元件相同。可以记录在重铬酸明胶、照相乳剂、光刻蚀材料上，也可以记录在实时材料BSO, LiNbO₃等上面。可以用可见光曝光也可用电子束曝光。由于制作内连全息图所用的“物光”和“参考光”的复杂性，所以多用计算机来制作。在记录材料的选择上，由于漂白银盐干板的衍射效率目前最高可达70%^[1]，而且还有随光照而降低的缺点；重铬酸明胶虽衍射效率可达90%以上^[2]，但有遇水汽而降低衍射效率甚至消象的问题。因此目前多用光刻蚀胶来制作这种器件。利用计算机控制电子束曝光在光刻蚀胶上制得的全息图，在任何情况下，对于 $F/1$ 的光学系统都可以做到。

2. 波导内连接

波导内连包括集成光波导内连和光纤内连两种。前者主要是完成芯片上门与门的连接，大多数的工作是在电光材料LiNbO₃和GaAs^[13]中做的，一些作者也在玻璃和Si氧化膜上做出了导槽，在Si氧化膜上做的导槽传播损耗小于0.1dB/cm^[14]。

光纤内连主要用于处理器之间的连接。由于纤维光学系统、多模光纤和有关元件例如微透镜和耦合器的开发，从而可以分配信号进行输入输出连接。例如 N 一星型光纤耦合器，1983年日本已做出 $N = 100$ 的总通道损耗为 5 ± 0.5 dB的耦合器^[15]。

计算机间及它与周围设备间可用光纤进行连接。这种连接方式虽有类似电子总线那样的限制，但光纤的带宽很宽、抗干扰性好。问题主要是总线的设计，而这又与算法和总体设计有关。从连接的角度就是如何提高耦合效率降低光能损耗。

结 束 语

光内连技术对于数字光计算机是至关重要的。这种技术不仅在光计算机中可以应用，而且很有可能用来改造目前的电子计算机，而后者使得它的应用前景更有吸引力。

本文着重分析了全息内连器的三种形式，其中以混合型全息内连器性能最好。随着光学逻辑门器件和算法研究的发展，随着光内连器件的日益完备，数字光计算技术将会得到进一步研究并取得新的进展。

参 考 文 献

- [1] A. A. Sawchuk et al, Proceedings of the IEEE, 72, No. 7 P785—779, July 1984.
- [2] J. W. Goodman et al, Proceedings of the IEEE, 72, No. 7, P850—866, July 1984.

- [3] J. W. Goodman, ICO—13 conference digest, P2—4.
- [4] J. A. O'Brien, US Patent 3 941 455, Mar. 2, 1976.
- [5] M. T. Fatehi, Proc. SPIE 241, P139—148, 1980.
- [6] H. Barr et al, Proc. 10th Int. Opt. Computing Conf., P171—177, 1983.
- [7] P. Chavel et al., Proceeding, Tenth International Optical Computing Conference, IEE P6—12, 1983.
- [8] B. K. Jenkins et al, Appl. Opt., 23, No. 19, P3456—3474, 1984.
- [9] A. Huang, Proc. Soc. Photo—opt Instrum—Eng. 232. P119, 1980.
- [10] B. K. Jenkins et al, SPIE Proc., 437, p110—118, 1983.
- [11] K. Beidermann, Holographic Recording Materials, H. M. Smith, Ed. Berlin, Germany, 1977, P69.
- [12] B. J. Chang, Proc., SPIE, 177, P71—81, 1979.
- [13] See, for Example, Tech. Digest of the Topical Meeting on Guided Wave Optics (Asilomar, CA), IEEE Cat. No. 82CH 1719—4, 1982.
- [14] S. Dwitta et al, Appl. Phys. Lett., 39, No. 3, P206—208, 1981.
- [15] Y. Fujii et al, Proc. 4th Int. Conf., on Integrated Optics and Optical Fiber Communication, (Tokyo Japan, June 27—30, 1983.) Paper 29C2—4, P342—343.

Interconnection of Optical Digital Computer

Wang Yali

Abstract

This paper represents a view of present technologies for interconnection of optical digital computer, and of their applications for different levels in the computer.