

关于光计算的报告

黄岭贝 1600012635

北京大学地球与空间学院地质二班

【摘要】

现代计算机的技术已经面临一个瓶颈的问题，而为了寻求突破，我们需要的是更先进的计算技术以及思路，而光学处理因为它高速度、大容量的先天优势，可以启发我们开发新的领域。本文对现在新发展起来的计算机光计算技术进行了简要的介绍，介绍了光计算技术的相关科学技术原理以及未来对计算机光计算技术的展望。

【关键词】光计算 超级并行计算机

【正文】

计算和计算技术，推动着人类的发展。电子计算机的出现，是人类计算技术发展的里程碑，使人类摆脱了计算过程中繁琐的体力和脑力劳动，计算变得更加规范化和程序化。但由于电子计算机瓶颈的限制，其发展过程受到越来越多的限制，而这也是目前超级计算机的瓶颈所在。

随着光学技术以及其他领域技术相互融合，极大地推动了信息技术及其应用领域的拓展。光学处理有其高速度、大容量的先天优势，因而将光学及其相关技术引入到计算技术可以极大地促进信息技术的发展。下面就对光学技术的概念及其原理进行相关的介绍。

一、光计算概念及涵义

光计算——光子作为信息传输的载体（代替电子或电流），基于光学单元构建的光学系统，通过必要的光学操作，从而实现信息的处理或数据的运算操作。

光计算机可分为模拟光计算机、模拟——数字光计算机和全数字光计算机，还可分为全光计算机和光电混合计算机。

目前光计算技术发展主要还在关键器件的技术研究和体系结构的构思上。

普遍认为光计算具有二维并行处理、高速度、大容量、空间传输和抗电磁干扰等优点，除此以外，光计算机还将具备大规模可拓展和可实时自重构的特点。

二、光学基本数字运算操作

作为波色子的光子和作为费米子的电子在基本属性上存在差异，因此光学运算操作的基本实现方式将与电子运算存在很大差异。一些光学过程可以实现基本

的运算操作，从而有能力作为光计算机的核心。

通过合理的光学结构，可以实现“与”、“或”等基本的运算功能。在此基础上，通过合理的光学设计，还能实现“与”、“非”等其他逻辑运算操作。

三、光计算机系统结构基本模型

按计算技术的发展规律，光计算机不可避免地将在电子计算机的基础上得以产生，因此最初也将具有电子计算机的痕迹。因此，普遍认为主要有两种类型的光计算机系统结构，其中一种采用目前成熟的电子计算机系统结构模型，将其中的电子处理单元更换为光学处理单元，具有明显的处理器，总线和储存器等结构，以光处理器（或并行光开关阵列）为核心，负责运算功能，并通过并行光互联网络来连接；另一种在电子计算机系统结构的基础上进行了大幅度的改动，不再具有明显的处理器、总线和存储器边界，以并行光互联网络为主体，主要的运算功能由互联网络来完成，数据存储单元内含于互联网络中。

由于光学传输的特点，除了可以在光学线路（如光纤、光波导等）中传输，也能在自由空间中传输，因此光计算机的形式也将更多样化和更加可塑性。光计算操作可以通过在自由空间的光学元件组合来实现，也能通过集成的光学模块来实现。

四、光学计算处理基础

光学计算机处理基础包含很多部分，包含全息光栅，光学傅里叶变换，阿贝成像原理与空间滤波，光学相关器等与物理有关的基础部分，这里我们并不将这些作为重点介绍，我们着重介绍它的计算原理，即它的光学数字处理方式。

光学数字处理分为两部分，一部分是光学向量——矩阵乘法器，另一部分是光学并行逻辑运算器，接下来我将对这两样运算基础分别进行介绍。

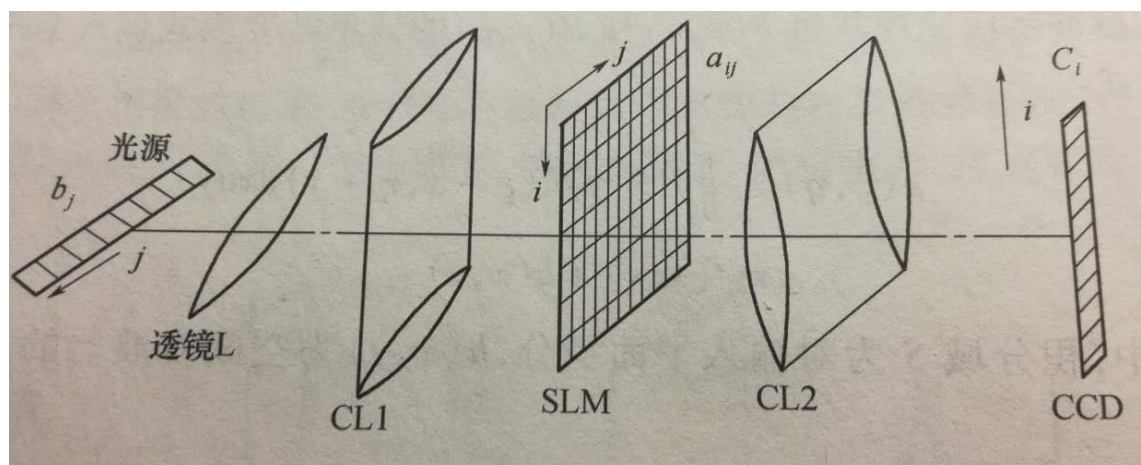
（1）光学向量——矩阵乘法器

光学向量——矩阵乘法器按功能划分，它主要由输入部分、信息处理部分、输出部分组成。输入部分的主要作用是对光源进行调制，并使携带有光源信息的光束输入到信息处理部分。信息处理部分的主要作用是实现输入的光信息与预置在内的信息相乘，通过改变预置的信息来改变输出的结果。输出部分的主要作用是连接信息处理部分的结果，做出试验结果的判断分析。

光学向量——矩阵乘法器在工作过程中，用线阵光源来输入一个向量，使光源线阵中的面发射激光器各点光强正比于所对应的数，另外用一个透射式多量子阱空间光调制器 SLM 来输入矩阵，即空间光调制器的像素按矩阵形式排列，并用电学或光学的写入信号去控制 SLM 各像素的透射率，使之分别正比于矩阵中所对应的数。

系统工作时，非相干光源通过一个透镜形成平行光，然后通过一个柱面透镜被散出，一系列光源中第 n 个光源点成像在 SLM 的第 n 列，在 SLM 上形成一条垂

直光带，而且在垂直方向上的光强是均匀的。在 SLM 上完成元素相乘，之后光束经过第二个柱面镜被聚焦到垂直排列的光探测器阵列 D 上，在垂直平方向上被扇入，使得 SLM 上第 n 行所有像素的光都集中在第 n 个探测器上，这样就完成了一个 $m \times n$ 矩阵与 n 维矢量相乘得到 m 维矢量的计算。在这里，为了方便理解，笔者附上一张取自参考书籍的照片，以方便理解。



从这个工作过程中，可以看出所有的乘法运算和加法运算都是并行进行的，这便是光学向量——矩阵乘法器在数据并行处理上的优势。矩阵和向量的元素一般取二进制数，元素值为 1 时，令光源发光，元素值为 0 时，令相应光源不发光，这样便与计算机的语言很好地结合了起来。

(2) 光学并行逻辑运算器

用光学相关器结合光学阴影成型技术，即可实现并行逻辑运算。输入面 P0 上的图像经透镜傅里叶变换后得到 P1 上的频谱图像，在频谱面 P1 上使用计算全息对输入编码的空间频谱进行滤波，然后经过透镜进行一次傅里叶逆变换，将在输出面 P2 上得到经过滤波后的输出。

图中的 CGH 代表了计算全息图，利用光学相关器进行逻辑运算的关键在于 CGH 的制作。CGH 可以根据系统的要求，利用计算全息基本原理经计算机计算得到，对于一种逻辑运算操作，对应一副计算全息图。全息图的作用是对输入编码的的频谱面进行滤波，使得接收面上得到输入面的复制、平移和叠加。

点光源阵列的光学阴影成型技术等效于将编码图像生成多个副本图像并将这些图像进行叠加的过程。不同的组合对应不同的全息图，因此对应不同的逻辑运算结果。

同样的，笔者在这里附上一张图以便于理解。

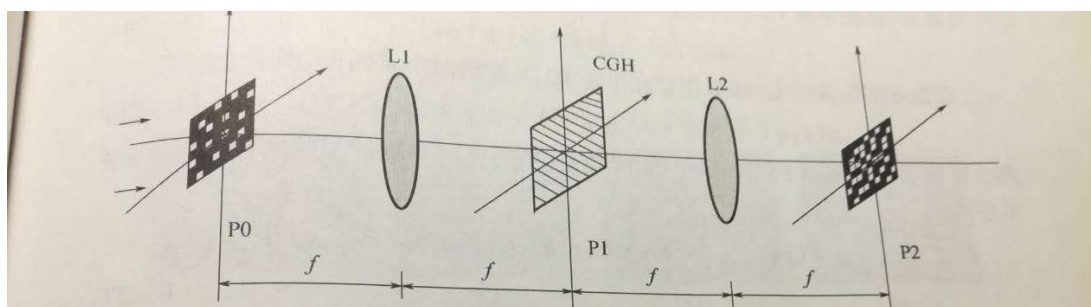
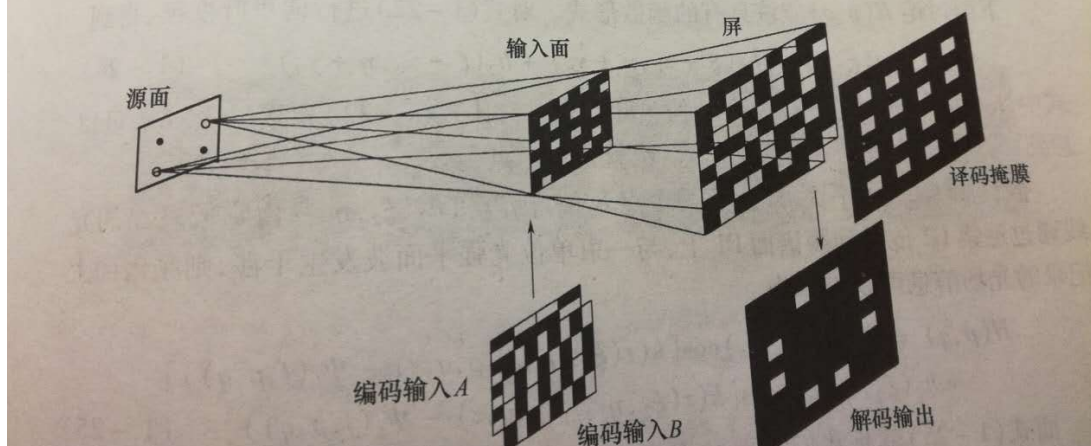


图 1.27 实现并行逻辑运算的光学相关器^[9]



五、计算机技术的发展展望

在现代，处于计算机时代的最前沿，能够充分体现计算技术发展现状和趋势的，是超级并行计算机。采用多技术多构架的结合是超级计算机的发展趋势。采用光互联技术来解决超级并行计算机的大量数据交换需求是普遍共识，融合入更多的光学技术以提高各部分的性能将是大势所趋。

而事实上，我们在光计算的路上还是有很长的路要走，有很多物理以及技术方面的问题有待我们去解决，去突破。

【参考文献】

李修建，贾辉，杨俊波，刘菊，杨建坤. 光计算技术基础. 北京：国防工业出版社. 2013： 7-24.