

集成模块化 Cantor 网络的控制和光学实现

王 宁 殷耀祖 钱家钧 梁 丰 刘立人

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 提出光学集成模块化 Cantor 网络, 并建立了 Cantor 网络的快速控制体系。该网络是基于极化多通道技术。利用晶体的双折射效应和电光特性实现网络的互连变换。该网络易安装, 抗干扰。

关键词 集成模块化 Cantor 网络, 快速控制。

1 引 言

在通信和多处理器计算机体系中。平行互连网络起着非常重要的作用。目前发展的非阻塞互连网络包括 Crossbar, Clos 和 Cantor 网络^[1]。对于大型互连网络, Cantor 网络占据的结点数最少。Cantor 网络是多级互连网络, 为了实现任意的互连模式, 需要建立网络控制体系。本文提出了 Cantor 网络的快速控制算法。该算法通过信号的输入和输出地址的二进制逻辑操作, 用运算结果的各位数决定网络中各开关的状态。近年来由于光学的并行性和干扰能力, 光学互连网络逐渐受到重视。在构造光学互连网络的许多方法中^[2, 3], 有依靠极化多通道技术发展起来的^[4]光学互连网络, 但是该网络用液晶光调制器做为开关, 网络的运行速度受到限制。作者建立了光学集成模块化 Cantor 网络。该结构利用了晶体的双折射和电光特性实现网络互连功能。

2 Cantor 网络及快速控制算法

图 1 是 $N = 8$ 的 Cantor 网络的一维结构, 它是以中间级为对称, 共有 $2\log_2 N - 1$ 级, 每一级包含 $(N/2) \log_2 N$ 个 2×2 开关。Cantor 网络的控制算法可以分两步: 1) 为输入信号设定输入通道。第一个输入信号可以选择 $\log_2 N$ 个输入通道, 输入通道的选择相对于输入信号 N 可以固定不变。在图 1 中给出了一种输入通道的选择。输入通道的选择不是唯一的, 这一点保证了 Cantor 网络的容错性。2) 将信号的输入通道和输出通道二进制地址的“异或”操作结果的比特数依次赋予信号通过的 2×2 开关。设 j, i 表示输入通道地址, 其二进制展开式 $F_{j, i}$ 表示为:

$$F_{j, i} = f_{n-2}^{(j)} f_{n-3}^{(j)} \cdots f_0^{(j)} f_{n-1}^{(i)} f_{n-2}^{(i)} \cdots f_0^{(i)},$$

* 感谢国家基金委和高技术局的资助。

收稿日期: 1995 年 3 月 28 日; 收到修改稿日期: 1995 年 6 月 23 日

输出通道地址的二进制展开式 $D_{j,i}$ 表示为：

$$D_{j,i} = d_{n-2}^{(j)}d_{n-3}^{(j)}\cdots d_0^{(j)}d_{n-1}^{(i)}d_{n-2}^{(i)}\cdots d_0^{(i)},$$

则 $F_{j,i}$ 和 $D_{j,i}$ 的异或“ \odot ”操作为：

$$F_{j,i} \odot D_{j,i} = [f_{n-2}^{(j)} \odot d_{n-2}^{(j)}] [f_{n-3}^{(j)} \odot d_{n-3}^{(j)}] \cdots [f_0^{(j)} \odot d_0^{(j)}] \cdots [f_{n-1}^{(i)} \odot d_{n-1}^{(i)}] \times [f_{n-2}^{(i)} \odot d_{n-2}^{(i)}] \cdots [f_0^{(i)} \odot d_0^{(i)}].$$

其中 $n = \log_2 N$ 。则信号 i 流经的，从网络第一级到 $2 \log_2 N - 1$ 级的开关状态，由 $F_{j,i} \odot D_{j,i}$ 运算结果的各位数决定，即 $f_{n-2}^{(j)} \odot d_{n-2}^{(j)}$ 决定 i 流经的第一级开关状态， $f_{n-3}^{(j)} \odot d_{n-3}^{(j)}$ 决定 i 流经的第二级开关状态，以此类推。设定 $f_{n-2}^{(j)} f_{n-3}^{(j)} \cdots f_0^{(j)} = d_{n-2}^{(j)} d_{n-3}^{(j)} \cdots d_0^{(j)}$ ，则信号 i 流经的，从网络第一级到 $\log_2 N - 1$ 级的开关状态为 0。进一步设定一个输入信号，从中间级到 $2 \log_2 N - 2$ 级，依次占据一个 2×2 开关，以此实现网络的无阻塞互连。信号未流经的开关将不影响该次互连模式，故而可以不用考虑。对于计算机数据传输中两种重要的变换：1) 统一平移变换 $P = (i + ss) \bmod N$ ，其中 P 表示输出通道地址， i 表示输入通道地址 (i 的取值范围是从 0 到 N)， ss 表示平移量， $\bmod N$ 表示模数是 N ，当 $I = (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$ ， $N = 8$ ， $ss = 5$ 时， $P = (3, 4, 5, 6, 7, 0, 1, 2)$ ，将 $F_{j,i} \odot D_{j,i} = [00011, 00101, 00111, 00101, 00011, 00101, 00111, 00101]$ 运算结果的位数依次赋予信号通过的开关，表 1 中给出了 8 通道 Cantor 网络实现统一平移变换 ($ss = 5$) 的开关控制位。2) 整序 P 序矢量 $P = (i \cdot ss) \bmod N$ 。当 $ss = 5$ 时， $P = (0, 5, 2, 7, 4, 1, 6, 3)$ ，将 $F_{j,i} \odot D_{j,i} = [00000, 00100, 00000, 00100, 00000, 00100, 00000, 00100]$ 的位数赋予开关，表 2 给出 Cantor 网络实现整序 P 序矢量变换 ($ss = 5$) 时的控制位。

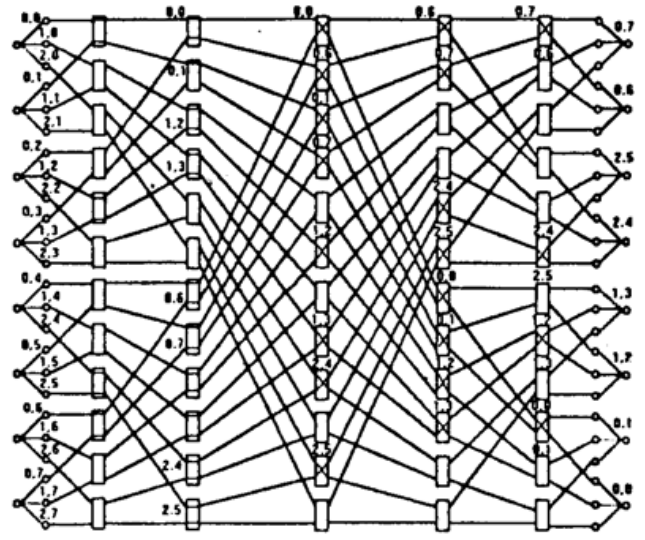


Fig. 1 The configuration of Cantor network with 8 terminals

Table 1. Control bits of the uniform shift permutation with $ss = 5$

$C_{j,i}^{(1)}$	0	x	x	x	0	x	x	x	0	0	x	x
$C_{j,i}^{(2)}$	0	0	0	0	x	x	0	0	x	x	0	0
$C_{j,i}^{(3)}$	1	1	1	0	x	1	x	0	1	x	1	x
$C_{j,i}^{(4)}$	0	x	x	1	0	1	0	1	0	x	x	x
$C_{j,i}^{(5)}$	x	1	1	1	x	1	1	x	x	1	1	x

Table 2. Control bits of the p-ordering permutation with $ss = 5$

$C_{j,i}^{(1)}$	0	x	x	x	0	x	x	x	0	0	x	x
$C_{j,i}^{(2)}$	0	0	0	0	x	x	0	0	x	x	0	0
$C_{j,i}^{(3)}$	0	0	1	1	x	0	x	1	0	x	1	x
$C_{j,i}^{(4)}$	0	0	0	x	x	0	0	0	x	0	0	x
$C_{j,i}^{(5)}$	0	x	0	0	0	x	0	x	0	0	0	x

3 集成模块化 Cantor 网络的结构

如图 2 所示，集成模块化 Cantor 网络是由三部分组成，第一部分是 $1 \times \log_2 N$ 开关，用于完成信号的输入通道选择，第二部分是 Cantor 网络的核心部分，根据控制实现信号位序的

变换,第三部分是 $\log_2 N \times 1$ 开关实现终端输出。

3.1 集成 $1 \times \log_2 N$ 开关

对于 8 通道的 Cantor 网络,一个输入信号可以选择 3 个通道,集成 1×3 开关和 3×1 开关是由二块方解石和三块一维 LiNbO_3 晶体电光开关列阵组成如图 3 所示。 LiNbO_3 晶体电光开关用作可编程偏振片。若输入信号的偏振方向垂直于光学主面(寻常光),当它通过方解石晶体时,光束不偏折,继续传输通过第一块一维 LiNbO_3 电光开关时,若其上已加半波电压,光束的偏振方向发生 90° 偏转(非常光);反之,光束将沿输入路径传输(输出进入 0 通道)。由第一块 LiNbO_3 输出的非常光束通过第二块方解石时发生偏折,光束进入第二块 LiNbO_3 ,若其上加半波电压,光束的偏振方向发生 90° 旋转(寻常光),输出进入 1 通道;反之光束输出进入 2 通道。 $\log_2 N \times 1$ 开关的构造原理与 $1 \times \log_2 N$ 开关相同。

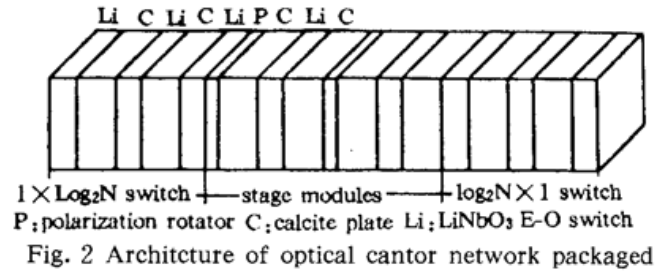


Fig. 2 Architecture of optical cantor network packaged by modules
P: polarization rotator, C: calcite Plate, Li: LiNbO_3 E-O switch

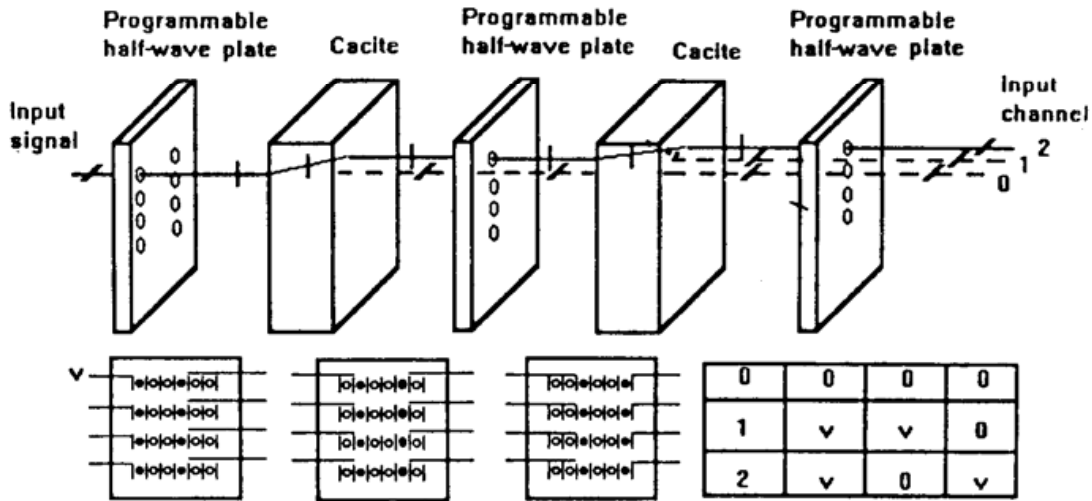


Fig. 3 The scheme of the stacked 1×3 switch

3.2 集成 Cantor 网络模块

当输入信号完成了输入通道的选择之后,这时输入信号占据的通道数是 24。图 4 给出了网络第一级模块的构造模式以及实现的等序变换(控制比特数均为零)。它是由特殊构造的偏振片、两块相同的方解石晶体、一维 LiNbO_3 电光开关列阵组成。第一块方解石实现网络的互连模式,并且由二块方解石和一维 LiNbO_3 电光开关列阵组成一维 2×2 电光开关列阵,如图 5 所示。首先偏振方向互相垂直的二束光,经第一块方解石合成为一束偏振方向互相垂直的光束,若开关的控制位数是 1,则 LiNbO_3 电光开关加半波电压,合成光束偏振方向分别旋转 90° ,经第二块方解石分束后,二束光的间隔不变,但位置互换,即 2×2 开关处于交换状态。若开关的控制位数是 1,则 LiNbO_3 不加电压, 2×2 开关处于直通状态。网络其余各级模块的构造原理与第一级模块相同。网络中各元件以及各级模块都是胶合起来的,选择胶合物的折射率,介于方解石晶体对寻常和非常光的折射率之间。且方解石都镀以增透膜以减少反射,散射造成的光衰减。

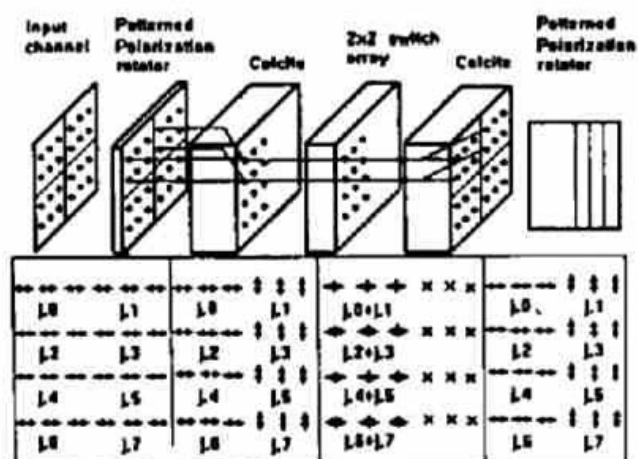


Fig. 4 Configuration of the first stage optical module of 8 channel cantor network

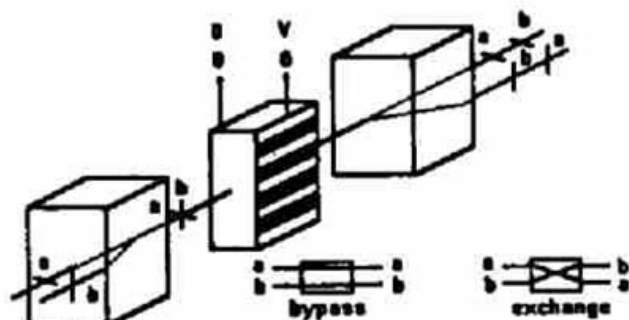


Fig. 5 Schematic illustration of 2×2 switch

4 设计和制作

Cantor 网络二通道间距是 1 mm，每束光的直径是 0.5 mm，方解石晶体是自然切割制成，晶轴和光束的夹角是 48.25° 。实现 1 mm 偏折所需的方解石厚度是 9.3 mm。特殊结构的偏振片是由石英晶体和普通的玻璃片组成，实现 90° 偏振的石英晶体厚度是 4.8 mm。用于横向电光调制的 LiNbO_3 晶体采用 Z 向切割，沿 X 平面，利用蒸镀膜法制成四对电极，从而构成一维四通道电光开关阵列，其相对于波长为 632.8 nm 光束的半波电压是 430 V。其动态消光比是 250 : 1。 LiNbO_3 晶体的尺寸为 $1.0 \times 4.0 \times 8.0$ mm。图 6(a) 为输入信号，其地址为 (0, 1, 2, 3, 4, 5)；(b) 为输入信号(a)经 $N = 8$ 的 Cantor 网络实现的统一平移变换(控制数示于表 1)；(c) 为输入信号(a)经 $N = 8$ 的 Cantor 网络实现的整序 P 序矢量变换(控制比特数示于表 2)。

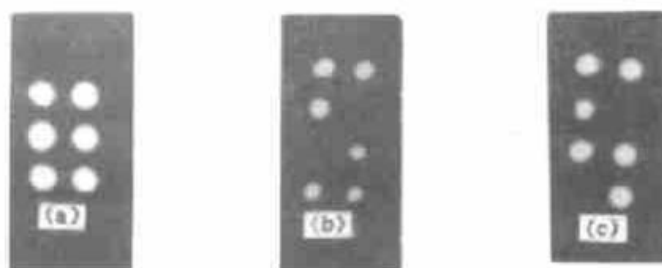


Fig. 6 Experimental results: (a) input signal arrangement, (b) output of 8 channel cantor network for the uniform shift permutation ($ss = 5$), (c) output for the p-ordering permutation ($ss = 5$)

结 论 本文构造了 8 通道光学集成模块化 Cantor 网络，它是由特殊结构的偏振片，方解石晶体和一维 LiNbO_3 电光开关阵列串接组成。文中给出了 Cantor 网络网络的快速控制算法，从而可以利用该网络，迅速有效地实现任意非阻塞互连模式。该 Cantor 网络具有结构紧凑、易于安装、抗干扰、高效和快速等优点。

参 考 文 献

- [1] G. M. Masson, G. C. Gingher, S. Nakamura, A sampler of circuit switching networks. *IEEE Comput.*, 1979, C-28 : 32~47
- [2] Y. Wu, L. Liu, Z. Wang, Characteristics, routing algorithm, and optical implementation of two-dimensional perfect-shuffle networks. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(35) : 7210~7216
- [3] F. B. McCormick, T. J. Cloonan, F. A. Tooley *et al.*, Six-stage digital free-space optical switching network using symmetric self-electro-optic-effect devices. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(26) : 5153~5171
- [4] K. Noguchi, K. Hogari, T. Sakano *et al.*, Rearrangible multichannel free-space optical switch using polarization multiplexing technique. *Electron. Lett.*, 1990, **26**(17) : 1325~1326

Cantor Network, Two Dimensional Compact Structure, Control Algorithm and Its Optical Implementation

Wang Ning Yin Yaozu Qian Jiajun Liang Feng Liu Liren

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800*)

(Received 28 March 1995; revised 23 June 1995)

Abstract A compact integrating module technique for packaging optical multi-stage cantor network with polarization multiplex technique has been suggested in this paper. The modules have a unique configuration, which is the solid-state combination of a polarization rotator and a 2×2 switch array. The design and fabrication of an optical 8-channel nonblocking cantor network is demonstrated. Furthermore a fast setup control algorithm is developed. The network systems are easy to assemble and insensitive to environment disturbance.

Key words cantor network, optical compact structure, fast control algorithm.