

# 光学全交叉网络与 SW 榕树 ( $F = S = 2$ ) 网络拓扑等价的多样性\*

艾 军 曹明翠 李再光 李洪谱 罗风光\*\*

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

**提要** 本文对有关互连网络拓扑等价的分析方法作了简单评述。并采用互连网络拓扑等价的图分析法分析了自由空间光学互连全交叉网络与 SW 榕树网络的拓扑等价及其多样性, 拓展了全交叉网络在数字光计算、光子交换及多处理机系统的潜在应用。

**关键词** 光学全交叉网络, SW 榕树网络, 拓扑等价, 互连网络

## 1 引 言

互连网络如混洗交换 Omega 网络、全交叉网络等, 是并行多处理机系统、通信交换系统以及数字光计算系统的重要组成部分<sup>[1]</sup>。互连网络可采用电子或光学的方法实现。传统的电子学“线互连”方法存在瓶颈阻塞、时钟歪斜、串扰等固有缺点, 难以实现较大规模的互连网络。光具有很高的频率及空间带宽、传播速度快、且不受电磁干扰, 因而用光作为载波传播信息从根本上克服了电子“线互连”固有的弱点, 是实现大规模、高密度互连网络的有效方法, 在光电混合并行多处理计算机系统、光子交换系统、及数字光计算系统中有着广泛的应用前景<sup>[2,3]</sup>。

采用自由空间光互连技术实现的全交叉网络, 具有互连密度高、容量大、功耗小、结构紧凑、成本低和易于集成等优点, 是一种非常重要的光学互连网络<sup>[4]</sup>。

文献[5]根据全交叉网络和简化数据变换网络的数学拓扑描述规则, 找到了一套一到一的从网络元件位置名到逻辑名的映射规则, 进而获得了全交叉网络与简化数据变换网络拓扑等价的逻辑名结构, 从而证明了这两个网络的拓扑等价性质。显然这种分析方法比较繁琐、缺乏实用性。

为此我们提出了互连网络拓扑等价的图分析法<sup>[6]</sup>。该方法以伙伴结点对的概念为基础, 采用图解方式进行, 具有简单、实用的特点, 不仅可用于各种互连网络拓扑等价的研究, 而且可以得到拓扑等价网络的多套逻辑名结构。

本文采用图分析法研究了全交叉网络与并行处理系统常用的 SW 榕树网络的拓扑等价,

\* 本项研究获得国家自然科学基金、863 基金及国防预研基金的资助。

\*\* 参加本工作的还有徐军。

收稿日期: 1993 年 5 月 19 日

并得到了全交叉网络与 SW 榕树网络拓扑等价的多套逻辑名结构。为深入理解光学全交叉网络的拓扑性质、增强其互连功能、进一步拓展其潜在的应用提供了理论依据。

## 2 互连网络拓扑等价的图分析法

本节将以全交叉网络与简化数据变换网络的拓扑等价为例,简要介绍图分析法的基本原理。为简单起见,本文采用文献[7]介绍的图模型表示互连网络的拓扑结构。

图 1 给出了  $N = 16$  的简化数据变换网络的图模型。它由 4 级结点(从左到右依次为第 0, 1, 2, 3 级)和 5 级链路(从左到右依次为第 0, 1, 2, 3, 4 级)组成。链路是传递信息的通道,结点是选择通道的开关元件。结点和链路统称网络元件。它们在网络中所处的相互位置可用位置名(physical address 或 physical name)描述。按规定<sup>[5,8]</sup>,结点的位置名从上到下依次为 0, 1, …,  $(N/2 - 1)$ ,链路的位置名从上到下依次为 0, 1, …,  $(N - 1)$ 。

对于某个网络,若通过某种方法将其网络元件的位置名按照某种规律重新编号、变换成对应的逻辑名(logical name);并使带有逻辑名的网络元件的互连特性可以用另一个网络的数学拓扑规则描述,或者说使该网络的带有逻辑名结构的图模型与另一个网络的带有位置名结构图模型具有图同构性质,则称这两个网络在拓扑上是相互等价的。

对于图 1 所示简化数据变换网络,容易看出:0 级结点中位置名为 0 和 4 的一对结点只与 1 级结点中位置名为 0 和 4 的一对结点相互连接,具有这种伙伴连接性质的两对结点称为伙伴结点对—buddy node pair (BNP)。如图中 BNP “A”等。

现在就简要介绍图分析法(GAM)的基本原理。为简单起见,下文称全交叉网络为甲网,简化数据变换网络为乙网。具体步骤如下:

- 1) 选择乙网为参考网,即乙网络的逻辑名结构与其位置名结构相同;
- 2) 选择甲网第 0 级结点中位置名为 0 的结点为初始结点,令其逻辑名为 0;

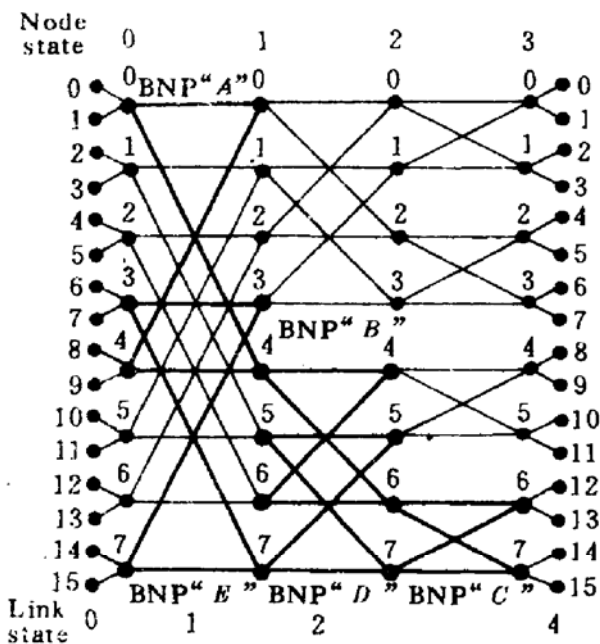


Fig. 1 Graph model of modified manipulator ( $N = 16$ )

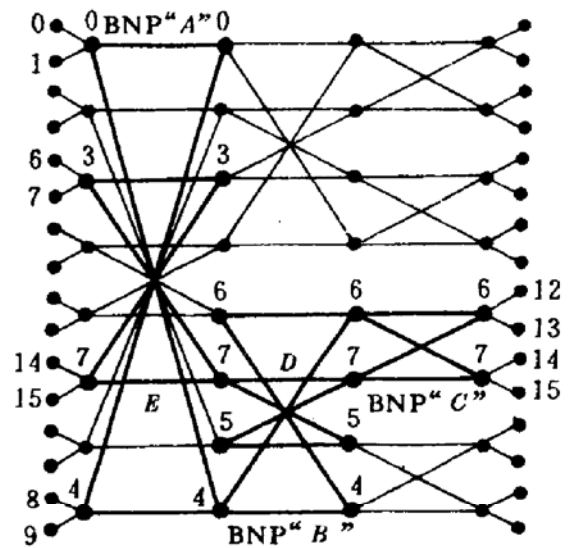


Fig. 2 Graph model of crossover network ( $N = 16$ ) used to explain the graph analysis method (GAM)

3) 分别在甲、乙网内找出 0 级结点中逻辑名为 0 的结点所连接的 BNP,如图 1 和图 2 中的 BNP “A”,并使两个 BNP “A”所包含的其余三个结点的逻辑名分别对应相同。

4) 从两个 BNP “A”所含的其余三个结点中选择一个,找出该结点所连接的下一个 BNP,如图 1 和图 2 中的 BNP “B”,并使两个 BNP “B”所包含的其余三个结点的逻辑名亦分别对应相同;

5) 按上述方法依次确定 BNP “C”、BNP “D”,……所包含的结点的逻辑名,直到甲网所有结点的逻辑名全部确定为止;

6) 甲网链路的逻辑名可按下述规则求得:甲、乙网中位于同一结点级的带有相同逻辑名的结点所连接的链路的逻辑名分别对应相同。

最后得到的甲网与乙网具有拓扑等价性质的逻辑名结构如图 3 所示。该结果与文献[5]中图 4 完全相同(本文省略了除输入/输出级以外中间各级链路的逻辑名与位置名,因为它们对网络拓扑等价性质的关系不大<sup>[8]</sup>)。

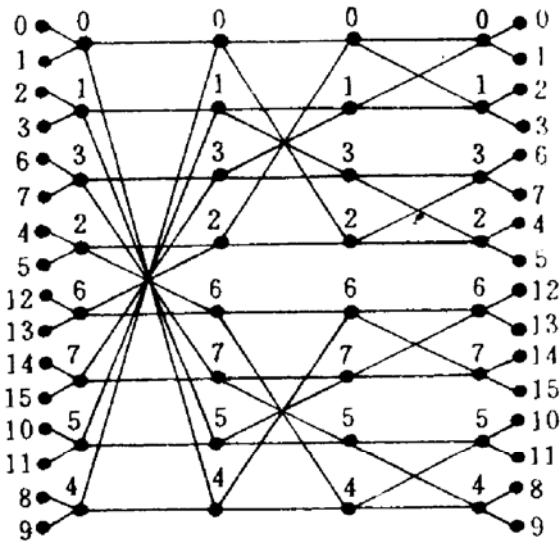


Fig. 3 Logical name structure of the crossover network topologically equivalent with modified manipulator

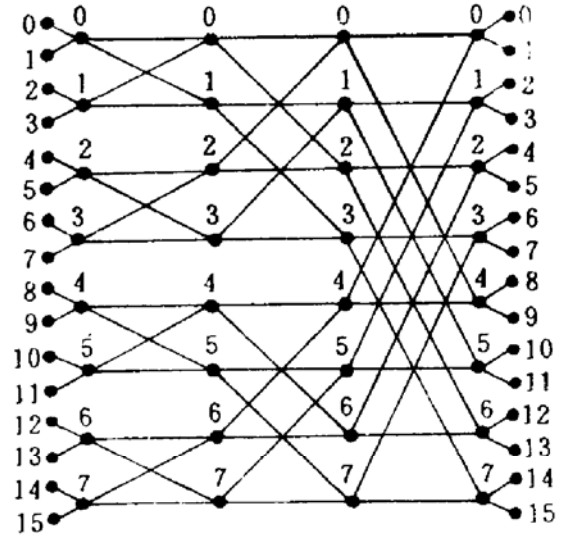


Fig. 4 Graph model of SW banyan ( $F = S = 2$ ) network ( $N = 16$ )

### 3 全交叉网络与 SW 榕树网络的拓扑等价

SW 榕树网络 ( $F = S = 2$ ) 是并行处理系统研究较多的互连网络之一,它与间接二进制  $n$  方体网络具有相同的拓扑结构<sup>[8]</sup>,其图模型如图 4 所示。

在上一节图分析法的步骤 1) 中选择 SW 榕树网络为乙网或参考网,可以很快求出全交叉网络与 SW 榕树网络拓扑等价的逻辑名结构,如图 5 所示。此外若在步骤 2) 中分别选择全交叉网络第 0 级结点中位置名为 1,2,3 的结点为初始结点,并令其逻辑名均为 0,还可得到全交叉网络与 SW 榕树网络拓扑等价的另外三套逻辑名结构,如图 6~8 所示,此即网络拓扑等价多样性的含义。

对于全交叉网络,我们可以在图 5~8 所示的该网络与 SW 榕树网络拓扑等价的多套逻辑名结构中根据具体的问题选择比较合适的一套,对全交叉网络的元件重新编号,用重新编号

后的全交叉网络模拟 SW 榕树网络的互连函数,从而进一步拓展全交叉网络的互连功能,开发其在光电混合并行多处理计算机系统、光通信交换系统以及数字光计算系统等领域的潜在应用。

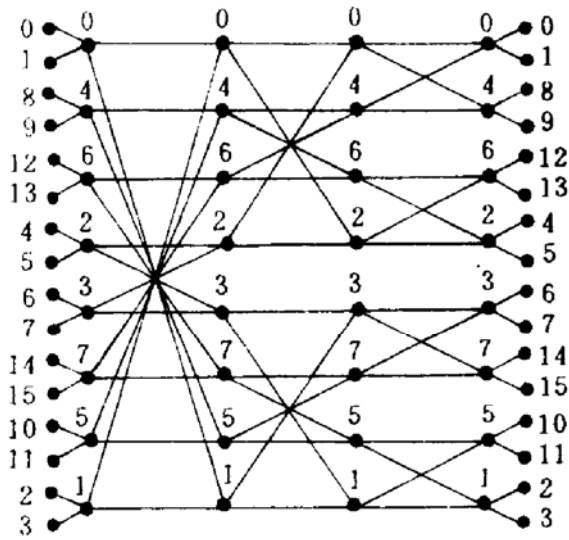


Fig. 5

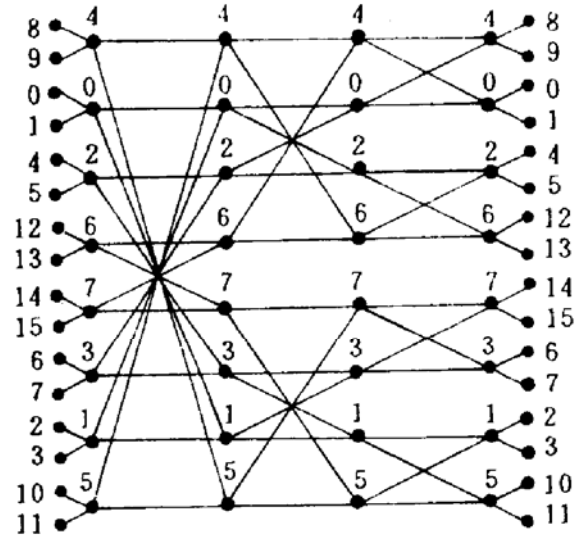


Fig. 6

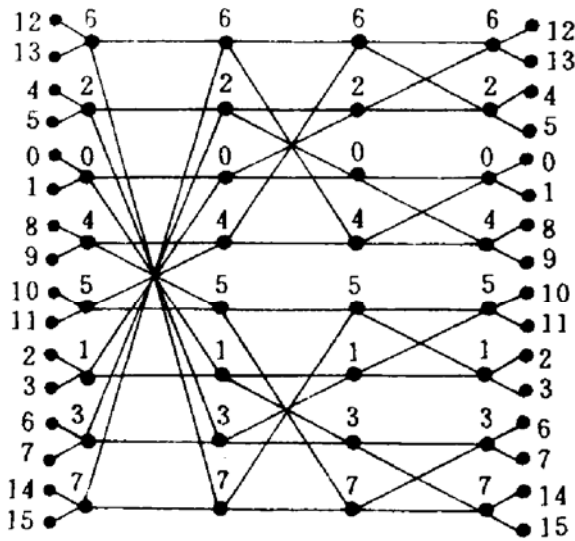


Fig. 7

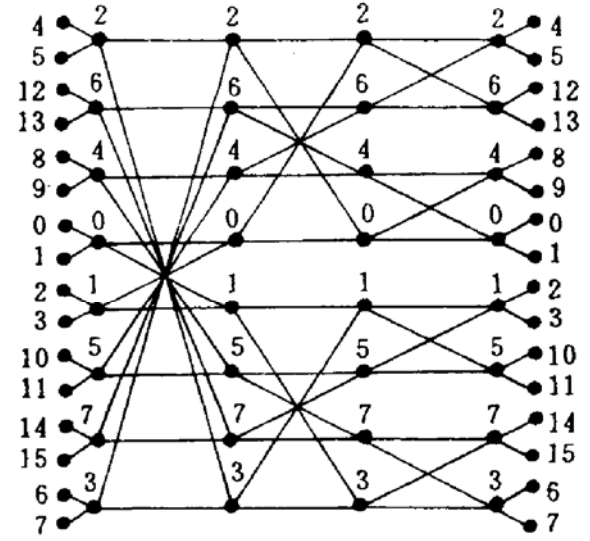


Fig. 8

Fig. 5~8 Four sets of topologically equivalent logical name structures of the crossover network with SW banyan ( $F = S = 2$ ) network

### 参 考 文 献

- 1 曹明翠, 李洪谱等. 高技术通讯, 1992, (12): 33~36
- 2 F. E. Kiamiler, P. Marchand et al. . *Journal of Lightwave Technology*, 1991, 9(12): 1674~1692
- 3 H. S. Hinton, *SPIE*, 1215, Topical Meeting on Digital Optical Computing (USA, 1990). 132~142; *IEEE Commun. Mag.*, 1990, 4: 71~89
- 4 J. Jahns, M. J. Murdocca. *Appl. Opt.*, 1988, 27(15): 3155~3160  
S. H. Song, E. H. Lee et al. . *Optics Letters*, 1992, 17(18): 1253~1255
- 5 T. J. Cloonan. *Appl. Opt.*, 1989, 28(13): 2494~2498

- 6 艾 军,曹明翠 等. 计算机研究与发展, 已录用待发表  
7 D. P. Agrawal. *IEEE Trans. Computers*, 1983, C-32(7) : 637~648  
8 C. L. Wu, T. Y. Feng. *IEEE Trans. Computers*, 1980, C-29(8) : 694~702

## Topological Equivalence Variety of Optical Crossover Networks with SW Banyan ( $F = S = 2$ ) Networks

Ai Jun Cao Mingcui Li Zaiguang Li Hongpu Lou Fengguang

(*National Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074*)

**Abstract** Various methods for analysing topological equivalence of multistage interconnection networks (MIN' s) were reviewed briefly. Topological equivalence and its variety of free-space optical interconnection crossover networks with SW banyan ( $F = S = 2$ ) networks were studied by using the graph analysis method (GAM) for topological equivalence of MIN' s. This will develop the potential applications of optical crossover networks in systems of digital optical computing, photonic switching and parallel multiprocessing computers.

**Key words** optical crossover network, SW Banyan network, interconnection networks, topological equivalence