

光互连 Omega 网络与榕树网络拓扑 等价的多样性*

艾 军** 曹明翠 李再光

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

摘 要 本文对互连网络拓扑等价的分析方法作了综合评述. 采用图分析法研究了光互连 Omega 网络与榕树网络拓扑等价的多样性, 得到了 Omega 网络与榕树网络具有拓扑等价性质的多套逻辑名结构.

关键词 光学互连, 互连网络, 拓扑等价.

1 引 言

互连网络如混洗交换 Omega 网络、全交叉网络等, 是通信交换系统、数字光计算系统、并行多处理机系统的重要组成部分^[1]. 光作为载波传递信息从根本上克服了电子学方法固有的弱点, 是实现大规模互连网络的有效方法, 在通信交换网络系统、数字光计算系统、光电混合并行多处理机系统具有广泛的潜在应用.^[2,3] 采用自由空间光学互连方法实现的混洗交换 Omega 网络, 具有并行度高、容量大、结构紧凑、成本低等优点, 是一种非常有前途的光学规则多级互连网络^[4~9]. 然而有关 Omega 网络拓扑等价的问题, 仅见文献[10]报道过 Omega 网络与基准网络拓扑等价的研究. 文献[11]在研究网络拓扑等价问题时, 为简化网络拓扑结构的表述形式而提出了图模型的概念, 并证明了具有伙伴开关性质的一类互连网络的拓扑等价, 但没有给出确定网络拓扑等价的算法.

文献[10]和文献[12]分析了基准、Omega、榕树、全交叉等网络的拓扑规则, 并获得了确定这些网络拓扑等价的各自的映射规则. 这种根据特定的映射规则来确定拓扑等价网络元件逻辑名结构的算法虽然数学上比较严格, 但十分繁杂, 而且研究不同网络的拓扑等价, 需要寻找不同的映射规则, 因而既没有一般性也缺乏实用性.

本文采用互连网络拓扑等价的一般算法——图分析法研究了 Omega 网络与榕树网络的拓扑等价及其多样性, 为深入理解 Omega 网络的拓扑性质、增强其互连能力、进一步拓展其潜在的应用提供了理论依据.

* 本课题得到国家自然科学基金、863 基金及国防预研基金的资助.

** 现在地址为广东工学院计算机系, 广州 510090.

收稿日期: 1993 年 5 月 26 日; 收到修改稿日期: 1993 年 8 月 9 日

2 互连网络拓扑等价的一般算法——图分析法

2.1 网络拓扑等价

本文所指的互连网络系由 n 级结点和 $(n + 1)$ 级链路按照某种拓扑规则连接而成, 这里 $n = \log_2 N$, N 是网络输入 / 输出端口的数目. 图 1 给出了 $N = 16$ 的基准网络的图模型. 为统一表述方式, 结点和链路(统称网络元件)的位置名沿用了文献[10]中的规定. 即结点从左到右依次为 0, 1, 2, 3, 级; 链路则为 0, 1, 2, 3, 4 级. 各级结点的位置名从上至下依次为 0, 1, ..., 6, 7 输入/输出链路的位置名从上至下依次为 0, 1, ..., 14, 15.

2.2 BNP 概念

先引入伙伴结点对的概念. 从图 1 容易看出, 基准网络 0 级结点内位置名为 0 和 1 的一对结点只与 1 级结点内位置名为 0 和 4 的一对结点相连, 作者把具有这种伙伴连接性质的两对结点称为伙伴结点对, 简称 BNP. 图 2 中用粗线分别表示了若干 BNP, 如 BNP“A”、BNP“B”……. 显然每一链路级有 $N/4$ 个 BNP, 每个 BNP 包含 4 个结点和四条链路. 若甲网络中的某个 BNP 所包含的 4 个结点和 4 条链路的逻辑名与乙网络中的某个 BNP 所包含的 4 个结点和 4 条链路的逻辑名分别对应相同, 且级号亦分别相同, 则称这两个 BNP 具有相同的逻辑名. 例如图 1 和图 2 所示 BNP“A”就具有相同的逻辑名.

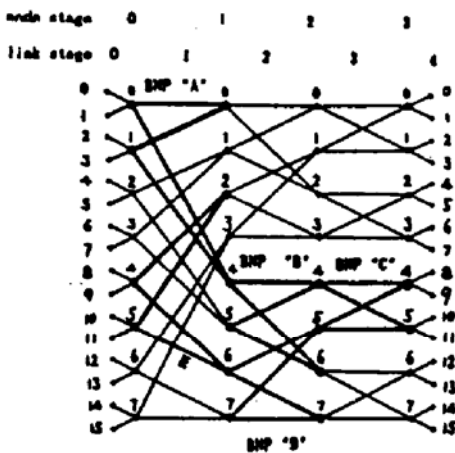


Fig. 1 Graph models of baseline networks ($N=16$), used to explain the graph analysis method

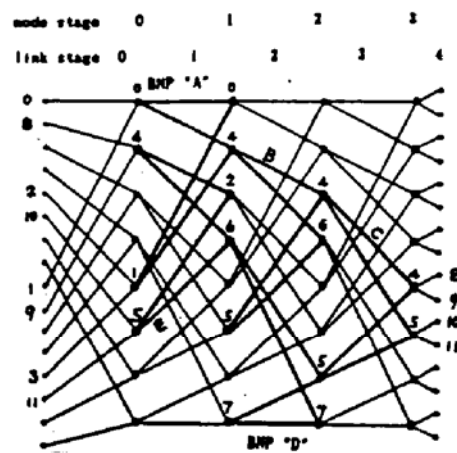


Fig. 2 Graph models of omega networks ($N=16$), used to explain the graph analysis method

2.3 图分析法

根据 BNP 的概念及网络拓扑等价的涵义, 作者提出了确定互连网络拓扑等价的一般算法——图分析法^[18]. 其基本原则为:

- (1) 对于甲网络中的每一个 BNP, 在乙网络中找出其对应的 BNP, 使之具有相同的逻辑名; 由此可确定与甲网络具有拓扑等价性质的乙网络的所有结点的逻辑名.
- (2) 对于甲网络中的每一个结点, 在乙网络中找出与之具有相同逻辑名与级号的一个结点, 使这两个结点所连接的 4 条链路的逻辑名分别对应相同. 由此可确定乙网络所有链路的逻辑名.

下面就以 Omega 网络与基准网络的拓扑等价为例, 阐明图分析法的基本步骤:

- 1) 选择基准网络为参考网络(下称甲网), 使其逻辑名结构与位置名结构相同.
- 2) 选择 Omega 网络(下称乙网)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.

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, 直到乙网所有结点的逻辑名全部确定为止.

6) 乙网链路的逻辑名可根据前述基本原则(2)容易求得.

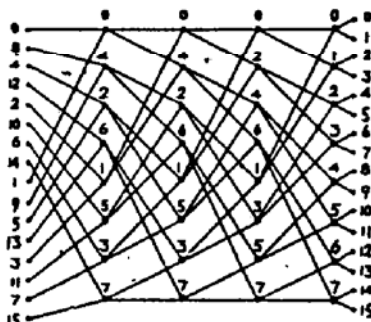


Fig. 3 Logical name structure of omega network topologically equivalent with baseline network

按此步骤求得的与基准网络具有拓扑等价性质的 Omega 网络的逻辑名结构如图 3 所示, 它与文献[10]用映射规则法求得的结果完全相同. 由于网络中间各级链路(即输入/输出级以外的链路)的逻辑名与位置名对于网络拓扑等价问题的研究关系不大, 为简单起见省略了.

由于该算法是以 BNP 为基本单元, 通过图解方法进行的, 故称之为网络拓扑等价的图分析. 由于图分析法与所讨论网络的拓扑描述规则没有直接的联系, 因而可用来研究各种互连网络之间的拓扑等价问题, 且具有简单、直观的特点, 是一种实用性很强的一般算法.

3 Omega 网络与榕树网络拓扑等价的多样性

榕树网络也是一种比较重要的多级互连网络, 其光学实现详见文献[14,15]. 故而研究 Omega 网络与榕树网络的拓扑等价具有十分重要的意义.

$N = 16$ 榕树网络的图模型如图 4 所示. 如果选择榕树网络为参考网络, 然后按照上节所述图分析法的步骤 1)~6) 进行, 即可很快求得 Omega 网络与榕树网络拓扑等价的逻辑名结构, 如图 5(a)所示.

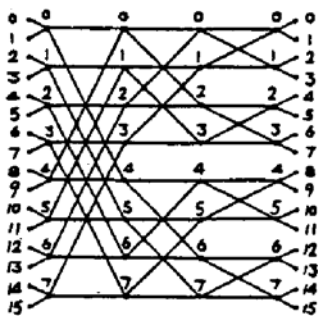


Fig. 4 grap model of the banyan network (N=16)

此外, 若在步骤 2)中选择 Omega 网络中不同的结点作为初始结点, 还可求得与图 5(a)不同的、Omega 网络与榕树网络拓扑等价的其它多套逻辑名结构. 例如, 在步骤 2)中分别选择 Omega 网络 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, 然后按照步骤 3)~6)即可容易求得 Omega 网络与榕树网络拓扑等价的另外三套逻辑结构, 分别示于图 5(b), 5(c)和 5(d).

本文把一种网络与另一种网络具有多套拓扑等价逻辑名结构的性质称为网络拓扑等价的多样性. 显然, 若采用文献[10]提出的映射规则法来研究网络拓扑等价的多样性是不大现实的. 根据网络拓扑等价的多样性, 可以在 Omega 网络与榕树网络具有拓扑等价性质的多套

逻辑名结构中结合 Omega 网络光学实现的硬件选择一套比较合适的逻辑名结构对 Omega 网络重新编号,使得重新配置逻辑名结构后的 Omega 网络的光学硬件在实现榕树网络的互连函数时改动最少且控制算法最佳.

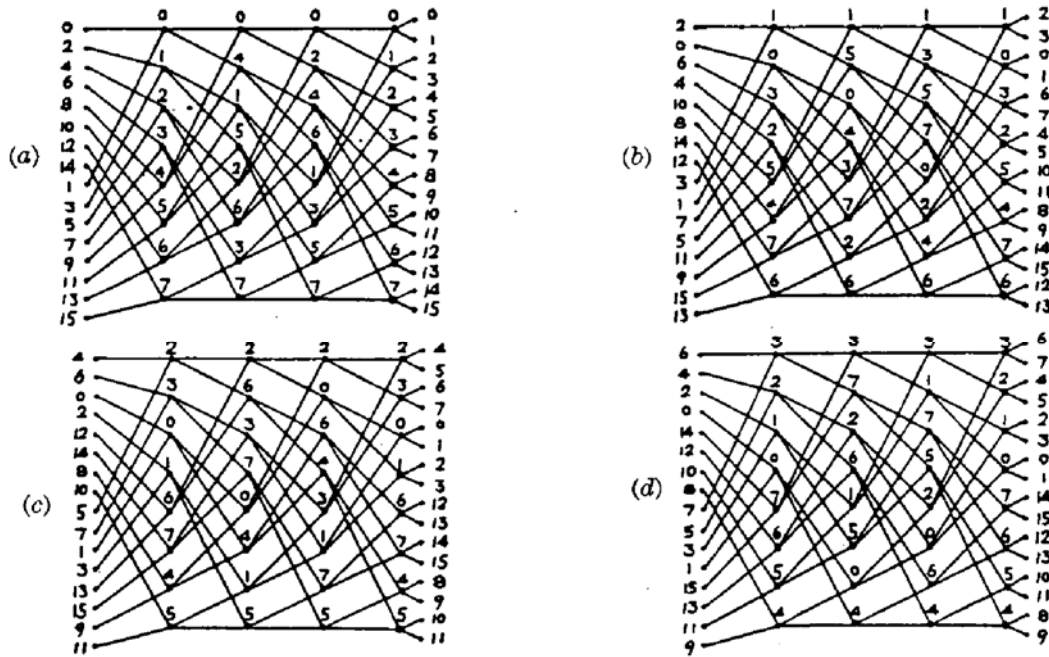


Fig. 5 Four sets of logical name structures of omega network topologically equivalent with the banyan network

4 结 语

本文采用互连网络拓扑等价的图分析法研究了光互连 Omega 网络与榕树网络拓扑等价的多多样性,大大丰富了有关 Omega 网络拓扑等价问题的研究内容,为深入理解 Omega 网络的拓扑、开发 Omega 网络的互连功能进而拓展其在光电混合巨型计算机、电信交换网络系统等领域的潜在应用提供了参考依据.

参 考 文 献

- [1] H. S. Hinton, Photonic switching and optical computing based on free-space digital optics. *Proc. SPIE*, 1990, 1215: 132~142
- [2] F. E. Kiamiler, P. Marchand *et al.*, Performance comparison between optoelectronic and VLSI multistage interconnection networks. *J. Lightwave Technol.*, 1991, 9(12): 1674~1692
- [3] 曹明翠,李洪谱,罗风光,数字光计算微光学模块体系结构及微光学互连模块的应用. *高技术通讯*, 1992,(12): 33~36
- [4] M. C. Cao, H. P. Li *et al.*, Optical hardware for the perfect shuffle interconnection. *Optical Computing and Processing*, 1991, 1(1): 23~27
- [5] M. C. Cao, F. G. Luo *et al.*, Optical perfect shuffle-exchange interconnection network using liquid crystal spatial light switch. *Appl. Opt.*, 1992, 31(32): 6817~6819
- [6] 曹明翠,李洪谱等,全混洗交换 Omega 互连网络的光学实现. *光学学报*, 1992, 12(12): 1129~1133
- [7] 曹明翠,李洪谱等,数字光开关网络中四功能交换开关光学 Omega 网络. *光学学报*, 1993, 13(12): 1105~1109
- [8] 曹明翠,李洪谱等,自由空间规则互连网络矩阵理论和光学四功能交换开关 OMEGA 网络. *光子学报*, 1992, 21(5): 97~105

- [9] 罗风光, 曹明翠等, 一种新型的 Omega 光到连实验系统. *光子学报*, 1992, 21(5): 119~121
- [10] C. L. Wu, T. Y. Feng, On a class of multistage interconnection networks. *IEEE Trans. Computers*, 1980, C-29(8): 694~702
- [11] D. P. Agrawal, Graph theoretical analysis and design of multistage interconnection networks. *IEEE Trans. Computers*, 1983, C-32(7): 637-648
- [12] T. J. Cloonan, Topological equivalence of optical crossover networks and modified data manipulator networks. *Appl. Opt.*, 1989, 28(13): 2494~2498
- [13] 艾军, 曹明翠, 李再光, 互连网络拓扑等价的图分析法. *计算机研究与发展*, 1994, No. 3
- [14] J. Jahns, Optical implementation of the banyan network. *Optics Commun.*, 1990, 76(5/6): 321~324
- [15] D. Miyazaki, J. Tanida, Y. Ichioka, Optical implementation of the banyan network using a sagnac inverter with a patterned mirror. *Opt. Commun.*, 1992, 93(5/6): 283~288

Topological Equivalence Variety of Optical Interconnection Omega Networks with Banyan Networks

Ai Jun* Cao Mingcui Li Zaiguang

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

(Received 26 May 1993; revised 9 August 1993)

Abstract Varies methods for analyzing topological equivalence of interconnection networks are reviewed. Topological equivalence variety of the free-space optical interconnection omega networks with the banyan networks are studied by using the graph analysis method. Multiple sets of logical names of the omega network which are all topologically equivalent with the banyan network are obtained.

Key words optical interconnect, interconnection network, topological equivalence.

* Computer Department, Guangdong Institute of Technology, Guangzhou 510090