

Clos 网的一种会议型连接方案¹

王晓晖 朱耀庭 朱光喜

(华中理工大学电子与信息工程系 武汉 430074)

摘要 本文提出了一种 Clos 网的会议型连接方案。该方案假定在点对点 Clos 网引导后, 会议网端口以模块为单位分配给不同会议, 证明了在此条件下实现广义会议非重整无阻塞和会议独立选路需要最少的中间模块支持, 即 $m \geq 3$ 。同时指出本方案具有会议成员无阻塞特性和会议不相关特性, 并具有灵活性、稳定性及时延方面的优点。

关键词 Clos 网, 会议型连接, 会议独立选路, 无阻塞
中图分类号 TN913.2

1 引言

1953 年, Clos 提出了一种用于点对点通信的多级交换网络模型^[1], 每级由一些较小的交换模块组成。通常将一个三级交换网络记为 $v(m, n_1, r_1, n_2, r_2)$, 它由 r_1 个 $n_1 \times m$ 输入模块、 m 个 $r_1 \times r_2$ 中间模块及 r_2 个 $m \times n_2$ 输出模块级联构成。当 $n_1 = n_2$ 、 $r_1 = r_2$ 时, 网络简化为 $v(m, n, r)$, 图 1 是一个 $v(4, 3, 3)$ 网络连接图。Clos 证明了当中间模块数 $m \geq n_1 + n_2 - 1$ 时可保证网络严格无阻塞。随着通信事业的发展, 点对点连接逐渐不能满足多种业务需求, 许多学者开始研究如何扩展 Clos 网的点对点连接能力, 使其支持点对多 (广播型) 连接^[2-4]和多对多连接^[5-7]。文献 [4] 指出当 $m \geq O(n \log r / \log \log r)$ 时网络 $v(m, n, r)$ 可做到广播连接无阻塞, 并给出了实现这种无阻塞连接的网络控制算法。文献 [8] 从视频会议系统多点控制单元 MCU 的研制出发, 研究了 Clos 网对会议型连接的支持能力, 提出了引导网和会议网共同支持会议型连接方案, 证明了当各会议顺序占用会议网端口时 $m \geq n + 2$ 的 Clos 会议网具有会议重整无阻塞及会议独立选路特性, 并用构造方式给出了一种会议独立选路方法。本文针对这种方案的不足之处, 提出了一种改进的会议型连接方案。它简单灵活、容易实现, 避免了会议重整, 大大减轻了引导网和会议网的负担, 具有会议成员无阻塞特性和会议不相关特性, 使网络更加稳定, 并使会议无阻塞和会议独立选路的条件降为 $m \geq 3$ 。

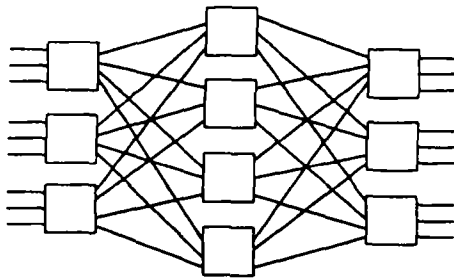


图 1 $v(4, 3, 3)$ 网络连接图

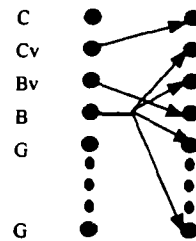


图 2 会议连接图

¹ 1998-09-14 收到, 1999-05-09 定稿
国家“九五”重点攻关项目 (96-743-01-06-03) 资助

2 会议型连接模型及 Clos 网的支持能力

会议型连接是一种特殊的广播型连接。会议中的每一个成员拥有一对相同序号的输入输出端口, 分别作为其收发端口。按照 ITU 建议^[9,10], 会议成员分为主席 C、主席选看对象 Cv、当前广播者 B、前次广播者 Bv 和一般用户 G 等五种角色, 任何时刻除一般用户外其他角色只能各有一个, 网络对每个会议只需提供 Cv 到 C、Bv 到 B 两条点对点连接和一条 B 到除 C、B 之外所有用户的广播连接, 如图 2^[8] 所示。文献 [8] 证明了用点对点 Clos 网引导后网络 $v(m, n, r)$ 能无阻塞接纳新会议的充要条件是 $m \geq n + 1$, 当 $m \geq n + 2$ 时存在会议独立选路的方法。文中假定通过引导网引导后每个会议内部的端口在会议网上是依次排列的 (以下称之为端口全局顺序排列), 使得会议网的分析和选路变得容易, 并且大大减少了实现会议重整无阻塞所需的中间模块数量。本文将进一步优化该模型, 规定通过引导网引导, 每个会议都能独立占用若干输入输出模块, 模块位置是任意的, 不必顺序排列, 而且模块内部各端口也不必顺序排列。研究发现, 这种方案要求最少的中间模块数支持, 并且不需要会议重整, 在网络灵活性、稳定性及时延方面具有很大的优势。

3 改进的会议型连接方案

为便于描述, 记 $I = \{I_i, 0 \leq i \leq r - 1\}$ 为输入模块集合, $O = \{O_i, 0 \leq i \leq r - 1\}$ 为输出模块集合。从某一输入模块出发的连接用向量 $V = (v_0, v_1, \dots, v_{r-1})$ 表示, 其中 $v_i = 1$ 表示存在一条到 O_i 的连接, 否则 $v_i = 0$ 。当 V 中有两个以上的元素为 1 时称为广播向量 (广播连接), 否则为单点向量 (点对点连接)。

会议端口在会议网上的顺序排列虽然在一定程度上减少了会议无阻塞所需的中间模块数, 并且使会议控制 (选路) 变得简单, 但仍然存在如下问题:

(1) 尽管一个会议内部只有一条广播连接和两条点对点连接, 但当两个以上会议同时占用一个输入模块时, 该模块可能存在两个广播向量和多个单点向量, 仍然需要较多的中间模块支持。

(2) 会议网端口的全局顺序排列给引导网和会议网带来很大的负担, 当撤消某个会议时, 引导网和会议网均需作相当的调整 (即重整) 来维持端口的顺序排列, 造成网络的不稳定和不必要的延时。同时这种排列也给会议成员的动态增加及减少造成很大困难, 一种办法是在会议建立时就规定会议人数并预留相应端口, 但这同样不够灵活。

针对全局顺序排列方法的上述弊端, 我们提出了端口局部排列的连接方案。本方案规定通过引导网引导后, 每个会议独立地占用会议网的若干空闲 (不要求连续) 的输入输出模块。当然为了充分利用会议端口, 又要求尽可能少地占用模块。图 3 显示了两种不同的排列方案。需要注意的是, 在会议建立及运作过程中图 3(b) 中某些模块的端口可能不完全占用, 这样似乎会造成端口的闲置。不过通常 n 较小而且闲置端口数一般不会超过 n , 因而实际闲置端口的数量很小, 而且这些端口可随时分配给进入该会议的新成员。

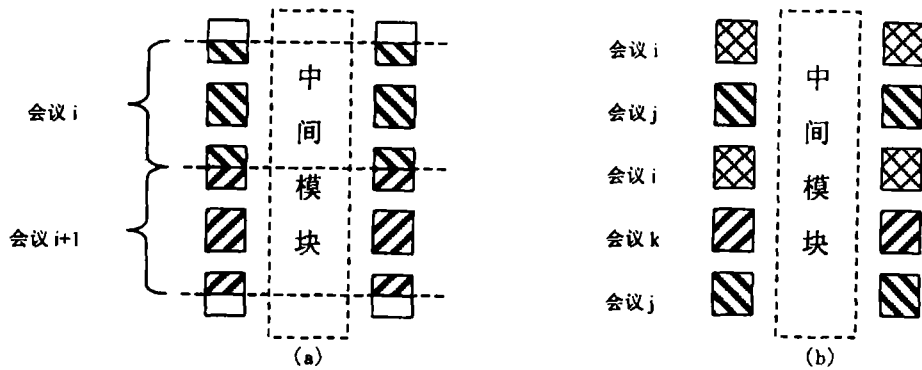


图 3 两种不同的会议网排列方案 (a) 端口全局顺序排列方法
(b) 端口局部 (非顺序) 排列方法

首先分析网络的会议无阻塞条件。由于闲置端口的存在，不可能实现严格的会议无阻塞，因此定义广义会议无阻塞为只要存在空闲的输入输出模块就能接纳新会议。

定理 1 上述局部端口排列方案中，网络 $v(m, n, r)$ 实现广义会议非重整无阻塞的充要条件是 $m \geq 3$ ，此时可做到会议独立选路。

证明 必要性显然，下面证充分性。由于每个会议独立地占用若干输入输出模块，任一模块在某一时间只能属于一个会议。根据前述会议型连接的特点，每个模块内部最多只存在一个广播向量而且不同模块的广播向量之间相互正交，因而所有广播向量可用一个中间模块来支持；同时每个模块内部最多存在两个单点向量，它们可用另外两个中间模块支持。所以三个中间模块即可支持所有会议。当会议角色发生变化时，由于不同会议的广播向量之间以及单点向量之间始终保持相互正交，因而能做到会议独立选路。

下面定理证明 $m \geq 3$ 是支持非重整无阻塞会议型连接的最低条件。

定理 2 当 $n \geq 3$ 时，Clos 网支持非重整无阻塞会议型连接的最低条件是 $m \geq 3$ 。

证明 考察任意输出模块的任意三个端口 a、b、c，随着会议角色的变动，这三个端口可能成为主席 C、当前广播者 B 及一般用户 G，这时该输出模块同时存在 Cv 到 C、Bv 到 B、B 到 G 三条连接 (如图 4 所示)，至少需要三个中间模块支持。

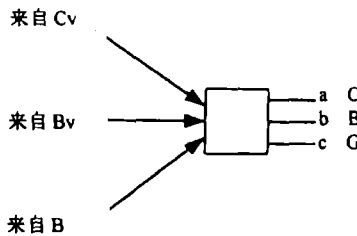


图 4

以上证明了本文方案需要最少的中间模块支持。此外我们还发现采用本方案的网路相对于端口全局顺序排列方案具有优良的动态运行性能。首先，由于每个会议并不完全使用所占模块的所有端口，这就为会议成员的动态进入和退出提供了很大的灵活性。当有一个成员进入某会议时，优先使用该会议尚未利用的空闲端口，若无空闲端口，则再分配一个新模块给该会议。从这个意义上说，本方案是会议用户无阻塞的。当某一用户退出时，只需将该用户端口闲置并断开与该端口的所有连接，而不必重新调整其它端口的排列顺序。当一

个模块的所有用户全部退出时,该模块即可释放。其次,某个会议的撤消不影响到其他正在进行的会议,只需将该会议所占用的所有模块复位并释放即可,这些模块可以分配给以后的会议(不必按顺序排列)。结合会议独立选路特性,我们称本方案具有会议不相关特性,它避免了会议重整引起的时延和不稳定。

4 模拟实验与性能评估

为了对本文方案与文献 [8] 方案的网络实际运行性能进行评估与比较,我们设计了一套计算机仿真实验,该实验基于下列假设:

- (1) 会议请求的间隔时间服从泊松分布,会议持续时间服从均匀分布;
- (2) 在网络的稳定运行状态下,新会议请求的到达速率相当于已有会议的撤消速率;
- (3) 新会议的端口只能从可用的空闲端口中产生。

我们用随机离散事件发生器模拟会议请求的到达,用两个稀疏矩阵分别模拟引导网和会议网的连接状态,用数据收集模块记录引导网和会议网在发生下列情形时建立新链路的数目:增加一个会议、撤消一个会议、增加一个会议成员、退出一个会议成员,作为网络的运行开销。同时统计网络的平均空闲端口数,作为衡量网络利用率的指标。实验模拟一个 20 端口的网络,其中引导网选用 $v(7,4,5)$ 点对点非阻塞 Clos 网,对于本文方案和文献 [8] 方案,会议网分别选用 $v(3,4,5)$ 和 $v(5,4,5)$ 广播型 Clos 网,以保证会议无阻塞。表 1、表 2 列出了两种方案网络建链开销的有关统计数据。其中对于会议网而言,新建一条广播链路或者增加链路广播端口均记为建立一条链路。不难看出,文献 [8] 方案在会议变更及会议成员变更时,引导网和会议网均需要大量的建链开销(即重整)来维持端口的全局顺序排列,从而会导致网络运行的时延和不稳定。而本文方案由于不需要会议重整,除了在增加会议及增加会议成员时需要少量的建链开销外,没有其他的负担。表 3 是两种方案的网络平均空闲端口数目的比较。由于我们将某些未用端口预留给了相应会议,因而本文方案的网络利用率相对略低,但却增加了网络运行的灵活性,大大降低了网络的运行开销。

表 1 引导网平均建链数目(单位:条)

	增加一个会议	撤消一个会议	增加一个会议成员	退出一个会议成员
文献 [8] 方案	5.2	7.3	7.1	9.1
本文方案	5.3	0	1	0

表 2 会议网平均建链数目(单位:条)

	增加一个会议	撤消一个会议	增加一个会议成员	退出一个会议成员
文献 [8] 方案	3	5.1	5.0	6.7
本文方案	3	0	1	0

表 3 平均空闲端口数目(单位:个)

文献 [8] 方案	3.2
本文方案	5.7

5 结 论

本文提出了一种将 Clos 网支持会议型连接的新方案,可用于视频会议系统中 MCU 的开发和研制。本方案假定在引导网引导后,各会议以模块为单位占用会议网端口,证明了在此条件下实现广义会议非重整无阻塞和会议独立选路需要最少的中间模块支持,即 $m \geq 3$ 。

同时指出本方案具有会议成员无阻塞特性和会议不相关特性,避免了会议重整,大大减轻了网络的运行负担,相对会议端口全局顺序排列方法具有灵活性、稳定性及时延方面的优势。最后用模拟实验对两种方案的实际运行情况进行了评估与比较,验证了上述结论,同时指出本文方案的网络利用率稍低。

参 考 文 献

- [1] Clos C. A study of non-blocking switching networks. *Bell syst. Tech. J.*, 1953, 32(3): 406-424.
- [2] Masson G M, Jordan B W. Realization of a class of multiple connection assignments with multi-stage connection networks. *Proc. Fifth Annu. Princeton Conf. Inform. Sci. Syst.*, Princeton: 1971, 316-321.
- [3] Masson G M, Jordan B W. Generalized multi-stage connection networks. *Networks*, 1972, 2(12): 191-209.
- [4] Yang Y, Masson G M. Nonblocking switching networks. *IEEE Trans. on Computers*, 1991, 40(9): 1005-1015.
- [5] Hwang F K. Three-stage multi-connection networks which are nonblocking in the wide sense. *Bell syst. Tech. J.*, 1979, 58(10): 2183-2187.
- [6] Jajszczyk A. Comments on: Three-stage multi-connection networks which are nonblocking in the wide sense. *Bell syst. Tech. J.*, 1983, 62(9): 2113-2114.
- [7] Hwang F K, Jajszczyk A. On nonblocking multiconnection networks, *IEEE Trans. on Commun.*, 1986, COM-34(10): 1038-1041.
- [8] 陈常嘉. Clos 网对会议型连接的支持能力, *电子学报*, 1997, 25(4): 15-19.
- [9] ITU-T, B-ISDN network requirements, Draft Rec.I.31X, COM13-R14-E, 1994.
- [10] ITU-T, Rec. H.200 系列.

A SCHEME OF CONFERENCE CONNECTION SUPPORTED BY CLOS NETWORKS

Wang Xiaohui Zhu Yaoting Zhu Guangxi

(Dept. Electron. and Info., Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract A scheme of conference connection supported by Clos networks is presented. With the assumption in this scheme, some couples of input-output switch modules of conference network are exclusively assigned to every conference, it is proved that conference non-blocking in wide sense and conference independent routing require least middle switch modules of Clos network, i.e. $m \geq 3$. Furthermore, it is pointed out that this scheme has characteristic of conference member non-blocking and conference independency, with advantages of flexibility, stability and low latency.

Key words Clos networks, Conference connection, Conference independent routing, Non-blocking

王晓晖: 男, 1971 年出生, 博士生, 主要研究方向为多媒体信息处理及 CSCW, 已在国内重要学术刊物发表论文多篇。

朱耀庭: 男, 1939 年出生, 教授、博士生导师, 中国通信学会会士, 长期从事通信与电子系统方面的科研工作, 已主持完成国家自然科学基金和部委基金项目十余项, 其中多项成果为国内首创并达到国际先进水平, 已发表学术论文 100 余篇。

朱光喜: 男, 1945 年出生, 教授、博士生导师, 近十年来从事图象处理及多媒体方面的应用研究, 已完成多项国家自然科学基金和部委基金项目, 发表学术论文 70 余篇。