

P2P 视频会议系统中的媒体流组播树的生成与维护^{*})

靳志峰¹ 周 兵² 张宏坡¹

(郑州大学信息工程学院 郑州 450001)¹

(河南省高校信息网络重点学科开放实验室 郑州 450052)²

摘 要 P2P 的技术把视频会议服务器的功能分散到客户端,从而解决视频会议系统中存在的网络和系统资源瓶颈问题。本文综合利用 P2P 技术和传统视频会议的优点,提出一种有中心管理服务器的 P2P 视频会议系统结构,并对节点间的数据交互和控制机制进行了研究。根据当前的 Internet 跨网段间不支持 IP 层组播的实际情况,提出在局域网内采用 IP 组播、在子网间采用单播的应用层组播方式进行媒体流传输。考虑 P2P 网络中每个节点都有自治的、动态的、自利的等特性,本文提出一种基于投标-招标机制的媒体流组播树的生成与维护算法。

关键词 P2P, 视频会议, 应用层组播, 流媒体传输

Construction and Maintenance of the Multicast Tree for a P2P Video-conferencing System

JIN Zhi-Feng¹ ZHOU Bing² ZHANG Hong-Po¹

(College of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001)¹

(Henan Provincial Key Laboratory on Information & Network, Zhengzhou 450052)²

Abstract As video servers' tasks are distributed to its clients in P2P systems, a P2P based video conferencing system is able to solve the bottleneck problem of network and system resources. Taking advantage of P2P technology and traditional video conferencing systems, a P2P based video conferencing architecture is proposed and a new scheme of peer management and communication is put forward in this paper. Considering the fact that Internet can't support IP-layer multicasting between LANs, media-stream transmission adopts IP layer multicasting only within a LAN, and application-layer multicasting between LANs. According to autonotation, dynamic, selfishness of peers in P2P systems, a new algorithm for constructing and maintaining multicasting tree is designed with the principle of invitation and bidding.

Keywords P2P, Video conferencing, Multicasting, Media stream transmission

1 引言

目前的 IP 视频会议系统主要分两类:基于 H. 323 协议的视频会议系统和基于 SIP 协议的视频会议系统,二者都属于集中式视频会议系统^[1]。集中式视频会议系统有一个称为视频服务器的设备统一进行音视频的接收与转发。由于存在网络带宽、服务器性能、网络异构性等限制,视频服务器成为整个视频会议系统的工作瓶颈。P2P 技术是近年来出现的一种能够克服上述问题的网络技术,但在视频会议系统中使用单纯的 P2P 技术,由于节点搜索和对话连接的时间可能很长,甚至有时发出去的会话申请没有回音,为了充分利用 P2P 技术的优点,同时保证视频会议的性能和可靠性,我们提出了有中心管理服务器的 P2P 视频会议系统体系结构,如图 1。其中,管理服务器仅承担用户和会议室的管理任务,不负责用户之间的数据传输任务。Peer 是会议中的一个成员,它能够独立于管理服务器,并完成与其它 Peer 之间的数据搜索、接收、发送、转发等任务。

本文基于具有管理服务器的 P2P 视频会议系统的结构特点,主要讨论参会者(Peer)之间的数据传输和控制机制。在 P2P 网络中,由于对等节点的自治性和自利性,资源的查询无论采用洪泛式算法还是文档路由式算法^[7],都需要耗费时间和网络资源代价很大,然而视频会议具有很强的实时性

要求,针对这一问题,本文提出一种 Peer 节点交互算法,算法的核心是媒体流组播树的生成与维护,即采用招标-投标^[4]的机制来动态生成媒体流的组播树。该算法涉及到节点能力的评估、申请节点对投标节点的选择,节点退出时组播树的维护等处理过程。节点能力的评估是节点对自身的可用带宽、CPU、内存资源进行评估并决定是否担任流的转发任务进行评估,以及申请节点对投标节点的等级进行评估;节点退出时组播树的维护是当有节点退出时,其父节点、子节点、源节点为了会议的继续进行,进行相应的调整来维护组播树中流的通畅。

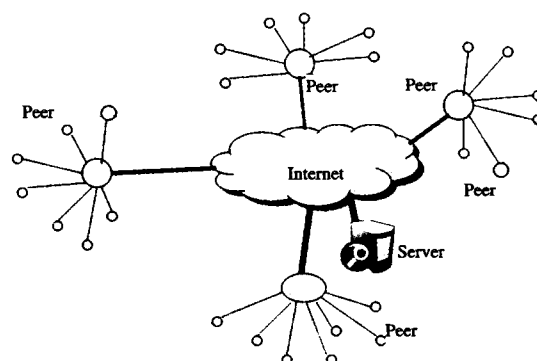


图 1 P2P 视频会议系统体系结构

^{*}) 受国家自然科学基金(60075006)和河南省高校杰出人才创新工程项目资助。靳志峰 硕士,研究方向:视频会议系统;张宏坡 讲师,研究方向:计算机网络;周 兵 教授,研究方向:数学视频处理。

2 节点能力的评估

节点能力的评估是应用层组播和 P2P 技术研究的主要问题之一,已有很多文献^[3~6]对此进行了深入的研究,本文视频会议系统的特点,综合考虑网络的服务质量、节点的资源配

置以及节点间的动态拓扑结构,提出一种简化的节点能力评估方案。

设 Applicant 为会议室内任务的请求者,Peer-*i* 为会议室内第 *i* 个候选父节点。节点能力评估中用到的参数和符号如表 1。

表 1

符号	符号含义	符号	符号含义
Available_BandWidth_Pi	Peer- <i>i</i> 可用上载带宽	Task_CPU_Pi	Peer- <i>i</i> 完成当前任务,所需的 CPU 资源
Available_CPU_Pi	Peer- <i>i</i> 可用的 CPU 资源	Task_Memory_Pi	Peer- <i>i</i> 完成当前任务,所需的内存资源
Available_Memory_Pi	Peer- <i>i</i> 当前可用的内存资源	Delay_Pi	流经 Peer- <i>i</i> 从 S 到 Applicant 的延时
Height_S_Pi	Peer- <i>i</i> 距在组播树中的深度	Max_BitRate_Pi	Peer- <i>i</i> 愿意提供的最大输出码率
Delay_S_Pi	媒体流从 S 到 Pi 的延时		
Discomfort_Pi	Peer- <i>i</i> 的非舒适度		
Capacity_Pi	综合反映 Peer- <i>i</i> 的资源状况		
BidValue_Pi	Peer- <i>i</i> 的投标的标值 3 元组		

2.1 组播树中节点对完成流转发任务能力的评估

会议室内的 Peer-*i* 在收到 Applicant 对来自源 S 的媒体流(Stream-*S*)的请求后,查看自己收到的 Stream-*S* 的码率 Receive_BitRate_Pi,按公式(1)来确定 Max_BitRate_Pi。

$$X_Pi = \frac{Receive_BitRate_Pi}{Available_Bandwidth_Pi} \tag{1}$$

当 $X_Pi > 0.8$ 时,

$$Max_BitRate_Pi = Available_Bandwidth_Pi \times 75\% \tag{2}$$

当 $X_Pi \leq 0.8$ 时,

$$Max_BitRate_Pi = Receive_BitRate_Pi \tag{3}$$

以 Max_BitRate_Pi 来估计 Task_CPU_Pi 以及 Task_Memory_Pi,根据公式(4)来计算 Peer-*i* 若担任转发任务的 Discomfort_Pi。

$$Discomfort_Pi = A \times \frac{Max_BitRate_Pi}{Available_Bandwidth_Pi} + B \times \frac{Task_CPU_Pi}{Available_CPU_Pi} + C \times \frac{Task_Memory_Pi}{Available_Memory_Pi} \tag{4}$$

$(A, B, C \in R^+)$

若以 Dmax 来表示 Discomfort_Pi 的极限,则,当 Discomfort_Pi > Dmax,或上述三项任一项的分子大于分母时,就认为 Peer-*i* 不能完成转发任务,将不参加投标。

若 Discomfort_Pi ≤ Dmax 时就返回 BidValue_Pi,其中:

$$BibValue_Pi = (Cappacity_Pi, Delay_S_Pi, Max_BitRate_Pi)$$

Capacity_Pi 计算方式如公式(5)所示,其中 $Ac, Bc, Cc \in R^+$,且 $Ac + Bc + Cc = 1$ 。

$$Cappacity_Pi = Ac \times Available_Bandwidth_Pi + Bc \times Available_CPU_Pi + Cc \times Available_Memory_Pi \tag{5}$$

由于网络状况在变化,文[2]证明流总体上的延时与它到根节点的深度成正比,即 $Delay_S_Pi = k \times Height_Pi$ 其中 *k* 为正数。

此外,本文在标书的分组(Packet)里还加入了时间戳 *t*-Pi, *t*-Pi 以 0 开始,当标书到达申请节点时 *t*-Pi 的值就是分组从 Peer-*i* 到 Applicant 的延时。为了降低网络的负载,本文规定,当 *t*-Pi 达到 T1 时, Pi 的投标书就不再被继续传送。

2.2 申请节点对投标节点的选择

Applicant 收到来自不同 Peers 的 BidValue 三元组,按公式(6)确定投标节点的等级,并最后选择等级最高的节点作为父节点。

$$Level(Pi) = \alpha \times Cappacity_Pi + \beta \times Max_BitRate_Pi + \frac{\gamma}{Delay_Pi} \tag{6}$$

其中, $Belay_Pi = Delay_S_Pi + t_Pi, \alpha, \beta, \gamma \in R^+$, 且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$

3 节点媒体流申请过程

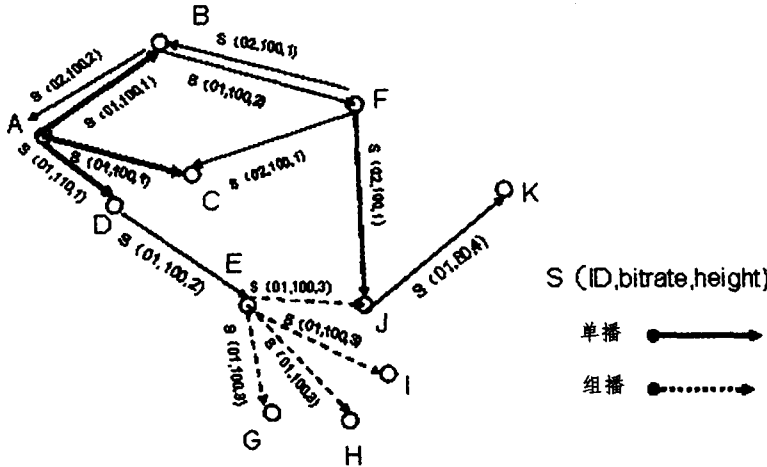


图 2 节点 S 的发送流的拓扑图

尽管目前的网络设备都支持组播技术,但大多数互联网运营商并不支持跨网段之间的IP层组播。为了最大程度地发挥网络设备的性能和降低节点的负载,本文媒体流的传输和交互方案,对局域网内节点之间的交互采用IP层组播^[2],对不同子网间节点的交互使用IP层单播的应用层组播^[5](如图2)。在图2中每个媒体流以 $S(ID, \text{bitrate}, \text{height})$ 来表示,

其中ID为从管理服务器里得到的媒体流S的ID,bitrate为媒体流的码率,height媒体流的接收者在S流拓扑图中的深度。考虑到在会议中可能会有多个媒体流,当组播树中某节点应用层组播的子节点个数达到设定值时(典型值为5)就认为饱和,不再接收新的子节点,但可以对本地节点进行IP层组播。

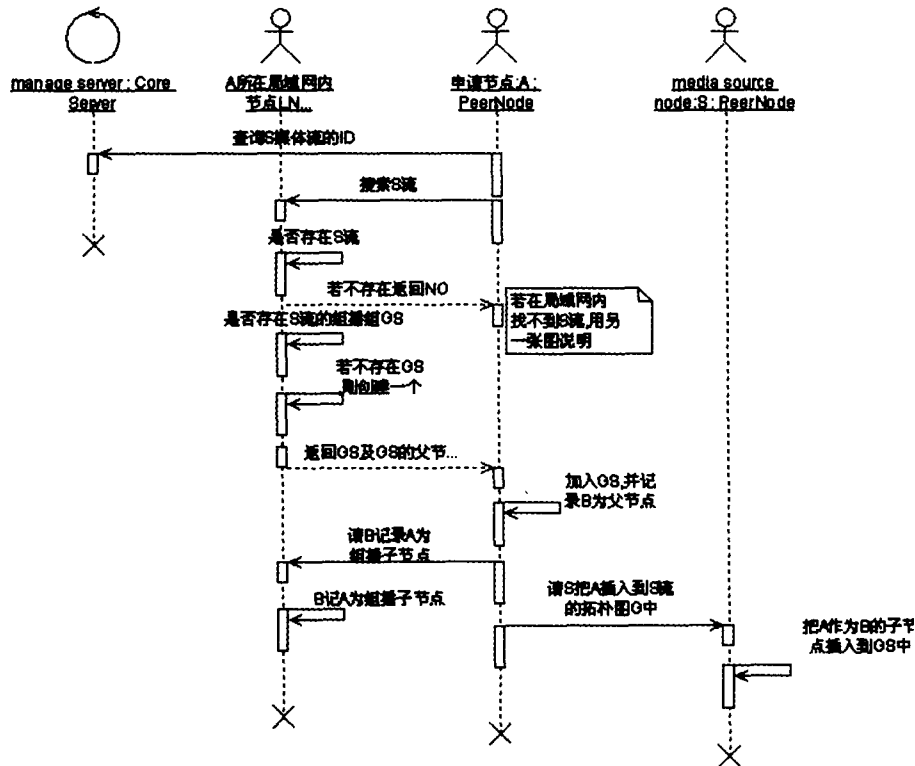


图3 节点局域网内申请媒体流的过程

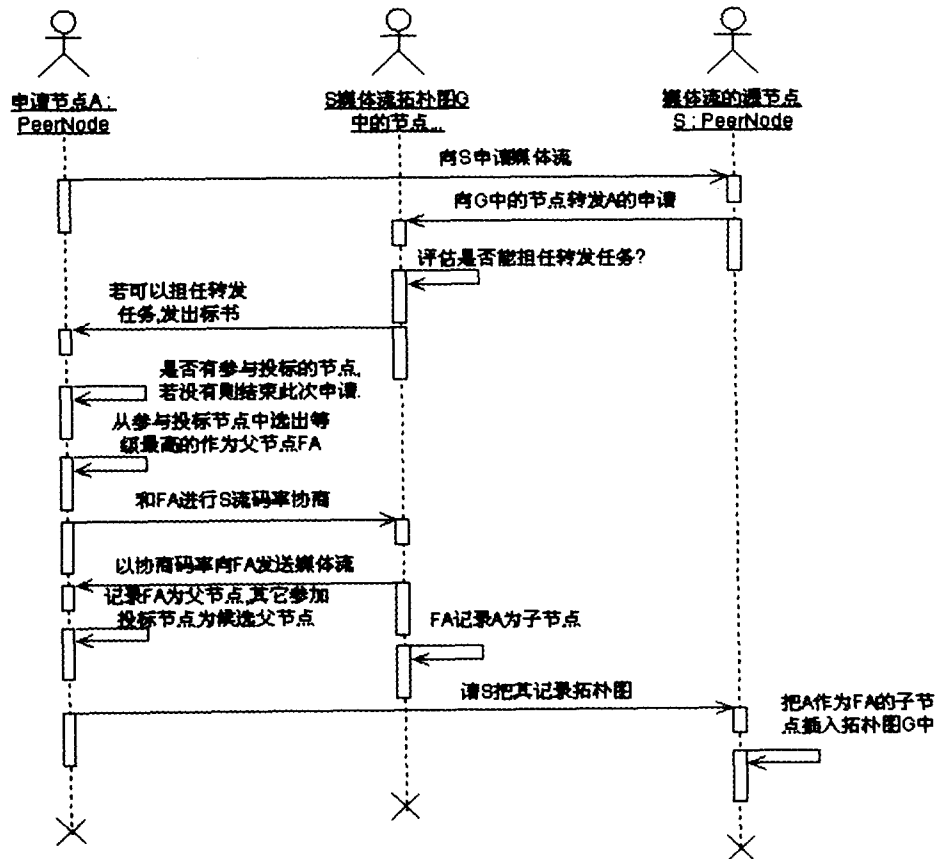


图4 节点在区域网外申请媒体流的过程

Applicant 申请媒体流时,首先通过管理服务器得知某用户提供媒体流 S 的 ID,检查是否已有本地节点正在接收 S 媒体流,有两种情况:

(1)Applicant 首先在局域网内广播查找 S 流(如图 3)。若 LN 为第一个接收媒体流 S 的节点,则 LN 查看是否有 S 流的组播组 Gs,若没有则创建一个组播组 Gs,并把 Gs 返回给 Applicant,Applicant 加入 Gs,就可得到 S 流。若因 Applicant 的加入,此时 LN 的节点已饱和或 Applicant 加入后 LN 节点发送到子节点的媒体流的质量变差,就请某些单播子节点寻找新的父节点。

(2)Applicant 没有在局域网内查找到 S 流,就向 S 节点发出申请(如图 4)。S 节点收到 Applicant 的请求后,就把请求发给其组播树中的子孙节点。S 的子孙节点收到申请后,若它还未饱和,还能完成转发任务,就向 Applicant 投标。Applicant 收到标书后,就综合评定投标节点的等级,并对此排序,选出等级最高的节点作为父节点 FA,并保存其它等级较高的投标节点为候选父节点。父子节点就 S 流的码率协商,Applicant 收到 FA 发来的媒体流后,申请结束。

Applicant 申请媒体流成功后,媒体流会源源不断地从父节点那里传来^[2]。父子节点要记录父子关系。Applicant 要请媒体流源节点 S 把它插入到 S 流组播树拓扑图中,此后,也会定期地从邻居节点那里搜索候选父节点。

4 节点退出时媒体流组播树的维护

由于 P2P 视频会议系统中每个节点还可能担任着服务任务,当某节点退出时,该节点的子节点需要寻找新的父节点,退出节点的父节点会终止向退出节点发出媒体流,流的源节点要更新流的拓扑图,否则会影响会议的召开。流的源节点退出时,那么接收 S 流的组播树中各节点将自动释放 S 流的传播链路。本文所讨论的节点退出指非源节点退出,节点的退出分为主动退出和意外退出。主动退出是指节点退出前先通知会议中与其有服务关系的成员,并等它们做出相应处理后才退出媒体流传输链路。节点意外退出是指节点在没有任何征兆地离开媒体流传输链路,会议中的与其相关的节点不得不利用网络中的冗余信息恢复流的传输链路。维护处理核心算法是退出节点子节点的父节点的选取,分别给出两种情况的组播树的维护算法。

组播强节点的选取。当局域网内担当组播任务的节点退出会议时,退出节点的组播孩子节点将选出能力最强的节点作为退出节点的替代节点。节点的能力按公式(5)进行评估。

(1)节点主动退出。节点主动退出媒体流,其过程如下:

① 检查自己是否是所有流的叶子节点,若是则转(4);通知所有孩子节点“准备退出某 S 的媒体流传输链路”;

② 单播孩子节点通过招标——投标的方法从候选父节点那里选出新父节点,组播孩子节点选出的强节点替换退出节点,向原来所在的组播组传送媒体流。

③ 当退出节点的孩子节点找到新的父节点时,会通知退出节点解除父子关系,通知媒体流的源节点 S,源节点更新各子节点在拓扑图中的位置。

④ 当退出节点发现已没有孩子节点时,就请父节点解除父子关系,然后通知所接收流的源节点 S 删除其拓扑图中的节点。最后,退出媒体流 S 的传输链路。

(2)节点意外退出。当一个节点 Ac 不能从其父节点 A 收到媒体流时,同时也没有收到任何通知,就可以认为 A 已

经失效或称已退出媒体流的组播树。为了维护媒体流的通畅,Ac 需要重新寻找父节点,并告知其孩子节点“其父节点失效,请稍等”。

与失效节点相关节点采取的处理方法大致同节点主动退出时。不同点:(1)组播节点中的强节点的父节点要通过招标选取。(2)当失效节点的父节点发现其长时间未发出 RTCP 控制信息了,就认为其已失效,他要向源节点 S 和会议室回报“其子节点已退出”。

会议中的用户会定时地向管理服务器发出心跳消息,当其停止发出消息时就认为其已经失效,将置该用户为离线,并通知其参加的会议室删除该节点。

5 算法对比实验及分析

为了模拟真实的应用环境,实验 Peer 节点分布在郑州大学校园网三个校区内的不同实验室内,仅在同一实验室内的计算机间支持 IP 组播,不同实验室间的视频传输采用单播或应用层组播。MyJXTA 是目前可以得到的开放源码的基于 P2P 思想的视频会议系统,该系统遵循 JXTA 协议,目前该系统可以进行文字聊天、文件共享、一对一的音视频。图 5、图 6、图 7 分别为本文算法和 MyJXTA 系统在上述相同的网络环境下的对比实验结果。图 5 表明,本文算法使参加会议者所需的系统登录时间由原来的 3 秒钟以上缩短在 1 秒以内完成;图 6 说明本文算法使一次对话成功连接的时间由 2 秒以上缩短到 2 秒以内;图 7 反映了本文算法和 MyJXTA 系统对话连接成功率对比,本文算法使得用户对话连接的成功率由原来的 40% 提高到 90% 以上。

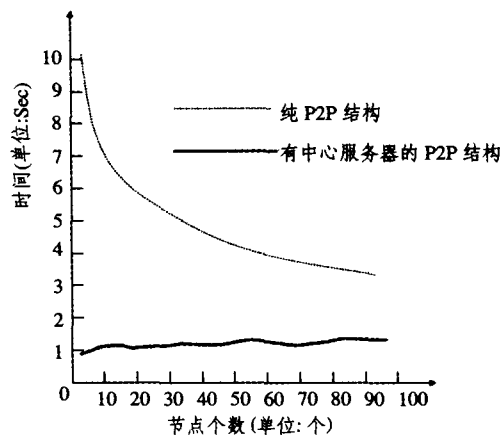


图5 登录系统所需要时间

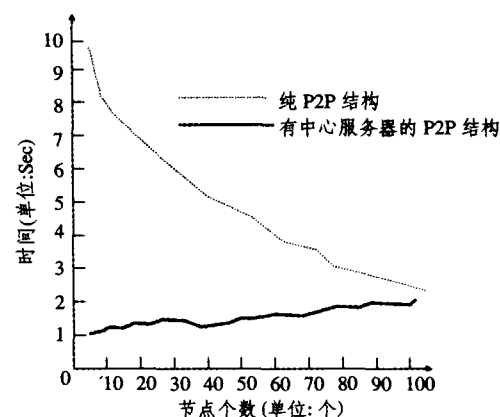


图6 一次对话连接所需的时间

(下转第 201 页)

表2 各测试函数的收敛成功率、平均最优解和目标函数平均计算次数

函数	维数	成功率				平均最优适应值				目标函数平均计算次数			
		PSOALS	CPSO	LDW	SPSO	PSOALS	CPSO	LDW	SPSO	PSOALS	CPSO	LDW	SPSO
Sphere	2	1	1	1	1	5.0326e-8	5.2274e-8	5.5687e-8	5.1439e-8	3745.2	2363.1	7543.2	2085.7
Rosenbrock	2	1	1	0.17	0.99	3.4354e-8	5.4289e-8	1.4027	6.2413e-8	12626.6	7234.2	14697	7937.8
Rastrigin	2	1	1	0.96	1	5.1248e-8	5.0243e-8	0.049789	4.8429e-8	4357.5	2876.3	9014.1	2720.3
Griewank	2	0.76	0.81	0.43	0.65	1.5031e-3	1.1285e-3	4.7131e-3	2.6257e-3	15867.4	8395.4	13637.2	9466.3
Sphere	10	1	1	0.78	1	8.0052e-8	8.4394e-8	1.4602e-7	8.1946e-8	9415.3	5848.6	14745.1	10524.7
Rosenbrock	10	0.91	0.88	0.58	0.67	16.0814	15.419	145.98	75.526	7579.2	4967.4	13778	9589
Rastrigin	10	0.97	0.94	0.63	0.90	9.5042	9.6478	11.104	9.7112	8359.7	5517.3	13786	8412.9
Griewank	10	0.82	0.07	0.45	0.63	0.09461	198.67	0.1497	0.1241	12443.2	14551	14306	11109.7
Sphere	30	1	0.52	0	0	9.2182e-5	0.13404	215.97	41.725	14295.2	13134	15000	15000
Rosenbrock	30	0.86	0.57	0	0	105.02	3791.7	56709	15799	14124.7	11183	15000	15000
Rastrigin	30	0.97	0.93	0.09	0.31	98.412	99.359	149.86	131.64	8051.3	6151	14898	14223
Griewank	30	0.96	0.86	0	0	0.09658	0.1497	2.7319	1.4109	11214.3	8613.2	15000	15000

结论 本文提出了一种新的粒子群和自适应局部搜索相结合的混合优化算法 PSOALS,该算法利用 PSO 的全局优化能力寻找最优解的大致位置,在迭代过程中,间隔性地引入能根据当前种群的搜索状态自适应调整邻域大小的局部搜索,加强了粒子的局部搜索能力。实验结果表明,与传统 PSO 算法相比较,PSOALS 的性能是有效可靠的,尤其在高维函数上明显优于其它方法。

参考文献

- 1 Van Den Bergh F, Engelbrecht A P. Training Product Unit Networks Using Cooperative Particle Swarm Optimizers[A]. In: Proceedings of the third Genetic and Evolutionary Computation Conference[C], San Francisco, USA, 2001. 126~131
- 2 Clerc M, Kennedy J. The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(1): 58~73
- 3 杨维,李歧强. 粒子群算法综述[J]. 中国工程科学, 2004, 6(5): 87~92
- 4 Shi Y H, Eberhart R C. A modified particle swarm optimizer[A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation[C], Piscataway, NJ, IEEE Press, 1998. 69~73
- 5 Shi Y H, Eberhart R C. Empirical study of particle swarm optimization[A]. In: Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation[C], Piscataway, NJ, IEEE Service Center, 1999. 1945~1950
- 6 Clerc M. The swarm and the queen: towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization[A]. In: Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation[C], Piscataway, NJ, IEEE Press, 1999. 1951~1957
- 7 Carlisle A, Dozier G. An off-the-shelf PSO[A]. In: Proceedings of the Workshop on Particle Swarm Optimization[C], Indianapolis, 2001. 1~6
- 8 Fan Shu-Kais, Liang Yun-Chia, Zahara E. Hybrid Simplex Search and Particle Swarm Optimization for the Global Optimization of Multimodal Functions[J]. Engineering Optimization, 2004, 36(4): 401~418
- 9 曾建潮, 介婧, 崔志华. 微粒群算法[M]. 北京: 科学出版社, 2004

(上接第 137 页)

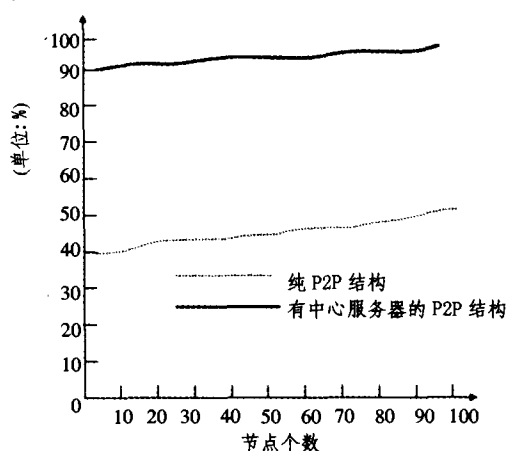


图7 对话连接成功的百分率

结论 本文主要对视频会议中媒体流组播树的生成和维护算法进行了研究。由于 P2P 网中节点的是平等的、动态的,因此在算法中引入了投标-招标机制;根据当前 Internet 的特点,对于媒体流的传输采用了局域网内 IP 层组播、不同子网间 IP 层单播的应用层组播的传输方法。此算法可以应

用在视频直播、视频监控等领域,可以减轻服务器的负担,提高系统的同时在线用户规模和服务质量。

参考文献

- 1 Castaldi M, Inverardi P, Afsharian S. A Case Study in Performance, Modifiability and Extensibility Analysis of a Telecommunication System Software Architecture. In: IEEE Proceedings MASCOT'02, October 2002
- 2 Zhang Meng, Luo Jian-Guang, Zhao Li, et al. A Peer-to-Peer Network for Live Media Streaming - Using a Push-Pull Approach. MM'05, Singapore, 2005
- 3 Deshpande H, Bawa M, Garcia-Molina H. Streaming live media over peers: [Tech. Rep.]. 2001-31, CS Dept., Stanford University, 2001
- 4 Veloso E, Almeida V, Meira W, et al. A Hierarchical Characterization of a Live Streaming Media Workload. In: Proceedings of the SIGCOMM Internet Measurement Workshop, Marseille, France, Nov. 2002
- 5 Pianese F, Keller J, Biersack E W. PULSE. A Flexible P2P Live Streaming System. In: Proc. 9th IEEE Global Internet Symposium, 2006
- 6 范圣印. 基于领域本体和智能协作的对等流媒体系统研究: [北京航空航天大学博士论文]. 2005
- 7 罗杰文. Peer to Peer (P2P) 综述. <http://www.intsci.ac.cn/users/luojw/papers/review.htm>. 2005-11-3
- 8 Flenner R, Abbott M. Java P2P 技术内幕. 人民邮电出版社, 2003