

一种基于多维节点属性层次聚类的应用层组播生成树算法*

陈华胜, 齐 勇, 李伟华

(西北工业大学 计算机学院, 西安 710072)

摘 要: 为提高应用层组播生成树的稳定性和效率, 提出一种基于多维节点属性层次聚类应用层组播生成树算法。针对应用多维属性定义节点稳定性存在的困难, 算法根据节点多维属性计算稳定性相似度, 按相似度阈值进行层次聚类, 建立分层结构, 并在分层结构的基础上通过最小生成树算法提高组播生成树效率。实验模拟表明, 算法能有效改善组播树的非稳态结构, 同时也能保证通信性能。

关键词: 应用层组播; 稳定性; 层次聚类; 生成树

中图分类号: TP301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)12-4688-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.074

Hierarchical clustering multi-dimension host properties based application layer multicast spanning tree construction algorithm

CHEN Hua-sheng, QI Yong, LI Wei-hua

(School of Computer Science & Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Constructing a stable and efficient spanning tree is important to application layer multicast. This paper provided a spanning tree construction algorithm based on hierarchical clustering multi-dimension host properties. Because stability was hard to define, the algorithm calculated multi-dimension properties similarity to describe stability instead of directly definition, and constructed a hierarchical structure with similarity threshold, and applied a minimum spanning tree algorithm on the hierarchical structure to enhance tree efficiency. The simulation shows that the algorithm can obviously improve spanning tree stability and efficiency.

Key words: application layer multicast (ALM); stability; hierarchical clustering; spanning tree

0 引言

近年来,应用层组播(ALM)技术作为传统IP组播技术的有效替代技术,而成为研究热点。应用层组播的主要目标是在所覆盖网络环境中构造、维护一个高效的组播树。但由于主机节点自身的动态性,组播树上游节点由于离开或者失效导致下游子孙节点组播数据接收过程中断,子孙节点需要重新加入到组播树中,这种现象会引起应用层组播树稳定性问题,严重影响了数据传输的实时性。

提高应用层组播树稳定性的一个重要途径是减少节点失效影响范围,可以利用节点属性统计特征实现^[1]。文献[2]根据符合幂律分布(power-law distributed)的节点生存期分布具有重尾特性,设计生存期时间指数模型,通过提升生存时间长的节点所在组播树层次从而达到提高稳定性目的。文献[3]提出在新节点加入时,向聚合点发布其期望的组播会话中的时间(membership duration),聚合点可以据此计算并为它建立候选父亲节点列表,如此,当父亲节点离开时可以快速从列表中选择候选父亲节点,避免节点离开影响子孙节点。文献[4]研

究子节点与祖先节点平均交换间隔对组播树的影响,认为父节点选择算法决定了覆盖网的稳定性,并通过辅助机制减少祖先节点变化可提高组播树稳定性。

现有的研究大多基于单维节点属性,而实际应用中影响组播树节点行为属性是多维的,但利用多维节点属性研究组播树稳定性存在困难。这是因为多维节点属性具有不同的概率分布,如节点生存期可能满足对数正态分布^[2],节点离开概率可能满足泊松分布^[2]等,用多维节点属性难以明确地描述稳定性^[5]。

针对应用节点多维属性改善应用层组播生成树稳定性和效率存在的问题,本文用图论方法设计出一种多维节点属性的层次聚类生成树算法。算法核心思想是:a)建立生成树分层结构,选出具有最优多维属性的节点作为初始参考节点,利用加权欧几里德距离计算节点间的属性相似度聚合分簇,根据相似度阈值实现分层结构;b)在分层结构基础上利用Prim算法进行簇间及簇内节点连接。

在组播树的生成过程中,综合评价多维节点属性并用于改善组播树结构,在生成树算法中采用分层结构,而组播树上游

收稿日期: 2012-04-08; **修回日期:** 2012-05-21 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61003129); 部委预研基金资助项目

作者简介: 陈华胜(1981-),男,广西北海人,助理研究员,博士研究生,主要研究方向为智能决策支持系统、多媒体通信技术(xiaochenh@hotmail.com); 齐勇(1982-),男,山东人,博士,主要研究方向为机器学习与智能数据处理; 李伟华(1951-),男,湖北人,教授,博导,主要研究方向为人工智能技术、多媒体通信技术、网络安全技术等。

节点稳定性高,有效降低了高层节点失效概率,提高了树的稳定性。在保证树稳定性前提下,利用最小路径算法使通信代价最小,并保证树的通信效率。

1 问题描述

应用层组播覆盖网络可以描述为无向权图 $G(V, E)$ 。其中, V 为网络节点集合, $E \subset V \times V$ 是节点间点到点的边集合, 对于任意一条物理链路 $\langle u, v \rangle \in E, w(u, v): E \rightarrow R^+$ 表示边权值函数。由图 G 生成的组播树为 $T = (V, E_t), E_t \subseteq E$ 。 $\deg(u)$ 表示节点 u 直接连接的子节点 v_i 的数目, $\deg(u) = |\{v_i: (u, v_i) \in E_t\}|$ 。

如果节点 u 离开, 将会影响它的子节点 $\{u: (v, u) \in E_t\}$, 设 $\rho(u)$ 为节点失效概率, 在组播期间中因节点失效受影响的节点数总和记为 $E(T)$, 组播源到各节点通信代价记为 $W(T)$ 。

提高组播源 $s \in V$ 为根的应用层组播生成树 T 的稳定性和效率可以通过下面目标优化:

$$\begin{cases} E(T) = \min \sum_{v \in V} \rho(v) |\{u: (v, u) \in E_t\}| \\ W(T) = \min \sum_{(u, v) \in T} w(u, v) \end{cases} \quad (1)$$

2 基于多维属性层次聚类生成树算法

主机节点具有多维属性, 因此对节点的稳定性很难用属性直接描述, 但是可以通过聚类方法获取节点属性相似度, 用图论的方法来解决聚类问题是一种有效方法。本文定义节点多维属性为对象集, 节点属性相似度为边权值, 用层次聚类方法按相似度阈值建立节点稳定性分层结构, 最后利用 Prim 算法, 以 w 为边权值连接分层结构的所有节点, 生成组播树。

2.1 基本定义

定义 1 多维节点属性。 $X = \{w_1 x_1, w_2 x_2, \dots, w_n x_n\}$, 分量 x_i 代表节点相关稳定属性分量, 分量 w_i 表示 x_i 的权重或者优先级, 通过改变 w_i 的大小, 调整节点属性对稳定性的影响程度。

定义 2 节点属性相似度是一种距离关系, 记做 $d(u, v) = |X_u - X_v|$, 描述节点 u 和节点 v 间 X 属性值相似程度的评估。

d 的计算方式很大程度上取决于分量的数据类型。如果所有的分量均为连续的区间标度变量, 可以依据分量 x_i 和权重 w_i 使用加权的欧几里德距离计算:

$$d(u, v) = \sqrt{w_1 |x_{u1} - x_{v1}|^2 + \dots + w_n |x_{un} - x_{vn}|^2} \quad (2)$$

定义 3 多维节点属性层次聚类问题。 设 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 是节点集, V 中的每个元素 v_i 由属性 X 来描述。层记为 L_i ($i \geq 0$), L_i 层中的第 n 个簇记为 $C_n^{L_i}$, 簇大小记为 m , 节点边权值为相似度 d , 设定相似度阈值为 e 。把节点 V 按 X 进行层次聚类过程是以具有最优 X 属性的 v_0 为初始节点, $v_0 \in L_0, v_0$ 首先根据 e 选出 L_1 层候选节点, 如果候选节点数大于 m 则选择前 m 个, 如果小于等于 m 则全部选择, 如此聚合分簇形成 L_1 层, 依此类推 L_{i+1} 层节点由 L_i 层节点生成, 经层次聚类后, 得到层数为 l 的分层结构。由聚类过程可知:

$$d\left(\frac{u}{u \in L_i}, \frac{v}{v \in L_j}\right) = e^{i-j} \quad i \neq j \quad (3)$$

$$|V| = m^l, l = O(\log_m |V|) \quad (4)$$

2.2 多维属性分层算法

首先把节点属性按权重大小排序, 通过加权求和选出具有最优多维属性初始节点 v_0 , 以初始节点为参考节点, 设定相似度阈值为 e , 簇大小为 m , 通过层次聚类, 生成分层结构。

算法 1 多维属性分层算法

a) $V' = V, C_1^{L_0} = v_0, L'_i = \emptyset, L'_0 = C_1^{L_0}$

b) for $i = 1$ to $\log_m |V|$ do

c) 以 L_{i-1} 层节点为簇首, 选择 $n = m^i$ 个节点, 以 e 为阈值, 形成 m 个 $C_k^{L_i} (1 \leq k \leq m)$;

d) $L_i \leftarrow C_1^{L_i}, \dots, C_m^{L_i}$, 在 V' 中删除 $v \in L_i$;

e) end for

描述: 步骤 a) 初始化工作, 复制节点集合 V 到 V' , v_0 为 V 中属性最优的节点, 初始化缓存 $L'_i, v_0 \in C_1^{L_0} \in L_0$; 步骤 b) ~ e) 为生成 L'_i 分层结构过程。算法过程如图 1 所示。

2.3 分层结构的最小生成树算法

算法 1 建立起了基于节点属性的分层结构, 在此基础上需要进一步生成以组播源节点为根, 连接各节点边权重代价最小的组播树。在最小生成树算法中应用贪心策略是有效的^[6], 因此本文基于 Prim 算法实现生成树算法。

分层结构中有两种节点连接方式: a) 簇内节点连接, 可以通过 Prim 算法连接生成簇内最小子树; b) 簇间节点连接, 簇间连接是通过连接簇首节点实现的, 因此需要定义簇首选择标准。本文定义簇首节点为到簇内各节点的平均边权值 Δw 最小节点。

算法 2 分层结构的最小生成树算法

a) $T = \emptyset$ 。

b) 对于所有层 k 中的每一个簇 $C_j^{L_k} (0 \leq j \leq m)$, 找出满足 $\min \Delta w$ 节点 $u_0 \in C_j^{L_k}$ 作为簇首节点; 以 u_0 为源, 使用边权值 w 运行 Prim 算法生成子树 $T_{C_j^{L_k}}$ 。

c) 以 s 为源节点出发, 逐层连接簇 $C_j^{L_k} (0 \leq j \leq m)$ 的簇首节点, 使用边权值 w 运行 Prim 算法, $T \leftarrow T \cup T_{C_j^{L_k}}$ 。

如图 2 所示, 首先在所有分层簇内进行节点连接生成子树, 然后以组播源 s 为根, 逐层进行簇连接, 最终合并生成组播树。

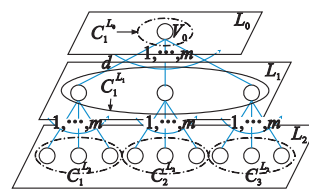


图1 层次聚类实现分层结构

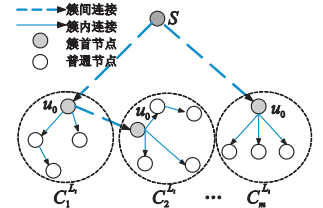


图2 分层结构的最小生成树算法

3 仿真实验

3.1 实验环境

本文使用 OverSim^[7] 来进行实验模拟。OverSim 是一个开源的覆盖网仿真框架, 它工作在 OMNET + + / OMNEST 仿真环境下, 实现了许多覆盖网络应用。NICE^[8] 是一种层次结构的应用层组播模型, 本文选择 OverSim 实现的 NICE 作为比较。

3.2 参数设定

实验中采用的网络节点数共 500 个。定义节点属性由生存时间 t 和离开概率 p 组成,生存时间 t 服从正态分布,均值为 2 300 s,范围在 200 ~ 3600 s,如图 3 所示。节点离开概率 p 使用 OverSim 提供的 Pareto 动态流失模型。设 $X = \{0.4t, 0.6p\}$, 边权值 w 设为时延参数。

3.3 实验结果分析

在不提供失效检测和恢复机制的情况下,对新算法生成的组播树在运行期间由于节点失效影响累积范围进行统计。由新算法生成的组播树由于高层节点具有较强的稳定性,因此高层节点失效概率减小。由图 4 可以看出,新算法组播树累计受影响节点所占总节点比例与 NICE 协议相比减少约 10%。

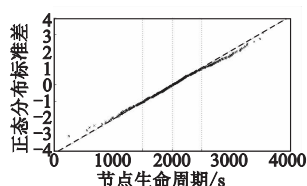


图3 500个网络节点生存时间的分布情况

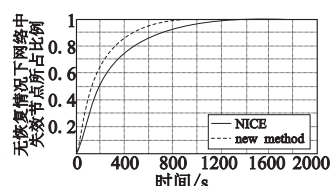


图4 累计节点失效比例对比

由于新算法采用了逐层分簇最小生成树连接方式,新算法生成组播树较 NICE 协议具有更小的加权时延总和。由图 5 所示的时域比较可以得出,在网络运行期间,新算法生成树较 NICE 协议平均时延小。

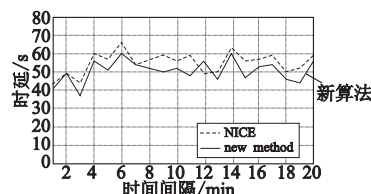


图5 平均时延的比较

4 结束语

实验结果表明:基于多维节点属性通过层次聚类应用层组播生成树算法能优化非稳态组播树结构,提高网络稳定性。仿真实验选取了生存时间和离开概率这两个节点属性,运用多维

节点属性通过层次聚类应用层组播生成树算法生成传输路径,网络稳定性提高了约 10%,明显减少了由于节点离开造成的网络时延。在未来的研究中,笔者将完善组播树的维护机制应对生成树对节点动态处理的场景,并进一步优化算法,在实际多媒体通信中进行应用推广。

参考文献:

- [1] 苏金树,曹继军,张博锋. 应用层组播稳定性提高技术综述[J]. 计算机学报,2009,32(3):576-590.
- [2] RONG Bin, KHALIL I, TARI K. Making application layer multicast reliable is feasible[C]//Proc of the 31st IEEE Conference on Local Computer Networks. 2006: 483-490.
- [3] ALKUBEILY M, BETTAHAR H, BOUABDALLAH A. A new application-level multicast technique for stable, robust and efficient overlay tree construction[J]. Computer Networks,2011,55(15): 3332-3350.
- [4] SRIPANIDKULCHAI K, GANJAM A, MAGGS B, et al. The feasibility of supporting large-scale live streaming application with dynamic application end-points[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review,2004,34(4):107-120.
- [5] 韩加伟,KAMBER M. 数据挖掘概念与技术[M]. 范明,孟小峰,译.2版.北京:机械工业出版社,2007: 251-272.
- [6] 雷蕾,张春环,纪越峰. 分层网络中用于生成树抽象的优化方法[J]. 北京邮电大学学报,2006,29(2):55-58.
- [7] BAUMGART I, HEEP B, KRAUSE S. OverSim: a flexible overlay network simulation framework[C]//Proc of IEEE Global Internet Symposium. [S. l.]: IEEE,2007: 79-84.
- [8] BANERJEE S, BHATTACHARJEE B, KOMMAREDDY C. Scalable application layer multicast[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review,2002,32(4):205-217.
- [9] RZADCA K, YONG J T T, DATTA A. Multi-objective optimization of multicast overlays for collaborative applications[J]. Computer Networks,2010,54(12): 1986-2006.
- [10] MATHY V, CANONICO R, SIMPSON S, et al. Scalable adaptive hierarchical clustering[C]//Lecture Notes in Computer Science, Vol 2345. London: Springer-Verlag,2006:1172-1177.

(上接第 4687 页)

- [4] 王毅,张毓森,刘鹏. 一种新的基于 P2P 系统的网格资源信息发现方法[J]. 计算机研究与发展,2008,45(4):725-733.
- [5] JI Peng, LUO Jun-zhou. A feedback and investigation based resource discovery and management model on computational grid[C]//Proc of the 2nd International Workshop on Grid and Cooperative Computing. Heidelberg:Springer,2004:211-214.
- [6] 蒋伟进,王璞. 基于 MAS 市场机制的动态计算资源调度模型研究[J]. 计算机研究与发展,2007,44(1):29-36.
- [7] LONG N V, WANG Sheng-zu. Resource-grabbing by status-conscious agents[J]. Journal of Development Economics,2009,89(1):39-50.
- [8] JAMALI M A J, SANI Y. Adaptive peer-to-peer resource discovery in grid computing based on reinforcement learning[C]//Proc of the 12th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing. Heidelberg:Springer,2011:191-196.
- [9] CHEN Dong, CHANG Gui-ran, ZHENG Xiu-ying, et al. A novel P2P based grid resource discovery model[J]. Journal of Computers, 2011,6(10):1390-1397.
- [10] 王伟,曾国荪. 构造基于信任机制的自组织资源拓扑[J]. 计算机研究与发展,2007,44(11):1849-1856.
- [11] MARZOLLA M, MORDACCHINI M, ORLANDO S. Resource discovery in a dynamic grid environment[C]//Proc of the 16th International Workshop on Database and Expert Systems Applications. [S. l.]: IEEE,2005:356-360.
- [12] BUYYA R, MURSHED M. GridSim: a toolkit for the modeling and simulation of distributed resource management and scheduling for grid computing[J]. Journal of Concurrency and Computation: Practice and Experience,2002,23:13-15.
- [13] KUTTEN S, PELEG D, VISHKIN U. Deterministic resource discovery in distributed network[C]//Proc of the 13th Annual ACM Symposium on Parallel Algorithms and Architectures. New York: ACM Press, 2001:77-83.