

可扩展的远程教育资源管理网格复制选址的研究

邓伟, 李季, 董晓华, 朱郑州, 吴中福

(重庆大学计算机学院, 重庆 400044)

摘要: 数据网格资源的增加、地域分布的扩大, 引起了网络性能的下降及传输的延迟, 这些问题使得动态复制算法的可扩展性变得尤为重要。而目前数据网格中的动态复制算法均不具备良好的可扩展性, 为此该文提出了基于分层管理的拓扑 HMLT 上的动态复制选址策略, 并将其应用于远程教育资源管理中。

关键词: 数据网格; 动态复制; 复制选址; 远程教育

Research on Scalable Replication of Grids for Resource Management in Remote Education

DENG Wei, LI Ji, DONG Xiaohua, ZHU Zhengzhou, WU Zhongfu

(College of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044)

【Abstract】 Data replication is considered a major technique for reducing network latency and bandwidth consumption in data grid. Whereas hardly no dynamic replication strategies has the excellent scalability which is emphasized for large-scale high-latency network, this paper gives highly scalable dynamic replication strategy based on the HMLT. Then, it shows how to realize the strategy in resource management of Chinese remote education.

【Key words】 Data grid; Dynamic replication; Replica placement; Remote education

在国家发改委的下一代互联网示范工程(CNGI)中, 建设开放式教育网络是构建终身学习体系的重要组成部分, 而配套的远程教育资源建设是其主要内容。为了向用户透明地提供一套高效的资源共享、存储管理机制, 数据网格成为实现广域教育资源库的一种最理想选择^[1]。

由于复制数据可以降低远程访问该数据的网络延迟及带宽消耗, 还可以提高网络的负载均衡、提高数据的安全性和可靠性, 因此数据复制在数据网格中十分重要。而动态数据复制就是复制的创建、删除和管理都可动态且自动地进行。相比静态数据复制, 动态复制显然更能满足远程教育中资源数据网格的需要。

复制技术广泛地应用于分布式计算、互联网、分布式数据库等领域, 而数据网格环境中复制技术的特点是: 资源的可用性、网络性能和用户访问模式不断地动态变化及高延迟。文献[5]提出了一个统一的框架对已有的复制选址算法进行了比较, 着重指出: 现有算法的可扩展性均较差, 加强此类算法的可扩展性为一重要研究方向。在远程教育中, 由于服务对象的访问模式、网络拓扑、地理跨度等千差万别, 因此加强复制选址算法的可扩展性 (scalability) 和自适应性 (adaptability) 能力也显得尤为重要。本文提出了分层管理的拓扑结构 (Hybrid Multi-layer Topology, HMLT) 来提高选址算法的可扩展性; 通过动态适应用户的访问模式来改善算法的自适应性。

1 相关工作

随着科学计算中数据产生量越来越大和数据共享的要求越来越迫切, 在数据网格中采用动态数据复制技术改善数据访问性能和提高数据可用性成为人们关注的焦点。动态复制

的核心是动态复制策略, 文献[2]综述了6种策略。而后, 文献[3]提出了将用户的请求与网络状态结合的多种动态复制单选址策略。

目前, 主要的研究项目 (如GriPhyN项目和EU DataGrid) 中采用的数据复制方法要么为静态的, 要么为Globus Toolkit提供的基于用户驱动的复制选址服务^[4]。这些复制选址方法的可扩展性都不理想, 为此, Houda等人^[5]引入一个多层带环树的拓扑, 该拓扑层与层之间通过树形拓扑连接, 兄弟结点之间相互连接形成环形拓扑; 根据地理位置、网络带宽、网络延迟等因素来决定新加结点为兄弟或子女。然后将选址问题转化为一个树形拓扑下的线性规划问题进行求解。很明显, 这种多层带环树的拓扑与我国远程教育的网络拓扑差别很大, 为此本文提出了一个适应于我国远程教育的面向数据网格复制的可扩展拓扑HMLT。

2 HMLT 体系结构

HMLT 有多层, 每层中可有多个域 (顶层只有一个域), 如图1所示。每一个域中有一个复制管理结点 (图中的实心结点), 维护该层的所有复制副本信息以及决定选址位置, 高层域管理结点应有较大的存储能力。每个域内的拓扑可以为树形或者其它的无向连通图拓扑。每层内的结点根据地理位置、网络延迟等因素形成彼此不重合的域, 域与域之间没有连接,

基金项目: 国家发改委基金资助项目“CNGI 远程教学公用通信平台系统”

作者简介: 邓伟 (1975 -), 男, 博士生、讲师, 主研方向: 网络容错; 李季, 博士、讲师; 董晓华、朱郑州, 博士生、讲师; 吴中福, 教授、博导

收稿日期: 2006-04-23 **E-mail:** wei_deng1975@yahoo.com

域内通过其域管理结点与上一层联系，域中一个结点可对应于下层中的一个域管理结点。

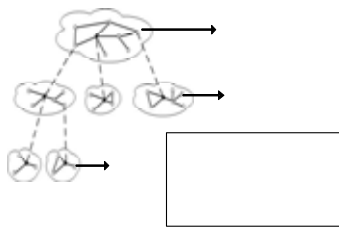


图 1 HMLT 的拓扑示意图

在 HMLT 中，域复制管理结点为一个基于 Globus 底层服务的复制中间件结构(结构如图 2 所示)，其主要任务为：

(1)复制选址模块调用复制选址算法来确定复制选址数目和位置。域复制管理结点记录本层域中所有结点对不同文件的请求的历史。文献[6]研究了在数据网格下如何根据用户的历史请求来推测它们将来的请求，可据此得到域内每个结点将要请求文件的期望。当文件的总请求数超过了系统阈值，就调用复制选址算法来确定复制选址数目和位置。

(2)复制管理模块管理复制文件。包括增加、删除、查询复制文件，维护复制目录等。由于远程教育中写资源的操作发生较少且延迟写也不会引起严重后果，因此这里没有过多考虑副本更新和副本一致性问题。

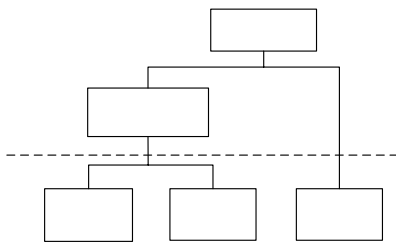


图 2 域复制管理结点中间件结构

与其它的现有拓扑相比，HMLT 拓扑有以下的优点：

(1)可以将全局的复制选址变为多个规模较小的分布式选址，这样就可以适应不同规模网格的复制选址要求，提高了复制算法的可扩展性。每个域管理结点只处理域内结点的复制选址，不参与下层域的复制选址。

(2)这种拓扑与实际的远程教育拓扑是吻合的。CNGI 项目的第一步试点将在清华、北大、上海交大、重大等 12 所高校开展。为此，这些高校将成为顶层域结点，顶层域的管理结点可以设在北京或者上海。每所高校建立自己的域管理结点，管理其域内的复制数据和信息，还可根据实际情况向下建立更多的域。对于每个域内的拓扑，HMLT 只要求连通即可，这种要求是所有的远程教育网络均可支持的，当然域内拓扑为树状将更有利于复制选址。

(3)采用该拓扑可以缓解中央处理结点的压力及减少网络负载。远程教育中存在用户访问的地理局部性(比如大部分重庆范围内的远程教育只用到重庆范围内的资源)，如采用全局的复制选址算法，系统将全局搜索用户需要的资源并复制，这样当用户比较多时，中央处理结点将不负重荷。而通过 HMLT 的分层管理，对局部访问尽量本地处理，当本地没有该资源时，才向上层提出请求。另外，由于每个域管理结点都有一定的存储能力，并存储一些常用文件和本地文件，因此这样常用文件不用异地读取，从而减少了全局的网络负载。

3 复制选址流程及算法

对于不同结点数目和延迟的网络，域复制管理结点可以根据实际的访问数据确定是否需要提供复制站点，提供单个复制站点或者多个复制站点(具体的流程如图 3 所示)。复制选址数的确定可以参见文献[7]提出的方法。

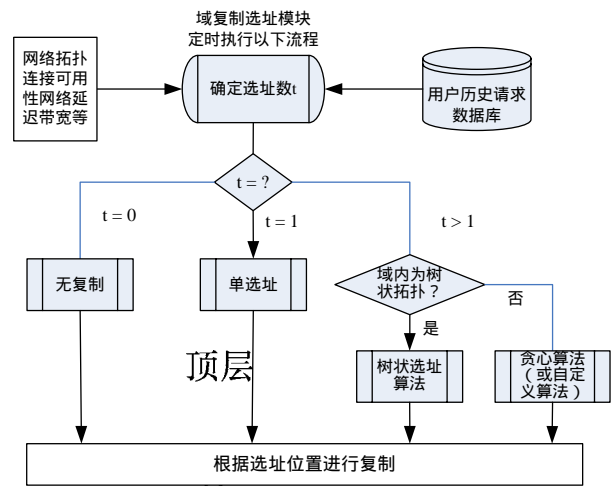


图 3 域复制管理结点的选址流程

文献[3]提出了适应用户访问模式的单选址算法，并通过了欧洲数据网格试验床(EN-DG Grid Testbed 1)仿真证明，该算法在减少网络负载和网络延迟上具有高效性。由于在远程教育中用户的访问模式变化较大(如用户在上课网络课程后大量访问资源，而平时却很少访问)，因此在这种场合可采用该算法。

对于多选址算法而言，对于不同的系统优化指标(如网络负载、网络延迟、存储开销、Qos 要求等)有不同的复制选址策略，这些策略均可表示成一个带不同约束条件的最小费用问题。如果域内的拓扑为树状，复制选址模块可以采用文献[9]提出的 $O(N^2M^3)$ 算法(其中， N 为结点总数， M 为复制结点数)，该算法可以求出最小化总网络延迟的最优解；如果拓扑不为树状，则该优化问题为NP-难问题，只能采用近似算法，我们可采用文献[10]提出的 $O(N2M)$ 贪心算法，该算法与同类算法相比具有较好的平均网络延迟。当然在不同的应用领域中对系统优化指标的侧重不同，那么可以据此采取不同的选址算法。

数据网格中用户的访问模式经常动态变化，同时鉴于网络负载和系统延迟也比较重要，本文提出了如下的动态复制策略：如果在考虑到用户的访问模式的情况下，能尽量减少网络负载并满足用户Qos将是一个更为合理的多选址策略。考虑到适应用户的行为模式，通过文献[7]的方法来选择复制站点数目 k 。用 D 表示结点 j 与复制点 i 的距离 c_{ij} 的上界， y_i 取 0 或 1，取 1 表示在结点 i 上建立复制点； x_{ij} 取 0 或 1，取 1 表示结点 j 指定到复制点 i 。则问题可描述为

在 $\sum y_i \leq k$ 且 $\forall x_{ij} x_{ij}c_{ij} \leq D$ 条件下，求 $\min(\sum x_{ij}d_{jci})$ 的选址方案。

用线性规划表示该问题为

目标 $\min(\sum x_{ij}d_{jci})$

约束 $\sum y_i \leq k; \forall x_{ij} x_{ij}c_{ij} \leq D; \forall i y_i + \sum_j x_{ij} = 1; x_{ij} = 0$ 或 $1; y_i = 0$ 或 1

该 0-1 整数线性规划问题等价于增加一个常数约束条件的 k -中心选址问题，可以采用经典的 4-近似算法^[8]，也可用如 CPLEX 等数学包进行求解。

4 结束语

在数据网格中，对复制选址算法而言可扩展性是一个很重要的指标，而目前已有的复制选址算法均未较好地解决可

(下转第 169 页)