

# 基于多媒体特征的抗扰动 P2P 搜索算法

方 堃, 何锐邦, 刘 新, 叶德建

(复旦大学软件学院, 上海 201203)

**摘 要:** 基于多媒体特征的分布式文件搜索算法应用在扰动的 P2P 环境时, 因节点频繁加入、退出, 导致拓扑破坏和搜索效果大幅下降。针对上述问题, 提出能够克服网络扰动、适用于 P2P 环境的搜索算法, 该算法将分布式多媒体搜索算法与 P2P 动态更新机制集成。实验结果表明, 该算法在高强度的扰动环境下能保持稳定和高效的性能。

**关键词:** 对等网络; 相似性搜索; MPEG-7 标准

## Churned P2P Search Algorithm Based on Multimedia Characteristic

FANG Kun, HE Rui-bang, LIU Xin, YE De-jian

(Software School, Fudan University, Shanghai 201203)

**【Abstract】** Topology structure destruction and search effect decline caused by peer churning, when distributed file search algorithm based on multimedia characteristic is applied to churned P2P environment. Aiming at these problems, this paper presents an enhanced approach by integrating P2P dynamic adaptation mechanisms into the distributed scheme. Experimental results show that the approach brings remarkable performance improvements under highly dynamic P2P environment with sustained peer churning.

**【Key words】** Peer-to-Peer(P2P) network; similarity search; MPEG-7 standard

### 1 概述

基于媒体特征的文件搜索技术为用户提供了直观形象的媒体表达形式, 是未来的发展趋势, 而 P2P 网络则摆脱了中心化结构的服务器瓶颈, 为多媒体文件提供了全新的搜索方式和更广泛的应用环境。

但是目前 P2P 网络还不支持基于特征的多媒体搜索, 仍然基于文件 ID 和关键字, 原因主要有以下 2 个方面: (1) 如果使用 M-Chord 等结构化搜索技术, 则要求特征描述必须可以按语义映射到一维线性空间<sup>[1]</sup>, 在实际中很难普遍使用。(2) 如果采用非结构化搜索技术, 由于 P2P 网络的资源分散和扰动特性, 因此势必增加访问和比较特征描述的开销。

基于媒体特征的 SWIM(Small World Index Method)搜索<sup>[2]</sup>, 采用小世界理论, 使用 MPEG-7 描述媒体特征, 以局部贪婪算法替代传统的泛洪方式, 有效降低了由资源分散引起的搜索开销。然而, SWIM 算法基于分布式数据库环境而设计, 没有考虑 P2P 网络的扰动特性, 导致搜索正确率随持续的节点加入和退出而大幅下降。因此, 本文将 SWIM 算法与具有抗扰动机制的 Kademlia 算法<sup>[3]</sup>结合, 形成 SWAD(SWIM-Kademlia)算法, 为基于媒体特征的搜索算法提供一种在扰动 P2P 网络下的实现方式。

### 2 相关工作和研究动机

#### 2.1 SWIM 拓扑结构

SWIM 拓扑结构如图 1(c)所示, 节点分布在英特网中, 由 Gw(图 1(b)) 和 Gs(图 1(c)) 2 个部分组成。Gs 用来为拥有相似文件的节点建立连接, Gw 则用来保证网络连通, 并使文件相似度较低的节点之间也存在跳数较少的连接。SWIM 搜索算法容错性能好, 中断链路数量的增加不会导致系统崩溃, 而仅仅出现整体性能的平滑下降<sup>[2]</sup>。在分布式数据库环境中,

参与系统的节点相对固定, 性能的下降可以随链路或节点的修复而恢复。而在扰动 P2P 环境中, 节点退出与加入导致网络中无效连接的持续增加以及拓扑结构的破坏。针对这种扰动环境, SWIM 并没有给出相应的解决方案。

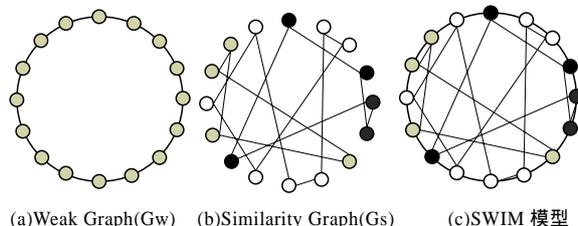


图 1 SWIM 算法的 P2P 拓扑模型

#### 2.2 Kademlia 算法

Kademlia 是一种支持 ID 查询的 DHT(分布式哈希表)搜索算法。文件和节点都有唯一的 ID, 处于相同的度量空间。文件的索引信息(包含存储文件拷贝的节点 IP)被保存在距离 ID 最近的  $K$  个节点上, 称为  $K$ -Roots。该算法通过每小时重新发布一次索引信息的方法来保证  $K$ -Roots 始终有足够高的可用概率。这种索引节点冗余机制和定时更新机制都是对抗网络扰动的有效策略, 值得借鉴。

### 3 基于媒体特征的抗扰动 P2P 搜索算法

本文将 Kademlia 的索引节点冗余和定时更新机制引入 SWIM 算法, 重新构造 Gw 和 Gs 网络, 提出适用于 P2P 扰动的基于媒体特征搜索算法 SWAD。

**作者简介:** 方 堃(1983 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 对等网络, 网络多媒体; 何锐邦, 硕士研究生; 刘 新, 讲师、博士; 叶德建, 副教授、博士

**收稿日期:** 2009-12-11 **E-mail:** 062053034@fudan.edu.cn

SWIM 的连接建立在 2 个节点之间, 易受网络扰动影响而失效。SWAD 建立基于文件的抽象层, 由  $K$ -Roots 代表文件, 将连接建立在 2 个文件的  $K$ -Roots 之间, 通过交换  $K$ -Roots IP 地址更新信息的方法来维持连接、抵抗扰动。

在 SWAD 网络中, 每个文件(在  $K$ -Roots 上)维护了常数个指向相似文件( $K$ -Roots)的连接, 形成了  $G_s$  网络。同时网络中的所有文件( $K$ -Roots), 根据 ID 值排列组成一个环型拓扑, 称为 SWAD 的  $G_w$  网络。

文件之间连接的维护采用“预约-通知”的方法。每个文件向它的邻居文件注册自己的  $K$ -Roots 地址。当连接双方任何一个文件的  $K$ -Roots 地址被更新时, 都会触发  $K$ -Roots 交换。这样当冗余度  $K$  设为 20 时, 在 1 h 有一半节点失效的扰动强度下,  $K$  个索引节点至少有一个存活概率不低于  $1-(0.5)^{20}$ 。而“预约-更新”机制确保连接双方每小时至少交换 2 次  $K$ -Roots 的 IP 地址更新信息, 保证连接不被中断。

对新发布到网络中的文件, SWAD 借助发布节点与  $K$  个索引节点之间的协商来决定该文件在  $G_w$  网络中的邻居文件。当  $K$  个索引节点上的索引文件数都不足时, 会借助一台服务器指定一个临时的邻居文件 ID。

## 4 SWAD 算法实现

### 4.1 索引文件信息的数据结构

在 SWAD 网络中, 文件的特征描述信息以及邻居文件信息都被统一保存在文件的  $K$ -Roots 上。这些信息被称为文件的索引信息, 而这些文件称为  $K$ -Roots 的索引文件。索引信息结构如图 2 所示。

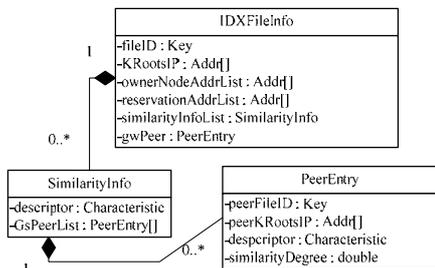


图 2 索引文件信息的数据结构

文件 ID 由密码学哈希算法生成, 同一文件的所有拷贝共用同一个 ID。除了特征描述符以外, 该结构还包括了存放文件拷贝的数据源节点、预约节点地址以及相关文件的  $K$ -Roots 地址。 $K$ -Roots 地址生命期为 1 h。

### 4.2 节点加入

节点加入过程如下: 新节点首先加入 Kademlia 网络并使用 Kademlia 的 DHT 搜索算法为本地存储的文件找到  $K$ -Roots。随后调用 SWAD 的文件发布算法(4.4 节)将文件信息发布到  $K$ -Roots 上。当所有索引节点都认为被发布文件是新文件时, 该文件被注册到服务器上。

### 4.3 相似文件的查询

SWAD 使用修改过的 SWIM 局部贪婪算法进行基于特征的媒体查询。查询之前, 首先由本地存储的索引文件信息生成一个结果集合, 如图 3 所示。

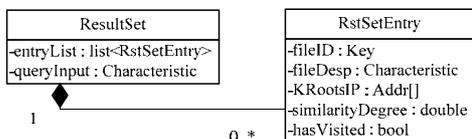


图 3 结果集合的数据结构

集合中的条目依据与查询目标的相似度排序, 查询过程为一个迭代过程。在每一跳中, 查询节点从结果集中选择一个相似度最高的未访问条目, 访问该条目  $K$ -Roots IP 中一个可以连接的节点; 该节点返回其索引文件以及邻居文件的信息; 返回的文件信息被插入到结果集中。依此迭代, 直到达到预设的跳数上限或查询到符合规定数目及相似度的文件。

### 4.4 文件发布

新节点发布本地文件或旧节点重新发布索引信息时, 都要先使用 DHT 搜索算法找到这些文件的  $K$ -Roots, 然后调用此算法将文件信息发布到  $K$ -Roots 上。算法步骤如下:

(1) 通过与  $K$ -Roots 协商或借助服务器推荐, 找到该文件的  $G_w$  邻居文件的 ID, 并搜索此邻居文件的  $K$ -Roots。

(2) 当该文件的  $G_s$  邻居文件少于预设的阈值时, 在网络中搜索其他相似文件, 将搜索结果发送给该文件的  $K$ -Roots。

(3) 为被发布文件的索引节点及其邻居文件的索引节点交换  $K$ -Roots IP 更新信息, 同时向这些邻居注册预约, 以获得  $K$ -Roots IP 的更新通知。

(4) 向预约列表中的地址通知该文件的  $K$ -Roots IP 的更新信息。

## 5 仿真结果分析

仿真选用 4 000 张图片(3 400 张来自复旦校内, 600 张取自 3 段电影片断)作为多媒体文件, 使用 MPEG-7 的实验模型参考软件<sup>[4]</sup>生成颜色结构描述符, 并使用欧几里德距离计算描述符的相似度。P2P 网络节点规模为 4 000 个, 每个节点选取 1 张图片作为本地文件。在 SWIM 和 SWAD 仿真中,  $G_s$  网络中的度都设置为 4, 即节点为每个文件维护 4 个相似文件的信息。

仿真过程如下: 4 000 个节点全部加入到网络后, 每隔 1.8 s 随机选择一个节点退出, 并立即加入一个新节点。新节点使用退出节点的本地文件, 保证网络中文件总数始终为 4 000 个。这样每隔 2 h, 网络所有节点平均退出一次, 称为一个扰动周期。共持续 5 个扰动周期, 每个扰动周期进行 5 次相似文件搜索测试, 共 25 次, 分别用 1.1~5.5 来编号。测试采用实例查询的方式, 使用同一个图片的描述符作为输入, 以 200 跳为跳数上限和查询相似度最高的 200 张图片。

查询结果与输入值的相似度按照由大到小排列, 绘制成 25 条曲线, 分别对应图 4 和图 5 的仿真结果, 图中的曲线是 200 个查询结果按照搜索相关度由高到低排列而得到。为避免数据偏差, 每条曲线都由 1 000 次查询所得到的曲线求均值而合成, 这 1 000 次查询分别由随机选择的 1 000 个节点完成。SWIM 在节点全部加入后, 随扰动的持续性能迅速下降。从曲线 2.3 开始, 90% 以上的搜索结果平均相似度低于 40%, 而 SWAD 则保持着稳定的搜索准确率, 相似度维持在 100%~80% 之间, 各条曲线几乎重合, 表现出非常好的抗扰动性能。

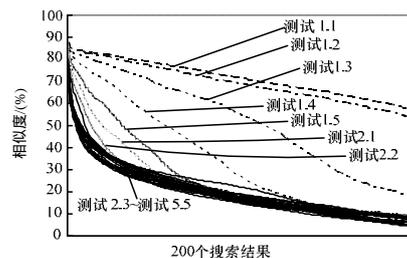


图 4 扰动环境下 SWIM 的仿真结果

(下转第 116 页)