

基于节点服务能力的自适应 P2P 模型^①

陈水平 吴开贵 (重庆大学 计算机学院 重庆 400044)

摘要: P2P 网络的节点在处理能力、存储能力、网络带宽、兴趣域等特性上存在着明显的异构性, 在早期的研究中, 这种异构性往往被忽略或者仅仅简单、单一地被考虑。综合利用节点的这些异构性, 提出基于节点服务能力的自适应 P2P 模型。模型中, 节点通过服务能力自主选择邻居进行聚类, 根据网络的需求和动态变化自适应地调整聚类的规模和节点间的连接。仿真实验结果表明, 该模型减少了网络拓扑失配和 freerider 现象, 有效地提高了网络的搜索效率。

关键词: P2P; 异构性; 服务能力; 自适应; 模型

A Self-Adaptive Peer-to-Peer Model Based on Peer's Serve Capabilities

CHEN Shui-Ping, WU Kai-Gui

(College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In a peer-to-peer network, the peer's characteristics have significant heterogeneity on the processing power, storage capacity, network bandwidth, and the domain of interest etc. In the early studies, this heterogeneity was often overlooked, or just too simple and single to be considered. Synthetic utilization of these heterogeneous peers proposes a self-adaptive P2P model based on the peer's service capabilities. In this model, the peer chooses his/her neighbors and clusters through the service capabilities, accordingly with the network's needs of a dynamic self-adaptive adjustment of cluster size and the connections between peers. The simulation results show that the model reduces the network topology mismatch and free rider phenomenon, effectively improving the search efficiency of network.

Keywords: P2P (peer-to-peer); heterogeneity; serve capabilities; self-adaptive; model

1 引言

计算机对等网(Peer-to-Peer network, P2P)技术是目前计算机网络技术研究领域的一个热点。它具有自主性、容错性、高效性等好的特点, 并在分布式计算、文件共享、电子商务等领域都得到了广泛的应用。目前的非结构化 P2P 模型, 采用随机的节点组织方式, 节点在网络拓扑中的地位完全平等, 虽然这种结构具有组织策略简单、支持复杂查询等优点, 但是完全忽略了节点的异构性, 使得查询效率低、带宽消耗大, 不利于网络的扩展, 严重影响了 P2P 网络的可用性。

大量的研究表明 P2P 网络除具有明显的动态特性

外, 节点在处理能力、存储能力、网络带宽、兴趣域等特性上往往也存在较大的异构性。本文综合考虑节点的这些异构性, 提出基于节点服务能力的自适应 P2P 模型 BSC-P2P(Based on Serves Capabilities P2P)。其主要思想是(1)根据节点的异构性定义节点的服务能力, 节点按服务能力自组织进行聚类, 并从中选出服务能力最强的节点作为超级节点管理该组。(2)按网络实际需求动态地调整和维护节点之间的连接, 自适应网络的动态变化。(3)引入超级节点备份、超级节点代理冗余机制, 减少由于它们失败造成的网络部分瘫痪的概率。

^① 基金项目:国家自然科学基金(90818028)

收稿时间:2010-01-18;收到修改稿时间:2010-03-08

本文第1节是相关研究工作,第2节给出了模型的结构及相关概念,第3节具体描述了模型的核心算法,第4节用实验对模型进行了验证,最后总结全文并提出下一步工作。

2 相关工作

不同的策略用于P2P网络的组织。文献^[1]根据节点所共享内容的异构性来组织节点的物理拓扑,内容相似的节点相互连接组成一个语义网。这种网络仅仅考虑到了节点共享内容的异构性,没有考虑到节点其它的异构性,当语义组内的节点所要查找的内容与本组不相关的时候,必须使用泛洪的方法在整个网络中搜索所需要的资源,因此网络效率不高。文献^[2]、文献^[3]根据节点兴趣的异构性来构建P2P网络,相同兴趣的节点相互连接形成兴趣组以提高网络的搜索效率。但网络没有考虑节点物理位置上的异构性,容易造成拓扑失配,给网络通信带来严重的开销。文献^[4]在利用节点兴趣异构性构建P2P网络的基础上,引入中心节点备份机制,并在搜索算法中加入缓冲池(Cache)策略,有效的提高了网络的搜索效率和成功率,但是同样也没有考虑到节点物理位置及其它的异构性。

文献^[5-7]则从节点物理位置的异构性来组织P2P网络的拓扑。文献^[5]提出了一种基于节点物理位置信息的拓扑失配解决方法LTM(Location-aware Topology Matching)。这种方法采用节点之间的通信延迟作为衡量节点位置远近的标准,根据节点间的位置远近,在保证搜索效率的前提下,P2P网络中中长距离的低效连接被逐步剔除,代之以近距离的高效连接。文献^[6]将节点物理位置上的异构性和节点共享资源的异构性结合起来考虑,通过节点的物理位置来划分区域以减少物理网络和覆盖网络的拓扑失配问题,然后在区域内按节点共享资源的异构性来组织节点以提高网络的搜索效率。文献^[7]采用分布式哈希表机制将主题相同的节点组织成主题区域,在同一主题区域内根据物理位置相近原则进行群的划分,从而在相同主题的基础之上建立拓扑匹配的语义P2P覆盖网络。

以上这些方法仅仅是简单的利用到了节点某一、两方面的异构性,没有全面考虑到节点所有的异构性,而本文提出的基于节点服务能力的自适应P2P模型,

综合利用了节点多方面的异构性,使得网络在提高搜索效率、减少拓扑失配和freerider节点等方面都有了明显的改善。

3 BSC-P2P模型的结构

3.1 模型的基本概念

定义1. 服务组。服务组是由超级节点和普通节点组成的自治系统,根据节点的服务能力自组织形成。

定义2. 超级节点代理ASP(Agent Super-Peer)。超级节点代理是联系各个服务组的纽带,逻辑上位于网络最上层。

定义3. 超级节点SP(Super-Peer)。超级节点是服务组内推选的在线时间长,高性能的节点。

定义4. 普通节点OP(Ordinary-Peer)。普通节点是除了超级节点代理和超级节点之外的节点,是网络的终端用户。

定义5. 服务能力。节点I对节点J的服务能力与节点I的处理能力(P_i)、信誉度(R_i)、资源数量(N_i)、通信带宽(Cb_i)、平均在线时间(T_i)及节点I与节点J的内容相似度(S_{ij})正相关,与节点I到节点J的物理距离(D_{ij})负相关。

设七元组C_i(P_i, R_i, N_i, CB_i, T_i, S_{ij}, D_{ij})为节点I的异构性集合,对应权值为(a, b, c, d, e, f, j),则节点I对节点J的服务能力SA_{ij}为:

$$SA_{ij} = (aP_i + bR_i + cN_i + dCB_i + eT_i + fS_{ij} - jD_{ij}) \quad (1)$$

其中权值(a, b, c, d, e, f, j) ∈ (0,1),大小根据节点自身的需要由节点自己决定,并且有a + b + c + d + e + f + j = 1。

定义6. 相似度。节点I与节点J的内容相似度S_{ij}刻画了节点I所共享资源与节点J所共享资源的相似程度。相似度可以用多种函数来表示,通常采用余弦相似度函数,其计算公式为:

$$S_{ij} = \frac{\sum_k w_{ik} w_{jk}}{\sqrt{\sum_k w_{ik}^2} \cdot \sqrt{\sum_k w_{jk}^2}} \quad (2)$$

其中W_{ik}为节点I共享资源向量空间的第k个向量,W_{jk}为节点J共享资源向量空间的第k个向量。s_{ij} ∈ (0,1),S_{ij}的值越大,表明节点I与节点J所共享的资源越相似。

2.2 模型的体系结构

节点根据服务能力自组织形成服务组,并从中选出服务能力最强的节点作为超级节点管理该组,再引

入超级节点代理形成三层 P2P 网络结构,其结构如图 1 所示。第一层为代理层,第二层为超级节点层,第三层为普通节点层。代理层由数量较少超级节点代理组成,主要负责管理超级节点的加入和离开,连接其他组的超级节点代理并转发来自其他组的消息。超级节点层由超级节点组成,主要负责管理普通节点,维护普通节点的信息列表,选择备份超级节点,并为普通节点提供服务。普通节点层位于网络的最下层,由自由加入的普通节点组成,普通节点定期向超级节点发送节点状态信息并提供简单的访问服务。

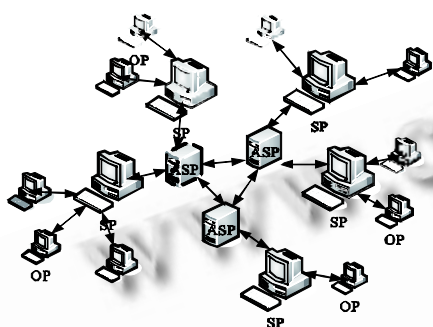


图 1 BSC-P2P 模型的结构

2.3 模型的特点

从我们的设计思想可以清楚看到 BSC-P2P 模型的特点。①BSC-P2P 模型根据节点的服务能力自组织形成网络拓扑,层次结构分明;节点的服务能力充分考虑到了节点的所有异构性,利用节点物理位置上的异构性,将物理位置相近的节点组织在一起,减少了物理网络与覆盖网络的不匹配;利用节点共享资源的异构性,将具有相同或者相似的资源的节点组织在一起,减少了资源搜索时间;考虑节点共享资源数量的异构性和信誉度,激励节点共享资源,减少了网络中 freerider 节点和恶意节点,使得网络效率更高、更为可靠。②BSC-P2P 模型引入了超级节点备份机制和超级节点代理冗余机制,备份超级节点实时更新该组的普通节点列表信息,当超级节点或者超级节点代理失效时,该机制能够迅速的发挥作用,使得部分瘫痪的网络能够很快的恢复工作。③BSC-P2P 模型根据节点的服务能力自组织网络的拓扑,自动形成服务组,节点根据自己和网络的需要,自适应的调整节点的连接,控制服务组的规模,使得网络的管理机制更为简单。

3 BSC-P2P模型的核心算法

P2P 网络具有明显的动态性,节点可以自由加入或者退出网络,并根据自身的需要进行资源查询,下面就节点的这些行为进行描述。

3.1 节点加入算法

当一个新的节点 P 要加入网络时,首先生成一个 XML 节点广告,其中包含了节点的属性集合。以泛洪的方式在网络里广播该广告,发现该广告的节点尝试通过该节点的属性集合先计算与自己的距离和内容相似度,然后利用公式(1)计算该节点服务能力,如果该能力值大于自己所设定的连接门限值,则存储该广告并向节点 P 发送一个 ping 消息, ping 消息包含了自己的邻居列表和服务能力值,同一时间内如果节点 P 收到多个 ping 消息则选择一个服务能力值最高的节点进行连接,并向该节点发送一个连接消息,收到连接消息后节点更新自己的邻居列表信息,并通知该组的超级节点更新自己的普通节点列表信息,则节点 P 以普通节点的身份加入网络成功。如果该能力值小于自己所设定的门限值,则丢弃该广告。如果节点 P 在一定的时间内没有收到 ping 消息,就认为网络中没有能为自己提供高质量服务的组,节点 P 则负责组建一个新的组,将自己作为该组的超级节点,并通知区域内超级节点代理更改自己的超级节点列表信息,则节点 P 以超级节点的身份加入网络成功。节点加入算法描述如下:

Let A represent the set of group

A_i represent the peer of receive the XML in A group

Let P represent the new join peer

P sent a XML advertisement to network

while (1)

{

count D_{ij}

count S_{ij}

count S_{aij}

if ($> \text{threshold}$)

{

save broadcast

send ping to P

if (receive connect message == 1)

add p to neighbor

```

else discard
}end if
if(time > limit)
break
}end if
if (receive connect ping == 0)
{
create new group; set P as super peer; send ping
to neighbor;
}end if
end if

```

3.2 节点退出算法

节点的退出按其网络中的角色可以分为普通节点的退出和超级节点的退出,按方式可以分为正常退出和非正常退出。首先描述普通节点的退出,普通节点正常退出时它向其所属的超级节点及邻居节点发送退出请求,超级节点与邻居节点收到请求后断开与该普通节点连接并更新自己的列表信息,普通节点则完成正常退出。普通节点由于自身或者网络的原因非正常退出时,超级节点则需要通过心跳技术定期检测普通节点的错误,及时发现普通节点的非正常退出,更新列表信息,完成普通节点的非正常退出。

超级节点正常退出时,它首先通知其备份超级节点,等备份级节点替代自己正常工作以后,再通知其所属的超级节点代理更新其列表信息,断开其连接,完成其正常退出。如果系统检测到超级节点非正常退出,则系统通知该服务组的备份超级节点取代其位置,完成其非正常退出。节点正常退出算法描述如下:

```

Let A represent the set of group
if(SP= =1)
{
send a message to standby super peer
SP_new=standby super peer
Connect(SP_new, ASP)
disconnect(SP_old, ASP)
}
Else
if(OP= =1)
{
send a message to super peer
disconnect(OP, SP)

```

```

}end if
end if

```

3.3 服务组规模的自适应算法

服务组的划分是为了便于对网络规模的控制和管理,以较小的代价实现网络服务资源的快速定位和资源的全面共享。有效的控制服务组的规模能够提高网络的性能,平衡超级节点负载。如果某个服务组内节点数过多,组内超级节点负载将会增加,网络的可用性就会降低。假定服务组内节点数量最大为 m ,当节点数超过这个值时,超级节点就增大自己的连接门限值,断开服务能力值小于该新门限值的节点,将服务组进行分裂,相反当服务组内节点数量小于给定的最小值 n 时,超级节点则减小连接门限值,将服务组进行合并,并重新组织组内的节点。其算法描述如下:

```

Let A represent the set of group
Let |A| represent the number of group
if (|A|>m) then
{
SP_old=SP
SP_new=SP_candidate
connect (SP_old, SP_new)
increase threshold value
C=new threshold value
if(SA<C)
{
disconnect(OP, SP_old)
connect(OP, SP_new)
}end if
}end if
Else
if(|A|<n) then
{
SP_new=SP
disconnect(SP_old, ASP)
connect(SP_new, ASP)
decrease threshold value
C=new threshold value
if(SA>C)
{
disconnect(OP, SP_old)
connect(OP, SP_new)

```

```

}end if

```

```

}end if

```

3.4 资源搜索算法

BSC-P2P 模型的搜索算法结合了基于索引的搜索算法与泛洪搜索算法的优点,保证了模型的搜索效率。当服务组内普通节点需要查找某个资源时,它首先发送查询请求到自己所属的超级节点,超级节点收到该请求以后,搜索其普通节点信息列表,如果发现了请求节点所需要的资源,则将该节点的位置信息发送给请求节点,请求节点收到消息后,直接与该资源节点建立连接下载资源。如果超级节点在搜索普通节点信息列表时没有发现请求节点所需要的资源,超级节点就将该请求发送给其所属的超级节点代理,超级节点代理则通过泛洪的方式将请求节点的查询请求发送给其他服务组的超级节点,其他服务组的超级节点则在自己的组内查找该请求的资源。其算法描述如下:

```

Let A represent the set of group

```

```

Let Ai represent the peer of request

```

```

Ai sent a request message to super peer

```

```

if(receive message= =1)

```

```

{

```

```

search table

```

```

if(search (OP, Doc)= =1)

```

```

get(OP, Doc)

```

```

send a message to Ai

```

```

find=1

```

```

}end if

```

```

Else

```

```

if(search(OP, Doc)= =0)

```

```

{

```

```

send the request to super peer agent

```

```

for(i=0; i<TTL; i++)

```

```

flooding(OP, Doc)

```

```

if(search (OP, Doc)= =1)

```

```

get(OP, Doc)

```

```

send a message to Ai

```

```

find=1

```

```

else

```

```

find=0

```

```

}end if

```

```

end if

```

```

end if

```

4 仿真实验

4.1 实验环境

实验采用 GT-ITM(Georgia Tech Internetwork TopologyModels)拓扑生成器^[8]来生成初始网络拓扑。假定网络的初始规模为 2000 个节点,其中超级节点代理占节点总数的 1%,超级节点占节点总数的 7%,普通节点占节点总数的 92%。服务组的规模设定为 16~512 个节点,节点的连接度为 3~5,节点提供的服务资源分为体育、新闻、音乐、文学 4 类,并参考文献^[9]按照参数 $\alpha = 1.2$ 的 Zipf 分布节点的这些资源,为了简单起见,节点的资源只是一个标识符,没有内容。网络中节点的连接时延随机设定为 1ms、10ms、100ms 和 ∞ (表示节点无法连接)4 个数量级,网络状态信息更新频率为 5s。在实验过程中,节点可以自由加入或离开网络。

4.2 实验指标

我们使用查询时延,查询成功率,查全率和网络开销四个指标来评价模型的整体性能。查询时延是指成功收到查询返回消息的时间,反映了模型的资源搜索速度。查询成功率是指在单位时间内收到成功查询消息的数量与发起查询消息总数的比值,反映了模型的资源搜索效率。查全率是指单位时间内所查询到的资源数量与系统中同类资源总数的比值。反映了模型发现资源的能力。网络开销是指在单位时间内网络中查询消息、返回消息和节点连接请求消息的总数,反映了模型的总体负载情况。

4.3 实验结果分析

实验比较了 BSC-P2P 和 Gnutella 0.6^[10]在这四个方面的差异,实验结果如图 2(a)、(b)、(c)、(d)所示。在实验初期 BSC-P2P 和 Gnutella 0.6 网络拓扑都还不稳定,BSC-P2P 的节点正处于自聚的阶段,网络的性能存在一定的波动,随后 BSC-P2P 的性能逐渐优化。

图 2(a)比较了 BSC-P2P 和 Gnutella 0.6 在查询时延方面的差异,从图中我们可以看出,当 $TTL > 2$ 时,BSC-P2P 模型的查询时延要小于 Gnutella 0.6,因为我们在构建 BSC-P2P 时将节点物理位置上的异构性和共享资源种类的异构性纳入了节点服务能力的计算,从而使得覆盖网络和物理网络更匹配,具有

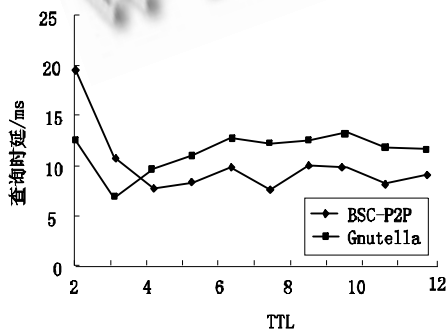
相似资源的节点能够相互连接在一起，所以查询时延明显减小。

图 2(b)显示了 BSC-P2P 和 Gnutella 0.6 在查询成功率方面的对比，从图中我们可以看出在 TTL>2 以后 BSC-P2P 的查询成功率要高于 Gnutella 0.6，这是由于 BSC-P2P 在考虑节点服务能力的时候顾及到了节点共享资源数量上的异构性，这在一定程度上激励节点多共享资源，并使得资源多的节点拥有较多的连接，将不共享资源的 Freerider 节点排斥在网络边缘，所以查询成功率得以提高。

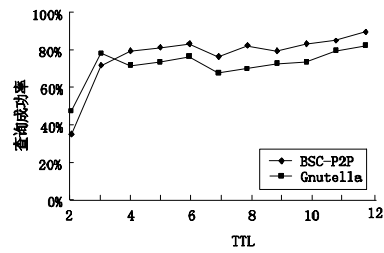
图 2(c)显示了 BSC-P2P 和 Gnutella 0.6 在查全率方面的对比，从图中可以看出 BSC-P2P 能够在较小的查询跳数下获得较高的查全率，系统发现资源的能力较 Gnutella 0.6 强，当 TTL>5 以后 BSC-P2P 获得一个较稳定的查全率，可以查询到网络 80% 的相似资源。随着查询跳数的增加，Gnutella 0.6 的查询遍及整个网络，所以其查全率逐步增加。

图 2(d)显示了 BSC-P2P 和 Gnutella 0.6 网络中消息总量的对比，BSC-P2P 由于节点的加入和离开，实时需要进行服务组的自适应分裂、合并调整，使得节点间的连接消息数量实时变化，所以系统开销呈现一定的波动性并随着查询跳数的增加呈线性增长。Gnutella 0.6 虽然引入了超级节点，但其采用泛洪的方式进行资源的搜索，在网络中发送大量的查询消息，因此随着查询跳数的增加其系统消息数量呈指数形式增长，系统开销明显大于 BSC-P2P。

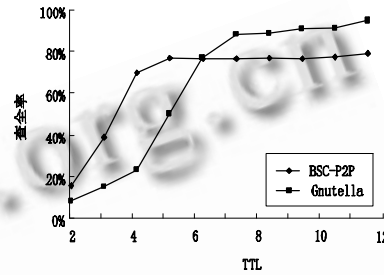
由以上实验结果分析可以看出，BSC-P2P 在查询时延、查询成功率、查全率以及系统开销方面较 Gnutella 0.6 都有了明显的改善，整个 P2P 网络的总体性能也得到了进一步的提高。



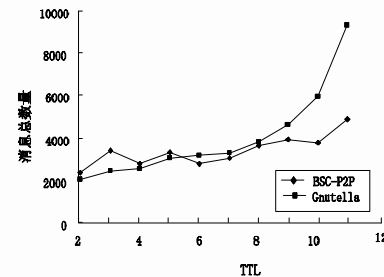
(a) 查询时延对比



(b) 查询成功率对比



(c) 查全率对比



(d) 系统开销对比

图 2 BSC-P2P 和 Gnutella 0.6 的性能对比

5 总结及未来工作

本文从充分利用节点异构性的角度出发，首先定义了节点的服务能力，随后提出基于节点服务能力的自适应 P2P 模型 BSC-P2P，并描述了 BSC-P2P 模型的基本架构和核心算法，最后通过实验验证了 BSC-P2P 的性能。提出 BSC-P2P 模型的主要目的是为了解决当前 P2P 模型中覆盖网络与物理网络不匹配，网络搜索效率不高的问题，减少网络中 freerider 节点和恶意节点，克服单一考虑节点异构性模型的局限性。从实验结果分析来看，BSC-P2P 模型较 Gnutella 0.6 在查询时延，查询成功率、查全率等方面都有了较明显的改善。当然 BSC-P2P 模型还需要进一步的完善和研究，如模型的安全问题，超级节点代理冗余度的设置问题，这些问题都将是我們下一步研究工作的重点。

参考文献

- 1 Crespo A, Garcia-Molina H. Semantic Overlay Networks for P2P Systems. Agents and Peer-to-Peer Computing, 2005,3601:1 – 13.
- 2 Sripanidkulchai K, Maggs BM, Zhang H. Efficient Content Location Using Interest-Based Locality in Peer-to-Peer Systems. IEEE INFOCOM 2003, 2003, 1:2166 – 2176.
- 3 Chen WT, Chao CH, Chiang JL. An Interested-based Architecture for Peer-to-Peer Network Systems. 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2006,707 – 712.
- 4 侯秀红,蔡道家,汪国安,等. 基于兴趣分组的 P2P 网络拓扑模型.计算机工程与应用, 2009,45(6):124 – 127.
- 5 Liu YH, Xiao L, Liu XM, et al. Location awareness in unstructured Peer-to-Peer systems. IEEE Transaction on Parallel and Distributed Systems, 2005,16(2):163 – 174.
- 6 Sun X, Li K, Liu YS, et al. SLUP: A Semantic-based and Location-aware Unstructured P2P Network. The 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications, Dalian China, 2008,288 – 295.
- 7 于婧,张建辉,顾小卓,汪斌强.基于主题和物理位置相近原则的层次化对等语义覆盖网络结构.电子与信息学报, 2008,30(8):1999 – 2003.
- 8 Zegura EW, Calvert KL, Bhattacharjee S. How to model an Internetwork. Proc of the IEEE INFOCOM'96, New York, 1996,Vol.2:594 – 602.
- 9 Huberman BA and Adamic LA. Zipf's law and the Internet. Glottometrics3, 2002,3:143 – 150.
- 10 Gnutella.[2008-02].<http://gnutella.wego.com>

www.c-s-a.org.cn