

P2P 平台的关键技术^{*})

万淑超 金蓓弘 黄宇

(中国科学院软件研究所 软件工程技术中心 北京100080)

摘要 随着 Internet 的快速发展,P2P 系统在研究领域和产品开发中备受关注。鉴于 P2P 系统的应用背景差异较大,我们将其划分为 P2P 平台层和 P2P 应用层。本文主要讨论 P2P 平台的关键技术,着重分析了定位、通信、安全、性能等方面的技术,为我们设计和实现 P2P 应用提供借鉴。

关键词 Peer-to-Peer,资源定位,通信,安全,性能

Key Technologies of P2P Platform

WAN Shu-Chao JIN Bei-Hong Huang Yu

(Software Engineering Technology Center, Institute of Software, CAS, Beijing 100080)

Abstract With the explosive development of Internet, Peer-to-Peer systems are increasingly capturing the attention of researchers and practitioners. Due to remarkable differences of P2P application backgrounds, we divide the P2P system into P2P platform layer and P2P application layer. This paper analyzes key technologies in P2P platform layer, and emphasizes on the underlying technologies such as communication, resource-locating, security and performance. It can provide guidance for the design and implementation of P2P applications.

Keywords Peer-to-Peer, Resource-locating, Communication, Security, Performance

P2P(Peer-to-Peer)计算是指不同系统之间通过直接交换,实现计算机资源和服务共享、进行信息处理的过程。这里,资源可以是处理器、缓存和磁盘空间等;服务包括信息交换、数据计算等。P2P 模式与传统客户/服务器模式的关键区别在于 Peer 与 Peer 在通信过程中,可以完全摒弃服务器的角色,通过直接通信获得共享资源或服务。

从 P2P 的发展史来看,Internet 的快速发展是 P2P 系统崛起的催化剂,在 Internet 上进行客户/服务器模式的访问,信息源分布过于集中,边缘网络的资源被闲置和浪费,而 P2P 技术的引入,使得网络中任何一个与网络相关的设备都可能为网络中的其他设备提供有效的内容服务。

一般的 P2P 系统都有强烈的应用背景,系统实现也与应用类型紧密相关。为了深入分析 P2P 系统的关键技术,我们将 P2P 系统划分为 P2P 平台层和应用层,P2P 平台包含支撑 P2P 应用所需的基础组件,例如,发现机制、通信、安全、资源集成等组件。P2P 应用层利用 P2P 平台提供的功能,向用户提供专门的服务。这种区分可界定 P2P 的关键技术,帮助我们设计和实现更多种类的 P2P 应用。

本文主要讨论 P2P 平台的关键技术,第1节描述 P2P 系统的特点,第2节概括 Peer 通信和定位的各种技术,第3节叙述 P2P 平台的安全措施,第4节讨论 P2P 平台的性能问题,最后是全文小结。

1 P2P 系统特点

在 P2P 系统中,每一个 Peer 都是平等的参与者,扮演服务使用者和服务提供者两个角色。资源的所有权和控制权被分散到网络的每一个节点中。服务使用者和服务提供者之间进行直接通信,可充分利用网络带宽从而减少网络的拥塞状况,使得资源(包括各种计算资源和存储资源)的有效利用率

大大提高。同时由于没有中央节点的集中控制,系统的伸缩性较强,也能避免单点故障,提高系统的容错性能。但由于 P2P 网络的分散性、自治性、动态性等特点,造成了某些情况下 Peer 的访问结果是不可预见的。例如,一个请求可能在转发过程中被丢弃从而得不到任何应答消息的反馈。此外,P2P 系统的匿名性等特点也可能会带来系统的安全漏洞。

P2P 系统的这些特点决定了 P2P 应用主要包括资源共享和协作。资源共享主要是文件共享系统、文件分发系统(File Distribution System)。通过 P2P 网络实现文件共享和文件分发,能够应付爆发式访问,系统具有良好的可伸缩性和可靠性。此类典型系统有 Napster^[1], Gnutella^[2], FreeNet^[3], Chord-based System, BitTorrent^[4]。P2P 协作应用的种类很多,包括即时消息系统、在线游戏、共享企业应用(在提供即时消息之外,还可共享内容和进行共同的活动如组内共同开发和编辑)、文件搜索、pub/sub 系统等。其中,即时消息系统^[5]有 AOL AIM、Yahoo Messenger、MSN Messenger、Jabber^[6,7]等;在线游戏有星际争霸、Net-Z 和 DOOM;共享企业应用有 Groove^[8]、Magi^[9];文件搜索有 YouSearch^[10], OpenCola 等;pub/sub 系统有 Scribe、Herms 等;还有基于 P2P 网络构造的 email 系统。而从 P2P 系统的典型特点来分析,常常被引证为 P2P 应用的科学计算系统 Seti@Home^[11]应该属于 P2P 的非典型应用。各种 P2P 系统由于应用背景的差异,彼此互不兼容,导致不同的 P2P 网络无法通信,难以有效地利用网络资源提供服务。Sun 公司组织开发的 JXTA^[12]项目,希望通过提供一个简单通用的 P2P 平台来解决这个问题。从上述应用可以看出,P2P 系统并不能替代客户/服务器系统,它们两者是相辅相成的关系。

从 P2P 系统的基本特点和应用情况分析,我们认为 P2P 平台中的 Peer 通信和定位、平台的安全和平台的性能优化这

^{*}基金项目:国家863高科技发展计划资助项目(编号2001AA113010,2002AA413610);国家重点基础研究发展规划973资助项目(编号2002CB312005,C1999035806);国家自然科学基金资助项目(编号60173023)。

三项技术是 P2P 系统的成功与否的关键所在。

2 Peer 定位和通信

P2P 通信时需要解决的最基本的问题是如何连接其它的终端获得信息、资源和服务。该问题可细分为以下一些问题：

- P2P 网络的拓扑结构和 Peer 节点的功能角色划分；
- 资源和服务如何标识；
- 进行资源查找时如何进行 Peer 定位；
- P2P 网络中 Peer 节点动态变化的处理；
- 如何穿越 NAT(Network Address Translation)和防火墙进行 Peer 节点之间的直接通信。

2.1 P2P 网络的拓扑结构和 Peer 节点的角色划分

在 P2P 网络中,有两种典型的拓扑结构,即纯 P2P 网络和混杂的 P2P 网络^[13]。在纯 P2P 网络中,每个 Peer 都具有同等的责任和地位,不存在中间节点的协调。FreeNet、Gnutella 都属于纯 P2P 网络。而在混杂的 P2P 网络中,存在着充当服务器角色的 Peer 节点或提供特殊功能的 Super-Peer 节点,这些节点保存其它 Peer 节点的基本状态和存储内容源信息,协助完成对其它节点的记录、查询等工作。Napster, Groove, Magi 等系统均是典型的混杂型 P2P 系统。

每一个 Peer 根据其提供的角色功能可以划分为三种类型,即简单类型 Peer 节点,Super-peer 节点和服务型型的 Peer 节点。简单类型 Peer 节点仅仅是一个简单的终端用户,它可以请求获得服务并为网络中的其它 Peer 提供服务。Super-peer 节点除了具有和简单 Peer 节点类似的功能外,还提供某些特殊功能。如 JXTA 系统中就存在路由器 Peer 节点和会聚点 Peer 节点^[12],前者作为一个桥梁,使得被防火墙或 NAT 隔离的 Peer 可以相互通信;后者为简单节点提供查询定位信息的功能。服务型型的 Peer 节点主要提供类似于客户/服务器模型下的服务器功能,如提供一个全局统一的目录查询。在 Napster 这种混杂型的 P2P 系统中,有若干个简单 Peer 节点相互提供文件下载的服务,还有一个目录服务器节点提供文件条目的注册管理。Groove 和 Magi 系统中也均存在这样的服务型节点。而在纯 P2P 网络中,每一个 Peer 节点均充当了上述的三种角色。

2.2 资源的标识

为了在 P2P 网络中准确地查找资源进行 Peer 定位,还需要确定 Peer 中存储资源的标识(这里我们将在 P2P 网络中需要进行查找的对象统称为资源)。不同的应用场景均有适合自身特点的资源标识方式。

在以文件共享为主的应用中,资源主要以文件的名称、关键字、源数据等进行标识。而即时消息通讯系统往往采用类似于电子邮件的命名方式。例如在 Jabber 系统中,Jabber 的用户 ID 以[node@]domain/[resource]的形式进行地址标识^[7],提供一个全局统一的地址空间。其中,Domain 是主要的 ID 标识,指明与多个用户连接进行消息转发的 Jabber Server;Node 为用户姓名或昵称,Resource 属于一个 Node,标识属于一个用户的多个资源。一个用户可以同时与同一服务器建立多次连接。

以用户之间协作为主的 P2P 应用如 Groove 系统和 Magi 系统,由于在协作中对即时消息通讯和文件共享的要求兼而有之,用户一般以用户名进行标识,而文件则以源数据标识^[14]。

JXTA 作为一个解决不同 P2P 应用彼此不兼容问题的底层平台,提出了一个统一的资源标识定义,即广告^[12](advertisement)。广告是一个 XML 结构的文档,由 Peer 或相互协

作完成一种应用的 Peer 组进行发布,用来描述现有的资源、服务或实体 Peer。Peer 节点通过查询广告以获得各种资源的消息,进行 Peer 定位。

2.3 Peer 的定位方式

在查找资源的过程中,可采用直接或间接方式定位 Peer。直接定位 Peer 的方式比较简单,即利用广播或多播的形式发出查询请求,符合查询要求的 Peer 节点进行应答,然后建立直接的通信连接。由于这种方式只能在局域网中使用,因此应用范围有限。当然这种方式可以和其它的定位方式结合使用以获得良好的查询效率。

间接方式包括三种模型:服务器模型、洪流模型和路由模型。

服务器模型:该模型是基于混杂型的 P2P 拓扑结构。充当服务器的 Peer 节点提供资源查询。Peer 将请求发送至服务器获得查询结果,随后,直接与目标节点通信获取所需服务。但这种方式存在单点失败问题,同时,也存在伸缩性问题。但因为 Peer 节点仅在启动、停止及查询的时候才与服务器交互,所以此时的伸缩性还是强于客户/服务器模式。典型系统有 Napster, Magi, Groove 和 Jabber。Napster 系统采用一个目录服务器记录资源索引, Groove 系统和 Magi 系统均是采用动态 DNS 查找用户的 IP 地址^[14]。Jabber 系统由于其资源标识类似于 Email 地址,因此,利用 DNS 的 MX 记录进行 IP 地址的查询^[7]。

洪流模型:该模型基于纯 P2P 拓扑结构。Peer 节点采用洪流法将查询请求不断地转发至邻居节点,直到到达目标节点,获得查询结果^[15]。同时为了避免消息无限制地转发,查询请求中设定有 TTL(Time to Live)或 HTL(Hops to Live)进行转发控制。Gnutella 是采用此类模型的典型系统。

路由模型:该模型也是基于纯 P2P 网络结构。首先它为网络中的每一个 Peer 赋予一个 ID,同时,每个 Peer 存储的资源和服务也有类似的 ID。Peer 节点的路由表中登记一定数量的邻居节点。Peer 的请求被转发至与所请求的资源或服务的 ID 最接近的 Peer,直到发现这个资源或服务^[15]。插入一个新资源/服务的过程与查询过程类似,也是通过查找该资源/服务 ID 来确定存储的正确位置。此类模型主要用于文件共享系统中,如 FreeNet, Chord^[16], CAN^[17], Tapestry, Pastry 等。

路由模型又可细分为非结构化路由模型和结构化路由模型。FreeNet 系统属于典型的非结构化路由模型。为了增强匿名性和提高搜索性能,系统在查找到所需资源后沿搜索路径复制资源。这样,由于资源的存储位置不固定,其行为不易观察,不确定因素较大,因此相对于结构化路由模型来说,其资源分布的规律性不强,难以从全局上把握整个系统的资源分布状况。而结构化路由模型如 Chord, CAN, Tapestry, Pastry 均采用了 DHT(Distributed Hash Table)作为主要的存储算法。DHT 的主要思想是将资源定位用的索引(索引结构通常是两元组(文件名,实际的存储位置))分散存储到整个 P2P 网络上,这样,哈希表的存储和查询操作就会涉及到 P2P 网络中的多个节点。

以 DHT 思想进行路由模型设计时,首先需要确定 Hash 函数进行虚拟地址空间映射的规则。虚拟地址空间的设计有多种方式,Chord 采用的虚拟地址空间为 m 位的循环地址空间^[16], CAN 系统采用的是多维的地址空间^[17]。Peer 节点的 IP 地址和端口号经过哈希函数映射到地址空间,再将映射空间进行划分,每个节点负责存储属于自己空间的值对(key, value)。其次需要确定路由表项的存储内容,即邻居节点的规模,以适应于不同的网络需求。这里需要对路由表项的规模与

网络搜索跳转数进行综合考虑。在动态性较强的网络中,节点频繁加入和退出网络会使得规模较大的路由表更新频率过高,操作费时。但规模较小的路由表在进行资源定位时,又使得查找时间过长。再次是确定在接收到一个资源的查询请求时,路由表对邻居节点进行选择转发的规则。最后要确定在新节点的插入和删除操作后,虚拟的地址空间如何进行分裂和合并。

结构化路由的一个显著优点是可以保证 Peer 定位时的查询路径长度。路径长度取决于虚拟地址空间的选取和路由表存储规模的设计,例如,Chord 系统的平均路径长度为 $O(\log(N))$,其中 N 为网络中的节点数量;CAN 系统的平均路径长度为 $d * N^{1/d}$, d 为空间维度, N 为网络中节点数。

2.4 P2P 网络中节点的登录、退出和节点故障

P2P 网络的一个重要特点是能适应网络拓扑结构的变化,这里,我们主要关注节点的状态变化,包括节点加入、退出以及节点故障。在服务器模型的 P2P 网络中,由于 Peer 节点的状态信息和管理资源信息直接记录在服务器中,Peer 节点的登录和退出仅需和服务器进行交互,由服务器进行协调处理。如在 Napster 系统中,Peer 节点登录系统后,向服务器发送当前的网络状态和所有的文件列表信息,由服务器更新目录索引。在 Jabber 等即时消息通讯系统中,Peer 节点往往是与用户绑定的。服务器接收到用户的登录消息或退出消息后,通知订阅该用户在线状态的所有在线用户。

非结构化路由模型 FreeNet 中,新节点首先需要获知网络中的若干可连接节点的信息,通过执行搜索操作向整个网络宣布自己的存在。在结构化路由模型的 P2P 网络中,节点的登录和退出,将导致虚拟地址空间的分裂和合并。Peer 节点登录网络的操作,类似于一个资源的查找过程。Peer 节点定位到所属的地址空间后,将地址空间以一定规则进行分裂。负责管理该地址空间资源的原节点将所属资源按分裂的规则部分转移到新节点。同时两个节点的路由表项和其它相关节点的路由表项均要进行修改。而 Peer 节点退出网络的过程,则是登录网络的逆过程,资源需要转移合并,相关节点的路由表项同样需要更新。

在 P2P 网络上,可通过复制数据和系统重试增强系统的容错能力和可靠性。例如,Chord 系统在其多个后继节点上复制数据,CAN 系统在其多维空间的邻居节点上进行数据备份。Tapestry 和 Pastry 采用数据备份和在路由表中为每个节点保存多条可达路径来实现良好的容错性。

当目标节点发生故障,应用背景的差异会导致不同处理策略的产生。在即时消息系统中,目标节点是需要进行消息通信的一方,当其在网络中处于不可达状态时,发送消息方一般都采取消息队列机制保存消息,直到目标节点恢复在线状态后,重新发送,从而保证消息的可靠传输。以文件共享应用为主的 P2P 系统中,定位目标节点是以获取资源为主要目的,系统中往往存在同一资源的多个备份,节点失效将使得系统查询新的目标节点获取所需资源。

2.5 防火墙和 NAT 的穿越

在实际的网络通信中,Peer 节点往往是一个私有网络中的节点,位于防火墙之后。这样,Peer 与 Peer 之间直接通信需要解决的一个关键问题是穿越防火墙和 NAT。由于防火墙会对 IP 进行过滤,限制了墙内外的连接,而 NAT 技术虽然可以使得内部网络地址映射到外部网络地址,但要求内部网络首先发起对外连接,否则外部网络机器无法达到内部网络^[12]。穿越防火墙和 NAT 的策略有两个基本点:

(1)需要使用在一般情况下可以通过防火墙的协议,如基

于请求/应答方式的 HTTP 协议。

(2)Peer 之间进行通信时,必须由内部网络的机器首先发起连接请求,如果通信双方均处于防火墙之后,则需要由防火墙外的转发节点进行消息转发。

在 Napster 系统中当 Peer 节点请求下载的资源位于一个防火墙之后的节点上,请求节点向服务器端发送需要进行转换下载的请求(Alternate download request),由服务器通知被请求节点首先发起文件下载的连接请求。而 Gnutella 是在将查询的详细信息返回给请求者的同时发送资源文件,以此方式解决文件提供者位于防火墙之后的情况。

JXTA 平台中,其 Super-peer 节点中的路由节点是提供防火墙和 NAT 穿越功能的特殊节点。若通信一方在防火墙之后,那么单向穿越的过程由试图与防火墙后的 Peer A 连接的 Peer 节点 B 发起,节点 B 首先与路由 Peer 连接,同时 Peer A 周期性地连接路由 Peer,由于路由 Peer 对 Peer A 是可见的,且不在防火墙后,连接请求消息可作为 http 的应答内容返回至 Peer A。若通信的双方都在防火墙之后,那么需要两个路由 Peer,Peer1 通过路由节点 1 转发消息,路由节点 1 将消息转发至路由节点 2,Peer2 周期性地向路由节点 2 发送 http 请求,获得消息后断开连接。JXTA 平台中路由节点的使用不仅可以穿越防火墙,还可以解决瓶颈问题,克服网络传输的不兼容性^[12]。

3 P2P 平台的安全机制

与安全问题有紧密关系的是 P2P 平台具有的匿名性。

为了进行自由的交互,避免引起不必要的法律纠纷,P2P 系统允许匿名方式的信息交换^[15]。匿名性可分为以下三种类型:

- 发布者匿名:发布者匿名地发布服务或资源;
- 请求者匿名:请求方匿名地请求服务或资源;
- 服务提供者匿名:P2P 网络中的资源拥有者匿名地提供资源或服务。提供匿名性的基本方法有六种:
- 组播:采用 IP 组播方法进行资源发送可以达到请求者匿名的目的。但是这种方法需要底层网络的支持。
- 地址欺骗:使用面向无连接的协议如 UDP,可以更改地址,达到地址欺骗的目的。
- 身份欺骗:网络中的文件可能拥有多个备份,所以应答者往往并不是文件的提供者,如 FreeNet 就使用了这种方法提供匿名性。
- 隐藏路径:Peer 之间并不是进行直接的消息通信,而是通过若干的中间节点,这样可以达到发送者匿名的要求。
- 别名:每一个 Peer 在网络中均有一个别名,Peer 之间通过别名进行消息传递,这种方法需要一个 Proxy Server 保存所有的 Peer 实体与别名的对应关系。
- 强制存放:一个文件存放的位置是由文件本身确定的,发布者无法选择,从而实现发布者匿名,如基于 Chord 的系统。

上述方法可以组合应用,例如,FreeNet 采用纯 P2P 网络中的非结构化文档路由模型,同时在发布文件和查找文件的过程中,沿搜索路径复制文件。通过隐藏路径和身份欺骗的方法达到服务提供者匿名的目的,通过隐藏路径的方法形成请求者匿名,同时由于文件的发布是一个根据文件名强制存放的过程,因此也完成了发布者匿名的功能。

P2P 平台所具有的上述特性可能会带来下列安全隐患:

- 拒绝服务攻击:P2P 应用会消耗网络带宽,占用磁盘空间,使得系统性能降低甚至完全瘫痪。如果被大量恶意地使

用,就会出现正常服务请求得不到服务的现象。抵御这种攻击的难点在于如何将恶意节点和真正负载过重的节点区分开。从根本上说,限制网络服务请求的数量是解决拒绝服务攻击的根本方法。合理选择网络底层的拓扑结构,均衡系统中的负载和资源,加入流量控制策略,这三种措施综合使用可使恶意节点无法占用过多的资源,降低其对系统的影响。

• 恶意软件分发: P2P 没有中央服务器的控制,允许匿名分发资源,对软件的分发缺乏控制,如果 P2P 系统被恶意使用,会给系统用户带来安全隐患。通常的名誉评估系统可以用来跟踪和处理 Peer 的状态,并根据得到的信息选择资源的提供者。但是这种方法比较消耗网络资源。

• 信息泄露和篡改: 有些 P2P 系统在路由表中保存了一批网络地址,这些信息可能会被泄露和篡改;有些 P2P 系统例如 Napster、Gnutella 等允许直接访问用户硬盘,恶意用户可利用这个特性察看和篡改磁盘信息。这些都需要有相应的策略加以解决,例如,设计安全路由策略解决路由表信息泄露问题。

4 P2P 平台的性能改善技术

P2P 平台的性能指标包括请求响应时间、公平性等。

请求响应时间与 P2P 平台的拓扑结构有很大关系。对于有中央服务器的 P2P 系统如 Napster 系统和 Seti@Home 系统,Peer 之间由服务器进行协调,服务器变成了系统的瓶颈,影响系统性能。为了改善性能,可采用层次性的混杂式结构,由每一个协调者负责一个 Peer 组,形成一个层次的管理结构。在非集中式的 P2P 网络中,主要通过消息转发来获取和查询数据,消息转发的次数影响带宽的消耗,因此要尽量减少消息的转发次数^[15]。采用复制的方法可提供多个资源备份,提高容错性,也减少了请求节点到服务节点的距离,减少了请求响应时间。但复制会带来数据一致性的问题;另一种减少消息转发次数的方法是建立智能路由和网络组织,寻找目标文件到请求节点的最小路径。该类方法包括:在基于 DHT 的结构化路由模型中设计合乎应用背景要求的路由表存储结构,以减少网络中的消息跳转数;采用一些反馈机制,智能地选择曾经命中过的 Peer 节点进行消息转发;监测网络中的运行状态,绕过一些负载较重的 Peer 节点。这些方法可以在不同的应用环境中获得较好的性能提升。

除了通过复制改善系统的响应时间之外,缓存的替换策略对响应时间改善也有很大影响。SmallWorld 模型刻画了网络通信中的一个有趣的特征:在规则网络中随机地添加少量通路,能很好减短通信距离,减少请求的响应时间,它被用来改进 FreeNet 中的缓存替换策略,也获得了较好的性能改善^[16]。

P2P 体系结构使得 P2P 系统中会出现“无政府主义”行为,例如,过量下载或有意让下载的文件中包含广告等,这些行为导致 P2P 信息交换的不公平性。在 P2P 网络中,为避免 Peer 享受服务而不提供服务的现象,需要实行一定的管理机制。在 P2P 网络中引入经济学中买卖交易的原理,可以促进资源的共享和交互。Stanford 大学的 P2P 研究小组提出了 RTR(right-to-respond)协议^[19],用以解决在洪流模型中,中间节点不愿消耗资源转发请求的问题。RTR 是指对查询请求的响应权,Peer 节点可以购买和出售系统中每个查询请求的

RTR。当某一 Peer 节点转发请求时,其它 Peer 节点可以向其购买 RTR。购买了 RTR 的 Peer 节点可以执行两个操作,一是响应该请求,如果被请求的发出者选中,就可以为其提供服务并收取费用;二是再将 RTR 售出给其它节点。通过这种方法,Peer 节点在经济利益的驱使下会不断转发请求,扩大搜索范围。同时可以促进拥有类似资源或服务的 Peer 节点频繁联系,形成 Peer Group,提高搜索效率。

另一个利用经济学原理的实例是数据交易(data trading)方法的引入^[20]。P2P 系统经常采用数据备份的机制来增强资源可用性,提高系统性能。而用户往往不愿无偿提供存储资源备份其它数据。这时利用数据交易的方法提供相互备份,即获得对方存储空间或数据资源是以向对方提供存储空间为前提的。系统中 Peer 节点之间建立了良好的相互备份关系,将会减少搜索和访问的开销。以上这些实例均表明,采用经济学中以交易为基础的资源管理机制,可以提高 P2P 系统的资源使用率。

小结 P2P 计算,作为分布式计算的一个分支,目前不论是从技术研究还是产品开发来看,都已成为了一个重要的领域。P2P 的算法、平台和应用都将有进一步的发展空间。P2P 的思想也被广泛地应用在很多其他的研究领域。本文着重介绍了 P2P 的发展背景、P2P 系统的特点,在 P2P 平台层识别出若干 P2P 平台的关键技术,包括 Peer 的通信和定位技术、P2P 平台的安全机制和 P2P 平台的性能改善技术,这些技术的总结和分析对设计和实现 P2P 平台和应用起到了一定的借鉴和指导作用。

参考文献

- 1 Napster Inc. <http://www.naspter.com>
- 2 Gnutella. <http://www.gnutelliums.com>
- 3 Freenet. <http://freenetproject.org/lang/en>
- 4 BitTorrent. <http://bitconjurer.org/BitTorrent/>
- 5 Sixto Ortiz Jr. Instant Messaging: No Longer Just Chat. IEEE Computer, March 2001
- 6 Miller J. Jabber, Peer-to-Peer: Harnessing the Power Of Disruptive Technologies. O'Reilly, March 2001
- 7 Saint-Andre P. Jabber Technology Overview
- 8 Mehra P. Groove. 16 ECE-579, Nov. 2001
- 9 Bolcer G A, Gorlick M. Peer-to-Peer Architectures and the Magi Open-Source Infrastructure. Endeavors Technology, 2000
- 10 Bawa M, et al. Make it Fresh, Make it Quick -- Searching a Network of Personal Webservers
- 11 Seti@Home. <http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>
- 12 Jxta Book. <http://www.brendonwilson.com/projects/jxta>
- 13 Lui S M, Kwok S H. Interoperability of Peer-To-Peer File Sharing Protocols. ACM SIGecom Exchanges, 2002, 2(2)
- 14 Moore D, Hebel J. 苏忠, 战晓雷, 等译. 对等网. 清华大学出版社, 2003
- 15 Milojicic D S, et al. Peer-to-Peer Computing. University of California
- 16 Stoica I, Morris M, Liben-Nowell D, et al. Chord: A scalable Peer-to-peer Lookup Protocol for Internet Applications
- 17 Ratnasamy S, Francis P, Handley M, Karp R, Shenker S. A Scalable Content-Addressable Network. ACM SIGCOMM '01, San Diego, CA, USA, 2001
- 18 Zhang H, Goel A, Govindan R. Using the Small-World Model to Improve Freenet Performance. IEEE Infocom, 2002
- 19 Yang B, Kamvar S, Garcia-Molina H. Addressing the non-cooperation problem in competitive P2P systems: [Stanford University Database Group Technical Report]. 2003
- 20 Bawa M, Cooper B F, Crespo A. Peer-to-Peer Research at Stanford. Stanford University