

基于 P2P 网络的语义发布/订阅系统路由算法研究

张 强 李建华 沈 迪

(空军工程大学信息与导航学院 西安 710071)

摘 要 在结构化 P2P 网络基础上构建语义发布/订阅系统是近年来的研究热点。提出一种基于 Chord 的语义事件路由算法,算法采用基于集结点的路由策略,首先使用保留语义的哈希函数将订阅映射至事件代理集结点;其次根据订阅与事件之间的语义信息,仅发布事件至可能匹配的订阅集结点,采用 Chord 路由协议构建的订阅生成树分发通知消息;最后过载的集结点通过订阅迁移实现系统负载均衡。仿真实验表明,算法在一定程度上减少了资源消耗,提高了路由效率,达到了负载均衡。

关键词 发布/订阅,语义路由,结构化 P2P 网络

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.09.026

Research on Routing Algorithm of Semantic-based Publish/Subscribe System over P2P Networks

ZHANG Qiang LI Jian-hua SHEN Di

(School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710071, China)

Abstract Constructing semantic publish/subscribe system based on structured P2P network is research focus in recent years. The paper proposed a new semantic event routing algorithm based on Chord, which uses routing strategy based on rendezvous node. Firstly, the mapping from subscriptions to event broker rendezvous nodes is achieved using hash function with semantic reserved. Secondly, the algorithm just publishes events to the subscription rendezvous nodes which may be matched based on semantic information between subscriptions and events, and delivers notifications using the subscription spanning tree based on Chord routing protocol. At last, load balancing is realized through transferring subscriptions between overload rendezvous nodes. Simulation shows that to some extent, the algorithm reduces resource consumption, improves efficiency, and reaches load balance.

Keywords Publish/subscribe, Semantic routing, Structured P2P network

1 引言

发布/订阅是一种基于事件的通信方式,具有松散耦合、异步和多对多通信等特性^[1],在银行、证券和企业信息化等分布式应用系统领域具有广阔前景^[2,3]。发布/订阅系统由信息发布者、信息订阅者和事件代理结点组成,其中发布者向代理结点发布事件,订阅者向代理结点提交感兴趣的订阅条件,每个事件代理结点负责一定数量的发布者和订阅者,完成事件的匹配和转发,将用户感兴趣的事件主动准确地从发布者传递至订阅者。

路由算法是发布/订阅系统的关键技术之一,其目标是在事件代理网络中寻找一条恰当路径,使事件高效、及时、可靠地从发布者到达订阅者。与传统路由算法不同的是,事件发布时并没有指明目的地,只能根据事件内容和订阅条件决定下一步的转发。由此可见,路由算法与发布/订阅系统数据模型密切相关。按照数据模型进行划分,发布/订阅系统路由算法可分为基于主题、内容和语义等,其中关于基于主题和内容的路由算法已有大量研究,并形成了成熟的研究成果^[4-7]。在

大量的事件与订阅之间必然存在语义关系,如:覆盖和相等关系,有效利用这些语义关系有助于提高路由效率和准确性。此外,结构化 P2P 网络具有较好的自组织性、扩展性和容错性,在 P2P 网络自带路由协议基础上设计发布/订阅路由算法,能够较好地继承 P2P 网络特性。因此,在结构化 P2P 网络拓扑基础上设计语义发布/订阅系统路由算法逐渐成为研究热点,其中 Scribe^[8]最早提出在结构化 P2P 网络上设计发布/订阅路由算法,并在 Pastry 上构建了基于主题的发布/订阅系统,将事件主题与网络结点对应,根据主题完成事件的发布和订阅的转发,通过逆向路径转发完成路由;文献^[9]设计了一种基于内容的路由算法,根据 P2P 网络结点的编码区间构建转发过滤条件表,据此进行事件和订阅的优化转发,提高了路由可靠性;文献^[10]提出了一种支持语义路由的算法 RSER,针对分布式哈希不支持复杂数据模型的问题,提出根据订阅和事件的域标识、属性个数以及任一属性名构成的字符串表达式生成订阅和事件的索引键值,同时通过属性个数限制事件发布目的地,减少了路由流量;文献^[11]提出了一种基于 Kademlia 网络的语义发布订阅路由算法,提出一种最小

到稿日期:2013-11-18 返修日期:2014-02-17 本文受全军军事学博士研究生课题(2012JY003-583)资助。

张 强(1985—),男,博士生,主要研究方向为战场信息共享,E-mail:zq09284275@163.com;李建华(1965—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为军事通信理论、军队信息化建设;沈 迪(1986—),男,博士生,主要研究方向为军事信息系统鲁棒性。

交集概念,运用该概念生成订阅和事件的索引,解决了分布式哈希索引生成语义无关的问题。如何将发布/订阅系统路由算法和结构化 P2P 网络自带路由协议有效结合,充分利用结构化 P2P 网络特点提高语义发布/订阅系统路由算法性能将是本文的研究重点。

2 基于 P2P 的语义发布/订阅系统模型

基于 P2P 的语义发布/订阅系统网络拓扑结构包括两种,一种是将系统的订阅者、发布者等客户端和事件代理都作为 P2P 结点,另一种是仅将所有的事件代理组织成结构化 P2P 网络。大规模的发布/订阅系统通常采用分布式的系统结构,由多个事件代理结点组成,其中事件代理主要担负匹配和转发,需要长时间运行,而发布者和订阅者频繁地加入和退出网络可能造成网络抖动^[12]。因此,本文将事件代理结点网络拓扑组织为结构化 P2P 网络。

图 1 为基于 P2P 的语义发布/订阅系统模型。其中 EB (Event Broker) 为事件代理,按照功能划分,可分为接入事件代理、普通事件代理和集结点事件代理,其中接入事件代理负责接收本地的订阅和事件,集结点事件代理负责订阅与事件的存储、匹配和转发,普通事件代理完成事件的路由转发。P (Publisher) 为信息发布者,通过本地的接入事件代理将事件发送至集结点,完成发布事件注册;S (Subscriber) 为信息订阅者,通过本地的接入事件代理将订阅条件发送至集结点,完成订阅信息提交注册;Event 为发布者发布的事件,在本文中事件采用 RDF 图^[10,13]表示,即是元语句^[13]的属性描述集合;SP (Subscription) 为订阅条件,表示用户感兴趣的事件,采用 RDF 图模式表示,即是对元语句的类型和谓词等条件的约束集合,两者都包含元语句 (SubjectClass, property, Object-Class)。其中事件 G_E 图中除“rdf:type”边外所有边的总数即为事件包含的元语句个数 $|G_E|$, 订阅 G_S 图模式中除“rdf:type”边外所有边的总数即为订阅包含的元语句个数 $|G_S|$ 。基于 RDF 的事件和订阅表示的详细介绍见文献^[10,13,15], 本文不再赘述。如图 1 所示,事件代理结点可分为 P2P 层、事件通知层和应用层等^[9,11], 其中 P2P 层负责在各事件代理物理网络拓扑的基础上构建结构化 P2P 覆盖网络,事件通知层负责事件在各事件代理结点间转发,语义发布/订阅系统路由算法位于该层,应用层则负责事件发布和订阅条件提交。结构化 P2P 网络选择以 Chord^[14]为例。Chord 采用相容哈希函数分别为各结点和资源关键词映射生成 m 位的标识符 NodeID 和 KeyID,并组成不超过 2^m 的 Chord 环,环上各结点之间形成前驱、后继关系,其中资源存储在 Chord 上沿顺时针方向距离 KeyID 最近的后继结点 NodeID 上。每个结点不仅维护其前驱和后继结点关系,还维护 finger table 路由表,记录在环上沿顺时针方向距离本结点 $(n+2^{i-1}) \bmod 2^m$ 最近的各结点标识。图 2(a) 所示为 $m=6$ 时的 Chord 环上 NodeID 与 KeyID 的对应关系以及 NodeID 为 N8 结点上的路由表,其中 KeyID 为 K18 和 K29 的资源分别被映射到 N22 和 N32。对于给定 KeyID 的资源查找,Chord 中的结点总是将其路由至路由表中各项最接近该键值的前驱结点。如图 2 所示,对于 K50 的资源查找,N8 根据路由表将请求路由至 N43,后者

继续根据路由表转发请求信息至 K50 的前驱结点 N49,最后找到其后继结点 N54,即存储资源索引值的结点。

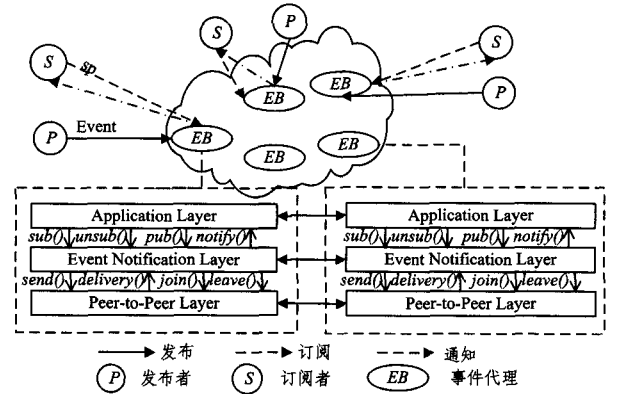
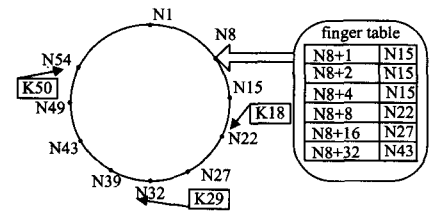
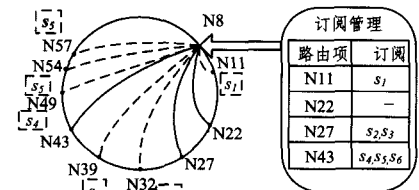


图 1 语义发布/订阅系统模型



(a) Chord 环映射关系及路由表



(b) 集结点订阅管理

图 2 Chord 环

3 语义发布/订阅系统路由算法

语义发布/订阅系统路由算法构建在典型的结构化 P2P 网络 Chord 基础上,需要解决的问题即是在结构化 P2P 事件代理网络中如何优化事件和订阅转发。基于 P2P 网络的发布/订阅系统路由算法主要有基于生成树转发和基于集结点两种,其中基于生成树转发的路由算法并不太适合于结构化 P2P 网络^[15]。本文提出了一种基于 Chord 的语义事件路由算法 (Semantic Event Routing Based on Chord, SERC),采用的是基于集结点的路由策略,算法可分为 3 个步骤:首先计算得到订阅散列值,并将其映射至集结点,由集结点负责该订阅的存储和转发等;其次事件选择相应的订阅集结点进行发布;最后由各订阅集结点完成匹配,并将事件分发路由至满足匹配的各订阅者。

3.1 订阅提交与存储

订阅提交即当订阅接入代理结点收到本地提交的订阅条件后,寻找映射集结点及完成订阅注册的过程。在语义发布/订阅系统数据模型中,可选择具有语义信息的元语句作为字符串计算订阅散列值。计算公式为 $key_{sc} = \text{hash}(SC; p_i; OC)$, 其中 $\text{hash}()$ 是 Chord 中生成结点标识的哈希函数, p_i 为订阅图模式中的属性, SC 和 OC 分别表示属性主语和谓词所

属的概念类。在实际应用中,由于订阅者和发布者等客户端动态变化,采用哈希函数映射订阅到 Chord 环的某个标识而非某个结点,从而确保订阅映射不会因结点变化而失效。订阅通常包含多条元语句,如果任意选择一条元语句,则该订阅将随机存储在 Chord 环上的任一结点,当选择的集结点沿顺时针位于该订阅接入代理结点之后,那么在事件分发时将造成不必要的路由消耗。因此,映射元语句的选择直接影响到路由算法性能。本文采用的解决方法是,依次计算各元语句的散列值,选择距离订阅接入代理标识 SBID 最近的前驱结点作为订阅集结点,并记录该条映射元语句。当订阅者不再对订阅的事件感兴趣时,则需要通知系统取消订阅,即可根据订阅客户端缓存的集结点标识 RNID,仅发送退订消息至该集结点即可。

在大规模的发布/订阅系统中,集结点可能需要存储管理的订阅数较多,如何在节约资源消耗的前提下存储管理这些订阅成为必须考虑的问题。由 Chord 路由算法可知,各结点都存储有其后继结点和 finger table 路由结点信息,可根据集结点路由表进行订阅存储管理,即将各订阅信息存储在距离 SBID 最近前驱结点的路由表项中,并使用 SBID 表示代理本地接入的订阅信息。如图 2(b)中,N8 是集结点,N22、N27 和 N43 分别为该结点的 finger table 路由结点,N11、N32、N39、N49、N53、N57 分别为各订阅 SBID,如图 2 所示,N11 作为集结点的后继结点,其管理的订阅 s_1 即可存储在路由表 N11 的表项中,N27 结点是集结点的路由下一跳结点,N32、N39 的查找必经过 N27,可将订阅 s_2 、 s_3 存储在路由表 N27 的表项中,同理订阅 s_4 、 s_5 和 s_6 存储在 N43 的表项中。综上所述,根据 Chord 自带路由协议,集结点管理的大量订阅则可形成以集结点为根结点至多个订阅接入代理结点为叶子结点的订阅生成树。与其它发布/订阅系统路由生成树不同的是,该生成树结合 Chord 路由机制建立,树上各结点都是由集结点的各路由结点组成,能够显著减少生成树的构建、维护开销,并可用于事件分发,具体过程见 3.3 节。

3.2 事件发布

事件发布即信息发布者通过接入代理结点寻找相应集结点并向系统注册事件的过程。如何利用订阅与事件之间的语义关系提高事件发布效率将是优化事件发布算法的主要出发点。当订阅包含的所有元语句约束条件在事件中总能找到满足该条件的元语句时,即可认为事件与订阅相匹配。也就是说,订阅包含的元语句个数需小于等于事件是事件和订阅相匹配的必要条件。此外,不同的元语句之间还存在等价和继承等语义关系。事件发布可以据此筛选映射集结点,即仅向可能匹配的订阅集结点发布事件。发布/订阅系统应用面向某一领域,而领域又可细分为多个子领域,相匹配的订阅与事件必定属于同一子领域,事件只需向属于同一子领域的订阅集结点发布即可。本文采用类似文献[10]中建立信息集结点的方法,信息集结点选择 Chord 环中最接近领域标识散列值的后继结点担任,主要记录对应的领域标识、各订阅的映射元语句以及该订阅包含的元语句个数等信息。当信息发布者需要向系统注册发布事件时,首先根据事件所属领域计算该领域标识的散列值,找到该领域对应的信息集结点;然后根据领

域概念模型计算事件中每条元语句对应的等价和祖先元语句,对于每条元语句,从信息集结点的订阅分布视图中确认是否是映射元语句,如果是,且对应的订阅元语句个数小于等于事件元语句个数,则仅将事件发布到该订阅所存储的集结点上,其它的集结点则不会接收到该事件,从而能够显著减少事件发布流量。

3.3 事件语义路由

事件发布到可能匹配的订阅集结点后,由集结点负责匹配并得到匹配该事件的所有订阅标识。由于订阅者客户端并不在 Chord 环中,其订阅信息由订阅接入代理负责管理。事件从集结点分发至各匹配订阅者的过程,也即在 Chord 环上从集结点出发寻找各订阅接入代理结点的资源查找过程。因此,事件可利用根据 Chord 路由协议建立的订阅生成树进行分发。在实际应用中,一个事件可能存在多个订阅者,从集结点至各接入代理,逐个地发送通知消息存在严重的资源重复消耗。由订阅生成树的构建过程可知,从根结点到各订阅者的事件代理之间存在共同的祖先结点,可将事件和匹配的 SBID 列表等信息封装为单一的通知消息沿着订阅生成树进行统一分发。算法描述如下所示,算法输入为事件和匹配该事件的 SBID 列表,从集结点开始沿着订阅生成树逐个结点发送,当结点接收到通知消息后立即判断,如果 SBID 列表中存在与当前 NodeID 相等的标识,则表明已到达某订阅接入代理结点,即可删除列表中的该 SBID,事件则可直接发送至本地相应的订阅者;否则继续路由通知消息至最接近 SBID 的下一跳结点,算法迭代执行直至通知消息到达生成树的所有叶子结点,即事件完成分发。综上所述,结合 Chord 路由机制进行事件统一分发,能够有效避免通知消息的重复转发。此外,相比基于匹配优先转发的路由算法,本文提出的事件分发算法仅在集结点产生匹配操作,中间结点仅需根据 SBID 列表对比转发,在较少资源消耗的前提下实现了较精确的事件分发。

算法描述:

```
deliver_event(Event e, S[1...k])
{for i=1 to k
  if(S[i]==当前 NodeID) then
    发送 e 至当前结点的本地客户端
    S[i].delete()//该订阅完成分发,删除该订阅标识
  else
    在当前结点路由表中寻找距离 S[i]最近的结点标识 NID
  end if
end for
if S is not empty then
  deliver_event(e, S)}
```

3.4 负载均衡

事件代理结点负载主要包括订阅管理、匹配计算、事件分发和路由转发等,担任集结点的事件代理结点负载普遍高于普通事件代理。虽然哈希函数的随机性和一致性可将订阅分散存储到各事件代理,但前驱结点的订阅映射方式可能会造成各集结点订阅数分布不均,并且当某条元语句作为映射元语句较多时,则会进一步导致各集结点间管理订阅及接收事件的数量相差较大,造成负载不均。因此,本文提出一种动态

的负载均衡策略,主要思想是当集结点上存储的订阅数超过其设定阈值时,则根据各订阅在路由表中的存储情况,将各路由表项存储的订阅分别迁移至其对应结点。如图 2(b)所示,集结点 N8 将订阅 s_2 、 s_3 以及 s_4 、 s_5 、 s_6 分别迁移至其 finger table 路由结点 N27 和 N43。由此,集结点能够将订阅管理和事件匹配等负载分担至其它事件代理结点,从而实现事件代理结点间的负载均衡。由于被分担订阅的结点是集结点的路由下一跳结点,同时也是事件分发必经的路由转发结点,因此事件分发算法不会受到影响。

4 仿真实验

4.1 实验设计

本文在 p2psim 仿真平台上对 SERC 进行了模拟实验,并与 RSER 路由算法进行了对比性能分析。实验环境选择 CPU 为 Intel Core2 Duo E7500 2.93GHz,内存为 2GB,操作系统为 Windows XP Professional 的台式计算机,其中 p2psim 仿真平台选择 Chord-PNS 作为标识符生成算法,结点标识符大小为 32bits,模拟产生由 1000 个事件代理结点组成的 Chord 环。

假设发布/订阅系统应用领域内共有 20 个类,50 个属性,仅考虑属性之间的继承和等价关系。仿真实验重点验证语义发布/订阅系统路由算法而非匹配算法,订阅图模式中的属性弧不考虑类型和谓词条件约束,事件和订阅仅考虑相等匹配。给定一个具有 10 个结点(不包含弧标识为“rdf:type”的资源类型结点)、20 条弧(不包括“rdf:type”弧)的事件图,实验中所有的事件和订阅都由该事件图的三元组随机抽取组合生成,其中订阅数和事件数各 1000。通知消息格式为 20bytes 的包头, i_width 为事件大小,订阅的 NodeID 为 4bytes。

4.2 结果分析

图 3 描述了存储在各集结点的订阅个数以及订阅迁移对负载均衡策略的影响,其中过载阈值设为订阅数的 25%。如图 3 所示,由于 RSER 算法中订阅与集结点间采用的是随机映射,各集结点上分布的订阅数大致均匀;而 SERC 算法采用的是前驱结点映射,则会造成集结点上订阅分布非常不均。而与未采用订阅迁移的算法相比,由于采用了订阅迁移的负载均衡策略,各订阅集结点存储的订阅个数不会超过阈值,过载的集结点主动把部分订阅迁移至其各路由结点。这种订阅分布管理方式的优势在于,对于分布不均的数据集,即使不能保证系统负载在各订阅集结点间均匀分布,也能够确保承担负载较多的集结点不会被过度使用。此外,由于接收订阅迁移的结点同样位于订阅生成树的事件分发路径,在事件通知消息分发时可有效减少消息转发路由跳数。

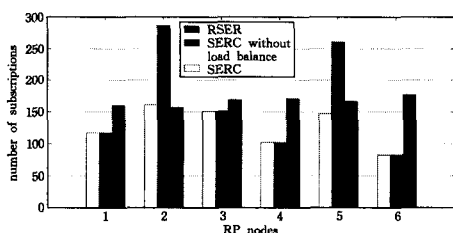


图 3 订阅分布

图 4 反映了事件转发平均路由跳数与事件代理结点数之间的关系,仿真实验重点考虑事件通知消息从集结点发送至各订阅者在事件代理结点网络中所需要的平均路由跳数。从图 4 中可以看出, SERC 算法所需的平均路由跳数小于 RSER。这是因为由 Chord 自带路由协议可知,相比 RSER 算法采用的随机映射方式, SERC 算法的前驱结点映射可以避免从集结点至接入代理结点之间在事件代理网络中通知消息转发经过不必要的路径。此外,订阅迁移的对象结点是集结点的下一跳路由结点,同样位于订阅生成树的转发路径。因此,该负载均衡策略不仅不会增加事件通知消息转发的路由跳数,相反,还可减少路由跳数。

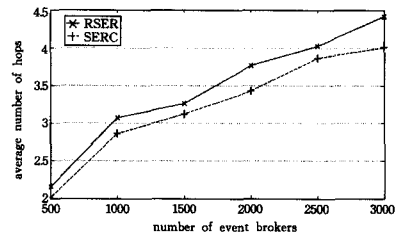


图 4 平均路由跳数

图 5 反映了事件转发消耗与事件数之间的关系,事件转发消耗包括事件发布和事件转发的资源消耗,仿真实验重点测试事件通知消息转发所造成的网络资源总消耗,可通过所有通知消息包消耗的存储容量衡量。如图 5 所示,事件转发消耗随着事件数的增加而增大, SERC 和 RSER 算法都采用了事件通知消息聚合统一分发而非逐个发送,可有效地降低网络资源消耗。此外, SERC 算法的事件转发消耗小于 RSER,这是因为 RSER 的事件转发平均路由跳数大于 SERC,参与转发的集结点多,造成资源消耗大;此外,在 SERC 算法中,对于从集结点迁移出的订阅来说,迁移过程中的订阅不必包含其 4bytes 的 NodeID 信息,相比直接从集结点开始的事件转发,该订阅的事件转发过程能够减小事件分发流量,迁移的订阅数越多,事件转发消耗降低得越明显。

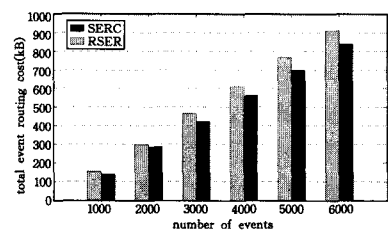


图 5 事件转发资源总消耗

结束语 语义发布/订阅系统是未来的发展趋势,本文重点研究了在 Chord 基础上构建语义发布/订阅系统路由算法问题,提出了一种基于集结点的路由策略。该路由算法首先采用保留语义的哈希函数映射订阅至事件代理结点,解决了结构化 P2P 网络中单一的精确查询与语义复杂数据模型之间的矛盾;其次根据信息集结点记录的订阅分布信息,仅发布事件至可能匹配的订阅集结点,可有效优化事件发布效率,减少不必要的事件发布流量;再次利用 Chord 自带路由协议构建的从集结点至各事件接入代理结点的订阅生成树分发事件通知消息,可大大减小通知消息流量;最后采用集结点过载订

(下转第 145 页)

果表明,本文所提方案及算法具有较高的响应速度、准确率。

不过本文的实验系统只是一个原型系统,规模较小,下一步需要进行更大规模的实际应用测试,还要更细致地考虑节点不同的特征,面向不同应用的传输质量要求,进一步优化路由机制。此外,如何激励更多节点加入到组播格网,从而促进节点的协同组播是需要进一步研究的内容。

参 考 文 献

- [1] Chuah M. Social Network Aided Multicast Delivery Scheme for Human Contact-Based Networks[C]// Simplex 2009, Venice, Italy, 2009: 231-237
- [2] 王维,杨明,罗军舟,等. 多射频无线 Mesh 网络组播端到端时延建模与优化[J]. 计算机学报, 2012, 35(7): 1358-1369
- [3] Chiang T-C, Chang Jia-lin, Lin S-W. A Distributed Multicast Protocol with Location-Aware for Mobile Ad-Hoc Networks[C]// Advances in Multimedia, Software Engineering and Computing Vol. 2, Springer, 2012: 691-697
- [4] 夏利,田东渭,刘宗奇. 基于节点相对移动性的自适应按需组播路由协议[J]. 计算机科学, 2012, 39(9): 94-100
- [5] Golle P, Leyton-Brown K, Mironov I, et al. Incentives for Sharing in Peer-to-Peer Networks[C]// Proc. of the ACM Conference on Electronic Commerce (WELCOM), 2001: 210-217
- [6] 李陟,张宏,刘凤玉. 一种基于好友簇的社交网络中的实验容忍路由协议[J]. 计算机科学, 2012, 39(2): 26-28
- [7] Chen T-W, Tsai J T, Gerla M. QoS Routing Performance in Multihop, Multimedia, Wireless Networks[C]// IEEE International Conference on Universal Personal Communications '97, Part 2, October 1997: 451-557

- [8] Zhang Hai-bo, Shen Hai-ying. A Social Network Based File Sharing System in Mobile Peer-to-Peer Networks[C]// Proceedings of 18th International Conference on Computer Communications and Networks, 2009 (ICCCN 2009). San Francisco, CA, 2009: 1-6
- [9] Kubo H, Shinkuma R, Takahashi T. Social Network Based P2P Multicast Reducing Psychological Forwarding Cost in Mobile Networks[J]. EICE Transactions, 2010, 93(12): 3260-3268
- [10] Eppstein D, Goodrich M T, Löffler M, et al. Category-based routing in social networks: Membership dimension and the small-world phenomenon[C]// Proc. 2011 International Conference on Computational Aspects of Social Networks (CASoN), CASON, Irvine, CA, 2011: 102-107
- [11] Magalhaes J, Holanda M. EIKO: A social mobile network for MANET[C]// Iberian Conference on Information Systems and Technologies, 2011: 1-5
- [12] Bae J H, Lee S H, Kim S W. VegaNet: A peer to peer overlay network for mobile social applications[C]// IEEE International Symposium on Consumer Electronics, 2009: 885-889
- [13] Emre S, Oriana R, Patrick S, et al. Enabling social networking in ad hoc networks of mobile phones[J]. VLDB Endow, 2009, 2(2): 1634-1639
- [14] Cabaniss R, Madria S, Rush G, et al. Dynamic social grouping based routing in a mobile ad-hoc network[C]// International Conference on Mobile Data Management, 2010: 295-296
- [15] 林闯,李寅,万剑雄. 计算机网络服务质量优化方法研究综述[J]. 计算机学报, 2011, 34(1): 1-14
- [16] 曹怀虎,朱建明,潘耘,等. 情景感知的 P2P 移动社交网络构造及发现算法[J]. 计算机学报, 2012, 35(6): 1223-1234

(上接第 140 页)

阅迁移的方法在一定程度上实现了系统负载均衡。

参 考 文 献

- [1] Eugster P T, Felber P A, Guerraoui R, et al. The many faces of publish/subscribe [J]. ACM Computing Surveys, 2003, 35(2): 114-131
- [2] 马建刚,黄涛,汪锦岭,等. 面向大规模分布式计算发布订阅系统核心技术[J]. 软件学报, 2006, 17(1): 134-147
- [3] 嵇伟,金蓓弘,陈海彪,等. 基于发布/订阅中间件的时空事件检测研究[J]. 计算机科学, 2012, 39(10): 99-103
- [4] 苑洪亮,史殿习,王怀民,等. 内容发布订阅中支持订阅覆盖的路由算法研究[J]. 计算机学报, 2006, 29(10): 1804-1812
- [5] 薛涛,冯博琴. 内容发布订阅系统路由算法和自配置策略研究[J]. 软件学报, 2005, 16(2): 251-259
- [6] 逯鹏,高庆一,刘旭东,等. 内容发布订阅系统的路由优化和负载均衡技术[J]. 北京理工大学学报, 2006, 26(11): 969-973
- [7] 刘春旭,刘元安,高锦春,等. 大规模 MANET 中基于分层架构的分簇式发布-订阅路由协议[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2013, 43(2): 451-458
- [8] Rowstron A, Kermarrec A M, Castro M, et al. SCRIBE: The de-

sign of a large-scale event notification infrastructure[C]//Proc. of the 3rd Int'l Workshop on Networked Group Communication, London: Springer-Verlag, 2001: 30-43

- [9] 汪锦岭,金蓓弘,李京. 结构化 P2P 网络上可靠的基于内容路由协议[J]. 软件学报, 2006, 17(5): 1107-1114
- [10] 尹建伟,施冬材,钱剑锋,等. 结构化 P2P 网络上语义发布/订阅事件路由算法[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2008, 42(9): 161-162
- [11] Zhao Wen, Liu Dian-xing, Liu Xue-yang. Routing Protocol of Semantics-Based Publish/Subscribe Systems over Kademlia Network[C]//In WRI International Conference on Communications and Mobile Computing, Yunnan, 2009: 189-196
- [12] 钱剑锋,尹建伟,董金祥. 结构化 P2P 网络的语义发布/订阅系统负载均衡算法[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2011, 45(10): 1710-1719
- [13] 汪锦岭,金蓓弘,李京,等. 基于本体的发布/订阅系统的数据模型和匹配算法[J]. 软件学报, 2006, 16(9): 1625-1635
- [14] Stoica I, Morris R, Karger D, et al. Chord: a scalable peer-to-peer lookup service for internet applications[C]//Proceeding of the ACM SIGCOMM Conference, San Diego, CA, 2001: 149-160
- [15] 施冬材. 基于对等网络的语义发布/订阅系统的关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007