

6-3-2020

Efficient Resource Search Mechanism in Selfish Mobile Peer-to-Peer Network

Liu Hao

1. Institute of Information, Hunan University of Humanities, Science and Technology, Loudi 417000, China;
;

Xuelong Zhang

2. Development of Electronic and Information Engineering, Changsha Normal University, Changsha 410100, China.;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Efficient Resource Search Mechanism in Selfish Mobile Peer-to-Peer Network

Abstract

Abstract: Because of the influence of node's own state and other factors, the node in mobile P2P network often shows the selfishness and resource preference, which greatly affects the resource search efficiency of the network system. Aiming at this problem, a novel resource search mechanism was proposed based cooperation degree of nodes in selfish mobile Peer-to-Peer network. In the search mechanism, through the comprehensive evaluation of the node's information forwarding rate, the overall similarity and the core degree, the node with the highest degree of cooperation was selected as the relay node for information forwarding. At the same time, through the analysis of the node's subjective forwarding rate, this search mechanism established its incentive mechanism, which incentivizes the node to participate in resource search. Analysis and simulation show that the search mechanism can effectively improve the success rate of resource search in the whole system, reduce the average search length, and has better query performance.

Keywords

mobile Peer-to-Peer network, cooperation degree, selfishness, resource search, incentive mechanism

Recommended Citation

Liu Hao, Zhang Xuelong. Efficient Resource Search Mechanism in Selfish Mobile Peer-to-Peer Network[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(5): 1093-1102.

自私性移动 P2P 网络中高效的资源搜索机制

刘浩¹, 张学龙^{2*}

(1. 湖南人文科技学院信息学院, 湖南 娄底 417000; 2. 长沙师范学院电子信息工程系, 湖南 长沙 410100)

摘要: 由于移动 P2P(Peer-to-Peer) 网络中节点自身状态等因素的影响, 节点往往表现出自私性和资源偏好性, 这极大地影响了网络系统的资源搜索效率。针对该问题, 给出了一种移动 P2P 网络中基于节点协同合作度的资源搜索机制。该搜索机制通过综合评价节点的信息转发率、综合相似度与核心度, 选择协同合作度高的节点作为中继节点进行信息转发; 同时, 通过分析节点的主观转发率以建立其激励机制, 激励节点参与资源搜索。分析与实验结果表明该搜索机制能够有效地提高整个系统的资源搜索成功率, 降低其平均搜索长度, 具有较好的查询性能。

关键词: 移动 P2P 网络; 协同合作度; 自私性; 资源搜索; 激励机制

中图分类号: TP393 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 05-1093-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201705022

Efficient Resource Search Mechanism in Selfish Mobile Peer-to-Peer Network

Liu Hao¹, Zhang Xuelong^{2*}

(1. Institute of Information, Hunan University of Humanities, Science and Technology, Loudi 417000, China;

2. Development of Electronic and Information Engineering, Changsha Normal University, Changsha 410100, China.)

Abstract: Because of the influence of node's own state and other factors, the node in mobile P2P network often shows the selfishness and resource preference, which greatly affects the resource search efficiency of the network system. Aiming at this problem, a novel resource search mechanism was proposed based cooperation degree of nodes in selfish mobile Peer-to-Peer network. In the search mechanism, through the comprehensive evaluation of the node's information forwarding rate, the overall similarity and the core degree, the node with the highest degree of cooperation was selected as the relay node for information forwarding. At the same time, through the analysis of the node's subjective forwarding rate, this search mechanism established its incentive mechanism, which incentivizes the node to participate in resource search. Analysis and simulation show that the search mechanism can effectively improve the success rate of resource search in the whole system, reduce the average search length, and has better query performance.

Keywords: mobile Peer-to-Peer network; cooperation degree; selfishness; resource search; incentive mechanism

引言

近十年来, 由于无线通信技术的迅速发展以及



收稿日期: 2016-08-04 修回日期: 2016-10-11;
基金项目: 国家自然科学基金(61572191, 61571188),
湖南省教育厅优秀青年科研项目(15B125), 湖南省计算机应用技术重点建设学科(湘教发[2011]76号);
作者简介: 刘浩(1977-), 男, 湖南邵阳, 博士后, 副教授, 研究方向为并行计算、P2P 网络。

移动用户对协同工作和资源共享日益增长的需求, 移动 P2P(Peer-to-Peer) 网络的应用越来越广泛, 并得到了产业界和学术界的普遍关注^[1]。移动 P2P 网络的自组织、便携性、动态性等特点, 使网络节点数量大幅度增大的同时, 也使得网络中存在大量的自私性节点^[2]。相关研究^[3-5]表明, 在 P2P 网络中, 存在着 2/3 以上的 freerider 节点, 它们只消费网络

系统中的资源，却不愿意共享自身的资源。同时，移动 P2P 网络中存在着大量不可靠的服务质量和欺诈行为^[4]。P2P 网络是基于“人人为我，我为人人”这一基本理念而实现的，但由于节点的异构性，加之节点自身资源如电池能量、处理能力受限，理性用户节点更多地表现出其自私性和资源偏好性^[3]。然而，移动 P2P 这种网络模式是由大量移动终端节点所组成，单个节点的无线通信范围有限，节点间必须通过相互的协同合作，逐步地将信息转发到目标节点。因此，如果节点在进行资源搜索时不考虑中继节点自私性和资源偏好性的影响，将导致其发送的资源搜索信息无法到达目标节点或者搜索效率低下。所以，如何在自私性移动 P2P 网络中建立高效的资源搜索机制，并约束节点的自私行为，激励节点积极参与资源搜索，是移动 P2P 网络需要解决的关键问题之一。

根据拓扑结构化的程度不同，P2P 网络大致可分为结构化的、非结构化的和分层结构的 3 类^[6]。结构化 P2P 网络尽管能提供精确的资源定位机制，但是系统需要较大的网络开销来维护其拓扑结构。非结构化 P2P 网络的文件数据存储、节点的管理都比较松散，但是存在资源搜索效率不高，网络开销大等问题^[7]。分层结构的 P2P 网络中，系统需要高性能的节点作为超级节点，因此存在单点失效等问题。相对于传统 P2P 网络，移动 P2P 网络的主要特点有：(1) 节点的移动性导致网络拓扑变化频繁；(2) 移动节点间链接的速率不稳定性及易失效性；(3) 网络节点自身的资源和连接能力受限^[1]。所以，移动 P2P 网络的拓扑结构大多数是分层结构的和非结构化的。文献[8]提出了一种基于网格坐标自治域的移动 P2P 网络拓扑构造方法，并针对该拓扑结构给出了基于分层索引节点的资源查找策略。针对移动 P2P 社会网络这类复杂的动态时变网络，文献[9]提出了一种在消息传播过程中其时效性随时间和传播路径衰减的关键节点发现方法。由于节点的异构性，节点在带宽、处理能力和存储容量等方面存在较大的差异；文献[10]提出

了一种利用查询转发异质性的方法，充分利用节点的异构性，具有高查询应答能力的节点将享有较高的查询优先级，以最大限度地提高 P2P 网络的资源搜索效率。针对非结构化 P2P 网络资源搜索效率低下，黄俊成等人给出了一种异构的非结构化 P2P 网络语义搜索机制^[11]。何明等人将用户需求、用户偏好、用户兴趣度等因素融入到非结构化 P2P 资源定位泛洪算法中，采用带有用户需求信息的查询索引机制，以解决查询节点盲目使用中继节点的现象^[12]。针对泛洪算法和随机查找算法在搜索过程中网络系统开销大等原因，文献[13]引入了消息索引缓存与受限接收机制，给出了一种非结构化 P2P 网络的受限搜索机制。针对现有的泛洪搜索方法中相当一部分的查询信息被不必要地盲目转发等问题，文献[14]给出了一种非结构化 P2P 网络中基于临时链接的搜索方法，该方法通过使用临时链接减少查询消息的盲目转发，有效地提高了搜索效率。非结构 P2P 网络中，已有的搜索协议对于稀有资源的搜索是低效的。针对该问题，文献[15]提出了一种稀有资源的主动复制与搜索策略，由拥有稀有资源的节点主动发起对稀有资源需求信息与需求节点的搜索，从而降低稀有资源搜索的网络开销，提高稀有资源的点击率。

然而，这些资源搜索机制往往以若干项指标的组合作为选择中继节点的标准，通过特定的协议或算法尽可能地降低资源搜索路径长度。这些指标要么没有考虑移动节点由于自身资源受限等因素所表现出来的自私性及其对资源搜索的影响，要么没有考虑不同节点对不同类型资源所表现出的不同兴趣偏好。在移动 P2P 网络中，理性用户节点由于其自私性和资源偏好性，在资源搜索过程往往存在着违背协议的动机，因此，很难达到传统协议约定的预期目标。因此，在综合考虑移动节点的自身状态和资源偏好性等因素，给出了一种移动 P2P 网络中基于节点协同合作度的资源搜索机制 (Resource Search Mechanism Based Cooperation Degree of Nodes in Selfish Mobile Peer-to-Peer

Networks, 简称 RSMCD); 该搜索机制通过综合评价节点的信息转发率、综合相似度与核心度, 请求节点选择协同合作度高的节点作为中继节点进行信息转发; 并通过分析节点的主观转发率以建立节点的激励机制, 激励节点积极参与资源搜索; 以提高整个系统的资源搜索效率, 降低网络资源的消耗。

1 网络模型

移动 P2P 网络本质上是各种无线终端在 Internet 上构建的一种分布式覆盖网络, 其目标是充分利用 Internet 环境中各种可能的无线终端进行大规模的协作工作和资源共享^[1]。根据前面的分析, 我们认为移动 P2P 网络中每个节点都是理性的自私节点, 并在网络模型方面给出一些必要的基本假设。

(1) 网络被抽象为一个由移动节点所构成的连通图 $G(V, E)$, 其中: V 表示移动节点的集合; E 表示移动节点间链路的集合, 当且仅当两个移动节点 x, y 都处在相互间的传输范围之内, 才有 $(x, y) \in E$, 显然, E 中所有的链路都是双向的;

(2) 每个移动节点都是理性的自私节点, 如果没有相应的激励机制, 不一定会积极地转发其他节点的资源搜索信息;

(3) 对于来自其他节点且自身不是目标节点的信息, 节点可能采取转发或丢弃两种操作, 对于因客观原因无法转发的信息则直接丢弃, 对于客观上可转发的信息, 由其自私性决定转发或丢弃^[3];

(4) 在网络运行过程中, 每个移动节点均处于混杂工作模式, 可监听到其传输范围内其他节点对资源搜索信息的处理情况;

(5) 每个移动节点的初始能量相同, 且不能补充, 并且在运行过程中知晓自身的能量状态;

(6) 每个移动节点对不同类型的资源会表现出不同的兴趣偏好。

2 节点协同合作度的计算模型

与目前现有工作不同, 基于节点协同合作度的

资源搜索机制一方面会考虑移动节点的自身状态等因素对节点行为的影响; 另一方面也会考虑节点对不同类型的资源所表现出的不同兴趣偏好。因此, 通过综合评价节点的信息转发率、综合相似度与核心度, 资源搜索请求节点会选择协同合作度高的节点作为中继节点进行信息转发。

2.1 节点综合相似度

用户节点对不同类型资源的偏好度往往是不同的, 这可以从不同节点对每类资源的共享程度以及其查询行为两个方面得到体现。借鉴社会网络的基本原理, 节点之间的相似度主要包括节点对每类资源的共享度和查询行为两个方面。

定义 1 设该网络系统所共享的资源可以通过某一分类器分为 M 种类型, 则资源类别集合可表示为 $O = \{o_j | 1 \leq j \leq M\}$ 。

定义 2 设移动节点 p_i 的资源共享向量可表示为: $S_i = \{s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{iM}\}$ 。

式中: s_{ij} 为节点 p_i 的第 j 类资源共享度, 其大小正比于节点 p_i 共享第 j 类资源的数量。

定义 3 设移动节点 p_i 的资源查询向量可表示为: $F_i = \{f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{iM}\}$ 。

式中: f_{ij} 为节点 p_i 对第 j 类资源的查询需求, 由局部性原理可知, 节点 p_i 查询历史次数越多的某类资源, 其预期查询的可能性也越大。所以, f_{ij} 正比于节点 p_i 查询第 j 类资源的历史次数。

定义 4 设节点 p_i 与节点 p_j 之间的资源共享相似度可表示为 $GS_{ij} = \frac{S_i \cdot S_j}{|S_i| \times |S_j|}$ 。

定义 5 设节点 p_i 与节点 p_j 之间的资源查询相似度可表示为 $GF_{ij} = \frac{F_i \cdot F_j}{|F_i| \times |F_j|}$ 。

定义 6 则节点 p_i 与节点 p_j 之间的综合相似度可表示为

$$GL_{ij} = \alpha \cdot GS_{ij} + \beta \cdot GF_{ij} \quad (1)$$

式中: α, β 是系统自设参数, 分别为资源共享相似度和资源查询相似度的权重, 并有 $\alpha + \beta = 1$ 。

2.2 转发概率

在移动 P2P 网络中, 节点对搜索信息的转发概率主要受其主观态度以及内外的客观条件等 3 个因素的影响。下面我们分别从节点 p_i 的内部客观转发概率、外部客观转发概率、主观转发概率 3 个方面来分析节点 p_i 对搜索信息的转发概率。

2.2.1 内部客观转发概率

定义 7 设节点 p_i 的剩余能量百分比为:

$$E_i = \frac{E_{t-i}}{E_{\max-i}} \quad (2)$$

式中: E_{t-i} 为节点 p_i 当前 t 时刻的剩余能量值; $E_{\max-i}$ 为节点 p_i 的初始能量值。

定义 8 设节点 i 的剩余缓存空间百分比为:

$$B_i = \frac{B_{t-i}}{B_{\max-i}} \quad (3)$$

式中: B_{t-i} 为节点 p_i 当前 t 时刻的剩余缓存空间值; $B_{\max-i}$ 为节点 p_i 的最大缓存空间值。

一般情况下, 节点 p_i 的剩余能量百分比越大, 其参与资源搜索信息转发的可能性越大; 同理, 节点 p_i 的剩余缓存空间百分比越大, 其参与资源搜索信息转发的可能性也越大。因此, 根据式(2)和(3), 节点 p_i 的内部客观转发概率 IOFP (inner objective forwarding probability) 可表示为

$$\text{IOFP}_i = E_i \cdot B_i \quad (4)$$

2.2.2 外部客观转发概率

外部客观转发概率 EOFP (external objective forwarding probability) 主要考察节点的连接状态及其所处的网络环境等因素对节点转发资源搜索信息的影响。目前, 这方面的度量参数主要有信号强度指标、信噪比、误码率、包投递率等。其中, 包投递率是当前使用最多且最方便测量的度量参数, 因此, 本文使用包投递率来表示节点的外部客观转发概率 EOFP。

在移动 P2P 网络中, 为了保证网络的连通性, 相邻节点需要定期(系统约定的时间周期, 设为 τ 秒)地发送 HELLO 包来交换信息。所以, 节点 p_i 的

外部客观转发概率 EOFP 可表示为

$$\text{EOFP}_i = \frac{\text{rec}_i}{\text{send to}_i} \quad (5)$$

式中: send to_i 是节点 p_i 的邻居节点在时间周期 τ 秒内发送给节点 p_i 的 HELLO 包数量; rec_i 是节点 p_i 在时间周期 τ 秒内实际收到来自其邻居节点的 HELLO 包数量。

2.2.3 主观转发概率

在移动 P2P 网络中, 节点 p_i 的主观转发概率 SFP _{i} (subjective forwarding probability) 表示该节点对于网络中其他节点的资源搜索信息, 其参与转发的主观意愿。由于节点的自身能量受限等原因, 因此, 可以允许网络中的节点存在一定的自私性。这里, 本文引入主观转发概率来描述节点的自私性, 并且 SFP 取值范围是 [0, 1]。

其中, 当 SFP _{i} = 1, 表示节点 p_i 是完全合作的, 在客观条件允许的情况下会转发所有的资源搜索信息。SFP _{i} = 0, 表示节点 p_i 是完全不合作的, 不会参与任何的资源搜索信息转发。

综合节点 p_i 的主观转发概率、外部客观转发概率、内部客观转发概率, 则节点 p_i 对搜索信息的转发概率可表示为

$$\text{FP}_i = \text{IOFP}_i \cdot \text{EOFP}_i \cdot \text{SFP}_i \quad (6)$$

由于节点 p_i 的主观转发概率 SFP _{i} 不方便测量, 所以通过式(6)无法计算出节点 p_i 的转发概率 FP _{i} 。但是, 节点 p_i 对搜索信息的转发概率 FP _{i} 还可以表示为单位时间内节点 p_i 正常转发它所收到的资源搜索信息包数量与节点 p_i 实际收到的资源搜索信息包数量之间的比值。即

$$\text{FP}_i = \frac{\text{forward}_i}{\text{obtain}_i} \quad (7)$$

式中: forward_i 为单位时间内节点 p_i 正常转发它所收到的资源搜索信息包数量; obtain_i 为节点 p_i 实际收到的资源搜索信息包数量。

2.3 节点核心度

参考文献[16]的相关理论, 使用移动 P2P 网络

中节点的连接度数来表示节点之间关系的紧密程度。并给出如下定义:

定义 9 称网络系统中具有最大连接度数(度数最高)的节点为中心节点, 设中心节点度数为 D_{\max} 。

定义 10 设任意节点 p_i 的核心度为 CC_i , 并有 $CC_i = \frac{D_i}{D_{\max}}$ 。其中, D_i 为节点 p_i 的连接度数。

2.4 节点的协同合作度

综上分析可知, 节点 p_i 对节点 p_j 的协同合作度主要从节点 p_i 的信息转发率、节点 p_i 与节点 p_j 之间的综合相似度与节点 p_i 的核心度三个方面来考察。因此, 根据式(1)、式(7)和定义 10, 节点 p_i 对节点 p_j 的协同合作度可表示为:

$$Coll_{ij} = \lambda_1 \cdot FP_i + \lambda_2 \cdot GL_{ij} + \lambda_3 \cdot CC_i \quad (8)$$

式中: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 是系统自设参数, 分别为 3 个方面的权重因子, 并有 $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$ 。

2.5 权重因子的确定

对于权重因子 α, β 和 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 的确定, 我们分别采用层次分析法^[17]。层次分析法就是对各评价因素相互间的重要性进行两两比较, 在允许相容性范围内, 根据综合重要性排出其评价顺序, 并进行特征根计算。为了便于量化, 引入 1~9 的标度来表示各评价因素之间比较强弱关系, 如表 1 所示。

表 1 权重因子的标度
Tab. 1 Scale of weighting factor

标度 a_{ij}	定义
1	因素 i 与因素 j 一样重要
3	因素 i 比因素 j 稍重要
5	因素 i 比因素 j 较重要
7	因素 i 比因素 j 非常重要
9	因素 i 比因素 j 绝对重要
2, 4, 6, 8	因素 i 与因素 j 的重要性介于上述两个相邻等级之间
倒数 1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9	因素 j 与因素 i 的比较 a_{ji} 得到 a_{ij} 的倒数, 即 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

假设评价因素的个数为 m , 对它们进行两两比较(在系统初始化, 根据系统性能需求由所有节点

投票决定), 按上述标度赋值, 得到如下判断矩阵:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mm} \end{pmatrix} \quad (9)$$

式中: $a_{ii} = 1, i = 1, 2, \dots, m; a_{ji} = 1/a_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, m$ 。

求判断矩阵 A 的最大特征根与所对应的权重向量, 步骤如下:

(1) 先求判断矩阵 A 的最大特征根 λ_{\max} 与所对应的特征向量

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix} \quad (10)$$

(2) 判断矩阵的一致性检验, 所谓一致性是指判断思维的逻辑一致性。利用一致性指标 $C \cdot I = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}$ 和一致性比率 $C \cdot R$ 做一致性检验, 其中 $C \cdot R = \frac{C \cdot I}{R \cdot I}$, 随机一致性指标 $R \cdot I$ 通过其标准值参考表(见表 2)可查。

表 2 随机一致性指标 RI 标准值参考表

Tab. 2 Standard value reference table of RI

矩阵阶数 m	3	4	5	6	7	8	9	10
$R \cdot I$	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

(3) 若 $C \cdot R < 0.1$ 或 $C \cdot I < 0.1$, 则检验通过, 则对

特征向量 $W = \begin{bmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix}$ 进行归一化之后得到权重向量。

(4) 否则, 若检验没通过, 需要调整函数因子之间两两比较的标度值, 重新构造判断矩阵 A , 重复上述步骤。

3 激励机制

在移动 P2P 网络中, 由于用户节点的能量等资源受限等原因, 节点从自身利益出发, 它们存在一定的自私行为, 在资源搜索过程中不是完全合作的。如果没有任何相应的激励机制, 就可能造成整个网络系统的自私节点数量过多或者节点的自私

性程度过高,这将导致整个网络系统的资源搜索效率低下。因此,需要设计相应的激励机制来约束节点的自私行为,以保证系统的整体效用。

3.1 一次性博弈的“囚徒困境”

我们先考虑两个互为邻居节点的一次性博弈情况。资源搜索博弈包括两个博弈方:节点 p_i 和节点 p_j ,两者都需要对方转发自己的资源搜索信息包,两者可供选择的策略为“Y”(即合作)与“N”(即不合作)。那么,一次性博弈的收益矩阵如表 3 所示。

表 3 两个邻居节点之间一次性博弈的收益矩阵
Tab. 3 Payoff matrix of two neighbor nodes in a game

策略		节点 p_j	
		Y	N
节点 p_i	Y	$(v-c, v-c)$	$(-c, \psi)$
	N	$(\psi, -c)$	$(0, 0)$

表 3 中, v 为两个节点在转发其邻居节点的资源搜索信息包过程中都采取合作策略 Y 时双方的收益; c 为双方的消耗成本; ψ 为当前其邻居节点采取合作策略 Y,而自己采取不合作策略 N 时的收益。当两个节点都采取不合作策略 N 时双方收益为 0。

当网络系统处于无任何有效约束的自组织状态下,不合作策略 N 是每个节点最佳选择。若大多数节点在资源搜索过程中都采取不合作策略,将使得移动 P2P 网络的整体性能极差,这又与节点参与到 P2P 网络系统中的目标是相背离的。那么在策略选择时,每个节点就会陷入集体理性和个体理性相矛盾的“囚徒困境”。这种“囚徒困境”的形成是由于两个邻居节点仅仅考虑了在资源搜索过程中一次性收益的情况。

3.2 基于重复博弈的惩罚激励机制

在资源搜索过程中,假如每个节点不仅仅只考虑一次性的收益,还需要考虑在以后的收益情况。由重复博弈的相关知识^[18]可知,只要设计好合适的惩罚机制, {Y, Y} 将是资源搜索博弈过程中唯一

能达到纳什均衡的策略组合。

因此,我们设定一个主观转发概率的阈值 Π 。对于任意节点 p_i ,根据式(6)和(7)可得到

$$\begin{cases} FP_i = \frac{\text{forward}_i}{\text{obtain}_i} \\ SFP_i = FP_i / (IOFP_i \cdot EOFPI_i) \end{cases} \quad (11)$$

若某一节点的主观转发概率 SFP 低于阈值 Π ,则认为该节点的自私性程度过高,需要通过惩罚以激励它提高其参与度。即当节点被检测到其主观转发概率 SFP 低于阈值 Π 时,将进入 T 时间的惩罚周期,在惩罚期间内其他节点不会给该节点提供任何方面的服务。

$$\begin{cases} T = \frac{\Pi - SEP}{\Pi} \cdot T_0, & 0 \leq SEP < \Pi \\ 0, & \Pi \leq SEP \leq 1 \end{cases} \quad (12)$$

式中: T_0 为惩罚周期的基准时间。当 $\Pi \leq SEP \leq 1$ 时,表示该节点的自私性程度可接受,不进行惩罚;当 $0 \leq SEP < \Pi$,则该节点将受到 T 时间周期的惩罚,并且自私性程度越高, T 值越大;极端情况就是 $SEP = 0$,即该节点是完全自私的,则 $T = T_0$ 。

根据重复博弈的相关理论^[18],若某理性节点因自私行为所得到的惩罚大于其所获得的收益,则该理性节点将不会发生自私性行为。由于,一旦检测节点在某时刻自私性程度过高,那么该节点将进入 T 时间的惩罚周期,在此惩罚期间其他所有节点都会拒绝为该节点提供任何服务,使得该自私节点在惩罚周期内没有任何收益。显然,只要 T_0 的值足够大,自私节点 T 周期内的惩罚将远大于其前期所获得的收益。

4 资源搜索算法

定义 11 设任意节点 p_i 的邻居节点集合为 $S_N(p_i) = \{p_j | (p_i, p_j) \in E\}$, 并有 $\Omega_{\min} \leq |S_N(p_i)| \leq \Omega_{\max}$ 。

定义 12 设任意节点 p_i 的熟人节点集合为 $S_F(p_i)$,即节点 p_i 与该集合内的元素都有过交互历史。

定义 13 设任意节点 p_i 的高协同合作度节点集合为 $S_Q(p_i)$, 并且该集合中任意节点的协同合作度都大于预定的门限值 K_{imi} 。

这 3 个集合之间的关系有 $S_N(p_i) \subset S_F(p_i)$, $S_Q(p_i) \subset S_F(p_i)$ 。并且, 系统中任意节点都会努力维持 Ω_{base} 个邻居节点, $\Omega_{min} \leq \Omega_{base} \leq \Omega_{max}$ 。

若某节点的主观转发率低于给定的阈值, 将进

入 $T = \frac{\Pi - SEP}{\Pi} \cdot T_0$ 时间的惩罚周期, 并将对该节点的惩罚信息在整个网络系统中进行广播。

根据以上基本思想, 给出自私性移动 P2P 网络中节点的资源搜索和邻居节点更新算法流程图如图 1 所示。

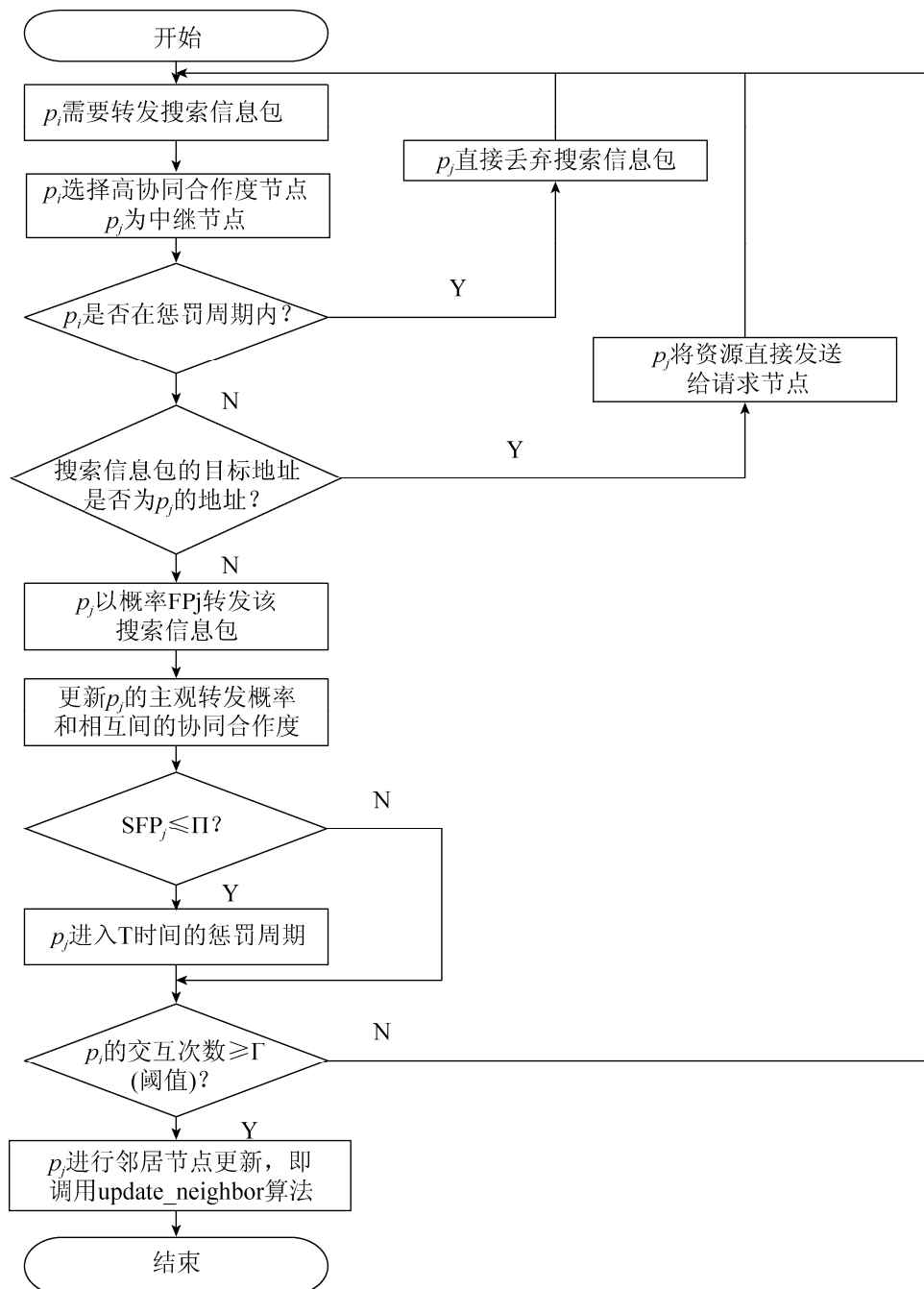


图 1 资源搜索和邻居节点更新算法流程图
Fig. 1 Algorithm flow chart of resource search and neighbor node updating

邻居节点更新算法描述伪代码如算法 1 所示。

算法 1 邻居节点更新算法

Alg. 1 Algorithm of neighbor node updating

```

update_neighbor( $p_i$ )
{
  num = 0; //统计节点  $p_i$  的交互次数
  for (all  $p_j \in S_N(p_i)$ ) //对于节点  $p_i$  的每个邻居
    if ( $Coll_{ij} < K_{ini}$ ) deleteNode( $p_j$ );
  while ( $(|S_N(p_i)| < \Omega_{base})$  and ( $num \leq Numax$ ))
    {  $p_k = chooseNodewithMaxCollFromS_Q(p_i)$ ;
      //  $p_k$  是  $S_Q(p_i)$  中协同合作度最高的节点
      Link_request_dispose( $p_k, p_i$ ); //调用链接建立请求算法
      num = num + 1;
    }
  if ( $(|S_N(p_i)| < \Omega_{base})$  then
     $\Omega_{base} = \max\{\phi\Omega_{base}, \Omega_{min}\}$ ; //一般取  $\phi = 0.8$ 
  end if
end if
}

```

假设节点 p_i 集合 $S_N(p_i)$, $S_F(p_i)$ 和 $S_Q(p_i)$ 中的元素均按协同合作度降序排列。

若节点 p_k 收到节点 p_i 的链接建立请求后, 将该链接建立请求进行处理, 其描述伪代码如算法 2 所示。

算法 2 链接建立请求处理算法

Alg. 2 Algorithm of neighbor node updating

```

Link_request_dispose( $p_k, p_i$ )
{
  if ( $Coll_{ki} < K_{ini}$ ) then
    refuse_link_request; //拒绝请求
  else if ( $(|S_N(p_k)| < \Omega_{max})$  then
    { establish_link( $p_k, p_i$ ); //建立链接
      up date_  $S_N(p_k)$ ;
      up date_  $S_Q(p_k)$ ;
    }
  else if ( $Coll_{ki} > Coll_{km}$ ) //  $p_m = chooseNodewithMinCollS_N(p_k)$ 
    then Link_replace( $p_i, p_m$ ); //  $p_i$  代替  $p_m$ 
    else refuse_link_request;
  end if
end if
end if
}

```

5 仿真试验与结果分析

为了评价该资源搜索算法的查询性能, 采用 JXTA 开发平台设计了一个网络模型。实验场景参数设置: 500 个移动节点(无线终端)随机分布在 4 000 m×3 000 m 的区域内, 每个节点使用 IEEE 802.11 无线网络接口, 节点移动速度为 0~10 m/s, 节点通信半径为 200 m, 移动方式遵循 Random Waypoint 移动模型。设网络系统一共有 50 种类型的文件, 每种类型至少包含 10 个文件, 每个文件被随机分配到不同的节点, 每个节点随机地发起 100 次资源搜索请求, 资源搜索请求信息的 TTL 值为 8。实验环境参数设置如下: $\Pi = 0.7$, $T_0 = 50$ s, $\Gamma = 5$, $K_{ini} = 0.6$, $\Omega_{min} = 3$, $\Omega_{base} = 6$, $\Omega_{max} = 10$ 。

实验 1 文献[12]给出的非结构化 P2P 资源定位泛洪策略简称 U2RLS, 文献[19]给出了一种基于转发区间的非结构化 P2P 泛洪搜索机制 FIFSM。由于 U2RLS, FIFSM 与 RSMCD 三者都是对非结构化 P2P 网络中泛洪搜索策略的改进, 具有比较基准的一致性。因此, 为了评价本文提出的查找策略, 将 U2RLS, FIFSM 与 RSMCD 一起进行仿真实验, 并进行试验结果的分析。当完全自私节点(主观转发概率为 0)在整个系统中的比例逐步增大时, 考察 U2RLS、FIFSM 与 RSMCD 的平均搜索成功率, 设三者均采用各自改进的泛洪搜索算法, 即在 U2RLS 中融入了用户需求、用户偏好、用户兴趣度等因素, 在 FIFSM 中基于转发区间和生成树的结构进行消息传播。实验结果如图 2 所示。

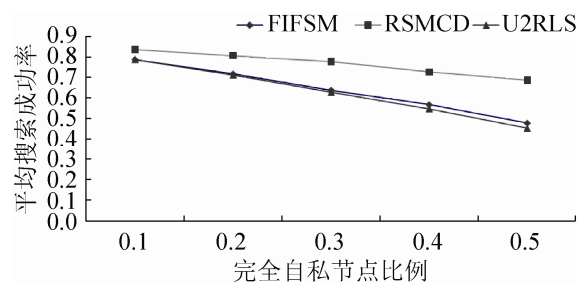


图 2 平均搜索成功率的比较图

Fig. 2 Comparison chart of the average search success rates

从图 2 可以看出, 当网络系统中自私节点的比例增大时, FIFSM 和 U2RLS 的平均搜索成功率快速下降, RSMCD 的平均搜索成功率基本保持不变。原因是 FIFSM 和 U2RLS 均没有约束自私节点的激励机制, 自私节点可能会采取“不合作”策略, 这会降低资源搜索的成功率。

实验 2 设完全自私节点在整个网络系统中占 20% 比例的情况下, 考察 FIFSM、U2RLS 与 RSMCD 三种算法的平均搜索长度。平均搜索长度定义为在搜索成功时平均需要访问的节点数目。其实验结果如图 3 所示。

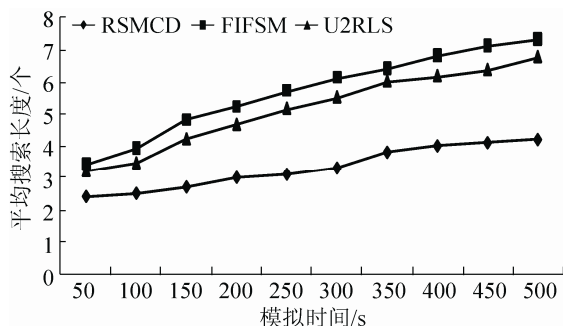


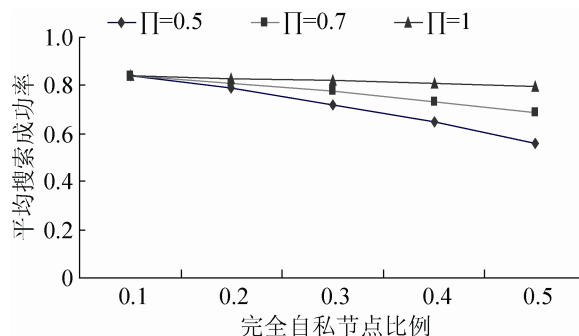
图 3 平均搜索长度的比较图

Fig. 3 Comparison chart of the average search lengths

从图 3 可以看出, 随着模拟时间的增长, RSMCD, FIFSM 和 U2RLS 三种算法的平均搜索长度都在增大, 但 RSMCD 的平均搜索长度最小, 且增大的幅度较为平缓。一方面原因是 RSMCD 基于节点的协同合作度, 本身能够降低系统的平均搜索长度, 另外一方面是 RSMCD 能够约束理性节点的自私行为, 提高理性自私节点的参与度, 进一步降低了系统的平均搜索长度。

实验 3 当完全自私节点在整个网络系统中的比例逐步增大时, 考察节点的主观转发概率 SFP 阈值 Π 对网络搜索性能的影响。即当阈值 Π 不同时, 考察采用 RSMCD 搜索算法的平均搜索成功率, 其实验结果如图 4 所示。

从图 4 可以看出, 当阈值 Π 越大, 网络系统的平均搜索成功率也越大。原因是阈值 Π 越大, 对节点的自私行为容忍度就越低, 越能提高理性自私节点的参与度。

图 4 不同阈值 Π 对网络搜索性能的影响Fig. 4 The influence of different threshold Π on the performance of network search

综上所述, 资源搜索机制 RSMCD 能够有效地提高整个网络系统的资源搜索成功率和平均搜索长度, 降低系统的能量消耗, 提高系统的资源搜索效率, 达到了预期的设计目标。

6 结论

针对移动节点存在自私性行为和对不同类型资源具有不同偏好性等问题, 提出了一种自私性移动 P2P 网络环境下的资源搜索机制和相应的节点激励机制, 给移动 P2P 网络的相关研究提供了新的研究思路。在现有的研究基础上, 我们未来研究的工作重点包括如何解决同一组织内节点为了共同利益而产生的共谋现象, 或如何建立负载均衡机制, 以提高移动 P2P 网络系统中的资源搜索效率等方面。

参考文献:

- [1] 张国印, 李军. 移动对等网络覆盖网 [J]. 软件学报, 2013, 24(1): 139-152. (Zhang G Y, Li J. Overlays in mobile P2P networks [J]. Journal of Software (S1000-9825), 2013, 24(1): 139-152.)
- [2] 郑明, 吴建平, 刘武. 一种基于价格的 P2P 匿名通信系统激励机制 [J]. 软件学报, 2015, 26(2): 52-60. (Zheng M, Wu J P, Liu W. Price-Based incentive mechanism for P2P anonymous communication system [J]. Journal of Software (S1000-9825), 2015, 26(2): 52-60.)
- [3] 曲大鹏, 王兴伟, 黄敏. 移动对等网络中自私节点的检测和激励机制 [J]. 软件学报, 2013, 24(4): 887-899. (Qu D P, Wang X W, Huang M. Selfish node detection and incentive mechanism in mobile P2P networks [J]. Journal of Software (S1000-9825), 2013, 24(4):

- 887-899.)
- [4] Michal Feldman, Christos Papadimitriou, John Chuang. Free-Riding and Whitewashing in Peer-to-Peer Systems [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* (S0733-8716), 2006, 24(5): 1010-1019.
- [5] 刘丙双, 韦韬, 邹维, 等. KAD 网络恶意索引节点行为研究 [J]. *计算机学报*, 2014, 37(5): 1124-1135. (Liu B S, Wei T, Zou W, et al. Study on the Behavior of Malicious Index Nodes in Kad [J]. *Chinese Journal of Computers* (S0254-4164), 2014, 37(5): 1124-1135.)
- [6] 刘浩, 张连明, 贺文华. 一种基于互惠能力的 P2P 网络拓扑优化算法 [J]. *计算机工程与科学*, 2016, 38(6): 1091-1096. (Liu H, Zhang L M, He W H. A topology optimization algorithm based on reciprocal capability in P2P network [J]. *Computer Engineering & Science* (S1007-130X), 2016, 38(6): 1091-1096.)
- [7] Gaur H, Gaur P, Choudhary V. Different search Algorithms in Unstructured P2P Systems [J]. *International Journal of Engineering Technology and Management* (S2394-6881), 2015, 2(3): 8-13.
- [8] 周欣欣, 高越, 宋人杰, 等. 移动 P2P 网络拓扑构造及资源查找策略 [J]. *计算机应用研究*, 2015, 32(12): 3773-3776. (Zhou X X, Gao Y, Song R J, et al. Topology construction and resource searching strategy for Peer-to-Peer networks [J]. *Application Research of Computers* (S1001-3695), 2015, 32(12): 3773-3776.)
- [9] 白宇清, 李海健, 蔡青松. 移动 P2P 社会网络中关键节点发现方法 [J]. *计算机科学与探索*, 2016, 10(3): 350-362. (Bai Y Q, Li H J, Cai Q S. Discovering key nodes in mobile P2P social networks [J]. *Journal of Frontiers of Computer Science and Technology* (S1673-9418), 2016, 10(3): 350-362.)
- [10] Chen Wang, Li Xiao. An Effective P2P Search Scheme to Exploit File Sharing Heterogeneity [J]. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* (S1045-9219), 2007, 18(2): 145-157.
- [11] Juncheng Huang, Xiuqi Li, Jie Wu. A semantic searching scheme in heterogeneous unstructured P2P networks [J]. *Journal of Computer Science and Technology* (S1000-9000), 2011, 26(6): 925-941.
- [12] 何明, 张玉洁, 孟祥武. 面向用户需求的非结构化 P2P 资源定位泛洪策略 [J]. *软件学报*, 2015, 26(3): 640-662. (He M, Zhang Y J, Meng X W. Resource location flooding strategy of unstructured P2P for user requirements [J]. *Journal of Software* (S1000-9825), 2015, 26(3): 640-662.)
- [13] 梅红岩, 张玉洁, 孟祥武, 等. 非结构 P2P 网络受限搜索机制 [J]. *软件学报*, 2013, 24(9): 2132-2150. (Mei H Y, Zhang Y J, Meng X W, et al. Limited search mechanism for unstructured peer-to-peer network [J]. *Journal of Software* (S1000-9825), 2013, 24(9): 2132-2150.)
- [14] Endo K, Imaoka A, Okano D, et al. A search method using temporary links for unstructured P2P networks [J]. *Journal of Networks* (S1796-2056), 2014, 9(7): 1665-1673.
- [15] 梅红岩, 张玉洁, 孟祥武. 基于局部需求的稀有资源主动复制与搜索机制 [J]. *软件学报*, 2015, 26(9): 2418-2435. (Mei H Y, Zhang Y J, Meng X W. Active replication and search strategy of scarce resources based on local demand [J]. *Journal of Software* (S1000-9825), 2015, 26(9): 2418-2435.)
- [16] 郭世泽, 陆哲明. 复杂网络基础理论 [M]. 北京: 科学出版社, 2012. (Guo ShiZe, Lu ZheMing. *Basic theory of complex network* [M]. Beijing, China: Science Press, 2012.)
- [17] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000. (Xie Jijian, Liu ChengPing. *Fuzzy mathematics method and its application* [M]. Wuhan, China: Huazhong University of Science and Technology Press, 2000.)
- [18] 史蒂文·泰迪里斯. 博弈论导论 [M]. 李井奎译. 北京: 中国人民大学出版社, 2015. (Steven Tadelis. *Game theory: an Introduction* [M]. Li Jingkui translation. Beijing, China: Ren Min University of China Press, 2012.)
- [19] 卢苇, 周韬, 邢薇薇. 一种改进的非结构化 P2P 网络洪泛搜索机制 [J]. *西北工业大学学报*, 2015, 33(2): 342-349. (Lu W, Zhou T, Xing W W. An Improved Flooding Based Search Mechanism in Unstructured P2P Network [J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University* (S1000-2758), 2015, 33(2): 342-349.)