

基于蚁群算法的 P2P 分发网返源规划

刘海钦, 郑 焱, 吴 刚, 朱 超

(中国科学技术大学网络传播系统与控制联合实验室, 网络传播系统与控制安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230027)

摘要: 在 P2P 分发网中, 返源策略是影响整个系统吞吐量和带宽利用率的关键技术之一。为了提高节点数据下载阶段的效率及系统总吞吐量, 目录服务器需基于先前收集的信息并采用返源策略对系统中各节点之间的连接进行规划。通过描述返源规划问题的模型, 提出了一种基于蚁群算法的规划策略来提高互相连接的节点之间数据块的可交换性。仿真结果表明, 新算法可以最大化连接节点内容的互补性, 继而减少了数据下载时间, 提高了系统吞吐量, 大大改善了 P2P 分发网的整体性能。

关键词: 内容分发网; 对等网络; 蚁群算法; 返源规划

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Seed - returning Planning in P2P Distribution Network Based on Ant Algorithm

LIU Hai - qin, ZHENG Quan, WU Gang, ZHU - Chao

(Joint Lab of NCSC, Key Lab of Anhui NCSC, USTC, Hefei Anhui 230027, China)

ABSTRACT: In P2P distribution networks, seed - returning planning policy as one of key factors greatly influences system throughput and the bandwidth utilization. Aiming at enhancing the download efficiency and the system throughput, the directory server needs to schedule the connection process using the formerly collected information. Based on an analytical model, this paper presents a planning policy using the ant colony optimization approach, which takes the overall disjointedness of content among peers into account and therefore makes full use of network bandwidth resources. Experiment demonstrates that the proposed policy can maximize the disjointedness of connected nodes, reduce the average download time, enhance the overall system throughput and greatly improve the performance of P2P distribution network.

KEYWORDS: Content distribution network; Peer - to - peer network; Ant algorithm; Seed - returning planning

1 引言

P2P 媒体分发网络 (P2P - based Media Distribution Network, PMDN) 是在内容分发网络 (Content Distribution Network, CDN) 的基础上, 通过在边缘代理节点中引入 P2P 协作机制, 构建用于分发大容量流媒体数据的覆盖网络, 其特点是减少了系统所需要的代理节点的数量, 并能更好地提供实时媒体数据分发业务。

为了提高节点数据下载效率, 从而提高整个系统吞吐量, PMDN 中的目录服务器 (Directory Server, DS) 需要根据

某种返源规划策略对系统中节点之间的连接进行分配, 此即返源规划问题。当前 BitTorrent (BT) 系统^[1]采用随机返源策略来返回源列表, 然而该连接分配方式存在缺陷, 即没有考虑待建立数据连接的各节点之间的内容可交换性。例如, 两个含有相同数据内容的节点有可能建立连接, 将导致节点有限带宽资源的浪费; 两个新加入网络的节点之间也会建立连接, 将导致带宽处于空闲状态; 根据 BT 采用的“针锋相对”的交换机制^[1], 若节点 1 的内容包含节点 2 的内容, 节点 2 将无法从节点 1 获取数据, 这一机制导致传统 BT 协议不适合用于构建大吞吐量的 P2P 分发网络。

针对传统 BT 协议的缺陷, Zou^[2]利用局部节点的数据上传和带宽信息, 提出一种基于贪心机制的简单算法。Adler^[3]提出一种节点激励模型, 以解决非结构化 P2P 网络中数据下载的节点选择问题。Koo^[4]采用遗传算法计算邻接关系

基金项目: 国家发改委项目中国下一代互联网 (CNGI) 示范工程 (CNGI - 04 - 15 - 2A); 新世纪优秀人才支持计划资助 (NCET - 04 - 0564)

收稿日期: 2007 - 08 - 07 修回日期: 2008 - 05 - 21

来提高建立连接的节点之间数据内容上的相异性,但由于假设网络所有节点同时下载数据,且遗传算法本身收敛速度较慢等因素,限制了该算法的实时应用。

为实现互相建立连接的节点之间数据内容上的互补,需要每个节点向 DS 周期性地报告已更新的文件详细位图,这也有助于提出更准确更优化的返源规划算法,但同时给 DS 带来过大的负载并导致网络可扩展性变差。为了评价节点之间的数据差异性,假设每个数据块在各个节点中是等概率部署,并且每个节点中数据块的基数服从超几何分布,这样就可以仅利用节点下载的数据量信息来估计代价函数,进而提出规划策略。

本文采用节点当前总下载数据量作为算法决策依据,考虑在节点的连接数及带宽资源有限的约束情况下,尽可能地提高互相连接的各节点中数据块内容上的可交换性,最终达到提高请求节点数据下载效率和系统吞吐量的目的。该问题可表示成一个组合优化问题,本文为此提出一种启发式优化算法,并通过仿真试验对算法进行评价。

2 模型描述

给定 N 个节点,采用无向图 $G(V, E)$ 表示覆盖网;节点集 $V = \{v_1, \dots, v_N\}$;边集 $E = \{e_{ij} \in \{0, 1\} : i, j = 1, \dots, N\}$,表示两个节点之间连接情况:若节点 i 与节点 j 相连则 $e_{ij} = 1$,否则 $e_{ij} = 0$,当 $i \neq j$ 时有 $e_{ij} = e_{ji}$,当 $i = j$ 时 $e_{ij} = e_{ji} = 0$ 。设 M 表示一部完整影片的数据块对象集合, M_i 表示节点 i 中含有该影片的数据块集合。在对等网络中,设节点 i 的最大连接数为 $d_i < N$,这样也可避免对等网络成为一个幂律分布网络。采用:

$$M_i \setminus M_j = M_i - (M_i \cap M_j) \quad (1)$$

表示节点 i 包含而节点 j 不包含的数据块集合,即节点 i 可贡献给节点 j 的数据块集合, $|M_i \setminus M_j|$ 为 $M_i \setminus M_j$ 的基数,表示集合 $M_i \setminus M_j$ 中数据块的数量,也表示节点 i 可以提供给节点 j 的数据块数量。由于影片数据块等概率部署至网络中各个节点,故可近似采用一个服从超几何分布的离散型随机变量表示 $|M_i \setminus M_j|$ 。

为使节点间数据块的可交换性最大,需要求解边集 E ,从而使网络中每个节点可贡献给其它请求节点的数据块数量最大。引入集合 φ_{ij} ,当 $e_{ij} = 1$ 时 $\varphi_{ij} = C$;当 $e_{ij} = 0$ 时 $\varphi_{ij} = \phi$ 。这样返源规划问题可表示成问题 A:

$$\begin{aligned} \max_E \sum_{j=1}^N \left| \bigcup_{i=1}^N \{(M_i \setminus M_j) \cap \varphi_{ij}\} \right| \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^N e_{ij} \leq d_i, 1 \leq i \leq N \end{aligned} \quad (A)$$

由于问题 A 涉及到集合概念,虽然比较直观但是不易直接求解。采用类似文献[4]的推导证明,可将问题 A 转化成问题 B。即通过求解邻接矩阵 E ,使目标函数 F 达到最大:

$$\max_E F^* = \max_E \sum_{j=1}^N \{G_j(N) - p_j\} |M| \quad (B)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^N e_{ij} \leq d_i, 1 \leq i \leq N$$

其中, $p_i = \frac{|M_i|}{|M|}$,表示节点 i 中所含数据块的数量占完整影片数据块总量的比值。

$$G_j(N) \approx \frac{1}{|M|} \left| \bigcup_{i=1}^N (M_i \cap \varphi_{ij}) \cup M_j \right| \quad (2)$$

为各个节点上所含数据量占完整影片数据的比值及邻接矩阵元素的递归函数。

3 启发式求解算法

返源规划问题实际上是 0-1 整数规划问题,已被证明为 NP 完全问题^[5]。在有限时间内找到一个最优解不仅是不可能的,也没有必要。这是由于在实际系统中,尽管 DS 能够返回一系列的候选节点给请求节点 i ,但节点 i 无法控制任何其它节点的自主行为;另外返回的候选节点也可能由于网络通信故障的原因而无法及时响应节点 i 的数据请求。考虑算法应能适应动态变化的网络环境,应寻求一种快速的启发式算法来优化该问题。

3.1 基于贪心算法的方案

实际中不可能过于频繁地调整网络,因此返源规划问题可以采用一种基于贪心算法的解决方案:当节点 i 做出数据请求时,DS 根据节点统计信息返回可以接受额外连接的 d_i 个较优节点的列表;评价较优节点的原则就是计算针对节点 i 的连接分配是否能够增大节点之间数据块的差异性。该方案虽没有给出最优的解决方案,但由于无需频繁地针对全网情况作调整,从算法实现效率的角度考虑还是值得采用的。

3.2 基于蚁群算法的方案

蚁群算法是意大利学者 Macro Dorigo 最早提出的,在解决离散组合优化问题上取得了良好效果,且实现简单^[7]。采用蚁群算法求解返源规划问题时,需根据问题的特点做出算法上的调整。针对优化问题 B,需将其转化成无约束优化问题。故对问题 B 的目标函数 F 做变换,并引入罚函数项 H ,构造如下函数:

$$\min_E (P) = -F + \mu H \quad (3)$$

其中,

$$H = \sum_{i=1}^N \left\{ \min(0, (d_i - \sum_{j=1}^N e_{ij}))^2 \right\} \quad (4)$$

μ 为罚因子,为充分大的正实数。在求解返源规划问题的蚁群算法 (Seed - returning Planning Algorithm, SRPA) 中,关键是把待求解的实际问题转化为蚁群网络。仔细观察待求解的邻接矩阵 E ,对所有 i, j 均有 $e_{ij} = e_{ji}$,当 $i = j$ 时, $e_{ij} = 0$,这样邻接矩阵可以转化成一长度为 $N(N-1)/2$ 的二进制位串。设 $m = N(N-1)/2$,则问题的一个可行解为 $(x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_m), 1 \leq k \leq m$ 。解空间如图 1 所示。 m 个变量各取定一个值便构成返源规划问题的一个解。

这样选取 m 个变量就变成一个 m 级决策问题,每一级

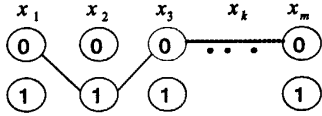


图1 可行解空间示意图

均有2个节点。初始时有若干蚂蚁在第一级,在第 k 级中选择第 l 个节点的概率 p_{kl} 为:

$$p_{kl} = \frac{\tau_{kl}}{\sum_{l=1}^2 \tau_{kl}} \quad (5)$$

其中 τ_{kl} 为第 k 级中第 l 个节点的信息量强度。

信息量更新规则为:

$$\tau_{kl}^{new} = (1 - \rho)\tau_{kl}^{old} + \frac{Q}{P} \quad (6)$$

其中 $1 - \rho$ 表示信息素的残留因子, ρ 一般取 $0.1 \sim 0.5$ 。 Q 为一正常数, P 为目标函数值。解空间中的一条路径便对应返源规划的一个解。初始化时,先产生大量的路径,从中选择一定比例的较优路径,且在那些路径下留下信息素(与路径长度成反比),这样各个路径的信息量就不同,以此来引导蚂蚁进行路径选择从而能够大大加快算法的收敛速度。蚂蚁每次巡游结束后,为了避免造成大量的信息素干扰,只对比较好的解才留下信息素,也即当所求的目标函数值大于给定的某个值时才留下信息素。

求解返源规划问题的蚁群算法(SRPA)如下:

1) 初始化完整影片大小、影片切块大小、网络中各个节点的最大连接数、已下载的数据量大小、蚁群算法各参数的初始值,设定蚂蚁的个数为 m_{ant} 、最大周游次数为 NC_{max} 、当前进化代数 $NC = 0$ 。

2) 将 m_{ant} 只蚂蚁置于第一级节点,每只蚂蚁按照式(5)计算转移概率 p_{kl} ,根据 p_{kl} 来选择该级中的一个节点,并记录每只蚂蚁的周游路径。

3) 将各蚂蚁的周游路径转化为待求邻接矩阵 E 来计算目标函数值 P 。若计算的函数值小于给定值,则在该路径上按照信息量更新规则式(6)更新信息素强度,并置 $NC \leftarrow NC + 1$ 。

4) 若 NC 大于预设的循环次数,停止运行,并返回找到的符合约束条件的最好结果,否则跳转至步骤2)。

目录服务器DS周期性地根据节点上报的下载量统计信息,调用SRPA算法对返回源节点的列表进行规划,即根据计算出的邻接矩阵对节点的数据请求返回源列表。

4 仿真试验

采用GPS^[6](General Peer-to-Peer Simulator)工具对P2P媒体分发网络进行仿真。网络初始设置50个节点,各节点上下行带宽均设为10Mbps。假设失败或离线节点将会丢失存储的数据。节点加入网络过程遵循到达率为 λ 的

Poisson过程,节点下载数据完毕在网络中的停留时间服从期望值为 t 分钟的指数分布,仿真实验的具体参数设置见表1。

表1 仿真实验参数的默认设置

Parameter	Setting	Parameter	Setting
networkSize	50	m_{ant}	20
λ (req/min)	1	ρ	0.3
t (min)	1	Q	500
movieSize (GB)	4	NC_{max}	100
blockSize (MB)	8	μ	200
d_i	20		

评价算法的指标为系统吞吐量和节点下载数据的时间。仿照文献[7],系统吞吐量指单位时间内所有节点的上载数据量总和。考虑到对DS的查询仅仅是信令上的交互,可认为DS的带宽没有受限。本文重点是对数据下载效率的研究,暂不对信令交互问题进行研究。为评价算法性能,将现有的BT协议采用随机返源方法、文献[4]中提出的遗传算法GA100、本文提出的贪心算法和SRPA算法进行比较。仿真持续时间为1000分钟,数据结果采用同样条件下运行5次的平均值。

图2表明在数据下载的初始阶段,四种规划算法性能是相近的,此时系统总吞吐量大体上都是随时间呈线性增长。这是由于在这段时间内,大部分节点均没有更新过数据块,任何新的数据块只能从一个单一的种子节点传送至其它节点。此时系统吞吐量的增加仅仅是由于不断新加入节点的数据需求增加所导致的。该趋势会持续整个下载过程,直至下载完毕后,退出系统的节点将抵消掉一部分该增长趋势。

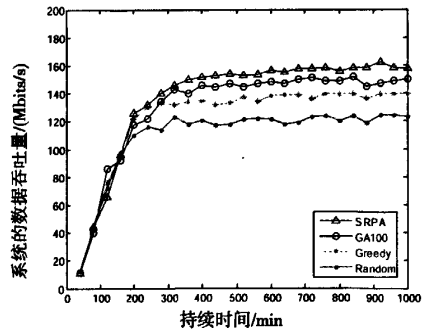


图2 几种规划算法的系统吞吐量比较

在系统吞吐量临近饱和阶段,当网络中可服务的节点越来越多时,SRPA、GA100和Greedy算法体现其优化特性。而采用Random策略,系统总吞吐量一直处于较低的水平。这是由于原始的Random策略没有充分利用种子节点的上传能力,例如新加入系统的节点之间也有可能互相建立连接,在这种情况下节点的传输能力是受到限制的,从而导致系统整体性能不佳。SRPA和GA100均体现出比Greedy更好的整

体性能,这是由于两种策略均考虑到全局代价因素,故能够从整体上更合理地利用网络带宽资源。此外,与 GA100 相比,SRPA 可使系统吞吐量保持更加稳定的状态,且性能上要略优。

此外比较了在四种返源算法下,节点下载完整影片所消耗的平均时间,如图 3 所示。

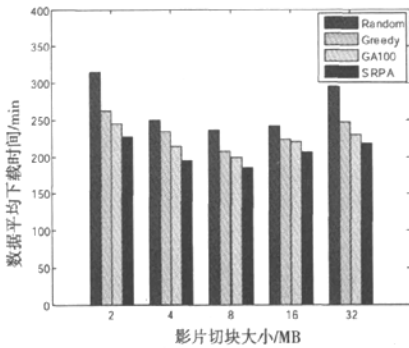


图 3 下载完整影片的平均时间比较

图 3 结果表明 SRPA 算法能极大的提高节点的数据下载速度,在切块大小为 8MB 的时,节点的数据下载时间比传统的 BT 采用的 Random 返源算法节省了近 18%。与 GA100、Greedy 算法相比其性能上也更为优越,显示 SRPA 算法不仅提高了系统吞吐量,也大大节省节点下载数据的时间。此外,结果显示在影片切块大小为 8MB 时,节点的平均下载时间相对最短,这是由于数据块切片太小会使节点需查询的次數大大增加,从而导致下载速度不高;而数据块切片太大则会导致节点请求到所需要数据块的概率变小,这样也会影响下载速率。

5 结束语

本文主要研究了在 P2P 分发网中目录服务器的返源规划问题。通过模型描述,将此问题表示成一个组合优化问题,在此基础上,提出了一种基于蚁群算法的返源规划策略。仿真结果表明,在节点的连接数受限的情况下,本文提出的 SRPA 算法能够更加合理地利用全网的带宽资源,最终提高了媒体分发网络的整体性能。

参考文献:

- [1] E Adar and B A Huberman. Free riding on gnutella[J]. First Monday, 2000, 5(10).
- [2] L Zou, E Zegura and M H Amma. The Effect of Peer Selection and Buffering Strategies on the Performance of Peer - to - Peer File Sharing Systems[J]. MASCOTS, Fort Worth, Texas, 2002.
- [3] M Adler, R Kumar, K Ross, D Rubenstein, D Turner and D D Yao. Optimal Peer Selection in a Free - Market Peer - Resource Economy[C]. The Second Workshop on Economics of Peer - to - Peer Systems, Cambridge, MA, 2004.
- [4] S G M Koo, C S G Lee and K Kannan. A genetic - algorithm - based neighbor - selection strategy for hybrid peer - to - peer networks[C]. In The 13th IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN2004), Chicago, IL, USA, October 2004.
- [5] T H Cormen, C E Leiserson, R L Rivest and C Stein. Introduction to Algorithms[M]. Second Edition, MIT Press, Cambridge, MA, 2001.
- [6] W Yang and N A Ghazaleh. GPS: A general peer - to - peer simulator and its use for modeling bittorrent[C]. In Proceedings of the 13th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS2005), Atlanta, GA, USA, September 2005.
- [7] D Qiu, R Srikant. Modeling and performance analysis of bit torrent - like peer - to - peer networks[C]. In: Yavatkar R, Zegura E W, et al, eds. Proc of ACM SIGCOMM, Portland; ACM Press, 2004. 367 - 378.
- [8] 高尚,杨静宇. 群智能算法及其应用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2006.

[作者简介]



刘海钦(1984 -),男(汉族),福建人,硕士研究生,主要研究方向为网络新媒体。

郑焯(1970 -),男(汉族),安徽人,副教授,主要研究方向为宽带多媒体服务等。

吴刚(1964 -),男(汉族),江苏人,教授,主要研究方向为网络新媒体,先进控制与优化。

朱超(1983 -),男(汉族),安徽人,硕士研究生,主要研究方向为网络新媒体。

[作者简介]



张迎宾(1972.12 -),男(汉族),河南开封人,博士研究生,研究方向:移动通信,自组网络。

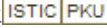
史浩山(1946.10 -),男(汉族),河南开封人,教授,博士生导师,研究方向:移动通信技术,数据通信与计算机网络。

(上接第 137 页)

Technical Report UIUCDCS - R - 2002 - 2273/UIUL - ENG - 2002 - 1717, University of Illinois at Urbana - Champaign, May 2002.

- [5] 王新梅,马文平,武传坤. 纠错密钥理论[M]. 北京:人民邮电出版社,2001. 174 - 187.

基于蚁群算法的P2P分发网返源规划

作者: [刘海钦](#), [郑焯](#), [吴刚](#), [朱超](#), [LIU Hai-qin](#), [ZHENG Quan](#), [WU Gang](#), [ZHUChao](#)
作者单位: [中国科学技术大学网络传播系统与控制联合实验室, 网络传播系统与控制安徽省重点实验室, 安徽, 合肥, 230027](#)
刊名: [计算机仿真](#) 
英文刊名: [COMPUTER SIMULATION](#)
年, 卷(期): 2008, 25(10)

参考文献(8条)

1. [E Adar;B A Hubenmm Free riding on gnutella](#) 2000(10)
2. [L Zou;E Zegum;M H Amma The Effect of Peer Selection and Buffering Suategies on the Pedonnance of Peer-to-Peer File Sharing Systems](#) 2002
3. [M Adler;R K. m. r.;K Ross;D Rubenstein, D Turner and D D Yao Optimal Peer Selection in a Free-Market Peer-Resource Economy](#) 2004
4. [S G M Koo;C S G Lee;K Kannan A genetic-algorithm-based neighbor-selection strategy for hybrid peer-to-peer net-works](#) 2004
5. [T H Cormen;C E Leiserson;R L Rivest;C Stein Introduction to Algorithms](#) 2001
6. [W Yang;N A Ghazaleh GPS:A general peer-to-peer sim-ulator and its use for modeling bittorrent](#) 2005
7. [D Qiu;R Srikant Modeling and performance analysis of bittorrent -like peer-to-peer networks](#) 2004
8. [高尚;杨静宇 群智能算法及其应用](#) 2006

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjz200810035.aspx