

一种基于移动 P2P 改进的 Gossip 算法

张国印 李 军 王向辉 徐国坤

(哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

摘 要 随着移动智能终端设备的普及,移动对等网络的研究不断走向深入。经典的 Gossip 算法虽然可以用于移动对等网络中的数据分发,但不能很好地适应移动网络的要求,尤其是对扰动的适应性。因此,为了实现拓扑控制信息的有效传播并保持节点资源列表的副本一致性,提出了一种基于特定拓扑结构改进的 Gossip 算法,其通过动态调节邻居节点数据分发概率来实现同 k-派系内所有节点的资源列表更新。模拟实验表明,采用此算法的数据分发效率较经典 Gossip 算法有明显改善,在保证网络负载较低的同时达到了泛洪数据分发策略的效率。

关键词 移动对等网络, Gossip, 数据分发

中图分类号 TP302.1 文献标识码 A

Improved Gossip Algorithm Based on Mobile P2P Networks

ZHANG Guo-yin LI Jun WANG Xiang-hui XU Guo-kun

(College of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract With the wide use of intelligent mobile terminals, the research of mobile peer-to-peer networks came to be in-depth continuously. Although the classic Gossip algorithm can be applied to data dissemination in mobile peer-to-peer networks, it cannot adapt to the requirement of mobile networks, especially to the adaptability of churn. Therefore, in order to realize the effective transmission of topology control information and to maintain replica consistency of the node resource lists, an improved Gossip algorithm based on the specific topology was presented to update the resource lists of nodes which belong to the same k-clique, by dynamically adjusting data dissemination probability of each neighbor node. Simulation results show that data dissemination efficiency of the proposed algorithm is improved significantly than the classic Gossip algorithm. It achieves the efficiency of flooding data dissemination strategy and ensures the lower network load.

Keywords Mobile peer-to-peer networks, Gossip, Data dissemination

1 引言

近年来,对等网(P2P)技术得到了深入的研究,从第一代发展到第三代,并在互联网上进行了广泛的应用。随着移动智能终端的大规模普及,移动对等网络开始成为新的研究热点。由于移动网络环境的特殊性,很多成熟的 P2P 技术无法直接应用到移动网络,移动对等网络的研究还主要集中在网络拓扑结构、动态节点算法、查询和搜索等核心机制上。

Gossip 算法自 1987 年被 Demers 等人^[1]首次提出以来,在分布式计算领域受到了广泛的关注。Gossip 算法由于具有简单、高效、容错性强等特点,在信息传播、负载均衡、路由算法等诸多领域得到了应用。在对等网络中, Gossip 算法的主要应用有 3 类:数据分发、聚合计算和覆盖网管理。在具体的应用过程中,不少研究者根据不同的应用环境和技术要求对经典的 Gossip 算法进行了改进。

在对等网络的覆盖网管理上, Gossip 算法主要被用来解决两类问题:一类是覆盖网拓扑结构的构建和维护;另一类是覆盖网成员管理。目前,针对移动网络解决上述问题的方案还相对较少。在构建移动对等网络的拓扑结构过程中,需要将一些控制信息进行传播,并定期将节点退出或失效所引起的变化通知给相关节点,从而对拓扑结构进行有效的控制。

因此,为在移动对等网络中实现拓扑控制信息的有效传播,并保持节点资源列表的副本一致性,本文提出了一种基于特定拓扑结构改进的数据分发算法,其通过对节点选择范围进行限制,动态调节邻居节点数据分发概率来实现同 k-派系内所有节点的资源列表更新,以实现覆盖网络的拓扑结构控制,并提高覆盖网络的抗扰动性。

2 相关工作

Gabriele Gianini 等人^[2]在解决非结构化覆盖网络分布式

到稿日期:2012-12-03 返修日期:2013-03-26 本文受国家自然科学基金(61073042)移动 P2P 网络数据分发机制研究项目,黑龙江省自然科学基金(F201121)移动 P2P 网络拓扑构造与数据分发机制研究项目,哈尔滨市科技创新人才研究专项资金项目(2012RFQXG097),中央高校基本科研业务费专项资金(HEUCF100612)资助。

张国印(1962—),男,教授,CCF 会员,主要研究方向为网络信息安全, E-mail: zhangguoyin@hrbeu.edu.cn; 李 军(1973—),男,博士生,主要研究方向为移动对等网络; 王向辉(1980—),男,讲师,主要研究方向为 P2P 网络; 徐国坤(1986—),男,硕士生,主要研究方向为网络信息安全。

一致性问题时提出了一种改进的 Gossip 算法,称之为避开邻居节点游走算法(NAWs)。该算法在避开自身节点随机游走算法的基础上,将已发送或传递该消息的节点的邻居节点也从备选邻居节点中排除。它的优点是传递消息的速度较快,并且具有偏向桥接边的传递偏好;缺点是消息传递有可能进入一个死胡同,从而影响了数据分发的性能。

Da Hora, Diego N 等人^[3]在 MANETs 上分别以 Gnutella 和 Chord 为代表对非结构化和结构化对等网络内容发现的性能进行了模拟和分析,提出了一种支持负载均衡的 Gossip 算法。该算法通过对邻居节点消息队列利用率的计算使得负载较低的邻居节点有较大的概率获得查询消息,从而避免了负载较高的节点仍然不断收到新的查询消息而引起节点崩溃。这一策略可适用于任何非结构化对等网络。

Jin Yang 等人^[4]在无线传感器网络的背景下提出了一种改进的 Gossip 算法。该算法通过设立一个邻居节点的历史访问队列,在队列中保存 n 次 Gossip 算法所选择过的邻居节点,在第 $n+1$ 次选择邻居节点时,尽量避免前 n 次选择过的邻居节点,从而提高 Gossip 算法的效率,减少网络开销。

Vadim Drabkin 等人^[5]设计了一个在移动对等网上的数据分发协议 RAPID,即每个节点每次重新广播之前都要间隔一段随机时间。节点 p 在收到一个消息 m 之后,并不会立即转发这个消息,而是将这个�息加入一个发送队列。在一定时间内,如果节点 p 又收到了消息 m ,则把消息 m 从这个队列中移除而不转发。如果节点 p 在一开始没有选择转发消息 m ,但在一段时间后没有收到其他节点转发该消息,那么该节点将把消息 m 加入自己的消息发送队列。通过以上两个改进措施,RAPID 提高了数据分发的效率。但该协议的前提是网络节点均匀分布并且密度较高,因此不适合稀疏节点网络,在非均匀分布节点网络中的性能也需要进一步验证。

国防科技大学的刘德辉等人^[6]重点研究了 Gossip 算法在 Chord 网络中的应用,并提出一种改进的 Mod-Gossip 算法。该算法通过增加特定情况下对所有邻居节点的广播机制缩短了节点的传播周期。华中科技大学的汪洋等人^[7]在混合内容分发网络中提出了具有社群感知的改进 Gossip 协议。该协议根据内容分发网络的特点,采用复杂网络中成熟的节点聚类算法将节点分为不同的拓扑社群,从而获得新的邻居节点选择算法。武汉大学的陈饶等人^[8]在针对自组织覆盖网拓扑管理协议的研究工作中,通过修改发送(接收)缓冲区构造算法和接收消息后节点视图修剪算法来提高负载较轻节点标识的分发速度,从而实现网络的负载均衡。

Andras Kokuti 等人^[9]提出了多个基于三阶段握手协议改进的 Gossip 算法,利用节点间的距离、节点度数等信息计算发送消息概率。实验结果表明,这些算法在提升效率的同时降低了网络负载。但是,上述算法需要获得节点的地理位置信息,并且针对的是 MSNETs,能否应用于移动对等网络还有待进一步的研究。

3 改进的 Gossip 算法设计

3.1 移动对等网络覆盖网 KCCO

移动对等网络覆盖网的构建面临着节点资源和能量受限、节点失效频繁、网络链接不稳定等一系列问题,尤其是扰动(Churn)问题,是一个公认的难题。为了构建抗扰动性好,

资源查询率高的移动对等网络覆盖网,提出一种以 k -派系为基本单位构建的具有 k -派系社区结构的非结构化覆盖网 KCCO(k -Clique Community Overlay)。

KCCO 中每个节点都属于唯一的 k -派系,并且拥有该节点所在 k -派系中所有节点的资源列表。当节点加入或者退出、失效时,需要对每个 k -派系内其他节点的资源列表进行更新,本文采用了改进的 Gossip 算法进行这一操作。

每个拥有非本 k -派系邻居节点的节点称为外联节点。每个 k -派系的所有外联节点被派系内节点记录在外联节点列表中。当普通节点成为外联节点,或者外联节点退出或失效时,KCCO 将外联节点列表更新信息通过前面提到的改进 Gossip 算法进行分发。

图 1 为基于 k -派系的 KCCO 覆盖网络结构示意图。图中每个圆圈表示一个网络节点,数字标识了节点的 ID。图 1 中 1 至 9 号节点构成一个 3-派系,10 至 16 号节点构成一个 2-派系。黑色节点表示中心节点,灰色节点表示外联节点。实线表示 k -派系节点内链接,虚线表示相邻 k -派系节点间链接。

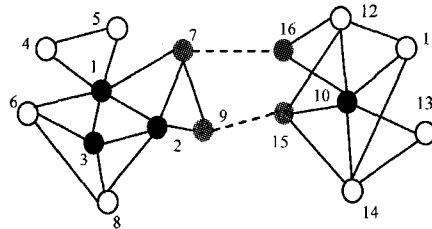


图 1 KCCO 网络结构示意图

3.2 Gossip 算法

上节描述的 KCCO 覆盖网络需要合适的的数据分发算法来传播相关的拓扑控制信息和资源列表。本文选择 Gossip 算法来进行改进,是由于 Gossip 算法具有简单、高效、容错性强的特点,比较适合在移动网络中使用。

一般来说,Gossip 算法主要包括 3 个过程^[11]。

(1) 节点选择

发起消息分发的节点首先要选择一个或多个进行数据交换的节点,不同的 Gossip 算法在节点的选择上有着不同的策略。很多算法假设可以从网络所有的可用节点中随机选择一个节点,这显然是不切实际的,尤其对于移动网络来说。文献[12]针对无线网络通过异步的本地广播协议来实现节点选择。

(2) 数据交换

这一过程可以是交换消息,也可以是交换节点列表。

(3) 数据处理

该过程可以将收到的数据简单存储,也可以通过节点列表更改网络的拓扑结构。

3.3 基于 KCCO 改进的 Gossip 算法

KCCO 中,节点被划分为多个 k -派系,每个节点只能属于唯一的 k -派系。为了抗扰动和提高资源查询效率,KCCO 采用了冗余存储的方法,每个节点都存储了整个 k -派系的资源列表和外联节点列表。显然当有节点加入或退出、失效时,所有同一派系的节点都需要更新相关资源列表。当有外联节点加入或退出、失效时,相关的外联节点列表也需要被更新。为了实现上述过程,KCCO 对经典的 Gossip 算法进行了改

进。经典的 Gossip 算法分为两个线程，一个称为主动线程，另一个称为被动线程。每个节点都同时运行这两个线程。

改进的 Gossip 算法描述如下。

(1) 主动线程

输入：随机等待时间 t ，节点状态更新信息 S_u ，消息序号 i ，同 k 派系邻居节点列表 L_c 。

输出：无。

第 1 步 随机等待时间 t 内空操作。

第 2 步 对于所有同 k 派系内邻居节点，以概率 p 选择邻居节点作为消息发送目标节点。 p 的计算公式为：

$$p = \beta(1 - \frac{1}{s_r}) \quad (1)$$

式中， β 为系数， s_r 为同 k 派系邻居节点的动态状态值。 β 值按式(2)计算得到，其中 f 为预期发送节点数， n_c 为同 k 派系邻居节点个数。

$$\beta = \frac{f}{n_c} \quad (2)$$

由式(1)和式(2)得到对每个邻居节点发送消息的概率为：

$$p = \frac{f(s_r - 1)}{n_c s_r} \quad (3)$$

第 3 步 将发送消息序号和节点状态更新信息加入发送消息。

第 4 步 将发送消息发送给第 2 步指定的目标节点。

(2) 被动线程

输入：节点状态更新信息 S_u 。

输出：更新后的节点状态。

第 1 步 接收对方节点发送的消息。

第 2 步 将节点状态更新信息加入发送消息。

第 3 步 将第 2 步形成的发送消息发送给对方节点。

第 4 步 如果接收到的消息是已经接收过的消息，则丢弃该消息，否则根据接收消息更新本地状态。

3.4 算法分析

Gossip 算法有 3 种模式：Push, Pull 和 Push&Pull。Push 模式由有更新消息的节点发起，将更新消息直接发送给选择的节点。Pull 模式由没有更新消息的节点发起，通过向其他节点发送请求消息来获得更新信息。Push&Pull 模式将以上两种模式结合起来，由具有更新消息的节点将更新消息发送给其他节点后，其他节点将本地更新信息发送回发起节点。以上 3 种模式中，Push&Pull 模式效率最高，本文提出的算法采用了这种模式。

Gossip 算法的效率可以用单个节点将更新信息发送到所有目标节点的发送周期来衡量。KCCO 中节点的所有更新信息只需要分发给同 k 派系节点。假设 KCCO 中所有 k 派系中节点最大个数为 n ，则每个发送周期节点选择的发送节点个数为：

$$b = pn_c = \frac{f(s_r - 1)}{s_r} \quad (4)$$

根据文献[13]，本文提出的算法中单个节点将更新信息发送到所有目标节点需要的周期数为：

$$z = O(\log_b n) = O(\log_b n) \quad (5)$$

4 模拟实验及分析

为了验证本文提出的算法在移动对等网络中的性能，选

择在 Peerfactsim^[10] 模拟器上进行模拟，并和经典 Gossip 算法及基准算法泛洪(Flooding)算法进行了比较。3 种算法均采用同步算法，通过最常用的统计数据分发所需周期数的方法来评价不同算法的数据分发效率。由于只评价算法数据分发效率而不考虑其所需代价是不全面的，因此本文进一步比较了不同算法所产生的网络负载。

4.1 数据分发效率

底层网络设定为移动自组网，覆盖层为 KCCO。节点数定为 200。节点扰动模型为指数模型，节点移动模型为 RandomWaypoint^[14]。部分实验参数如表 1 所列。

表 1 数据分发实验部分设置参数

参数名称	节点数	TTL	节点移动速度	扰动指数
参数值	200	10	1 米/秒	0.5
参数名称	平均会话长度	消息丢弃时间	邻居失效时间	
参数值	60 分钟	180 秒	300 秒	

本文提出的算法取名为 KCCO-Gossip 算法，与 Gossip 算法及 Flooding 算法的对比曲线如图 2 所示。

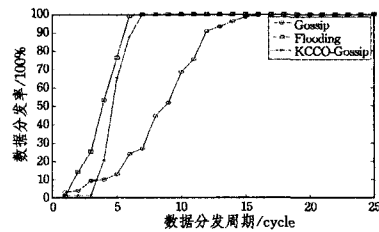


图 2 数据分发效率对比图

从图 2 可知，KCCO-Gossip 算法在前几轮周期中数据分发较慢，但随后分发速度明显加快，最终达到了和 Flooding 算法一样的效率。Gossip 算法从一开始就明显慢于 Flooding 算法，尤其在数据分发率达到 90% 以后，由于移动网络的扰动，分发效率明显下降。

4.2 网络负载

本节实验通过统计发送数据包数来比较 3 种算法带来的网络负载。除节点数外，其余实验参数均和表 1 中的参数值相同。网络负载对比图如图 3 所示。

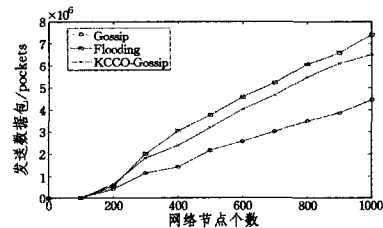


图 3 网络负载对比图

从图 3 可以看出，3 种算法的网络负载与网络节点数都呈明显的线性关系。Gossip 算法曲线的斜率最小，网络负载最低。KCCO-Gossip 算法曲线的斜率明显低于 Flooding 算法，网络负载较低。

4.3 实验分析

通过以上两方面的实验可以看出，KCCO-Gossip 算法体现了良好的对移动网络的适应性，以低于 Flooding 算法 10% 左右的代价达到了其数据分发效率。这主要是因为 KCCO-Gossip 算法对于稳定度较高的节点发送消息的概率较低，而对于稳定度较低的节点发送概率较高，从而保证了更新数据

(下转第 110 页)

以作为一个协商实体来参与协商一个群会话密钥。

参考文献

- [1] Sahai A, Waters B. Fuzzy identity based encryption[A]// Advances in Cryptology-Eurocrypt 2005[C]. LNCS vol. 3494, Berlin: Springer-Verlag, 2005: 457-473
- [2] Goyal V, Pandey O, Sahai A, et al. Attribute-based encryption for fine grained access control of encrypted data[A]// the 13th ACM Conference on Computer and Communications Security-CCS 2006[C]. New York: ACM Press, 2006: 89-98
- [3] Cheung L, Newport C. Provably secure ciphertext policy ABE [A]// the 14th ACM Conference on Computer and Communications Security-CCS 2007[C]. New York: ACM Press, 2007: 456-465
- [4] Wang Hao, Xu Qiu-liang, Fu Xiu. Two-Party attribute-based key agreement protocol in the standard model[A]// the 2009 International Symposium on Information Processing- ISIP'09[C]. Finland: Academy Publisher, 2009: 325-328
- [5] Wang Hao, Xu Qiu-liang, Fu Xiu. Revocable attribute-based key agreement protocol without random oracles[J]. Journal of Net-

works, 2009, 4(8): 787-794

- [6] Steinwandt R, Corona A S. Attribute-based group key establishment. Cryptology ePrint archive[OL]. <http://eprint.iacr.org/2010/235>, 2010
- [7] 魏江宏, 刘文芬, 胡学先. 全安全的属性基认证密钥交换协议[J]. 计算机应用, 2012, 32(1): 38-41
- [8] Boneh D, Franklin M. Identity based encryption from the Weil pairing[A]// Advances in Cryptology- Crypto 2001[C]. LNCS, vol. 2139, Berlin: Springer-Verlag, 2001: 231-229
- [9] Beimel A. Secure schemes for secret sharing and key distribution [D]. Haifa: Israel Institute of Technology, 1996
- [10] Chen Li-qun, Cheng Zhao-hui, Smart N P. Identity-based key agreement protocols from pairings. Cryptology ePrint Archive [OL]. <http://eprint.iacr.org/2006/199>, 2006
- [11] Bellare M, Rogaway P. Entity authentication and key distribution[A]// Advances in Cryptology-CRYPTO 1993[C]. LNCS, vol. 773, Berlin: Springer-Verlag, 1994: 232-249
- [12] 王永涛. 基于属性密码体制的相关研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2011

(上接第 105 页)

可以快速分发到移动网络中的每个目标节点。KCCO-Gossip 算法不是广播发送消息, 因此网络负载低于 Flooding 算法。经典 Gossip 算法对每个目标节点发送消息的概率是一样的, 对于稳定度低的节点来说, 它们可能在没有接收到更新消息时就已经退出或失效, 因此需要更多的周期来达到 100% 的数据分发率, 但其发送的更新消息数较少, 产生的网络负载最低。

结束语 本文为实现移动对等网络覆盖网络资源列表更新, 提出了一种新的数据分发算法, 该算法在移动对等覆盖网络 KCCO 上限定了数据分发的范围, 只对同一 k -派系节点进行更新, 并根据每个节点的动态状态值决定不同的发送消息概率。实验结果表明, 在相同网络节点数的情况下, KCCO-Gossip 算法的数据分发效率明显好于 Gossip 算法, 达到了 Flooding 算法的分发效率。在不同网络节点数的情况下, KCCO-Gossip 算法的网络负载始终低于 Flooding 算法, 用较低的网络代价取得了较高的数据分发效率。

参考文献

- [1] Demers A, Greene D, Hauser C, et al. Epidemic algorithms for replicated database maintenance[C]// the 6th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing. 1987: 1-12
- [2] Gabriele G, Ernesto D, Guido L C, et al. Gossiping solutions for distributed consensus on unstructured overlays[C]// The 4th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies. 2010: 246-251
- [3] Da Hora D N, Macedo D F, Oliveira L B, et al. Enhancing peer-to-peer content discovery techniques over mobile ad hoc networks[J]. Computer Communications, 2009, 32(13/14): 1445-1459
- [4] Jin Yang, Simon T, Mueller C, et al. Comparing and refining

Gossip protocols for fault tolerance in wireless P2P systems[C]// The 19th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP). 2011: 595-599

- [5] Drabkin V, Friedman R, Kliot G, et al. RAPID: Reliable probabilistic dissemination in wireless Ad-Hoc networks[C]// The 26th IEEE International Symposium on Reliable Distributed Systems. 2007: 13-22
- [6] 刘德辉, 尹刚, 王怀民, 等. Chord 网络环境下的 Gossip 算法[J]. 计算机工程与科学, 2011, 33(9): 48-51
- [7] 汪洋, 陈京文, 黑晓军, 等. 混合内容分发网中社群感知的 Gossip 协议[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(5): 18-21, 46
- [8] Chen Nao, Hu Rui-min, Zhu Yong-qiong. Gossip-based topology management protocol for self-organizing overlays [J]. China Communications, 2011, 9: 38-46
- [9] Andras K, Vilmos S. Adaptive multihop broadcast protocols for ad hoc networks [C]// The 8th IEEE, IET International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing. 2012: 1-6
- [10] Stingl D, Groß C, Rückert J, et al. Peerfactsim. kom: A large scale simulation framework for peer-to-peer systems[C]// the 2011 International Conference on High Performance Computing & Simulation. 2011: 577-584
- [11] Kermarrec A M, Steen M V. Gossiping in distributed Systems [J]. Operating Systems Review, 2007, 41(5): 2-7
- [12] Gavidia D, Voulgaris S, Steen M V. A gossip-based distributed news service for wireless mesh networks[C]// Third International Conference on Wireless On-demand Network Systems & Services (WONS). 2006: 59-67
- [13] Bailey N T J. The mathematical theory of infectious diseases and its applications(second edition)[M]. Hafner Press, 1975
- [14] Johnson D B, Maltz D A. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks[J]. Mobile Computing, 1996, 353: 153-181