

控速令牌降低 P2P 网络维护开销

王向辉 张国印

(哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

摘要 针对环形 P2P 网络中节点的维护消息数量随邻居节点数量线性增加和传统 P2P 网络令牌机制无法控制令牌数量的问题,提出了利用控速令牌维护环形 P2P 网络的方法。令牌以消息的形式在环形 P2P 网络中传递,令牌将途中经过的节点信息加入其中,其它节点利用令牌中的信息维持网络结构,并使用控速参数减少网络中的令牌数量。仿真结果表明,控速参数能够有效地降低 P2P 网络的令牌数量;随着网络规模的增大,节点平均维护开销维持不变。
关键词 令牌, P2P 网络, 环形, 控速

Control Speed Token to Decrease Maintains Cost of P2P Network

WANG Xiang-hui ZHANG Guo-yin

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

Abstract In order to solve the problem of maintenance messages increased linearly with the number of neighbors in the ring-like P2P network and traditional P2P network token mechanism could not control the token number, we proposed method of control speed token to maintain the ring-like P2P network. Token transmit in ring-link P2P network in the form of message, and node information could record in token in order to keep the structure of network for other nodes. P2P network used control speed parameter to reduce the number of tokens. Simulation shows that control speed parameter could effectively reduce the number of token in P2P network. With the increasing scale of the network, the average maintenance costs of node remain unchanged.

Keywords Token, P2P network, Ring-like, Control speed

1 引言

P2P 网络是一种分布式网络,网络中的节点都具有相同或相似的职能,不存在传统意义上的客户端与服务器,因此每个节点既是资源的提供者,同时也是资源的获取者。P2P 网络能够充分利用网络边缘资源,包括节点运算能力、存储能力和网络带宽等,具有非中心化、高可扩展性、健壮性、高性能/价格比和负载均衡等优点,广泛应用于分布式存储、计算能力共享、协同工作、流媒体和语音通讯等领域。

环形 P2P 网络是一种一维结构的网络,网络中的节点和资源映射为标识符(Identifier, ID),并依据标识符的大小按照顺时针方向排列成为环形。环形 P2P 网络是最早的结构化 P2P 网络,由于其结构简单、高效,在学术界和工程领域受到广泛的关注,目前典型的环形 P2P 网络有 Chord^[1] 和 Symphony^[2] 等。

在环形 P2P 网络中,为了维持网络环形结构的完整性,防止相邻节点失效破坏网络结构,每个节点一般同时维持几个 ID 最近的相邻节点,并周期地探测这些节点是否有效。如果其中某个节点失效,则重新选择 ID 最近的其它节点代替失效的节点。这种方法虽然能够及时探测到失效的邻居节点,但网络的维护消息数量随邻居节点数量线性增加,同时失效

节点的重新选择过程也较为复杂。

因此本文提出利用控速令牌维护环形 P2P 网络的方法,更新相邻节点并自动修复失效节点,使网络的维护的消息数量与节点维护的邻居节点数量无关,并引入了令牌的控速参数,有效降低环形 P2P 网络的维护开销。

2 控速令牌

2.1 令牌机制

令牌是一个消息,每当令牌经过一个节点时,该节点将节点信息加入令牌中,每个令牌能够存储 L 个节点的信息,当节点数量超过 L 时,遵循先进先出的原则,较早节点的信息将被移除。

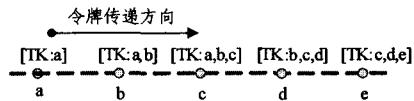


图1 令牌在节点间传递

令牌的通用格式描述为 $[TK: p_1, p_2, p_3, \dots, p_L]$, 其中, TK 表示令牌消息, $p_1, p_2, p_3, \dots, p_L$ 是令牌经过的 L 个节点,其中 p_1 是令牌最早经过的节点, p_L 是令牌最后经过的节点。图1是 $L=3$ 的令牌传递示意图,在令牌经过节点 c 后,

到稿日期:2008-04-01 本文受黑龙江省自然科学基金(F2004-06)资助。

王向辉(1980—),男,博士研究生,讲师,研究方向为 P2P 网络, E-mail: wangxianghui@hrbeu.edu.cn; 张国印(1962—),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为网络信息安全和嵌入式系统。

令牌保存了之前经过的 3 个节点信息,令牌保存的节点数量已经达到最大值;在令牌经过节点 d 时,令牌中最早经过的节点 a 的信息将被移除,节点 d 的信息加入令牌中,以后如此反复。

2.2 网络模型

在环形 P2P 网络中,为了保持网络在部分节点异常退出的情况下能够快速恢复环形结构,通常每个节点与在环形空间中 ID 最接近的 m 个节点维持链接,其中 $m \geq 2$,且 m 为偶数。节点的 m 个链接均匀地分布在节点的两侧,与节点最近的两个链接称为相邻链接,其它的 $m-2$ 个链接成为非相邻链接。图 2 是 $m=4$ 的环形 P2P 网络,每个节点与前后各 2 个节点维持链接。

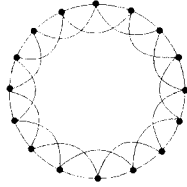


图 2 $m=4$ 的环形 P2P 网络

2.3 令牌的产生与传递

文献[3]提出令牌产生和传递的 KDE 方案:每个节点有两种状态,一种是“重复”状态,在此状态中,节点转发接收到的所有令牌;另一种是“主动监视”状态,在此状态中的节点会主动产生令牌。如果节点在一定时间间隔内 T_s 没有接收到任何令牌,则从“重复”状态转移到“主动监视”状态;节点在“主动监视”状态下,如果接收到任何令牌则返回到“重复”状态。令牌在网络中单向传递,而且传递过程中不受任何限制。此方案是一种简单的令牌产生和传递方法,但因为没有对令牌的数量限制方法,令牌一旦产生就永远在网络中存在,而无法将其销毁,因此容易导致大量令牌在网络中传递,增量网络的流量压力,同时降低网络的效率和可用性。

本文采用与 KDE 相似的令牌产生方式,但在传递控制方面,增加了一个控制令牌数量的控速参数 Tr 。令牌的产生和传递方式描述如下:令牌在网络中双向传递,任意节点如果在 T_s 的时间内没有接收到顺时针或逆时针方向上的令牌,则产生一个仅包含自身信息的新令牌,沿顺时针或逆时针方向传递这个新令牌;任意节点如果在 Tr 的时间内连续接收到顺时针或逆时针方向上的两个或两个以上的令牌,则仅转发第一个令牌,丢弃其它的令牌。

参数 Tr 控制了在一定时间间隔内通过同一个节点的令牌的数量,因此能够有效降低网络中存在的令牌数量。因为网络中的节点都能够产生令牌,所以计算网络中的令牌数量比较困难,但可以给出网络中令牌数量的上限。在一个 N 个节点的网络中,节点之间的平均路由延迟为 $\bar{t}$,假设仅有一个节点产生令牌,令牌产生的时间间隔为 $\bar{t}$,这里仅考虑顺时针令牌,即令牌产生后仅向顺时针方向转发。经过一定周期后,网络中存在的令牌数量的上限 N_{token} 为

$$N_{token} \approx \frac{N}{Tr} \bar{t} \quad (1)$$

由式(1)可知,网络中的令牌数量上限,随节点数量 N 和平均路由延迟 $\bar{t}$ 的增加而增加,随 Tr 的增加而减少。

在一个节点刷新周期为 T 的环形 P2P 网络中,每个节点

维持 m 个相邻节点,当以探测方式更新节点状态时,每个刷新周期需要发送 $2mN$ 个消息,因此单位时间每个节点发送的消息数量为

$$U_{HB} = \frac{2m}{T} \quad (2)$$

在令牌机制里,节点之间的平均路由延迟为 $\bar{t}$,因为只有当一个令牌能够在 T 时间内通过 m 个节点才能够完成节点刷新,所以 $T/\bar{t} > m$ 。如果假设 $T/\bar{t} \gg m$,则在一个刷新周期 T 内,任何一个令牌能够通过 $T/\bar{t}$ 个节点,每个节点转发令牌一次,因此产生 $T/\bar{t}$ 个消息,根据式(1),网络中可能出现的令牌数量上限为 N_{token} ,因此网络中产生的消息数量为 $N_{token} \cdot T/\bar{t}$,所以单位时间每个节点发送的消息数量为

$$U_{TK} = \frac{N_{token} \cdot T/\bar{t}}{T \cdot N} = \frac{1}{Tr} \quad (3)$$

根据式(2)和(3)可知,探测方式的节点维护开销随 m 线性增加,与刷新周期 T 成反比;而令牌模式的节点维护开销是恒定值,不随 m 而改变,仅与 Tr 成反比例。可见,令牌模式更适用于维护 m 较大的环形 P2P 网络。

2.4 令牌节点修复

由于令牌会经过网络中的每个节点,因此节点意外退出网络所产生的失效链接,将影响令牌在网络中的传递。在图 3(a)中,节点 f 失效,任何与 f 相连的链接全部失效,如图 3(b)所示,但其它节点并不知道节点 f 失效,导致节点 c 和节点 b 发送给节点 f 的令牌丢失。

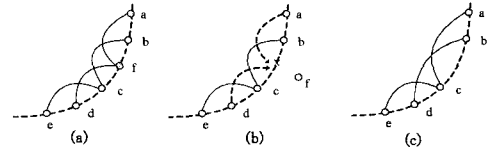


图 3 节点 f 异常退出网络

因为相邻链接用于传递令牌,在节点失效后,可以利用失效节点两端的节点的非相邻链接修复所有的失效链接。如图 3(b)中,节点 f 失效后,节点 b 和节点 c 之间存在 1 个非相邻链接,利用此链接传递的新令牌,将修复由节点 f 失效所造成的所有失效链接,如图 3(c)所示。

与节点相邻的 m 个节点中,如果在过期时间 T_m 没有关于此节点的令牌信息,则可认为该节点失效,但这种以过期时间作为判断节点存在性的方法,需要根据相邻节点与自身节点的路径跳数设置不同的过期时间 T_m 。因为如果所有节点的过期时间相同,则在一个链接过期的同时,其它的所有链接也失效了,也就无法利用其它链接修复失效链接。因此在选择过期时间 T_m 时,可以根据节点与自身的距离逐渐增加过期时间,即 $T_{m=1} < T_{m=2} < \dots < T_m$,最近的节点过期时间最短,最远的节点过期时间最长。

在环形 P2P 网络中,如果在节点同一方向上同时失效 $m-1$ 个节点,控速令牌能够移除所有失效链接,并建立 $m-1$ 个新链接。但如果节点同一方向上同时失效 m 个节点,则需要有修复算法对网络进行修复。这里不讨论修复算法的具体细节,仅在原理上对修复算法进行说明。

图 4(a)是 $m=2$ 时的环形 P2P 网络,节点 a 和节点 b 之间的节点 e 和 f 同时失效。在图 4(b)中,当节点 a 检测到逆时针方向的 m 个节点全部失效后,利用顺时针方向存在的链

接,发送修复消息,消息经过节点 c 、节点 d 最终达到节点 b ,节点 b 利用接收到的修复消息,修复节点 b 与节点 a 之间的相邻链接,其它非相邻链接利用控速令牌进行修复。如果消息能够在网络中双向传递,在节点 a 和节点 b 可以同时以不同方向发送修改令牌消息,提高链接的修复速度和增加修复的可靠性。

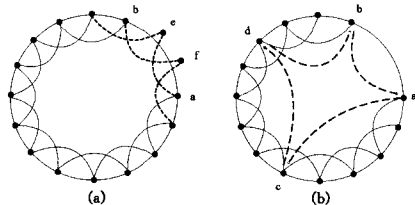


图4 修复算法原理

3 模拟与评价

仿真实验使用改进的 PlanetSim^[4] 模拟器,网络延迟 t 的取值范围是 $t \in [90, 110]$ ms,网络的平均延迟为 $\bar{t} = 100$ ms。在模拟实验中,首先验证 T_s 和 T_r 对网络中令牌数量和平均令牌转发速率的影响,然后确定适当的 T_s 和 T_r 值;在特定的 T_s 和 T_r 下,验证令牌数量、平均令牌转发速率与网络中节点数量 N 之间的关系。

网络中所有节点在单位时间内转发的令牌数量的平均值为平均令牌转发速率,用以衡量节点的维护开销。从图5可知,平均令牌转发速率随 T_r 的增大而减小,最终趋于恒定值。当 T_s 分别取 1, 2 和 4 时,平均令牌转发速率的最小值逐步下降。同样观察图6网络中的令牌数量可知,令牌数量随 T_r 的增大而迅速减少,但在部分时刻令牌数量降到 0。

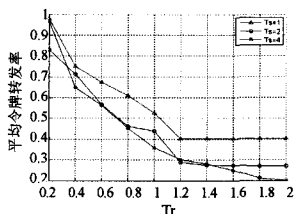


图5 $N=200$ 的平均令牌转发速率随 T_r 的变化曲线

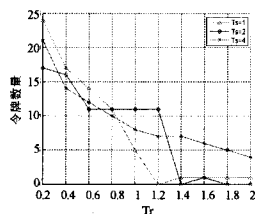


图6 $N=200$ 的令牌数量随 T_r 的变化曲线

图7是网络创建的令牌总量,可以发现两个规律,一是 T_s 越大,网络创建的令牌数量越少;二是当 T_s 固定时,网络创建的令牌数量随 T_r 的增加而增加,且当 $T_r > T_s/2$,令牌数量增加得非常迅速。综合分析图6和图7可知,当 $T_r > T_s/2$ 时,网络进入不稳定状态,此时网络创建了大量的令牌,又销毁其中的绝大多数令牌,控速令牌无法有效地在网络中传递。

因此,确定在后续的实验中 $T_s=4$, $T_r=1$,令节点数量 N 以 100 为间隔从 100 增加到 1000,记录不同 N 的令牌数量和平均令牌转发速率。

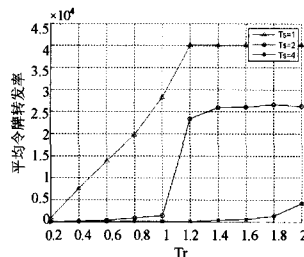


图7 $N=200$ 的令牌创建数量

从图8和图9可知,在特定的 T_s 和 T_r 下,随网络中节点数量增加,网络中存在的令牌数量随节点数量线性增加。但节点的平均令牌转发速率维持在 $(0.3, 0.36)$ 之间,说明节点的维护开销不随网络中节点数量增加改变。

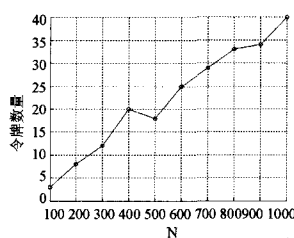


图8 令牌数量随节点数量变换曲线

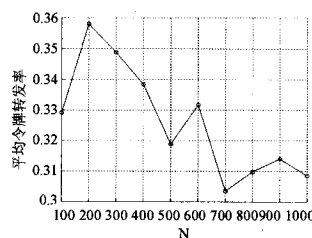


图9 平均令牌转发速率随节点数量变换曲线

结束语 使用控速令牌维护环形 P2P 网络是一种介于主动维护和被动维护之间的一种全新 P2P 网络维护方法,有利于降低网络的整体维护开销,同时保持网络结构完整,修复失效链接,并增强网络的容错能力。

参考文献

- [1] Stoica I, Morris R, Karger D, et al. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for Internet applications[A]// 2001 Conference on Applications, Technologies, Architectures and Protocols for Computer Communications[C]. New York, 2001: 149
- [2] Manku G S, Bawa M, Raghavan P. Symphony: Distributed Hashing in a Small World[A]// Proc. of the 4th USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems [C]. 2003
- [3] Kunzmann G, Nagel R, Eberspacher R. Increasing the reliability of structured P2P networks[A]. Design of Reliable Communication Networks[C], 2005
- [4] PlanetSimSite[EB/OL]. <http://planet.urv.es/trac/planet-sim/>