

# 分级集中式自组织网络路由模型研究

王蓉<sup>1</sup>, 陈爱网<sup>1</sup>, 管桦<sup>1</sup>, 杜炜<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学电讯工程学院, 陕西西安, 710077; 2. 空军驻西安地区军事代表, 陕西西安, 710082)

**摘要** 通过使用 Peer-to-Peer(P2P)计算模式在 Internet 物理拓扑基础上建立一个称为 P2P 覆盖网络(P2P Overlay Network)的虚拟拓扑结构,有效地建立起一个基于 Internet 的完全分布式自组织网络路由模型—分级集中式自组织网络路由模型(Hierarchical Aggregation Self-organizing Network, HASN)。分别描述了 HASN 路由模型的构建目标和体系结构,并详细分析了 HASN 采用的基于 P2P 计算模式的分布式命名、路由发现和更新算法 HASN\_Scale,并在仿真实验的基础上对 HASN 路由模型的性能进行了验证。

**关键词** P2P; 结构化覆盖网; HASN; 层次路由表

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.02.013

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)02-0060-05

自组织网络是下一代网络(NGN)研究领域的热点<sup>[1-2]</sup>。同时,对等网络是当前网络研究领域新兴的一种技术<sup>[3]</sup>。现在,P2P 系统几乎消耗了大量互联网的带宽,它产生的网络流量已经超过了 HTTP 协议。P2P 网络模型已被广泛使用<sup>[4-7]</sup>。

本文提供了一个层次聚集自组织网络(Hierarchical Aggregation Self-organizing Network, HASN),有效地结合了基于 P2P 路由技术和自组织网络路由技术的结构化覆盖网络。HASN 模型是一种基于互联网基础设施的自组织网络路由模型。它的目的是为广域网建立一个有效的,负载均衡的和动态自组织网络模型。这个模型位于应用层。

## 1 层次聚集自组织网络

### 1.1 HASN 模型层次结构

HASN 的目的是建立一个基于自组织网络路由模型的 P2P 计算模式的,在其中建立一个分散的,动态的,大规模的自组织网络应用系统。在 HASN 中,通过与 P2P 路由算法合作,可以在它上面有效地建立一个高度集中性,高度可扩展性和强大的自组织网络应用系统。

### 1.2 HASN 模型的架构

HASN 模型是由 2 个不同水平的层次构成。一个是网络拓扑层(NTL),另一个是网络发现层(NDL)。

#### 1.2.1 网络拓扑层(NTL)

NTL 执行基于网络物理拓扑结构的集群分组功能和结构构造函数树。在这层有 2 个基本组成部分:全球注册服务器(GRS)和分层代理(HA)。NTL 层集群分组机制描述如下:

1) 网络中的所有 HA 向 GRS 发送登记信息,登记它们的身份。

2) 当一个新节点要加入网络时,它首先发送消息到一个已知节点,并获得这一目标节点的地址。该节点将成为引导新节点的节点。

\* 收稿日期:2011-06-08

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2010JQ8010)

作者简介:王蓉(1977-),女,湖北汉川人,讲师,博士生,主要从事通信与信息系统研究。

E-mail:xxmn11h1@sina.com

3)新节点计算,从引导节点到自身的物理距离,最简单的方法就是通过发送 ping 消息到引导节点。如果距离比我们所设定的阈值以下,新加入的节点会发送一个加入消息给管理该引导节点的 HA,该集群分组过程到此结束。否则,进入步骤4)。

4)新节点实现从 GRS 获得所有 HA1 区的地址信息并计算到每个区的物理距离。如果它们中的任何距离都在预设的阈值以下,新节点加入 HA1 控制的集群。否则,进入步骤5)。

5)新节点将从全局服务器 GRS 中获取当前测量 HA 的上一级分级代理  $HA_{(i+1)}$  的地址信息,并分别计算到每个  $HA_{(i+1)}$  的物理网络距离。如果计算的物理网络距离小于 HASN 系统设定的门限值  $T$ ,则新节点将加入到该  $HA_{(i+1)}$  下属的聚集群体中,并自动成为其下一级分级代理  $HA_i$ ,并在 GRS 中进行注册,组群划分过程结束;否则,重复5)过程,直到加入某一级 HA 或者到达顶级 HA 为止(即  $i = H - 1, H$  为 NTL 树型结构的高度)。

### 1.2.2 网络发现层(NDL)

NDL 执行基于 DHT 算法的同行路由和发现功能。根据前面集群分组机制,NDL 发现算法可描述如下:

1)作为一个在  $CL_i$  中的节点 M,系统将首先在  $CL_i$  中调用哈希环查询过程。如果在查询过程中发现现有水平的目标和节点,就会构造一个查询成功的消息并返回到查询发起节点。发现过程在这里结束。否则,进入步骤2)。

2)发现过程将扩大到当前  $HA_i$  归属的命名为  $CL(i+1)$  的上级。如果查询进程在这个级别发现目标节点和键,查询成功消息将返回给查询节点,并且发现过程在这里结束,否则,步骤3)。

3)程序会扩展到一个更高水平的集群,直到  $i$  到了 FC 的高度。如果在 FC 查询过程仍然无法找到目标节点,查寻失败消息将返回给查询节点,并且发现过程在这里结束。

## 2 HASN\_Scale 路由算法

基于自组织网络的 P2P 计算模式,每个节点充当一个主机和一台服务器,以及一个路由器。每个节点可以与网络中其他节点通信。HASN\_Scale 是在 NDL 层以 P2P 路由算法为基础实现的。通过采用基于路由算法的 DHT 和改进的 Chord,HASN\_Scale 为 HASN 提供了一个高度可扩展的节点命名、路由发现和更新机制

### 2.1 节点命名机制

通过采用类似 Chord 的一致哈希算法,HASN 将分配给每个节点和键  $1m - \text{bit}$  的标识符(NID) ( $N < = 2^m$ )。而 NID 是通过选择节点的 IP 地址来选择的,关键标识符(NID)是通过选择键来产生。NID 可用于指定一个哈希环的节点的位置。当节点首次加入 HASN\_Scale,通过哈希算法将自动分配给它一个范围从 0 到  $(2^m - 1)$  的 NID。每个  $m - \text{bit}$  长 NID 值的计算可以如下:

$$\text{Value of(NID)} = \sum_{i=1}^m \text{NID}_i \times 2^i \quad (1)$$

我们引进全球环区(GRZ)和个体环带(IRZ)的概念到 HASN\_Scale。GRZ 对应于整个  $[0, 2^m - 1]$  范围的数据。当一个新的节点加入系统,它要根据它的 NID 划分 GRS。节点的 IRZ 对应于分配给它的私人哈希环区。IRZ 可以被描述为  $(\text{NID} - \text{Predecessor}, \text{NID})$ ,其中  $\text{NID} - \text{Predecessor}$  代表了当前节点的前身。

引进 GRZ 和 IRZ 的目的是为 HASN\_Scale 提供一个动态节点命名的机制,而不是一个静态的。对于一个具有  $N$  个节点的网络,每个节点 IRZ 满足公式(2):

$$\text{IRZ}_1 \cup \text{IRZ}_2 \cup \text{IRZ}_3 \cup \dots \cup \text{IRZ}_N = \text{GRZ} \quad \text{IRZ}_i \cap \text{IRZ}_j = \emptyset \quad i \neq j, 1 \leq i, j \leq N \quad (2)$$

### 2.2 节点的状态

在 HASN\_Scale 中每个节点保持  $H$  层次路由表(HRT),其中  $H$  是 NTL 的高度。如果在集群  $i$  中有  $n$  个节点,集群  $i$  中的每个节点将保持  $O(\log N)$  个条目的级别为  $i$  的 HRT。HRT 是对 Chord 指针表的改善。不过,由于这两种模式之间节点的命名机制和网络体系结构不同,HRT 的结构与指针表也有很大的不同。在一个  $m - \text{bit}$  的空间中,以下概念与节点的 HRT 相关。

当前集群水平(CCL):在当前 HRT 中一个节点所属的 NTL 的集群水平。

HRTEntry[ $K$ ].start:涵盖了  $K_{th}$  HRT 项的环的变化范围的起始位置。

$$\text{HRTEEntry}[K].\text{start} = (n + 2^k - 1) \bmod 2^m, 1 \leq K \leq m \quad (3)$$

下一跳环区间(NRI):涵盖了  $K_{th}$  HRT 项的环的范围。

$$\text{NRI}[K] = [\text{HRTEEntry}[K].\text{start}, \text{HRTEEntry}[K+1].\text{start}), 1 \leq K \leq m \quad (4)$$

下一跳 IRZ(NIRZ):在 NRI 顺时针方向的第一个活动节点 G 的 IRZ。

$$\text{HRTEEntry}[K].\text{start} \in \text{IRZ}(G), 1 \leq K \leq m \quad (5)$$

HRT 的内容涉及了 CCL,  $\text{HRTEEntry}[K].\text{start}$  和 NIRZ,  $K$  为 HRT 的条目序号。

假设网络中都有 2 个层次集群结构,表 1 和表 2 描述了节点 B 的 HRT,即  $H=1$ 。从表格中我们可以得出结论这样的结论:节点 A, B 和 D 在  $CL_0$  中,节点的 A, B, C 和 D 在  $CL_1$ , 而  $CL_1$  是完整的集群。

表 1 节点 B 的  $CL_0$

Tab. 1 Cluster 0 of Node B

| K | CCL | HRTEEntry[K].start | NIRZ             |
|---|-----|--------------------|------------------|
| 1 | 0   | 100                | $D = (011, 000]$ |
| 2 | 0   | 101                | $D = (011, 000]$ |
| 3 | 0   | 111                | $D = (011, 000]$ |

表 2 节点 B 的  $CL_1$

Tab. 2 Cluster 1 of Node B

| K | CCL | HRTEEntry[K].start | NIRZ             |
|---|-----|--------------------|------------------|
| 1 | 1   | 100                | $C = (011, 100]$ |
| 2 | 1   | 101                | $D = (100, 000]$ |
| 3 | 1   | 111                | $D = (100, 000]$ |

### 2.3 HASN-Scale 路由发现算法

根据 HASN-Scale 的节点命名机制,为了建立 GRZ,网络中每个节点都可以把它们的 IRZ 与其他节点的相结合。HASN-Scale 路由发现算法可描述如下:

1) 当 A 启动了一个路由发现进程(或 A 接收到一个传输的路由发现消息),它将首先提取信息的查询 KID 并将它与其 IRZ 相比。如果 KID 属于 IRZ,就构建一个查询成功的消息并返回到查询发起节点,路由发现过程到此结束。否则进入步骤 2)。

2) 节点 A 根据其集群的水平在 HRT 中搜索 KID。在每一个 HRT 中, A 会把 KID 与 HRT 的目录相比较并寻找与 KID 最接近的 NIRZ,然后在相应的 HRT 目录中向下一跳节点传送信息。通过这种方法,消息最终会传到 NID 最接近 KID 的节点。如果找到了目标节点,就构造一个查询成功的消息并返回到查询发起节点,路由发现过程就到此结束。如果在当前层次的 HRT 中查询过程失败,发现过程将进入一个更高层次的 HRT。这个过程将一直进行,直到找到目标节点或达到最高层次的 HRT。

3) 如果发现进程已经达到最高层次的 HRT 并且目标节点仍然没有找到,路由发现过程就在这里结束并传回一个失败的消息。

### 2.4 节点加入和离开

对于一个自组织网络路由算法, HASN-Scale 必须保持节点的动态加入和离开。

#### 2.4.1 节点加入的过程描述

1) 一个新的节点 M 首先根据 NTL 集群分组协议选择它归属的 HA。

2) M 节点选择一个成员节点 H 作为它的引导节点。在 HASN-Scale 中, M 的默认引导节点是它归属的 HA。在引导节点的帮助下 M 将寻找它的后继 S。根据 M 的 NID, S 的 IRZ 将被分为两部分( $\text{NID}(S)$  的前驱,  $\text{NID}(S)$ )。S 将持有( $\text{NID}(M)$ ,  $\text{NID}(S)$ )的一部分, 而 M 将获得( $\text{NID}(S)$  的前驱,  $\text{NID}(M)$ )的另一部分作为它的 IRZ。

3) 在引导节点的帮助下 M 将寻找它的前驱 P。M 向 P 和 S 发送一个加入请求消息, P 和 S 收到消息后,它们就会更新自己的后继和前驱,其中 P 将作为 M 的新的后继, S 作为 M 的新的前驱。哈希环完整。

4) M 在它的后继 S 的帮助下,根据 HRT 的每一条目通过寻找下一跳节点来初始化它的 HRT。

5) 根据 M 分配到的 IRZ,相关的 KID 将会从 S 转移到新的节点 M。

6) 路由更新过程将被触发去更新网络中其他节点的 HRT(路由更新的详细过程将在下一部分讨论)。

#### 2.4.2 节点离开的过程描述

1) 节点 Q 将首先向它的前驱 P 和后继 S 发出离开的消息。P 和 S 收到消息后,他们将更新自己的后继和前驱,其中 P 将更新 Q 的后继作为它的后继,更新 Q 的前驱作为它的前驱。哈希环完整。

2) S 将通过比较它的 IRZ( $\text{NID}(Q)$ ,  $\text{NID}(S)$ )与 Q 的 IRZ( $\text{NID}(P)$ ,  $\text{NID}(Q)$ )把它的 IRZ 更新到( $\text{NID}(P)$ ,  $\text{NID}(S)$ )。

- 3) 根据 S 的 IRZ 的更新,属于 Q 相关 KID 将被转移到 S。
- 4) 路由更新过程将被触发去更新网络中的其他节点的 HRT。

### 2.5 路由更新机制

路由更新机制的主要功能是,当网络拓扑结构的变化并转变为收敛的网络时,更新网络中所有节点的 HTR。由于自组织网络的拓扑结构频繁变化,HASN - Scale 采取事件触发的路由更新机制。由节点离开引起的路由更新过程与新的节点加入网络引起的过程相似,但有 2 个不同:路由更新过程是由离开节点或离开节点的后继所引起的,路由更新过程还可以以检索的方式进行。

## 3 实验评价

### 3.1 系统环境

在 CPU 主频为 1.6 G 和 Linux RedHat 8.0 环境的下,我们利用网络模拟器 NS2 模拟实验。通过 OTCL 和 C + + 编程,分别实现了 HASN 和 Chord 的路由算法。用 GT - ITM 拓扑生成器生成一个模拟的网络拓扑结构,在该拓扑结构中过境存根(TS)模型能够对网络的实际状况做出很好的描述。同时通过调整参数值和交通拥堵模拟网络中的动态干扰流动。图 1 描述了用 GT - ITM 生成的网络拓扑图。

### 3.2 基本性能评价

#### 3.2.1 消息传输的平均时延 (AMTD)

消息传输平均时延 (AMTD) 是评估路由算法性能的一个重要指标。图 2 描绘了在 Chord、HASN 以及优化的 HASN 中,AMTD 与  $N$  (节点数) 的关系。我们可以看到,虽然每个路由算法中的 AMTD 演示了与  $N$  的一种  $O(\log N)$  关系,但是 HASN 和优化的 HASN 的性能比 Chord 的好。这是因为 HASN 把临近网络的性质考虑在了内。

#### 3.2.2 节点加入时发送消息的数目

节点加入时发送消息的数目是评价一个自组织网络性能的重要指标。Chord 和 HASN 中节点加入时发送消息的数目与  $N$  的关系如图 3 所示。我们可以看到,Chord 和 HASN 在用路由算法演示  $N$  与  $O(\log^2 N)$  的关系时,彼此的性能是相似的。

#### 3.2.3 节点离开时发送消息的数目

节点离开时发送消息的数目,也是评价一个自组织网络性能的重要指标。图 4 描绘了 Chord 和 HASN 中节点离开时发送消息的数目与  $N$  的关系。我们可以看到,Chord 和 HASN 在用路由算法演示  $N$  与  $O(\log^2 N)$  的关系时,彼此的性能相似的。

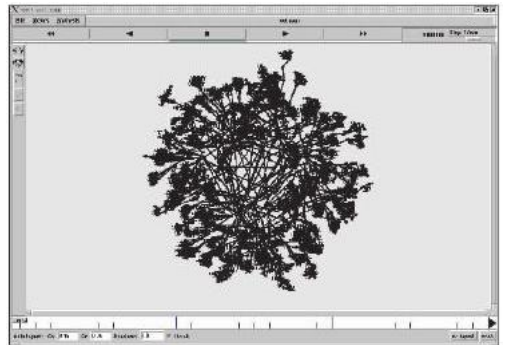


图 1 网络拓扑图

Fig.1 Network topology

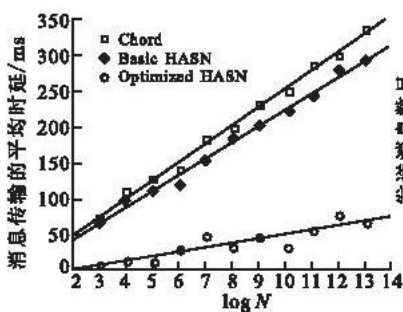


图 2 节点加入时发送消息的数目与  $N$  的关系

Fig.2 The relationship of AMTD and node number  $N$

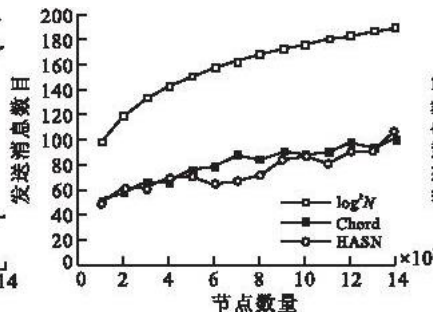


图 3 AMTD 与节点数  $N$  的关系

Fig.3 The relationship of sent message number when node joins in and  $N$

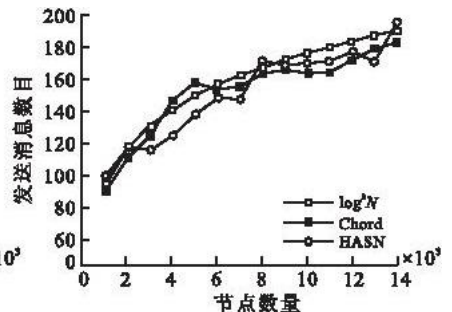


图 4 节点离开时发送消息的数目与  $N$  的关系

Fig.4 The relationship of sent message number when node leaves and  $N$

## 4 结束语

在自组织网络研究领域,移动特设网络(MANET)始终是一个热点,吸引了许多科学家的关注。与此相反,很少有人关注基于自组织网络的网络领域。HASN 是一个基于互联网基础架构的自组织网络路由模型。通过采用基于路由算法的 DHT,它继承了结构化 P2P 覆盖网络的所有优点并保证了网络的可扩展性。通过引入集聚分组机制和层次结构,HASN 充分利用互联网的网络邻近特性和网络局部特性改善了路由性能。

在本文研究的基础上,进一步的研究将侧重于把 P2P 计算模式延伸到 MANET 的研究。目标是通过路由协议在一个逻辑上的命名空间进行操作和通过 MANET 路由协议在物理上的名称空间进行操作,从而提出一种新的多跳路由协议以传统的形式进行无缝集成功能。

### 参考文献(References):

- [1] Eranti J, Jaganathan S, Srinivasan A. Efficient video streaming in wireless P2P network using HIS - MDC technique [J]. Communications in computer and information science, 2011, 142(1): 164 - 169.
- [2] Liu Yong, Guo Yang, Liang Chao. A survey on peer - to - peer video streaming systems [J]. Journal of peer - to - peer networking and applications, 2008, 1(1): 18 - 28.
- [3] Goyal V K. Multiple description coding: compression meets the network [J]. IEEE signal processing magazine, 2001, 18(5): 74 - 93.
- [4] Zezza S, Magli E, Olmo G, et al. Seacast: a protocol for peer - to - peer video streaming supporting multiple description coding [C]//IEEE international conference on multimedia and expo. New York: IEEE press, 2009: 1586 - 1587.
- [5] Vaishampayan V A. Design of multiple description scalar quantizers [J]. IEEE trans on inform theory, 1993, 39(3): 821 - 834.
- [6] Wang Y, Orchard M T, Vaishampayan V A, et al. Multiple description coding using pair - wise correlating transforms [J]. IEEE trans on image processing, 2001, 10(3): 351 - 366.
- [7] Liao Yiting, Gibson J D. Enhanced error resilience of video communications for burst losses using an extended ROPE algorithm [C]//IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing. Taipei: IEEE press, 2009: 1853 - 1856.
- [8] Fan Xiaopeng, Au O C, Ma Mengyao, et al. On improving the robustness of compressed video by Slepian - Wolf based lossless transcoding [C]//Proceeding of IEEE international symposium on circuits and systems. Taipei: IEEE press, 2009: 884 - 887.
- [9] Lee Yen - Chi. Error resilient video streaming over lossy networks [D]. Atlanta, GA: Georgia institute of technology, 2003.
- [10] Hsia Shih - Chang, Wang Szu - Hong, Chen Ming - Huei. High - performance region - of interest image error concealment with hiding technique [J]. Journal of electrical and computer engineering, 2010: 318137.
- [11] Salama P, Shroff N B, Coyle E J, et al. Error concealment techniques for encoded video streams [C]//Proceedings of international conference on image processing. Washington DC: IEEE press, 1995: 9 - 12.

(编辑:徐楠楠)

## Study of Self - organizing Network Routing Model

WANG Rong<sup>1</sup>, CHEN Ai - wang<sup>1</sup>, GUAN Hua<sup>1</sup>, DU Wei<sup>2</sup>

(1. Telecommunication Engineering Institute, Air force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. Air Force Military Representative Office of Xi'an Area, Xi'an 710082, China)

**Abstract:** By building a virtual network topology named P2P overlay network on top of internet's physics topology layer based on P2P computing mode, a full - decentralized internet based self - organizing network routing model - Hierarchical Aggregation Self - organizing Network (HASN) is built effectively. The target and architecture of HASN routing model are described in this paper, as well as a detailed description of a P2P decentralized naming, route discovering and updating algorithm - HASN Scale. Simulation results testify the performance of HASN routing model.

**Key words:** peer - to - peer network; self - organizing network; HASN; hierarchical routing table