

# 一种面向无线 Ad Hoc 网络的新型分布式哈希表

袁锦绣<sup>1</sup>, 钱雪忠<sup>1</sup>, 汪锦岭<sup>2</sup>

(1. 江南大学信息工程学院, 无锡 214122; 2. 中国科学院软件研究所, 北京 100081)

**摘 要:** 为了在无线 ad hoc 网络上构建各种应用系统, 有必要提供一种高效的数据共享机制, 使得网络中各节点之间能够方便地进行协同和交互。该文将分布式哈希表(DHT)的基本思想与无线 ad hoc 网络中的基于地理位置的路由技术结合起来, 提出了一种新型的面向无线 ad hoc 网络的数据共享方案——基于位置的 DHT(LDHT)。与传统的 DHT 方案相比, LDHT 不是通过逻辑上的覆盖网络来实现, 而是直接基于网络的物理拓扑结构来构建, 有效地消除了传统 DHT 方案的拓扑结构不匹配问题, 提高了在无线 ad hoc 网络中进行数据共享的效率。

**关键词:** 无线 ad hoc 网络; 数据共享; 分布式哈希表

## Novel Distributed Hash Table for Wireless Ad Hoc Networks

YUAN Jin-xiu<sup>1</sup>, QIAN Xue-zhong<sup>1</sup>, WANG Jin-ling<sup>2</sup>

(1. School of Information Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214122;

2. Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100081)

**【Abstract】** To build various applications in wireless ad hoc networks, an efficient data sharing mechanism is needed to facilitate cooperation and interaction among different nodes in the network. A novel data sharing solution is proposed for wireless ad hoc networks, namely Location-based DHT(LDHT), which combines the basic idea of distributed hash table(DHT) with the geographic routing technologies of ad hoc networks. Compared with traditional DHT schemes, LDHT is built upon the physical topology of the network rather than the logical overlay, so it eliminates the topology mismatching problem that exists in traditional DHT schemes and greatly improves the efficiency of data sharing in wireless ad hoc networks.

**【Key words】** wireless ad hoc networks; data sharing; distributed hash table(DHT)

### 1 概述

无线 ad hoc 网络是一种没有基础设施支持的无线网络, 网络中的节点均由移动主机构成。利用无线 ad hoc 网络技术, 人们可以在任何时刻、任何地点不需要基础网络设施的支持, 快速构建起一个移动通信网络, 因此, 它为军事通信、灾难救助和临时通信等应用环境提供了一种有效的解决方案, 具有广泛的应用前景。

为了在无线 ad hoc 网络上构建各种应用系统, 必须要提供一种有效的数据共享机制, 以使得网络中各节点之间能够方便地进行协同和交互。然而, 由于无线 ad hoc 网络具有自组织性及网络拓扑动态变化的特点, 使得无线 ad hoc 网络中各节点之间的数据共享存在着很大的困难。

目前在 Internet 环境下的一种成功的分布式数据共享技术是分布式哈希表(distributed hash table, DHT)<sup>[1~3]</sup>, 它能够方便地支持节点的动态加入和退出, 而且具有较强的可伸缩性和容错性。因此, 近年来有人开始将 DHT 技术引入到无线 ad hoc 网络中, 以其为基础提供共享数据空间, 从而为无线 ad hoc 网络提供一种高效的协同和交互机制。

现有的各种 DHT 方案一般都是将各节点组织成一种逻辑上的覆盖网络(overlay), 在此基础上进行数据定位和存取操作。由于该覆盖网络的拓扑结构与底层真实网络的拓扑结构不一致, 必然会造成较大的网络资源开销。而在无线 ad hoc 网络中, 由于无线信号的相互干扰以及不稳定等问题, 网络的吞吐量随着跳数的增加而急剧降低。因此, 如果在无线 ad hoc 网络之上再构建一个覆盖网络, 将会占用太多的系统资

源, 从而无法高效地支持各种应用系统。

### 2 LDHT 设计思路

#### 2.1 DHT 基本原理

在 DHT 系统中, 首先要指定一个哈希函数, 然后所有需要保存的业务数据都被映射到该哈希函数的值域中, 而该值域则被分布到各个节点上, 每个节点负责其中的一部分。

为了便于表述, 称用户将要存入 DHT 的全部业务数据所形成的集合为“业务数据空间”, 称哈希函数的值域为“哈希键值空间”, 称网络中各节点的 IP 地址所组成的集合为“IP 地址空间”。构建一个 DHT 系统, 需要提供以下两个映射:

(1) 业务数据空间 → 哈希键值空间

(2) 哈希键值空间 → IP 地址空间

其中, 第 1 个映射即哈希函数; 第 2 个映射用于将全局的哈希键值空间分布到网络中的各节点中, 每个节点负责一个子空间。在现有的各种 DHT 方案中, 为了实现第 2 个映射, 通常还需要构建如下第 3 个映射:

(3) IP 地址空间 → 哈希键值空间

这个映射使得网络中的每个节点都对应一个唯一的哈希键值, 从而可以利用该键值, 将各节点组织成一定的结构(如 Chord<sup>[1]</sup>的环形结构, CAN<sup>[2]</sup>的多维立方体, Tapestry<sup>[3]</sup>的层次结构), 在此基础上决定每个节点所负责的哈希键值子空间。

**作者简介:** 袁锦绣(1975 - ), 女, 硕士研究生, 主研方向: 移动计算, Web 服务; 钱雪忠, 副教授; 汪锦岭, 博士

**收稿日期:** 2006-09-30 **E-mail:** yuanjinxiu789@163.com

## 2.2 LDHT

在现有的 DHT 系统中,各节点按照其哈希键值以一定的结构组织在一起,形成一个在 IP 网络之上的覆盖网络。当需要在 DHT 中查找一个数据项时,通常需要经过在覆盖网络中的很多跳,才能最后找到存放该数据项的目标节点。而由于无线 ad hoc 网络的容量的有限性,如果在这种网络之上再构建覆盖网络,将会带来很大的开销,大大降低系统的效率。因此,有必要在理解 DHT 的实质的基础上,针对无线 ad hoc 网络的特点,设计一种新型的 DHT 方案。

目前,无线 ad hoc 网络的路由协议主要有 3 大类:表驱动,按需和基于地理位置。其中,基于地理位置的路由协议<sup>[4,5]</sup>具有明显的效率优势,被认为是无线 ad hoc 网络中很有前途的发展方向。因此,本文以基于地理位置的路由协议为基础,提出了一种基于位置的 DHT 方案(LDHT)。

在基于地理位置的路由协议中,每个节点 $N_i$ 都知道自己当前所在的位置,用平面直角坐标的形式来表示,设为 $(x_i, y_i)$ 。假定网络中的各节点都位于一个有限的平面空间中,即 $\forall i, x_i \in (X_L, X_U), y_i \in (Y_L, Y_U)$ 。因此,以 $(X_L, Y_L), (X_L, Y_U), (X_U, Y_L), (X_U, Y_U)$  4 个点所构成的矩形区域就构成了所有节点的全局的位置空间。

为了在无线 ad hoc 网络上构建 DHT,将该位置空间直接当作哈希键值空间,然后将每个待保存的数据项映射到该空间中的一个点上:

业务数据空间  $\rightarrow$  位置空间

由于位置空间中的每个点的坐标是一个二维向量,因此需要用两个哈希函数(如 SHA-1, MD5)来对一个给定的数据进行哈希,从而得到两个值,分别作为  $X$  坐标和  $Y$  坐标,然后将其取余,使其落在给定的位置空间之内。

为了构建 LDHT,还要构建从位置空间到 IP 地址空间的映射关系。为此,要求每个节点负责位置空间的一个子空间,以使得每个键值所对应的数据项,都被保存在当前位置与该键值最近的节点上。每个节点所负责的子空间是其当前位置周围的一个区域,各节点所负责的子空间互不重叠,它们在一起共同构成了全局位置空间。例如,在图 1 中,假设系统中有 A、B、C、D 4 个节点,它们各自所负责的子空间如图中的虚线所示。

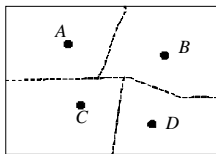


图 1 各节点所负责的位置子空间

## 3 LDHT 关键操作

### 3.1 数据的保存和检索

当需要将数据保存到 LDHT 系统中或从中查找某个数据时,首先要求出该数据项所对应的哈希键值,即位置空间中的某个点的坐标。由于数据项被保存在当前网络中离该坐标位置最近的节点上,因此该问题就转化为:给定一个坐标位置,如何在当前网络中找到离该位置最近的节点。

用基于地理位置的路由中的“侧面路由(face routing)”<sup>[4,5]</sup>技术来解决这个问题。基于地理位置的路由技术首先采用贪婪算法的思想进行数据包的转发,每个节点在收到一个数据包后,将其转发给离目标位置最近的邻居,从而逐步逼近目标。但是,由于贪婪算法只追求局部最优,因此在很多情

况下会失败,即当系统中实际上存在两个节点之间的某条路径时,该算法却找不到相应的路径。侧面路由就是为了解决这个问题而提出来的,它首先在网络拓扑之上构建一个平面图。当一个数据包的目标位置在系统中不存在时,有如下两种可能的情况:

(1)该位置在系统中的某些边所组成的一个封闭区间内,此时该封闭区间的各边被称为“内侧面”;

(2)该位置在系统中的各边组成的封闭区间之外,此时系统的各外围边被称为“外侧面”。

例如,在图 2 中,设  $X$  为一个数据包的目标位置。在图 2(a)中,边 AB、BC、CD、AD 构成了该位置所对应的内侧面。在图 2(b)中,所有的边共同构成了一个外侧面。

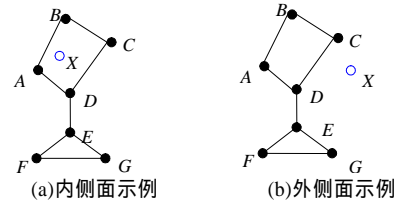


图 2 侧面路由下的内侧面和外侧面

根据侧面路由,当一个数据包的目标位置在系统中不存在时,该数据包需要在目标位置所对应的内侧面或外侧面上遍历一遍,然后才能判定目标地址是不可达的。由于当前离目标位置最近的节点一定处在该侧面上,因此当数据包在该侧面上遍历一次以后,就可以找到离目标位置最近的节点,并将数据保存到该节点上,或从该节点上检索所需要的数据。

### 3.2 节点退出

无线 ad hoc 网络的一个重要特点就是拓扑结构的动态变化。在 LDHT 中,采用一种基于距离的数据复制技术来解决节点退出的问题,以使得一个节点退出网络后,保存在它上面的数据仍然能够被其它节点检索到。对于一个数据项  $d$ ,令其哈希键值为  $h$ ,为其保存  $k$  个副本,分别存放在  $k$  个离  $h$  最近的节点中。这样,当  $k-1$  个节点发生故障时或退出系统时,系统仍然能够从离  $h$  最近的节点上得到相应的数据。

下面分析如何找到这  $k$  个离位置  $h$  最近的节点。令目标位置  $h$  周围的侧面上的所有节点的集合为  $F$ 。令离  $h$  最近的第  $i$  个节点为  $N_i$ 。显然  $N_1 \in F$ 。令函数  $NB(N)$  表示节点  $N$  的邻居的集合,则  $N_2 \in F \cup NB(N_1)$ ,即第 2 个节点要么也在  $F$  中,要么就是  $N_1$  的邻居。由此类推,可知

$$\forall i \in [2, k]: N_i \in F \cup NB(N_1) \cup \dots \cup NB(N_{i-1})$$

因此,可以从  $N_1$  开始,递推地找出所有的  $N_k$ ,并将数据放到这些节点上。例如,在图 3 中,离目标位置  $X$  最近的节点为 B,其次为 C,再次为 A。

### 3.3 节点加入

当一个节点加入网络时,它将引起网络中的一部分节点所负责的哈希子空间的重新分配。此时,对于网络中的某些数据项而言,原来离它最近的节点现在已不是最近的。因此,当一个新节点加入时,它要找到其邻近区域的各节点,并在必要时将其中的一部分数据迁移到本节点上。

本文定义了节点的 3 种状态:离线,初始化和正常状态。在初始化状态下,节点能够通过 MAC 地址与周围一跳范围内的邻居进行通信,但是邻居们并不知道新节点的位置信息,因此,新节点并不参与路由协议。在初始化完成之后,节点进行正常状态,此时该节点通知各邻居其当前位置,并参与正常的数据转发。

(下转第 133 页)