

## 基于蚁群优化算法的 Chord 模型

张建伟, 刘 思, 李朝阳, 蔡增玉

(郑州轻工业学院计算机与通信工程学院, 郑州 450002)

**摘 要:** 提出一种具有物理拓扑匹配能力的 Chord 模型(Ant-Chord), 用以存储网络标识间的映射信息。该模型将整个 Chord 环中的存储节点看成一个旅行商问题(TSP), 利用蚁群优化算法对 TSP 问题进行快速求解, 用得到的解构建 Chord 环, 并通过洛阳铲法对 Chord 环的路由跳数进行优化。Ant-Chord 模型实现简单, 对原始 Chord 模型改动不大, 路由表的额外存储开销也较小。仿真结果表明, 与同类 Chord 模型相比, Ant-Chord 在资源发现的平均路由跳数、时延方面均有明显优势。

**关键词:** 网络标识分离; Chord 模型; 蚁群优化算法; 旅行商问题; 物理拓扑匹配

## Chord Model Based on Ant Colony Optimization Algorithm

ZHANG Jian-wei, LIU Si, LI Chao-yang, CAI Zeng-yu

(School of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

**【Abstract】** This paper proposes a Chord model(Ant-Chord) which has an ability of physical topology matching to store the mapping information of identifiers. The ideas of Ant-Chord is to regard the storage nodes in the whole Chord as a TSP problem and solve the TSP problem quickly by using the ant colony algorithm, then to build the Chord with the obtained Traveling Salesman Problem(TSP), and proposes a method which called Luoyang Shovel Method(LSM) to optimize the Ant-Chord's routing hops. The model is simple and easy to implement, which has small changes within the original Chord model and little extra overhead cost in the routing table storage. Simulation results show that Ant-Chord has obvious advantages in average routing hops and delay in comparison with other Chord models.

**【Key words】** network identifier separation; Chord model; Ant Colony Optimization(ACO) algorithm; Traveling Salesman Problem(TSP); physical topology matching

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.04.033

### 1 概述

随着互联网用户数量的急剧增加, 传统的互联网在移动性支持和网络可扩展性支持等方面的不足, 越来越显示出其最初设计所存在的问题, 而通过网络拓扑的划分, 严格地将身份和位置标识完全分离是解决其 IP 地址二义性问题的可行方法, 并已取得阶段性成果<sup>[1-3]</sup>, 但是完善的身份和位置标识分离机制尚未形成。文献[4-5]给出一体化网络与普适服务新体系结构模型, 提出新网络体系下的一体化网络模型与理论, 建立接入身份标识(AID)、交换位置标识(RLOC)及其映射理论, 通过使身份标识和位置标识分离, 从根本上解决 IP 地址的二义性问题。身份和位置标识分离网络需要一套新的管理机制存储和管理这 2 种标识之间的映射关系, 而映射关系的查询速度将直接影响通信效率。

Chord<sup>[6]</sup>是一种经典的结构化 P2P 网络模型, 它的突出特点是算法实现简单, 路由跳数较高, 平均跳数为  $O(\log N)$ , 查询效率较高。因此, 本文把 Chord 引入到身份和位置标识分离网络中, 用于映射关系的存储和查询。对交换位置标识进行哈希(HASH)运算, 并根据哈希所得的 ID 号将该交换位置标识所对应的映射关系存储进 Chord 中。

但是, Chord 作为一种逻辑拓扑模型, 缺乏对物理网络拓扑信息的利用, 在逻辑上最近的 2 个节点在物理层往往并不是最近, 因此, 一条逻辑最近的路径也不可能是物理最近的路径。由于查询和定位在逻辑层与物理层上的性能差异, 导致 Chord 资源定位的实际效率降低, 因此若能解决 Chord 与底层物理拓扑结构的失配问题, 将进一步增大 Chord 的应用前景, 从而满足新一代身份和位置标识分离网络下对映射

关系存储和查询的需求。本文在对标识映射存储方法进行研究的基础上, 提出一种基于蚁群优化(Ant Colony Optimization, ACO)<sup>[7]</sup>算法的 Chord 模型(Ant-Chord), 用以存储和查询上述的身份和位置标识映射关系。其思想是将整个 Chord 环中的存储节点看成一个全局性的旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP), 并通过蚁群算法求得该 TSP 问题的近似最优解, 从而快速构建一个具有物理拓扑匹配能力的 Chord 环, 同时提出洛阳铲法(Luoyang Shovel Method, LSM)对 Chord 环进行路由跳数的优化。

### 2 相关研究

在已有标识分离映射方案中, 基于 P2P 技术的数据共享方法得到了广泛利用, 用于构建一个标识分离映射信息的共享覆盖网络。该类方案充分利用 P2P 技术的分布式、容错性强等技术优点, 成为标识映射信息存储的重要方法之一。本文以 P2P 技术中的 Chord 协议为基础, 结合标识分离映射网络结构特点, 以物理拓扑匹配为切入点, 研究如何优化标识映射信息的存储及查询响应性能。

#### 2.1 现有物理匹配算法

P2P 网络发展至今, 对物理匹配的研究主要形成 3 种思

**基金项目:** 国家“973”计划基金资助项目(2007CB307102, 2007CB307100); 河南省基础与前沿技术研究计划基金资助项目(082300410280)

**作者简介:** 张建伟(1971—), 男, 副教授, 主研方向: 宽带信息网络, 网络安全; 刘 思、李朝阳, 硕士研究生; 蔡增玉, 讲师

**收稿日期:** 2011-05-17 **E-mail:** ukyoukyo@yahoo.com.cn

路<sup>[8]</sup>: (1)基于拓扑的节点 ID 分配的优化思路。它的基本思想是把逻辑覆盖网中的 ID 空间映射到物理网络, 以使 ID 空间上的 2 个相邻节点在物理上也相近。但这种方法会导致节点在 ID 空间的分布不均, 加重负载不均衡。(2)基于邻近路由的优化思路: 构建覆盖网时不考虑物理底层, 当它进行路由时, 从路由表中选择一个与目标节点最近的节点作为下一个中转节点。该思路取得的效果取决于路由表中提供候选的项数, 候选项越多, 效果越好, 但也增加了路由表的负担。(3)基于近邻选择的优化思路: 首先把节点 ID 空间分成若干区域, 节点 ID 相似或相近的在同一区, 当一个节点  $N$  与其他邻近区域通信时, 路由表表项把目标区域中与节点  $N$  最近的节点  $M$  作为它的最近邻居, 以此构建覆盖网。针对结构化 P2P 技术的 Chord 模型, 也有学者分别基于上述 3 种方法, 对基本的 Chord 模型进行改进。

文献[9]提出 ChordPNS 算法, 在每个路由表项中维护了一组候选节点, 通过在候选节点中选择更近的节点来路由查询请求。该算法降低了查询时延, 但是在最近路由表项的发现和路由表维护过程中, ChordPNS 给网络带来了较重的通信开销。文献[10]提出通过使用 proximity list 邻近表取得比标准 Chord 模型更好的网络近似性。proximity list 保存了一个节点在一个生命期内发现的邻近节点, 下一跳通过 Proximity list 和 finger table 共同决定。尽管这种方法取得比 Chord 更好的路由效率, 但问题在于在网络节点频繁进入退出时的慢收敛和低效率问题, 这使节点的生命期相对减少, 动态网络拓扑变化很快。文献[11]提出的 Chord6 利用 IPv6 地址的层次结构特性, 产生节点 ID, 这样在同一个域内的每个节点具有更近的 ID, 该方法将平均路径长度由  $O(\log N)$  降低为  $O(\log M)$ , 其中,  $N$  是网络中节点的数量, 而  $M$  是网络中域的数量。但是覆盖网中 2 个相近域内的节点其距离可能很远, 这是由 Hash 函数性质决定的。

## 2.2 TSP 问题及蚁群优化算法

TSP 问题是数学领域中的著名问题之一。假设有一个旅行商人要拜访  $N$  个城市, 他必须选择所要走的路径, 路径的限制是每个城市只能拜访一次, 而且最后要回到原来出发的城市。TSP 问题要求得到的是所有路径之中的最小值, 这是一个 NP 难问题。把 TSP 问题引申到 Chord 上, 一方面是因为 Chord 环中的所有节点可以按 ID 大小形成一个闭环的形式, 另一方面是因为本文要解决的同样也是物理路径问题。在 2.1 节的现有算法分析中, 增加邻近表和划分相邻物理区域是 2 大主流方法, 增加邻近表对 Chord 结构改变最小, 但需要以路由表项的增加为代价。而划分相邻物理区域, 一方面需要解决域数和域内节点数的制衡关系, 另一方面域与域之间不透明, 域间通信效率不理想。

同时, 以上 2 种方法实质上采取的都是最近邻思想, 即每次尝试寻找的是离自己最近的节点, 缺乏对全局拓扑的考量, 而一次查询通常是一次全局性的节点路由过程, 随着节点数量的增加及网络拓扑的复杂化, 这种短视的方法很容易陷入一个较差的局部最优解上。因此, 本文考虑从全局性的 TSP 问题入手, 以期产生更好的效果。

TSP 问题作为一个学术界广泛研究的问题, 长期以来已经得到了大量的研究, 同时它也是很多新算法的标准测试平台。元启发式算法是解决 TSP 问题的一种很成功的算法, 而 ACO 算法正是一种经典的元启发式算法。事实上, 第 1 个蚁群算法——蚂蚁系统, 以及随后提出的大量蚁群优化算法,

都是首先在 TSP 上进行测试的。发展至今, 蚁群优化算法已经成为一种解决 TSP 问题的非常成熟的算法, 因此, 本文选择蚁群优化算法解决 Chord 环的 TSP 问题。

在实际网络中, 无法即时知道其 TSP 的最优解是什么, 因此, 也无法确认蚁群优化算法所得出的解就是最优解。同时, 由于网络的通信效率以及计算成本等方面的限制, 使得快速得到大规模节点的 TSP 最优解变得不现实。而蚁群优化算法作为元启发式算法, 其本身追求的是在相对较低的计算成本下, 找到好的或接近最优解的解答, 但是该算法并不保证一定能找到最优解。本文选择蚁群优化算法的实际目的是希望通过其快速得出近似的 TSP 最优解, 而非最优解本身。后面的仿真实验将会证明, 通过蚁群优化算法快速得出的 TSP 近似最优解, 其性能是令人满意的。

## 3 Ant-Chord 模型中的 ACS 优化算法

为使 Ant-Chord 能够快速求解, 本文对所采用的蚁群系统(Ant Colony System, ACS)算法进行一定简化, 并结合 Chord 特点做相应的调整和优化。

### 3.1 算法描述

ACS 算法描述如下, 设 Chord 环中存储节点个数为  $n$ , 蚂蚁个数为  $m$ 。

#### (1) 数据初始化

Step1 导入网络节点拓扑, 并通过节点广播, 得到各节点间的通信延迟(即节点间路径长度), 保存在距离矩阵  $dist[n][n]$  中, 其中, 数组元素  $dist[i][j](i, j \in [0, n-1])$  的值如式(1)所示,  $dist[i][j]$  表示从节点  $i$  到  $j$  的路径距离。

$$dist[i][j] = \begin{cases} v_{delay} & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases} \quad (1)$$

Step2 初始化信息素矩阵  $pheromone[n][n]$ , 其中, 数组元素  $pheromone[i][j](i, j \in [0, n-1])$  的值设为统一的初始值, 如式(2)所示,  $pheromone[i][j]$  表示从节点  $i$  到  $j$  路径的信息素含量。

$$pheromone[i][j] = v_{init\_pheromone} \quad (2)$$

Step3 初始化选路矩阵  $choice[n][n]$ , 其中, 数组元素  $choice[i][j](i, j \in [0, n-1])$  的值如式(3)所示, 可以看出, 其值与其路径上的信息素含量成正比, 与距离呈反比。

$$choice[i][j] = \begin{cases} \frac{pheromone[i][j]}{dist[i][j]} & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases} \quad (3)$$

Step4 初始化蚂蚁及算法的各项参数, 如迭代的最大值  $epoch\_max$ 、全局最优路径长度  $dist\_best$ 、信息素下限  $pheromone\_min$  等。

#### (2) 迭代过程

当迭代数等于  $epoch\_max$  时, 算法结束; 否则一直循环执行以下行为:

Step1 清空所有蚂蚁的上一次迭代的寻路记忆。

Step2 所有蚂蚁被随机分配到一个初始节点上。

Step3 每只蚂蚁构建一条完全路径: 在路径构建的每一步中, 蚂蚁  $k(k \in [1, m])$  按照赌轮选择法(Roulette Wheel Selection)决定将前往的下一个节点, 这种选择方法的特点是: 对应于某条路径的  $choice[i][j]$  值越大, 该路径被蚂蚁  $k$  选中的概率也越大。这一方面使蚂蚁倾向于选择当前被认为较好的路径, 另一方面使其他路径也有被选中的机会, 避免算法过早陷入局部收敛。如当前位于节点  $i$  的蚂蚁选择  $j$  作为下一个访问节点的概率见式(4),  $N$  表示蚂蚁尚未访问的节点集合。

$$p_{ij} = \frac{\text{choice}[i][j]}{\sum_{l \in N} \text{choice}[i][l]}, j \in N \quad (4)$$

**Step4** 蚂蚁返回起始节点,并计算其构建的路径的长度,同时减少其经过的路径的信息素含量(设减少量为  $V_{\text{sub}}$ ),这样可以在下次迭代时增加蚂蚁选择其他路径的概率,防止算法陷入局部最优。若某路径的信息素低于  $\text{pheromone\_min}$ ,则令其值等于  $\text{pheromone\_min}$ ,这样可以防止该路径信息素过低,从而无法再被选择。

**Step5** 选出本次迭代中构建路径最短的蚂蚁,增加其经过的路径的信息素含量(设增加量为  $V_{\text{add}}$ ),即奖励表现最好的路径,增加其下次迭代再被蚂蚁选择的概率,当然  $V_{\text{add}}$  是明显大于  $V_{\text{sub}}$  的。若其长度小于  $\text{dist\_best}$ ,则用其替换  $\text{dist\_best}$ ,并记录其路径。

**Step6** 进入下次迭代。

(3)迭代完成

用  $\text{dist\_best}$  记录的路径顺序构建 Chord 环,并实施“洛阳铲法”跳数优化策略。

在 Chord 环构建时,存储节点的 Node ID 由 2 个部分组成,设 Node ID 长  $L$  位,则前面  $L_1$  位是节点的 TSP 顺序信息,后面  $L_2$  位是对节点的统一标识符进行哈希运算的结果。这样所有节点就按照其前  $L_1$  位的排位信息,构建一个 Ant-Chord 环。

### 3.2 洛阳铲法

单纯物理拓扑上的匹配对 Chord 逻辑路由的跳数影响甚微,因此,本文设计一种称为洛阳铲法的 Chord 路由跳数优化方法,在生成 Chord 路由表的同时携带记录各后继节点的存储空间信息,以增加 Chord 路由的灵活性,从而实现对跳数的优化。该方法借鉴了我国考古工具洛阳铲的理念,洛阳铲是一种半圆柱形的铁铲,使用时垂直向下戳击地面,利用半圆柱形的铲可以将地下的泥土带出。这样在下探过程中不仅可以获知地下的深度,同时还可了解对应每个深度的泥土土质情况,从而综合分析地底有无古代墓葬。因此,本文称记录后继节点的存储空间信息从而实现跳数优化的方法为洛阳铲法。

如图 1 所示为一次简单的 Chord 查询过程,节点  $N0$  需要查找 ID 号为 31 的资源,虽然从图中可以立刻判断出该资源存储在  $N0$  的后继节点  $N32$  上,但是在实际的 Chord 查询过程中却需要经过如图 1 所示  $N0-N16-N24-N32$  的路由过程,这是因为 Chord 虽然实现简单,但灵活性不足。虽然 Chord 的路由跳数已经相当高效,但是在这点上依然有不小的提升空间。

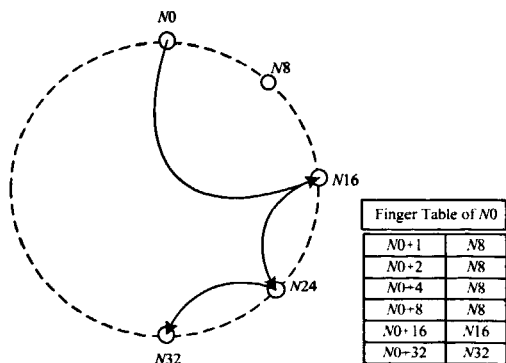


图 1 一次 Chord 查询过程

对于 Chord 的跳数优化问题,目前已有很多方案<sup>[12]</sup>,大

部分都是针对路由表进行扩张,如经典的双向路由表方案,通过增加一个可以进行逆向查询的路由表,使 Chord 由原来的半环资源定位扩展到全环定位,增大 Chord 查询的灵活性,但是半环定位相比全环定位实际上只是一次路由跳数的差别,而且只在查询的资源 ID 号超过单向路由表的最大节点 ID 号时才能体现出优势,提升性能有限,而对路由表的扩展幅度却很大。

分析图 1 可以发现,如果知道后继节点  $N32$  的存储空间,那么  $N0$  就可以直接把资源 31 发送给  $N32$ 。因此,在洛阳铲法中,在生成 Chord 节点的路由表时,路由表在添加每个后继节点的同时记录该后继节点的存储空间信息。如图 2 所示, $N0$  路由表中的“N32(8)”表示其后继节点  $N32$  的存储空间为 8,那么资源号从 17 到 32 的资源都存储在  $N32$  节点中。这样  $N0$  在查询资源 31 时,可以直接判断出该资源属于其后继节点  $N32$ ,从而不必经历图 1 所示的冗长过程。由于洛阳铲法是对原有的路由表内容进行修正,同时只需要记录较大的后继节点(图 2 中只记录了  $N32$ )的存储空间信息即可,因此对路由表的存储开销影响相对很小。在后面的仿真实验中可以看到,对于一个容量为 16 384 个节点的 Chord 环,只需记录 8 个后继节点的存储空间信息,就可以让路由跳数产生很明显的减少。

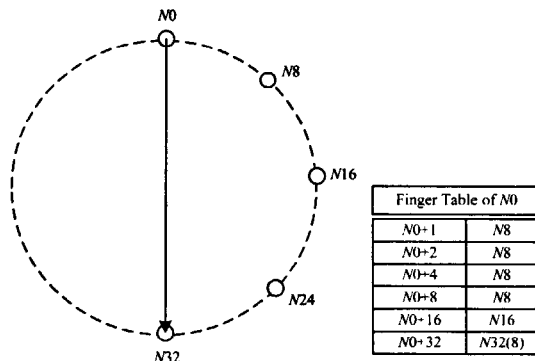


图 2 一次洛阳铲法的查询过程

## 4 实验仿真及性能分析

验证实验采用 OPNET 10.0 作为仿真平台,使用网络拓扑生成器 NEM(Network Manipulator)<sup>[13]</sup>的 magoni\_pansiot\_sampling 方法<sup>[14]</sup>生成实验拓扑数据,生成容量为 4 096 个节点和 16 384 个节点的 2 个 Chord 环。选择原始 Chord(记为 Random-Chord)和划分物理区域 Chord(记为 Zone-Chord)进行同步仿真,作为 Ant-Chord 的实验参照。仿真时间为 1 h,数据包发送间隔为 1 s,蚁群优化算法使用的蚂蚁数为 10。

图 3 和图 4 为 4 096 个 Chord 环的仿真结果图,除 Ant-Chord,原始 Chord 和划分物理区域 Chord 外,为了更利于对比分析,还增加了 2 种附加实验,即没有使用洛阳铲法的 Ant-Chord(记为 ANT\_CHORD\_without\_LSM)和使用了洛阳铲法的原始 Chord(记为 RANDOM\_CHORD\_with\_LSM)。

从图 3 可以看出,在延迟上 Ant-Chord 和划分物理区域 Chord 明显优于原始 Chord,而 Ant-Chord 优于划分物理区域 Chord, Ant-Chord 的平均延迟(0.06 s)相比原始 Chord 的平均延迟(0.087 s)大约提升 30%的性能。同时,使用洛阳铲法的原始 Chord 因为跳数的降少,所以相应延迟上也比原始 Chord 低,但是这一延迟优势跟没有使用洛阳铲法的 Ant-Chord 相比相差很远,因此,可以说明 Ant-Chord 延迟减少的主要原因是 TSP 优化,而非洛阳铲法。从图 4 可以看到在

跳数上, 进行洛阳铲法优化的 Ant-Chord 和原始 Chord 都体现出了较明显的优势, 使用洛阳铲法的平均跳数(2.35 次)相比未使用洛阳铲法的平均跳数(2.75 次)大约提升 15% 的性能。

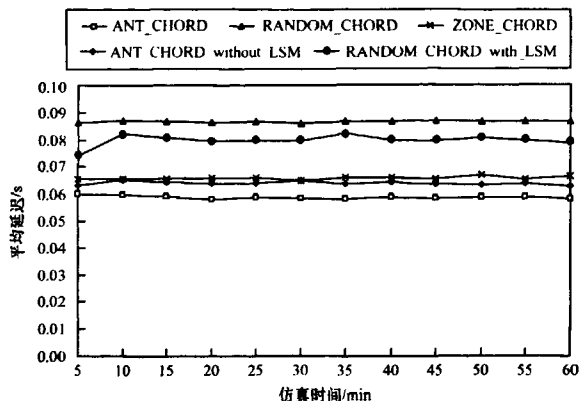


图3 4096个Chord环的平均延迟对比

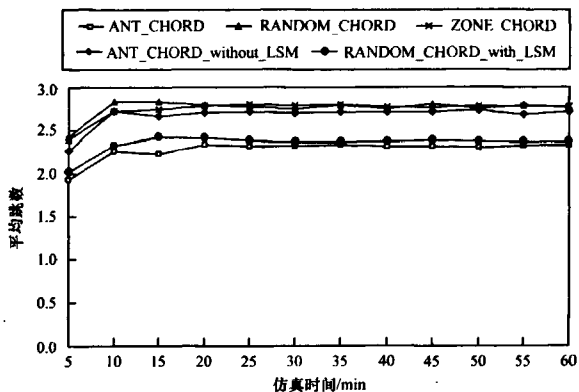


图4 4096个Chord环的平均跳数对比

图5和图6为16384个Chord环的仿真结果, 在该项仿真中有意限制了 Ant-Chord 的迭代次数, 使 Ant-Chord 仅求得了 TSP 的近似最优解。同时, 为更利于对比分析, 仍增加了2种附加实验, 即没有使用洛阳铲法的 Ant-Chord 和使用 TSP 最优解和洛阳铲法的 TSP\_Chord(BEST\_TSP\_CHORD)。除了可以得出与4096个Chord环相似的结论外, 还可以看出 Ant-Chord 和 TSP\_Chord 性能相近。这方面证明通过 TSP 问题解决物理拓扑匹配的思路是可行的, 另一方面证明利用蚁群优化算法快速求得的 TSP 近似最优解, 即使并非最优, 但是因为其采用的仍是全局 TSP 优化的思想, 所以其效果是令人满意的。同时对比图3和图5可以发现, 随着 Chord 环的增大, Ant-Chord 相比采用局部最优思想的划分物理区域 Chord 以及未使用洛阳铲法的 Chord, 在延迟和跳数上的性能优势愈明显。

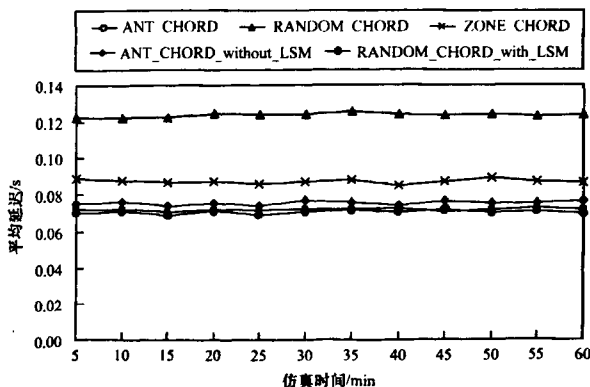


图5 16384个Chord环的平均延迟对比

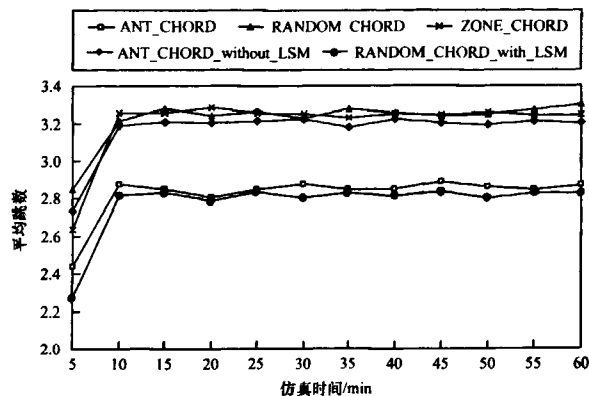


图6 16384个Chord环的平均跳数对比

## 5 结束语

本文提出通过全局性的 TSP 问题解决 Chord 的物理拓扑匹配问题, 并利用蚁群优化算法快速求得其近似最优解以满足网络的通信效率要求, 同时提出的洛阳铲法, 所需开销小, 且效果突出, 最后通过仿真实验证明该模型的可行性。

## 参考文献

- [1] Mathy L, Lancaster U, Iannone L, et al. LISP-DHT: Towards a DHT to Map Identifiers onto Locators[EB/OL]. (2008-05-12). <http://inl.info.ucl.ac.be/system/files/draft-mathy-lisp-dht-00.txt>.
- [2] Luo Hongbin, Qin Yajuan. A DHT-based Identifier-to-locator Mapping Approach for a Scalable Internet[J]. IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, 2009, 20(12): 1790-1802.
- [3] Zhang Jianwei, Zhan Xiaosu, Zou Dongyao. A Network Locality Aware Algorithm Based on Identity Mapping[C]//Proc. of the 2nd International Conference on Signal Processing Systems. Dalian, China: [s. n.], 2010.
- [4] 张宏科, 苏 伟. 新网络体系基础研究一体化网络与普适服务[J]. 电子学报, 2007, 35(4): 593-598.
- [5] 董 平, 秦雅娟, 张宏科. 支持普适服务的一体化网络研究[J]. 电子学报, 2007, 35(4): 599-606.
- [6] 陈沅涛, 吴海珍. 基于 Chord 的动态多路由算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(4): 97-98, 102.
- [7] Dorigo M, Gambardella L M. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem[J]. IEEE Trans. on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 53-66.
- [8] Wu Weiyu, Chen Yang, Zhang Xinyi, et al. LDHT: Locality-aware Distributed Hash Tables[C]//Proc. of the International Conference on Information Networking. Busan, Korea: [s. n.], 2008.
- [9] Dabek F, Li J, Sit E, et al. Designing a DHT for Low Latency and High Throughput[C]//Proc. of the 1st Symposium on Networked System Design and Implementation. [S. l.]: IEEE Press, 2004: 85-98.
- [10] Feng Hong, Li Minglu. PChord: Improvement on Chord to Achieve Better Routing Efficiency by Exploiting Proximity[C]//Proc. of International Conference on Distributed Computing Systems Workshops. [S. l.]: IEEE Press, 2005: 806-811.
- [11] Xiong Jiping, Zhang Youwei, Hong P, et al. Chord6: IPv6 Based Topology-aware Chord[C]//Proc. of the Joint International Conference on Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services. Papeete, Tahiti: [s. n.], 2005: 19-23.

(下转第 107 页)

相应的传输延迟越大。

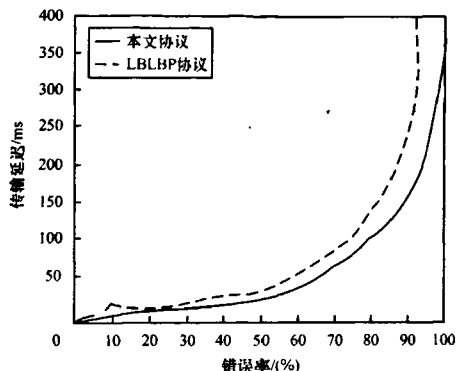


图3 错误率与传输延迟的关系

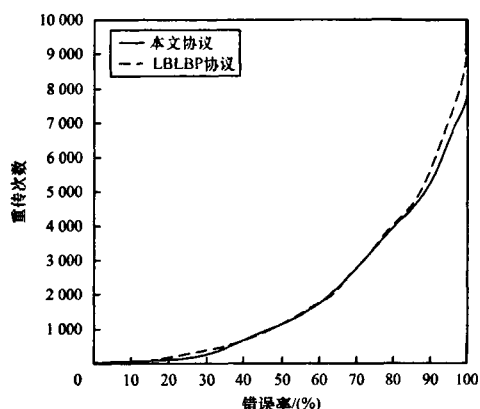


图4 错误率与重传次数的关系

### 5.3 不同节点总数下的仿真结果

本文将错误率保持在50%不变,通过控制网络中接收节点的数目从0逐一增加到20,分析不同节点数目下的协议性能。由图5、图6可以看出,相同拓扑结构下本文协议不论在传输延迟还是重传次数上都优于LBLBP协议。随着网络中节点数目增多,拓扑结构增大,这种优势越明显。这说明本文协议较LBLBP协议在传输延迟和重传次数等性能上表现更优,且更适用于大规模网络以及网络状况不佳的情况。

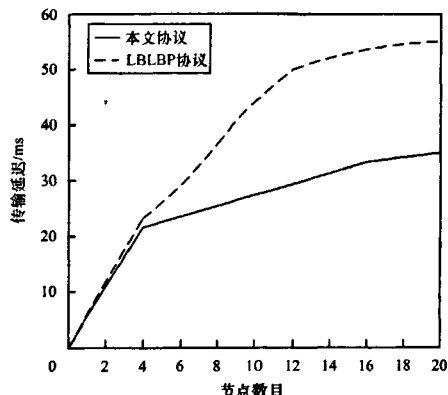


图5 节点数目与传输延迟的关系

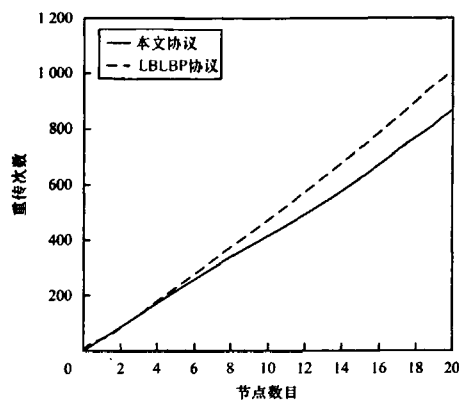


图6 节点数目与重传次数的关系

## 6 结束语

本文在LBLBP协议的基础上,针对高延迟、多次重传以及无法很好适应大规模网络拓扑结构的问题,提出一种可靠高效的MAC层多播纠错协议。从理论和实验2个方面证明了该协议可以在MAC层保证WMN多播的可靠性,并分析比较了相同环境下本文协议与LBLBP协议的性能,同时为高效的跨层纠错协议研究奠定了基础。

## 参考文献

- [1] Akyildiz I F, Wang Xudong, Wang Weilin. Wireless Mesh Network: A Survey[J]. Computer Networks, 2005, 47(4): 445-487.
- [2] 席 鹏, 周 颖, 赵保华. 分层信标驱动的无线 Mesh 网多播差错控制协议[J]. 西安交通大学学报, 2010, 44(16): 51-56.
- [3] Zhao Li, Herfet T. BLBP: A Beacon-driven Leader Based Protocol for MAC Layer Multicast Error Control in Wireless LANs[C]//Proc. of International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Dalian, China: [s. n.], 2008: 1-4.
- [4] 赵红敏, 王建新, 黄家玮. FRA: 基于帧长和发送速率的信道竞争算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(17): 123-125, 128.
- [5] 费满峰, 易克初. 一种宽带地空通信系统组网方案[J]. 电子学报, 2010, 38(1): 87-91.
- [6] 李长乐, 李建东, 李 波, 等. 有效支持智能天线在无线局域网中应用的新型多址接入协议[J]. 西安电子科技大学学报, 2006, 33(2): 236-240.
- [7] Zhao Li, Herfet T. HLBP: A Hybrid Leader Based Protocol for MAC Layer Multicast Error Control in Wireless LANs[C]//Proc. of IEEE Global Telecommunications Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2008: 5420-5425.
- [8] Zhao Li, Herfet T. Beacon-driven Leader Based Protocol over A GE Channel for MAC[J]. International Journal of Communications, Network and System Sciences, 2008, 1(2): 144-153.

编辑 陆燕菲

(上接第103页)

- [12] 王 双, 禹继国. 无结构 P2P 网络中的混合式搜索方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(7): 109-111.
- [13] Magoni D. Nem: A Software for Network Topology Analysis and Modeling[C]//Proc. of MASCOTS'02. [S. l.]: IEEE Computer

Society, 2002: 364-371.

- [14] Magoni D, Pansiot J J. Internet Topology Modeler Based on Map Sampling[C]//Proc. of the ISCC'02. Taormina, Italy: IEEE Press, 2002: 1021-1027.

编辑 陆燕菲