

一种干扰避免的无线 Mesh 网络信道分配算法

黄书强¹ 付仲良²

(1 暨南大学网络与教育技术中心,广州市黄埔大道西 601 号,510632)

(2 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘 要:针对无线 Mesh 网络信道分配过程中的抖动问题,提出了基于拓扑优化和干扰避免的无线 Mesh 网络信道分配启发式算法。首先利用最大流最小割原理对网络拓扑结构进行简化,获得不影响网络性能而相对简单的拓扑结构,然后根据接口数限制、可用信道数限制以及链路利用率对链路进行信道分配。本文算法可以避免局部信道调整引起的整体抖动问题,提高系统效率和吞吐量。

关键词:无线 Mesh;最大流最小割;干扰避免;冲突域

中图法分类号:TP391; P208

多接口多信道无线 Mesh 网络中,同一节点上采用多个射频接口。无线 Mesh 网络信道分配和路由、网络拓扑等多个因素相关,是一个 NP 难题。目前的信道分配策略按照空间覆盖特性可分为集中式信道分配和分布式信道分配,按照时间变化特性可分为静态信道分配、动态信道分配和混合信道分配。文献[1-2]中提出集中式信道分配路由联合算法,该方法的缺点是没有考虑如何对分配相同信道的冲突链路进行调度。文献[3-5]提出了分布式信道分配路由联合算法,这些方法的缺点是可能会导致路由维护率过高和节点的信道依赖性。文献[6]提出了一种经典的分布式信道分配和路由联合算法,该算法存在的缺点是可操作性和扩展性不强。文献[7-9]分别采用遗传算法和动态规划方法解决信道分配问题,文献[10]提出了一种经典的启发式信道分配算法。本文在借鉴文献[10]的基础上,提出一种降低干扰的集中式动态信道分配方法。

1 问题及变量描述

无线 Mesh 网络拓扑图可以表示为一个无向图 $G=(V,E)$ 。其中, V 是表示无线 Mesh 网络节点集合; E 是无线链路集合。模型变量描述如下:

$k(u)$ 表示无线路由器射频接口数; $|C|$ 表示可用信道数; $d(u,v)$ 表示节点 u 和 v 之间的距离; R_T 表示通信传输半径; R_I 表示干扰半径; $A(u)$ 表示节点 u 分配的信道集合; $N(e)$ 表示链路 e 的潜在冲突域集合; $I(e)$ 表示链路 e 的潜在干扰域集合; $f(e)$ 表示链路 e 上的网络流量; $c(e)$ 表示链路 e 的最大容量。对于任意两个节点 $u,v \in V$,当 $d(u,v) \leq R_T$ 时才能通信,并且可以分配相同的信道。信道分配中如果有任何两个节点在传输范围内,则至少分配一个共同的信道。如果节点 x 和 u 与 v 分配一相同信道,并且 $\min\{d(x,u),d(x,v)\} \leq R_I$,则节点 x 不能传输数据。

对于协议模型,定义 $u \leftrightarrow v \in E, x \leftrightarrow y \in E$ 两个链路作为潜在的干扰链路(即当它们分配同一个信道时,将相互干扰),只要节点 x 或 y 位于以节点 u 和 v 为中心,半径为 R_I 的干扰圆内则可能存在相互干扰,即 $\min\{d(u,x),d(u,y),d(v,x),d(v,y)\} \leq R_I$ 。

由于分配相同信道的链路在冲突域内会相互干扰,当其中某一条链路在传输数据时,其他链路都必须停止传输数据。链路 e_0 每个周期 T 将传输 $Tf(e_0)$ 数据包,这些数据包在链路 e_0 上的传输时间为 $Tf(e_0)/c(e_0)$ 。由于分配相同信道的

收稿日期:2012-12-05。

项目来源:广东省自然科学基金资助项目(S2011040003481);广东高校优秀青年创新人才培养计划资助项目(LYM09029);暨南大学中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(21611522)。

链路在它们的冲突域中传输数据所用的时间总和不能超过 T , 对每个周期 T 都须满足 $f(e)/c(e) + \sum_{e_0 \in I(e)} f(e_0)/c(e_0) \leq 1$, 即确定一个可调度的流量集应该满足的条件。

2 利用最大流最小割进行拓扑结构优化

最大流最小割定理即网络流图中, 源节点 S 到汇节点 T 的网络最大流等于 S 与 T 间最小边割集的容量和。假定层次化 Mesh 结构模型中, 节点 u 和节点 v 之间的链路 $u \leftrightarrow v$ 的链路容量为 $C(u, v)$, u 节点自身产生的流量为 $Q(u)$, 假定节点的容量大于或等于其上行链路容量。本算法把网状网结构转化为树结构, 一方面保持节点流量分配的公平性, 另一方面尽可能不降低网络总的吞吐量, 在转化过程中, 充分利用了最大流最小割原理。

如图 1 所示, 节点 A 为网关, 数字为链路容量, 单位为 Mbps。如果所有节点自身产生的流量相等, 那么对拓扑结构进行简化的过程如下。

1) 从网关节点开始, 逐层剪枝。通过删除一些边, 使每个节点只与一个上层节点相连。

2) 节点 A, B, C, D, F 的转发路径已经确定, 对第二层的节点 E 进行处理, 在 EB 和 EC 中选择一条路径进行数据转发。若通过 EB 转发, 则 B, D, E 每个节点最多分配的带宽是链路 BA 的链路容量除以下层节点数, 即 $54/3 = 18$ Mbps。同理, 若通过 EC 转发, B, C, E 每个节点最多分配的带宽为 $48/3 = 16$ Mbps, 基于最大化用户带宽和吞吐量贪婪思想, 应选择 EB , 删除 EC 。

3) 处理下一层, 对节点 H 和 I 进行路径选择。 EB 已删除, 那么节点 H 的流量必定经过节点 B , 若 I 节点选择链路 IE 进行传输, 节点 B, D, E, G, H, I 最多分配的带宽为 $54/6 = 9$ Mbps。若 I 节点选择链路 IF , 节点 C, F, I, J 最多分配的带宽为 $48/4 = 12$ Mbps, 基于最大化用户带宽和吞吐量思想, 应该选择 IF , 删除 IE 。同理, H 节点路径选择时应选择路径 HE , 删除 HD 。

4) 处理下一层, 需要先处理节点 N , 因为节点 M 和 O 都必须经过 B 和 C , 只有节点 N 有可能选择 B 或者 C 。通过计算最大可能分配带宽, 得知节点 N 应选择 NI , 删除 NH 。同理可得节点 M 应选择 MH , 节点 O 选择 OI 。

对于各个节点流量请求不同的情况, 同样利

用最大流最小割原理, 拓扑结构优化处理过程和上面类似, 链路选择的根据是: $\max(\text{上行最小割容量}/\text{所有服务节点流量需求总和})$ 。简化后的拓扑结构如图 2 所示。

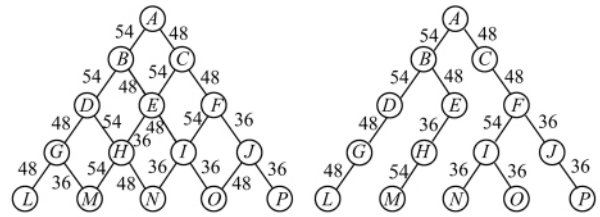


图 1 Mesh 网络拓扑结构示例

Fig. 1 Example of Network Topology

图 2 简化的拓扑结构

Fig. 2 Simplified Network Topology

3 降低干扰的信道分配算法

本文首先利用 AODV (Ad hoc on-demand distance vector routing) 路由算法, 获得一个网络近似最大流集合, 然后采用一种基于降低干扰的启发式信道分配算法。文献[10]提出的方法根据利用率将链路进行分组, 然后将组根据干扰情况进行信道分配。本文针对树形拓扑结构, 提出了直接链路信道分配启发式方法。

多信道无线 Mesh 网络分配策略就是要为每个网络接口分配一个射频信道, 信道分配时候需要满足三个主要的限制条件: ① 分配给每个无线 Mesh 网络节点的信道数目受到节点接口数的限制; ② 两个节点包含一条虚拟链路并且承载网络负载, 则这两个节点至少要分配一个相同的信道; ③ 在干扰域内, 分配相同信道的链路预期负载总和不能超过信道的总容量。

设 $L(e)$ 表示链路 e 绑定的组号。初始链路 e 没有绑定组, 即 $L(e) = 0$ 。给 u 相关联的链路绑定不同的组数不会超过节点 u 的接口数 K , 因此, 可以说节点相关联链路所绑定的组集合是可行的。 $G(u)$ 表示节点 u 相关联链路绑定不同组的集合。把链路带宽利用率表示为 $R(e) = \frac{f(e)}{c(e)} + \sum_{e_0 \in N(e); L(e_0) = L(e)} \frac{f(e_0)}{c(e_0)}$, 即链路 e 在潜在冲突域内所有链路 e_0 的流量 $f(e_0)$, 包含自身和各自链路容量比的总和。

直接信道分配策略依次访问每层链路集合进行信道分配。假设每个节点有 q 个接口, 可用信道数为 m , 则分配信道有三种可能情况: ① 链路 $e(u, v)$ 的两个节点 u 和 v 的相关联链路已经绑定的不同组数都小于 q 。在这种情况下, 分配一个新

的组给链路 $e(u, v)$ 。② 链路 $e(u, v)$ 两个节点中的至少一个节点相关联的链路已经绑定的不同组数等于 q , 在这种情况下, 选择节点 u, v 相关联的链路中最小组链路带宽利用率的组分配给链路 $e(u, v)$ 。③ 从 1 开始分配组号, 若当前分配的组号已为 m , 则需要根据链路干扰情况从 $1-m$ 中选择一个使得干扰量最小的组号进行分配。

输入: 网络拓扑信息以及流量请求信息。

输出: 每条链路的信道分配。

处理步骤如下: ① 根据路由算法获得每条链路的初始流量; ② 网关开始按照层次依次对链路进行处理; ③ 如果链路两个节点 u, v 的网络接口数没有用完, 且链路当前分配组号小于 m , 则将该链路分配给一个新组, 组号加 1; ④ 如果节点 u 或 v 的接口数用完, 则需计算当前分配每个组的链路带宽利用率 $R(e)$; ⑤ 将组中最大链路带宽利用率作为组利用率; ⑥ 将最小组利用率的组分配给链路 $e(u, v)$; ⑦ 如果当前已分配最大组号为 m , 需要为新链路分配组号时, 计算新链路干扰域范围内的各个组的利用率, 最大链路带宽利用率作为组利用率; ⑧ 将每个组中最大链路带宽利用率作为组利用率; ⑨ 将最小组利用率的组分配给链路 $e(u, v)$; ⑩ $1-m$ 个组对应分配可用信道 $1-m$ 。

4 仿真及结果分析

为评估本文算法的性能, 以 NS2 (network simulator version 2) 为工具, 节点间采用 802.11a 协议, CBR (constants bit rate) 为 2 Mb/s, 模拟时间间隔为 180 s, 数据包的大小为 512 K, 每条信道的带宽最大为 54 Mbps。假设链路容量与链路两端的距离有关, 设定 0~30 m 链路容量为 54 Mbps, 30~33 m 为 48 Mbps, 33~37 m 为 36 Mbps, 37~45 m 为 24 Mbps。设定最大传输距离 R_T 为 90 m, 最大干扰距离 R_I 为 180 m。通过随机拓扑结构进行评估, 在 500 m×500 m 方形区域中随机生成 60 个节点并随机选取其中的 20 个节点, 每个节点产生 20 Mbps 的流量需求。

4.1 算法性能对比

在上述拓扑结构下, 本文算法和当前国内外比较典型的集中式信道分配和路由联合算法进行了对比, 其中主要和文献[1-2]中的经典算法进行了对比。图 3 为网关数为 8, 射频接口数分别为 2 和 4 时, 可用信道变化时的实验结果对比。

当可用信道数为 12, 射频接口数分别为 2 和

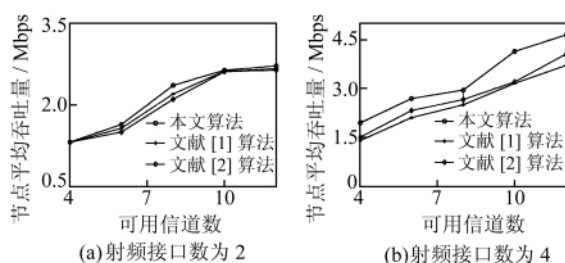


图 3 信道变化时的吞吐量对比

Fig. 3 Throughput Comparison with Different Number of Channels

4 时, 网关变化时候的对比实验结果如图 4 所示。

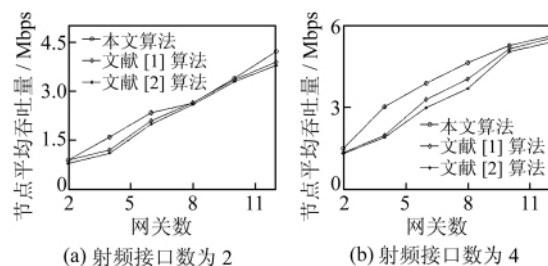


图 4 网关变化时的吞吐量对比

Fig. 4 Throughput Comparison with Different Number of Gateways

实验分析可知, 整个网络吞吐量与可用信道数、网关数、每个节点射频接口数及信道分配算法密切相关。随着可用信道数、网关数以及射频接口数的增加, 吞吐量随之增加, 但是增加到一定程度之后, 对吞吐量影响并不明显。相比文献[1-2], 本文算法可以获得较高的吞吐量, 特别是在网关数和射频接口数较大的时候, 网络吞吐量相比其他算法有较大的提高。而在射频接口数较小时, 算法效果不是非常明显, 究其原因, 主要是由于限制了参与通信的信道数。本文通过拓扑结构优化之后, 参与信道分配的链路数减少, 干扰和冲突减少, 整个系统效率有所提高。

4.2 算法时间复杂度分析

假设无线网状网络有 n 个节点, m 条边。本文利用启发式一次完成算法进行整个信道分配过程, 整个分配策略的时间复杂度为 $O(mn^2)$ 。相比文献[1-2]而言, 本文算法计算量小, 并且可以求得相对较好的解。

参 考 文 献

- [1] Alicherry M, Bhatia R, Li E. Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multi-radio Wireless Mesh Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(11): 1 960-1 971

- [2] Ashish R, Kartik G, Tzicker C. Centralized Channel Assignment and Routing Algorithms for Multi-channel Wireless Mesh Networks[J]. ACM Mobile Computing and Communications Review, 2004, 8(2):50-65
- [3] Tang J, Xue G, Zhang W. Interference Aware Topology Control and QoS Routing in Multi-channel Wireless Mesh Networks [C]. MobiHoc' 2005, USA, 2005
- [4] Wang Xin, Garcia-Luna-Aceves J J. Distributed Joint Channel Assignment, Routing and Scheduling for Wireless Mesh Networks [J]. Computer Communications, 2008,31(7):1 436-1 446
- [5] Ashish R, Tzcker C. Architecture and Algorithms for an IEEE 802. 11 Based Multi-channel Wireless Mesh Network[C]. IEEE INFOCOM 2005, USA, 2005
- [6] Kyasanur P, Vaidya N H. Routing and Interface Assignment in Multi-channel Multi-interface Wireless Networks[C]. IEEE WCNC 2005, USA, 2005
- [7] Leonardo B, Alessio B, Luciano L. A Genetic Approach to Joint Routing and Link Scheduling for Wireless Mesh Networks[J]. Ad Hoc Networks, 2009,7(4): 654-664
- [8] Papadakis K, Friderikos V. Approximate Dynamic Programming for Link Scheduling in Wireless Mesh Networks[J]. Computers and Operations Research, 2008,35(12):3 848-3 859
- [9] Yu Hua, Mohapatra P. Channel Assignment and Link Scheduling in Multi-Radio Multi-Channel Wireless Mesh Networks[J]. Mobile Netw Appl, 2008,13(1-2):169-185
- [10] Avallone S, Akyildiz I F. A Channel Assignment Algorithm for Multi-radio Wireless Mesh Networks [J]. Computer Communications, 2008,31(7):1 343-1 353

第一作者简介:黄书强,博士,研究方向为无线网络。

E-mail:hsq2008@vip.sina.com

A Channel Assignment Algorithm Based on Interference Avoiding in Wireless Mesh Networks

HUANG Shuqiang¹ FU Zhongliang²

(1 Network and Education Technology Center, Jinan University, 601 West Huangpu Road, Guangzhou 510632, China)

(2 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: Channel assignment is a NP hard problem in wireless Mesh networks. To solve the problem, a heuristic channel assignment algorithm based on topology optimizing and interference avoiding is proposed. A network topology optimization algorithm based on maximum-flow minimum-cut is proposed in first to get relatively simple topology. Then each link is assigned a channel under the constraints of interface number of node, available channels and link utilization. Experimental results show that the proposed algorithm can avoid channel allocation chain reaction and can achieve fairly good performance and throughput.

Key words: wireless Mesh networks; max-flow min-cut; interference avoiding; collision domain

About the first author: HUANG Shuqiang, Ph.D, majors in wireless network.

E-mail: hsq2008@vip.sina.com