

增强型的无线 mesh 网络信道分配方法

冯琳函, 钱志鸿, 金冬成

(吉林大学 通信工程学院, 吉林 长春 130012)

摘 要: 为更可靠地实行无线 mesh 网络的资源分配, 将干扰模型引入 mesh 网络的节点流量模型中, 提出改进型的基于流量感知的固定 C-HYA 信道分配方法, 采用一种更贪婪的算法规避波纹效应, 降低网络干扰。之后对算法进行实现仿真, 建立相应网络拓扑结构, 对在 mesh 网络中采用传统算法及改进算法对抗波纹效应及信道干扰的情况进行了对比分析。

关键词: 无线网状网; 信道分配策略; 贪婪算法; 信道干扰; 波纹效应

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2012)10-0044-07

Research on enhanced channel assignment scheme in wireless mesh network

FENG Lin-han, QIAN Zhi-hong, JIN Dong-cheng

(College of Communications Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: To ensure the reliability of the wireless mesh network resource assignment, an interference model to node traffic model of WMN was introduced, and channel assignment strategy based on fixed traffic-awareness C-HYA channel assignment strategy was improved, which a greedier algorithm to avoid ripple effect and reduce network interference was adopted. In addition, the network topology and simulates the algorithm was built. The results of theoretical analysis and simulation show the performance of improved channel assignment strategy compared with traditional algorithm in terms of resisting ripple effect and channel interference.

Key words: wireless mesh network; channel allocation scheme; greedy algorithm; channel interference; ripple effect

1 引言

无线网状网是一项在宽带家庭网络、社区和邻区网络、协调网络管理以及智能传输系统等新兴商业应用中具有良好前景的无线技术。它为服务提供商和终端用户提供了对下一代通信系统的无缝无线宽带接入。与传统网络不同, 无线网状网能够实现动态地自配置、自组织和自愈合, 使其前期成本

更低, 网络维护工作更方便, 网络架构更稳固, 商用覆盖更稳定。此外, 多种高级无线技术(例如多接口、多重接入和智能天线等)也可以用来提高无线网状网的容量。

目前, 正在进行制定的 IEEE 802.11s 标准主要用于规范无线 mesh 网络 MAC 层和物理层行为^[1], 其所定义的 mesh 网络结构如图 1 所示。从图中可以看到, 无线 mesh 网络主要包含 3 类网元: 1) 与

收稿日期: 2011-11-08; 修回日期: 2012-08-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61071073); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20090061110043); 吉林省科技厅攻关基金资助项目(20100301)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61071073); Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (20090061110043); Key Research Project of Science and Technology Department of Jilin Province (20100301)

有线网络相连接的节点叫做 mesh Portal，也可称为 Root 网关节点，其主要负责将无线 mesh 网络接入到有线网络中获取服务；2) 具有 mesh 组网及路由能力的站称为 mesh STA，其自身具有获取及提供服务的能力，同时起到 mesh 组网及路由的功能；3) 而不具备 mesh 组网及路由能力，只享受服务的网元称为终端 STA^[2]。

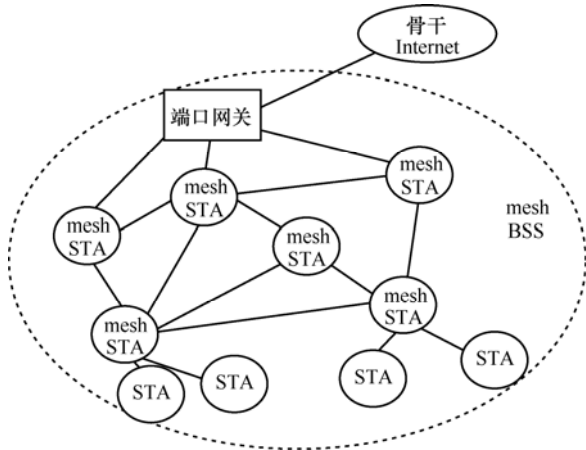


图 1 IEEE 802.11s 无线网状网结构

由于无线网状网采用多跳技术来实现流量融合，多跳传输后的数据流性能会快速下降。而传统无线接入技术由于仅支持单跳传输且必须设置于接近有线网络的位置，无法满足更大范围覆盖的需求^[3-5]。因此，无线网状网研究工作的焦点主要集中于如何降低链路间的竞争和干扰并提升网络容量。本文论述了关于这一难点的一些问题。

无线网状网面临的主要问题是带宽不足。无线信道由广播特性进行表征，当两端间的链路被占用时，覆盖范围内的其他节点将不能进行传输，导致单信道无线网状网的吞吐量较低。宽带应用的用户需求无法得到满足。因此，利用多个正交信道进行数据分组传输将显著提升网络的吞吐量^[6,7]。由此可见，建立网络资源的高效分配机制对于无线网状网的性能提升具有重要意义。无线网状网的资源分配包括 2 方面内容：一是信道分配机制；另外一个则是多信道路由协议。本文主要关注基于 IEEE 802.11s 的无线网状网的信道分配策略。

目前，基于 802.11s mesh 网络信道分配的研究比较开放。文献[8]采用对每个节点分配同样信道集合的方式来进行信道分配，这种方式虽然易于实现且也能保证网络连通性，但是对于复杂网络的适应

性不够；在文献[9]中提出基于负载感知的信道分配策略，但其依附于路由协议联合设计，信道分配前只基于虚链路容量进行评估，考虑相对简单；在文献[10]和文献[11]中提出了一种基于 C-HYA 的准静态信道分配方案，但是该方案没有考虑信道干扰，增加了 mesh 网络自身的竞争性；文献[12]提出了基于干扰冲突的贪婪信道分配策略，但链路评估时没有考虑网络负载，降低了网络性能。

而本文所介绍的信道分配策略包括流量评估和信道分配 2 个阶段，首先引入了用于流量感知计算的 mesh 网络节点流量模型及干扰模型，然后以此为基础提出了改进的信道分配机制，并对新算法进行实现和仿真。实验结果给出了新算法的波纹效应概率以及与一般信道分配机制的干扰性能对比。

2 节点流量模型及干扰模型

由上节可简单知晓网关节点(通常是根节点 Root Portal)是无线网状网中 STA 访问有线网络的必经节点，通常 STA 通过建立到达 Root Portal 的路径来对有线网络进行访问，因此流量需经过所有选择路径上的节点，这就决定了处于不同位置的中间 STA 节点的负载不同，离 Root Portal 越近，该 STA 就需要为越多节点转发数据分组，其上的流量负载也就越大。除了 STA 负载流量外，STA 在信道分配时还受干扰程度的影响，无线传输的性质决定了 STA 受其通信范围内所有其他 STA 的影响。

2.1 节点流量模型

Mesh 网络的多跳性决定了中继 STA 需要为其他 STA 进行负载流量的转发，若假设流量总是从最外节点流向网关节点，则每一个中继 STA 的流量由 2 部分组成，一部分来源于其外层 STA 的流量，另一部分为其自身通信服务范围内 mesh 终端所发送的数据流量，则第 n 层的流量负载 $T(n)$ 可表示为

$$T(n) = \sum_i R(n, i) + T(n+1) \quad (1)$$

其中， $T(n+1)$ 表示第 $n+1$ 层的总流量， $R(n, i)$ 表示第 n 层，第 i 个服务 mesh 终端所产生的流量。特殊地，若 $n=0$ ，则表示该层只有网关 Root Portal 节点，只负责承载外层流量，即 $T(0)=T(1)$ ；若 $n=N$ ，则表示该层为最外层，其流量只由被服务

的 mesh 终端产生, 即 $T(N) = \sum_i R(N, i)$ 。

所有第 n 层节点均为第 $n+1$ 层节点提供负载中转服务, 同时也是本层所有 mesh 终端的服务节点, 则整个第 n 层就可以被看成是一个排队系统, 而 mesh 网络也可以被看成是由若干个独立排队系统的组合。

假设 mesh 终端产生的流量会被中继 STA 全部转发, 网关 Root 节点具备无限的处理能力, 同时每层 STA 数据的到达速率 λ 及其对数据分组的处理速率 μ 服从独立的 Poisson 分布。则由于需承载外层的负载流量, 中继 STA 的处理能力可能无法满足业务量的输入需求, 因此第 n 层节点组成的排队系统具有有限的缓存容量 $C(n)$, 若第 n 层有 $M(n)$ 个节点, 则该层的排队系统可以表示为 $M/M/M(n)/C(n)$ 。特殊地, 若 $n=0$, 则网关系统所在层的系统根据前面假设可以表示为 $M/M/1/\infty$; 若 $n=N$, 则最外层的排队系统根据假设可以表示为 $M/M/M(N)/\infty$ 。对于第 n 层的排队系统, 其稳定状态下, 第 k 个数据分组的到达概率如式(2)所示。

$$P(n, k) = \begin{cases} \frac{((\lambda/\mu)\sum_{i=n}^N M(i))^k p_0(n)}{k!}, & 0 \leq k \leq M(n) \\ \frac{((\lambda/\mu)\sum_{i=n}^N M(i))^k p_0(n)}{M(n)!}, & M(n) < k \leq C(n) \end{cases} \quad (2)$$

其中, $p_0(n)$ 的计算式表示为

$$p_0(n) = \left(\sum_{k=0}^{M(n)} \frac{((\lambda/\mu)\sum_{i=n}^N M(i))^k}{k!} + \frac{((\lambda/\mu)\sum_{i=n}^N M(i))^{M(n)+1}}{M(n)!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{(\lambda/\mu)\sum_{i=n}^N M(i)}{M(n)}\right)^{C(n)-M(n)}}{M(n) - (\lambda/\mu)\sum_{i=n}^N M(i)} \right)^{-1} \quad (3)$$

特殊地, 对于 $n=0$ 的情况, 即 Root Portal 网关节点所在的 $M/M/1/\infty$ 系统, 其数据分组到达概率为

$$P(0, k) = ((\lambda/\mu)\sum_{i=0}^N M(i))^k p_0(0) \quad (4)$$

$$p_0(0) = 1 - (\lambda/\mu)\sum_{i=0}^N M(i) \quad (5)$$

对于 $n=N$ 时的最外层 $M/M/M(N)/\infty$ 系统, 其数据分组的到达概率为

$$P(N, k) = \begin{cases} \frac{((\lambda/\mu)M(N))^k p_0(N)}{k!}, & 0 \leq k < M(N) \\ \frac{((\lambda/\mu)M(N))^k p_0(N)}{M(N)!(M(N))^{k-1}}, & k \geq M(N) \end{cases} \quad (6)$$

$$p_0(N) = \left(\sum_{k=0}^{M(N)-1} \frac{((\lambda/\mu)M(N))^k}{k!} + \frac{((\lambda/\mu)M(N))^{M(N)}}{M(N)!(1-\lambda/\mu)} \right)^{-1} \quad (7)$$

由于第 n 层排队系统为损失制系统 $M/M/M(n)/C(n)$, 则意味着并不是所有到达该层的流量负载都会被转发第 $n-1$ 层, 根据之前的公式, 可以计算第 n 层中继 STA 上的有效到达率为

$$\lambda_{\text{eff}}(n) = (M(n)\lambda + \lambda_{\text{eff}}(n+1))(1 - P_{\text{dis}}(n)) \quad (8)$$

其中, $P_{\text{dis}}(n)$ 为第 n 层系统的平均分组丢失率, 具体计算如式(9)所示。

$$P_{\text{dis}}(n) = \frac{M(n)^{M(n)}(\lambda/\mu)^{C(n)}}{M(n)!} p_0(n), \quad 0 < n < N \quad (9)$$

当 $n=0$ 时, 由于 Root Portal STA 不承载 mesh 终端的流量, 同时自身具有无限缓存能力, 则其有效输出为

$$\lambda_{\text{eff}}(0) = \lambda_{\text{eff}}(1) = (M(1)\lambda + \lambda_{\text{eff}}(2))(1 - P_{\text{dis}}(1)) \quad (10)$$

而当 $n=N$ 时, 由于最外层的 STA 不需转发其他层 STA 的负载, 同时对 mesh 终端产生的流量具有完全处理能力, 则其有效输出为

$$\lambda_{\text{eff}}(N) = \lambda M(N) \quad (11)$$

2.2 干扰模型

干扰模型可以用来分析某特定信道的干扰, 参考文献[6]和文献[13], 首先定义节点的干扰 $Intf(m)$ 为

$$Intf(m) = B - \frac{L\mu(m)}{128512} \quad (12)$$

其中, B 为使用同一信道的带宽, 单位为 Mbit/s; L 为数据分组的长度, 单位为 byte。然而在实际应用中, 以节点干扰作为感知度量通常对于多射频接口并不易实现, 因此常以节点流量干扰模型计算链路的情况, 再以链路为感知参量计算节点优先级, 之后再行信道分配。如图 2 所示的网络中, 总共有 5 条链路使用信道 3, 然而对于链路 A-B 而言, 其干扰域内的相同链路为 4 条 (包括 A-B 自身)。为了方便实现, 将链路的干扰度定义为

$$I(i) = \sum_{j \in Intf(i) \text{ 且 } j \neq i} T(j) \quad (13)$$

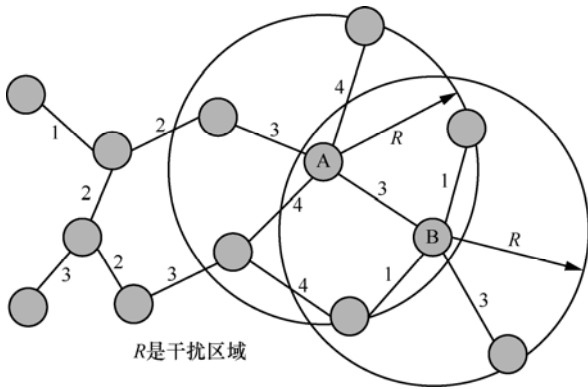


图 2 信道干扰示意

3 增强型信道分配策略

由上面的描述可知，流量及干扰模型可以有效地对信道情况进行评估，下面讨论如何根据这些评估结果来对信道进行分配的方式。对于已关联的一对 mesh STA 来说，它们需要通过一条共享信道来建立逻辑的通信链路。换言之，mesh STA 可以通过减少与自己共享公共信道的邻居 STA 来降低干扰。因此，信道分配的目的其实就是要在保证网络连接性的同时降低干扰到可接受的范围。目前，无线 mesh 网络中的 mesh STA 设备具备支持多信道多接口的能力，这使得端到端分组传输的时延及带宽得到很好的性能表现，在这种情况下，通常采用固定信道分配的方式，这是因为同动态和混合方式^[14,15]相比，固定方式更加容易实现。

固定信道分配是指通过预先策略分配信道给相关射频接口，直到算法被下次激活时该信道都不会改变的方式。固定信道分配算法目前的研究工作开展得比较广泛深入，大部分固定信道分配策略都会采用贪婪算法。贪婪算法可以保证不需要有过多的开销来进行信道协调，并不需要对 MAC 层做出太多修正，但同其他分配策略相比其缺乏灵活性。C-HYA 结构及其算法是目前采用比较多的一种固定分配策略，作为分布式信道分配方法，其只需利用本地拓扑结构和本地业务负载流量信息来实现信道分配和路由计算^[16]。但不可避免地，C-HYA 结构算法会面临“波纹效应”的问题，即在信道分配过程中会进行迭代运算，为了达到更优的效果，已分配好的链路可能会受到后面分配链路的影响而重新分配，从而导致该方法的时间复杂度增加。如图 3(a)所示，在节点 a 和节点 b 没有任何信道来保证连接性，此时会分配信道 1, 4, 3, 8 中的一个给此链路，但是无论使用哪个信道，都会对其他

已经被访问节点的信道分配造成影响，如图 3(b)所示，就像水中的“波纹”一样。

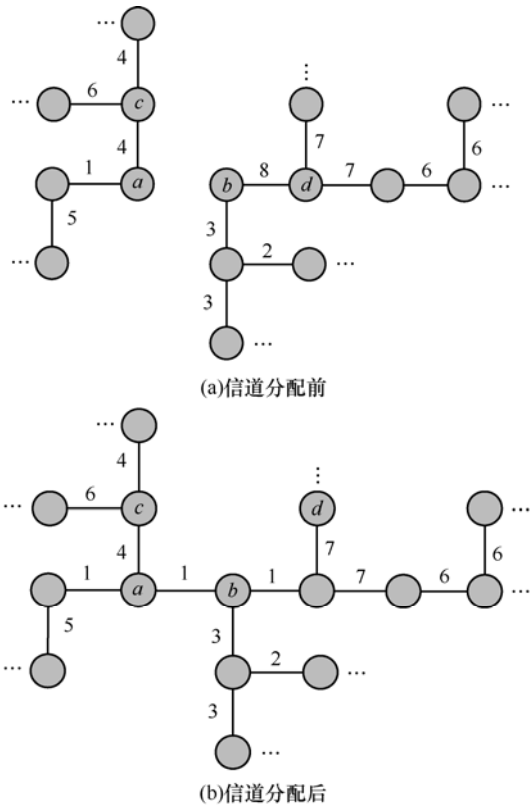


图 3 波纹效应示意

本文提出的增强型算法可以有效降低波纹效应的影响，这是因为该分配策略采用了更加“贪婪”的方式，使 STA 在一次队列中进行等待，强制每一个 STA 只被访问一次。通过该方法，避免了原方法中由于迭代运算造成的已分配信道结果的更改，因而波纹效应问题更多的是受设备能力和无线网络信道资源的影响，而不是机制本身。

不仅如此，该增强型策略对于队列的处理也采用贪婪方式。首先，对节点的优先级进行判断，判断依据如下。1) 跳数开销。跳数依据是指 mesh STA 和网关节点之间的最小跳数，其可以决定快速收敛的能力，该信息可从路由表信息中获取，mesh 网络中路由协议具备统计跳数的能力；2) 射频端口，用以决定其的网络容量支持能力，接口越多，优先级越低；3) 链路负载，当前链路负载越高，越需要被先访问，节点优先级越高^[17]。因此节点的优先级可以由式(4)求出：

$$Node(i).Priority = \frac{\sum Link(j).LinkLoad}{Node.HopsCount * NumOfRadio} \quad (14)$$

其中, $Link(j)$ 属于 $Node(i)$ 。

之后访问各 STA, 开始实施第 2 层次的贪婪算法, 根据邻对节点未被分配的射频接口数量, 分为 3 种情况: 1) 2 个 mesh STA 都不含有未分配的射频接口; 2) 只有其中一个 mesh STA 含有未分配的射频接口; 3) 2 个 mesh STA 都含有未被分配的射频接口。通常, 一般算法会根据流量模型, 将负载最少的信道分配给射频接口, 但是对于干扰情况没有加以完善的考虑, 而实际上可以根据干扰模型, 有效利用信道复用的原理。基于这点, 对于第 3 种情况, 首先让其优先考虑干扰域外的信道, 无论该信道资源是否总和负载量较大, 充分复用信道, 之后再考虑干扰域内的最小负载信道。其相关信息可以从第 $n+1$ 跳的邻居节点获得, 其中, n 为干扰距离和通信距离的比值, 通常该值介于 2~3 之间^[18]。其实现的伪码如图 4 所示。

```

增强型信道分配策略

输入: mesh 节点集  $N$ , mesh 节点流量  $T_n$ , 节点射频端口配置  $W_n$ , 共用信道集  $C_n$ 
输出: 各链路信道配置  $R_n$ 

While true
  NodePriority = CofigPriority( $N, T_n, W_n$ );
  STAStatus = VisitmeshSTA(NodePriority,  $N, C_n$ );
  While true
    If IsChannelWaitedAllocation( STAStatus,  $C_n$ ) = true
      HighLoadPairSTA = AdjacentHeaviestLoadSTA( STAStatus);
    Else If IsBothSTAUnassignedRadio(HighLoadPairSTA,  $W_n$ ) = true
      If ChannelOutInterfaceRange(STAStatus,  $C_n$ ) ≠ null
        ChannelOutInterfaceRangeAllocate( $C_n, STAStatus, N$ );
      Else
        LowestTrafficChannelWithinInterfaceRangeAllocate( $C_n, STAStatus, HighLoadPairSTA$ );
      End//If
    End//If
  Else If IsOneSTAUnassignedRadio(STAStatus,  $W_n$ ) = true
    LowestTrafficChannelUnassignedRadioAllocate( $C_n, STAStatus, HighLoadPairSTA$ );
  Else
    LowestTrafficCommonChannelAllocate( $C_n, STAStatus, HighLoadPairSTA$ );
  End//If
  Else break;
  End//If
   $R_n$  = ChannelAllocationResult(STAStatus)
  
```

图 4 增强型信道分配策略实现伪代码

4 仿真结果分析

4.1 仿真网络拓扑模型

本节将从波纹效应及信道干扰情况对信道分配算法进行结果分析。首先, 这里采取 5×5 的方形格网化模型, 如图 5 所示, 其中, 第 13 节点为 Root 节点, 负责与有线网络进行连通, 其余节点为普通 mesh STA, 除网关节点外, 其余节点随机承载 mesh 客户端的流量, 同时每一个 STA 配置 2 个或 3 个射频接口, 复用的总正交信道数采用 3 条或者 12 条^[19,20]以作对比分析。

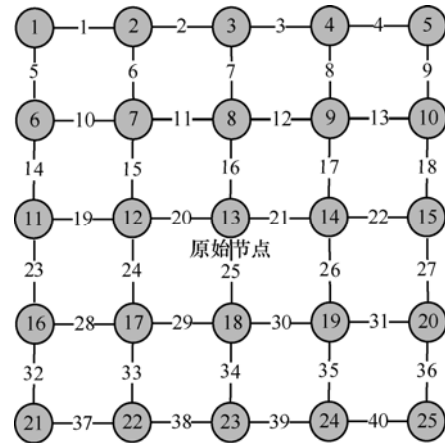


图 5 仿真网络拓扑

4.2 波纹效应

首先, 看一下采用该信道分配算法下波纹效应的影响, 在这里根据 mesh STA 射频接口和无线信道的数量分成 4 种情况讨论。对仿真网络进行多次运行观察, 一旦发生某链路没有信道保证链接时, 则统计波纹效应发生次数, 该次数与运行次数取比值后的波纹效应发生概率结果如表 1 所示。

波纹效应发生概率	3 个无线信道	12 个无线信道
2 个射频端口	9%	35%
3 个射频端口	0	0

从表中可以看到, 对于每个 mesh STA 有 2 个射频接口的情况, 在有 3 个无线信道可被分配时, 该发生概率近似为 9%, 此时波纹效应的影响并不明显。但是对于当存在 12 个无线信道可分配时, 波纹效应相当明显, 发生概率达到 35%。在同样射频接口资源情况下, 造成该大幅增长的原因就是当非重叠的无线信道资源增长时, 已被优先分配信道

的离散性会增强，当需要分配公共信道时，波纹效应就会增加。而对每个 mesh STA 有 3 个射频接口时，在 2 种信道数量条件下，其都不受波纹效应的影响，这说明充分的射频接口物理资源可以有效对抗该效应，并且比信道资源的影响要重要。同时由于新的算法只允许每个 STA 进行一次访问，在信道分配后链路吞吐性能上会有所下降，但实际仿真发现与原算法差距并不大。图 6 显示了采用该算法下 3 个射频接口 12 个信道情况下与非贪婪机制下每条链路的有效吞吐量对比，从图中可以发现，由于新算法能获得链路干扰上的大幅改进（见 4.3 节的分析），因此从有效吞吐量^[21]上看其可以得到相应提升。

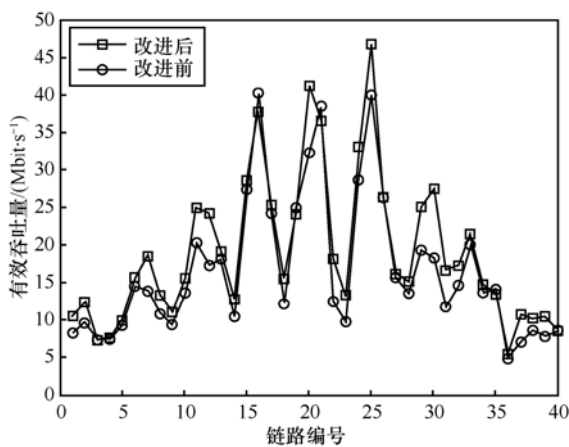


图 6 有效吞吐量对比

一旦发生波纹效应，简单的解决办法就是利用

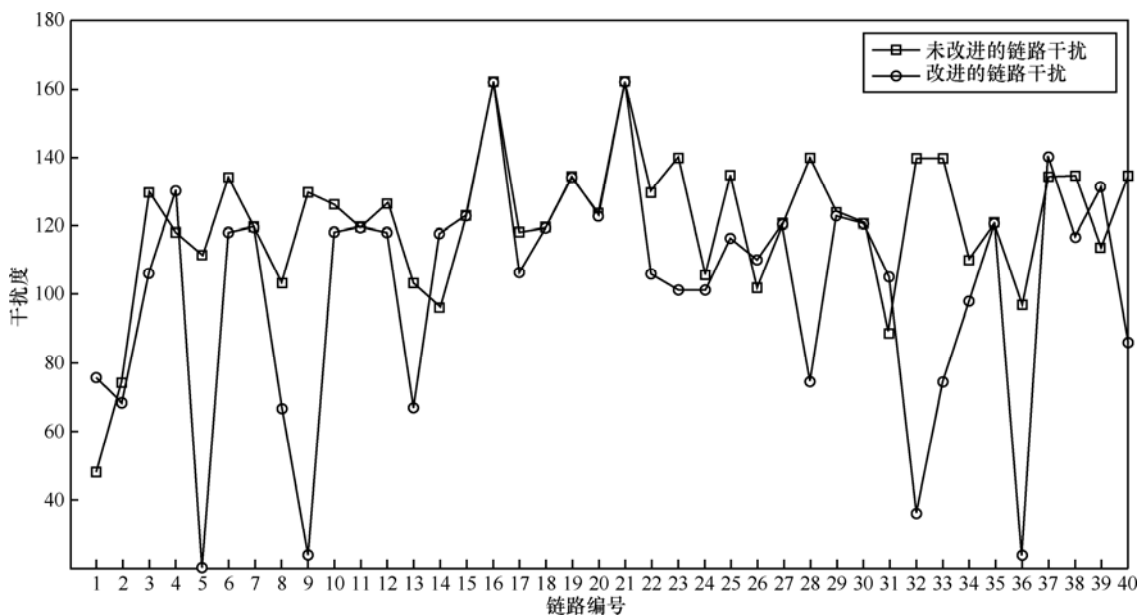


图 7 链路干扰对比

系统随机时变性，增加信道重分配的响应速度。文献[18]提出了一种通过公共信道配置默认协商保证机制的方法。但总而言之，在有充分射频资源时，增强型算法产生的波纹效应并不明显且可抗。

4.3 干扰抵抗

图 7 表示了采用增强型信道分配算法时链路的干扰情况，采用式(13)来统计链路干扰度，纵轴表示干扰度 (Mbit/s)，横轴表示链路编号。从图中可以看到，该网络拓扑与一般算法相比，82.5%的链路具有改进的效果，平均每一条链路的干扰影响降低了将近 17.55%，系统总干扰影响降低了 14.62%。这说明该增强算法对于干扰抵抗具备有效性，达到了预期的目标。

5 结束语

本文从保证无线连接性和降低信道干扰之间取得平衡的角度出发，对 IEEE 802.11s 网络的信道分配策略进行研究，提出了改进方法，并进行了仿真实验，通过实验验证了新的算法在抵抗波纹效应和同信道干扰上较改进前都有了很大提高。未来的研究工作将在此基础上继续从以下 3 方面展开：随着网络设备终端的发展，更多关注动态信道分配算法及混合信道分配算法的性能改进；随着物理层技术的不断发展和标准化进程的完善，应更大程度从用户的感知角度出发考虑算法性能；同时在本文中，由于做了跨层优化的假设，因此需要进一步的工作来进行验证。

参考文献:

- [1] IEEE P802.11s™/D5.0. Draft STANDARD for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange Between Systems—Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—part 11:Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications—Amendment 10:mesh Networking[S]. 2010.
- [2] HOSSAIN E, LEUNG K. Wireless mesh Network Architectures and Protocols[M]. Springer Science Business Media, LLC, 2008.
- [3] FOWLER T. Mesh networks for broadband access[J]. IEEE Review, 2001, 47(1):17-22.
- [4] OYMAN Ö. End-to-end throughput and latency measures for multi-hop routing in relay-assisted broadband cellular OFDM systems[A]. Proc IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers[C]. Long Beach, CA, United States, 2007.51-54.
- [5] OYMAN Ö. Reliability bounds for delay-constrained multi-hop networks[A]. Proc Allerton Conference on Communication, Control and Computing[C]. Monticello, IL, USA, 2006.
- [6] JAIN K. Impact of interference on multi-hop wireless network performance[A]. Proc ACM Mobicom[C]. California, USA, 2003. 66-80.
- [7] XU S, SAFADAWI T. Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multi-hop wireless ad hoc networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(6): 130-137.
- [8] DRAVES R, PADHYE J, ZILL B. Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh network[A]. Proceedings of ACM 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'04)[C]. Pennsylvania, USA, 2004. 114-128.
- [9] RANIWALA A, GOPALAN K, CHIUEH T. Centralized channel assignment and routing algorithms for multi-channel wireless mesh networks[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Reviews, 2004, 8(2):50-65.
- [10] REN J, QIU Z D. Centralized quasi-static channel assignment in multi-radio wireless mesh networks[A]. ICCS'08:Proceedings of the IEEE International Conference on Communications Systems[C]. Guangzhou, China, 2008.1149-1154.
- [11] REN J, QIU Z D. Centralized quasi-static channel assignment for multi-radio wireless mesh networks[J]. Wireless Sensor Network, 2009, 1(2):104-111.
- [12] SUBRAMANIAN A P, GUPTA H, DAS S R. Minimum-interference channel assignment in multi-radio wireless mesh networks[A]. Proceedings of 4th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON'07)[C]. California, USA, 2007. 481-490.
- [13] FENG Y X. On Dynamic Channel Assignment in Multi-Interface Wireless mesh Network[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2008.
- [14] BAHL P, CHANDRA R, DUNAGAN J. SSCH:slotted seeded channel hopping for capacity improvement in IEEE 802.11 ad-hoc wireless networks[A]. Proceedings of ACM 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'04)[C]. Pennsylvania, USA, 2004.216-230.
- [15] SO J M, VAIDYA N H. Multi-channel MAC for ad-hoc networks:handling multi-channel hidden terminals using a single transceiver[A]. Proceedings of the ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)[C]. Tokyo, Japan, 2004.216-230.
- [16] SKALLI H, GHOSH S, DAS S K, *et al.* Channel assignment strategies for multi-radio wireless mesh networks:issues and solutions[J]. IEEE Communications Magazine, Special Issue on “Wireless mesh Networks”, 2007, 45(11):86-95.
- [17] SKALLI H, GHOSH S, DAS S K, *et al.* Traffic and Interference Aware Channel Assignment for Multi radio Wireless Mesh Networks[R]. Technical Report IMT Lucca, 2006.
- [18] RANIWALA A, CHIUEH T. Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network[J]. IEEE Infocom, 2005,3: 2223-2234.
- [19] IEEE Std 802.11-1999, Part 11:Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Reference number ISO/IEC 8802-11:1999(E)[S]. 1999.
- [20] IEEE Std 802.11b, Supplement to Part 11:Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band[S]. 1999.
- [21] QIAO D J, CHOI S, SHIN K G. Goodput analysis and link adaptation for IEEE 802.11a wireless LANs[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2002, 1(4):278-292.

作者简介:



冯琳函 (1981-), 女, 吉林长春人, 吉林大学博士生, 主要研究方向为无线网络及无线通信系统。



钱志鸿 (1957-), 男, 吉林长春人, 吉林大学教授、博士生导师, 主要研究方向为无线网络通信系统的信号分析和处理。



金冬成 (1979-), 男, 湖南邵阳人, 吉林大学博士生, 主要研究方向为无线网络和无线通信系统。