

基于连接低干扰的无线Mesh网络信道分配算法研究

张伟昆^{1,2}, 黄 炜², 张大伟¹

(1. 91872部队 北京 102442; 2. 桂林电子科技大学电子工程与自动化学院 桂林 541004)

【摘要】为合理地分配和利用无线信道资源, 研究者们提出了许多关于多射频多信道无线Mesh网络的信道分配算法。该文针对无线Mesh网络的信道分配算法, 以连接低干扰信道分配算法(CLICA)为基础, 以提高网络容量(吞吐量)为目标提出了一种改进算法。该算法根据网络中各链路的干扰度来计算网络干扰度, 通过减小网络的干扰度来提高网络吞吐量, 以实现最小化网络干扰度的目标。构建信道分配的数学优化模型, 通过NS2仿真验证比较改进前后算法的性能, 求解出最优的信道分配。

关键词 信道分配; CLICA算法; 网络模型; 无线Mesh网络

中图分类号 TN92

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2014.06.004

A Study Of Wireless Mesh Networks Based on Connected Low Interference Channel Assignment Algorithm

ZHANG Wei-kun^{1,2}, HUANG Wei², and ZHANG Da-wei¹

(1. PLA91872 Beijing 102442; 2. School of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology Guilin 541004)

Abstract In order to rationally assign and utilize wireless channel resources, various multi-radio and multi-channel channel assignment algorithms for wireless Mesh network have been proposed. In this paper, an improved algorithm based on connected low interference channel assignment (CLICA) is presented to improve network capacity (throughput). The interference measure of each unit in the network is calculated based on the level of interference of each link in the network. The throughput of the network is improved by reducing the network interference level. The optimal channel assignment can be achieved by using mathematical optimization model of the channel assignment.

Key words channel assignment; CLICA algorithm; network model; wireless Mesh network

近年来, 无线Mesh网络(wireless mesh network, WMN)以其特有的优势引起了人们的广泛关注^[1]。传统的无线接入技术主要采用点到点或者点到多点的拓扑结构。而无线Mesh网络采用网状Mesh拓扑结构, 是一种多点到多点的网络拓扑结构^[2]。

在实际的无线Mesh网络中, 射频端的数量远比有效信道的数量多, 各个路由器之间有很多的链路工作在相同信道上。这些信道上不同传输过程间的干扰会严重影响信道的利用率。如何充分利用有效信道、降低传输过程中的干扰就是信道分配问题^[3]。信道分配的最优化问题是一个NP-complete问题, 目前, 对于多信道无线Mesh网络的信道分配问题还没有完全有效的算法。文献[4]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也能保证网络连通性, 但不适用于复杂网

络; 文献[5]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。文献[6-7]提出了一种基于C-HYA的准静态信道分配方案, 增加了Mesh网络自身的竞争性, 但是该方案没有考虑信道干扰。为了得到高效率、灵活的拓扑计算公式, 并充分利用各个Mesh路由器的静态特性来更新信道分配方案, 以便于协作。文献[8-9]提出了一种CLICA算法, 但选择搜索路径时没有考虑链路中的干扰情况, 搜索具有随机性, 同时分配信道后没有考虑链路网络负载, 降低了网络性能。

针对无线Mesh网络中由于信号传播的开放性而引起的信道干扰问题, 本文设计了一个基于低连接的干扰信道分配的改进算法, 改进了CLICA算法的不稳定性及信道利用不平均的缺点。

收稿日期: 2013-12-30; 修回日期: 2014-09-09

基金项目: 国防预研基金

作者简介: 张伟昆(1964-), 男, 高级工程师, 主要从事仪器与科学技术及信息通信工程方面的研究。

1 信道分配模型

1.1 网络模型^[10]

无线Mesh网络模型可用拓扑图 $G = \langle V, E \rangle$ 表示, 其中 V 表示无线Mesh路由器的集合; E 表示Mesh路由器间无线链路的集合。在各自通信范围内的任意两节点间都存在一条链路。若两节点接口使用相同的信道, 则它们之间存在公共信道, 可互相通信。用 $e = \langle v, u \rangle$ 来表示 v, u 两个节点之间的链路。

设网络中有 K 个可用无重叠的信道, 每个节点 V_i 有 R_i 个射频接口, $1 \leq R_i \leq K$ 。

每个节点都可使用多个信道, 可在不同的信道上和多个邻居同时进行通信, 邻居节点间的不同链路可使用不同的信道。多接口Mesh网络示意图如图1所示, 网络共有7个节点, 每个节点有两个接口, 网络可用的信道数目是3个。以节点D为例, D和B及D和F间的链路使用信道2, D和A及D和G之间的链路使用信道3, 即D可同时和A、B或同时和F、G通信。

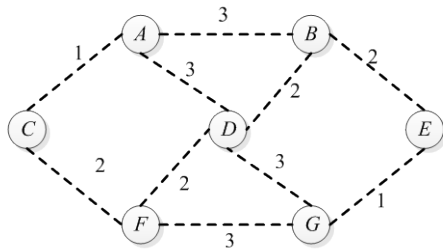


图1 多接口Mesh网络示意图

1.2 干扰模型

本文使用协议模型(protocol model)来判断两条链路是否冲突。在协议模型中, 将节点间的干扰问题看成一个0/1的二进制事件。为每个节点设定一个干扰域, 位于该范围内的发送节点将干扰该节点从其他节点接收信息。根据该模型, 若链路 e_i 的一端节点和链路 e_j 的一端节点相邻, 则这两条链路可能互相冲突, 称为潜在冲突链路或潜在干扰链路。潜在冲突链路只有在相同的信道时才会真正冲突, 即相互之间存在干扰。

网络链路冲突示意图如图2所示, 网络共有 e_1, e_2, \dots, e_{10} 10条链路, 从 c_1, c_2, c_3 中为每条链路分配一个信道。节点C、F是节点B的相邻节点, 节点E是节点A的相邻节点, 因此与节点C、F、E相关的链路(链路 $e_2, e_3 \dots e_9$)和节点A、B间的链路(链路 e_1)存在潜在冲突。为这些链路分配信道后, 只有链路 e_6 和 e_8 采用的信道和链路 e_1 相同, 因此只有这两条链路才和链路 e_1 冲突。

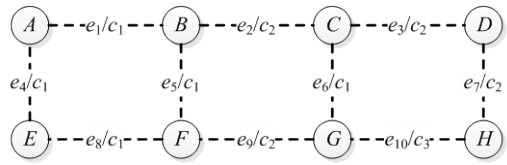


图2 网络链路冲突示意图

2 基于拓扑控制算法CLICA的信道分配

2.1 信道分配基本策略

信道分配遵循的基本思想: 若链路的两端节点还有未被分配信道的接口, 可从可用信道中选取一条信道分配给该链路; 若其中一个节点上的每个射频接口都已被分配了信道即没有空余的射频接口, 那么该链路只能使用被分配的信道; 若两节点上的所有接口都已被分配了信道, 那么链路只能使用这两个节点的公共信道^[3]。

2.2 CLICA算法

CLICA算法分两个阶段进行: 1) CLICA算法对每个节点都有一个优先项, 通过深度优先搜索的方式来决定, 分配决策以每个节点的优先顺序为基础。对于任意节点 i , 给所有与该节点相关的链路分配信道。CLICA通过一个贪婪启发式算法为链路选取信道。若两相关节点的链路至少有一个共同的通道, 则将该通道分配给这个链接; 否则从可用信道中选择一个最优信道分配给链接以及相关节点的射频接口。算法在执行时, 会重新设置节点的优先级, 甚至可能设为最高优先, 以防止节点在没有剩余的空闲射频接口后缺乏灵活性, 通过提高优先级先访问该节点并为其链路分配信道。第一阶段结束后, 仍可能剩下未分配的射频口。2) CLICA按照一般信道分配算法为这些闲置射频分配信道。

简单CLICA示意图如图3所示, 设网络有 a, b, c, d 共4个节点, 其中节点 a 和 d 有两个射频口, 节点 b 和 c 各只有一个射频接口, 网络中有 c_1 和 c_2 两条可用信道。假设初始优先顺序为 a, d, c, b 。CLICA首先为 a 及其相关链路分配信道。假设选择信道 c_1 分配给链路 $\langle a, b \rangle$, 但节点 b 没有空余接口而失去选择其他连接信道的灵活性。此时, CLICA添加节点 b 的优先级为最高。然后开始递推在节点 b 上的信道分配, 同时保留链接 a 和 b 的信道分配, 这会导致链路 $\langle b, c \rangle$ 重复使用信道 c_1 。在节点 c 上重复与上述相同的步骤(优先级增加递推), 导致链路 $\langle c, d \rangle$ 重复使用 c_1 , 反而又增加了 d 的优先级。因为节点 d 已和节点 a 有一个共同信道 c_1 , 但节点 a, d 都还有可用射频接口, 所以

链路 (a,d) 使用分配信道 c_2 , 此时CLICA结束递推。

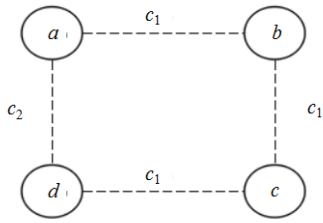


图3 简单CLICA示意图

CLICA每个链路只经历一次, 且信道一旦分配给链路就不会被更改。值得注意的是, CLICA是一种自然递归, 并服从最小灵活节点链来保持网络的连接性, 但网络中节点间的连接灵活性很差。

3 基于CLICA的改进

3.1 算法CLICA的缺点

CLICA算法为每个节点分配的优先级顺序是按照对网络拓扑图进行深度优先搜索的顺序。搜索是人工智能中的一种基本方法, 也是一项非常普遍的算法策略。搜索具有很强的随机性, 每一次搜索的起始点和选择深入的路径都不相同, 导致CLICA算法对同一网络分配信道后出现不同干扰度的结果, 使得一些分配方案未必是最优化方案。

本文使用另外的方案为节点分配优先级。根据节点在网络拓扑图中的“潜在干扰度”来分配优先级。将“潜在干扰度”定义为节点 v 上所有链路的潜在干扰度之和。用数学语言可描述为:

$$\varphi = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L (S_{vi} I_{ij}) \quad \forall 1 \leq v \leq N, 1 \leq i, j \leq L \quad (1)$$

式中, v 表示节点序号; i, j 表示链路序号; S 表示节点 v 与链路 i 的关系(用1表示节点与链路之间相连, 0表示无关); I 表示“潜在链路干扰”(1表示链路 i, j 间有潜在干扰, 0表示没有)。这样使得网络中潜在干扰度大的节点能优先分配信道, 避免这些节点在分配过程中失去灵活性、被动分配信道, 减小小节点周围链路的干扰度, 从而达到增加网络吞吐量的目的。

另外, CLICA具有一定的局限性, 阶段2)中, CLICA根据一般算法给闲置射频分配信道, 但一般算法并不能保证信道是否网络干扰度最小。对CLICA阶段2)算法进行改进来减少网络中的干扰度。假设改进型算法按链路负载的递减顺序重新访问所有链路, 且检查信道再分配的灵活性, 根据节点是否有空余判断能否将已分配信道与使用最小信道替换。若可行, 为负载较大并存在剩余接口的节

点间的链路重新分配一个使用最少的信道, 实现提高网络吞吐量的目的。

3.2 改进后CLICA的伪代码

在伪代码中, 变量 $CAN(v, c)$ 为1时表示信道 c 分配给了节点 v , 为0时则未分配。变量 $CAE(j, c)$ 为1时表示信道 c 分配给了链路 j , 为0时则未分配。变量 $RadioAvailable(v)$ 表示节点 v 的可用射频数, S 表示节点 v 与链路 i 的关系, I 表示“潜在链路干扰”, I' 表示“实际链路冲突”。

计算“潜在干扰度”, 为节点分配优先级重新访问链路, 并为其重新分配信道的伪代码如下:

ALGORITHM ECLICA-Procedure Nodepriority

Procedure Nodepriority(v, S, I)

for every node v in G

for ($i=1; i \leq L; i++$) {

for ($j=1; j \leq L; j++$) {

sum = sum + $S_{vi} I_{ij}$ }

φ_v = sum

Assign a priority to each node in G based on the decreasing order of φ_v .

End

ALGORITHM ECLICA-Procedure pruneECA

Procedure pruneECA($G, AvalRadios, CAN, CAE$)

$G_s \leftarrow$ SortDecreasingLoad(G)

for all link $e \in G_s$ do

$(u, v) \leftarrow$ incidentNodes(e)

$c \leftarrow$ ChannelAssignedLink(e)

$c' \leftarrow$ LeastUsedChannel(e)

if ($c \neq c'$)

then

if (isChannelSwitchable(e, c, c')=1)

then ChannelSwitch(e, c, c')

update conflict graph

End pruneECA()

程序pruneECA()对所有链路按负荷递减顺序进行分类和访问。每个链路被重新访问并基于可用射频接口来确认是否已分配信道, 并重新分配被最少使用的信道。ChannleSwichable()确认相关节点是否有空闲的射频接口, 同时重新分配一个最少使用信道。若信道可交换, ChannelSwitch()执行重分配信道 c 给链路 e , 并更新相关节点的射频接口。

3.3 基于NS2的算法仿真

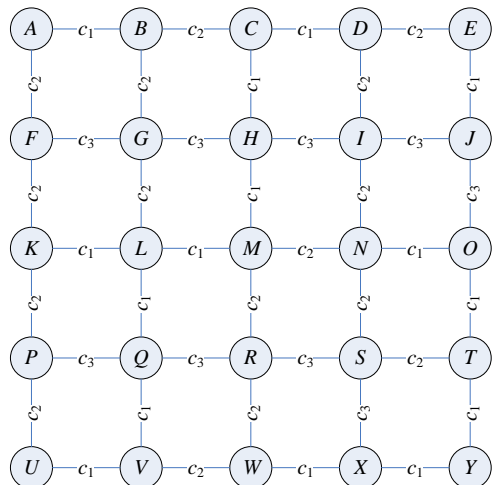
本文采用NS2网络仿真工具^[11]建立仿真场景,

对一个5×5的网格网络场景进行仿真，其中，每个节点的射频接口数为2，可用信道数为3。NS2中的节点配置如表1所示。

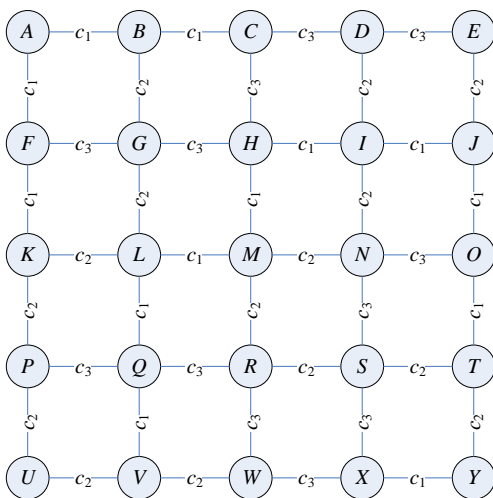
表1 NS2中的节点配置

节点参数	设置
channel type	Channel/WirelessChannel
radio-propagation model	Propagation/TwoRayGround
network interface type	Phy/WirelessPhy
MAC type	Mac/802_11
interface queue type	Queue/DropTail/PriQueue
link layer type	LL
antenna model	Antenna/OmniAntenna
max packet in ifq	50
number of mobilenodes	25
routing protocol	MANUAL

通过Matlab分别计算两种算法的干扰度和信道分配，信道分配结果比较如图4所示。



a. CLICA的信道分配结果



b. ECLICA的信道分配结果

图4 信道分配结果比较

根据信道分配的结果，将IEEE 802.11a的信道分配给相应的链路。设置相应节点相关的信道以及路由表路径如下：

#信道分配

```
$ns_node-config -channel $chan_2_\
    -channel2 $chan_2_\
    -channel3 $chan_12_\
    -channel4 $chan_12_\
    -channel5 $chan_12_\
```

```
set node_(0) [$ns_node]
```

```
$node_(0) random-motion 0
```

```
$ns_node-config-channel $chan_2_\
    -channel2 $chan_3_\
    -channel3 $chan_10_\
    -channel4 $chan_12_\
    -channel5 $chan_12_\
```

```
set node_(1) [$ns_node]
```

```
$node_(1) random-motion 0
```

```
$ns_node-config -channel $chan_1_\
    -channel2 $chan_2_\
    -channel3 $chan_9_\
    -channel4 $chan_12_\
    -channel5 $chan_12_\
```

```
set node_(2) [$ns_node]
```

```
$node_(2) random-motion 0
```

#创建路由表

```
$node_(0) add-route-tag 12 0
```

```
$node_(12) add-route-tag 0 0
```

```
$node_(4) add-route-tag 12 1
```

```
$node_(12) add-route-tag 4 1
```

```
$node_(19) add-route-tag 12 2
```

```
$node_(12) add-route-tag 19 2
```

```
$node_(24) add-route-tag 12 3
```

```
$node_(12) add-route-tag 24 3
```

```
$node_(20) add-route-tag 12 4
```

```
$node_(12) add-route-tag 20 4
```

#NUMBER 0 vv

```
$node_(0) add-next-hop 12 0 1 2
```

```
$node_(1) add-next-hop 0 0 0 1
```

```
$node_(1) add-next-hop 12 0 6 2
```

```
$node_(6) add-next-hop 0 0 1 2
```

```
$node_(6) add-next-hop 12 0 7 1
```

```
$node_(7) add-next-hop 0 0 6 1
```

在与CLICA进行比较过程中，网络中所有节点

发送数据包大小为1 000字节的CBR流量数据到网关, 其速率从1 Mb/s变化到11 Mb/s, 直到仿真结束才停止数据发送。流量发生模型参数表如表2所示。

表2 流量发生模型参数表

流量发生模型参数	设置
数据类型	CBR
传输协议	UDP
开始时间/s	5
结束时间/s	60
数据包大小	1 000
数据传输速率/kb	300
数据流/个	5

计算网络的干扰度并测量网络到达网关的吞吐量。得到仿真数据, 并通过Matlab读取数据绘制曲线, CLICA与改进ECLICA吞吐量比较如图5所示。

从图中可看出改进后的算法ECLICA的网络吞吐量有明显的提高。

两种算法冲突图比较如图6所示, 图中, 每个圆点代表着一链路, 而相同线型代表该链路使用了相同的信道, 连线连接的节点表示这几条链路存在实际冲突, 即如果一个链路使用了该信道, 那么其他链路将无法通过此信道进行传输, 因此连线越密集说明冲突范围越大。通过观察可发现ECLICA中间部分链路的干扰度都比较低, 3条信道分配比较均匀。通过统计计算网络干扰度得出: CLICA算法分配信道的网络干扰度为4.667; ECLICA算法的网络干扰度为4.111, 说明改进的CLICA算法能降低网络的干扰度。

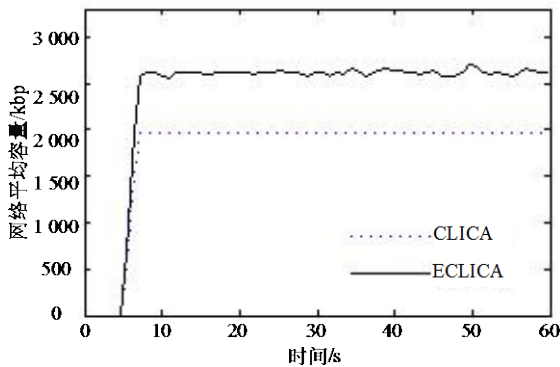
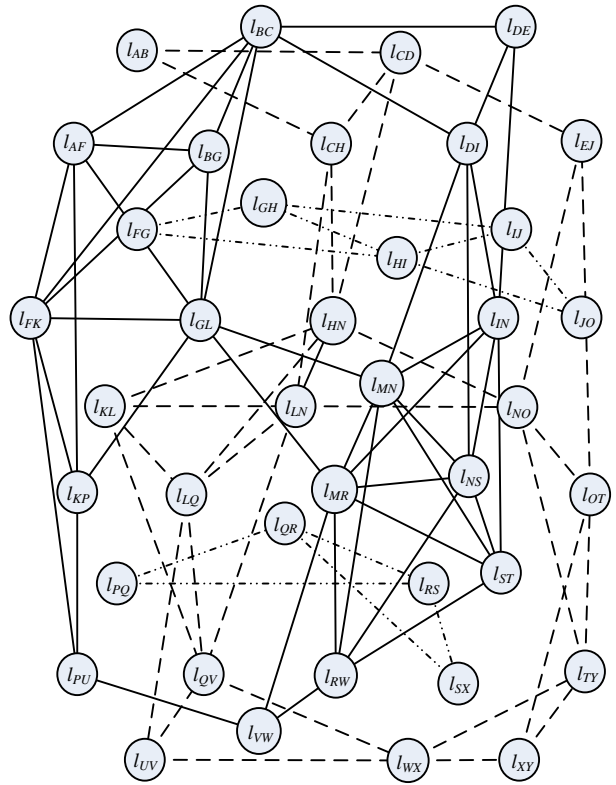


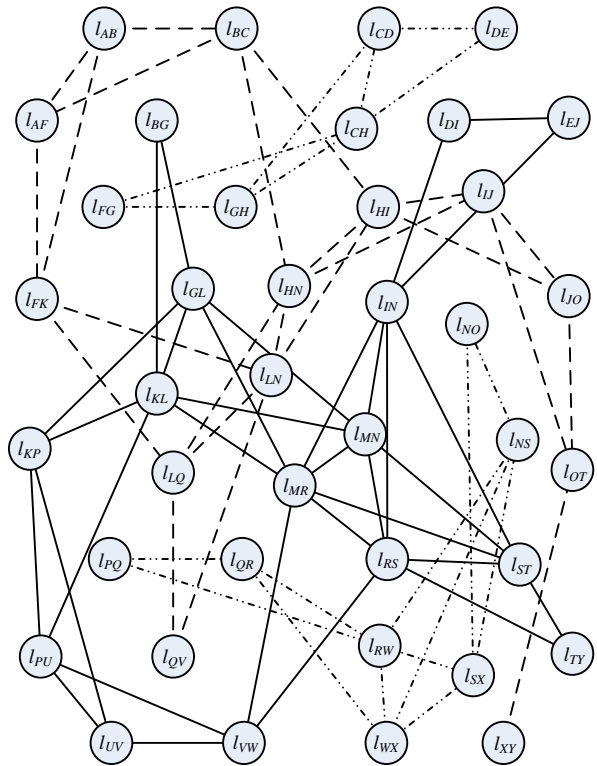
图5 CLICA与改进ECLICA吞吐量比较

ECLICA优先节点基于节点的潜在干扰。从潜在干扰大的节点开始分配信道, 既能消除CLICA采用深度优先搜索所造成的随机性, 一定程度上也能弥补在分配干扰大的节点时, CLICA算法由于灵活性不足造成只能选择大干扰信道的不足。同时, 在第二阶段依据链路负载进行重新访问, 由于改进算法

ECLICA充分利用了闲置的无线接口, 降低了载波检测范围的干扰。



a. CLICA冲突图



b. ECLICA冲突图

图6 两种算法冲突图比较

实验结果表明,改进算法ECLICA达到了减小整体网络干扰度、提高吞吐量的预期目标。

4 结束语

本文主要研究了Mesh固定信道分配策略下,CLICA算法及其相关问题,并对其算法做出改进:

- 1) 基于节点的干扰度改进了算法CLICA对节点优先权的设置。从算法开始就减小网络的干扰度。
- 2) 验证了对CLICA改进的设想,用仿真结果证明了这个设想是可行的,空闲射频接口能够有效地减小网络的干扰,同时提高设备资源的使用率,为Mesh网络信道分配算法提供了一种可行的改进方案。

参 考 文 献

- [1] 冯琳函, 钱志鸿, 金冬成. 增强型的无线Mesh网络信道分配方法[J]. 通信学报, 2012, 33(10): 44-50.
FENG Lin-han, QIAN Zhi-hong, JIN Dong-cheng. Research on enhanced channel assignment scheme in wireless mesh network[J]. Journal on Communications, 2012, 33(10): 44-50.
- [2] 王继红, 石文孝, 李玉信, 等. 无线 Mesh 网络部分重叠信道分配综述[J]. 通信学报, 2014, 35(5): 143-153.
WANG Ji-hong, SHI Wen-xiao, LI Yu-xin, et al. Survey on channel assignment algorithms using partially overlapped channels in wireless Mesh network[J]. Journal on Communications, 2014, 35(5): 143-153.
- [3] 刘雅婷. 无线Mesh网络技术现状及前景展望[J]. 信息通信, 2014(2): 189-190.
LIU Ya-ting. Wireless Mesh network technology present situation and prospect[J]. Information & Communications, 2014(2): 189-190.
- [4] DRAVES R, PADHYE J, ZILL B. Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh network[C]//Proceedings of ACM 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking(Mobi-Com'04). Pennsylvania, USA: IEEE Press, 2004: 114-128.
- [5] RANIWALA A, Sharma S, CHIUEH T, et al. Design considerations for a multihop wireless network testbed[J]. Communications Magazine, IEEE, 2005: 43(10): 102-109.
- [6] REN J, QIU Z D. Centralized quasi-static channel assignment in multi-radio wireless mesh networks[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications Systems. Guangzhou, China: IEEE Press, 2008: 1149-1154.
- [7] 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.
- [8] MARINA M, DAS S, SUBRAMANIAN A. A topology control approach for utilizing multiple channels in multi-radio wireless mesh networks[C]//2nd International Conference on Broadband Networks, [S.L]: [s.n], 2005.
- [9] ATHOTA K, NEGI A, NEGI K, RAO C R. Interference-traffic aware channel assignment for MRMC WMNs[C]//IEEE 2nd International Advance Computing Conference. Patiala: IEEE, 2010.
- [10] 李鑫. 多射频多信道无线Mesh网络的拓扑控制和信道分配联合算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
LI Xin. Research on topology control and channel assignment algorithm for multi-radio multi-channel wireless mesh networks[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013.
- [11] 柯志亨, 程荣祥, 邓德隽. NS仿真实验[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
KE Zhi-heng, CHENG Rong-xiang, DENG De-juan. NS simulation experiment research[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2009.

编辑 叶芳