

doi: 10.7690/bgzdh.2013.02.015

## WiMAX 多跳网络中基于移动站节能的选路算法

刘盛铭<sup>1</sup>, 刘力天<sup>2</sup>, 徐晋海<sup>1</sup>

(1. 装备指挥技术学院研究生管理大队, 北京 101416; 2. 装备指挥技术学院信息装备系, 北京 101416)

**摘要:** 针对传统的 WiMAX 网络存在系统覆盖半径不足、信号传输不佳等问题, IEEE802.16 工作组制定了支持多跳传输的 IEEE802.16j 标准。在研究 WiMAX 多跳网络选路算法的基础上, 针对移动站电池容量的限制, 提出了一种考虑移动站节能的选路算法; 同时考虑移动站节能的要求, 对基于信噪比的选路算法进行了改进。仿真结果表明: 考虑移动站节能的选路算法可降低移动站总的能耗, 但占用了更多的系统资源, 而改进后的基于信噪比的选路算法在移动站平均流量较小的情况下, 能够降低总的耗能。

**关键词:** WiMAX; IEEE802.16j; 选路算法

**中图分类号:** TJ02 **文献标志码:** A

## Path Selection Algorithm in WiMAX Mobile Multi-Hop Relay Networks Based on Mobile Station Energy Conservation

Liu Shengming<sup>1</sup>, Liu Litian<sup>2</sup>, Xu Jinhai<sup>1</sup>

(1. *Administrant Brigade of Postgraduate, Institute of Command & Technology of Equipment, Beijing 101416, China;*

2. *Department of Information Equipment, Institute of Command & Technology of Equipment, Beijing 101416, China)*

**Abstract:** For the problems such as limited radius of coverage, poor quality of signal transmission in WiMAX networks, the IEEE802.16 work group has developed IEEE 802.16j standard to support multi-hop transmission. Based on the studies of routing algorithms in WiMAX multi-hop networks, a path selection algorithm considering energy conservation for mobile stations is proposed. And the path selection algorithm based on signal-to-noise ratio is improved to reduce energy consumed by mobile stations. The simulation results show that the energy-efficient routing algorithm for mobile stations can reduce the total energy consumption, taking up more system resources. The improved routing algorithm based on signal-to-noise ratio can also reduce the total energy consumption when the average traffic load of mobile stations is low.

**Key words:** WiMAX; IEEE802.16j; path selection algorithm

### 0 引言

在军事通信网的建设中, WiMAX 以其接入速度快、建设成本低、兼容性能好、系统容量大、服务质量机制完善等特点受到了不少西方国家军队的青睐。这些国家使用 WiMAX 技术的装备, 如意大利的 WRS504-N/01 战术车载无线电, 视距条件下 18.5 km 距离的数据传输率可达 2 Mbit/s, 非视距条件下 8 km 距离可达 1 Mbit/s; 以色列的无线宽带军用骨干网系统 Bro@dnet, 组网方式为点对点(point to point, PTP)或点对多点(point to multi-point, PMP), 可扩展为 Mesh 网, 已经被以色列国防部作为使用的宽带通信核心系统; 法国的 ZAGIL, 系基于 WiMAX 的战术互联系统, 满负荷运行、链路加密条件下支持 34 Mbit/s 的全双工速率, 无线接入支持 PMP、Mesh 的 IP 连接和多种速率。

IEEE802.16j 标准是移动多跳中继(mobile multi-hop relay, MMR)的系统规范, 通过在基站信号弱的地区布建成本相对低的中继站(relay station,

RS)作为网络拓展, 能有效解决基站-用户站结构的 WiMAX 网络中存在的系统覆盖半径不足、信号传输质量不佳等问题。该标准没有规定选路度量及路由算法, 而如何选择传输路径是多跳中继网络设计中必须要解决的问题之一。同时, 基于 IEEE802.16j 的 WiMAX 多跳技术作为一项民用技术, 需要针对军事通信的特点采取相应的改进, 才能更好地服务于军事通信保障。

### 1 相关研究

如图 1, 基于 IEEE802.16j 的 WiMAX MMR 网络使用的 RS 分为透明(transparent RS, T\_RS)和非透明(non-transparent RS, NT\_RS)2 种类型<sup>[1]</sup>, 系统采用的调度模式也分为集中式和分布式。网络中路由选择需要考虑传输路径中无线资源的各种限制, 以确定基站(basic station, BS)和移动站(mobile station, MS)之间最佳的传输路径。随着中继跳数的增加, 链路的时延和丢包率也会相应增加, 这不利于军事通信网的主要业务语音和视频的传输。在

收稿日期: 2012-08-14; 修回日期: 2012-09-17

作者简介: 刘盛铭(1986—), 男, 湖南人, 硕士在读, 从事军事通信指挥与网络管理研究。

两跳蜂窝网中，最常见的选路算法是基于信噪比 (signal-to-noise ratio, SNR) 的选路算法，它也是许多算法研究的常用比较对象。文献[2]的选路算法是基于 WiMAX 多跳网络中通信链路的信道质量；文献[3]提出的选路度量考虑了链路可利用的带宽、信噪比和跳数。这些算法的研究很少考虑 MS 的电池容量限制，而电池为军事通信网络单兵通信终端的必备附件，作用十分重要。文献[4-5]分别研究了 IEEE802.16 和 IEEE802.16j 系统关于节能的上行链路资源分配，它们为研究提供了重要参考。笔者对集中式调度下使用 T\_RS 的两跳 IEEE802.16j 网络进行了研究，提出了一种基于 MS 节能的选路算法，并对基于 SNR 的选路算法进行了改进。

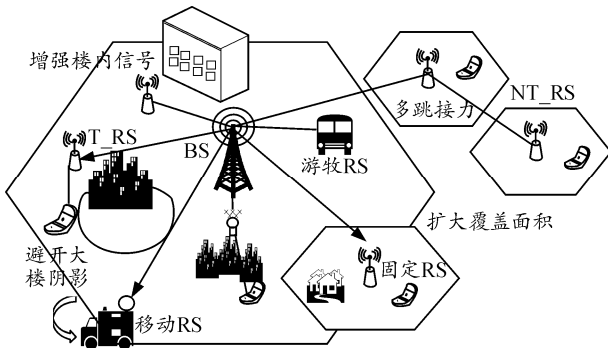


图 1 基于 IEEE802.16j 的 WiMAX MMR 网络

## 2 基于移动站节能的选路算法

### 2.1 基于 SNR 的选路算法

设路径损耗  $L_p(d)$  的单位是 dB，如果发射功率  $P_t$  的单位为 W，则以 dBW 为单位的接收信号功率<sup>[6]</sup>为：

$$P_r(d)_{(dBW)} = 10 \log_{10}(P_t G_t G_r)_{(dBW)} - L_p(d)_{(dB)} \quad (1)$$

$d$  是收发天线之间的距离。根据 IEEE802.16-2009，可利用公式 (2) 计算出接收机处的 SNR。

$$SNR_{Rx} = P_t(d) + 114 + 10 \times \log_{10}(R) - 10 \times \log_{10} \left( \frac{F_s \times N_{used} \times 10^{-6}}{N_{FFT}} \right) - ImpLoss - NF \quad (2)$$

$R$  是复用因子； $F_s$  是采样频率；ImpLoss 是接收机余量，取 5 dB；NF 是接收机噪声，取 8 dB<sup>[7]</sup>。且

$$F_s = \text{floor}(n \times BW / 8000) \times 8000 \quad (3)$$

$n$  为采样因子；BW 为系统带宽；floor 为向下取整运算。

如图 2(a)，基于 SNR 的选路算法步骤<sup>[8]</sup>是：

- 1) 在小区内选择 2 个距离 MS 最近的 RS，记为 RS<sub>1</sub>、RS<sub>2</sub>；
- 2) 计算 RS<sub>1</sub>、RS<sub>2</sub>、BS 接收 MS 信号的 SNR，

具有最大 SNR 的节点  $n_s$  为 MS 选择的接入点，则

$$n_s = \arg \max \{SNR_{BS}, SNR_{RS1}, SNR_{RS2}\} \quad (4)$$

### 2.2 基于移动站节能的选路算法

设在一帧的时长内，一个 MS<sub>*i*</sub> 发送数据时所消耗能量  $E_i$  表示，则

$$E_i(M_i) = T_i(M_i) \times P_{ti}(M_i) \quad (5)$$

$M_i$ 、 $T_i(M_i)$  和  $P_{ti}(M_i)$  分别代表该 MS<sub>*i*</sub> 使用的调制编码方案 (modulation and coding scheme, MCS)、通信时间和发射功率。

$$T_i(M_i) = [\text{floor}(\frac{d_i}{D(M_i)}) + 1] \times \tau \quad (6)$$

$d_i$  是  $M_i$  在一帧中所要发送的数据量， $\tau$  是时隙的时长， $D(M_i)$  是 MCS 中每一时隙所承载的数据量。

对于 IEEE802.16j 系统，信道的 SNR 决定了无线链路可以使用的 MCS，而且 SNR 的大小会影响链路频谱效率的高低。时隙作为 OFDMA 物理层数据分配的最小单元，MCS 所对应的每一时隙承载的数据量如表 1<sup>[5]</sup>所示。

表 1 不同 MCS 所对应的时隙数据量

调制编码方案	接收机 SNR/dB	$(D(M_i)) / (\text{bit}/\text{时隙})$
QPSK	1/2	5.0
	3/4	8.0
16-QAM	1/2	10.5
	3/4	14.0
64-QAM	1/2	16.0
	2/3	18.0
	3/4	20.0

基于移动站节能的选路算法步骤具体如下：

1) 选择站点，MS<sub>*i*</sub> 到这些站点 1, 2, ...,  $r$  的无线链路 SNR 不能低于 5.0 dB。

2) 根据 MS<sub>*i*</sub> 使用的 MCS，计算 MS<sub>*i*</sub> 发送数据时到这些站点所消耗的能量  $E_i^1(M_i)$ ,  $E_i^2(M_i), \dots, E_i^r(M_i)$ 。

3) MS<sub>*i*</sub> 选择耗能最小的站点作为其接入点  $n_s$ 。

$$n_s = \arg \min \{E_i^1(M_i), E_i^2(M_i), \dots, E_i^r(M_i)\} \quad (7)$$

### 2.3 两者之间的比较

使用 Matlab 进行仿真并比较以上 2 种选路算法。忽略小区内各种干扰，仿真场景如图 2(b)所示，BS 位于小区的中央，RS 布设在小区半径  $R$  的 2/3 处，MS 均匀随机分布，相关的参数如表 2 所示。需要说明的是，通常 WiMAX 基站的覆盖半径是 3~5 km，但考虑 MS 的上行链路传输，根据表 2 设定 MS 的最大功率值、传播模型和表 1 中 QPSK1/2 对

应的 SNR, 设置  $R=240\text{ m}$ 。类似的仿真场景小区半径设置可阅读文献[9]中关于 IEEE802.16j 系统联合带宽分配与路由方案的仿真。

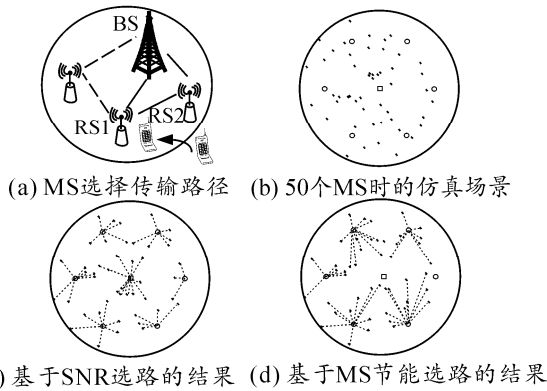


图 2 仿真场景

表 2 系统参数

参数	取值	说明
信道带宽/MHz	10	此 4 项 用于计算 SNR
$N_{\text{FFT}}$	1 024	
采样因子	28/25	
使用的数据子载波 $N_{\text{used}}$	840	
时隙时长/ $\mu\text{s}$	209	
每帧的时隙数量	12 $\times$ 30	
MS 最大功率/dBm	30	
BS, RS, MS 高度/m	40, 30, 2	
传播模型	Type A <sup>[10]</sup>	
MS 流量/(bit/帧)	900 ~ 1 200	

基于 SNR 选路算法的仿真结果如图 2(c)所示, 每个 MS 选择通信路径 SNR 最好的站点, 使用传输速率高的 MCS。因为采用传输速率高的 MS, 其发射功率也高。基于 MS 节能选路算法的仿真结果如图 2(d)所示, 与前者不同的是, MS 将选择传输速率较低的 MCS(以 BS 附近的 MS 变化最为明显)。

在网络容量未到达饱和的情况下, 计算 MS 总耗能情况, 结果如图 3 所示。使用基于 SNR 的选路算法, MS 为了使通信路径的 SNR 达到最佳, 增加其发射功率直到最大值, 这就导致耗能随着 MS 数量的增加而线性增加; 使用基于 MS 节能的选路算法, 随着 MS 数量的增加, 总的耗能虽然也相应的增加了(近似线性), 但数值较前者大为降低。

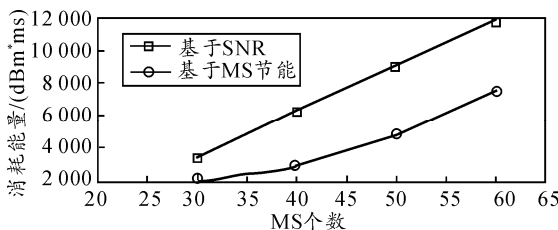


图 3 MS 的耗能情况

虽然使用基于 MS 节能的选路算法降低了总的

MS 耗能, 但这是以占用更多系统资源为代价。若系统的剩余容量用可接入 MS 数量表示, 可接入的 MS 都采用 QPSK1/2 调制编码方案, 当小区现有 50 个 MS 的平均流量是 1 000 bit/帧, 使用基于 SNR 选路算法的可接入 MS 数量为 5.28 个, 使用 MS 节能选路算法可接入 MS 数量为 1.6 个。调整 MS 的平均流量大小, 相应的结果如图 4 所示。

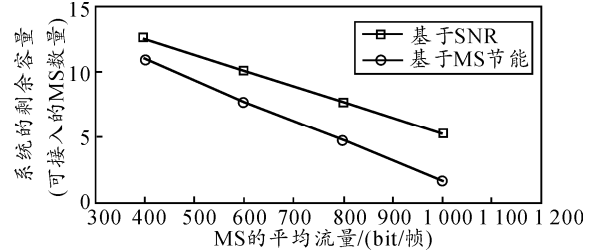


图 4 系统的剩余容量

### 3 考虑 MS 节能对基于 SNR 选路算法的改进

从图 4 可以看出, 随着 MS 流量的增加, 基于 MS 节能选路算法的系统剩余容量比基于 SNR 选路算法下降得更快。现代战争的信息量变化急剧, 通信系统需要具备一定的冗余。但考虑 MS 的节能要求, 笔者对基于 SNR 的选路算法进行了改进。

观察表 1 中的  $D(M_i)$ , 假设一个 MS 一帧中需要传输 280 bit, 若 SNR 满足 64QAM3/4, 则该帧中传输此 MS 的数据将占用 2 个时隙资源, 但如果 MS 使用 16QAM3/4, 传输 280 bit 虽然也只占用 2 个时隙, 但 MS 的发射功率得到了降低; 因此, 在基于 SNR 选路算法的步骤中增加第 3 步:

选择接入点后, MS 根据所要传输的数据量, 在保持承载数据量的时隙最小数量不变的情况下, 选择低阶的调制方式。

定义节能增益为:

$$\text{节能增益} = 1 - \frac{\text{改进的基于SNR选路算法的MS总耗能}}{\text{基于SNR选路算法的MS总耗能}} \quad (8)$$

对于图 2(b)的仿真场景, 基于 SNR 选路算法改进后的节能增益的结果如图 5 所示。当 MS 的平均流量较小时, 改进后的算法能够降低总 MS 的耗能。随着 MS 平均流量增大(大于 384 bit/帧), 改进的算法将不具备节能作用了。

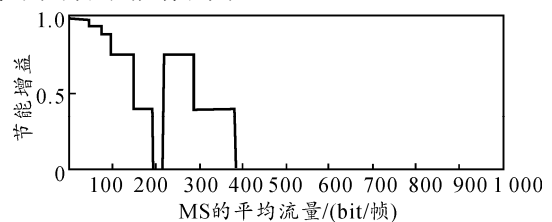


图 5 节能增益

### 4 总结

仿真结果证明, 使用基于 MS 节能的选路算法降低能耗的同时, 占用了系统更多的资源; 在 MS 平均流量不大的情况下, 改进的基于 SNR 的选路算法能够降低 MS 耗能。

### 参考文献:

[1] Vasken Genc, Sean Murphy, Yang Yu, et al. IEEE 802.16j RELAY-BASED WIRELESS ACCESS NETWORKS: AN OVERVIEW[J]. IEEE Wireless Communications, 2008, 15(5): 56-63.

[2] Satiman N, Maarof N N M I, Zamani A I A, et al. A Route Selection Algorithm for WiMAX Mobile Multi-hop Relay Networks[EB/OL].(2011-01-09)[2012-07-15].http://trg.fke.utm.my/members/nazirah/paper3.pdf.

[3] Ann S, Lee K G, Kim H S. A path selection method in IEEE 802.16j mobile multi-hop relay networks[C]. Jean Philippe Vasseur. Proc. of Second International Conference on Sensor Technologies and Applications, Cap Esterel: IEEE, 2008: 808-812.

[4] Jong-Pil Yoon, Woo-Jae Kim, Joo-Young Baek, et al. Efficient Uplink Resource Allocation for Power Saving in IEEE 802.16 OFDMA Systems[EB/OL]. (2008-05-15) [2012-07-15].http://mnet.skku.ac.kr/data/2008data/VTC20

\*\*\*\*\*

(上接第 47 页)

进行 M-DEMA 攻击时, 利用多个比特位与加密运算时的相关性对电磁信号曲线进行分组, 此时多比特位的操作相关性相互交叠对电磁信号曲线分组产生影响, 不同比特位所体现的信号与噪声也不一样。这样, 由于 AT89C52 微控制器制作工艺以及内部执行机制的原因, 其运算时采用的是串行工作模式, 微控制器对单个字节依次进行操作处理, 如图 2 攻击点处, 微控制器密码系统分别依次运行处理 Byte1、Byte2、Byte3、Byte4 这 4 个字节, 当攻击 S<sub>1</sub> 盒时选取图 2 中方框里标记的(1),(2),(3),(4) 4 个比特位作为分割函数构造的相关对应位置, 这 4 个比特位在经过 P 置换和异或操作后分别出现在 Byte2、Byte3、Byte4 3 个运算字节中, 记为(1),(2),(3),(4), 即选择了 3 个与算法数据操作相关的加密运算字节, 但与此同时(2)和(3)都出现在了Byte3中, 字节的数据相关性会得到叠加, 导致其中某个差分尖峰的幅值是其他的 2 倍, 直接结果是差分曲线尖峰得到更好的体现, 攻击所需信号样本量减少。

### 5 结论

由实验结果可知: M-DEMA 攻击方法能利用密码芯片运行时泄漏的近场电磁辐射信号提取出芯片的密钥, 由于正确密钥对应的差分尖峰分辨率较高, 因此降低了攻击所需的样本量, 进而提高了攻击的

08/DATA/05-05-14.PDF.

[5] Liang JiaMing, Wang YouChiun, Chen JenJee, et al. Energy-efficient uplink resource allocation for IEEE 802.16j transparent-relay networks[EB/OL]. (2012-04-18) [2012-07-15].http://people.cs.nctu.edu.tw/~yctseng/papers.pub/mobile92-wimax-relay-comnet.pdf.

[6] Jon W. Mark, Weihua Zhuang. 无线通信与网络[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 31.

[7] IEEE Std 802.16-2009 (Revision of IEEE Std 802.16-2004), IEEE standard for local and metropolitan area networks-part 16: Air interface for broadband wireless access systems[S]. New York: IEEE, 2009.

[8] HuiningHu, Yanikomeroğlu H, Falconer D D, et al. Range Extension without Capacity Penalty in Cellular Networks with Digital Fixed Relays[C]. IEEE.Proceedings of 2004 Global Telecommunications Conference. Dallas, Texas, USA: IEEE, 2004: 3053-3057.

[9] Kyungjoo Lee, Hyukjoon Lee, Yong-Hoon Choi, et al. A Joint Bandwidth Allocation and Routing Scheme for the IEEE 802.16j Multi-hop Relay Networks[C].Yong-Jin Park,Yanghee Choi. 2009 International Conference on Information Networking. Chiang Mai, Thailand: IEEE, 2009: 1-5.

[10] Gamini Senarath, et al. Multi-hop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric) [EB/OL]. (2006-09-05)[2012-07-15]. http://ieee802.org/16/relay/docs/80216j-06\_013r3.pdf.

成功率。但是, 由于实际各密码系统性质不同, 其攻击效果的差异如何, 还需进一步研究。

### 参考文献:

[1] Kocher P, Jaffe J, Jun B. Differential power analysis[C]. CA, USA: Proc. of Advances in Cryptology-CRYPTO '99 (M. Wiener, ed.), LNCS, Springer-Verlag, 1999: 388-397.

[2] Quisquater J-J, Samyde D. ElectroMagnetic Analysis (EMA): Measures and Counter-measures for Smart Cards[C]. CA, USA: Attali and T.Jensen (eds.), LNCS, Springer-Verlag, 2001: 200-210.

[3] Mulder E. De. Electromagnetic Techniques and Probes for Side-Channel Analysis on Cryptographic Devices[D]. Belgium: PHD's thesis, Arenberg Doctoral School of Science, Engineering &Technology, 2010: 13-35.

[4] Agrawal D, Archambeault B, Rao J R, et al. The EM side-channel(s): Attacks and assessment methodologies [C]. CA, USA: In Proceedings of the 4th International Workshop on Cryptographic Hardware and Embedded Systems (CHES) 2002, LNCS, 2003: 29-45.

[5] 张三慧. 电磁学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 10-24.

[6] 陈志敏. 安全芯片旁路功耗分析及抗攻击措施[D]. 上海: 上海交通大学, 2007: 6-13.

[7] Federal Information Processing Standards Publication 46-3 (FIPS PUB 46-3): Data Encryption Standard[S]. U.S.: William M. Daley and Raymond G. Kammer, 1999: 8-21.

[8] Hnath W, Pettengill J. Differential Power Analysis Side-Channel Attacks in Cryptography[D]. U.S.: Bachelor's thesis, Worcester Polytechnic Institute. 2010: 15-17.