



多跳回程网络和接入网络的资源分配方案研究

杨洪涛¹, 刘业辉¹, 宋玉娥¹, 孙社文¹, 刘麟²

(1. 北京工业职业技术学院电气与信息工程学院 北京 100042;

2. 石家庄邮电职业技术学院 石家庄 050021)

摘要:构建了一种基于 OFDM 非竞争的频带内多跳系统,提出并对比分析了两跳中继网络的配置方案,研究了两个中继方案中多跳回程网络和接入网络的资源分配问题。在带内中继回程网络和接入网络共享同一个无线资源的条件下,通过计算分析和静态的系统级仿真方法,揭示了两种中继方案的无线资源分配结果与小区覆盖范围和信道状态的关系。

关键词:多跳;资源分配;带内回程;带外回程;中继

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015047

Resource Allocation Schemes Between Multi-Hop Backhaul Network and Access Network

Yang Hongtao¹, Liu Yehui¹, Song Yu'e¹, Sun Shewen¹, Liu Lin²

(1. School of Electrical and Information Engineering, Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China;

2. Shijiazhuang Posts and Telecommunications Technical College, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: A non-contention in-band multi-hop system based on OFDM was built. Two configurations of two-hop relay network were proposed and comparatively analyzed. The resource allocation issue between multi-hop backhaul network and access network was investigated. The relay backhaul network and access network share the same resource. By using calculation and a static system level simulation, the relationship among resource allocation results of the relay schemes, cell coverage and channel status was revealed.

Key words: multi-hop, resource allocation, in-band backhaul, out-band backhaul, relay

1 引言

无线多跳网络作为无线数据网络的下一个演进方向,得到了业界的重视。多跳网络与其他基于非竞争的无线网络网状结构相比,具有更加可行和有效的优势。非竞争的无线网络包括 WiMAX (worldwide interoperability for microwave access, 全球微波互联接入)^[1]、LTE (long term

evolution, 长期演进)^[2]、HSPA (high speed uplink packet access, 高速上行链路分组接入)^[3]等,这类网络有很好的无线资源管理机制来避免干扰,并且可以更加有效地利用无线资源。由于同步和其他干扰等因素,单纯的网状结构很难在这类网络中实现。

WiMAX 和 LTE 都已经建立了中继工作组,研究如何在接入小区中建立多跳回程网络。服务提供商也在部署

收稿日期:2014-11-08;修回日期:2015-01-27

基金项目:北京市2014科学研究——科研计划(No.bgzyky201419)

Foundation Item: 2014 Technology Research Project of Beijing (No.bgzyky201419)

WiMAX,以便更好地提供无线宽带连接。IEEE 802.16j 标准工作组也在重点关注多跳中继网络,以便在 WiMAX 移动网络中进行多跳通信。在非竞争无线网络中,用户与中继通信,而不直接与基站通信^[4,5]。

LTE-A 的中继系统也是采用类似方式^[6,7],中继实现的功能基本上是节点的回程功能和接入功能。基于无线回程的 LTE 方案有两种——带内回程和带外回程。带内回程网络与接入网络共享无线网络资源,如 LTE 带内中继和 IEEE 802.16j。带外回程网络不与接入网络共享资源,而是使用独立的无线资源。本文将对带内多跳中继网络进行研究。

参考文献[8]对市区的带内中继的覆盖和容量进行了仿真,基于此,本文深入地阐述了不同业务量密度下小区真实的吞吐量和小区半径的关系。参考文献[9]阐述了郊区的中继实际性能,基于该参考文献的参数设置,本文详细地描述了低业务量密度区域的中继情况。

本文构建了 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing,正交频分复用)两跳中继网络,这种方式可以覆盖 LTE、WiMAX 等无线网络;研究了不同的小区半径、信道状态和中继方案下的回程网络和接入网络之间无线资源分配方法;比较了带内中继和带外中继的性能。

2 系统模型

接入网络和回程网络共享无线网络资源,为了避免网络拥塞,高效的无线网络资源管理是非常必要的。无线网络资源分配方法通常包括动态分配方法和静态分配方法两种,相比较而言,动态分配网络资源更有效。在动态分配方法中,系统获得接入网络/回程网络参数和信道的统计信息后,计算接入网络和回程网络的无线网络资源。为了避免拥塞,减少回程网络和接入网络分配资源的不平衡,假设采用一个理想的无线资源动态分配方案。在此方案中,基站可以实时获取所有链路的瞬时信道信息,根据实时链路状态调整无线资源分配粒度。

本文研究两跳中继网络的配置方案。中继方案 1 是传统方案,不同的中继回程链路使用正交资源;中继方案 2 的中继回程链路利用 SDMA (space division multiple access,空分复用接入)技术节省无线资源,即同一个无线资源在不同回程链路上被空间复用。

2.1 中继方案 1

图 1 为中继方案 1 的小区部署架构,所有基站或中继都位于六边形小区的中心,中心小区为出口小区,出口小

区周围的 6 个小区被称为第一层小区,第一层小区周围的 12 个小区组成第二层小区。连接出口小区和第一层小区的回程链路为第一跳回程,连接第一层小区和第二层小区的回程链路为第二跳回程。为了有更多的回程流量,第一跳回程链路比第二跳回程链路占用更多的无线网络资源,图中较粗的回程线条代表占用更多的无线资源。19 个小区的接入业务量集中回传给出口小区。通常,这个无线回程网络出口小区通过光纤继续回传网络流量给核心网络。接入网络和回程网络分别有 3 个子载波,该方案的 OFDM 子载波分配情况如图 2 所示,不同的回程链路使用正交的无线资源。

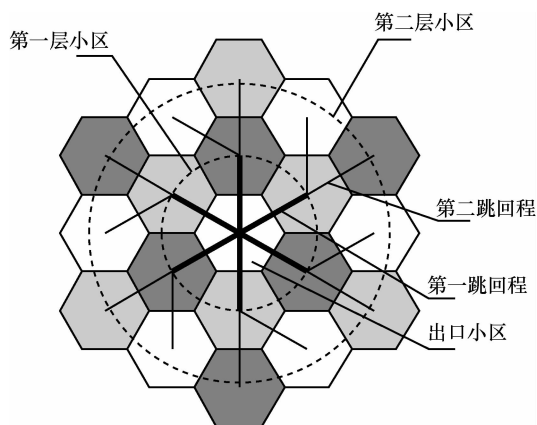


图 1 中继方案 1 的小区结构

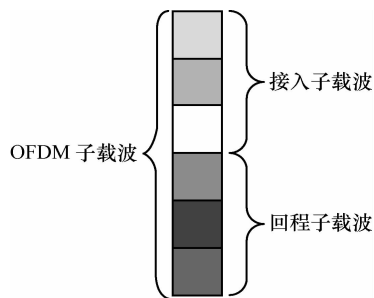


图 2 中继方案 1 的 OFDM 子载波分配情况

2.2 中继方案 2

图 3 为中继方案 2 的小区部署构架,与图 1 的区别是不同的回程链路通过空分复用,共享相同的 OFDM 子载波资源,中继方案 2 的 OFDM 子载波分配情况如图 4 所示。

2.3 系统模型分析

假设每个小区具有相同的用户密度,每个用户有相同的业务量密度要求(通过香农容量计算),所有小区都满负荷。显然,越是接近出口小区的小区,对回程链路的要求越高,因为该小区不仅要回传自身的业务量,还要回传其子

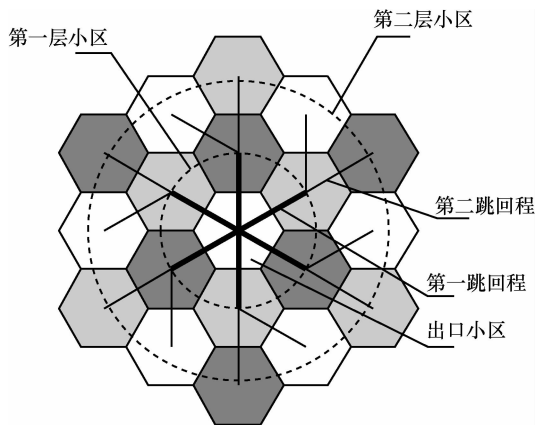


图3 中继方案2的小区结构

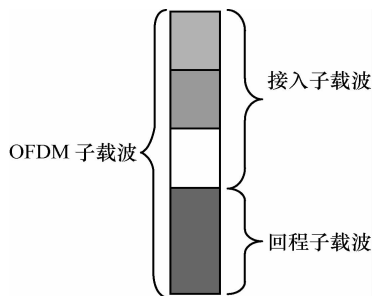


图4 中继方案2的OFDM子载波分配

节点的业务量。因此,越是靠近出口小区的小区越会消耗更多的无线网络资源。

假设所有小区的小区半径为 r ,接入链路和回程链路的路径损耗指数分别为 γ_A 和 γ_{BH} ,载波频率为 f_c 。 d 是发射机和接收机之间的距离, d_0 是参考距离, X_σ 为一个零均值的高斯分布随机变量。

则接入网络的路径损耗为:

$$PL_A(d, \gamma_A) [\text{dB}] = PL(d_0, \gamma_A) [\text{dB}] + 10\gamma_A \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

回程网络的路径损耗为:

$$PL_{BH}(d, \gamma_{BH}) [\text{dB}] = PL(d_0, \gamma_{BH}) [\text{dB}] + 10\gamma_{BH} \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (2)$$

$$\text{其中, } PL(d_0, \gamma_A) = \left(\frac{4\pi f_c}{c}\right)^2 d_0^{\gamma_A}, PL(d_0, \gamma_{BH}) = \left(\frac{4\pi f_c}{c}\right)^2 d_0^{\gamma_{BH}}.$$

仿真分析采用的系统参数见表1。

由于下行链路总会有较高的功率和吞吐量,因此本文只针对下行链路展开分析。

3 仿真结果分析

本文搭建了一个静态的系统级仿真平台,并用蒙特卡洛方法进行仿真^[10]。利用香农信道容量公式,计算接入网

表1 仿真分析的系统参数

参数	数值
γ_A	3.5
γ_{BH}	2.5
f_c	2.5 GHz
r	1 km
基站下行传输功率	33 dBm
中继下行传输功率	18 dBm
总带宽	10 MHz
UE 天线增益	0 dBi
基站和中继节点的天线增益	11 dBi
基站或中继的噪声系数	5 dB
用户的噪声系数	9 dB
业务量密度	市区、城镇 9.196 bit/s/m ² 半乡村环境 1.522 bit/s/m ² 农村 0.298 bit/s/m ²
天线配置	SISO
X_σ	8 dB

络和回程网络的吞吐量。

3.1 中继方案1的仿真结果

假设接入链路发射功率和回程链路发射功率分别为 P_A 和 P_{BH} ,噪声功率为 N ,接入带宽为 B_A ,第二层小区的回程带宽为 B_{BH} ,接入链路天线增益和回程链路天线增益分别为 G_A 和 G_{BH} 。第二层小区中,为了平衡接入网络和回程网络的资源,需要满足:

$$B_A E\left[\lg\left(1 + \frac{P_A G_A}{N \times PL_A(d, \gamma_A)}\right)\right] = B_{BH} E\left[\lg\left(1 + \frac{P_{BH} G_{BH}}{N \times PL_{BH}(d, \gamma_{BH})}\right)\right] \quad (3)$$

由图1可知,第一层的回程链路将传送自身业务和其子小区的业务,即它要回传3个小区的业务量,因此第一层小区的回程带宽为 $3B_{BH}$ 。

假定总带宽为 B ,则:

$$3B_A + 5B_{BH} \leq B \quad (4)$$

由于很难得到式(3)左侧表达式的结果,因此本文采用静态系统级仿真器进行蒙特卡洛仿真^[10]。

当 $B=10$ MHz时,根据蒙特卡洛仿真有:

$$E\left[\lg\left(1 + \frac{P_A G_A}{N \times PL_A(d, \gamma_A)}\right)\right] = 1.91 \quad (5)$$

$$E\left[\lg\left(1 + \frac{P_{BH} G_{BH}}{N \times PL_{BH}(d, \gamma_{BH})}\right)\right] = 6.014 \quad (6)$$

则接入带宽和第二层回程带宽满足:

$$\frac{B_A}{B_{BH}} = \frac{6.014}{1.91} \quad (7)$$

根据式(4),可以得到 $B_A=2.18$ MHz和 $B_{BH}=0.692$ 2 MHz。

出口小区、第一层小区和第二层小区的接入资源相同,均为 B_A 。从第一层小区到出口小区的第一跳回程链路需要带宽 $3B_{BH}$ 。从第二层到第一层的第二跳回程链路需要带宽 B_{BH} 。由此,计算出不同参数下的接入带宽和回程带宽。

图 5 比较了中继方案 1 在不同接入路径损耗指数情况下,小区半径与总接入带宽在总带宽中占比的关系。从图 5 可以看出,随着接入路径损耗指数的增大,总接入带宽在总带宽中的占比变大,即接入资源的需求变大。

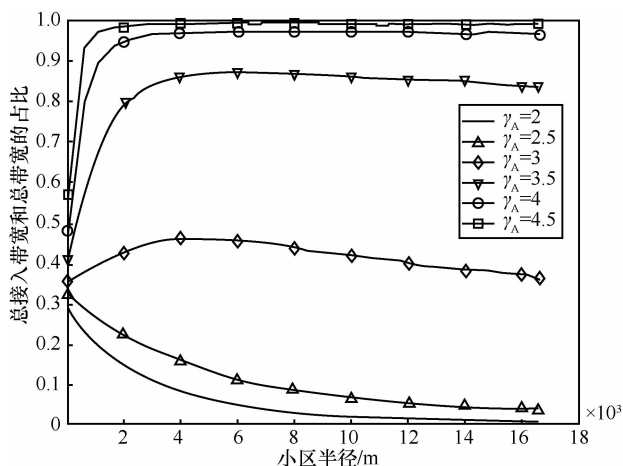


图 5 中继方案 1 中总接入带宽在总带宽中的占比

3.2 中继方案 2 的仿真结果

在第二层小区中,为了获得接入链路和回程链路的资源平衡,需要满足:

$$B_A E \left[\ln \left(1 + \frac{P_A G_A}{N \times PL_A(d, \gamma_A)} \right) \right] = B_{BH} E \left[\ln \left(1 + \frac{P_{BH} G_{BH}}{N \times PL_{BH}(d, \gamma_{BH})} \right) \right] \quad (8)$$

根据图 3 可得:

$$3B_A + 3B_{BH} \leq B \quad (9)$$

类似地,使用蒙特卡洛仿真,得到式(8)左侧表达式的结果。

由式(9)中的等号得到 $B_A = 2.53$ MHz, $B_{BH} = 0.80347$ MHz。

图 6 比较了中继方案 2 在不同接入路径损耗指数情况下,小区半径与总接入带宽在总带宽中占比的关系,图 6 得到与图 5 相似的结论。

3.3 仿真结果分析

从图 5 和图 6 可以看出,接入网络的信道状态越差(即路径损耗指数越大),接入带宽在总带宽的占比越多,回程网络所占带宽越少。如果小区半径很大,接入带宽几乎占据带宽的全部。

如果接入链路状态较好 ($\gamma_A = 3$),即路径损耗指数较低,随着小区半径的增大,接入带宽和总带宽的占比也会

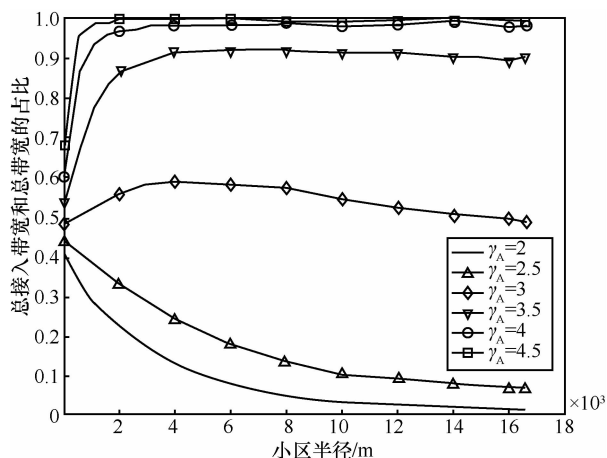


图 6 中继方案 2 中总接入带宽在总带宽中的占比

增加,达到峰值后,该占比将减小。这是因为小区半径越大,多跳回程路径损耗增加得越快,同时需要的带宽越多。中继方案 1 中的峰值出现在小区半径为 4 km 处,峰值为 0.46;中继方案 2 的峰值出现在小区半径为 4.5 km 处,峰值为 0.6。在不同信道状况下,多跳回程网络和接入网络之间的无线网络资源分配结果也不同。

若接入网络的业务量密度是 D ,则每个小区的接入

业务量需求为 $D \frac{3\sqrt{3}}{2} r^2$ 。图 7 给出了不同业务量密度

和不同方案的小区容量与小区半径的关系。无带内回程的传统小区可以是带外无线回程网络,也可以是有线回程网络,传输可以采用光纤、ATM 等。只有小区吞吐量比真实的业务量大时,用户通信才可以得到满足。因此, D 取不同值时的仿真曲线与其他 3 个方案的小区容量曲线的交点,即为不同方案下的小区最大覆盖半径,具体值见表 2。

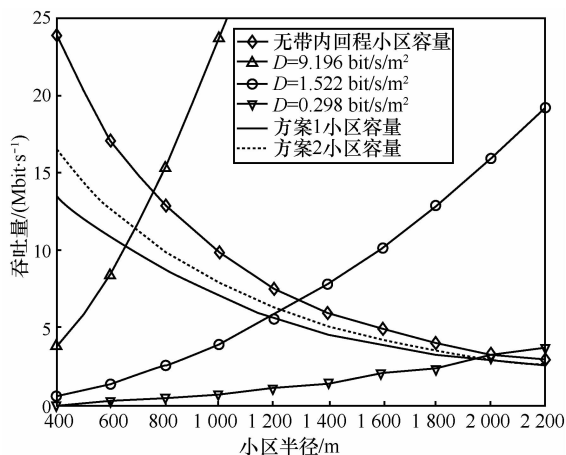


图 7 吞吐量和小区半径的关系



表 2 不同业务量密度的最大覆盖半径

方案	市区/城镇 $D=9.196 \text{ bit/s/m}^2$	半乡村环境 $D=1.522 \text{ bit/s/m}^2$	农村 $D=0.298 \text{ bit/s/m}^2$
方案 1	651 m	1 200 m	1 950 m
方案 2	690 m	1 240 m	1 985 m
无带内回程(传统小区)	755 m	1 301 m	2 036 m

表 3 覆盖 100 km^2 的特定区域需要的基站数量

方案	市区/城镇 $D=9.196 \text{ bit/s/m}^2$	半乡村环境 $D=1.522 \text{ bit/s/m}^2$	农村 $D=0.298 \text{ bit/s/m}^2$
方案 1	91 个	27 个	11 个
方案 2	81 个	25 个	10 个
无带内回程(传统小区)	68 个	23 个	10 个

在不同的业务量密度下,覆盖 100 km^2 的特定区域需要的基站或中继数量见表 3。

从表 3 可以看出,中继方案 1 和中继方案 2(带内回程网络)更适合农村或业务量密度较低的区域,接入点数量也与传统小区相近。在市区/城镇,中继方案 1 和中继方案 2 对基站数量的要求比传统小区多,成本和切换开销也会相应地增多,但是中继方案 2 对基站需求的数量比中继方案 1 少,这说明多跳回程网络中的空分多址技术是节省无线网络资源的有效方法。空分多址技术可以显著提高天线增益,使得功率控制更加合理、有效,从而提升系统容量。在农村或半乡村地区,空分多址技术的作用不明显,中继方案 2 甚至和传统小区需要的基站数量相同。

4 结束语

本文以 OFDM 非竞争的频带内多跳系统为研究对象,分析了两个中继方案的多跳回程网络和接入网络的资源分配方案。仿真表明,如果接入网络的信道状态比回程网络更差,则接入网络将随着小区半径的增加而占有更多资源。如果回程网络与接入网络有类似的信道状态,则随着小区半径的增加,接入网络会占用更多资源,但是到达峰值后其占用的资源将随着小区半径的增加而持续减少。

多跳回程网络应用空分多址技术将节省无线网络资源,并通过中继可以覆盖更大的区域,该技术在城市地区比在农村地区更有效。研究表明,带内中继更适合低业务量密度的区域。

参考文献

- 1 吕海坤,黎海涛,齐双等.多小区 WiMAX 资源分配研究.信号处理,2014,30(6): 712~717
Lv H K, Li H T, Qi S, *et al.* Research on resource allocation for multi-cell WiMAX network. Journal of Signal Processing, 2014,

- 30(6): 712~717
- 2 刘经平,张国,李衡. LTE 资源分配类型研究. 邮电设计技术, 2013(12): 34~37
Liu J P, Zhang G, Li H. Research on resource allocation type in LTE system. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2013(12): 34~37
- 3 郎为民,焦巧. 高速分组接入演进(HSPA+)技术研究. 数据通信, 2011(2): 14~17
Lang W M, Jiao Q. Research on high speed packet access (HSPA+) technology evolution. Data Communication, 2011(2): 14~17
- 4 杨阳,廖学文,高贞贞等. 多小区终端直通异构网络中利用图论的资源分配方案. 西安交通大学学报, 2014, 48(10): 22~28
Yang Y, Liao X W, Gao Z Z, *et al.* A resource allocation scheme using graph theory for D2D communication in multi-cell heterogeneous cellular networks. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2014, 48(10): 22~28
- 5 邓卉,王有政,陆建华. 基于博弈论的 OFDMA 系统多小区资源分配算法. 清华大学学报(自然科学版), 2010, 50(1): 156~160
Deng H, Wang Y Z, Lu J H. Resource allocation based on game theory for multi-cell OFDMA systems. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2010, 50(1): 156~160
- 6 许娟雄,刘伊莎,唐伦等. LTE-Advanced 异构网络中负载均衡研究进展及展望. 电信科学, 2014(10): 116~128
Xu J X, Liu Y S, Tang L, *et al.* Survey on research progress of load balancing in LTE-advanced heterogeneous network. Telecommunications Science, 2014(10): 116~128
- 7 宋磊,彭木根,张洪岩等. LTE-Advanced 异构自动邻区关系研究. 移动通信, 2013(12): 71~76
Song L, Peng M G, Zhang H Y, *et al.* Research on automatic neighbor relation for LTE-advanced heterogeneous system. Mobile Communications, 2013(12): 71~76
- 8 Irmer R, Diehm F. On coverage and capacity of relaying in LTE-advanced in example deployments. Proceedings of IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Cannes, France, 2008
(2015047~6 接排在 2015037~6 后)