

基于载干比最优的 OFDMA 切换算法的研究

王卫东,张英海,张 恒,赵 晶,王首峰

(北京邮电大学信息与电子技术研究室,北京 100876)

摘 要: 正交频分多址接入 (OFDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 已经成为 3G 演进策略 (LTE, Long Term Evolution) 及 4G 技术的主要多址接入方式. 本文研究了现有的 OFDMA 的切换算法, 分析了其存在的不足之处. 本文针对 OFDMA 多址技术特点, 提出新型的 OFDMA 切换算法 (SBA, Sub-carriers Bidirectional Arrayed handover). 并通过仿真验证新型切换算法的性能. 仿真结果表明, 新型 OFDMA 切换算法保证了用户在切换过程中的信道质量 (CIR, Carrier-Interference Ratio), 减少了切换信道的数目, 从而提高了 OFDMA 系统性能.

关键词: OFDMA; SBA 切换; 子载波; CIR; 同址干扰

中图分类号: TN929.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 01-0213-05

Study on the Handover Algorithm Based on Carrier-interference Ratio Optimization in OFDMA System

WANG Wei-dong, ZHANG Ying-hai, ZHANG Heng, ZHAO Jing, WANG Shou-feng

(Information & Electronics Technology Laboratory, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access) has already been the main multiple access technology for 3G long term evolution (LTE) and 4G. This paper research present OFDMA handover algorithms, and analyses the disadvantages. This paper considers OFDMA multiple access technology characteristic, and puts forward new OFDMA handover algorithm (SBA, Sub-carriers Bidirectional Arrayed handover). By simulating, the results validate the performance of new handover algorithm. As the results prove, during handover process, new OFDMA handover algorithm guarantees users' channel quality (CIR, Carrier-Interference Ratio), reduces the amount of occupied handover sub-carriers, and improves OFDMA system performance.

Key words: OFDMA; SBA handover; Sub-carrier; CIR; Co-channel interference

1 引言

正交频分多址接入 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 是基于正交频分复用 OFDM 发展起来的一种支持多用户接入的多址技术. 它是以 OFDM 调制为基础, 通过给每个用户分配一定数量的子载波来实现多用户接入. OFDMA 子载波之间保持相互正交, 具有很高的频谱利用率, 而且可以有效地对抗多径干扰, 它是 3G 后期演进 (LTE, Long Term Evolution) 和 IEEE 802.16d、IEEE 802.16e 标准的核心技术, 也是未来 4G 研究的核心技术之一^[1~4].

目前, OFDMA 的切换算法主要是硬切换 (HHO, Hard Handover). IEEE 802.16e 在采用硬切换策略的同时, 提出了两种其它的切换方法^[4,6], FBSS (Fast Base Station Switching) 和 MDHO (Macro Diversity Handover) 方式: FBSS 是基站间快速选择切换算法, UE (User Equipment)

先和目标基站完成连接, 然后再和当前基站断开连接. 它和软切换的区别是: 在切换过程中, UE 虽然和激活集里所有的候选基站进行同步, 但它只和一个中心基站 (Anchor Base Station) 进行通信. 即是 UE 只保持和一个基站的业务连接, 而和其它基站保持信令连接. MDHO 是宏分集切换, 即软切换. UE 先和目标基站完成连接, 再和当前基站断开连接. 在切换过程中, UE 要和激活集里所有的候选基站进行通信和同步, 这些候选基站都叫做中心基站. 和 CDMA 系统软切换不同的是: MDHO 是服务基站和目标基站之间 UE 的多条子载波间的切换, 而 CDMA (Code Division Multiple Access) 系统软切换发生在同频切换过程, 用户的载波只有一个. 可以看出, 在 MDHO 宏分集切换过程中, UE 同时保持和原基站、目标基站子载波业务连接, 浪费了系统资源, 并且增大了 OFDMA 系统内同信道干扰 (CCI, Co-Channel Interference)^[5].

为了减少相同子载波间的信道干扰,文献[5]提出 SOHO(Sub-carrier Oriented Handover)切换算法,其主体思路类似于选择性合并的软切换.但是,由于 SOHO 算法逐一对比 CH_A 和 CH_B 子载波 RSS,这样会导致 CH_A 一些 RSS 大的子载波没有被利用(CH_B 相应位置的子载波 RSS 比 CH_A 的 RSS 值更大),而 CH_A 中 RSS 小的子载波也有可能被利用(CH_B 相应位置的子载波 RSS 比 CH_A 的 RSS 更小).因此,UE 切换的过程中子载波的 RSS 不是最好的.由于 OFDMA 系统的同信道干扰(CCI),UE 的信道情况不仅和其信道的 RSS 有关,还和其它小区相同子载波(同频点)的复用情况有关.即使 UE 选择到 RSS 最好的 N 条子载波,其信道情况也不一定最佳.基于上述分析本文提出了一种新型的 SBA 切换算法(Sub-carriers Bidirectional Arrayed handover),以克服现有 OFDMA 切换算法的不足.

2 新型 OFDMA 切换算法(SBA 切换算法)

OFDMA 是以 OFDM 为基础,利用子载波正交性的多址接入.在用户移动速率不高、信道条件比较理想的情况下,各个子载波间能够保持完善的正交性,接收端误码率较低.因而较好地解决了小区内使用的载波间干扰问题.但对于频率复用引起的同频干扰问题仍然存在,即 OFDMA 系统同频干扰 CCI.在本文中,提出了一种新的切换算法(SBA,Sub-carriers Bidirectional Arrayed handover).该算法利用各个子载波的不同信道状况信息,通过动态选择的方法,能够使用户在切换过程中保持最佳的子载波连接.

考虑到 CCI 的影响,子载波的 CIR 相对于子载波信号强度 RSS 在表征子载波信号质量上更具有说服力.并且,子载波 CIR 的值是通过一段时间多个测量值取平均后的结果,当这段时间内的平均值低于系统规定的切换门限时,系统发起切换.减小了由于信道瞬时变化引起不必要切换的概率,避免了基站的频繁切换引起的乒乓效应.切换发起后,原服务小区的 N 条子载

波按 CIR 大小依次(升序/降序)排列,目标小区分配给用户的 N 条子载波按其 CIR 大小依次排列(降序/升序),两个排列的对应位置子载波 CIR 分别进行比较, CIR 值大的这个子载波与用户相连,另一个子载波则断开连接.

具体过程如下.参照 SBA 切换算法示意图(图 1),切换过程中,移动台与原基站保持 N 条子载波 $\{SCa1, SCa2, \dots, SCaN\}$ 的连接,对应 $CIRa = \{Sa1, Sa2, \dots, SaN\}$;目标基站按照用户当前信道情况,选取 CIR 最优的 N 个信道作为切换目标子载波,对应 CIR 为 $CIRb = \{Sb1, Sb2, \dots, SbN\}$;由于切换过程用户连接比较脆弱, SBA 切换算法目标为了保证用户在切换过程中信道条件最优,首先将原基站的子载波 CIR 按降序排列,目标基站子载波按升序排列,得到 $CIRa = \{Sn | \text{sir level up}, n \in N\}$, $CIRb = \{Sn | \text{sir level down}, n \in N\}$;然后将 $CIRa$ 和 $CIRb$ 进行比较,选出 CIR 最优的 N 个子载波作为移动台的连接子载波 $CIR = \{CIRa1, CIRa2, \dots, CIRak, CIRb(k+1), CIRb(k+2), \dots, CIRbN\}$,其中,子载波 $1 \sim K$ 是目标子载波降序排列中前 K 个最优子载波,同理, $K+1 \sim N$ 是原子载波升序排列中后 $N-K$ 个最优子载波;因此,切换过程中,保持了移动台与最优的 N 个子载波进行连接,即有最佳的信道状况.

由于切换过程中,移动台运动方向随时变化,而且原基站和目标基站的子载波状况不定,切换过程不可能由一次子载波选择完成.因此, SBA 切换算法在切换过程中,将进行多次子载波切换,直到移动台离开原基站并与目标基站子载波全部连接时,切换过程结束.这样,在切换过程中,利用了信道条件最好子载波保证了移动台在切换过程中得到的最优服务质量.

本算法的最大特点是用户在切换过程中始终连接的是 CIR 值最大的 N 条子载波,剩余的 N 条子载波的 CIR 值都小于此 N 条子载波.相比于 HHO 和 FBSS 不作区分地一次选择目标小区子载波完成切换, SBA 算法将选用目标小区子载波进行切换变为一个选择过程.并且,在切换发起的时候,以一段时间内的 CIR 的平均值与切换门限相比较.因此 SBA 算法更好地避免乒乓效应的同时,使目标小区子载波和服务小区子载波发挥更高的效用.

且,在切换发起的时候,以一段时间内的 CIR 的平均值与切换门限相比较.因此 SBA 算法更好地避免乒乓效应的同时,使目标小区子载波和服务小区子载波发挥更高的效用.

3 新的 OFDMA 切换算法分析

3.1 信道模型

在移动通信系统中,基站与移动台之间的传输路径非常复杂.移动环境对于无线链路的影响

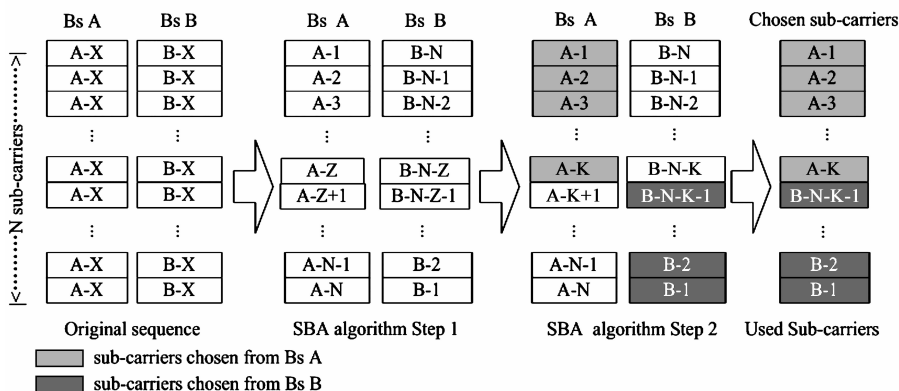


图1 SBA新型切换算法

响主要包括三部分:路径传输损耗、慢衰落(阴影衰落)、快衰落(考虑多径时延,衰落模型为瑞利衰落).在 OFDMA 系统中,用户被分配给一定数量的子载波来承载业务,用户之间以及用户的子载波之间快衰落是相互独立的.假设每个用户被分配了 N 个子载波,对于某一用户 i ,从基站 A 向基站 B 移动,用户 i 与基站 A 的距离为 D_i ,与基站 B 的距离为 d_i ,那么用户 i 的 N 条子载波与基站 A、B 间的链路增益 $G_{A,n}(D_i)$ 、 $G_{B,n}(d_i)$ 可以用式(1)表示:

$$G_{A,n}(D_i) = -K\lg(D_i) + S_A(D_i) + F_{A,n}(D_i) \quad (1)$$

$$G_{B,n}(d_i) = -K\lg(d_i) + S_B(d_i) + F_{B,n}(d_i) \quad (2)$$

其中 $n=1,2,3,\cdots,N$. K 表示路径损耗指数, $S_A(d_i)$ 、 $S_B(d_i)$ 表示用户 i 和基站 A、B 的间的阴影衰落, $F_{A,n}(D_i)$ 、 $F_{B,n}(d_i)$ 表示由于多径时延引起的用户 i 的 N 条子载波的快衰落.

对于用户 i 接收到的总功率

$$P_{\text{total}} = P_{\text{own}} + P_{\text{interfere}} + P_{\text{Noise}} \quad (3)$$

P_{own} 表示用户接收到服务基站的信号功率; $P_{\text{interfere}}$ 表示其它基站下行发射功率对用户 i 的干扰,只有其它基站复用了用户 i 的子载波,才会对其产生干扰; P_{Noise} 表示高斯白噪声.在 OFDMA 系统中, $P_{\text{interfere}}$ 主要是相同子载波间的干扰(同信道干扰 CCI),不同的子载波,由于其相互间的正交性,干扰较小.因此,对于用户 i 的第 n 条子载波,其 CIR 可以表示为:

$$CIR = \frac{P_{\text{own}}}{P_{\text{interfere}} + P_{\text{Noise}}} = \frac{P_h G_h}{\sum_{j \neq h} P_j G_j + P_{\text{Noise}}} \quad (4)$$

P_h 表示服务基站为用户 i 的第 n 条子载波分配的功率; P_j 表示当其它基站使用与用户 i 的第 n 条子载波相同子载波时,分配的发射功率. G_h 表示用户 i 的第 n 条子载波和服务基站间的链路增益; G_j 表示用户 i 的第 n 条子载波和其它基站间的链路增益.

3.2 仿真设计

文献[5]提出 SOHO 切换算法已与 802.16e 协议中提出的 HHO、FBSS 和 MDHO 进行性能的比较,并体现其优势.因此本文将仅与文献[5]中提出的 SOHO 切换算法进行对比.仿真采用 3 小区簇结构,小区簇中的小区各拥有资源总数的 1/3.传播损耗采用奥村-哈塔模型,参数如下:

- 工作频率:1400MHz;
 - 基站天线高度:40m;
 - 移动台天线高度:1.5m;
 - 移动天线的校正因子:中小城市移动天线校正因子;
 - 地形环境修正系数:市区修正系数.
- 如图 2 所示,仿真在进行干扰分析时,仅考虑临近

6 个同频小区所产生的干扰,而不考虑其他同频小区的干扰.即图中心的小区所受的同频干扰等于相邻六个同频小区所产生干扰的叠加.

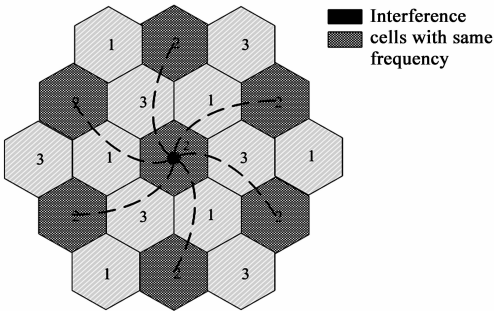


图2 OFDMA小区结构图

仿真假设,OFDM 子载波信道严格限带,且间隔等于子载波带宽的 1/2.系统可以根据子载波的 CIR 状况改变调制方式.仿真的其他参数设计如表 1.

表 1 仿真主要参数

参数名称	设定值
子载波总数	64 × 3
工作频段(MHz)	1399 ~ 1401
子载波间隔(kHz)	15.625
调制方式	BPSK/QPSK/16QAM 自适应调制
每个用户所需的子载波数	8
相邻基站间距离(km)	3
仿真区域内的小区数	36
用户平均移动速率(m/s)	20
阴影衰落标准差(dB)	8

3.3 仿真结果分析

我们对上述提出的 SBA 切换算法及与其对比的算法(SOHO 切换算法)进行仿真,并将两种算法的仿真结果进行比较.

图 3 是采用两种切换算法(SOHO 切换算法和 SBA 切换算法)的切换用户子载波 CIR 值分布的对比情况.仿真结果显示,采用 SBA 切换算法的用户的信道质量优于原有的 SOHO 切换算法的用户信道质量(如图 3,平均高出 1dB).由此,采用 SBA 切换算法的用户信道质量在切换过程中得到了更好保证.

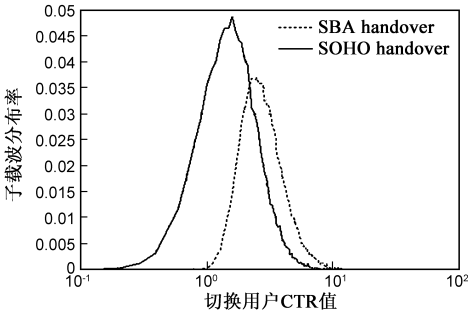


图3 切换用户子载波CIR值分布情况

图 4 表示了 OFDMA 系统的信道利用率(OFDMA 系统子载波被占用的比例)和用户平均 CIR 值之间的关系,图 4 中可以看出,随着信道利用率的增加,OFDMA 系统内同信道干扰增加,导致系统的平均 CIR 值下降(从 11dB 左右下降到 2dB).采用 SBA 切换算法,由于用户在切换的过程中的信道质量得到了保证,信道利用率在 0.1~1 变化,整个 OFDMA 系统的用户平均 CIR 都比 SOHO 切换算法的平均 CIR 值要高.

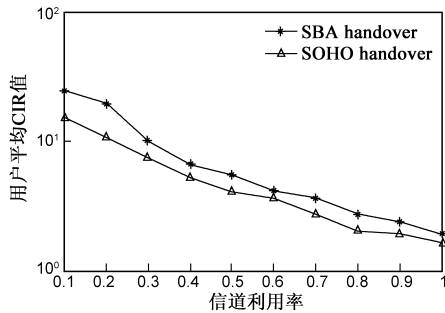


图4 不同信道利用率下的系统平均CIR值

图 5 表示 OFDMA 系统满负荷的条件下,子载波采用调制方式的百分比.由于新算法保证了切换用户子载波的信道质量,从而信道质量好的子载波可以采用较高的调制编码方式.所以 SBA 算法的引入使得系统中采用 QPSK、16QAM 调制方式的用户所占比例均比 SOHO 算法要高,仿真结果显示分别高出 2.5%、7.5%.

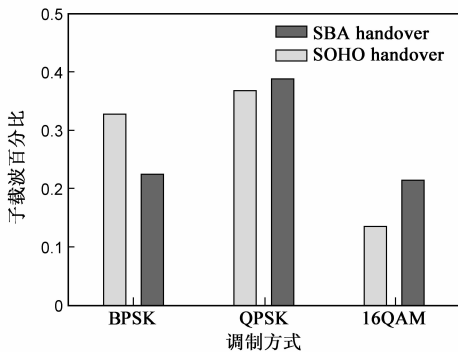


图5 不同子载波使用调制方式百分比对比图

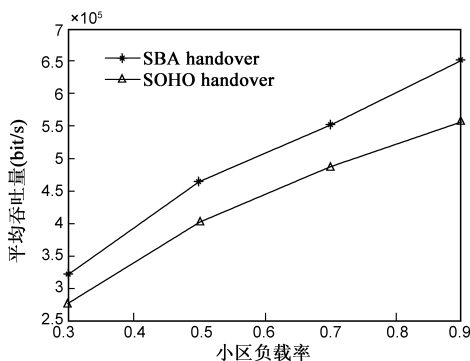


图6 OFDMA系统平均吞吐量vs.小区负载率

图 6 表示 OFDMA 系统小区的平均吞吐量随小区负载率的变化关系.从图 6 可以看出,随着小区负载率(用户数目)的增加,OFDMA 平均吞吐量相应提高.在一定负载率的情况下,采用 SBA 切换算法的 OFDMA 系统比采用 SOHO 切换算法的 OFDMA 系统获得更大的吞吐量.其原因就在于新算法保证了切换用户子载波的信道质量,使得信道质量好的子载波可以采用较高的调制编码方式.

4 结论

综上所述,SBA 算法采用更好表征信号质量的 CIR 作为选择标准,同时由于其采用先进行升序/降序(降序/升序)排队,再将对应位置子载波 CIR 比较的方法.因而 SBA 算法减少了 CIR 值比较次数的同时,避免了 SOHO 算法中存在的较好子载波未被选用的缺点.由此 SBA 算法切换过程中用户的通信质量得到了更好保证.由于该算法选择的是信道情况最好的 N 条子载波,传输速率得到了提高,增大了用户的吞吐量;而且比前述 SOHO 算法占用的切换子载波数目减少一半,减少了切换对系统资源的额外占用.同时,减少了 OFDMA 系统内的信道同址(CCI)干扰,保证了切换用户的通信质量 QoS(Quality of Service).从而也使整个系统的吞吐量随之得到了提高,优化了整个 OFDMA 系统的性能.

参考文献:

- [1] Liu Guangyi, Zhang Jianhua, Zhang Ping. Further vision on TD-SCDMA evolution[J]. IEEE Communication Magazine, 2005, (1): 143 - 147.
- [2] Bang Chul Jung, Dan Keun Sung. Random FH-OFDMA system based on statistical multiplexing[A]. Proceedings of Vehicular Technology Conference 2005 [C]. IEEE VTC Spring, 2005, Volume 3, 1793 - 1797.
- [3] James Gross, Hans-Florian Geerdes, Holger Karl, dam Wolisz. Performance analysis of dynamic ofdma systems with inband signaling[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(3): 427 - 436.
- [4] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1 [S]. IEEE Std 802. 16e-2005, 2005.
- [5] Hano Wang, Choong Chae Woo, Daesik Hong. A new sub carrier oriented handover scheme in downlink OFDMA cellular systems[A]. Proceedings of the IEEE 62nd Vehicular Technology Conference[C]. IEEE Press, 2005. 1618 - 1622.
- [6] Doo Hwan Lee, Kyandoghere Kyamakya, Jean Paul Umundi.

Fast handover algorithm for IEEE 802.16e broadband wireless access system[A]. Proceedings of the 1st International Sympo-

sium on Wireless Pervasive Computing[C]. IEEE Press, 2006. 1-6.

作者简介:



王卫东 男, 1967 年 3 月出生. 1997 年获得北京科技大学工学硕士学位. 2002 年毕业于北京邮电大学, 获得工学博士学位. 现为北京邮电大学副教授, 北京邮电大学信息与电子技术研究室副主任. 主要从事移动网络和技术、宽带无线接入技术、无线资源管理等方面的研究工作.

E-mail: wwdbupt@263.net



张英海 男, 1951 年 3 月出生. 1981 年获得北京邮电大学工学硕士学位, 2007 年 6 月获得北京邮电大学工学博士学位. 现为北京邮电大学副校长、教授, 北京通信信息协会副理事长, 北京邮电大学校学术委员会常委, 北京邮电大学信息与电子技术研究室主任. 主要从事无线通信及电子工程技术、无线资源管理等方面的研究工作.

E-mail: yhzhang@bupt.edu.cn