

文章编号:1007-2861(2008)06-0564-04

宽带无线接入系统的上行定时算法改进

郑祥, 陈健, 金彦亮

(上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072)

摘要: 对基于 IEEE 802.16e-OFDMA 的宽带无线接入系统的上行定时算法进行改进. 该算法采用了测距信号的时域叠加方法, 增强其在频域的信噪比, 提高在低信噪比情况下用户接入和时延估计的性能. 仿真结果表明, 在信噪比较低的情况下, 该算法相对于原有算法在用户检测性能和时延估计性能方面均有改善, 提高了小区边缘用户的上行随机接入性能.

关键词: 宽带无线接入系统; 随机接入信道; 测距

中图分类号: TN 911 **文献标志码:** A

Improved Algorithm for Uplink Timing in Broadband Wireless Access Systems

ZHENG Xiang, CHEN Jian, JIN Yan-liang

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: An improved algorithm of random access channel (RACH) in broadband wireless access systems based on IEEE 802.16e-OFDMA is proposed. By combining the ranging signal in the time domain, the algorithm enhances the SNR of correlation in the frequency domain, and is more robust in the ranging user detection and delay estimation at low SNR. Simulation results show that the proposed algorithm improves the performance of ranging user detection and delay estimation at low SNR, and enhances the performance of edge users.

Key words: broadband wireless access system; random access channel(RACH); ranging

在下一代移动通信中, 移动性和宽带化成为目前通信技术发展的主旋律. OFDMA 技术作为下一代移动通信的关键技术, 已得到越来越多的关注. 2006年通过的 WiMAX 新标准 IEEE 802.16e-2005 就将 OFDMA 作为其物理层标准之一. 采用 OFDMA 系统有利于无线资源的分配, 提高频谱利用率, 适应于各种不同的业务需要.

随机接入包括了初始接入、接入跟踪、带宽请求这些重要的功能, 而这些功能能否很好地实现将会

直接影响到用户的体验感受. 基站如何鲁棒地检测和接收用户终端的初始接入信号, 对于用户终端更快地进入网络或者切换到新的服务区域有着重要的意义.

1 IEEE 802.16e-OFDMA 系统上行随机接入

在正交频分复用接入系统中(如 IEEE 802.16e), 由于各移动用户在小区的位置是随机的, 基

站接收到的各个上行用户的定时将受往返时延的影响,路径损耗也不一样.用户和基站之间存在着载波频率偏差,这些参数的调整都需要在上行随机接入时作同步调整.上行随机接入除了要使用户接入网络,还要估计出不同用户到达基站的时延,因此上行随机接入又可称为测距过程.测距过程包括初始测距(用户终端第一次和系统同步)和周期测距.我们主要研究初始测距中基站对多个初始用户接入过程中的检测和时延估计.

在 IEEE 802.16e 标准^[1]中具体定义了测距信号和测距信道,其中测距信号采用 PN 码,利用其较好的自相关性来进行检测.文献[2]提出将测距信道划分为多个组,其测距信号采用正交的参考信号,但由于其要求子信道必须是连续的,因此不适合交织的 OFDMA 系统.文献[3]采用了一种新的测距信号,利用循环前缀进行用户延时估计,可较好地克服多用户之间的干扰和多径信道的影响,但对于接收信噪比较小的情况下,性能不佳.文献[4]在测距信号结构中额外增加一个共同的测距信号用来进行相移估计和补偿,能够较好地支持多个用户的检测和延时估计,但是其频谱利用率低.

为了支持交织的 OFDMA 上行多用户系统,文献[5-6]中提出了既基于时域又基于频域的用户码检测方法,该算法在低信噪比下检测性能不佳.根据上述情况,我们提出改进的时频域检测方法,来提高低信噪比下测距用户的检测和时延估计性能.

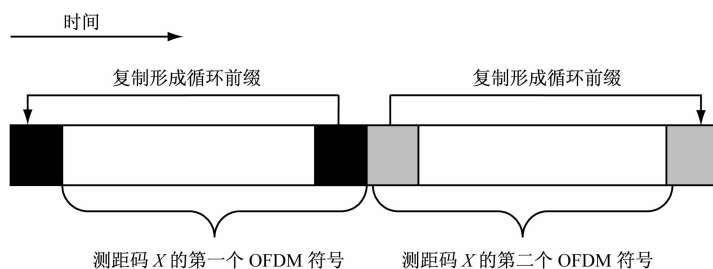


图2 基于 OFDMA 的 IEEE 802.16e 测距信号结构

Fig.2 Ranging symbol structure for IEEE 802.16e-OFDMA

2.2 测距信号时频域检测定时算法

测距信号采用的伪随机码之间的互相关性较弱.利用这一特性可以使接收到的测距信号与本地的参考测距信号进行互相关运算,通过检测互相关峰值来对用户的时延进行估计.本研究提出一种测距信号时频域检测定时算法.该算法首先应用滑动

2 IEEE 802.16e-OFDMA 系统上行定时改进算法

2.1 IEEE 802.16e-OFDMA 系统测距信号结构^[1]

如图1所示,在 IEEE 802.16e-OFDMA 系统中,测距信号由伪随机码经过 BPSK 调制,通过串并变换映射到系统规定的测距子载波上,经过 IFFT 变换,再经过并串变换,加上循环前缀和后缀来构成.伪随机码使用的生成多项式是 $1 + x^4 + x^7 + x^{15}$,截取长度为 144 的伪随机码作为测距码.

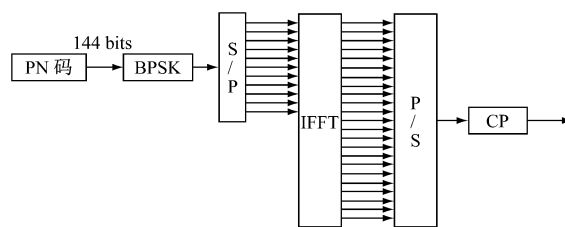


图1 IEEE 802.16e 测距信号子载波映射

Fig.1 Sub carrier allocation of IEEE 802.16e-OFDMA ranging signal

初始测距信号由 2 个相同的 OFDM 符号组成.为了保证 2 个 OFDM 符号的相位连续以实现测距用户的频偏估计,需要加入循环前缀和后缀.具体实现方法见图2,先将 2 个 OFDM 符号级联,将测距码 X 的第一个 OFDM 符号后面一部分复制加到前面形成循环前缀,同理将测距码 X 的第二个 OFDM 符号的前面一部分复制加到后面,形成循环后缀.这 2 个添加了前后缀的级联的 OFDM 符号构成测距信号.

自相关算法得出测距信号接收窗的位置.然后利用测距信号中 2 个符号的连续结构,在时域接收窗上将 2 个符号进行叠加.在通过 FFT 之后,可以增大频域上互相关的峰值,从而达到提高信噪比的目的.

2.2.1 滑动自相关算法

各移动用户发送的测距信号在基站叠加,同时

在上行链路中还有数据帧传送,因此基站接收到的是测距信号和数据帧的合成信号.可以采用滑动自相关算法,对于测距信号的位置进行确定.

假设接收到的数据为 $d(n)$,采用滑动相关算法

$$r(m) = \left| \sum_{k=m}^{m+N_d-1} d(k) \times d(N_d+k) \right|, \quad (1)$$

式中, $r(m)$ 是相关结果, N_d 是相关窗的长度, $m=1, 2, 3, \dots$ 如果 $d(n)$ 中有 1 个测距信号, 其时域信号包含 2 个连续符号, 由伪随机码的自相关性会产生峰值. 如果 $d(n)$ 中有多个测距信号, 那么产生的峰值将会叠加, 通过设定合适的门限可得到测距信号的位置. 具体测距码的检测和时延估计将在下述算法中实现.

2.2.2 测距信号频域检测和时延估计算法

假定 OFDMA 系统有 N_d 个子载波, 初始测距码的时域信号包含 2 个连续符号, 而且第一个符号添加前缀, 第二个符号添加后缀, 前缀和后缀的长度为 N_g , 记第 p 个测距用户发送的时域测距信号为 $x_p = [x_p(0), \dots, x_p(2N_d + 2N_{g-1})]^T$, 有 $x_p(n) = x_p(n + N_d)$.

由于每个用户离开基站的位置不同, 测距信号到达的时延不同. 假设 $x(n)$ 是多个时域测距信号的叠加, 最大的时延差不超过 $2N_g$, 仍有 $x(n) = x(n + N_d)$. 通过信道后, $y = \sum_i x \otimes h_i + \eta$, 其中 \otimes 代表卷积, h_i 为第 i 径的信道响应, η 为高斯白噪声. 如图 3 所示, 根据上述测距信号定时算法, 记接收窗里信号为 $y = [y(0), \dots, y(2N_d - 1)]$, 其中 $y_1 = [y(0), \dots, y(N_d - 1)]$, $y_2 = [y(N_d), \dots, y(2N_d - 1)]$. 可以看出 y_1 和 y_2 都包含有用户测距的信息.

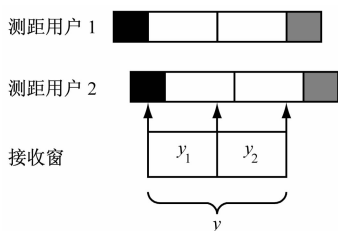


图 3 测距信号和上行数据

Fig. 3 Ranging symbol and uplink data

考虑单个测距用户, 假定 $x_{Dp}(n) = x_{Dp}(n - n_0)$ 为第 p 个用户测距码时域样值的循环移位, 时延单位为 n_0 个采样点, 则 $y_1 = \sum_i x_{Dp} \otimes h_i + \eta$.

记 $Y_1(k) = \text{FFT}(y_1(n))$, $X_{Dp}(k) =$

$\text{FFT}(x_{Dp}(n)) = X_p(k) e^{-j2\pi kn_0/N_d}$, $X_m(k)$ 为参考测距码的频域样值. 在频域上对 $Y_1(k)$ 和 $X_m(k)$ 作互相关得

$$R_m(t_0) = \left| \sum_{k=0}^{N_d-1} Y_{Dp}(k) X_m(k) e^{j2\pi kt_0/N_d} \right| = \left| \sum_{k=0}^{N_d-1} (X_{Dp}(k) X_m(k) H(k) e^{j2\pi kt_0/N_d} + \eta(k) X_m(k) e^{j2\pi kt_0/N_d}) \right|, \quad (2)$$

式中, R_m 为互相关值, η 为高斯白噪声. 当 $X_p(k)$ 和 $X_m(k)$ 是相同的测距码, 且 $t_0 = n_0$ 时, R_m 得到峰值.

由于多径的影响, 相关信号会出现一系列的峰值, 这就需要设置一个合适的门限来确定合理的测距码. 判决门限为

$$T = \gamma \times \frac{1}{N_g} \left(\sum_{t_0=0}^{N_g-1} R_m(t_0) \right). \quad (3)$$

由式(3)可以看出, 判决门限是由 N_g 个相关信号的绝对值求平均值得到, 不是一个固定的值, γ 是根据实际情况的修正因子, $\gamma \geq 1$, 这里设置 $\gamma = 2$.

由于 y_2 同样也含有测距信号, 因此可以将 y_1 和 y_2 在时域先作叠加, 再作 FFT 变换后进行检测, 这样可以提高频域互相关峰值的信噪比.

$$Y = \text{FFT}(y_1 + y_2) = \text{FFT}(y_1) + \text{FFT}(y_2) = Y_{Dp1} + Y_{Dp2} = X_{Dp} H_1 + X_{Dp} H_2 + \eta_1 + \eta_2 = X_{Dp} (H_1 + H_2) + \eta_1 + \eta_2, \quad (4)$$

$$C_m(t_0) = \left| \sum_{k=0}^{N_d-1} Y(k) X_m(k) \right| = \left| \sum_{k=0}^{N_d-1} (X_{Dp}(k) X_m(k) (H_1(k) + H_2(k)) e^{j2\pi kt_0/N_d} + (\eta_1(k) + \eta_2(k)) X_m(k) e^{j2\pi kt_0/N_d}) \right|, \quad (5)$$

则对应的定时估计值为

$$\hat{n}_0 = \arg \max_{t_0} (C_m(t_0)), \quad (6)$$

判决门限取

$$T' = \gamma \times \frac{1}{N_g} \left(\sum_{n_0=0}^{N_g-1} C_m(n_0) \right). \quad (7)$$

由上所述, 本算法首先利用滑动自相关算法确定测距信号的位置, 减少互相关运算量. 然后利用测距信号 2 个符号的连续结构, 对于时域接收窗上 2 个符号叠加后再作 FFT, 在频域上进行互相关运算, 这样能够较好地克服噪声对检测性能的影响, 同时也避免了其他用户数据的影响.

3 实验结果

选择如下系统参数进行性能仿真:总载波数目 N 为 512;信道带宽 B_w 为 5 MHz;采样频率 F_s 为 5.71 MHz;子载波间隔为 11.16 kHz;OFDM 的符号长度为 89.6 μs ;循环前缀为 1/8 符号长度,即 11.2 μs ;整个符号所占的时间为 100.8 μs .

假设一个上行帧数据长度为 10 个 OFDM 符号,最前面的 2 个 OFDM 符号为测距符号.信道模型采用 TU 信道,载波频率为 2 GHz,其中用户数据的信号功率比测距用户的高 12 dB.

由图 4 可以看出在信噪比 $-15 \sim -5$ dB,采用改进的算法后测距用户检测概率性能明显提高. -5 dB 以上由于噪声干扰减少,因此采用改进的算法和频域的算法的检测概率性能改变不大.

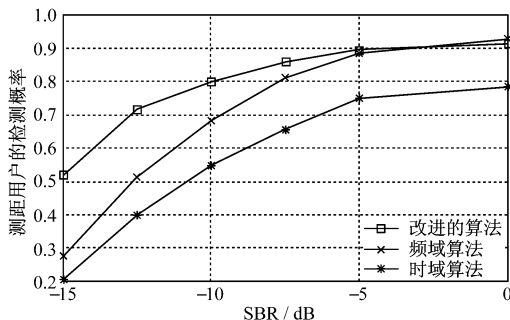


图 4 测距用户的检测概率

Fig.4 Probability of ranging user detection

图 5 是测距用户的时延估计均值.由于多径信道的影 响,测距用户的时延估计有误差,但只要在 CP 的范围内,仍然能保证上行各个用户子载波之间的正交性.可以看出在信噪比较低的情况下,改进后的算法对于测距用户时延估计的性能相对于另两种算法均有所提高.

4 结束语

本研究提出的改进算法利用 IEEE 802.16e 中测距信号中 2 个符号的连续结构,用时域叠加方法,增强其互相关值在频域的信噪比.仿真结果表明,本改进算法在信噪比较低的情况下,初始接入用户

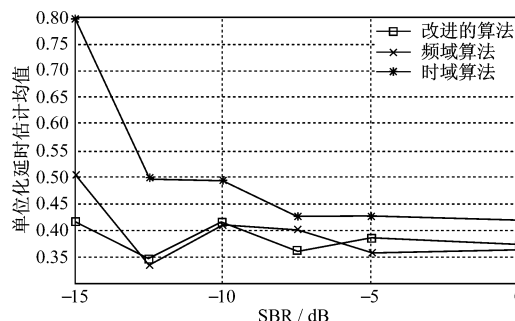


图 5 测距用户的时延估计均值

Fig.5 Mean estimation of ranging user delay

被检测出的性能有了较大的提高.对于小区边缘的用户,在发射功率较小的情况下,基站依然可以较大概率被检测出,从而使用户更好地初始接入,提高整个系统的性能.

参考文献:

- [1] IEEE Computer Society. IEEE 802.16e: Wireless MAN physical and MAC layers specifications [S]. 2005.
- [2] ZHUANG X Y, BAUM K, NANGIA V, et al. Ranging Improvement for 802.16e OFDMA PHY [EB/OL]. [2007-05-10]. www.ieee802.org.
- [3] FU X Y, LI Y H, HLAING M. A new ranging method for OFDMA systems [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(2): 659-669.
- [4] KIM K N, KIM S C, KIM J H, et al. The scheme to improve the performance of initial ranging symbol detection with common ranging code for OFDMA systems [C]// International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT'06), Gangwon-Do, Korea. 2006, 2:183-188.
- [5] ZHOU Y, ZHANG Z Y, ZHOU X W. OFDMA initial ranging for IEEE 802.16e based on time-domain and frequency-domain approaches [C]// International Conference on Communication Technology (ICCT'06), Guilin, China. 2006, 11:1-5.
- [6] MICHELE M. Timing and frequency synchronization for the uplink of an OFDMA system [J]. IEEE Transactions on Communications, 2004, 52(1):296-306.

(编辑:赵宇)