

一种 TDD-LTE 系统小区搜索过程的详细设计方案*

陈发堂, 滕旺

(重庆邮电大学通信与信息工程学院, 重庆 400065)

摘要: 小区搜索是 LTE 系统下行同步的重要过程,其算法性能的好坏将直接影响到后面的上下行通信。针对当前大多数文献采用的部分算法进行仿真,并分析了其性能及鲁棒性,对其中存在的不足和不完善的地方进行了一定的改进,并且给出了一种适用于 TDD-LTE 系统小区搜索过程的详细设计方案。仿真结果表明,该设计方案性能良好,具有一定的参考价值。

关键词: 长期演进; 小区搜索; 下行同步

中图分类号: TN915 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)05-1857-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.05.068

Detailed design proposal of cell search process in TDD-LTE system

CHEN Fa-tang, TENG Wang

(School of Communication & Information Engineering, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: The cell search is an important process of downlink synchronization in LTE system, the performance of its algorithm will directly influence to the next downlink communication. This article simulated some same algorithms of many papers, and analyzed its performance and robustness. Considering of the shortages, the article improved it and gave a detailed design proposal applicable to the cell search process in TDD-LTE system. The simulation results show that the performance of the design proposal is good, and it have value for reference.

Key words: long term evolution(LTE); cell search; downlink synchronous

在长期演进(LTE)系统中,小区搜索的主要目的是完成移动台对目标小区的下行同步以及小区号的获取过程,以便读取目标小区的相关配置参数信息。其中小区号 N_{ID} 由两部分组成:扇区号 $N_{ID}^{(2)}$ 和小区组号 $N_{ID}^{(1)}$ 。扇区号有 3 种,小区组号有 168 种,分别包含在 PSS 和 SSS 中。

由于下行采用的是基于 OFDM 的多址方式,因此设计的小区搜索算法必须具有较高的定时估计和频偏估计精度。更重要的是,所设计算法性能的好坏将影响到随后跟踪阶段定时同步和频率同步的保持。同时考虑到对于移动切换管理的备选小区搜索,算法还需要在低信噪比情况及多径信道下具有对抗多普勒频移的鲁棒性。总之,小区搜索过程中各个模块的算法性能应当具有很高的实用性。

小区搜索作为 LTE 中的关键过程,现有的对其研究的文献非常多,但是很多文献在设计算法时都存在不完善的地方,更多的文献只是对算法进行了简单的描述,并没有给出详细的设计流程。文献[1]中粗同步算法采用大多数文献都用到的常规基于 PSS 的互相关算法,该算法只有在频偏较低时性能才比较好,在频偏较大的情况下,其性能很差且错误率很高。基于 CP 的 ML 算法^[2]是小数倍频偏和定时同步联合估计的较好算法,文献[3]只是简单介绍 ML 算法的原理并对其进行仿真,并未将该算法运用于 LTE 的小区搜索过程中以及给出详细的应用方案。针对以上文献中不足的地方,本文提出了一种 TDD-LTE 系统小区搜索的详细流程设计方案并对每个模块都给出了可实现的算法。

1 PSS 和 SSS 的生成

LTE 的 TDD 模式中一个无线帧包含两个 5 ms 的半帧。主同步信号 PSS 由频域的 ZC 序列生成,具体生成式^[4]为

$$d_u(n) = \begin{cases} e^{-j\frac{\pi u n(n+1)}{63}} & n = 0, 1, \dots, 30 \\ e^{-j\frac{\pi u(n+1)(n+2)}{63}} & n = 31, 32, \dots, 61 \end{cases} \quad (1)$$

其中,根指数 μ 由扇区 ID 确定(表 1)。

表 1 扇区 ID 与根指数的对应关系

$N_{ID}^{(2)}$	root index μ
0	25
1	29
2	34

PSS 在时域上映射到特殊子帧 1 和 6 的第三个 OFDM 符号,频域上占中心频带的 1.08 MHz,如图 1 所示。

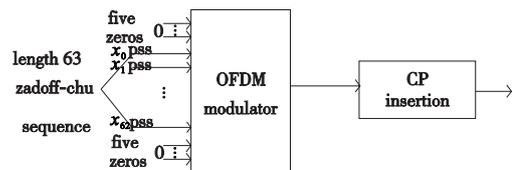


图1 PSS在频域上的位置

辅同步信号 SSS 由两个长度为 31 的二进制 M 序列交织形成,并且映射到子帧 0 和 5 的最后一个 OFDM 符号,占中心频带 1.08 MHz,如图 2 所示。

收稿日期: 2011-08-23; 修回日期: 2011-10-08 基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目(2009ZX03002-009)

作者简介:陈发堂(1965-),男,重庆人,副教授,硕士,主要研究方向为移动通信、TD-LTE、LTE 的物理层算法;滕旺(1989-),男,安徽人,硕士研究生,主要研究方向为 TD-LTE 物理层算法及控制(tengwang211@gmail.com)。

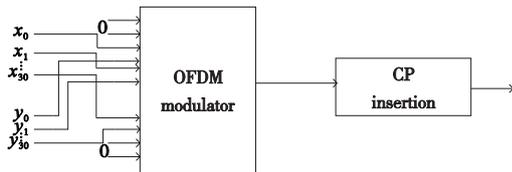


图2 SSS在频域上的位置

2 详细设计流程及其模块算法

小区搜索中的同步过程主要分为定时同步和频率同步。

首先,需要解决的问题就是定时同步。符号定时同步的目的就是找到一个完整 OFDM 符号的起始位置,从而进行正确的 FFT 解调,如果位置不正确,接收信号时会出现解调窗超前或者滞后的情况。其次,由于多普勒频移会造成发射机和接收机之间的各个子载波之间的频率同步误差,可能产生整数倍频偏和小数倍频偏。整数倍频偏将导致无法恢复传输数据;小数倍频偏会降低接收的有用信号的幅度,并破坏子载波之间的正交性,恶化系统性能。

2.1 定时精同步和小数倍频偏估计

第一步主要是确定 PSS 类型以及 PSS 所在符号的粗同步位置。常规算法采用基于 PSS 的互相关来得到结果,但该算法没有充分考虑到在频偏较大的情况下互相关峰值的位置会出现误判。本文提出利用基于 PSS 的差分互相关算法来得到结果。差分互相关算法在互相关的基础上引入了差分^[5,6]的概念,该算法在频偏较大的情况下能够较大幅度地正确估计 PSS 所在符号的大致位置,且相关峰值较为明显。为了减少互相关的运算量,将接收端的信号即本地的三组时域 PSS 信号进行 16 倍降采样,降采样后接收到的信号为 $r(n)$,本地的三组 PSS 时域信号为 $h_t(n), t=1,2,3$ 。分别将降采样后的本地信号与接收信号进行差分互相关:

$$r'(n) = r(n) \times r^*(n-1) \quad (2)$$

$$h'_t(n) = h_t(n) \times h_t^*(n-1) \quad (3)$$

差分互相关运算完成以后,再分别用三组本地信号与接收信号作互相关运算:

$$p_t(n) = \sum_{m=1}^{128} r'(n+m) \times h'^*(m) \quad t=1,2,3 \quad (4)$$

算法伪代码如下:

```

aa = length(r) //接收信号长度
bb = length(h) //本地信号长度
i = 1:aa
r'(i) = r(i) * (r*(i-1)); //差分相关
j = 1:bb
h'(j) = h(j) * (h*(i-1)); //差分相关
aa_1 = length(r');
bb_1 = length(h');
i = 1:(aa_1 - bb_1);
h = 1:(bb_1);
z(i) = z(i) + r'(h) * (h'*(i+h)); //共轭相乘
    
```

找到三组中峰值点最大的一组 $\max(p_t)$,从而确定 $N_{10}^{(2)}$,同时该峰值所在的位置即为粗同步位置。

从上面的运算式可以看出,该算法较常规算法的复杂度有一定的提高,但是估计粗同步位置距离正确定时点偏移很小,这样就极大地减小了接下来精同步过程的运算量。因此总的来说,该算法的复杂度并没有高于常规互相关算法。

2.2 定时精同步和小数倍频偏估计

第二步主要是进一步确定定时同步的精确位置,同时估计

出小数倍频偏。由于较大频偏的存在,将直接导致常规互相关算法性能的严重下降,而基于 CP 的 ML 算法却不受频偏的影响;一般文献中提出的基于 PSS 的小数倍频偏估计的算法虽然在估计小数倍频偏时性能很好,但当存在整数倍频偏时该算法不能有效估计出频偏大小。因此本文采用基于 CP 的 ML 算法来实现定时精同步和小数倍频偏的联合估计。

基于 CP 的 ML 算法原理主要如下:根据每个 OFDM 符号 CP 的数据重复特点,CP 用于减小符号间干扰,因此可以利用 CP 来做似然估计。本方案中根据粗同步位置估计的符号起始位置 cors_p ,在该起始位置前后 100 个采样点开始作 ML 算法的运算,算法伪代码如下:

```

k = cors_p; //粗同步位置
N = 2048;
T = 100;
i = -T:T //计算范围
m = 1:144 //CP 长度
p(i+1+N) += R(i+j+k) * (R*(i+j+k+N));
ga(i+1+T) += R(i+m+k) * (R*(i+m+k+N));
pi(i+1+T) += 0.5*(|R(i+m+k)|^2 + |R(i+m+k+N)|^2);
la(i+1+T) = |ga(i+1+T)/pi(i+1+T)|;
ga1(i+1+T) = -angle(ga(i+1+T))/(2*pi);
ML_pop = position(max(lamna)); //峰值位置
pinpian = ga1(ML_pop); //频偏
fine_position = ML_pop + k - 100;
    
```

由于精确的定时粗同步位置以及修改后的 ML 计算式,在该模块中运用基于 CP 的 ML 算法极大地减小了算法的复杂度,相对于以前的算法,极大地提高了运算速度,因此该算法适合运用在该流程中。

2.3 整数倍频偏估计

在定时同步的第二步中估计出了小数倍频偏和 PSS 符号的精同步位置,对该符号进行小数倍频偏补偿,并去 CP 后做 FFT 即得到 PSS 所在符号的完整 2048 点数据。CP 的长度可以根据不同长度 CP 的自相关值来确定,常规整数倍频偏估计算法是将该 2048 点变换到频域,在频域作基于 PSS 的滑动相关,根据相关峰值偏离原始点的距离即可估计出整数倍频偏的大小。本地的已知频域 PSS 信号与上面得到的 2048 点频域信号在中心频点附近作滑动相关,找相关峰值,相关公式如下:

$$q(n) = \sum_{i=1}^{62} h_{\text{pss}}(i) \times r_{\text{fft}}^*(i+n) \quad (5)$$

该过程可以在 SSS 的检测中联合估计来实现,由于 SSS 信号自身的特点,采用基于 SSS 的整数倍频偏估计算法不但提高了检测的效率,而且性能也比基于 PSS 的检测要好。

2.4 SSS 检测

整数倍频偏估计完成以后对接收信号进行整数倍频偏校正。通过仿真发现,在环境极其恶劣的多径信道下,定时精同步的位置可能会发生几个采样点的偏移,此时可以对频偏校正过的信号再次进行定时同步位置的估计以及残留频偏的估计^[7],以得到定时同步的准确位置。根据准确的 PSS 位置向前检测 SSS 信号,从而得出 $N_{10}^{(1)}$ 。

本文设计的详细小区搜索流程如图 3 所示。

3 仿真结果分析

根据以上的设计流程,在 MATLAB 环境中对不同的条件下进行了仿真,参数如表 2 所示。

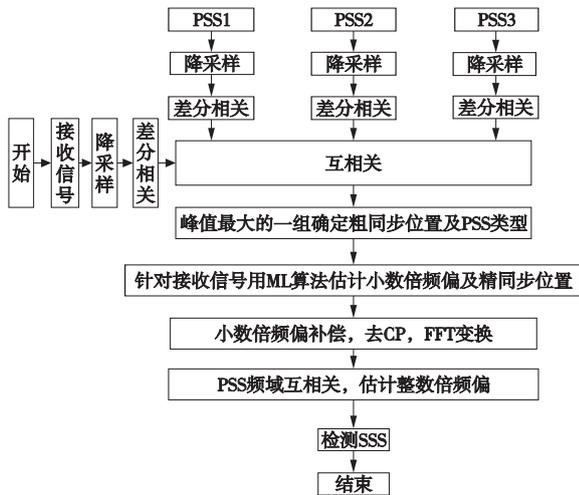


图3 本文设计流程

表2 主要仿真参数

名称	取值	名称	取值
下行资源块数	10	IFFT点数	2048点
每资源块载波数	12	信道模型1	EPA5HZ
子载波间隔	15 KHz	信道模型2	AWGN

图4~6表明本文提出的差分互相关算法在频偏较大的情况下,能有效对抗较大频偏对互相关运算的影响,性能较常规算法好。由于整数倍频偏的存在,旋转因子已经使得发送端的时域信号发生了严重的旋转,此时运用常规互相关算法在时域估计定时同步位置性能很差;而差分相关首先通过差分运算消除频偏的影响,使得每两个采样点之间的偏差很小,因为能够抵抗大频偏所带来的影响。

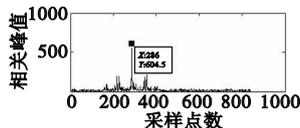


图4 归一化频偏=0.25, SNR=-5 (常规互相关)

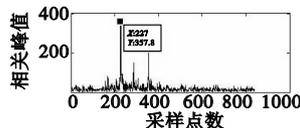


图5 归一化频偏=1.25, SNR=-5 (常规互相关)

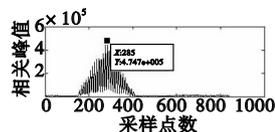


图6 归一化频偏=1.25,SNR=-5 (差分互相关)

图7表明不同频偏对定时同步位置的估计有很大影响,而

本文提出的算法在估计定时同步位置时性能较常规算法好。

图8表明在多径信道情况下,本文算法估计FFO的性能要比高斯白噪声信道情况下要低,这也说明了ML算法在恶劣信道环境下性能并不是很好,因此需要进一步改进,以提高算法对抗实际无线信道,这是下一步的研究方向。

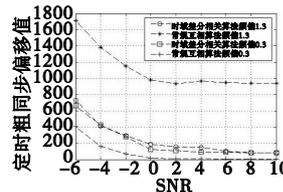


图7 不同频偏下粗同步性能

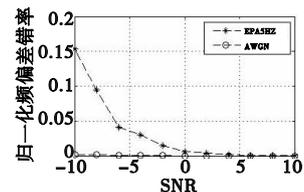


图8 不同信道下FFO估计差错率

4 结束语

本文给出了一种 TDD-LTE 系统中小区搜索过程的详细设计方案,同时对当前相关文献所提出的算法性能进行了分析比较,最后通过 MATLAB 对其进行仿真,并给出了仿真结果。本文提出的设计方案同样适用于 FDD 模式,对现在关于 LTE 小区搜索的研究有着较为重要的参考作用。

参考文献:

- [1] 盛渊,罗新明. LTE 中小小区搜索算法的研究[J]. 通信技术,2009, 42(3):90-92.
- [2] Van de BEEK J J, SANDELL M, BORJESSON P O. ML estimation of time and frequency offset in OFDM systems[J]. IEEE Trans on Signal Processing,1997,45(7):1800-1805.
- [3] 马双双,陈发堂. LTE 系统中小区搜索研究[J]. 广东通信技术, 2010,16(5):35-37.
- [4] 3GPP TS 36. 211 v9.0.0, Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) physical channels and modulation (Release 9) [S]. 2009.
- [5] 阙银行. 基于 IEEE 802. 16d 的 OFDM 系统中同步于信道估计技术的研究与实现[D]. 长沙:国防科技大学,2008.
- [6] LEE D U, KIM P, SUNG W. Robust frame synchronization for low signal-to-noise ratio channels using energy-corrected differential correlation[J]. EURAS-IP Journal on Wireless Communications and Networking,2009,34(5):46-53.
- [7] 陈发堂. 一种自动频率控制方法:中国,ZL200310110835.4[P]. 2003-10-11.