

基于 TD-LTE 系统的新型信噪比估计算法*

陈发堂, 姬莹莹, 梁涛涛

(重庆邮电大学 重庆市移动通信技术重点实验室, 重庆 400065)

摘要: 针对 TD-LTE 系统频域映射时域加噪的特性, 采用频域分离噪声的方法进行信噪比(SNR)估计, 并将经典的盲估计二阶四阶矩(M2M4)算法推广到适合 TD-LTE 系统中, 最后在 AWGN 和 EPA 信道模型下进行仿真。结果表明, 推广的 M2M4 算法可以应用于 TD-LTE 系统 AWGN 信道, 频域去噪算法不仅能够准确地估计 SNR, 而且可以适用于不同信道环境。该实现方法已应用于 LTE-TDD 无线综合测试仪表的开发中。

关键词: 长期演进; 参考信号; 信噪比估计; 二阶四阶矩估计

中图分类号: TP393.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)07-2607-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.056

Novel SNR estimation based on TD-LTE systems

CHEN Fa-tang, JI Ying-ying, LIANG Tao-tao

(Chongqing Key Laboratory of Mobile Communications, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Based on the character, mapping to resource elements in frequency domain and adding noise in time domain, in TD-LTE systems, this paper presented signal to noise ratio (SNR) estimation algorithm by using separating noise from received signal in frequency domain to estimate noise average power. What is more, non-data estimation M2M4 was extended to the systems of TD-LTE. Finally, simulation result shows that extended M2M4 algorithm can be used in AWGN channel model, and the novel algorithm not only has more accurately estimate SNR, but also can satisfy performance requirement under different channel environment. The method had been applied to LTE-TDD wireless integrated test instrument development.

Key words: LTE; SNR estimation; reference signal; M2M4

LTE(long term evolution)是一种具有高峰值速率、低时延、高频谱效率、广域覆盖以及支持用户高速移动等诸多优点的下一代移动通信技术,其实现的关键技术包括频分多址技术(OFDM)、多天线技术(MIMO)和自适应技术(AMC)。信噪比是衡量传输信道质量的标准之一,对于调制信号的识别、功率控制、自适应调制切换、动态信道分配、Turbo code 译码等有重要意义。

目前对 AWGN 信道下的信噪比估计算法的研究已经比较多,文献[1]对这些算法作了详细介绍。根据接收端是否已知发送端的信息情况可以分为两类,即基于数据辅助(DA)算法和非数据辅助(NDA)的盲估计算法。文献[2]分析了最大似然估计算法(ML-DA)有偏估计的误差来源,并利用复数相关等运算无偏估计信号 SNR。文献[3]对接收信号做零点自相关运算并再对反馈的信号进行互相关的方法,改善了各种调制信号在 OFDM 系统的估计效果。文献[1]对盲估计算法 M2M4 进行仿真,并给出 QPSK 调制信号加噪后的信噪比估计方法与计算公式。文献[4]提出了一种新的算法改进了传统 M2M4 估计算法,使估计偏差和方差大大降低,但是在小信噪比情况下的估计值仍然会有很大偏差。这些研究成果都是针对 AWGN 信道下的调制信号进行的仿真,对于 TD-LTE 系统,调制信号需要经过层映射预编码以及资源映射和 IFFT 变换,每个资源粒子(RE)上已经不是归一化的数据能量。因此,本文将结合参考信号把盲估计 M2M4 算法推广到适应 TD-LTE

系统中,因为参考信号的引入,计算量会比计算所有接收信号小,而且有较好的估计值。另外,本文结合 TD-LTE 系统本身的特性和工作原理,采用一种更为简单的方法估计系统 SNR,此方法属于盲估计算法,复杂度低、易于实现,有很好的估计性能。

1 LTE 系统概述

1.1 系统模型

LTE 下行链路中,MAC 层下来的数据(或控制)流,经传输信道添加循环冗余校验(CRC)、信道编码、速率匹配后,将二进制比特信息送到各物理信道,经过加扰、调制、层映射、预编码后,映射到对应的 RE 上^[5];然后对每个符号上的子载波进行 $N=2048$ 点的 IDFT 变换,再在变换后的每个符号前加循环前缀(CP),以避免符号间干扰。接收端要经过所有发送端的逆过程。如图 1 所示,其中在解层映射前,可以利用接收信号和信道估计的情况对信噪比进行估计。

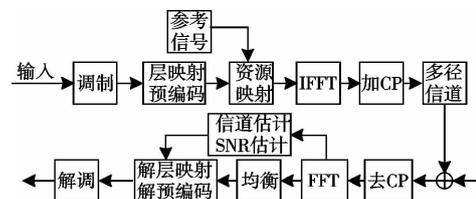


图1 LTE系统模型

收稿日期: 2011-11-03; 修回日期: 2011-12-19 基金项目: 国家科技重大专项资助项目(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 LTE 物理层算法;姬莹莹(1987-),女,硕士研究生,主要研究方向为 LTE 系统物理层控制及算法(cqputjiying@163.com);梁涛涛(1986-),男,硕士,主要研究方向为 LTE 系统物理层算法及 DSP 软件开发。

接收的导频信号可以频域表示为

$$y_{l,k} = h_{l,k}x_{l,k} + w_{l,k}$$

其中: $y_{l,k}$ 、 $x_{l,k}$ 、 $h_{l,k}$ 、 $w_{l,k}$ 分别表示第 l 个 OFDM 符号、第 k 个子载波上的接收导频符号, 发送符号, 信道响应值和复加性高斯白噪声。系统的信噪比可以表示为

$$\text{SNR} = \frac{\sum_{k=1}^N |a_{l,k}h_{l,k}|^2}{N\sigma^2}$$

上式是一个 OFDM 符号上的平均信噪比, 也可对 l 求和得到一个子帧上的平均信噪比, 其中 σ^2 是噪声的平均功率。

本文将采用两种信道进行仿真对比, AWGN 用来仿真和比较各算法的估计性能, EPA 用来仿真本文新算法的估计性能。其中 EPA 信道模型的信道环境参数^[6]如表 1 所示。

1.2 算法性能评价标准

本文假设接收信号的 SNR 相对接收时间而言为慢变, 可以认为在仿真的一个子帧上具有恒定的均值。本文中的 SNR 估计算法的性能将用绝对误差 $B(\hat{\rho})$ 和归一化的均方误差 (mean-square error, MSE) 来表征, 其中, $B(\hat{\rho})$ 可看出估计值与真实值的相对差距, 归一化 MSE 表示每次的估计值偏离真实值的程度。其数学表达式分别为

$$B(\hat{\rho}) = \frac{(\hat{\rho} - \rho)}{\rho}, \text{NMSE}(\hat{\rho}) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(\frac{\hat{\rho}_n - \rho}{\rho} \right)^2$$

其中: ρ 为真实 SNR 值, $\hat{\rho}$ 为估计的 SNR 值, N 为每个 SNR 值的估计次数。

2 信噪比估计

2.1 经典 M2M4 算法^[1]

设信号和噪声都是零均值的相互独立的随机过程, 且噪声的同相分量和正交分量相互独立。对接收信号分别求二阶矩和四阶矩, 并化简得

$$M_2 = E\{y_k y_k^*\} = S + \sigma^2$$

$$M_4 = E\{(y_k y_k^*)^2\} = k_s S^2 + 4S\sigma^2 + k_n \sigma^4$$

其中: S 是信号功率, σ^2 是噪声功率; k_s 、 k_n 分别是信号和噪声的 Kurtosis 系数, 是随调制方式而变的常数, 定义为

$$k_s = \frac{E\{|x_k|^4\}}{E\{|x_k|^2\}^2}, k_n = \frac{E\{|n_k|^4\}}{E\{|n_k|^2\}^2}$$

$$\hat{S} = \frac{M_2(k_n - 2) \pm \sqrt{(4 - k_s k_n)M_2 + M_4(k_s + k_n - 4)}}{k_s + k_n - 4}$$

$$\hat{N} = M_2 - \hat{S}$$

对于复高斯噪声 $k_n = 2$, M-PSK 调制的信号有 $k_s = 1$ 。因此有

$$\hat{\rho}_{M2M4} = \frac{2M_2^2 - M_4}{M_2 - \sqrt{2M_2^2 - M_4}}$$

实际系统中 M_2 和 M_4 可分别用其时间平均来代替, 即

$$M_2 \approx \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} |y_k|^2, M_4 \approx \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} |y_k|^4$$

此算法由于不依赖其他估计模块, 可以直接利用接收数据进行估计, 计算量大, 收敛速度较慢, 且适用于调制信号直接加噪的信道环境。

2.2 改进 M2M4 算法

M2M4 是将接收的所有信息作为估计参照的, 由于 LTE 系统中需要发送一定的参考信号来实现系统同步、信道估计、小区搜索等, 因此可以利用这些已有的参考信号来实现信噪比估

计。主要步骤如下:

- a) 发送端完成资源映射后进行数据归一化处理;
- b) AWGN 信道;
- c) 接收端将接收到的时域信号转换为频域信号后, 提取参考信号;
- d) 将提取的参考信号变为时域信号;
- e) 对提取的参考信号进行归一化处理;
- f) 估计二阶矩四阶矩, 得到 SNR 值。

此方法算法思想简单易行, 且不会给系统带来额外开销, 适用于 TD-LTE 系统。

2.3 频域去噪估计算法

2.3.1 算法理论依据

原始频域信号经过 N 点 IFFT 变换后的时域信号, 经过 N 点 FFT 变换后的频域信号与原始频域信号在相同位置上所含信息不变。算法流程如图 2 所示。

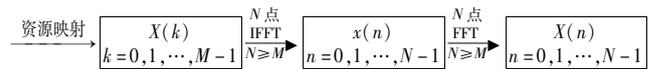


图 2 算法流程

$$X(l) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{ln} = \sum_{n=0}^{N-1} \left(\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W_N^{-kn} \right) W_N^{ln} = \sum_{k=0}^{N-1} \left(x(k) * \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} W_N^{n(l-k)} \right)$$

其中, $l = 0, 1, \dots, N-1$; $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$ 。

对于 $\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} W_N^{n(l-k)} = \begin{cases} 1 & l=k \text{ 时} \\ 0 & l \neq k \text{ 时} \end{cases}$, 将频域信号经过 N 点 IFFT 变换后的时域信号经过 DFT 变为频域信号与资源映射后的频域信号位置相对应。

2.3.2 算法步骤

- a) 将 MAC 层下来的比特数据经过传输信道和物理信道处理后, 映射到相应的 RE 上, 形成一个子帧信息, IFFT 变换将此频域信号转换为时域信号;
- b) 经过多径信道 (EPA) 并加噪声;
- c) 接收到的时域信号转换为频域信号, 除去数据资源所占的资源块, 将剩余 RE 上的信息经 IFFT 变化为时域信号后用于估计噪声平均功率;
- d) 对接收端收到的时域信号进行总信息 (数据信息和噪声) 功率估计。

此方法属于盲估计算法, 假设系统已经完成同步, 则可以根据系统获得的带宽配置得出有用资源块个数, 进而估计噪声功率; 另外此算法不需要利用参考信号进行估计信道响应, 所以信道估计时的误差在信噪比估计时不会产生累积, 性能比利用参考信号作信道估计求信噪比的算法要好, 估计方法简单, 且适用于各种信道模型。

3 仿真结果及分析

本文采用 MATLAB 7.10.0 对 TD-LTE 下行链路进行系统仿真, 高层信息经过系统框架中的所有流程处理。在高斯信道无线信道下, 分别对 ML-DA 算法、推广的 M2M4 算法和本文采用的算法进行仿真比较, 并给出 EPA 信道模型下新算法的 SNR 估计值仿真。仿真采用如表 2 所示的条件和参数。

按照协议要求对原始比特数据进行处理并与生成的参考信号映射到 5 MHz 的带宽 RB 上, 经链路仿真后提取接收信号

进行估计,如图 3、4 所示。

表 1 LTE 系统中 EPA 信道环境参数

路径	相对时延 /ns	平均功率/dB
1	0	0.0
2	30	-1.0
3	70	-2.0
4	90	-3.0
5	110	-8.0
6	190	-17.2
7	410	-20.8

表 2 仿真条件和参数

参数	取值
系统带宽	5 MHz
CP 属性	正常 CP
调制编码方式	QPSK
发射天线数	1 天线
接收天线数	1 天线
载波间隔	15 kHz
FFT 点数	2 048
TTI 中 OFDM 符号数	14
信道模型	AWGN EPA

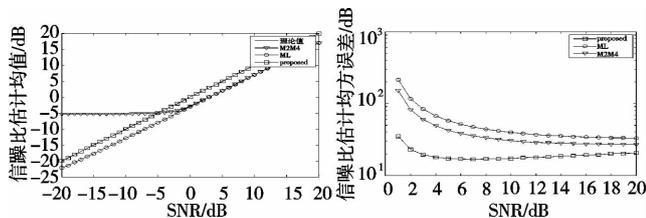


图 3 AWGN 信道下各算法的估计值

图 4 AWGN 信道下各算法估计值归一化均方误差

图 3、4 表明,改进的 M2M4 算法可以适用于 TD-LTE 系统,本文将此算法推广应用于 TD-LTE 系统,算法思想没有改变,所以在本系统中 M2M4 算法在小信噪比时,估计误差仍然较大,微弱噪声功率环境中估计效果与 ML-DA 算法基本一样;本文提出的算法 SNR 估计值比 ML-DA、M2M4 的估计值更接近真实值,且每次的估计误差非常小。

图 5 给出了 EPA 信道下本文所提算法的估计值和归一化均方误差。结果表明,新算法在其他信道下也可以很好地估计 SNR,且适用的 SNR 范围较广;归一化标准差很小,说明此算法每次的估计值与真实值间差别很小,估计的实时性好。

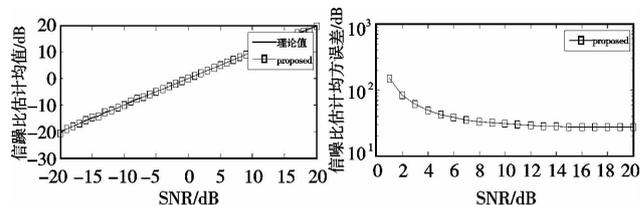


图 5 EPA 信道下新算法估计值和归一化均方误差

4 结束语

本文对 SNR 盲估计算法进行研究,将经典盲估计算法推广应用于目前研究的 TD-LTE 系统中,并根据系统的帧结构特点和工作原理采用频域去噪,时域估计的方法估计 SNR,更适合 TD-LTE 系统,算法不仅误差偏离度小,而且有很小的归一化均方误差,在实时性要求较高的测试情况下,也具有非常高的可靠性。

参考文献:

- [1] PAULUZZI D R, BEAULIEU N C. A comparison of SNR estimation techniques for the AWGN channel[J]. IEEE Trans on Communications, 2000, 48(10):1681-1691.
- [2] 蒋政波,洪伟,刘进,等.基于数据辅助的 AWGN 信道下 QPSK 信号信噪比估计[J]. 通信学报, 2008, 29(6):119-125.
- [3] KIM S A, AN D G, RYU H G. Efficient SNR estimation in OFDM system[C]//Proc of IEEE Radio and Wireless Symposium. 2011:182-185.
- [4] SOCHELEAU F X, BEY A, HOUCKE S. Non data-aided SNR estimation of OFDM signals[J]. IEEE Communications Letters, 2008, 12(11):813-815.
- [5] 3GPP TS 36.211 v9.1.0, physical channels and modulation[S]. 2010.
- [6] 3GPP TS 36.101 v9.1.0, user equipment (UE) radio transmission and reception [S]. 2010.