

无线通信系统信道估计技术研究现状*

王丹, 杨雷

(河南科技大学 电子信息工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘要: 信道估计技术是未来无线通信系统得以实际应用的关键技术。首先介绍了无线通信系统信道模型的特点以及信道估计方法分类, 然后重点阐述了目前无线通信系统中非盲信道估计方法的研究现状, 并对各种算法的优缺点和性能进行了分析和比较。

关键词: 信道估计; 非盲信道估计; 最大似然估计; 最小均方; 最小二乘

中图分类号: TN911

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)16-0001-02

The survey of the technology of channel estimation for wireless communications

Wang Dan, Yang Lei

(Electronic Information Engineering College, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: Channel estimation is a key technology for the future wireless communications practically. Firstly, this paper introduced the characteristics of channel models and the classifications of channel estimation methods. Secondly, the emphasis is put on the survey of the non-blind channel estimation methods aimed at the present wireless communications. Finally, the pros and cons of all kinds of channel estimation algorithms are analyzed and compared.

Key words: channel estimation; non-blind channel estimation; maximum likelihood estimation; minimum mean square; least square

在无线通信系统中, 当信号带宽超过信道的相关带宽时, 信道就会在时域显示其色散效应, 这将导致发射符号序列间产生干扰, 即码间干扰。由于码间干扰使接收信号受损, 当信道条件已知或者基于准确的信道估计时, 由信道引起的失真效应通常可以在接收机得到补偿。若采用非相干检测则可以简化接收机复杂度, 不需要进行复杂的信道估计。但对于高斯白噪声信道, 非相干检测比相干检测有高达 3 dB 左右的性能损失, 而且, 如果延时扩展增加, 性能损失将会更严重, 这对功率受限系统(例如超宽带通信系统)尤其难以接受。因此, 信道估计技术已成为未来无线通信系统的关键技术, 也是国内外学者致力研究的热点方向之一。

1 无线通信系统信道模型

关于无线传播信道的研究已经进行了五十多年, 迄今为止, 已有大量的信道模型被提出。不同带宽下的无线通信系统的信道模型也各不相同, 对于一个好的系统设计而言, 理解这些差别和它们对不同系统的影响是非

常重要的。一般而言, 针对不同的信道模型, 信道估计方法也各不相同。无线信道一般可以表示成两种形式:

(1) 基带信道被表示成抽头延时线的形式, 该模型中 L 个信道抽头是等间隔分布的。该模型下需要估计的参数是 L 个信道幅度和一个延时参数。

(2) 基带信道模型中的延时值是任意的, 每一径的幅度和延时都需要被估计。

对于稀疏信道, 第二种方法可能比使用等间隔抽头延时线模型估计的参数数量低得多, 因此信道估计更加有效, 但是一般不存在闭式解。方法(1)产生了更加容易的参数化信道模型, 但是以过参数化为代价的。

2 信道估计方法分类

目前, 无线通信系统的信道估计方法可分为三类: 有辅助符号的非盲信道估计、无辅助符号的盲信道估计以及介于两者之间的半盲信道估计, 其特点可归纳为:

(1) 非盲的信道估计: 按一定估计准则确定各个待估参数值, 或者按某些准则进行逐步跟踪和调整待估参数的估计值, 特点是需借助参考信号。很明显, 要想实现信道估计, 估计理论是其数学基础。

① 贝叶斯估计: 需要已知代价函数、待估计参量和

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61040010); 河南科技大学博士科研启动基金资助项目(09001409); 河南科技大学青年科学基金资助项目(2010QN0019)

综述与评论 Review and Comment

观测数据的完整的概率描述,条件最苛刻;

②最大后验概率(MAP)和最大似然(ML):需要代价函数是误差的偶函数,不需其详细形式,但仍需待估计参量和观测数据的完整的概率描述;

③线性最小均方误差(LMMSE):只需知待估计量与观测数据的一阶或二阶统计特性;

④最小二乘(LS):只需把估计问题作为确定性的最优化问题来处理。

非盲估计方法的优点是可以获得较好的系统性能,但是它降低了频带利用率并且无法适用于不可能在发送端提供训练序列的场合,例如在军事侦听过程中,无法获得敌人确定的训练序列。

(2)盲估计:利用调制信号本身固有的、与具体承载信息比特无关的一些特征(比如恒模、子空间、有限字符集、循环平稳和高阶统计量等)或采用判决反馈的方法进行信道估计。

盲估计方法的优点是提高了系统的频带利用率,适用于接收端无法确定训练序列的场合,具有自我恢复性,且可在未知数据调制和编码方式的情况下正常工作。缺点是估计性能差,且估计过程较非盲方法漫长。

(3)半盲估计:在发射信号中插入导频,克服基于二阶统计量盲方法固有的模糊度问题,同时使用盲方法进行信道估计,从而结合了盲估计与非盲估计的优点。目前半盲方法可分为基于二阶统计量半盲方法和基于一阶统计量的半盲方法。

3 非盲信道估计方法研究现状

如前所述,根据目前无线通信系统信道模型的分类,目前的非盲信道估计方法可分为:信道幅度增益和径延时联合估计以及信道幅度增益的估计方法。下面就介绍这两种经典估计方法在窄带或宽带通信系统中的应用。

3.1 信道幅度增益和径延时联合估计的方法

由于CDMA系统能够分辨多径元,并经常使用Rake接收机(或其他更加复杂的检测方案)收集多径能量,以获得多径分集,所以需要多径信道的增益和延时参数进行联合估计。因此,很多信道估计算法采用了第二种类型的信道模型^[1-3]。参考文献[1]基于最大似然准则(ML)获得了所有用户的信道参数估计,该方法性能优良,但由于涉及到大量参数的数值搜索,所以计算复杂度高。为了得到实际信道估计方案,可以以性能损失为代价降低算法的计算复杂度。基于单用户的信道估计方法将多址干扰建模成有色高斯噪声^[2],得到了一种经典的滑动相关信道估计(SW)方案。该方案是远近效应鲁棒的,并且不涉及到多维优化的搜索问题,但其受限于高斯白噪声信道,与实际应用环境不符。为了将单径信道估计器^[2]拓展到多径衰落信道下,参考文献[3]将多维优化问题约化成一系列简单的一维搜索问题,以降低多

用户信道估计方法的复杂度,并得到另一种经典的信道估计方案,即连续干扰抵消的信道估计方案(SC)。然而,简单的SW算法性能损失较大,而SC算法由于其顺序的执行方式引起了较长的计算时间延时。为解决上述问题,本文基于多次迭代的最小均方算法提出了三种并行的结构化迭代信道估计方案^[10]。该方法能够调整迭代次数,在处理时间和估计性能上取得了折中,比传统方法具有更大的灵活性。

3.2 信道幅度增益的估计方法

不同于单载波系统,多载波OFDM系统具有时频二维结构,所以导频符号可以在时间和/或频率轴上向两个方向插入导频,导频的放置比较灵活。在OFDM系统中,通常需要信道的频响进行频域均衡,因此,在OFDM系统环境下,基于第一种信道模型产生了大量的信道估计算法^[4-8]。一般而言,这些算法会借助导频符号或者训练序列在时域或者频域基于LS、ML或MMSE准则求解时域信道径增益参数或者信道频域响应。其中的MMSE信道估计方法^[4]由于利用了信道相关特性,所以获得了重要的性能增益,但复杂度较高。为了降低复杂度,一种基于SVD分解的低秩信道估计器被提出^[5]。尽管LS估计器复杂度很低且执行简单,但信道估计误差较大。为减少估计误差,参考文献[6]针对OFDM系统框架提出了一种低复杂度的ML估计器,它可在一定程度上减少信道估计均方误差值,从而改善估计性能。另一方面,为了获得更好的信道估计值,使用DFT的LS估计器和线性MMSE估计器也被提出^[7-8],并在估计性能和复杂度之间取得折中。为进一步改善性能,参考文献[8]首先借助信道的时域有限长度特性估计出了信道子空间的噪声,然后借助非最优导频序列引入有色噪声特性在LS信道估计中抑制了该噪声。这种方法被推广到MIMO系统的信道估计中^[9],其性能可以逼近MMSE估计方法。

本文重点阐述无线通信系统非盲信道估计方法的研究进展。可以看出,在进行信道估计之前,充分理解无线通信系统的信道模型的特点是至关重要的,不同模型下的信道估计算法都有其自身的特点,但也存在一定的不足。针对不同的无线通信环境,更加实用的信道估计方法还有待深入研究。因此,无线通信系统中的信道估计仍然是未来无线通信系统物理层的热点研究方向,是推动各种无线通信系统走向实用化的关键技术。值得一提的是,除了本文介绍的信道估计方法外,目前还有将分形、小波以及Bootstrap和鲁棒估计(SVM或M估计)等理论应用于无线通信系统信道估计问题求解中,这些都将是未来信道估计技术的发展方向和热点。

参考文献

- [1] STROM E G, MALMSTEN. A maximum likelihood approach for estimating DS-CDMA multipath fading channel[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18:132-140.

《微型机与应用》2011年第30卷第16期

综述与评论 Review and Comment

- [2] BENSLEY S E, AAZHANG B. Maximum likelihood synchronization of single-user for code-division multiple access communication systems[J]. IEEE Transactions on Communications, 1998, 46(3): 392-399.
- [3] D'AMICO A A, MENGALI U, MORELLI M. Channel estimation for the uplink of a DS-CDMA system[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2003, 2(6): 1132-1137.
- [4] VAN DE BEEK J J, EDFORS O, SANDELL M, et al. On channel estimation in OFDM systems[C]. in IEEE Vehicular Technology Conference, Chicago, IL, USA, 1995(2): 815-819.
- [5] EDFORS O, SANDELL M, VAN DE BEEK J J, et al. OFDM channel estimation by singular value decomposition [J]. IEEE Transactions on Communications, 1998, 46(7): 931-939.
- [6] DENEIRE L, VANDENARMEELE P, VAN DER PEERE L, et al. A low-complexity ML channel estimator for OFDM [J]. IEEE Transactions on Communications, 2003, 51(2): 135-140.
- [7] CHINI A, WE Y Y, TANANY M E L, et al. Filtered decision feedback channel estimation for OFDM-based DTV terrestrial broadcasting systems[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, Mar. 1998, 44(1): 2-11.
- [8] JAFARIAN H Z, OMIDI M J, PASUPATHY S. Improved channel estimation using noise reduction for OFDM systems[J]. IEEE Vehicular Technology Conference, 2003, 57(2): 1308-1312.
- [9] JAFARIAN H Z, PASUPATHY S. Robust and improved channel estimation algorithm for MIMO-OFDM systems[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(6): 2106-2113.
- [10] WANG D, YANG L, JIANG L G, et al. Iterative channel estimation for pulse-based UWB wireless communications [C]. Proceedings of the 2007 Second International Conference in Communications and Networking in China, 2007: 631-635.

(收稿日期: 2011-06-14)

作者简介:

王丹, 女, 1979年生, 博士学位, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 通信信号处理。

杨雷, 男, 1979年生, 硕士学位, 讲师, 主要研究方向: 信号分析与处理、智能传感技术以及计算机检测技术。