

一种 TD-SCDMA 载波频偏与信道联合估计算法

石璟 张朝阳 储珊 来萍 仇佩亮
(浙江大学信电系 杭州 310027)

摘要 通过分析时分同步码分多址(TD-SCDMA)系统的载波频偏和信道特性,提出一种频偏与信道联合估计算法。该算法通过对训练序列部分相关,然后做差分将频偏和信道特性解耦,并通过逐次迭代最终精确估计出频偏和信道参数。仿真结果表明,算法频偏估计性能接近 Cramér-Rao 界,准确度较高;全链路仿真误码率性能优越,信道估计准确。算法复杂度不高,实用性强,同样适用于其它的 TDD 模式的 CDMA 系统。

关键词 时分同步码分多址(TD-SCDMA), 载波频偏, 信道估计

中图分类号: TN914.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)11-2099-04

A Channel and Carrier Frequency Offset Joint Estimation Algorithm for TD-SCDMA

Shi Jing Zhang Zhao-yang Chu Shan Lai Ping Qiu Pei-liang

(Department of Information Science and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract An algorithm of channel and carrier frequency offset joint estimation is proposed in this paper with analyzing the characteristic of carrier frequency offset and wireless channel in Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access (TD-SCDMA) system. Frequency offset and channel parameters can be uncoupled by means of partly correlating the training sequence and calculating difference, then they are estimated accurately through iteration. Simulation results show that the proposed algorithm performs quite well in both frequency offset and channel estimation. The frequency offset estimation performance is closed to Cramér-Rao bound, and the link performance is good. The proposed method has low complexity and strong practicability. It can be used in other Time Division Duplex (TDD) CDMA systems.

Key words Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access (TD-SCDMA), Carrier frequency offset, Channel estimation

1 引言

CDMA 无线通信系统通常都会受到多径衰落和频率偏移的影响。接收信号与本地载波振荡器的频率偏差会产生频率偏移,多普勒效应则会引起频率扩展。频偏会严重影响 CDMA 信号的恢复,为了保证能正确地恢复信号,系统需要采用一些可靠的频偏估计方法。当信道存在多径干扰的时候,信号中含有的频偏信息受信道多径影响很难被提取出来,频偏估计不准确。而当信号受较大频偏影响的时候又很难准确地估计出信道特性。因此,载波频偏和信道二者的估计相互影响相互制约。

一些常规的做法是先消除频偏,再做信道估计。传统的频偏估计方法主要是对主径进行操作,认为码是经过设计的伪随机序列,自相关性很好,通过对主径进行相关(或部分相关)提取频偏量进而利用锁相环路来进行频偏估计^[1]。近些年又有人针对时分双工(TDD)的码分多址(CDMA)系统提出利用训练序列受多径影响后的结构特性采用部分相关与矩阵计算相结合的方法消除多径影响从而估计出频偏^[2]。前者

复杂度低但其忽略了多径的影响,估计的准确度有限;后者由于计算复杂度高,在终端实现比较困难。本文针对时分同步码分多址(TD-SCDMA)系统提出一种频偏与信道联合估计的算法,能够快速有效地估计出载波频偏和信道多径响应且易于实现。

2 信号模型

在TD-SCDMA系统中,同一个小区中的相同频段上的同一时隙中有若干通过不同扩频码区分的用户。时隙结构如图1所示^[3]。每一时隙由保护间隔(GP)与相邻的时隙分离开,两个数据块通过一个训练序列midamble码分隔开。由于时隙长度比移动无线信道的相干时间小,可以认为在一个时隙的时间长度内,信道特性不发生改变。

设同一小区的同时隙中有 K 个用户,则第 k 个用户的信道冲激响应的采样值(以码片速率采样)可以表示为

$$\mathbf{h}^{(k)} = (h_1^{(k)}, h_2^{(k)}, \dots, h_W^{(k)})^T, \quad k = 1, \dots, K \quad (1)$$

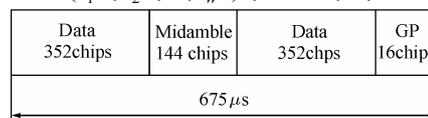


图1 TD-SCDMA 的时隙结构

Fig.1 Time slot architecture of TD-SCDMA

2005-02-28 收到, 2005-11-24 改回
国家“863”计划(2003AA1Z1010), 国家自然科学基金(60472080)和
浙江省重点自然科学基金(Z104252)资助课题

将 $z_m^{(k)} \cdot (z_{m-N}^{(k)})^*$ 累加后求平均, 消除噪声干扰, 从而得到一个 $z_m^{(k)} \cdot (z_{m-N}^{(k)})^*$ 的均值, 利用这个均值可以估计出频偏。由于 $e^{j\omega NT_c} = \cos(\omega NT_c) + j \sin(\omega NT_c)$, 在频偏相对于码片速率较小时可以近似认为 $\sin(\omega NT_c) \approx \omega NT_c$, 所以载波频偏为

$$\Delta\omega = \frac{\text{Im}(z_m^{(k)} \cdot (z_{m-N}^{(k)})^*)}{|z_m^{(k)} \cdot (z_{m-N}^{(k)})^*| \cdot NT_c} \quad (11)$$

环路在第一次循环后, 由于此前的信道估计是用初值直接设置的, 并不准确, 所以在进行 MRC 以及信道功率归一化时不能消除信道的影 响, 即式(11)所估计出的载波频偏仍然存在误差。此时, 可用式(11)计算得到的频偏去补偿 midamble 序列后再进行下次循环, 即

(1) 计算 \mathbf{P} , 滑动相加并利用式(6)求出每径的全相关结果从而估计出信道响应, 此时的信道估计值由于减小了载波频偏的影响故已经比较准确。

(2) 把估计出的信道多径影响通过最大比合并(MRC)消除, 对得到序列进行差分然后利用式(11)求出剩余频偏, 频偏估计的准确度进一步提高。

(3) 用估计出的剩余频偏去补偿 midamble 序列。

重复利用当前时隙接收到的 midamble 序列将上述步骤循环若干次之后(仿真表明进行 4 循环系统稳定), 系统将稳定在最佳状态, 此时信道估计和频偏估计都达到较高的准确度。

4 仿真结果

为了验证本文所提出的频偏与信道联合估计算法, 针对 TD-SCDMA 系统单用户链路进行了仿真。信道特性采用协议中规定的 Case3 情况, 如表 1^[4]所示。链路的参数设置见表 2^[5]。

设图 2 中的差分变量 $N=16$ 。环路滤波器采用有源比例积分滤波器。根据协议^[6], 发射端和接收端都采用滚降系数

表 1 Case3 信道特性

Case 3 速度 120(km/h)	
相对时延(ns)	相对平均功率(dB)
0	0
781	-3
1563	-6
2344	-9

表 2 系统配置参数

参数名称	参数设置
载频(GHz)	2
码片速率(Mchip/s)	1.28
用户数据速率(kbit/s)	3.4
编码方案	1/3 卷积编码
译码方案	软判决维特比译码
传输时间间隔	40ms
扩频因子	16(OVSF 码)
调制方式	QPSK

为 0.22 的根升余弦滤波器。仿真中采用 4 倍采样率。本文的方法在经过若干循环后会达到稳定, 经过一些仿真, 发现在进行 4 次以上的循环时, 频偏估计准确度不会再有更显著的提高, 所以仿真中都采用循环 4 次后的估计值作为最终的频偏估计结果。

图 3 是当 $E_b/N_0=15\text{dB}$ 时, 在不同的频偏条件下平均频偏估计曲线。图 3 中横轴代表归一化频偏 ν , 纵轴是估计的频偏 $\hat{\nu}$ 。可以看出该估计方法在 $|\nu| \leq 0.018$ 时与理想曲线相重合是无偏的。

图 4 是在不同 E_b/N_0 条件下的频偏估计均方差 (MSE) $E\{\hat{\nu} - \nu\}^2$ 。图 4 中的结果是在归一化频偏 $\nu=0.005$ 和 $\nu=0.01$ 条件下分别仿真得出的。图 4 中的 CRB 曲线代表频偏估计的 Cramér-Rao Bound(CRB), 表达式为

$$\text{CRB} = \frac{1}{2N} \frac{s^H s}{y^H (\mathbf{I}_N - \mathbf{B}) y} (\text{SNR})^{-1} \quad (12)$$

式中 s 代表接收到的训练序列, $y(n) = 2\pi n \cdot s(n)$, $n = 0, 1, \dots, 143$, \mathbf{B} 表示由训练序列构成的矩阵, 具体符号定义和详细推导过程见参考文献[7], 这里不再赘述。可以看出在 E_b/N_0 较小时, 估计结果的 MSE 距离 CRB 较远, 说明此时载波频偏估计受噪声影响很大; 并且频偏越大, 受噪声影响越明显, 估计越不准确。 E_b/N_0 较大的时候 MSE 曲线开始逼近 CRB 并且两条曲线几乎重合, 说明此时不同频偏的估计准确度相近。

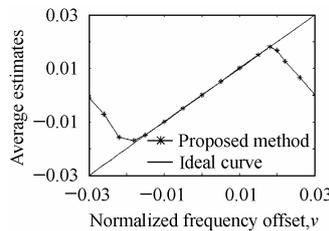


图 3 平均频偏估计
Fig.3 Average frequency offset estimation

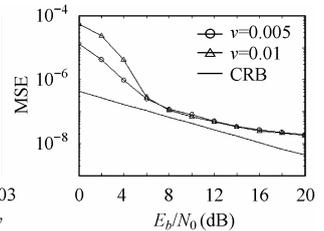


图 4 频偏估计均方差
Fig.4 MSE of frequency offset estimation

图 5 是在归一化频偏 $\nu=0.005$ 和 $\nu=0.01$ 的条件下, 采用本文提出的联合估计算法的 RAKE 接收机在 Case3 信道条件下的误码率性能曲线。可以看出两条曲线几乎重合, 这说明对于不同的频偏估计的准确度是相当的, 从而消除了由频偏不同对系统性能产生的不同影响。而且可以看到接收机有着良好的误码率性能, 说明系统的信道估计也很准确。

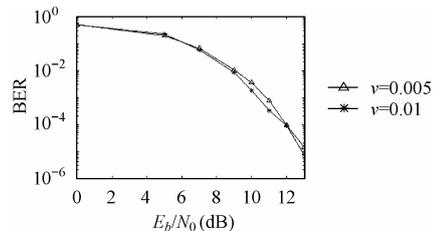


图 5 误码率性能曲线

Fig.5 Bit error rate performance

值得一提的是, 虽然本文中的仿真是针对单用户的, 但对于小区中存在多个用户的情况该方法同样适用。因为

TD-SCDMA 系统中同一小区中的不同用户的 midamble 码是通过一个基本的 midamble 码经过一定的移位构成的, 每个用户的 midamble 码之间的移位间隔将大于信道冲击相应的最长延迟。同时 midamble 码是一个自相关性很好的伪随机序列。所以在多个用户的情况下采用文中的方法进行频偏估计, 用户的 midamble 码之间干扰很小, 在频偏估计过程中进行部分相关时相互间的影响与单用户情况相似, 不会带来额外的干扰。

5 结束语

本文提出了一种适用于 TD-SCDMA 系统的频偏与信道联合估计算法。该算法的主要思想是利用逐次迭代将频偏估计和信道估计结果稳定在一个较高的准确度。通过仿真可以看到文中提出的方法在 $|\nu| \leq 0.018$ 是无偏的。在无偏范围内频偏估计和信道估计的准确度都比较高。文中提出的算法复杂度适中, 实用性强。该方法同样适用于其它的 TDD 模式的 CDMA 系统, 如 3Gpp 的高码片速率(3.84MHz)的 TDD 模式。

参 考 文 献

- [1] Mauss Oliver C, Classen Ferdinand, Meyr Heinrich. Carrier frequency recovery for a fully digital direct-sequence spread-spectrum receiver: A Comparison[A]. Vehicular Technology Conference [C]. Meadowlands Hilton, Secaucus, NJ, USA: IEEE, 1993: 392–395.
- [2] Morelli Michele. Frequency estimation for the downlink of the UMTS-TDD component. [J], *IEEE Trans. on Wireless Communications*. 2002, 1(4): 554–557.
- [3] 3Gpp TS 25.221 v4.7.0(2002-12), Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (TDD) [S].
- [4] 3Gpp TS 25.945 v4.0.0 (2001-03), RF requirements for 1.28 Mcps UTRA TDD option [S].
- [5] 李小文, 李贵勇, 陈贤亮等. TD-SCDMA 第三代移动通信系统、信令及实现[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 128–129.
- [6] 3GPP TS 25.102 V4.7.0 (2002-12) UE Radio Transmission and Reception (TDD)[S].
- [7] Morelli Michele, Mengali Umberto. Carrier-frequency estimation for transmissions over selective channels [J]. *IEEE Trans. on Communications*, 2000, 48(9): 1580–1589.
- 石 璟: 女, 1980 年生, 博士生, 研究方向为 CDMA、3G 无线通信、OFDM 技术、MIMO 技术.
- 张朝阳: 男, 1973 年生, 副教授, 主要研究方向为宽带接入、无线通信、无线网络.
- 储 珊: 女, 1981 年生, 硕士生, 研究方向为 CDMA、3G 无线通信、STC 技术.
- 来 萍: 女, 1981 年生, 硕士生, 研究方向为 CDMA、3G 无线通信、AAS 技术.
- 仇佩亮: 男, 1944 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为信息论与编码、无线数字通信.