

一种新的连续导频信道估计方法在 LAS-CDMA 系统中的应用

王 刚, 李永会, 董江波, 李道本

(北京邮电大学, 北京 100876)

摘要: 在下行链路中, 通常用连续导频方法来进行信道估计. 相比传统 CDMA 系统, LAS-CDMA 系统中的 LS 扩频码具有理想的自相关特性和存在零相关窗 (IFW: interference free window) 的互相关特性. 因此, 当用连续导频方法进行信道估计时, 估计的误差主要是由噪声引起的. 为了抑制噪声的影响, 本文提出了一种结合回归 (regression) 算法的新连续导频信道估计方法. 在 ITU-VA 信道模型下, 我们仿真了不同车速时采用新型信道估计方法的 LAS-CDMA 系统的 BER (bit error rate) 性能. 仿真结果表明, 这种新方法由于提高了信道估计的准确度从而大大改善了系统的性能.

关键词: LAS-CDMA; 信道估计; 线性回归; 非线性回归

中图分类号: TN911 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 07-1247-03

A New Channel Estimation Method Based on Continuous Pilot Channel with Regression in LAS-CDMA

WANG Gang, LI Yong hui, DONG Jiang bo, LI Dao ben

(Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: For downlink transmission, known pilot symbols are usually used to evaluate the channel characters through the common pilot channel. Comparing to traditional CDMA, LS spreading codes in LAS-CDMA (Large Area Code Division Multiple Access) have IFW (Interference Free Window). Thus when pilot symbols are used, AWGN (Additive White Gaussian Noise) is the main obstacle to the accuracy. To suppress the noise degradation, in this paper, a new channel estimation method for LAS-CDMA system is introduced. In the proposed method, the channel coefficients obtained through common pilot channel are first fed to a regression process and these updated coefficients are then for the corresponding data symbol recovery. Linear and nonlinear regression schemes are both considered according to vehicle speeds and regression process lengths over the ITU-VA channel. Simulation results prove that this method can improve the channel estimation accuracy and system BER (Bit Error Rate) performance greatly.

Key words: LAS-CDMA (large area code division multiple access); channel estimation; linear regression; nonlinear regression

1 引言

众所周知, CDMA 系统已经被广泛应用于数字蜂窝系统和个人通信系统中. 在传统的 CDMA 系统中, 由于扩频码的自相关特性和互相关特性不同时理想, 在接收端, 不同时到达的信号就比较难以分离从而互相形成干扰. 因此, 传统 CDMA 系统是一个干扰受限的系统^[1]. 而 LAS-CDMA 系统中的 LS 扩频码, 具有完全理想的自相关特性, 并且其互相关函数具有零相关窗 (Interference free window) 特性. 因此, LAS-CDMA 系统的自身干扰非常小, 从而频谱效率更高, 系统容量更大^[1].

在 CDMA 系统中, 信道估计的准确与否将直接影响到整个系统的性能. 由于移动信道的多径特点和多普勒频移效应, 信道估计变得十分复杂. 当今的 3G CDMA 系统中, 通常使用的方法是连续导频和插值导频估计. 文[2]采用了线性回归算法来平滑插值信道估计中判决错误的影响.

针对 LAS-CDMA 系统的特点, 我们容易得到连续导频信道估计的误差主要是由接收端的高斯白噪声引起的. 针对于此, 本文提出了一种新的连续导频信道估计算法. 它首先用连续导频来对信道的衰减系数进行初步估计, 然后用回归算法

对这些估计值加以平滑, 以此降低噪声的影响, 提高信道的估计的准确度. 根据信道时变的快慢, 本文分别考虑了线性和二次非线性的回归算法, 并在 ITU-VA 5 径信道下仿真了 LAS-CDMA 的系统 BER 性能. 仿真结果表明, 相比传统的连续导频方法, 这种新方法可以使系统性能提高 1-2dB.

2 系统模型

图 1 是对系统结构的一个简单描述. 发送的信号可以表示为:

$$w_s(t) = d_s(t)c_s(t) + p(t)c_p(t) \quad (1)$$

其中, $d_s(t)$ 是业务符号, $p(t)$ 是导频符号, $c_s(t)$ 是业务扩频码 $c_p(t)$ 是对导频扩频码.

通常, 时变的无线信道可以描述为一个时间域离散的脉冲响应模

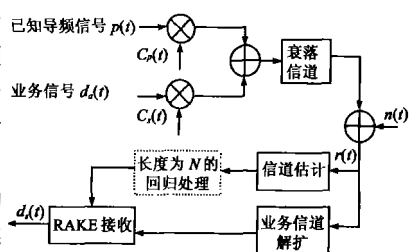


图 1 系统模型

型^[3], 即
$$h(l; m) = \sum_{k=1}^L h_k(m) \delta(l - k) \quad (2)$$

L 表示时变信道可以分离的径数, m 是时间序列号, l 是时延序列号, $h_k(m)$ 表示在时刻 m , 第 k 径的信道响应系数. 当信道是瑞利(Rayleigh)衰落时, $h_k(m)$ 是一个均值为零的复高斯随机变量. 在收端, 信号可以表示为

$$r(t) = w_s(t) * h(t) + n(t) \quad (3)$$

其中 $n(t)$ 为接收机的 AWGN.

3 信道估计方法

通常在一个符号时间内时变信道的衰减认为是常数, 这样式(3)可以表示为:

$$r(m) = \sum_{k=1}^L h_k(m) \left[\sum_{i=1}^K c_p(t - iT_c - \tau_k) * p(m) + \sum_{i=1}^K c_s(t - iT_c - \tau_k) d_s(m) \right] + n(m) \quad (4)$$

其中 τ_k 是第 k 径的延时, K 是扩频因子(SF: spreading factor), T_c 则是 chip 的持续时间, $n(m)$ 是均值为零, 方差为 σ^2 的 AWGN.

3.1 传统的连续导频的信道估计方法

这种方法要求系统在下行链路中提供一个公共导频信道对连续的导频符号扩频, 如图 2 所示. 每个导频符号估计得到的信道系数用以对应的数据符号的恢复. **图 2 连续导频信道结构**

仿真中的信道每一径的延时 τ_k 可以表示为 $(k-1) * T_c$, 这样每径的信道系数可以通过用不同偏移的 $c_p(t)$ 对接收信号作相关得到:

$$\begin{cases} \tilde{h}_1(m) = \frac{1}{K * p(m)} \left[\sum_{i=1}^K c_p(t - iT_c) * r(m) \right] + \tilde{n}_1(m) \\ \tilde{h}_2(m) = \frac{1}{K * p(m)} \left[\sum_{i=1}^K c_p(t - iT_c - T_c) * r(m) \right] + \tilde{n}_2(m) \\ \dots \\ \tilde{h}_L(m) = \frac{1}{K * p(m)} \left[\sum_{i=1}^K c_p(t - iT_c - (L-1)T_c) * r(m) \right] + \tilde{n}_L(m) \end{cases} \quad (5)$$

其中 $\tilde{n}_k(m) = \frac{1}{K * p(m)} \sum_{i=1}^K c_p(t - iT_c - (k-1)T_c) * n(m)$, $p(m)$ 是已知导频符号.

考虑(4)、(5), 对传统的 CDMA, 信道估计时, 业务符号会对导频符号的解扩产生干扰. 而在 LAS-CDMA 系统中, 因为 $c_p(t)$ 和 $c_s(t)$ 之间有零相关窗. 在 LAS-CDMA 系统中, 这个窗是 $[-3T_c, 3T_c]$, 这样在进行信道估计的时候, 只要多径数不大于三, 业务符号都不会对信道估计产生干扰. 这时式(5)中的任一项可以表示为:

$$\tilde{h}_k(m) = h_k(m) + \tilde{n}_k(m), \quad k = 1, 2, \dots, L \quad (6)$$

显然由式(6), 信道估计的误差主要就是由 $\tilde{n}_k(m)$ 引起的.

3.2 连续导频结合回归算法的信道估计方法

为了平滑噪声 $\tilde{n}_k(m)$ 的影响, 本文引入了回归算法. 它将若干个用连续导频估计方法得到的信道系数先一起作回归处

理, 以降低噪声的影响, 再将这些更新过的信道系数用以对应的业务符号的恢复. 图 1 中的虚线模块完成的就是这个回归功能. 根据信道变化快慢的不同, 本文分别考虑了线性和非线性回归算法.

3.2.1 线性回归算法 线性回归算法和文[2]中所描述的不同. 它每次处理 N 个第 k 径的信道系数 $\tilde{h}_k(m)$ $1 \leq m \leq N$, $k = 1, 2, \dots, L$. 对于块中的每一个信道系数 $\tilde{h}_k(m)$, 采用的回归算法是 $\tilde{h}_k(m) = a_k x_m + b_k$ $1 \leq m \leq N$, $k = 1, 2, \dots, L$. 其中 x_m 是 N 中的第 m 个位置, $\tilde{h}_k(m)$ 是先估计出的对应于第 m 个位置业务符号的第 k 径的信道系数. 选择合适的 a_k, b_k 使得表达式 $J_1 = \sum_{m=1}^N |\tilde{h}_k(m) - a_k x_m + b_k|^2$, $k = 1, 2, \dots, L$ 最小,

$$\text{即} \quad \begin{cases} \frac{\partial J_1}{\partial a_k} = 0; \\ \frac{\partial J_1}{\partial b_k} = 0; \end{cases} \quad (7)$$

易得解为:

$$a_k = \frac{N \sum_{m=1}^N h_k(m) x_m - \left(\sum_{m=1}^N x_m \sum_{m=1}^N h_k(m) \right)}{N \sum_{m=1}^N x^2 m - \left(\sum_{m=1}^N x m \right)^2} \quad (8)$$

$$b_k = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N h_k(m) - a_k \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N x_m \quad (9)$$

当 a_k, b_k 得到后, 信道的估计值被重新生成, 即

$$\hat{\tilde{h}}_k(m) = a_k x_m + b_k \quad 1 \leq m \leq N, k = 1, 2, \dots, L \quad (10)$$

3.2.2 非线性回归算法

本文中, 我们考虑的非线性算法是二次非线性回归算法, 即在一个块内, 对 N 个信道参数选择合适的 a_k, b_k, c_k 使得 $J_2 = \sum_{m=1}^N |\tilde{h}_k(m) - (a_k x_m^2 + b_k x_m + c_k)|^2$ 最小. 即,

$$\begin{cases} \frac{\partial J_2}{\partial a_k} = 0; \\ \frac{\partial J_2}{\partial b_k} = 0; \\ \frac{\partial J_2}{\partial c_k} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

此时的解为:

$$\begin{bmatrix} a_k \\ b_k \\ c_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{m=1}^N x_m^4 & \sum_{m=1}^N x_m^3 & \sum_{m=1}^N x_m^2 \\ \sum_{m=1}^N x_m^3 & \sum_{m=1}^N x_m^2 & \sum_{m=1}^N x_m \\ \sum_{m=1}^N x_m^2 & \sum_{m=1}^N x_m & N \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{m=1}^N x_m^2 \tilde{h}_k(m) \\ \sum_{m=1}^N x_m \tilde{h}_k(m) \\ \sum_{m=1}^N \tilde{h}_k(m) \end{bmatrix} \quad (12)$$

从而, 更新的信道参数可以表示为:

$$\hat{\tilde{h}}_k(m) = a_k x_m^2 + b_k x_m + c_k \quad 1 \leq m \leq N, k = 1, 2, \dots, L \quad (13)$$

4 仿真结果

这一部分我们分别仿真比较了在 LAS-CDMA 系统中相同条件下传统连续导频信道估计和本文提出方法的性能. 仿真

中的信道是 ITU-VA 5 径模型, 衰减依次为 0dB, - 5dB, 13.9dB, - 20.6dB 及 - 32.7dB. 接收机为三径 RAKE 接收. 图 3, 图 4 描述的是连续导频结合线性回归算法的性能. 车速分别是 30km/h, 120km/h, 块的长度 N 依次取了 4, 8, 16 和 32 个符号的持续时间.

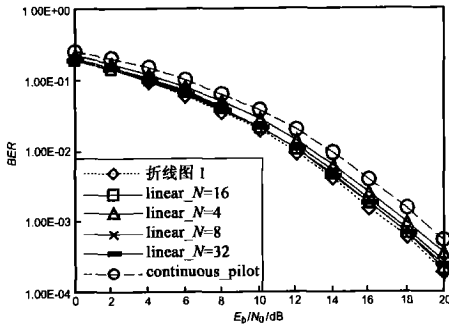


图 3 线性回归 BER 特性 $SF=128; N=4,8,16,32; v=30\text{km/h}$

从图 3 中可以看出, 当车速为 30km/h 时, 在 BER 为 1.0×10^{-3} 时, 新方法比传统的连续导频信道估计方法至少要好 1dB. 当 N 为 8 时, 回归算法要好约 1.5dB. 当 N 为 16 和 32 时, 本文提出的信道估计方法已经接近理想信道估计, 比连续导频要好接近 2dB. 图 4 中, 当车速为 120km/h 时, N 取 8 时要比连续导频好 1dB.

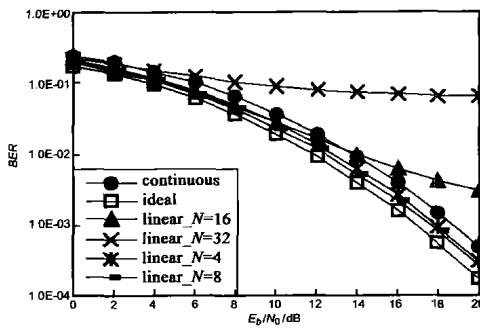


图 4 线性回归 BER 特性 $v=120\text{km/h}$

在图 4 中 N 取 32 时, 性能急剧恶化. 这是由时变信道的时相关性造成的. 当 N 过大时, 每个块的持续时间和信道的相关时间相当, 从而使线性回归算法无法跟踪上信道的变化. 通常多普勒频移可以表示为^[3]:

$$f_d = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{c/f} \quad (14)$$

这里 c 为光速, f 是载频, v 是移动速度. 在仿真中, 当 v 是 120km/h, f 是 2GHz 时, f_d 为 222Hz, 相关时间为 $\frac{9}{16 * \pi * f_d}$, 即 0.8ms. SF 为 128, 一个符号的持续时间为 0.1ms, 这样当 N 大于 $0.8/0.1 = 8$ 时, 线性回归就有可能跟踪不上信道的变化, 造成信道估计误差加大.

鉴于此, 在信道变化较剧烈时, 我们将采用非线性回归算法. 仿真条件同上. 从图 5 中可以看出当车速为 30km/h, N 取 32 时, 非线性回归算法的性能要比连续导频的方法好约 2dB, 已经基本接近理想信道估计了. 这和图 3 的结论是一致的. 图 6 中 N 取 16 的性能要比图 4 中好的多, 接近理想信道估计. 这充分说明了非线性回归对信道变化的跟踪能力更强.

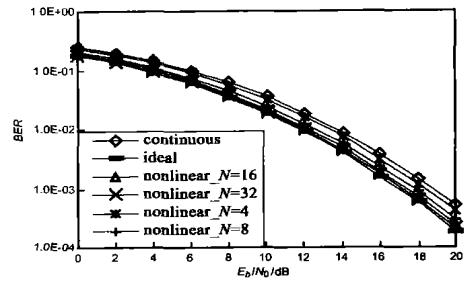


图 5 非线性回归 BER 特性 $v=30\text{km/h}$

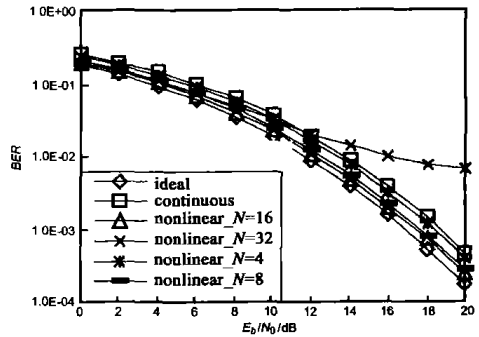


图 6 非线性回归 BER 特性 $v=120\text{km/h}$

5 结论

在 ITU-VA 五径信道模型下, 本文分别比较了新方法和传统连续导频估计方法在车速为 30km/h, 60km/h 和 120km/h 时 LAS CDMA 的系统性能. 仿真结果表明, 在信道变化缓慢时, 用线性的回归算法, 通过选取合适的块长 N , 系统性能可以提高 1-2dB, 接近理想信道估计性能. 当信道变化较快时, 采用非线性回归算法同样可以提高系统性能, 达到理想估计性能.

参考文献:

- [1] Daoben Li. The perspective of LAS-CDMA technology for the fourth generation of wireless mobile radio [J]. IEEE Communications Magazine, March 2003.
- [2] Klaus Knoche, Jurgen Rinas and Karl Dirk Kammerer. Channel Estimation with linear Interpolation and Decision Feedback for UTRA FDD Downlink [A]. IEEE Int Symp on Spread Spectrum Tech& Appl [C]. Sept 2- 5, 2002.
- [3] Theodore S. Rappaport. Wireless Communications Principles and Practice [M]. Prentice Hall Inc. 1996.

作者简介:



王 刚 男, 1979 年出生于安徽定远, 北京邮电大学博士生, 研究方向为 CDMA 系统中的信道估计, 多用户检测, 多载波技术. E-mail: wg9622@vip.sina.com.

董江波 女, 1978 年出生于山西忻州, 北京邮电大学博士生, 主要研究方向为 CDMA 系统中的信道编码, 多用户检测, 信道估计等.

李道本 男, 1939 年出生于河南郑州, 北京邮电大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为信号与信息处理, 调制与编码, 码分多址.