

基于顺序蒙特卡罗方法的窄带 MIMO 信道盲跟踪

潘沛生 郑宝玉

(南京邮电大学信息工程系 南京 210003)

摘要 目前流行的空时处理技术的关键假设在于接收机已知 MIMO 信道状态信息, 而 MIMO 信道是时变的, 所以如何跟踪 MIMO 信道就变得十分重要。该文提出了一种基于顺序蒙特卡罗技术的窄带 MIMO 信道盲跟踪方法, 仿真结果表明该方法能够很好地跟踪信道。

关键词 窄带 MIMO 信道, 顺序蒙特卡罗, 信道跟踪, 空时处理

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)12-2323-02

Blind Tracking of Narrow-Band MIMO Channel Based on the Sequential Monte Carlo Method

Pan Pei-sheng Zheng Bao-yu

(Dept. of Info. Eng., Nanjing Univ. of Posts and Telecom., Nanjing 210003, China)

Abstract One of key assumptions of currently popular space-time processing technology is that receiver knows MIMO channel state information(CSI). Because MIMO channel is time-varying, how to track channel is very important. In this paper, blind tracking of narrow-band MIMO channel based on sequential Monte Carlo is proposed. Simulation results show the good tracking of the proposed method.

Key words Narrow-band MIMO channel, Sequential Monte Carlo(SMC), Tracking of channel, Space-time processing

1 引言

近年来提出的 MIMO(Multiple-Input-Multiple-Output)系统具有比传统的单输入单输出系统 SISO (Single-Input-Single-Output)高得多的频谱效率^[1,2], 这对频带相对比较紧张的无线通信来说无疑是一个巨大的进步。各种空时处理技术^[3,4]利用了空间分集和时间分集进行编码。但是这些方法的前提是接收机必须知道准确的 MIMO 信道状态信息, 为此采用训练的方法来获知信道状态信息, 但是由于训练码占据了一部分信道带宽降低了信道的频带利用率。

本文利用顺序蒙特卡罗方法对 MIMO 信道进行实时跟踪, 以 STB(Space Time Block)技术^[4]编解码, 仿真结果表明该方法可对信道进行很好的跟踪。

2 MIMO 系统模型

一个典型的 MIMO 系统模型如图 1 所示。我们可用式(1)来描述这个模型

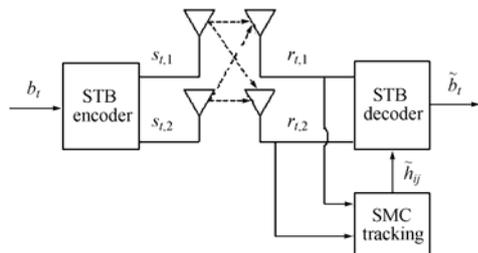


图 1 MIMO 系统模型
Fig.1 Model of MIMO system

$$r_{t,j} = \sum_{i=1}^{N_t} h_{ij}^t s_{t,i} + n_{t,j}, \quad j=1,2,\dots,N_r \quad (1)$$

其中 N_t 表示发射天线数目, N_r 表示接收天线数目, $r_{t,j}$ 表示在 t 时刻第 j 个接收天线收到的数据, $s_{t,i}$ 表示在 t 时刻第 i 个发射天线发送的数据, h_{ij}^t 表示在 t 时刻从第 i 个发射天线到第 j 个接收天线的无线信道的状态信息, $n_{t,j}$ 表示在 t 时刻在第 j 个接收天线测量的噪声。

3 MIMO 信道模型

MIMO 信道的仿真模型可以采用修正的 Jakes 衰落模型^[5], 该模型是通过正弦波函数的累和对多径衰落信道建模的。MIMO 信道的状态方程可以用一阶 AR 模型来表示:

$$h_{ij}^k = \beta h_{ij}^{k-1} + \eta(k) \quad (2)$$

其中 β 为一阶 AR 系数。

由于式(2)的自相关函数同 Jakes 模型的相等, 我们知道 Jakes 模型的自相关函数 $\varphi(\tau) = J_0(2\pi f_D \tau)$, 其中 f_D 为多普勒频偏, $J_0(\cdot)$ 是零阶 Bessel 函数。因而可求得 $\beta = J_0(2\pi f_D T_s)$, 其中 T_s 为采样周期。

4 顺序蒙特卡罗算法

顺序蒙特卡罗方法^[6]近年来在机器人、图像处理和通信都获得了很好的应用。假设从已知接收信号的观测值 $Y_k = (y_0, y_1, \dots, y_k)$ 计算未知的信道状态信息 $H_k = (h_0, h_1, \dots, h_k)$ 的任意函数 $g(H_k)$ 的均值:

$$E\{g(H_k) | Y_k\} = \int g(H_k) p(H_k | Y_k) dX_k \quad (3)$$

按照 $p(H_k | Y_k)$ 分布随机采 m 个样本 $\{H_k^{(j)}\}_{j=1}^m$, 则

$$E\{g(H_k) | Y_k\} \cong (1/m) \sum_{j=1}^m g(H_k^{(j)}) \quad (4)$$

当由于种种原因不可能直接从 $p(H_k | Y_k)$ 采样时, 通常可以从某个接近于 $p(H_k | Y_k)$ 的分布 $q(H_k | Y_k)$ 采样, 这个函数 $q(H_k | Y_k)$ 称为重要函数(important function)。设 $\{H_k^{(j)}\}_{j=1}^m$ 是 m 个按照 $q(H_k | Y_k)$ 分布的随机采样样本。定义重要加权因子(important weight):

$$w_k^{(j)} = \frac{p(H_k^{(j)} | Y_k)}{q(H_k^{(j)} | Y_k)} \quad (5)$$

则

$$E\{g(H_k) | Y_k\} \cong \frac{1}{W_k} \sum_{j=1}^m w_k^{(j)} g(H_k^{(j)}) \quad (6)$$

其中 $W_k = \sum_{j=1}^m w_k^{(j)}$ 。 $\{H_k^{(j)}, w_k^{(j)}\}_{j=1}^m$ 被称为关于分布 $p(H_k | Y_k)$

的合适加权样本(properly weighted sample)。为了能递推地更新重要加权因子 w_j , 采用如下方法:

(1)按照 $q(h_k | H_{k-1}^{(j)}, Y_k)$ 采样 h_k^j , 令 $H_k^{(j)} = (H_{k-1}^{(j)}, h_k^j)$

$$(2) w_k^{(j)} = w_{k-1}^{(j)} \frac{p(y_k | h_k^{(j)}) p(h_k^{(j)} | h_{k-1}^{(j)})}{q(h_k^{(j)} | H_{k-1}^{(j)}, Y_k)} \quad (7)$$

如果我们令由式(2)表示的随机模型作为我们的的重要函数模型, 则可得

$$w_k^{(j)} = w_{k-1}^{(j)} p(y_k | h_k) \quad (8)$$

如果令 $g(H_k) = H_k$, 则由式(6)可得

$$E\{H_k | Y_k\} \cong \frac{1}{W_k} \sum_{j=1}^m w_k^{(j)} H_k^{(j)} \quad (9)$$

式(8)、式(9)构成了随时间更新的递推形式, 依此对时变信道进行实时跟踪。

实际上, 随着递推的进行, 有一部分样本的重要加权因子为零, 因此必须进行重采样(resampling)。所谓重采样就是丢弃那些重要加权因子较低的样本, 而重复那些重要加权因子较高的样本。对于在递推过程中何时重采样, 可引入近似有效采样尺度^[6] (effective sample size):

$$\hat{N}_{\text{eff}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m (\tilde{w}_k^{(j)})^2}, \quad \tilde{w}_k^{(j)} = \frac{w_k^{(j)}}{\sum_{j=1}^m w_k^{(j)}} \quad (10)$$

在递推时当 \hat{N}_{eff} 低于某个固定阈值 N_{thres} 时, 就要进行重采样。

5 仿真结果

仿真 $N_t = 2, N_r = 2$ 的 MIMO 系统, MIMO 信道的时间-多普勒衰落率 $f_D T_s$ 为 0.01, 调制信号采用 4PSK, 空时编码采用最简单的 2×2 分组码 $\mathbf{C}_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} c_1 & -c_2^* \\ c_2 & c_1^* \end{bmatrix}$; 图 2 说明了第 1 发射天线至第 1 接收天线的信道跟踪情况, 系统的 SNR

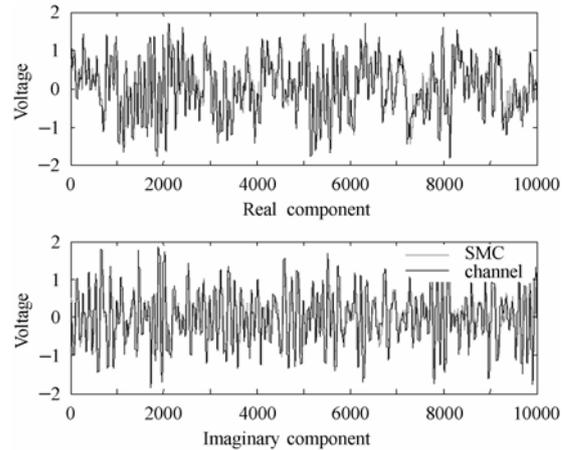


图2 信噪比为 15dB 时顺序蒙特卡罗跟踪的信道同真实信道的比较
Fig.2 Compare between SMC tracking and real channel at 15dB

是 15dB, 有效采样尺度阈值 $N_{\text{thres}} = \frac{1}{\text{采样总个数}} \times \frac{2}{3}$, 从图 2 可以看到采用顺序蒙特卡罗可以有效地跟踪时变的平衰落 MIMO 信道。

6 结束语

本文提出了一种基于顺序蒙特卡罗的窄带 MIMO 信道盲跟踪方法。利用顺序蒙特卡罗随时间递推的特点, 通过对信道状态样本求平均的方法获得信道状态信息。仿真结果表明该方法能够有效地跟踪时变 MIMO 信道。

参考文献

- [1] Foschini G. Layered space-time architecture for wireless communications in a fading environment when using multi-element antennas[J]. *Bell Labs. Tech. J.*, 1996, 1(2): 41–59.
- [2] Foschini G, Gans M J. On limits of wireless communications in a fading environment when using multi-element antennas[J]. *Wireless Pers. Commun.*, 1998, 6(3): 311–315.
- [3] Alamouti S. A simple transmit diversity technique for wireless communications[J]. *IEEE J. on Select. Areas Commun.*, 1998, 16(8): 1451–1458.
- [4] Tarokh V, Seshasri N, Calderbank A. Space-time block coding for wireless communications: performance criterion and code construction[J]. *IEEE Trans. on IT*, 1998, 44(2): 744–765.
- [5] Dent P, Bottomley G E, Croft T E. Jakes fading model revisited[J]. *Electronics Letters*, 1993, 19(13): 1162–1163.
- [6] Doucet A, Godsill S, and Andrieu C. On sequential Monte Carlo sampling methods for Bayesian filtering[J]. *Statistics and Computing*, 2000, 10(3): 197–208.

潘沛生: 男, 1966 年生, 讲师, 博士生, 研究方向为现代通信中的智能信号与信息处理。

郑宝玉: 男, 1945 年生, 教授, 博士生导师, 中国通信学会通信理论与信号处理专业委员会主任委员, 主要研究方向为现代通信中的智能信号与信息处理、量子信号与信息处理技术。