

# 基于 SMO 算法的多用户检测技术

火元莲, 齐永锋, 宋海声

(西北师范大学 物理与电子工程学院, 甘肃 兰州 730070; 西北师范大学 数学与信息科学学院, 甘肃 兰州 730070)

**【摘要】**由于支持向量机的出色的学习性能, 它已成为继神经网络之后新的研究热点, 并在很多领域得到了成功的应用。本文提出了一种基于支持向量机多用户检测器, 并采用顺序最小优化(SMO)算法构建了多用户检测器。计算机仿真的结果表明, 该检测器的抗误码性能和抗远近效应性能都优于传统的多用户检测器。

**【关键词】**码分多址; 多用户检测; 支持向量机; 顺序最小优化

**【中图分类号】** TN911.7

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1002-0802(2007)11-0136-03

## Multi-user Detection Technology Based on SMO Algorithm

HUO Yuan-lian, QI Yong-feng, SONG Hai-sheng

(College of Physics and Electronic Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou Gansu 730070, China;  
College of Mathematics and Information Science, Northwest Normal University, Lanzhou Gansu 730070, China)

**【Abstract】** Support vector machines(SVM) have become the hotspot of machine learning because of their excellent performance. And it is applied well in many fields, too. In this paper, a kind of Multi-User Detection based on SVM is given and a sequential minimization optimization(SMO) algorithm is used to construct a Multi-User Detection. Computer simulation results have shown that this kind of Multi-User Detection has better performance in resistance against Bit Error Ratio(BER) and near-far effect than conventional detector.

**【Key words】** code-division multiple access; multi-user detection; support vector machines; sequential minimal optimization

### 0 引言

多用户检测的思想最早是在 1979 年由 K.S.Schneider<sup>[1]</sup>提出。1986 年 S.Verdu 利用对数似然函数的可分解性, 证明了 Schneider 的猜想, 并根据多址干扰结构信息首先设计出了最大似然序列检测器 (MLSD-Maximum-Likelihood Sequence Detector)<sup>[2]</sup>, 理论上这种检测器可以逼近单用户接收机性能, 并能有效克服“远近效应”问题, 显著提高系统性能。然而, 由于其计算量随用户数呈指数增长, 在实际中很难实现, 仅具有理论上的指导意义。于是促使人们开始寻找计算复杂度低、性能比传统检测器优越的次最优 (Sub-Optimum) 检测器, 其中包括干扰抵消、解相关检测器、神经网络多用户检测器、小波多用户检测器以及基于训练序列或盲模式的自适应多用户检测器等。随着统计学理论的发展, 支持向量机在模式识别中取得了极大的成功, 在许多应用中, 支持向量机很好地解决了分类问题。将支持向量

机引用到 CDMA 系统中, 也能很好地克服多址干扰问题。在文中, 笔者采用了具有较强收敛性的 SMO 算法来解决 SVM 中有约束的二次规划问题, 以提高系统的整体性能。

### 1 SVM 基本原理

根据结构风险最小化原理, Vapnik 提出了支持向量机<sup>[3]</sup>这种新的分类方法, 假定大小为  $L$  的训练样本集  $\{(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, L\}$  由两类别组成, 如果  $X_i \in R^d$  属于第一类, 则标记为正 ( $y_i = 1$ ); 否则, 标记为负 ( $y_i = -1$ )。如果存在分类超平面  $H$  为

$$\omega \cdot x + b = 0, \quad (1)$$

使得

$$y_i(\omega \cdot x + b) \geq 1, \quad i=1, 2, \dots, L. \quad (2)$$

因此, 构造最优超平面的问题就转化为在条件 (2) 下使分类间隔最大化的问题, 可得到最优分类函数:

收稿日期: 2007-06-12。

基金项目: 甘肃省自然科学基金资助项目 (编号: ZS031-A25-006-Z)。

作者简介: 火元莲 (1973-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向为通信信号处理、智能优化算法; 齐永锋 (1972-), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为智能优化算法、计算机应用、数字信号处理; 宋海声 (1964-), 男, 讲师, 主要研究方向为计算机应用、电子技术及应用。

$$y(x) = \text{sgn}[\omega \cdot \phi(x) + b] = \text{sgn}[\alpha_i y_i K(x_i, x) + b], \quad (3)$$

式(3)中的拉各朗日乘子 $\alpha_i$ 可通过下列目标函数得到:

$$\begin{aligned} \max L(\omega, b, \xi, \alpha) &= \sum_{i=1}^l \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j), \\ \text{s.t.} \quad 0 &\leq \alpha_i \leq c, \quad \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

SVM的数学模型可归结为一个有约束的二次规划(QP)问题,如何快速地解决这个二次规划,是SVM需解决的一个重要问题。

## 2 SMO训练算法

顺序最小优化<sup>[4]</sup>(SMO)能快速地解决SVM的二次规划问题,在保证收敛的条件下,把SVM的二次规划问题分解为一系列子问题来解决。SMO采用和分解算法相似的方法,将整个SVM的QP问题分解为一系列QP子问题。不同的是,SMO每一步选择解决最小的优化问题,在每一步,选择两个拉格朗日乘子进行联合优化,计算乘子的最优值,并更新相应的 $\alpha$ 向量。不失一般性,假定选定的两个元素是 $\alpha_1$ 和 $\alpha_2$ 。可以看出,为了不违反线性约束条件 $\sum_{i=1}^l \alpha_i y_i = 0$ ,乘子的新值必须在一条直线上:

$$\alpha_1^{\text{new}} + \alpha_2^{\text{new}} = \text{常数} = \alpha_1^{\text{old}} + \alpha_2^{\text{old}}. \quad (5)$$

这条线是在 $(\alpha_1, \alpha_2)$ 的空间,并且在 $0 \leq \alpha_i, \alpha_2 \leq C$ 的约束中。

将(5)式带入(4)式并优化目标函数可得到:

$$\alpha_2^{\text{new,unc}} = \alpha_2^{\text{old}} + \frac{y_2(E_1 - E_2)}{K}. \quad (6)$$

然后用边界约束得到 $\alpha_2^{\text{new}}$ ,就得到了限制的最大量化:

$$\alpha_2^{\text{new}} = \begin{cases} V, & \text{当 } \alpha_2^{\text{new,unc}} > V, \\ \alpha_2^{\text{new,unc}}, & \text{当 } U \leq \alpha_2^{\text{new,unc}} \leq V, \\ U, & \text{当 } \alpha_2^{\text{new,unc}} \leq U. \end{cases} \quad (7)$$

则 $\alpha_1^{\text{new}}$ 可由(5)式计算得到。

SMO在每次迭代时,从训练集中启发式地选择最可能违反KKT条件的两点进行优化,并通过监视满足KKT条件的允许偏差来判断算法是否可以终止,如果偏差小于某个值,则可以停止计算。

## 3 SVM在多用户检测中的应用

为了简化计算,假定小区有 $K$ 个用户,则基带接收信号为

$$r(t) = \sum A_k b_k(t) s_k(t) + \sigma n(t) \quad t \in [0, T] \quad (8)$$

式(8)中: $T$ 为字符间隔, $n(t)$ 为单位功率谱密度的高斯白噪声, $b_k \in \{-1, 1\}$ 为用户 $K$ 的发送信号, $s_k(t)$ 为用户 $K$ 的扩频码符号波形, $A_k$ 为用户 $K$ 的信号幅值, $\sigma^2$ 为噪声能量。

实际上,对匹配滤波器输出信号的判别是一个二进制序列的二值识别问题,可以把接受向量分成两类。从这个角度讲,多用户检测可视为一个两类别的分类问题,因此可以将SVM分类方法引入多用户检测,对匹配滤波器输出信号进行判别,其结构框图如图1。

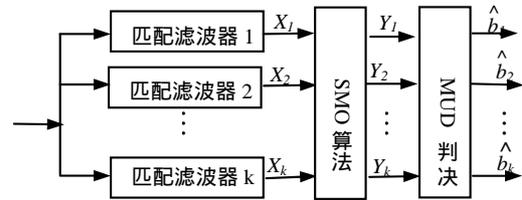


图1 SMO多用户接收机原理框图

## 4 实验仿真及结论

在实验中,对同步高斯信道进行模拟,系统采用BPSK调制。对于最优多用户检测器,用理论公式计算其误码率<sup>[5]</sup>:

$$P_e = \sum_{i=1}^k Q\sqrt{2E_i/N_0}, \quad (9)$$

式(9)中, $E_i$ 为第 $i$ 个用户发送的能量; $N_0=1$ 为单边带加性高斯白噪声功率谱密度。

**实验一** 在一定远近效应情况下,不同信噪比对系统性能的影响。

先考虑一个10用户DS-CDMA系统。用户具有相同的能量,扩频码为Gold序列,扩频增益为 $N=31$ ,训练样本为10000个,期望用户为用户1。图2为多用户检测器的性能比较。

在图2中,横坐标为期望用户与高斯白噪声的信噪比SNR,纵坐标为多用户检测器的误码率BER,曲线Optimum Detector为最优多用户检测器的误码率,曲线Conventional Detector为自适应传统多用户检测器的误码率,曲线SMO Detector为SMO多用户检测器的误码率。从图2中可以看出,支持向量机检测器的性能明显比传统检测器的高,其误码率性能接近于最优检测器。

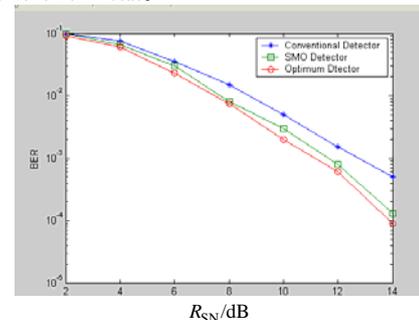


图2 误码率随信噪比的变化曲线

**实验二** 在一定信噪比情况下,不同远近效应对系统性能的影响。

在实验中,考虑3用户DS-CDMA系统。用户1和用户3具有相同的能量,用户2的能量可变,用户1为期望用户,且期望用户与高斯白噪声的比值(SNR)为11dB。

当期望用户的信噪比一定时,检测器的误码率随 $E_2/E_1$ 的关系如图3。在图3中,纵坐标为误码率;横坐标为用户2与用户1的能量比。从图3中看到,随着远近效应程度的增加,传统检测器的性能急剧恶化。由于SMO多用户检测器是传统检测器的改进,它对远近效应不敏感,具有很好的抗远近效应能力。

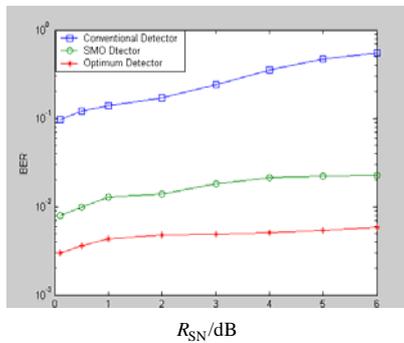


图3 系统误码率随远近比变化的曲线

**实验三** 在一定信噪比情况下,不同用户数对系统性能的影响。

假定期望用户与高斯白噪声的信噪比 SNR 为 6 dB,并假定干扰用户的能量与期望用户的相同。将 SMO 检测器与传统检测器、MMSE 检测器进行误码率随系统用户数的变化的比较如图 4。

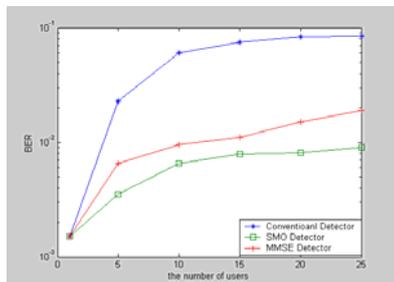


图4 系统误码率随用户数变化曲线

在图 4 中,横坐标为系统中的用户数,纵坐标为多用户检测器的误码率。从图 4 中,可看到随着用户数的增加,三种检测器的误码率都有所增加,传统的多用户检测器的误码率上升明显,但 SMO 检测起的误码率上升速率要低于其他两

(上接第 132 页)

结果表明传统的CAC方案性能最差,CAC方案的自适应要比传统的好,改进后基于门限的快速自适应方案性能最好。这是因为基于门限比较的快速自适应CAC算法与传统的同类算法相比,具有判决速度快、判决精度高、门限自适应和简单易行等特点。呼阻率与中心小区话务量的关系如图1所示。

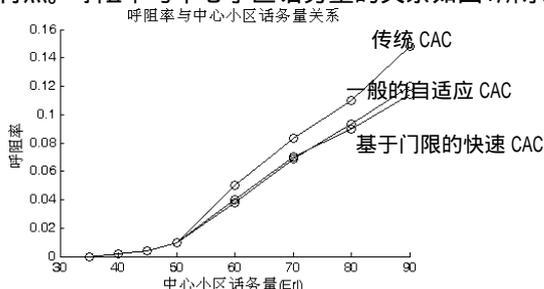


图1 呼阻率与中心小区话务量的关系

### 3 结语

呼叫接纳控制是CDMA移动通信系统无线资源管理的重要组成部分。在实际中,往往与功率控制和发射数据速率调节等机制配合工作。经过理论分析和计算机仿真验证,文中给出的改进的基于门限自适应的快速算法与传统的基于门限比较的算法相比有很多优点。如判决速度快,因为此算法判决时只须与

种检测器的误码率,这就进一步表明了将 SMO 算法应用于多用户检测能大大改善系统的性能。

### 5 结语

从上面的模拟结果表明,基于 SMO 算法的多用户检测器是有效的和可行的,从而能提高系统的容量,克服多址干扰。将 SMO 算法用于多用户检测器,可避免二次规划数值解法的复杂迭代过程的出现,大大节省了计算时间和存储空间,且不会产生由迭代法造成的积累误差。当然 SMO 的收敛训练算法有一定的复杂性,这就给系统的适时性带来了困难。因此,今后的研究中要进一步降低算法的复杂度,以提高其在适时信号处理中的可行性。

### 参考文献

- 1 Schneider K S. Optimum detection of code division multiplexed signal[J]. IEEE Trans. Aerop Electron Syst. 1979, 15(01):181 ~ 185.
- 2 Verdu S. Minimum probability of error for asynchronous Gaussian multiple access channel[J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 1986, 32(01):85 ~ 96.
- 3 Vapnik V N. The nature of statistical learning[M]. New York: Springer-Verlag, 1995.
- 4 Scholkopf B. Comparing support vector machines with gaussian kernels to radial basis function classifiers[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1997, 45(11):2758 ~ 2765.
- 5 GOHN G Proakis. 数字通信[M]. 北京:电子工业出版社, 2001:596 ~ 598.

门限进行比较,而门限中的所有参数在判决前已经确定;判决精度高;门限可随着系统业务负荷的变化自适应更新;操作性强;逻辑正确;条理清楚;使接纳控制易于实现。

### 参考文献

- 1 张建辉,毕海,陈勇. 3G系统中呼叫接纳控制概述[J]. 无线通信, 2003, 33:12 ~ 15.
- 2 Liu Zhao, Zarki Magda E1. SIR-based call admission control for DS-CDMA cellular systems[J]. IEEE Communications, 2004, 12(04): 638 ~ 644.
- 3 L Badia, M Zoriz. A framework for call admission control with threshold set up and evaluation of the performance in WCDMA systems[A]. Proc IEEE VTC Spring 2005[C]. Korea: Jeju, 2005. 11: 1213 ~ 1217.
- 4 Guo Y, Aazhong B. Call admission control in multi-class traffic CDMA cellular systems using multiuser antenna array receiver[A]. IEEE Vehicular Technology Conference [C]. Stockholm, 2005:365 ~ 369.
- 5 Liu Derong, Zhang Yi. Call admission control algorithms for DS-CDMA cellular networks supporting multimedia services [A]. IEEE International Conference on Multimedia and Expo [C]. Lausanne, Switzerland, 2002:33 ~ 36.