

# 基于最小二乘支持向量机的无线网络信道检测<sup>①</sup>

周向军

(广东省外语艺术职业学院 信息学院, 广州 510507)

**摘要:** 为了获得理想的无线网络信息检测结果, 提出了基于最小二乘支持向量机的无线网络信道检测机制. 首先对当前无线网络信道检测的研究现状进行分析, 并建立无线网络信道检测的假设模型, 然后采用最小二乘支持向量机构建无线网络信道检测模型, 并通过粒子群算法对最小二乘支持向量机参数进行优化, 最后在 Matlab 2014 平台上进行了无线网络信道检测的仿真实验, 以验证无线网络信道检测的有效性. 结果表明, 最小二乘支持向量机获得了高精度的无线网络信道检测结果, 无线网络的数据传输成功率得以改善, 大幅度降低了数据传输的误码率, 在相同实验条件下, 无线网络信道检测结果明显高于当前经典检测机制, 验证本文机制的优越性.

**关键词:** 无线网络; 信道检测; 最小二乘支持向量机; 数据传输误码率; 假设模型

引用格式: 周向军. 基于最小二乘支持向量机的无线网络信道检测. 计算机系统应用, 2018, 27(5): 151-155. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6339.html>

## Channel Detection of Wireless Networks Based on Least Squares Support Vector Machines

ZHOU Xiang-Jun

(School of Information, Guangdong Teachers College of Foreign Language and Arts, Guangzhou 510507, China)

**Abstract:** In order to obtain the ideal wireless network information detection results, a wireless network channel mechanism based on Least Squares Support Vector Machines (LSSVM) is proposed. Firstly, the research on the current situation of wireless network channel detection is analyzed, and the hypothesis model of wireless network channel detection is established. Then, using the least squares support vector construction of wireless network channel detection model, the particle swarm algorithm of LSSVM parameters are optimized. Finally, the wireless network channel detection experiments on MATLAB 2014 platform are performed in order to verify the effectiveness of the wireless network channel detection. The results show that the LSSVM for the wireless network channel achieves high precision detection results, the wireless network data transmission success rate is improved, and the error rate of data transmission is greatly reduced. Under the same experimental conditions, the wireless network channel detection results are significantly higher than that of the current classical detection mechanism, which verifies the superiority of the proposed model.

**Key words:** wireless networks; channel detection; least squares support vector machines; data transmission error rate; assumed model

## 1 引言

随着网络技术、通信技术以及无线电技术的不断发展, 出现无线网络通信系统, 其在许多领域得到了成功的应用<sup>[1,2]</sup>. 在无线网络的通信过程中, 一些非法用户

会假装成为合法用户对数据进行窃取, 占用信道, 造成网络资源的严重浪费, 而无线网络信道检测是一种保证网络正常通信的一项关键技术, 因此对无线网络信道检测进行研究具有十分重要的意义<sup>[3,4]</sup>.

① 基金项目: 广东省外语艺术职业学院科研团队资助基金 (2014KYTD03)

收稿时间: 2017-08-23; 修改时间: 2017-09-12; 采用时间: 2017-09-25; csa 在线出版时间: 2018-04-23

针对无线网络信道检测问题,学者进行了大量、深入的研究,提出一些无线网络信道的检测机制.最初无线网络通信机制沿用有线网络的信道检测机制,由于无线网络的开放性、随机性,信道具有强烈的时变性等特殊性,导致有线网络信道检测机制的检测效果差<sup>[5,6]</sup>.随后学者采用密钥对信道进行加密实现网络通信安全保证,该机制可以保证无线网络信道的安全性,但密钥的产生、分配目前还没有统一的指导,全凭经验进行设置,无法正确有效识别一些非法用户,无线网络信道检测的缺陷明显<sup>[7]</sup>.有学者提出了基于身份证的无线网络信道检测机制,该机制与密钥机制没有本质区别,同样无法有效保证无线网络通信的安全性<sup>[8]</sup>.近几年,随着机器学习算法的不断成熟,有学者提出基于BP神经网络、支持向量机等无线网络信道检测机制<sup>[9,10]</sup>,其中BP神经网络的结构复杂,基于“大数定理”,要求无线网络信道检测的样本多,导致信道检测成本高,支持向量机没有训练样本数量的限制,具有良好的信道检测效果,但训练时间长,导致信道检测的时间复杂度高,无线网络信道检测实时性差<sup>[11]</sup>.最小二乘支持向量机(Least Squares Support Vector Machines, LSSVM)对支持向量机的学习过程进行简化,大幅度缩短了建模时间,而且具有良好的泛化能力,为无线网络信道检测提供了一种新的工具<sup>[12]</sup>.

为了获理想的无线网络信息检测结果,结合无线网络信道的时变性等变化特点,提出了最小二乘支持向量机的无线网络信道检测模型.首先建立无线网络信道检测的假说模型,然后采用最小二乘支持向量机构建无线网络信道检测模型,最后在 Matlab 2014 平台上的仿真实验结果表明,最小二乘支持向量机获得了高精度的无线网络信道检测结果,大幅度降低了数据传输的误码率,检测结果明显成于当前经典检测机制.

## 2 无线网络通信模型及相关假说

### 2.1 无线网络的通信模型

在无线网络中,由于经常有一些非法用户的入侵,在通信过程加入了发送者身份识别技术,减少高层认证缓存负载,以提高无线网络通信的安全,无线网络通信模型结构如图1所示<sup>[13]</sup>.在图1中,全部实体处于其它实体的有效通信范围内,共包括3类实体,其中 Alice 和 Bob 表示合法的实体, Eve 表示非法实体,当 Alice 和 Bob 之间的相互通信时, Eve 会伪装合法实体

给 Alice 和 Bob 发送消息,那么 Alice 和 Bob 就要通过信道检测机制辨识消息来源合法性.

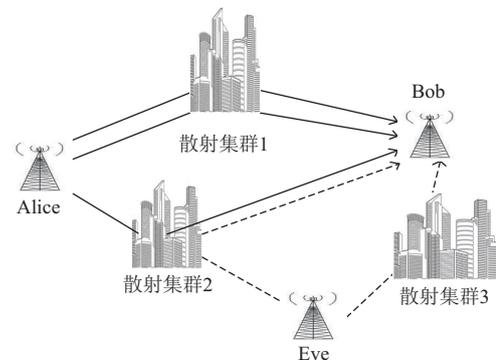


图1 无线网络通信模型结构

无线网络信道受到多种因素的综合影响,信道具有一定的时变特性,主要表现在小尺度效应和大尺度效应两个方面.尤其在室内环境,信道变化十分显著,这给信道检测带来一定的困难,本文主要针对室内低速移动场景的信道进行检测.

### 2.2 信道检验假设

无线网络实际是一种多输入多输出系统,将用户划分为两种:主用户和普通用户,主用户对信道使用具有优先权,普通用户只能使用主用户不使用的空闲信道,一旦主用户要使用某信道,普通用户必须马上停止使用该信道,为此无线网络通信系统采用频谱分配的信道使用方式.无线网络采用分层通信机制,实现双向通信认证,传输信息中含有身份认证信号, Bob 接收来自 Alice 的身份认证信号, Bob 通过身份认证信号估计得到信道响应,信道检验假说模型具体如下:

$$\begin{cases} H_0: \vec{h}_t(i) \in \text{Alice} \\ H_1: \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

无线通信信道检测问题为:给定一个合法用户的信道向量  $\vec{h}_t(i-1)$ ,判断下一个连续的信道向量  $\vec{h}_t(i)$  是否来自于 Alice,并且满足最优信道选择原则,结合无线网络信道变化特点,选择最小二乘支持向量机实现无线网络信道的检测.

## 3 最小二乘支持向量机的无线网络信道检测机制

### 3.1 最小二乘支持向量机

设的样本集合:  $(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, n$ , 其中  $x_i$  表示输

入,  $y_i$  表示类别, 那么可以得到这样的函数形式:

$$f(x) = w^T \varphi(x) + b \quad (2)$$

根据结构风险最小化原理, 最小二乘支持向量机可以得到:

$$\begin{cases} \min_{w,b,e} J(w,e) = \frac{1}{2} W^T W + \frac{\gamma}{2} \sum_{i=1}^n e_i^2 \\ \text{s.t. } y_i = w^T \varphi(x) + b + e_i, i = 1, 2, \dots, l \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $\gamma$  表示 LSSVM 的正则化参数.

引入拉格朗日乘子  $\alpha_i$ , 得到:

$$L(w,b,e,\alpha) = J(w,e) - \sum_{i=1}^l \alpha_i (w^T \varphi(x_i) + b + e_i - y_i) \quad (4)$$

基于 KKT 理论可以得到:

$$\begin{bmatrix} 0 & e1^T \\ e1 & Q + \gamma^{-1}I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ y \end{bmatrix} \quad (5)$$

同时满足如下条件:

$$\begin{cases} y = (y_1, y_2, \dots, y_l)^T \\ e1 = (1, 1, \dots, 1)^T \\ a = (a_1, a_2, \dots, a_l)^T \end{cases} \quad (6)$$

根据径向基函数作为 LSSVM 核函数, 径向基函数具体为:

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

式中,  $\sigma$  为径向基函数的宽度.

由于无线网络信道检测是一种分类问题, 因此最后最小二乘支持向量机的分类函数为:

$$f(x) = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right) + b\right) \quad (8)$$

### 3.2 粒子群算法优化分类器的参数

无线网络信道检测中, 分类器的参数  $\gamma$  和  $\sigma$  对检测结果影响十分严重, 为此本文选择粒子群算法优化参数  $\gamma$  和  $\sigma$  以获得更优的无线网络信道检测结果. 粒子群算法对鸟群觅食行为进行模拟, 通过个体和种群协作与竞争机制模拟问题的求解过程, 找到问题的最优解.

设共有  $M$  个粒子, 在第  $t$  代、的最优位置为  $p_i^t = (p_{i1}^t, p_{i2}^t, \dots, p_{id}^t)$ , 第  $t$  代速度和位置为:  $v_i^t = (v_{i1}^t, v_{i2}^t, \dots, v_{id}^t)$  和  $x_i^t = (x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{id}^t)$ , 粒子群的最好位置为  $p_g^t = (p_{g1}^t, p_{g2}^t, \dots, p_{gd}^t)$ ,  $g = \arg \min_{1 \leq i \leq m} \{ |P_i^t| \}$ , 粒

子速度和位置更新方式为:

$$v_{id}^{t+1} = v_{id}^t + c_1 r_1 (p_{id}^t - x_{id}^t) + c_2 r_2 (p_{gd}^t - x_{id}^t) \quad (9)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (10)$$

式中,  $c_1$  为认知项系数,  $c_2$  表示社会项系数.

为了更加有效好搜索问题的最优解, 强入惯性权重  $w$ , 式 (9) 变为:

$$v_{id}^{t+1} = w v_{id}^t + c_1 r_1 (p_{id}^t - x_{id}^t) + c_2 r_2 (p_{gd}^t - x_{id}^t) \quad (11)$$

$w$  值越大时, 全局搜索能力强,  $w$  值越小, 局部搜索能力强, 为平均全局搜索能力和局搜索能力, 采用动态方式对  $w$  进行调整, 具体如下:

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{\text{iter}_{\max}} \times \text{iter} \quad (12)$$

### 3.3 最小二乘支持向量机的信道检测流程

在无线网络信道检测过程中, 首先提取信号检测参数向量, 然后通过最小二乘支持向量机进行信道检测和分类, 得出检测结果, 具体流程如图 2 所示.

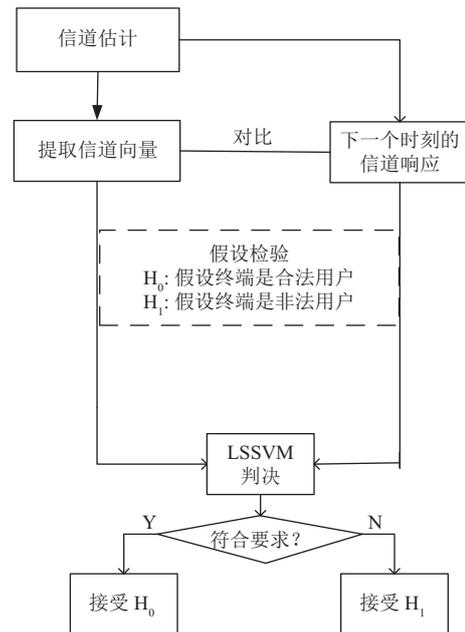


图 2 最小二乘支持向量机的信道检测流程

## 4 无线网络信道检测的实例分析

### 4.1 测试环境

为了客观、全面分析基于最小二乘支持向量机的无线网络通信检测机制的有效性, 在 Matlab 2014 平台进行了无线网络通信检测仿真实验, 为了使本文机制

的检测结果具有可比性,在相同实验条件,选择支持向量机、BP神经网络的无线信道检测机制进行对比测试,无线网络通信系统的验参数见表1.

表1 无线网络通信系统的相关参数

参数名	参数值
数据传输协议	HTTP
信道带宽	165 MHz
数据包个数	1万个
信道数量	10个
合法信道	+1
非法信道	-1

## 4.2 结果与分析

### 4.2.1 信道检测结果测试

对采集到的无线网络信道检测数据进行预处理,如去噪,归一化操作等,然后按3:1的比例将数据划分为训练数据和测试数据.训练数据用于训练最小二乘支持向量机,构建无线网络信道检测的分类器,并且采用粒子群算法对无线网络信道检测分类器的参数进行优化,最后根据无线网络信道检测分类器对测试进行分类和检测,检测结果见图3.

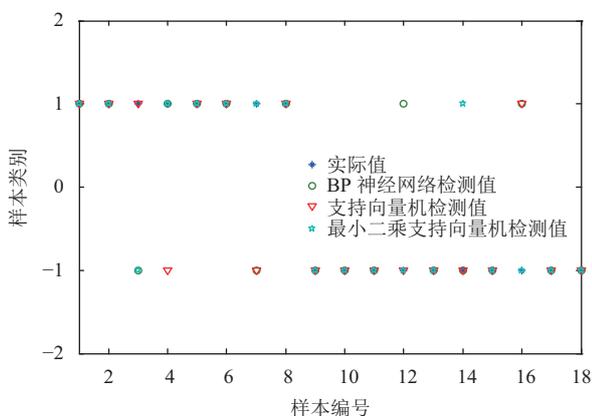


图3 不同无线网络信道检测机制的检测结果

对图3的无线网络信道检测的正确率进行对比分析可知,BP神经网络的无线网络信道检测的正确率最低,支持向量机的和最小二乘支持向量机的无线网络信道检测的正确率相差不大,均获得理想的无线网络信道检测结果,这是因为BP神经网络是一种传统机器学习算法,基于“大数定理”,要求无线网络信道检测的训练样本数量相当大的,而无线网络信道检测的训练样本有限,无法满足“大数定理”的要求,导致无线网络信道检测的虚警率高,无线网络信道检测结果的可信度低,实际应用价值低.

### 4.2.2 数据传输误码率测试

对不同的无线网络信道检测机制,随着仿真时间不断变化,它们的数据传输累计误码率仿真结果见图4.从图4可知,无线网络通信累计误码率随着仿真时间的延长而不断攀升,这是因为仿真时间越长,数据传输的数量不断增加,那么数据传输错误不断增加,导致数据重传的次数不断增加,数据传输的成功率也相应的下降,在相同仿真时间段内,BP神经网络的数据传输累计误码率最高,其次为支持向量机,数据传输累计误码率最小者为最小二乘支持向量机,这表明最小二乘支持向量机可以更好的对无线网络信道进行检测,使数据通过更加可靠信道进行传输,增强了无线网络通信的鲁棒性.

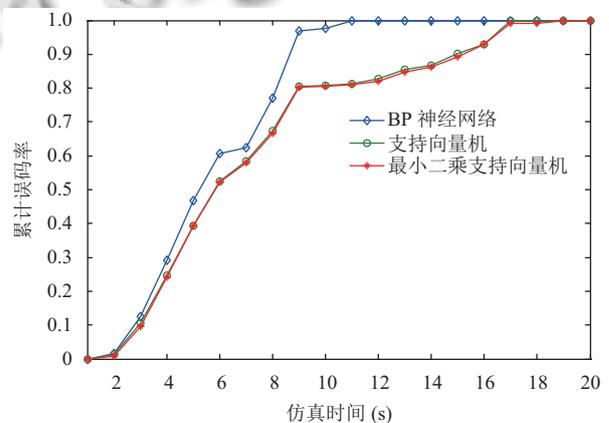


图4 无线网络通信累计误码率

### 4.2.3 吞吐量测试

统计所有无线网络通信检测机制的吞吐量,结果如图5所示,从图5可以发现,随着无线网络信号质量的不断改善,所有机制的吞吐量得到相应改善,在信噪比条件下,相对于BP神经网络,支持向量机,最小二乘支持向量机的吞吐量得到不同程度的提升,这主要因为最小二乘支持向量机通过粒子群算法对分类器参数优化,更加精确的实现无线网络信道检测,降低了非法用户对通信干扰和不利影响,数据保密性得到增强,提高了无线网络通信系统的安全性.

### 4.2.4 信道检测的时间测试

在无线网络通信系统的工作过程,实时性明显得尤为重要,为此统计不同无线网络信道检测时间(s),结果如图6所示,对图6的无线网络信道检测时间进行比较可以发现,BP神经网络的无线网络信道检测时间最短,而支持向量机的无线网络信道检测时间显著增加,而最小二乘支持向量机的无线网络信道检测时间处于中间,虽然BP神经网络的信道检测速度快,但是

其检测正确率,没有什么实际应用价值,而支持向量机的检测速度太慢,无法满足无线网络信道检测实时性,而最小二乘支持向量机兼顾了检测效果和检测时间的平均,综合性能具有比较显著的优越性。

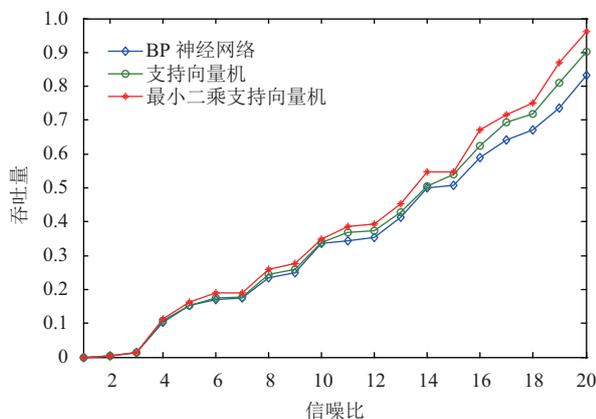


图5 无线网络通信系统的保密吞吐量

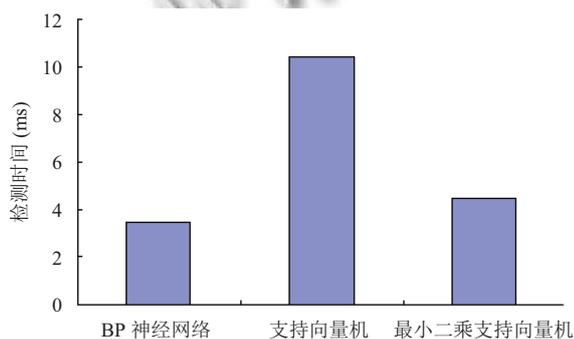


图6 无线网络信道的平均检测时间

## 5 结论

信道检测是保证无线网络通信安全的一种重要机制,为了提高无线网络信道检测的准确性,提出了基于最小二乘支持向量机的无线网络的信道检测机制,并且通过仿真实验可以得到如下结论:

(1) 基于BP神经网络的无线网络信道检测机制的检测效果差,这主要是由于BP神经网络基于经验风险最大化原理建模,无法准确反映无线网络信道的变化特点,获得了较高的数据传输误差率,信道通信质量差。

(2) 支持向量机以及最小二乘支持向量机基于结构风险最小化原理建模,可以对不同类型信道进行分类和检测,提高了无线网络信道的检测精度,加快了数据传输速度,而且数据传输成功率也得以改善,具有比

较明显的优势。

(3) 采用粒子群算法对最小二乘支持向量机的参数优化,可以改善无线网络信道检测的准确性,防止了凭经验确定最小二乘支持向量参数的局限性,降低了数据传输的误码率,提高了无线网络的保密吞吐量,在保证无线网络安全性方面具有广泛的应用前景。

## 参考文献

- 1 Pei CC, Zhang N, Shen XM, *et al.* Channel-based physical layer authentication. Proceedings of 2014 IEEE Global Communications Conference. Austin, TX, USA. 2014. 4114-4119.
- 2 颜伟, 蔡跃明, 潘成康. 双向中继信道中物理层网络编码的检测. 通信学报, 2012, 33(2): 82-86.
- 3 朱亚东, 严锡君. 基于非平稳时频分析的无线网络信道均衡算法. 计算机系统应用, 2017, 26(2): 179-183. [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005663]
- 4 李敏乐, 毕大平, 韩佳辉. 适于动态信道化接收机的信道检测算法. 现代雷达, 2017, 39(5): 50-53.
- 5 孙希延, 刘健, 纪元法, 等. 基于似然比检验的超宽带信道检测与定位算法. 电子与信息学报, 2017, 39(3): 590-597.
- 6 Marano S, Gifford WM, Wymeersch H, *et al.* NLOS identification and mitigation for localization based on UWB experimental data. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010, 28(7): 1026-1035. [doi: 10.1109/JSAC.2010.100907]
- 7 薛伟, 宋成君, 张东东. 基于虚拟信道多路径融合认知无线网络路由算法. 计算机系统应用, 2015, 24(10): 227-232. [doi: 10.3969/j.issn.1003-3254.2015.10.038]
- 8 路璐, 凌捷. 尺度变换复双树小波网络隐藏信道深度检测. 计算机应用研究, 2017, 34(1): 256-260.
- 9 刘标, 兰少华, 张晶, 等. 一种基于递归图的网络时间隐蔽信道检测方法. 计算机科学, 2015, 42(2): 114-117, 149. [doi: 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.02.024]
- 10 梁竣. 网络存储隐蔽信道检测的改进与优化仿真. 计算机仿真, 2017, 34(2): 406-409.
- 11 刘义, 兰少华. 基于 One-class SVM 的网络时间隐蔽信道检测方法. 计算机与现代化, 2017, (6): 108-111, 121.
- 12 刘春. 基于 PSO-LSSVM 的网络流量预测模型. 计算机系统应用, 2014, 23(10): 147-151. [doi: 10.3969/j.issn.1003-3254.2014.10.025]
- 13 杨建喜, 戴楚屏, 姜婷婷, 等. 基于支持向量机的4G室内物理层认证算法. 计算机应用, 2016, 36(11): 3103-3107, 3112. [doi: 10.11772/j.issn.1001-9081.2016.11.3103]