

文章编号:1001-893X(2010)08-0086-06

一种基于导频插值原理的干扰温度估计方法^{*}

胡智伦,何世彪,葛利嘉,张 豪

(重庆通信学院,重庆 400035)

摘 要:根据信道估计中二维矩形导频图案的设置原理和 IEEE 802.22 系统工作部署示意图,部署一定数目的传感器探测主用户的功率谱,并结合多窗口谱估计联合奇异值分解来估计干扰温度值;针对用户分布的随机性,对于没有部署探测点的区域,则利用插值的方法来估计该区域的干扰温度值。理论分析及仿真表明,该方法能有效探测出一定区域中的干扰温度值,插值方法的运用使得估计精度得到了很大的提高。

关键词:认知无线电;干扰温度;功率谱估计;插值

中图分类号:TN911 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2010.08.018

An Interference Temperature Estimation Method Based on Pilot and Interpolation Theory

HU Zhi-lun, HE Shi-biao, GE Li-jia, ZHANG Hao

(Chongqing Communications College, Chongqing, 400035, China)

Abstract: A certain number of sensors are deployed to detect the primary user's power spectrum density based on the theory of setting two-dimensional rectangular pilot pattern and the disposing sketch map of IEEE 802.22 system. Then the interference temperature is estimated through combining the multitaper method with singular value decomposition(SVD). Aiming at the distribution randomness of cognitive users, in the region where there is no detection point, interpolation methods are used to estimate the interference temperature value. Theoretical analysis and simulation show that the method can detect the interference temperature effectively at certain area, and the estimation precision of interference temperature is improved by interpolation method.

Key words: cognitive radio(CR); interference temperature; PSD estimation; interpolation

1 引 言

认知无线电(CR)是一个智能感知无线信道环境,实时、自适应地改变发射机的参数,从而达到在任何时刻、地点提供可靠的通信并高效使用无线频谱资源的新通信系统。认知用户可以单独利用频谱空洞^[1],也可以与授权用户(主用户)共享频段,但其前提是不能影响主用户的正常通信。使其对主用

户的干扰不超过其干扰温度容限^[2],这就首先要求我们要有效探测出主用户处的干扰温度值。

文献[3]提出了一种基于多窗口谱估计联合奇异值分解(MTM-SVD)的干扰温度估计算法,奇异值分解后的最大特征值即为该频率点处的干扰温度估计值,也可以使用最大的几个特征值的线性组合作为干扰温度的估计,提高估计的精度。T. Charles Clancy 教授在他的博士论文^[4]中从干扰温度的定义

^{*} 收稿日期:2010-01-18;修回日期:2010-05-19
基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(CSTC,20072017)
Foundation Item: The Natural Science Foundation of Chongqing(No. CSTC20072017)

出发,推导出了一种计算干扰温度的方法,该方法首先也需要有效探测出主用户信号的功率谱密度。本文在上述算法基础上,结合 IEEE 802.22 无线区域网(WRAN)的相关标准,按照导频图案设计的方法,在一定的区域中部署传感器探测主用户的功率谱,进而得出干扰温度值,同时用插值算法来估计未设置探测区域的干扰温度值。

2 问题描述

2.1 干扰温度模型

干扰温度 (Interference Temperature) 模型是一种新的量化和管理干扰源的模型,该模型把传统的干扰评价方式转向以发射机为中心,接收机与发射机之间以自适应方式进行的实时性交互活动,其模型如图 1 所示。干扰温度模型揭示了认知无线电的发射端需设计成在它的射频信号在被第一用户接收机收到的时候要接近噪声的水准。

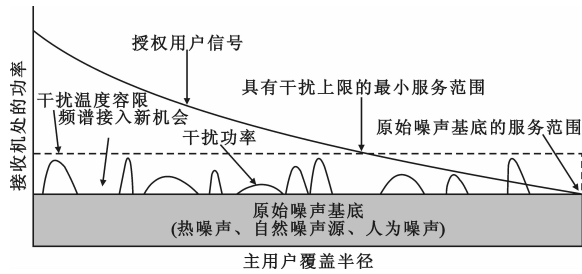


图 1 干扰温度模型
Fig.1 Interference temperature model

干扰温度用来表征非授权用户在共享频段内对授权用户接收机处产生的干扰功率和接收机处系统噪声功率之和。干扰温度的概念等同于噪声温度,它是对干扰功率及所占带宽的一个度量,如果中心频率为 f_c 、带宽为 B 的频段内的平均干扰功率为 $P_I(f_c, B)$,则其干扰温度 $T_I(f_c, B)$ 可表示为

$$T_I(f_c, B) = \frac{P_I(f_c, B)}{Bk} \tag{1}$$

式中, $k = 1.38 \times 10^{-23}$ 为波尔兹曼常量。对于一个特定的地理区域, FCC 将会给出一个干扰温度容限,用于描述特定地理位置、特定频率上的最大可容忍的干扰值。

2.2 导频图案及 IEEE 802.22 系统部署

目前的干扰温度估计方法首先都需要有效地探测出主用户的功率谱,由于无线射频环境的多变性,

需要部署大量的传感器来探测主用户的工作情况。部署传感器时既要能有效探测到主用户的信号同时又要不影响主用户的正常工作,传感器数目应尽可能少,怎样合理地部署传感器显得尤为重要。本文采用信道估计中二维导频图案设置原理来放置传感器。信道估计时通常采用的时频二维图案主要有格形、菱形、矩形、六边形。相比于块状和梳状导频,矩形图案所需导频数较少,信道的频谱利用率较高,还可以根据信道状况自适应调整导频间隔^[5]。图 2 为矩形导频图案示意图。

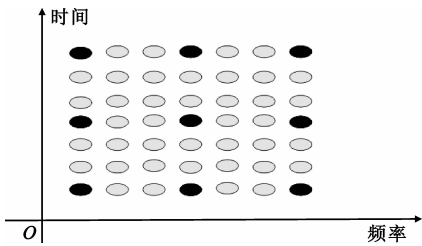


图 2 二维矩形导频图案
Fig.2 The pattern of rectangular two dimensional pilot

IEEE 802.22 工作组的目的是制定新的无线通信的物理层与 MAC 层规范,使用认知无线技术将分配给电视广播的 VHF/UHF 频率用作宽带访问线路,自动检测空闲的频段资源并加以使用,向偏远地区和人口低密地区提供类似于城区所得到的宽带服务。它是一个使用蜂窝单元频率复用技术的系统。其系统配置图如图 3 所示,基站管理整个蜂窝单元中的所有用户驻地设备,远程控制并动态调整其无线通信特性(如调制、编码、工作频率和功率),达到利用授权业务空闲频段或与其共享的目的^[8]。

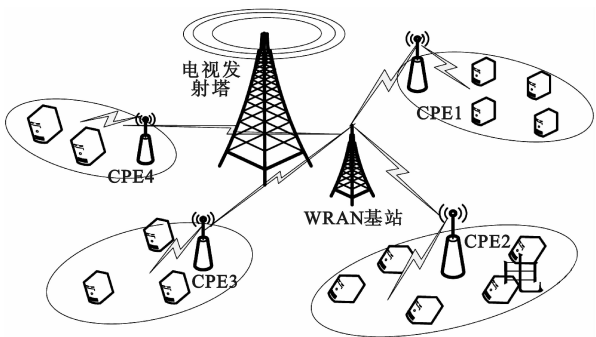


图 3 IEEE 802.22 系统部署示意图
Fig.3 The disposing sketch map of IEEE 802.22

2.3 系统模型

考虑到认知用户和主用户的分布都有随机性,

结合二维导频图案和 IEEE 802.22 系统部署图,本文分析了一个如图 4 所示的无线通信区域。

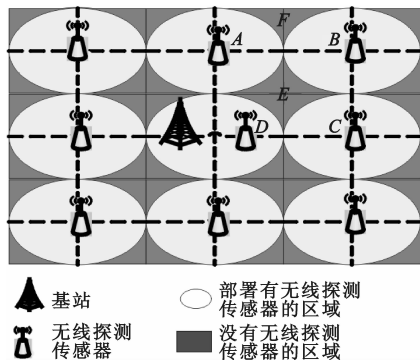


图 4 系统模型
Fig.4 System model

图中每个无线传感器探测所在圆形区域中主用户的功率谱,将探测到的信息反馈到基站。基站对收到的信息进行处理分析,得出每个圆形区域中主用户的干扰温度值;基站同时管理控制无线传感器。当某个区域中的认知用户想使用该区域的频段,首先向基站发送请求,基站收到请求后就会发出信息通知该区域的无线传感器工作,基站在接收到无线传感器反馈的信息后,迅速对其信息进行处理分析,得出干扰温度值,并发送给认知用户,认知用户就会在不超过主用户干扰容限的条件下使用该频段。但是当认知用户处于没有部署无线探测传感器的区域时,基站就会命令认知用户附近区域的多个探测点工作,基站收到这些探测点的反馈信息后,利用插值算法来估计认知用户所在区域的干扰温度值,使认知用户正常使用相应的频谱资源。

3 干扰温度估计方法

假设按照上述模型在一定的无线射频区域中部署的传感器数目为 M ,第 K 个传感器探测到的时间序列用 $\{x_t\}_{t=1}^N$ 表示。估计时选用 Slepian 窗,这是由于 Slepian 序列在有限采样点时的傅氏变换具有极佳的能量集中特性,这种特性允许折衷选取谱分辨率来改善谱特性,使得在降低谱估计的方差时不影响估计偏差。于是功率谱估计可用下式得出:

$$\begin{aligned} |Y_k(f)|^2 &= \left| \sum_{t=1}^N w_t^{(k)} x(t) e^{-j2\pi ft} \right|^2 \\ Y_k(f) &= \sum_{t=1}^N w_t^{(k)} x(t) e^{-j2\pi ft} \end{aligned} \tag{2}$$

式中, $k = 0, 1, 2, \dots, K-1$ 。

运用文献[3]中的奇异值分解法即可求出干扰温度的估计值。当区域足够小时,具体的感兴趣频带上的功率谱密度通常为常数,即: $S(f) = Y_k(f)/B = C$, C 为常数。根据干扰温度的定义可用下式求出干扰温度值:

$$P_I(f_c, B) = \frac{1}{B} \int_{f_c-B/2}^{f_c+B/2} S(f) df \tag{3}$$

$$T_I(f_c, B) = \frac{P_I(f_c, B)}{Bk} \tag{4}$$

考虑本文是结合 IEEE 802.22 标准,基站覆盖范围较大,不适合根据干扰温度定义来计算干扰温度值,故采用文献[3]中的奇异值分解法来计算干扰温度值。

4 干扰温度插值估计算法

由图 4 知,在无线射频环境部署一定数目的传感器,仍有一些区域不能探测到信号的功率谱,这时我们可根据临近探测点的探测值结合插值方法来估计得出。

4.1 线性插值

线性插值是最简单的插值方法,每次只需知道相近两个点的值,运算量小,随着数据点数目增加和数据点之间的距离缩短,线性插值估计会变得越来越精确。图 4 中的 F 区域可用该插值方法来估计。用 d_i 表示探测点与所在区域中的主用户间的距离, A 、 B 两点测得的干扰温度值为 T_0 、 T_1 ,则 A 、 B 两点可用坐标 (d_0, T_0) 、 (d_1, T_1) 表示。根据线性插值原理可得 $F(d, T)$ 处干扰温度估计值为

$$L(T) = \frac{d - d_1}{d_0 - d_1} * T_0 + \frac{d - d_0}{d_1 - d_0} * T_1 \tag{5}$$

如果用坐标法表示探测点在区域中所处的位置即 (x_i, y_i) ,用 T_i 表示探测点 i 所测量到的干扰温度值,这时就成为一个二维插值的问题,即 $T_i = f(x_i, y_i)$,在很大程度上较一维插值估计要精确。二维插值可由 Matlab 中的 interp2 函数来完成^[6]。

4.2 抛物线插值

抛物线插值需 3 个点的探测值,相对于线性插值较为复杂,但能在复杂度不高的情况下提高性能,估计精度高^[7]。对于图 4 中的 E 点可由探测点 A 、 B 、 C 、 D 任意三点的测量值运用抛物线插值方法来求得。同样用 d_i 表示探测点与主用户的距离, A 、 B 、 C 、 D 四点测得的干扰温度值为 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 。

假定用 A 、 B 、 C 点的测量值来估计 E 点的干扰温度,可得 D 处的干扰温度值为

$$L(T) = \frac{(d - d_1)(d - d_2)}{(d_0 - d_1)(d_0 - d_2)} * T_0 +$$
$$\frac{(d - d_0)(d - d_2)}{(d_1 - d_0)(d_1 - d_2)} * T_1 +$$
$$\frac{(d - d_0)(d - d_1)}{(d_2 - d_0)(d_2 - d_1)} * T_2 \tag{6}$$

5 仿真分析

为研究上述干扰温度估计和插值算法的性能,参数选择基本上依据 IEEE 802.22 标准,如表 1 所示^[8-9]。

表 1 系统仿真参数

Table 1 Parameters of system model

参数名称	参数值
基站覆盖范围/km	20
传感器覆盖范围/km	0.6~2
最大传输速率/(Mbit/s)	20
基站传输功率/W	4
传感器发射功率/W	0.6~1
FFT 长度	64
噪声环境	高斯白噪声
插值方式	二维插值、抛物线插值

为了提高估计精度,模型中的 F 区域采用二维插值算法来估计,图 5 给出了估计示意图。由图知对于未设置探测点的区域只要知道与基站(图中的原点)的坐标位置关系,就能很好地估计出干扰温度值。对于模型中的 E 区域,分别用二维插值和抛物线插值估计,两种插值估计算法的误差性能曲线如图 6 所示。由图可知随着探测点与主用户间距离的增大,其估计误差值也都逐渐加大,但抛物线插值估计的误差要小于二维插值估计,这是由于抛物线插值利用 3 个点的值来估计,更能反映真实曲线的变化趋势,估计精度要高于二维插值估计。

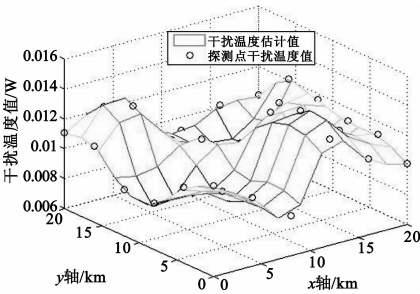


图 5 二维插值估计图

Fig.5 The estimation figure of two - dimensional interpolation

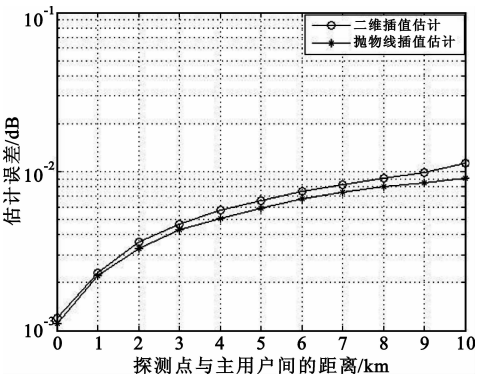


图 6 两种插值估计算法误差性能曲线

Fig.6 The error curve of two estimation algorithms based on interpolation

为了更进一步说明使用插值算法的估计精度优于直接用探测点的数值估计,对位于探测点的临界区域在高斯白噪声和有外在干扰源两种环境下进行了仿真。图 7 为临界时两种干扰环境示意图。

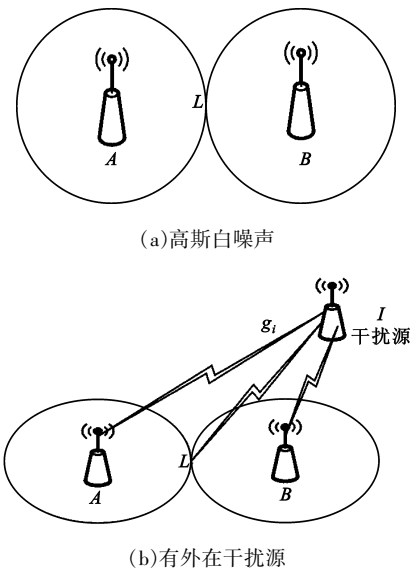


图 7 高斯白噪声和有外在干扰源两探测点相邻示意图

Fig.7 The sketch map of two detectors border upon under AWGN and explicit intruder

(1)高斯白噪声环境

如图 7(a)所示, L 位于探测点 A 、 B 的相邻区域,且没有其它外在干扰源,只有高斯白噪声。 A 、 B 两点各自的探测区域半径分别为 0.6 km 和 0.8 km,其探测的干扰温度值分别为 0.012 W 和 0.010 W。由于 L 在 A 、 B 两探测点的边界相邻区域,可以用 A 探测点或 B 探测点的探测值作为该区域的干扰温度值,即直接估计可得 L 区域的干扰温度值为 0.012 W 或 0.010 W。当用插值法来估计 L 区域的

干扰温度值时,其结果和直接估计一样。这是由于高斯白噪声环境下,各个点是随机、相互独立的,使用插值法和直接估计得到的值相同。

(2)有外在干扰源的插值估计

如图 7(b)所示,在探测点 A、B 所在区域外有一外在干扰源 I。干扰源 I 的发射功率已知,与探测点 A、B 及临界点 L 间的距离都已知,链路增益为 g_i 。相应的点 L 所在区域的干扰温度值也可直接由探测点 A、B 处的探测值得出。为用本文的插值法来估计点 L 的干扰温度值,仿真参数设置如下:干扰源发射功率 $P_I = 0.8\text{ W}$; A、B、L 三点与干扰源间的距离(km)分别为 1.8、1.5、1.1;链路增益模型: $g = d^{-\xi}$, $\xi = 4$ 。我们从干扰温度的两种模型的角度来分析 L 区域的干扰温度。

1)普通模型

在普通模型下扰温度定义于整个频段范围内。于是 A、B 两区域的干扰温度探测与高斯白噪声下的探测方法相同,所以在普通模型下 L 处的干扰温度插值估计同高斯白噪声环境下,只是由于外来干扰源的介入,使得其干扰温度值增大。A、B 两点的干扰温度值分别为 0.032 4 W 和 0.027 1 W, L 点的干扰温度值如表 2 所示。

表 2 有外在干扰源时普通模型下的干扰温度估计值
Table 2 The estimation value of interference temperature based on general model under explicit intruder

插值方式	干扰温度值/W
线性插值	0.030 1
二维插值	0.029 6

2)理想模型

根据理想模型的定义有:若非授权用户的平均功率为 P ,中心频率为 f_c ,带宽为 B 并且在频段 $[f_c - \frac{B}{2}, f_c + \frac{B}{2}]$ 上有 n 个中心频率为 f_i 、带宽为 B_i 的授权用户信号,则:

$$T_I(f_i, B_i) + \frac{M_i P}{k B_i} \leq T_L(f_i) \tag{6}$$

于是在有外在干扰源的情况下,干扰温度的估计可以分为两部分进行:估计出在没有干扰源(即高斯白噪声)的环境下的干扰值 $T_I(f_i, B_i)$;把外在干扰源当作非授权用户考虑,那么由式(6)中左边的第二项可估计出干扰源干扰温度值 $P^* = \frac{M_i P}{k B_i}$ 。

将上述估计值相加即可得出有外在干扰源时的

干扰温度值。在估计中衰减系数 M_i 由链路增益 $g = d^{-\xi}$ 给出。这样 A、B 两点的干扰温度探测值分别为 0.034 5 W 和 0.028 6 W。对于 L 处的干扰温度值采用插值方法估计,其值如表 3 所示。

表 3 有外在干扰源时理想模型下的干扰温度插值估计
Table 3 The estimation value of interference temperature based on general model under explicit intruder

插值方式	干扰温度值/W
线性插值	0.032 0
二维插值	0.031 7

综上可得对位于相邻探测点边缘区域的干扰温度估计,用插值的方法估计的精度比直接用探测点的测量值要精确得多。

6 结 论

为了有效探测出无线射频环境中主用户的干扰温度值,本文按照信道估计中二维导频图案的放置原理,并结合 IEEE 802.22 结构部署示意图,设计了一个安置无线传感器来探测主用户功率谱的系统模型。对于没有部署传感器的区域,利用就近原则,运用二维插值和抛物线插值来估计该区域中的主用户干扰温度值。理论分析和仿真表明,合理地部署传感器对干扰温度估计的精确度起决定性作用。今后需要研究区域中有多个不同类型的主用户时的干扰温度估计方法。

参考文献:

[1] Simon Haykin. Cognitive Radio: Brain – Empowered Wireless Communications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(2): 201 – 220.

[2] 周晓飞,张宏纲. 认知无线电原理及应用[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2007: 22 – 25.

ZHOU Xiao – fei, ZHANG Hong – gang. The theory and application of cognitive radio [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2007: 22 – 25. (in Chinese)

[3] Thomson D J. Spectrum estimation and harmonic analysis [J]. Proceedings of the IEEE, 1982, 70(9): 1055 – 1096.

[4] Claucy T C. Dynamic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks [D]. Maryland: University of Maryland, 2006: 13 – 18.

[5] 李冰,易波. 一种基于二维导频的信道估计改进算法 [J]. 微处理机, 2009, 21(1): 78 – 81.

LI Bing, YI Bo. An Advanced Channel estimation method based on two – dimensional pilot [J]. Microprocessors, 2009,

21(1):78 – 81. (in Chinese)

[6] 陈奎,徐钊.二维内插的 OFDM 导频信道估计的研究[J].计算机工程与应用,2009,45(12):149 – 152.
CHEN Kui,XU Zhao.Research of 2 – D interpolation in OFDM pilot – assisted channel estimation[J].Computer Engineering and Applications,2009,45(12):149 – 152.(in Chinese)

[7] 黄秋宴,谢显中,董雪涛.基于非零导频子载波的移动 WiMAX 信道估计和插值研究[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2009,21(1):23 – 26.
HUANG Qiu – yan, XIE Xian – zhong, DONG Xue – tao. Study of channel estimation and interpolation based on non – zero pilot sub – carrier in mobile WiMAX system [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunication (Natural Science Edition),2009,21(1):23 – 26.(in Chinese)

[8] 张亮,赵林靖,胡婧,等.基于认知无线电技术的 802.22 标准[J].无线电工程,2007,37(1):9 – 12.
ZHANG Liang, ZHAO Lin – jing, HU Qian, et al. IEEE 802.22 standard based on cognitive radio technology [J]. Wireless Engineering, 2007,37(1):9 – 12. (in Chinese)

[9] 徐煜华,徐金昔,沈良.基于认知无线电的 IEEE802.22 标准[J].军事通信技术,2007,28(3):71 – 74.
XU Yu – hua, XU Jin – xi, SHEN Liang. IEEE 802.22 standard based on cognitive radio [J]. Journal of Military Communications Technology, 2007,28(3):71 – 74. (in Chinese)

作者简介:

胡智伦(1983 –),湖北黄冈人,硕士研究生,主要研究方向为认知无线电技术;

HU Zhi – lun was born in Huanggang, Hubei Province, in 1983. He is now a graduate student. His research direction is cognitive radio.

Email: bench163@163.com

何世彪(1963 –),男,安徽人,博士后,教授、博士研究生导师,主要研究方向为宽带无线通信、抗干扰通信。

HE Shi – biao was born in Anhui Province, in 1963. He is now a professor with the Ph. D. degree and also the supervisor of Ph. D. candidate. His research interests include UWB, anti – jamming communications.

Email: hdoctor@vip.sina.com



《电讯技术动态》征稿启事

《电讯技术动态》(月刊)创刊于 1972 年,是由中国西南电子技术研究所主办的内部刊物,主要报道与下述专业领域相关的国际厂商科研动态;外军先进装备研发、试验和使用情况;学术交流和展会信息。本着服务于国内军工科研的目的,提供国外军事技术与装备的最新发展动态,服务于研发生产为宗旨的办刊原则,将《电讯技术动态》发展成国内以军工电子为主的行业动态是我们长期不懈的目标。

为促进《电讯技术动态》更好地交流与发展,热诚欢迎业内学者、专家及科研人员踊跃投稿。
投稿领域:

- 航空电子
- 通 信
- 飞行器测控
- 卫星应用
- 情报、侦察与监视
- 敌我识别

来稿要求及注意事项:

(1)文稿务必主题明确,论述合理,逻辑严谨,数据可靠,叙述清楚,文字精炼;

(2)文稿一般不应超过 4 000 字,尽量提供 word 文档,对于文中的图片请以附件形式添加发送至指定投稿邮箱;

(3)投稿务必署名,且对于译稿标明原文详细出处;

(4)请务必采用 Email 投稿,投稿邮箱:dianxundongtai@163.com。来稿请注明作者详细通信地址、联系电话和有效电子邮箱;

(5)本刊编辑部将在 15 天之内对来稿作出取舍,可通过电话或电子邮件查询稿件审查情况,如逾期未收到处理意见,作者有权对稿件另行处理。稿件一经刊用,本刊将酌情从优支付稿酬并赠送当期样刊。请勿一稿多投,否则后果自负。

电 话:(028)87555677 87555634 传 真:(028)87538378