

人工免疫红外测温方法研究

郑 红

(北京航空航天大学自动化学院, 北京 100083)

摘 要: 提出人工免疫多波段红外测温方法. 该方法以 Planck 定律做为被测物体的/自我0模式, 将干扰(被测物体的发射率及传输过程的能量损失)作为/非我0(/抗原0), 采用人工免疫编码方法对/非我0影响而引起畸变的/自我0模式进行识别, 自动产生相应/抗体0中和/抗原0的作用, 求得物体的温度. 仿真结果验证了该方法的有效性.

关键词: 人工免疫; 红外测温; 智能检测

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 03722112 (2002) 050664-03

Study on Infrared Thermometry Based Artificial Immune Principle

ZHENG Hong

(Dept. of Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: A new infrared thermometry is proposed. Planck's law is thought as the-self mode of the measured object, and the emissivity and transmissivity are thought as non-self (antigens). The distorted-self mode is recognized by coding self-performances based on artificial immune principle. Firstly, antibodies are produced. Secondly, antigens are neutralized. At last, the object temperature is got. The simulation results have verified effectiveness of the method.

Key words: artificial immunity; infrared thermometry; intelligence measure

1 引言

红外测温方法由于其无须接触被测物体、响应速度快、测温范围宽等优点, 在航空航天、国防工业及宇宙天文学等领域已经获得越来越广泛的应用, 尤其是对于远距离、高温、高速运动物体以及遥感遥测等领域, 红外测温更显示出其优越性.

红外测温技术中消除检测干扰一直是国内外专家们研究的热点^[1], 大多数研究集中于干扰模型的统计建模^[2,3]. 这些方法的研究重点几乎都是干扰模式, 然而, 实际干扰模式千变万化, 单纯以干扰模式为研究对象的方法, 检测结果会受到检测环境变化的较强限制. 美国的 Daniel 等提出多波段测温独立自标定方法, 试图利用被测物体自身温度变化规律避开干扰模式识别问题, 但文中对该方法的参数选择、算法收敛性及稳定性并未给出明确分析及证明^[4].

本文根据人体免疫的抗病毒机理提出人工免疫红外测温方法, 着重点不在于干扰特性的研究, 而是通过/自我0模式的识别剔除干扰. 将被测物体的发射率、传输通道的吸收率以及检测仪器的光学影响综合考虑, 用一个合成参数表示检测过程对检测结果的/干扰0. 借鉴人工免疫系统的/自我0)/非我0的识别过程消除干扰. 主导思想是以 Planck 定律作为/自我0模式, 识别由干扰引起的信号畸变(辨识/非我0), 进而产生/抗体0并中和干扰的作用, 求得被测目标的温度.

2 人工免疫机理

人体免疫系统的基本构成元素是淋巴细胞, 它分为两类: 一类是由骨髓产生的 B 细胞, 另一类是胸腺产生的 T 细胞

胞^[5-7]. 每个 B 细胞都有清晰的化学结构, 其表面附着许多 Y 形抗体(antibody), 如图 1 所示. 每个抗体都有自己独特形状的刺激基因(paratope), 用于识别抗原(antigen)(病毒). 不同的抗原都有各自的抗原基因(epitope), 当抗体的刺激基因与抗原的基因形状吻合时(如图 1 中 1, 1c 的对应部分), 抗体被激活并中和掉抗原, 从而抵御抗原的侵袭. 在中和过程中, 抗体不断减少, 但骨髓会根据抗原与抗体的中和速度以及抗原的多寡不断产生新的抗体, 产生免疫效果. 同时, 每个抗体还有一个自身基因(idiotope), 与其它抗体链接, 构成免疫网络. 图 1 所示 B1、B2 两个细胞, 各自带有不同的抗体, 它们通过自身基因相互链接, 因此, 整个免疫系统是一个抗体之间彼此相关、共同作用产生系统级动态模式识别的整体.

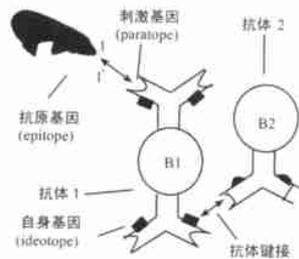


图 1 抗体结构

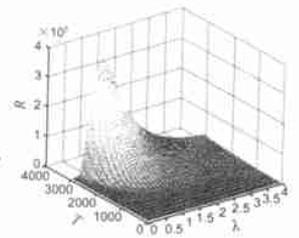


图 2 Planck 定律

因此, 人体免疫系统的作用主要体现在两方面: 一是对于已经出现过的/抗原0, 系统调动免疫记忆功能, 直接产生相应/抗体0中和/抗原0; 二是对于未曾出现过的新/抗原0, 免疫系

统根据自我模式的编码特点,自动不断产生大量的不同编码特性的新抗体,直到所产生的某种新抗体可以中和掉这种新抗原为止,并记忆该抗体,当这种抗原再次出现时,人会直接产生免疫反应.免疫的关键是新抗原产生的机理,自我模式如何编码才能在反应模式本质的同时,预警抗原的可能特征,从而产生相应抗体.

3 人工免疫红外测温方法

3.1 红外测温原理

根据辐射学原理,任何超过绝对零度的物体都会辐射能量,理想状态将物体视为黑体(全辐射),其辐射能量密度与辐射波长及物体本身温度的关系满足 Planck 定律.考虑辐射物体由于自身的发射率、传输媒质的吸收及仪器光学特性的影响引起的能量损失,用公式(1)表示实用 Planck 定律:

$$V_i = A_i \frac{c_1}{K_i^5 (\exp(c_2 / K_i T) - 1)} \quad (1)$$

式中: V_i) 第 i 波段辐射密度检测值; K_i) 第 i 波段波长(Lm); T) 辐射体温度(K); A_i) 第 i 波段的综合干扰系数; i) 波长序号: 1, 2, ..., N; c_1, c_2) 第一辐射常数, 第二辐射常数.

理想情况下,公式(1)中 $A_i = 1, V_i = L_i (i = 1, 2, \dots, N)$ (L_i 为黑体辐射密度), 各变量的关系如图 2 所示. 图中纵坐标为辐射能量密度 L , 水平坐标分别为物体温度 T 与辐射波长 K . 显然, 同一温度下, 辐射能量密度与辐射波长呈单峰曲线, 不同温度对应的辐射密度与波长的曲线不同. 因此, 利用测得各波段辐射能量密度值, 可通过曲线逼近的方法得到被测物体温度.

但通常情况下, 被测物体都不是黑体, 可能是灰体, 甚至是非灰体. 因此, 将被测物体的发射率、传输媒质的吸收及仪器的光学影响综合为检测干扰系数 A_i , 波长不同其值不同. 令温度 T 不变, 得到同一温度下, 不同波长对应的各干扰系数之间的关系如式(2)所示:

$$A_i = \frac{K_i^5 V_i}{c_1} \left[\left(A_r \frac{c_1}{K_i^5 V_i} \right)^{\frac{K_i}{K_r}} - 1 \right] \quad (2)$$

式中: A_r) 参考波段干扰系数; K_r) 参考波段; 其它各变量定义与式(1)相同.

V_r, K_r 及 V_i 为检测值, 寻找 A_r 使检测结果满足式(1), 以求得相应温度值.

3.1.2 人工免疫红外测温方法

根据红外测温原理, 将所有被检测物体视为黑体, 被检测物体的自我模式的表述是 Planck 定律式(1), 检测的波段数为 $N + 1$, 式(1)中各物理量的向量表示如下:

$$V = [V_K, V_1, V_2, \dots, V_N]$$

$$A = [a_K, a_1, a_2, \dots, a_N]$$

$$+ = [K_K, K_1, K_2, \dots, K_N]$$

K_K 为参考波段, 构建干扰系数与物体温度/抗体基因编码如图 3 所示.

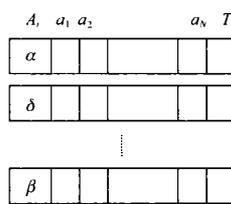


图 3 红外测温/抗体基因编码结构

A_r 的变化对应不同的抗体基因编码. 所有干扰系数 a_i 的变化范围为(0, 1), 由式(2)得参考干扰系数的取值范围为公式(3):

$$A = \frac{K_i^5 V_i}{c_1}$$

$$B = \min \left[\frac{K_i^5}{c_1} \left(\frac{c_1}{K_i^5 V_i} + 1 \right)^{\frac{K_i}{K_r}}, 1 \right] \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, N$

图中 D 为 A_r 的取值. 因为, 随 D 的取值不同, 可以不断产生抗体. 为激活最合适的抗体, 构建抗体的刺激基因(目标函数)如式(4):

$$G_D = \sqrt{\sum_{i=1}^N (v_i / a_i - l_i)^2} \quad (4)$$

式中 G_D 为刺激基因, 也是目标评价函数, 是与抗原基因的匹配度, 反映的是实际测得的物体辐射能量 V 排除干扰 A 影响后, 与温度 T 下黑体辐射 L 的最小二乘逼近程度, 它越小说明曲线逼近程度越高.

人工免疫是整体识别过程, 必须考虑抗体之间的相互作用, 使被选择的抗体相互激励, 产生更好的激活规则. 构造抗体的自身基因编码, 如式(5)所示:

$$DNA = [dna_1, dna_2, \dots, dna_N] \quad (5)$$

$$dna_i = v_i / a_i - l_i \quad i = 1, 2, \dots, N$$

式中: DNA) 抗体的自身基因编码; dna_i) 抗体的自身基因染色体; i) 染色体个数.

抗体的自身基因编码规则如下:

IF $dna_i > 0$, THEN $dna_i = 1$
 IF $dna_i \leq 0$, THEN $dna_i = 0$

第 i 个与第 j 个抗体之间对应同一抗原的匹配度如式(6)所示:

$$m_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (DNA_i(k) \odot DNA_j(k)) / N \quad (6)$$

式中: m_{ij}) 抗体 i, j 的自身基因匹配度.

由式(4)、(6)知, 抗体本身刺激基因越小, 相邻抗体的染色体差别越大, 则该抗体与抗原匹配度越大, 得到抗原的整体识别公式(7):

$$active_i = C \sum_{j=1}^N m_{ij} + (1 - C) / G_i \quad (7)$$

式中: $active_i$) 抗原 i 的激活度.

C) 平衡因子, 权衡刺激基因(目标函数)与自身基因(互匹配函数)激活度的权重, 在[0, 1]之间选择.

人工免疫红外测温方法的步骤如下:

(1) 设定目标函数误差值 N , 根据式(3)计算 A_r 取值的上限 A 和下限 B , 将区间 $[A, B]$ 平均分为 10 分;

(2) 令 A_r 分别为

$$A_r = A + (B - A) @ 0.1 @ k \quad (8)$$

$k = 1, 2, \dots, 10$

求得首选 10 个抗体的刺激基因及自身基因;

(3) 由公式(4)、(5)、(6)、(7) 计算各抗体的激活度;

(4) 取激活度最大的抗体 0 , 由公式(4)计算目标函数, 如果不满足误差要求, 比较相邻抗体 0 的激活度, 取激活度较高的抗体 0 与本抗体 0 的区间, 按 $0.1^j * k(k=1, 2, \dots, 10)$ 将其再分为 10 份, j 为抗原密码, 产生寻找的深度, 它对应要求的目标函数精度 N ;

(5) 重复步骤 3、4 直至满足精度 N 要求为止, 所得抗体对应的温度 T 即为所求。

整个寻找中和抗原的抗体过程如图 4 所示。图中虚线串起的大圆是第一层寻找的 10 个抗体, 根据激活度确定第二层抗体产生的区间为 $[0.18, 0.19]$, 依此类推, 直至满足检测要求为止。这是一个不断产生抗体中和抗原的动态寻优过程, 无论抗原如何变化, 总可以找到最适合的抗体, 得到最小误差意义下的温度测量值, 无需使用黑体进行预先标定。

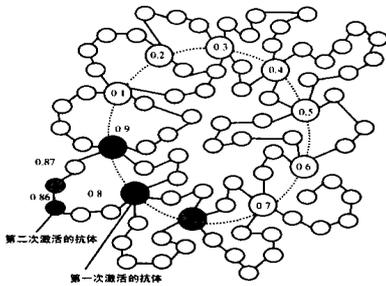


图 4 红外测温抗体生成结构

3.1.3 人工免疫红外测温仿真
给定检测辐射密度原始数据如表 1。

表 1 辐射密度检测值 v_i

温度(K) 波长(Lm)	495	960	1480	1730
11.0	01.6	01.5	01.8	01.2
11.5	01.2	2105	19868	40129
21.0	41.2	2018	66337	21928
21.5	51.2	274	22129	2661
31.0	71.3	10936	11828	499
31.5	14014	6367	13561	3853
41.0	31.5	9152	31631	1843

不考虑表中给定温度, 采用人工免疫红外测温方法, 选定参考波长为 $K_r = 11.0$ (Lm), 目标函数 $N = 0.01$, 根据给定不同波长的辐射密度检测数据, 计算黑体的实际温度。得到仿真结果。

表 2 人工免疫算法仿真结果

给定温度(K)	495	960	1480	1730
计算温度(K)	49313	9611.6	148317	1740
绝对误差(K)	- 11.7	+ 116	+ 317	+ 10
相对误差(%)	- 0.34	+ 0.17	+ 0.125	+ 0.157

显然, 得到的各温度计算相对误差小于 0.57%, 仿真结果表明不考虑被测物体发射率及传输过程损失, 利用人工免疫红外测温方法可以达到较好的检测精度。这种算法收敛速度快, 可满足实时性要求。

4 结论

人工免疫红外测温方法是红外测温的一种新的技术概念和

手段。它将被测物体作为黑体辐射源, Planck 定律作为各被测物体的温度与辐射密度及辐射波长的自我规律, 被测物体的发射率、传输媒质吸收及其它对接收辐射能量的影响因素都作为抗原(病毒或干扰)处理, 不考虑抗原的特性, 根据自我编码规律产生中和抗原的抗体, 求得相应的被测物体温度值。仿真结果显示了该方法的有效性。

这种方法的优点不仅在于检测系统硬件成本的减少, 检测精度的软件灵活调整的提高, 而且对于被测物体特性及检测环境要求较弱, 大大提高了红外测温的适用性, 减弱了红外测温仪器对黑体等的检测手段的依赖。同时, 利用这种方法应注意多波段波长的选择会对检测结果产生较大影响, 实际使用中可根据要求检测的温度段, 选择合适的波长及检测点个数。

另外, 人工免疫抗干扰思路为自身规律明确的各种被测物理量的检测提供了新的方法学途径。尤其是对于自我行为模式确定的自主式系统在复杂环境下的信号检测及行为控制, 如各类机器人控制系统, 计算机网络抗病毒系统等的控制及信息处理提供了新的思路。

参考文献:

- [1] 姜世昌. Emissivity correction for infrared radio thermometers [J]. Chinese Journal of Infrared and Millimeter Wave, 1989, 8(1).
- [2] Hunter G B, Allemand C, Eagar T W. Multiwavelength pyrometer 2an improved method [J]. Opt Eng, 1985, 24(6): 1082- 1085.
- [3] Ng Daniel, Williams W D. Full spectrum pyrometry for non-gray surface in the presence of interfering radiation, temperature, its measurement and control in science and industry [J]. 1996, 11: 889- 894.
- [4] Ng Daniel. A self calibrating emissivity and/or transmissivity independent multiwavelength pyrometer [A]. NASA Conference Publication 107149 [C]. Cleveland, Ohio, U S A: 1996.
- [5] Akio ISHIGURO, Yuji WATANABE, Yoshiaki UCHIKAWA. An immunological approach to dynamic behavior control for autonomous mobile robots [J]. IEEE, 1995, (4): 8186- 7108.
- [6] R Brooks. A robust layered control system for a mobile robot [J]. IEEE Journal of R&A, 1986, 2(1): 14- 23.
- [7] N K Jeme. Idiotypic networks and other preconceived ideas [J]. Immunological Rev, 1984, 7: 5- 24.

作者简介:



郑红女, 1961年11月出生, 博士, 北京航空航天大学电气工程系副教授, 目前研究方向为智能控制、智能检测及智能仪表, 已在国内外发表论文 20 多篇。