

基于 Hopfield 自联想神经网络的天幕靶 信号识别技术

娄岩¹, 赵义武¹, 宋玉贵², 张为防²

(1. 长春理工大学 空间光电技术研究所, 吉林 长春 130022; 2. 西安工业大学 光电工程学院, 陕西 西安 710025)

摘要: 为了提高天幕靶系统测试精度和可靠性,探索测试产生各种干扰噪声如弹头激波、弹底激波、蚊虫飞鸟、振动等干扰因素的影响规律,利用 Hopfield 自联想神经网络的方法,识别并剔除典型因素干扰。通过对实弹射击试验得到的数据进行分析,充分验证了天幕靶系统的准确性和可靠性。分析结果表明:与电平信号识别相比,在射频为 5 发/min、口径为 23 mm 的炮弹测试中,自联想神经网络信号识别率提高了 17.2%;在弹型为穿甲弹,口径为 23 mm 的测试中,Hopfield 自联想神经网络信号识别率提高了 46.7%;对于射频为 7 500 发/min 的天幕靶连发弹丸信号测试条件下,正确信号识别率均达到了 93% 以上。在复杂环境条件下,Hopfield 神经网络算法识别率远远高于传统的电平识别,提高了信号的识别率,能够适应一定区域内的复杂环境因素。

关键词: 信息处理技术; 天幕靶; 干扰噪声; Hopfield 自联想神经网络; 识别率

中图分类号: TN911.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1093(2014)10-1587-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1093.2014.10.011

Signal Recognition Technology of Sky Screen Based on Neural Network

LOU Yan¹, ZHAO Yi-wu¹, SONG Yu-gui², ZHANG Wei-fang²

(1. NUERC of Space and Optoelectronics Technology, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, Jilin, China;

2. College of Optical and Electrical Information, Xi'an Technological University, Xi'an 710025, Shaanxi, China)

Abstract: The effects of interference factors, such as shock wave of warhead blasting, projectile base shock, aerial birds, insects, vibration, etc., on sky screen system are analyzed to improve its test accuracy and reliability. The approach of Hopfield auto-associative neural network is used to identify and eliminate the typical interference. The accuracy and reliability of sky screen system is fully validated by analyzing the data from live firing. The results show that, compared with the level signal recognition, Hopfield auto-associative neural network recognition rate can be increased by 17.2% in sky screen test with the 5 bursts in RF/min; Hopfield auto-associative neural network recognition rate is increased by 46.7% in sky screens test of 23 mm caliber armor-piercing shells; under the test condition of firing frequency of 7 500 rounds / minute, the correct signal recognition rate reaches to 93%. In a complex environment, the recognition rate Hopfield neural network algorithm is far higher than traditional level recognition rate, which improve the signal recognition rate and be able to adapt to the complex environmental factors within a region.

收稿日期: 2013-09-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(61275080); 吉林省科技发展计划项目(20140520115JH)

作者简介: 娄岩(1981—),女,助理研究员。E-mail:louyan2008@126.com;

赵义武(1973—),男,副教授,硕士生导师。E-mail:shuairan2000@sina.com

Key words: information processing technology; sky screen; interference noise; Hopfield auto-associative neural network; recognition rate

0 引言

从 20 世纪 80 年代初开始,国内外研究所和大学都在进行无形靶弹着点测试技术研究,其主要包括声靶和光电坐标靶^[1]。光电坐标靶应用较广,其形式有许多种,其测量原理和结构也各不相同。如奥地利 AVL 公司已在 1990 年 2 月前研制成 2 m × 2 m 弹着点精度光电监测系统及 B570 光电靶和 401 型精度靶,并应用于实际中^[2]。目前国内有 GD-79 型、CCD 声靶等,它们具有操作简单、容易标定、可以测试各种口径弹丸、精度高、自动化程度高等优点,但也存在技术较复杂,成本较高,且随着靶面加大,结构变得复杂、成本增高等缺陷,因而它们的应用也受到限制。本文中用天幕靶系统^[3],作为靶场中野外使用的测试仪器,不仅面临着被测试目标速度快、形态变化多,天空背景变化、炮口振动、激波冲击等因素的干扰,而且会受到蚊虫、飞鸟等低速目标的影响。如何有效地克服这些影响,对光电坐标靶来说仍是制约其推广应用的难题。

通过对天幕靶原理的分析^[4-5],本文借助外场实弹试验,针对天幕靶不同干扰因素所引起的不同天幕靶模拟输出信号,以及对不同干扰信号的响应特点,提出了一种 Hopfield 自联想神经网络识别技术实现抗蚊虫干扰的新方法。

1 离散的 Hopfield 自联想神经网络简介

Hopfield 网络目前应用形式主要有优化计算和联想记忆两种形式。本文对 Hopfield 网络的研究应用主要采用联想记忆模式分类和识别^[6-7]。

Hopfield 网络有离散型和连续型两种。因本文天幕靶采集的信号皆为模拟信号转化为数字信号后进行数据处理,故本文是针对离散 Hopfield 网络识别的技术研究。

本文离散 Hopfield 网络的基本结构如图 1 所示。这种网络是一种单层网络,网络由 n 个单元组成, $N_1, N_2, \dots, N_{n-1}, N_n$ 表示 n 个神经元,它们既是输入单元,又是输出单元,其转移特性函数为 f_1, f_2, \dots, f_n , 门限值为 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ 。对于离散型 Hopfield 网络,各节点一般选取相同的转移函数,且为符号函数,即有^[8]

$$f_1(x) = f_2(x) = \dots = f_n(x) = \text{sgn}(x), \quad (1)$$

各节点门限值相等,并且等于 0,即

$$\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_n = 0, \quad (2)$$

同时, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $x \in \{-1, +1\}^n$ 为网络输入; $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, $y \in \{-1, +1\}^n$ 为网络输出; $v(t) = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t))$, $v(t) \in \{-1, +1\}^n$ 为网络在时刻 t 的状态,其中 $t \in \{0, 1, 2, \dots, L\}$ 为离散时间变量; w_{IJ} 为从 N_I 到 N_J 的连接权值。Hopfield 网络是对称的,即有 $w_{IJ} = w_{JI}$, $I, J \in \{1, 2, \dots, n\}$ 。

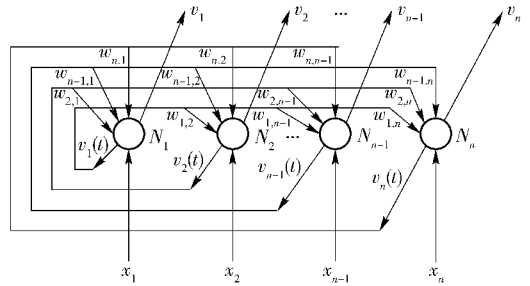


图 1 Hopfield 网络结构

Fig. 1 Hopfield network structure

由图 1 可见,离散 Hopfield 网络为一层结构的反馈网络,能处理双极型离散数据(即输入 $x \in \{-1, +1\}$)。当网络经过训练后,整个运行过程就是反馈过程的反复。如果网络是稳定的,那么随着许多次反馈运行,网络状态的变化减少,直到最后不再变化,达到稳态。这时,在网络的输出端可以得到稳定的输出。用公式^[9]表达为

$$\begin{cases} v_j(0) = x_j, \\ v_j(t+1) = f_j \left(\sum_{I=1}^n w_{IJ} v_I(t) - \theta_j \right), \end{cases} \quad (3)$$

式中: f_j 由(1)式确定。从某个时刻 t 之后网络状态不再变化,即有 $v(t+1) = v(t)$,那么,输出有

$$y = v(t). \quad (4)$$

2 典型弹丸信号 Hopfield 网络的建立及应用

2.1 模式的特征提取

神经网络系统由于本身具有自组织、自学习、自适应的特点,不需要做明显的特征提取,只要待识别的模式在所表示域里,具有一定的差异,网络就可以通过自适应聚类学习,找到不同模式的特征信息进行识别。根据天幕靶采集信号的特性,采用一维矩特征提取方法。一维矩特征主要是由一维模式序列产生的。定义有限模式序列 $\{x_j^{(i)}, i = 1, 2, \dots, c, j =$

$1, 2, \dots, N^{(i)}$ 的 r 阶圆点矩和中心矩^[10]分别为

$$\mathbf{C}_r^i = E[x^{(i)r}] \approx \frac{1}{N^{(i)}} \sum_{j=1}^{N^{(i)}} x_j^{(i)r}, \quad (5)$$

$$\mathbf{D}_r^i = E[(x^{(i)} - \bar{\mathbf{x}}^{(i)})^r] \approx \frac{1}{N^{(i)}} \sum_{j=1}^{N^{(i)}} (x_j^{(i)} - \bar{x}_j^{(i)})^r, \quad (6)$$

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

式中: $\bar{\mathbf{x}}^{(i)}$ 为模式序列的均值矢量; i 为特征的个数; c 为该模式序列中最大整数值; j 为有效点的数据个数; N 为信号有效的脉宽个数; E 为均值。因此得通常的矩特征:

1) 均值

$$m^{(i)} = E[x^{(i)}] \approx \frac{1}{N^{(i)}} \sum_{j=1}^{N^{(i)}} x_j^{(i)}; \quad (7)$$

2) 方差

$$\sigma^{(i)} = E[(x^{(i)} - \bar{\mathbf{x}}^{(i)})^2] \approx \frac{1}{N^{(i)}} \sum_{j=1}^{N^{(i)}} (x_j^{(i)} - \bar{x}_j^{(i)})^2; \quad (8)$$

3) 偏奇

$$sk^{(i)} = \frac{E[(x^{(i)} - \bar{\mathbf{x}}^{(i)})^3]}{\sigma^{(i)3}} \approx \frac{1}{N^{(i)}} \sum_{j=1}^{N^{(i)}} \left(\frac{x_j^{(i)} - \bar{x}_j^{(i)}}{\sigma^{(i)}} \right)^3; \quad (9)$$

4) 峰态

$$ku^{(i)} = \frac{E[(x^{(i)} - \bar{\mathbf{x}}^{(i)})^4]}{\sigma^{(i)4}} - 3 \approx \frac{1}{N^{(i)}} \sum_{j=1}^{N^{(i)}} \left(\frac{x_j^{(i)} - \bar{x}_j^{(i)}}{\sigma^{(i)}} \right)^4 - 3. \quad (10)$$

一般来说,模式的均值特征 m 反映了模式聚类中心,方差 σ 反映了模式围绕均值矢量偏离度,偏奇 sk 和峰态 ku 却给出了样本分布的形状信息。通常,偏奇则刻画了模式样本关于均值矢量的非对称程度。 $sk > 0$ 表示模式偏右, $sk < 0$ 表示模式偏左。峰态却反映了模式样本峰值的平坦度。以正态分布为准, $ku > 0$ 表示模式峰值分布高于高斯分布, $ku < 0$ 表示模式峰值分布低于高斯分布。

2.2 离散的 Hopfield 网络联想记忆算法

采用 Hebb 规则,按异步更新的离散型 Hopfield 网络的算法步骤如下:

步骤 1,初始化权值,置 $w = [0]$ 。

步骤 2,将 p 个样本模式 x^1, x^2, \dots, x^p 输入网络,确定网络权值。

步骤 3,初始化未知输入模式 x^l (运行阶段), $x_j(0) = x_j^l, 1 \leq j \leq n$ 。式中 x_j 为输入模式的第 j 个元素 $x_j \in \{-1, +1\}$ 。

步骤 4,整个网络所有 n 个节点之间的连接强

度用矩阵 \mathbf{W} 表示, \mathbf{W} 为 $n \times n$ 方阵。迭代直至收敛

$x_j(t+1) = \text{sgn} \left[\sum_{i=1}^n W_{ij} x_i(t) \right], 1 \leq j \leq n$ 。式中 $x_j(t)$ 为时刻 t 时神经元 j 的输出状态。

步骤 5,稳态输出当 $x_j(t+1) = x_j(t), 1 \leq j \leq n$ 时,其网络的稳态输出表明与未知输入模式最好的匹配。

本文针对在靶场现场天幕靶采集的几种典型弹丸信号进行了分类识别。识别率和误识率的计算公式^[11]分别为识别率 = (识别出来的信号个数/理论有效信号个数) $\times 100\%$, 误识率 = (被错误识别的信号个数/理论有效信号个数) $\times 100\%$ 。

2.3 天幕靶外场试验及典型信号分析

天幕靶触发电平原理为:当弹丸穿过天幕靶靶面时,从光电管出来的光电流一般只有毫伏数量级,还需要通过电路进行放大、滤波、整形之后去触发计时仪。所谓整形一般是采用电压比较器,即当经过放大和滤波之后的弹丸信号到达一定的幅值时,比较器输出一个脉冲电压信号来启动、停止计时仪。当弹丸穿过天幕时,天幕靶输出的弹丸模拟信号大于某一阈值 V_0 (这一阈值称为触发电平)时,比较器电路输出一个脉冲信号来触发或者停止计时仪。由计时仪记录两个脉冲信号的时间间隔,即为弹丸飞过两个靶面的时间。

2.3.1 模式、神经元的确定及特征提取

2.3.1.1 模式、神经元的确定

用 Hebb 规则训练的 Hopfield 网络,其记忆容量是有限的,当模式向量为正交向量时,网络可稳定存储的模式数等于网络的神经元数,皆为 n 。本文根据天幕靶实弹射击试验所采集的数据选取 3 个待识别的模式分别为天幕靶 5 连发弹丸信号、单缝天幕靶弹丸信号、穿甲弹信号,采用 16 个神经元节点。分别选取试验天幕靶训练样本 10 个,测试样本 10 个。最初用 VC 写验证程序时考虑到要识别 4 种不同弹丸波形,由于实际进行实验时具体打哪种弹丸是知道的,所以对 4 种波形分别用向量组中的 4 位表示,也就是说输入到 Hopfield 网络的为长度 16 的一维向量,即使用 16 个神经元的 Hopfield 网络。当然使用 4 个神经元的 Hopfield 网络是完全可以的,但要识别多种弹丸波形,实际进行程序设计时比较麻烦。

2.3.1.2 模式的特征提取

本文所分析的噪声数据来源于野外实弹射击采集得到的天幕靶数据,所用信号全部以文本方式保

存到计算机中。用 Matlab 求得一维矩方法提取特征向量如表 1 所示。神经网络的输入向量是由 1、-1 组成的向量,均值、方差、偏奇、峰态计算结果结合各个特征的实际取值范围转换为由 1、-1 组成的向量。比如均值为 1.3,均值的范围为 2~10,则均值对应向量位的值为 -1,若在均值特征值范围则为 1。

表 1 典型信号特征
Tab.1 Typical signal characteristics

特征量	5 连发信号	穿甲弹信号	多发连发信号
信号脉宽/ μs	100	460	220
幅值均值 m/V	1.289 9 ~	1.344 6 ~	1.352 0 ~
	6.653 4	5.500 2	4.357 1
幅值方差 σ/V	0.778 0 ~	1.941 0 ~	3.022 9 ~
	10.146 0	7.623 1	10.018 0
幅值偏奇 sk/V	-0.736 3 ~	-2.904 5 ~	-0.005 1 ~
	0.025 6	-2.358 9	0.158 7
幅值峰态 ku/V	-2.979 6 ~	-0.201 3 ~	-2.991 3 ~
	-0.072 9	-0.093 2	-2.805 8

2.3.2 模式特征的相应二值矢量
采用聚类的编码方式

$$\mathbf{x}^1 = (1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, -1, -1)^T,$$

$$\mathbf{x}^2 = (-1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, -1)^T,$$

$$\mathbf{x}^3 = (-1, -1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, -1)^T.$$

由于网络由一层饱和线性神经元组成,神经元的输出指定为初始输出矢量取 1 和 -1,设计一个稳态值为: \mathbf{x}^1 可以记忆天幕靶 5 连发信号的特征, \mathbf{x}^2 可记忆单缝天幕靶弹丸信号特征, \mathbf{x}^3 可记忆穿甲弹信号特征。则最后的输出矢量即认为是初始矢量的分类,其流程如图 2 所示。

2.3.3 神经网络运行程序流程图

图 3 为神经网络运行程序流程图。

2.3.4 Matlab 结果分析

2.3.4.1 天幕靶 5 连发信号识别

弹种:炮弹;射频:5 发/min;弹丸口径:23 mm;时间:1 min.

图 4 为截取连发部分信号的 Matlab 界面。

图 4 中圆圈部分是有蚊虫噪声干扰的信号,方框部分为带有激波干扰的信号。自联想神经网络模式识别结果分析如表 2、表 3 所示。

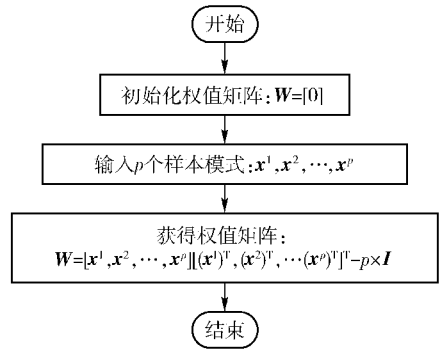


图 2 网络建立流程图

Fig.2 Flow charts of Network establishment

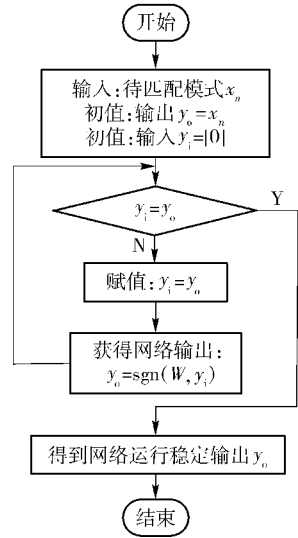


图 3 程序流程图

Fig.3 Flow chart of program

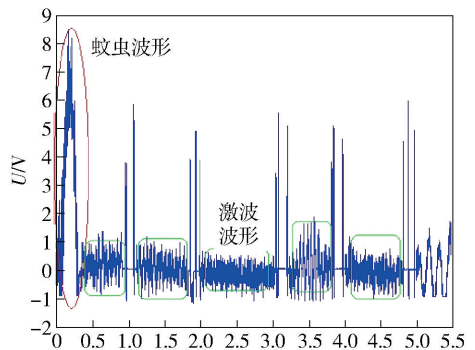


图 4 带有蚊虫和激波噪声的天幕靶 5 连发波形图

Fig.4 Five bursts waveforms with mosquitos and shock noise on sky screen

2.3.4.2 天幕靶穿甲弹信号识别

弹种:穿甲弹;弹丸口径:23 mm;采样频率:1 MHz.

表 2 天幕靶炮弹 5 连发信号识别分析

Tab.2 Five bursts signals on sky screen

测试样本 编号	网络识别 个数	识别结果	识别率/%	平均 识别率/%
1	16	多 2 发	86	
2	15	正确	100	
3	15	正确	100	
4	15	正确	100	
5	16	多 1 发	93	
6	15	正确	100	
7	18	多 3 发	80	
8	15	正确	100	
9	20	多 5 发	66.6	
10	15	正确	100	95.2
11	15	正确	100	
12	15	正确	100	
13	14	少 1 发	93	
14	13	少 2 发	86	
15	15	正确	100	
16	15	正确	100	
17	15	正确	100	
18	15	正确	100	
19	14	少 1 发	93	
20	15	正确	100	

表 3 两种方法对天幕靶 5 连发弹丸信号识别对比

Tab.3 Comparison of signal recognitions of two methods

测试方法	样本个数	总识别率/%
Hopfield 神经网络	20	95.2
设置电平脉宽	20	88.0

图 5 为第一种穿甲弹信号 Matlab 界面。

图 6 为识别出的穿甲弹信号波形显示图。

图 6(a)、图 6(b)、图 6(c) 的横坐标依次是图 5 中横坐标范围从 2 251 ~ 2 756 μs , 2 968 ~ 3 642 μs , 4 123 ~ 4 563 μs 的信号波形放大结果。

图 7 为第二种穿甲弹信号 Matlab 界面。

图 8 为识别出的穿甲弹信号波形显示图。

图 8(a)、图 8(b)、图 8(c) 的横坐标依次是图 7 中横坐标范围从 260 ~ 710 μs , 785 ~ 1 240 μs , 1 354 ~ 1 816 μs 的信号波形放大结果。

图 9 为第三种穿甲弹信号 Matlab 界面。

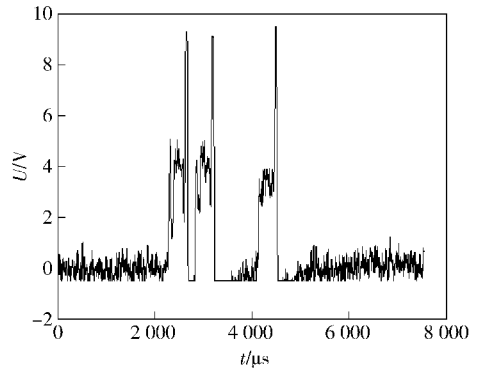
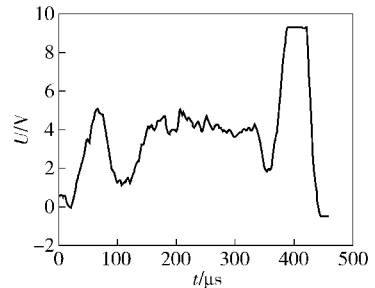
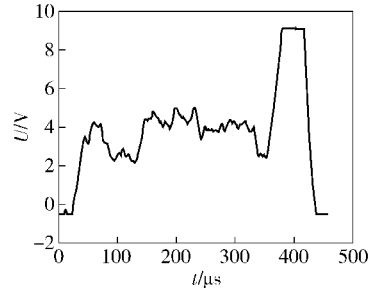


图 5 天幕靶第一种穿甲弹信号波形图

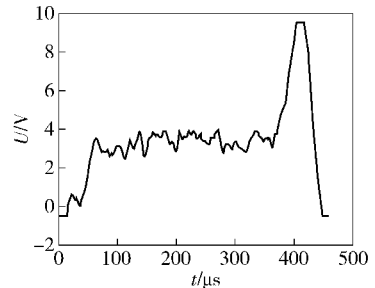
Fig.5 Signal waveform of the first type of penetrator on sky screen



(a) 截取第 1 弹信号
(a) Signal of the first round



(b) 截取第 2 弹信号
(b) Signal of the second round



(c) 截取第 3 弹信号
(c) Signal of the third round

图 6 识别出的第一种穿甲弹信号波形显示图

Fig.6 Identified signal waveforms of the first penetrator

图 10 为识别出的穿甲弹信号波形显示图。

图 10(a)、图 10(b)、图 10(c) 的横坐标依次是图 9 中横坐标范围从 0 ~ 469 μs , 550 ~ 1 000 μs ,

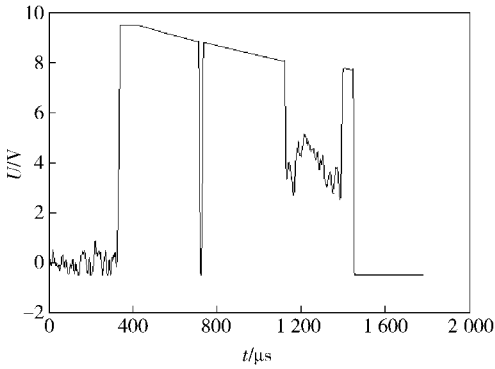


图 7 天幕靶第二种穿甲弹信号波形图

Fig. 7 Signal waveform of the second type of penetrator on sky screen

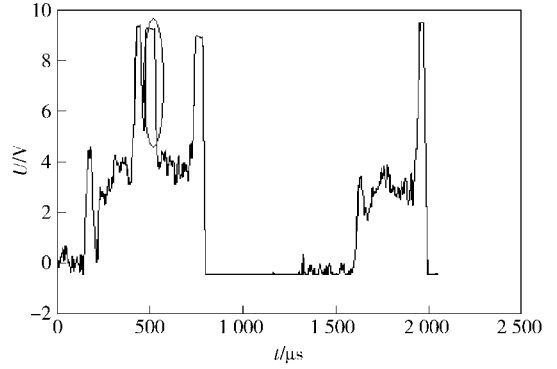
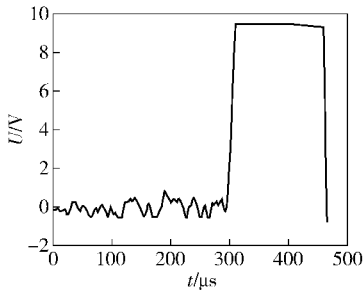
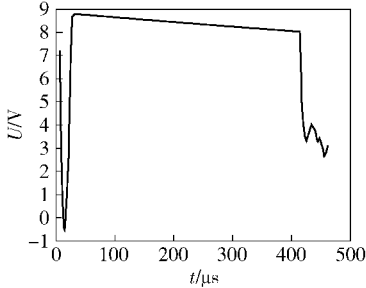


图 9 天幕靶第三种穿甲弹信号波形图

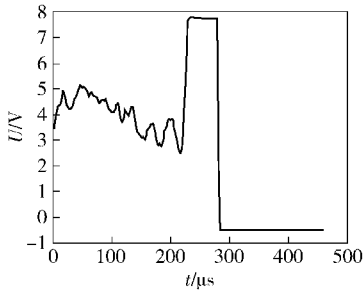
Fig. 9 Signal waveform of the third type of penetrator on sky screen



(a) 截取第1弹信号
(a) Signal of the first round



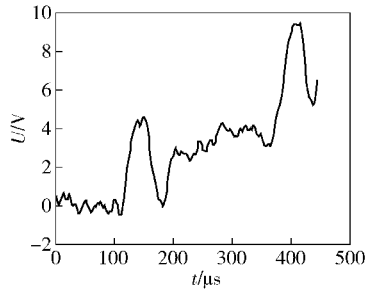
(b) 截取第2弹信号
(b) Signal of the second round



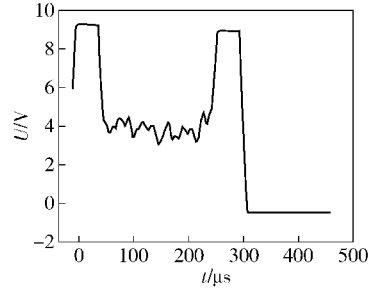
(c) 截取第3弹信号
(c) Signal of the third round

图 8 识别出的第二种穿甲弹信号波形显示图

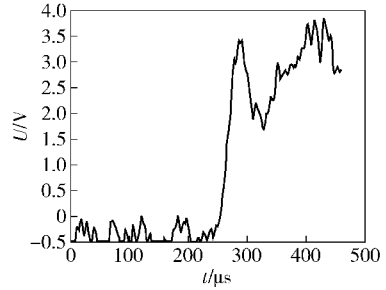
Fig. 8 Identified signal waveforms of the second penetrator



(a) 截取第1弹信号
(a) Signal of the first round



(b) 截取第2弹信号
(b) Signal of the second round



(c) 截取第3弹信号
(c) Signal of the third round

图 10 识别出的第三种穿甲弹信号波形显示图

Fig. 10 Identified signal waveforms of the third type of penetrator

1 350 ~ 1 850 μs的信号波形放大结果。

表 4 为天幕靶穿甲弹信号网络识别结果分析。
表 5 为两种方法对比分析。

2. 3. 4. 3 天幕靶多连发信号识别

弹种: 穿甲弹; 弹丸口径: 30 mm; 射频: 7 500 发/min; 时间: 10 s.

表 4 天幕靶穿甲弹信号网络识别结果分析

Tab. 4 Identification results of Hopfield network

测试内容	识别结果									
测试样本编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
网络识别个数	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3
识别结果	正确	正确	少 1 发	正确	正确	少 1 发	正确	正确	正确	正确
识别率/%	100	100	66.6	100	100	66.6	100	100	100	100
平均识别率/%	93.3									

表 5 两种方法对立靶穿甲弹丸信号网络识别对比

Tab. 5 Comparison of signal recognition of two methods

测试方法	测试样本个数	识别率/%
Hopfield 神经网络	10	93.3
设置电平脉宽	10	46.6

图 11 为多连发部分信号 Matlab 界面。

由表 6 可以看出,用 Hopfield 神经网络识别正确率可以提高 3% 左右,对于测试集数据效果更加明显,为了检验该方法的推广性能,扩大样本集,考虑了 3 种外界环境影响的噪声,信噪比大于 6 dB,训练样本 50 个,测试样本 50 个,正确识别率也达到了 93% 以上,说明其在靶场目标识别中作用效果提高明显。对于信噪比高即干扰噪声相对少的情况下,电平和神经网络都可以达到 100% 识别率,但是在加有典型噪声,比如激波、蚊虫等干扰因素时,信噪比较低的情况下,神经网络的识别方法远远优于电平的识别。

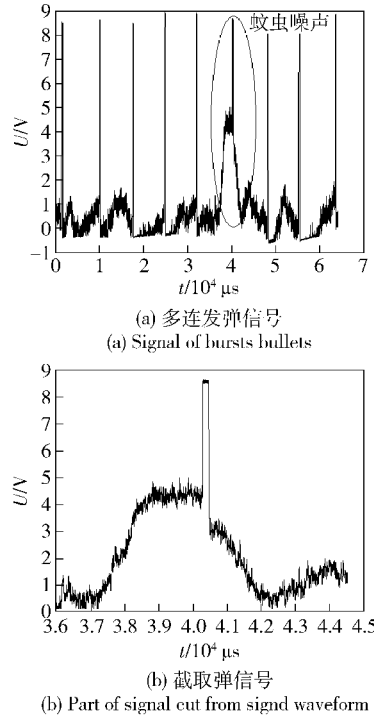


图 11 天幕靶多连发穿甲弹波形图

Fig. 11 Burst signal waveforms on sky screen

表 6 天幕靶穿甲弹多连发信号网络识别结果分析

Tab. 6 Burst identification result of of Hopfield network

测试内容	识别结果									
测试样本编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
网络识别个数/个	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3
识别结果	正确	正确	多 1 发	正确	正确	多 2 发	正确	正确	正确	正确
识别率/%	100	100	93	100	100	86	100	100	100	100
平均识别率/%	97.6									

3 结论

本文分析了天幕靶原理,研究了各种干扰因素产生的噪声信号对系统测试精度和可靠性的影响规律,提出了一种识别算法。主要结论如下:

1) 首次提出了采用统计学习机制,利用

Hopfield 自联想神经网络对信号识别,很好地解决了天幕靶面临的干扰问题,能够有效地在激波、蚊虫等干扰因素存在的条件下准确识别有效目标信号。

2) 通过实弹射击试验得到的真实数据和 Matlab 分析,表明在复杂环境条件下, Hopfield 神经网络算法识别率远远高于传统的电平识别,提高了信号的

识别率,能够适应一定区域内的复杂环境因素,充分验证了系统的准确性和可靠性,证明了原型测试系统能够达到规定的技术指标。在靶场测试等领域具有较好的实用价值。

参考文献 (References)

- [1] Cnapp C H I, Carter G C. The generalized correlation method for estimation of time delay[J]. IEEE Trans Acoust Speech Signal Processing, 1976, 24(8): 320 - 327.
- [2] 宋玉贵, 倪晋平, 王铁岭, 等. 多光幕交汇法测量目标飞行坐标的原理与精度分析[J]. 西安工业大学学报, 2007, 27(1): 19 - 25.
SONG Yu-gui, NI Jin-ping, WANG Tie-ling, et al. Principle of six screens target measuring system for bullet location and its error analysis [J]. Journal of Xi'an Technological University, 2007, 27(1): 19 - 25. (in Chinese)
- [3] 董涛, 倪晋平, 宋玉贵, 等. 高射频武器弹丸连发速度测量系统[J]. 弹道学报, 2010, 22(1): 34 - 36.
DONG Tao, NI Jin-ping, SONG Yu-gui, et al. Velocity measurement system of high-frequency string firing bullet [J]. Journal of Ballistics, 2010, 22(1): 34 - 36. (in Chinese)
- [4] 宋玉贵, 王铁岭. 天幕靶抗蚊虫干扰数字滤波电路设计[J]. 西安工业大学学报, 1998, 18(2): 130 - 133.
SONG Yu-gui, WANG Tie-ling. Digital-filter used in sky screen to resist the interference caused by insects [J]. Journal of Xi'an Institute of Technology, 1998, 18(2): 130 - 133. (in Chinese)
- [5] 倪晋平, 田会. 斜入射弹丸着靶位置立靶测试原理[J]. 光学技术, 2006, 32(4): 493 - 495.
NI Jin-ping, TIAN Hui. The principle of measuring position of bullet at any direction incidence [J]. Optical Technique, 2006, 32(4): 493 - 495. (in Chinese)
- [6] 宋玉贵, 倪晋平, 王铁岭. 多光幕交汇法测量目标飞行坐标的原理与精度分析[J]. 光学仪器, 2007, 29(8): 11 - 26.
SONG Yu-gui, NI Jin-ping, WANG Tie-ling. Principle of six screens target measuring system for bullet location and its error analysis [J]. Optical Instrument, 2007, 29(8): 11 - 26. (in Chinese)
- [7] 张军英, 许进. 一类离散 Hopfield 网络的吸引特性研究[J]. 电子与信息学报, 2001, 23(9): 879 - 889.
ZHANG Jun-Ying, XU Jin. Approaches on attraction characteristics of a kind of discrete Hopfield net works [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2001, 23(9): 879 - 889. (in Chinese)
- [8] 黄德双. 神经网络模式识别系统理论[M]. 北京: 电子工业出版社, 1996.
HUANG De-shuang. Theory of neural network pattern recognition system [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1996. (in Chinese)
- [9] Hartati R S, El-Hawary M E. A summary of application of Hopfield neural network to economic load dispatch [J]. Conference on Electrical and Computer Engineering, 2000(2): 707 - 711.
- [10] Yalcinoz T, Altun H, Hasan U. Constrained economic dispatch with prohibited operating zones a hopfield neural network approach [C] // 10th Mediterranean Electro technical Conference. Cyprus: IEEE, 2000: 570 - 573.
- [11] 倪晋平, 侯宏录, 孙建, 等. 基于六天幕靶弹丸弹道末端飞行速度的测试[J]. 测试技术学报, 2007, 21(2): 117 - 120.
NI Jin-ping, HOU Hong-lu, SUN Jian, et al. The velocity measurement of projectile in end trajectory with six sky-screen system [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2007, 21(2): 117 - 120. (in Chinese)