

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.07.029

基于神经网络和 matlab 的末敏弹系统效能灵敏度仿真

唐克, 王存威, 卢金星

(解放军炮兵学院 火控教研室, 安徽 合肥 230031)

摘要: 为解决末敏弹系统效能灵敏度分析的困难, 利用神经网络的高度非线性映射能力和 matlab 工程计算软件的科学计算能力, 对影响末敏弹系统效能的几个因素进行了灵敏度仿真分析, 获得了影响系统效能的几个主要因素的最优搭配。经过对优化结果的分析, 发现其与实际情况较为吻合, 为末敏弹系统效能的进一步研究提供了依据。

关键词: 末敏弹; 神经网络; matlab 仿真; 灵敏度; 命中概率

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Research of Factor of Influencing Shrapnel Spreading Precision Based on Neural Network and Matlab

Tang Ke, Wang Cunwei, Lu Jinxing

(Staff Room of Firepower & Controlling, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to solve the difficult of sensitivity analysis of the terminal sensitive projectile system, using the highly non-linear reflecting capability of neural network and the scientific computing ability of matlab, some factor which affect capability about terminal sensitive projectile is being sensitivitic analyzed. From it an optimal arrangement of several main factors affecting the system efficiency was obtained. After analysis of the results of the optimization, showing that the optimal arrange-ment of those influencing factors are wholly in accordance with the actual state, and that the method can provide scientific foundations for the future efficiency research of terminal-sensitive projectile systems.

Keywords: terminal sensitive projectile; neural network; matlab simulation; sensitivitic; hit probability

0 引言

末端敏感弹(简称末敏弹)是20世纪70年代初国外发展起来的一种用于对付自行火炮、坦克、步兵战车等装甲目标的新型弹药。它是一种传感器引爆弹药,是把先进的传感器技术和爆炸成形弹丸(EFP)技术应用到子母弹领域中的一种新型弹药。与常规弹药相比,末敏弹具有无可比拟的优点。但由于末敏弹是几种先进技术相结合的新型弹药,工作过程复杂,影响因素繁多,对其进行全面的系统效能分析十分重要。故根据神经网络的高度非线性映射能力和 matlab 工程计算软件的科学计算能力,对影响末敏弹系统效能的因素进行了灵敏度仿真分析,以获得影响系统效能的主要因素的最优搭配。

1 末敏弹工作原理

炮发射末敏弹以炮弹为载体,发射到目标区上空,母弹利用火药力抛出敏感子弹,末敏子弹经过减速减旋,利用扫描装置保持一定的下落速度 V_y 和转速 ω 铅垂下落,子弹进入稳态扫描状态,在一定范围内扫描、搜索目标;探测器位于子弹部,弹轴与铅垂方向成 θ 角,扫描波速角为 γ ,子弹边下落边

旋转,在地面沿螺旋进行波速扫描。当子弹探测到目标后,便引爆EEP战斗部,EEP命中目标,进而摧毁装甲目标。

2 末敏弹系统效能灵敏度定性分析

2.1 传感器扫描参数稳定变化对系统效能的影响

根据末敏弹工作原理,末敏弹在稳态扫描时地面轨迹为螺旋线,因此,地面扫描螺距的大小直接影响到末敏弹的效能。经过分析,在子弹运动参数间存在如下关系:

$$d = \frac{v_y}{\omega} \times \tan(\theta) \quad (1)$$

1) 落速变化

由扫描螺距式(1)可见:随着落速的增大,扫描螺距 d 也在增大,因此,传感器扫描时漏掉目标的机会将增大,故系统效能随着落速的增大而降低。

2) 转速变化

由扫描螺距式(1)可看出:随着转速的增大,扫描螺距 d 在减小,故传感器扫描时扫描目标的机会将增大,所以系统效能随着转速的增大而增加。

3) 扫描角变化

由扫描螺距式(1)可看出:当传感器探测距离

收稿日期:2009-12-26;修回日期:2010-03-29

基金项目:总参合肥创新工作站项目《多弹种复合火力毁伤效果评估研究》。

作者简介:唐克(1962-),男,安徽人,硕士,副教授,从事武器系统分析与仿真研究。

一定时, 随着扫描角的增加, 搜索范围在增加, 扫描圈内所包含的目标数也就越多; 但同时, 由于扫描角的增加也同样导致扫描螺距增加, 因此扫描时漏掉目标机会将增大。所以, 扫描角变化对系统效能存在双重影响, 扫描角必然存在一个最佳调和值。

2.2 敏感器性能参数变化对系统效能的影响

1) EFP 战斗部作用距离变化

随着 EFP 战斗部作用距离的增加, 在其它敏感器参数保持不变的条件下, 敏感器扫描范围将增加, 因此扫描到目标的机会也将增加, 所以, 随着 EFP 战斗部作用距离的增加, 系统效能也将随之增加。但由于现有技术水平限制, 一般 EFP 战斗部作用距离为 120 m。

2) 敏感器定位和 EFP 散布误差变化

随着敏感器定位和 EFP 散布误差的增加, EFP 战斗部打击目标的精度将减小。所以, 随着敏感器定位和 EFP 散布误差的增加系统效能将会降低, 且影响较显著。

2.3 恒定横风对系统效能的影响

恒定横风对末敏弹系统效能的影响有 2 个方面: 1) 恒定横风将子弹飘到目标群以外的地域使扫描圈内无目标, 这是主要的影响; 2) 恒定横风使扫描轨迹不规则, 容易漏掉目标。所以, 恒定横风对系统效能的影响很大, 且风速越大, 对系统效能的影响越大。

3 基于神经网络的效能影响因素仿真模型

3.1 确定设计方案

从末敏弹工作原理可以看出, 在稳态扫描阶段, 末敏弹完成目标搜寻、目标识别以及目标打击等核心工作, 所以稳态扫描阶段对系统效能至关重要。在这一阶段, 影响末敏弹系统效能的主要因素有子弹落速 v_y 、转速 ω 、扫描角 θ 、EEP 战斗部作用距离 H 、敏感定位和 EEP 散布误差 E 、环境风速 F 。

对任何一种武器, 考察其系统效能最终都将落实在该武器对目标的毁伤能力上, 而考察这种毁伤能力的最佳手段就是计算武器对目标的命中概率和毁伤概率, 所以选择命中概率作为目标函数。根据上述分析, 采用三层前向神经网络建立仿真模型, 如图 1。其中, 输入层神经元个数 $n=6$, 输入向量对应于上述 6 个系统效能影响因素; 输出量对应于命中概率; 隐层神经元个数 $m=4$; 隐层神经元作用函数采用对称型 S 函数:

$$u_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}x_j + \theta_i (i=1, 2 \dots m)$$

$$o_i = \frac{1 - e^{-2u_i}}{1 + e^{-2u_i}} (i=1, 2 \dots m)$$

$$y = \sum_{i=1}^m v_i o_i + \eta$$

其中, w_{ij} 为隐层神经元 i 与输入层神经元 j 间的连接权, θ_i 为隐层神经元 i 的阈值; v_i 为输出层神经元与隐层神经元 i 间的连接权, η 为输出层神经元的阈值。

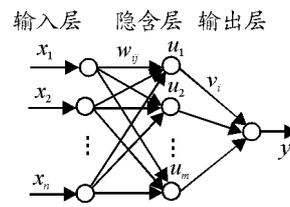


图 1 神经网络结构图

3.2 样本数据集的构建

神经网络模型的仿真信度与所选择的训练样本密切相关。为了保证训练结果的准确性, 必须选取大样本训练数据。为此, 采用正交试验法安排训练数据, 既大大减少试验次数, 又具有代表性。根据分析, 上述 6 个因素都分为 5 个水平, 经过大量的数值仿真, 具体训练样本数据如表 1。

3.3 训练结果

根据前面的网络模型, 为了更好地实现全局逼近, 提高模型仿真精度, 采用改进模拟退火算法对神经网络进行训练, 训练结果为

$$w = \begin{bmatrix} 0.4171 & -0.5842 & -0.3768 & 5.2689 & -3.2146 & -1.8818 \\ -0.2591 & 0.1410 & -0.2780 & 0.1734 & -0.3736 & -3.2891 \\ -5.6609 & 0.4032 & 2.9461 & 3.7963 & 7.3961 & -5.5802 \\ -1.3816 & 2.2512 & -7.1279 & -1.0018 & 4.4313 & 0.3379 \end{bmatrix}$$

$$\theta = [-1.3067 \quad 2.2618 \quad -0.9429 \quad 0.0445]$$

$$v = [0.05606 \quad 0.2474 \quad 0.0531 \quad -0.0215]$$

$$\eta = 0.3806$$

4 基于 matlab 工程计算软件的末敏弹效能影响因素灵敏度仿真

matlab 是一种广泛应用于工程计算及数值分析领域的新型高级语言。它以矩阵作为数据操作的基本单位, 使得矩阵运算变得简捷、方便高效。利用 matlab 对上述神经网络模型的仿真程序如下:

4.1 优化神经网络模型

根据上面建立的神经网络模型, 相应的优化模

型为

$$\max_{x \in \Omega} y(X) \quad (3)$$

$$\text{其中, } \Omega = \left\{ \begin{array}{l} 8 \leq x_1 \leq 12, 3 \leq x_2 \leq 5, 26 \leq x_3 \leq 34, \\ 100 \leq x_4 \leq 140, 0.1 \leq x_5 \leq 0.5, 0 \leq x_6 \leq 8 \end{array} \right\}。$$

4.2 利用 matlab 对优化模型的仿真程序

4.2.1 建立名为 f.m 的函数文件

函数文件是另一种形式的 M 文件，每一个函数文件都定义一个函数，建立该 f.m 的函数文件是用于求取目标函数命中概率的最大值。仿真程序如下：

表 1 训练样本数据

设计方案	$v_y / \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$w / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	$\theta / (^\circ)$	H / m	E / m	$F / \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	P
1	8	3.0	26	100	0.1	0	0.529
2	8	3.5	28	110	0.2	2	0.614
3	8	4.0	30	120	0.3	4	0.501
4	8	4.5	32	130	0.4	6	0.299
5	8	5.0	34	140	0.5	8	0.181
6	9	3.0	28	120	0.4	8	0.102
7	9	3.5	30	130	0.5	0	0.661
8	9	4.0	32	140	0.1	2	0.739
9	9	4.5	34	100	0.2	4	0.419
10	9	5.0	26	110	0.3	6	0.189
11	10	3.0	30	140	0.2	6	0.321
12	10	3.5	32	100	0.3	8	0.076
13	10	4.0	34	110	0.4	0	0.629
14	10	4.5	26	120	0.5	2	0.543
15	10	5.0	28	130	0.1	4	0.538
16	11	3.0	32	110	0.5	4	0.376
17	11	3.5	34	120	0.1	6	0.258
18	11	4.0	26	130	0.2	8	0.150
19	11	4.5	28	140	0.3	0	0.713
20	11	5.0	30	100	0.4	2	0.550
21	12	3.0	34	130	0.3	2	0.667
22	12	3.5	26	140	0.4	4	0.429
23	12	4.0	28	100	0.5	6	0.092
24	12	4.5	30	110	0.1	8	0.136
25	12	5.0	32	120	0.2	0	0.667

```
function f=f(x)
w=[2.417 -0.5842 -0.3768 5.2689 -3.2146 -1.8818;
-0.2591 0.1410 -0.2780 0.1734 -0.3736 -3.2891;
-5.6609 0.4032 2.9461 3.7963 7.3916 -5.5802;
-1.3816 2.2512 -7.1279 -1.0018 4.4313 0.3379];
z=[-1.3067 2.2618 -0.9429 0.0445];
v=[0.05606 0.2474 0.0531 -0.0215];
n=0.3806;
f=0;
for i=1:4
forj=1:6
f=f+v(i)*(1-exp(-2*(w(i,j)*x(j)+z(i))))/(1+exp(-2*(w
(i,j)*x(j)+z(i))));
```

```
end
end
f=abs(f+0.3806-1);
```

4.2.2 建立名为 untitled.m 的主程序文件

主程序文件用于输入变量，调用 f.m 函数文件，进而获得目标函数命中概率的最大值及相应的个因素值。仿真程序如下：

```
u=fminsearch('f', [8 5 30 140 0.1 0])
result=f(u)+1
```

按照上述仿真的程序，神经网络模型的仿真结果如表 2。

表 2 仿真结果对比

方法	$v_y / \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$w / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	$\theta / (^\circ)$	H / m	E / m	$F / \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	P
本文	8	4.716	27.46	136	0.08	0	0.916
文献 1	9	4.123	30.58	133	0.17	0	0.829
文献 2	8	4.965	30.54	140	0.10	0	0.7489
文献 3	8	3.500	28.00	110	0.10	0	0.6140

由表 2 可见, 对应于上述仿真的预测结果显然优于文献[1-3]的预测结果, 证明采用神经网络建立预测模型和 matlab 进行系统效能灵敏度仿真是合理可行的。

5 结束语

将神经网络和 matlab 仿真算法引入到末敏弹系统效能灵敏度分析中, 探讨了基于神经网络末敏弹命中概率预报模型的建模方法, 并采用 matlab 仿真算法对影响末敏弹系统效能的因素进行了灵敏度仿真分析, 获得了影响系统效能的几个主要因素的合理搭配, 进一步证明了这几个因素对系统效能的敏感程度, 同时也为末敏弹系统效能研究提供了依据。

(上接第 89 页)

3 实验结果验证与分析

为了验证本全数字交流伺服驱动器的性能, 采用圣维数控的 SWAI-FA 数控系统来连接所设计的驱动器, 并带上交流伺服电机空载运行。在交流测功平台上, 空载实验曲线如图 5。

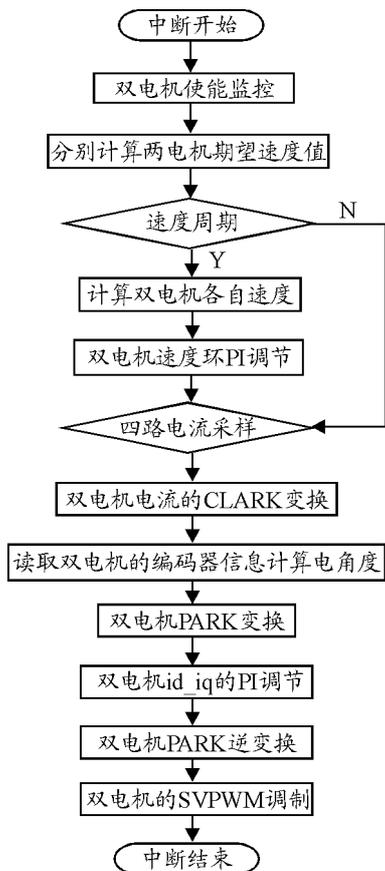


图 5 中断服务程序流程图

如图 6, A 电机的加使能信号 (6 路 PWM 有输

参考文献:

[1] 王颂康, 朱鹤松. 高新技术弹药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1997.

[2] 成楚之. 末端子弹技术发展的探讨[J]. 现代防御技术, 1997, 18(1): 31-33.

[3] 刘荣忠. 末敏弹结构动态响应和数能分析研究[D]. 南京: 南京理工大学, 1996.

[4] 姜礼平, 等. 基于支持向量机和遗传算法的末敏弹系统效能参数优化设计[J]. 海军工程大学学报, 2007, 22(2): 21-24.

[5] 黄鹏, 等. 基于神经网络和遗传算法的末敏弹系统效能参数优化设计[J]. 兵工学报, 2004, 25(3): 257-260.

[6] 黄鹏, 刘荣忠. 末敏弹系统效能灵敏度分析[J]. 兵工学报, 2001, 22(3): 412-415.

出), B 电机给定转速为零。两轴电机一起运动时, 转速情况相当。从图 5 可见, 转速运行相对平稳, 可以实现双电机的交流伺服器的位置控制、速度控制, 可以满足高速、高性能的设计要求。

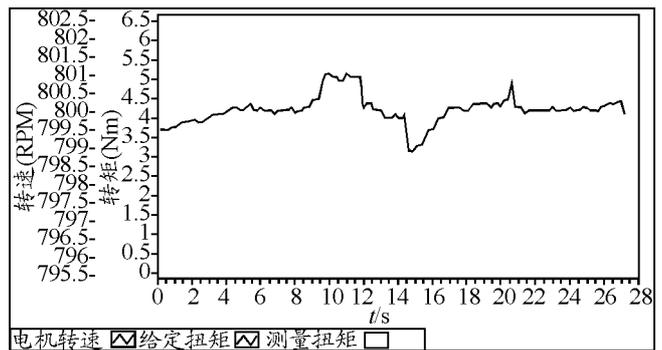


图 6 A 轴电机运行在 800 转/分时的速度曲线

4 结论

该方案充分利用了 DSP 的高速处理能力和丰富的外围电路, 具有硬件简单、实时性好、高效节能等优点, 是一种非常实用的设计方案。但 2 个三相电机交流电机对控制板的影响很大, 若处理不好, 会导致 12 路电机 PWM 波形混乱, 因此, 还需仔细考虑电磁兼容的问题。此外, 该系统的软件设计也需考虑实时性和控制精度的要求, 下一步, 将对进行软件优化设计。

参考文献:

[1] 陈崇森. 数控机床永磁同步电机伺服驱动系统关键技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2008: 1-3.

[2] 郭庆鼎, 孙宜标, 王丽梅. 现代永磁电动机交流伺服系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

[3] 孙丽明. TMS320F2812 原理及其 C 语言程序开发[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.