

基于 BP 神经网络的有控炸弹 攻击区拟合分析*

黄国强, 南 英, 陈 芳

(南京航空航天大学航天学院, 南京 210016)

摘要:针对目前用传统的线性回归等方法拟合有控炸弹攻击点所存在的问题,文中提出了采用BP神经网络算法对某有控炸弹的攻击点进行拟合的新方法。该方法可以用Matlab仿真软件实现,其拟合效果直观。有控炸弹攻击点与攻击条件可以通过神经网络的阈值和权值来表现。通过实例说明了应用BP神经网络进行有控炸弹攻击区拟合,不但具有算法可行性好、拟合精度高、速度快,而且运算简单,在实战中很有参考价值 and 工程实用价值。

关键词:有控炸弹;攻击点;BP神经网络算法;拟合;Matlab

中图分类号:TJ414.7 文献标志码:A

Attack Zone Fitting and Matlab Simulation of Guided-bomb Based on BP Neural Network

HUANG Guoqiang, NAN Ying, CHEN Fang

(College of Astronautics, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: According to traditional linear regression analysis technique fitting existence problem of attack points of guided-bomb, the paper presents a new method of back propagation neural network algorithm (BP) which fit attack points of some guided-bomb was proposed. The relation between attack points of guided-bomb and attack conditions can be displayed with threshold and weight of BP neural network. The results of simulation show that the BP method has not only good feasibility and high precision, but also simple operation. Matlab was used in the process of simulation. The conclusion possesses reference value and practical engineering value in real application.

Keywords: guided-bomb; attack points; back propagation neural network algorithm; fitt; Matlab

0 引言

攻击区是衡量有控炸弹攻击性能的一个重要指标。攻击区的拟合速度及精度对于有控炸弹灵活机动、有效提高有控炸弹命中精度等都有举足轻重的作用。有控炸弹的攻击范围(杀伤区)通常是有控炸弹投放初始高度、初始速度和投放角度等攻击条件的非线性函数,用传统的线性回归法进行逼近,常常使得拟合速度慢、精度低,使用范围受限。所以寻求一种智能化的非线性处理方法对有控炸弹攻击区拟合成为一个亟待解决的问题。

文中采用BP神经网络对某有控炸弹攻击点

(射程 $X(t_f)$, 偏航 $Z(t_f)$) 的双参数拟合,拟合后的结果与基于C++程序计算的结果进行比较来说明BP网络用于处理拟合问题的优越性。

1 问题的描述

有控炸弹的可攻击区是指弹的攻击点 $(X(t_f), Z(t_f))$ 且落角大于 45° 的参数范围(大的落角可用于达到很大的落地速度),这些攻击点 $(X(t_f), Z(t_f))$ 组成的区域就是弹的攻击区 F_p , 即: $F_p = \Gamma[(X(t_f), Z(t_f))]$ 。

通过大量数值计算,可得到很大的可攻击区数据库,为了在机载计算机上进行实时在线的计算,因而需要拟合寻找一函数式 F_p' , 即:

* 收稿日期:2008-07-16

作者简介:黄国强(1981-),男,江西南昌人,硕士研究生,研究方向:飞行力学与控制。

$$F_p' = \begin{cases} X_{t_f} = f_x(h_{t_0}, \gamma_{t_0}, V_{t_0}, A_{t_0}, B_{t_0}, C_{t_0}) \\ Z_{t_f} = f_z(h_{t_0}, \gamma_{t_0}, V_{t_0}, A_{t_0}, B_{t_0}, C_{t_0}) \end{cases} \quad (1)$$

以便实时在线高精度地计算出任意抛射条件下的可攻击区。

文中是通过改变高度 h 、轨迹倾角 γ 、速度 V 来获得弹的攻击区 F_p ，使 BP 神经网络获得更多的训练样本和拟合参数，从而使拟合函数式 F_p' 更加逼近 F_p 。

式(1)中的 h_{t_0} 、 γ_{t_0} 、 V_{t_0} 、 A_{t_0} 、 B_{t_0} 、 C_{t_0} 分别代别炸弹初始时刻所处的高度、轨迹倾角、速度、目标俯仰角 $A = \arctan(h/\text{目标设定的射程})$ 、目标偏航角 $B = \arctan(\text{目标偏航距离}/\text{目标设定的射程})$ 及目标位置角度。

2 数学模型

2.1 有控炸弹运动与动力学数学仿真模型

$$\dot{V} = -\frac{C_x q S}{m} - g \sin \gamma + a_{w_x} \quad (2)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{C_y q S}{m V} - \frac{C_z q S \sin \sigma}{m V} + \left(\frac{V}{r} - \frac{g}{V}\right) \cos \gamma + 2\omega \cos \psi_v \cos \Phi + \frac{a_{w_y}}{V} \quad (3)$$

$$\dot{\psi}_v = -\frac{q S}{m V \cos \gamma} (C_y \sin \sigma + C_z \cos \sigma) + 2\omega (\tan \gamma \sin \psi_v \cos \Phi - \sin \Phi) + \frac{a_{w_z}}{V \cos \gamma} \quad (4)$$

$$\dot{h} = V \sin \gamma + V_{w_y} \quad (5)$$

$$\dot{x} = V \cos \gamma \cos \psi_v + V_{w_x} \quad (6)$$

$$\dot{z} = -V \cos \gamma \sin \psi_v + V_{w_z} \quad (7)$$

$$r = R + h \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_{x1} = & \frac{m_{x'} q S l^2}{I_x V} \omega_{x1} - \frac{I_x - I_y}{I_x} \omega_{y1} \omega_{z1} + \frac{I_{xy}}{I_x} (\dot{\omega}_{y1} - \\ & \omega_{x1} \omega_{z1}) + \frac{I_{yz}}{I_x} (\omega_{y1}^2 - \omega_{z1}^2) + \frac{I_{xz}}{I_x} (\dot{\omega}_{z1} + \\ & \omega_{x1} \omega_{y1}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_{y1} = & \frac{M_y^{\beta}}{I_y} \beta + \frac{M_y^{\omega}}{I_y} \omega_{y1} - \frac{I_x - I_z}{I_y} \omega_{x1} \omega_{z1} + \\ & \frac{I_{xy}}{I_y} (\dot{\omega}_{z1} - \omega_{x1} \omega_{y1}) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_{z1} = & \frac{M_z^{\alpha}}{I_z} \alpha + \frac{M_z^{\omega}}{I_z} \omega_{z1} - \frac{I_y - I_x}{I_z} \omega_{x1} \omega_{y1} + \\ & \frac{I_{xy}}{I_z} (\omega_{x1}^2 - \omega_{y1}^2) + \frac{I_{xz}}{I_z} (\dot{\omega}_{x1} - \omega_{y1} \omega_{z1}) + \end{aligned}$$

$$\frac{I_{yz}}{I_z} (\dot{\omega}_{y1} \omega_{z1} + \omega_{x1} \omega_{z1}) \quad (11)$$

$$\dot{\phi} = (\omega_{y1} \sin \Gamma + \omega_{z1} \cos \Gamma) / \cos \Gamma \quad (12)$$

$$\dot{\phi} = \omega_{y1} \cos \Gamma - \omega_{z1} \sin \Gamma \quad (13)$$

$$\dot{\Gamma} = \omega_{x1} + \tan \phi (\omega_{y1} \sin \Gamma + \omega_{z1} \cos \Gamma) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \dot{\alpha} = & \omega_{z1} - (\dot{\sigma} + \dot{\psi}_v \sin \gamma) \sin \beta - (\dot{\gamma} \cos \sigma - \\ & \dot{\psi}_v \cos \gamma \sin \sigma) \cos \beta \end{aligned} \quad (15)$$

$$\dot{\beta} = \omega_{x1} \sin \alpha + \omega_{y1} \cos \alpha - \dot{\psi}_v \cos \gamma \cos \sigma - \dot{\gamma} \sin \sigma \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \dot{\sigma} = & \omega_{x1} \cos \alpha \cos \beta - \omega_{y1} \sin \alpha \cos \beta + \omega_{z1} \sin \beta - \\ & \dot{\alpha} \sin \beta - \dot{\psi}_v \sin \gamma \end{aligned} \quad (17)$$

上式中:各物理量的意义参见文献[1-3]。

2.2 有控炸弹制导律数学仿真模型

导弹指令加速度的计算如下:

$$\begin{aligned} a_x = N |\dot{r}| \dot{q}_x, a_y = N |\dot{r}| \dot{q}_y, \\ a_z = N |\dot{r}| \dot{q}_z \end{aligned} \quad (18)$$

式中: N 、 \dot{r} 、 \dot{q}_x 、 \dot{q}_y 、 \dot{q}_z 的物理意义参见文献[4]。

通过飞行仿真软件 C++ 编程计算,即可得到很大的可攻击区数据库。

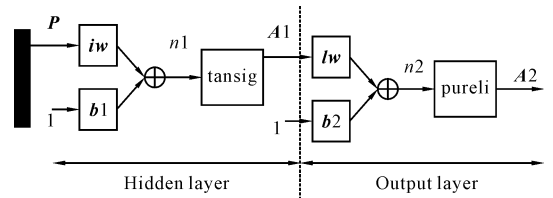


图 1 BP 神经网络结构

3 神经网络拟合原理

3.1 BP 神经网络模型的建立和描述^[5]

该网络的输入 $P = (h, \gamma, V, A = \arctan(h/\text{目标设定的射程}), B = \arctan(\text{目标偏航距离}/\text{目标设定的射程}), \text{目标位置角度 } C)$ 是矩阵组,当轨迹倾角 γ 分别为 $(0^\circ, -5^\circ, -10^\circ, -15^\circ, -20^\circ, -25^\circ, -30^\circ, -35^\circ, -40^\circ, -45^\circ, -50^\circ, -55^\circ)$ 时,相应的 P 分别取 $(6 \times 1638, 6 \times 462, 6 \times 693, 6 \times 1029, 6 \times 1407, 6 \times 1722, 6 \times 1953, 6 \times 2037, 6 \times 2058, 6 \times 1911, 6 \times 1806 \text{ 和 } 6 \times 1659)$; 输出 $A2 = (x, z)$ 是矩阵组,分别为 $(2 \times 1638, 2 \times 462, 2 \times 693, 2 \times 1029, 2 \times 1407, 2 \times 1722, 2 \times 1953, 2 \times 2037, 2 \times 2058, 2 \times 1911, 2 \times 1806 \text{ 和 } 2 \times 1659)$,而 iw 是 8×6 的隐层权值常数矩阵, b_1 是 8×1 的常数向量, lw 是 8×2 的输出权值常数

矩阵, b_2 是 2×1 的常数向量。传递函数 tansig 表达式为:

$$y = 2.0 / (1.0 + \exp(-2.0 \cdot x)) - 1.0 \quad (19)$$

Purelin 是线性函数,即输入 = 输出($y = x$)。

3.2 BP 神经网络对攻击区的拟合过程

1) 选取因素指标,由导弹弹道学知,应选取导弹投放初始高度 h_0 ,轰炸轨迹倾角 γ 和速度 V_0 。

2) 选取样本集($h, \gamma, V, A = \arctan(h/\text{目标设定的射程}), B = \arctan(\text{目标偏航距离}/\text{目标设定的射程})$ 及目标位置角度 C) $_j, (j = 1, 2, \dots, n)$,拟合时根据角度的不同, n 可取 1638、462、693、1029、1407、1722、1953、2037、2058、1911、1806 和 1659 等 11 组数据,对数据进行预处理。

3) 应用 BP 网络进行训练、学习,确定合理的网络参数(iw, b_1, lw, b_2),包括神经元的最大个数,误差指标(均方误差 mse、平均绝对误差 mae、平均误差 avg_err) 等。

4) 保存训练好的网络结构及确定网络参数(iw, b_1, lw, b_2),应用训练好的网络所得到的拟合函数式 F_p' 转化为 C++ 来进行实时在线计算。

4 算例

4.1 算例

选取某型有控炸弹的 3 种在攻击过程中的参数建立学习样本集(P, T),这 3 种参数分别为有控炸弹投放高度(121m 至 3040m)、投放轨迹倾角($0^\circ, -5^\circ, -10^\circ, -15^\circ, -20^\circ, -25^\circ, -30^\circ, -35^\circ, -40^\circ, -45^\circ, -50^\circ, -55^\circ$)、投放速度(185m/s、205.5m/s、226m/s、246.7m/s、267.2m/s、287.7m/s),其中 $P = (h, \gamma, V, A = \arctan(h/\text{目标设定的射程}), B = \arctan(\text{目标偏航距离}/\text{目标设定的射程}), \text{目标位置角度 } C)$ 为输入向量; $T = (A, T)$ 为期望输出。采用 Bayesian regularization backpropagation 学习算法,可以得出拟合后的曲线。具体按轨迹倾角 γ 的不同分 12 组拟合(初始高度 h 分别取 121m 至 3040m,飞行速度 V 分别取 185m/s、205.5m/s、226m/s、246.7m/s、267.2m/s、287.7m/s)。

现列举轨迹倾角 $\gamma(0^\circ, -15^\circ, -30^\circ, -40^\circ, -55^\circ)$ 组合的仿真效果,如图 2 ~ 图 6 所示。

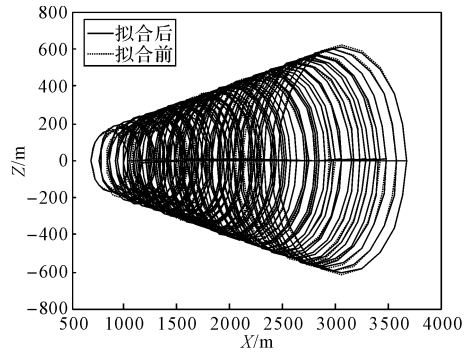


图 2 当 $\gamma = 0^\circ$ 时攻击区的比较

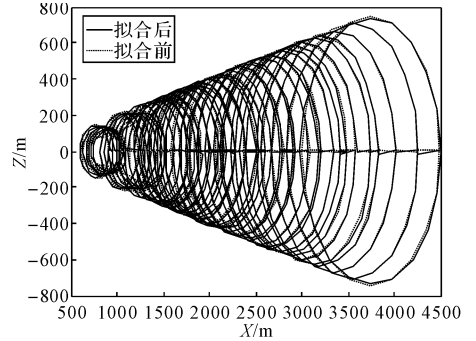


图 3 当 $\gamma = -15^\circ$ 时攻击区的比较

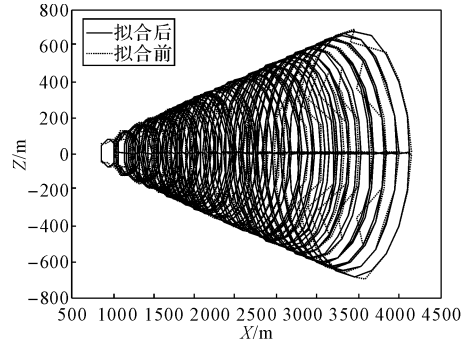


图 4 当 $\gamma = -30^\circ$ 时攻击区的比较

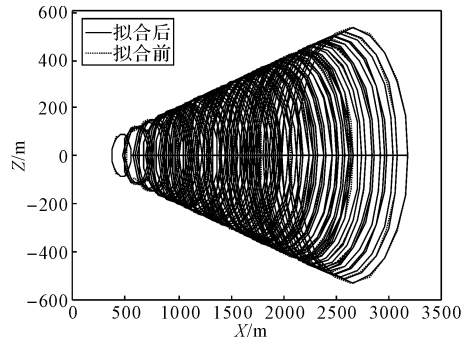


图 5 当 $\gamma = -40^\circ$ 时攻击区的比较

4.2 仿真分析

对于 BP 神经网络,采用贝叶斯归一化算法具有更好的泛化能力,它可以让算法运行到有效的参数收敛。同时,它有效地抑制网络限于局部极小,用于函数逼近的性能好。得到的误差结果

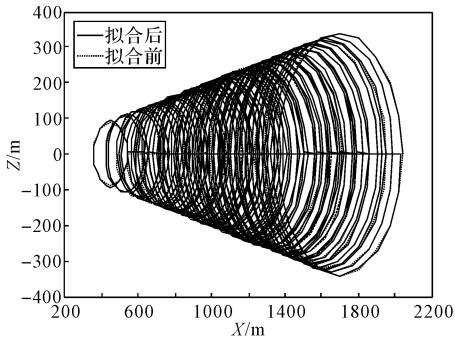


图 6 当 $\gamma = -55^\circ$ 时攻击区的比较

如表 1 所示(炸弹的脱靶量 $< 15\text{m}$)。

从图、表中 表 1 误差结果

可以看出, BP 网络的拟合效果很理想。

5 结 论

通过上述算例可知: BP 神经网络对于有控炸弹的攻击区拟合是一种很有效的方法。该方法具有算法可行性好、拟合精度高、

| 轨迹倾角 / ($^\circ$) | 平均误差 | |
|---------------------|--------|--------|
| | Rang | Rang |
| | x/m | z/m |
| 0 | 2.5606 | 4.0726 |
| -5 | 2.7712 | 4.1739 |
| -10 | 2.7808 | 3.3397 |
| -15 | 4.3018 | 5.5864 |
| -20 | 3.9807 | 4.9258 |
| -25 | 2.7579 | 3.6938 |
| -30 | 6.3528 | 3.3798 |
| -35 | 1.6247 | 1.4982 |
| -40 | 1.2974 | 0.8833 |
| -45 | 0.9394 | 0.8456 |
| -50 | 0.7359 | 0.8259 |
| -55 | 0.7281 | 0.8183 |

速度快和运算简单等优点, 所得到的拟合效果非常理想。同时将训练好的神经网络所得到的拟合函数式 F_p' 转化为 C++, 可以实现高速实时运算。在改变有控炸弹抛射初始条件的情况下, 就可以立即判断能否进入攻击范围和命中目标的概率大小, 提高有控炸弹的命中率, 因而具有很高的工程应用价值和实战意义。

参考文献:

[1] Zhao Yiyuan. Optimal control of an aircraft flying through a downburst[D]. USA: Stanford University, 1989.

[2] 南英, 陈士橹, 严辉. 基于数字仿真的再入飞行器滚转异常边界条件研究[J]. 宇航学报, 1997, 18(1): 19-20.

[3] Nan Ying, Zhao Yiyuan. Optimal trajectories in free flight[R]. Technical Report in University of Minnesota, 1997-1998.

[4] 涂永梅, 南英. 载机与巡航弹最优突防策略[J]. 弹道学报, 2007, 19(3): 41-42.

[5] 周开利, 康耀红. 神经网络模型及其 MATLAB 仿真程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

(上接第 211 页)

参考文献:

[1] Hall D L, Llinas J. An introduction to multisensor data fusion[C]// Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 1998: 537-540.

[2] Steinberg A, Bowman C, White F. Revisions to the JDL data fusion model [C]// SPIE, 1999, 3719: 430-441.

[3] 蔡益朝, 张维明, 刘忠, 等. 基于遗传算法的目标分群问题的求解方法[J]. 计算机工程, 2007, 33(5): 4-6.

[4] Scott J. Social network analysis: A handbook[M]. 2nd Edition, London Sage, 2000.

[5] Burt R S. Positions in networks [J]. Social

Forces, 1976, 55: 93-122.

[6] S Wasserman, K Faust. Social network analysis [M]. Cambridge University Press, 1994.

[7] Newman M E J, Girvan M. Finding and evaluating community structure in network [J]. Proc Natl Acad Sci, 2002, 99: 7821-7826.

[8] Newman M E J. Analysis of weighted networks [J]. Phys Rev E, 2004, 70(5): 1-9.

[9] 黄雷, 郭雷. 一种面向态势估计中分群问题的聚类方法[J]. 计算机应用, 2006, 26(5): 1109-1110.

[10] 周锐锐, 陈振华, 崔蕴华, 等. 战术数据链层次化网络拓扑模型研究[J]. 弹箭与制导学报, 2007, 27(4): 330-332.

[11] 张明远, 王宝树. 态势觉察中目标分群技术的实现[J]. 电光与控制, 2004, 11(1): 40-43.