

## 基于改进的 BP 神经网络空空导弹攻击区解算方法

王海涛, 佟惠军, 王 洋

(空军航空大学 作战指挥系, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 针对目前空空导弹可攻击区解算精度不高、收敛速度较慢的问题, 提出了一种基于 BP 神经网络的改进的空空导弹攻击区解算方法。引入动量项的算法加快收敛的速度, 并采用对灵敏变量插值的方法提高拟合精度, 仿真结果表明: 该方法具有精度高、参数少、通用性强的优点。

**关键词:** BP 神经网络; 空空导弹; 动量项; 插值

**中图分类号:** TN702

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-6236(2014)03-0028-03

## The solution of air-to-air missile launch envelopes based on the improved BP neural network

WANG Hai-tao, TONG Hui-jun, WANG Yang

(Department of Combat and Command, The Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of the low accuracy and convergence speed of air-to-air missile launch envelopes, the article has presented a solution of air-to-air missile launch envelopes based on the improved BP neural network. Introduce the momentum item to accelerate the convergence speed, and using interpolation methods on sensitive variable to improve the fitting accuracy. Simulation results show that the method has advantages of high accuracy, less parameters, versatility.

**Key words:** BP neural network; air-to-air missile; the momentum item; interpolation

空空导弹攻击区是指: 当载机在此区域发射导弹时, 导弹就能以一定的概率杀伤目标<sup>[1]</sup>。空空导弹攻击区解算精度的高低、解算速度的快慢直接关系到空战的成功与否。现有的空空导弹攻击区解算方法主要有: 一般拟合法、三角变换拟合法、插值法。这些方法一般很难同时满足拟合精度与收敛速度的要求, 且通用性较差, 不能适应未来空战复杂多变的战场环境。

文中采用基于改进的 BP 神经网络的方法, 通过网络结构参数的合理选择, 反复进行训练, 对攻击区参数与战术诸元进行非线性关系的拟合。通过离线训练来获得网络模型参数, 并通过网络模型在线计算进而得到实时的、高精度的空空导弹的攻击区计算结果。仿真结果表明, 该方法可有效提高导弹攻击区解算精度和收敛速度, 且通用性较好, 为后续火控系统的改进提供了便利。

## 1 空空导弹攻击区的数学描述和准确度计算

## 1.1 空空导弹攻击区的数学描述

空空导弹的真实攻击区需要通过大量的实战统计获得, 但这又是不可可能的, 本文采用空空导弹仿真获得的攻击区来代替真实攻击区<sup>[2]</sup>。空空导弹攻击区的大小和形状, 受导弹性能、载机飞行高度、速度、离轴角、进入角, 目标速

度、目标高度差、机动能力、方位角、攻击航向相对太阳夹角、气象条件等诸多因素的影响, 随着发射条件的变化而变化。一般来说, 导弹的远边界  $R_{\max}$  和近边界  $R_{\min}$  是高度、速度、机动过载、离轴角、进入角等初始攻击条件的非线性函数, 即

$$R_{\max} = R_{\max}(xh_A, h_T, v_A, v_T, n_T, q, q_T) \quad (1)$$

$$R_{\min} = R_{\min}(h_A, h_T, v_A, v_T, n_T, q, q_T) \quad (2)$$

式中  $h_A$ ,  $h_T$  分别为攻击机高度和目标高度,  $v_A$ ,  $v_T$  是攻击机及目标的速度,  $n_T$  是目标机动过载,  $q$  和  $q_T$  分别是导弹离轴角和目标进入角。

## 1.2 攻击区准确程度的概率计算

将由导弹六自由度运动方程计算得到的导弹发射区称为理论攻击区<sup>[3]</sup>, 将火力控制系统中使用的经拟合或快速模拟等方法得到的导弹攻击区称为实际攻击区, 总的要求是实际攻击区应该完全重合于理论攻击区, 但是实际上是做不到的, 因为在建立实际攻击区的计算中, 进行了一些必要的简化, 这就导致了两者的不重合, 对它们之间重合度用发射成功概率表示。图 1 表示了在一定条件下的导弹理论攻击区和实际攻击区的关系<sup>[4]</sup>。

图中实际攻击区是火控系统中用以判断是否到达发射条件的依据, 而理论攻击区是火力控制中无法实现的模型, 要求两者重合, 特别是在全部飞行包线范围内重合是不可

收稿日期: 2013-06-16

稿件编号: 201306099

作者简介: 王海涛 (1990—), 男, 山东聊城人, 硕士研究生。研究方向: 制导武器的作战使用与仿真。

能的, 在图中取两个攻击区重合部分面积  $A_c$ , 在此范围发射导弹是可行的。

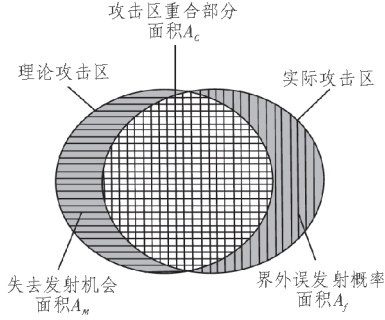


图 1 失去发射机会概率和界外误发射概率

Fig. 1 Loss of emission chance probability and outside emission probability

图 1 中左边理论攻击区拥有的部分面积  $A_m$ , 攻击机在此区域发射导弹是完全可行的, 但机载火力控制系统不能准确反映此面积的存在, 即攻击机在此区域会失去发射导弹的机会; 图中实际攻击区拥有但已经在理论攻击区之外的部分面积  $A_f$ , 攻击机在此区域是不能发射导弹的, 但机载火力控制系统却允许发射导弹, 造成无效的界外发射。因此, 在实际攻击区解算中, 应尽量使实际攻击区与理论攻击区重合, 并将失去发射机会和误发射机会降至最低。

在评价实际攻击区的精度时, 通常以两个概率值表示, 即失去发射机会的概率:

$$P_{mt} = \frac{A_m}{A_c + A_m} \quad (3)$$

界外发射机会的概率:

$$P_{ab} = \frac{A_f}{A_c + A_f} \quad (4)$$

机载火控系统中所使用实际攻击区优劣的数量指标即可使用这两个指标进行评价。为得到较高的发射成功概率  $P_{sl}$ , 必须将这两个概率控制在 15% 以内, 即

$$P_{sl} = (1 - P_{mt}) \cdot (1 - P_{ab}) \quad (5)$$

考虑到失去发射机会和界外发射机会的概率均为小概率事件, 故可令

$$P_{sl} = 1 - P_{ab} - P_{mt} \quad (6)$$

由于各传感器存在的系统误差和随机误差都会影响到攻击区的边界大小, 因此必须使界外发射机会和失去发射机会的概率均要小于 15% 以此来保证发射成功概率大于 70%, 在评估和验算时, 必须将系统误差和随机误差都考虑进去。

## 2 BP 神经网络模型分析

### 2.1 一般 BP 网络模型

应用 BP 神经网络的方法可以求解一些存在大量范例的非结构性问题, 导弹攻击区处理的特点与非结构问题有很大的相似。BP 神经网络所需要的大量范例和样本可由空空导弹理论攻击区来提供<sup>[5]</sup>。

BP 神经网络是一种被广泛采用的人工神经网络模型。它

是一种多层反馈的神经网络, 网络的各层之间的权值修正是在误差反向传播的过程中完成的。BP 神经网络计算空空导弹攻击区参数的基本思路:

对 BP 前馈神经网络用足够多的已有样本来进行训练, 通过训练比较网络实际输出和期望之间的差值来不断调节网络权值, 直至输出层的误差满足精度要求时停止训练。

采用三层 BP 网络来逼近导弹的攻击区, 将影响空空导弹攻击区的  $h_A$ 、 $h_T$ 、 $v_A$ 、 $v_T$ 、 $q$ 、 $q_T$  作为本网络的输入, 攻击区的远边界  $R_{\max}$  和近边界  $R_{\min}$  作为网络的输出。

本文选用确定隐层神经元数的公式为:

$$m = \left[ \sqrt{n + k} \right] + 3 = 5 \quad (7)$$

式中,  $[x]$  表示取不大于  $x$  的最大整数;  $n$  和  $k$  分别表示输入和输出神经元个数。本文输入神经元个数为 6, 输出神经元个数为 2, 隐层节点数为 5。

根据非线性系统处理的一般经验, 初始权值不宜选取太大, 也不宜太小。一般初始权值的随机数取值范围是  $(-1, 1)$ 。采用计算机模拟仿真的结果作为导弹攻击区的样本集, 并对数据进行归一化处理。

### 2.2 改进的 BP 神经网络模型

根据空战经验发现, 目标进入角  $q_T$  是对攻击区形状影响最明显的变量。如果采用上述 BP 神经网络进行攻击区的拟合, 不仅难度大, 而且精度较差, 可以采用不同的  $q_T$  分别拟合  $R_{\max}$ 、 $R_{\min}$ , 并将插值法运用到攻击区的求解中。在 BP 的学习过程中, 学习步长  $\eta$  的选择很重要,  $\eta$  值大会导致权值变化增大, BP 的学习收敛效率更高, 但  $\eta$  值过大就会引起震荡网络的不稳定, 收敛速度随之变慢。为此, 对 BP 神经网络加入“动量项”<sup>[6]</sup>。

本方法仍采用三层 BP 网络的拟合方法关系, 隐层神经元数取为  $m=5$ 。在获得不同的  $R_{qT, \max}$ 、 $R_{qT, \min}$  后, 对其进行插值即可获得空空导弹攻击区。改进算法的权值调整为:

$$\Delta w_{ij}(n) = \alpha \Delta w_{ij}(n-1) + \eta_{ij} \delta_j(n) v_i(n) \quad (8)$$

$\Delta w_{ij}(n)$  为第  $n$  次迭代时  $I$  层与  $J$  层之间的权值修正向量,  $\eta$  为对应  $w$  的学习步长,  $\delta_j(n)$  为第  $n$  次迭代时第  $J$  层第  $j$  个神经元的局部梯度,  $v$  为第  $n$  次迭代时第  $i$  个神经元的输出。其中  $\eta_{ij}$  对步长进行适当调节,  $\alpha$  取  $(0, 1)$  的常数,  $\alpha$  作为动量项, 且一般为正数, 完成对上一时刻权值修正方向的记忆, 提高学习效率。通过对某型空空导弹的理论攻击区的研究发现, 在攻击条件的主要因素中, 目标进入角对导弹攻击区的影响最大, 且难以进行定量或定性关系式的描述。

由于纯 BP 算法精度较差, 为提高攻击区拟合精度, 采用上述加入动量项的方法<sup>[7]</sup>, 不同  $q_T$  拟合不同的  $R_{\max}$ 、 $R_{\min}$ , 取与  $q_T$  相邻的两个进入角  $q_{T_i}$ 、 $q_{T_{i+1}}$ , 将其带入相应的网络中, 求得  $R_{q_{T_i}, \max}$ 、 $R_{q_{T_i}, \min}$ 、 $R_{q_{T_{i+1}}, \max}$ 、 $R_{q_{T_{i+1}}, \min}$ 。利用线性插值, 可得目标进入角  $q_T$  对应攻击区的最大、最小发射距离分别为

$$R_{qT, \max} = R_{q_{T_i}, \max} + \frac{(R_{q_{T_{i+1}}, \max} - R_{q_{T_i}, \max}) \cdot (q_T - q_{T_i})}{(q_{T_{i+1}} - q_{T_i})} \quad (9)$$

$$R_{qT,\min} = R_{qT_i,\min} + \frac{(R_{qT_{i+1},\min} - R_{qT_i,\min}) \cdot (q_T - q_{T_i})}{(q_{T_{i+1}} - q_{T_i})} \quad (10)$$

### 3 BP网络模型仿真结果分析

选择某型空空导弹的300个典型的理论攻击区进行仿真分析,利用一般的拟合法、插值法、三角变换拟合法及本文的基于改进的BP网络的解算方法进行拟合,选取300个具有代表性的攻击条件,代入相应的拟合关系式进行计算,并将拟合结果与理论的攻击区进行比较<sup>[7]</sup>。图2给出了当 $h_A=h_T=3000$  m,  $v_T=400$  m/s,  $n_T=0$ ,  $q=0$  时4种攻击区比较。

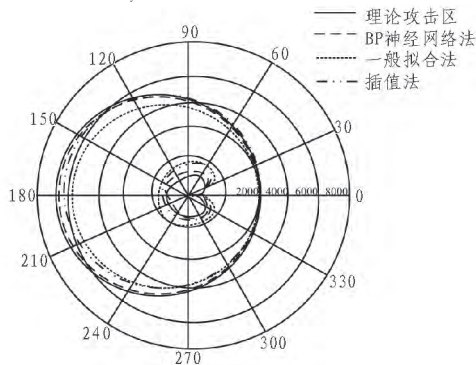


图2 目标机动时4种攻击区比较

Fig. 2 Comparison of four kinds of attack area about non-unmaneuvering target

求出相应的失去发射机会的概率 $P_{mt}$ 和界外发射机会的概率 $P_{ab}$ ,最终得出如表1所示的仿真结果。

表1 不同解算方法的精度对比

Tab.1 Comparison of precision about different calculating methods

解算方法	$\overline{P_{mt}}$	$\overline{P_{ab}}$	$P_{mtmin}$	$P_{abmin}$
一般拟合法	12.97	11.83	9.44	6.32
三角变换拟合法	4.90	4.39	0.89	0.45
插值法	2.44	2.30	0.19	0.20
改进的BP网络法	2.50	3.21	0.21	0.31

其中, $\overline{P_{mt}}$ 和 $\overline{P_{ab}}$ 分别表示平均失去发射机会的概率和平均界外发射机会的概率, $P_{mtmin}$ 和 $P_{abmin}$ 分别表示最小失去发射机会的概率和最小界外发射机会的概率<sup>[8]</sup>。

由仿真结果可知,改进的BP神经网络方法的拟合结果与理论的攻击区基本重合,它的逼近精度仅比插值法低少许,比三角变换拟合法,特别是比一般的拟合方法有大幅度的提高。为更好的帮助研究者进行方法的选择,对这4种方法在拟合系数的多少、拟合精度及通用性等方面上的优缺点进行更直观比较,得出结果如表2所示。

从表2可以看出,从拟合精度、拟合系数、解算的方便程度、方法的通用性等方面进行综合权衡,本文提出的改进的BP神经网络方法是最好的。改进的BP神经网络算法主要做了两方面的改进,一方面是采用动量项的算法,加快了收敛的速度,同时也可避免学习过程陷入局部最小的误区;另一方面吸取了插值法的优点,提高了拟合精度。

表2 4种解算方法的特点比较

Tab.2 Comparison of characteristics about the four kinds of calculating methods

解算方法	拟合精度	拟合系数	解算的方便程度	方法的通用性
一般拟合法	低	较少	较方便	不好
三角变换拟合法	较高	少	需预处理	不好
插值法	很高	多	方便	较好
改进的BP网络法	高	较少	较方便	很好

### 4 结束语

文中提出的用于近距格斗空空导弹<sup>[9]</sup>攻击区改进的BP神经网络方法,不仅具有很高的拟合精度,而且通用性好、存储量小,完全可以满足当前的机载火控计算机在计算速度、拟合精度上和存储量方面的苛刻要求,具有很广阔的应用前景。从分析结果可知,插值法在拟合精度、解算方便程度等方面也可以满足实战要求,因此实战中可根据机载火控系统配置和对作战精度的要求决定采用插值法或改进的BP神经网络算法。

#### 参考文献:

- [1] 王凯,李望西,轩永波.基于BP神经网络的空空导弹攻击区解算及其仿真[J].弹箭与制导学报,2010,2(1):75-77.  
WANG Kai, LI Wang-xi, XUAN Yong-bo. The solution and simulation of air-to-air missile launch envelopes based on BP neural network[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2010, 2(1): 75-77.
- [2] 王宏伦,吕庆凤,董胜龙,等.基于模糊逻辑系统的空空导弹攻击区拟合[J].南京航空航天大学学报,2000,6(3):305-310.  
WANG Hong-lun, LV Qing-feng, DONG Sheng-long, et al. Missile launch envelope approximation based on fuzzy logic system[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2000, 6(3): 305-310.
- [3] 付书堂,章惠君.空空导弹攻击区高精度快速计算方法[J].科学技术与工程,2012,9(12):7074-7077.  
FU Shu-tang, ZHANG Hui-jun. A method of high-precision and fast calculation for attack area of air-to-air missile[J]. Science Technology and Engineering, 2012, 9(12): 7074-7077.
- [4] 周志刚.机载火力控制系统分析[M].北京:国防工业出版社,2008
- [5] 张列航,雷蕾,李研生.BP神经网络导弹攻击区火控工作式拟合[J].火力与指挥控制,2011,12(12):177-179.  
ZHANG Lie-hang, LEI Lei, LI Yansheng. Fire control formula fitting of missile attack envelop based on BP neural network[J]. Fire Control & Command Control, 2011, 12(12): 177-179.
- [6] 查立宏,章代雨,李胜林.基于BP神经网络的空空导

(下转第33页)



点。2005 年 Biryukon 和 Yoshida 从差分入手在 34 步以内找到了 SHA-256 的一个变种的伪碰撞。2003 年 Handschuh 和 Gilbert 利用 Chabaud-Joux 攻击, 给出了 SHA-256 的一个 9 步迭代差分方法, 理论上得到了 SHA-256 的一个部分碰撞, 给出了部分碰撞复杂度为  $2^{66[6-7]}$ , 并证明了 SHA-256 可抵御 Chabaud-Joux 攻击。以下是利用 Chabaud-Joux 对 SHA-256 实施攻击的描述:

令  $M=(W_0, \dots, W_{63})$ ,  $M=(W'_0, \dots, W'_{63})$ , 如果  $W_i \oplus W'_i = 0x00000002$  这表示  $W_i$  的比特 1 改变了 (最低比特为比特 0), 于是在第  $i+1$  步迭代中  $a$  和  $e$  都会出现差分, 如果对消息字  $W'_{i+1}$ ,  $W'_{i+2}$ ,  $W'_{i+k}$ , 不作修改, 此后每一步的迭代中, 会将前一步的差分依此传播给其余的寄存器。为了阻止这种现象, 通过修改  $W'_{i+1}$ ,  $W'_{i+2} \dots W'_{i+8}$  可抵消差分, 每一步的差分抵消是以概率进行的, 令  $W'_{i+1} = W'_{i+1} \oplus 0x00000002$ , 则  $i+2$  在下一步中以某一概率得到  $\Delta a=0$ , 依此思想进行推到, 经过 9 步迭代所有寄存器上的差分抵消, 于是得到一个部分碰撞, 其复杂度为  $2^{66}$ 。不能因为找到了函数的一个部分碰撞就说该函数一定不安全, 而一个 Hash 函数的安全性高低最终要看能否找到函数的一个整体碰撞。由于 SHA-256 算法具有迭代型结构, 根据迭代算法的雪崩效应, 随着轮数的增加, 相应的整体碰撞复杂度会急剧上升, 这就使得找到整体碰撞变得非常困难, 直至目前现有的攻击还无法找到 SHA-256 的一个整体碰撞。因此, SHA-256 被认为是目前最安全的 Hash 函数之一。

### 3 结论

用于消息唯一性和数据完整性验证的 Hash 函数, 其安全性依赖于函数本身的属性和对碰撞的抵抗。Hash 函数的算法结构特点和 Hash 值的长度是决定函数抗碰撞性的主要因素, Hash 值越长, 越能抵御生日攻击。SHA-256 有 256 比特 Hash 值, MD5 和 SHA-1 分别有 128 和 160 比特的 Hash 值。

因此, SHA-256 比 MD5 和 SHA-1 能抵抗生日攻击。通过对 Chabaud-Joux 攻击 SHA-256 的分析, 找到了 SHA-256 的一个部分碰撞, 其复杂度为  $2^{66}$ , 但无法找到 SHA-256 的一个整体碰撞, 因此, SHA-256 也能抵御现有的差分攻击。由此可见, 在抵抗生日攻击和抵御已知差分攻击方面, SHA-256 比现在广泛使用的 MD5 和 SHA-1 等更具安全性。

#### 参考文献:

- [1] FIPS 180-1. Secure hash standard[S]. NIST, US Department of Commerce. Washington D C: Springer-Verlag, 1996.
- [2] Hsu W H, Tung M C, Wu L Y. An integrated end-to-end QoS anycast routing on DiffServ networks[J]. Computer Communications, 2007, 30(6): 1406-1418.
- [3] 葛辉. 一种 256 位 hash 函数算法 [J]. 大众科技, 2005, 5 (57): 107-108.  
GE Hui. A kind of 256 bit Hash function algorithm[J]. Popular Science & Technology, 2005, 5(57): 107-108.
- [4] 黄月江, 祝世雄. 信息安全与保密 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [5] 杨晓元, 魏立线. 计算机密码学 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007.
- [6] GLBERT H, HANDSCHUH H. Security analysis of SHA-256 and sisters [C] // Selected Areas in Cryptography'03, Lecture Notes in Computer Science, 2003, (3006): 175-193.
- [7] Chabaud F, Joux A. Differential collisions in SHA-0 [C] // Advances in Cryptology-CRYPYO'98, Lecture Notes in computer Science, 1998, (1462): 56-71.
- [8] YOSHIDA H, BIRYUKOV A. Analysis of a SHA-256 variant [C] // Selected Areas in Cryptography (SAC2005), Kingston Ontario, 2005: 245-260.

(上接第 30 页)

弹攻击区精确拟合 [J]. 制导与引信, 2005, 12(4): 20-24.

ZHA Li-hong, ZHANG Dai-yu, LI Sheng-lin. Accuracy fitting of air-to-air missile impact area based on BP neural network[J]. Guidance & Fuze, 2005, 12(4): 20-24.

- [7] 张平, 方洋旺, 金冲. 空空导弹攻击区实时解算的新方法 [J]. 弹道学报, 2010, 12(4): 11-15.

ZHANG Ping, FANG Yang-wang, JIN Chong. A new method of real-time calculation for attack area of air to air missile [J]. Journal of Ballistics, 2010, 12(4): 20-24.

- [8] 易华, 谢希权. 基于自适应模糊系统的多目标导弹攻击区解算 [J]. 系统工程与电子技术, 2002, 2(1): 45-48.

YI Hua, XIE Xi-quan. Algorithm for the missile launching envelop in multi-target attacking based on the adaptive fuzzy system [J]. System Engineering and Electronics, 2002, 2(1): 45-48.

- [9] 张世欣, 韩应都. 空空导弹仿真系统的设计 [J]. 电子科技, 2012(7): 80-82.

ZHANG Shi-xin, HAN Ying-du. The design of the air-to-air missile simulation system [J]. Electronic Science and Technology, 2012(7): 80-82.