

doi: 10.7690/bgzd.2021.04.013

基于投影寻踪模型和鱼群算法的新兵军事训练效果评估

曹 瑾¹, 刘晓芬²

(1. 武警研究院建设发展研究所, 北京 100101; 2. 武警后勤学院基础部, 天津 300309)

摘要: 为科学评估新兵军事训练效果, 针对目前评估中定性评估多、定量评估少、缺乏科学方法和评估标准等问题进行探讨。通过分析新兵班平均训练数据, 构建投影寻踪模型, 采用人工鱼群算法解决模型中多约束非线性优化问题, 利用聚类分析对 8 个班训练科目成绩进行聚类分析, 验证了评价方法的合理性、准确性及评价结果可靠性。仿真结果表明: 该算法模型计算效率高, 易操作, 为后续开展军事智能化训练提供科学参考依据。

关键词: 训练效果; 投影寻踪; 人工鱼群算法; 评估模型

中图分类号: E251 **文献标志码:** A

Military Training Effect Evaluation of Recruits Based on Projection Pursuit Model and Artificial Fish Swarm Algorithm

Cao Jin¹, Liu Xiaofen²

(1. Institute of Construction & Development, Research Institute of People's Armed Police Force, Beijing 100101, China;

2. Department of Basic Courses, Logistics University of People's Armed Police Force, Tianjin 300309, China)

Abstract: In order to evaluate the effect of military training of recruits scientifically, this paper discusses the problems of more qualitative evaluation, less quantitative evaluation and lack of scientific methods and evaluation standards. By analyzing the average training data of recruit classes, constructing projection pursuit model, using artificial fish swarm algorithm to solve the multi-constraint nonlinear optimization problem in the model, and using clustering analysis to cluster the results of eight training classes, the rationality, accuracy and reliability of the evaluation method are verified. The simulation results show that the algorithm model is efficient and easy to operate, and provides a scientific reference for the following intelligent military training.

Keywords: training effect; projection pursuit; artificial fish swarm algorithm; evaluation model

0 引言

目前, 对于军事训练的评估, 我国研究人员已经在军事训练的评估领域取得了一些理论成果和相关的实践经验^[1-3], 但是还没有建立相关完善的评估指标体系和评估模型, 存在定性评估多、定量评估少、缺乏科学评估方法和统一评估标准等问题。部队正向信息化、数字化和智能化方向发展, 给军事训练评估提出了更高的要求, 探讨建立一套科学军事训练评估体系, 科学施训, 既能避免或减少训练伤, 又能提高部队战斗力。针对新兵入伍军事训练效果评估, 笔者采用人工智能算法对军事训练数据进行分析, 旨在研究军事训练科目成绩对评价结果的影响, 并通过聚类分析对军事训练科目进行聚类, 找出影响评价结果的关键指标, 为开展智能化军事训练提供理论依据, 从而提高训练效果, 减少影响军事训练损伤的风险, 有效降低训练伤发病率, 为部队科学施训提供理论支撑。

常用评估方法有主观赋权法、主成分分析法、层次分析法、综合指数法和模糊综合评价法等^[4-6]。笔者利用新兵入伍军事训练的原始数据, 避免人工干预引起的偏差, 减少人为因素影响, 构建基于人工鱼群算法的投影寻踪模型, 对武警某支队 8 个班战士的训练数据进行统计分析和实证研究。仿真结果表明: 该模型能有效解决非线性分布数据的评估问题, 对新入伍士兵有效开展军事训练有一定指导意义。

1 投影寻踪方法

投影寻踪方法是 1974 年由美国的 Friedman 和 Turkey 提出, 通过充分利用数据信息, 能够最大程度反映复杂系统特征规律, 并对数据进行挖掘, 既可作确定性分析, 又可作探索性分析。投影寻踪作为处理和分析高维数据的一种统计方法, 将高维数据通过某种组合投影到低维子空间(一般 1—3 维)上, 找出能反映原高维数据结构或特征的投影值,

收稿日期: 2020-12-04; 修回日期: 2021-01-14

作者简介: 曹 瑾(1980—), 男, 山西人, 硕士, 助理研究员, 从事军事运筹学研究。E-mail: caojin3210@163.com。

从而达到在低维空间研究高位数据特性的目的。该方法适用于非线性、多变量、非正态等方面问题的研究与分析,得到的评估结果与实际情况吻合度高,已被成功应用于多个领域^[4-7]。其建模步骤如下。

1.1 评价指标值的归一化

各评价指标值量纲不同,需归一化处理,基本方法:

效益型评价指标采用公式:

$$x(i, j) = (x^*(i, j) - x_{\min}(j)) / (x_{\max}(j) - x_{\min}(j)) \quad (1)$$

成本型评价指标采用公式:

$$x(i, j) = (x_{\max}(j) - x^*(i, j)) / (x_{\max}(j) - x_{\min}(j)) \quad (2)$$

其中:第*i*个样本第*j*个评价指标值为 $x^*(i, j)$ ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, p$),样本第*j*个评价指标的最大值和最小值分别为 $x_{\max}(j), x_{\min}(j)$ 。

1.2 投影指标函数构造

以 $\bar{a} = (a(1), a(2), \dots, a(p))$ 为投影方向的*p*维数据 $x(i, j)$ ($j=1, 2, \dots, p$)综合为1维投影值 $z(i)$:

$$z(i) = \sum_{j=1}^p a(j)x(i, j), \quad i=1, \dots, p \quad (3)$$

构造投影指标函数为

$$Q(a) = S_z D_z \quad (4)$$

其中: S_z 为投影值 $z(i)$ 的标准差; D_z 为投影值 $z(i)$ 的局部密度。计算表达式如下:

$$\begin{aligned} S_z &= \sqrt{\sum_{i=1}^n z(i) - \bar{z} / (n-1)}, \\ D_z &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r_{ij}) u(R - r_{ij}), \\ r_{ij} &= |z(i) - z(j)|. \end{aligned} \quad (5)$$

式中: \bar{z} 为系列 $z(i)$ ($i=1, 2, \dots, n$)的均值; R 为求局部密度的窗口半径; u_t 为单位阶跃函数,即

$$u_t = \begin{cases} 1, & R \geq r_{ij} \\ 0, & R < r_{ij} \end{cases}$$

为避免滑动平均偏差太大,又不能使它随着指标数*n*的增大而增大,局部密度的窗口半径*R*取值需使窗口内投影点的平均个数达到一定数量,一般可以取 $0.1S_z, 0.01S_z$ 等。

1.3 评估最佳投影方向

为最大可能揭示复杂高维系统数据特征规律,通过构造投影寻踪模型,求解最佳投影方向,构造

模型为:

$$\begin{aligned} Q_{\max}(a) &= S_z \cdot D_z, \\ \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^m a^2(j) &= 1, \quad a \in [-1, 1]. \end{aligned} \quad (6)$$

式中 a 为单位长度向量。最优投影方向的求解问题是投影寻踪模型构建中的难题,直接影响最终评价结果的优劣。上式是一个以求解最佳投影方向 $a(j)$ ($j=1, 2, \dots, p$)为优化变量的复杂高维非线性优化问题。应用投影寻踪方法能否成功的关键是如何求解高维非线性投影指标函数最优化问题,因其计算量大,传统的优化方法处理比较困难,神经网络算法、遗传算法等人工智能算法成为求解投影寻踪模型的重要方法。笔者采用人工鱼群算法求解投影寻踪模型问题,实现揭示高维复杂系统特征规律,对所研究问题进行客观评价。

1.4 评价样本

通过采取人工鱼群算法,求解最佳投影方向 \bar{a}^* ,利用公式 $z(i) = \sum_{j=1}^n a(j)x(i, j)$ 得各评价样本的投影值 $z(i)$,按大小排序,可对评价指标样本集进行统一评价,其中, \bar{a}^* 反映了各评价指标的不同重要程度,满足 $\sum_{j=1}^p a^{*2}(j) = 1$,因此将 $\omega = (a^{*2}(1), a^{*2}(2), \dots, a^{*2}(p))$ 作为各影响因素的权重。

2 鱼群算法

近年来,人工智能技术发展迅猛,智能优化算法越来越被广泛应用,常见的方法有模拟退火算法、粒子群算法、蚁群算法、遗传算法和人工鱼群算法等。遗传算法的主要缺点:对空间探索能力有限,容易收敛到局部最优解,问题复杂时计算时间较长,特别是对于高维复杂系统,难以得到满意优化结果;而人工鱼群算法顽健性强,对初值的敏感性小,对参数设定的要求不高,具备较好的全局寻优能力,能快速跳出局部最优解。文献[7-8]利用人工鱼群算法缩短了计算时间,克服了传统方法收敛速度慢的缺陷,得到全局最优解。

2.1 人工鱼群算法概述

人工鱼群算法是李晓磊等^[9-13]在2002年提出的一种全新算法。该算法的核心思想是通过模拟鱼类的行为(如觅食、聚群、追尾等)。鱼类通过上述行为最终游向食物浓度密集的区域,因此,该算法

是以鱼群的行为为依据,在指定区域内进行寻优的一种群体智能优化算法,体现的是集群体的智能思想。人工鱼生存的虚拟水域对应于优化问题的解空间,食物浓度对应于目标函数值,通过人工鱼群在虚拟水域中游动实现寻优,除此之外该算法还具有分布处理强、全局寻优、参数和初值的鲁棒性强等特点。

2.2 人工鱼群算法步骤

1) 觅食行为: 设人工鱼的当前状态为 X_a , 在其视野范围内随机选择一个状态 X_b , 则

$$X_b = X_a + \text{Visual} \cdot \text{rand}() \quad (7)$$

其中: Visual 为人工鱼感知范围; 函数 rand() 为 0~1 之间的随机数。若所在位置食物浓度(极小值) $Y_a > Y_b$, 则向该方向前进一步为

$$X_a^{t+1} = X_a^t + (X_b - X_a^t) / \|X_b - X_a^t\| \cdot \text{step} \cdot \text{rand}() \quad (8)$$

其中 step 为人工鱼移动步长, 否则重新选择随机状态 X_b , 判断是否满足条件, 如不满足, 则

$$X_a^{t+1} = X_a^t + \text{Visual} \cdot \text{rand}() \quad (9)$$

2) 聚群行为: 设人工鱼在其视野内的一个状态为 X_a , 探测其视野内邻域的伙伴数目 nf , 若 $nf/N <$

$\delta(0 < \delta < 1)$, 表明伙伴中心状态较优且不太拥挤, 并且当 $Y_a > Y_c$ 时, 则向伙伴中心位置 X_c 前进一步, 为

$$X_a^{t+1} = X_a^t + (X_c - X_a^t) / \|X_c - X_a^t\| \cdot \text{step} \cdot \text{rand}() \quad (10)$$

3) 追尾行为: 指鱼向其可视区域内最优方向移动的一种行为。设人工鱼在其视野内的一个状态为 X_i , 搜索其视野内所有伙伴中的函数最优伙伴 X_{\max} , 若 $Y_a > Y_{\max}$, 且 X_{\max} 邻域内伙伴数目为 nf , 若 $nf/N < \delta(0 < \delta < 1)$, 表明最优伙伴中心状态较优且不太拥挤, 则朝此伙伴移动, 否, 则执行觅食行为。

$$X_a^{t+1} = X_a^t + (X_c - X_a^t) / \|X_c - X_a^t\| \cdot \text{step} \cdot \text{rand}() \quad (11)$$

3 仿真模拟

3.1 数据来源

从武警某支队选取 8 个班新入伍战士 3 个月军事训练平均成绩(数据经过脱密处理)进行分析, 笔者将队列、擒敌术基础动作、防暴弹投掷、30 m×2 m 蛇形跑和 3 000 m 跑等 19 个指标作为新入伍战士军人体能素质的单项指标, 按照笔者的要求将数据整理, 结果如表 1 所示。

表 1 武警某支队 8 个班的各项指标平均成绩

班级	成绩			30 m×2 m 蛇形跑/s	3 000 m 跑/min
	队列	擒敌术基础动作	防暴弹投掷		
一	80.3	87.4	92	20.11	12.03
二	80.6	88.8	89	20.30	12.04
三	81.0	86.9	83	20.03	11.98
四	82.3	90.6	84	19.28	11.97
五	81.8	87.9	82	19.61	12.26
六	82.2	87.3	81	19.80	11.60
七	85.7	93.4	93	19.20	11.67
八	79.2	84.5	76	19.41	11.95

3.2 评价结果及分析

1) 评价指标值归一化处理。新入伍战士军事训练成绩量纲不一致, 为方便数据处理, 将指标中队

列、擒敌术基础动作和战术基础动作等效益性指标按照式(1)处理, 蛇形跑和 3 000 m 跑等成本型指标, 按照式(2)处理, 结果如表 2 所示。

表 2 武警某支队 8 个班的各项指标平均成绩归一化

班级	队列	擒敌术基础动作	防暴弹投掷	30 m×2 m 蛇形跑	3 000 m 跑
一	0.169 23	0.325 84	0.916 67	0.172 73	0.343 48
二	0.215 38	0.483 15	0.666 67	0	0.333 33
三	0.276 92	0.269 66	0.166 67	0.245 45	0.434 39
四	0.476 92	0.685 39	0.250 00	0.927 27	0.927 27
五	0.400 00	0.382 02	0.083 33	0.627 27	0
六	0.461 53	0.314 61	0	0.454 55	1.000 00
七	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00	0.893 94
八	0	0	0.166 67	0.809 09	0.469 70

2) 构造投影指标函数, 建立投影寻踪模型

$$\max Q(a) = S_z \cdot D_z, \quad \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{19} a^2(j) = 1, a(j) \geq 0;$$

$$z(i) = \sum_{j=1}^8 a(j)x(i, j); S_z = \sqrt{\sum_{i=1}^8 z(i) - \frac{\bar{z}}{7}};$$

$$D_z = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{19} (R - r_{ij})u(R - r_{ij}), R = 0.1S_z,$$

$$r_{ij} = |z(i) - z(j)|, i = 1, \dots, 8, j = 1, \dots, 19.$$

其中 $x(i, j)$ 表示第 i 班 j 科目的归一化成绩， $a(j)(j=1, 2, \dots, 19)$ 为待求最优解。

用人工鱼群算法求解上述问题，人工鱼群数目为 50，迭代次数 200，移动步长 0.1，优化投影指标函数，解决最优化计算中的全局寻优问题，得到各班级评估指标的最佳投影方向及权重系数如表 3 所示，最大投影指标值为 $z=0.01477$ 。其变化过程如图 1 所示。

3) 计算投影值。将得到投影方向代入公式，得到最大 1 维投影指标值，即 8 个班级成绩的综合评价结果如表 4 所示。

表 3 评价指标最佳投影方向及权重系数

指标	投影方向	权重系数
队列	0.381 229	0.145 335
擒敌术基础动作	0.345 060	0.119 067
战术基础动作	0.365 375	0.133 499
⋮	⋮	⋮
30 m×2 m 蛇形跑	0.159 691	0.025 501
3 000 m 跑	0.335 603	0.111 152

表 4 评价投影值及排序

班级	投影值	排序
一	0.326 4	7
二	0.470 2	5
三	0.446 2	6
四	0.775 2	2
五	0.631 2	4
六	0.735 1	3
七	0.800 3	1
八	0.253 2	8

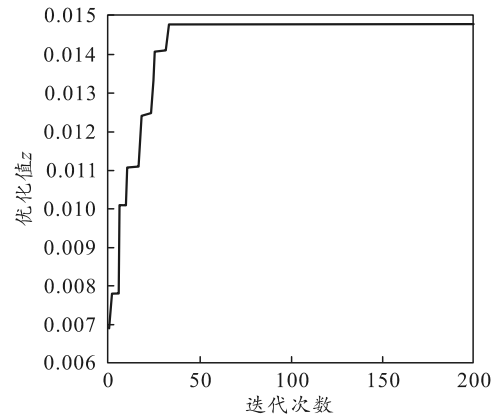


图 1 人工鱼群算法最优解变化过程

3.3 模糊聚类分析

按照上述要求将表 1 数据整理后，再通过 Matlab 软件计算得到结果如下：

1) 模糊相似矩阵：

$$R = \begin{pmatrix} 1.000 0 & 0.170 8 & 0.414 9 & 0.105 6 & 0.096 6 & 0.032 0 & 0.051 3 & 0.050 5 \\ 0.170 8 & 1.000 0 & 0.512 8 & 0.176 5 & 0.375 5 & 0.275 8 & 0.110 0 & 0.220 8 \\ 0.414 9 & 0.512 8 & 1.000 0 & 0.168 4 & 0.423 0 & 0.209 4 & 0.284 3 & 0.370 7 \\ 0.105 6 & 0.176 5 & 0.168 4 & 1.000 0 & 0.301 2 & 0.346 1 & 0.221 5 & 0.043 2 \\ 0.096 6 & 0.375 5 & 0.423 0 & 0.301 2 & 1.000 0 & 0.432 6 & 0.320 4 & 0.419 4 \\ 0.032 0 & 0.275 8 & 0.209 4 & 0.346 1 & 0.432 6 & 1.000 0 & 0.178 7 & 0.170 7 \\ 0.051 3 & 0.110 0 & 0.284 3 & 0.221 5 & 0.320 4 & 0.178 7 & 1.000 0 & 0.061 3 \\ 0.050 5 & 0.220 8 & 0.370 7 & 0.043 2 & 0.419 4 & 0.170 7 & 0.061 3 & 1.000 0 \end{pmatrix}.$$

2) R 的传递闭包矩阵：

$$R = \begin{pmatrix} 1.000 0 & 0.414 9 & 0.414 9 & 0.346 1 & 0.414 9 & 0.414 9 & 0.320 4 & 0.414 9 \\ 0.414 9 & 1.000 0 & 0.512 8 & 0.346 1 & 0.423 0 & 0.423 0 & 0.320 4 & 0.419 4 \\ 0.414 9 & 0.512 8 & 1.000 0 & 0.346 1 & 0.423 0 & 0.423 0 & 0.320 4 & 0.419 4 \\ 0.346 1 & 0.346 1 & 0.346 1 & 1.000 0 & 0.346 1 & 0.346 1 & 0.320 4 & 0.346 1 \\ 0.414 9 & 0.423 0 & 0.423 0 & 0.346 1 & 1.000 0 & 0.432 6 & 0.320 4 & 0.419 4 \\ 0.414 9 & 0.423 0 & 0.423 0 & 0.346 1 & 0.432 6 & 1.000 0 & 0.320 4 & 0.419 4 \\ 0.320 4 & 0.320 4 & 0.320 4 & 0.320 4 & 0.320 4 & 0.320 4 & 1.000 0 & 0.320 4 \\ 0.414 9 & 0.419 4 & 0.419 4 & 0.346 1 & 0.419 4 & 0.419 4 & 0.320 4 & 1.000 0 \end{pmatrix}.$$

3) 当 $\lambda=0.43$ 时，所得截矩阵：

$$R_{0.43} = \left\{ \begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \right\}。$$

4) 得到的分类是 4 类:

{一班, 三班, 八班}, {二班, 五班}, {四班, 六班}, {七班}。

5) 聚类图如图 2 所示。

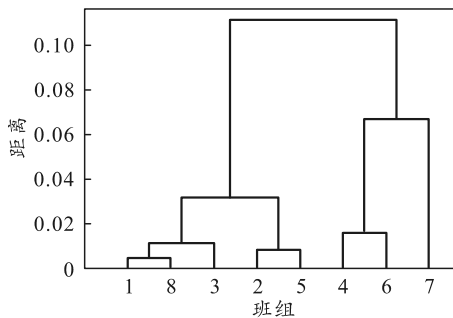


图 2 8 个班平均成绩聚类分析结果

仿真模拟结果表明:

① 七班平均成绩为第 1 类, 四班、六班平均成绩为第 2 类, 二班、五班为第 3 类, 其他班平均成绩为第 4 类, 和聚类分析(图 2)结果基本一致, 与实际情况较好地吻合;

② 队列训练、擒敌术、3 000 m 跑和仰卧起坐等基础动作指标权重较大, 可以加强这些科目训练以提高整体的训练效果;

③ 可根据笔者建立的评估模型, 客观评估新兵军事训练效果, 给出相应的分值和排序, 在后续训练中, 可以通过查找薄弱环节, 加强针对性训练, 以提高新兵训练效果。

4 结束语

笔者提出了一种基于人工鱼群算法优化投影寻

踪模型的评估方法。该算法模型可结合成绩, 通过输入军事训练原始成绩, 自动迅速评估训练成绩及查找薄弱环节, 生成可视化军事训练评估成果, 尝试采取构建智能化训练评估的方法, 为基层部队强化智能化军事训练方法手段提供了理论借鉴。下一步, 将考虑借助更多历史数据, 分析各指标之间的关系, 进一步提高模型的智能性和自适应性, 提高新入伍士兵训练效率, 迅速提高部队战斗力, 为智能化军事训练提供理论支撑。

参考文献:

- [1] 张登谦, 王惠源, 王海旭, 等. 基于组合权重的武器方案评价[J]. 兵工自动化, 2020, 39(3): 57-60.
- [2] 李华楠, 郝威, 张世伟. 基于 BP 神经网络的通信训练考核评估方法[J]. 舰船电子工程, 2015(6): 80-82.
- [3] 白炜, 鞠儒生, 邱晓刚. 基于 RBF 神经网络的作战效能评估方法[J]. 系统仿真学报, 2018, 20(23): 6391-6394.
- [4] 陈钢, 薛莉, 张彬. 基于遗传算法投影寻踪模型的智能制造能力评价[J]. 深圳社会科学, 2020(3): 41-49.
- [5] 张迎冬. 基于主成分分析的多响应实验设计优化方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2012: 1-6.
- [6] 王丽芳. 主成分分析在综合评价中的应用[J]. 经济研究导刊, 2012(19): 219-267.
- [7] 潘思成, 崔东文. 新型萤火虫算法-投影寻踪模型在区域人水和谐评价中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(1): 124-130.
- [8] 王建事, 程钰. 基于投影寻踪模型的环境污染时空演变及影响因素[J]. 济南大学学报, 2020, 34(2): 183-190.
- [9] 牛鸿蕾, 刘志勇. 基于投影寻踪模型碳锁定效应的测度与分析[J]. Value Engineering, 2020, 39(2): 179-180.
- [10] 姜涛, 黄河, 贾宏杰, 等. 基于投影寻踪最佳方向的同调机群识别方法[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(2): 359-367.
- [11] 潘海珠, 杜晓昕, 王波. 基于人工鱼群的交通诱导系统最优查询研究[J]. 齐齐哈尔大学学报, 2012, 28(5): 6-9.
- [12] 蒋颖丽. 基于人工鱼群算法的应急疏散模型及优化研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2017.
- [13] 李晓磊. 一种新型的智能优化方法-人工鱼群算法[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.