

doi: 10.7690/bgzdh.2019.03.001

基于大数据分析的潜射武器作战运用

刘丙杰, 杨继锋, 冀海燕
(海军潜艇学院导弹兵器系, 山东 青岛 266119)

摘要: 针对潜射武器作战运用中的大数据分析问题, 对潜射武器作战运用进行研究。论述大数据概念以及特点, 重点阐述神经网络、群体智能和相关分析 3 种大数据分析方法的主要思想、应用范围, 提出潜射武器作战运用与大数据分析技术相结合的装备健康状态评估、火力分配优化、边界条件验证等作战运用模型, 指出大数据分析在潜射武器作战运用中应用的可行性。研究结果表明: 大数据分析技术对潜射武器的作战运用和数据处理有一定帮助。该研究可对大数据分析在解决潜射武器作战运用提供一定参考。

关键词: 大数据分析; 潜射武器; 作战运用; 深度神经网络; 健康状态评估

中图分类号: TP18 **文献标志码:** A

Operational Application of Submarine-launched Weapons Based on Big Data Analysis

Liu Bingjie, Yang Jifeng, Ji Haiyan
(Department of Missile Weapon, Navy Submarine Academy, Qingdao 266119, China)

Abstract: To solve the question of big data analysis of submarine-launched weapons, research on operational application of submarine-launched weapons. Discuss the conception and characteristic of big data, emphasis on main idea and application area of neural network, swarm intelligence and correlation analysis. Operational application models of submarine-launched weapons techniques were proposed based on big data analysis techniques, including of weapon health evaluation, firepower distribution optimization, identifying of boundary condition. Feasibility analysis of big data analysis application in operational application of submarine-launched weapon was proposed. The result demonstrated that big data analysis techniques can be used to operational application and data processing. The study can provide a reference of solving operational application of submarine-launched weapons with big data analysis techniques.

Keywords: big data analysis; submarine-launched weapon; operational application; deep neural network; health evaluation

0 引言

随着潜射武器装备的快速发展, 我国潜射武器的作战能力逐渐形成。由于作战环境、装备边界条件性能等问题还未得到有效解决, 造成潜射武器无法充分发挥作战效能; 另一方面, 在 10 余年的试验、使用、训练过程中, 潜射武器积累了大量测试、舱室环境、作战使用等数据。这些数据为解决潜射武器的作战运用实际问题奠定了坚实的基础。

随着潜射武器数据量的增长, 如何分析大数据, 充分挖掘大数据的潜在价值, 为机关和部队服务, 成为需要深入探讨的现实问题。笔者将探讨大数据分析技术应用于潜射武器作战运用的关键问题, 为后续潜射武器作战运用的研究提供支持。

1 潜射武器大数据特点

大数据概念在众多文献中都有描述。在潜射武器中, 大数据具体表现为:

1) 体量庞大。随着潜射武器试验、作战训练、装备保障的频率加快, 数据量急剧增加, 虽然目前还未达到体量浩大的规模, 但是可以预见: 在不久的将来, 潜射武器的数据量将会达到大数据要求。

2) 来源复杂。如潜射武器数据来自试验、训练、作战。数据包括作战方案、维修数据、作战使用数据等多模态非结构化数据, 也包含如电压测试数据、温湿度等结构化数据。

3) 增长速度快。如海洋作战环境等大规模系统每时每刻在产生大规模数据。

4) 价值稀疏。指大数据中的有用数据量少。例如, 对于装备测试数据, 真正有价值的是一些故障数据或奇异点数据, 但是这些数据在装备正常状态下数据量极少。

从大数据特点可以发现: 当前的潜射武器数据规模暂时还达不到“体量浩大”, 但基本满足来源复杂、增长速度快、价值稀疏的特点。随着潜射武器

收稿日期: 2018-11-02; 修回日期: 2018-12-08

作者简介: 刘丙杰(1979—), 男, 山西人, 博士, 副教授, 从事导弹测控、武器装备安全性研究。

综合保障的不断加深，尤其是作战环境数据的迅速膨胀，潜射武器的数据规模将越来越大。

2 大数据分析技术

为了充分挖掘大数据的潜在价值，广大学者对深度学习、群体智能、相关分析、粒计算、深度森林等进行了研究^[1]。笔者将对典型大数据分析技术进行分析，论述各类分析技术的应用领域，为大数据分析技术在潜射武器健康状态评估中的应用提供参考。

2.1 神经网络大数据分析技术

神经网络作为一类重要的大数据处理技术在大数据分析中得到了广泛应用，尤其是深度神经网络的出现，大大拓宽了神经网络的应用领域。

2.1.1 深度自动编码器

自动编码器是由 Hinton 教授于 2006 年提出的一种深度神经网络，主要用于从高维数据提取规则，变为低维特征表达。深度自动编码器是一种输入输出对称的前馈神经网络^[2]，其结构如图 1 所示。自动编码器通过隐层神经元变换获取样本特征。

深度自动编码器应用领域包括图像识别、语音识别、故障诊断、表情识别等领域^[3]。

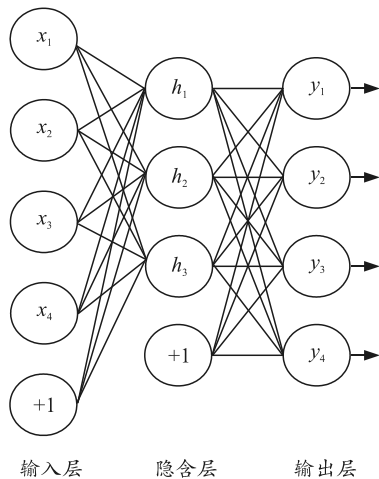


图 1 深度自动编码器网络拓扑结构

2.1.2 深度卷积神经网络

2012 年, Krizhevsky 等使用深度 CNN 在 LSVRC 中取得了最佳的分类效果，使得深度 CNN 引起了学者的广泛关注。CNN 的基本结构由输入层、卷积层、取样层、全连接层和输出层构成，结构如图 2^[4]。

CNN 应用领域包括图像识别、音频识别、目标分类等。

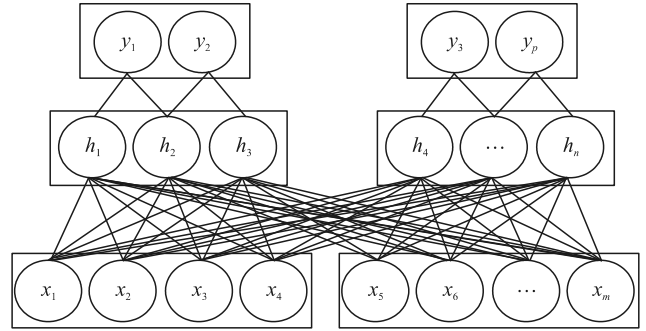


图 2 卷积神经网络拓扑结构

2.1.3 无限深度神经网络

无限深度神经网络 (infinite deep neural networks, infinite DNNs) 是一种全互连的反馈式神经网络，神经元之间存在反馈连接，这种反馈结构可设置时间参数，网络可以“无限深”，也就是说此结构可以无限运行下去。

无限深度神经网络的连接有 3 种：该神经元与所有外部输入的连接，与其他所有神经元的连接，以及该神经元与自身的反馈连接。无限深度神经网络结构如图 3 所示。

无限深度神经网络主要应用领域包括行为识别、面部表情识别、手写体识别等。

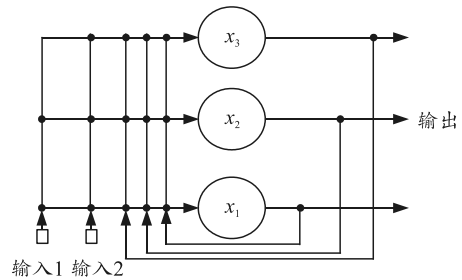


图 3 无限深度神经网络拓扑结构

2.2 群体智能算法

当前，群体智能算法包括遗传算法 (genetic algorithm, GA)、粒子群优化 (particle swarm optimization, PSO)、蚁群优化 (ant colony optimization, ACO) 等，这类智能算法可以近似求解一些 NP 问题，还可用于约简数据规模^[6]。

2.2.1 遗传算法

遗传算法是模拟“物竞天择、适者生存”规则的智能群体算法。该算法已经广泛用于复杂问题优化。遗传算法的应用有 2 种方式：1) 单独采用遗传算法实现大数据属性约简；2) 遗传算法与其他算法结合，生成优化的分类算法或拟合算法，如神经网络、支持向量机等。

2.2.2 粒子群优化算法(PSO)

PSO 是一种模拟鸟群、鱼群等生物群社会行为的群体智能算法, 不易受问题规模和非线性的影响, 是一种应用广泛的高效优化技术。与遗传算法相比, 粒子群优化的原理更简单, 算法实现相对容易, 收敛速度快, 适于求解大数据环境下的复杂优化问题^[7]。

由于 PSO 特有的群体机制, 利用 PSO 进行大数据处理时, 算法的训练速度会大幅下降。通常可以首先将数据分类, 然后利用 PSO 对子类数据进行处理。

2.2.3 蚁群优化(ACO)

ACO 是一类模拟蚁群寻找食物过程的优化算法, 为大规模数据的约简提供了有效手段。增强决策力和流程优化能力是大数据分析的主要目的之一, 而装备健康状态评估、火力规划等问题本质上是最优化问题。在大数据环境中, 优化问题不可避免地涉及到更多的决策变量和优化目标, 形成更为复杂的多目标优化问题。ACO 算法不受适应度函数的形式限制, 不受应用领域约束; 因此, ACO 更适合潜射武器作战运用等复杂问题的优化。

2.3 大数据相关分析技术

近年来, 大数据相关分析的应用成果不断涌现, 使得相关分析的研究成为大数据分析领域关注的热点问题^[5]。

目前, 常见的大数据相关分析分为 2 类: 一类基于互信息和距离测度的相关分析; 另一类是基于矩阵计算的相关系数, 通过建立基于稀疏性约束的参数估计方程, 快速求解来提升处理数据的能力。

2.3.1 基于互信息的相关分析

设随机向量 (X, Y) 的联合概率分布为 p_{ij} , 则 (X, Y) 的 2 维联合熵为

$$H(X, Y) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \log(p_{ij})。$$

假定 X 和 Y 的边际分布分别为 $p_{i\cdot}$ 和 $p_{\cdot j}$, 可定义在已知 Y 的条件下 X 的条件熵:

$$H(X/Y) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \log\left(\frac{p_{ij}}{p_{\cdot j}}\right)。$$

同理, 可得在已知 X 的条件下 Y 的条件熵:

$$H(Y/X) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \log\left(\frac{p_{ij}}{p_{i\cdot}}\right)。$$

一般而言, $H(X) - H(X, Y)$ 表示已知 $Y(X)$ 的情况下, $X(Y)$ 信息量的变化程度。显然, 若变化程度较小, 则表明 $Y(X)$ 对 $X(Y)$ 的影响较小, 即 X 和 Y 相关性弱; 反之, 说明 X 和 Y 相关性强。这个差值称为互信息, 记为

$$I(X, Y) = H(X) - H(X, Y)。$$

互信息是相关分析方法描述数据间非线性关系的一个重要参数, 其应用领域包括图像处理、数据属性分析等。

2.3.2 基于矩阵计算的相关系数

大数据分析中, 高维变量是相关分析中的一个难点问题。矩阵计算成为高维变量相关系数计算的有效工具。

基于矩阵计算的相关系数充分利用矩阵工具, 以矩阵的形式描述高维数据, 根据高维大数据稀疏的特点, 利用矩阵方法简化高维数据从而进行数据相关分析。

基于矩阵计算的相关系数本质上仍然是皮尔逊相关系数的构造思想, 但通过矩阵计算工具可快速求解协方差矩阵, 进而提高计算效率。

2.3.3 基于距离的相关系数

以距离为基础的相关系数, 从特征函数视角构造了相关性刻画的度量方法, 具有 2 个显著优点:

- 1) 所度量的相关性, 不仅局限于线性相关关系;
- 2) 可以度量任意 2 个不同维数随机向量的相关性。

基于上述优点, 其被广泛应用于机器学习、气候变化、地理电离层时间序列分析、核化学等领域。但是, 距离相关系数涉及到高维向量间距离计算及矩阵点乘运算, 计算非常耗时。应用矩阵理论对数据降维或对矩阵分块, 提高计算效率, 是距离相关系数未来的研究方向。

3 基于大数据的潜射武器作战运用

3.1 潜射武器数据分析

随着部队潜射武器作战训练任务的不断增加, 产生了大量数据, 包括试验数据、测试数据、环境数据、故障数据、维修数据、作战训练数据等。

数据类型包括数字、文字、图像、视频等, 由于记录格式不统一, 数据类型也不统一。电子数据主要包括测试数据、各类图像、视频等。纸质数据主要包括各类测试数据、环境数据、故障数据、维

修数据、作战训练数据等。

3.2 潜射武器健康状态评估

潜射武器健康状态是作战运用中的关键问题之一。一方面，潜射武器的健康状态评估与装备的使用时间、使用频率、装备测试数据、环境数据、维修数据等都有关系；另一方面，潜射武器武器系统由电子设备、机械设备、光学设备等组成，涉及多个学科领域，要评估潜射武器的健康状态是一项综合工程。

1) 基于测试数据的电子装备状态评估。

装备测试数据是最主要的数据源之一，充分利用测试数据实现装备状态评估是健康状态评估的关键技术之一。当前潜射武器装备测试数据绝大部分都是针对电子装备的。

假设装备测试历史数据为

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \tag{1}$$

采用数据预测的方法预测下一时刻发动机的压力为：

$$y = f(X_{n-m,n}) \tag{2}$$

其中： $X_{n-m,n} = \{x_{n-m}, x_{n-m+1}, \dots, x_n\}$ ； m 为预测所需的历史数据数量； $f(X_{n-m,n})$ 为预测模型。

2) 基于使用数据的剩余寿命预测。

装备剩余寿命可描述为

$$L(t) = \frac{1}{R(t)} \int_t^\infty tf(\tau) d\tau - t$$

其中： $R(t)$ 为 t 时刻装备的可靠度； $f(t)$ 为失效率密度分布函数， t 为当前时刻，且

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, R(t) = e^{-\lambda t}$$

其中 λ 为装备失效率。常用的失效率密度函数包括威布尔分布模型、线性增长失效率模型、指数分布模型、对数正态分布模型、伽马分布模型、维纳模型等。 λ 的估计主要依赖于装备故障历史数据。

3) 基于维纳过程的装备剩余寿命预测。

令随机过程 $\{X(t), t \geq 0\}$ 表示设备随着运行时间 $t(t > 0)$ 的潜在退化过程，具体由 Wiener 过程进行描述。基于 Wiener 过程的退化模型可表示为

$$X(t) = X(0) + \theta t + \sigma B(t)$$

其中： θ 是漂移系数； $\sigma(\sigma > 0)$ 是扩散系数； $B(t)(t \geq 0)$ 是标准 Brownian 运动，用 $(\sigma B(t) \sim N(0, \sigma^2 t))$ 来刻画退化过程的随机动态及退化过程随时间变化的不确定性， $X(0) = x_0$ 表示初始退化状态。

4) 基于数据融合的装备健康状态评估。

上述采用 3 种不同的方法对不同的设备进行了可靠性评估、寿命预测，评估的结果不在一个维度上，为了充分利用上述数据，提高健康状态评估的准确性，需要对上述结果进行融合，技术路线如图 4 所示。

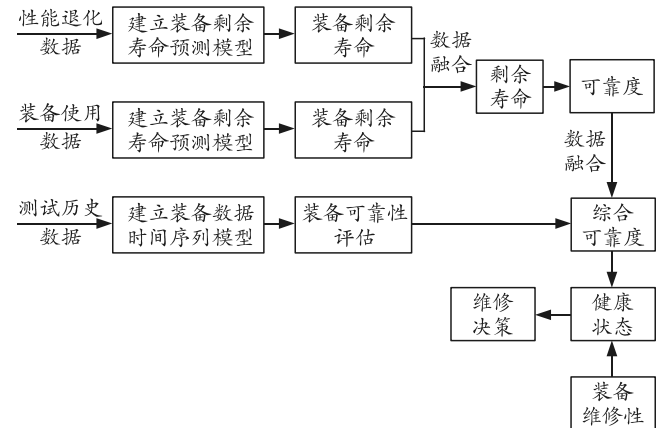


图 4 基于数据融合的装备健康状态评估技术路线

3.3 潜射武器边界使用条件验证

如何验证潜射武器的边界使用条件，最大程度地发挥其作战效能是部队非常关心的实际作战问题。潜射武器边界使用条件主要包括最大最小射程、发射深度、齐射间隔时间、最短技术准备时间、海况适应性、发射条件适应性等。主要条件验证模型如下：

1) 最大最小射程验证。

假设武器的最大最小射程为 $[L_{min}, L_{max}]$ ，在不同条件下获取的试验射程数据为 $L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ ，则验证模型为：

$$\begin{cases} L_{max} = \max_{i=1}^n (p_i l_i) \\ L_{min} = \min_{i=1}^n (p_i l_i) \end{cases}$$

其中 p_i 为第 i 次试验条件下的权重。

2) 发射深度验证。

假设武器的最大最小发射深度为 $[D_{min}, D_{max}]$ ，在不同条件下获取的发射成功深度数据为： $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ ，影响发射深度的条件包括海浪高度、海水相对流速、艇速等，利用各类数据辨识发射深度与各要素的影响模型：

$$d = f(h_{nl}, v_{ls}, v_{ts})$$

辨识方法包括神经网络方法、支持向量机等。然后通过蒙特卡罗仿真的方法获取发射深度的最大、最小值。

3.4 潜射武器的火力分配优化

潜射武器火力分配是指根据不同的打击目标,选择不同的发射平台、武器类型实施攻击的方案。因为打击目标、打击目的、导弹飞行走廊的防御兵力等因素都会影响潜射武器任务使命的完成,发射平台数量、武器分配、发射时间窗的分配等火力分配方案,是部队非常关心的问题。

火力分配涉及到打击目标、打击目的、海洋环境、潜艇数据、导弹参数等数据,然后生成一个以最小技术准备工作量和最大突防概率为指标的火力分配方案。

假设火力分配方案要素(输出)包括发射平台数量(H_1)、武器分配(H_2)、发射时间窗(H_3);考虑因素(输入)包括打击目标(K_1)、打击目的(K_2)、蓝方防御兵力(K_3)、单武器毁伤效能(K_4)、武器射程(K_5);最大毁伤效能为指标要求,则

$$\begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & s_{14} & s_{15} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} & s_{24} & s_{25} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} & s_{34} & s_{35} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \\ K_5 \end{bmatrix}。$$

其中 s_{ij} ($i=1\sim 3, j=1\sim 5$) 为各要素对决策的影响因子。

4 结束语

潜射武器的作战运用是一个复杂的系统性工程,也是机关和部队十分关心的问题。随着大数据

分析技术的迅速发展以及潜射武器各类数据的不断增加,利用大数据分析技术解决潜射武器作战运用问题已经成为一个行之有效的方法。通过上述分析可以发现:有些大数据分析技术比较适合潜射武器的作战运用,有些分析技术适合于数据处理。虽然当前潜射武器的各类数据暂时还达不到大数据的规模,但是应用大数据分析技术解决当前潜射武器系统的作战运用问题成为一个有效的可选方案。

参考文献:

- [1] 程学旗, 靳小龙, 王元卓, 等. 大数据系统和分析技术综述[J]. 软件学报, 2014, 25(9): 1889-1908.
- [2] 孙文, 邵思羽, 严如强. 基于稀疏自动编码深度神经网络的感应电动机故障诊断[J]. 机械工程学报, 2016, 52(9): 65-71.
- [3] 章毅, 郭泉, 王建勇. 大数据分析的神经网络方法[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(1): 9-18.
- [4] 周飞燕, 金林鹏, 董军. 卷积神经网络研究综述[J]. 计算机学报, 2017, Online(4): 1-23.
- [5] 梁吉业, 冯晨娇, 宋鹏. 大数据相关分析综述[J]. 计算机学报, 2016, 39(1): 1-18.
- [6] 郭平, 王可, 罗阿理. 大数据分析中的计算智能研究现状与展望. 软件学报, 2015, 26(11): 3010-3025.
- [7] VALLE Y D, VENAYAGAMOORTHY G K, MOHAGHEGHI S. Particle swarm optimization: basic concepts, variants and applications in power systems[J]. IEEE Trans. on Evolutionary Computation, 2008, 12(2): 171-195.