

Modeling Analysis about Evaluating the Operating Performance of Man-Machine System

Haitao Zhao, Zhibing Pang, Junbo Xia, Zhimin He, Shuai Mu, Honglei Li

Air Defense Command Academy, Zhengzhou, China

Email: fkb_mmes@163.com

Abstract: For the purpose of deepening the study of analysis about evaluating the operating performance of man-machine system, the text makes some thinking and study. There are many man-machine systems in the army, which contains the systems combined with the man and machine. However, caused by some unquantifiable factors, the evaluation of this operation is difficulty. In this article, based on some research products, we set up the performance-evaluation mathematical model of man-machine system operation used by the performance theory, and checked it up with the experimental datum. It can provide a method consulted for the evaluation of this type.

Keywords: man-machine system; performance; modeling

人机系统操作绩效评价的建模分析

赵海涛, 庞志兵, 夏军波, 何志敏, 慕 帅, 李宏雷

防空兵指挥学院, 郑州, 中国, 450052

Email: fkb_mmes@163.com

摘 要: 为了加深对人机系统操作绩效评价的研究, 本文进行了深入的思考与探索。目前, 人机系统在部队中广泛存在, 人与装备同时参与操作的系统均属于这一类型。但同时, 因为一些不易量化的因素的影响, 该类型操作的评价不易进行。本文运用绩效理论, 在相关研究成果的基础上, 建立了人机系统操作绩效评价模型, 并运用实验数据进行检验, 为评价此类操作提供一种方法参考。

关键词: 人机系统; 绩效; 建模

1 引言

人机系统是部队最为常见的系统, 有人和装备同时参与操作的系统均可纳入这个范畴, 但目前对于评价方法的研究还在进一步深入。本文运用作业绩效的理论, 结合某次具体的实验, 运用建模分析的方法研究人机系统的绩效评价问题, 以期为操作评价提供一种方法参考。

2 影响操作的主要要素

基于军事操作的目的出发, 影响要素为以下三个方面: 一是操作的时效性。军事操作都有时效性要求, 超出了一定的时间范围, 就会失去了其应有的军事价值。它的特点是: 操作时间越是符合标准(根据操作类型的不同或长或短), 操作绩效越好; 反之, 越差^[1,2]。

二是操作的准确性。操作的准确性在任何操作中都是一个重要的指标。在军事条件下, 人的生理和心理承受着较大的压力, 操作的准确性会发生较大波动, 在一定的条件下会因操作精度过低而使得操作失败。它的特点是: 操作失误率越高, 操作绩效越差; 反之, 越好。三是操作的规范性, 即操作的动作数。每种装备都有自身的操作规范, 按此规范操作会降低装备损坏的概率和发生失误的概率。从整体上讲, 它的特点是: 操作动作越多, 绩效越差; 反之, 越好^[3,4,5,6]。

3 人机系统操作的绩效评价模型

3.1 模型假设

出于建模考虑, 做以下假设: 一是该人机系统为多人操作多部武器装备的系统; 二是各个操作动作之间不存在相关性, 且只于操作结果相关; 三是当一名操作手的操作出现精度偏差时, 其它操作手无法对其

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究项目《劳动质量科学管理的理论与实践应用》(2007630043)

进行补救；四是假设操作手身心健康，具备完成此操作的条件。

3.2 模型构建

首先根据三要素与操作的关系，可将基本的绩效模型表示为：

$$E^i = \frac{R(1-p^i)}{h \times t^i} \quad (1)$$

式(1)中：

- E^i ——第*i*次操作时，取得的绩效（1/秒）；
- h ——操作整个多人多机系统需要的动作数；
- t^i ——第*i*次操作时的时间；
- R ——操作精度与操作速度之间的权重比。
- p^i ——第*i*次操作时，全体人员的总失误差率，
 $p^i \in [0,1]$ ， $p^i = \sum_{j=1}^h [w_j p_{j(ybcw)}]$ 。

其中 w_j 表示第 j 个动作在整个系统操作中所占的权重。它的确定是通过研究该类型操作的考核大纲，再组织该领域专家对权重进行打分，综合之后得出其权重值。 $p_{j(ybcw)}$ 表示在进行第 j 个动作时是否发生一般性错误，是，则 $p_{j(ybcw)} = 1$ ，否则为 0。

根据多人多机系统的特点，共有三个限制条件， $U^i(U_{nj}^i)$ 、 $P^i(P_{nj}^i)$ 和 P_{zm}^i 。

U^i 表示第 i 次操作时，整个系统的精度偏差，即：

$$U^i = \sum_{m=1}^M (w_m S_m^i) \quad (2)$$

式(2)中， S_m^i 为第 i 次操作过程中，第 m 个“机”的操作精度偏差， w_m 为第 m 个“机”在整个系统的精度要求中所占的权重。阈值 x 用来判断操作精度上的偏差积累是否使得整个单人多机系统失败，由相关领域专家进行判定。若 $U^i \geq x$ ，则令 $U_{nj}^i = 1$ 。

P^i 用来判断第 i 次操作所有人员失误动作的积累程度，即为整个系统操作的失误差率：

$P^i = \sum_{j=1}^h [w_j^{m,n} p_{j(ybcw)}^{i,m,n}]$ 。阈值 y 用来判断一般性错误积累的程度是否使得整个系统操作失败，由相关领域专家进行判定。若 $P^i \geq y$ ，则令 $P_{nj}^i = 0$ ； $P^i < y$ ，则令 $P_{nj}^i = 1$ 。

P_{zm}^i 用来表示第 i 次操作中是否发生致命错误。

$P_{zm}^i = \prod_{n=1}^N \prod_{m=1}^M \prod_{j=1}^h B_{j(zmcw)}$ ， $B_{j(zmcw)}$ 表示进行第 j 个动作时是否发生致命错误。发生了致命错误 $B_{j(zmcw)} = 0$ ，否则

$B_{j(zmcw)} = 1$ 。

综上，确定多人多机系统模型如下：

$$E_i = P_{zm}^i \times P_{nj}^i \times U_{nj}^i \times E$$

$$= P_{zm}^i \times P_{nj}^i \times U_{nj}^i \times \frac{R \left\{ 1 - \sum_{j=1}^h [w_j p_{j(ybcw)}] \right\}}{h \times t^i} \quad (3)$$

4 模型验证

为了验证模型的可行性，结合相关实验数据进行了模型验证。

4.1 实验及实验数据简介

模型验证的数据采用某型装备的操作数据。该套装备由四部仪器组成。操作人员有 5 名，在实验中，主要针对其中四名测手的动作和四部器材的精度进行研究。

4.2 模型参数

四个操作手共有操作动作 39 个，编号按照一至四测手的顺序进行排列，权重详见表 1。

表 1. 各动作权重

一测手 (0.315)		二测手 (0.235)		三测手 (0.255)		四测手 (0.195)	
动作编号	权重	动作编号	权重	动作编号	权重	动作编号	权重
1	0.015	12	0.015	20	0.015	31	0.015
2	0.02	13	0.045	21	0.02	32	0.02
3	0.02	14	0.055	22	0.02	33	0.02
4	0.035	15	0.02	23	0.01	34	0.015
5	0.055	16	0.01	24	0.02	35	0.025
6	0.03	17	0.02	25	0.04	36	0.03
7	0.03	18	0.02	26	0.04	37	0.03
8	0.03	19	0.05	27	0.015	38	0.02
9	0.02			28	0.01	39	0.02
10	0.05			29	0.015		
11	0.01			30	0.05		

其中，第 11 个动作有精度要求，能够影响最终系统的精度。

各器材的精度权重值见表 2。

表 2. 各器材精度权重

	器材 1	器材 2	器材 3	器材 4
权重值	1	0	0	0

经过专家打分，确定模型中的 $x = 0.1$ 、 $y = 0.2$ 、 $R = 1$ 。

4.3 实验数据及计算结果

本次实验的操作手共分 3 组，实验对其中的 30 动（三组合计 90 动）操作进行了数据采集，具体实验数据限于篇幅不再列举。根据数据及模型（3）可计算出操作绩效值，见表 3。

表 3. 计算所得绩效值（数量级 10^{-4} ）

操作次数	一组			操作次数	二组			三组		
	一	二	三		一	二	三	一	二	三
1	1.628	0	2.692	16	3.272	3.664	3.354			
2	0	0	0	17	3.633	2.874	3.738			
3	1.605	0	0	18	0	3.456	3.272			
4	1.897	1.803	2.121	19	2.887	3.044	2.792			
5	0	1.723	0	20	2.844	0	3.585			
6	2.441	2.374	2.051	21	3.536	3.444	3.354			
7	2.644	2.49	2.064	22	3.633	2.462	3.4			
8	2.428	2.644	2.541	23	3.4	2.405	2.972			
9	3.044	2.564	2.941	24	4.023	2.941	2.882			
10	2.669	2.972	2.687	25	3.487	2.972	3.905			
11	2.567	3.154	3.056	26	3.585	3.4	3.272			
12	3.005	3.272	2.379	27	4.151	3.487	0			
13	2.908	3.259	3.154	28	0	3.585	3.905			
14	2.908	3.231	3	29	4.09	0	0			
15	3.444	3.272	2.754	30	3.964	3.905	3.964			

4.4 实验分析

为了研究方便，绘制了绩效变化曲线。其中，若某动绩效为 0，参考之前和之后的成绩作为参考取平均值。而后将三组成绩取平均值，作为绘制曲线的依据，曲线图如图 1 所示。

如图 1 所示，三组的绩效平均值能够体现出技能生成的规律。从第 1 动到第 5 动，绩效值呈下降趋势，原因在于第二组和第三组在起初的几次操作中出现了较大的失误，造成绩效值为 0，从而影响了平均值；从第 6 动到第 11 动，操作绩效呈现出明

显的加速提高；此后，同三组的绩效变化一致，从第 12 动到第 26 动，绩效成绩出现起伏，整体成绩慢慢上升；从第 27 动开始，成绩又开始上升，但提高速度变慢。

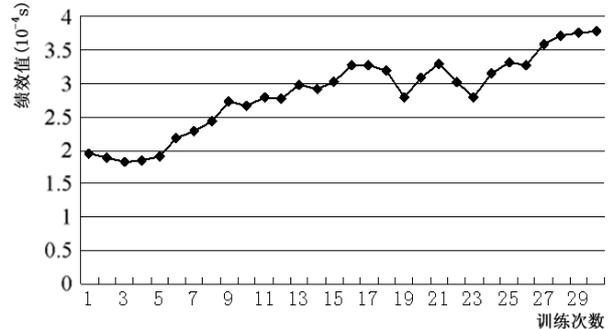


图 1. 三组操作手绩效平均值变化曲线图

5 结论及模型推广

经过实验，验证了模型的正确性和可行性，为人机结合操作绩效模型的进一步应用提供数据支持。根据建立的模型和实验数据得出的绩效变化规律，基本符合了操作技能生成的规律，能够反映出操作技能发展的趋势。

通过对模型的检验，可以看出该模型在应用方面有以下几个方面：一是通过模型，可以对一个操作团队从开始训练到最后训练结束整个过程进行描述。通过对团队训练过程的跟踪，得出该团队操作绩效的发展过程。由此可以整体把握团队训练的进程，为科学制定、调整训练计划提供参考；二是通过对操作进行量化评估，加入训练及相关考核的反馈，可以细化操作规程，可以使得军事训练考核更加客观，考核评比更加科学。显然，用操作绩效模型对军事技能操作进行评估，得出的绩效值是量化的，可方便地进行客观排序。不仅如此，运用该绩效评估模型，需要对操作本身进行一定层次的研究，通过对操作过程的研究以及按照此方法进行考核，不仅能够细化操作规程，同时还能激励器材操作手创新操作方法，提高操作绩效；三是通过对某一次或连续几次的操作绩效进行分析，可以分析其存在的问题。当操作训练在进行了一段时间之后，绩效成绩一直得不到提高，就要分析其原因。首先分析其操作本身的原因，从其操作动作、操作顺序等方面进行分析，并进行操作验证。若在排除了操作不科学等因素的影响后，操作绩效仍得不到提高，就要从操作本身之外的因素进行分析。主要可从操作

手、具体装备及操作环境三方面分析影响绩效结果的因素。

References (参考文献)

- [1] Pengcheng Sui, Baozhi Chen, Xu Sui. Safety Principles[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2005, P213-220(Ch).
隋鹏程, 陈宝智, 隋旭. 安全原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005, P213-220.
- [2] Reuven Gal, A.David Mangeisdorff. Handbook of Military Psychology[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2004, P135-138(Ch).
苗丹民, 王京生, 刘立译. Reuven Gal, A.David Mangeisdorff 主编. 军事心理学手册[M]. 北京: 3 中国轻工业出版社, 2004, P135-138.
- [3] Zhijian Liu. Ergonomics and Application in the Management[M]. Beijing: Science Press, 2002, P35-40(Ch).
刘志坚. 工效学及其在管理中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002, P35-40.
- [4] Shengzhao Long, Basis of Theory and Application about MMESE [M]. Beijing: Science Press. 2004 P142-147(Ch).
龙升照等. 人-机-环境系统工程理论及应用基础[M]. 北京: 科学出版社, 2004, P142-147.
- [5] Christopher D. Wickens, Justin Hollands. Engineering Psychology and Human Performance [M]. Shanghai: East China Normal University Press, 2003, P89-93.
C·D·威肯斯 J·G·霍兰兹著, 朱祖祥, 葛列众, 张智君等译. 工业心理学与人的作业[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2003, P89-93.
- [6] Zuxiang Zhu. Industry Psychology[M]. Hangzhou: Zhejiang Education Press, 2001.5, P365-369(Ch).
朱祖祥. 工业心理学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 2001.5, P365-369.