

# Architecture Modeling for Ergonomics of Visual Information Based on Software Engineering

Chunmei Gui\*, Qiang Jian, Xiaochao Guo, Xueqin Hao, Duanqin Xiong

Air Force Institute of Aviation Medicine, Beijing  
Email: \*gcmjq2002@163.com

Received: Jul. 5<sup>th</sup>, 2013; revised: Jul. 19<sup>th</sup>, 2013; accepted: Jul. 30<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Chunmei Gui et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** Whether visual information displayed in aviation cockpit is pleasant or not is decided by objective using efficiency of people. Based on software engineering, the architecture modeling for ergonomics of visual information describes research requirements from the top and the perspective of system engineering. Various limitations by previous subjective survey methods in this field could be effectively avoided through data structures made, frame modeling and giving testing prototype system. Researches in this paper have instruction significance of engineering theory and practical reference value for enhancing the level of industrial application and adapting iteration of industrial manufacturing.

**Keywords:** Visual Information; Ergonomics; Aviation; Software Engineering

## 基于软件工程的视觉信息工效体系结构建模

桂春梅\*, 赛 强, 郭小朝, 郝学芹, 熊端琴

空军航空医学研究所, 北京  
Email: \*gcmjq2002@163.com

收稿日期: 2013年7月5日; 修回日期: 2013年7月19日; 录用日期: 2013年7月30日

**摘要:** 航空座舱视觉信息工效优劣由人的客观使用效率衡量。基于软件工程的视觉信息工效体系结构建模, 从系统工程的角度, 从顶层即采用科学的手段描述视觉信息工效研究需求。构建视觉信息工效研究的数据结构、框架模型并给出工效测试系统原型, 可有效规避此前该领域研究基于人员主观调查等方法的诸多局限性。本文研究对于提升工业应用水平、适应工业制造的迭代, 具有工程化理论指导意义和实际操作参考价值。

**关键词:** 视觉信息; 人机工效; 航空; 软件工程

### 1. 引言

视觉信息工效是近年来航空工效的一个研究热点。现代航空环境中, 座舱视觉信息显示系统已经历空分制仪表信息显示和时分制多功能显示器信息显示的阶段<sup>[1,2]</sup>。座舱机电式仪表数量众多, 仪表板拥挤, 空分制仪表信息显示易增加认读差错, 对于大信息量

\*通讯作者。

的显示需求更是难以满足<sup>[3]</sup>。而时分制多功能显示器信息显示采用液晶显示器, 各种传感器和控制系统信息经过计算机处理和综合, 经数据总线传输到液晶显示器, 利于信息组合叠加, 能以数字、符号、图像等多种人性化形式进行显示。尽管时分制多功能信息显示与空分制仪表信息显示相比较, 具备利于认读和显示能力增强的优点, 然而在现代航空条件下, 新机机

载设备信息、数据链路信息急剧增长，特别是要完成各种复杂航空任务，时分制显示方式面临人员视觉输入信息量大，而决策输出要求更高的新局面。

## 2. 体系结构建模

针对航空座舱视觉显示信息多维化、多方案化的现状，而信息显示优劣是否宜人最终由人的使用效率决定，基于软件工程的视觉信息工效体系结构建模，首先定义人与信息交互及计量的数据结构，基于此设计视觉信息工效度量指标和计算公式，然后给出基于 UML 建立的工效测试流程，并提供显示方案优先级综合决策算法理论。基于体系结构模型的理论和算法指导，本节同时给出工程应用时，视觉信息工效测试系统的研究思路、功能组成和环境搭建等，为工业测试提供参考手段。

### 2.1. 数据结构定义

定义数据结构如下：

**定义 1：**反应正误假设总参试人数为  $N$ ，实验项目为  $i (1 \leq i \leq l)$ ，项目包含  $j (1 \leq j \leq m)$  个显示方案，方案包含  $k (1 \leq k \leq n)$  个测试类别，则被试  $e (1 \leq e \leq N)$  在某一实验类别的信息反应正误表示为  $ye, \langle i, j, k \rangle$ ， $ye, \langle i, j, k \rangle \in \{0, 1\}$ ，0 表示正确 1 表示错误。

**定义 2：**反应时间假设总参试人数为  $N$ ，实验项目为  $i (1 \leq i \leq l)$ ，项目包含  $j (1 \leq j \leq m)$  个显示方案，方案包含  $k (1 \leq k \leq n)$  个测试类别，则被试  $e (1 \leq e \leq N)$  对于某一实验类别的信息反应时间表示为  $te, \langle i, j, k \rangle$ 。

**定义 3：**使用性评价假设实验项目为  $i (1 \leq i \leq l)$ ，项目包含  $j (1 \leq j \leq m)$  个显示方案，方案包含  $k (1 \leq k \leq n)$  个测试类别，则被试  $e (1 \leq e \leq N)$  对于某一实验类别的主观使用性评价表示为  $re, \langle i, j, k \rangle$ ， $re \in A$ ， $A = \{\text{“优”，“良”，“中”，“差”}\}$ 。

### 2.2. 绩效考评指标

1) 正确率指标

**定义 4：**正确率假设总参试人数为  $N$ ，实验项目为  $i (1 \leq i \leq l)$ ，每个项目包含  $j (1 \leq j \leq m)$  个显示方案，每个方案包含  $k (1 \leq k \leq n)$  个测试类别，则某一类别实验  $Test, \langle i, j, k \rangle$  的信息认读正确率为  $P_c = N_c/N$ 。其中， $N_c$  为该类别测试正确反应的人数。

2) 正确认读的反应时指标

**定义 5：**平均正确反应时假设总参试人数为  $N$ ，实验项目为  $i (1 \leq i \leq l)$ ，每个项目包含  $j (1 \leq j \leq m)$  个显示方案，每个方案包含  $k (1 \leq k \leq n)$  个测试类别，则某一类别实验  $Test, \langle i, j, k \rangle$  的信息认读平均正确反应时  $\sum_{e=1}^{N_c} t_{c,e}$  为  $RT_c = \frac{\sum_{e=1}^{N_c} t_{c,e}}{N_c}$  其中， $t_{c,e}$  为被试正确反应时。

### 2.3. 测试流程设计

采用 UML 面向对象建模方法建立测试流程如图 1 所示：

过程说明：人员进入测试环境；登录并注册；进入训练模块熟悉操作；正式开始测试；出现题干；清楚题干后人员按键(计时)启动画面显示；确认信息后人员按键(计时)开始答题，或者认读时间超过规定时间则自动进入答题页面；答题完成进入下一题题干，直至完成全部测试。答题正误及反应时后台计算。

### 2.4. 显示方案优先级综合决策算法

一般而言，希望显示方案认读正确率越高越好，平均正确反应时越小越好，使用性评价则越高越好，然而，往往难以同时达到几个指标最优，且主观评价往往带有不确定性。此时，采用传统的数学规划建模寻求最优解或者进行经验性决策，难以满足应用需求，而需要进行显示方案优先级综合决策。

本文引入模糊数学融合理论，构造显示方案优先级综合决策算法，其思想：根据决策空间和可行域，寻找非劣解并计算隶属度，最终得到最优性程度，从而进行优先级排序。采用三种决策原则下的综合排序，分别是：保守型决策原则，其确定的排序原则是使得模糊最优解满足最差的指标隶属度达到最大；激进型决策原则，其确定的排序原则是模糊最优解满足最好的指标隶属度达到最大；理想型决策原则，要求模糊最优解最小隶属度偏差尽可能小从而最接近理想方案。如果多种决策原则下最优排序结果归一，则可推荐出最优普适型显示方案，如果多种决策原则下最优排序结果不能归一，则提供多种原则下的排序结果供工业设计决策部门选用。

### 2.5. 视觉信息工效测试系统

#### 2.5.1. 总体思路

总体研究思路框架见图 2。

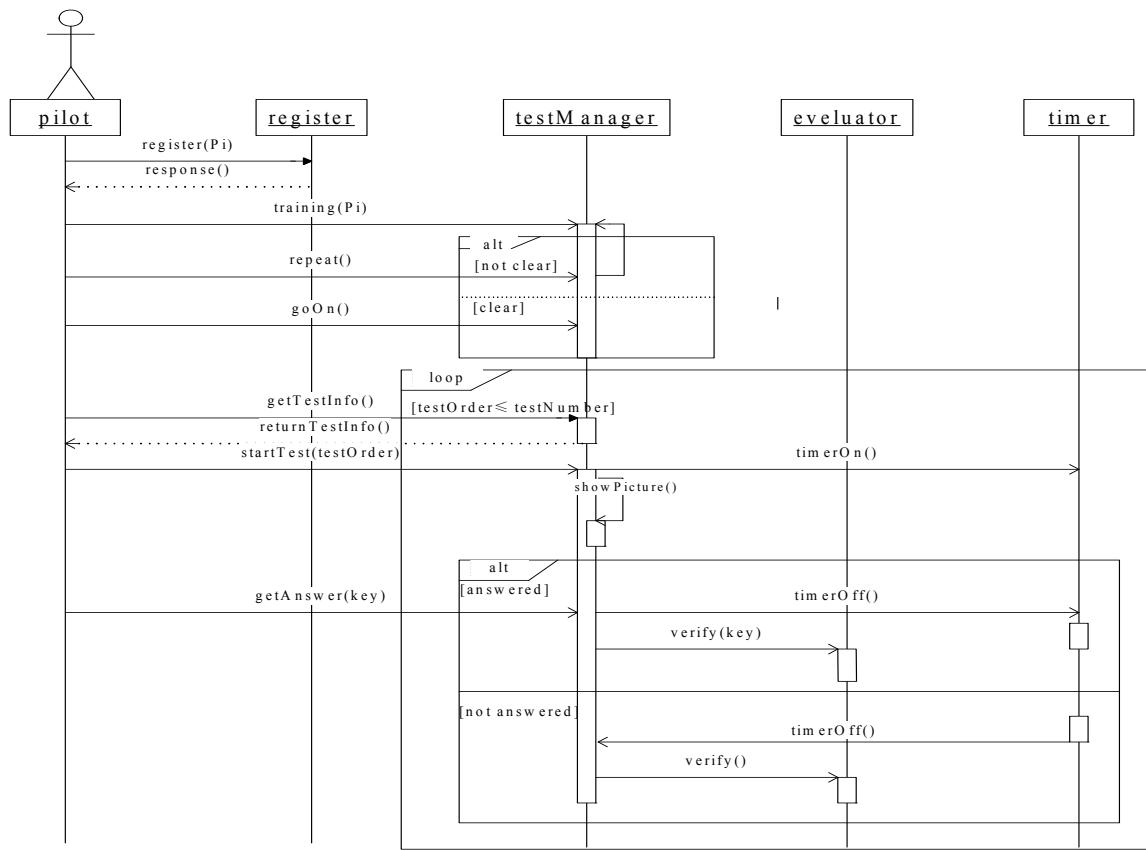


Figure 1. Test-flow chart  
图 1. 测试流程图

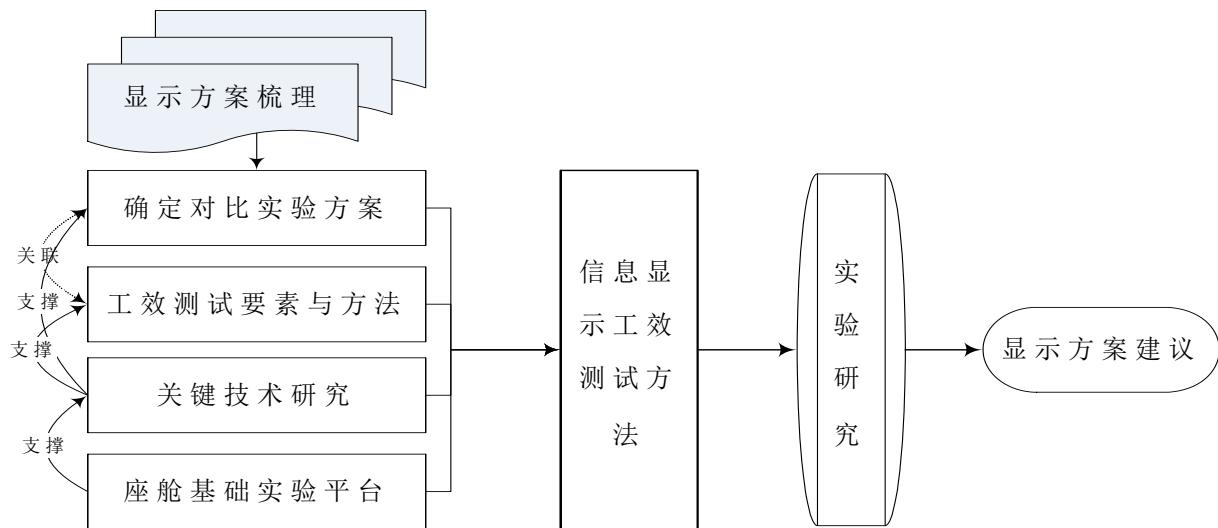


Figure 2. Overall research framework  
图 2. 总体研究思路框架

首先调研确定显示方案内容，包括信息显示符号及显示格式，并进一步确定对比实验方案；同时探明座舱基础实验平台对于方法实现可提供的支撑和接口；并研究和设计若干需扩展的关键技术；然后结合

工效测试要素与测试方法；综合研究大屏幕信息显示工效测试方法；基于该方法完成人员实验研究；最后研究总结并得出显示方案建议。其中，工效测试要素与方法的确定与对比实验方案的内容相关联，根据不

同的内容和操作认读要求编制工效测试程序；座舱基础实验平台对关键技术研究提供支撑；关键技术研究支撑对比实验方案的显示与变化，支撑工效测试程序的具体实现。

### 2.5.2. 功能组成

根据总体研究思路框架，进一步细化大屏幕信息显示符号及格式工效测试技术方案，其功能模块组成如图 3 所示。整个研究基于座舱基础实验平台，由测试(评价)素材、方法实现以及实验与数据处理三大部分构成。

测试素材部分主要根据对比显示方案，及其与飞行状态或与任务相关的必需认读要素，编制视觉认知测试题库。测试题库包含所有测试项目，测试题目同时对该项目的所有对比实验方案均有效。方法实现部分则针对不同测试项目编制不同测试题目，静态画面测试每题含测试主题、测试内容、题干、答案选项和标准答案，动态画面测试的标准答案由计算机实时给出。要求测试主题涵盖该项目要求的主要认读要素，如对虚拟平显的测试，要求包含显示的速度、高度、航向信息。实验与数据处理部分是整个测试系统的后台支持系统，主要是根据实验设计，完成输入与输出数据的采集和算法处理，并将数据处理结果以直观形式反映给主试人员。

### 2.5.3. 系统平台搭建

搭建系统物理平台示意如图 4 所示。

系统平台构建于物理座舱基础实验平台之上，涉及的相关部件如多功能显示器、电气 I/O 数据接口及实时交换机、两级网络、4 台主控仿真计算机以及底层软件。同时基于座舱基础实验平台进行二次研发，含扩展硬件、扩展软件包、后台数据库、操作监视及控制终端和人员认读操作规程。其中，扩展软件包、后台数据库和人员大屏幕认读操作规程软件设计实现。

## 3. 结束语

在当前形势下，从人机工效的角度，探讨和解决新机座舱显示的若干需求是一项崭新而迫切的尝试<sup>[4]</sup>。建立航空座舱视觉信息工效体系结构模型，是探明人机界面最佳融合、提高飞行安全和效率的有益思路，它从系统工程的角度有效弥补此前该领域研究基于人员主观调查等方法的诸多局限性。基于软件工程的方法，从顶层即采用科学的手段描述视觉信息工效研究需求，构建视觉信息工效研究的数据结构、框架模型并给出工效测试系统原型等，有助于有效匹配并适应工业制造的迭代，满足和指导工业制造不断修改、开发和维护的全进程。

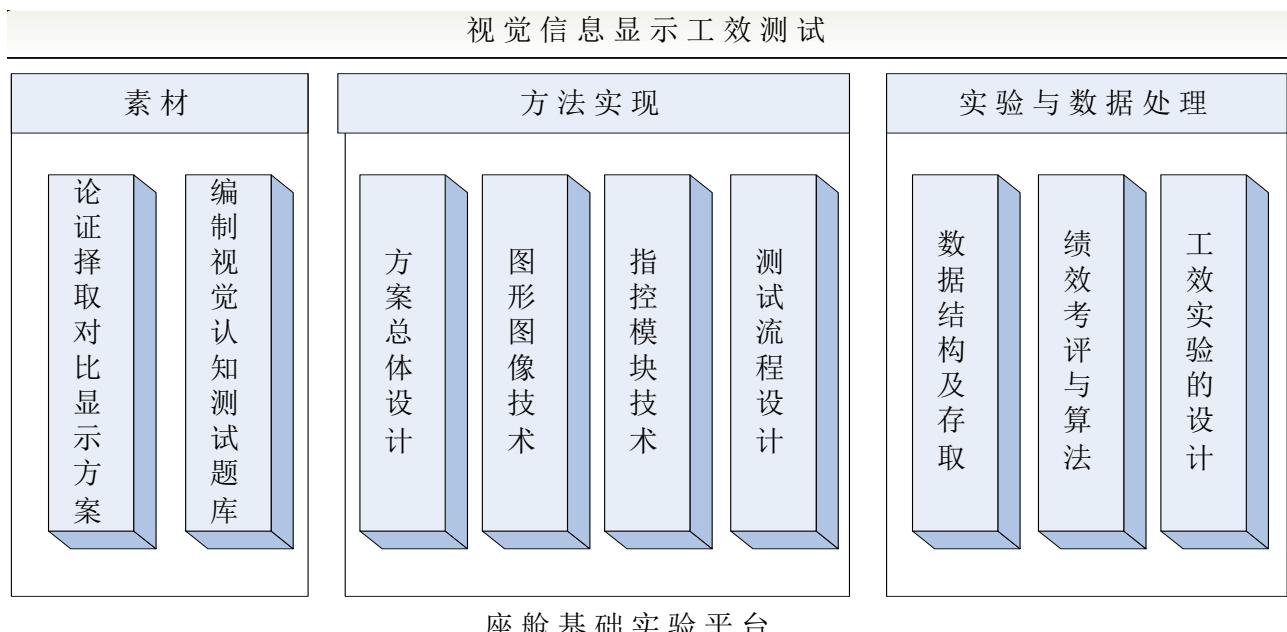


Figure 3. Function module for ergonomics of visual information  
图 3. 视觉信息显示工效测试功能模块构成

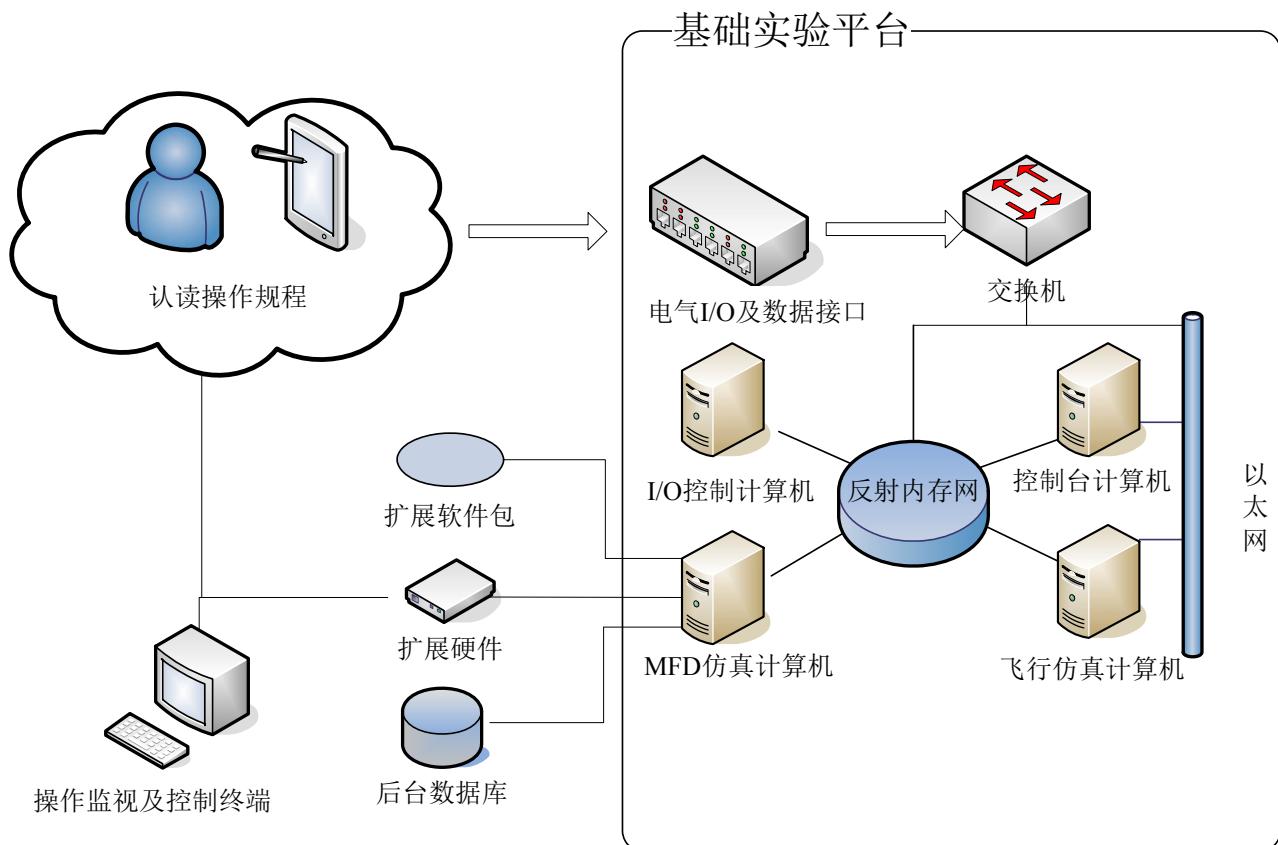


Figure 4. Schematic for physical platform of system structures  
图 4. 系统物理平台搭建示意图

如何科学建立工效测试框架和测试算法<sup>[5,6]</sup>，对新机座舱自动化显控技术人机工效进行客观工程化评估，包括新机显示系统的布局、格式的设计，窗口与内容的关联设计、人机接口方案的论证等，在数据量与控制密度、窗口组合模式与切换、操作规则定义、信息显示标准化、智能决策、认知评价与规划设计<sup>[7]</sup>，是未来航空座舱视觉信息工效体系结构模型进一步改进和完善应关注的要点。

## 参考文献 (References)

- [1] G. L. Zacharias, S. Baron. A proposed crew-centered analysis methodology for fighter/attack missions. Bolt Beranek and New-

- man Inc., Cambridge, 1982.  
 [2] C. D. Wickens, D. L. Sandry and M. Vidulich. Compatibility and resource competition between modalities of input, central processing, and output. *Human Factors*, 1983, 25(2): 227-248.  
 [3] J. D. Caldwell, T. G. Jones. Analytical study of cockpit information requirements. DOT/FAA/RD281/4, AD A108524, 1981.  
 [4] 唐生龙. 信息化作战环境下的航空电子系统人机工程学研究[D]. 西安电子科技大学, 2009.  
 [5] 廖贊. 基于裸手的自然人机交互关键算法研究[D]. 云南大学, 2012.  
 [6] 杜继永, 张凤鸣, 黄国荣, 杨骥. 基于改进粒子群算法的多UCAV任务分配仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2013, (4): 650-655.  
 [7] 张斌, 钱正祥. 基于蚁群算法的无人机航迹规划技术及研究现状[J]. 战术导弹技术, 2012, (4): 58-62.