

文章编号: 2096-1618(2016)02-0168-07

基于 FAHP 的气象仿真服务逼真度评价研究

冯丽君, 王 燮, 王小东

(成都信息工程大学软件工程学院, 四川 成都 610225)

摘要:气象仿真服务逼真度评价研究主要采取个人评价的方法,存在客观性不强、易变、评价标准难以统一的问题,因此在已有研究基础上,提出基于层次分析方法的气象仿真服务逼真度评价方法。结合飞行员的飞行行为、气象环境模拟程度、模拟器的平台参数、飞行员感知操作形成较为完整的气象仿真服务逼真度评价指标体系。通过模糊分析方法给出评价具体过程,对某气象仿真系统的逼真度进行评估,构造评价蛛网图,提高了气象仿真服务的评估效能,对进一步研究起到基础性的指导作用。

关键词:计算机应用技术;气象仿真;模糊层次分析法;逼真度

中图分类号:TP391.9

文献标志码:A

0 引言

航空气象中的气象要素和天气现象对航空技术装备的飞行活动有着巨大的影响,许多特殊天气现象严重影响着飞行安全,基于气象仿真服务的模拟飞行训练因安全可控、无破坏性以及经济的特点成为飞行训练首选^[1]。气象仿真服务研究正逐步由只能做到模拟简单、静止的天气现象、天气要素单一的“狭义气象仿真”^[2]向可以为飞行模拟器提供多样、典型、动态的特殊天气现象仿真服务发展^[3]。

然而,相对气象仿真服务的重要性及业界对其模型的研究热度,目前气象仿真服务逼真度的评价研究相对空缺。当前仅有的评价方法多以飞行员经验,然而,个人评价容易受心情、偏好和当时身体状况等自身因素的影响,主观性强,可变性大,评价标准难以统一^[4]等诸多问题难以避免,评估所得结果易产生偏差。同时,囿于人的生理极限,以人工评价为主的方式效率低下,普适性不强。

仿真可信度评估的难点在于如何建立一个有效的评价指标体系,作为探索性研究,基于气象仿真服务逼真度定义,通过运用定性和定量相结合的层次分析法^[5]对气象仿真服务逼真度进行评价,构建较完整的指标体系,这些指标与飞行员的飞行行为、气象环境模拟程度、模拟器的平台参数、飞行员感知操作密切相关。通过模糊分析方法给出评价具体过程,以某气象仿真系统为例给出计算过程,并构造评价蛛网图,有效减少现今气象仿真服务逼真度评价研究中存在的问题,对进一步的气象仿真系统研究起到基础性的指导作用。

1 气象仿真服务逼真度评价概念

1.1 动感模拟系统与气象仿真

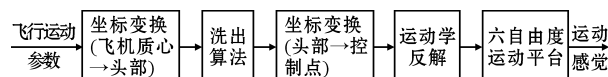


图1 飞行模拟器动感模拟过程

在描述气象仿真服务逼真度的定义之前,先描述动感模拟系统的概念及其与气象仿真服务逼真度之间的关系。

动感模拟系统^[6]是飞行模拟器的重要组成部分,负责将飞行模拟所接收到的飞机运动参数通过一系列处理过程转换成能够使飞行员的前庭感官所感知的飞机运动,如图1所示。飞行的运动参数(姿态角、角速度、角加速度以及线加速度)经过飞机质心到头部的坐标变换、洗出算法、头部到控制点的坐标变换、运动学反解这些步骤后生成飞行模拟器运动系统各个液压缸的伸缩指令。通过这些指令完成六自由度运动平台的运行,制造出飞行模拟器中飞行员的运动感觉^[7]。

动感模拟的逼真度直接影响飞行员的飞行感受,而气象仿真服务逼真度最直接也是最重要的评价指标就是飞行员在模拟大气环境下的飞行感受。所以气象仿真服务逼真度最重要的指标来源于动感模拟的评价结果。

飞行模拟训练作为人在回路中的仿真,逼真度的研究与人的感觉密切相关,高健^[6]提出基于飞行员数学模型的客观评价:通过选取某一指标对比“飞行员—飞机”和“飞行员—模拟器”2个系统的相似性,得到逼真度的客观评价结果,并给出相似度的计算公式。

利用高健提出的想法,对于气象仿真服务逼真度评价结果,其实对比的是“飞行员—飞机—真实气象环境”和“飞行员—模拟器—气象仿真环境”这 2 个多元关系系统的相似性。而这 2 个系统相似性的计算公式为

$$SM = \frac{|S_{plane}| - FM \cdot |S_{sim}|}{|S_{plane}|} \quad (1)$$

式(1)中 SM 为气象仿真评价结果; FM 为动感模拟逼真度评价结果; S_{plane} 为真实大气环境下飞机回路传递函数; S_{sim} 为气象仿真环境下模拟回路传递函数。

1.2 飞行员控制行为与气象仿真

在飞行运动中,模拟器动感系统按照模型计算某种环境下飞行运行参数的变化,而飞行员本身对外部感知的变化信息进行处理,客观上反映出飞行员对飞机所处的某种现象或所发的某种指令所进行的反馈处理。然而飞行员的内心活动相当丰富,每个人限于不同的思考方式、心情和习性,做出的行动也不同,很难抽象出属性模型。

高健提出如果飞行员在受具体任务的制约下,控制行为具有一定规律,并据此给出补偿任务中飞行员的控制行为模型^[5],高健提出的模型结构见图 2 所示。

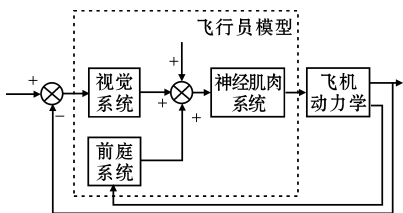


图 2 补偿任务中飞行员控制行为模型

气象仿真环境逼真度评价恰好需要在一种特定的任务行为下完成,比如在某种特殊天气下试飞。所以,利用特定任务制约下的飞行员控制模型有助于气象仿真服务逼真度的评价。

1.3 气象仿真服务逼真度定义

逼真度(Fidelity)就是仿真对仿真对象某个侧面或者整体的外部形态和行为的复现程度^[8],逼真度用(0,1)区间的小数表示(0 代表没有任何相似;1 代表完全复现)。

基于上述逼真度的概念,气象仿真服务逼真度则为输出的气象环境动态推演数据对于真实大气环境的气象要素和变化的复现。当然,逼真度的概念是相对的,是有目的相关性,完全复现这是一件很难做到的

事。对于真实的大气环境演变,缓和的气象要素是很长时间段的变化,一些突变的气象要素则是瞬时发生,暂时无法做到在精确的时间轴上复现。所以,气象仿真服务的逼真度力求将一定空间上的气象要素数据在一定时间间隔上的变化体现。

对于气象仿真服务逼真度评价可用基于飞行员模型的这种客观评价方法,但是仅仅靠六自由度平台运动反馈模拟器遭遇气象仿真环境下某种特殊天气现象的变化而采集到的六自由度的数据,同真机在真实遭遇该种天气下的黑盒子所采集的数据进行相似度比较是片面的,也不具有可行性。

1.4 气象仿真服务逼真度的研究内容

针对使用客观评价方法可行性较差的特点,研究可以主客观相结合的逼真度评价方法:基于层次分析法(analytical hierarchy process, AHP),首先研究待解决问题、其次建立评估层次结构、通过不同方法获取逼真度各级指标、采用模糊 AHP 方法对各指标进行评价,最后分析评价结果,从而得出最终的综合评价。

经过分析,影响气象仿真服务逼真度的要素复杂又多样。在“1.2 飞行员控制行为与气象仿真”中描述过气象仿真系统的逼真度受多元混合因素所影响,有以主观为标准的飞行员的感官,以客观为标准的动感模拟参数分析。这些主客观因素作为评估标准,很难准确量化,因此采用模糊层次分析法^[9-10]。

基于 AHP 的气象仿真服务逼真度的具体流程如下^[11-12]:

Step 1 建立评估层次结构。将与气象仿真服务逼真度相关的定性、定量的因素逐步细化,继续分解指标直到不可以量化为止。

Step 2 底层逼真度指标的获取。通过不同方式的校验或检测,把得到的直接或间接量化的指标作为底层指标,将度量进行统一,然后由专家进行评分。

Step 3 采用模糊 AHP 进行评价。首先基于专家给出的判断矩阵,对各项指标的权重进行计算;然后依据专家对各项因素的评分和权重从下至上计算评估值;最终得到气象仿真服务逼真度的综合评价数值。

Step 4 对评价结果进行分析,生成结果汇报。

2 气象仿真服务逼真度评价指标体系

2.1 总的目标层划分

仿真可信度评估的难点在于如何建立一个有效的评价指标体系。特别是气象仿真服务逼真度的评价方

法多以飞行员经验而来,评估得到的结果总缺乏实际价值。

对于气象仿真服务逼真度评价在现有的研究中还未出现体系化,多是因为传统模拟器的“狭义气象仿真”并不太重视气象仿真环境的构建,力图通过单一的气象要素的视景可视化和平台运动来达到给飞行员在某种天气环境下飞行的效果。从飞行模拟器的动态系统和飞行员的控制行为入手,在一些前人的研究基础上,提出一套气象仿真服务逼真度层次化指标体系结构。

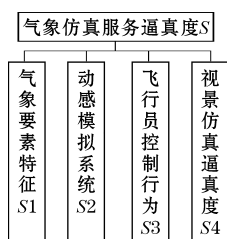


图3 气象仿真服务逼真度指标体系一级划分

如图3所示,气象仿真服务逼真度用 S 表示,共包含4个二级指标:气象要素特征逼真度、动感模拟系统逼真度、飞行员控制行为逼真度一级视景仿真逼真度,分别用 $S1$ 到 $S4$ 表示。每个指标在下面章节中将继续划分。

2.2 气象要素特征逼真度指标

气象要素特征作为气象仿真服务逼真度的基础,作为输入气象服务模型的数据源,本身的逼真程度对后面要素指标产生直接影响。对于该指标细化分为3个层次,如图4所示。气象仿真服务的目的就是模拟一些对飞行活动具有特别影响力的特殊天气,而特殊天气又是具有一定特征的气象要素的集合。

特殊天气类型 $S11$ 是对气象仿真服务主要任务的描述,分为4个指标。种类是对特殊天气类型丰富度的描述,包括雷暴、低空风切变、大气湍流、空中急流、强对流、下击暴流、飚线、颠簸和结冰等;分辨率是对特殊天气气象要素格点^[13]的点距的描述,格点分辨率可取百米~几十公里;尺寸是指模拟特殊天气所覆盖的区域面积的半径,分为大、中、小尺寸;数量是对同种类型的特殊天气有多少次模拟结果的描述,取值为整数。

气象要素 $S12$ 是特殊天气的单位,它直接影响特殊天气系统,分3个指标:气象要素的种类,取值包括水平风速、垂直风速、水平风向、云高、云厚、雨量、雪量等;阈值是衡量某种气象要素的值的取值范围,取值一般为小于1的小数;气象格点随时间变化的离散程度直接影响气象动态推演的效果,取值为小于1的小数。

气象要素动画 $S13$ 分为3个指标:帧数和补间动画^[14]描述动画的丰富程度,二者取值均为整数;仿真时间比例是仿真时间 T 与物理时间 t 的比值,影响特殊天气在仿真世界中的变化速度。

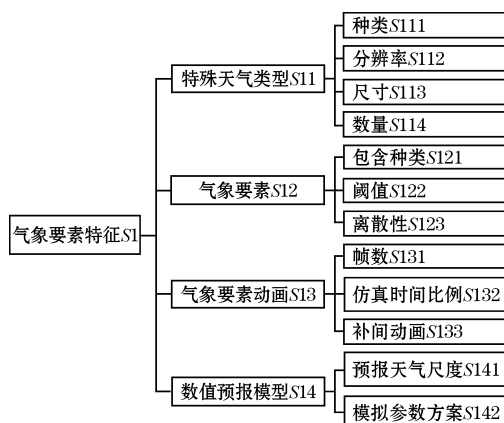


图4 气象要素逼真度指标

数值预报模型 $S14$ 这是数值模拟方案对整个气象要素输出结果的影响,分2个指标:预报天气尺寸和模拟参数方案。预报天气尺寸分为大、中、小;模拟参数方案分层选取,现主要有WSM3简单冰微物理过程、WSM6微物理过程、浅对流Kain-Fritsch方案、rrtm方案、Dudhia方案、Monin-Obukhov方案、热量扩散方案、YSU方案等。

2.3 动感模拟逼真度指标

根据动感模拟系统的转换特征,通过洗出算法而得到的六自由度平台物理参数是动感模拟逼真度的关键。如图5所示,动感模拟系统 $S2$ 分为4个指标:飞行员结构参数、飞机动力模型学参数、洗出算法参数以及六自由度平台物理参数。其中飞行员穿越模型参数分为3个指标:增益常数是飞行员控制规律的操纵增益参数,取值为0.57~0.7;飞行员感知信息处理有等效的时间常数,一般取小于1的小数;信息进入飞行员大脑进行逻辑判断处理会有较小的延迟,此由飞行员的生理特性而定,一般取小于1的小数。飞机动力模型学参数细分为6个指标:角速度、速度分量、速度、气动力、姿态角和惯性积。通过将此6指标在滚动轴、俯仰轴和偏航轴中取值计算可完整描述飞机动力学数学模型。六自由度平台物理参数分为6个指标:上平台半径、上平台短边间距、下平台半径、下平台短边间距、液压缸中位平台高、流量压力系数。其中液压缸中位平台高一般为1500~2000 mm,流量压力系数约为 $10^{-10}(\text{m}^3/\text{s})$ 。

2.4 飞行员控制行为指标

飞行员的控制行为是飞行员对外部获取内容产生

的判断、分析、解决方式的体现,也是其在飞行过程中活动特征的反应。如图 6 所示,飞行控制行为指标分为视觉系统、前庭系统、神经肌肉系统以及余度信号。其中视觉系统细分为 5 个指标:飞行员的操作具有一定的频率特性,针对不同类型操作可以适当提高或降低频率,因此取值时如果操作繁杂,应降低操作频率,若操作简单,适当提高操作频率效果更佳;信息进入飞行员大脑进行逻辑判断处理会有较小的延迟,即反应时间延迟,这由飞行员的生理特性而定,取值不定;每个飞行员都具有内部干扰,即生理噪声,包括观测噪声、操纵噪声、中枢神经系统信息处理噪声;飞行员在信息处理各个过程中具有非线性因素,它是大脑和神经组织判断后控制神经肌肉做出的处理;飞行员的行为表现出时变性和离散性,由其生理特性决定,这些特性可表现在建模原理、系统模型结构、模型参数。前庭系统细分为 2 个指标:半规管模型和耳石模型。半规管位于人体内耳,感知角速度变化的运动,值取决于时间常数、半规管增益;耳石位于人体内耳,感知线速度变化的运动,取决于时间常数、耳石增益、神经超前项常数。神经肌肉系统细分为 3 个指标:肌肉动力学、肌梭反馈和综合反馈。肌肉动力学值取决于神经肌肉系统的阻尼比和无阻尼振荡频率;肌梭反馈主要检测肌肉位置、伸张、收缩等生理信息生成反馈;综合反馈则为除肌梭反馈的其他综合反馈。余度信号是飞行员操作行为的随机运动,比重值一般小于0.05。

2.5 视景仿真逼真度指标

视景仿真对仿真对象的某个侧面的复现^[11],底层指标一般是以人的视觉和听觉作为评估标准。如图 7 所示,视景仿真逼真度指标分为三维模型逼真度、虚拟环境逼真度、物理场数据逼真、画面显示品质这 4 个指标。三维模型逼真度细分为 4 个指标:外形用于描述三维模型网格,取值包含尺寸、数量、误差;材质描述模型表面细节,取值包含材质及光照颜色、反射特性;纹理描述模型表面细节,取值包含透明度、混合度、分辨率、逼真性;多分辨率模型描述模型的精细程度,仿真中需根据情况建立适当层数的层次细节模型。虚拟环境逼真度细分为 5 个指标:声音包括声音的来源、效果和触发方式;特殊效果由外形、颜色、光照和时间特性几个取值决定;地形取值基于数据和纹理精确度、纹理分辨率、人文特征及算法精度;海洋要考虑纹理、光照效果、海洋地形、生物、能见度和生成算法;大气含有天气、云、雾、光线等取值要素。物理场数据逼真度分为 2 个指标:数据精确性取决于数学模型、误差和时间特性;可理解性考虑形状、颜色、材质和纹理。

3 基于 FAHP 的气象仿真服务联邦成员的评价

通过分析研究,基于 FAHP 建立了气象仿真服务逼真度指标体系结构,本部分将对此进行评估。

以某基于 HLA 互联仿真框架所设计与实现的气象仿真系统为依托进行分析,为篇幅简洁,仅以对气象要素特征逼真度 S1 评估为例。

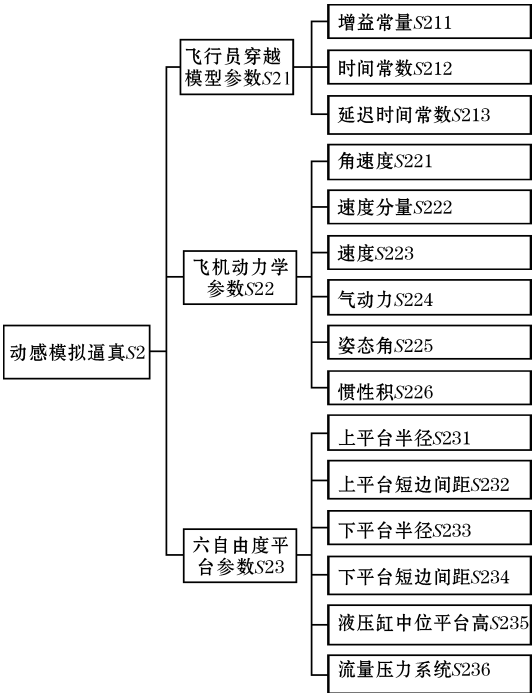


图 5 动感模拟逼真度指标

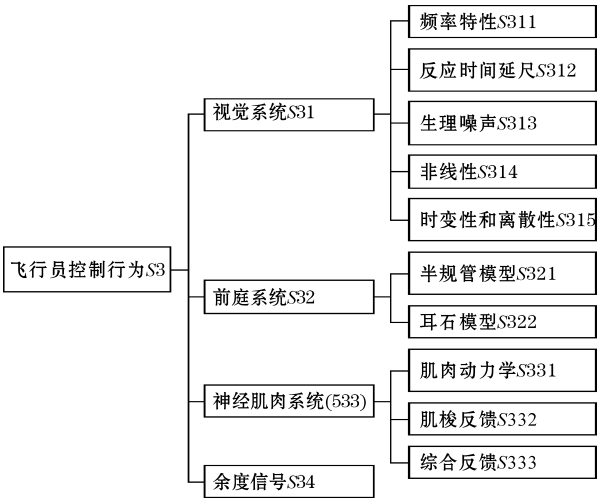


图 6 飞行员控制行为指标

3.1 使用三角模糊函数确定指标权重

人们在表达判断比较时,往往不能给出确切的评判值,只给出一个模糊量。模糊分布函数是模仿概率论中的分布函数,这些函数值域通常为 $[0,1]$ 。三角模糊函数也是模糊分布函数的一种。其定义是:设论域 R 上的模糊数为 M ,如果 M 隶属于函数 μ_M 使得 $R \rightarrow [0,1]$,表示为

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{1}{m-x}x - \frac{l}{m-l} & x \in [l,m] \\ \frac{l}{m-u}x - \frac{u}{m-u} & x \in [m,u] \\ 0 & x \in (-\infty,l] \cup [u,+\infty) \end{cases} \quad (2)$$

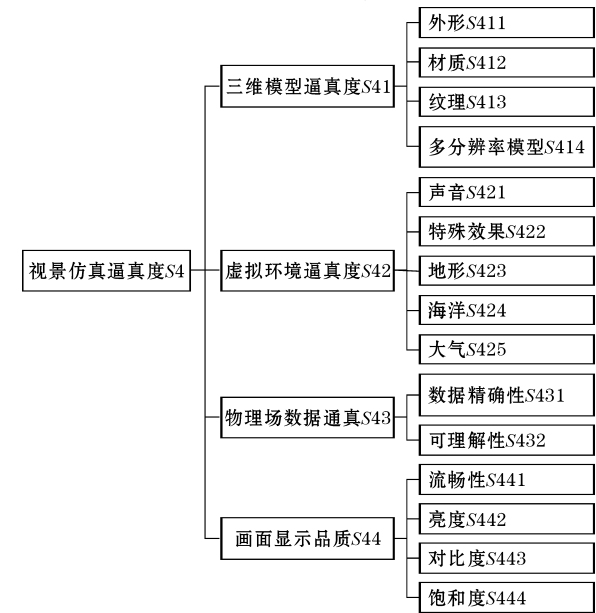


图7 视景仿真逼真度指标

M 则称为三角模糊数, $\mu_M(x)$ 为三角模糊函数。一般三角模糊数 M 表示为 (l,m,u) ;其中 m 为 M 隶属度为1的值,当 $x=m$ 时, x 完全隶属于 M ; l 和 u 分别为下届和上界;在 l,u 以外完全不属于 M 。

结合文献[15]所介绍的模糊层次分析法,请8位评估专家对S11~S14这4个二级指标的权重进行评估。其中第 i 位专家的模糊评价矩阵如表1所示。

将矩阵利用权重初始计算公式(3),计算得出三角模糊权重向量 $w^{(k)}$ 如下:

$$D_{ij}^k = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^k}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^k\right)} \quad i=1,2,\cdots,n \quad (3)$$

$$\overline{w^{(k)}} = \begin{pmatrix} (0.2118, 0.3633, 0.5650) \\ (0.1890, 0.3400, 0.5426) \\ (0.0955, 0.1583, 0.3153) \\ (0.0919, 0.1384, 0.2770) \end{pmatrix}$$
通过去模糊化得

到标准化最终权重 $w_{s11} = (0.4009, 0.3745, 0.1345, 0.0901)^T$ 。

按照上述方式,可以计算出另外7位专家对S11-S14的标准化权重,通过加权平均方法算得S11-S14的权重分别为:0.392、0.364、0.135和0.109。

通过循环计算S111~S142的权重向量,最终可以得到气象要素逼真度二级和三级各个因素的权重,如表2所示。

表1 某位专家模糊评价矩阵

	S11	S12	S13	S14
S11	(1.00,1.00,1.00)	(1.00,1.39,1.68)	(1.97,2.71,3.35)	(2.62,3.46,4.31)
S12	(0.62,1.06,1.57)	(1.00,1.00,1.00)	(1.75,2.53,3.21)	(2.51,3.42,4.15)
S13	(0.97,1.22,2.01)	(0.68,1.02,1.61)	(1.00,1.00,1.00)	(0.32,0.49,1.15)
S14	(0.81,0.26,1.57)	(0.54,0.98,1.29)	(0.51,1.02,1.21)	(1.00,1.00,1.00)

表2 气象要素逼真度的各级因素权重

二级因素	权重	三级因素	权重
特殊天气类型 S11	0.392	种类 S111	0.260
		分辨率 S112	0.121
		尺寸 S113	0.296
		数量 S114	0.323
气象要素 S12	0.364	包含种类 S121	0.425
		阈值 S122	0.239
		离散性 S123	0.336
		帧数 S131	0.257
气象要素动画 S13	0.135	仿真时间比 S132	0.589
		补间动画 S133	0.154
		预报天气尺寸 S141	0.425
		模拟参数方案 S142	0.575
数值预报模型 S14	0.109		

3.2 计算模糊综合评价

在得到气象要素逼真度各级因素的权重后,请 10 位气象仿真服务评估专家对 S11 指标下的 S111-S114

评分,按差到好分值从 1 到 9,见表 3。
通过统计各分值专家评分比例,生成评价矩阵,如表 4 所示。

表 3 专家对二级因素 S11 打分

专家指标	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S111	8	7	8	6	9	7	7	8	7	9
S112	9	7	8	7	9	8	8	9	8	8
S113	7	7	6	6	8	7	6	7	8	7
S114	9	6	7	5	8	6	7	6	7	8

表 4 评价矩阵 R11

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S111	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.3	0.2
S112	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5	0.3
S113	0	0	0	0	0	0.3	0.5	0.2	0
S114	0	0	0	0	0.1	0.4	0.3	0.2	0

综合评价结果需要计算 $D_{11} = W_{11} \cdot R_{11}$, $D_{12} = W_{12} \cdot R_{12}$, $D_{13} = W_{13} \cdot R_{13}$, $D_{14} = W_{14} \cdot R_{14}$ 。经计算:
 $D_{11} = W_{11} \cdot R_{11} = [0.0323, 0.244, 0.3731, 0.2623, 0.0883]^T$
同理可求得 D_{12} 、 D_{13} 和 D_{14} 的综合评价结果。
最终得到 S1 的评估向量为:
 $D_1 = w_{S1} \cdot R_1 = (0,0,0,0, 0.0852, 0.2458, 0.3365, 0.2865,0.0460)$

为便于评价,可以用百分制为评价等级赋值(20, 30,40,50,60,70,80,90,100),则最终得到 S1 气象要素的逼真度综合评分为 79.623。总体评价良好。
按照以上步骤计算,得出 S2 动感模拟逼真度、S3 飞行员控制行为逼真度、S4 视景仿真逼真度的综合评分,并构造评价蛛网图,如图 8 所示。

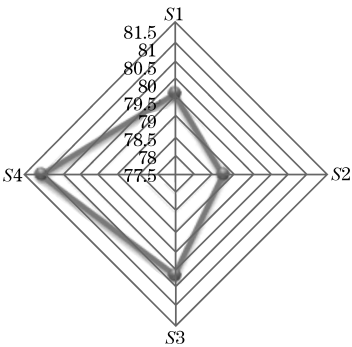


图 8 综合评价蛛网图

4 结束语

立足于构建气象仿真服务逼真度的评价方法研

究,从逼真度语义出发,通过运用定性和定量相结合的层次分析法来对气象仿真服务逼真度进行评价,并分析构建出气象仿真服务逼真度的评价体系,最后给出模糊层次分析法的计算过程样例,达到评价气象仿真服务逼真度的目的。此方法可对气象仿真服务评价研究领域产生一定影响,有利于提高气象仿真服务质量。

参考文献:

[1] 刘浩翰. 飞行模拟器视景系统的研究与实现 [D]. 天津:天津大学,2012.
[2] 周彦,戴剑伟,蒋晓原. HLA 仿真程序设计 [M]. 北京:电子工业出版社,2002.
[3] 王再奎,曾鸣,范毅晟. 基于 WRF 模式的飞行模拟器中气象仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2013, (S1):25-29,34.
[4] Sargent R G. Verification and Validation of Simulation Models [J]. Journal of Simulation, 2013 (7):12-24.
[5] Satty T. The Analytical Hierarchy Process [M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
[6] 高健. 飞行模拟器动感模拟系统逼真度研究 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
[7] 张镭. 飞行模拟器飞行仿真系统建模与软件实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
[8] 张伟,王行仁. 仿真可信度[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(03): 312-314.
[9] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系

统与数学, 2000, 14(2): 80–88.

- [10] MA Azadeh, SN Shirkouhi. Evaluating simulation software using fuzzy analytical hierarchy process[C]. Springsim Proceedings of the Spring Simulation Multiconference, 2009.
- [11] 唐凯, 康凤举. 基于模糊 AHP 的视景仿真系统逼真度评估方法研究[J]. 系统仿真学报, 2008, (22): 6049–6053, 6057.
- [12] Tarmudi, Z. Validating fuzzy decision model using risk and confidence analysis [D]. IEEE

Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics, 2012: 99–102.

- [13] 蔡秀华, 曹鸿兴. 资料插值的进展[J]. 气象, 2005, (8): 3–7.
- [14] 谭洁. 二维矢量动画创作系统的设计与实现[C]. 第十三届全国图像图形学学术会议. 2006.
- [15] 张伟, 王行仁. 仿真可信度模糊评判[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(4): 473–475.

Evaluation of Meteorological Simulation Service Fidelity based on Fuzzy AHP

FENG Li-jun, WANG Xie, WANG Xiao-dong

(College of Software Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: Evaluation study of Meteorological simulation service fidelity mainly take individual evaluation method, which objectivity is not strong, variable, evaluation standards are not uniform. Therefore, on the basis of existing research, we put forward the evaluation method of meteorological simulation service fidelity which based on Analytic Hierarchy Process. Combining pilots' flight behavior, the extent of meteorological environment simulation, platform parameters of simulator, pilots sensing operation, formed a relatively complete evaluation system of meteorological simulation service. Use the specific evaluation process given by fuzzy analysis method to evaluate the fidelity of one weather simulation system, structure evaluation spider graphs, it improves the performance assessment of meteorological simulation services, and plays a fundamental role in guiding for further research.

Key words: technology of computer application; meteorological simulation; fuzzy AHP; fidelity