

高分卫星自然资源调查需求满足度评估

郭丁^{1,2}, 李姗姗¹, 陈宗信³, 王力²

1. 中国空间技术研究院, 北京 100094;

2. 国家国防科技工业局重大专项工程中心, 北京 100101;

3. 电子科技大学 资源与环境学院, 成都 611731

摘要: 当前高分对地观测数据应用来源众多, 且其应用方式各异, 如何对需求其进行规范化和结构化的需求综合及聚类, 进而开展卫星观测能力对于用户需求的需求满足度进行评估, 是当前高分对地观测系统建设及应用的关键。本研究基于层次分析法开展自然资源遥感调查的需求建模与评价研究, 以可见光近红外类型的自然资源遥感调查需求为主要研究对象, 提取自然资源遥感监测普遍共有的需求指标和参数构建四元需求模型, 然后利用层次分析中的凝聚层次算法对自然资源调查需求进行建模后的需求综合, 最后利用模糊层次综合法评估高分卫星对自然资源调查的需求满足度。评估结果显示除生物估算、荒漠化监测和承载力计算聚簇的需求外, 其余聚簇的需求满足度都为良及以上, 需求满足度优良率达到88%。通过评估表明中国高分卫星能较好的满足大部分的自然资源调查需求, 但还需要提升在生态评价等领域的对地观测能力。

关键词: 高分对地观测, 自然资源调查, 需求综合, 模糊层次分析法, 需求满足度

引用格式: 郭丁, 李姗姗, 陈宗信, 王力. 2022. 高分卫星自然资源调查需求满足度评估. 遥感学报, 26(3): 579-587

Guo D, Li S S, Chen Z X and Wang L. 2022. Assessing the satisfaction evaluation of high-resolution imaging satellite to the nature resource investigation. National Remote Sensing Bulletin, 26 (3) : 579-587 [DOI: 10.11834/jrs.20210323]

1 引言

近年来, 随着高分辨率对地观测计划重大专项的实施和空间基础设施重大工程的建设, 中国对地观测卫星实现了从20世纪末的技术试验阶段和21世纪初的试验应用阶段到当前的应用服务阶段的重大转换(童旭东, 2016; 赵文波, 2019)。当前中国卫星对地观测系统数据应用成效显著, 为国际用户特别是“一带一路”区域用户提供了高质量的影像数据产品和技术服务(郭仁忠等, 2018; 顾行发等, 2018; 童旭东, 2018)。

然而, 中国遥感卫星系统建设仍存在应用效益不显著、用户满意度不高等问题, 整体建设水平亟待提高(顾行发, 2018)。如何精准评估现有卫星的能力并找准系统建设发展的短板弱项, 对复杂的对地观测系统进行科学合理规划和布局, 进而推进系统建设从数量规模向质量效益的转变,

是当前卫星系统任务效能的分析与评估领域亟待解决的关键问题(刘峰, 2017; 赵程亮等, 2017)。随着对地观测系统效能分析工作不断深入开展, 由于系统构成的复杂性和应用需求的多样性, 导致在评价标准的确立上存在很大的不确定性, 相应评估结果的指向也往往模糊不清, 决策支撑作用不够明显(刘建业等, 2019)。因此, 开展遥感卫星系统任务效能分析评估的方式方法, 做好遥感卫星系统任务效能分析评估, 具有现实必要性和紧迫性。

作为对地观测系统任务效能分析评估的关键, 需求满足度分析需要考虑多部门需求和现有对地观测系统的观测能力对多部门需求的满足情况, 以支撑整个对地观测体系的整体性、综合性、长远性规划论证(梁桂林等, 2018)。面对数以千计的用户需求同时要顾及日渐庞大的现有对地观测体系, 传统人工统筹论证的综合方法越来越不适

收稿日期: 2020-08-04; 预印本: 2021-03-22

基金项目: 国家国防科技工业局重大专项工程中心项目(编号:H04W190838)

第一作者简介: 郭丁, 研究方向为卫星对地观测效能评估。E-mail: guoding@263.net

通信作者简介: 王力, 研究方向为信息管理与信息系统。E-mail: 13520150388@163.com

用, 定量化的自动或半自动需求综合方法亟待研究 (尤扬, 2008)。

遥感监测需求结构化表达是后续对需求进行分析的前提。马万权等 (2014) 将遥感观测需求进行分解, 提出建立对地观测需求预处理模型, 但是该模型不能表达出用户的完整需求。巫兆聪等 (2015) 在构建了四维需求模型后, 再利用模糊综合评估方法对光学和微波两类遥感卫星对地监测效能进行评估; 潘勇等 (2015) 通过分析遥感卫星覆盖能力, 综合出一种新型的效能评估算法, 并在具体应用上使用了该算法, 卓有成效。国外的研究也不少, Nepal 等 (2010), Mandal 和 Mandal (2018) 和 Tian 和 Yan (2013) 用模糊综合法开展对地观测应用效能评估, 效果显著。在需求数据的选择上, 考虑到自然资源监测是遥感对地观测中的最关键应用, 且其需求多样, 是需求满足度评估的理想研究领域。

目前, 有关自动化需求综合算法的研究较少, 而且缺乏自动化需求综合结果评价的方法和指标。针对上述问题, 本研究基于层次分析法开展自然资源遥感监测的需求建模与评价研究, 以可见光近红外类型的自然资源遥感监测需求为主要研究对象, 通过剔除现有观测体系能够较好满足的部分需求, 再进行对比分析, 从而得到自然资源遥感监测主要需求的参数和指标; 根据得到的需求指标进行需求建模, 引入层次分析方法, 使用基于层次分析的凝聚层次算法, 对建模后的自然资源需求进行需求综合; 最后对需求满足度进行评估, 运用效能评估的方法, 对需求综合后的结果进行评价, 从而验证对自然资源遥感监测需求进行建模及综合的可行性和必要性。

2 研究方法

2.1 需求结构化表达

自然资源调查领域主要包括林业部门、地质部门、农业部门、水利部门和海洋部分等, 这些部门的用户在卫星遥感上的需求描述方式各异且指标要求不一 (方臣等, 2019)。考虑到需求表达的复杂性和准确性, 本研究主要针对光学遥感应用需求进行需求分析, 而对微波遥感和激光雷达等需求不做研究。经过需求指标的分析, 这里提取出最广泛, 最基本的, 最能反应用户遥感需求

的4个需求指标作为用户需求的通用指标, 这些指标包括空间分辨率, 光谱分辨率, 波段范围和量化等级; 其中空间分辨率代表空间尺度, 光谱分辨率和波段范围代表光谱范围及其间隔, 量化等级代表辐射分辨能力 (巫兆聪等, 2018)。含有4个变量的四元需求模型如下:

$$M = (B, R, S, D) \quad (1)$$

式中, B 代表波段范围, R 是空间分辨率, S 为光谱分辨率, D 代表量化等级。在波段范围的表达上, 用户需求波段上限为 B_{\max} , 需求波段下限为 B_{\min} , 需求波段范围为区间 $[B_{\min}, B_{\max}]$ 。

2.2 需求数据预处理

在自然资源遥感需求数据集合中, 数据不同维之间量纲和取值上下限差异很大, 波段范围在为几百上千纳米左右, 空间分辨率常取个位或者十位数, 量化等级常取8—12 bit。由于自然资源调查需求数据各异, 导致数据均值和标准差相差过大, 若要对建模后的需求进行需求综合, 数据预处理是必不可少的。本研究采用 z-score 归一化方法对数据进行预处理, 将数据取值通过数学公式进行转换到一个规范的区间内, 便于后续的数据处理和分析。基于 z-score 归一化方法的数据处理公式如下:

$$y_k = \frac{x_k - x_{\text{mean}}}{x_{\sigma}} \quad (2)$$

式中, x_k 为输入数据, y_k 为 z-score 归一化后的结果, x_{mean} 为数据输入 x_k 的平均值, x_{σ} 为数据输入 x_k 的标准差。

2.3 需求数据综合

经过 z-score 归一化方法处理后的数据, 仍然存在需求来源广泛、条目众多、描述方式各异和指标要求不一的情况下。本研究采用凝聚层次算法开展需求综合, 将用户需求中较为相似的需求条目进行合并, 减少冗余、多余的数据。凝聚层次算法是层次分析的一种, 这种方法自下而上, 把每一个数据看成是一个簇, 按照一定的聚类条件, 将不同的样本进行合并, 最终形成一个簇, 或者达到聚类的个数。每个簇是层次结构的根, 在合并过程中其找出两个最接近的簇也即根据某种相似性度量, 接着合并它们, 形成一个簇。因为在每次迭代的过程中都需要将两个簇进行合并

操作，同时要求每个簇中至少包含一个对象，因此凝聚层次算法最多的情况下需要进行 n 次迭代操作。

在相似性度量方面，本研究采用平均相似度来衡量聚簇间的相似性。凝聚层次算法通过归一化预处理、设定聚簇的数量、计算不同聚簇间的相似度、计算合并后新聚簇与其他聚簇间的相似度、计算聚簇中心的需求向量、评估并调整聚类结果6个步骤来进行需求综合。

2.4 需求满足度评价

卫星对地观测设施是否能满足自然资源调查领域的需求，是对满足程度的量化计算和结果评价，属于效能评估的一种。常见的评价方法有需求AHP分析法、模糊层次综合法（FAHP）和灰色白化函数聚类等（刘莉等，2003；刘丽轻等，2011）；其中模糊层次综合法采用模糊综合评价法和层次分析法相结合的评价模式，该方法采用层次分析法确定因素集，然后运用模糊综合评判确定评价效果（沈继红等，2011）。该方法在需求满足度评价中对不确定性因素考虑比较全面，因此采用FAHP评价法进行需求满足度的评价。

FAHP评价法首先根据对象自身特点及性质将待评估对象分解为多个层次，然后将它们结合成一个层次化结构模型，最后在逐层分析之后，确定不同的对象分解层次对于评估对象的重要程度（即权重）（尤扬，2008）。该方法是目前应用广泛的一种效能评估方法，其优点是能够避免评估指标属性的不确定性，能够以定性和定量相结合的方式来处理复杂的决策问题。FAHP方法主要计算过程如下。

2.4.1 判断矩阵一致性检验及权重向量计算

(1) 确定评估指标相对权重标度。模糊层次综合法运用1到9间的整数表达两个指标间的重要性关系，重要性关系的表达及含义如表1所示。

(2) 构造权重判断矩阵。

(3) 计算指标权重与一致性检验。一致性是指判断思维的逻辑一致性，在实际构造判断矩阵时满足所有相互关系的逻辑一致性难度较大，因此允许指标相互关系间存在一定程度的不一致性，即允许判断矩阵有一定的错误。在判断矩阵一致性的过程中，修正因子RI的取值如表2所示。

表1 指标间的重要性关系

Table 1 Relation of important among different indicators

值	含义
1	两个指标重要性相同
3	第一个指标比第二个指标稍微重要
5	第一个指标比第二个指标明显重要
7	第一个指标比第二个指标非常重要
9	第一个指标比第二个指标极端重要

注：1到9间的整数都可以使用；若第一个指标不如第二个指标重要，可取小于1的分数。

表2 修正因子取值

Table 2 Correction factor value

修正因子	维数							
	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41

若求得判断矩阵的CR值 <0.1 ，即判断矩阵构造合理，满足一致性要求，此时计算得出的指标权重向量 W 可取。否则应重新构造判断矩阵，重新计算权重向量。

2.4.2 评估因素与评语集

评估因素集是影响需求满足度的需求指标与参数。本研究采用波段范围、空间分辨率、光谱分辨率、量化等级这4个基础需求指标来描述自然资源监测遥感需求，并以此建立需求向量模型，因此评估因素集 U 取需求模型中的4个基础需求指标（项伟等，2018）。

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\} \quad (3)$$

评估因素 u_1 为需求综合后聚簇中心需求的波段范围 B_{cl} 与原始需求波段范围 B_{re} 交集的长度与 B_{re} 的比例，显然 u_1 取值为 $[0, 1]$ 。

$$u_1 = \frac{B_{re} \cap B_{cl}}{B_{re}} \quad (4)$$

而 u_2, u_3, u_4 分别取聚簇中心需求的分辨率、光谱分辨率、量化等级，单位与需求模型中相同。

评语集 V 指对对象的评价，常用优、良、中、差4种评价等级来描述，分别对应10、8、6、2的评分。

$$V = \{\text{优、良、中、差}\} = \{10, 8, 6, 2\} \quad (5)$$

2.4.3 基于需求模型的模糊隶属度函数构建

通过构建的评估因素集可知， u_1 表示聚簇中心

需求波段对用户需求波段的覆盖率,其满足度和 u_1 取值同增长,越大越好,可知波段范围属于第一类隶属度函数。而 u_2, u_3, u_4 (空间分辨率、光谱分辨率、量化等级)是越接近最理想值,越符合用户的期望,而高于或低于理想值对于满足度都有影响,例如过高的量化等级会大大增加数据量,对数据处理和分析带来不便(巫兆聪等,2015)。因此,它们都属于第二类隶属度函数。基于上述分析,本研究依照需求指标的自身的特点和函数情况,构造合适的模糊隶属度函数。

2.4.4 模糊层次综合结果合成

使用合适的模糊隶属度函数对数据进行计算,可计算出单个因素的模糊评价,该评价和4个评价等级相对应,可得出相应的评价等级(项伟,2018)。使用最大值合成法,对数据结果进行合成,将评价等级所对应的最大值分数作为该因素最终的评分结果(沈继红等,2011)。

3 实验数据

3.1 自然资源调查数据

自然资源调查用户对卫星应用需求十分广泛,包括林业部门、地质部门、农业部门、水利部门和海洋部门等领域的需求(方臣等,2019)。本研究通过分析典型自然资源调查应用中的实际需求,并对其波段下限、波段上限、空间分辨率、光谱分辨率和量化等级等数据指标进行抽取,构成对应的需求向量。具体的实际需求包括精准农业、农情监测、水资源、地形图制作、矿产勘探、水土流失监测、湿地监测、植被指数计算、荒漠化监测、城市调查和水利利用等。通过上述实际需求构建本研究的93条实验数据,并对其进行结构化表达及建模,除去需求编号外,剩下五维需求构成五维向量,分别为波段下限,波段上限,空间分辨率,光谱分辨率和量化等级。数据来源具体如下表所示。

表3 自然资源数据来源表

Table 3 The data source of nature resources

需求编号	数据来源	需求编号	数据来源	需求编号	数据来源	需求编号	数据来源
R01	农情监测	R24		R47	植被要素	R70	农情监测
R02		R25	矿产开发	R48	海域监测	R71	
R03	精准农业	R26	海域监测	R49	森林资源	R72	
R04		R27	森林资源	R50		R73	荒漠化监测
R05	水资源	R28	荒漠化	R51	荒漠化	R74	
R06		R29	海域分析	R52	海域分析	R75	
R07	地形图	R30		R53		R76	矿产勘探
R08		R31	地形图	R54	矿产搜寻	R77	耕地评估
R09	矿产勘探	R32	农业资源	R55	植被指数	R78	植被要素
R10	湿地面积	R33	渔业资源	R56	湿地监测	R79	
R11	林业资源	R34	水土流失	R57	农情监测	R80	
R12		R35	精准农业	R58	精准农业	R81	地形图
R13	土地利用	R36	水利	R59	水利	R82	水资源
R14		R37	生物估算	R60	生物估算	R83	水利
R15	水土流失	R38		R61	地形图	R84	植被要素
R16	矿产勘探	R39	矿产搜寻	R62	工程建设	R85	水土流失
R17	空间分析	R40	湿地监测	R63	地形图	R86	水资源
R18		R41	荒漠化	R64	水土流失	R87	土地利用
R19	地形图	R42	土地利用	R65	林业资源	R88	土地利用
R20		R43		R66	土地利用	R89	土地利用
R21		R44		R67	工程建设	R90	建筑规划
R22	道路监测	R45	林业资源	R68	城市调查	R91	生态评价
R23	海域监测	R46	矿产搜寻	R69	矿产搜寻	R92	环境评价
						R93	承载计算

由于五维输入变量量纲差距很大，影响结果准确性，所以在进行需求综合前还需进行z-score归一化处理，具体原理和方法见2.2节需求数据预处理。

3.2 高分卫星观测能力

近年来，中国遥感卫星发展迅猛，卫星遥感进入高分时代，卫星观测体系也已基本成型。目前，中国在轨且常用的光学载荷高分卫星有高分一号、高分二号、高分四号、高分五号和高分六

号，这些高分卫星的观测能力如表4所示。

4 实验结果及分析

4.1 需求综合

本研究使用层次分析中的凝聚层次算法对实验需求进行建模后的需求综合。经过需求综合后，93条原始五维需求数据被分成了若干聚簇，需求聚类综合后的结果为五维向量，聚簇中心的需求即代表着聚簇内所有需求。

表4 高分卫星的观测能力表

Table 4 The observation ability of High-resolution satellite

卫星	传感器	波段范围/nm		空间分辨率/m	光谱分辨率/nm	量化等级/bit
		下限	上限			
高分一号	宽幅相机	450	890	16	70	12
	多光谱相机	450	890	8	70	12
高分二号	多光谱相机	450	890	4	60	10
高分四号	全色相机	450	900	50	5	12
高分五号	高光谱成像	400	2500	30	5	8
	全谱段成像	450	12500	20	5	12
高分六号	全色相机	450	900	2	5	12
	宽幅相机	450	900	8	10	12

由表4和表5可知，原本93条需求向量，经过两种算法处理后只剩下14条，需求综合的效果非常明显。需求综合的层次结构如图1和图2所示，分别为截断后的部分层次树和完全层次树。层次树图中，横轴代表需求编号，纵轴代表z-score归一化后的数据相对距离。经过基于层次分析的算法处理后，原始需求数据逐一分层，并将每一条数据归入到一个聚簇中。聚簇中心需求即代表着聚簇当中所有的需求。

4.2 需求满足度评估

用FAHP评价法对高分卫星满足自然资源调查需求的满足进行评估，结果如表6所示。

上述卫星应用需求满足度评估是在评语集为 $V=\{10, 8, 6, 2\}=\{\text{优}, \text{良}, \text{中}, \text{差}\}$ 下计算的，评估结果大于8时可认为卫星应用需求满足度为优良。对结果进行分析，可知除R37、R43和R93外，其余的自然资源调查需求满足度都大于8，说明高分卫星能较好的满足大部分自然自然资源调查用户的需求。R37、R43和R93的需求参数具体见表6，其中R37的空间分辨率需求为1 m，R43

和R93的空间分辨率需求为750 m，且R93的光谱分辨率需求为400—2200 nm，这说明高分卫星在高空间分辨率和低空间分辨率上的观测能力方面存在一定的劣势。另外R01、R09、R19和R27的需求满足度大于9，说明高分卫星中高分辨率遥感卫星体系较为完善，能很好的满足大部分该类型的自然资源调查需求。

4.3 合理性验证

要验证实验的合理性，还需要从实例出发。本节以数据抽取实例中的数据实例对实验合理性及可行性进行验证。数据抽取实例中列举了4个不同需求来源的例子，需求编号及需求数据等如下表7所示。

如表8所示，凝聚层次算法下，需求编号为R39的矿产搜索需求和需求编号为R56的湿地监测需求被同分到聚簇中心为R09的聚簇，两个需求数据十分相似，只在波段上限上有所区别，因而被分到同一聚簇中，归为一类需求。所在聚簇的聚簇中心需求R09的空间分辨率为30 m，与原始需求15 m的要求有些许区别，因而需求满足度不

算高, 只有 7.34, 但其余四维需求均能满足, 因而用需求 R09 去代表需求 R39 和 R56 是可行的。数据抽取实例中的地形图和水土流失, 在实验需求数据中分别为 R64 和 R07, 在经过需求综合后, 他们都被归入到聚簇中心为 R37 的聚簇中。R07 和 R37 十分相似, 只在量化等级需求上有所差别, 因

而需求满足度较高, 为 9.65, 而 R64 和 R37 在空间分辨率上和量化等级上都有区别, 所以需求满足度稍低, 为 7.72。在经过评价算法对于需求满足度的计算后, 可以看出 R37 的需求数据能较好的代表 R64 和 R07 的需求。

表 5 凝聚层次算法下需求综合结果

Table 5 The integrated results for the analytic hierarchy process

聚簇中心	簇内需求	波段范围/nm		空间分辨率/m	光谱分辨率/nm	量化等级/bit
		下限	上限			
R01	1,2,6,15,32,36,45,48,66	400	1000	30	10	10
R09	9,16,39,46,56,69,86	400	2500	30	10	10
R19	19,28,63	440	890	5	60	10
R27	26,27	390	900	15	90	12
R30	12,17,30,47,60,72,75,77,90	440	920	10	15	10
R37	7,34,37,64	450	890	1	100	10
R40	35,40,57,59,87	400	1000	15	90	9
R42	41,42	380	1050	750	10	8
R44	3,8,11,14,21,29,31,33,44,51,61,67,68,71,81	440	900	5	100	11
R55	25,55,83	380	1050	15	110	10
R65	4,5,10,13,18,22,23,28,38,43,49,50,52,53,58,62,65,70,78,79,82,83,88	400	1050	30	105	10
R84	24,54,84	390	2150	35	10	12
R89	20,80,89	500	890	10	80	11
R93	73,74,91,92,93	400	2200	750	15	9

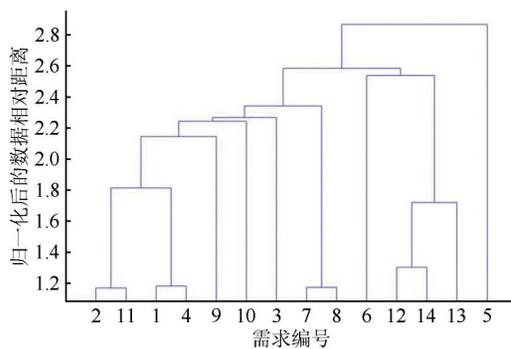


图1 截断后节点数为 14 的部分层次树
Fig. 1 The partial hierarchy tree for node 14

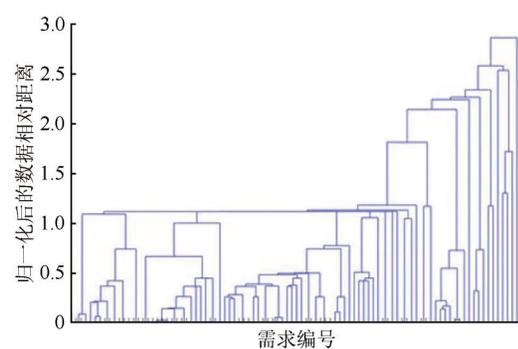


图2 完全层次树
Fig. 2 Complete hierarchy tree

表6 基于FAHP的需求满足度评估
Table 6 The demand satisfaction assessment using FAHP

需求编号	高分一号		高分二号	高分四号	高分五号		高分六号		最大满足度
	宽幅相机	多光谱相机	多光谱相机	全色相机	高光谱成像	全谱段成像	全色相机	宽幅相机	
R01	7.1	5.77	5.35	6.63	9.31	7.98	4.96	6.77	9.31
R09	6.43	5.1	4.68	6	9.31	7.98	4.33	6.1	9.31
R19	5.55	7.55	9	4.85	4.83	4.85	6.85	6.96	9
R27	9.28	7.95	6.64	4.94	4.73	7.74	4.94	7.35	9.28
R30	6.75	7.75	7	5.17	5.17	5.17	6.17	8.41	8.41
R37	5.44	5.44	5.63	4.81	4.81	4.81	4.81	4.88	5.63
R40	8.76	7.43	6.55	4.42	4.93	7.39	5.09	6.83	8.76
R42	4.15	4.15	4.31	4.72	5.56	5.13	4.72	5.15	5.56
R44	5.58	7.58	8.51	4.95	4.76	4.95	6.95	7.01	8.51
R55	8.65	7.32	6.51	4.39	4.81	7.47	4.39	6.79	8.65
R65	7.37	6.37	5.89	6.09	8.81	7.48	4.76	5.81	8.81
R84	6.21	5.21	4.43	7.06	8.51	8	4.63	6.21	8.51
R89	7.73	8.73	7.61	4.96	4.78	4.97	4.96	8.04	8.73
R93	4.1	4.1	3.93	4.15	5.28	5.08	4.15	4.77	5.28

表7 数据抽取实例对应需求数据
Table 7 The demand data for the sample data extraction

需求编号	波段范围/nm		空间分辨率/m	光谱分辨率/nm	量化等级/bit	来源
	波段下限	波段上限				
R39	400	2400	15	10	10	矿产搜寻
R64	450	890	1.5	100	9	水土流失
R07	450	890	1	100	11	地形图
R56	400	2100	15	10	10	湿地监测

表8 凝聚层次算法下需求综合结果
Table 8 The result derived by the Hierarchical Clustering

需求编号	所属聚簇	所属聚簇的聚簇中心需求					需求满足度
		波段范围/nm		空间分辨率/m	光谱分辨率/nm	量化等级/bit	
		下限	上限				
R39	R09	400	2500	30	10	10	7.34
R64	R37	450	890	1	100	10	7.72
R07	R37	450	890	1	100	10	9.65
R56	R09	400	2500	30	10	10	7.34

综上所述，实例中的矿产搜寻需求和湿地监测需求被归为了一类，都可由同一聚簇中心需求去表达，因为他们对遥感数据的需求十分相似，被归为一类再统一表达，去除冗余需求是合理且可行的。这表明聚簇中心需求都能满足簇内大部分需求。通过分析用户需求间的相似程度，合并高度相近的需求条目，从中提取出数量较少、彼

此间差异较大的共性需求和代表性需求，这是本实验的目的所在，而需求满足度的计算和实例展示，都可验证研究方法的可行性和合理性。

5 结论

本研究利用基于层次分析的凝聚层次算法，以93条自然资源调查需求为数据输入，经z-score

算法归一化处理, 采用凝聚层次法对其进行需求综合并抽取 14 条需求综合数据, 最后利用模拟层次综合法评估高分卫星对自然资源调查的需求满足度。试验结果表明 93 条数据中 19 条需求数据的需求满足度大于 9, 82 条需求数据的需求满足度大于 8, 需求满足度评“优良”率为 88%; 11 条需求数据的需求满足度小于 6, 需求满足度评“差”率为 12%。从应用领域上来看, 高分卫星能满足大部分农业、林业、海洋和水资源等领域的资源调查工作, 但是在某些领域如小流域水土流失监测、荒漠化监测、生物量估算、生态评价、环境评价和承载力计算等领域的对地观测能力亟待提升。

通过实验可知, 对自然资源需求进行综合是可行的, 需求综合的结果能较好的代替其余需求, 这使得遥感需求种类大大减少, 对卫星观测能力设计和遥感产品的生产等都有着较大的影响。另外自然资源遥感调查需求分析与需求综合是一个复杂的现实问题, 本文的研究还存在一些不足之处, 后续的研究可以使用精度更高的聚类算法, 并把需求分析应用到遥感对地观测的所有需求领域, 使需求综合结果能更好的满足原始需求。

参考文献 (References)

- Fang C, Hu F, Chen X, Zhu Z Y, Liu Y Q and Ye Q. 2019. Advances in application of remote sensing to natural resources. *Resources Environment and Engineering*, 33(4): 563-569 (方臣, 胡飞, 陈曦, 朱正勇, 刘焯青, 叶琴. 2019. 自然资源遥感应用研究进展. *资源环境与工程*, 33(4): 563-569) [DOI: 10.16536/j.cnki.issn.1671-1211.2019.04.023]
- Gu X F, Zhou X, Zhang S M, et al. 2018. Asia- Oceania GEOSS: A GEO initiative to implement GEOSS for sustainable development in Asia- Oceania[J]. *Journal of Remote Sensing*, 22(4): 658-671 (顾行发, 周翔, 张松梅等. 亚洲大洋洲区域综合地球观测系统计划进展. *遥感学报*, 2018, 22(4): 658-671) [DOI: 10.11834/jrs.20188065]
- Guo R Z, Hu F and Tang X M. 2018. Research on internationalization development strategy of high resolution satellite remote sensing industry. *China Soft Science*, (11): 1-9 (郭仁忠, 胡芬, 唐新明. 2018. 高分辨率卫星遥感产业国际化发展思路研究. *中国软科学*, (11): 1-9) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-9753.2018.11.001]
- Liang G L, Zhou X J and Wang Y Q. 2018. Efficiency evaluation research on ground system of remote sensing satellite based on ADC model. *Command Control and Simulation*, 40(5): 62-68 (梁桂林, 周晓纪, 王亚琼. 2018. 基于 ADC 模型的遥感卫星地面系统效能评估. *指挥控制与仿真*, 40(5): 62-68) [DOI: 10.3969/j.issn.1673-3819.2018.05.013]
- Liu F. 2017. Research on Evaluation Method for Mission Effectiveness of Remote Sensing Satellite System. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences (National Center for Space Sciences, Chinese Academy of Sciences) (刘峰. 2017. 遥感卫星系统任务效能评估方法研究. 北京: 中国科学院大学(中国科学院国家空间科学中心))
- Liu J Y, Sun Y T, Xing R Y, Wang H and Li X C. 2019. Effectiveness evaluation of early warning satellite system for multi-missions. *Aerospace Shanghai*, 36(1): 10-15 (刘建业, 孙应统, 邢瑞阳, 王华, 李晓超. 2019. 面向多任务的预警卫星系统效能评估. *上海航天*, 36(1): 10-15) [DOI: 10.19328/j.cnki.1006-1630.2019.01.002]
- Liu L, Xu Y S and Ma Z X. 2003. A survey to data preprocessing in data mining. *Journal of Gansu Sciences*, 15(1): 117-119 (刘莉, 徐玉生, 马志新. 2003. 数据挖掘中数据预处理技术综述. *甘肃科学学报*, 15(1): 117-119) [DOI: 10.3969/j.issn.1004-0366.2003.01.027]
- Liu L Q, Ding Q L, Zhang T F and Chen J. 2011. Data pretreatment method of fuzzy C-means clustering effects. *Electric Power Science and Engineering*, 27(8): 24-27, 46 (刘丽轻, 丁巧林, 张铁峰, 陈健. 2011. 数据预处理方法对模糊 C 均值聚类的影响. *电力科学与工程*, 27(8): 24-27, 46) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-0792.2011.08.006]
- Ma W Q, Zhang X Q, Cui Q F, Huo G Q. 2014. Study of Multi-User's Earth Observation Satellite Requirements Integrated Preprocessing Model. *Bulletin of Surveying and Mapping*. SO: 141-143, 162 (马万权, 张学庆, 崔庆丰, 霍国清. 2014. 多用户对地观测需求统筹处理模型研究. *测绘通报*. SO: 141-143, 162) [DOI: 10.13474/j.cnki.11-2246.2014.0632]
- Mandal B and Mandal S. 2018. Analytical hierarchy process (AHP) based landslide susceptibility mapping of Lish river basin of eastern Darjeeling Himalaya, India. *Advances in Space Research*, 62(11): 3114-3132 [DOI: 10.1016/j.asr.2018.08.008]
- Nepal B, Yadav O P and Murat A. 2010. A fuzzy-AHP approach to prioritization of CS attributes in target planning for automotive product development. *Expert Systems with Applications*, 37(10): 6775-6786 [DOI: 10.1016/j.eswa.2010.03.048]
- Pan Y, Yang F and Wu Y. 2015. Coverage effectiveness evaluation of remote sensing satellite system based on AHP-FCE. *Geomatics Science and Technology*, 3(2): 42-50 (潘勇, 杨帆, 巫远. 2015. 基于 AHP-FCE 的遥感卫星系统覆盖效能评估. *测绘科学技术*, 3(2): 42-50) [DOI: 10.12677/GST.2015.32007]
- Shen J H, Fu X Y and Zhao Y X. 2011. Improvement of the fuzzy comprehensive evaluation model. *Fuzzy Systems and Mathematics*, 25(3): 127-132 (沈继红, 付肖燕, 赵玉新. 2011. 模糊综合评估模型的改进. *模糊系统与数学*, 25(3): 127-132)
- Tian J and Yan Z F. 2013. Fuzzy analytic hierarchy process for risk assessment to general-assembling of satellite. *Journal of Applied Re-*

- search and Technology, 11(4): 568-577 [DOI: 10.1016/S1665-6423(13)71564-5]
- Tong X D. 2016. Development of China high-resolution earth observation system. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 775-780 (童旭东. 2016. 中国高分辨率对地观测系统重大专项建设进展. *遥感学报*, 20(5): 775-780) [DOI: 10.11834/jrs.20166302]
- Tong X D. 2018. Solidly promoting the construction of Gao Fen project to sever the belt and road initiative. *Spacecraft Recovery and Remote Sensing*, 39(4): 18-25 (童旭东. 2018. 扎实推进高分专项实施助力“一带一路”建设. *航天返回与遥感*, 39(4): 18-25)
- Wu Z C, Xiang W, Li J and Yang Z. 2018. Clustering algorithm for remote sensing application requirements based on satisfaction evaluation. *Journal of Applied Sciences*, 36(4): 635-643 (巫兆聪, 项伟, 李俊, 杨志. 2018. 基于满足度评估的遥感应用需求聚类算法. *应用科学学报*, 36(4): 635-643) [DOI: 10.3969/j.issn.0255-8297.2018.04.007]
- Wu Z C, Xu Z Z and Yang F. 2015. Fuzzy evaluation of application satisfaction for remote sensing satellite. *Journal of Applied Sciences*, 33(3): 299-308 (巫兆聪, 徐卓知, 杨帆. 2015. 遥感卫星应用需求满足度的模糊评估. *应用科学学报*, 33(3): 299-308) [DOI: 10.3969/j.issn.0255-8297.2015.03.008]
- Xiang W. 2018. Research on Synthesizing Method of Remote Sensing Earth-Observation Application Requirements Based on Cluster Analysis. Wuhan: Wuhan University (项伟. 2018. 基于聚类分析的遥感对地观测应用需求综合方法研究. 武汉: 武汉大学)
- You Y. 2008. The research OB evaluation method of system efficiency. *Science and Technology Information*, (29): 553-555 (尤扬. 2008. 系统效能评估及经典方法研究. *科技信息*, (29): 553-555) [DOI: 10.3969/j.issn.1001-9960.2008.29.438]
- Zhao C L, Zhang Z Y and Liu Y. 2017. Application effectiveness evaluation of optical reconnaissance satellite with space-based information support. *Journal of Command and Control*, 3(3): 236-239 (赵程亮, 张占月, 刘瑶. 2017. 光学侦察卫星信息支援应用效能评估研究. *指挥与控制学报*, 3(3): 236-239) [DOI: 10.3969/j.issn.2096-0204.2017.03.0236]
- Zhao W B. 2019. Phase research and practice of upgrading earth observation from test application to system effectiveness in China. *Journal of Remote Sensing*, 23(6): 1036-1045 (赵文波. 2019. “中国高分”科技重大专项在对地观测发展历程中的阶段研究. *遥感学报*, 23(6): 1036-1045) [DOI: 10.11834/jrs.20199162]

Assessing the satisfaction evaluation of high-resolution imaging satellite to the nature resource investigation

GUO Ding^{1,2}, LI Shanshan¹, CHEN Zongxin³, WANG Li²

1. China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China;

2. Major and Special Engineering Center, State Administration of Science, Technology and Industry for National Defense, Beijing 100101, China;

3. School of Resources and Environment, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China

Abstract: All kinds of data resources and application methods of High-resolution Earth Observation applications lead to many problems. How to integrate and clustering the different demands, and how to evaluate the demand satisfaction is the key to the construction of the High-resolution Earth Observation system.

The present paper study the requirements modeling and evaluation of nature resources investigation using analytic hierarchy process. The demand of nature resources investigation for VNIR are selected as the focus of this study. Firstly, the common demands of nature resources investigation are extracted and then demand model are established using demand for four-element model. Secondly, the condensation level algorithm is used to integrate the nature resources investigation demand for the High-resolution Earth Observation. Thirdly, the demand satisfaction of High-resolution Satellite to the nature resources investigation are evaluated using the fuzzy analytic hierarchy process.

The results show that the demand satisfaction of demand cluster except biomass estimation, desertification monitoring and ecological capacity is greater than 8, and the good ratio of demand satisfaction is 88%.

The High-resolution Earth Observation system can meet the need of most of the nature resource investigation, but the ability of ecological assessment for the High-resolution Earth Observation system should be enhanced.

Key words: high-resolution earth observation, nature resource investigation, requirement integrate, fuzzy analytic hierarchy process, requirement satisfaction ratio

Supported by Major and Special Engineering Center, State Administration of Science Project (No. H04W190838)