

# 均衡收益和风险的数字资源服务评价方法

张龙昌<sup>1</sup>, 刘冬升<sup>1</sup>, 杨艳红<sup>2</sup>, 王晓明<sup>1</sup>

(1. 渤海大学 信息科学与技术学院, 辽宁 锦州 121013;

2. 渤海大学 图书馆, 辽宁 锦州 121013)

**摘要:**为读者提供期望的数字资源服务,基于读者体验对大量数字资源服务进行评价成为迫切需要解决的问题。现有基于评分的数字资源服务评价方法更多地考虑评分的收益,缺少对评分风险的研究。提出了一种均衡收益和风险的数字资源服务评价方法,并提出了常用的数字资源服务评价指标;采用5分制方法采集读者对数字资源服务的体验;用均值标准差刻画评分;建立数字资源服务读者的效用函数,计算效用矩阵;根据该问题特点,简化TOPSIS方法对数字资源服务进行比较排序。实例演示了有权重和无权重条件下数字资源服务的评价过程,同时通过分析说明提出方法的合理性。该方法从一个新的视角解决数字资源服务评价问题,对数字资源服务的精确评价提供了一条新的解决思路。

**关键词:**数字资源服务;评价;收益和风险;读者体验;TOPSIS

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)08-0159-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.08.034

## An Evaluation Method of Digital Resources Services Balanced Benefits and Risks

ZHANG Long-chang<sup>1</sup>, LIU Dong-sheng<sup>1</sup>, YANG Yan-hong<sup>2</sup>, WANG Xiao-ming<sup>1</sup>

(1. College of Information Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, China;

2. Library of Bohai University, Jinzhou 121013, China)

**Abstract:** In order to provide the desired service for readers, evaluating digital resources services based on the experience of readers has become an urgent problem to be solved. The existing evaluation methods based on rating has considered more benefits of rating and no risk. An evaluation method of digital resources services balanced benefits and risks is presented. A few common attributes for digital resource services are defined. 5-point method is used to collect the services experience of readers. The ratings are described by mean standard deviation and create a utility function for the read of digital resource service request to calculate rating matrix. According to the characteristics of the issue, a simplified method of TOPSIS is constructed to sort digital resource services. Examples demonstrate the digital resource services evaluation process under weighting and no weighting and analyze the approach is reasonable and effective. The method solves the issue of digital resource services evaluation from a novel perspective, and a novel solution is presented to evaluate accurately digital resource services.

**Key words:** digital resources services; evaluation; benefits and risks; experience of readers; TOPSIS

## 0 引言

信息技术的发展促使互联网上出现大量的数字图书馆、学术数据库、网络文库等数字资源服务。大多实体图书馆和档案馆已能够有效提供数字化服务,如世界数字图书馆、中国国家数字图书馆等;也有从诞生就提供数字资源服务的数字图书馆,如超星数字图书馆。

学术数据库是一种提供科技文献数字资源的重要数字资源服务,如 Science Citation Index、Engineering Index、EBSCO、知网、万方、维普等。互联网上还有一些提供文库资源的服务,如百度文库、新浪文库、豆丁网、道客巴巴等。伴随云计算的兴起,互联网上大数据的形成,数字资源服务将进一步增加,读者将像选择商品一样

收稿日期:2016-06-16

修回日期:2016-09-30

网络出版时间:2017-06-05

**基金项目:**教育部人文社会科学研究青年基金项目(15YJC870028);辽宁省哲学社会科学规划基金项目(L15BTQ002);辽宁省自然科学基金(2015020009);辽宁省科学技术研究资助项目(L2014451)

**作者简介:**张龙昌(1977-),男(满族),副教授,博士(博士后),CCF会员(E200020123M),研究方向为服务计算、云计算、数字图书馆;刘冬升(1988-),男,硕士,研究方向为服务计算、云计算、数字图书馆。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170605.1506.028.html>

从互联网(或云计算平台)上选择服务质量高的数字资源服务。对同类型的数字资源服务进行有效评价,作为读者选择服务的依据,能有效改善大数据环境下由于信息过载、读者无从下手等不良的用户体验。

评分方法被广泛应用于客户/用户/读者感知数字资源服务质量的评价中,通常采用 5 分制(即 5-优、4-良、3-可、2-劣、1-差);以往研究通常将所有客户/用户/读者的评分求平均(体现评分的总体状况,即收益),然后采用多属性决策方法对服务进行排序,没有考虑评分序列的分布(体现评分的稳定状况,即风险)对决策结果的影响。为解决以往评价方法只考虑收益不考虑风险造成评价结果偏差的问题,提出均值-标准差描述客户/用户/读者的评分序列,在描述评分序列收益的同时,充分考虑评分序列的风险;基于均值-标准差的评分将数字资源服务的各属性描述为均值-标准差,形成了面向均值-标准差的多属性决策问题。然而针对该问题的研究存在不足,提出改进 TOPSIS 方法解决面向均值-标准差的多属性决策问题,为客户/用户/读者提供选择服务依据。

## 1 相关工作

目前存在一些对数字图书馆综合服务质量评价的方法。借鉴国际上已有的评价方法,从国内公共图书馆的实际情况出发,公共数字图书馆服务质量的评价需要兼顾读者和数字图书管理者,从读者和数字图书管理者角度提出的服务评价指标体系是有意义的尝试<sup>[1]</sup>;还有一些从不同角度建立的数字资源服务评价指标体系促进了评价指标体系的发展<sup>[2-5]</sup>。建立全面、准确的评价指标体系是科学评价数字资源服务的基石,高效、准确的评价方法是不可缺少的工具。层次分析法被广泛应用于社会生活中具有定性指标的多属性决策中,也有研究者对其进行改进并应用到高校图书馆数字资源服务评价体系中<sup>[6]</sup>。为解决具有模糊性指标的数字资源服务评价,需要建立评价指标对评价等级的隶属度函数,从而进行模糊评价,再利用 BP 神经网络对数字资源服务进行评价也是不错的选择<sup>[7]</sup>。从读者有效利用的网络范围内,通过网关统计的方法,对读者的行为进行分析,虽然不能获得精确的数字资源使用数据,但能获得可观的结果<sup>[8]</sup>。为研究数字图书网站的接口可用性,从用户应用的角度出发,研究者对网站的接口进行评估<sup>[9-11]</sup>。此外,还有一些研究成果丰富了数字资源服务评价方法,如基于结构方程的方法<sup>[12]</sup>、基于 GAP 理论模型的方法<sup>[13]</sup>。在对数字资源服务进行评价后,提出了一些改进数字资源服务的对策和建议为数据

## 2 数字资源服务评价

### 2.1 评价指标及描述

数字资源服务评价过程,首先需要建立数字资源服务评价的指标体系,对于指标体系的研究成果已经较多,重点考虑与读者感知相关的数字资源服务指标,体现服务质量指标的易用性、响应速度、可用性等,体现数字资源质量指标的覆盖面、易读性、参考价值、知识量等。为简化对评价方法的描述,这里选取对读者相对重要的指标(易用性、响应速度、易读性、参考价值)作为指标体系,实际评价过程中可根据实际情况对指标体系进行重建,不影响评价方法的使用,读者对数字资源服务指标的体验采用 5 分制打分法。图 1 是 3 个数字文库易用性指标的 10 个用户反馈分数分布情况,其中文库 1 的分数为(4,4,4,5,4,4,4,5,4,4),文库 2 的分数为(3,5,3,5,5,5,3,5,3,5),文库 3 的分数为(1,3,2,2,3,3,2,3,2,3)。文库 1 与文库 2 的均值(效益)为 4.2,文库 3 的均值(效益)为 2.4,显然在效益相同的情况下,文库 1 评分更稳定,是更好的选择。因此采用均值描述评分的效益,用标准差描述评分的风险,更能精确描述指标的评分状况。

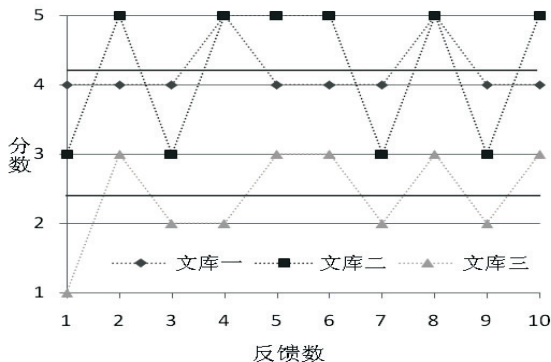


图 1 三个数字文库易用性指标评分

假设某请求数字书库服务读者的效益率服从或接近正太分布,设预期效益为  $E$ 、效益标准差为  $\delta$ ,其效用函数为:

$$U = E - 0.005A\delta^2 \quad (1)$$

其中,  $U$  为效用值;  $A$  为请求服务读者个人的风险厌恶指数。

读者对风险的风险厌恶程度有三种类型:风险喜好型、风险中性型和风险厌恶型。前两种在服务评价时不需要考虑风险,但绝大多数读者为风险厌恶型,因此规定一个风险厌恶系数  $A$  的范围。参照美国投资理财行业规定,设定  $A$  在 2~6 之间,用来测度风险厌恶程度,对于不同读者,  $A$  的测定可采用问卷调查法获取。

### 2.2 简化的 TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)<sup>[16]</sup> 法是 C. L. Hwang 和 K. Yoon

于 1981 年提出的,是根据有限个评价对象与理想化目标的接近程度进行排序的方法,在现有的对象中进行相对优劣的评价。文中对其进行简化改进,以适应面向均值-标准差的数字资源服务排序,首先将问题公式化。

设待评价数字资源服务集  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ , 由  $n$  个评价指标  $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  构成评价指标体系,经过读者打分后,用效用函数(式(1))计算效用值,构成数字资源服务评价矩阵  $U$ 。

$$U = [u_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中,  $u_{ij}$  表示服务  $s_i$  的  $c_j$  指标的效用值。  
设请求数字资源服务读者对各指标权重为  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ,  $w_j (j = 1, 2, \dots, n)$  表示请求服务读者对  $c_j$  属性的权重,由于读者很难精确指定指标权重,这里同样采用打分方式计算,方法如下:

$$w_j = \frac{r_j}{\sum_{i=1}^n r_i} \quad (3)$$

其中,  $r_j$  为请求服务读者对指标  $j$  的打分(分数从 1 ~ 5)。

基于数字资源服务评价矩阵和请求服务读者的权重,将备选的数字资源服务进行排序,基于 TOPSIS 思想给出以下排序步骤。

步骤 1:构建加权评价矩阵,经过加权后,在评价矩阵中体现请求服务读者对各指标的重要程度;这里不需规格化,因为评价矩阵各指标都由相同的打分标准计算出效用,具有相同量纲,从而有效减少了计算工作量。

$$\bar{U} = [\bar{u}_{ij}]_{m \times n} = [u_{ij} \times w_j]_{m \times n} = \begin{bmatrix} c_{11} \times w_1 & c_{12} \times w_2 & \cdots & c_{1n} \times w_n \\ c_{21} \times w_1 & c_{22} \times w_2 & \cdots & c_{2n} \times w_n \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ c_{m1} \times w_1 & c_{m2} \times w_2 & \cdots & c_{mn} \times w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

步骤 2:计算正理想解和负理想解。  
为确定备选服务集中服务的优劣,需要定义比较标准,使用加权矩阵的正理想解  $A^+$  和负理想解  $A^-$  作为比较标准。在评价矩阵指标体系中存在效益型指标和成本型指标,效益型指标值越大对评价结果越有利(如易用性、易读性、参考价值),成本型指标值越小对评价结果越有利(如响应速度);由于评分 5 到 1 分别表示优良可劣差,对成本型指标(如响应速度)描述为响应速度越快越好,因此在计算时不需要对效益型指

标和成本性指标加以处理。加权评价矩阵的正负理想解计算方法见式(5)。

$$A^+ = \{c_1^+, c_2^+, \dots, c_n^+\} = \{c_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} (\bar{u}_{ij})\} \quad (5)$$
$$A^- = \{c_1^-, c_2^-, \dots, c_n^-\} = \{c_j^- = \min_{1 \leq i \leq m} (\bar{u}_{ij})\}$$

其中,  $A^+$ 、 $A^-$  为正、负理想解向量;  $c_j^+$ 、 $c_j^-$  为指标  $j$  的效用正负理想值。

正理想解是最好的数字资源服务,它的各个指标值都达到各备选方案中的最好值;负理想解是最差数字资源服务,它的各个指标值都达到各备选方案中的最坏值;一般情况下正、负理想解是不存在的。

步骤 3:计算备选方案到正负理想解的距离。  
下面给出计算每个方案到正理想解和负理想解的距离,方案距离的计算仍然使用被经常使用的  $n$  维欧氏距离。设备选方案到正理想解  $A^+$  的距离为  $d_i^+$ ,到负理想解  $A^-$  的距离为  $d_i^-$ ,公式如下:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_j^+ - \bar{u}_{ij})^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{u}_{ij} - c_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

步骤 4:计算备选服务的最优度。  
TOPSIS 的基本思想是距离正理想解越近并且距离负理想解越远的备选服务越优;反之距离负理想解越近并且距离正理想解越远的备选服务越差。下面基于 TOPSIS 的基本思想给出备选服务的最优度计算公式:

$$R_i = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)}, i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

其中,  $R_i \in [0, 1]$ ; 当  $R_i = 0$  时,  $d_i = A^-$ , 表示该服务为最劣服务;当  $R_i = 1$  时,  $d_i = A^+$ , 表示该服务为最优服务。在实际的多目标决策中,  $A^+$  和  $A^-$  存在的可能性很小。

根据  $R_i$  的值按从小到大的顺序对各服务进行排列。排序结果贴进度  $R_i$  值越大,该服务越优,  $R_i$  值最大的为最优服务。

### 3 实例验证与分析

对互联网上的 5 个数字书库服务(定义为  $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$ )的 4 个指标(易用性、响应速度、易读性、参考价值)进行问卷调查,发出 100 份问卷,收回 55 份,取其中 10 份的评分数据为基础做实例演示。表 1 是 5 个数字书库服务的评分信息。

现有数字书库服务请求读者,经过问卷调查获得其风险厌恶系数  $A = 2$ ,由式(1)计算数字书库服务的效用信息(见表 2)。

表 1 数字书库服务评分

服务	易用性	响应速度	易读性	参考价值
1	4,4,4,5,4,4,4,5,4,4	5,3,5,5,4,5,4,3,4,5	4,4,4,5,4,5,4,4,4,5	5,4,5,5,4,5,4,5,4,5
2	3,5,3,5,5,5,3,5,3,5	5,5,1,5,1,5,5,4,4,5	4,4,1,4,1,4,4,4,4,3	4,5,1,4,1,4,5,4,4,3
3	1,3,2,2,3,3,2,3,2,3	4,3,3,2,3,4,2,3,4,3	4,3,5,2,5,3,2,3,4,3	1,3,1,2,3,1,2,3,1,3
4	4,3,4,4,5,2,3,2,4,3	2,3,2,4,3,2,3,3,4,3	3,3,2,2,3,2,3,2,3,3	4,3,4,4,3,3,3,4,4,3
5	2,3,4,3,2,2,4,4,3,3	2,3,1,3,4,4,1,1,3,2	5,3,2,3,3,3,4,2,3,1	2,4,4,1,3,2,2,2,4,3

表 2 数字书库服务的效用信息

服务	易用性	响应速度	易读性	参考价值
1	4.198 2	4.293 2	4.297 7	4.597 3
2	4.189 3	3.973 3	3.284 3	3.479 4
3	2.395 1	3.094 6	3.388 4	1.991 1
4	3.390 7	2.894 6	2.597 3	3.497 2
5	2.993 3	2.386 2	2.887 9	2.688

该读者给出的 4 个指标评分为:5、4、4、5,使用式(3)计算读者权重为  $W=(0.28,0.22,0.22,0.28)$ ;为更好地说明评价方法,再考虑各指标权重相同时的计算情况(这里不指定权重)。无权重评价信息见表 2,有权重评价信息见表 3。

表 3 加权的数字书库服务的效用信息

服务	易用性	响应速度	易读性	参考价值
1	1.175 5	0.944 5	0.945 5	1.287 2
2	1.173 0	0.874 1	0.722 5	0.974 2
3	0.670 6	0.680 8	0.745 4	0.557 5
4	0.949 4	0.636 8	0.571 4	0.979 2
5	0.838 1	0.525 0	0.635 3	0.752 6

由式(5)获得无权重正理想解  $A^+=\{4.198\ 2, 4.293\ 2, 4.297\ 7, 4.597\ 3\}$ 、负理想解  $A^-=\{2.395\ 1, 2.894\ 6, 2.597\ 3, 1.991\ 1\}$ , 有权重正理想解  $A^+=\{1.175\ 5, 0.944\ 5, 0.945\ 5, 1.287\ 2\}$  和负理想解  $A^-=\{0.670\ 6, 0.525\ 0, 0.571\ 4, 0.557\ 5\}$ ;由式(6)计算的各数字书库服务到正负理想解的距离见表 4。

表 4 数字书库服务到正负理想解的距离

服务	无权重		有权重	
	$d_i^+$	$d_i^-$	$d_i^+$	$d_i^-$
1	0	3.858 9	0	1.050 4
2	1.542 4	2.658 9	0.390 7	0.755 5
3	3.508 1	0.816 0	0.947 1	0.233 6
4	2.590 3	1.805 4	0.616 9	0.517 7
5	3.274 4	1.089	0.819 7	0.265 0

由式(7)计算 5 个数字书库服务的最优度并排序,无权重排序结果为  $R_1(1) > R_2(0.632\ 9) > R_4(0.410\ 7) > R_5(0.249\ 6) > R_3(0.188\ 7)$ , 有权重排序结果为  $R_1(1) > R_2(0.659\ 1) > R_4(0.456\ 3) >$

$R_5(0.244\ 3) > R_3(0.197\ 8)$ 。由计算结果得数字书库服务 1 是该实例中服务请求读者最优服务。

下面做一个直观说明,将表 1 中的数字书库评价信息转换成均值方差,见表 5。

表 5 服务评分的均值方差表示

服务	易用性	响应速度	易读性	参考价值
1	4.2,0.177 8	4.3,0.677 8	4.3,0.233 3	4.6,0.266 7
2	4.2,1.066 7	4.2,0.666 7	3.3,1.566 7	3.5,2.055 6
3	2.4,0.488 9	3.1,0.544 4	3.4,1.155 6	2,0.888 9
4	3.4,0.933 3	2.9,0.544 4	2.6,0.266 7	3.5,0.277 8
5	3,0.666 7	2.4,1.377 8	2.9,1.211 1	2.7,1.122 2

在表 5 中,服务 1 各指标在效益和风险方面都优于服务 2,排序方法获取服务 1 最为合理;服务 2 相对于服务 4 各指标的效益高,但风险大,由于假定效率服从正太分布,所以风险在收益中占的比重相对较小,可以通过调整风险厌恶系数或效用函数常数实现;服务 4 除了易读性指标,其他指标都明显好于服务 5;服务 5 相比服务 3,服务 5 的易用性、参考价值好于服务 3,而响应速度、易读性劣于服务 3,总体上服务 5 稍好于服务 3。在指标权重相同情况下评价方法是合理的;在指标权重不同情况下,在计算效用完毕后对指标加权,体现侧重程度,更符合不同服务请求读者对指标的个性化需求,排序结果与无权重结果相同主要源于服务 1 各指标优并且各指标权重相差不大。

4 结束语

信息技术的发展催生了大量数字资源服务的出现,尤其是云计算技术的兴起使得提供数字资源服务变得低成本、高效率,数字资源服务数量将进一步扩大。根据读者需求,对数字资源服务进行自动评价成为迫切需要解决的问题。评分法被广泛应用于数字资源服务的读者体验中,以往方法对读者评分的考虑仅仅关心收益(即均值),缺乏对风险(即评分的波动)的考虑,导致评估结果不稳定,同时考虑均值和标准差对数字资源服务评价结果的影响,提出了均衡收益和风险的数字资源服务评价方法。实例验证结果证明,该方法能有效弥补数字资源服务评价中存在的不足。

但是,也存在若干问题需进一步研究:有效描述数

字资源服务的完备的指标体系的调查与建立;可信的数字资源服务读者体验数据的获得;激励读者提交数字资源服务体验的方法;异构读者体验数据的融合等。

参考文献:

[1] 马宁宁,李春明,周晨.基于不同立场的公共数字图书馆服务评价研究[J].情报理论与实践,2013,36(7):63-66.

[2] 肖剑平.基于数字资源成熟度的用户服务绩效评价研究[J].情报理论与实践,2009,32(8):80-82.

[3] 庞弘燊,徐文贤.数字资源评价与优选指标体系研究[J].图书情报工作,2009,53(17):27-30.

[4] 梁茹,李建霞,刘颖,等.高校图书馆数字资源综合服务能力评价[J].大学图书馆学报,2015,33(2):38-46.

[5] 范小华,谢德体,龙立霞.数字资源评价指标体系研究[J].图书情报工作,2008,52(10):74-77.

[6] 梁冬莹,周庆梅,王克奇.基于层次分析法的数字资源服务绩效评价体系构建[J].情报科学,2013,31(1):78-81.

[7] 周庆梅,王克奇.图书馆数字资源服务绩效模糊神经网络评价研究[J].情报科学,2015,33(2):41-45.

[8] 刘慧.基于网络行为的图书馆数字资源评价方法研究[J].现代情报,2015,35(2):62-66.

[9] Iqbal M,Ullah A. Usability evaluation of HEC national digital

library website: a qualitative approach [J]. Library Hi Tech News,2016,33(3):8-10.

[10] Ameen K, Erdelez S. Instructing usability evaluation in LIS curriculum: a case of the US [J]. Pakistan Journal of Information Management & Libraries, 2016, 33(3): 8-10.

[11] Sun Y T, Manabat A K M, Chan M L, et al. Accessibility evaluation: manual development and tool selection for evaluating accessibility of E-textbooks [M]//Advances in neuroergonomics and cognitive engineering. [s. l.]: Springer International Publishing, 2017: 327-337.

[12] 卢扬,田红梅,任延安.基于结构方程的高校图书馆数字资源评价实证研究[J].图书情报工作,2015(S1):88-90.

[13] 余昭芬,黄德斌,汤艺,等.GAP理论模型在数字资源绩效评价中的应用[J].大学图书馆学报,2013,31(4):62-68.

[14] 赵俊颜.图书馆数字资源用户满意度的测评研究[J].情报理论与实践,2012,35(3):91-94.

[15] 赵春辉.我国高校图书馆绩效评价研究进展及问题分析[J].图书馆工作与研究,2015(2):16-20.

[16] Hwang C L, Yoon K. Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey [M]. [s. l.]: Springer Science & Business Media, 2012.

(上接第 158 页)

算法在内的各种算法的优点,可实现具有更高价值的交通监控系统的开发。

参考文献:

[1] 唐慧娟,李军民.智能视频监控中的运动目标检测研究[J].科技创新与应用,2016(12):41.

[2] 吴群,王田,王汉武,等.现代智能视频监控研究综述[J].计算机应用研究,2016,33(6):1601-1606.

[3] 李俊韬,张海,范跃祖,等.复杂场景条件下的运动目标检测算法[J].光电工程,2004,31:36-39.

[4] 李广伦,爰伟群.视频监控系统中运动目标的实时检测[J].计算机工程,2009,35(17):217-218.

[5] Fejes S, Davis L S. What can projections of flow fields tell us about the visual motion [C]//Sixth international conference on computer vision. [s. l.]: IEEE, 1998: 979-986.

[6] Lopez S, Horstrand P, Callico G M, et al. A low-computational-complexity algorithm for hyperspectral endmember extraction: modified vertex component analysis [J]. IEEE Geosci-

ence and Remote Sensing Letters, 2012, 9(3): 502-506.

[7] 李海明,陈新,吴芳,等.复杂背景下运动目标的光流区域提取方法[J].福州大学学报:自然科学版,2001,29(4):101-103.

[8] Gan M G, Chen J, Liu J, et al. Moving object detection algorithm based on three-frame-differencing and edge information [J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2010, 32(4): 894-897.

[9] Tsai D M, Lai S C. Independent component analysis-based background subtraction for indoor surveillance [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(1): 158-167.

[10] 李亮,罗毅.帧间差分法在视频监控中的应用研究[J].四川理工学院学报:自然科学版,2015,28(6):58-62.

[11] 陈凤东,洪炳镛.基于动态阈值背景差分算法的目标检测方法[J].哈尔滨工业大学学报,2005,37(7):883-884.

[12] 章毓晋.图像工程[M].北京:清华大学出版社,2005.

[13] 朱虹.数字图像处理基础与应用[M].北京:清华大学出版社,2013.