

遥感与分形理论在确定水利工程生态环境 影响评价范围中的应用

王海云¹, 王振华²

(1. 三峡大学水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 宜昌市建筑设计研究院, 湖北 宜昌 443000)

摘要 以观音堂水利工程为例, 采用遥感技术和分形理论, 初步构建了定量评价水利工程建设区陆面生态环境影响评价范围的基本框架。应用遥感影像数据进行解译, 归类得到建设区各类生态环境影响模地, 经生态优势度计算得出观音堂水利工程建设区林地拼块的优势度高达 88.11%, 通程度也高 ($T_d = 86.51\%$, $T_f = 92.30\%$), 是生态质量受影响的控制性绝对优势组分, 生态系统分形规律的标区明显, 形成了一个相对孤立的生态系统。依据主要生态影响及其变化程度, 确定该工程生态环境影响评价范围的面积为 67.4 km²。

关键词 生态环境 分形理论 评价范围 水利工程

中图分类号 X322

文献标识码 A

文章编号 1006-7647(2011)06-0062-04

Application of remote sensing and fractal theory in determining evaluation scope of eco-environmental impact of water conservancy projects / WANG Hai-yun¹, WANG Zhen-hua² (1. College of Hydraulic & Environment Engineering, Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. Yichang Architectural Design & Research Institute, Yichang 443000, China)

Abstract Taking Guanyintang Water Conservancy Project as an example, the basic framework for quantitatively assessing the evaluation scope of eco-environment impact of water conservancy projects was preliminarily established by use of the remote sensing technique and the fractal theory. Through the interpretation of remote sensing image data, the molds of various eco-environment impacts in the construction area were classified. The value of dominance of forest pieces in the construction are of Guanyintang Water Conservancy Project was up to 88.11% by calculating the ecological dominance. The degrees of density and frequency of the forest pieces ($T_d = 86.51\%$, $T_f = 92.30\%$) were also high. They were the controlling absolute advantage components of the affected ecological quality. The marked area of the fractal ecological system was significant, and a relatively isolated ecosystem was formed. According to the main ecological impact and change, the evaluation scope of Guanyintang Water Conservancy Project was determined to be in an area of 67.4 km².

Key words eco-environment; fractal theory; evaluation scope; water conservancy project

确定水利工程建设对陆面生态环境的影响评价范围较为困难。一方面工程建设的影响从点(坝区)到线(河段、河流)到面(库区生态环境)到体(流域自然-社会-经济的复合生态系统)各不相同;另一方面影响是随机的、离散的、非连续的复杂系统, 陆面生态系统中各种生物之间以及各种生物与它们的无机环境之间的关系错综复杂, 工程建设对环境的影响难以判断。为科学合理地确定评价范围, 明确水利工程对一个地区的生态负荷及其动态变化原因, 以观音堂水利工程建设为例, 应用遥感技术和分形理论探索水利工程建设对陆面生态环境影响的评价范围。

1 确定陆面生态环境影响评价范围的基本 准则

1.1 生态优势度指标

生态优势度指集中于一个或几个植物种类的程度, 种群组成简单的群落多样性指数低、生态优势度高, 群落的优势度往往集中在几个少数种群上;反之, 种群组成较复杂的群落生态优势度低, 这就构成了生态类型的斑块特征。

由于生态系统是由不同斑块有规律地组成, 同时它又是一个具有多样性的系统, 无论是空间上还

是时间上各类斑块都存在复杂性和变异性,表现出明显的时空特征,具有从简单到复杂、从低级到高级的发展规律,从而使看似复杂、无序的生态环境问题(生物多样性、景观异质性、生态系统稳定性等)的背后隐藏着非线性可控的耗散规律,在微分成单元以后,各子系统均呈现出自相似性,分形理论恰好可以揭示这些规律。斑块分维数用来衡量斑块形状的复杂程度或斑块形状影响内部斑块的变化过程^[1-2]。生态分形打破了传统研究方法对尺度的过分依赖,为研究评价范围提供了一条途径。

1.2 陆面生态系统的整体性

陆面生态系统中各种生物以它们与周围无机环境之间的错综复杂关系组成一个有机整体,一个成分的变化将会对全群落和整个生态系统产生反响性效应^[3],某些结构成分的微小刺激可能会导致整个生态系统产生巨大的反应,局部的变化可能通过整个系统的调节而得以恢复。因此,从陆面生态系统的整体性出发,将建设项目作为生态系统中的一个作用因子,这样才能反映出项目建设与陆面生态系统各因子之间在时间和空间上相互作用产生的变化规律,从而确定一个合适的评价范围。

1.3 水利工程建设的特殊性

水利工程建设的空间布局有点状(大坝、电厂)、线状(施工道路、公路)、蛛网状(管线、引洪道),形成了不同的施工方式和运营特点,影响方式和特点各异。针对其特殊性确定评价范围,可以科学地揭示项目建设对生态环境的影响程度^[4-5]。

1.4 生态环境的敏感性

水利工程通常在水资源欠开发、经济落后的地区选址,这些地区通常又是生态环境比较敏感和脆弱的区域,或者是区域内存在环境限制因子的“两控区”,区域生态系统抗干扰能力较脆弱,项目建设对其的影响相对较大,范围也较广。

2 生态环境影响评价范围确定的难点

2.1 生态环境信息的不确定性和不易获取

《环境影响评价技术导则》(以下称《导则》)规定“生态因子之间相互影响和相互依存的关系是划定评价范围的原则和依据”,也就是说,生态环境影响评价范围以受影响的各种生物及非生物因子为确定评价范围上的主体。然而,各种生物及非生物因子构成的非污染生态信息具有不确定性,实际操作时不易获取,使生态环境影响定量评价变得更加困难。

2.2 缺乏可行的定量评价方法

《导则》规定“评价范围要以重要评价因子受影响的方向为扩展距离,一般不能小于 8 ~ 30 km,2 ~

8 km,1 ~ 2 km^[6]”,但在实际环评中水利工程建设涉及的影响距离比规定的高限值还大得多,项目布局分别按照点、线、网状进行,在水系、地形地貌、生态特征、工程规模、能流物流强度、场地与作业点、集中临时生活区等因素上具有很大的区别,针对生态系统的类型、生态系统的开放性特征生态因子的调查内容和评价重点差别较大,目前没有针对水利工程建设具体可行的评价范围确定方法。

3 构建评价范围的基本框架

3.1 依据建设区生态系统特征确定评价范围

工程建设区具有各自不同的生态系统特征,生态环境影响的核心问题就是随着工程建设的进程,在生态环境系统影响时空动态变化全生命周期中,建设项目或规划影响区域自然生态体系是否超过生态阈值而失稳、生物多样性会不会降低、自然资源是否在生态承载容量范围、区域性水土流失是否加剧。因此,可根据生态完整性、生态敏感问题和区域生态问题的直接影响和间接影响确定评价范围。

3.2 应用分形学建立定量评价模型

分形理论^[7-8]可用于揭示非线性系统中有序和无序几何形态,在很宽的尺度范围内,系统无特征尺度却有自相似性和自仿射性。生态系统是典型的热力学系统与耗散自组织系统,生物群落是生态系统的核心,具有标度不变性的自相似性特点,并且这样的自相似性存在于一定的标度范围内,产生了不规则、不稳定且具有高度复杂结构的分维数值现象,这就为利用分形模型解释生态系统受工程影响程度奠定了理论基础^[9]。

$$\text{分形式} \quad N(r) = K^D \quad (1)$$

式中: $N(r)$ 为在一定的观测尺度 r 上所获得的某种分形变量; K 为比例常数; D 为分维数。

根据式(1)从不同的层次和尺度调查收集生态系统在某一观测尺度内的复杂、无序的生态环境问题,探寻隐藏着的非线性可控的耗散规律,在微分成单元以后,各子系统均呈现出自相似性斑块,结合斑块分维数的实际意义,在评价区选用控制性生态景观来揭示受影响的评价范围。

斑块分维数用来衡量斑块形状的复杂程度或斑块形状影响内部斑块的变化过程,计算公式为

$$P = kA^{\frac{F_d}{2}} \quad (2)$$

其中

$$F_d = \frac{2\ln\left(\frac{P}{K}\right)}{\ln A}$$

式中: P 为斑块周长; k 为常数, $k = 4$; A 为斑块面积; F_d 为斑块分维数。

4 研究实例

4.1 研究区概况

观音堂水利工程位于湖北省西部长江中上游的秭归县(长江南岸) 青干河流域梅家河与青干河两岔河汇流口下游,距秭归县城茅坪镇约 120 km。地理坐标在东经 110°15′ ~ 110°45′、北纬 30°43′ ~ 31°00′ 之间,总库容为 0.4618 亿 m³,电站总装机容量为 16 MW,属中型水库,尾水与三峡水库(175 m 蓄水位)回水相接。

项目处于三峡库区,属生态敏感区非污染型项目,直接影响区域为 26 hm²,地形以高山为主。考虑到项目建设后自然生物群落的生物量和绿地面积减少了 50%,主要生态景观受到扰动,连通性有所变差,土壤理化性质生产能力发生了一定的变化,水体理化性质有一定的改变等特点,选择以大坝为中心扩展 12 km 为评价核心区,建设边界线扩展 40 km 的范围作为影响评价研究区域,见图 1。

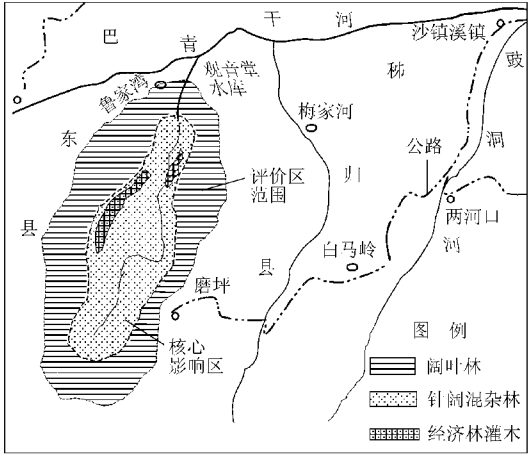


图 1 观音堂水利工程评价区示意图

4.2 数据来源及处理

数据来源于卫星 Landsat7 TM/ETM⁺ (30 m 分辨率)和 SPOT5 (2.5 m 分辨率) 遥感影像,成像时间为 2008 年 6—8 月,所用的影像数据是在天气晴朗、少云且植被对太阳有效辐射吸收比例强的条件下成像,图像精度满足 1:50 000 测图精度要求,见图 2、图 3。

用美国 ERDAS 公司开发的遥感图像处理系统和专题制图仪,以及高分辨率的法国 SPOT5 卫星数据进行解译,调用“Classifier-》Unsupervised Classification”执行非监督分类,重复自组织数据分析得到集群组数。将得到的集群组自然光谱组归到其对应的类别中,应用地理信息等相关资料,将其合并成水体、建设用地、草地、耕地、灌木林地、林地、裸土地、苗圃地、疏林地等几种类型,再调用遥感图像处理系统对上述类别进一步归类,得到建设区生态环



图 2 2008 年 6 月 Landsat7 TM 遥感影像

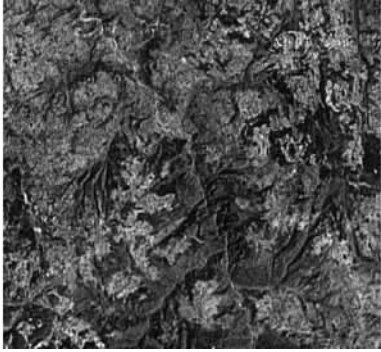


图 3 2008 年 6 月卫星影像融合图(工程主要影响区域)境影响模地范围^[10]。

4.3 评价范围的确定

工程建设对生态系统影响的边界确定,可以通过传统生态学中优势度法进行识别判定,优势度计算公式为

$$H = \frac{T_d + T_f + 2L_p}{4} \tag{3}$$

式中:H 为优势度;T_d 为分类拼块密度;T_f 为频率,即拼块出现样方数与总数之比;L_p 为景观比例。

按式(3)计算各拼块的优势度,结果见表 1,由表 1 得出观音堂水利工程建设区林地是环境资源拼块中生态环境质量调控能力最强的高亚稳定性元素类型,优势度高达 88.11%,拼块密度和频率(通程度)高(T_d = 86.51%, T_f = 92.30%),是建设区生态质量的控制性绝对优势组分,因此,可以判定林地是评价区的主要拼块。

表 1 研究区景观生态体系各拼块优势度值 %

拼块类型	T _d	T _f	L _p	H
林地	86.51	92.30	91.74	88.11
疏林地	2.57	2.83	2.78	1.82
灌丛	3.04	2.14	3.32	2.65
坡耕地	6.17	1.30	1.42	3.80
河流	1.01	1.16	0.51	2.07
公路	0.70	0.27	0.23	1.55

应用 ArcGIS ArcMap 对青干河流域生态环境信息库中的空间数据进行统计分析,按式(2)计算出不同生态类型的斑块分维数,结果见表 2。由表 2 得

出32个斑块林地分维数最大,说明区域林地斑块形状的复杂程度较大,苗圃地、草地分维数最小,灌丛斑块出现跳跃现象,表明人为建设干扰活动形成的拼块形状较为简单,复杂程度差异并不大。

表 2 不同数据点的斑块分维数

点号	林地	灌丛	坡耕地	裸土地	疏林地	苗圃地	草地
1	1.02	1.01	1.10	1.06	1.04	1.05	1.03
2	1.08	1.01	1.15	1.15	1.10	1.07	1.03
3	1.10	1.03	1.19	1.19	1.16	1.07	1.03
4	1.17	1.03	1.21	1.22	1.18	1.07	1.04
5	1.20	1.03	1.21	1.24	1.19	1.07	1.05
6	1.26	1.03	1.22	1.25	1.19	1.08	1.05
7	1.29	1.04	1.22	1.26	1.20	1.08	1.05
8	1.30	1.04	1.23	1.26	1.21	1.10	1.05
9	1.31	1.05	1.23	1.27	1.22	1.10	1.05
10	1.31	1.05	1.22	1.28	1.23	1.15	1.06
11	1.32	1.05	1.22	1.28	1.24	1.16	1.06
12	1.34	1.07	1.24	1.28	1.25	1.16	1.07
13	1.35	1.07	1.26	1.28	1.25	1.16	1.07
14	1.37	1.08	1.26	1.29	1.25	1.16	1.07
15	1.37	1.08	1.27	1.29	1.26	1.16	1.08
16	1.40	1.04	1.28	1.29	1.27	1.16	1.08
17	1.40	1.11	1.28	1.29	1.27	1.16	1.08
18	1.41	1.16	1.29	1.29	1.28	1.16	1.09
19	1.41	1.19	1.29	1.30	1.29	1.16	1.09
20	1.42	1.26	1.31	1.30	1.29	1.16	1.09
21	1.42	1.28	1.31	1.30	1.30	1.16	1.09
22	1.43	1.30	1.33	1.30	1.31	1.16	1.10
23	1.43	1.02	1.33	1.30	1.32	1.16	1.10
24	1.44	1.33	1.34	1.30	1.33	1.16	1.10
25	1.44	1.33	1.34	1.32	1.33	1.16	1.10
26	1.45	1.35	1.35	1.32	1.33	1.16	1.11
27	1.45	1.35	1.35	1.32	1.34	1.16	1.12
28	1.45	1.37	1.36	1.33	1.34	1.16	1.12
29	1.46	1.37	1.36	1.33	1.34	1.16	1.12
30	1.46	1.37	1.37	1.33	1.35	1.16	1.12
31	1.46	1.38	1.37	1.33	1.35	1.16	1.12
32	1.47	1.38	1.38	1.33	1.35	1.16	1.12

观音堂水利工程建设区域是以林地为主的陆地生态系统,其分形规律可以作为生态系统分形的标志,林地表示主要的标度区,由此可以得到一个以观音堂水库为中心向外扩展的生态变化范围,它在一定程度上反映了项目建设过程中施工区和淹没区可能对生态环境影响的时空范围。东至老观顶之间的深沟(达 170 m),西到无名坡地,南至磨坪的场沟,北至鲁家湾,形成了一个相对孤立的生态系统。依据主要生态影响及其变化程度,确定该工程生态环境影响评价范围的面积约为 67.4 km²。

5 结 语

水利工程建设区一般为经济基础较薄弱的欠开发地区,也是生态环境比较敏感和脆弱的地区,区域

中各种生物及非生物因子构成的非污染生态信息具有不确定性,实际操作时不易获取,生态环境影响定量评价非常困难。

分形理论与遥感技术有机结合,较合理地解决了确定观音堂水利工程建设区域生态环境影响评价范围的难题,运用分形模型对生态完整性和生态敏感问题进行研究,拓宽了常规确定生态环境影响评价范围的思维,提出在理论及实践上按生态评价对象确定评价范围的可操作性。

工程建设对生态系统的影响是一个动态系统^[11],处于无序、非线性、非平衡和随机的状态之中,其影响程度将跨越不同的生态系统和不同的时间序列,加之生态系统的分维数值仍较依赖于测算方法和计量尺度,因此,用遥感技术^[12-13]和分形理论确定生态环境影响评价范围尚有许多深层次的理论问题需要解决。此外,虽然遥感技术在确定水利工程对生态环境影响的评价范围上初显效果,但反映的主要是陆面生境,需要进一步探索以突破这一局限。

参考文献：

[1] 崔灵周,李占斌.基于分形信息维数的流域地貌形态与侵蚀产沙关系[J].土壤学,2007(3):197-202.
[2] 朱永清,李占斌,鲁克新,等.地貌形态特征分形信息维数与像元尺度关系研究[J].水利学报,2005,36(3):333-338.
[3] 姜华,刘春红.生态影响类建设项目环境影响后评价[J].环境保护,2010(22):43-44.
[4] PURKAIT S, GANGULY M, AKTAR M W, et al. Impact assessment of various parameters polluting Ganga water in Kolkata region: a study for quality evaluation and environmental implication[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2009,155(1/2/3/4):443-454.
[5] LIANG Shou-yun, MA Xiang-xian. Comprehensive assessment of environmental impact of large-scale water conservancy project: a case study of Yintao Irrigation Project on Tao River in Gansu [C]//2009 1st International Conference on Information Science and Engineering. Nanjing: Computer Society of Jiangsu Province,2009:4227-4231.
[6] 国家环境保护总局.环境影响评价技术导则[M].北京:中国环境科学出版社,2009:4-25.
[7] 徐明钻,朱立新,马生明,等.多重分形模型在区域地球化学异常分析中的应用探讨[J].地球学报,2010,31(4):611-618.
[8] HUANG Guan-hua, ZHANG Ren-duo. Modeling soil water retention curve with a fractal method[J]. Pedosphere,2006,16(2):137-146.

(下转第 73 页)

- [19] GULER M, TUNCER B E, BOSSCHER P J. Measurement of particle movements in granular soils using image analysis[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 1999, 13(2): 116-122.
- [20] GILL D R, LEHANE B M. An optical technique for investigating soil displacement patterns [J]. Geotechnical Testing Journal, 2001, 24(3): 324-329.
- [21] 朱维新. 土工离心模型试验研究综述[J]. 岩土工程学报, 1986, 8(2): 82-95.
- [22] 包承纲. 我国离心模拟试验技术的现状和展望[J]. 岩土工程学报, 1991, 13(6): 92-97.
- [23] 董龙雷, 闫桂荣, 廖红建. 岩土工程中动态离心模型试验技术的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(6): 789-793.
- [24] 孙锐, 袁晓铭, 王永志, 等. NEES 系统中振动离心机最新进展及国内振动离心机发展设想[J]. 世界地震工程, 2010, 26(1): 31-39.
- [25] 黄志全, 王思敬. 离心模型试验技术在我国的应用概况[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(2): 199-202.
- [26] 周健, 刘宁. 离心模型试验技术应用的新进展[J]. 上海地质, 2002(1): 52-56.
- [27] 胡黎明. 离心模型试验技术在环境岩土工程中的应用与展望[J]. 土壤与环境, 2001, 10(4): 327-330.
- [28] 陈正发, 于玉贞. 土工动力离心模型试验研究进展[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(S2): 4026-4033.
- [29] 于玉贞, 邓丽军. 抗滑桩加固边坡地震响应离心模型

试验[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(9): 1320-1323.

- [30] 章为民, 日下部治. 岩性地层地震反应离心模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(1): 28-31.
- [31] 邢建营, 邢义川, 梁建辉. 土工离心模型试验研究的进展与思考[J]. 水利与建筑工程学报, 2005, 3(1): 27-31.
- [32] 徐福卫, 陈海玉. 数字网格摄影测量法及其在滑坡模型试验中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(2): 216-220.
- [33] 任伟中, 寇新建, 凌浩美. 数字化近景摄影测量在模型试验变形测量中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(3): 436-440.
- [34] 李元海, 靖洪文, 刘刚, 等. 数字照相量测在岩石隧道模型试验中的应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(8): 1684-1690.
- [35] 汪敏, 胡小方, 伍小平. 物体内部三维位移场分析的图像相关方法[J]. 物理学报, 2006, 55(10): 5135-5139.
- [36] 邵龙潭, 王助贫, 刘永禄. 三轴土样局部变形的数字图像测量方法[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(2): 159-163.
- [37] 邵龙潭, 孙益振, 王助贫, 等. 数字图像测量技术在土工三轴试验中的应用研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(1): 29-34.
- [38] 宋义敏, 马少鹏, 杨小彬, 等. 岩石变形破坏的数字散斑相关方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(1): 170-175.

(收稿日期 2011-01-24 编辑 骆超)

(上接第 40 页)

- [9] 魏红卫, 喻泽红, 邹银生. 排水条件对土工合成材料加筋黏性土特性的影响[J]. 水利学报, 2006, 37(7): 838-845.
- [10] 唐朝生, 施斌, 高玮, 等. 含砂量对聚丙烯纤维加筋黏性土强度影响的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(1): 2968-2973.
- [11] YANG Z. Strength and deformation characteristic of reinforced sand[D]. Los Angeles: University of California, 1972.
- [12] 喻泽红, 张起森. 土工网与土相互作用机理的有限元分析[J]. 岩土工程学报, 1997, 19(3): 76-82.
- [13] 张兴强, 闫澍旺, 邓卫东. 交通荷载作用下加筋道路机理分析[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(1): 94-98.
- [14] 周志刚, 郑健龙, 高燕希. 土工格栅加固土抗压强度的极限平衡分析[J]. 长沙交通学院学报, 1998, 14(1): 39-43.
- [15] 王伟, 杨尧志. 土工织物与土相互作用的机理[J]. 无锡轻工大学学报, 1999, 18(3): 107-112.
- [16] 黄英, 符必昌, 金克盛, 等. 不同排水条件加筋红土三轴试验研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2006, 31(1): 56-60.
- [17] 黄英, 符必昌, 金克盛, 等. 加筋红土的广义等效围压和极限平衡条件[J]. 岩土力学, 2007, 28(3): 533-539.

(收稿日期 2011-05-04 编辑 骆超)

(上接第 65 页)

- [9] CHENG Zhu-hua, ZHANG Jia-bao. Introducing fractal dimension to estimation of soil sensitivity to preferential flow [J]. Pedosphere, 2002, 12(3): 201-206.
- [10] 吴海毓, 王桥. 遥感在大型工程生态环境影响评价中的应用[J]. 环境与可持续发展, 2009(1): 48-49.
- [11] MO Deng-kui, LIN Hui, LI Ji-ping, et al. Design and implementation of a high spatial resolution remote sensing image intelligent interpretation system [J]. Data Science Journal, 2007, 6(S): 445-452.
- [12] LIU Yu, SUN Wen-bang. Design and implementation of remote sensing mage coordinated interpretation system under web environment [C]//Proceedings of 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering. Beijing: IEEE Industrial Electronics Society, 2010: 248-250.
- [13] HAN Lin, LIU Xue-gong, ZHANG Yan-ning. Interpretation of river main-flow from remote sensing images: studying on dynamic transmission cross-correlation method [C]//Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks. Los Angeles: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2008: 2281-2289.

(收稿日期 2010-02-22 编辑 骆超)