

利用变值编码展现元胞自动机的4类经典分类模式

曾平安 郑智捷

(云南大学软件学院 昆明 650091)

摘要 对元胞自动机的规则进行分类是研究布尔函数整体特征的一类经典论题,自1984年Wolfram提出4种经典分类以来,已经出现了很多种不同的分类模式。经典分类模式的256种函数在顺序排列的条件下,其二维编码显示不出明显的分布规律。利用变值逻辑体系的编码模式展现已有的元胞自动机分类模式,将256种函数排列为 16×16 的矩阵图像,采用几类变值逻辑编码展现经典分类的结果。在这样的模式下,经典分类在变值编码模式中展现出各具特点的对称性。最后列举了不同编码序列及其编码排列图示。

关键词 变值逻辑结构,元胞自动机,分类,对称分布

中图法分类号 TP391 文献标识码 A

Using Variable Value Coding to Show 4 Classical Classification Models of Cellular Automata

ZENG Ping-an ZHENG Zhi-jie

(School of Software, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract The classification of the rules of the cellular automaton is a classical topic of the study on the whole feature of Boolean functions. Since 1984, 4 kinds of classical classification have been proposed by Wolfram. The two dimensional encoding of 256 functions in classical classification model doesn't show obvious distribution regularity in the condition of ordinal arrangement. We used the encoding mode of variable value logic system to show the pattern of existing cellular automaton classification, and used several types of variable value logic coding to show the result of classical classification by arranging the 256 functions in the 16×16 matrix image. In this mode, the variable value encoding mode shows different characteristics of symmetry. At last the different encoding sequences and encoding arrangement were listed.

Keywords Variable value logical structure, Cellular automata, Classification, Symmetric distribution

1 简介

1.1 元胞自动机分类历史

对布尔函数特性进行分类是元胞自动机(Cellular Automata, CA)研究的核心问题。自Wolfram^[1]在1984年提出基于动力学行为定义了CA的4种经典分类之后, Gutowitz H A^[2]在1990年提出了基于CA行为的马尔科夫概率量测的层次化、参量化的分类体系,近年来, Mizraji^[3]通过探讨规则的动态特性对CA规则进行了分类。

对CA分类体系的深入研究,有力推动了CA应用的发展,并且更加有利于深入探索CA规则空间。Obando^[4]在2015年发表的论文中初步研究了Wolfram的4种经典分类在初等CA规则空间的分布。利用顺序排列模式容易将Wolfram的4种经典分类进行标记和排列,如图1所示。由图1可以观察到经典分类在顺序排列的条件下,其图像的分布规律并不明显,本文将经典分类在变值逻辑体系的不同编码模式下进行标记和排列,其可视化图像展现出各具特点的对称特性。

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

图1 顺序排列模式下Wolfram的4种经典分类图像分布

1.2 变值逻辑体系简介

变值逻辑体系^[5]是通过置换、互补等附加运算对传统的布尔代数进行扩展,将传统的布尔代数空间由 2^{2^n} 扩展到 $2^{2^n} \times 2^n$!。本文在 $n=3$ (即三变量变值逻辑函数)时,将CA的4种经典分类在变值逻辑体系的W编码、F编码和C编码模式下

进行映射,并通过其可视化图像来展示经典分类在整个初等CA规则空间的分布状态。

2 变值逻辑体系的基本操作

变值逻辑体系^[5]中两个重要的基本操作分别是置换运算和互补运算。以二变量逻辑函数空间的序列进行置换运算与互补运算为例,解释变值逻辑体系中置换运算与互补运算的操作方法。其中置换序列用 P 表示,互补序列用 σ 表示,状态用 S 表示。

初始序列 3210 的函数真值表及其二维矩阵的分布如图2(a)所示。

对初始序列 3210 进行置换运算(以置换序列 1320 为例),即将序列 3210 进行排列,从而得到 2013 序列的真值表及其二维矩阵分布,如图2(b)所示。

对序列 2013 进行互补运算(以互补序列 $\sigma:1010$ 为例),即将 2013 序列的真值表映射为二维坐标,然后将二变量逻辑函数在二维矩阵中进行排列。通过逻辑函数的互补性,在二变量逻辑函数空间中所有函数进行互补运算后都可以映射到二维矩阵中唯一坐标。对序列 2013 进行互补运算后得到目标函数真值表及其二维矩阵分布,如图2(c)所示。

二变量逻辑函数在变值逻辑体系中的应用可以推广到三变量以及更多变量的逻辑函数。

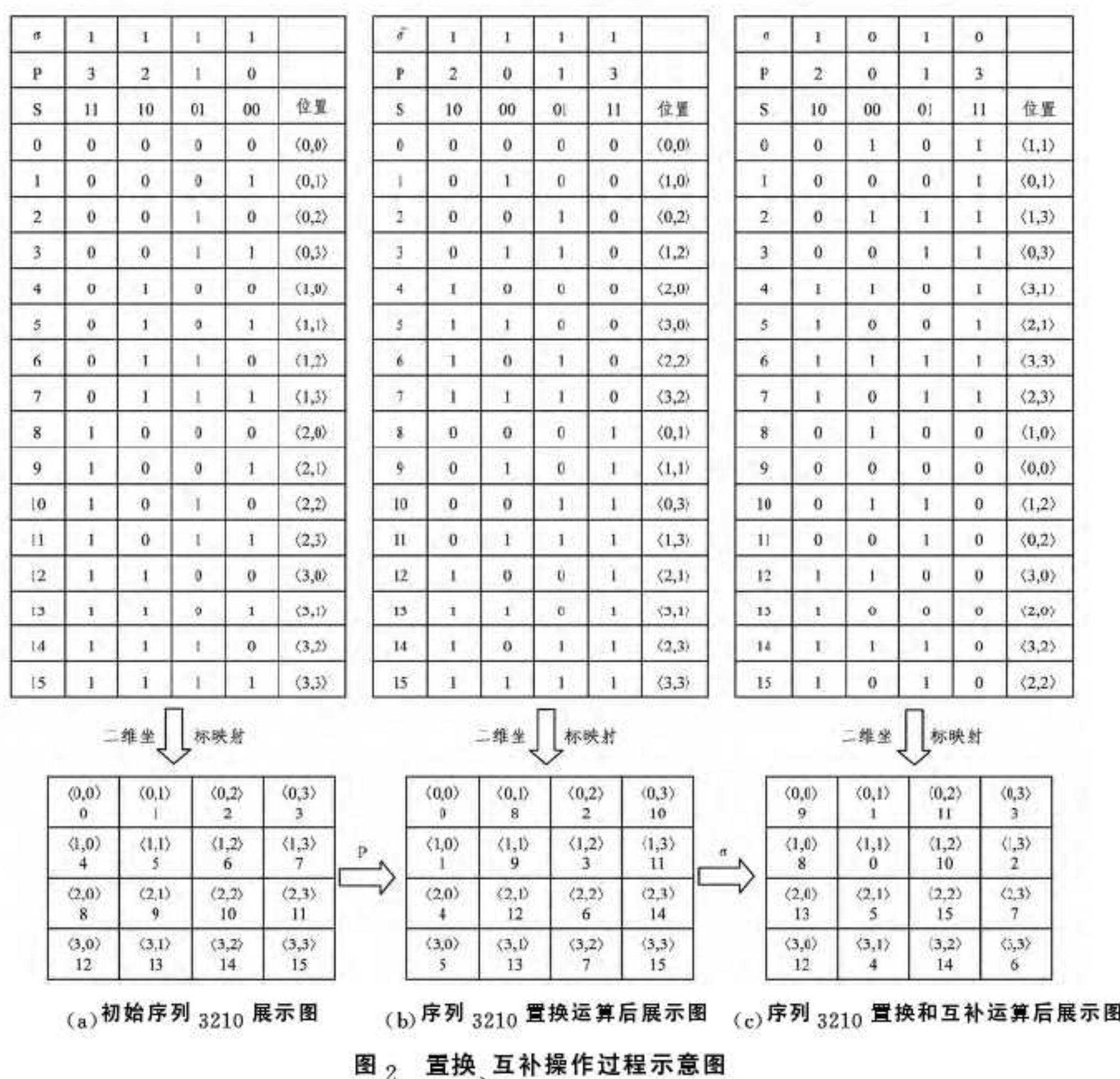


图 2 置换、互补操作过程示意图

3 编码变换模型

三变量元胞自动机有 256 种规则,顺序规则序列为 $(0,1,2,3,\dots,253,254,255)$,构成一个 16×16 的分块二维矩阵。将初始顺序规则序列通过变换模型生成目标规则序列,变换模型如图3所示。

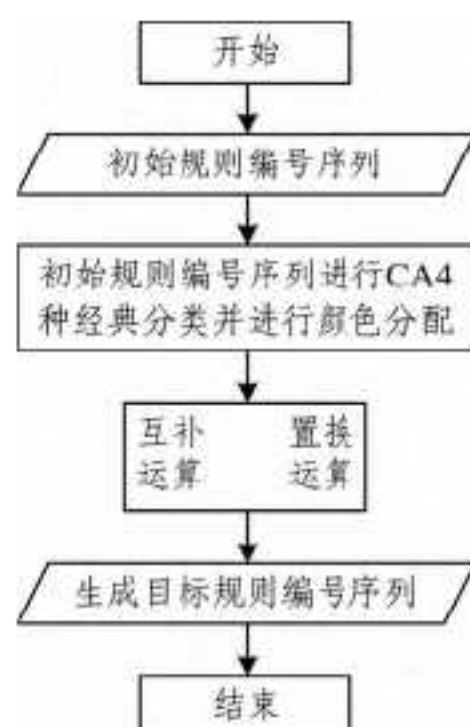


图 3 变换模型

4 结果

W编码、F编码和C编码的可视化图像如图4—图6所示。

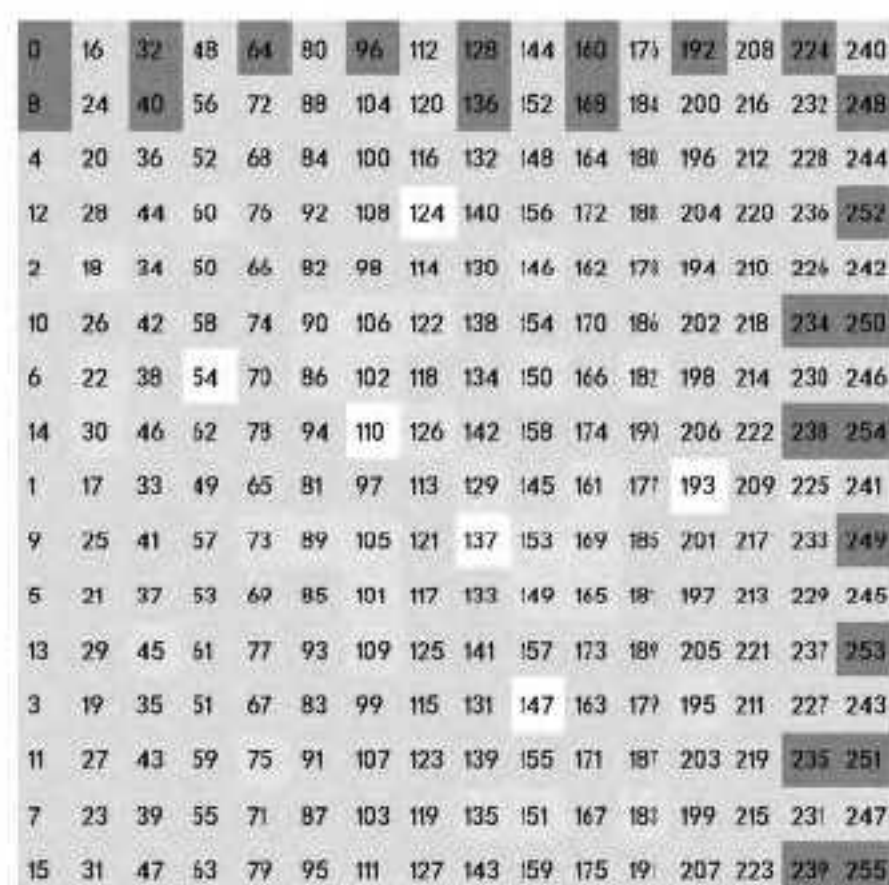


图 4 0123765411111111 图像

51	55	179	183	49	53	177	181	59	63	187	191	57	61	185	189
19	23	147	151	17	21	145	149	27	31	155	159	25	29	153	157
50	54	178	182	48	52	176	180	58	62	186	190	56	60	184	188
18	22	146	150	16	20	144	148	26	30	154	158	24	28	152	156
115	119	243	247	113	117	241	245	123	127	251	255	121	125	249	253
83	87	211	215	81	85	209	213	91	95	219	223	89	93	217	221
114	118	242	246	112	116	240	244	122	126	250	254	120	124	248	252
82	86	210	214	80	84	208	212	90	94	218	222	88	92	216	220
35	39	163	167	33	37	161	165	43	47	171	175	41	45	169	173
3	7	131	135	1	5	129	133	11	15	139	143	9	13	137	141
34	38	162	166	32	36	160	164	42	46	170	174	40	44	168	172
2	6	130	134	0	4	128	132	10	14	138	142	8	12	136	140
99	103	227	231	97	101	225	229	107	111	235	239	105	109	233	237
67	71	195	199	65	69	193	197	75	79	203	207	73	77	201	205
98	102	226	230	96	100	224	228	106	110	234	238	104	108	232	236
66	70	194	198	64	68	192	196	74	78	202	206	72	76	200	204

图5 46053172⁰¹⁰⁰¹⁰¹¹ 图像

51	19	35	3	49	17	33	1	50	18	34	2	48	16	32	0
55	23	39	7	53	21	37	5	54	22	38	6	52	20	36	4
59	27	43	11	57	25	41	9	58	26	42	10	56	24	40	8
63	31	47	15	61	29	45	13	62	30	46	14	60	28	44	12
115	83	99	67	113	81	97	65	114	82	98	66	112	80	96	64
119	87	103	71	117	85	101	69	118	86	102	70	116	84	100	68
123	91	107	75	121	89	105	73	122	90	106	74	120	88	104	72
127	95	111	79	125	93	109	77	126	94	110	78	124	92	108	76
179	147	163	131	177	145	161	129	178	146	162	130	176	144	160	128
183	151	167	135	181	149	165	133	182	150	166	134	180	148	164	132
187	155	171	139	185	153	169	137	186	154	170	138	184	152	168	136
191	159	175	143	189	157	173	141	190	158	174	142	188	156	172	140
243	211	227	195	241	209	225	193	242	210	226	194	240	208	224	192
247	215	231	199	245	213	229	197	246	214	230	198	244	212	228	196
251	219	235	203	249	217	233	201	250	218	234	202	248	216	232	200
255	223	239	207	253	221	237	205	254	222	238	206	252	220	236	204

图6 76320145¹¹¹¹⁰⁰⁰⁰ 图像

W 编码:

置换序列:01237654;互补序列:11111111。

F 编码:

置换序列:46053172;互补序列:01001011。

C 编码:

置换序列:76320145;互补序列:11110000。

5 结果分析

本文通过对元胞自动机₄种经典分类在三变量变值逻辑体系中全部W编码的可视化结果进行分析,其图像在部分W

编码条件下具有对称性。

F编码是W编码的子集,元胞自动机₄种经典分类在全部F编码的可视化图像中具有对称性,并且其图像对称性各具特点。

C编码是F编码的子集,元胞自动机₄种经典分类在C编码模式下的可视化图像具有更强烈的对称性,其部分元胞自动机规则之间在图像中保持稳定的对称特性。

结束语 由于元胞自动机的₄种经典分类在顺序排列的条件下不具有明显的规律特征,本文通过经典分类在三变量变值逻辑函数的W编码、F编码和C编码模式下不同特色的对称性图像展示,为研究经典分类在整个初等元胞自动机规则空间的分布状态提供了一种新方法,也为后续变值逻辑体系在元胞自动机应用中提供了实验基础。

参考文献

- [1] Wolfram S. Universality and complexity in cellular automata. [J]. Physica, 1984, 10: 1-35
- [2] Gutowitz H A. A hierarchical classification of cellular automata [J]. Physica D Nonlinear Phenomena, 1990, 45(1): 136-156
- [3] Mizraji, Eduardo. The emergence of dynamical complexity: An exploration using elementary cellular automata[J]. Complexity, 2004, 9(6): 33-42
- [4] Obando R A. Partitioning of cellular automata rule spaces[J]. Complex Systems, 2015, 24(1): 27-48
- [5] Zheng J Z J, Zheng C H. A framework to express variant and invariant functional spaces for binary logic[J]. Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China, 2010, 5(2): 163-172
- [6] Wolfram S. Theory and Applications of Cellular Automata[M]. Singapore: Word Scientific, 1986
- [7] Wolfram. Cellular automata as models of complexity[J]. Nature, 1984, 311: 1-3
- [8] Zheng Z J. Conjugate Visualisation of Global Complex Behaviour [J]. Complexity International, 1996: 5-6
- [9] Powley E J. Global properties of cellular automata[J]. Journal of Statistical Physics, 1986, 43(1/2): 210-242
- [10] 晚洁, 郑智捷. 二元变值函数空间的穷举图像序列展示[C]// 2010 年亚太青年通信与技术学术会议, 2010
- [17] 蒋培. 基于共同进化遗传算法的机器学习[J]. 湖南师范大学(自然科学学报), 2004, 27(3): 33-38
- [18] Haralick R M, Shanmugam K. Texture features for image classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1973, 3(6): 610-621
- [19] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature [M]. New-York: Wh Freeman, 1982
- [20] Russel, et al. Dimension of strange attractors [J]. Physical Review Letters, 1980, 45(14): 1175-1178
- [21] Tricot C. Curves and fractal dimension Springer [M]. Heidelberg: Springer, 1995
- [22] Sarkar N, Chaudhuri B B. An efficient differential box-counting approach to compute fractal dimension of image [J]. IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. A, 1994, 24(1): 115-120
- [23] 陈果, 邓堰. 遗传算法特征选取中的几种适应度函数构造新方法及其应用[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(1): 124-132
- [24] Kohonen T. Self-organized formation of topologically correct feature maps[J]. Biological Cybernetics, 1982, 43(1): 59-69

(上接第 133 页)

- [10] 高程, 惠晓威. 基于灰度共生矩阵的纹理特征提取[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(6): 195-198
- [11] 唐秋华, 李杰, 周兴华, 等. 济州岛南部海域海底声呐图像分析与声学底质分类[J]. 海洋学报, 2014, 36(7): 133-141
- [12] Li Y, Xia C L, Huang Y, et al. Visual Features Extraction and Types Classification of Seabed Sediment[M]// 7th International Conference on Intelligent Robotics and Applications. Springer, 2015: 153-160
- [13] Li Y, Xia C L, Huang Y, et al. A Novel Visual Classification Method of Seabed Sediments[C]// Oceans-St. John's, 2014: 1-4
- [14] 冯莉, 李满春, 李飞雪. 基于遗传算法的遥感图像纹理特征选[J]. 南京大学学报(自然科学), 2008, 44(3): 310-319
- [15] 陈卫东, 刘素华. 基于遗传算法的图像特征选择[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(28): 78-80
- [16] 刘颖, 谷延锋, 张晔. 基于改进遗传算法的超光谱图像特征选择方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(6): 733-735