

基于矩阵轮换加网防伪技术应用

郭凌华^{1a,1b,2,3}, 温蕾^{1a,1b,2,3}, 党玲玉^{1a,1b,2,3}, 邢铁豆^{1a,1b,2,3}

(1.陕西科技大学 a.轻工科学与工程学院; b.轻化工程国家级实验教学示范中心, 西安 710021;

2.中国轻工业纸基功能材料重点实验室, 西安 710021;

3.陕西省造纸技术及特种纸品开发重点实验室, 西安 710021)

摘要: **目的** 解决目前半色调加网的信息隐藏技术存在的隐藏效果不佳、易仿制等问题。**方法** 基于最小阈值矩阵加网原理, 开发一种矩阵轮换加网算法, 生成具有防伪意义的特殊形状网点, 应用于半色调信息隐藏技术中。**结果** 该方法中特殊形状网点的生成, 克服了传统网点进行信息隐藏时易出现的“断点”缺陷, 提高了隐藏视觉不可见度, 且网点形状根据矩阵设计不同而变化, 不易仿制, 提高了防伪系数。**结论** 矩阵轮换加网生成特殊形状网点, 对于半色调加网的信息隐藏技术在实际生产中应用具有较好的指导作用。

关键词: 信息隐藏; 矩阵轮换加网; 特殊形状网点; 防伪系数

中图分类号: TS801.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)05-0191-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.05.036

Application of Anti-counterfeiting Technology Based on Matrix Rotation Screening

GUO Ling-hua^{1a,1b,2,3}, WEN Lei^{1a,1b,2,3}, DANG Ling-yu^{1a,1b,2,3}, XING Tie-dou^{1a,1b,2,3}

(1. Shaanxi University of Science & Technology a. College of Light Industry Science and Engineering; b. National Demonstration Center for Experimental Light Chemistry Engineering Education, Xi'an 710021, China; 2. Key Laboratory of Paper Based Functional Materials of China National Light Industry, Xi'an 710021, China; 3. Shaanxi Provincial Key Laboratory of Papermaking Technology and Specialty Paper Development, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem that the hiding effect is not good and the hiding information is easy to imitate regarding the information hiding technology of current halftone screening. Based on the principle of the minimum threshold matrix screening, a kind of matrix rotation screening algorithm was developed to generate the specially shaped dot applied in the halftone information hiding technology. The generation of specially shaped dot by the proposed method overcame the defect "breakpoint" of traditional dot likely to occur during information hiding. The hidden visual invisibility was improved, and the dot shape changed according to the matrix design. As it was not easy to imitate, the security coefficient was improved. The specially shaped dot generated by matrix rotation screening provides better guidance for the application of the information hiding technology of halftone screening in the actual production.

KEY WORDS: information hiding; matrix rotation screening; specially shaped dot; anti-counterfeiting coefficient

随着印刷技术的快速发展, 造假乱象丛生, 防伪印刷技术已经成为印刷业中不可缺少的技术手段。传统的防伪技术受到生产成本及工艺要求的限制, 推广具有一定局限性^[1-2]。半色调加网的信息隐藏技术^[3-5]利用人

眼对微小网点的不可感知性, 对数字图像进行分色加网后, 在某一色版或几个色版载入待隐藏文字或图形, 通过移动待隐藏图文选区的网点位置以达到信息隐藏的目的^[6-12]。提取隐藏信息时, 只需将对应参数

收稿日期: 2017-03-30

基金项目: 2017年陕西省大学生创新创业训练计划(1306, 109); 西安市科技计划(2017068CG/RC031(SXKD008)); 陕西省科技厅工业公关项目(2016GY-017, 2016GY-079); 宝鸡市科技计划(16KJHZI-2, 16GYGG4-2)

作者简介: 郭凌华(1970—), 女, 博士, 陕西科技大学教授, 主要研究方向为防伪印刷及颜色科学。

的菲林片放置在印刷主图上方，旋转至正确的角度，即可看到隐藏信息^[13]。该防伪技术简单易行，不改变产品的生产工艺，不增加成本，对印刷企业来说是既经济又实用的一种防伪技术。半色调加网的信息隐藏技术目前存在以下问题：传统的圆形、方形等形状网点进行信息隐藏会出现“断点”现象，隐藏效果不佳；此外，由于该方法简单易行，防伪门槛易攻破，失去了防伪的作用。为解决上述问题，提高隐藏视觉不可见度及防伪系数，文中通过分析最小阈值矩阵加网原理，设计加网阈值矩阵，开发矩阵轮换加网算法，生成特殊形状网点并应用于半色调信息隐藏技术，以实现半色调加网信息隐藏技术的实际生产应用。

1 矩阵轮换加网算法的建立

1.1 加网阈值矩阵的设计

徐锦林教授的最小阈值矩阵加网原理^[14-15]针对12×12记录栅格，采用近似的14.04°和75.96°替代15°和75°以实现有理正切加网。设网线角度为 θ ，令 $\tan \theta = \frac{mp}{mq}$ ， m, n, p, q 均为整数， p, q 互为素数。设加网阈值矩阵大小为 $L \times K$ ，则阈值最大值 $Q_{\max} = L \times K$ ， $L = m(p_2 + q_2)$ ， $K = m$ 。以4×4网格作为标尺，3种网线角度下阈值矩阵大小与网格之间的关系见图1。网线角度 θ 为0°或者90°时，一个阈值矩阵占据一个网格大小，描述一个网点。此时， $p=0, q=1$ ，取 $m=12$ ， $K=12, L=12, Q_{\max}=144$ 。网线角度 θ 为45°时，阈值矩阵被分割为3部分，整体占据一个网格大小，描述一个网点，此时 $p=1, q=1$ ，若 $m=8$ ，则 $K=8, L=16, Q_{\max}=128$ ，与 θ 为0°或者90°时的 Q_{\max} 相差6；若 $m=9$ ，

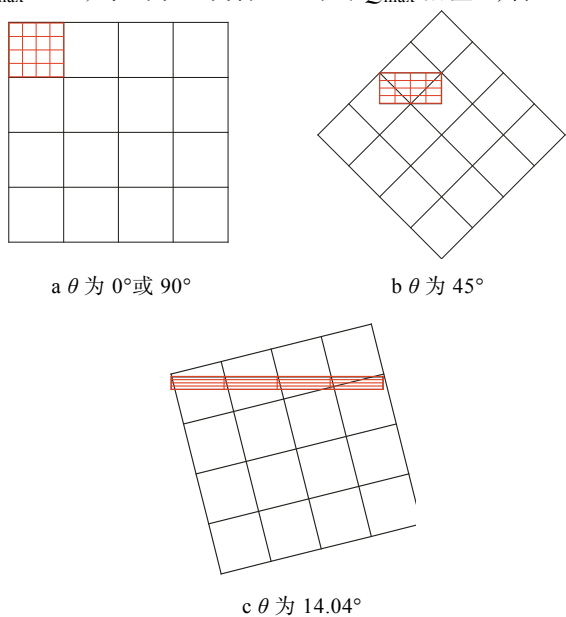


图1 阈值矩阵加网
Fig.1 Threshold matrix screening

则 $K=9, L=18, Q_{\max}=162$ ，与 θ 为0°或者90°时的 Q_{\max} 相差18，取差值较小的前者。网线角度 θ 为14.04°时，阈值矩阵被分割为6部分，整体占据一个网格大小，描述一个网点，见图1c，此时 $p=1, q=4$ ，取 $m=3$ ，则 $K=3, L=51, Q_{\max}=153$ 。网线角度 θ 为75.96°，与 θ 为14.04°类似， $K=3, L=51, Q_{\max}=153$ 。

阈值矩阵大小确定后，阈值矩阵的设计直接影响网点的形状。具体设计方法：选中阈值矩阵中某一记录栅格为中心点，根据网点形状要求，由内而外设计聚集态加网阈值矩阵，即记录栅格内数值由中心点向外按照递减规律从阈值最大值 Q_{\max} 到1依次分布。改变中心点在记录栅格中的位置，可设计出多个不同的聚集态加网阈值矩阵。文中设计的3个 θ 为45°时的加网阈值矩阵 a, b, c 见图2。

8	15	10	64	79	97	111	122	127	128	120	109	90	74	66	46
39	42	3	19	55	86	105	115	119	123	116	87	69	62	38	6
52	63	47	20	1	58	95	108	112	107	96	71	59	24	12	28
78	82	67	35	5	31	61	91	101	84	73	56	2	18	23	48
85	100	89	60	30	9	34	68	80	77	53	32	4	25	43	75
102	110	103	93	57	26	11	37	65	51	41	21	27	40	70	75
121	117	114	106	88	54	17	13	16	44	29	33	45	72	90	104
126	125	124	113	99	81	50	22	7	14	36	49	76	83	98	118

a 矩阵 a

127	128	120	109	90	74	66	46	8	15	10	64	79	97	111	122
119	123	116	87	69	62	38	6	39	42	3	19	55	86	105	115
112	107	96	71	59	24	12	28	52	63	47	20	1	58	95	108
101	84	73	56	2	18	23	48	78	82	67	35	5	31	61	91
80	77	53	32	4	25	43	75	85	100	89	60	30	9	34	68
65	51	41	21	27	40	70	94	102	110	103	93	57	26	11	37
16	44	29	33	45	72	90	104	121	117	114	106	88	54	17	13
7	14	36	49	76	83	98	118	126	125	124	113	99	81	50	22

b 矩阵 b

122	127	128	120	109	90	74	66	46	8	15	10	64	79	97	111
115	119	123	116	87	69	62	38	6	39	42	3	19	55	86	105
108	112	107	96	71	59	24	12	28	52	63	47	20	1	58	95
91	101	84	73	56	2	18	23	48	78	82	67	35	5	31	61
68	80	77	53	32	4	25	43	75	85	100	89	60	30	9	34
37	65	51	41	21	27	40	70	75	102	110	103	93	57	26	11
13	16	44	29	33	45	72	90	104	121	117	114	106	88	54	17
22	7	14	36	49	76	83	98	118	126	125	124	113	99	81	50

c 矩阵 c

图2 $\theta=45^\circ$ 时的加网阈值矩阵设计
Fig.2 Screening threshold matrix design ($\theta=45^\circ$)

1.2 矩阵轮换加网算法

数字图像分色后，一般会生成 C, M, Y, K 这 4 个 8 位灰度图，图像中每个像素的像素值 F 最大为 255，而阈值矩阵最大值 Q_{max} 为 153，因此要将灰度图像素值 F 等比例压缩至阈值矩阵范围，建立转化后灰度图像素值 F' 与矩阵阈值最大值 Q_{max} 的映射关系：

$$F' = fitx \left(\frac{F}{255} \times Q_{max} + 0.5 \right) \quad (1)$$

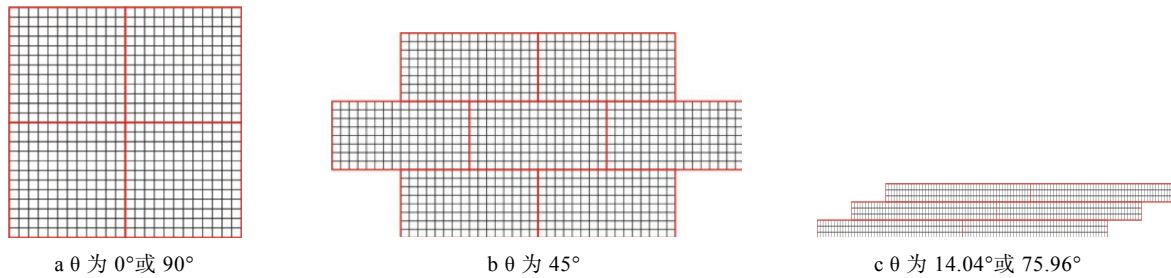


图 3 多个阈值矩阵轮换排布关系
Fig.3 Multi-threshold matrix rotation configuration relationship

2 矩阵轮换加网及隐藏提取实验

2.1 实验软件

实验在 Matlab 编程软件中生成加网效果图，在 Photoshop CS5 中进行模拟隐藏及提取效果。

2.2 实验内容及步骤

该方法以 20%灰度的图像为例，实际上该方法对其他百分比的灰度图以及彩色图同样适用。选取 5 cm×5 cm 的 20%灰度图进行 45°加网，加网后隐藏图形“剪纸”并用模拟菲林片提取，为了保证图像质量，设置加网线数为 175 lpi，输出分辨率为 2100 dpi。具体实验步骤如下所述。

1) 矩阵轮换加网效果图的生成。在 Matlab 编程软件中编写矩阵轮换加网算法，输入 5 cm×5 cm 的 20%灰度图进行 45°矩阵轮换加网，生成待隐藏的加网效果图，输入 5 cm×5 cm 的 50%灰度图进行 45°矩阵轮换加网，生成模拟提取菲林片。

2) 隐藏图形的载入。在 Photoshop CS5 中打开步骤 1) 生成的待隐藏加网效果图，导入隐藏图形“剪纸”并生成隐藏图形选区，根据网点位移公式 $x = \frac{\sqrt{2}}{2}d \cos(135^\circ - \alpha)$, $y = \frac{\sqrt{2}}{2}d \sin(135^\circ - \alpha)$ 则网点横向位移量 $x=8$ ，网点纵向位移量 $y=0$ ，利用位移工具改变选区内网点的位置，使选区内网点与平网色块网点错开，以完成隐藏图形的载入。

3) 隐藏图形的提取。在 Photoshop CS5 中打开步骤 1) 生成的模拟提取菲林片，载入加入隐藏图形的图像中，利用位移工具改变菲林片的位置，横向位

根据不同网线角度多个阈值矩阵轮换的排布关系，比较转化后灰度图像每一坐标像素值 F' 与对应坐标处的矩阵阈值 Q ，决定该记录栅格是否曝光，即当 F' 小于 Q 时，记录栅格曝光，反之不曝光。不同网线角度多个阈值矩阵轮换的排布关系见图 3，每一行阈值矩阵整体较上一行整体位移 $m \times q$ 个记录栅格，即 θ 为 0°或 90°时位移 0，见图 3a； θ 为 45°时位移 8 个记录栅格，见图 3b； θ 为 14.04°或 75.96°时位移 12 个记录栅格，见图 3c。

移量为 $x=8$ ，纵向位移量为 $y=0$ （与步骤 2）中网点位移量相同），使隐藏图形清晰显现，提取隐藏信息。

4) 利用常规的加网方法在 Photoshop CS5 中完成普通圆形网点加网下的“剪纸”图像的隐藏效果图和提取效果图，与矩阵轮换加网下的“剪纸”图像的隐藏效果和提取效果做比较。

2.3 实验结果

通过 $\theta=45^\circ$ 时三矩阵轮换加网生成了类似于“蝴蝶结”形状的特殊网点， $\theta=45^\circ$ 时三矩阵轮换加网效果图见图 4a，放大效果见图 4b。生成的加网效果图隐藏图形“剪纸”后的效果见图 5a，通过人眼主观评价，该隐藏达到了人眼视觉不可分辨的效果，加模拟菲林片提取的效果见图 5b，提取放大效果见图 5c，隐藏图形清晰可见。通过普通圆形网点加网生成了隐藏图形“剪纸”后的效果见图 6a，加模拟菲林片提取的效果见图 6b。

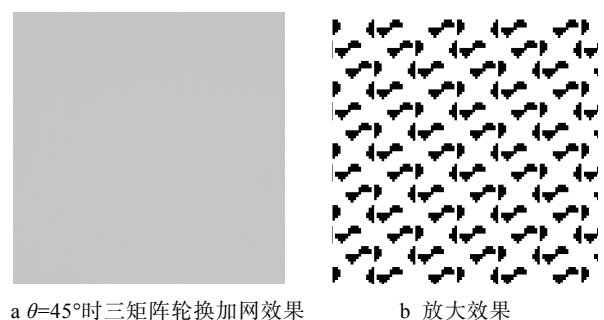


图 4 $\theta=45^\circ$ 时三矩阵轮换加网及放大效果
Fig.4 Rotation screening effect and amplification effect of three matrixes ($\theta=45^\circ$)

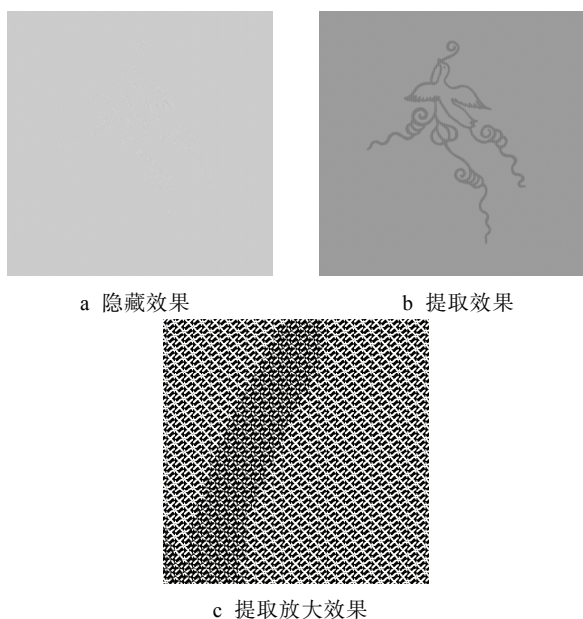


图5 蝴蝶型网点下图形“剪纸”的隐藏和提取
Fig.5 Hiding and extraction of “paper cutting” based on butterfly dot

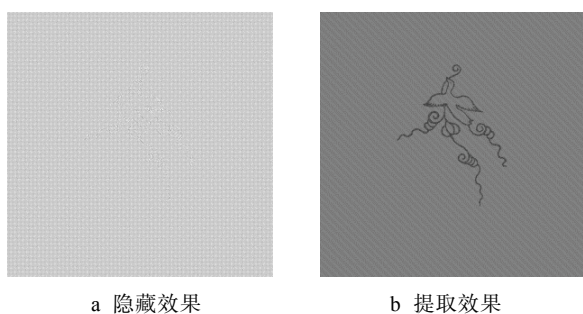


图6 圆形网点下图形“剪纸”的隐藏和提取
Fig.6 Hiding and extraction of “paper cutting” based on round dot

2.4 实验结果评价

2.4.1 主观评价

根据观察,对比图 5a 和图 6a 可以看出蝴蝶型网点的隐藏图非常光滑平整,看不到隐藏信息的痕迹,而圆形网点的隐藏图中仍有一些“剪纸”的信息痕迹。对比图 5b 和图 6b 可以看出蝴蝶形网点下的提取图更加清晰,而圆形网点下的提取图颜色过于深,略微偏色,因此,蝴蝶形网点下的显隐效果比普通圆形网点下的显隐效果更具优势。

2.4.2 客观评价

通过 Matlab 编程软件分别对蝴蝶形网点和圆形网点的隐藏效果和提取效果用 SSIM 方法进行评价,得到蝴蝶型网点的隐藏 SSIM 值为 0.9930,圆形网点的隐藏 SSIM 值为 0.9878,蝴蝶型网点的提取 SSIM 值为 0.7955,圆形网点的提取 SSIM 值为 0.8423。由 SSIM 值结果可以看出,蝴蝶形网点的隐藏 SSIM 值

比圆形网点的隐藏 SSIM 值大,也就是说蝴蝶形网点的隐藏效果比圆形网点的隐藏效果好;蝴蝶形网点的提取 SSIM 值比圆形网点的提取 SSIM 值小,也就是说蝴蝶形网点的提取效果比圆形网点提取效果好。SSIM 评价结果与主观评价的结果基本一致。

3 结语

利用最小阈值矩阵加网原理,设计多个轮换阈值矩阵,开发矩阵轮换加网算法,生成具有特殊形状的“蝴蝶型”网点,应用于图文信息隐藏与提取防伪技术中。通过计算机模拟实验,在人眼主观评价和公认的 SSIM 客观评价中都很好地验证了该方法能够优化图文信息隐藏与提取效果,使被保密信息与背景图像融为一体,隐藏得更加自然,并且在需要防伪证明时,被保密的信息提取完整且清晰,其提取效果也十分满意。特殊形状网点的引入增加了印前设计与印刷工艺的难度,从而提高了造假的难度系数和成本,可以较为有效地遏制造假行为,说明该方法对半色调加网的信息隐藏技术的实际应用具有实质性的指导意义。

参考文献:

- [1] 黄灵阁,段华伟. 数字加网新技术的研究进展[J]. 包装工程, 2004, 25(5): 24—26.
HUANG Ling-ge, DUAN Hua-wei. Research on Progress in New Digital Screening Technology[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(5): 24—26.
- [2] 徐国梁,谭庆平. 图像半色调化算法研究综述[J]. 计算机工程与科学, 2012, 34(12): 87—97.
XU Guo-liang, TAN Qing-ping. Survey of Research on Image Halftone Algorithm[J]. Computer Engineering and Science, 2012, 34(12): 87—97.
- [3] 龚晔,张逸新,刘振,等. 半色调加网防伪应用[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(22): 216—218.
GONG Ye, ZHANG Yi-xin, LIU Zhen, et al. Anti-counterfeiting Application of Halftone Screens[J]. Computer Engineering and Application, 2008, 44(22): 216—218.
- [4] 任乐义. 基于数字加网的半色调防伪技术的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
REN Le-yi. Research on Halftone Anti counterfeiting Technology Based on Digital Screening[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2012.
- [5] 石潇文. 光栅识别隐形图文防伪技术的研究与应用[D]. 天津: 天津科技大学, 2011.
SHI Xiao-wen. Research and Application of Anti-counterfeiting Technology on Recogning Invisible Image with Raster[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2011.
- [6] FU M, AU O. Data Hiding Watermarking for Halftone Images[J]. IEEE Transaction on Image Processing,

- 2002, 11(4): 477—484.
- [7] 刘真, 任乐义. 基于加网复制的光栅防伪技术研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 2(S1): 153—156.
LIU Zhen, REN Le-yi. Research on Grating Anti-counterfeiting Technology based on Web Replication[J]. China Printing and Packaging Research, 2010, 2(S1): 153—156.
- [8] ORHAN B, GAURAV S, VISHAL M. Orientation Modulation for Data Hiding in Clustered-Dot Halftone Prints[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010: 2070—2840.
- [9] 衣旭梅. 基于半色调加网防伪印刷的信息隐藏技术的研究[D]. 北京: 北京印刷学院, 2011.
YI Xu-mei. Study on Information Hiding Technology Based on Halftone Screening Anti-counterfeit Printing[D]. Beijing: Beijing Institute of Graphic Communication, 2011.
- [10] ROSEN J, JAVIDI B. Hiding Images In Halftone Pictures[J]. Applied Optics, 2001, 40(26): 3346—3353.
- [11] 郝发义, 邓开发. 基于网点形状的半色调全息防伪算法研究[J]. 包装工程, 2014, 35(9): 122—126.
HAO Fa-yi, DENG Kai-fa. Halftone Holographic Anti-counterfeiting Algorithm Based on Dot Shape[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 122—126.
- [12] 王振荣, 唐万有. 基于网目调信息嵌入与提取的防伪方法研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2014, 3(6): 37—43.
WANG Zhen-rong, TANG Wan-you. Research on Anti Counterfeiting Method Based on Information Embedding and Extracting[J]. Chinese Printing and Packaging, 2014, 3(6): 37—43.
- [13] 郭凌华, 陈燕, 刘国栋, 等. 半色调图像的网点式光栅显隐防伪研究[J]. 西安理工大学学报, 2015, 31(3): 335—339.
GUO Ling-hua, CHEN Yan, LIU Guo-dong, et al. The Research of Anti-counterfeiting Based on the Implicit with Dot Grating of Halftone Image[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2015, 31(3): 335—339.
- [14] 徐锦林, 徐咏驰. 调幅网加网因子研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2009, 1(6): 20—24.
XU Jin-lin, XU Yong-chi. Study on the Screening Factor of Amplitude Modulation Network[J]. China Printing and Packaging Study, 2009, 1(6): 20—24.
- [15] 徐锦林, 陈素明. 调幅加网阈值矩阵设计方法与加网原理[J]. 中国印刷与包装研究, 2009, 1(3): 38—42.
XU Jin-lin, CHEN Su-ming. The Design Method of Threshold Matrix and Principle for AM Screening[J]. China Printing and Packaging Study, 2009, 1(3): 38—42.