

文章编号:1673-9469(2008)03-0088-04

基于 Hopfield 的 DWT 数字图像水印新算法

赵卫国

(河北工程大学 教育技术中心, 河北 邯郸 056021)

摘要:为了保证数字图像水印的鲁棒性和安全性,结合 Hopfield 神经网络的联想记忆功能,本文提出了一种基于 Hopfield 神经网络的离散小波变换域数字图像水印新算法。该算法首先对数字图像进行二尺度的离散小波变换,然后再使用 Hopfield 神经网络对提取的水印进行多级处理和恢复,从而明显地提高了水印图像提取的质量,增强了水印算法的鲁棒性。仿真实验表明:该算法能很好地抵抗噪声污染、JPEG 压缩和剪切等攻击。

关键词: DWT; 数字水印; Hopfield; 图像

中图分类号: TP391

文献标识码: A

A novel DWT digital image watermarking based on Hopfield

ZHAO Wei-guo

(Modern Education Technology Center, Hebei University of Engineering, Handan 056021, China)

Abstract: A new digital image watermark algorithm of discrete wavelet transform was proposed to guarantee its robustness and security by combining with association memory ability of Hopfield neural network. First, the 2-level discrete wavelet transform was applied to the digital image, then Hopfield neural network disposed of and got back the extracted watermark repeatedly, so it could improve the extracted watermarking image to strength the robustness of the algorithm. Experimental results showed that this method could an resist against noise adding, JPEG compression, image cut and so on.

Key words: DWT; digital watermark; Hopfield; image

随着全球网络化、数字化技术的飞速发展,各种数字作品(如文本、图像、音频、视频和软件等)在网络上的应用越来越广泛,同时,这也导致了数字盗版和篡改行为日益猖獗。因此,数字作品的知识产权保护也越来越受到重视。作为解决这一问题的的重要手段,数字水印技术受到了广泛关注并日趋成熟。

数字水印技术是通过一定的算法将一些标志性信息直接嵌入到多媒体内容中,但不影响原内容的使用价值,并且不能被人知觉系统感知到,只有通过专门的检测器或阅读器才能提取。概括来说,现有水印算法可分为空域和频域两大类^[1]。从安全性和鲁棒性等综合考虑,频域水印算法较为优越。随着小波变换在新一代图像压缩标准和视频压缩标准中的地位越来越重要,这也就使得

DWT 域水印算法在 MPEG-4 具有广阔的应用研究前景^[2]。本文对此进行了有益地探讨。

1 存储记忆模型

1.1 Hopfield 神经网络

Hopfield 网络^[3]是一种动态网络,该网络主要用于联想记忆和优化计算。离散 Hopfield 网络是单层全互联的,它是一个单层网络,有 N 个神经元节点,每个神经元的输出均连接到其它神经元的输入。各节点没有自反馈,每个节点都附有一阈值 θ_i 。 w_{ij} 是神经元 i 与神经元 j 间的连接权值。每个节点都处于一种可能的状态(1 或 -1),即当神经元所受的刺激超过其阈值时,神经元处于一种状态(比如 1),否则神经元就始终处于另一种状态(比如

-1), 定点的个数就是该神经网络的阶数。连接权的设计通常采用 Hebb^[4] 规则进行设计。

离散 Hopfield 网络实质上是一个离散的非线性动力学系统。因此, 如果系统是稳定的, 它就可以从一个初态收敛到另一个稳定状态; 若系统是不稳定的, 由于节点输出 1 和 -1 两种状态, 因而系统不可能出现无限发散, 只可能出现限幅的自持振荡或极限环。若稳定视为一个记忆样本, 那么初态朝稳态的收敛过程便是寻找记忆样本的过程, 初态可以视为给定样本的部分信息, 网络改变的过程可以认为是从部分信息找到全部信息, 从而实现联想记忆功能。

1.2 存储记忆模型

设水印信号 W 是 $N \times N$ 的二值图像 $W = \{w(i, j), 1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N\}$, $w(i, j)$ 表示水印图像的象素值。水印信号的 Hopfield 网络存储记忆过程如下:

步骤 1 对水印进行编码。首先将二值水印图像中的 0 变为 -1, 1 不变, 得到 W' ; 然后将 W' 分成互不重叠相同大小 $n_1 \times n_2$ 的子块, 其中第 m 块为 $W'_m (1 \leq m \leq (N/n_1) \times (N/n_2))$; 最后将 W'_m 转化为一维信号 p_m , 得到 Hopfield 网络的存储模式集 P 。二维信号变为一维信号可以采用行堆叠方式也可以采用列堆叠方式, (1) 式中采用行堆叠。

$$P = \{p_m(k), 1 \leq k \leq n_1 \times n_2 | p_m((i-1) \times n_2 + j) = w_m(i, j)\} \quad (1)$$

步骤 2 建立一个神经元个数为 $n_1 \times n_2$ 的 Hopfield 网络, 并初始化网络节点的权值。

步骤 3 调整网络的权值, 将模式存入网络, 该神经网络中存储有原始水印信号的信息可以用来对提取的水印信号进行恢复。

2 水印嵌入与提取方案

2.1 水印嵌入过程

设 X 是大小为 $M_1 \times M_2$ 的原始灰度图像, 水印信号 W 是 $N \times N$ 的二值图像。水印信号的嵌入过程如下:

步骤 1 水印信号随机置乱。为了抵抗剪切攻击, 采用置乱矩阵对水印图像进行多次置乱。置乱迭代次数分别为 1、2、3、4, 得到四个置乱后的图像 $W'_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 。

步骤 2 原始图像的小波分解。对图像进行二尺度的 DWT 分解, 得到第 2 层的近似系数矩阵 cA_2 和第 1、2 层的细节系数垂直分量 cH_i 、水平分

量 cA_i 和对角分量 $cD_i (i = 1, 2)$ 。

步骤 3 水印信号嵌入。提取小波近似系数矩阵 cA_2 和细节系数矩阵 cH_2 、 cV_2 和 cD_2 , 将 cA_2 、 cH_2 、 cV_2 和 cD_2 分别分成大小为 $(M_1/4N) \times (M_2/4N)$ 的互不重叠的子块, 在小波系数 cA_2 的每一子块 $cA_2(m, n)$ 中第 4 个最大系数上嵌入水印信号 $W'_1(m, n)$, 在小波系数 cH_2 的每一子块 $cH_2(m, n)$ 中第 3 个最大系数上嵌入水印信号 $W'_2(m, n)$, 按照同样的方法在 cV_2 和 cD_2 嵌入水印信号。嵌入规则为

$$cW'_i(m, n) = cW_i(m, n) + a_i \times W'_i(m, n) \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad m, n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$cW'_i(m, n)$ 为嵌入水印后的小波系数, $cW_i(m, n)$ 为待嵌入的小波系数, $W'_i(m, n)$ 为水印信号。 a_i 为嵌入强度, 对不同的 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 应取不同的值, 要求在满足不可见性的前提下, 保证水印的嵌入强度最大, 这样可以提高水印算法的鲁棒性。

步骤 4 系数重新组合后进行小波逆变换, 得到含水印图像。对步骤 3 中加入水印的小波系数的载体图像进行重组, 对小波系数进行相应的二尺度小波逆变换得到含水印图像 X' 。

2.2 水印提取过程

水印提取过程如下:

步骤 1 对待检测图像 X' 和原始图像 X 分别进行二尺度 DWT 变换。提取相应的第二层的近似系数 cA_2 和第二层的细节系数 cH_2 、 cV_2 和 cD_2 。

步骤 2 对 X' 和 X 中各系数分别进行分块, 按 (3) 式求得各块嵌入的水印信号 $W'_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 。

$$W'_i(m, n) = \text{sgn} \left(\frac{cW'(m, n) - cW(m, n)}{a_i} \right) \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (3)$$

步骤 3 对得到的 $W'_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 分别进行逆置乱, 得到提取的水印信号 W'_1 、 W'_2 、 W'_3 和 W'_4 , 然后再把它们分别输入到已经训练好的 Hopfield 神经网络中进行模式联想输出为 W''_1 、 W''_2 、 W''_3 和 W''_4 。

步骤 4 对 W''_1 、 W''_2 、 W''_3 和 W''_4 按 (3) 式可求得提取的水印信号:

$$W_R(i, j) = \text{sgn} \left(\frac{W''_1(i, j) \cdot W''_2(i, j) \cdot W''_3(i, j) + W''_4(i, j)}{4} \right) \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

步骤 5 按照 1.2 节步骤 1 的方法 W_R 对进行

分块、变换,得到输入模式集 P' 。将 P' 通过已训练好的 Hopfield 神经网络,经过网络的联想记忆过程后,得到输出 T ,对 T 进行重新组合可得到恢复的水印 W_r 。

3 像素视觉质量的定量描述

对水印性能的评估可以采用量化失真度量,用它得到的结果不依赖于主观评估,它允许在不同的方法之间进行公平的比较^[5]。在图像、视频编码和压缩领域使用最多的失真度量标准是峰值信噪比(PSNR, Peak Signal Noise Ratio):

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{M \times N \times \max(I^2(i, j))}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i, j) - I^*(i, j)]^2} \right) \tag{5}$$

其中, $I(i, j)$ 代表宿主图像的像素灰度值, $I^*(i, j)$ 代表嵌入水印后的图像的像素灰度值, M 和 N 代表宿主图像的高和宽。PSNR 值愈大,代表宿主图像失真较少;反之,代表宿主图像失真较大。

为了比较在经历不同攻击后水印的健壮性和评价水印的提取效果,可以通过视觉主观效果比较,但是每个人的主观性各有不同,所以,为了弥补主观评价的不足,还可以采用客观评价方法,这里采用公式(6)所示的归一化相关系数 NC (Normalized Cross-Correlation):

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W(i, j) \times W^*(i, j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [W(i, j)]^2} \tag{6}$$

其中, $W(i, j)$ 代表水印图像的像素灰度值, $W^*(i, j)$ 代表从受攻击后的宿主图像中提取出来的水印图像的像素灰度值, M 和 N 代表水印图像的高和宽。 NC 值越大,表示提取后的水印与原始水印的相似度越高,反之则越低。

4 仿真结果及分析

为了检验上述方法的失真度,我们对多个图

像进行水印嵌入,分别比较嵌入水印后的峰值信噪比 $PSNR$,从表 1 可以看出本方法 $PSNR$ 比其他方法有所提高,所以本文上述提出的方法在提高水印健壮性的同时,其水印的不可感知性也非常好。

表 1 嵌入水印后各个图像的峰值信噪比

Tab.1 PSNR between original image and watermarked image

方法算法类别	不同图像的峰值信噪比			
	Lena	Airplane	Pepper	Baboon
本文方法	52.9706	52.5215	52.3880	51.8948
文献[6]方法	49.2231	47.9112	48.4038	45.9598
文献[7]方法	47.6758	47.3206	47.4584	\

下面以一幅具体图像为例来进行各种仿真和攻击实验,宿主图像采用大小为 384×384 的标准 Lena 灰度图像,水印为 48×48 的二值图像。置乱算法采用 Arnold 变换对水印进行预处理。对小波系数 cA_2 、 cH_2 、 cV_2 、 cD_2 分别取 $a_1 = 0.5$ 、 $a_2 = 0.7$ 、 $a_3 = 0.7$ 、 $a_4 = 0.9$ 。

1)透明性实验。图 1(a)是原始图像,(b)是含水印图像,(c)是水印图像,(d)是没有进行攻击直接提取的水印,(e)是经过神经网络处理后的水印。从图中可以看出,该算法能满足透明性的要求 ($PSNR = 52.9706\text{dB}$)。

2)JPEG 压缩。图 2 描述了含水印图像经过不同程度 JPEG 压缩后提取的水印 NC 值及对提取的水印经过神经网络处理后的 NC 值曲线。横坐标是对含水印图像进行 JPEG 压缩的质量因子, JPEG 压缩质量因子从 0 到 100%,质量因子数越低,表示压缩后图像质量越低,纵坐标为提取的水印的 NC 值。曲线 $NC1$ 是直接提取水印的 NC 值与质量因子之间的关系, $NC2$ 为经神经网络处理后恢复的水印 NC 值与质量因子之间的关系。



图 1 透明性实验

Fig.1 The transparent experiment

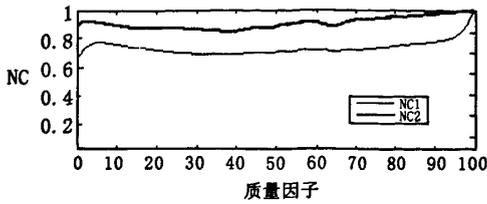


图2 质量因子与NC之间关系
Fig.2 The relation between quality factor and NC

从图 2 可以看出:(1)质量因子越小时,直接提取的水印和经过神经网络恢复的水印的 NC 值越小;(2)经过神经网络处理的水印的 NC 值要远远大于直接提取水印的 NC 值,这说明经过神经网络处理后,水印图像质量有了很大的改善;(3)曲线 NC1 随着质量因子的增大 NC 并没有太大的提高,而曲线 NC2 在质量因子大于 50 后提取的水印的 NC 值均接近于 1。

3)噪声攻击。图 3 是在含水印图像中加入噪声后直接提取的水印和经过神经网络处理后恢复的水印图像,前面一个为直接提取的水印图像,后面一个为经过神经网络处理后恢复的水印图像。其中(a)(b)是在含水印图像中加入均值为 0、方差为 0.005 的高斯白噪声后提取的水印和经过神经网络恢复的水印图像,(c) (d)是在含水印图像中

加入强度为 0.3 的胡椒盐噪声后提取的水印和经过神经网络恢复的水印图像,(e)(f) 是在含水印图像中加入均值为 0、方差为 0.01 的乘性斑点噪声后提取的水印和经过神经网络恢复的水印图像,仿真结果表明:直接提取的水印图像再经过 Hopfield 神经网络恢复后,提取的水印图像质量有了显著改善。

4)剪切攻击。图 4 中是含水印图像左上角、右下角、中心以及不规则地剪切掉 1/4 后直接提取的水印和经过神经网络处理恢复的水印图像。(a1)(b1) (c1)(d1)是直接提取的水印,(a2)(b2) (c2)(d2)是经过神经网络处理后恢复的水印。从图中可以看出,直接提取的水印质量很差,但是经过神经网络处理后,提取的水印比较清晰,即能将破损的水印图像复原。

5 结束语

本文将 Hopfield 神经网络的自联想功能用于数字图像水印技术中,提出了一种基于神经网络后处理的 DWT 域数字图像水印新算法。仿真结果表明该算法与直接提取水印的算法相比,性能有了很大的改善。这说明,将神经网络用于图像后处理过程,能很好的提高水印算法的抗攻击能力,增强水印算法的鲁棒性。

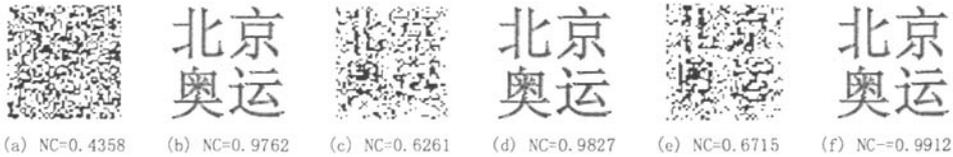


图3 噪声攻击试验
Fig.3 The noise attacks experiment

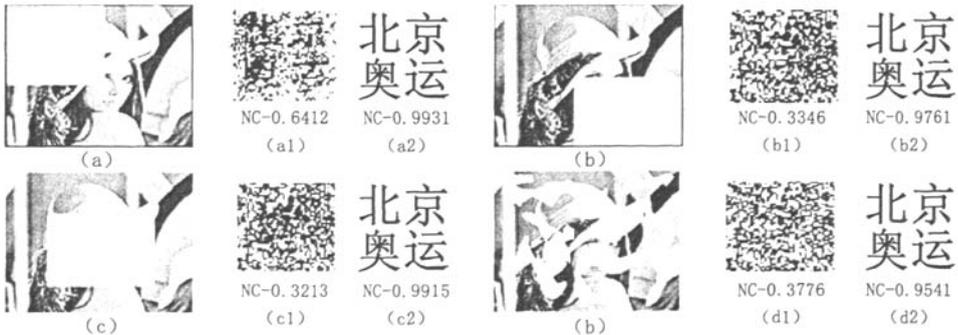


图 4 剪切攻击试验
Fig.4 The cut attacks experiment

板,使其保持平整。

3)及时调架,发现支架有轻微倾斜可用侧护板调整,倾倒严重时,可用木支柱单体柱进行调整。

4)严格控制采高,适当加快推进速度。控制采高也就是控制支架高度。超高开采不仅降低支架的横向稳定性,同时亦造成移架、推溜困难。因此,应在不降低工作面回采率的前提下,严格控制采高,提高支架稳定性,防止架间的挤、咬现象。加快工作面推进速度可减轻直接顶断块对支架的作用,提高支架横向稳定性。

5)严格工程质量管理,坚持拉线移架,保持采面“三直一平”。

6)回采过程中,对支架工作状态进行技术监测,认真研究分析支架初撑力及受力状态,发现问题及时进行调整,保证支架在降架移架升架中稳定可靠。

2.4 防止输送机“漂移”及采煤机翻转

仰斜开采时容易出现“采煤工作面输送机漂移”,刮板输送机的漂移可降低采高,使输送机局部被抬高,采煤机运行不稳定等。为此,采取的主要措施有:

1)及时清理输送机机道内浮煤。

2)采煤机沿底板割煤时严格控制欠挖。

3)倾角超过 17° 移溜时,采用“辅助支柱定位法”,即用一根单体液压支柱,支柱上端顶在煤壁与顶板的交界处,下端支在采煤工作面输送机靠近煤层的一侧的底座上,然后推移输送机,这样,一方面输送机沿着移溜器推移方向移动^[6],另一

方面,辅助支柱对刮板输送机有一向下的作用力,在以上各力的作用下,可控制输送机的“漂移”,同时还能防止采煤机向采空区方向的翻转。

3 结束语

大倾角仰斜开采工艺在郭二庄矿 22208 工作面的成功应用,为矿井回采其它大倾角煤层积累了宝贵经验,并取得了良好的经济效益。

1)回收煤炭资源 24.3 万吨,创造经济效益 1500 余万元。

2)对大倾角开采时出现的三机下滑和煤壁片帮问题,首先从产生问题的机理入手,进而采取相应措施,不仅解决了现场实际问题,而且提出了大倾角开采的三机下滑和煤壁片帮问题的具体防治措施。

参考文献:

- [1]徐永圻. 煤矿开采学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 1999.
- [2]徐永圻. 采矿学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2005.
- [3]钱鸣高,石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2003.
- [4]张文生. 开采方法[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1980.
- [5]温运峰,高永格,蔡振禹. 对厚煤层综采面煤壁片帮冒顶严重的原因分析[J]. 河北建筑科技学院学报, 2004, 21(2):69-71.
- [6]尹得海,邹集峰. 大倾角煤层倾角长壁仰斜开采工艺分析及技术措施[J]. 煤炭技术, 2003, 22(8):45-46.

(责任编辑 闫纯有)

(上接第 91 页)

参考文献:

- [1] SHIEH C S, HUANG H C, WANG F H, et al. Genetic watermarking based on transform-domain techniques [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(3): 555-565.
- [2] GLORIA GALÁN MARÍN, JOSÉ MUNOZ PÉREZ. Design and analysis of maximum Hopfield networks [J]. IEEE Trans. Neural Networks, 2001, 12(5): 329-339.
- [3] WONG P, MEMON N. Secret and public key image watermarking schemes for image authentication and ownership verification[J]. IEEE Trans Image Processing, 2001, 10(10): 1593-1601.
- [4] 李春花, 卢正鼎. 一种基于支持向量机的图像数字水印算法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(9): 1323-1326.

- [5] 贺仁亚,程乾生. 一种用于认证的小波变换域的数字水印技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(9):812-815.
- [6] 张亚莉,郭雷. 一种用于图像认证的半脆弱性数字水印算法[J]. 计算机应用研究, 2005, (11), 247-249.
- [7] 何廷霖,魏德华,田新志. 对 RBF 神经网络的改进及应用[J]. 河北建筑科技学院学报, 2006, 23(1):57-63.
- [8] PIYU TSAIA, CHEN HUB YU, CHIN CHEN CHANG. A color image watermarking scheme based on color quantization [J]. Signal Processing, 2004, 84:95-106.
- [9] JUN ZHANG, NENG CHAO WANG. Neural network based watermarking for image authentication[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2003, 15(3):307-312.

(责任编辑 闫纯有)

作者: 赵卫国, ZHAO Wei-guo
作者单位: 河北工程大学, 教育技术中心, 河北, 邯郸, 056021
刊名: 河北工程大学学报(自然科学版) 
英文刊名: JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING (NATURAL SCIENCE EDITION)
年, 卷(期): 2008, 25 (3)

参考文献(9条)

1. SHIEH C S;HUANG H C;W ANG F H [Genetic watermarking based on transform-domain techniques](#)[外文期刊] 2004(03)
2. GLORIA GALÁN MARÍN;JOSÉ MUNOZ PÉREZ [Design and analysis of maximum Hopfield networks](#) 2001(05)
3. WONG P;MEMON N [Secret and public key image watermarking schemes for image authentication and ownership verification](#) 2001(10)
4. 李春花;卢正鼎 [一种基于支持向量机的图像数字水印算法](#)[期刊论文]-[中国图象图形学报](#) 2006(09)
5. 贺仁亚;程乾生 [一种用于认证的小波变换域的数字水印技术](#)[期刊论文]-[计算机辅助设计与图形学学报](#) 2001(09)
6. 张亚莉;郭雷 [一种用于图像认证的半脆弱性数字水印算法](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2005(11)
7. 何廷霖;魏德华;田新志 [对RBF神经网络的改进及应用](#)[期刊论文]-[河北建筑科技学院学报](#) 2006(01)
8. PIYU TSAIA;CHEN HUB YU;CHIN CHEN CHANG [A color image watermarking scheme based on color quantization](#)[外文期刊] 2004(1)
9. JUN ZHANG;NENG CHAO WANG [Neural network based watermarking for image authentication](#)[期刊论文]-[Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics](#) 2003(03)

本文读者也读过(10条)

1. 陈良海. [Chen Lianghai 基于Hopfield网络的数字水印技术的研究](#)[期刊论文]-[中国科技信息](#)2009(5)
2. 张帆. [张新红. Zhang Fan. Zhang Xinhong 基于神经网络的数字水印容量分析](#)[期刊论文]-[计算机研究与发展](#) 2006, 43(z2)
3. 许学全. [李月清. 温显斌. 权金娟. XU Xue-quan. LI Yue-qing. WEN Xian-bin. QUAN Jin-juan 小波域上基于神经网络的数字水印算法](#)[期刊论文]-[天津理工大学学报](#)2008, 24(1)
4. 燕丹丹. [张正兰. 张明. YAN Dan-dan. ZHANG Zheng-lan. ZHANG Ming 一种基于神经网络和小波变换的盲水印算法](#)[期刊论文]-[现代计算机\(专业版\)](#)2009(5)
5. [张新红. 张帆. Zhang Xinhong. Zhang Fan 基于Hopfield神经网络的盲检测数字水印](#)[期刊论文]-[计算机与数字工程](#)2006, 34(10)
6. 宋伟. [谢胜曙. SONG Wei. XIE Sheng-shu 基于神经网络的小波域数字水印嵌入算法研究](#)[期刊论文]-[计算机仿真](#) 2007, 24(10)
7. 王忠. [韵湘. 孙钰. WANG Zhong. YUN Xiang. SUN Yu 基于神经网络的图像盲水印技术](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#)2006, 27(20)
8. [于长辉 基于神经网络的数字水印技术的研究](#)[期刊论文]-[大众科技](#)2009(3)
9. 罗建. [李艳梅. LUO Jian. LI Yan-mei 一种基于MCA神经网络的数字水印算法](#)[期刊论文]-[现代计算机\(专业版\)](#) 2010(6)
10. [王振飞. 宋胜利. Wang Zhenfei. Song Shengli 基于神经网络和多小波变换的数字水印算法](#)[期刊论文]-[东南大学学报\(英文版\)](#) 2007, 23(2)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjkjxyxb200803025.aspx