

基于 HSI 和局部同态滤波的彩色图像增强算法

张亚飞¹ 谢明鸿²

¹(南京工程学院通信工程学院 江苏 南京 211167)

²(南京电子技术研究所 江苏 南京 210039)

摘 要 为了消除光照不均对彩色图像的影响,提出基于 HSI 和局部同态滤波的彩色图像增强算法。首先,将图像从 RGB 颜色空间转换到 HSI 颜色空间。然后,对亮度分量进行局部同态滤波,并对局部同态滤波过程中产生的块效应采用相邻子图像边界平均的方法去除。色调和饱和度分量保持不变。最后再将图像从 HSI 颜色空间转换到 RGB 颜色空间,得到增强后的图像。实验结果表明,采用所提的方法增强后的图像光照均匀,明暗适中,细节清晰,优于全局同态滤波的结果。

关键词 彩色图像增强 光照不均 同态滤波 块效应

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A DOI: 10.3969/j.issn.1000-386x.2013.12.080

COLOUR IMAGE ENHANCEMENT ALGORITHM BASED ON HSI AND LOCAL HOMOMORPHIC FILTERING

Zhang Yafei¹ Xie Minghong²

¹(School of Communication Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, Jiangsu, China)

²(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, Jiangsu, China)

Abstract To eliminate the influence of non-uniform illumination on colour image, the colour image enhancement algorithm based on HSI and local homomorphic filtering is proposed. Firstly, the image is transformed from RGB colour space to HSI colour space. Then, the local homomorphic filtering is executed on luminance component, and the block effect caused by local homomorphic filtering process is removed by the method of averaging the adjacent sub-images boundaries. The hue and saturation components are kept invariant. Finally, the image is converted from HSI colour space to RGB colour space once again, and the enhanced colour image is obtained. Experimental results show that the images enhanced by the proposed method have uniform illumination, moderate shade and clear detail, better than the results of global homomorphic filtering.

Keywords Colour image enhancement Non-uniform illumination Homomorphic filtering Block effect

0 引言

在图像采集过程中,由于光照环境或物体表面反光等原因会造成图像光照不均^[1]。图像的光照不均会直接影响图像分析的结果。因此,对光照不均图像进行增强,消除光照的影响是光照不均图像处理中不可缺少的环节^[2]。同态滤波是光照不均图像增强常用的方法。同态滤波增强是从图像的整体角度对光照不均进行修正,虽然可以很好地保持图像的原始面貌,但它没有充分考虑图像的空间局部特性,在增强图像某部分像素时,易导致另一部分像素过增强^[1,3]。因此,本文提出了局部同态滤波算法,对图像的各个子图像分别进行同态滤波,并对局部同态滤波产生的块效应采用相邻子图像边界平均的方法进行去除。

现实世界中面对的大多是彩色图像。在对彩色图像进行同态滤波时,由于 R 、 G 和 B 三个分量之间存在很大的相关性,如果对各分量单独进行同态滤波,会改变各分量的数值和比例,导致增强后的图像出现色彩失真。所以处理彩色图像必须选择合适

的颜色空间^[4,5]。本文选择在 HSI 颜色空间中对亮度分量进行局部同态滤波,不仅可以改善彩色图像亮度的不均匀分布,而且能够较好地保留图像的色彩信息。

实验结果表明,与全局同态滤波相比,利用本文提出的算法处理后的图像局部对比度增强效果明显,而且图像中的细节更为清晰。

1 HSI 颜色模型

HSI 颜色模型是一种直观的颜色模型,它从人眼视觉系统出发,用 H (Hue)、 S (Saturation)和 I (Intensity)分别表示色调、饱和度和亮度3种独立的颜色特征。HSI模型的建立基于两个重要的事实:其一, I 分量与图像的彩色信息无关;其二, H 和 S 分量与人感受颜色的方式是一致的。这些特点使得 HSI 模型非常适合借助于人的视觉系统来感知彩色特性的图像处理算

收稿日期:2012-09-18。南京工程学院科研基金项目(YKJ200907)。张亚飞,讲师,主研领域:数字图像和视频处理。谢明鸿,工程师。

法^[6,7]。HSI 颜色模型和 RGB 模型只是同一物理量的不同表示方法,因而它们之间存在着转换关系。

1.1 RGB 模型转换到 HSI 模型

给的一幅 RGB 彩色格式的图像,对 $[0, 1]$ 范围内的 R, G, B 值,其对应的 HSI 模型中的 I, S, H 分量的计算公式分别为:

$$I = \frac{R + G + B}{3} \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B} \min(R, G, B) \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} \theta & B \leq G \\ 360^\circ - \theta & B > G \end{cases} \quad (3)$$

其中:

$$\theta = \arccos \left\{ \frac{(R - G) + (R - B)}{2 [(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\} \quad (4)$$

1.2 HSI 模型转换到 RGB 模型

S 和 I 的值在 $[0, 1]$ 之间, R, G, B 的值也在 $[0, 1]$ 之间, HSI 模型转换为 RGB 模型的公式分为 3 段。

(1) 当 $0^\circ \leq H < 120^\circ$ 时:

$$B = I(1 - S) \quad (5)$$

$$R = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad (6)$$

$$G = 3I - (B + R) \quad (7)$$

(2) 当 $120^\circ \leq H < 240^\circ$ 时:

$$R = I(1 - S) \quad (8)$$

$$G = I \left[1 + \frac{S \cos(H - 120^\circ)}{\cos(180^\circ - H)} \right] \quad (9)$$

$$B = 3I - (G + R) \quad (10)$$

(3) 当 $240^\circ \leq H < 360^\circ$ 时:

$$G = I(1 - S) \quad (11)$$

$$B = I \left[1 + \frac{S \cos(H - 240^\circ)}{\cos(300^\circ - H)} \right] \quad (12)$$

$$R = 3I - (G + B) \quad (13)$$

2 彩色图像局部同态滤波算法

2.1 同态滤波

从图像的形成和光特性考虑,一幅图像是由光源的照度分量 $i(x, y)$ 和目标物的反射分量 $r(x, y)$ 组成的,其数学模型为:

$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y) \quad (14)$$

式中, $r(x, y)$ 的性质取决于成像物体的表面特性。

一般来说,光照条件体现在照度分量 $i(x, y)$ 中, $i(x, y)$ 变化缓慢,其频谱主要落在低频区域;而 $r(x, y)$ 反映图像的细节等特征,其频谱主要落在高频部分。为此,只要从 $f(x, y)$ 中将 $i(x, y)$ 和 $r(x, y)$ 分开,并分别采取压缩低频、提升高频的方法,就可以达到减弱照度分量、增强反射分量从而使图像清晰的目的^[7]。

同态滤波的流程如图 1 所示。

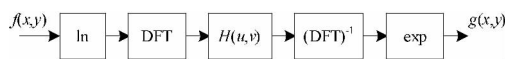


图 1 同态滤波的流程

同态滤波的具体实现过程是先对待增强图像取对数,然后进行傅立叶变换,在频域中利用同态滤波器 $H(u, v)$ 进行滤波,最后通过逆傅立叶变换及指数变换得到增强后的图像^[7]。

在同态滤波过程中,能否达到理想的滤波效果,取决于同态滤波函数 $H(u, v)$ 的选择。 $H(u, v)$ 有两方面的作用:一方面减少低频(照度)分量的贡献,另一方面增加高频(反射)分量的贡献。最终的结果是同时进行图像整体动态范围的压缩和对比度的增强。

采用高斯型高通滤波器构造能够减少低频分量,增加高频分量的同态滤波函数:

$$H(u, v) = (\gamma_H - \gamma_L) [1 - e^{-(D(u, v)/D_0)^2}] + \gamma_L \quad (15)$$

式中, $\gamma_L < 1$ 且 $\gamma_H > 1$ 为常数,在 γ_L 和 γ_H 之间过渡,用来控制滤波器函数斜面的陡度, D_0 为截止频率, $D(u, v)$ 为点 (u, v) 到傅立叶变换中心的距离:

$$D(u, v) = \sqrt{(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2} \quad (16)$$

其中, M, N 分别为图像的行数和列数。

2.2 彩色图像局部同态滤波的实现

对彩色图像进行同态滤波,首先需要将彩色图像从 RGB 颜色空间转换到 HSI 颜色空间,然后保持色调和饱和度分量不变,只对亮度分量进行同态滤波,最后再将处理后的图像从 HSI 空间转换到 RGB 颜色空间,得到增强后的彩色图像。

彩色图像同态滤波算法的实现采用 Matlab 编程。首先根据式(1)~式(13)编写 RGB 模型和 HSI 模型相互转化的函数 rgb2hsi 和 hsi2rgb,然后根据同态滤波的原理同态滤波函数 HomoMor。同态滤波的核心代码如下:

```
function im_e = HomoMor(im)
[ row, col ] = size( im );
% 确定傅里叶变换的原点
x0 = floor( row/2 );
y0 = floor( col/2 );
% 高斯同态滤波器参数的设置
Hh = 1.2;
Hl = 0.5;
D0 = 50;
c = 1;
H = zeros( row, col );
for i = 1: row
    for j = 1: col
        D = ( i - x0 )^2 + ( j - y0 )^2;
        if D == 0
            H( i, j ) = Hl;
        else
            H( i, j ) = ( Hh - Hl ) * ( 1 - exp( - c * D^2 / ( D0^2 ) ) )
        + Hl;
    end
end
end
im_l = log( im + 0.000001 );
im_f = fftshift( fft2( im_l ) );
im_nf = H * im_f;
im_n = real( ifft2( ifftshift( im_nf ) ) );
im_e = exp( im_n );
```

采用图像处理中的标准测试图像 girl.bmp($256 \times 256 \times 24$ bit) 进行全局同态滤波实验,滤波后图像的局部对比度较差,且会造成部分像素的过增强,如图 2 所示。参数 $\gamma_H = 1.2$, $\gamma_L =$

0.5 $\rho = 1$, 截至频率 $D_0 = 50$ 。



(a) girl 原始图像

(b) 同态滤波结果

图 2 girl 图像全局同态滤波结果

从图 2 可以看出, 全局同态滤波后的图像有些部分过亮, 损失了一些细节, 如(b) 中女孩的肩膀、头顶以及花和窗户部分。

为了改善图像的局部增强效果, 将图像分割成一系列 $n \times n$ 的子图像, 如图 3 所示。本文实验中 n 取 8。

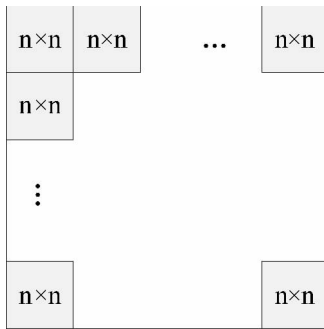


图 3 子图像划分示意图

对每个子图像分别进行同态滤波, 然后再将同态滤波后的各个子图像合并成一幅图像, 得到增强后的图像。

彩色图像局部同态滤波算法的核心代码如下:

```
I = imread( 'girl.bmp' );
hsiim = rgb2hsi( I );
im = hsiim( : , 3 );
[ row , col ] = size( im );
% 块的大小为 Mb * Nb
Mb = 8;
Nb = 8;
rb = floor( row / Mb );
cb = floor( col / Nb );
im_g = im;
for i = 1: rb
    for j = 1: cb
        temp = im( ( i - 1 ) * Mb + 1: i * Mb , ( j - 1 ) * Nb + 1: j * Nb );
        im_g( ( i - 1 ) * Mb + 1: i * Mb , ( j - 1 ) * Nb + 1: j * Nb ) =
            HomoMor ( temp );
    end
end
hsiim( : , 3 ) = im_g;
rgbim = hsi2rgb( hsiim );
```

对图 2(a) 中的图像进行局部同态滤波, 结果见图 4 所示。参数 $\gamma_H = 1.2$, $\gamma_L = 0.5$, $\rho = 1$, 截至频率 $D_0 = 4$ 。

从图 4 可以看出, 经过局部同态滤波后, 图像中光照分布均匀, 图像明暗适中, 细节清晰, 缺点是滤波后的图像中存在块效应, 在一定程度上影响了图像的视觉效果。



图 4 girl 图像局部同态滤波结果

3 去除块效应^[8]

局部同态滤波是指在各个子图像中分别进行同态滤波, 因此在子图像边界处会产生块效应, 且图像越平滑, 块效应越明显。为了减少块效应, 提高图像的质量, 提出了相邻子图像边界平均的块效应去除方法。

设子图像大小为 8×8 , L, R 是水平方向上相邻的经过局部同态滤波的子图像, 如图 5(a) 所示。子图像 L 和 R 相邻的边界处会出现块效应。为了去除水平相邻子图像的块效应, 对 L 和 R 相邻的边界像素进行均值滤波, 见式(17)。

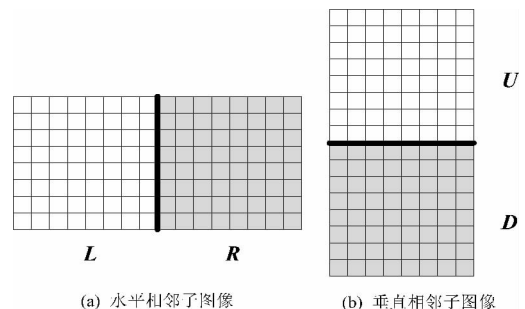
$$\left. \begin{aligned} L(m, n) &= \frac{\sum_{i=0}^{n_0} L(m, n-i) + \sum_{i=0}^{n_0-1} R(m, i)}{N} \quad 0 \leq m \leq 7, n = 7 \\ R(m, n) &= \frac{\sum_{i=0}^{n_0-1} L(m, 7-i) + \sum_{i=0}^{n_0} R(m, n+i)}{N} \quad 0 \leq m \leq 7, n = 0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

其中, 模板大小为 $1 \times N$, $N = 2n_0 + 1$, n_0 为整数且 $1 \leq n_0 \leq 7$ 。

设 U, D 是垂直方向上相邻的经过局部同态滤波的子图像, 如图 5(b) 所示。子图像 U 和 D 相邻的边界处会出现块效应。为了去除垂直相邻子图像的块效应, 对 U 和 D 相邻的边界像素进行均值滤波, 见式(18)。

$$\left. \begin{aligned} U(m, n) &= \frac{\sum_{i=0}^{m_0} U(m-i, n) + \sum_{i=0}^{m_0-1} D(i, n)}{M} \quad m = 7, 0 \leq n \leq 7 \\ D(m, n) &= \frac{\sum_{i=0}^{m_0-1} U(7-i, n) + \sum_{i=0}^{m_0} D(m+i, n)}{M} \quad m = 0, 0 \leq n \leq 7 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

其中, 模板大小为 $M \times 1$, $M = 2m_0 + 1$, m_0 为整数且 $1 \leq m_0 \leq 7$ 。



(a) 水平相邻子图像

(b) 垂直相邻子图像

图 5 相邻子图像示意图

去除块效应算法的核心代码如下:

```
M = 3;
N = 3;
```

```
n0 = floor( N/2 );
m0 = floor( M/2 );
Ide = im_g;
% 去除水平相邻子图像间的块效应
for i = 1: row
    for j = Nb: Nb: col - Nb
        temp1 = 0;
        temp2 = 0;
        for k = - n0: n0
            temp1 = temp1 + im_g( i , j + k );
            temp2 = temp2 + im_g( i , j + 1 + k );
        end
        Ide( i , j ) = temp1 / N;
        Ide( i , j + 1 ) = temp2 / N;
    end
end
% 去除垂直相邻子图像间的块效应
for i = Mb: Mb: row - Mb
    for j = 1: col
        temp1 = 0;
        temp2 = 0;
        for k = - m0: m0
            temp1 = temp1 + im_g( i + k , j );
            temp2 = temp2 + im_g( i + 1 + k , j );
        end
        Ide( i , j ) = temp1 / M;
        Ide( i + 1 , j ) = temp2 / M;
    end
end
```

对局部同态滤波的结果采用上述方法进行块效应的去除，结果见图 6。实验中均值滤波模板大小的参数 M 和 N 均取 3。从图 6 可以看出，块效应去除后，图像达到了比较好的视觉效果。



图 6 girl 图像块效应去除后的局部同态滤波结果

4 实验结果与分析

本文实验使用计算机为 Intel® Core™2 Duo 2.1GHz 的 CPU 2GB 的内存，操作系统为 Windows XP，实验平台为 Matlab R2006b。

为了进一步验证本文算法的有效性，采用作者本人拍摄的图片 flower.bmp (656 × 656 × 24 bit) 图像进行实验，结果见图 7 所示。在实验中图像的大小应子图像大小的整数倍，否则需要边界填充。

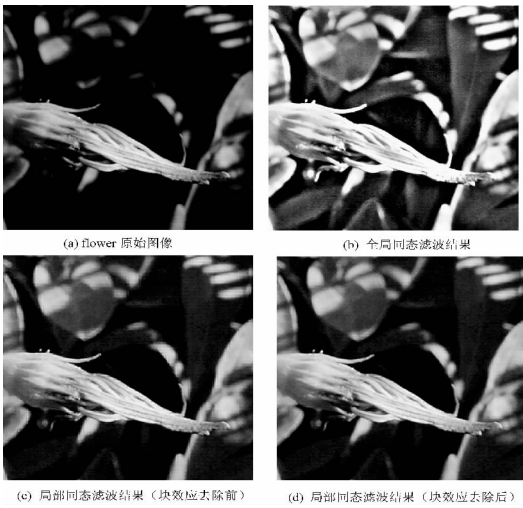


图 7 flower 图像增强效果比较

从实验结果可以看出，全局同态滤波在增强图像某部分像素时，导致另一部分像素过增强，从而造成图像细节的损失。而局部同态滤波考虑了图像的局部特征，增强之后的图像光照均匀，明暗适中，细节清晰，且经过块效应去除后，图像有更好的视觉效果。

熵是衡量图像信息丰富程度的一个重要指标。熵越大，表示图像包含的信息量越多，信息越丰富，图像的质量也就越好^[9]。由于本文采用的是局部同态滤波算法，为了减少块效应对熵值的影响，本文采用局部平均熵来客观评价图像的增强效果。局部平均熵即各个子图像熵的平均值。彩色图像的局部平均熵为 R 、 G 、 B 三个分量局部平均熵的均值。局部平均熵的具体计算方法如下：

Step1 将局部同态滤波后的彩色图像分割成 $n \times n$ (本文 n 取 8) 的子图像；

Step2 求出子图像中 R 、 G 、 B 三个分量的熵值并求平均；

Step3 将所有子图像的熵求和，并除以子图像的个数，得到彩色图像的局部平均熵。

彩色图像局部平均熵的计算结果见表 1 所示。

表 1 图像客观性能比较

图像类型	girl 图像	flower 图像
原始图像	3.8476	3.0518
全局同态滤波	4.6636	3.5531
局部同态滤波	4.6848	3.7152
块效应去除后的局部同态滤波	4.6740	3.7963

从以上分析可以看出，利用本文提出的算法对彩色图像进行增强，可以得到比较好的主观视觉效果，同时，能保持较高的局部平均熵值。

5 结 语

由于全局同态滤波器没有充分考虑图像的空间局部特性，在增强图像某部分像素时，易导致另一部分像素过增强。因此，本文提出了局部同态滤波算法，即将待增强图像分割成一系列互不重叠的子图像，每个子图像分别进行同态滤波。为了去除局部同态滤波产生的块效应，本文采用了相邻子图像边界平均的块效应去除方法。同时，为了对彩色图像进行增强，本文选取

各个分量相互独立的 HSI 颜色模型, 并且在局部同态滤波过程中仅对亮度分量进行滤波, 其他分量保持不变。

实验结果表明, 本文的方法不但有效改善了光照不均对图像的影响, 而且使图像色彩保持良好, 增强后的图像光照均匀, 明暗适中, 细节清晰, 性能上优于全局同态滤波。

参 考 文 献

- [1] 梁琳, 何卫平, 雷蕾, 等. 光照不均图像增强方法综述[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(5): 1625-1628.
- [2] 刘培, 王建英, 尹忠科. 图像光照补偿方法的研究[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(7): 1343-1346.
- [3] 张新明, 沈兰荪. 基于小波的同态滤波器用于图像对比度增强[J]. 电子学报, 2001, 29(4): 531-533.
- [4] 徐涛, 李冠章. 基于小波变换的彩色图像自适应细节增强算法[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(3): 240-242, 295.
- [5] 焦竹青, 徐保国. HSV 变换和同态滤波的彩色图像光照补偿[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(30): 142-144.
- [6] Calin R, Thorsten G, Jianwei Z. Color image segmentation in HSI space for automotive applications[J]. Journal of Real-time Image Processing, 2008, 3(4): 311-322.
- [7] 卢官明, 焦良葆. 多媒体信息处理[M]. 人民邮电出版社, 2011.
- [8] 许志良, 谢胜利. 一种基于人类视觉系统的去块效应算法[J]. 电子与信息学报, 2005, 27(11): 1717-1721.
- [9] 周西柳, 章洁. 基于聚类余弦变换的图像增强算法研究[J]. 计算机仿真, 2012, 29(2): 216-219.

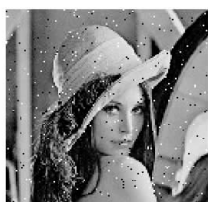
(上接第 162 页)

4 实验结果与讨论

本文在 Windows7 系统, Intel i5 处理器, 4G 内存电脑上安装 MATLAB 7.0 版进行实验, 实验所用 lena 图像分辨率为 512×512 。如图 6 所示, 首先对不含噪音 lena 图(a)和含有噪音 lena 图(b)分别进行传统 canny 边缘检测实验, 检测结果如图(d), (e)所示, 然后运用数学形态学开闭运算对含有噪音的 lena 图(b)进行除噪处理, 结果如图(c)所示, 接着进行 canny 边缘检测, 最后运用本文提出的改进算法进行边缘检测。实验结果如图(f)所示。由实验可知, 如果图像中含有噪声和干扰, 检索结果会变模糊, 如图(d)所示, 所以进行数学形态学除噪处理是非常必要的。



(a) lena原图



(b) lena噪音图



(c) 含噪lena图数学形态学处理后的图



(d) 含噪lena图canny边缘检测



(e) 去噪lena图canny边缘检测



(f) 本文算法检测 (T1=58, T2=360)

图 6 实验结果

实验运用数学形态学对图像进行预处理, 有效地除去图像中的噪音。基于第二代模糊逻辑阈值选择方法用于 Canny 边缘检测器的阈值选择, 计算出了高低阈值, 使得边缘检测结果更为清晰。该算法充分考虑到图像中的不确定性。

5 结 语

本文改进传统 Canny 边缘检测算法, 提出一个基于第二代模糊理论, 自动选择 Canny 边缘检测高低阈值的算法。理论分析和仿真实验都表明本文算法的有效性, 它优于一般的 Canny 边缘检测算法。运用数学形态学对图像进行预处理, 很好地去除了图像中的噪声, 边缘细节损失小, 有利于下一步图像分析与处理。

参 考 文 献

- [1] 王佐成, 刘晓冬, 薛丽霞. Canny 算子边缘检测的一种改进方法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(34): 202-204.
- [2] Cho S M, Cho J H. Thresholding for Edge Detection using Fuzzy Reasoning Technique [C]//IEEE Int. Conf. Computational Sci. Proc., 1994: 1121-1124.
- [3] Jayachandran A, Dhanashakeran R, Anand O S et al. Fuzzy information system based digital image segmentation by edge detection [C]//Computational Intelligence and Computing Research (ICIC) 2010 IEEE International Conference on, 28-29 Dec. 2010.
- [4] Alshennawy Abdallah A Aly, Ayman A. Edge detection in digital images using fuzzy logic technique [J]. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009, 39: 185-193.
- [5] Xiao W, Hui X. An Improved Canny Edge Detection Algorithm Based on Predisposal Method for Image Corrupted by Gaussian Noise [C]//IEEE World Automation Congress, 2010: 113-116.
- [6] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle. Image processing, analysis, and machine vision [M]. 3rd ed. 清华大学出版社, 2011.
- [7] Ranita Biswas, Jaya Sil. An Improved Canny Edge Detection Algorithm Based on Type-2 Fuzzy Sets [J]. Procedia Technology, 2012, 4: 820-824.
- [8] Zadeh L A. Fuzzy sets [J]. Inf. Control, 1965, 1(8): 338-351.
- [9] Karnik N N, Mendel J M. Introduction to Type-2 Fuzzy Logic Systems [C]//Fuzzy Systems Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence, The 1998 IEEE International Conference on, 1998, 2: 915-920.
- [10] John R B. Embedded interval valued type-2 fuzzy sets [C]//FUZZ-IEEE'02. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference, May 2002, 2: 1316-1320.
- [11] 陈奕融. 第二代模糊推论处理器值设计与研究[D]. 私立中原大学, 2004.