

双线性快速模糊增强图像边界检测最新算法^{*})

韩培友¹ 王 鸿² 郝重阳¹

(西北工业大学电子与信息工程研究所 西安710072)¹ (河南省开封市广播电视大学 开封475000)²

摘 要 本文利用广义模糊集(GFS)理论,给出了全新的用于模糊增强图像区域对比度的线性广义模糊算子(LGFO),从而给出了双线性快速模糊增强图像边界检测最新算法。首先利用线性右半梯形隶属变换将灰度图像的普通空间变换为广义模糊空间,再利用 LGFO 对广义模糊空间进行区域对比度增强,然后把增强后的广义模糊空间变换为普通空间,最后对处理后的普通空间进行边界提取。通过大量实例验证,使用本文算法提取图像边界速度快、效果好,而且多项指标均超过了文[1~4]。

关键词 边界检测,模糊增强,广义模糊集,线性广义模糊算子

The Newest Double Linear Fast Algorithm of Image Fuzzy Enhancement Edge Detection

HAN Pei-You¹ WANG Hong² HAO Chong-Yang¹

(Institute of Electronic Information Engineering Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)¹

(Kaifeng Broadcasting and TV University, Kaifeng 475000)²

Abstract This paper gives the linear general fuzzy operator (LGFO) of fuzzy enhancement of contrast among successive region, then puts forward the newest double linear fast algorithm of image enhancement edge detection use theory of GFS. First the normal space of grey image is translated to correspondent generalized fuzzy space by using right semi-trapezoid membership transform, second proceeds fuzzy enhancement of contrast among successive region to GFS, and then translates GFS to normal space, at last the edge is extracted for normal space. Through a great deal of instance checked, by using this algorithm to extract the edge is fast for velocity and good for effect, all exceeded literature [1~4] on multi-index.

Keywords Edge detection, Fuzzy enhancement, Linear generalized fuzzy operator, Generalized fuzzy set

1. 引言

模糊集理论是由 L. A. Zadeh^[5]于1965年给出的,它是描述不精确或不确定问题的软计算工具,用于研究信息系统中知识的不完善、不准确问题。广义模糊集由陈武凡^[3]于1995提出,他利用广义模糊集理论,提出了一种图像边界检测新算法,即广义模糊算子法(GFO)。

在图像处理领域中,边界检测是一个很重要的分支,它常应用于图像分割和图像分析等领域。目前图像边界检测的方法有多种,基本上都是依据灰度不连续性理论,通常一个好的图像系统应该与视觉机理有良好的匹配,因此我们希望使用能够描述人的视觉特性的模型和方法,而广义模糊集理论在人工智能、模式识别和图像处理与分析等领域是一种有效的软计算工具,因而广义模糊集理论已经被成功地应用到图像边界检测中,而基于广义模糊集理论的图像边界检测技术也受到越来越多的重视。Pal^[1,2]等提出了一种图像边界检测模糊算法,该方法在 X 光图像的边界检测中取得了较好的结果,但是该算法采用幂函数形式的模糊隶属函数将普通空间变换为广义模糊空间,运算量大、速度慢,并且会损失图像中部分低灰度值的边界信息。同时该算法在对图像进行增强处理时采用的变换也是基于幂函数的非线性变换。

本文利用广义模糊集(GFS)理论,给出了全新的用于模糊增强图像区域对比度的线性广义模糊算子(LGFO),从而给出了双线性快速模糊增强图像边界检测最新算法。首先利用线性右半梯形模糊分布将灰度图像的普通空间变换为广义

模糊空间,再利用 LGFO 对广义模糊空间进行区域对比度增强,然后把增强后的广义模糊空间变换为普通空间,最后对处理后的普通空间进行边界提取。通过大量实例验证,使用本文算法提取图像边界速度快、效果好,而且多项指标均超过了文[1~4],大大提高了边界检测的速度和质量。根据 Ohta^[9]等人提出的动态 K-L 变换,本文算法也适用于彩色图像。

2. 广义模糊集和线性广义模糊算子的提出

广义模糊集理论这一新的软计算工具给人工智能、计算机视觉、模式识别和图像处理等提供了新的研究方法。下面给出广义模糊集的概念和线性广义模糊算子:

定义1 论域(Universe) U 上的一个模糊集合(Fuzzy Set) A 是由 U 上的一个隶属函数:

$$\mu_A(u): U \rightarrow [0, 1]$$

来表示,其中 $\mu_A(u)$ 表示元素 u 隶属于模糊集合 U 的程度。

一个模糊集 A 简记为: $\mu_A(u)$ 或 $A(u)$ 。

定义2 论域 U 上的一个广义模糊集合(Generalized Fuzzy Set) A 是由 U 上的一个广义隶属函数:

$$\mu_{GA}(u): U \rightarrow [-1, 1]$$

来表示,其中 $\mu_{GA}(u) \in [-1, 0)$ 称为 U 上 u 完全不属于 A 的广义隶属度; $\mu_{GA}(u) \in (0, 1]$ 称为 U 上 u 完全属于 A 的广义隶属度; $\mu_{GA}(u) = 0$ 称为 U 上 A 的广义模糊分界点。一个广义模糊集 A 简记为: $\mu_{GA}(u)$ 或 $GA(u)$ 。

定义3 线性广义模糊算子(LGFO)是指可以把一个广

^{*})基金项目:国家重点实验室基金资助(51473080101)。韩培友 副教授,博士研究生,研究方向为模式识别与图像处理、数据库系统及其应用等。
郝重阳 教授,博士生导师,研究方向为目标特征提取与识别、计算机应用技术等。

义模糊集 A 变换成一个普通模糊集 A' 的变换, 即 $A' = \text{LGFO}(A)$ 。其中 LGFO 算子定义为:

$$\mu_{A'}(x) = \text{LGFO}(\mu_A(x)) = \begin{cases} -\frac{1}{3}\mu(x) + \frac{2}{3} & -1 \leq \mu(x) < -\frac{3}{4}r - \frac{1}{4} \\ -3\mu(x) - 2r & -\frac{3}{4}r - \frac{1}{4} \leq \mu(x) < -\frac{3}{4}r \\ -\frac{1}{3}\mu(x) & -\frac{3}{4}r \leq \mu(x) < 0 \\ \frac{1}{3}\mu(x) & 0 \leq \mu(x) \leq \frac{3}{4}r \\ 3\mu(x) - 2r & \frac{3}{4}r \leq \mu(x) < \frac{3}{4}r + \frac{1}{4} \\ \frac{1}{3}\mu(x) + \frac{2}{3} & \frac{3}{4}r + \frac{1}{4} \leq \mu(x) \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中: $r \in (0, 1)$ 为可调参数。根据定义 3 不难证明 LGFO 具有如下性质:

性质 1 对于任意 $-1 \leq \mu_A(x) \leq 1$, LGFO 是线性连续变换。

性质 2 对于任意 $-1 \leq \mu_A(x) \leq 1$, 则 $0 \leq \text{LGFO}(\mu_A(x)) \leq 1$, 即 LGFO 可以把广义模糊集合 A 变换成普通模糊集合 A' 。

性质 3 如果 $-1 \leq \mu_A(x) \leq 0$ 或者 $r \leq \mu_A(x) \leq 1$, 则 $\mu_A(x) \leq \mu_{A'}(x)$ 。即在区域 $-1 \leq \mu_A(x) \leq 0$ 或者 $r \leq \mu_A(x) \leq 1$ 中增加了图像像素的值。

性质 4 如果 $0 \leq \mu_A(x) \leq r$, 则 $\mu_{A'}(x) \leq \mu_A(x)$ 。即在区域 $0 \leq \mu_A(x) \leq r$ 中降低了图像像素的值。

根据性质 1~性质 4 不难证明, LGFO 可以增强图像的区域对比度。由于 LGFO 是线性连续变换, 因此在检测效果和算法复杂度方面均优于文[1~4]。

3. 线性广义隶属变换

为了对灰度图像 $I = (x_{ij}) (x_{ij} \in \{0, 1, \dots, 255\}, i \in \{1, 2, \dots, m\}, j \in \{1, 2, \dots, n\})$ 进行图像增强处理, 首先需要把该图像变换到广义模糊集合 $P = (p_{ij}) \in [-1, 1]$ 。本文使用线性右半梯形模糊分布作为图像的广义隶属变换。

图像的线性广义隶属变换 LGT 定义为:

$$p_{ij} = \text{LGT}(x_{ij}) = -\frac{M - x_{ij}}{M - x_{\min}} \quad (2)$$

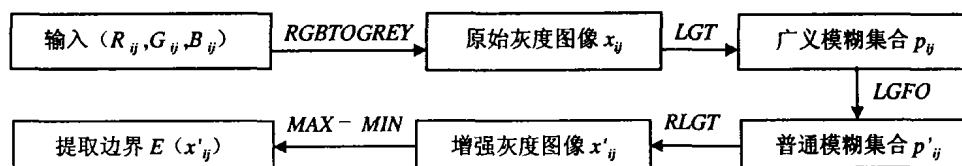


图1 双线性快速图像增强边界检测算法流程图

5. 双线性快速图像增强边界检测算法应用实例

利用本文算法对图 2 中的原始图像(a)进行对比度增强和边缘提出, 各个参数的选取如图 2(c)~(f)所示。其中: 图(a)为原始标准测试图, 图(b)为 Pal 算子提取的边界; 图(c)为本文给出的 LGFO 在 $r=0.6, M=80$ 时增强处理图像, 图(d)为 LGFO 在 $r=0.6, M=80$ 时提取的边界; 图(e)为 LGFO 在 $r=0.3, M=100$ 时增强处理图像, 图(f)为 LGFO 在 $r=0.3, M=100$ 时提取的边界。

结论 本文利用广义模糊集(GFS)理论, 给出了全新的用于增强图像区域对比度的线性广义模糊算子(LGFO), 从

其中: $0 < M \leq (x_{\max} - x_{\min})/2$ 为可调参数, $x_{\max}$ 和 $x_{\min}$ 分别为图像像素值的最大值和最小值。不难证明, 通过线性广义隶属变换 $\text{LGT}(x_{ij})$ 变换后的广义模糊集合 $P = (p_{ij})$ 满足: $P = (p_{ij}) \in [-1, 1]$ 。

4. 双线性快速图像增强边界检测算法

对于图像 $I = (x_{ij})$, 双线性快速模糊增强图像边界检测最新算法如下:

步骤 1 变换彩色图像到灰度图像。如果图像 I 是彩色图像, 即 $I = (R_{ij}, G_{ij}, B_{ij}) (R_{ij}, G_{ij}, B_{ij} \in \{0, 1, \dots, 255\}, i \in \{1, 2, \dots, m\}, j \in \{1, 2, \dots, n\})$, 则需要先把 RGB 位图转换成灰度图像 $I = (x_{ij})$, 具体方法为:

$$x_{ij} = \text{RGBTOGREY}(R_{ij}, G_{ij}, B_{ij}) = 0.29900 * R_{ij} + 0.58700 * G_{ij} + 0.11400 * B_{ij} \quad (3)$$

其中: $x_{ij} \in \{0, 1, \dots, 255\}, (i \in \{1, 2, \dots, m\}, j \in \{1, 2, \dots, n\})$ 表示每个像素的灰度值; R_{ij}, G_{ij}, B_{ij} 分别表示每个像素的红、绿、兰颜色分量值。

步骤 2 变换灰度图像空间到广义模糊空间。对于灰度图像 $I = (x_{ij}) (x_{ij} \in \{0, 1, \dots, 255\}, i \in \{1, 2, \dots, m\}, j \in \{1, 2, \dots, n\})$, 利用公式(2)所示的线性广义隶属变换 $\text{LGT}(x_{ij})$, 把灰度图像 $I = (x_{ij})$ 变换到广义模糊空间 $P = (p_{ij}) \in [-1, 1]$ 。

步骤 3 广义模糊空间的对比度增强处理。对于广义模糊空间 $P = (p_{ij})$, 利用式(1)所示的线性广义模糊算子 LGFO, 把广义模糊空间 $P = (p_{ij}) \in [-1, 1]$ 变换到普通模糊空间 $P' = (p'_{ij}) \in [0, 1]$ 。事实上这个过程模糊增强了图像的对比度。

步骤 4 变换普通模糊空间到灰度图像空间。对于普通模糊集合 $P' = (p'_{ij})$, 利用如下的线性广义隶属变换的逆变换, 把普通模糊集合 $P' = (p'_{ij})$ 变换成灰度图像 $I' = (x'_{ij}) (x'_{ij} \in \{0, 1, \dots, 255\}, i \in \{1, 2, \dots, m\}, j \in \{1, 2, \dots, n\})$ 。其中线性广义隶属逆变换 $\text{RLGT}(p'_{ij})$ 为:

$$x'_{ij} = \text{RLGT}(p'_{ij}) = \text{LGT}^{-1}(p'_{ij}) = p'_{ij} * (M - x_{\min}) + M \quad (4)$$

步骤 5 图像的边界提取。最后利用“MIN”或“MAX”^[12] 提取图像的边界。

双线性快速图像增强边界检测算法可由图 1 表示。

而提出了双线性快速模糊增强图像边界检测最新算法。使用本文算法进行图像增强边界检测, 具有以下优点:

(1) 变换灰度图像空间到广义模糊空间, 使用的是线性右半梯形模糊隶属变换 $\text{LGT}(x_{ij})$ (步骤 2)。

(2) 广义模糊空间的对比度增强处理, 使用的是线性广义模糊算子(LGFO) (步骤 3)。

(3) 变换普通模糊空间到灰度图像空间, 使用的是线性变换 $\text{RLGT}(p'_{ij})$ (步骤 4)。

(4) 双线性快速图像增强边界检测算法是双线性无损线性变换, 因此在图像处理过程中, 图像的高频和低频信息均是无损的, 并且可以无损恢复。

(下转封四)

(上接第 200 页)

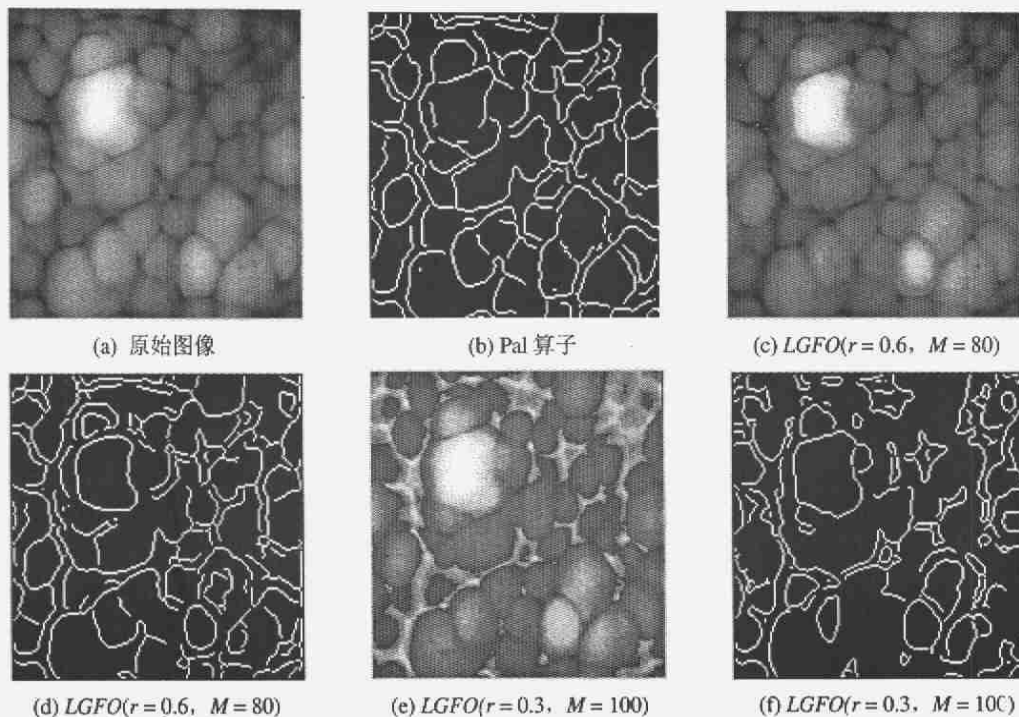


图 2 双线性快速图像增强边界检测算法应用实例

(5)通过调整可调参数 r 和 M 的值,可以提取更详细的边界信息或者忽略不需要的边界信息,从而满足各种图像处理的需要。

(6)利用动态 $K-L$ 变换方法^[9],本文算法也适用于彩色图像。

通过大量实例表明:利用本文提出的双线性快速图像增强边界检测算法提取图像边界速度快、效果好,在多项指标上均超过了文[1~4]。

本文算法适用于各种图像,但是由于图像纹理结构的随机性和复杂性,如何选取可调参数 r 和 M 的值,才能提取出满足各种不同用途要求的理想边界,目前还没有很好的办法,因此寻找双线性快速图像增强边界检测自适应算法是今后图像处理的一个主要研究目标。

参考文献

- 1 Pal S K, King R A. On edge detection of X-ray images using fuzzy sets [J]. IEEE Trans., Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1983, 5(1): 69~77
- 2 Pal S K, King R A. Image enhancement using smoothing with fuzzy sets [J]. IEEE Trans., Syst., Man, Cybern., 1981, 11(7): 494~501
- 3 陈武凡, 鲁贤庆, 等. 彩色图像边缘检测的新算法 [J]. 中国科学(A辑), 1995, 25(2): 219~225
- 4 王晖, 张基宏. 图像边界检测的区域对比度模糊增强算法 [J]. 电子学报, 2000, 28(1): 45~47
- 5 Zadeh L A. Fuzzy sets [J]. Information and control, 1965, 8: 338~353
- 6 Pawlak Z. Rough sets and fuzzy sets [J]. Fuzzy sets and systems, 1985, 17~99
- 7 Nanda S. Fuzzy rough sets [J]. Fuzzy sets and systems, 1992, 45~157
- 8 Chakrabarty K, Biswas R, Nanda S. Fuzziness in rough sets [J]. Fuzzy sets and systems, 2000, 110~247
- 9 Ohta Y. Color information for region segmentation [J]. GCIP, 1980, 13~222
- 10 章毓晋. 过渡区与图像分割 [J]. 电子学报, 1996, 24(1): 12~17
- 11 崔屹. 图像处理与分析—数学形态学方法与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2002
- 12 Nakagawa Y, Rosebfield A. A note on the local min and max operations in digital picture processing [J]. IEEE Tans., Syst., Man, Cybern., 1978, 8(8): 632~635
- 13 李景, 王晓军. 图像分析与处理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1996
- 14 章毓晋. 图像分割 [M]. 北京: 科学出版社, 2001
- 15 章毓晋. 图像工程(上册) [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999
- 16 章毓晋. 图像工程(下册) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000

计算机科学

(1974年1月创刊)

第31卷第6期(月刊)

2004年6月25日出版

ISSN 1002-137X
CN50-1075/TP

定价: 20.00元 国外定价: 5美元

邮发代号: 78-68

发行范围: 国内外公开

主管单位: 国家科学技术部

主办单位: 国家科技部西南信息中心

编辑出版: 《计算机科学》杂志社

重庆市渝中区胜利路132号 邮政编码: 400013

电话: (023) 63500828 E-mail: jsjxx@swic.ac.cn

社长: 牟炳林

主编: 彭丹

副主编: 朱宗元

印刷者: 重庆科情印务有限公司

总发行处: 重庆市邮政局

订购处: 全国各地邮政局

国外总发行: 中国国际图书贸易总公司(北京399信箱)

国外代号: 6210-MO