

一种基于灰度级连通性的红外图像分割方法

胡欣 唐硕

(西北工业大学航天学院 西安 710072)

摘要 本文提出一种新的基于灰度级连通性的红外图像分割方法。灰度级连通性认为在某个灰度级以下的所有级集合是连通的,则灰度图像是连通的。提出的图像分割方法使用 k 级特征开运算将图像中包含目标的 k 级以上的连通成分保留下来,结合图像弱小目标的特征进行 k 级连通成分分解运算,提取出包含目标的 k 级连通成分实现图像简化和目标提取,最后结合简单的二值化处理就能够准确地分割出目标。通过仿真结果的比较,证明在红外图像中这种方法可以实现提高信噪比、提取目标和分割图像的目的。

关键词 红外图像分割,灰度级连通性, k 级特征开, k 级连通成分分解

A Segmentation Approach Based on Grayscale Level Connectivity in IR Image

HU Xin TANG Shuo

(College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract A new segmentation approach is proposed based on grayscale level connectivity in IR image. In this connectivity, a grayscale image is connected if all level sets below a prespecified threshold are connected. First, the level- k characteristic opening using appropriate thresholding "keeps" only the regional maxima of image that are at or above level k , and flattens the rest. Second, level- k connected component decomposing based on target size can extract connected component that contain the objects of interest. The end step can segment target combining with simple thresholding. Experimental results in real IR images demonstrate the effectiveness and robustness of the proposed approach to enhance signal noise ratio, extract target and segment image.

Keywords IR image segmentation, Grayscale level connectivity, Level- k characteristic opening, Level- k connected component decomposing

1 引言

红外图像中对比度差、边缘模糊、信噪比低、缺乏纹理信息^[9],使得目标提取和图像分割是很困难的任务。通常目标在红外图像中对应灰度级较高区域,本文基于图像的连通性,在一种新颖的灰度级连通性的概念下,提出了一种结合 k 级特征开和 k 级连通成分分解运算实现红外图像目标提取和图像分割的方法。提出的方法首先简化图像、提高信噪比,结合目标特征和阈值处理,准确分割出目标,是一种有效和鲁棒的方法。

连通性是图像分析和理解中重要的概念,在完备格^[4,5]框架下定义的连通性,主要应用于图像滤波、图像分割、压缩和编码、运动分析、模式识别和其它领域^[1]。提取出连通区域或连通目标实现图像分割和目标提取^[2],是本文的主要内容。

2 灰度图像的连通性

完备格中灰度图像的模型是函数格 $L = Fun(E, \Gamma)$,是从集合 E 到格 Γ 的所有函数的集合组成的完备格。连通类定义了格中图像的连通性,类的元素认为是连通的^[1,2,6]。在带有 \sup 生成族 S 的格 L 中,族 $c \subseteq L$ 是连通类,满足条件:(1) $O \in c$;(2) $S \subseteq c$;(3)在 c 下的族 $\{C_\alpha\}$,如果 $\bigwedge C_\alpha \neq \emptyset \Rightarrow \bigvee C_\alpha \in c$ 。族 c 中的元素是连通的,称为连通集。

传统意义上灰度图像的连通性假设集合 E 的幂集 $P(E)$ 带有连通类 c_E ,格中的连通类 c 是 E 上的有连通支撑的所有函数的集合 $c = \{f \in Fun(E, \Gamma) \mid \Omega(f) \in c_E\}$,其中 $\Omega(f) = \{v \in E \mid f(v) > O\}$, O 是完备格 Γ 中的最小元。按照这种连通性,任何带有严格非零值的灰度图像都是连通的,即使图像由不同的连通成分组成,也认为整幅图像是单一的连通成分,这

对于图像的处理是毫无意义的。因此,灰度图像使用传统的连通性的定义是不能生成有用的连通类,必须找到合适的格构造合适的连通类和连通性^[3,7]。

3 完备格下的灰度级连通性

3.1 k 级连通函数

函数 $f \in Fun(E, \Gamma)$ 的 t 级级集合定义为: $X_t(f) = \{v \in E \mid f(v) \geq t\}$ 。灰度级连通性是基于定义在级集合上的二值连通性而提出的^[8]。灰度级连通性认为如果在给定的阈值下的所有级集合是连通的,那么灰度图像是连通的。如果 $R \subseteq E$ 是 $X_k(f)$ 上的一个连通成分,且 $R \cap X_l(f) = \emptyset$,对所有 $l \geq k+1$,集合 R 称为局部最大。在局部最大 R 上的函数 $f \in Fun(E, \Gamma)$ 的值是常量,记为 $f(R)$; f 中的所有局部最大的集合记为 $R(f)$; f 中大于等于 k 的所有局部最大的集合为: $R_k(f) = \{R \in R(f) \mid f(R) \geq k\}, k \in \Gamma$ 。

图像在 k 级及以下的所有的级集合是非空的且连通的,认为图像是 k 级连通的。如果函数 $g \in Fun(E, \Gamma)$ 是 k 级连通的且 $g \leq f$,同时不存在另外的 k 级连通函数 $g' \in Fun(E, \Gamma)$ 满足 $g \leq g' \leq f$,称 g 是函数 f 的 k 级连通成分。

3.2 完备格及灰度级连通类

本节给出完备格 $Fun_k(E, \Gamma)$ 和连通类 \tilde{c}_k ,构造一种灰度级连通性。函数格 $Fun(E, \Gamma)$ 的下格为: $Fun_k(E, \Gamma) = \{O\} \cup \{f \in Fun(E, \Gamma) \mid R(f) = R_k(f)\}, k \in \Gamma$ 。 $Fun_k(E, \Gamma)$ 构成了完备格,上确界和下确界为: $(\bigvee_k f_\alpha)(v) = \bigvee f_\alpha(v), (\bigwedge_k f_\alpha)(v) = \tilde{\psi}_k(\bigwedge f_\alpha(v)), \forall v \in E$,其中 $\tilde{\psi}_k$ 为 k 级特征开运算(见下节)。若函数 $f_1, f_2 \in Fun_k(E, \Gamma)$,一般函数格上确界和下确界运算如图1所示,但在格 $Fun_k(E, \Gamma)$ 中认为由于 k 级以上不存在区域最

大,则图1的下确界为0。族 $S_k = \{\delta_{v,l} | v \in E, k \leq l \leq \Gamma\} \cup \{f \in Fun(E, \Gamma) | R(f) = \{R\}, f(R) = k\}$, 是 $Fun_k(E, \Gamma)$ 中的 sup 生成族^[2]。族 $\bar{c}_k = \{O\} \cup \{f \in Fun(E, \Gamma) | f \text{ 是 } k \text{ 级连通函数}\}$, \bar{c}_k 称为函数格 $Fun_k(E, \Gamma)$ 中的连通类, 定义了灰度图像中的灰度级连通性, 类中的元素是连通的。 k 级连通成分是 \bar{c}_k 中非零元素, 也是 \bar{c}_k 中包含固定点的最大连通子集。

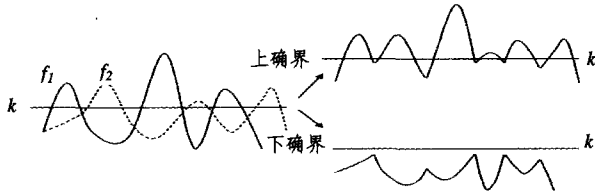


图1 格 $Fun(E, \Gamma)$ 中的上确界和下确界运算

3.3 k 级特征开及连通成分

定义 k 级特征开运算:

$$\bar{\psi}_k(f) = \bigvee \{C \in \bar{c}_k | x \leq C \leq f\}$$

$$f \in Fun(E, \Gamma), x \in S$$

更容易理解的定义可在函数格 $Fun(E, \Gamma)$ 上定义圆柱形:

$$h_{A,k}(v) = \begin{cases} k, & v \in A \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

$$\bar{\psi}_k(f) = \bigvee \{\rho(f | h_{R,f(R)}) | R \in R_k(f)\}$$

开运算 $\bar{\psi}_k(f)$ 保留了所有的 k 级连通成分^[7], 去除了其它连通成分, 如图2中的图b。图像处理中, 如果目标对应图像中灰度级较高的部分, 选择合适的 k 值进行 k 级特征开运算, 保留目标所在的局部最大, 去除其它的局部最大, 达到简化图像和突出目标的目的。为了进一步提取目标, 可以将图像的每个局部最大对应的 k 级连通成分进行分解, 如果提取出目标对应的 k 级连通成分, 将更加简化图像, 有利于目标的提取。如图2所示, 图像 f 有三个 k 级连通成分分别是 g_1, g_2, g_3 , 如图(c), (d), (e)。假如目标对应 g_1 的局部最大, 则图(c)比图(a)和图(b)更加突显目标。

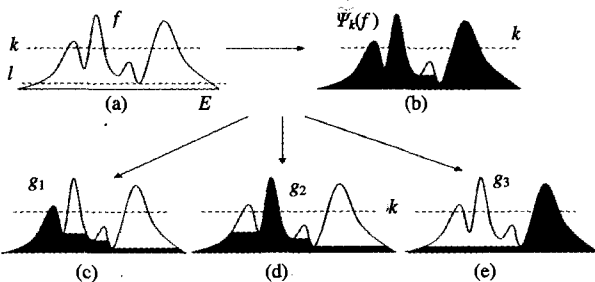


图2 (a)一维灰度图像 f , (b) k 级特征开运算, (c, d, e) k 级连通成分 g_1, g_2, g_3

4 使用灰度级连通性的图像分割方法

不同的目标对应图像中分离的灰度轮廓, 分离的灰度轮廓可对应某个局部最大。 k 级连通成分是基于区域最大定义的, 使用 k 级连通成分分解就意味着不同的目标被分离开^[7]。在红外图像中, 由于目标的红外辐射一般高于背景, 目标对应着一个局部最大, 因此使用 k 级特征开后, 再进行 k 级连通成分分解运算可以实现目标提取。

根据红外图像中弱小目标的特征, 对目标级集合的大小给予限制, 可以剔除尖脉冲噪声、多余的噪声和杂波, 简化了处理过程。选取 k 值: $k = m + \lambda v$ ^[9], 其中 m, v 和 λ 分别代表图像的灰度均值、方差和权值, 权值的取值经过多次实验选取

为0.6。

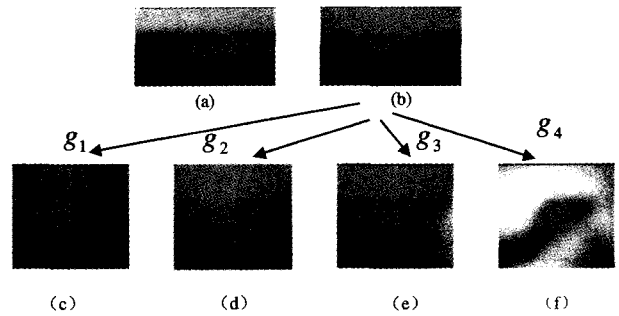
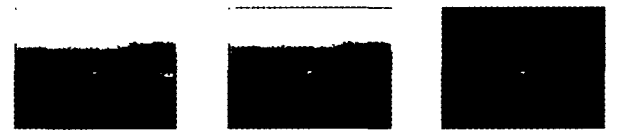


图3 (a)红外图像 f , (b) k 级特征开运算(c, d, e, f)四个 k 级连通成分 g_1, g_2, g_3, g_4

如图3, k 级特征开运算后图像中目标部分被明显的提取出来, 而非目标的区域得到简化。图(c)对应包含目标的 k 级连通成分 g_1 。图像信噪比 $SNR = (s - m) / v$, s 为图像目标平均灰度值。表1比较了输入红外图像、 k 级特征开图像和连通成分 g_1 图像中的信噪比。对表1中同一帧和多帧图像信噪比结果分析, 经过提取连通成分 g_1 后图像得到简化, 信噪比得到提高。

表1 对红外图像序列处理后的信噪比较

帧数	SNR (输入图像)	SNR (k 级特征开图像)	SNR (连通成分 g_1)
5	0.57719	1.0694	1.8858
15	0.97399	1.6568	2.3891
25	1.1081	1.7863	2.4592
35	1.1475	1.8946	2.4334



(a) 输入红外图像二值化 (b) k 级特征开图像二值化 (c) k 级连通成分 g_1 二值化

图4

经过以上处理后, 目标被突显出来, 为了实现图像分割的目的, 对目标连通成分 g_1 图像进行阈值处理。对不同处理过程中的图像使用同一阈值处理可以进一步体现基于灰度级连通性的处理方法的有效性。如图4所示, 选取简单阈值: $T = 0.9 \times (\text{图像中最大灰度级})$, 对输入红外图像、 k 级特征开图像和 k 级连通成分 g_1 分别进行处理, 如图(a)、(b)和(c)。输入图像的阈值处理完全无法得到目标, 如图(a); k 级特征开图像的阈值处理后能够去除某些噪声, 但是仍然存在较大噪声, 如图(b); 而对 k 级连通成分 g_1 阈值处理后能够准确的分割出目标, 去除噪声, 如图(c)。

结论 本文介绍一种新颖的灰度图像连通性的概念。在灰度级连通性中, 给定的阈值下所有的级集合是连通的认为图像是连通的。特征开运算 $\bar{\psi}_k(f)$ 可以保留所有的 k 级连通成分, 起到简化图像的目的。通过对 k 级连通成分的分解, 提取出目标对应的 k 级连通成分, 可进一步简化图像, 有利于目标提取。本文提出的方法首先进行特征开运算, 并分解 k 级连通成分, 找出感兴趣目标的连通成分, 最后使用简单阈值处理分割出目标。

比较仿真结果, k 级特征开运算可实现图像简化和信噪比提高, 对结果进行 k 级连通成分分解能更好地提高信噪比,

结合阈值处理准确的分割出目标,是一种新颖的和有效的红外图像分割方法。

参考文献

- 1 Braga-neto U, Goutsias J. A theoretical tour of connectivity in image processing and analysis [J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2003, 19: 5~31
- 2 Braga-neto U, Goutsias J. A multiscale approach to connectivity [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2003, 89: 70~107
- 3 Braga-neto U, Goutsias J. A Complete Lattice Approach to Connectivity in Image Analysis [R]; [Technical Report JHU/ECE 00 - 05]
- 4 Serra J. Connectivity on complete lattices [J]. J. Math. Imag.

- Vis., 1998, 9: 231~251
- 5 Serra J. Connections for sets and functions [J]. Fund. Inform, 2000, 41: 147~186
- 6 Braga-Neto U M, Goutsias J. Connectivity on complete lattices; new results [J]. Comput. Vis. Image Understanding, 2002, 85: 22~53
- 7 Braga-Neto U, Goutsias J. Grayscale level connectivity theory and applications [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(12)
- 8 Salembier P, Serra J. Flat zones filtering, connected operators, and filters by reconstruction [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4 (8): 1153~1160
- 9 吴巍, 彭嘉雄, 王海晖. 红外图像序列小目标的特性分析与检测 [J]. 红外与激光工程, 2002, 31(2)

(上接第 207 页)

trust_sub(t, Subject_03) and trust_obj(t, Subject_05)在 ABox 中无法成立。通过以上方法,我们能够基于 2 型模糊 OWL,通过 F-OntoTM 描述并处理信任管理模型中的模糊信息。

结论 2 型模糊 DLs 的提出是为了更加精准地表达和推理 DL 系统中的模糊信息。作为 2 型模糊 DLs 的基础,本文阐述了 2 型模糊 \mathcal{ALC} 的基本语法、语义、推理算法及其应用。与 1 型模糊 \mathcal{ALC} 相比,2 型模糊 \mathcal{ALC} 能够更好地处理模糊知识。除了语义网,还有很多基于 DLs 的应用(例如信任管理)需要处理模糊信息。总之,2 型模糊 \mathcal{ALC} 能够应用到许多领域来增强其表达及推理能力。今后的工作包括 2 型模糊 \mathcal{ALC} 、 \mathcal{ELN} 、 $\mathcal{SHOIN}(\mathcal{D})$ 及其对这些 DL 的推理算法。

参考文献

- 1 Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O. The semantic web. The Scientific American, 2001, 284(5): 34~43
- 2 Horrocks I, Patel-Schneider P F, van Harmelen F. From SHIQ and RDF to OWL: The making of a web ontology language. Journal of Web Semantics, 2003, 1(1): 7~26
- 3 Baader F, Calvanese D, McGuinness D L, et al. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications. Cambridge University Press, 2003. 47~100

- 4 Calvanese D, Lenzerini M, Nardi D. Unifying class-based representation formalisms. Journal of Artificial Intelligence Research, 1999, 11(2): 199~240
- 5 Bechhofer S, van Harmelen F, Hendler J, et al. L. A. S.: OWL Web Ontology Language Reference. 2004
- 6 Blaze M, Feigenbaum J, Lacy J. Decentralized trust management. In: Dale J, Dinolt G eds. Proceedings of the 17th Symposium on Security and Privacy. Oakland; IEEE Computer Society Press, 1996. 164~173
- 7 Blaze M, Feigenbaum J, Keromytis AD. Keynote: Trust management for public-key infrastructures. In: Christianson B, Crispo B, William S, et al. eds. Cambridge 1998 Security Protocols International Workshop. Berlin: Springer-Verlag, 1999. 59~63
- 8 Beth T, Borcherding M, Klein B. Valuation of trust in open networks. In: Gollmann D ed. Proceedings of the European Symposium on Research in Security (ESORICS). Brighton; Springer-Verlag, 1994. 3~18
- 9 Zadeh L A. Fuzzy sets. Information and Control, 1965, 8 (3): 338~353
- 10 Meghini C, Sebastiani F, Straccia U. Reasoning about the Form and Content for Multimedia Objects. In: Proceedings of AAAI 1997 Spring Symposium on Intelligent Integration and Use of Text, Image, Video and Audio, California, 1997. 89~94
- 11 Straccia U. Reasoning Within Fuzzy Description Logics. Journal of Artificial Intelligence Research, 2001, 14: 137~166
- 12 Straccia U. Transforming Fuzzy Description Logics into Classical Description Logics. In: Proceedings of the 9th European Conference on Logics in Artificial Intelligence, Lisbon, 2004. 385~399
- 13 Straccia U. Towards a Fuzzy Description Logic for the Semantic Web. In: 1st Proceedings of Fuzzy Logic and the Semantic Web Workshop, Marseille, 2005. 3~18

(上接第 215 页)

式中 F_{\max} —施加的最大驱动力, β —切换角, $k=0, 1, 2, \dots$ 。

4 系统软件设计

本软件基于 Windows98 开发, Windows98 是一个多任务操作系统,允许多个线程并行工作。本软件包括摆起控制和视觉采集两个线程。控制线程为摆起控制部分,当系统开始工作时,运行摆起程序,使摆杆摆到能够用其他稳定控制程序控制的平衡范围之内,然后可以转入通过电位器获得摆杆角度的其他稳定控制程序中。视觉采集线程主要由视觉传感器的初始化、图像采集和特征提取三部分组成。两个线程之间通过消息响应的方式进行通信。在程序开始运动时,首先启动视觉采集线程,使视觉传感器开始工作,当视觉采集线程完成一帧图像的处理,从中提取出摆杆转动的角度和角速度之后,便向控制线程发送一个消息,控制线程调用相关的消息响应函数,完成对角度和角速度的采集。

系统的运行结果如图 5 所示。

结论 基于视频的倒立摆摆起控制系统提供了一个从视觉角度非接触式的检测倒立摆状态的一个途径,成功的利用视频图像确定的位置反馈信息使得倒立摆摆杆从自由平衡状态摆起到竖直平衡位置附近。如能采取更好的硬件设备,提高图像处理速度,则可以在这个系统上来进行倒立摆的稳定控制,对视觉伺服开展进一步的研究。

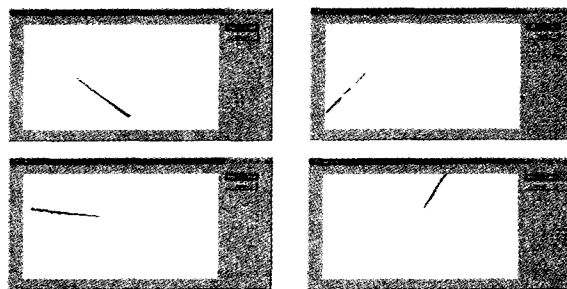


图 5 系统运行结果图

参考文献

- 1 丛爽, 张冬军, 魏衡华. 单级倒立摆三种控制方法的对比研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(11)
- 2 Magana M E, Holzapfel F. Fuzzy-Logic Control of an Inverted Pendulum with Vision Feedback [J]. IEEE Transactions on Education, 1998, 41(2): 165~170
- 3 GM-400 运动控制器用户手册. 深圳固高科技公司, 2001
- 4 胡俊, 苏祥芳, 刘立海. 图像序列中运动检测算法的研究及应用 [J]. 武汉大学学报(自然科学版), 2000, 46(5)
- 5 Wenzel L, Vazquez N. Computer vision based inverted pendulum [A]. In: Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2000, IMTC 2000. Proceeding. of the 17th IEEE [C]. Volume: 3, 2000. 1319~1323
- 6 谢冬梅, 曲道奎, 徐方. 基于神经网络的机器人视觉伺服控制 [J]. 微计算机信息, 2006(2-1): 4~6, 274