

基于交叉视觉皮质模型的骨架伪分支剔除方法

周理^{1*}, 何林远¹, 孙毅², 毕笃彦¹, 高山¹

(1. 空军工程大学 工程学院, 西安 710038; 2. 上海胶带股份有限公司 军事代表室, 上海 200235)

(* 通信作者电子邮箱 zhouli_5120801@163.com)

摘要:为解决骨架伪分支剔除过程中目标几何尺寸失真和处理效率低下的问题,提出一种基于交叉视觉皮质模型的图像骨架伪分支剔除算法。首先,依据骨架伪分支的固有特征,引入并修正了骨架分支端点和连接点的定义,以准确获取骨架分支与伪分支的位置信息;然后,利用这些点的位置信息和交叉视觉皮质模型循环点火次数,构建出交叉视觉皮质神经元传播的熄火条件;最后,在熄火条件的指引下,借助点火神经元动态发放的脉冲具有并行传播的生物性能,从而快速判断并准确剔除伪分支。与传统数学形态学方法的比较实验结果表明,该算法不仅计算速度快,抗噪能力强,而且能够保持骨架结构的完整性。

关键词:交叉视觉皮质模型;点火神经元;骨架;伪分支;熄火条件

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**A

Algorithm of biased skeleton trim based on intersecting cortical model

ZHOU Li^{1*}, HE Lin-yuan¹, SUN Yi², BI Du-yan¹, GAO Shan¹

(1. Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi 710038, China;

2. Military Delegate Office, Tape Stock-limited Company of Shanghai, Shanghai 200235, China)

Abstract: In order to solve the problem of geometric distortion and low efficiency in the process of biased skeleton trim, a new algorithm of biased skeleton trim based on intersecting cortical model was proposed. At first, according to inherent features of skeleton biased branch, definitions of endpoint and junction point were introduced and revised in the algorithm to accurately locate skeleton branch and biased branch. Then, with that information and the iteration number of intersecting cortical model, flameout condition of neurons spreading was set up. Finally, guided by that condition, the biased skeleton branch can be judged fast and trimmed accurately, with the aid of impulse dynamically generated by ignition neurons, which has biological nature of parallel transmission. Compared with conventional methods based on mathematical morphology, the experimental results show that the proposed algorithm has good performance in structural integrity of skeleton, as well as computation speed and anti-noise ability.

Key words: Intersecting Cortical Model (ICM); ignition neuron; skeleton; biased branch; flameout condition

0 引言

用骨架描述并识别目标的技术已经成为模式识别的重要内容,被广泛应用于元件识别、指纹识别、字符识别以及医学图像分析等领域^[1-2]。在骨架的提取过程中,局部噪声或边缘细微变化不可避免地引入一些骨架点,通常称这些骨架点为伪骨架点。此外,骨架提取算法自身的缺陷^[3-4]导致目标骨架出现较短的伪分支。无论是伪骨架点还是伪分支,不仅不包含目标的形状及拓扑信息,而且还会增加识别和匹配的复杂度,损害整体骨架对目标特征的描述能力。为了叙述方便,本文统一称其为伪分支。基于此,必须进行有效的骨架伪分支剔除,以得到结构完整、无噪声污染的目标骨架。目前,图像骨架伪分支剔除的方法有很多,主要是基于数学形态学的处理技术^[5-7]。由于形态学的开、闭基本运算是建立在腐蚀和膨胀组合的基础上,因此这类算法运行时间长,复杂度高。此外,腐蚀和膨胀严重依赖结构元素,在伪分支剔除过程会影响骨架的几何结构。这些缺点不但降低了骨架的质量,

而且提高了图像后续处理的难度。

针对现有骨架伪分支剔除方法的局限性,本文首次提出一种基于交叉视觉皮质模型的图像骨架伪分支剔除方法。为了准确定位骨架分支和伪分支,该方法引入骨架端点和连接点的定义,并增加一个约束条件加以修善。此外,由于交叉视觉皮质模型的神经元点火后能引发其他神经元依次点火,产生具有并行传播特性的脉冲,同时加上设定的熄火条件,从而在保持骨架信息完整的基础上能够快速准确地剔除伪分支和噪声带。

1 交叉视觉皮质模型

交叉视觉皮质模型^[8] (Intersecting Cortical Model, ICM) 是从模拟哺乳动物的视觉活动而得到的人工神经元模型。图1为ICM的神经元架构。

ICM神经元由树突、非线性连接调制、脉冲产生部分三部分组成。树突部分的作用是接收来自相邻神经元的输入信息。非线性连接调制部分是神经元内部的活动项,由线性连

收稿日期:2012-03-29;**修回日期:**2012-05-26。 **基金项目:**国家自然科学基金资助项目(61175029);国防科技重点实验室基金资助项目(9140C610301080C6106);航空科学基金资助项目(20101996009)。

作者简介:周理(1988-),男,湖南邵阳人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理、计算机视觉;何林远(1983-),男,河南洛阳人,讲师,硕士,主要研究方向:图像处理、模式识别;孙毅(1984-),男,上海人,助理工程师,硕士,主要研究工作:系统工程仿真设计;毕笃彦(1962-),男,陕西扶风人,教授,博士生导师,主要研究方向:图像处理、模式识别;高山(1985-),女,山东济宁人,讲师,博士,主要研究方向:智能信息处理。

接部分与反馈两部分所构成。脉冲的产生取决于树突的输入是否超过其激动态阈值,因此,阈值随神经元输出状态的变化发生相应的变化。

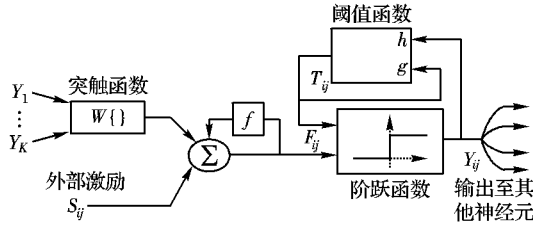


图1 交叉视觉皮质模型神经元架构

ICM 中每一个神经元对于上一个状态 $F_{ij}[n-1]$ 具有记忆功能且状态 F_{ij} 随着时间的变化其记忆内容会发生衰减,其衰减速度受到衰减因子 f ($f > 1$) 的影响。ICM 的数学模型^[9]如下:

$$F_{ij}[n+1] = fF_{ij}[n] + S_{ij} + W_{ij}\{Y\} \quad (1)$$

$$Y_{ij}[n+1] = \begin{cases} 1, & F_{ij}[n+1] > T_{ij}[n] \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$T_{ij}[n+1] = gT_{ij}[n] + hY_{ij}[n+1] \quad (3)$$

其中: S_{ij} 为输入图像对应像素值,而 i, j 为各个像素点的坐标。突触函数 $W_{ij}\{\cdot\}$ 具有连接神经元的作用, T_{ij} 为动态阈值, Y_{ij} 为每一神经元的输出。 f, g, h 均为标量系数, $g < f < 1$, 保证动态阈值随迭代最终会低于神经元的状态值。 h 为一很大标量值, 保证神经元点火后能较大地提升阈值, 使神经元在下次迭代不被激发。此外, ICM 的突触函数为 $W_{i,j}\{Y\} = K \otimes Y$, K 是神经元之间的连接矩阵, 相当于形态学的结构函数, 它决定了点火神经和邻域神经元之间的点火连接模式。一般而言, 主要使用如图2所示的四连接模式或者八连接模式。

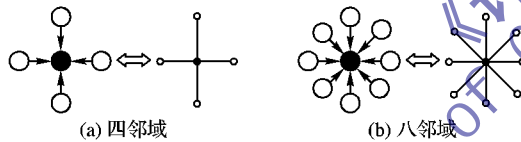


图2 四邻域(八邻域)连接的结构元素

用于图像处理时, ICM 为单层二维局部连接的网络, 神经元个数与图像中像素点的个数一一对应^[10-11]。输入图像中较大像素值对应的神经元首先点火, 输出脉冲, 其阈值突增至较大值后随时间以指数衰减, 直至再次 $F_{ij} > T_{ij}$ 时神经元第二次点火。同时, 点火神经元通过连接函数对其邻域内神经元产生作用, 使满足点火条件的邻域神经元相继被捕获点火。

2 伪分支剔除方案

2.1 端点和连接点的识别

经过仔细分析, 目标骨架和伪分支相同之处是都被限制在端点和连接点之间或者端点和端点之间, 不同的是骨架一般远长于伪分支。要实现伪分支的识别和剔除, 必须首先通过识别骨架中的端点和连接点以确定伪分支与骨架的位置信息。关于端点和连接点的定义, 文献[12]在背景为暗、前景为亮的前提下给出了如下定义^[12]。

定义1 前景点 P 的八邻域内其他前景点数目总和 $X_H(P)$ 为1, 则称 P 为端点。数学表达式见式(4):

$$ENDPOINTS(Skel) = \bigcup_{P \in Skel} \{X_H(P) = 1\} \quad (4)$$

定义2 前景点 P 的八邻域内其他前景点数目总和 $X_H(P)$ 不小于2, 则称 P 为连接点。数学表达式见式(5):

$$JUNCTIONPOINTS(Skel) = \bigcup_{P \in Skel} \{2 \leq X_H(P) \leq 8\} \quad (5)$$

其中:

$$X_H(P) = \sum_{i=1}^8 x_i \quad (6)$$

$Skel$ 表示前景点 P 的八邻域, x_i 为邻域像素点。

事实上, 该组定义存在不可忽视的漏洞。假设骨架宽度为两个像素点, 那么骨架端点 P 的八邻域内存在2个或者3个前景点, 如图3所示。根据定义1和2, P 将被判断为骨架的连接点而不是端点, 这显然不正确。

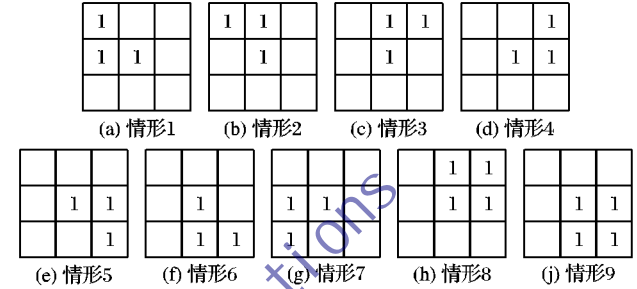


图3 9种双像素骨架端点分布

原因是上述定义仅仅在骨架为单像素宽度的假设下成立, 但是现有的骨架提取算法对于所采用的结构元素有较强的依赖性, 而结构元素本身又具有一定的形状和大小, 因此无法保证所提取的骨架具有一致单像素宽度。当然宽度超过3像素的骨架, 本文认为骨架提取失败, 不予考虑。分析图3, 双像素端点排列虽然有9种情况, 但它们邻域中的像素点都是彼此紧邻。为此本文在上述定义基础上增加一个约束条件, 即沿逆时针方向, 前景点 P 的八邻域内像素由0到1或1到0变换的次数 $X_R(P)$ 控制在一定范围内。修正后的定义如下所示。

定义3 沿逆时针方向, 前景点 P 的八邻域内像素由0到1或1到0变换的次数 $X_R(P)$ 为2, 并且该邻域内的前景点数在1到3范围内, 则称 P 为端点。数学表达式见式(7)。

$$ENDPOINTS(Skel) = \bigcup_{P \in Skel} \{X_R(P) = 2 \text{ and } 0 < X_H(P) < 4\} \quad (7)$$

定义4 沿逆时针方向, 前景点 P 的八邻域内像素由0到1或1到0变换次数 $X_R(P)$ 不小于3, 并且该邻域内的前景点数不小于4, 则称 P 为连接点。数学表达式见式(8)。

$$JUNCTIONPOINTS(Skel) = \bigcup_{P \in Skel} \{3 \leq X_R(P) \leq 8 \text{ and } X_H(P) \geq 4\} \quad (8)$$

其中:

$$X_R(P) = \sum_{i=1}^8 |x_{i+1} - x_i| \quad (9)$$

2.2 伪分支剔除

基于骨架和伪分支仅仅在长度存在差异, 因此只需设定合理的门限就可以在由端点、连接点刻画区域之中找到伪分支, 并进行清除。基于 ICM 原理, 门限的含义就是并行脉冲传播过程中神经元的熄火条件。本文的熄火条件包括累计点火次数达到预设值 M 和遇到连接点或端点两方面, 并且后者优先级高于前者。至此, 本文算法思路可表述为: 将数字图像提取骨架后, 先识别端点和连接点, 将位置信息存入矩阵。再让一端点神经元点火, 产生的脉冲沿着骨架或伪分支传播, 沿

路上的神经元依次被点火。当达到熄火条件时,脉冲传播终止。在上述过程中,把点火次数未达到 M 就停止的神经元路径标记为 R 。伪分支的判别方法是:若点火次数在 M 之内就结束点火,该情况对应的路径就是伪分支。最后将原骨架图与伪分支 R 做减法运算,得到剔除伪分支的骨架图像。算法具体步骤如下所述:

第1步 读入骨架图像 S 。

第2步 设 D 为全0矩阵, L 为全1矩阵。根据定义3~4,搜索骨架找到所有端点和连接点。将端点的坐标对应的矩阵 D 元素置1,连接点对应的矩阵 L 的元素置0,以保存位置信息,并从一个端点开始点火。

第3步 设定衰减因子 $f = 0.9$, 标量系数 $g = 0.7$, $h = 1500$, 为与端点和连接点定义保持一致,连接矩阵 K 选择八连接模式,则连接矩阵 K 对应为:

$$K = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

而 $F_{i,j}(0) = D_{i,j}$, $T_{i,j} = 0$, $Y_{i,j}(0) = 0$, 预设值 $M = 8$, 伪分支 $R = 0$, 设定迭代次数 $N = 1$;

第4步 将 ICM 交叉视觉皮质模型的输入项公式:

$$F_{ij}[n+1] = fF_{ij}[n] + S_{ij} + W_{ij}\{Y\}$$

连接点矩阵 L 和端点取反矩阵 \bar{D} 等三者结合,得到对应输入项为:

$$F_{ij}[n+1] = (fF_{ij}[n] + S_{ij} + W_{ij}\{Y\})L_{i,j}\bar{D}_{i,j}$$

然后,计算 $F_{ij}[n+1]$ 的值。

第5步 由

$$Y_{ij}[n+1] = \begin{cases} 1, & F_{ij}[n+1] > T_{ij}[n] \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

计算 $Y_{ij}[n+1]$ 的值。

第6步 由 $T_{ij}[n+1] = gT_{ij}[n] + hY_{ij}[n+1]$, 计算 $T_{ij}[n+1]$ 的值。

第7步 若没达到事先设定的熄火条件,跳转至第4步。

第8步 伪分支判断。若迭代次数 N 小于预设值 M , 说明是遇到连接点或端点而停止点火,可判定为伪分支,且将记录下的点火路径保存于矩阵 R ; 若迭代次数达到熄火阈值,则判为目标骨架。

第9步 将骨架图像 S 与伪分支 R 做减法运算,输出结果。

在伪分支剔除过程中,熄火条件的巧妙设定不但具有终止程序完成的效用,还能够充当门限以判别伪分支和目标骨架。此外,分布在骨架周围的噪声点或者像素个数长度小于 M 的噪声带也会在此过程中被去除,从而抗噪能力大幅提升。

2.3 算法流程

本文提出的适用于图像骨架性能优化的基于 ICM 伪分支剔除算法主要包括确定端点、连接点位置和判别伪分支两个部分,其流程如图4所示。

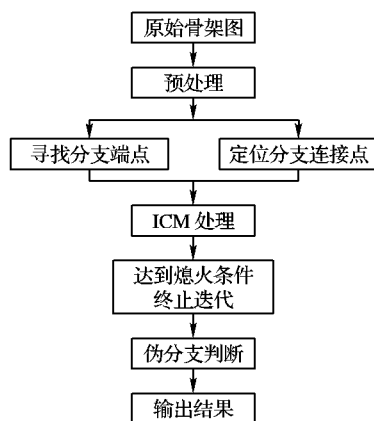


图4 本文算法流程

3 实验仿真和分析

字符识别时,通常将相机采集得到的图像经过骨架提取与优化预处理后再进行目标识别。为了验证本文骨架伪分支剔除算法的通用性,实验前采集了一批由汉字、数字和字母三类字符组成的图像组,在 CPU 主频 2 GHz,内存 1 GB 的电脑上编写 Matlab 7.1 的程序代码进行实验。图5是将采集得到的图像利用经典的圆盘形态学骨架提取算法处理后的骨架图。该组图像受到噪声和污渍不同程度的干扰,并且字符的末端出现细小的伪分支,严重影响字符识别的正确率和处理效率。

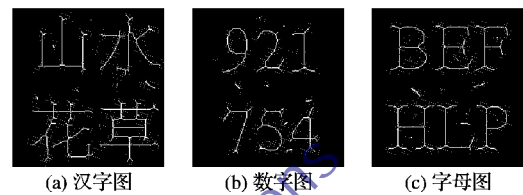


图5 存在伪分支和噪声的骨架

为更全面地分析本文算法性能,本文使用传统基于击中与击不中形态学的伪分支剔除算法作为对比组,如图6所示。该算法能够较好地去除伪分支,在一定程度上抑制了噪声点。然而由于此算法严重依赖复合结构元素的选取,无法准确定位骨架分支与伪分支,从而对于噪声带的消除效果并不理想,且破坏了目标骨架的几何结构,如图6(a)中的“水”,图(b)中“7”和图(c)的“E”“L”等字符所示。

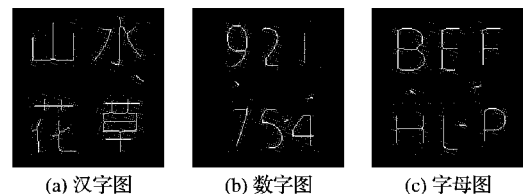


图6 击中与击不中算法剔除伪分支

较之传统数学形态学击中与击不中伪分支剔除算法,本文提出的基于 ICM 图像骨架优化方法不仅消除了噪声的干扰,而且还较好地剔除字符末端的伪分支,同时骨架结构也得到了有效的保持,如图7所示。这是因为该算法能够快速准确定位连接点与端点,并且构造处恰当的熄火条件,从而精确剔除骨架伪分支和噪声带。

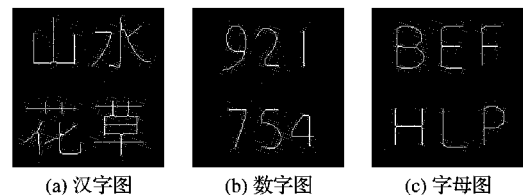


图7 本文算法处理效果

此外,本文还对上述两种骨架伪分支剔除算法的计算用时进行了比较,实验结果如表1所示(令击中与击不中算法为算法1,本文算法为算法2)。尽管基于 ICM 的方法由于增加了寻找端点和连接点的环节而增加了耗时,但是该方法得益于 ICM 点火神经元产生的脉冲具有并行传播的优点,相比击中与击不中算法完全依靠数学形态学腐蚀与膨胀组合运算,总耗时还是降低了不少。

(下转第 2627 页)

式授权关系,并给出了模型本体知识库上特定的应用逻辑推理规则。引入本体查询语言生成授权视图,进行系统授权状态分析。

进一步的工作包括完善 RBAC 模型本体和推理规则,以支持 RBAC 重要特征之一的约束的表达和实现;利用 RBAC 策略中立的特点,研究本文方法在表达其他的访问控制模型时的适用性。

参考文献:

- [1] SANDHU R. Role-based access control models[J]. IEEE Computer, 1996, 29(2): 38-47.
- [2] SANDHU R, FERRAILOLO D, KUHN R. The NIST model for role-based access control: towards a unified standard[C]// RBAC '00: Proceedings of the 5th ACM Workshop on Role-Based Access Control. New York: ACM Press, 2000: 47-63.
- [3] RISSANEN E, AXIOMATICS A B. XACML v3.0 core and hierarchical Role Based Access Control (RBAC) profile v1.0[EB/OL]. [2011-12-10]. <http://docs.oasis-open.org/xacml/3.0/xacml-3.0-rbac-v1-spec-cs-01-en.pdf>.
- [4] BARKER S. Data protection by logic programming[C]// Proceedings of the First International Conference on Computational Logic, LNAI 1861. Berlin: Springer-Verlag, 2000: 1300-1314.
- [5] BARKER S, STUCKEY P J. Flexible access control policy specification with constraint logic programming[J]. ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC), 2003, 6(4): 501-546.
- [6] FERRAILOLO D, ATLURI V, GAVRILA S. The policy machine: a novel architecture and framework for access control policy specification and enforcement[J]. Journal of System Architecture, 2011, 57(4): 412-424.
- [7] YAGUE M I, MANA A, LOPEZ J, et al. Applying the semantic Web layers to access control[C]// DEXA '03: Proceedings of the 14th International Workshop on Database and Expert Systems Applications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2003: 622-

626.

- [8] KAGAL L, FININ T, JOSHI A. A policy language for a pervasive computing environment[C]// Proceedings of IEEE the 4th International Workshop on Policies. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2003: 63-76.
- [9] USZOK, A, BRADSHAW J M, JEFFERS R, et al. KAoS policy and domain services: toward a description-logic approach to policy representation, deconfliction, and enforcement [C]// POLICY 2003: Proceedings of IEEE the 4th International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2003: 93-96.
- [10] 王治纲, 王晓刚, 卢正鼎, 等. OntoRBAC: 基于本体的 RBAC 策略描述与集成[J]. 计算机科学, 2007, 34(2): 82-85.
- [11] FININ T, JOSHI A, KAGAL L, et al. ROWLBAC: Representing role based access control in OWL[C]// SACMAT '08: Proceedings of the 13th ACM Symposium on Access Control Models and Technologies. New York: ACM Press, 2008: 73-82.
- [12] TONTI G, BRADSHAW J M, JEFFERS R, et al. Semantic Web languages for policy representation and reasoning: a comparison of KAoS, Rei, and Ponder[C]// ISWC 2003: Proceedings of the 2003 International Semantic Web Conference, LNCS 2870. Berlin: Springer-Verlag, 2003: 419-437.
- [13] MCGUINNESS D L, HARMELEN F. OWL Web ontology language overview[EB/OL]. [2012-01-10]. <http://www.w3.org/TR/owl-features>.
- [14] HORROCKS I, PATEL-SCHNEIDER, BOLEY H, et al. SWRL: A semantic Web rule language combining OWL and RuleML[EB/OL]. [2012-01-20]. <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>.
- [15] HEBELER J, FISHER M, BALACE R, et al. Web 3.0 与 Semantic Web 编程[M]. 唐富年, 唐荣年, 译. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [16] 叶春晓, 符云清, 吴中福. RBAC 中权限扩展的实现[J]. 计算机工程, 2005, 39(2): 141-142, 172.

(上接第 2555 页)

表 1 伪分支剔除算法用时比较

算法	汉字图	数字图	字母图
算法 1	17.41	16.04	16.50
算法 2	7.32	6.28	6.83

4 结语

本文凭借 ICM 脉冲并行发放的优良性能,结合骨架伪分支和噪声的特征,提出一种基于 ICM 的图像骨架伪分支剔除算法。该方法根据实际情况引入并修正了端点和连接点的定义,以判断图像骨架上的伪分支和目标周围的噪声带,避免破坏骨架的几何尺寸。同时,ICM 动态脉冲并行发放特性大大提高算法的处理效率。实验结果表明,本文算法不但计算速度快、抗噪声能力强,而且图像骨架结构能完好保存下来,进一步提高了骨架曲线描述目标形状及拓扑特征的能力,较之传统数学形态学方法有着更为广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 马锐. 基于广义势场的三维形体多层次线骨架构建[J]. 计算机应用, 2011, 31(1): 16-19.
- [2] 蒋莉. 骨架驱动的 MLS 卡通角色变形[J]. 计算机辅助设计与图

形学报, 2011, 23(5): 863-869.

- [3] 江贺. 启发式算法设计中的骨架分析与应用[J]. 自动化学报, 2011, 37(3): 257-269.
- [4] 雷涛. 复杂环境下的运动人体骨架提取算法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(8): 3194-3197.
- [5] 刘宏申. 击中与击中不中变换在笔画细化中的应用[J]. 安徽工业大学学报, 2002, 19(3): 251-253.
- [6] 徐莹. 基于数学形态学的图像骨架提取和复原的改进算法[J]. 成都信息工程学院学报, 2009, 24(3): 259-263.
- [7] 刘怡静. 基于向量内积的骨架提取算法[J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2010, 36(2): 158-163.
- [8] 高山, 毕笃彦, 魏娜. 基于交叉视觉皮质模型的彩色图像自动分割方法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(8): 1638-1642.
- [9] GAO SHAN. Image enhancement algorithm based on NF-ICM [J]. Chinese Optics Letters, 2010, 8(5): 474-478.
- [10] 徐建军, 高山. 一种新的图像分割算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2011, 38(2): 8-16.
- [11] 牛建伟. 基于修正交叉视觉皮质模型的图像分割新方法[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(1): 56-60.
- [12] LAM L, LEE S W. Thinning methodologies — a comprehensive survey[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(9): 869-895.