

基于粗糙集阴影区域的检测与分类^{*})

刘伯红 陈铁民

(重庆邮电大学计算机学院 重庆 400065)

摘要 粗糙集理论是一种新的处理模糊和不确定性问题的数学工具。本文提出一种基于粗糙集阴影边缘分类方法。该算法根据粗糙集理论、梯度、最大邻域差及噪声的条件属性,将一幅图像划分为不同的子图像;然后对子图像分别进行处理,得到阴影边缘点;再利用边缘生长对边缘点进行细化和跟踪,删除那些假边缘点;然后根据阴影边缘构成假想的阴影区域,并统计这些区域的灰度直方图,求得阴影区域的灰度区间。根据该灰度区间可以得到阴影区域,再根据这些区域的灰度、形状、面积等特征对阴影进行分类。通过对所得结果进行分析可知,结合粗糙集理论的阴影图像边缘检测算法与其他的常规检测方法相比,无论从视觉效果还是检测精确度上都有所改善。

关键词 粗糙集, 阴影分类, 图像分割, 阴影边缘, 边缘梯度, 最大邻域差

Image Shadow Detection and Classification Based on Rough Sets

LIU Bo-Hong CHEN Tie-Min

(College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065)

Abstract The theory of the Rough sets is a new mathematics tool which is used to process fuzzy and indetermination problem, this paper puts forward a new method of the shadow edge classification based on Rough sets, which according to the theories of the Rough sets and the condition attribute of the gradient, the biggest error of neighborhood and the noise. The method divides a picture into the different several sub-pictures, then respectively process the sub-picture and get the shadow edge points. Then these edge points are thinned and followed and those false edge points are deleted. Then a imaginable shadow district is formed according to the shadow edge. The method statistics the gray histogram of these districts and get a gray zone of the shadow district. Then the shadow district is got and the shadow can be classified according to some characteristics such as the gray and the shape and the area of zone etc. It draws the conclusion by analyzing the result; the detecting accuracy and visual effect are improved by comparing the edge detection method based on rough set with normal methods.

Keywords Rough set, Shadow classification, Shadow detection, Shadow edge, Edge gradient, Biggest error of neighborhood

1 引言

计算机视觉系统中大多数场景下都存在阴影。阴影产生于物体全部或部分地阻挡直射光线。它可分为自阴影和投影阴影。自阴影(self-shadows)是物体未被光线直接照亮的部分,投影阴影(cast shadows)则是物体缘由直射光线方向的投影造成的。投影阴影中直射光线被完全阻挡的部分称为本影(umbra),直射光线被部分阻挡的部分叫做半本影(penumbra)。一个点光源只能产生本影,一个区域光源可以产生本影和半本影。

阴影在图像中是普遍存在的,它严重影响对图像处理的后期工作,比如图像分割、图像匹配等,为此必须先去除图像阴影。由于阴影种类繁多,有基于几何特性不同的阴影,有基于阴影灰度性质(比如阴影边缘灰度渐变、突变,阴影分布是否均匀)不同的阴影,还有基于阴影形成原因不同的阴影,但目前没有一种通用的阴影去除方法对所有的阴影均有很好的处理效果,因此必须对不同类型的阴影用不同的处理方法。由此我们提出了将阴影分类的想法,但此前提是对阴影进行

检测。这些年来,有关解决阴影检测和识别的方法已发表了不少文章,如 Jiang 与 Ward^[1]提出了基于阴影强度与几何特性的阴影检测方法,即在阴影的检测过程中采用 3 层:低层、中层与高层。在低层处理中,从图像中提取暗区域;中层则对暗区域进行特征分析,包括检测按区域轮廓顶(vertices),确认按区域中的半影(penumbrae),将暗区域分成自阴影和投影阴影以及确定与暗区域相邻的物体区域;高层则结合前两层结果,从暗区域中确认阴影。Salvador^[2]等人基于彩色不变模型确定并归类阴影,即先利用亮度信息提取包含有阴影的整个物体边缘,然后利用彩色不变模型,提取出不包含阴影的物体边缘。两者相比较,从而提取出阴影候选区域的边缘,再利用边缘信息将候选阴影像素淀粉为自阴影点或投影阴影点。Gevers 与 Stokman^[3]等人提出了在序列图像中基于传感器噪声分析的自适应噪声提取阈值的方法,将边缘分为:几何阴影、光亮边缘和物体边缘。Wang^[4]等人采用背景相减方法提取出前景图,基于照度估计从提出的前景图中确定有无阴影。

以上阴影检测方法大致可分为两类:基于物体几何特性

^{*})TRUE(The Tracer Retention Understanding Experiments),由瑞典 SKB、欧盟联合支持;重庆市科委自然科学基金项目(编号: CSTC2005BB2012)。陈铁民 博士,研究方向:数字图像处理。

和基于阴影性质。第一类方法是通过已知场景、目标的三维几何结构和光源的信息来计算阴影区域,由于这些信息并不容易得到,因此这类方法局限性比较大;第二类方法则具有普遍性,通过分析阴影在亮度、几何结构和色彩等方面的特征来识别阴影。由于直射光线遮挡,阴影区域较暗,较小的亮度可作为阴影检测的重要手段。但所有上述方法都存在局限性:需要满足一定的假设条件,如场景中仅有一个光源,阴影位于相对平坦的区域,或者由某种不因阴影而改变的彩色不变量等。

本文采用基于粗糙集阴影边缘点分类方法,较好地实现了阴影区域的检测和分类。

2 关于分类的粗糙集理论

在粗糙集理论^[5,6]中,“知识”被认为是一种分类能力,即根据事物的特征差别将其分门别类的能力。分类过程中相差不大的个体被归于同一类,它们的关系就是不可分辨关系,也称等价关系。

给定一个有限的非空集合 U 称为论域, R 为一等价关系,则称知识库 $K=(U,R)$ 为一个近似空间。设 x 为 U 中的一个对象, X 为 U 的一个子集, $R(x)$ 表示所有与 x 不可分辨的对象所组成的集合。当 X 能用 R 的属性确切描述时, X 是 R 可定义的,称 X 为 R 的精确集;反之,称 X 为 R 的非精确集或粗糙集。

粗糙集理论延拓了经典的集合论,把用于分类的知识嵌入集合内,作为集合组成的一部分。一个对象 x 是否属于集合 X ,需要根据现有的知识来判断。可分为三种情况:(1)对象 x 肯定属于集合 X ; (2)对象 x 肯定不属于集合 X ; (3)对象 x 可能属于也可能不属于集合 X 。集合的划分密切依赖于我们所掌握的关于论域的知识,是相对的而不是绝对的。在粗糙集理论中,“含糊”用来描述集合,指集合的边界不清晰。也就是说,根据论域中现有的知识无法判定某些元素是否属于该集合。而“不确定”描述的是集合中的元素,指某个元素是否属于某集合是不确定的。

3 基于等价关系的子图像划分

对于一幅灰度级数为 L 的 $M \times N$ 个像素组成的二维图像 U , 设像素 x 为 U 中的一个对象, 称知识库(知识系统) $K=(U,R)$ 为一个图像近似空间。我们考虑中心像素为 $w(i,j)=f(x,y)$ 的 3×3 的窗口, 如表 1 所示。

表 1 一个 3×3 窗口

$W(i-1,j-1)$	$W(i-1,j)$	$W(i-1,j+1)$
$W(i,j-1)$	$W(i,j)$	$W(i,j+1)$
$W(i+1,j-1)$	$W(i+1,j)$	$W(i+1,j+1)$

移动该窗口,使所有的像素都依次置于该窗口的中心位置。计算像素点 $w(i,j)$ 的梯度 $I(x,y)=(|\Delta X|+|\Delta Y|)$, 其中

$$\Delta X=f(x+1,y-1)+f(x+1,y)+f(x+1,y+1)-f(x-1,y-1)-f(x-1,y)-f(x-1,y+1) \quad (1)$$

$$\Delta Y=f(x-1,y-1)+f(x,y-1)+f(x+1,y-1)-f(x-1,y+1)-f(x,y+1)-f(x+1,y+1) \quad (2)$$

$f(x,y)$ 为原图像, $g(x,y)$ 为处理后的梯度图像。

粗糙集理论中有两种属性:条件属性和决策属性。为了

有目的地区别处理图像中某类阴影,我们定义条件属性集 $C=\{c_1,c_2,c_3\}$, 其中 c_1 是非阴影噪声属性, c_2 是像素的梯度大小属性, c_3 是邻域最大灰度属性。

噪声属性 $c_1=\{0,1\}$, 其中 0 代表 1×1 (单个像素) 或 3×3 像素组成子块 p 的平均灰度值与相邻子块平均灰度值之差的绝对值均小于某一阈值 T , 1 代表子块的差值绝对值均大于 T 。像素梯度的属性 $c_2=\{0,1\}$, 其中 0 代表像素梯度满足 $A<I(x,y)<B$, 1 代表像素梯度 $I(x,y) \geq B$, 其中 A,B 是某一给定阈值。最大邻域灰度差属性 $c_3=\{0,1\}$, 在这里既利用了像素本身的灰度值, 又利用了其邻域信息。设 $C(x,y)=\{f(x-i,y-j) | -(n-1)/2 \leq i,j \leq (n-1)/2\}$ 表示图像中大小为 $n \times n$ 的窗口, $f(x,y)$ 表示坐标为 (x,y) 的点的灰度值, n 为奇数, 则定义邻域函数为

$$H(x,y)=\max_{f \in C(x,y)}(f)-\min_{f \in C(x,y)}(f) \quad (3)$$

其中 0 代表邻域最大灰度差 $C<H(x,y)<D$, 1 代表 $H(x,y) \geq D$, C,D 为某一给定的阈值。

子图的划分就是利用不可分辨关系的等价概念,按属性 C 分类。

(1) 根据 c_1 划分子图

定义等价关系 R_{c_1} 为: 子块 P_{ij} 与相邻子块的平均灰度值 $E(P)$ 之差的绝对值取整均大于某一阈值 T , 即

$$R_{c_1}=\bigcup_j \{P_{ij} | \text{int}|\bar{E}(P_{i,j})-\bar{E}(P_{i \pm 1,j \pm 1})|>T\} \quad (4)$$

式中 $P_{i \pm 1,j \pm 1}$ 表示 P_{ij} 相邻的子块。 $R_{c_1}(P)$ 表示所有孤立噪声或小块的非阴影噪声像素组成的集合。

(2) 根据 C_2 划分子图

设 x 代表梯度“较大”的像素, 等价关系 R_{c_2} 定义为: 如果两个像素的梯度值属于同一范围, 则两个像素是 R_{c_2} 相关的, 即属于等价类, 用公式表示为

$$R_{c_2}(x)=\{x | I(x,y)>B\} \quad (5)$$

B 是一阈值。 $R_{c_2}(x)$ 表示所有梯度较大的像素 x 组成的集合。

(3) 根据 C_3 划分子图

设 s 代表最大邻域差较大的元素, 等价关系 R_{c_3} 定义为: 如果两个像素的最大邻域差值属于同一范围, 则两个像素是 R_{c_3} 相关的, 即属于等价类, 用公式表示为

$$R_{c_3}(s)=\{s | I(s,t)>D\} \quad (6)$$

D 是一阈值。 $R_{c_3}(s)$ 表示所有最大邻域差较大的像素 s 组成的集合。

对上述两个集合进行除噪, 这样可以避免明显的假边缘点。即 $A_1=R_{c_2}(x)-R_{c_1}(p)$ 和 $A_2=R_{c_3}(s)-R_{c_1}(p)$, A_1 表示剔除噪声后所有像素的梯度大的像素 x 组成的集合, A_2 表示剔除噪声后所有像素的最大邻域差值大的像素 s 组成的集合。 A_1, A_2 也就是我们需要的像素集合。

4 阴影区域的灰度级

阴影在图像中十分常见。直接用肉眼观察图像时, 比较容易确定阴影区域。但是, 让计算机自动检测阴影, 则存在很多困难, 如区域检测、知识表示与合成等。对于分辨较低的图像和目标密度较高的图像, 阴影区域通常很小。研究阴影检测是一项比较困难的任务, 在多数情况下甚至比研究产生阴影的目标本身更为困难。

Thirion^[7] 利用光线投影的知识来确定图像中的阴影。他假设目标的 3D 模型已知, 并且知道摄影点的位置。

Wang^[8]等人提出了一种检测云层及其在地面上阴影的方法。该方法假设云层的高度基本相同,他们首先在图像中找到足够的亮区域和暗区域作为云块及阴影的候选区域,然后根据连接亮区域和暗区域质心的平行线对来确定阴影区域。

观察大量阴影图像可以发现,阴影对图像的影响可以概括为:使所投射地表的表面光照强度降低。阴影属于图像中的局部暗区域,阴影区域的灰度方差一般小于其他非阴影区域,阴影边缘具有高对比度。如果能找到这个特殊边缘,就可以方便地检测出阴影区域。已经有学者在这方面开始了研究。如 Nuertas 与 Nevatia^[9]提出了一种通过人工采样来确定阴影区域灰度级的方法。另有学者提出了如果图像的灰度直方图是双峰或多峰的情况,则可以根据灰度级最小的峰值来确定阴影区域的灰度级。但是,对于有些图像不满足上述条件,这种方法就不能有效地检测出阴影区域。在阴影图像中,高出地面的物体投射到目标物体上产生阴影,由于没有太阳光直接照射,光线较暗,通常占据比较低的灰度级。其他由太阳光照射的目标占据较高的灰度级,因此在目标、阴影的交界处图像的对比度是最高的。这些边缘是所有边缘中最可靠的,称之为“阴影边缘”。我们将以这些“阴影边缘”为线索来检查图像中阴影区域的灰度值,并从而求得阴影区域。

5 阴影边缘的提取

提取边缘的方法很多,近年来还提出了不少新方法^[10],在本文中,我们使用像素属性分类的方法来检测图像的边缘。

5.1 基于边缘点分类

我们假设:阴影区域和非阴影区域存在着一个过渡带,即承认边缘是有宽度的。本文中,我们选用海边沙石阴影图像来分析,将阴影分为两部分:一部分为图像外的物体(比如树)的投影(以下我们简称为外阴影),另一部分为目标自身阴影及目标之间的投影(以下我们简称为内阴影),下面讨论:

(1) 外阴影与内阴影的灰度相差较大

这种情况我们通过大量图像发现:外阴影的平均灰度要比内阴影的平均灰度低,在同一浅色背景下表现为对比度大些,此时我们对上面求得的集合 A_1 、 A_2 分别求 $I(x, y)$ 、 $H(x, y)$ 。在 A_1 中, $A < I(x, y) < B$ 的值对应的像素点集为 M 集合, $I(x, y) \geq B$ 的值对应的像素点集为 N 集合;在 A_2 中,我们合理选取参数,得 $C < H(x, y) < D$ 对应的点集合为 R , $H(x, y) \geq D$ 对应的点集合为 S ,使得 M 与 R 、 N 与 S 尽可能相等。由此,我们可以初步得出 $N(=S)$ 为外阴影边缘点, $M(=R)$ 为内阴影边缘点。

(2) 外阴影与内阴影的灰度相差不大

这样求得的 $I(x, y)$ 或 $H(x, y)$ 不能分为两个较明显的区间,此时仅求 $H(x, y)$ 即可。

5.2 部分假边缘点的处理(对于上小节中的第一种情况)

对于上小节中的情况(1),如果外阴影、内阴影分布不均匀,即外阴影内部的某些点的 $I(x, y)$ 、 $H(x, y)$ 恰好属于内阴影边缘点的 $I(x, y)$ 、 $H(x, y)$,这时我们会误判。此时应在内阴影的 $M(R)$ 中去掉这些点,方法如下:对内阴影边缘点集 $M(R)$ 一一进行统计,使此点向四周方向移动。若都能碰到属于外阴影边缘高梯度点(梯度大于或等于 B 的点)或高最大邻域灰度差的点(最大邻域灰度差大于或等于 D 的点),则此点是外阴影的内部点,将其从内阴影边缘点集 $M(R)$ 中去掉。注意:之所以使外阴影内部点向四周方向移动,是因为内阴影

的边缘点沿着某个方向也可能会碰到高梯度点。同理,可将外阴影边缘点集中的假点去除掉。这样,剩下的点全部是真正的边缘点了。

5.3 边缘的细化与边界跟踪

在上两节中,假设边缘是有宽度的。为了更精确地检测边缘,需要对边缘进行细化^[11],即把边缘的宽度变为 1 个像素。方法是:在边缘的法向上(从边缘一侧高灰度邻域指向另一侧低灰度邻域且与边缘垂直的线称为边缘法线),边缘点的梯度是最大的。如果两个边缘点的梯度与方向相同,而且相互位于法向上,我们保留最大邻域差较大的点。经过这样的处理后,就可以得到较高定位精度的细化边缘。

经过了以上处理后,我们得到了一系列离散的边缘点。因为图像中有意义的边缘点都有一定的连续性,因此实际边缘应该是这些离散边缘点按照一定的空间关系连接起来的点的序列。也就是说,为了把点连接成线,我们建立一个二叉树,每个结点最多有 3 个后继点、最多一个前趋点,还留有一个标志位。后继点表示当前点所在线的下一个点,它与当前点满足下面的关系^[12]:

(1) 空间位置上相邻,即两者必须互为 8 邻域点。

(2) 方向上相同,因为它们位于同一线上,所以它们的方向应该一致。考虑到各种因素的影响,规定它们的方向之差的绝对值应小于 45 度。

(3) 不分叉性。两个点连线的方向与两个点的边缘方向的夹角小于 45 度。每个点最多可能有 3 个后继点,即该点方向所指的那个邻域点、在 8 个离散方向中最接近该方向的其他两个方向(分别位于该方向的两侧)所指的邻域点。

连接的过程是依次检查 $M(R)$ 和 $N(S)$ 中的每个像素点,根据不同的方向,判断它的前趋点和后继点。具体步骤如下:

(1) 根据空间位置相邻和不分叉性,确定候选后继点;

(2) 根据方向相同性,在候选后继点中去掉那些方向差之绝对值大于 45 度的点;

(3) 根据不同的情况,给后继点和前趋点设置不同的值。

给每个边缘点确定了前趋点和后继点之后,我们就可以从边线的起点出发,依次得到直线上的每个像素点了。这个过程称为边界跟踪,即对每条直线进行标注。一条边界线的所有点具有相同的标志号(可以是按某种规则制定的记号)。

图 4、图 6 分别是用本文对图 1、图 2 求得的阴影边缘图像。



图 1 原始图像

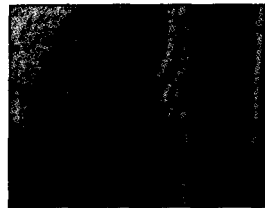


图 2 原始图像

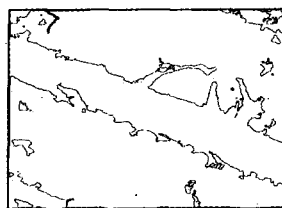


图 3 常规方法处理的阴影边缘

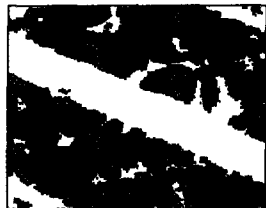


图 4 新算法处理的阴影边缘

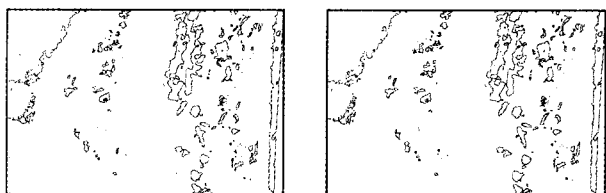


图5 常规方法处理的阴影边缘 图6 新算法处理的阴影边缘

6 阴影区域的获取

在上一节中求得的阴影边缘是阴影区域的可靠边界。阴影区域分布在阴影边缘远离光源的一侧。阴影区域可以从阴影边缘得到,具体步骤如下:

1)由阴影边缘构造阴影的假想区域。在阴影边缘远离光源的一侧的邻域内,根据图像的分辨率、目标的密集程度和目标的高度选择一个距离阈值,所有到阴影边缘的距离小于该阈值的像素点构成一个区域。阈值应该选取一个较小的数值,使得这些区域(称为假想区域)中的像素点基本上都是区域的点。所有假想区域中的点的集合称为整体假想区域。

2)对整体假想区域进行灰度统计,可以获得一个灰度统计直方图。在该直方图中寻找峰值点,就可以确定阴影区域的灰度值。

3)根据阴影灰度值对原图进行二值化,就得到了一系列的暗区域,这些暗区域就是初步求得的阴影区域。

4)如果有必要,可以进行适当的区域操作,如扩张与收缩等。

最后分别对图4、图6求得的阴影区域如图8、10所示。

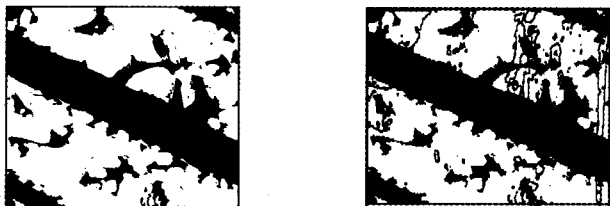


图7 常规方法处理的阴影区域 图8 新算法处理的阴影区域



图9 常规方法处理的阴影区域 图10 新算法处理的阴影区域

7 阴影区域的分类

在上一节中求得了阴影区域,为了分别进行处理,我们必须将其分类。对于5.1节中的情况(1),较容易区分,可以在每个阴影区域中取一个小的邻域,分别求出其平均灰度值。较大的为外阴影区域,较小的为内阴影。对于5.1节中的情况(2),则可以依据阴影区域的形状、面积等因素进行区分。

8 实验结果和分析

用多幅图像进行实验的结果表明,本文所提出的算法有较好的效果。图1、图2是两幅海边沙滩原始图像。为了说明本文算法的优点,实验给出了应用常规方法得到的图像,见

图3、图5、图7、图9。

常规边缘检测方法大都基于单一的微分技术来确定图像的边缘,是一种相对简单的算法。从图3、图5的边缘图像可以看出,常规方法不如本文算法。从人的视觉来看,新算法处理的图像边缘明显精确一些,常规算法处理的图像边缘有些模糊,而且有些地方没有检测到。边缘检测实验中我们取子块 p_{ij} 为一个像素, $n=3$,阈值 $T=60$, $R_{C_2}(x)$ 中的阈值 $B=80$, $R_{C_3}(s)$ 中的阈值 $D=40$ 。在阴影区域获取中,距离阈值取得适当小。从图8、图10可以看出,新算法检测出的阴影区域比常规算法检测出的阴影区域无论从灰度层次还是从视觉效果都要高于常规算法。通过实验,可以看出新算法优于常规算法。

结束语 阴影普遍存在于各类图像中。本文首先利用基于粗糙集分类方法求得边缘点,在此过程中,使用了一种去除假边缘点的方法,利用了最大邻域灰度差及边缘梯度,既得到了真正的边缘点,又去除了噪声。然后对边缘点进行了细化和跟踪,得到了单宽度的直线边缘。再根据阴影边缘构造假想的阴影区域,并统计这些区域的灰度直方图,求得阴影区域的灰度区间。根据该灰度区间可以得到灰度区域,最后依照这些区域的几何或灰度特性进行分类。对这些不同阴影各自采用最佳处理方法是我們下一步的工作目标。

参考文献

- 1 Jiang C, Ward M O M. Shadow Identification. In: Computer Vision and Pattern Recognition, 1992. Proceedings CVPR 92, 1992 IEEE Computer Society Conference on, June 1992, 606~612
- 2 Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Shadow identification and classification using invariant color models. In: Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2001. Proceedings. (ICASSP'01). 2001 IEEE International Conference on, 2001, 3(7-11): 1545~1548
- 3 Gevers T, Stokman H. Classifying color edges in vide into shadow-geometry, highlight, or material transitions. Multimedia, IEEE Transactions on, 2003, 5(2): 237~243
- 4 Wang J M, Chung Y C, Chang C L, et al. Shadow detection and removal for traffic images [A]. In: IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control [C], 2004, 1: 649~654
- 5 Pawlak Z. Rough sets: International of Information and Computer Science, 1982. 11
- 6 Pawlak Z. Rough sets: Theoretical aspects of reasoning about data Nowowiejska 15/19, Warsaw, Poland, 1990
- 7 Thirion J B. Realistic 3D simulation of shapes and shadows for image processing. CVGIP, 1992, 54(1): 82~90
- 8 Wang C, Huang L, Rosenfeld A. Detecting clouds and cloud shadows on aerial photographd. PRL, 1991, 12(1): 55~64
- 9 Huertas A, Nevatia R. Detecting Buildings in Aerial Images. CVGIP, 1988, 41(1): 131~152
- 10 Feng L, Suen C Y, Tang Y Y, et al. H Edge extraction of images by reconstruction using wavelet decomposition details at different resolution levels. Int J of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2000, 14(6): 779~793
- 11 Chang Fu, Lu Ya-Ching, Pavlidis T. Feature Analysis using line sweep thinning algorethm. T-PAMI, 1999, 21(2): 145~158
- 12 杨益军, 兆荣椿, 汪文秉. 航空图像中阴影区域的检测. 信号处理, 2002, 18(3)