



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101126813 B

(45) 授权公告日 2010. 11. 24

(21) 申请号 200710175406. 3

(22) 申请日 2007. 09. 29

(73) 专利权人 北京交通大学

地址 100044 北京市西直门外上园村 3 号

(72) 发明人 谭衢霖 魏庆朝 杨松林

(74) 专利代理机构 北京市商泰律师事务所

11255

代理人 吴克宇 毛燕生

(51) Int. Cl.

G01S 17/89 (2006. 01)

G01S 7/48 (2006. 01)

G06K 9/46 (2006. 01)

审查员 白建辉

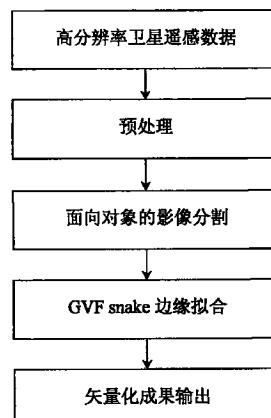
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种高分辨率卫星遥感影像中构筑物轮廓提取方法

(57) 摘要

本发明公开了一种高分辨率卫星遥感影像中构筑物轮廓提取方法,包括如下步骤:(1)对影像进行预处理,提高影像的清晰度;(2)根据提取的构筑物对象的大小设定分割的最小区域大小参数,执行面向对象的高分辨率遥感影像分割;(3)利用基于梯度矢量流的主动轮廓线模型算法对分割后图像进行边缘拟合;(4)矢量化;(5)优化处理。本发明方法能够提取真实反映建筑物的轮廓,而且输出格式为矢量格式,可以直接用于GIS的矢量数据更新。



1. 一种高分辨率卫星遥感影像中构筑物轮廓提取方法,其特征就在于包括如下步骤:

(1) 对影像进行预处理,提高影像的清晰度;

(2) 根据提取的构筑物对象的大小设定分割的最小区域大小参数,采用基于置信度的均值漂移分割算法对高分辨率遥感影像分割;

步骤如下:

①对影像执行置信度边缘检测,生成置信度边缘检测  $\rho$   $\eta$  图, $\rho$  为评估梯度值, $\eta$  为依据梯度相位及标准边缘模板估计边缘的置信度;

②利用  $\rho$   $\eta$  图计算每个像素  $(i, j)$  的权  $w_{ij}$ : $w_{ij} = a_{ij} \cdot \rho_{ij} + (1 - a_{ij}) \cdot \eta_{ij}$ ,其中, $a_{ij}$  称为混合参数,为  $[0, 1]$  中的任意值,此参数用来控制  $\rho$  和  $\eta$  的混合程度;当  $\rho < 0.02$  时,权为 0;对于一幅影像中所有的像素都采用相同的  $a_{ij}$ ,

③将利用置信度边缘检测计算的权  $w_{ij}$  结合到均值漂移影像分割器中,即在均值漂移分割的滤波过程中,设置新的权值为  $1 - w_{ij}$ ,对均值漂移的位移量进行加权平均;

④在影像进行滤波处理后,对每条边界进行强度检测,计算两个区域公共边上像素  $w_{ij}$  的平均值  $e$ ;

⑤将  $e$  与设定的阈值  $t_e$  比较,当  $e < t_e$  时,对影像进行均值漂移分割,直到  $e \geq t_e$  时,停止分割;

(3) 利用基于梯度向量流的主动轮廓线模型对分割后图像进行边缘拟合与跟踪;

(4) 矢量化;

(5) 优化处理。

2. 根据权利要求 1 所述的一种高分辨率卫星遥感影像中构筑物轮廓提取方法,其特征就在于:

所述的步骤 (1) 中,对图像进行预处理纠正原始图像中的几何与辐射变形,同时,在预处理过程中增大提取目标与背景的反差,以取得更好的分割效果;

所述的步骤 (3) 中,采用基于梯度向量流的主动轮廓线模型,该模型将主动轮廓线模型的边界图用扩散方程进行处理,得到整个图像域的梯度向量场作为外部力;经过扩散方程处理后的梯度矢量场比边界图更加有序、更能体现物体边界的宏观走势,且可以收敛到轮廓的深度凹陷部分;

所述的步骤 (5) 中,优化处理是指使用 R2V 软件对提取出的矢量进行简单的平滑处理。

## 一种高分辨率卫星遥感影像中构筑物轮廓提取方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种高分辨率卫星遥感影像中构筑物轮廓提取方法,属于高分辨率卫星遥感影像处理与信息提取技术应用领域。

### 背景技术

[0002] 从遥感影像上自动识别地物类型并精确量测地物形状、大小,是遥感影像信息提取和摄影测量研究中的热点和难点,也是最终高度自动化地由影像获取基础地理信息的关键问题。当前,高分辨率遥感影像数据处理和信息提取方法相对进展缓慢,人工解译和判读仍然是普遍的工作方式,费时费力,成为制约高分辨率遥感影像广泛应用的主要瓶颈因素。因此,如何有效地利用高分辨率影像的高分辨率特性提取人工地物,探索快速、高效的高分辨率影像数据计算机处理与信息提取方法已成为当前遥感应用研究领域的一个重要研究课题。

[0003] 高分辨率卫星影像可以更准确、细致的反映地表的特征,从而更多的地表细节将清晰地展现出来。可是,随之而来的是影像上非目标地物噪声也越来越多,加上遥感影像中地物细节的多样性和复杂性,使我们利用高分辨率遥感影像提取地物信息仍难以达到满意的效果。以建筑物提取为例,首先,其结构尺度往往是变化的。此外,建筑物与建筑物之间可能存在遮挡阴影的影响。再者,由于建筑材料的不同而导致光谱特征、纹理特征存在差异。加之影像本身常常存在不同程度的畸变(如受太阳高度、大气散射、传感器性能等因素影响),决定了高分辨率遥感影像信息提取时计算机数字图像处理的复杂性。目前,传统的基于像素光谱特征的单尺度影像信息提取方法在高分辨率卫星遥感影像人工地物提取方面存在明显的缺陷。如影像分割过程中,因为噪声或者灰度差异较小但分属不同地物类型的相邻像素,分割中会很容易的被合并为一个区域对象,从而造成地物目标错提或漏提。

[0004] 本发明的目的为克服上述难点而提供一种结合面向对象的尺度相关分割算法与主动轮廓模型算法的构筑物轮廓自动提取方法。本发明可以有效地提取高分辨率卫星遥感影像中不同尺度大小和不同形状的构筑物轮廓,从而为从影像上自动识别地物类型并精确测量地物形状和大小提供基础。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的。

[0006] 一种高分辨率卫星遥感影像中构筑物轮廓提取方法,它包括如下步骤:

[0007] (1) 对影像进行预处理,包括辐射校正、去噪处理、几何纠正等,提高影像的清晰度;

[0008] (2) 根据提取的构筑物对象的大小设定分割的最小区域大小参数,执行面向对象的高分辨率遥感影像分割;

[0009] (3) 利用改进的主动轮廓线模型对分割后图像进行边缘拟合与跟踪;

[0010] (4) 矢量化;

[0011] (5) 优化处理。

[0012] 在上述的一种高分辨率卫星遥感影像中构筑物轮廓提取方法步骤中，

[0013] 所述的步骤 (1)，对图像进行预处理主要是纠正原始图像中的几何与辐射变形，同时，在预处理过程中增大提取目标与背景的反差，以取得更好的分割效果。

[0014] 所述的步骤 (2)，分割算法采用面向对象的基于置信度的均值漂移尺度相关分割算法，该算法实际上是将基于置信度的边缘检测与均值漂移分割算法相结合，可以显著地提高分割影像的质量。

[0015] 所述的步骤 (3)，改进的主动轮廓线模型是指采用基于梯度向量流的主动轮廓线模型，该模型将传统 Snakes 的边界图用扩散方程进行处理，得到整个图像域的梯度向量场作为外部力。经过扩散方程处理后的梯度向量场比边界图更加有序、更能体现物体边界的宏观走势，从而克服了传统 Snake 无法收敛到轮廓的深度凹陷部分的缺点。

[0016] 所述的步骤 (5)，优化处理是指使用 R2V 软件对提取出的矢量进行简单的平滑处理。

[0017] 本发明方法能够提取真实反映建筑物的轮廓，而且输出格式为矢量格式，可以直接用于 GIS 的矢量数据更新。

[0018] 本发明的优点是：

[0019] (1) 可提取感兴趣的任何尺度大小的构筑物轮廓；

[0020] (2) 可提取复杂凹凸形状的构筑物轮廓；

[0021] (3) 自动化程度高；

[0022] (4) 输出为矢量格式，可直接用于 GIS 的矢量数据更新。

#### 附图说明

[0023] 图 1 为本发明方法数据处理流程图；

[0024] 图 2 为建筑物轮廓提取处理结果图。

#### 具体实施方式

[0025] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细描述。

[0026] 以一幅高分辨率数字遥感影像中某一建筑物提取为例，利用本发明方法对高空间分辨率遥感影像进行分割和边界拟合，最后输出矢量数据。处理流程如图 1 所示，其工作过程描述如下：

[0027] (1) 对图像进行预处理：包括辐射校正、去噪处理、几何纠正等，纠正原始图像中的几何与辐射变形并提高影像的清晰度。通过预处理，尽可能的得到在几何和辐射上真实的影像，消除图像中噪声，恢复有用的真实信息；在预处理过程中增大提取目标与背景的反差，以取得更好的分割效果。这里采用的处理方法是对影像进行分段拉伸，增大像素之间的灰度值的差距，增强有关信息的可检测性和最大限度地简化数据，从而提高图像分割、边缘提取的可靠性。

[0028] (2) 面向对象的尺度相关影像分割：具体是利用基于置信度的均值漂移尺度相关分割算法执行图像分割。该分割算法结合了基于置信度的边缘检测算法和均值漂移分割算法，这种结合能够恢复信号弱但边界强的区域，可以显著地提高分割影像的质量。因此，

该方法可以为高层次解译提供更精确的输入数据,这是本发明方法取得满意结果的核心步骤。下面对该方法描述如下:

[0029] 首先,描述基于置信度的边缘检测算法。传统的基于边缘检测的方法,主要是利用像素的梯度幅度信息,而置信度的边缘检测在像素的梯度幅度信息的基础上充分利用了像素的梯度相位信息,由邻域中心的梯度相位确定标准的边缘模板,将归一化的数据矢量和标准模板相关系数的绝对值作为边缘的置信度,然后再利用影像的结构信息判断该点是否为边缘,从而达到准确检测图像中弱边缘的目的。该算法不但对弱边缘有较好的检测能力,而且对噪声也有很好的抑制作用。

[0030] 其次,描述均值漂移分割算法,其设计为:设一幅图像表示为带有  $p$  维向量的二维网格,当  $p = 1$  时代表灰度图像,当  $p = 3$  时代表彩色图像,当  $p > 3$  时代表多光谱图像。格网空间作为空间域,同时灰度级、色彩、多光谱信息作为颜色域。当空间位置向量与颜色向量一起合为空间-颜色域时,维数  $d = p+2$ 。由于二者的相异性,需要做适当的归一化处理。

[0031] 定义多维核如下:

$$[0032] \quad K_{h_s, h_r}(x) = \frac{C}{h_s^2 h_r^p} k\left(\left\|\frac{x^s}{h_s}\right\|^2\right) k\left(\left\|\frac{x^r}{h_r}\right\|^2\right)$$

[0033]  $x^s$  为特征矢量的空间部分,  $x^r$  为特征矢量的颜色部分,  $k(x)$  在空间和颜色域中都使用相同的核,  $h_s$ 、 $h_r$  分别为核带宽,  $C$  为相应的归一化常数。应用中通过控制核带宽参数  $h = (h_s, h_r)$  来决定分割精度。

[0034] 设  $x_i$ 、 $z_i$ 、 $i = 1, \dots, n$  分别为在空间和颜色域  $d$  维输入、滤波后的影像像素;  $L_i$  为分割后经过标注的第  $i$  个像素;  $h_s$ 、 $h_r$ 、 $M$  分别表示空间尺度、色彩尺度、最小区域面积。

[0035] 均值漂移分割算法的具体步骤为:

[0036] ①读取影像数据,并将 RGB 色彩空间转换到 LUV 特征空间;

[0037] ②运行均值漂移滤波处理 LUV 影像,并保存所有在  $d$  维空间内  $z_i$  处的收敛点,即  $z_i = y_i$ ;

[0038] ③描述基于空间和颜色域的聚类  $\{C_p\}_{p=1 \wedge n}$ , 连接所有空间上小于  $h_s$ , 颜色域上小于  $h_r$  的  $z_i$ ;

[0039] ④对  $i = 1, \dots, n$ , 指派  $L_i = \{p | z_i \in C_p\}$ ;

[0040] ⑤优化:限制各区域空间所包含的像素数不小于  $M$ 。即排除空间域内含有小于  $M$  像素的区域。其中  $M$  为最小有意义的特征大小,它控制分割影像中的区域个数。

[0041] 由于均值漂移分割输出的质量只受到核带宽  $h_s$ ,  $h_r$  的控制,所以对核带宽的设置是否合理直接控制了分割输出的质量。均值漂移分割算法既可以对灰度影像进行分割,也可以对彩色影像进行分割。

[0042] 然后,把上述两者方法结合起来对图像进行处理时,形成基于置信度的均值漂移尺度相关分割算法。这种方法可以恢复信号弱但边界强的区域,这样,它可以为高层次解译提供更精确的输入数据。

[0043] 其执行方式如下:

[0044] 利用置信度边缘检测中的  $\rho$   $\eta$  图表(前者为评估梯度值,后者为依据梯度相位及标准边缘模板估计边缘的置信度。),可以定义每个像素  $(i, j)$  赋的权为:

$$[0045] \quad w_{ij} = a_{ij} \cdot \rho_{ij} + (1 - a_{ij}) \cdot \eta_{ij}$$

[0046] 其中,  $a_{ij}$  为  $[0, 1]$  中的任意值, 此参数用来控制  $\rho$  和  $\eta$  的混合信息, 所以将此参数称为混合参数。当  $\rho < 0.02$  时, 权为 0。在本发明方法中, 对于一幅影像中所有的像素都采用相同的  $a_{ij}$ , 因此将此参数表示为  $a$ 。

[0047] 基于置信度的均值漂移分割技术将权结合到均值漂移分割器中。由前面所述, 可以将均值漂移表示为:

$$[0048] \quad \hat{\nabla} f(x) \cdot \left( \text{ave}_{x_i \in S_{h,x}} [x_i] - x \right)$$

[0049] 其中,  $f(x)$  为  $p$  维特征空间对应的概率密度函数,  $x_i$  为这个空间中所用到的数据点,  $S_{h,x}$  是以  $x$  为中心, 以  $h$  为半径的  $p$  维球面。在  $x$  处密度梯度的估算与窗口中的计算出的平均矢量偏移成比例, 此偏移量是以窗口中心为起点的偏移。在基于置信度的均值漂移的分割过程的滤波过程中, 将位移量进行加权平均, 且权为  $1-w_{ij}$ 。因此, 当像素离边缘越近, 这些权小, 从而进一步加强了均值漂移滤波效果。

[0050] 设定阈值  $t_e$ , 在影像进行滤波处理后, 对每条边界进行强度检测, 由两个区域的公共边上的像素的  $w_{ij}$  的平均值得到  $e$ , 当  $e < t_e$  时, 在权图上进行分割, 当  $e \geq t_e$  时, 停止分割。

[0051] 实现基于置信度的均值漂移分割。分割过程首先要设置 6 个参数: 2 个带宽参数  $h_s, h_r$  ( $h_s$  也称为空间分辨率参数,  $h_r$  称为颜色分辨率参数), 最小区域参数  $M$ , 梯度窗口参数  $n$ , 混合参数  $a$ , 阈值  $t_e$ ; 其次根据置信度边缘检测程序, 生成  $\rho \eta$  图; 再根据参数进行权值的计算, 并且将权结合到均值漂移影像分割器中, 对影像进行均值漂移分割, 只到  $e \geq t_e$  时, 停止分割。

[0052] (3) 采用梯度矢量流主动轮廓线模型 (GVF Snake) 对分割影像进行边界拟合与跟踪。GVF Snake 数学描述如下:

[0053] 设用  $\vec{X}(s) = [x(s), y(s)]$  表示轮廓  $s \in [0, 1]$ 。当  $\vec{X}(s)$  变化到使能量函数  $E$  为:

$$\int_0^1 0.5(\alpha |\vec{X}'(s)|^2 + \beta |\vec{X}''(s)|^2) + E_{ext}(\vec{X}(s)) ds$$

达到最小值时,  $\vec{X}(s)$  就是检测出的边缘。

[0054]  $\alpha, \beta$  是控制模型张力和弹力的权重。要做到能量最小, 模型必须满足:

$$[0055] \quad \alpha \vec{X}''(s) - \beta \vec{X}''''(s) - \nabla E_{ext} = 0$$

[0056] 这时也可以看成内力与外力达到平衡:

$$[0057] \quad \vec{F}_{int} + \vec{F}_{ext} = 0$$

[0058] 其中, 内力是  $\vec{F}_{int} = \alpha \vec{X}''(s) - \beta \vec{X}''''(s)$ , 外力是  $\vec{F}_{ext} = \nabla E_{ext}$ 。基于梯度矢量流的主动轮廓模型就是将外力定义为矢量场 (GVF):

$$[0059] \quad \vec{V}(x, y) = (u(x, y), v(x, y))$$

[0060]  $\vec{V}(x, y)$  能使能量函数  $\varepsilon$ :

[0061]  $\iint [\mu(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + |\nabla f|^2] |\vec{V} - \nabla f|^2 dx dy$  达到最小值。将  $\vec{V}(x, y)$  看成是一个与  $t$  有关的函数,  $\vec{V}(x, y, t)$  可以由下式求得:

$$[0062] \quad u_t(x, y, t) = \mu \nabla^2 u(x, y, t) - b(x, y) u(x, y, t)$$

$$[0063] \quad + c^1(x, y)$$

[0064]  $v_i(x, y, t) = \mu \nabla^2 v(x, y, t) - b(x, y)v(x, y, t)$

[0065]  $+ c^2(x, y)$

[0066] 其中：

[0067]  $b(x, y) = f_x(x, y)^2 + f_y(x, y)^2$

[0068]  $c^1(x, y) = b(x, y) f_x(x, y)$

[0069]  $c^2(x, y) = b(x, y) f_y(x, y)$

[0070] 为了用迭代计算梯度矢量流,用  $\Delta x, \Delta y$  代表像素间的增减,用  $\Delta t$  代表每一次迭代的时间轴增减。可以用下面公式计算梯度矢量流：

[0071]  $u_{i,j}^{n+1} = (1 - b_{i,j} \Delta t) u_{i,j}^n + r(u_{i+1,j}^n + u_{i,j+1}^n +$

[0072]  $u_{i-1,j}^n + u_{i,j-1}^n - 4u_{i,j}^n) + c_{i,j}^1 \Delta t$

[0073]  $v_{i,j}^{n+1} = (1 - b_{i,j} \Delta t) v_{i,j}^n + r(v_{i+1,j}^n + v_{i,j+1}^n +$

[0074]  $v_{i-1,j}^n + v_{i,j-1}^n - 4v_{i,j}^n) + c_{i,j}^2 \Delta t$

[0075] 为了使这个迭代收敛,必须满足条件：

[0076]  $\Delta t \leq \frac{\Delta x \Delta y}{4\mu}$

[0077] 这样计算出梯度矢量流之后,就可以求出边界  $\bar{X}(s)$ 。

[0078] 执行步骤如下：

[0079] ①通过多尺度分割获得初始轮廓,初始化参变量  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$  ( $\alpha$  用来控制轮廓的连续性约束,  $\beta$  控制平滑程度约束)。

[0080] ②对初始轮廓上的每个点,在以这一点为中心的一定大小的窗口内,计算窗口内每一点的能量值：

[0081]  $E_j = \alpha |V_j - V_{j-1}|^2 + \beta |V_{j+1} - 2V_j + V_{j-1}|^2 + r E_{\text{image}} + E_{\text{con}}$

[0082] 其中,  $j = 0, 1, 2, \dots, m-1, m$  为窗口中像素的个数,  $E_{\text{image}}$  为图像在  $V(s)$  点的梯度,  $E_{\text{con}} = \delta \cdot E_r(s)$ ,  $E_r(s)$  为距离能量。

[0083] ③如果  $E_j < E_{\text{min}}$ , 则  $E_{\text{min}} = E_j$ , 并将当前点移到  $j$  所对应的位置。

[0084] ④计算总能量：

[0085]  $E = \sum_{j=1}^n E_j$

[0086] ⑤检查总能量是否与上次循环的总能量相同,如果相同,停止迭代,否则转向步骤 2。

[0087] (4) 对上述拟合后的边界矢量化。此时,由于图像中一些周围小目标及遮挡或阴影的影响,边界粗糙不平滑,需进行下一步优化处理。

[0088] (5) 优化处理。使用 R2V 软件对提取出的矢量进行简单的平滑处理,最终得到优化后的矢量格式轮廓形状。

[0089] 图 2 为某地区空间分辨率为 1m 的艾考那斯高分辨率遥感影像,影像中的建筑物约成倾斜的 G 形状,有 2 个小的凹陷部分,较常规的建筑物复杂一些,如图 2(a) 所示;采用基于置信度的均值漂移尺度相关分割算法对影像进行分割,分割影像结果如图 2(b);图 2(c) 是利用 GVF Snake 算法对分割后图像进行边缘提取的结果;提取的结果的矢量化结果如图

2(d) ;经过 R2V 软件优化处理后的矢量化结果如图 2(e)。

[0090] 可以看出,采用本发明方法能够较好的提取出地物的轮廓,提取的效果比较理想,基本能够真实反映建筑物的轮廓。而且输出格式为矢量格式,可以直接的用于 GIS 的矢量数据更新。

[0091] 本发明方法应用中具有以下的特点:

[0092] (1) 面向对象的影像分割可以最大限度的削弱图像噪声带来的影响,因为分割的过程中许多的噪声被邻近的区域合并,被分割成一个区域,在图像上显示为一个介质均匀的对象;

[0093] (2) 尺度相关分割可以根据不同的高分辨遥感影像的特征调整分割的参数,以求能够达到最好的分割效果,解决了许多传统的分割算法对不同影像可适应性差的缺点;

[0094] (3) GVF Snake 算法能够很好的提取地物细微的形状变换,如上述建筑物轮廓拟合中,影像中有几个小的凹凸变化基本都被真实完整的提取出来;

[0095] (4) 灵活方便的人工干预,这样可以方便的找出遗漏的分割和提取,去除错误的分割和提取,输出更为准确的矢量化的边缘轮廓信息。

[0096] 为达到好的效果,处理中应注意如下几点:

[0097] (1) 对高分辨率遥感影像的质量要求高一些,要做预处理以便最大的消除噪声的影响,增强目标和背景的差异。

[0098] (2) 目标的周围常会有一些其他的地物干扰如:汽车、树木等等,在分割的过程中很有可能会被分割成同一个地物,造成错分割。

[0099] (3) 多尺度分割的尺度选择困难,一般要做多次的试验或者有丰富的经验,同时过多的人工干预会降低整个方法的速度。

[0100] 应当指出,以上所述具体实施方式可以使本领域的技术人员更全面地理解本发明,但不以任何方式限制本发明。因此,尽管本说明书参照附图和实施方式对本发明已进行了详细的说明,但是,本领域技术人员应当理解,仍然可以对本发明进行修改或者等同替换;而一切不脱离本发明的精神和实质技术方案及其改进,其均应涵盖在本发明专利的保护范围当中。



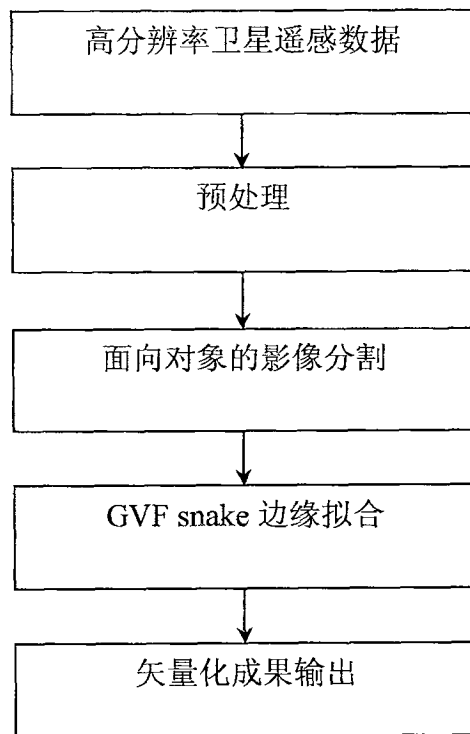


图 1

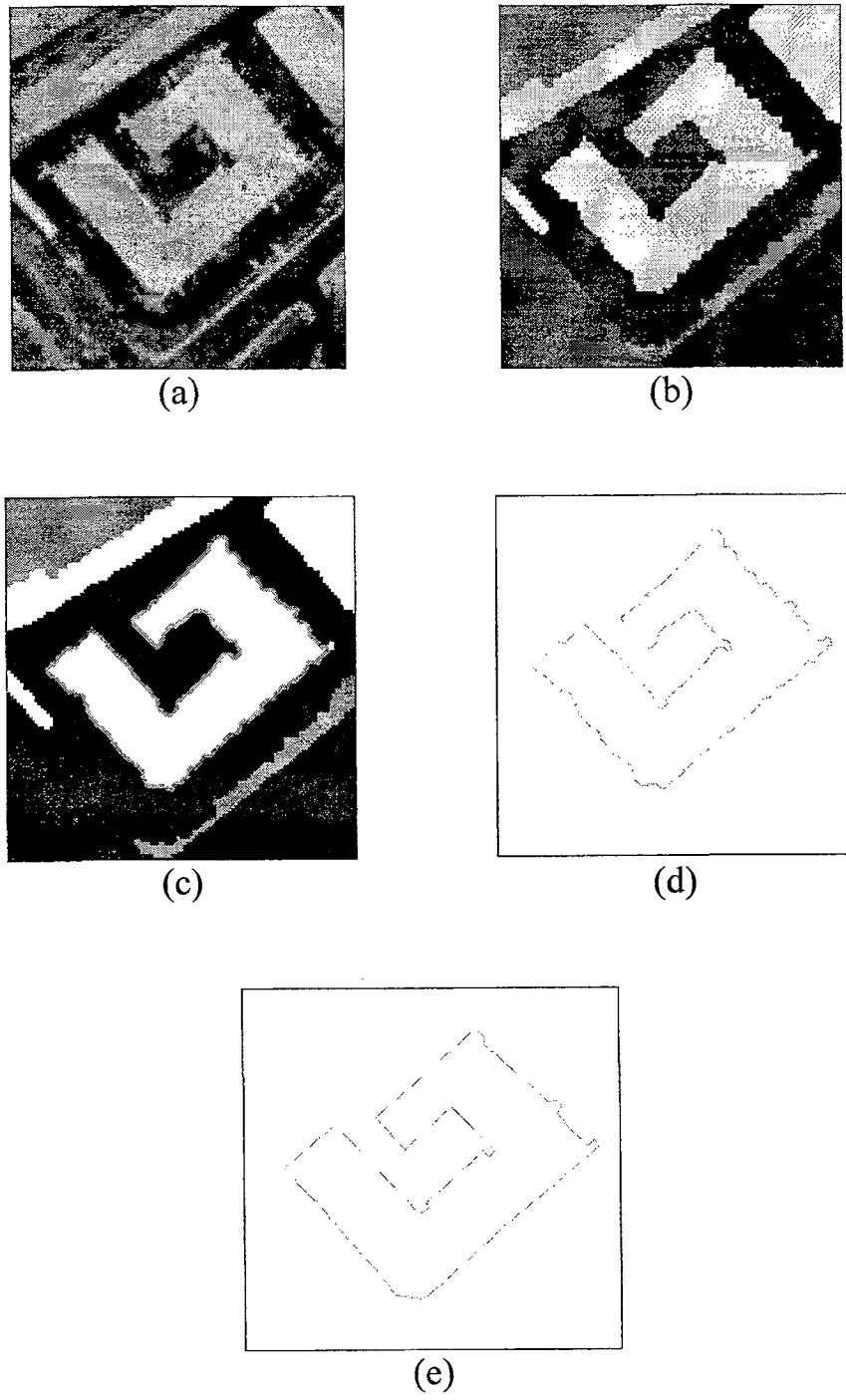


图 2