

# 基于知识的 SAR 图像机场目标提取方法

江标初, 陈映鹰

(同济大学测量与国土信息工程系, 上海 200092)

**摘要:**分析了 SAR 图像中机场成像的特点, 并根据分析得出的机场 SAR 成像知识, 提出了一种新的 SAR 图像机场提取方法。该方法利用 SAR 图像机场目标回波弱的特性, 对模糊 C-均值聚类方法进行改善, 并运用改善后的方法进行机场分割, 利用 Hough 变换和区域增长对分割后的图像进行机场提取, 定义了“区域对比度”, 利用 SAR 图像机场目标及其周围具有高区域对比度的知识, 消除提取后的机场所附带的噪声。试验证明, 这种新的方法可以得到很好的提取结果, 能够满足 SAR 图像机场提取的要求。

**关键词:** SAR; Hough 变换; 区域增长; 区域对比度

## Airport Extraction of SAR Image Based on Knowledge

JIANG Biao-chu, CHEN Ying-ying

(Department of Surveying and Geo-Informatics, Tongji University, Shanghai 200092)

**【Abstract】** The characteristic of airport in the SAR image is analyzed here and a new method for airport extraction from SAR image is created. In the process of the extraction of the new method, it takes the advantage of the knowledge of the feeble back wave of the airport surface. And it improves the fuzzy C-Means(FCM) clustering and uses the improved clustering to segment the airport. It extracts the airport by means of the Hough transform and region growing. Lastly it defines the contrast of gray scale of region(CGSR) and utilizes the knowledge of high value of CGSR between the airport and the circumference of the airport to remove the noise in the extracted airport. It is proved by the tests that the new method given here can well extract the airport and meet the requirements of the airport extraction.

**【Key words】** SAR; Hough transform; region growing; contrast of gray scale of region

SAR是一种常用的高分辨成像雷达,它在距离向发射大带宽信号进行脉冲压缩,在方位向利用合成孔径技术,使得同时具有高的距离分辨率和方位分辨率,对地面目标精确成像。因而,SAR图像在国民经济建设和科学研究的各个方面,如农业、测绘、森林、军事、地质、水文、土地利用等得到了广泛应用。但是,SAR图像是相干电磁波后向散射而形成的,所以图像上的相干斑噪声比较高,如果使用常规的方法来对SAR图像进行特征提取,往往不能得到满意的目标提取结果<sup>[1-3]</sup>。为了能够有效地提取雷达图像目标,需要根据具体情况进一步研究雷达图像提取的各种算法。

线特征图像是构成图像的重要组成部分,它是图像理解和目标识别的重要部分。机场是一类典型的地面目标,它的跑道在图像上表现为明显的线特征,所以,对机场目标的提取有着非常重要的作用。传统的图像特征提取方法很多,但是,由于 SAR 图像的特有图像特性,因此传统的光学图像提取算法往往很难得出满意的结果。本文分析了 SAR 图像的特性和机场在 SAR 图像中表现的特点,总结出机场成像知识,并基于这些机场雷达成像知识,提出了一种新的 SAR 图像机场提取方法。该方法利用 SAR 图像机场目标回波弱的知识,运用改善的模糊 C-均值聚类方法,对机场分割处理,利用 Hough 变换和区域增长对分割后的图像进行机场提取,最后,利用 SAR 图像机场目标及其周围具有高区域对比度的知识,消除了提取后的机场所附带的噪声。

### 1 机场的知识描述与基于知识的机场分割

#### 1.1 SAR 图像中机场的知识

(1)粗糙表面地物对于 SAR 有较强的回波,光滑表面地

物则回波比较弱;

(2)自然植被回波强;

(3)建筑物回波强;

(4)水体具有弱回波性。

在 SAR 图像中的机场目标可以看成是光滑表面,所以,它的回波比较弱,在图像中表现为暗色调,在机场跑道周围往往是植被和建筑物,其表现为亮色调。这样,SAR 图像中的机场就和其周围地物呈现出很高的对比度。这些知识在辅助机场自动提取过程中具有重要的作用。

#### 1.2 机场分割

为了克服传统分割方法在处理 SAR 图像上的不足,本文采用了模糊集的方法来分割 SAR 图像中的机场。模糊集的方法能很好地描述人类视觉中的模糊性和随机性。在模式识别里模糊集主要可以解决不同层次由于信息不全面、不准确、含糊、矛盾等造成的不确定问题<sup>[4]</sup>。本文根据前面分析得出的 SAR 图像机场知识对模糊 C-均值聚类进行了改进,运用经改善的模糊 C-均值聚类对机场进行分割。

由前面的分析可知,机场在 SAR 图像中呈暗色调,其周围是灰度值比较高的地物,这样就可以根据灰度值的高低分割出机场。但是,由于 SAR 图像存在比较多的相干斑噪声,图像机场区域存在一些亮色调的像素,在非机场区域存在一些暗色调的像素,因此仅用单个像元的灰度信息是得不到好

**基金项目:** 航天基金资助项目(0747 - 0540SITC2099 - 4)

**作者简介:** 江标初(1978 - ),男,博士研究生,主研方向:遥感,数字图像处理,地理信息系统;陈映鹰,教授、博士生导师

**收稿日期:** 2006-09-13 **E-mail:** jiangbiaochu@sohu.com

的分割结果的。本文还利用了像元邻域平均灰度，它抑制了相干斑噪声给图像分割造成的不良影响。根据上述的机场知识，改造后的目标函数可以表示为

$$W(U, V) = \left. \begin{aligned} & \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^C (u_{ij})^m \|D(x_j, v_i)\|^2 \\ & x_j = (y_j, z_j) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中， $u_{ij}$  是第  $j$  个像素在第  $i$  个类中的模糊隶属度函数值； $D(x_j, v_i)$  是像素与聚类中心的距离内积； $U$  是隶属度集合； $V$  是聚类中心集合； $y_j$  是第  $j$  个像元灰度值； $z_j$  是第  $j$  个像元 8 邻域平均灰度，目标函数  $W$  越小，聚类越紧致。 $W$  的极小化可以通过下述步骤实现：

(1) 为了避免模糊迭代运算复杂度较大的情况，利用 Otsu 算法得到的阈值  $t$  初始化聚类中心。用阈值  $t$  把图像分割成机场和其背景两部分，阈值  $t$  可以通过下面计算得到：

设  $t$  为阈值，令  $A$  组影像(目标影像)的方差与  $B$  组影像(背景影像)的方差分别为  $\sigma_a^2(t)$  和  $\sigma_b^2(t)$ ，则两组影像方差的加权

$$\text{和 } \sigma_w^2(t) \text{ 可以写成} \quad \sigma_w^2(t) = p_a(t)\sigma_a^2(t) + p_b(t)\sigma_b^2(t) \Rightarrow \min \quad (2)$$

式中， $p_a(t)$  和  $p_b(t)$  为  $A$  组和  $B$  组影像灰度之概率：

$$\left. \begin{aligned} p_a(t) &= \sum_{i=0}^t p(i) \\ p_b(t) &= \sum_{j=t+1}^N p(j) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

为了求得  $A$  和  $B$  两组影像灰度之方差，首先计算两组影像的灰度均值

$$\left. \begin{aligned} \mu_a(t) &= \frac{\sum_{i=0}^t p(i) \cdot I_i}{p_a(t)} \\ \mu_b(t) &= \frac{\sum_{j=t+1}^N p(j) \cdot I_j}{p_b(t)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中， $N$  为像素的总数，于是， $A$  和  $B$  两组影像灰度之方差可以写成

$$\left. \begin{aligned} \sigma_a^2(t) &= \frac{\sum_{i=0}^t (I_i - \mu_a(t))^2}{p_a(t)} \\ \sigma_b^2(t) &= \frac{\sum_{j=t+1}^N (I_j - \mu_b(t))^2}{p_b(t)} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

根据式(3)~式(5)，反复选取阈值  $t$ ，当式(2)得到满足时，即可获取 Otsu 算法的最佳阈值  $t$ 。

(2) 确定  $C$  和  $m$ ，设定迭代停止阈值  $\varepsilon$ ，初始化迭代次数  $l=0$  和隶属度矩阵  $U^0$ 。

(3) 将  $U^l$  代入下式计算聚类中心值矩阵  $V^l$ ， $V = (v_1, v_2, \dots, v_c)$ ，其中， $v_i$  是类别  $i$  的聚类中心值矢量：

$$v_i = \left( \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m y_k}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m}, \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m z_k}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m} \right) \quad (6)$$

(4) 利用  $V^l$  更新  $U^l$ ：

$$u_{ik} = \begin{cases} \frac{1}{\sum_{j=1}^C (\|D(x_k, v_i)\| / \|D(x_k, v_j)\|)^{2/(m-1)}} & I_k = \phi \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

其中， $I_k = \{i \mid 1 \leq i \leq C; \|D(x_k, v_i)\| = 0\}$ 。

(5) 如果  $\|U^{l+1} - U^l\| \leq \varepsilon$  则停止迭代；否则  $l = l + 1$ ，返回(3)。

## 2 机场提取与去噪

### 2.1 机场提取

对分割出的机场本文应用哈夫(Hough)<sup>[4]</sup>变换检测出机场跑道的位置，然后应用区域增长的方法把整个机场提取出来。Hough变换具有受噪声和线段间断的影响较小的特点，其基本思想是点-线的对偶性，即在图像空间中共线的点对应在参数空间里相交的线。相反，在参数空间中相交于同一个点的所有直线在图像空间都有共线的点与之对应。考虑到计算精确度和计算量的因素，在实际应用中采用极坐标方程：

$$\lambda = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (8)$$

根据这个方程，图像空间的点对应参数空间中的一条正弦曲线。检测图像空间中的共点的线需要在参数空间中检测正弦曲线的交点。具体就是让  $\theta$  取遍  $\Theta$  轴上所有可能的值，并根据式(8)算出所对应的  $\lambda$ 。再根据  $\theta$  和  $\lambda$  的值对累加数组  $A$  进行累加，由  $A(\theta, \lambda)$  的数值得到共线点的个数，在数组  $A$  中的最大值对应的就是机场所在的直线，这样就确定了机场的跑道所在的位置了。

在确定了机场跑道的位置后，可通过区域增长把整个机场提取出来。这里采用基于区域灰度差的区域增长即可实现机场的提取。其基本步骤如下：

- (1) 提取机场中的某一像素；
- (2) 以该像素为中心检查它的邻域像素，即将邻域中的像素逐个跟它比较，如果灰度差小于预先确定的阈值，将它合并；
- (3) 以新合并的像素为中心，返回到步骤(2)，检查新像素的邻域，直到区域不能进一步扩张。

### 2.2 去噪声

对于 SAR 图像的特征提取，很难通过某一算法一次性把目标很好地提取出来，往往需要后续的补充处理，以便达到最好的提取效果。通过上述步骤提取出来的机场，其跑道的部分边缘带有细小的枝杈状噪声，所以，需要消除这些噪声。传统的基于数学形态学方法的腐蚀算法可以消除这些噪声，但是，腐蚀算法在运算过程中会把一些非噪声部分腐蚀掉，这样就造成了机场的缺失和不完整。本文利用 SAR 图像中的机场和其周围地物呈现高对比度的知识，定义了“区域对比度”，通过它能够很好地消除这些噪声，它的定义如下：

$$C = \frac{I_{mn}}{I_B} = \frac{I_{mn}}{\sum_{k=m-1}^{m+1} \sum_{l=n-1}^{n+1} \frac{I_{kl}}{9}} \quad (9)$$

其中， $C$  为区域对比度； $I_{mn}$  为二维图像中第  $m$  行第  $n$  列的像元灰度值； $I_B$  为其 8 邻域的平均灰度值。消除噪声的具体过程为：遍历提取出来的机场边缘，判断该边缘的区域对比度是否小于某一设定的阈值  $S$ ，如果小于阈值  $S$ ，则认为此边缘点为机场周边的枝杈状噪声，剔除该点，直到所有的边缘点的区域对比度都大于这个阈值  $S$  为止。

## 3 试验分析与结论

本文在 Visual C++ 6.0 下对这种新的 SAR 图像提取方法进行了试验，在匹配试验中，截取的试验图像大小为  $246 \times 386$  像素的合成孔径雷达某机场图像。图 1~图 4 分别为原始的 SAR 机场图像、区域增长方法提取结果、传统的模糊 C-均值聚类提取结果、文中提出的新方法提取结果。从图像中可以看出，用传统的方法提取的机场效果不是很好，图 2 中有很多的机场像元被遗漏，没有正确提取出来，在跑道中出现很多细小的空洞，图 3 中部分机场周围地物被错误地作为机场被提取出来，图 4 提取的机场不仅避免了像元被遗漏的情况，而且正确去除了机场周围的噪声。（下转第 36 页）