

文章编号:1006-7736(2009)02-0055-04

## 基于 Harris 特征点检测法的雷达图像与电子海图的数据融合\*

李广儒, 张 闯, 胡景峰

(大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:**为解决雷达图像和电子海图显示与信息系统(ECDIS)单纯图像叠加中的问题,在分析基于图像特征的自动图像配准算法基础上,提出基于 Harris 特征点检测法的图像配准技术,同时对强度、色调和饱和度(HIS)颜色模型在图像融合中的应用进行了探讨,给出基于特征的小波变换融合方法.对图像融合效果的仿真结果表明,该方法获得的融合图像优于传统方法.

**关键词:**图像融合;自动图像配准;小波变换

**中图分类号:**TN957.52

**文献标志码:**A

### Data fusion of radar image and ECDIS based on matching of Harris feature points

LI Guang-ru, ZHANG Chuang, HU Jing-feng

(College of Navigation, Dalian Maritime University,  
Dalian 116026, China)

**Abstract:** To solve the problem of radar image overlay in electronic chart display and information system (ECDIS), the automatic image registration algorithm was analyzed based on image feature, and an image registration technique was developed based on Harris feature point method. Meanwhile, the application of intensity, hue, saturation (HIS) color model in image fusion was discussed, and the wavelet transform fusion method was given. Simulation on the effect of image fusion shows that the fusion image acquired from the proposed method is better than that of traditional overlay method.

**Key words:** image fusion; automatic image registration; wavelet transform

## 0 引 言

电子海图显示与信息系统(ECDIS)可以为海船作业人员提供清晰的海图平面.雷达作为船舶导航的主要仪器,一直对船舶的安全航行起着重要作用,

特别是在恶劣天气情况下,雷达更是不可或缺的导航工具.雷达可以提供电子海图所需要的即时动态信息,而电子海图可提供雷达更高的精度信息,因此将雷达图像与电子海图融合在一个信息平台上,不仅有利于运动船舶的识别与定位,而且还可以提高船舶驾驶的自动化水平以及船舶航行的安全性.

解决雷达图像与电子海图融合问题的关键在于确定相应的匹配和融合算法.实时获取的雷达图像与电子海图是通过不同传感器在不同时间获取的,其图像的灰度值相差很大.为此,本文提出基于图像特征的自动图像配准算法作为图像匹配时的相似性度量,同时采用基于 HIS 和小波变换的图像融合方法实现了雷达图像和电子海图的融合.

## 1 雷达图像的处理

电子海图和雷达图像的融合呈现给用户的显示画面是以海图底图为显示底层,以雷达图像为动态层的叠上层.坐标变换是雷达图像叠加到电子海图系统中的核心技术.采用 Bowring 公式,将本船大地坐标、雷达目标距本船的距离和方位角进行大地主题正算,可得到雷达目标的大地坐标,将此大地坐标经墨卡托投影正算后得到墨卡托坐标,再变换为屏幕坐标,即可实现雷达目标在电子海图上的精确定位.在电子海图显示算法中,各类坐标变换描述如下<sup>[1]</sup>:

空间直角坐标 $(x, y, z)$ 和大地坐标 $(B, L, H)$ 的关系:

$$\begin{cases} x = (N + H)\cos B\cos L \\ y = (N + H)\cos B\sin L \\ z = [N(1 - e^2) + H]\sin B \end{cases} \quad (1)$$

其中: $e$ 为椭球第一偏心率; $N$ 为卯酉圈半径, $N =$

\* 收稿日期:2008-12-20.

基金项目:交通部应用基础项目(2005329225080).

作者简介:李广儒(1970-),男,辽宁大连人,副教授, E-mail:liguangru@sina.com.

$a/(1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}$ ;  $a$  为椭球长半轴.

在航用海图墨卡托投影中,  $q$  称为等量纬度,

$$q = \ln \left[ \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left( \frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right] \quad (2)$$

其中:  $e$  为椭球第一偏心率,  $e^2 = (a^2 - b^2)/a^2$ ;  $\varphi$  为地理纬度.

因此, 地理纬度  $\varphi$  可利用 Newton 迭代法反解等量纬度  $q$  得到, 即在式(2)中, 已知  $q$  求  $\varphi$ . 反解等量纬度的 Newton 迭代法如下:

$$\begin{cases} \varphi_0 = 2 \arctan(e^q) - \frac{\pi}{2} \\ \varphi_{i+1} = \varphi_i - \frac{F(\varphi_i)}{F'(\varphi_i)} \\ i = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (3)$$

迭代至  $|\varphi_{i+1} - \varphi_i| < \epsilon$ . 其中:

$$F(\varphi) = \ln \left[ \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left( \frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right] - q \quad (4)$$

$$F'(\varphi) = \frac{1}{(1 + e'^2 \cos^2 \varphi) \cos \varphi} \quad (5)$$

其中:  $e'$  为地球椭球体第二偏心率,  $e'^2 = (a^2 - b^2)/a^2 = (1 - e^2)/e^2$ . 以电子海图北向上时的左下角为坐标原点  $O$ ,  $OY$  轴向上,  $OX$  轴向右, 建立逻辑坐标系. 设一纸质海图上的矩形区域, 其左上角点地理坐标为  $A(\varphi_1, \lambda_1)$ , 右下角点为  $B(\varphi_2, \lambda_2)$ ,  $M(\varphi, \lambda)$  为图上任一点. 该图在显示器上显示时对应  $A$ 、 $B$  和  $M$  点的逻辑显示坐标分别为  $a(X_1, Y_1)$ 、 $b(X_2, Y_2)$  和  $m(X, Y)$ . 又设  $A$ 、 $B$  和  $M$  点的等量纬度分别为  $q_1$ 、 $q_2$  和  $q_m$ . 则有

$$\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda - \lambda_1} = \frac{X_2 - X_1}{X - X_1} \quad (6)$$

$$\frac{q_2 - q_1}{q_m - q_1} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y - Y_1} \quad (7)$$

由式(6)、(7)可得

$$X = \frac{\lambda_2 X_1 - \lambda_1 X_2}{\lambda_2 - \lambda_1} + \frac{X_2 - X_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \lambda \quad (8)$$

$$Y = \frac{q_2 Y_1 - q_1 Y_2}{q_2 - q_1} + \frac{Y_2 - Y_1}{q_2 - q_1} q_m \quad (9)$$

## 2 基于图像特征的自动图像配准法

基于特征的方法不是直接利用图像像素值, 而是通过像素值导出的符号特征(特征点、特征线段等)来实现图像匹配<sup>[2]</sup>. 雷达图像和电子海图具有明显的特征线段和特征点, 所以本文使用基于图像特

征的自动图像配准算法进行匹配.

### 2.1 特征点提取

特征点是进行图像配准的基础, 特征点抽取质量的好坏将直接影响配准的精度和效率. 好的特征点应当满足以下条件<sup>[3]</sup>: ①重复度高. 抽取出的两幅图内的特征点应具有高度的一致性与稳定性. ②包含的信息量大. 被抽取的点应很突出, 能够有效反映物体形状的主要结构信息. 为有效配准两幅图像, 特征点的抽取算法还应该具有旋转、平移不变性, 并且当发生小尺度变化和透视形变时, 具备检测相同位置特征点的能力, 但目前大多数边缘和拐角点提取算法都不满足这一要求. 本文选用基于 Harris 检测方法检测图像特征点<sup>[4]</sup>.

在应用中选取角点、直线交点和高曲率点作为特征点, 利用 Harris 特征点检测法对图像  $I(x, y)$  进行特征点的选择, 图像大小为  $M \times N$ , 则

$$Z = \begin{bmatrix} \sum_w I^2 x & \sum_w IxIy \\ \sum_w IyIx & \sum_w I^2 y \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中,  $Ix = \frac{\partial I}{\partial x}$ ,  $Iy = \frac{\partial I}{\partial y}$ ,  $(x, y) \in w$ ,  $w$  为以当前待定点  $(i, j)$  为中心的窗口, 令  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  为矩阵  $Z$  的特征值, 如果  $\min(\lambda_1, \lambda_2) > \lambda$ ,  $\lambda$  为阈值, 则所检测的点为特征点.

### 2.2 特征匹配

本文提出确立特征点对应关系的方法: 先利用特征点周围的灰度信息建立点集间的初始匹配关系, 再借用计算机视觉和模式识别中点模式匹配的相关方法对初始匹配进行修正, 删除错误的匹配<sup>[5]</sup>.

#### 2.2.1 初始匹配点的建立

初始匹配点的建立需要利用特征点附近的灰度信息, 其局部匹配准则如下: 假设  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$  和  $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_m\}$  分别为图像  $f_1(x, y)$  和  $f_2(x, y)$  中的特征点集, 其中  $P = (P_x, P_y)$  和  $Q = (Q_x, Q_y)$  分别为正在考虑的一对特征点. 用来度量  $P$  和  $Q$  相似程度的交叉相关公式为

$$C_{f_1 f_2}(P; Q) = \frac{1}{\delta_1 \delta_2 (2M + 1)^2} \cdot$$

$$\sum_{x, y=-M}^{x, y=M} [f_1(x + P_x, y + P_y) - \mu_1] \cdot [f_2(x + Q_x, y + Q_y) - \mu_2] \quad (11)$$

其中:  $\mu_1$ 、 $\delta_1$  分别为图像  $f_1(x, y)$  在  $P$  附近的局部均值和方差;  $\mu_2$  和  $\delta_2$  分别为图像  $f_2(x, y)$  在  $Q$  附

近的局部均值和方差;  $(2M+1)^2$  代表局部匹配窗口的大小.

### 2.2.2 匹配对的修正

均方根误差<sup>[6]</sup>(RMSE)通常是用来检验两组点集之间在某个变换下配准精度的衡量准则. 假设两组同名控制点集  $[(x_i, y_i), (X_i, Y_i)], i = 1, 2, \dots, m$ , 它们之间满足的配准映射变换  $\hat{T}$ , 其对应的  $X$  分量和  $Y$  分量的映射函数分别为  $f(x, y)$  和  $g(x, y)$ , 则 RMSE 定义为

$$\text{RMSE} = \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [f(x_i, y_i) - X_i]^2 + [g(x_i, y_i) - Y_i]^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

RMSE 反映了以变换  $\hat{T}$  将点集  $(x_i, y_i)$  纠正至  $(X_i, Y_i)$  的整体均方误差大小.

为提高搜索正确匹配对的效率, 修正的第一步是将初始匹配点对按照正确的可能性进行概率排序. 按照上面的相似度量值对初始匹配点对进行排序, 设每一对初始匹配的同名点和周围邻域的相似度为  $SM\{A_i, B_i\}$ . 则排序后的如下关系成立:

$$SM\{A_1, B_1\}, SM\{A_2, B_2\}, \dots, SM\{A_m, B_m\}$$

如果初始匹配点对中有正确的匹配点对, 经过上面的排序后, 这些正确的同名点对就一定排列在相对靠前的位置, 这为剔除伪匹配点对提供了极大的便利. 下面从这些匹配点对中搜索出 4 对满足仿射变换的控制点: 假定它们满足仿射变换模型, 以最小均方误差方法求解仿射变换参数, 再计算 RMSE. 如果  $\text{RMSE} > C_T$ , 则 4 对同名控制点包含错误的匹配, 继续搜索过程; 直至  $\text{RMSE} < C_T$ . 根据概率排序结果, 不需要在全部的初始匹配点对中搜索, 只需要搜索前面  $n$  对匹配点对即可. 如果在这些点对中未能搜索到满足仿射变换的 4 对控制点, 则匹配失败. 搜索到的 4 个同名控制点对称为正确的同名点集, 对初始匹配点剩余的  $m-4$  对控制点逐一判断是否为同名控制点. 判断方法是将其加入正确的同名控制点集, 计算新的 RMSE, 若  $\text{RMSE} < C_T$ , 则为正确的同名控制点, 否则为伪匹配点对.

### 2.3 配准变换的建立

将已经得到的正确的同名点对设为  $\{A_i \Leftrightarrow B_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_c$ ,  $N_c$  为正确点对数. 以其作为控制点建立图像的配准变换关系. 将正确同名点对  $\{A_i \Leftrightarrow B_i\}, i = 1, 2, \dots, N_c$  代入仿射变换, 记为  $\hat{T}$  对  $A_i$  局部邻域图像作变形, 变形后的邻域图像与  $B_i$  的邻域进行样板匹配, 以对齐度为匹配准则, 在小范围

内搜索到最佳匹配位置, 记为  $\hat{B}_i$ , 以此作为对  $B_i$  的位置修正. 于是得到新的控制点对  $\{A_i \Leftrightarrow \hat{B}_i\}, i = 1, 2, \dots, N_c$ . 并重复以上步骤迭代 2~3 次得到配准结果.

## 3 基于 HIS 和小波变换图像融合方法

### 3.1 IHS 变换

在图像处理中经常应用的彩色空间有两种: 一种是由红(R)、绿(G)、蓝(B)3原色组成的彩色空间, 即 RGB 空间. 3个波段 R、G、B 近似于人眼的光谱量化, 面向硬件便于计算机处理; 另一种表色系统是 IHS 模型, 即强度(I)、色调(H)和饱和度(S), 反映了人眼观察彩色的方式<sup>[7]</sup>. 在 IHS 空间中, 电子海图信息主要体现在色调和饱和度上, 从视觉特点上分析, 强度的改变对电子海图信息影响较小, 便于处理. 对于雷达图像和电子海图的融合问题, 希望在保留电子海图信息的前提下, 添加雷达图像的细节信息, 因此非常适合在 IHS 空间中进行处理.

RGB 至 IHS 的变换为

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{3}(R + G + B) \\ H &= \begin{cases} \theta & B \leq G \\ 360^\circ - \theta & B > G \end{cases} \\ S &= 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} \end{aligned} \quad (13)$$

其中,

$$\theta = \arccos \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{\frac{1}{2}}} \right\}$$

IHS 至 RGB 的变换为<sup>[8]</sup>

$$\begin{cases} B = I(1 - S) \\ R = I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \\ G = 3I - (R + B) \\ 0^\circ \leq H < 120^\circ \end{cases} \quad \begin{cases} R = I(1 - S) \\ G = I \left[ 1 + \frac{S \cos(H - 120^\circ)}{\cos(180^\circ - H)} \right] \\ B = 3I - (R + G) \\ 120^\circ \leq H < 240^\circ \end{cases} \quad \begin{cases} G = I(1 - S) \\ B = I \left[ 1 + \frac{S \cos(H - 240^\circ)}{\cos(300^\circ - H)} \right] \\ R = 3I - (G + B) \\ 240^\circ \leq H < 360^\circ \end{cases} \quad (14)$$

### 3.2 基于特征的小波变换融合

将图像  $A$  与  $B$  分别作塔式小波变换. 设分解为  $J$  层, 低频近似分量为  $S_A(2^j; x, y)$ 、 $S_B(2^j; x, y)$ , 高频细节分量为  $W_A^K(2^j; x, y)$ 、 $W_B^K(2^j; x, y)$ , 其中,  $K = 1, 2, 3$  表示 3 个方向;  $j = 1, 2, \dots, J$  表示不同的分辨率. 设  $D_A^K(2^j; x, y)$  与  $D_B^K(2^j; x, y)$  分别为  $W_A^K(2^j; x, y)$  与  $W_B^K(2^j; x, y)$  中以  $(x, y)$  为中心  $3 \times 3$  像元或者  $5 \times 5$  像元窗口内方差.

(1) 尺度为  $2^j$  时, 融合后的高频细节分量为

$$W_A(2^j; x, y) = \begin{cases} W_A^K(2^j; x, y) & D_A^K(2^j; x, y) > D_B^K(2^j; x, y) \\ W_B^K(2^j; x, y) & \text{其他} \end{cases} \quad (15)$$

(2) 尺度为  $2^j$  时, 融合后的低频近似分量为

$$S(2^j; x, y) = k_1 S_A(2^j; x, y) + k_2 S_B(2^j; x, y)$$

其中,  $k_1$ 、 $k_2$  为权系数, 且  $k_1 + k_2 = 1$ .

(3) 为保持融合后高频细节分量具有一致性, 采用“多数”原则对其进行一致性检测与调整, 即若一像素的 8 个邻域中至少有 5 个像素来自图像  $A$  或  $B$ , 则该像素融合后的高频细节分量也调整为由图像  $A$

或  $B$  确定; 否则, 不做调整. 将得到的融合多尺度图像作小波逆变换, 作为电子海图图像的强度分量, 并利用上面电子海图图像作 IHS 至 RGB 空间转换, 得到最终的融合图像<sup>[8]</sup>. 雷达图像和电子海图图像融合流程图如图 1 所示.

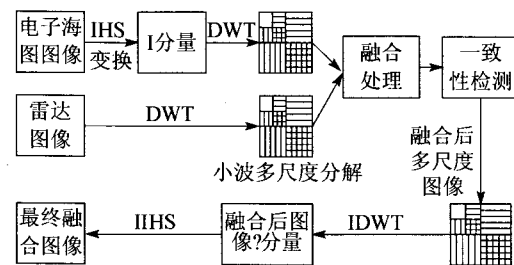


图1 雷达图像和电子海图图像融合流程图

## 4 实验结果与分析

本文以大连港为例, 按照本文提出的方法进行图像融合实验. 图 2 为大连港附近的电子海图, 图 3 为大连港附近海区实测雷达回波图像. 图 4 为两者融合后的结果. 由图 4 可知, 融合效果较好.

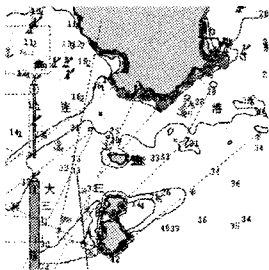


图2 大连港附近电子海图

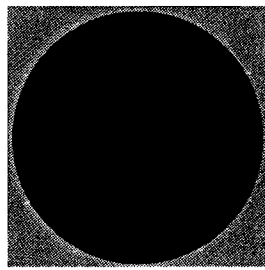


图3 大连港附近海区实测雷达回波图像  
(量程 3 n mile)

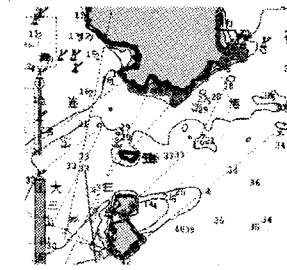


图4 图2、3 图像融合后的结果

## 5 结 语

本文将 Harris 特征点检测法应用于雷达图像匹配算法中, 利用 Harris 检测法自动检测出特征点之后进行图像的匹配, 根据特征点附近的灰度信息建立初始匹配点, 应用均方根误差进行匹配对的修正. 分别讨论了高频系数和低频系数的选择原则, 本文在选择高频系数时, 采用了“多数”原则. 实验结果表明, 本文方法可以取得较好的图像融合效果, 是一种有效的图像融合算法.

### 参考文献 (References):

- [1] ALEXANDER J. Loxodromes: A rhumb way go[J]. Mathematics Magazine, 2004, 77(5): 349-355.
- [2] 韩崇昭, 朱洪艳, 段战胜, 等. 多源信息融合[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 365-418.
- [3] ZITOVA B, FLUSSER J. Image registration methods: a

survey[J]. Image and Vision Computing, 2003, 21: 977-1000.

- [4] YU Qiu-ze. A novel contour-based 3D terrain matching using wavelet transform[J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25(1): 87-99.
- [5] DARE P, DOWMAN I. An improved model for automatic feature-based registration of SAR and SPOT images[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2001, 56(1): 13-28.
- [6] YU Qiu-ze, TIAN Jin-wen, LIU Jian. Automatic multi-sensor image registration using wavelet transforms[J]. Chinese Journal of Electronics, 2003, 12(4): 567-571.
- [7] YU Qiu-ze, TI Jin-wen, TU Te-ming, et al. A new look at IHS-like image fusion methods[J]. Information Fusion, 2001(2): 177-186.
- [8] CASTLEMAN K R. Digital Image Processing[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001: 547-562.