

# 基于 Level Set 方法的风暴追踪<sup>\*</sup>

傅圣雪, 岳秀明, 王 敏

(中国海洋大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 266100)

**摘 要:** 利用现代计算机技术和信息处理技术, 建立灾害性天气预警系统, 是对灾害性天气进行识别和预报的最有效手段之一。研究探索风暴运动过程中多普勒雷达图像的数据处理和算法优化, 是预警系统中的关键技术。基于计算机技术, 应用 TITAN 算法及改进的 Level set 方法可以较好地实现对雷达图像中风暴体的追踪, 提高灾害性天气预警效率。

**关键词:** 多普勒天气雷达; TITAN 算法; Level Set 方法; 风暴体追踪

**中图分类号:** TP391; TN958    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-811X(2009)02-0012-04

## 0 引言

基于天气雷达数据的风暴体识别和追踪方法<sup>[1]</sup>, 是重要的灾害性天气临近预报技术之一。从 20 世纪 50 年代开始, 利用天气雷达<sup>[2]</sup>对风暴进行自动识别、追踪和预报的研究已经进行了近半个世纪, 发展了很多理论和方法。这些方法大致可以分为三大类: 持续性预报法、交叉相关法和单体质心法。这三大类统称为外推预报法。

本文工作主要是基于二维雷达图像产品——组合反射率因子(CR)<sup>[3]</sup>的变化, 在 VC 编程平台上通过天气雷达资料探测已经生成的风暴体, 提取风暴体的统计和形态特征, 然后使用追踪方法从连续雷达图像序列中提取出这些风暴体, 最后外推预报风暴体的演化和运动。

目前, 基于雷达数据的风暴追踪方法的典型代表 TITAN (Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting) 和 SCIT (Storm Cell Identification and Tracking)<sup>[4]</sup>。TITAN 算法对风暴的追踪则根据三个原则: 宁短不长、特征相似和演变限制, 构造一个代价函数, 将追踪问题转化为组合最优化问题, 得到追踪的结果, 然后再使用一个额外的几何方法来处理风暴的分裂与合并。SCIT 算法对风暴的追踪则使用了简单的近邻法, 不能处理风暴的分裂与合并。

在实际应用中, TITAN 算法对发生较大形变的风暴追踪效果是比较差的, 经常发生追踪失败的

情况; 这对算法中预报结果的准确性和追踪的成功率都有较大影响。而 Level Set 是处理封闭运动界面随时间演化过程中几何拓扑变化的有效的计算工具。这种算法已广泛应用于运动界面追踪、曲线曲面演化和运动界面的变化情况等方面。结合 TITAN 算法与 Level Set 方法来实现基于雷达数据的风暴追踪工作。

## 1 Level Set 介绍

Level Set<sup>[5]</sup>方法是 Sethian 在研究曲线曲率相关的速度演化时提出来的, 用于描述曲线(或曲面)的演化<sup>[6]</sup>过程。其基本数学思想是: 把当前正在演化的曲线看作是一个更高维函数的 Level Set, 利用曲线演化与 Hamilton - Jacobi 方程的相似性<sup>[7]</sup>, 给出一种曲线演化的强鲁棒性的计算方法。主要应用领域和用途: 物理学, 流体力学, 固体力学, 材料力学, 图形图像处理, 计算机视觉, 半导体加工, 图像分割, 图像复原, 结构的拓扑优化, 三维重建, 物体的追踪等。

Level Set 演化快速算法 Narrow Band 方法<sup>[8]</sup>是在 1993 年由 Chopp 提出。该方法通过对零水平集邻域内的像素进行水平集函数运算和更新, 结束了传统方法要针对讨论域中所有像素的不足, 提高了算法的运算效率, 而这一邻域又称为窄带。如图 1 所示:

\* 收稿日期: 2008-09-25

基金项目: 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室开放基金资助项目(2008LASWA02)

作者简介: 傅圣雪(1946-), 男, 山东青岛人, 教授, 主要研究方向为信号与信息处理. E-mail: kyv2006@163.com

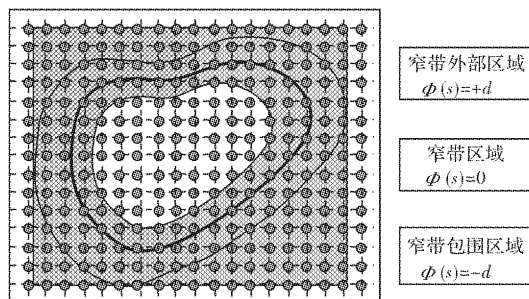


图1 快速算法 Narrow Band

Narrow Band 算法的基本步骤:

- (1) 设定边界的初始位置;
- (2) 设定窄带包含的网格层数阈值;

(3) 将窄带内部的网格点标记为活动点, 边界上的网格点标记为边界点, 其余网格点标记为无穷远点, 若网格点位于界面外(内)部, 则函数值设为无穷大(小);

- (4) 按数值解格式计算窄带中格点的函数值;

(5) 根据窄带的限制和求解的值更新边界的位置;

(6) 相应的更新窄带的位置, 并重新初始化相应的函数;

- (7) 开始新的循环。

在对风暴追踪处理中应用的是 Level Set 改进后的窄带法对对流风暴体轮廓进行追踪。

## 2 风暴识别

要实现风暴的追踪, 首先需要对风暴进行识别。采用 TITAN 的识别风暴方法是针对对流风暴反射率临界值  $T_s$  的敏感性进行识别的, 选定该临界值为 35 dB。对于风暴识别, 首先需要找到一个反射率大于  $T_s$  的邻接区, 如图 2 标记部分。

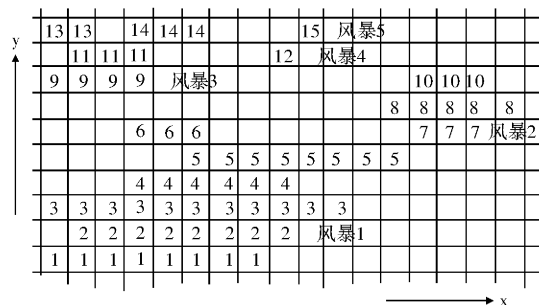


图2 风暴的二维数据串的例子

TITAN 识别处理过程分为两个步骤:

(1) 在一个主方向(本例为  $x$  轴)识别反射率大于  $T_s$  的点的邻接[称之为串(runs)], 如图 2 包含 15 个串。

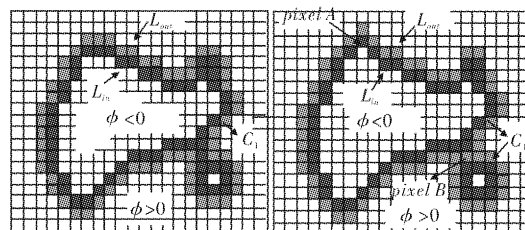
(2) 将邻接的串归组, 一组串应包含风暴的所有点, 若串的范围很小(如图 2 中风暴 4、5), 可以不考虑。

标记表示反射率超过  $T_s$  的格点, 不同的标记表示不同的风暴。通过 TITAN 中使用串很好地对风暴体进行识别, 在识别的过程中, 为使风暴体的追踪工作更好地进行, 需要将识别出来的风暴体的边缘坐标记录下来, 便于追踪处理工作进展。

## 3 Level Set 风暴体追踪

利用 TITAN 算法完成对风暴体的识别过程, 需要记录每个风暴体的边缘像素点位置坐标, 该工作是针对第一帧雷达风暴图像进行的。记录下来的边缘数据不一定是连续的, 而 Level Set 算法是针对封闭曲线进行研究的, 采用链码<sup>[9]</sup>与查找的方法解决这一问题, 为使用 Level Set 进行风暴追踪<sup>[10]</sup>做好准备。

虽然窄带法在一定程度上提高了水平集方法的运算速度, 但是其参数的设置使计算变得很复杂, 如: 窄带的形状结构的设置, 距离函数的重新初始化及演化步数的设置等。本文使用中石永刚的改进的窄带法(图 3)通过不断交换两个相关链中的像素来实现曲线的演化, 不需解数值方程, 避免了上述问题, 而且应用高斯滤波进行边界平滑处理, 大大的提高了运算速度。

图3 (a)边界  $C_1$  和内外边界示意图; (b)  $L_{out}$  和  $L_{in}$  的转换

我们利用两步循环法对图像的边界进行演化, 第一步循环是利用速度函数  $F_d$  对两条边界  $L_{out}$  和  $L_{in}$  进行处理, 第二步循环主要实现速度函数  $F_s$  在曲线演化中的作用。对于  $F_s$  的实现, 我们采用高斯滤波的方法。

利用 Level Set 改进后的窄带法对雷达图像中的风暴体进行追踪的实现原理为: 对于当前时刻的图像, 我们利用上一时刻的追踪结果作为当前时刻目标边界的初始值, 然后利用速度函数对当前时刻的边界进行演化, 直到满足结束条件, 我们停止演化, 保存和输出追踪结果, 进行下一时

刻的追踪。

实验使用的是京津地区雷达站的雷达数据, 大约每 6 min 一幅图像数据。图 4 是利用改进的窄带算法对京津地区雷达站 2005 年 5 月 31 日 17:23 到 17:41 的雷达图像数据进行追踪的结果。红色区

域为将要追踪的风暴, 黑色的边界为追踪的结果, 风暴中的白色数字为风暴的标号。由图 4 看出, 利用 Level set 算法不但可以解决风暴的分裂与合并问题, 而且对于形状很不规则, 而且形状变化也很不规则的风暴, 也能实现较为准确的追踪。

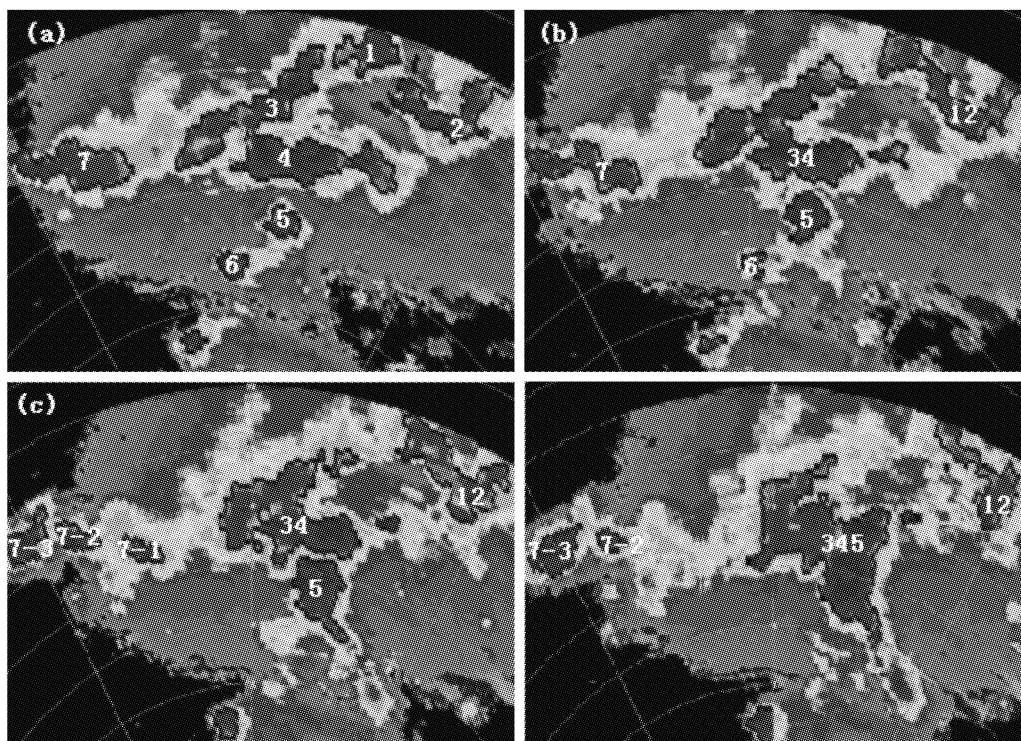


图 4 2005 年 5 月 31 日 17:23 到 17:41 的追踪图像

通过 TITAN 与 Level Set 算法结合, 通过 2002–2005 年 3 年的雷达数据, 在这 3 年总共 6 个月的时间里, 总共出现明显的强对流天气 36 d, 风暴算法总共识别出 26 261 个风暴追踪, 其中, 有 1 345 个风暴追踪(5.1%)由于雷达对风暴的观测不完全而被去除。风暴的观测不完全的情况有<sup>[11]</sup>: ①风暴离雷达太近, 以至于无法对风暴的顶部进行有效的观测; ②风暴在雷达的扫描半径就已生成, 并移入雷达扫描区域中; ③风暴在结束前移出雷达的扫描区域, 利用 Level set 算法不但可以解决风暴的分裂与合并问题, 而且对于形状和形状变化都很不规则的风暴, 也能实现较为准确的追踪。利用改进的 Level set 方法追踪一幅图像需要不到 10 s, 相对原来的 Level set 方法, 大大加快了运算速度。

## 4 总结

由于在实际应用中, 风暴的追踪是雷达预警系统的一项关键技术, 故本研究对于灾害性天气

的预报与预警工作, 有较大支持作用。目前, 已经利用 Level set 方法成功实现了实时的风暴轮廓追踪, 进一步的研究重点, 拟放在给出风暴的质心跟踪轨迹, 同时进一步探索提高图像追踪的速度, 从而有效的提高预报的准确性和可靠性, 为下一步该方法的实际应用打下良好的基础。

通过上述风暴追踪技术实现是基于计算机视觉的, 通过 TITAN 及 Level Set 算法可以较好实现对已知风暴进行追踪, 而对于在追踪过程中新生风暴不能有效追踪, 需要进一步研究。从而对灾害天气能够及时采取措施, 减少人员伤亡和物力损失。

## 参考文献:

- [1] 伍志方, 胡东明, 梁玉琼. 气象雷达新技术及其在防灾减灾中的应用[J]. 灾害学, 2007, 22(2): 36–40.
- [2] 韩雷, 王洪庆等. 基于雷达数据的风暴体识别、追踪及预警的研究进展[J]. 气象, 2007, 33(1): 3–10.
- [3] 谢卫华, 魏穗英. 雷达反射率分辨对流性和平流性回波[J]. 广东气象, 1999, (4): 43–44.

- [4] Johnson J. T., MacKeen P. L., Witt, A., et al. The Storm Cell Identification and Tracking algorithm: an enhanced WSR - 88D algorithm [J]. *Weather and Forecasting*, 1998, (13): 263 - 276.
- [5] 杨猛, 汪国平, 董士海. 基于 Level Set 方法的曲线演化[J]. *软件学报*, 2002, 13(9), 1859 - 1865
- [6] Osher. S., Sethian, J. A. Fronts propagating with curvature dependent speed: algorithms based on Hamilton - Jacobi formulation [J]. *Journal of Computer Physics*. 1988, 79 (1): 12 - 49.
- [7] Sethian, J. A. Numerical algorithms for propagating interfaces: Hamilton - Jacobi equation and conservation laws [J]. *Journal of Differential Geometry*, 1990, 31(1): 131 - 161.
- [8] 郑国贤, 冯结青, 金小刚, 等. 基于窄带的自适应 Level Set 方法[J]. *计算机学报*, 2007, 30(2): 317 - 323.
- [9] 陈优广. 边界跟踪、区域填充及链码的应用研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2006: 9.
- [10] Paragios N, Deriche R. Geodesic active contours and level sets for the detection and tracking of moving objects [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22 (3): 266 - 280.
- [11] Michael John Dixon. Automated Storm Identification, Tracking and Forecasting - A Radar - Based method [D]. USA: Colorado University, 1994.

## Storm Tracking Based on Level Set Method

Fu Shengxue, Yue Xiuming and Wang Min

(School of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** It is one of the most effective means to identify and forecast disastrous weather to establish an early warning system by using modern computer technology and information processing technology. The key technology in the system is to study and explore the data processing and algorithm optimization of Doppler radar image in the storm movement. Based on computer technology, storms on the radar images can be tracked by the application of TITAN algorithm and the improved Level Set method to well advance the efficiency of the disastrous weather warning.

**Key words:** Doppler radar; TITAN algorithm; level set method; storm-tracking

(上接第 11 页)

## Disaster Risk Theory and Risk Management Method

Yin Jie<sup>1</sup>, Yin Zhan<sup>1,2</sup>, Xu Shiyuan<sup>1</sup>, Chen Zhenlou<sup>1</sup> and Wang Jun<sup>1</sup>

(1. Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Department of Geography, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

**Abstract:** Studies of disaster risk and risk management theory are hot issues now. However, the definition of the disaster risk has not yet been fully unified. In view of domestic and international disaster risk research achievements, and through a comprehensive analysis of the current status of disaster risk research, a definition for the disaster risk is suggested. A disaster risk management system from risk definition, risk analysis, risk assessment and risk mitigation is proposed, and some suggestions on future research are put forward.

**Key words:** disaster; risk management; risk analysis; risk assessment