

# 不同类型降水回波的自动识别方法

潘 江 张培昌

(南京气象学院电子信息科学系, 南京 210044)

**摘要:** 讨论了不同类型降水回波的自动识别方法。根据不同类型降水回波的特征, 选择了 4 个识别因子——面积复杂度、强度梯度、强中心强度和面积因子, 形成一个可以自动识别 3 种类型降水回波的 3 层判别系统。

**关键词:** 模式识别; 数字图像处理; 降水回波特征

中图分类号: P407.8 文献标识码: A

雷达定量测量降水的基本方法是根据  $Z-I$  关系, 用实测资料校正反演参数, 从而建立一套估算方法。由于不同类型降雨回波的  $Z-I$  关系有很大的差别, 因此业务应用中通常根据不同类型降水回波的特征, 建立相应的  $Z-I$  关系用于降水量估算, 以提高测量精度。

本文综合 3 种降水回波的特征, 使用图象处理和模式识别方法提取降水回波的形状因子、强中心强度和强度梯度因子, 结合实际经验指数或统计指数, 实现对降水类型的自动识别, 以提高业务应用的自动化程度。

对流性降水回波、层状云降水回波和混合性降水回波的主要区别在于: 对流性降水回波强度梯度大, 强中心强度高、回波面积小, 而且由于其形状接近圆或椭圆, 面积复杂度比较小; 层状云降水回波强度梯度小, 没有强中心或值较小, 但回波面积大; 混合性降水回波强度梯度居以上两者之间, 一般有几个强中心, 回波面积大并且面积复杂度较大<sup>[2]</sup>。

## 1 特征提取

### 1.1 平均强度值和各径向最大强度平均值的提取

根据原始极坐标资料, 提取平均强度(设回波强度为  $R$ 、 $\bar{R}$  为平均强度、 $\bar{R}_{\max}$  为各个径向最大强度的平均值)等值线, 以限定研究的区域, 提取该区域内回波的周长、面积、圆形度等特征值。对扫描半径为 300km 的多普勒雷达资料, 在方位角为  $\theta$  的径线上( $0 \leq \theta < 360^\circ$ ), 设  $\bar{R}(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^{300} R(r, \theta)$  和  $\bar{R}_{\max}(\theta) = \max\{R(r, \theta)\} (1\text{km} \leq r \leq 300\text{km}, n \text{ 为径线上强度不为 0 的点数})$  分别为该径向上的平均强度和最大强度值, 最终可以提取一个非零点的  $\bar{R}$ 、 $\bar{R}_{\max}$  (共 360 个方位角) 用作识别指标。

$$\bar{R} = \frac{1}{360} \sum_{\theta=0}^{360} \bar{R}(\theta); \quad \bar{R}_{\max} = \frac{1}{360} \sum_{\theta=0}^{360} \bar{R}_{\max}(\theta)。$$

另外, 沿方位角  $\theta$  在径向上求强度梯度  $g(r, \theta) = \frac{R(r+k, \theta) - R(r, \theta)}{k}$  (单位: dBz/km,  $0 \leq r \leq 300-k$ ,  $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$ ), 并把强度梯度极坐标资料转化为  $480 \text{ km} \times 480 \text{ km}$  直角坐标资料。其中  $k$  为经验参数, 一般取  $6 \text{ km}$ 。

提取了  $\bar{R}$  和  $\bar{R}_{\max}$  值, 还必须根据实际情况对转换后的资料进行平均方式和最大方式膨胀算法, 即<sup>[2]</sup>

$$\begin{cases} R(x, y) = \bar{R}(x, y) & \text{周围 8 点都不为 } R' \\ R(x, y) = R' & \text{周围 8 点只要有一点为 } R' \end{cases} \quad 0 < x, y < 480。$$

其中  $R$  根据不同要求选用  $\bar{R}$  或  $\bar{R}_{\max}$ , 以扩大这两种特征值效果, 便于下一步细化过程的进行。特征值的收缩方法类似<sup>[2]</sup>, 不再描述。由于雷达回波非常离散, 难以进行有效的识别, 在具体的模块设计时, 可以根据实际情况选择膨胀或收缩次数, 其最终目的是使平均特征值连接成一个区域。但需注意, 不能造成过厚的增强, 否则会增加计算时间。

## 1.2 特征曲线提取

为了计算闭合区域特征面积及其周长, 要对增强后的回波资料进一步细化, 以形成单像素点的曲线。细化算法参照文献[3, 4]。对于一份图象, 我们可以选择某一特定值如  $R$  进行细化, 算法如下。

(1) 从上到下、从左到右扫描, 直到点  $(x, y)$  满足条件  $R(x, y) = R$ ;

(2) 当该点的8邻点中存在  $R_i \neq R$  ( $i = 0, 1, 7$ ) 时, 点  $(x, y) \in B$  ( $B$  为边界点); 当所有8邻点  $R_i = R$  ( $i = 0, 1, 7$ ) 时, 点  $(x, y) \in I$  ( $I$  为内部点);

(3) 任意一点  $(x, y) \in B$ , 若周围8邻点中有两点与其相接, 且这两点之间并不相连, 将其标记为单线点  $LB$ , 并且保持不变;

(4) 找出所有与  $I$  和  $LB$  相接的外部点并保留, 其他外点都删除;

(5) 重复上述过程直到不能细化为止。

细化处理之后, 图象可能会出现网状结构。我们利用链码来消除这些网状结构, 使图象成为非交叉的独立闭合区域。链码采用8方向编码顺序, 按逆时针方向旋转, 码为  $0 \sim 7$ 。据 T 算法和 IP 算法原理<sup>[5]</sup>, 链码过程的具体实现如下。

(1) 从上到下、从左到右进行扫描, 直至扫描到一强度为  $R$  的点, 记下该点位置, 且保存标记为起始点;

(2) 以起始点的进入方向为准, 从左开始沿顺时针扫描, 如某一点的值为  $R$  则存储相应的链码, 并且在链码长度存储单元中记下该点的码长(初始值是0), 同时存储奇偶码的长度;

(3) 按照 LML 规则(向左看)检查下点, 若强度值为  $R$  且不为起始点, 重复上一步(2), 否则链码结束, 进行(5)步; 若除进入点外的7点不为  $R$  则进行下一步;

(4) 消除该点在链码中的记录, 并将该点的强度值记录为0, 码长值减1, 相应的奇或偶记录减1, 然后返回执行步骤(2);

(5) 检验奇偶码长是否相等, 总码长是否大于  $m$  (一般选  $20 \sim 50$ )。条件满足则存储链码, 否则将其中所有点删除, 重复步骤(1)。

经过链码过程, 一般那条最长的, 或者独立于它之外的闭合区域, 就作为识别工作的核心。

## 1.3 特征参数提取

对流降水回波与其他两种降水回波相比, 边缘形状和面积大小都有较大的差别。因此, 结

合强中心强度和强度梯度以及闭区域间的关系(如包含、属于),就能识别3种类型的降水。

(1) 周长  $L$  
$$L = \sum_{i=0}^m d, d = \begin{cases} \sqrt{2} & \text{链码为 } 1, 3, 5, 7 \\ 1 & \text{链码为 } 0, 2, 4, 6. \end{cases}$$

(2) 面积  $S$

$$S = \frac{1}{2} \left| \begin{vmatrix} X_0 & X_1 \\ Y_0 & Y_1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} X_1 & X_2 \\ Y_1 & Y_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} X_2 & X_3 \\ Y_2 & Y_3 \end{vmatrix} + \dots + \begin{vmatrix} X_{n-1} & X_n \\ Y_{n-1} & Y_n \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} X_n & X_0 \\ Y_n & Y_0 \end{vmatrix} \right|。$$

$n$  为链码个数, 其中坐标  $(X_i, Y_i)$  根据链码求出, 具体的换算为

$$\begin{cases} X_i = X_{i-1} + 1 & \text{如果链码为 } 3, 4, 5 \\ X_i = X_{i-1} - 1 & \text{如果链码为 } 0, 1, 7 \\ X_i = X_{i-1} & \text{如果链码为 } 2, 6; \end{cases} \begin{cases} Y_i = Y_{i-1} + 1 & \text{如果链码为 } 1, 2, 3 \\ Y_i = Y_{i-1} - 1 & \text{如果链码为 } 5, 6, 7 \\ Y_i = Y_{i-1} & \text{如果链码为 } 0, 4. \end{cases}$$

$X_0, Y_0$  为链码起始点坐标。

(3) 面积  $S$  区域内强度梯度的平均值( $\bar{g}$ )

对  $480 \text{ km} \times 480 \text{ km}$  的强度梯度直角坐标资料, 采取横向或纵向强度梯度值积分, 同时累加面积内点的个数, 两者的比值即为区域内强度梯度的平均值  $\bar{g}$ 。

(4) 该面积  $S$  区域强中心强度

通过比较获取该区域的最大强度值, 记为  $R_{\max}$ 。

(5) 面积复杂度  $FS$

根据几何学知识, 面积相等的闭合图形中, 圆的周长最小, 并且随着图形边缘线的复杂(不规则)程度增加其周长也变长。为了使这种关系有可比性, 利用量纲分析法, 周长的平方除以面积可得一无量纲数  $FS$  (面积复杂度)  $= L^2$  (周长的二次方)  $/ S$  (闭区域面积)。它体现了几何图形边缘线的复杂(不规则)程度。

## 2 降水回波识别

基于目前的研究, 以下方案给出 3 类降水的识别(下级判断受所有上级判断的约束)。

(1) 混合性降水和层状云降水回波的边缘比较毛散, 并且面积较大, 故可用面积复杂度作为第一级判断, 首先将回波区分为两大类,

$$FS \geq f_0 \begin{cases} \text{是} & \text{混合性降水或层状云降水的特征更明显(定为情况 1)} \\ \text{否} & \text{对流性降水的特征更明显(定为情况 2)。} \end{cases}$$

情况 1 中, 如果面积  $S \leq S_0$ , 也可能是对流性降水(定为情况 3)。

(2) 由于对流云和混合云降水平均的强度梯度比层状云降水要大, 因此可进一步分析区域的平均强度梯度特征, 对上面的结果作确定性判断。

情况 1:  $\bar{g} \geq g_0$ , 混合性降水特征;  $\bar{g} \leq g_1$ , 层状云降水特征; 其他不确定(定为不确定 1), 其中  $g_0 > g_1$ 。

情况 2:  $\bar{g} \geq g_0$ , 对流性降水特征; 其他不确定(定为不确定 2)。

情况 3:  $S$  区域不被其他区域所包围(即独立于其他区域), 则有对流性降水特征; 否则不确定(定为不确定 3)。

(3) 根据对流性降水具有明显的强中心、混合云降水具有多个次强中心这一特性, 使用强中心强度对上面的结果作补充判断。

不确定 1:  $R_{\max} \geq R_0$ , 有混合性降水特征; 否则, 有层状云降水回波特征。

不确定 2:  $R_{\max} \geq R_1$ , 有对流性降水回波特征; 否则, 有层状云降水回波特征。

不确定 3: 可能是未处理好的非气象回波, 无法对此作出确切判断。

$f_0$ 、 $S_0$  为面积复杂度识别临界值,  $g_0$ 、 $g_1$  为面积内平均的强度梯度判断常数,  $R_0$ 、 $R_1$  为强中心强度判断经验常数, 均由观测经验或统计法给出, 其中  $R_1 > R_0$ 。

经过 3 个识别过程, 每一个经过细化和链码的闭合区域都有一个判断输出, 即给出其回波特征。实际工作中, 通常只关心面积最大的区域的特性, 并将其作为整个模块的判断结果。

3 个例试验

采用厦门雷达站 1995 年 6 月 9 日 06 时 29 分(北京时间)体扫资料中第 3 层资料(仰角为  $1.39^\circ$ , 减少地物杂波的影响)。首先将极坐标资料转化为直角坐标资料, 然后对其进行一次收缩算法, 消除零星点。之后采用简单的 8 点平均作平滑处理, 消除部分噪声干扰。最后再进行一次膨胀处理, 即可输出经预处理的 1.39 仰角回波(图 1)。接着, 模式给出平均强度( $\bar{R}$ )和最大强度平均值( $\bar{R}_{\max}$ ),  $\bar{R} = 11$ 、 $\bar{R}_{\max} = 22$ , 选择按最大值方式( $\bar{R}_{\max}$  方式)膨胀 3 次, 按全图方式(即只要该点值不为 0 就满足条件)膨胀 4 次。经过处理后, 回波核心部分效果被加强, 形成几块主要回波块(图 2)。这些回波块经细化过程, 得到回波块边缘线(若干条闭合线), 形成若干个链码体。通过链码信息, 我们可以得到所有闭合区域的面积、周长、平均强度、最大强度、平均强度梯度等区域特征因子, 作为模块最终输出结果的判据。为了能得到准确的判断, 确定各种判断阈值是非常重要的, 这里给出一组值:  $f_0 = 25$ ,  $g_0 = 0.83(\text{dBz/km})$ ,  $g_1 = 0.5(\text{dBz/km})$ ,  $R_0 = 20(\text{dBz})$ ,  $R_1 = 25(\text{dBz})$ 。(  $R_0 = 20$ ,  $R_1 = 25$  仅适用于厦门雷达资料。据  $Z-T$  关系和该时段地面雨量站资料, 我们发现实际雷达资料有 80 % 的系统误差, 即偏小 80 %, 因此正常情况下  $R_0 = 36$ ,  $R_1 = 45$  )。使用这些值对图 2 中的 6 块闭合区域作判断, 并以面积最大区域的特征为最终结果。本次试验最终结果为图 2 中阴影部分呈现混合性降水回波特征, 判断为混合性降水回波。

模式还对其他 9 份资料作了分析判断(共 10 份), 判断正确率为 90 %。整个识别过程从理论上是针对 3 种类型的, 并且能对对流性结构作很好的识别, 因此整个识别方案具备一定的可

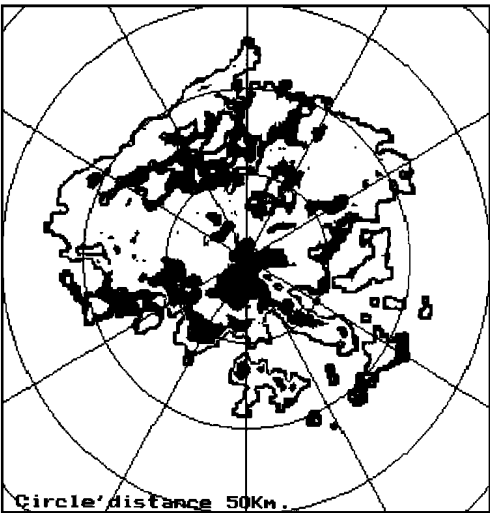


图 1 预处理后的雷达回波

Fig. 1 Radar echo map after preprocessing

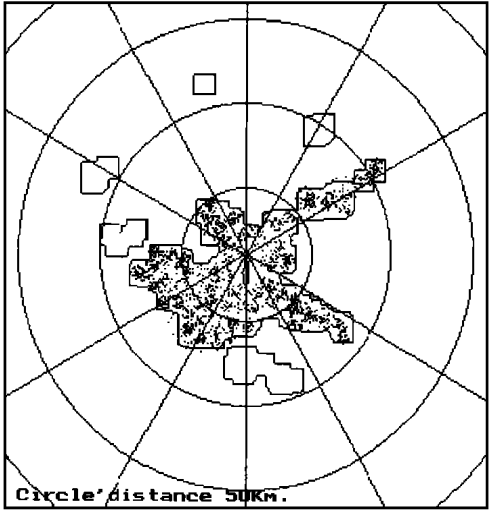


图 2 膨胀、细化处理后的回波块

Fig. 2 Feature line after expanding and slimming

靠性。若希望进一步提高准确率和可靠性, 还需对不同地区的雷达回波及不同类型降水资料作样本统计。

参 考 文 献

[ 1 ] 张培昌, 戴铁丕, 杜秉玉, 等. 雷达气象学[ M ]. 北京: 气象出版社, 1988  
[ 2 ] 李介容, 施鹏飞, 刘重庆. 图象处理技术[ M ]. 上海: 上海交通大学出版社, 1988  
[ 3 ] 孙家广, 杨长贵. 计算机图形学[ M ]. 北京: 清华大学出版社, 1995  
[ 4 ] 冈萨雷斯 R C, 温茨 P. 数字图象处理[ M ]. 李叔梁译. 北京: 科学出版社, 1982  
[ 5 ] 张培昌, 王登炎, 顾松山, 等. 多卜勒天气雷达 PPI 上 0 层亮带模式识别系统[ J ]. 南京气象学院学报, 1993, 16( 4 ): 399 ~ 405

RECOGNITION OF PRECIPITATION ECHO TYPES

PAN Jiang ZHANG Pei-chang

( Department of Electronic and Information Sciences, NIM, Nanjing 210044)

**Abstract:** Recognition of precipitation echo type is discussed. Based on the characteristics of different precipitation echo types, four indicators such as area size, maximum intensity, intensity gradient, and feature singularity are chosen. Then, a three-level judging system is constructed for automatic recognition of three kinds of precipitation types.

**Keywords:** pattern recognition; digital image processing; features of precipitation echo