

多卜勒天气雷达 PPI 上 0℃ 层亮带模式识别系统

张培昌 王登炎 顾松山 戴铁丕

(南京气象学院)

摘要 系统对 PPI 数字回波资料经图象预处理、特征提取后,采用三级识别方式对是否存在 0℃ 层亮带进行自动判别。试验表明,准确率很高。

关键词 0℃ 层亮带,模式识别

准确识别 0℃ 层亮带是十分有意义的。例如,在雷达定量测量降水中,只有在 0℃ 层高度以下才能使用由雨滴谱经统计回归得到的雷达反射因子 Z 与降水强度 I 之间的关系;再如,在一次雷暴过程中,当开始出现 0℃ 层亮带回波时,指示雷暴已处于消散阶段。随着数字化天气雷达的发展,可以建立起对各种回波的模式识别系统。本系统采用当前较广泛应用的结构方法和类似模板识别的方法,通过对 0℃ 层亮带回波在 PPI 上的结构及形态特点分析,同时参考回波参数进行识别。

数字化雷达回波资料中 PPI 上 0℃ 层亮带的特征为:(1)呈强度为极大值的连续亮环或断裂亮环,排列大致在一个圆周上;(2)环的两侧存在梯度极大区,梯度值大小随仰角高度及垂直分布情况而定,梯度极大值的点也大致分布在一个圆上。

本系统由图象预处理、特征提取、0℃ 层亮带识别等几个模块组成。除形态特征的提取在 VAX-1/750 上用 FORTRAN 语言进行外,其它部分采用 IBM-PC/XT 宏汇编语言在微机上完成。资料采用南京气象学院的 10cm 多普勒天气雷达 PPI 强度图象资料。

1 图象预处理

这个模块主要滤掉那些与识别 0℃ 层亮带无关的图象信息。

1.1 滤去 OVERLAY

数字图象资料中如底色、距离标志、色标、有关日期、时间、仰角等的字符显示,这些都是人为加上的,统称为 OVERLAY;它在提取回波特征时是一种干扰,必须首先去掉。

1.1.1 去距离标志 图象资料每个象素占八个 Bit,距离标志放在高四位,只要屏蔽掉高四位,即可去掉。

1.1.2 去色标 色标在屏幕上的位置是固定的,只要查出色标的具体位置并使其置零,即可去掉。

1.1.3 去底色、字符、距档标志 考虑到这些信息全部在距离档标志以外,因此本文可根据距

离档外的坐标,将这些信息全部去掉。

经过上述处理后,屏幕上就只剩下回波信息。

1.2 平滑回波

PPI 回波图象中常含有大量噪声和地物杂波,并且回波边界(包括每一灰阶的边界)很不规则,这些都可能给回波特征的提取和识别造成困难,因此,必须作滤波处理。本文用收缩——膨胀算法^[1]处理,但由于处理的是彩色图象,不是二值图象,故设计了一种对各灰阶层一次进行处理的算法。

从上到下,从左到右对图象进行搜索,当象元 (i, j) 的值 $R(i, j)$ 不为 0 时,收缩算法为

$$R(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{8 邻点中任一点为 0 时} \\ \text{MIN}[P(0), \dots, P(7)] & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

膨胀算法为

$$R(i, j) = \begin{cases} \text{MAX}[P(0), \dots, P(7)] & \text{8 邻点中任一点不为 0 时} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $P(0), \dots, P(7)$ 是点 (i, j) 8 邻点上的回波强度值。

1.3 中心附近回波的消除

在提取特征的过程中,要对同一距离不同方位的回波强度进行累加,得到一维曲线 $SR(r)$;而测站中心附近的回波,可能造成 $SR(r)$ 的强梯度值与 0°C 层亮带的特征相混淆,因此,它须去掉中心附近的回波。

1.3.1 坐标转换 将屏幕直角坐标 (i, j) 转换成以测站为中心的极坐标 (r, θ) ,可按公式(3)求出。

$$i = r \cos \theta, j = r \sin \theta \quad (3)$$

1.3.2 求 $SR(r)$ 当 θ 取 0.1° 为单位间隔时,有

$$SR(r) = \sum_{\theta=0}^{3600} R(r, \theta) \quad (4)$$

同时判别某一 θ_0 处的 $R(r, \theta_0)$,若对所有的 $r, R(r, \theta_0)$ 均为 0,则计数器 $K1$ 不计数。

1.3.3 平滑 考虑到一维曲线 $SR(r)$ 上的扰动较多,影响识别,故对 $SR(r)$ 作十个像素点滑动平均。

1.3.4 特征曲线 考虑到并不是所有方位上均有回波存在,因此取 $SR(r)$ 的均值作为一维特征曲线即

$$SRK(r) = \frac{1}{K1} SR(r) \quad (5)$$

1.3.5 选半径 r_{\min} 根据样本分析, 0°C 层亮带位于 $SRK(r)$ 的极大值处;另外在 $r=0$ 附近也常有一个 $SRK(r)$ 极大值,必须去掉。为此,很容易设计出一个选取 r_{\min} 的方法,使 r_{\min} 正好位于 0°C 层亮带附近峰值与 $r=0$ 附近回波峰值之间的极小值处。

1.3.6 消除中心附近回波 当找到 r_{\min} 以后进行如下处理:

$$R(r, \theta) = \begin{cases} 0 & r \leq r_{\min} \\ R(r, \theta) & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

经过上述处理后,中心附近一些回波被去掉了。

2 特征提取

本系统主要从以下三个方面对 PPI 上 0°C 层亮带的回波特征进行提取。

2.1 一维曲线特征提取

一维强度曲线 $SRK(r)$ 在前面已述及过了。在识别和处理过程中还要用到 $SRK(r)$ 的差分 $GR(r)$, 它可由下式求得

$$GR(r) = SRK(r+k) - SRK(r) \quad (7)$$

其中 K 值由经验确定, 根据样本分析, K 取 10 较合适。

2.2 等值线特征提取^[2]

2.2.1 跟踪回波等值线, 并确定其链码及链码个数

本文采用计算机图象识别的方法^[3], 并根据雷达回波的实际情况对算法进行若干改进。具体步骤如下:

(1) 确定欲跟踪的等值线(对应某一彩色层的)的值 $VALUE$ 。

(2) 对图象 $R(i, j)$ 从上到下, 从左到右, 逐个象元进行扫描。当发现象元 (i, j) 的值 $R(i, j)$ 从 $<VALUE$ 变为 $\geq VALUE$ 时, 记下该象元 PO 的坐标 (i, j) , 并记为 x_i, y_j 。

(3) 取出 PO 的 8 邻点(见图 1), 从象元 PO 的邻点 $P(3)$ 开始研究, 反时针方向进行跟踪, 当第一次出现 $\geq VALUE$ 的象元 $P(K)$ 时, 将该点做上标记, 着色后送上屏幕。若 8 邻点中 $R(i, j)$ 均 $<VALUE$, 说明该点为孤立点或强中心, 则结束跟踪, 跳到步骤 (6)。

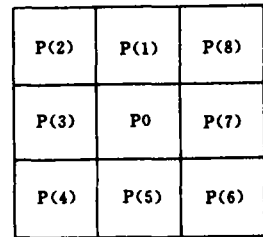


图 1 象元 PO 的 8 邻点

(4) 令 $P(K)$ 为 PO , 取出 PO 的 8 邻点, 从 PO 的邻点 $P[(k+5) \text{MOD} 8]$ 开始研究, 反时针方向进行跟踪, 对最先满足 $R(i, j) \geq VALUE$ 的象元 $P(K)$ 做上标记, 并求出其与 PO 点的链码, 同时记下链码的个数, 以及奇数链码和偶数链码的个数; 若 8 邻点的 $R(i, j)$ 均 $<VALUE$, 结束跟踪, 跳到步骤 (6)。

(5) 将 PO 的坐标 (i, j) 与等值线的坐标 (x_i, y_j) 进行比较。若相等, 则停止跟踪, 转入下一步进行搜索。若不等, 则从 (4) 开始重复执行。

(6) 由 (x_i+1, y_j) 开始, 从上到下, 从左到右进行搜索。从步骤 (2) 开始, 重复执行 (2) - (5), 当象元 PO 的值 $R(i, j) = OFH$ (OFH 是选定的某一高值) 时, 不进行跟踪, 转入下一象元继续搜索, 直至整个屏幕。将跟踪的链码、链码个数、奇和偶的链码个数、起始点位置存入内存。

(7) 确定另一颜色值 $VALUE$, 从 (1) 开始重复执行。

在实际图象处理中, 还可以按实际情况对以上步骤稍作某些修改。

2.2.2 $VALUE$ 值的自动选取

选取 $VALUE$ 的原则是: $VALUE$ 位于亮环外侧的强梯度处, 选取步骤如下:

(1) 沿 r 从 r_{\min} 起由小到大搜索 $SRK(r)$, 当第一次出现极大值时, 记下此时的半径 r' , 从 r' 开始沿 r 由小到大搜索 $GR(r)$, 当 $GR(r)$ 出现最小值时, 停止搜索, 记下此时的半径 r'' 。

(2) 对 $R(r'', \theta)$ 沿 θ 方向进行累加, 得到 $SR(r'')$ 为

$$SR(r'') = \sum_{\theta=0}^{360} R(r'', \theta) \quad (8)$$

同时记下 $R(r'', \theta)$ 不为 0 的个数 Kl 。

(3) $VALUE = SR(r'') / Kl$, $VALUE + 1$ 则为另一条等值线的颜色值, 这两条等值线必定是 0℃层亮带外侧梯度最大处的两条等值线, 就只对这两条等值线进行处理, 提取其特征。

2.2.3 回波块的自动选取

整个屏幕上有时存在多块回波,因此某一彩色层 VALUE 的等值线可以不止一条。本文选取回波块的原则是:存在 0℃ 层亮带的回波,值为 VALUE 和 VALUE+1 的等值线的长度最长。故在自动选取回波块时,首先对颜色值为 VALUE 的等值线的链码个数排序,选定链码个数最多的等值线所在的回波块进行处理。

2.2.4 等值线特征

设两条回波等值线分别为 N 和 C (见图 2), S_N 和 S_C 分别为两条等值线的周长, S 表示起点 b_0 到动点 b 的弧长。

设回波等值线的参数方程为

$$U(s) = X(s) + iY(s) \quad (9)$$

它是一个周期函数,周期为 S ,即

$$U(s + S) = U(s) \quad 0 \leq s < S \quad (10)$$

再设 $t = 2\pi s/S$, 则方程(9)可写为

$$U(t) = X(t) + iY(t) \quad 0 \leq t < 2\pi \quad (11)$$

其中 $U(t)$ 是一个以 2π 为周期的周期函数,对其进行傅里叶级数展开

$$\begin{aligned} U(t) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n e^{-in t} \\ &= P_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (P_n e^{in t} + P_{-n} e^{-in t}) \quad 0 \leq t < 2\pi \end{aligned} \quad (12)$$

式中傅里叶系数

$$P_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U(t) e^{-in t} dt \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (13)$$

本文研究数字图象,其等值线是用方向链码表示的,在汇编语言中求链码时,链码定义与这里略不相符,故先将链码换成 Freeman 方向链码。设方向链码为 C_1, C_2, \dots, C_M ; M 是链码的个数。

将 $[0, 2\pi]$ 区域划分为

$$\tau_m = 2\pi s_m/S, m = 0, 1, 2, \dots, M$$

其中 $0 = t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_{M-1} < t_M = 2\pi$ 。

将等值线用链码表示后,就可以求出傅里叶系数 P_0, P_n, P_{-n} 的表示式^[2]。

有了等值线的傅里叶系数,就可用来描述等值线的形态特征。但是随着回波大小的改变、位置的变化以及方向旋转等, P_0, P_n 和 P_{-n} 均将随之变化,不具有识别意义;为此,本文采用下面一组参数,它们在回波平移、旋转、放大、缩小等条件下均是不变的,能较好地反映回波形态特征。这组参数是

$$(1) \text{圆形成度} \quad F_1 = \frac{|P_1|}{\sum_{n=1}^{\infty} (P_n + P_{-n})} \quad (14)$$

$$(2) \text{细长度} \quad F_2 = \frac{|P_1| - |P_{-1}|}{|P_1| + |P_{-1}|} \quad (15)$$

$$(3) \text{散射度} \quad F_3 = S^2/4\pi A = \frac{S^2}{4\pi^2 [\sum_{n=1}^{\infty} n(|P_n|^2 - |P_{-n}|^2)]} \quad (16)$$

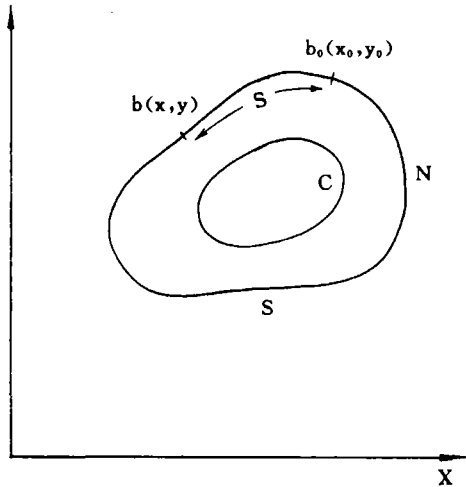


图 2 回波等值线示意图

$$(4) \text{凹度 } F_4 = \sum_{n=1}^{\infty} n^3 (|P_n|^2 - |P_{-n}|^2) / (|P_1|^2 - |P_{-1}|^2) \quad (17)$$

$$(5) \text{形心偏差度 } F_5 = \frac{|P_{0N}| - |P_{0c}|}{|P_{1N}| + |P_{-1N}|} \quad (18)$$

计算中根据 5 次谐波傅里叶级数展开已能较好地逼近回波轮廓。因此,本文采用 5 次谐波近似。

2.3 回波强中心特征提取

回波强中心有两个特征:一是相对强中心特征,二是绝对强中心特征。提取回波强中心的目的都是为了将回波强中心细化成线状,易于识别。

2.3.1 相对强中心特征

提取回波相对强中心特征的算法简称为 RIC 算法,具体步骤如下:

(1)令 $\theta=0$,沿 r 方向从小到大搜索 $R(r,0)$,求出极大值 $\text{MAX}[R(r,\theta)]$,若 $\text{MAX}[R(r,\theta)]=0$,则跳转(4),否则进行(2)。

(2)令某一标号 $KZ=0$,再沿 r 方向从小到大搜索 $R(r,0)$,若发现 $R(r_{KZ},0)=\text{MAX}[R(r,0)]$ 的点,记下其位置 r_{KZ} ,同时记数 $KZ \leftarrow KZ+1$ 。

(3)对 $R(r,0)$ 上所有满足 $R(r_{KZ},0)=\text{MAX}[R(r,0)]$ 条件的 r_{KZ} 进行累加,并求其均值,即得到 $\theta=0$ 方向上回波相对强中心的位置

$$r_0 = \frac{1}{KZ} \sum_{i=1}^{KZ} r_i \quad (19)$$

(4)变化 θ ,从(1)开始重复进行,直至整个屏幕。

经过 RIC 算法处理后,得出了回波相对强中心位置。但这种相对强中心位置还会受到一些对流回波强中心的影响,故还需要利用膨胀相交算法(EA 算法)来消除这种影响。步骤如下:

(1)对相对强中心图象 $R(i,j)$ 作 Z 次膨胀运算。

(2)消除弱回波,仅保留四个层次强度的强回波作为目标图象。

经过上述膨胀相交算法处理,图象宽度变为大于一个象素点,再进行细化处理。

以上处理对很多情况都是适用的,但若遇到横贯测站中心的直带状回波就显示其不足,不能很好描绘带状特征,其相对强中心图象易与 0℃层亮带混淆。为此,本文还设计了提取强度值必须大于某一等级的绝对强中心特征算法。

2.3.2 绝对强中心

提取步骤如下:

(1)与膨胀相交算法中(2)同,但根据经验必须再加一次收缩算法较合适。

(2)对强回波中心进行一次细化运算。

回波的相对强中心和绝对强中心特征从不同角度反映了回波强中心的情况,对 0℃层亮带回波,以上两类强中心图象都大致在一条弧上,比较容易识别。

3 0℃层亮带识别

首先,本文用下面三个特征来表征 PPI 上的 0℃层亮带。

3.1 一维曲线特征

样本分析发现,典型的 0℃层亮带回波的 $SRK(r)$ 特征表现为单峰型(图 3),偶尔也有双峰型的。峰值两侧的斜率较大,但距 0℃层亮带较远处斜率明显减小;对于非 0℃层亮带回波则

呈不规则峰或多峰。在 0℃层亮带的 $SRK(r)$ 极大值两侧, $GR(r)$ 大致为一正一负两个峰值, 内侧正峰值因易与非 0℃层亮带的 $GR(r)$ 值相混淆, 故可识别性差, 外侧负峰较具有代表性, 可作为识别判据。

3.2 等值线特征

根据 0℃层亮带在 PPI 上的特征可总结出其等值线特征为: 在 0℃层亮带外侧梯度极大区附近, 至少有两条等值线形态极其相似, 且同心, 等值线周长及其包围的面积很接近, 故前述的参数 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 虽可以较好地反映回波的形态, 但并不能很好地反映 0℃层亮带特征, 必须取两条等值线特征值之比及 F_5 才能较好地反映 0℃层亮带特征。

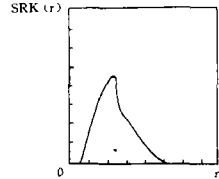


图3 一维曲线特征

我们取: $FF_1 = F_{1N}/F_{1c}$, $FF_2 = F_{2N}/F_{2c}$, $FF_3 = F_{3N}/F_{3c}$, $FF_4 = F_{4N}/F_{4c}$ 及 F_5 来表示两条等值线的相似程度、同心程度、周长及面积的接近程度。由理论分析知, FF_1 、 FF_2 、 FF_3 、 FF_4 越接近 1, F_5 越接近零, 则两条等值线相似程度越高, 中心越靠近。

3.3 强中心特征

典型的 0℃层亮带的相对强中心应为标准圆。实际图象中极少碰到这样的情况, 但大致为一个圆。因此, 我们以标准圆作为模板, 对两者进行匹配, 以两者之间差的绝对值平均 σ 作为匹配标准。

设相对强中心图象为 $R=r(\theta)$, 标准圆图象为 $R=C$, 其中

$$C = \frac{1}{K_1} \sum_{\theta=1}^{K_1} r(\theta)$$

以 σ_r 作为判据, 则有

$$\sigma_r = \frac{1}{K_1} \sum_{\theta=1}^{K_1} |r(\theta) - \frac{1}{K_1} \sum_{\theta=1}^{K_1} r(\theta)|$$

绝对强中心特征匹配的方法与相对强中心相同, 判据以 σ_a 表示之。

下面我们采用多级判别法进行识别。先用几个简单参数作为第一判别; 第二级用等值线特征参数作判别; 第三级用强中心特征识别, 准确率最高。

第一级识别过程如下:

(1) 从 r_{min} 开始, 沿 r 方向从小到大搜索 $SRK(r)$, 当 $SRK(r')$ 为极大值且 >70 时, 进行下一步, 否则无亮带。

(2) 从 r' 开始, 沿 r 方向从小到大搜索 $GR(r)$, 当 $GR(r'')$ 为极小值且 <-30 时, 进行下一步, 否则无亮带。

(3) 从 r'' 开始, 沿 r 方向从小到大搜索 $GR(r)$, 当 $GR(r''')$ 为极大值且 ≥ 40 时, 进行下一步, 否则无亮带。

若第一级判别有, 则进入第二级。

根据对样本特征参量的统计, 第二级按如下树状结构进行识别(见图 4)。

若第二级判别有, 则进入第三级。

第三级以 σ_r 和 σ_a 作为判据。当 $\sigma_r < 9$ 且 $\sigma_a < 15$ 时, 有 0℃层亮带存在, 整个 PPI 上识别过程结束, 显示信息; 否则为无。

本系统对 5 幅 PPI 强度图象资料进行试验, 这 5 幅资料中实际上有一幅无 0℃层亮带, 识

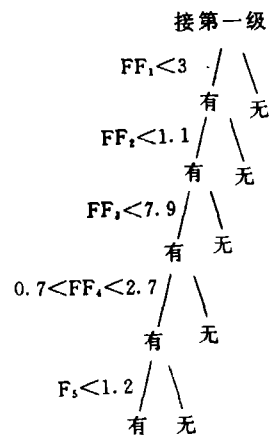


图4 树状结构判别

别结果全部正确。

由于 PPI 采用高分辨显示,运行一次时间较长,约要十几分钟;若换用运算速度较快的微机或改用中分辨处理,运行一次的时间可以满足业务需要。

4 结 论

(1)系统根据 0℃层亮带回波 PPI 上的特点,对数字资料经过预处理、特征提取以及建立模式后对 0℃层亮带进行识别是可行的。

(2)本系统采用一维特征曲线统计参量、等值线特征量阈值、以及与模板(标准圆)匹配等方法组成串联式三级识别;从现有样本进行的试验看,准确率的识别是十分满意的。

(3)若改用快速高档微机或采用中分辨显示方法,可满足业务需要。

参 考 文 献

- 1 陈传娟,刘剑岚. 计算机学报,1986,(4):263-264
- 2 边肇祺等. 模式识别. 北京:清华大学出版社,1988:268-271,274-278
- 3 王积分,张新荣. 计算机图象识别. 北京:中国铁道出版社,1988:126-152

A MODEL SYSTEM FOR IDENTIFYING THE PRESENCE OF 0°C-LEVEL BRIGHT ZONE ON THE WEATHER DOPPLER RADAR PPI

Zhang Peichang Wang Denyan Gu Songshan Dai Tiepi

(Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract With the eigenvalues extracted from the picturepreprocessed PPI digital echo data, the system developed is used to identify automatically the presence of the 0°C-level bright zone in a three-level manner. Experimental results indicate the system to be of high accuracy.

Key words 0°C-level bright zone, model recognition