

# 用互相关技术预报 雷达回波的位置

翁富忠

提 要

本文介绍了作回波未来位置预报的互相关技术。给出求回波移动矢量的汇编程序框图。该技术的应用表明,对于中尺度保守天气系统,预报的效果比较好。

七十年代初, Austin, G.L. 等人基于数字化雷达资料,用互相关技术计算出回波的移动矢量,根据这个矢量作出回波未来位置的预报。由于作相关计算时运算量很大,又都在小型机上完成,从而限制了该技术的应用范围。本文介绍的互相关技术,在计算方法上作了改进,减少了运算量,采用汇编语言后,运算速度有了很大的提高,增加了该技术应用时效性。象APPLE II 这样一类微机,回波资料以 $256 \times 200$ 的列阵,作出预报费时5分钟左右。该技术不仅可预报超级单体这样一些保守性天气系统的未来位置,也适用于非保守性天气系统,只是效果不如前者。

## 一、方法和原理简介

时空相关函数的定义如下<sup>[1]</sup>

$$\Lambda_{ST}(\alpha, \beta, \tau) = \frac{1}{ST} \int_T \int_S R(x, y, t) \cdot R(x + \alpha, y + \beta, t + \tau) dx dy d\tau \quad (1)$$

式中 $R(x, y, t)$ 是有时间变量的二维随机场

$$R(x, y, t) = \begin{cases} 0 & \text{当 } x, y \notin S, t \notin T \text{ 时} \\ \geq 0 & \text{当 } x, y \in S, t \in T \text{ 时} \end{cases} \quad (2)$$

$T$ 为时间,  $S$ 为面积, 将(1), (2)两式用于降水过程时,  $T$ 为降水过程的生命时间,  $S$ 为降水覆盖的面积,  $R(x, y, t)$ 为回波强度或降水强度的时空分布。两个时刻 $t_1, t_2$ 的互相关函数定义为

$$r(\alpha, \beta) = \frac{1}{S} \int_S R(x, y, t_1) \cdot R(x + \alpha, y + \beta, t_2) dx dy \quad (3)$$

将(3)式离散化后得

$$r(\alpha, \beta) = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1} R(x_j, y_i, t_1) \cdot R(x_j + \alpha, y_i + \beta, t_2) \quad (4)$$

式中N为 $t_1$ 时刻降水区占有的网格数。标准化相关函数为

$$r_0(\alpha, \beta) = \frac{\sum_{i,j=1} R(x_j, y_i, t_1) \cdot R(x_j + \alpha, y_i + \beta, t_2)}{\sum_{i,j=1} R(x_j, y_i, t_1) \cdot R(x_j, y_i, t_2)} \quad (5)$$

从(4)、(5)式中可以看出，两个时刻的互相关函数与 $\alpha$ 、 $\beta$ 有关，给定一组 $(\alpha, \beta)$ 就对应一个 $r(\alpha, \beta)$ 。当某组 $(\alpha_m, \beta_m)$ 使 $r$ 达最大值时，就称这两个场达到匹配状态，即说明 $t_2$ 时刻的随机场是沿着由 $(\alpha_m, \beta_m)$ 决定的方向从 $t_1$ 时刻移过来的，作者就把这组 $(\alpha_m, \beta_m)$ 作为降水回波场在 $t_2 - t_1$ 间隔内、东西和南北方向的位移量。为了找到这样一组 $(\alpha_m, \beta_m)$ ，需要计算所有 $(\alpha, \beta)$ 对应的 $r$ 值，直到最大的 $r$ 获得为止，这样太费时。为了减少运算量，可以把回波的重心位移量 $(\alpha_G, \beta_G)$ 作为初始值<sup>[2]</sup>，以此量作为中心，计算一个小的互相关系数矩阵。再从系数矩阵中挑选具有最大互相关系数的 $(\alpha_m, \beta_m)$ ，这样就大大地节省了运算时间。图1可以大致说明上述的计算过程。

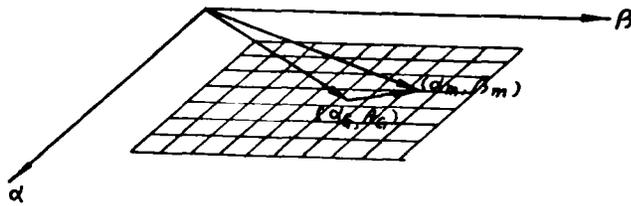


图1 由重心移动矢量求互相关移动矢量示意图

计算回波重心用以下公式

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum_{i=1}^N x_i R_i}{\sum_{i=1}^N R_i} \\ \bar{y} &= \frac{\sum_{i=1}^N y_i R_i}{\sum_{i=1}^N R_i} \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $R$ 为降水回波值，降水回波的重心位移为

$$\begin{aligned} \alpha_G &= \bar{x}_2 - \bar{x}_1 \\ \beta_G &= \bar{y}_2 - \bar{y}_1 \end{aligned} \quad (7)$$

式中 $\bar{x}_1, \bar{y}_1$ 为 $t_1$ 时刻回波场的重心坐标。 $\bar{x}_2, \bar{y}_2$ 为 $t_2$ 时刻回波场的重心坐标。由回波的移动矢量就可以算出回波的移动速度。给出预报时间长度后，就可以将当前的回波场沿着速度方向外推到未来的位置，从而得到了一幅预报回波图。

## 二、程序框图

图2是作互相关运算时的程序框图。框图包含求重心坐标、求互相关系数矩阵、对分搜索挑选最大值以及回波外推等4个子程序,它们用汇编语言写成,具有实用性。目前已在APPLE II和IBM-PC/XT两种微机上编制了上述软件。在中国科学院大气物理研究所的天气雷达资料处理系统中也包含了该软件。

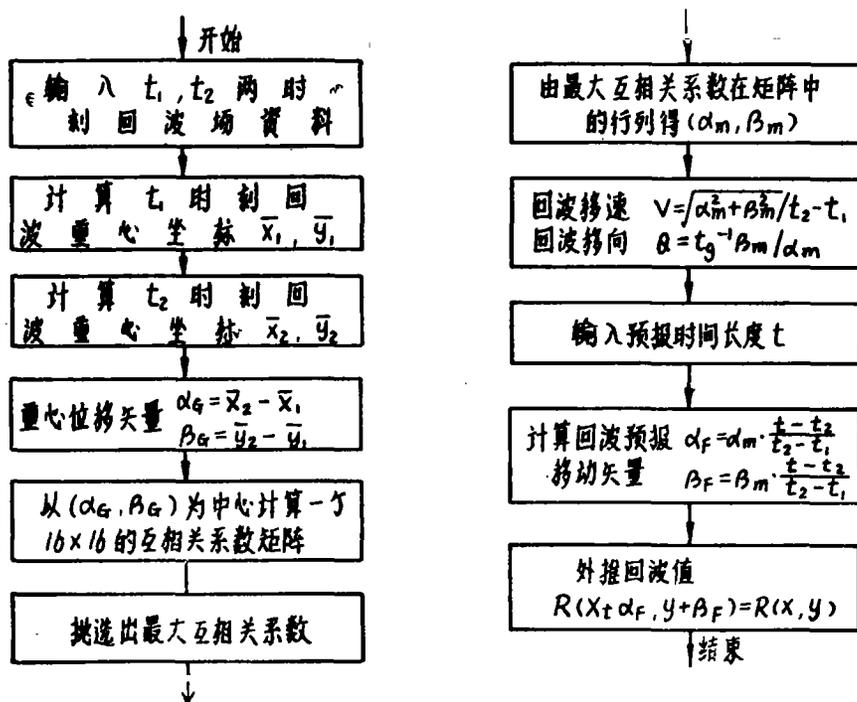


图2 预报回波未来位置程序框图

## 三、互相关技术的实时应用

1984年夏季在首都机场对上述预报技术进行实时应用试验,作出了雷达回波场的预报图。下面给出一些实例,说明该技术的预报效果。

1984年9月7日16时,首都机场天气雷达探测到一条初生的飑线天气系统,位于北京的西北部,与此同时,微处理机收集第一个时刻PPI数字化回波资料,16时51分飑线发展进入强盛期,并继续向东南方向移动,这时微处理机收集第二个时刻PPI数字化回波资料,接着微处理机开始作数据处理,经过约5分钟的运算,得到17时15分的回波位置预报图,见图3。图4是17时15分的回波实况图。从预报图和实况图的对比可以看出,回波位置的预报基本上与实况相符,但强度与实况有偏差。

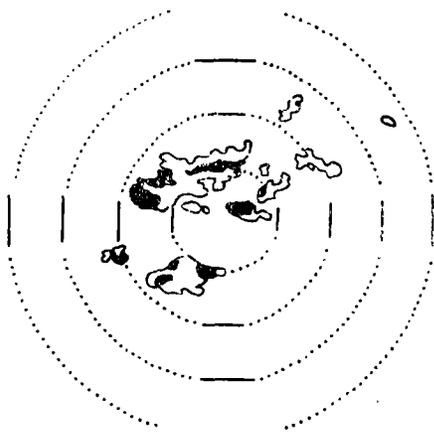


图3 1984年9月7日17时15分回波预报图  
(50千米/每圈)

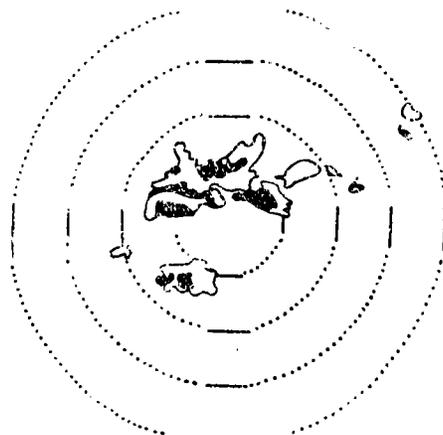


图4 1984年9月7日17时15分回波实况图  
(50千米/每圈)

表1是用预报图和实况图求互相关而得到的预报和实况在东西、南北方向的误差表。由表中的数据可以看出:

(1)预报阵性降水在东西方向平均误差为5—6个网格间距(10—12千米),南北方向的平均误差为8—9个格距(16—18千米)。而预报飗线,东西方向平均误差为7个格距,南北方向平均误差为2—3个格距。由于这次飗线天气系统的移速和移向都较稳定,因而预报效果要比阵性降水好。

(2)预报时效不宜取得太长,一般取小于半小时预报的效果较好。

表1 预报与实况平均误差表

说 明	资料收集时间 (时,分)		预 报		回波位移 (格 距)		移动速度 (格距/小时)	预报与实 况 偏差	
	第一幅	第二幅	时 间 (时,分)	时效 (分)	东 西 方向上	南 北 方向上		东 西 方向上	南 北 方向上
1984年 8月22 日上午 阵性降 水	08,55	09,14	09,53	39	4	2	14.12	-2	-6
	09,14	09,53	10,13	20	7	2	11.20	3	4
	09,53	10,13	11,09	56	6	5	23.43	-16	-24
	10,13	11,09	11,23	14	0	-10	10.71	4	-1
	11,09	11,23	11,45	22	4	-3	21.43	-2	6
1984年 9月7日 下午飗 线降水	15,28	16,00	16,51	51	11	-7	24.45	-14	-6
	16,00	16,51	17,15	24	3	-17	20.31	4	3
	16,51	17,15	17,32	17	5	-4	16.01	2	-1
	17,15	17,32	18,55	83	5	-3	20.58	-14	0

造成预报图与实况图偏差的主要原因有两个：一是实际降水过程在预报时间内有生消演变，或有转向、变速等，而预报只作简单的外推。二是由于前后两个时刻获取的PPI扫描资料在不同的仰角上。这样计算互相关系数的真实性就要差一些。

#### 四、结 论

由互相关技术的应用可以得出如下结论：

1. 互相关技术可以用于预报各种类型的回波未来位置，但对稳定少变的回波场的预报更为有效，预报时效不宜取得太长。

2. 互相关技术求得的回波移动矢量是将整个雷达视野内的回波作为一个整体的移动矢量，它与某一单体的移动矢量可能存在偏差。

#### 参 考 文 献

- [1] Zawadzki, I. I., Statistical Properties of Precipitation Patterns, J. Appl. Met., Vol. 12(1973), 459—471.
- [2] Austin, G. L. and Bellon, A., The Use of Digital Weather Radar Records for Short-term Precipitation Forecasting, Quart. J. R. Met. Soc., Vol. 100(1974), 658—664.