

文章编号: 1000-2022(2003) 02-0270-05

主特征提取法在天气雷达降水估测集成分析中的应用

裴晓芳¹, 王振会¹, 李建通², 官 莉¹

(1. 南京气象学院 电子工程系, 江苏 南京 210044; 2. 厦门市气象局, 福建 厦门 361012)

摘 要: 提出使用主特征提取法对天气雷达定量估测降水的几种模式结果进行集成分析, 获得降水分布的共同特征, 并参照雨量计资料确定雷达探测范围内的降水强度分布, 实例分析表明效果较好。

关键词: 集成分析; 主特征提取; 雷达降水估测

中图分类号: P413. 21 **文献标识码:** A

天气雷达观测资料的降水估测模式有很多, 它们分别适合于不同的地域和降水类型。由于各种估测模式都有其相应的适用性, 因此, 用某一种降水估测模式可能达不到最好的资料利用效果。目前, 淮黄流域暴雨洪水监测预报系统拟采用的降水估测模式有: $Z-I$ 关系法和基于雷达—雨量计联合探测的平均校准法、最优插值法、变分校准法等^[1]。对于已掌握了多个估测模式, 为了使其综合效应比它们其中的任何一个效果更好, 因此需要设计一种合适的集成方法。目前在天气预报集成分析中, 国内常使用的集成方法有灰色系统、模糊数学、层次分析、逐步回归及多元回归等^[2]。在降水估测集成分析中, 有统计权重、多元回归、综合概率等方法。

本文提出用主特征提取法对多种降水估测模式的输出结果进行集成分析, 并用厦门天气雷达站的 $Z-I$ 关系法、最优插值法和变分校准法的输出产品及雷达站周围雨量计资料进行集成分析。

1 主特征提取方法原理及特点

主特征提取法(又称 $K-L$ 变换) 是一种最佳正交变换, 它根据变换对象的统计特性, 构造最佳坐标系, 并通过变换将矢量投影到该最佳坐标系中, 从而改变矢量在原坐标系中的分布, 去除矢量的各个分量间的相关性^[3], 将有用信息与干扰成分分开, 可更准确、更有特征地揭示多幅图像数据结构内部的遥感信息。

一般地, 矩阵的线性变换可表示为

$$Y = TX. \quad (1)$$

其中, X 是待变换的数据矩阵, Y 是变换后的数据矩阵, T 是变换矩阵。

若 T 是正交矩阵, 并且是由 X 的协方差矩阵 C 的特征向量所组成, 则此变换称为经验正

收稿日期: 2002-06-24; 改回日期: 2002-10-15

基金项目: 水利部和中国气象局联合资助项目“淮黄流域暴雨监测预报系统”

作者简介: 裴晓芳(1978-), 女, 江苏盐城人, 硕士生, 研究方向: 为大气探测与遥感

交变换, 又称 K-L 变换^[4]。变换后的数据矩阵的每一行矢量称为 K-L 变换的一个主分量, 又称为矩阵 X 的一个主特征^[5]。根据 K-L 变换的定义, 对雷达遥感雨强图像的 K-L 变换过程可以概括如下^[6]:

(1) 由 M 幅图像构成数据矩阵 X , 矩阵中的每一行向量表示一幅图像, 每幅图像含有 N 个像素。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{MN} \end{bmatrix}。$$

(2)

它的协方差矩阵 C 为

$$C(i,j) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j), \quad i,j = 1, 2, \dots, M。$$

(3)

其中 x_{ik} 是行向量 x_i 的第 k 个分量, 代表第 i 幅图像上的第 k 个像素; $\bar{x}_i$ 代表第 i 幅图像上像素的平均值。

(2) 计算协方差矩阵 C 的特征值 与特征矩阵 B , 并组成变换矩阵 T 。

具体步骤为: 由特征方程 $iI - C = 0$ (I 为单位矩阵), 求出特征值 ($i = 1, 2, \dots, M$), 并将其按从大到小的顺序排列; 再解方程 $(I - C)B = 0$, 求出各特征值对应的单位特征向量 b_i , 即: $b_i = [b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{iM}]^T$; 以各特征向量为列构成特征矩阵 B , 即: $B = [b_1, b_2, \dots, b_M]$; B 矩阵的转置矩阵即为 K-L 变换的系数矩阵 T , 即式(1)中, $T = B^T$ 。

(3) 由 K-L 变换的具体表达式: $Y = TX = B^T X$ 获得主分量变换后的新矩阵 Y , 矩阵中的第 i 行向量 $y_i = [y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iN}]$ 为 K-L 变换后的第 i 个主分量, 即 M 幅图像的第 i 个主特征。

M 幅图像的第 i 个主特征所包含的 M 幅图像上的信息量为 $= i / \sum_{i=1}^M i$ 。由于特征值 i ($i = 1, 2, \dots, M$) 是按从大到小的顺序排列的, 故 M 幅图像的第 1 个主特征 $y_1 = [y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1N}]$ 含有 M 幅图像上的最多信息, 而第 M 个主特征 $y_M = [y_{M1}, y_{M2}, \dots, y_{MN}]$ 含有 M 幅图像上的最少信息。

2 降水估测集成分析实验

2.1 雷达资料

本实验使用的雷达资料来自 1996 年 3 月—1997 年 8 月厦门雷达站, 共 30 个时次。雷达资料包括雷达低仰角观测回波强度的 $Z-H$ 关系法、雷达定量测量降水的最优插值法、变分校准法等 3 种方法的输出结果。研究区域用 66×66 个直角坐标格点表示, 在该区域内共有 30 个自动雨量站。雷达资料预处理时, 为了方便利用雨量计资料确定降水强度, 根据 $Z-H$ 关系将资料由 dBz 值转换成雨强值。以 1997 年 5 月 6 日 07 时资料为例, 雷达估测雨量的格点资料分别如图 1a-c 所示。

2.2 集成结果及标尺订正

用主特征提取法对 3 种降水估测模式所得到的 3 幅降水分布图进行集成, 可得到 3 幅特征图。图 1d 给出第一主特征图, 对应特征值为 77.94, 信息量为 94.79%, 即, 3 幅图中 94.79% 的信息都可以在第一主特征图中得到体现。由图可见, 第一主特征图集中地体现了 3 幅原图所揭示的降水分布型式和降水强中心位置。

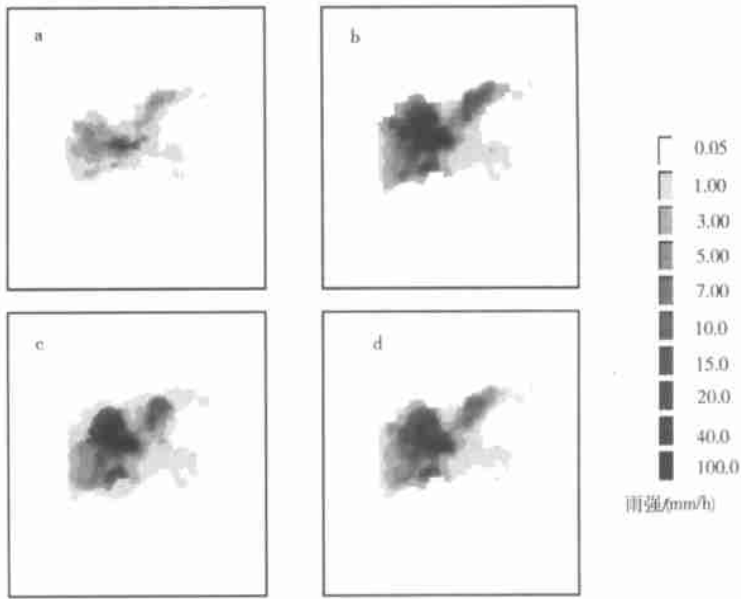


图 1 1997 年 5 月 6 日 07 时厦门天气雷达降水强度估测计算结果
(a. $Z-I$ 关系法, b. 最优插值法, c. 变分校准法)和集成分析结果(d. 第一主特征图)
Fig. 1 Rainfall estimates from radar observations in Xiamen at 7:00 on May 6, 1997
using $Z-I$ relation(a), optimum interpolation(b),
variational calibration(c) and integration analysis(d)

由于 $K-L$ 变换是重构坐标系的过程, 变换后的标尺度(即变量取值范围), 对第一主特征图而言, 一般是变大。因此, 必须对主特征图像值进行订正。将自动雨量站 1 h 累计雨量和对应网格点上主特征图图像值比较, 进行最小二乘回归分析, 建立累计雨量 I 与主特征图像值 Y 之间的回归方程, 得到两者之间的线性关系 $I = Y +$ 。对本例而言, 试验区内有 30 个雨量计($N=30$), I 与 Y 之间的相关系数为 0.867 9, 回归系数分别为 $= 0.642$ 和 $= 1.385 1$ 。利用此关系进行主特征图像值转换, 即为主特征图像值订正。图 1d 已是经过订正的。图 1 是灰度图, 程序可提供彩图显示, 可以更加直观地判断降水区的降水情况。

在图 1b-c 中相近位置(暗色区)都出现一较强的降水区, 图 1d 给出了这一特征。同样, 图 1a-c 中降水强弱大致分布情况在图 1d 中也得到体现。对其他时次的分析也表明, 用主特征提取法集成 3 种模式的降水估测结果所得到的主特征图, 能反映原图中给定区域的强降水中心、降水分布以及降水强度估计值等主要信息。下面给出集成分析效果的统计结果。

2.3 效果统计

将上述 30 个个例(30 个时次)的集成结果, 与同时段对应网格点上的自动雨量站 1 h 累计雨量进行对比, 分别计算了每个时次的样本误差平均值和误差标准差。按定义
误差平均值:

$$\bar{e} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I_i - I_i)。$$

误差标准差:

$$e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I} - \bar{e})^2。$$

其中 I_i 是第 i 个格点上集成输出值, I_i 是同一格点上雨量站值, $N = 30$ 是雨量站个数。统计结果如图 2 所示。图中还给出了集成前 $Z-I$ 关系、最优插值、变分校准等估测方法的误差统计量。下面分别给予说明。

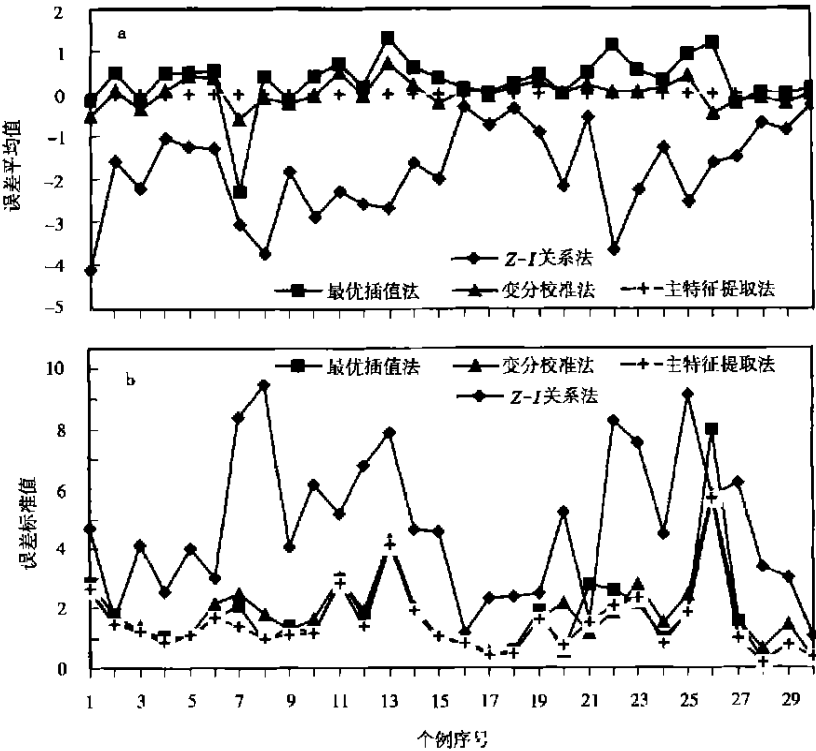


图 2 雷达降水估测值的误差平均值(a)和误差标准值(b)

Fig. 2 The mean(a) and standard(b) deviation of the error in radar rainfall estimates

第 1 部分: 误差平均值。由图可见, 主特征提取法误差平均值为零, 这是标尺订正的结果。其他方法都有一定的偏差, 不难看出, 变分校准法优于最优插值法, $Z-I$ 关系法又次于最优插值法。

第 2 部分: 误差标准差。通过图中个例可以看出提取前各方法的误差标准差一般都大于主特征提取法的误差标准差, 这表明主特征提取法可以达到优化的效果。图 2 中序号为 11 的个例, 即文中图 1 所示 1997 年 5 月 6 日 07 时的个例。 $Z-I$ 关系、最优插值、变分校准及主特征提取法的误差标准差分别为: 5.14, 2.94, 2.99, 2.84。主特征提取法优于其他 3 种方法。

对 4 种方法进行误差分析, 可以发现集成后所得的结果可以更好地反映降水区域实际降水情况。

3 结 语

本文用主特征提取法对天气雷达估测降水的 $Z-I$ 关系法、最优插值法和变分校准法等 3 种降水定量估测模式的估测结果进行集成分析。对现有 30 个时次的分析结果表明: 主特征提

取法可以较好地给出被集成的各方法所揭示的降水区域和降水强中心的主要分布特征, 进一步结合雨量计资料进行标尺订正后给出降水量。相对于雨量计资料而言, 主特征提取法的误差统计特征优于集成前各种方法。在“淮黄流域暴雨监测预报系统”项目的下一步工作中, 将通过实际应用来积累更多的资料, 以便进行更深入的研究、得到更好的应用效果。

参考文献:

[1] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
 [2] 陈德群, 于 波. 一种新的集成预报法[J]. 南京气象学院学报, 1996, 19(4): 470-472.
 [3] 倪 林. 基于分类 K-L 变换的多波段遥感图像近无损压缩方法[J]. 遥感学报, 2001, 5(3): 205-213.
 [4] 莫伊克 J G. 遥感图像的数字处理[M]. 北京: 气象出版社, 1987: 69-320.
 [5] 夏良正. 数字图像处理[M]. 南京: 东南大学出版社, 1999: 65-66.
 [6] 陈 华, 安 斌, 陈书海, 等. K-L 变换在多光谱图像聚类中的应用[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(2): 79-82.

Main Eigen Approach to Consensus Analysis on Radar Rainfall Estimate

PEI Xiao-fang¹, WANG Zhen-hui¹, LI Jian-tong², GUAN Li¹

(1. Department of Electronic Engineering, NIM, Nanjing 21004, China;
 2. Xiamen Meteorological Bureau, Xiamen 361012, China)

Abstract: Main-eigen analysis method is applied to the consensus analyses on rainfall estimates from weater radar observations. The common features of the rainfall patterns from different estimating schemes can be obtained firstly, and the distribution of rainfall within the detecting scope of the radar can be estimated according to the rain gauge measurements. Results show that main-eigen anlysis method is better than other consensus analysis methods such as weighted average, combined probability or multi-regression.

Key words: consensus analysis; main-eigen; radar rainfall estimate