

徐月飞¹ 蓝俊倩¹ 顾振海¹ 周业娴²

基于雷达校正的雨量插值研究

摘要

自动站点雨量数据到格点化雨量数据的插值方法一直在气象业务中有着重要应用,但传统插值法一般只考虑距离对估测点的影响,不能够真实地反应降水的落区分布.利用多普勒雷达资料对雨量插值结果进行校正,可使得插值后的结果较好地反映雷达反射率分布特征,也可以较好地克服反距离加权插值法的尖点问题.经过业务测试检验,基于雷达校正的雨量插值方法效果较为稳定,可以在业务中进行应用.

关键词

雨量;空间插值;反距离加权;多普勒雷达

中图分类号 O241.3;P426.6

文献标志码 A

收稿日期 2013-02-26

资助项目 浙江省气象科技计划项目青年科技专项(2011QN06)

作者简介

徐月飞,男,硕士,助理工程师,主要研究雷达资料处理.12033150@qq.com

1 浙江省衢州市气象局,衢州,324000

2 天津市气象局,天津,300074

0 引言

随着气象现代化建设的推进,虽然雨量站的分布日益密集,但地面观测站的布设是有限的,一些乡镇只有一个自动站,非格点化的雨量资料的监测并不能满足对降水引发的次生灾害进行精细化预警的要求,而对自动站的资料进行格点插值是解决点到面扩展的有效办法.通过对分布稀疏的雨量站进行插值,得到雨量的二维分布特征,具有高时空分辨率的格点化雨量资料对小流域山洪、地质灾害预警有着重要意义.传统的雨量插值算法都是单纯的空间插值算法,常用于业务中的有反距离加权平均法、降水高程线性回归法、普通 Kriging 插值方法等^[1-2].由于简单的利用空间插值算法,只考虑插值点和采样点之间的距离影响,而没有考虑降水的具体分布特征,所以其插值结果和实际的降水分布有较大出入.随着多普勒雷达投入到业务应用中,利用雷达反射率资料进行降水估测,弥补了自动站测量降水空间分辨率不高的问题.雷达估测降水技术发展迅速,在降水落区上能够对雨量分布进行比较正确的表达,但是在定量估测上误差比较大,用传统的 $Z-I$ 关系进行降水估测受到很多因素的影响^[3].本文区别于直接从雷达反射率资料进行定量估测雨量^[4],而是对经过插值后的雨量格点资料进行校正得到最终插值结果.首先利用反距离加权平均法进行插值,而后利用现有的多普勒雷达资料代入对插值后的雨量进行校正,得到格点化的雨量资料,并对 2 种插值校正结果进行对比分析,探讨雷达校正法在雨量格点化插值进行校正的可行性.

1 空间插值和校正原理

1.1 反距离加权平均法(IDW)

反距离加权平均法是业务中最常用的插值法之一.它的原理是假定插值点和采样点的距离越近,则插值点受采样点的影响越大,即权重越大;距离越远,插值点受采样点的影响越小,即权重越小.对所有的采样点进行反距离加权平均后,得到插值点的值.具体算法如下:

$$f(x, y) = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{z_j}{d_j^p}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_j^p}}, \quad (1)$$

其中, $d_j = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}$ 是 (x, y) 点到 (x_j, y_j) 点的水平距离, $j = 1, 2, \dots, n$, p 是一个大于 0 的常数,称为加权幂指数,加权幂指数越大,插值结果越平滑,本文取 2. 倒数距离加权插值的优点是公式

比较简单,特别适用于节点散乱、不是网格点的问题,它的缺点是只能在节点上取到函数的最大最小值,容易产生尖点现象.

1.2 雷达校正

由于反距离插值法得到的格点资料只能在节点处取得函数的最大值和最小值,也就是只能是有雨量资料的站点出现最大雨量或者最小雨量.显然,这种情况并不能反映降水的实际分布情况,误差较大.特别是对雨量计稀疏的区域,得到的结果更加不准确.利用雷达的高空间分辨率的特点,对反距离插值得到的格点数据进行校正,使得雨量的空间分布和底层雷达反射率一致,以反映雨量的实际分布.雷达校正的一个重要的原理是利用最底层的雷达等高显示资料(CAPPI)进行叠加,得到单位时间段(1 h)的水平反射率分布,对其进行预处理后,和普通插值方法得到的格点资料进行对比,在每个格点上得到校正量,最后输出校正后的格点化雨量资料.

由于雷达反射率与雨量存在指数关系^[5],假设对于同一个体内的 $Z-I$ 关系是确定的,即 $Z = AI^b$,则可以推导出下式:

$$I_1 = I_2 \times \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)^{\frac{1}{b}}, \quad (2)$$

其中, Z 为反射率因子, A, b 为常数, I_2 是已知的降水量(mm/h), I_1 是经过雷达反射率校正后的降水量.同样利用反距离加权平均法求得插值点的反射率因子强度,根据实际的反射率因子强度和初始化插值得到的雨量资料,对其进行订正,得到最终的雨量插值资料.该校正方法会受非降水回波的影响,对一些格点的雨量订正过度,所以在校正之前还要对雷达资料做滤波处理.在本文中,利用业务中常用的典型关系式,取 $b=1.6$ 进行计算.

1.3 采样点选取

Delaunay 三角形剖分^[6]由于拥有空外接圆和最小角最大化 2 个性质,保证了生成的三角接近正圆的特点.利用 Delaunay 三角网选择插值参考站点的优势在于:在网内的任何一个点都可以由该点所在的三角形所对应的 3 个站点进行内插,每一个插值点的权重系数可以通过一组对应的线性方程组表示,生成固定的模版,减少了计算量;Delaunay 三角网的唯一性使得插值的结果具有比较好的稳定性.由于一些比较接近的站点对三角剖分形成的接近正圆三角形有影响,并且比较接近的站点的权重系数

的和等于相对称的一个站点,即比较接近的站点存在一定程度的信息冗余,所以对一些比较接近的站点进行处理,保留其中的一个站点,然后进行三角剖分.另外,为了保证对衢州地区的所有格点进行内插,还保留了一些衢州地区以外的点,剖分的结果如图 1 所示.



图 1 衢州地区自动站 Delaunay 三角网
Fig. 1 Delaunay triangulation of Quzhou meteorological stations

2 个例分析

2.1 插值精度分析

本文选取了衢州区域内 2 次天气不同性质和强度的降水过程对插值算法进行插值精度检验,以测试不同降水强度下经过校正的插值算法和未经过校正的插值算法之间的插值精度.其中 2012 年 4 月 28 日 20 时到 4 月 29 日 08 时的降水是典型的西风带系统大暴雨,衢州地区有 82 个乡镇雨量超过 70 mm,其中 39 个乡镇雨量超过 100 mm,而 2012 年 12 月 14 日 20 时到 15 日 08 时的资料,则比较典型地体现了层状云弱降水的特征,基本上所有自动站雨量在 10 mm 左右.本文利用估计值与实际站点雨量值(采样值)之间的平均方差来评估插值算法的插值精度:

$$M = \frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^n (Z_{je} - Z_{j0})^2, \quad (3)$$

其中 Z_{je} 表示采样点的估计值, Z_{j0} 表示采样点的实际值.对所有的采样点求平均方差,对是否经过雷达校正的插值算法做对比分析,以分析插值的精度.图 2 是对应 2 个不同降水过程的插值误差分布时间序列,其中图 2a 是 12 月的弱降水过程,图 2b 是 4 月

的大暴雨过程.由图 2 可知,经过雷达校正后的雨量插值在误差上要小于未经过校正的插值结果,但是总体的误差并不大;强降水相对于弱降水会有更大的误差,并且校正的效果相对也更好,总体来说是校正效果随着误差绝对值增大而增大.

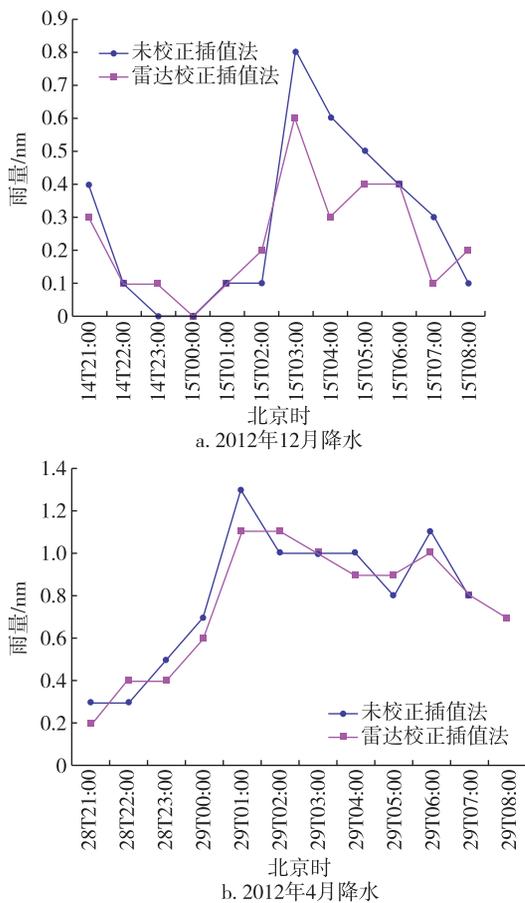


图 2 2 个不同降水过程的插值误差时间分布

Fig. 2 Interpolation error distributions of two rainfall processes

2.2 插值结果分析

图 3a 是雷达反射率归一化后的色斑,其中 0.95 表示格点处的反射率值和当前雷达等高显示资料 (CAPPI) 中的最大反射率为 0.95,这样得到的反射率分布能够清楚地表示反射率的相对大小.图 3b 是经过雷达资料校正的格点化雨量,图 3c 是没有经过雷达资料校正的格点化雨量.可以发现图 3b 较图 3c 更能反映出雷达反射率的分布规律,特别是在衢州中北部地区反射率的大值区,能够体现雷达反射率的分布特征,其雨量大值区和反射率的大值区的落区比较一致,范围较没有经过校正的雨量大值区也更大一些.另外,由于经过了雷达反射率校正,图 3b 比

较好地克服了反距离加权平均插值法固有的尖点问题,图 3c 中西北部的尖点很明显,而图 3b 则显得雨量分布更为真实.即使加权幂指数设置不是很大,经过校正后的网格化雨量产品,也能够得到相对平滑的结果.

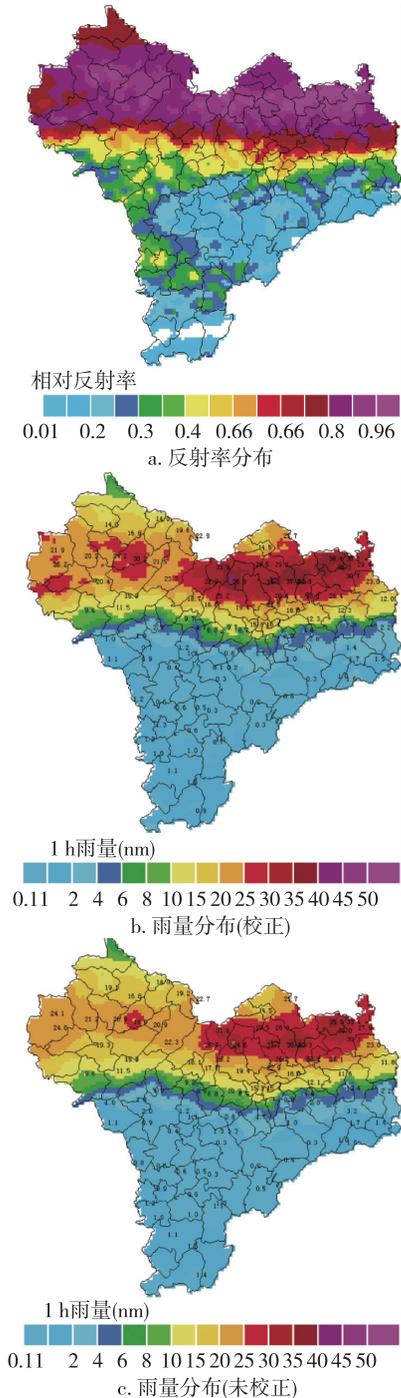


图 3 4 月 29 日 02 时的 2.5 km 高度 CAPPI 的反射率分布、经过雷达校正的雨量大值和没有经过校正的雨量大值分布

Fig. 3 Reflectivity distribution of CAPPI at height of 2.5 km, corrected and uncorrected grid accumulative precipitation data (1 hour) at 2 o'clock of April 29

3 结论

1) 雨量插值可以对没有雨量观测资料的区域进行雨量估测,在小流域洪涝、地质灾害的预警应用方面有着重要作用.传统插值方法基本上只考虑到距离对插值的影响,而对降水的空间分布特征不做考虑,所以得到的插值结果不能完全反映降水的落区情况.多普勒天气雷达对降水粒子的高分辨率探测结果以及业务上的普及应用,使得除雨量站之外可以得到更为细致的降水落区分布特征,结合雷达资料对传统的插值结果进行校正,可以较好地传统的插值结果中引入降水的实际分布特征.

2) 利用了不同降水强度的2个过程资料对经过雷达校正后的插值资料 and 没有经过雷达校正的雨量插值资料进行了对比分析,发现经校正后的雨量插值结果要优于未校正的雨量插值结果.另外,插值的绝对误差随着降水实况的增大而增大,同时校正的效果也更加明显.

参考文献

References

- [1] 戚晓明,陆桂华,吴志勇,等.三种点雨量插值方法的比较研究[J].中国农村水利水电,2007(2):109-112
QI Xiaoming, LU Guihua, WU Zhiyong, et al. Comparison of three kinds of methods for point precipitation interpolation[J]. China Rural Water and Hydropower, 2007(2):

- 109-112
[2] 秦伟良,刘悦.空间插值法在降水分布中的应用[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2010,2(2):162-165
QIN Weiliang, LIU Yue. Application of spatial interpolation in rainfall distribution analysis[J]. Journal of Nanjing University of Information Science and Technology: Natural Science Edition, 2010, 2(2): 162-165
[3] 郑媛媛,谢亦峰,吴林林,等.多普勒雷达定量估测降水的三种方法比较试验[J].热带气象学报,2004,20(2):192-197
ZHENG Yuanyuan, XIE Yifeng, WU Linlin, et al. Comparative experiment with several quantitative precipitation estimator techniques based on Doppler radar over the Huaihe valley during rainy season[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2004, 20(2): 192-197
[4] 殷志远,沈铁元,彭涛.基于雷达和雨量站的权重校准法研究及其应用[J].人民长江,2010,41(2):47-51
YIN Zhiyuan, SHEN Tiejue, PENG Tao. Research and application of weight calibration method based on radars and rainfall stations [J]. Yangtze River, 2010, 41(2): 47-51
[5] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕.雷达气象学[J].北京:气象出版社,2000
ZHANG Peichang, DU Bingyu, DAI Tiepi. Radar meteorology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2000
[6] 周培德.计算几何:算法设计与分析[M].北京:清华大学出版社,2000:57-71
ZHOU Peide. Computational geometry: Algorithm design and analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000:57-71

Precipitation interpolation algorithm calibrated by weather radar data

XU Yuefei¹ LAN Junqian¹ GU Zhenhai¹ ZHOU Yexian²

1 Quzhou Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Quzhou 324000

2 Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300074

Abstract Precipitation interpolation algorithm plays an important role in meteorological business, which can generate area rainfall data from point rainfall data. Yet traditional interpolation method only considers the impact of distance on the estimated point data, thus cannot fully reflect the real drop-zone distribution of precipitation. The Doppler radar data are employed to improve rainfall interpolation results, which enables the interpolation results to better reflect the distribution characteristics of radar reflectivity, and to overcome the problem of sharp point in inverse distance weighting interpolation. Meteorological test results show that this method is reliable in precipitation interpolation and stable in calibration effect, thus can be applied in meteorological business.

Key words precipitation; spatial interpolation; inverse distance weighted; Doppler radar