

文章编号: 2096-1618(2017)05-0469-05

天气雷达遮挡区域识别

蒋秋菲¹, 王旭^{1,2}, 何建新^{1,2}, 刘锋³

(1. 成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225; 2. 中国气象局大气探测重点开放实验室, 四川 成都 610225; 3. 柳州市气象局, 广西 柳州 545001)

摘要:遮挡是天气雷达波束受到复杂地形影响的结果,低仰角时,天气雷达波束常常会受到地形或者周围高大建筑物遮挡,导致天气雷达的探测数据质量受到严重影响,同时也会影响到雷达组网拼图和其他二次产品的数据质量。为识别遮挡区域,直接利用天气雷达连续观测的反射率因子,根据观测数据的概率特征,识别天气雷达遮挡区域性质。资料选取2010年5-12月柳州雷达观测数据,首先读取柳州雷达站这段时间内体扫基数据中的反射率因子数据;再统计这段时间内每个距离库上的反射率因子大于某一阈值的概率;最后根据统计结果,分析回波的概率特征,选取合适的概率阈值,得到不同性质的遮挡区域(完全遮挡、部分遮挡或无遮挡)。使用该方法识别遮挡区域的实例表明:对海拔高度较低的内陆雷达(如广西柳州),该方法能较有效地识别天气雷达遮挡区域。

关键词:天气雷达;反射率因子;概率特征;遮挡区域

中图分类号:TN959.4

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2017.05.001

0 引言

由于中国复杂地形,在雷达观测方面,波束遮挡会带来很多问题,比如雷达定量降水估算中,遮挡产生盲区,会造成回波强度偏弱,导致基于回波强度的降水估算结果失真较严重,精度大大降低。因此,了解雷达探测范围内周围的地形对雷达波束的遮挡情况具有必要性,能够合理地应用雷达观测数据^[1]。传统识别雷达部分遮挡的方法大多是以标准大气状态的假设条件为前提,使用高精度的数字高程模式(digital elevation model, DEM)数据,估算由复杂地形造成的雷达波束遮挡效应。法国学者利用数字地形模式(digital terrain model, DTM)数据和雷达性能参数进行雷达不同仰角层PPI探测时的阻挡系数模拟;Gabella等^[2-6]则使用DEM数据提出了以几何光学原理为基础的雷达波束阻挡系数模拟方法。勾亚彬等^[7-8]提出基于雷达回波概率特征的雷达部分遮挡区域识别算法,直接检测实际业务应用中雷达连续观测的反射率强度,再与去除部分区域弱回波相联系,进行雷达组网拼图算法优化改进,有效地提高了组网拼图数据的质量,同时遮挡识别为遮挡角下的回波订正做准备工作,使用雷达直接观测数据更加方便。文中主要使用此算法进行遮挡识别,并用实际雷达站的数据进行对比,分析识别结果。

1 遮挡区域识别算法原理

地形特征常常会对雷达波束造成一定的遮挡,从雷达观测数据中可以体现出来。随时间发生突变的雷达观测数据分布可能会出现,而选择统计多年的雷达观测数据可能会对某些格点的实际遮挡情况有较大偏差,所以选择对一年内降水天气多发期的一段时间内连续观测数据进行回波分布统计。从统计结果发现,可以把雷达探测区域内的格点大致分为3种不同的情况:同一时间段内,格点出现降水回波的概率为零时,属于雷达完全遮挡区域;格点出现降水回波的概率服从高斯分布时,属于雷达无遮挡区域,发生概率与随机发生的天气过程相关;部分遮挡区域通常位于完全遮挡区域与无遮挡区域之间,其概率变化平缓,幅度较小。因此,在可探测范围内统计待识别格点观测数据的概率分布,设计以下算法步骤来识别遮挡区域。

(1)设置反射率强度阈值为 Z_T ,格点下标为 (e, a, b) , e 表示仰角, a 表示径向, b 表示距离库,设任一格点 (e, a, b) 上出现大于 Z_T 阈值的概率为 $P_{(e,a,b)}$,则满足式(1):

$$P_{(e,a,b)} = \frac{\sum_{i=1}^N \text{Counter}[Z_i(e,a,b) > Z_T]}{N} \quad (1)$$

$Z_{i(e,a,b)}$ 为第 i 个数据在格点 (e, a, b) 处的反射率强度,Counter为计数器,统计一段时间内一个格点 (e, a, b) 上出现大于 Z_T 阈值的次数;

(2) 在选取统计时间内,以 $\text{Counter}[Z_{i(e,a,b)} > Z_T]$ 为横坐标, $\text{Counter}[Z_{i(e,a,b)} > Z_T]$ 相等的格点的数量为纵坐标,绘制出雷达探测范围内各个格点的谱分布;

(3) Counter 计数区间选取合适的阈值,从而得到合适的概率阈值,直接进行雷达探测区域不同遮挡性质的识别。设置 $C_{\text{上}}$ 和 $C_{\text{下}}$ 统称为计数阈值, $C_{\text{上}}$ 表示完全遮挡区域的上限,而 $C_{\text{下}}$ 无遮挡区域的下限,进一步得到 $P_{\text{上}}$ 为上限概率阈值和 $P_{\text{下}}$ 为下限概率阈值,统称为概率阈值,满足下列式子:

$$P_{\text{上}} = \frac{C_{\text{上}}}{N} \approx 0 \quad (2)$$

$$P_{\text{下}} = \frac{C_{\text{下}}}{N} \quad (3)$$

根据实际情况,完全遮挡区域可能会存在部分遮挡弱回波特征,所以 $P_{\text{上}}$ 近似于 0,略大于 0;部分遮挡区域概率特征大于阈值 $P_{\text{下}}$,服从高斯分布;无遮挡区域概率取值为 $P_{\text{上}}$ 和 $P_{\text{下}}$ 之间,概率特点变化缓慢。

2 识别结果分析与检验

使用 2010 年 5-12 月广西柳州新一代天气雷达

(CINRAD-SA 型)观测的体扫文件,扫描方式为 VCP21 模式,6 分钟扫描 9 个仰角(0.5°、1.45°、2.4°、3.35°、4.3°、6.0°、9.9°、14.6°、19.5°)。选取广西柳州新一代天气雷达(CINRAD-SA 型)2010 年 5-12 月的体扫文件,共 16545 个文件,通过 MFC 程序保存统计结果,在 MATLAB 中打开,并处理,进行绘图。首先以第一层 0.5°仰角为例,详细说明如何实现部分遮挡区域识别算法,并得出识别结果,再对其他仰角层的遮挡区域进行识别,分析其结果。

2.1 0.5°仰角的识别结果

2.1.1 Z 阈值的选择

根据雷达回波软件显示的多个体扫文件,当仰角层取第一层 0.5°仰角,可选取当 Z_T 为 15 dBZ、20 dBZ 和 25 dBZ 3 种情况下,得到谱分布图,分别对应图 1 所示。最终选择 $Z_T = 20$ dBZ 为阈值,原因是散点分布的三种格局明显:有明显的 0 到某一 $C_{\text{上}}$ 值出现 Y 值从高突变到接近 0 的趋势;从 $C_{\text{上}}$ 到 $C_{\text{下}}$ X 值区间内,有散点分布平缓的趋势;到 X 值超过 $C_{\text{下}}$ 时,散点处于高斯分布明显趋势。

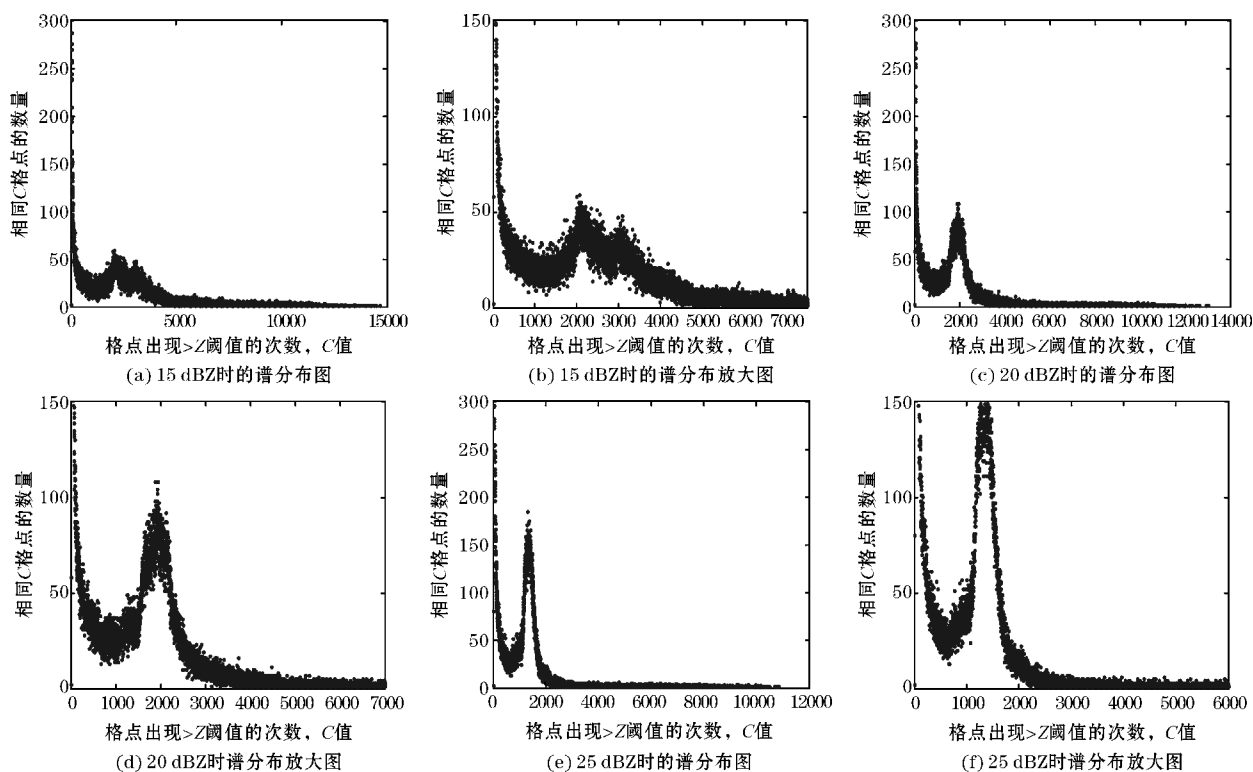


图1 Z_T 选 3 种情况时的谱分布图和谱分布放大图

2.1.2 C 阈值的选择

由上述所取不同 Z_T 值得到的谱分布图,选择 3 种格局明显区分 X 值作为 C 阈值的上限和下限。最终得到遮挡区域分布图。从图 1(d) 可得, $C_{\text{上}}$ 为 300,

$C_{\text{下}}$ 为 1400。

2.1.3 识别结果分析与检验

由上述可得到遮挡区域分布图,黑色表示无遮挡区域,白色表示部分遮挡区域,灰色表示完全遮挡区

域。遮挡区域分布图如图 2 所示,同一仰角于 2015 年 12 月 5 日 08:01 的 PPI 反射率图如图 3 所示。

雷达中心为坐标中心,大致从雷达中心沿径向扫描的 120°方位处和 150°方位处分别有明显的完全遮挡和部分遮挡识别,雷达探测范围内的边沿,出现少数部分遮挡区域,其降水回波特征较弱,可能原因是探测范围未到达其位置,探测不到远距离处发展高度较低的云层,反射率因子数据出现误判,归为部分遮挡区域。

图 3 是广西柳州雷达 2015 年 12 月 5 日 08:01 的 0.5°仰角的 PPI 反射率图,雷达探测范围内出现的反射率强度大多达到 25 dBZ 以上,可以明显看出 0.5°仰角的 PPI 图中从雷达中心沿径向向外扫描的相同方位处有明显的完全遮挡和部分遮挡现象。图 2 表示识别结果和实际 PPI 反射率图作对比,可以得出结论雷达探测范围内,从雷达中心延伸到扫描边沿的 120°和 150°方位处分别存在完全遮挡和部分遮挡,与实际遮挡情况大致相同。

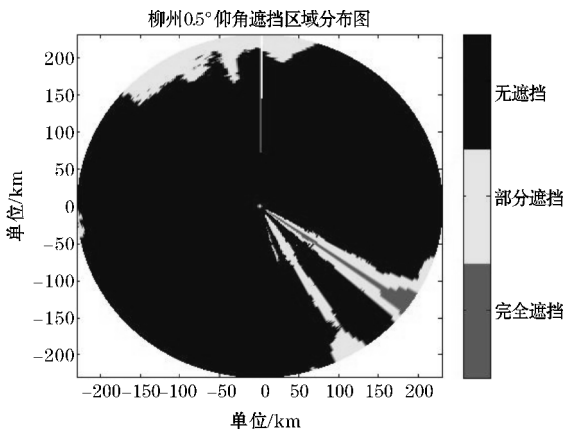


图 2 柳州 0.5°仰角遮挡区域分布图

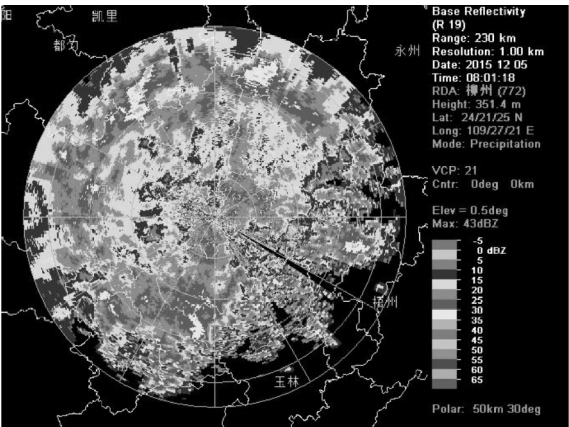


图 3 2015 年 12 月 5 日 08:01 0.5°仰角 PPI 反射率图

2.2 其他仰角的识别结果

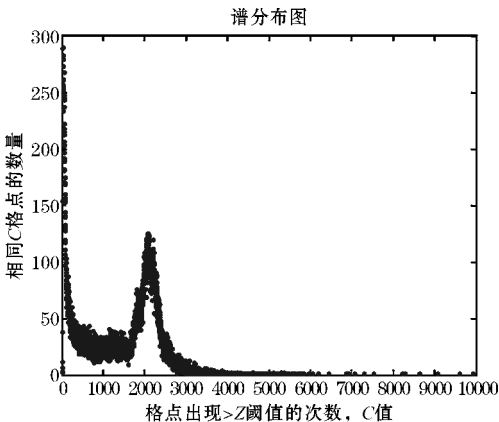
(1)当仰角为 1.45°第 2 层时, $Z_T = 20$ dBZ 时,选取 $C_+ = 145$, $C_- = 1600$ 的谱分布图,遮挡区域分布图

和第 2 层仰角 PPI 反射率图如图 4 所示。

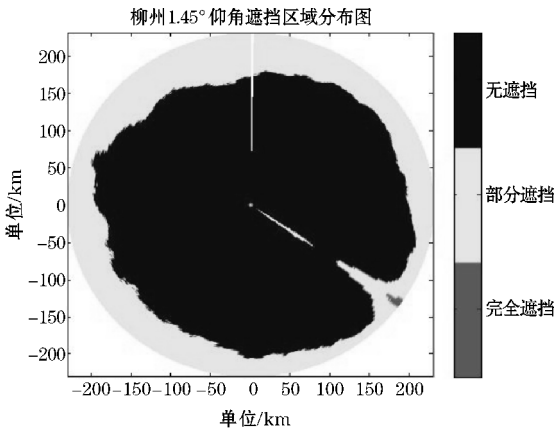
由图 4(b)可知,大概在距雷达中心 150 km 时开始部分遮挡区域,此处可能原因同第 1 层仰角出现部分遮挡区域的原因一致,从而造成误判。

从图 4(c)来看,与同一时刻 0.5°仰角的 PPI 图对比,1.45°仰角的 PPI 图 150°方位处的部分遮挡现象消失,120°方位处的完全遮挡变为部分遮挡,与本次设计的遮挡识别结果大致相同。

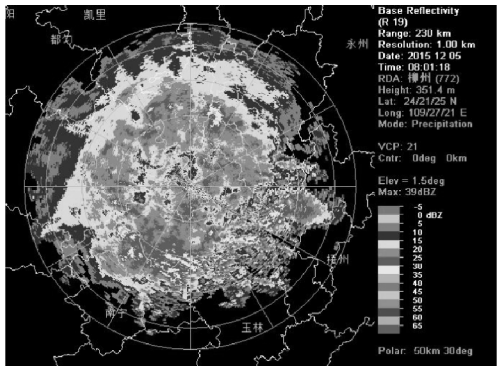
(2)当仰角为 2.4°第 3 层时, $Z_T = 20$ dBZ 时,取 $C_+ = 150$, $C_- = 1600$ 的谱分布图,遮挡分布图和第 3 层仰角 PPI 反射率图如图 5 所示。



(a) 谱分布图



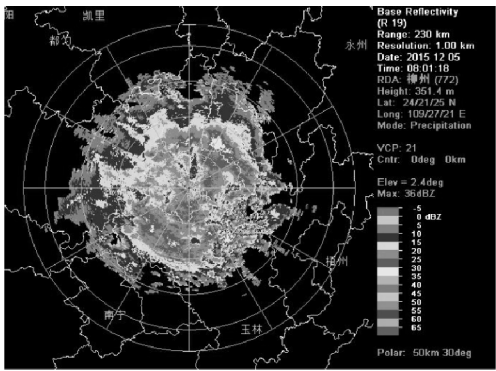
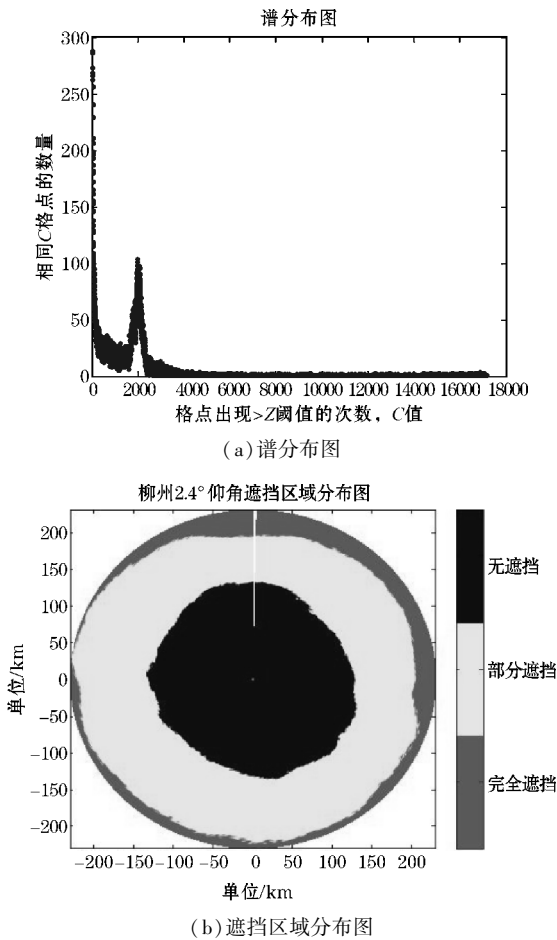
(b) 遮挡区域分布图



(c) 2015 年 12 月 5 日 08:01 1.45°仰角 PPI 反射率图

图 4 1.45°仰角

从图 5(b)来看,分别在距雷达中心大概130 km和170 km开始出现黄色区域和红色区域,即部分遮挡区域和完全遮挡区域,可能原因同第 2 层仰角出现遮挡区域的原因一致,从而造成误判;从图 5(c)来看,当抬高仰角为 2.4°时,PPI 反射率图的回波范围逐渐缩小。



(c)2015 年 12 月 5 日 08:01 2.4°仰角 PPI 反射率图

图 5 2.4°仰角

综上可知,第 2 层仰角的遮挡分布图的 120°方位处仍能识别出部分遮挡区域;第 3 层仰角的遮挡分布图来看,右下方的遮挡区域识别已经消失,其外围出现完全遮挡和部分遮挡的可能原因同上。实际情况为抬高仰角时,近距离处可能基本为无遮挡区域,而较低仰角层的探测区域内大多存在遮挡区域,并能准确识别。由于第 3 层仰角开始识别出雷达中心四周均为无遮挡

区域,雷达探测边沿的遮挡区域存在远距离处的识别误差,其误差随着雷达仰角和雷达本身的海拔高度的增加而增大,继续抬高仰角,与第 3 层仰角的遮挡区域分布图相似,所以,当低层仰角的遮挡识别区域不再出现时,则不再取高层仰角继续识别。

2.3 与遮蔽角对比分析结果

广西柳州雷达站点遮蔽角图如图 6 所示,是 2016 年 5 月 5 日广西柳州雷达站点遮蔽角图,此站点经度为 109°27′21″E,纬度为 24°21′26″N,海拔高度为 325 m,天线架高为 26 m,雷达在某个方向上发现目标的最小高低角称作遮蔽角,从雷达所在位置开始,根据雷达天线水平方向上的方位角和垂直方向上的高低角发出射线,将每一个格点的高程和地图上相同位置的高程相对应,并进行对比,若地图上对应格点的高程大于这条射线上的高程,则此时该方向上的遮蔽角大于雷达的高低角,当所有径向方向统计结束,出现不平整折线时,则此雷达方位被遮蔽^[9];图 7 是同一时期的广西柳州雷达站点等射束高度图,即在一定大气折射条件下,测站周围的地物导致雷达回波遮挡,得到各个方向上、各种斜距下波束中心轴线能够到达的最低高度,标识探测距离,最终依次连线得到^[10]。它的优点在于考虑了大气折射、地球球面以及雷达天线高度等的影响,图 7 中有 3 个不同高度的等射束图,分别对应 1 km、3 km 和 6 km 的等射束高度图,3 种高度图均显示右下方出现明显不平整折线。因此可得出结论:柳州雷达站点的右下方位置存在部分遮挡区域。

根据广西柳州雷达实际情况也可以看出,位于广西柳州雷达站点右下方与其他雷达探测范围相比有明显缺口,该范围有一定高度的遮挡物出现,造成回波遮挡。

根据设计得到的各层仰角的遮挡区域识别结果,可以看出雷达探测范围内右下方有明显从雷达中心延伸到扫描边沿的方位存在遮挡,与实际情况遮挡情况大概相同。综上所述,可以得出结论:对于广西柳州雷达站点的遮挡情况,设计可以明显识别部分遮挡区域大致位置,该算法具有一定的可靠性和验证性。

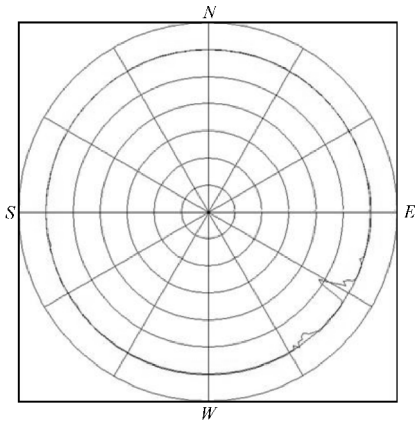


图 6 广西柳州雷达站点遮蔽角图

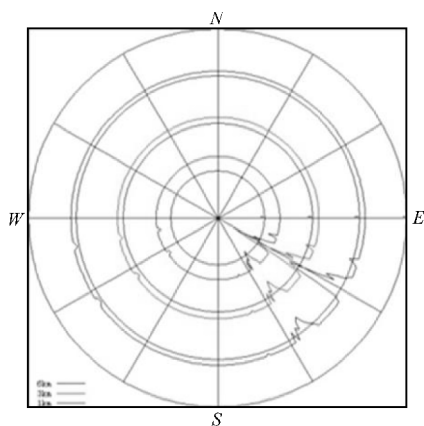


图7 广西柳州雷达站点等射束高度图

3 结束语

雷达观测数据本身具有对大气状态及雷达周边地物遮挡等因素的直观反映的特性,直接利用雷达观测数据的回波特征,识别雷达波束遮挡区域,得到的结果更准确可靠。最后得到的识别结果与等射束图、遮挡角图 and 实际 PPI 反射率图进行对比验证,可以得出以下结论:设计可以有效识别部分遮挡区域大致范围,而远距离处的识别误差随着雷达仰角和雷达本身的海拔高度增加而增大,主要原因是位处低海拔的雷达存在探测盲区,其主要是对流云的探测,与对流云的发展高度有关。但仍需要一定的改进,当抬高仰角时,本设计做出远距离处出现部分遮挡区域或者完全遮挡区域的判断,在回波统计分析模块加以改进,在以后的方案里对这一问题进行完善;对于遮挡范围过大或者地理位置有局限的雷达,对选取的体扫文件要求较高,其反射率数据概率特征更加明显,且尽可能数量较大才可能使识别的遮挡区域分布结果与实际情况相似,得到遮挡区域的识别结果对于雷达数据质量的提高有着重要意义。

参考文献:

[1] 王红艳,刘黎平,何丽萍.浙江山区新一代天气

雷达波束遮挡分析[J].高原气象,2014,33(6): 1737-1747.

- [2] Delrieu G, Creutin J D, Andrieu H. Simulation of radar mountain returns using a digitized terrain model[J]. J Atmos Oceanic Technol, 1995, 12: 1038-1049.
- [3] Gabella M, Perona G. Simulation of the orographic influence on weather radar using a geometric-optics approach[J]. J Atmos Oceanic Technol, 1998, 15 (6): 1485-1494.
- [4] Delrieu G, Caoudal S, Creutin J D. Feasibility of using mountain return for the correction of ground-based x-band weather radar data[J]. J Atmos Oceanic Technol, 1997, 14: 368-385.
- [5] Andrieu H, Creutin J D, Delrieu G, et al. Use of a weather radar for the hydrology of a mountainous area. Part I: Radar measurement interpretation [J]. J Hydrol, 1997, 193: 1-25.
- [6] Pellarin T, Delrieu G, Saulnier G M, et al. Hydrologic visibility of weather radar systems operating in mountainous regions: case study for the Ardeche Catchment (France) [J]. J Hydrometeorol, 2002, 3: 539-555.
- [7] 勾亚彬,刘黎平,李瑞义.基于雷达回波概率特征的雷达部分遮挡区域识别算法[J].高原气象,2015,34(2): 556-567.
- [8] 勾亚彬,刘黎平,杨杰,等.基于雷达组网拼图的定量降水估测算法业务应用及效果评估[J].气象学报,2014,(04): 731-748.
- [9] 李舰,肖明,麻红.基于 DIS 技术的雷达模拟器遮蔽角算法及其应用[J].系统仿真学报,2004, (3): 441-442, 449.
- [10] 谢纪民,薛学军,王晓录.利用等射束高度图分析运城雷达的探测能力[J].山西气象,2003, (2): 28-29.

Identification of Weather Radar Shielding Region

JIANG Qiu-fei¹, WANG Xu^{1,2}, HE Jian-xin^{1,2}, LIU Feng³

(1. College of Electronic Engineering, CUIT, Chengdu 610225, China; 2. Key Laboratory of Atmospheric Sounding, China Meteorological Administration, Chengdu 610225, China; 3. Liuzhou Meteorological Bureau, Liuzhou 545001, China)

Abstract: Shielding is the result of weather radars beam under the influence of complex topography, with low elevation, the weather radar beam is often blocked by terrain and tall surrounding buildings, so that it seriously affects data quality of weather radar detection, and also affects the data quality of multi-radar mosaic and other second products. To identify shielding region, this paper uses continuous operational weather radar reflectivity directly, according to the features of observation data, it can identify the weather radar shielding area. The Information selects the observation data during the period between May and December in 2010 at Liuzhou, this article firstly read reflectivity data during a period of time; secondly, does statistics work to count the probability about reflectivity which exceeds a threshold within each range bin; in addition, with the statistics results, and to analysis the features of echo probability; then to select adequate probability threshold; finally, to get the different natures of shielding region (completely shielding, partial shielding or no shielding). Examples of using the approach to identify the blocked area show that: for the lower-altitude Inland radars (such as Liuzhou, Guangxi), the approach can effectively identify weather radar shielding area.

Keywords: weather radar; reflectivity; probability characteristics; shielding region