

变分法和卫星云图模式识别 在强降水面雨量预报中的应用^①

王登炎 李德俊 金 琪

(武汉中心气象台, 430074)

提 要

假设数值预报对雨量的落区预报是准确的,用卫星云图模式识别预报的流域雨量极值,应用变分法对数值预报雨量极值进行订正,使得订正预报与未订正场之间的泛函达最小,从而求得预报场。试验证明,该方法对强降水面雨量预报的准确率较数值预报有一定提高。

关键词: 卫星云图 模式识别 变分法 强降水面雨量预报

引 言

流域面雨量的预报,对气象、水文部门防汛抗洪有着极其重要的意义。一般性降水的面雨量预报,目前已有较多的办法,如 MOS、灰色预测等。但对强降水的面雨量预报,除了参考数值预报产品,建立天气图模型外,似乎没有什么好的方法。武汉区域中心数值预报模式 MAPS 强降水的预报可作为湖北省日常业务参考,但预报准确率离我国经济发展的要求还有相当大的距离。我们用卫星云图对暴雨分级进行的研究发现,在区域性强降水强度分级预报上,云图模式识别方法比数值预报准确率更高^[1];对各流域落区预报,则是数值预报报得更好。因此,用变分法,既可以吸取云图模式识别预报量级准确率高的优点,又可以吸取数值预报落区预报好的优点,是提高强降水面雨量的准确率的一种较好的方法。

1 基本原理

1.1 变分方法

根据文献[1],设 MAPS 数值模式雨量预报场为 $A(I, J)$, 用云图对 MAPS 雨量的订正场为 $B(I, J)$, 求预报场 $C(I, J)$, 使

得它与 $A(I, J)$ 和 $B(I, J)$ 之间的泛函达最小。

在进行变分分析时,我们要求预报场必须满足:

①在每一个格点上,使预报场 $C(I, J)$ 与 $A(I, J)$ 和 $B(I, J)$ 之间的偏差最小;

②使预报场 $C(I, J)$ 的变化比较光滑。

由此可得到如下泛函:

$$J = \sum_i \sum_j \{ \alpha_A [C(I, J) - A(I, J)]^2 + \alpha_B [C(I, J) - B(I, J)]^2 + \beta [(\square/\square_x C(I, J))^2 + (\square/\square_y C(I, J))^2] \}$$

令 $\delta J = 0$, 得到亥姆霍兹方程:

$$\nabla^2 C - EC = F$$

$$E = 1/\beta(\alpha_A + \alpha_B)$$

$$F = 1/\beta(\alpha_A A + \alpha_B B)$$

对亥姆霍兹方程进行迭代,得数值解:

$$C^{n+1}(I, J) = C^n(I, J) + (1 + \omega/4 + E) \cdot \{ C^n(I+1, J) + C^n(I-1, J) + C^n(I, J+1) + C^n(I, J-1) - (4 + E)C^n(I, J) - F \}$$

上式中 $\max |C^{n+1}(I, J) - C^n(I, J)| < \epsilon$ 时迭代结束。

① 中国气象局三峡气象保障服务项目资助

$$\alpha_A = 0.2\delta_A(I, J)$$

$$\alpha_B = 0.8\delta_B(I, J)$$

$$\beta = 1$$

$$\delta_A = \begin{cases} 1 & A(I, J) \text{ 有值的点} \\ 0 & A(I, J) \text{ 无值的点} \end{cases}$$

$$\delta_B = \begin{cases} 1 & B(I, J) \text{ 有值的点} \\ 0 & B(I, J) \text{ 无值的点} \end{cases}$$

$$0 < \omega < 1$$

$$\varepsilon = 0.01$$

1.2 云图识别

1.2.1 基元分类

对每一个基元中的像素进行检测,用阈值法对每个像素点进行云分类。像素点最多的云,代表该基元。

1.2.2 句法方法

采用文献[2、3]提供的方法。云图模型的基元为 $V_T = (C_b, C_i, C_u, S_i, M_u)$ 的集合。模型由低槽云系 TR , 云涌 SW , 切变云带 SH , 冷锋云系 FR , 晴空区 CK 组成。

设要推断出的文法是 $G = (V_N, V_T, P, S)$, V_N 是 G 的非终止符的词汇表, V_T 是 G 的终止符的词汇表。

$$V_N = \{S, TR, SW, SH, FR, CK\}$$

$$V_T = \{C_b, C_i, C_u, S_i, M_u\}$$

C_i 为无云区, C_i 为卷云, C_u 为对流云, S_i 为中低云, M_u 为多层云。

设文法可用有限状态文法的推断步骤和上下文无关文法的推断算法来进行推断。推断出的文法为 P 。 $S \in V_N$ 是一个句子的起止符。

云图模型的中心式:

$$S = (TR)_2 (SW)_1 (SW)_2 (FR)_1 (SH) (CK)$$

$$TR = \{C_i^{n1} M_u^{n2} C_u^{n3} \mid n_1 + n_2 + n_3 > m_1\}$$

$$SW = \{C_i^{n1} S_i^{n2} \mid \alpha_1 + \alpha_2 > m_3 \text{ 或 } \alpha_1 > m_3\}$$

$$CK = \{C_i^n \mid n > m_4\}$$

$$FR = \{C_i^{n1} M_u^{n2} C_u^{n3} \mid \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 > m_5\}$$

$$SH = \{C_u^{n1} S_i^{n2} M_u^{n3} \mid \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 > m_6 \text{ 或 } \gamma_1 > m_7\}$$

式中 $m_1, m_2, \dots, m_7$ 为阈值。以上有限状态文法推出。用有限状态自动机对云图

模型的基元进行自下而上,自左而右的剖析。该有限状态自动机是一个五元式:

$$A(\Sigma, Q, \delta, q_0, F)$$

$\Sigma = \{C_i, C_i, C_u, S_i, M_u\}$ 是输入符号有限集。

$Q = \{TR, SW, SH, FR, CK\}$ 为状态的有限集。

$F \in Q$ 是终止状态的集合, $q_0 \in \Sigma$ 是初始状态, δ 是 $Q \times \Sigma$ 到 Q 的映射。

$$\delta(q_0, C_i) = CK, \delta(q_0, C_u) = SH$$

$$\delta(q_0, C_u) = SW, \delta(q_0, C_i) = FR$$

$$\delta(q_0, C_i) = TR, \dots$$

$$\delta(TR, C_i) = TR, \delta(TR, C_u) = TR$$

$$\delta(TR, M_u) = TR, \delta(TR, C_u) = TR \dots$$

对上述有限状态自动机进行剖析后,若能得到中心式,则判断是一般暴雨,是大暴雨,还是特大暴雨。

1.3 云图模型

1.3.1 一般暴雨(50mm)

$$S = (TR)(SW)$$

1.3.2 大暴雨(100mm)

$$S = (IR)(SW)(CK)$$

1.3.3 大暴雨(150mm)

$$S = (TR)_1 (TR)_2 (SW)(CK)$$

1.3.4 特大暴雨(200mm)

$$S = (TR)_1 (TR)_2 (SW)_1 (SW)_2 (SH) (CK)$$

2 处理过程

2.1 MAPS 资料及其它说明

MAPS: 武汉暴雨研究所数值预报模式。

MAPS 资料范围: 长江上游六大流域范围内 $25 \sim 36^\circ N, 95 \sim 113^\circ E$ 。

格距: $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。

强降水面雨量: 指 20.0mm 以上的面雨量。

六大流域: 岷沱江、嘉陵江、乌江、宜宾到重庆、重庆到万县、万县到宜昌。

2.2 云图资料处理

2.2.1 资料来源

采用 1998~2001 年 MICAPS 系统兰勃脱(LAMBERT)投影的可见光及红外云图历史资料。实时资料在武汉气象中心 alpha800

上读取。

2.2.2 LAMBERT 投影变换

可见光云图的太阳高度角订正需要用到每个象素点的经纬度,必须对云图进行 LAMBERT 变换和逆变换。

2.2.3 可见光云图的太阳高度角订正

可见光云图受太阳高度角影响很大,必须进行订正。太阳高度角余弦为: $\cos Q = \sin \phi \sin \sigma + \cos \phi \cos \sigma \cos H$

2.3 MAPS 资料处理

2.3.1 云图极值对 MAPS 雨量极值的订正

对 MAPS 雨量场 $A(I, J)$ 进行搜索,求得上游流域内的雨量极大 $\max A(I, J)$ 。

由云图模型得到 5 个极值中的一个: $\text{cloud} < 50, \geq 50, \geq 100, \geq 150, \geq 200\text{mm}$, 当 $\text{cloud} < 50$ 时 $A(I, J) = B(I, J)$ 不做变分法,直接求面雨量。

当 $\text{cloud} \geq 50, \geq 100, \geq 150, \geq 200\text{mm}$ 时,比较 cloud 与 $\max A(I, J)$ 的大小。

若 $\text{cloud} \geq 50$ 时,则系数 R_1 为: $R_1 = 50/$

$$\max A(I, J), A(I, J) = R_1 \times A(I, J);$$

相同地,当 $\text{cloud} \geq 100, \geq 150, \geq 200\text{mm}$ 时,

$$R_2 = 100/\max A(I, J), A(I, J) = R_2 \times A(I, J);$$

$$R_3 = 150/\max A(I, J), A(I, J) = R_3 \times A(I, J);$$

$$R_4 = 200/\max A(I, J), A(I, J) = R_4 \times A(I, J)。$$

2.3.2 六大流域面雨量的求得

事先确定某流域中心的格点数 (m, n) , 再由 $C(I, J)$ 求得。用算术平均法:

$$\text{面雨量} = \frac{1}{m \times n} \sum_{I=1}^m \sum_{J=1}^n C(I, J)$$

3 试验结果

2002 年 6~8 月进行了业务自动试运行,根据评分规定:预报有 $\geq 20\text{mm}$ 降水时,出现了为 100 分;在 $10 \sim 19.9\text{mm}$ 范围,为 60 分; $< 10\text{mm}$ 为 0 分。运行结果见表 1。表 2 为 MAPS 预报准确率。

表 1 变分法对 2002 年 6~8 月上游流域强降水面雨量预报准确率/%

		沱沱江	嘉陵江	乌江	宜宾—重庆	重庆—万县	万县—宜昌
0~24 小时预报	6 月	32.5	28.8	30.1	29.9	31.2	34.2
	7 月	32.7	30.7	35.7	30.6	31.3	31.9
	8 月	25.4	34.7	33.4	26.2	33.9	27.2
	6~8 月平均	30.2	31.4	33.1	28.9	32.1	31.2
24~48 小时预报	6 月	25.1	25.5	23.7	23.4	22.3	28.8
	7 月	25.6	24.1	25.8	27.5	26.7	24.5
	8 月	23.2	22.1	20.4	21.2	24.3	23.9
	3 个月平均	24.6	23.9	23.3	24.0	24.4	25.7

表 2 MAPS 对 2002 年 6~8 月上游流域强降水面雨量预报准确率/%

		沱沱江	嘉陵江	乌江	宜宾—重庆	重庆—万县	万县—宜昌
0~24 小时预报	6 月	33.3	25.0	37.5	0.0	20.0	50.0
	7 月	0.0	0.0	40.0	16.7	16.7	33.3
	8 月	50.0	0.0	75.0	37.5	0.0	0.0
	6~8 月平均	27.8	8.3	50.8	18.1	12.2	27.8
24~48 小时预报	6 月	33.3	40.0	40.0	0.0	0.0	16.7
	7 月	0.0	33.3	40.0	20.0	22.4	0.0
	8 月	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3 个月平均	11.1	24.4	26.7	6.7	7.5	5.6

4 结 论

通过 2002 年 6~8 月进行的业务自动试运行表明,用变分法对长江上游流域强降水面雨量进行预报,其准确率 0~24 小时在

25%~35% 之间,平均比 MAPS 提高了 7% 左右;24~48 小时为 23%~29%,平均比 MAPS 提高了 11% 左右。因此,该方法对日常业务有一定参考价值。(下转第 37 页)

参考文献

- 1 Ninomiya. K, et al. Objective analysis of heavy rainfall based on radar and gauge measurement. Journal of Meteorological Society of Japan, 1987, 56(3).
- 2 王登炎. 暴雨分级卫星云图模型和模式识别. 热带气象学报, 2001, 17(3): 22~24.
- 3 戴汝为. 模式识别及其应用, 北京: 科学出版社, 1986.

Application of Variation Method and Pattern Recognition of Satellite Image to Forecasting of Heavy Area Rainfall over the Upper Reaches of Changjiang River

Wang Dengyan Li Dejun Jinqi

(Wuhan Central Meteorological Observatory, 430074)

Abstract

Under the condition of assumption that it is correct of area rainfall forecasting of NWP, pattern recognition method of satellite image is used to forecast maximum heavy rainfall and correct maximum rain of MAPS. Variation method has been used to get minimum of objective function between correct field and incorrect field. The forecast tests showed that the methods have advanced accuracy of heavy area rainfall forecasting.

Key Words: satellite image pattern recognition variation method forecasting of heavy area rainfall