

数字卫星云图估算面雨量的应用试验

杨 扬 戚建国

(水利部水利信息中心,北京 100761)

提 要

使用云分类和降水率估计的方法,用静止气象卫星数字云图进行面雨量估算。对1993年8月4日华北南部一次降水过程的实测雨量与估算结果的对比分析表明,这种估算方法对雨区的判别有相当高的精度,对雨量的估计有一定的参考价值。

关键词: 静止卫星云图 面雨量估算 对比分析

前 言

我国汛期发生的洪水绝大多数是由降水造成的,天气的变化,降水的分布、强度及持续时间等因素直接关系着洪水的产生、发展趋势和性质。对降水天气的监视、对实况降水量及时全面的了解是防汛工作中的一项重要任务。在当前降水预报的精度还不能满足防汛工作要求的情况下,更需要通过对降水的实时监视和分析并参考气象部门的降水预报对未来的降水趋势进行推测,为洪水预报和防洪调度决策提供有效的参考信息。

近年来,随着科学技术的发展,一些先进的探测手段如气象卫星、天气雷达等已开始用于降水量监测业务。原水利部水调中心自1980年开始建立日本静止气象卫星(GMS)接收站,以后又建立了气象雷达资料传输处理系统,逐步将卫星云图和气象雷达回波信息用于日常的降水监视预测中,主要是定性了解降水的范围、强度和移动方向,从而补充测站雨量的不足。目前美国等国家已成功地

将测站资料、雷达资料、卫星资料进行综合分析,得到面雨量估算值并将其用于水文预报,提高了预报精度和有效预见期。为了充分利用多种探测手段,得到更加及时、准确、全面的定量降水信息,并使这种资料有效地用于洪水预报和防洪决策中,我们在近两年进行了一些初步尝试,与中国科学院大气物理所合作开展了卫星云图定量估算降水及其应用的试验,结果表明对提高降水的监测水平有一定的作用。本文对此进行较详细的介绍。

1 卫星云图估算降水的方法

我国大部地区处于中纬度,产生降水的云一般为层云和对流云,特别是在大片的层云中不断产生和发展的强对流云团往往造成暴雨,而大范围持续性的暴雨是造成较大洪水的直接原因。在选择试验方案时主要考虑以下几点要求。(1)能够比较准确地将产生降水的云(层云和对流云)与不产生降水的云区分开;(2)能比较好地适用于不同纬度的地区;(3)能够实现自动处理,包括参数的自动调整。具体方法分为云分类和降水率估算两个步骤。

1.1 云分类

根据红外云图的亮度温度和可见光云图的反照率与不同的云之间的关系,用贝叶斯决策方法对GMS卫星一小时间隔的可见光和红外云图作为判别的两个特征,将云图分为不同的类。假设由可见光图象 V 与红外图象 I 组成的每一个像素,都来自 G 个类 A_1, A_2, \dots, A_G 中的一个,对其中一个像素 $X(x_o, x_i)$,要将它划归 G 个类中的某一个类 $A_g (g=1, 2, \dots, G)$,根据贝叶斯准则,且仅当

$$P(X|A_g)P(A_g) \geq P(X|A_i)P(A_i) (i=1, 2, \dots, G)$$

其中, $P(X|A_g)$ 为 X 在 A_g 类中的条件概率, $P(A_g)$ 为所用图象中 A_g 类的先验概率(详细的计算过程见参考文献[3])。

实际分类时,取 $G=7$,即1:晴空,2:低云,3:中云,4:对流云,5:层云,6:中低云,7:卷云。其中仅对流云和层云为可能产生降水的云。分类的初始参数通过对训练样本动态聚类的方法获得,每次分类后重新计算每一类的分布函数和先验概率作为下一时刻云图分类的依据。这就达到了在分类过程中不断学习的效果,使计算能够自动进行,同时受季节、天气系统等具体影响较小。在夜间没有可见光云图的情况下,则利用白天不断更新_云的分类结果作为阈值对红外云图进行密度分割。除某些高云区与深厚云区有混叠外,总的来说分类能满足要求。

1.2 降水率估算

在分类的基础上,对分出的层云和对流云用不同的方法分别估算其降水率。目前采用的是Adler和Negri 1988年提出的对流云层云方法(CST)并进行了改进。其主要步骤如下:

(1)在对流云中找出对流核心。通过搜索对流云区中亮度温度比周围低的点并衡量其活跃程度,确定对流核心像素 T_c (T_c 为核像素的亮度温度)。

(2)计算对流降水区域 A_c 。根据一维云模式, A_c 与 T_c 有如下线性关系:

$$\ln(A_c) = aT_c + b, \text{ 这里取 } a = -0.0465, b = 15.27.$$

(3)计算对流区中的降水率 R_c ($\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)。 A_c 中 T_c 降水率由下式估计:

$$R_c = V_n/A_c$$

其中 V_n 为凝水质量下降率,根据一维云模式, $V_n(T_c)$ 由下式给出:

$$\ln(V_n) = cT_c + d, \text{ 因此最后可得:}$$

$$\ln(R_c) = eT_c + f \text{ 其中 } e = c - a, f = d - b, \text{ 在实际计算中, } e = -0.0257, f = 7.608.$$

(4)估计层云降水率。由于层云降水比较均匀,根据不少专家的研究成果,取平均值 $2\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 作为层云的降水率。

详细的估算方法请参见参考文献[4]。

2 应用试验

这里我们选取了1993年8月4日01—06时GMT云图估算结果与同时段的降水量观测值进行对照分析,以检验云图估算降水的效果。

2.1 资料的选取和处理

1993年8月3—5日我国东部地区受高空槽和温带气旋的影响产生一次较大降水过程,雨带为西南东北向,主要雨区在川东、河南、山西、河北、山东等地,其中河北南部、山东南部出现了特大暴雨。暴雨主要是由低槽冷锋云系与涡旋云系相叠加而产生的。图1为1993年8月4日14时红外和可见光云图以及云分类图和降水率估算图。选取的估算范围约为 30°N — 45°N 、 105°E — 120°E 的 $225 \times 10^4 \text{km}^2$ ($1500\text{km} \times 1500\text{km}$)的区域,为了便于观察分析,将云图资料与实测雨量资料进行了如下的计算和处理:

(1)分别估算01—06时每小时的降水率并将结果进行等积圆锥投影变换。

(2)将6次估算结果累加得到累计雨量

估算值图象, 图象中的每个象素值为估算雨量值。

(3) 为便于与雨量资料匹配, 将估算雨量图象放大一倍成每象素点 2.5km, 从中截取 600×600 象素点的正方形区域图象 R_1 。

(4) 将此区域中的 6 小时降水量观测值选出(共 82 个), 用动态加权方法进行降水插值计算, 得到面雨量分布图象 R_0 , R_0 的象素值为实测雨量插值得到的雨量值。

出实测的雨量值几乎全部落在 R_0 的有雨区中, 而 R_0 由于受插值算法和观测站点疏密不均的影响, 并不一定能真实地表达面雨量分布实况, 因此我们认为就雨区的识别而言, 用云图估计的精度可能会高于用实测雨量插值得到的面雨量精度, 特别是在雨量站较稀少和降水分布不均匀的情况下。

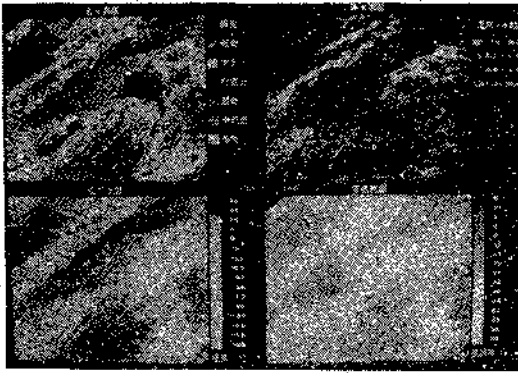


图1 1993年8月4日14时卫星云图
左上:云分类图 左下:红外云图
右上:降水率图 右下:可见光云图

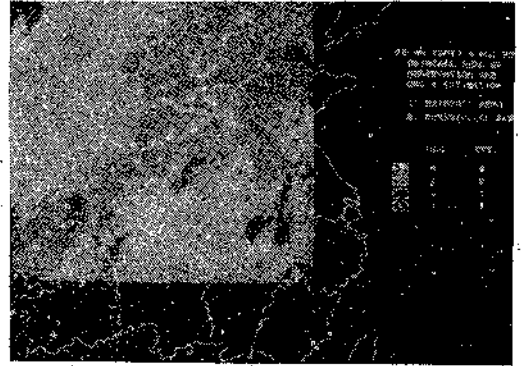


图2

2.2 估算雨量与实测雨量的对比分析

2.2.1 实测面雨量与估算面雨量对比

首先进行雨区的对比。用 R_0 和 R_1 分别做出两个无雨为 0, 有雨为 1 的二值图象, 将这两个二值图象进行交叉运算后, 生成一个含有 4 个值的新图象 R_{01} 。4 个值分别为: 1: 实测无雨, 估算有雨; 2: 实测无雨, 估算无雨; 3: 实测有雨, 估算有雨; 4: 实测有雨, 估算无雨。然后将 82 个实测点雨量叠加到 R_{01} 上, 成为图 2。表 1 为 R_{01} 中每个值的象素数, 从中可看出, R_{01} 中值为 2 和 3, 即实测和估算相一致的象素数占全部象素数的 79.89%, 即如果将 R_0 中的雨区分布作为实况, 则 R_1 的雨区判别正确率约为 80%。实际上从图 2 可以看

表1 图象 R_{01} 中各值的象素数

象素值	实测	估算	象素数
1	无雨	有雨	27475
2	无雨	无雨	144429
3	有雨	有雨	143157
4	有雨	无雨	44939

第二步进行雨量的对比。图 3 为将 R_0 和 R_1 进行每 10mm 为一级的等值线分割后的两幅图象。从中可看出, 强降水中心的位置两张图对应的不错, 而中心量级却出入很大。在华北地区实测的雨量大于估算的雨量, 而在川东的雨区中实测的雨量小于估算的雨量。按图 4 所示, 将图象分为西南(1 区)和东北(2 区)两个区。分别计算两个区的面平均雨量, 结果见表 2。计算进一步证实了在图 3 中看到的现象。参看图 1 可见光和红外云图可以发现, 2 区对应的华北地区在大片的层云

中镶嵌着对流云团,云顶温度偏暖,从天气图上可看到此时气旋正在发展加强阶段,水汽供应充沛,具备产生持续强降水条件。而在1区对应的川东地区为一孤立的对流云团,虽然云顶温度较低,但已到了降水过程的后期,系统已处于减弱阶段。因此目前的估算方法由于没有很好地考虑周围环境的影响和系统演变的过程而还存在着较大的误差。



图3 实测(右)与估计(左)雨量图

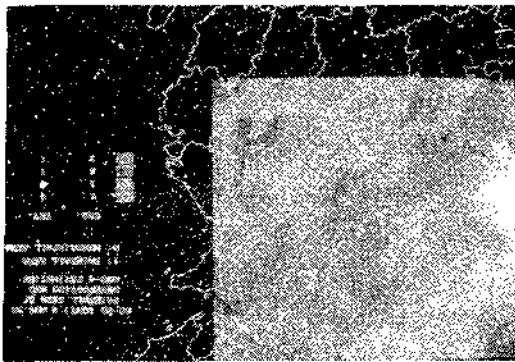


图4

表2 1、2区面平均雨量/mm

区号	实测	估算
1	7.1	8.4
2	14.9	8.2

根据82个实测点的坐标位置,提取相应点的估算雨量值,实测值与估算值的相关系数为0.507,平均相对误差为-50.29%。

从面雨量的对比分析中能看出由于环境背景的不同,降水估算的误差倾向也不同。为进一步考察这种现象,我们分别进行了1区和2区的实测点雨量与估算雨量的对比。1区有14个实测雨量值,与相应点估算值的相关系数为0.585,平均相对误差为0。2区取67个实测值,与估算值的相关系数为0.639,平均相对误差为-55.97%。表3为三个不同区域的计算结果,其中0区为图4整个区域。从中可看到不同的天气背景对估算产生的影响,而在同一天气背景下估算值与实测值的线性关系有所提高。

表3 各区实测点雨量与相应点估算雨量对比

区号	雨量点数	实测平均值/mm	估算平均值/mm	平均相对误差*/%	相关系数
0	82	25.5	12.7	-50.29	0.507
1	14	15.5	15.5	0.0	0.585
2	67	28.2	12.4	-55.97	0.639

* 平均相对误差=(估算平均值-实测平均值)/实测平均值

3 地理信息系统的初步应用

值得一提的是,在以上工作中大量的点数据和图象数据的加工处理、分析计算和显示输出是用地理信息系统软件完成的。由于地理信息系统软件能够对空间的点、线、面数据进行综合有效的管理、分析和输出,因此一旦将数据接口做好后,就可以很方便地用其自身的功能完成图象的分类、合成、投影变换、交叉运算、插值计算、点面数据转换叠加、统计绘图、制表等大量工作,可大大地提高工作效率,进行多种多样的试验,输出高质量的图形图象产品,起到其他软件无法替代的作用。

4 结语

2.2.2 实测点雨量与估算雨量的对比

本方法不需人工干预便能完成云图分类和雨量估算。经过一段时间的试验,于1992年将研制的计算业务软件纳入到卫星云图接收处理系统中,汛期每天进行雨量的实时估算。通过云图能随时掌握降水的区域和量级变化,为防汛工作提供了更准确及时的信息。

从估算的结果来看,对雨区的判别具有相当高的精度,对面雨量的量级估计有一定的参考价值,如根据不同的天气背景进行修正,精度会进一步提高。

目前的估算方法还有待改进。首先应考虑环境场的作用和云、雨时空变化的影响,此外还需要做大量的对比分析和验证,不断提高估算的精度以使其达到实用的水平。

由于红外、可见光探测仪所探测到的并不是直接的降水信息,因此,要使面雨量估算达到更高的精度以致能在洪水预报中作为雨量输入使用,还需要引入测雨雷达数据并对实测雨量计雨量、雷达探测雨量和卫星云图

估算雨量进行自动与人机交互相结合的综合分析修正,才能得到最优面雨量分布资料。

致谢 吴炳方博士对图象处理和地理信息系统的应用给予了大力协助,特此感谢。此项工作得到水利部计划司的经费支持,在此一并致谢。

参考文献

- 1 杨扬,防汛工作中气象信息的收集和应用.水文,1991年第3期.
- 2 Michael D. Hudlow, Albert peterlin, Robert C. Shedd. Preliminary Operational Results from Application of the Next Generation Weather Radar to Hydrologic Forecasting People's Republic of China/United States Flood Forecasting Symposium/Workshop, Shanghai, 1992, 4. 14—4. 21.
- 3 周凤仙,李俊,王路易. GMS云图的自动分类及其在暴雨监测中的应用.气象,1992,18(5).
- 4 Li Jun, Wang luyi and Zhou Fengxian(1993), Convective and Stratiform Cloud Rainfall Estimation from Geostationary Satellite Data, Advances in Atmospheric Sciences, 1993,10(4):475—480.
- 5 Adler, R. F. and A. J. Negri, A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall, J. Applied Meteorology, 1988, 27: 31—51.

The Test of Areal Rainfall Estimation Application Using GMS Digital Image Data

Yang Yang Qi Jianguo

(Water Information Center, Min. of Water Resources, Beijing, 100761)

Abstract

The method of cloud classification and rainfall rate calculation are used in areal rainfall estimation of GMS imagery data. The comparison between estimation and observation of a rainfall event in Aug. 4, 1993. South Huabei of China demonstrates that this method is accurate in rainfall area detection and significant in rainfall amount estimation.

Key Words: GMS imagery data areal rainfall estimation comparison analysis