

热带气旋客观实时业务定位的试验研究

徐一鸣 吴天泉
(上海台风研究所)

提 要

本文介绍了一个热带气旋实时业务定位的客观方法,并将1988年的热带气旋作了独立的试验研究。方法是对接收到的卫星及雷达位置报告进行加工处理,利用西北太平洋气候及持续性路径预报技术(WPCLPR)产生一条可能的移动路径,使用一系列的加权多项式插值而得到一个客观确定的热带气旋新的警报位置。从试验的情况来看,该方法对预报员是一个有效的工具,可用于客观地确定热带气旋的现行位置。

一、引 言

热带气旋的实时定位是做好热带气旋路径预报的关键一步。一般来说热带气旋未来的移动与其前期路径有密切的关系,众多的客观预报技术均对持续性因素给予特别重视,有些客观预报甚至考虑了最大限度地利用气象资料接收所需要时间,使用了预报起始时刻后六小时的位置资料。因此,对于统计模式来说实时热带,气旋定位的优劣直接影响了预报的效果,而对于动力模式也是如此。Sanders等^[2]讨论了SANBAR正压热带气旋路径预报模式的预报效果,由于初始气旋流场的正确而得到了改进。热带气旋的移动是多尺度非线性作用的结果,会出现打转、突然转向和加速、蛇形振荡路径等。定位所依据的是飞机探测、卫星、雷达以及常规天气资料。这些不同来源资料的精度是各异的,且又会随着气旋强度不同而不同。

热带气旋实时定位工作目前还处于经验阶段,用客观方法作实时定位还刚刚开始。徐一鸣等^[3]所研制的热带气旋路径预报气候持续性方法曾为Curry等^[4]的客观预报技术提供了依据。本文又在此基础上作了调正研究,并将得出的客观定位方法用于1988年西北太平洋热带气旋的定位试验,得出了较好的结果。

二、技术方法

Xu(徐一鸣)和Neumann(1985)开发了一个西北太平洋气候持续性模式(WPCLPR)用

以预报热带气旋每 12 小时的未来路径。模式要用到的资料是热带气旋当前位置、前 12 及 24 小时经纬向位移,当前的最大风速及日期。用上述基本资料的交叉乘积得到 165 个可能预报因子,采用二次逐步筛选方法得出预报方程。

本定位方法是根据上述预报位置,利用卫星或雷达的定位,再结合历史路径资料从而得到一个比较光滑且适当的路径内插出实时定位所需要的位置。

设定已有初始时刻、前 24(其时刻记为 T_{-24}^w)、前 18(T_{-18}^w)、前 12(T_{-12}^w)、前 6(T_{-6}^w)小时及初始时刻(T_0^w)规定时间的警报位置,目的是要确定后 6 小时(T_{+6}^w)的位置。

设定已有初始时刻后, T_{SR} 时刻的卫星或雷达定位。 T_{SR} 在 T_0^w 后 0—6 小时内。具体做法是:

1. 用加权的三次多项式根据 $T_{-24}^w, T_{-18}^w, T_{-12}^w, T_{-6}^w$ 及 T_0^w 时刻的位置内插出 T_{SR-24} 及 T_{SR-12} 时刻的位置。 T_{SR-24} 及 T_{SR-12} 分别为 T_{SR} 时前 24 及前 12 小时。加权多项式插值时对不同位置点上资料给以不同权重。该点在时间坐标上离被插值点的距离大则权重小,反之则大。例如此次插值权重分别为 10(T_{-24}^w)、15(T_{-18}^w)、15(T_{-12}^w)、10(T_{-6}^w)和 5(T_0^w)。插值多项式:

$$X(t) = \sum_{k=0}^n a_k t^k$$

n 为插值多项式的阶次, X 代表经度或纬度, t 为时间坐标, i_0 个资料点上权重为 W_i ($i=1, 2, \dots, i_0$), 则插值系数 a_k ($k=0, 1, \dots, n$) 可通过解下列线性代数方程组得到

$$\begin{pmatrix} C_0 & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_{n+1} \\ C_2 & C_3 & C_4 & \dots & C_{n+2} \\ \vdots & & & & \\ C_n & C_{n+1} & C_{n+2} & \dots & C_{2n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_0 \\ D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_n \end{pmatrix}$$

$$C_k = \sum_{i=1}^{i_0} W_i t_i^k \quad (k = 1, 2, \dots, 2n)$$

$$D_k = \sum_{i=1}^{i_0} W_i (t_i)^k \quad (k = 0, 1, \dots, n)$$

2. 用 T_{SR-24}, T_{SR-12} 及 T_{SR} 时刻的位置资料, T_{SR} 时刻的最大风速以及当时日期作为输入, 运算 WPCLPR 得到 T_{SR} 时刻后 12(T_{SR+12}) 及 24(T_{SR+24}) 小时时的预报位置。

3. 根据 T_{SR}, T_{SR+12} 及 T_{SR+24} 时刻的位置, 线性内插出 T_{SR+6} 及 T_{SR+18} 时刻的位置。

4. 根据 $T_{-24}^w, T_{-18}^w, T_{-12}^w, T_{-6}^w, T_0^w, T_{SR+6}, T_{SR+12}, T_{SR+18}$ 及 T_{SR+24} 时刻的位置, 用加权的四次多项式插值确定目标点 T_{w+6} 时的位置(暂定)。

5. 如果还有其他的卫星或雷达定位资料则重复上述 1—4 过程, 以得到 T_{w+6}^w 时刻的另一位置(暂定)。

6. 对所有的用上述方法得到的 T_{w+6}^w 时刻的位置(暂定)进行加权平均。

$$\bar{X} = \sum_i \frac{T_i X_i}{A_i^3} / \sum_i \frac{T_i}{A_i^3}$$

其中 X_i 表示由第 5 步所得到的 $T_{i,6}$ 时的警报位置的经度或纬度, A_i 及 T_i 分别为该种卫星或雷达定位的精度(用历史平均误差来表示,并可进一步考虑台风图象或回波中有无明显眼区情况作出区分)及时间(用 T_{SR} 来表示)因子。

图 1 给出了上述过程的计算流程。

三、试验结果

我们根据上述技术方法,对 1988 年的全部西北太平洋热带气旋进行了客观定位试验,共 13 个热带气旋 137 个个例。

1. 技术方法中的初始时刻及初始时刻前的警报位置,采用的是中央气象台的实时业务定位。

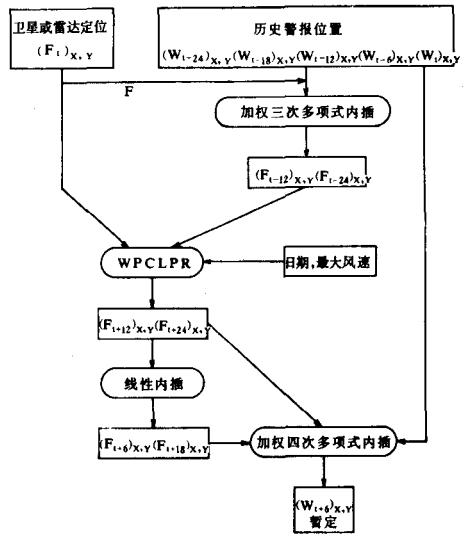


图 1 计算流程图

2. 个例的确定的条件是有初始时刻前 24 小时的业务定位资料,有初始时刻后的卫星或雷达定位资料,该热带气旋路径位于 WPCLPR 的有效区域内 ($5^{\circ}-35^{\circ}N$; $150^{\circ}E$ 以西)。

3. 为试验的方便起见,使用的卫星或雷达定位资料仅限于 3 个以内。

在上述情况下,对所有的 137 个个例作出了客观定位,以台风年鑑的最佳位置作为标准,计算了客观定位的误差,并同时中央气象台初始时刻后六小时的实时业务警报位置与最佳位置的距离作为业务定位误差(两种误差均以公里为单位)。

图 2 给出了对不同强度的热带气旋两种定位之间的差异。即客观定位减去业务定位误差的差值,故负值表示客观优于业务,正值则反之。所谓强度则是以初始时刻热带气旋中心最大风速作为指标的。由图可见,对各种强度的热带气旋,二种定位之间的差一般来说落入 $-6\sim 6$ 公里范围的为最多,即两种定位差别不大。此外,对于强度比较强的热带气旋业务定位较客观定位正确,而随着强度的逐步减弱(由下向上),则这种趋势越来越不明显。对于热带风暴和强热带风暴级甚至有约

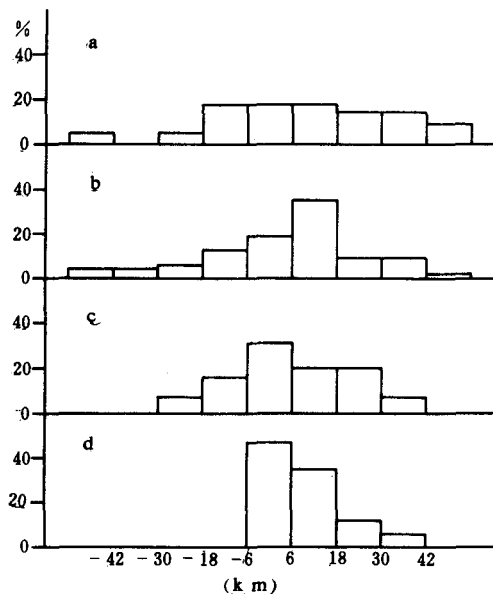


图 2 客观与业务定位误差比较图

(a) < 25m/s (b) 25—35m/s (c) 35—45m/s (d) ≥ 45m/s
(横坐标数值为客观减业务的定位误差,以 km 为单位,纵坐标为各差异档次所占的百分比)

此外,对于强度比较强的热带气旋业务定位较客观定位正确,而随着强度的逐步减弱(由下向上),则这种趋势越来越不明显。对于热带风暴和强热带风暴级甚至有约

30%的热带气旋客观定位优于业务定位。这种情况是符合实际的,因为对于强度比较强的热带气旋业务警报位置相对较容易确定,并不一定要参考其他信息。而对于强度弱的热带气旋,由于本方法综合了多种信息,并利用了气旋持续性因素,效果较好。

表 1 不同热带气旋两种定位平均误差及均方差对照表

| 编号 | 个例数 | 平均误差(km) | | | 均方差(km) | | |
|------|-----|----------|----|----|---------|----|----|
| | | 客观 | 业务 | 符号 | 客观 | 业务 | 符号 |
| 8802 | 8 | 32 | 25 | - | 25 | 21 | - |
| 8803 | 15 | 24 | 13 | - | 22 | 19 | - |
| 8804 | 4 | 80 | 11 | - | 40 | 15 | - |
| 8805 | 17 | 15 | 11 | - | 12 | 15 | + |
| 8807 | 3 | 21 | 20 | - | 8 | 4 | - |
| 8814 | 5 | 67 | 54 | - | 73 | 61 | - |
| 8817 | 3 | 15 | 25 | + | 7 | 19 | + |
| 8818 | 8 | 33 | 25 | - | 11 | 19 | + |
| 8820 | 16 | 17 | 7 | - | 14 | 16 | + |
| 8821 | 2 | 19 | 12 | - | 3 | 12 | + |
| 8822 | 20 | 17 | 18 | + | 14 | 14 | = |
| 8823 | 12 | 25 | 26 | + | 18 | 28 | + |
| 8824 | 24 | 21 | 23 | + | 15 | 29 | + |

表 1 给出了两种定位对各个热带气旋的平均误差和均方差。表中第二列数字为各个热带气旋的个例数。表中“+”号表示客观定位优于业务定位,“-”号则反之。由表可见就平均误差而言,约有 $\frac{1}{3}$ 的热带气旋客观定位优于业务定位, $\frac{2}{3}$ 则相反。而就均方差而言约有 $\frac{2}{3}$ 的热带气旋客观定位优于业务定位,即客观定位方法较为稳定。

表 2 1988 年急转向热带气旋转向位置定位精度

| 编号 | 初始时刻 月 日 时 | 初始时刻 最佳位置 | | 后六小时 最佳位置 | | 转折 角度 | 后六小时 本方法定位 | | 本方法定 位误差(km) | 后六小时 中央台定位 | | 中央台定 位误差 (km) |
|------|---------------|--------------|-------|--------------|-------|----------|---------------|-------|-----------------|---------------|-------|---------------------|
| | | 纬度 | 经度 | 纬度 | 经度 | | 纬度 | 经度 | | 纬度 | 经度 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 8802 | 6 1 08 | 20.2 | 117.5 | 20.6 | 118.0 | 70° | 20.6 | 118.0 | 0.0 | 20.5 | 118.1 | 15.1 |
| 8814 | 9 15 08 | 31.5 | 142.0 | 32.2 | 142.5 | 50° | 32.2 | 142.4 | 8.8 | 32.1 | 142.5 | 10.8 |
| 8818 | 9 24 02 | 23.6 | 126.4 | 24.6 | 127.4 | 50° | 24.2 | 127.4 | 44.4 | 24.1 | 127.7 | 63.2 |
| 8822 | 10 12 14 | 19.2 | 129.6 | 19.5 | 129.3 | 45° | 19.4 | 129.1 | 23.6 | 19.3 | 129.3 | 22.3 |
| 8822 | 10 13 20 | 22.0 | 129.0 | 22.1 | 129.4 | 70° | 22.2 | 129.3 | 14.9 | 22.1 | 129.4 | 0.0 |
| 平均误差 | | | | | | | | | 18.3 | | | 22.3 |

由于本方法考虑了一定的持续因素,因此当热带气旋移动方向变化较大时,方法的定位精度是否会受到较大影响,还需验证。为此,我们考察了属试验研究范围的 1988 年所有

急转向热带气旋(转向点转折角度 45 度以上),其编号为 8802、8814、8818、8822。将其转向点的前一时刻(以六小时为单位)作为初始时刻,考察方法对后六小时的定位精度(定位与最佳位置比较)。表 2 列出了本方法对转向热带气旋转向点前一时刻的后六小时定位精度与中央台定位精度的对照。由表可见前者较后者为优,本方法具有对路径变化较大的热带气旋的定位能力。WPCLPR 并非外推法,此外,本方法较好地使用了卫星和雷达资料是对转向路径能作出适当定位的原因。

四、前期业务定位的检误

本方法使用了初始时刻及其前期的位置资料,由于在实时业务的状态下最佳位置尚未产生,只能以中央台警报位置作为前期位置,因此中央台实时业务定位的误差^[1]将对本方法的后期定位产生影响,为了尽量避免这种情况的发生,我们设计了对前期位置进行检误的流程,可在本方法运行的过程中对历史位置作一次尽可能的检误。流程如此进行:

1. 先根据前文所述运行一次本方法的全过程,以得到后六小时 $T_{\#}^w$ 警报定位(暂定)。

2. 在时间坐标上有这样一些时刻点是历史位置的时刻,即 T_{-24}^w 、 T_{-18}^w 、 T_{-12}^w 、 T_{-6}^w 、 T_0^w 。利用这些时刻的位置资料以及 $T_{\#}^w$ 时刻的定位(暂定)对历史资料进行一次检查。

令自变量为时间,应变量为经度或纬度的三阶 Lagrange 插值,根据被检查时刻点周围除被检查点外的其他点的不同组合,每四个点构成一组,共四组位置资料,得到被检查点位置上四个 Lagrange 插值,将此四个值分别与被检查点上位置值进行比较,得四个差值,如果它们均大于允许差值范围,则认为被检查点上原来的位置资料是错误的,应予剔除,并以四个插值的平均值来代替。

上述过程之所以要求四个差值均超过允许范围才将被查资料剔除,是为了避免因周围点的错误造成对被查点的错误判断。如周围某点资料本身错,因为四组资料采用了不同点的组合,那么必有一组这点不在其中。

3. 在对前期资料检误结束后,再运行一次前文的客观定位过程,得到 $T_{\#}^w$ 时刻最后的警报位置。

还是以 1988 年的热带气旋资料进行上述检误试验,从结果来看,检误后效果有了改进。

表 3 列出的是本定位误差在检误前后变化超过 20km 的个例情况,由表可见,增加了对前期资料的检误后,效果是明显的。但第 3 例的情况不太好,由此引出了我们对路径定位原则的商榷(见图 3b)。图 3(a, b)是表 3 所列的第 1 和第 3 例的图示。由图 3a 可见此例对于 0h 位置的纠误是适当的,后六小时定位的效果也好。图 4 中最佳位置自 -6h 开始向下有一个小弯曲,造成本方法对 0h 位置纠误后的后六小时定位误差反而增大的情况。如果按照本方法所确定 -6h 位置在实时业务定位点附近及 0h 位置在 Δ 点则整个路径即呈现光滑。至于最佳位置是否需要或实际情况是否确实有这样的小弯曲这是值得商榷的。

表 3 前期资料检误前后变动超过 20km 的个例

| 编号 | 时 刻 | | | 检误前定位误差 | 检误后定位误差 |
|------|-----|----|----|---------|---------|
| | 月 | 日 | 时 | (km) | (km) |
| 8802 | 6 | 2 | 20 | 40.1 | 0.0 |
| 8818 | 9 | 23 | 02 | 20.4 | 0.0 |
| 8821 | 10 | 9 | 20 | 15.4 | 39.8 |
| 8824 | 10 | 27 | 02 | 31.6 | 0.0 |

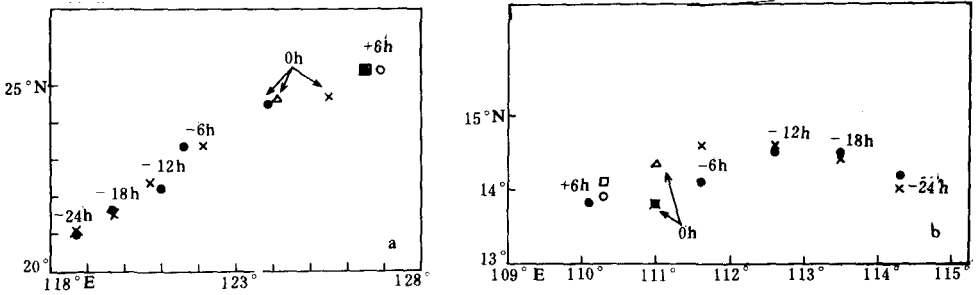


图 3 定位情况图(a)8802 台风 6 月 2 日 20 时 (b)8821 强风暴 10 月 9 日 20 时

(• 最佳位置 × 中央台实时定位 △ 本订正位置
 □ 纠误后的后 6 小时定位 ○ 纠误前的后 6 小时定位)

五、小 结

本客观定位采用了 WPCLPR 气候及持续性方法基本上是成功的。

从 1988 年全年的试验结果看,总体上说本客观定位与实际的业务定位多数差别不大,对于那些强度比较强的热带气旋则业务定位效果好些。然而从定位的稳定性来说,本客观定位对绝大多数热带气旋较实际业务定位具有比较稳定的效果。对于强度比较弱的热带气旋,实时业务定位比较困难,本方法对这部分热带气旋的定位具有一定优势,对于那些路径突然转折的热带气旋,本方法具有定位能力,可在业务工作中参考使用。

此外,现今的众多热带气旋路径预报模式,均使用初始时刻后六小时位置作为最新信息,以改进预报效果。因此,如果在运行预报模式前先运行本客观定位处理,可较快地得到后六小时位置,赶上预报时效,也可能提高一些预报效果。

参 考 文 献

- [1] 吴中海,西北太平洋台风定位误差的统计分析,气象学报,40,1,109—116,1982。
- [2] Sanders, F., A. Pike and J. Gaertner, A barotropic model for operational prediction of tracks tropical storms, *J. Appl. Meteor.*, 14, 265—280, 1975.
- [3] Xu, Y. M. and C. J. Neumann, A statistical model for the prediction of western North Pacific tropical cyclone motion (WP-CLPR), NOAA Tech. Memo. NWS—NHC 28, 1985.
- [4] Curry, W. T., R. L. Elsberry and C. L. Chan, An objective technique for estimating present tropical cyclone locations, *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1073—1082, 1987.

EXPERIMENTS OF AN OBJECTIVE
OPERATIONAL LOCATION TECHNIQUE OF
TROPICAL CYCLONE

Xu Yiming Wu Tianquan
(Shanghai Typhoon Institute)

Abstract

The experiments of an objective technique for estimating the location of a tropical cyclone from a variety of satellite and radar fix reports are described. The western North Pacific climatology and persistence (WPCLPR) track forecast technique is used to get a potential track from each fix. A tentative warning position is interpolated from a smooth curve that is fit to the future and past positions. When multiple fixes are available, the expected accuracy and the timeliness of each fix could be obtained using the weighing polynomia. The technique was tested by the independent data of 1988. The results demonstrate that this technique is a useful tool for the forecasters to determine the present location of the tropical cyclone.