

集合预报开创了业务数值天气预报的新纪元

刘金达

(国家气象中心, 北京 100081)

提 要

近年来世界上随着几个气象中心的集合预报投入业务, 标志着业务数值天气预报进入了一个新的纪元。在任何时候大气的真实状态是不知道的, 只能近似地描述大气, 所以确切地说, 天气预报问题应该提为在大气的相空间中合适的概率密度函数随时间的演变。在误差的增长超出线性动力学范畴之外, 集合预报是预报大气概率密度函数演变唯一可行的方法。可用扰动的产生是集合预报的主要问题之一。沿着预报系统相空间中最不稳定的方向来扰动初始条件是一种方法, 它是与给定的初始资料相协调确定主要天气类型的最有效的方法。简单地介绍了奇异向量法的基本原理和我国集合预报的发展情况。

关键词: 集合预报 奇异向量法 准确率

前 言

集合预报是国际上 90 年代投入业务的新预报品种。传统上将数值天气预报提为确定的初值问题, 即有了观测值作为初始值, 求解大气动力学方程就可以客观、定量地作出天气预报。但是大气探测的误差是非常大的, 气象卫星观测的误差就更大。而且地球上测站很少, 地球表面 71% 是海洋, 在广阔的洋面上几乎没有测站。在 29% 的陆地上, 还有高原和沙漠, 以及南极洲上测站极少。所以数值天气预报用的初值是非常不准确的。从不准确的初始场做数值天气预报, 是造成预报不准确的一个重要原因。集合预报突破了这一传统的概念, 认为大气的初值是不确定的, 初值只能是某种概率密度函数。所以集合预报被认为开创了业务数值天气预报的新纪元。

集合预报就是在初始场上加各种小扰动(其数量少则几种、几十种, 多则几百种), 使得初始场成为某种概率密度函数。集合预报

的初始扰动的产生方法很多, 如有: 蒙特卡罗(MCF)法、滞后平均(LAF)法、预报误差作初始扰动、发展模繁育(BGM)法和奇异向量法等。根据欧洲中期天气预报中心的研究, 用预报误差作初始扰动会产生集合预报的结果差异不大, 因为大气中有摩擦, 所以有些小扰动加上会被阻尼掉。如何产生较好的小扰动是一个较难的问题。但奇异向量法和 BGM 法的预报效果比较好。

1 国际动态

集合预报在国际上竞争很激烈。1992 年 12 月 7 日美国首先正式投入业务。紧跟着欧洲中期天气预报中心 1992 年 12 月 19 日开始准业务运行。1994 年 5 月欧洲中期天气预报中心正式投入业务。用奇异向量法产生初始扰动做集合预报的在国际上曾经有两家, 一个是欧洲中期天气预报中心, 另一个是日本, 但是日本是用准地转半球二层谱模式(T21L2)的线性切模式及其伴随模式来产生

奇异值和奇异向量。这在技术难度上比欧洲中期天气预报中心的要容易得多,而且1998年以后,日本也改用BGM方法。美国和加拿大采用BGM方法。在技术上,奇异向量法比BGM法要复杂得多。英国与欧洲中期天气预报中心合作,使用欧洲中期天气预报中心产生的初始扰动,做9个成员的业务集合预报,每两周做一次30天预报。另外,英国还与欧洲中期天气预报中心合作做试验,用两个模式(欧洲中期天气预报中心的T63模式和英国的统一模式)两个分析(欧洲中期天气预报中心的分析和英国的分析)仍然用欧洲中期天气预报中心产生的初始扰动,做两组33个成员的集合预报试验,进行比较研究。法国利用欧洲中期天气预报中心的集合预报系统,作某些天气现象的中期概率预报。

欧洲中期天气预报中心从1998年3月24日开始集合预报的成员增加为51个,预报模式的分辨率为T159L31(线性格点T159,相当于T106)。集合预报产品向欧盟成员国发布,深受成员国的预报员喜爱,集合预报比单个数值预报更合理、更科学。

2 奇异向量法的基本原理

产生小扰动的基本原理是利用非线性动力学理论中的有限时间不稳定理论。这也是与传统的数值天气预报很大不同之处。而且利用了数值天气预报中的最新技术,即切线性和伴随模式。求取线性切模式的奇异值和奇异向量,利用最大奇异值对应的奇异向量是增长得最快的扰动原理,这就是奇异向量法。求取线性切模式的奇异值和奇异向量就是求线性和伴随模式乘积的特征值和特征向量。我们知道一般求矩阵的特征值和特征向量的方法,只适用低阶的方阵,对1000阶以下的方阵较为有效。我们是把线性切模式及其伴随模式当作矩阵,求它们的特征值和特征向量,而且很难写出它们的具体矩阵形式及其矩阵元素。由于计算量太大,我们只能

用分辨率较低的模式来产生奇异向量,如果用T42L19分辨率的模式,这时相应的矩阵的阶数为109736。矩阵的阶数如此之大,用常规的方法求其特征值和特征向量是非常困难的。数学家Lanczos在50年代提出了一种迭代方法,人们称其为Lanczos方法。Lanczos方法是求解大型稀疏对称矩阵的特征值和特征向量。它不需要知道矩阵元素,对于只求少数几个(相对于矩阵的阶数)极端特征值的问题是非常有效的方法。Lanczos方法在理论上是非常完善,Lanczos向量是相互正交的,但是在计算机上运算,由于机器字长的限制,会产生舍入误差,然而Lanczos向量的正交性对舍入误差非常敏感,较长一段时间人们认为Lanczos方法是数值不稳定的。直到80年代在数学界才解决了Lanczos方法的数值计算的稳定性问题。这又是一项世界最新技术。

3 预报的准确率

根据欧洲中期天气预报中心的研究,集合预报能够很好地预报地中海强风暴的极端强降水。这对减灾防灾是非常有用的,对1998年我国的抗洪救灾也是非常有用的。

传统的数值天气预报从50年代开始投入业务,至今已有近半个世纪的历史,通过近半个世纪的发展有了很大的进步。从数值预报的技术发展来看,从准地转发展到如今的半拉格朗日积分,从预报时效来看,从1~3天的短期预报发展到6~10天的中期预报,以及月预报和气候预测。业务客观分析也相应有较大发展,从多项式逼近、拟合、逐步订正发展到最优统计插值,以及目前的四维变分同化,分析精度有了大幅度的提高。除了测站少以外,各种偶然的因素造成初始场的不精确,也是影响数值预报准确率的因素之一。尽管目前的业务预报模式的分辨率已经非常高,截断误差总是不可避免。目前预报模式的物理过程考虑得非常精细,但是与实际大气

还是相差甚远。有些地方很难准确描写实际大气,如上边界条件。由于这些原因使得模式预报准确率和可预报性受到限制。目前业务中期数值天气预报在多数情况大概可以预报到7天以上,但是它们的预报评分逐日变化很大。在典型的月份中,7天预报的距平相关系数可以在80%和60%(可用预报的下限)以下之间变化,这么大的变化幅度就大大降低了数值预报的可信度。而距平相关系数低于60%的天数并不是很多,如何解决这一问题呢?实际上,传统的数值天气预报的使用大大受到影响。集合预报就克服了这一缺陷,因为集合预报有很多个预报,如果当多数预报成员发散时,就提醒预报员今天的数值天气预报可信度较低。如果多数预报成员非常一致,预报员就可以大胆地按照数值天气预报的结果去预报。集合预报对数值天气预报的可信度作预报。特别是一些转折性的天气过程和突发性的天气很难预报准确,集合预报是一个强有力的工具。

4 集合预报对计算机的要求

传统的数值天气预报只做一个模式预报,而集合预报要做很多个模式预报,少则几个、几十个,多则几百个。如今一个模式预报就要用高性能的计算机算好几个小时,那么集合预报需要的计算机资源就更多。例如,欧洲中期天气预报中心使用日本富士通的VPP700E并行计算机,在业务中使用的机时情况见表1。

表1 EMWFC业务使用机时情况

项目	所需机时
集合预报	118(处理器小时)
四维变分同化	64(处理器小时)
T319L31(单个高分辨率模式预报)	22(处理器小时)

5 我国集合预报的发展情况

国际上从70年代开始研究集合预报,到90年代才投入业务。我国起步较晚,1996年6月才开始研究。目前国家气象中心有两个

集合预报系统:滞后平均法(LAF)集合预报系统和奇异向量法(SV)集合预报系统。

滞后平均法(LAF)集合预报系统:建成于1996年9月,并开始业务试验。1999年4月11日准业务运行。

滞后平均法(LAF)集合预报系统使用T63L16作为预报模式,具有12个成员,利用3天4个时次的资料,在SP2机器上运行,4个时次的作业启动时间(北京时)如表2所示。

表2 国家气象中心滞后平均法集合预报系统作业时间

资料	启动时间(北京时)	运行时间
前一天18时	08:30左右	6.4~7.4小时
当天00时	22:10左右	6.25~7.25小时
当天06时	22:30左右	6.13~7.13小时
当天12时	05:30左右	6~7小时

每5天做→次12天预报,前两天的预报不输出,后10天为下一旬的预报,为中央气象台中期科提供预报参考。

滞后平均法(LAF)集合预报系统目前有以下产品:

- ①控制预报;
- ②下一旬第一候和第二候北半球500hPa集合平均预报图;
- ③下一旬逐日500hPa高度的集合平均预报图;
- ④下一旬两个候500hPa高度预报的12个成员标准化离散度;
- ⑤下一旬两个候12个成员500hPa特征等高线的集合预报图(“面条图”);
- ⑥下一旬两个候850hPa集合平均温度及距平预报图;
- ⑦下一旬两个候12个成员850hPa特征等温线的集合预报图;
- ⑧下一旬逐日850hPa集合平均特征等温线预报图(“面条图”)。

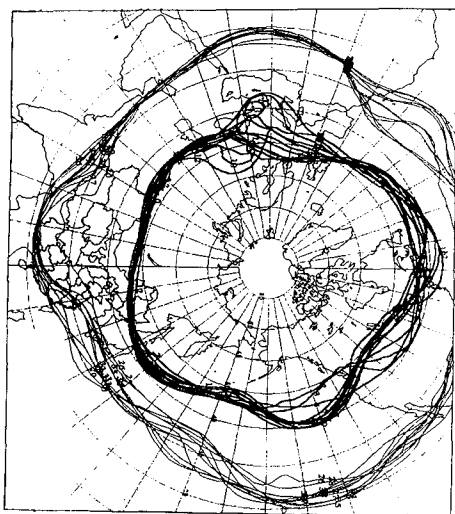


图1 滞后平均法(LAF)集合预报以1998年4月23日20时为控制预报初始时刻,预报4月26~30日5天平均500hPa高度,12个成员的560线和584线

从图1可以看出,在东亚中高纬度12个成员预报得比较一致,560线预报较一致;在整个中国范围内预报得也比较一致,584线预报较一致。根据这张图预报员可以较有把握地预报中国范围的形势。

奇异向量法(SV)集合预报系统:建成于1998年6月,1999年2月开始业务试验。使用T63L16作为预报模式,用T21L16模式产生奇异向量,有11个成员,利用20点(北京时)资料每天做一次10天预报。在SP2计算机上运行。为中央气象台短期科和中期科提供预报参考。

1999年9月开始,奇异向量法(SV)集合预报系统使用T106L19作为预报模式,用T21L19模式产生奇异向量。具有32个成员,利用20点(北京时)资料每天做一次10天预报。为中央气象台短期科和中期科提供预报参考。

奇异向量法(SV)集合预报系统目前有以下的产品:

①24小时降水量分级集合概率预报图;

②850hPa温度距平分级集合概率预报图;

③下一旬逐日500hPa高度32个成员的集合平均预报图;

④下一旬北半球500hPa高度32个成员的集合平均预报图;

⑤500hPa高度的588线的“面条图”。

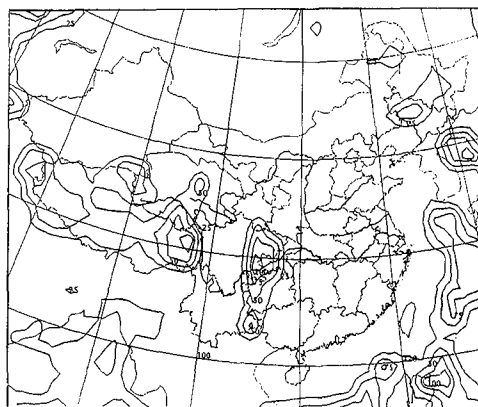


图2 奇异向量法(SV)集合预报以1999年2月2日20时为初始时刻,日降水大于等于1mm,48小时概率预报

图2是1999年2月2日20时的日降水量 $\geq 1\text{mm}$ 的48小时集合概率预报。从1999年2月4日08时日降水量的实况图(图略,与图2预报的时间差12小时)上看,全国只有贵州省西北部的两个站有降水,日降水量分别是1mm和4mm。在图2上的相应的地方有一个100%的闭合小圈。粗略地检验说明,集合概率预报的效果相当令人满意。

参考文献

- 1 Tracton, M. S. and Kalnay, E. Operational ensemble prediction at national meteorological center: practical aspects, *Weather and Forecasting*, 1993, 8, 379~398.
- 2 Mureau, R., Molteni, F. and Palmer T. N.. Ensemble prediction using dynamically conditioned perturbations, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 1993, 119, 299~323.
- 3 Molteni, F. and Palmer, T. N.. Predictability and finite-time instability of the northern winter circulation, *Q. J.*

- R. Meteo. Soc. ,1993,119,269~298.
- 4 Buizza, R. , Tribbia, J. , Molteni, F. and Palmer, T. .
Computation of optimal unstable structures for a
numerical weather prediction model, Tellus, 1993,
45A,388~407.
- 5 Molteni, F. , Buizza, R. , Palmer, T. N. and Petroliagis,
T. . The ECMWF Ensemble prediction system:
methodology and validation, Q. J. R. Meteo. Soc. ,
1996,122,73~119.

Ensemble Prediction Ushered in New Era in Numerical Weather Prediction

Liu Jinda

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

A new era in operational numerical weather prediction (NWP) began in recent years when the ensemble predictions were performed in some meteorological centers in the world. Since the actual state of the atmosphere at any time is known only approximately, a complete description of the weather-prediction problem should be formulated in terms of the time evolution of an appropriate probability density function in the atmosphere's phase space. Ensemble forecasting appears to be the only feasible method to predict the evolution of the atmospheric probability density function beyond the range in which error growth can be described by linearized dynamics. The generation of effective perturbation is one of the major problems in ensemble forecasting. Perturbing the initial conditions along the most unstable directions of the phase space of the system is a technique which may be most effective for determining the principal weather types consistent with given initial data. The singular vectors and Chinese ensemble prediction systems were described briefly.

Key Words: ensemble prediction singular vector weather forecast probability density function