

中期数值预报系统 T213L31 在 IBM/SP 高性能计算机上的建立*

陈起英¹⁾ 金之雁²⁾ 伍湘君²⁾ 姚明明¹⁾ Ali Mechantel³⁾

¹⁾(国家气象中心,北京100081)

²⁾(中国气象科学研究院,北京100081)

³⁾(IBM TJ Watson Research Center, New York 10598, USA)

摘 要

在引进欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的全球谱模式的基础上,通过对原模式的分析改造,首次以分布与共享相结合的方式在国家气象中心 IBM/SP 高性能计算机上实现了全球谱模式的高效运行。采用调整向量长度、优化程序设计、完善消息传递机制和实现 MPI 与 OpenMP 的混合并行编程等方法,减少模式的通信量、计算量和内存的使用量,提高了计算效率。实现了在 T213L31 分辨率条件下,10 天预报可以在 3 h 之内完成,达到业务对时限的要求。

建立了与 T213L31 全球谱模式相配套的最优插值(OI)并行处理分析系统,解决了由于观测站点在全球不均匀分布所带来的计算负载不均衡问题。在此基础上,实现了 T213L31 全球资料同化与预报系统并建立了相应的自动作业监控系统。

关键词:数值天气预报 全球谱模式 分布共享并行 全球分析同化

引 言

数值预报作为气象预报的重要技术基础,它的发展与完善是提高气象预报整体水平的最有效途径。作为整个数值预报业务系统核心的中期业务数值预报,在中国的发展还远落后于欧洲中心、美国和加拿大等发达国家,主要表现在同化技术落后、模式分辨率低、物理过程的描述比较简单。因此,发展较先进的变分同化技术、提高模式的分辨率、细化和完善物理过程的描述,并采用先进高效的计算方法成为一项紧迫的任务。新一代中期数值预报模式以 ECMWF 的全球谱模式为基础,结合国家气象中心并行计算机的性能特点,以分布与共享相结合的方式实现了全球谱模式的高效运行。采用调整向量长度、优化程序设计、完善消息传递机制和实现 MPI 与 OpenMP 的混合并行编程等方法,减少了模式的通信量、计算量和内存的使用量,提高了计算效率,达到了业务对时限的要求。同时,设计开发了与模式相匹配的采用并行处理技术的全球资料分析同化系统和分析预报作业监控系统及资料预处理、模式后处理、产品生成、检验和绘图等外围系统。

本文主要介绍 T213L31 数值预报系统发展的过程中,所解决的主要技术问题、模式的特点和产品应用情况。

* 2003-05-26 收到,2004-02-04 收到修改稿。

1 T213L31 模式开发研制的技术难点

1.1 模式的移植和改造

引进的 ECMWF 业务版本的全球谱模式采用的是单任务多数据流的并行方式,并采用 Fortran 90 和 MPI 消息传递库进行编程。由于此模式的编程是建立在富士通公司的 VPP700 向量计算机的基础上,而中国气象局 1995 年购置的 IBM SP2 并行计算机是标量机,模式的移植主要要解决两个计算机之间的不兼容之处。另外, VPP700 计算机采用向量处理机为计算节点,具有庞大的内存。为了使模式在 VPP700 计算机上高速运行, ECMWF 采用了很长的向量长度。而我们的计算机是以基于超标量技术的工作站为基础建立的,长向量不仅降低了节点的计算速度,而且内存的占用量非常庞大,不作修改在 SP2 计算机上仅能计算 T42L31 以下的分辨率。因此,我们将长向量改造成适合于 SP2 的短向量,这不仅能够更好的发挥 SP2 高速缓存器的作用,使计算速度加快,同时还大大减少了模式内存的占用量,使在 SP2 上可以运行 T106L31 分辨率的模式。

1.2 模式的优化

1999 年底中国气象局又购买了 IBM SP 机,其峰值计算性能达到 800 亿次/s,是 32 个处理器的 IBM SP2 机(85 亿次/s)峰值计算性能的近 10 倍,使运行 T213L31 分辨率的模式成为可能。但是,如果不做优化直接把模式从 IBM SP2 机移植到 SP 计算机上,在 T213L31 分辨率下,虽然可以运行,运算速度比较慢,采用 4 个处理机进行 10 天预报需要 42 h,无法满足业务对时限的要求。因此针对 SP 计算机的特点,对模式进行了以下几个方面的优化和改造:

(1) 计算编程的优化

SP 计算机的处理机是基于高速缓存技术的超标量处理机,单处理机运算速度是系统整体性能的基础。每个处理机有 5 个浮点处理部件和两级高速缓存。提高高速缓存数据的利用率和充分发挥处理机内部 5 个浮点处理部件之间的并行性是提高运算速度的关键。我们采用的主要是 CPU 优化技术和内存优化技术。CPU 优化技术包括回绕技术(unrolling)和多重加载技术(multiple loads),将循环内的计算操作分解成多个互不相干的计算操作,提高 CPU 内多个处理部件的并行处理效率;内存优化技术主要是减少对数据的存储操作,提高处理机内部的四个数据流水线的并行性,将数据分割成与高速缓存大小一致的数据块,使 CPU 反复使用数据块内的数据,从而增加对 cache 的命中率等。我们对模式中 Legendre 变换、短波辐射等计算量较大的 12 个子程序进行优化,使用了厂商提供的快速傅氏变换库函数,使模式的运算时间减少了一半,速度加快一倍。在 4 个处理机上进行 10 天预报时间缩短到 20 h。原来在 64 个 CPU 上积分一个时间步长约需要 18 s,经过优化后只需要 9 s,可见优化效果是相当明显的。

(2) 消息传递机制的完善

消息传递是广泛应用于分布式可扩展并行计算机和工作站网络的编程模式,而 MPI 是实现这一编程模式的标准化的和可移植的消息传递库。原方案采用的是一种基于缓冲器的同步、阻塞式的消息传递机制,需要将数据在用户空间和系统缓冲区之间拷贝,增加

了额外的内存之间的拷贝。因此,需要占用额外的系统内存空间,且增加了通信时间。同时,采用阻塞式的通信方式,数据拷贝到系统缓冲区(对消息发送者)或从系统缓冲区拷贝到用户缓冲区(对消息接收者)以后,处理机才能进行下一步的计算,这种方式虽然相对更安全,却增加了通信的时间。为了提高 T213L31 模式的加速比,减少通信所占的时间,我们将其通信方式改造成非同步、非阻塞的消息传递机制。采用这种方式,处理机只是启动一个发送或接收信息的操作,不用等通信完成,处理机即可返回继续下面的计算工作。因此使通信和计算时间重叠,从而隐藏通信延迟。

(3) 分布内存与共享内存并行的结合

SP 计算机是由对称多处理节点组成的并行计算机系统,共有 10 个处理节点,每个节点由 8 个 CPU 组成。按照原方案,每一个 CPU 是一个单独的节点。但是在 SP 机上,如果使用快速通信协议(US),每个节点最多允许使用 4 个 CPU,否则只能采用通信速度较慢的 IP 方式,因此必须使用共享内存并行与分布内存并行相结合的方式才能使用全部计算机资源。为此我们对模式程序进行改造,在节点内部使用 OpenMP 进行共享内存方式的多线程并行处理(OpenMP 是共享内存并行编程的工业标准),在节点间仍然采用 MPI 消息传递的并行处理方式。实现了 MPI 与 OpenMP 的混行模式运算,大大减少了模式的通信量,减少了内存的使用量,提高了模式的运算速度。在 64 个 CPU 上 T213L31 模式积分一个时间步长由 9 s 减少到 6 s 左右。

经过上述开发,模式运算速度大大加快,在有限的计算节点下(6 个节点),10 天预报可以在 2.5 ~ 3 h 之内完成。同时,通过试验,我们发现采用 OpenMP 用 2 个线程,每个节点有 4 个 MPI 任务时,T213L31 模式运算更快。即数据按尽可能相等的原则划分成为 24 个分区,分配给 24 个 MPI 任务(每个节点 4 个),这 24 个任务通过消息传递的方式交换信息;每个任务又在同一节点的 2 个 CPU 间采用共享内存的并行方式。图 1 为在一个计算节点(8 个 CPU)上的任务并行方式。

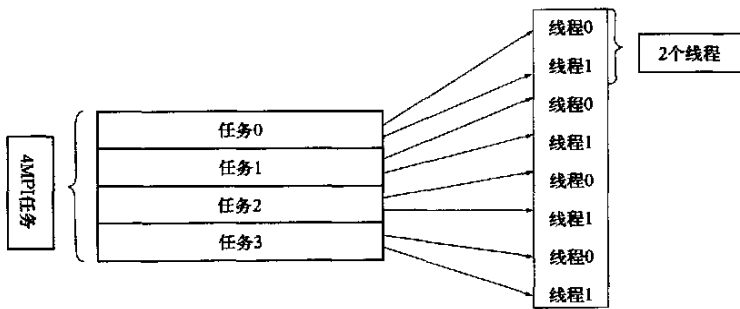


图 1 T213L31 在一个计算节点(8 个 CPU)上的任务并行方式

1.3 并行化界面

原 T213L31 模式采用 MPI 作为消息传递的编程界面,但是模式并不直接调用 MPI,而是通过一个中间的界面 MPE 调用 MPI,如图 2 所示。它的好处是很容易移植到使用其它消息传递界面的机器上,但缺点是增加了一层界面就增加了开销。在 SP 计算机上,

为了采用非阻塞的消息通信机制,我们更改了部分程序,用模式直接调用 MPI。

1.4 并行计算模式正确性检验

并行模式正确性的检验主要是通过比较用不同处理机数量时,模式计算结果有无变化,模式的各种统计量与在其它机器上得到的结果差异有多少,模式预报结果是否合理等方面来进行的。

(1) 不同处理机数量运行结果的比较 在 SP 计算机上,分别用 4, 8, 16, 32, 64 个处理机进行 12 个时间步的预报,并对输出文件进行比较。我们发现二进制文件没有区别,说明预报结果完全一致。

(2) 统计量的比较 将模式的 1996 年 12 月 1 日 6 h 预报的各层涡度、散度、动能、温度谱模的平均与 ECMWF 在 VPP700 上得到的相应结果进行对比,最大相对误差小于千分之一,可以认为预报结果是正确的。

(3) 预报结果合理性验证 进行了 1997 年 1 月 1 日, 4 月 1 日, 6 月 1 日, 7 月 1 日, 8 月 1 日, 10 月 1 日的 6 天预报,并将预报结果与欧洲中心业务预报结果、实况和国家气象中心的业务预报进行对比。从预报结果可以看出,模式的预报结果与欧洲中心当时的 T213L31 业务预报比较相似。

经过以上检验,我们认为并行计算结果是正确的, T213L31 模式已经成功地在 IBM SP 机上建立。

2 模式的基本特点

2.1 动力特点

(1) T213L31 模式为三角截断的全球谱模式,截断波数为 213 个波,在格点空间其水平分辨率达到 60 km,垂直方向为 31 个 η 面,模式顶为 10 hPa,水平和对流层的垂直分辨率都比原来的业务模式 T106L19 提高了一倍。

(2) T213L31 在格点空间采用规约化高斯格点,使计算量大大减少,内存需求和结果存储量也有比较大的减少。所谓规约化高斯格点是指减少赤道附近地区以外纬圈的高斯格点数,使这些纬圈的格点长度不超过在赤道的格点长度,同时剩下的格点数还能被用来进行快速傅氏变换。采用规约化高斯格点以后,覆盖全球的格点数能节省三分之一,模式计算精度并没有显著降低。

(3) T213L31 采用半拉格朗日方法处理平流。欧拉方法是在空间中固定位置看流体的运动变化,拉格朗日平流的观点是跟着流体质点看流体运动。T106 采用的是传统的欧拉平流方案,在此方法中,模式的积分时间步长受到平流风速的限制,在相同的计算稳定条件下,模式需要更多的积分步数。采用半拉格朗日方案后,积分时间步长不再受到平流风速的限制,积分时间步长可以增加 5 倍, T213L31 的积分时间步长由欧拉方案的 3 min 增加到 15 min。试验表明预报质量并没有显著的降低,而 CPU 时间减少了 4 倍。考虑到半拉格朗日方案的额外开销大约为 20%,采用半拉格朗日方案产生了相对于欧拉方案的

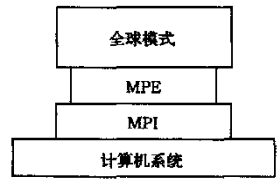


图 2 全球模式并行化界面结构

4 倍的有效率。

2.2 物理过程特点

与原业务模式 T106 L19 相比, T213 L31 采用了一些更新、具有更真实物理概念的物理过程参数化方案, 对于辐射方案、次网格尺度地形参数化、积云对流方案、云方案、陆面过程方案都作了较大改进。

T213 模式的长波辐射是 Morcrette^[1]的方案, 短波辐射是 Fouquart and Bonnel^[2]的方案; 晴天长波通量的计算用比辐射率方法, 同时用一个比 T106 L19 更好的参数化方案来描述长波吸收对温度和压力的依赖关系。既考虑了水汽的 p 型连续吸收, 又考虑了 T106 模式中没有的 e 型连续吸收。短波通量用光子路径分布方法, 分开辐射传输中散射和吸收过程的贡献。散射的处理用 Delta-Eddington 近似, 透射函数用 Pade 近似。

T106 采用了包络地形和 Baines 和 Palmer^[3]的次网格尺度地形拖曳参数化方案(重力波拖曳方案); T213 采用的是平均地形和一个新的次网格地形参数化方案(Lott and Miller)^[4]。这个新的参数化方案既考虑了重力波拖曳, 又考虑了阻塞流拖曳, 与平均地形结合, 克服了包络地形使同化过程中更多的低层数据被拒绝和人为提高地形所造成的过多对流降水的缺点。

在 T106 的积云对流参数化方案中, 深对流采用 Kuo^[5]的方案, 浅对流采用垂直扩散方案(Tiedtke)^[6]。T213 采用的是 Tiedtke^[7]的质量通量方案, 引入了 T106 方案中没有的积云下沉支、积云动量传输和中层对流参数化, 因此具有更真实的物理概念。

T106 的云方案是 Slingo^[8]的诊断云方案。T213 采用的是 Tiedtke^[9]的预报云方案。这个方案适当描写了次网格尺度凝结的动力影响, 且云与辐射、动力和水文过程有更直接的联系。

T106 的陆面过程方案把土壤分为三层, 是 Blondin^[10]的方案; 这个方案基于两个活跃的土壤层的热量和水的收支方程, 再加上一个土壤温度和湿度每月有个规定值的“气候层”, 作为下边界条件。T213 的陆表面参数化方案是 Viterbo and Beljaar^[11]的方案, 土壤被分为 4 层, 4 层的土壤温度和湿度都是预报量, 热量和水分收支的下边界条件分别是零热通量和自由渗漏。它与 T106 的主要差别在于, 考虑了周一季时间尺度的土壤水文过程, 并且对土壤水文过程进行了更物理化的描述。

3 客观分析方案的开发

3.1 T213 观测资料的生成

建立了独立于 Cray C92 计算机的两套观测资料预处理系统, 它们分别与 Digital Alpha 机的要素库系统和 9210 商用数据库相连。对两套系统中观测资料的数量、类型及对分析的影响等做了大量的对比试验工作, 两者差别不大。目前业务采用要素库系统为 T213 分析程序提供观测资料。

3.2 全球客观分析方案的开发

全球客观分析方案是全球中期数值预报业务系统的一个重要组成部分, 它将全球可以使用的观测资料进行分析同化处理, 为全球业务预报系统提供数值形式的初值。

T213 L31 模式引进时没有引进配套的客观分析方案,因此需设计开发与 T213 L31 模式匹配的分析方案。T213 L31 分析方案的开发建立在原 T106 L19 最优插值(OI)分析方案的基础上,包括移植、升级和并行计算三个主要方面。

首先,将原 T106 L19 最优插值(OI)串行分析程序从 CRAY-C92 机上移植到 SP 机上,去除原有的 CRAY 机器上使用的 POINTER 语句等非标准语句,修改了原有的内存管理系统,补充所缺子程序(原调用 CRAY 子程序库),去掉程序中的工作文件,以加快运算速度。然后,对移植后的 T106 L19 OI 串行分析程序进行升级,使其与模式分辨率相匹配,即对水平方向 213 波三角截断的谱系数、垂直方向的 31 个模式层进行分析。最后,对升级的分析程序进行并行计算开发,主要是针对耗时大的子程序(占总计算量的 90%)进行并行化处理。采用了 MPI 消息传递库,保证了程序的可移植性。

开发客观分析方案的并程序的工作大致分为三步:确定客观分析方案的并行计算方案;开发并调试并程序;进行试算和正确性验证,分析其运行性能并加以优化。

客观分析程序将全球分成许多小的“方盒子”,每一个“方盒子”之间的计算是相互独立的,每个“盒子”的计算量取决于盒子内观测资料的多少。但是由于观测资料在空间上分布极不均匀,而且不同时间的资料情况也不相同(图略)。在无法事先知道计算量的情况下,采用固定分配“盒子”数量的方法会造成节点间计算负载的不平衡。我们采用了主-从方式的并行处理方法,主节点只负责将工作分配给从节点,从节点接受到任务后开始计算,计算完成后将结果传回主节点,主节点接到结果后,再传给它下一个任务直到完成。这样,尽管每个从节点的速度有差异,工作量可不相同,但都处在忙的状态,实现了工作负载的最佳平衡。图 3 是具体的流程图,其中箭头表示两者间存在信息通讯。MASTER 按原串行程序流程执行,但在运行到资料检查、分析系数估算、格点估算三个子程序时,只负责控制任务的分配。SLAVE 具体执行这三个子程,但其数据来源于 MASTER。

由于并行的三段子程序在串行运算过程中所占时间为 90%,而且三段子程序的 SLAVE 并行全部具有自动负载平衡功能,因此并程序的效率是非常高的。用若干时次资料进行试算,其并行程序与串行程序的结果差异很小。因此,我们认为分析并行程序开发是成功的。

另外,经过对 2 个 CPU、4 个 CPU 和 8 个 CPU 的并行运行对比,综合考虑程序的并行效率、机时条件和任务要求,我们认为对于 T213 的分辨率,使用 8 个 CPU 并行计算比较合适。图 4 给出的是全球分析方案在 SP2 机上的运行情况。图中所标的并行和串行的数字,分别是模式的并行运算和串行运算所用的时间。



图 3 全球分析流程图

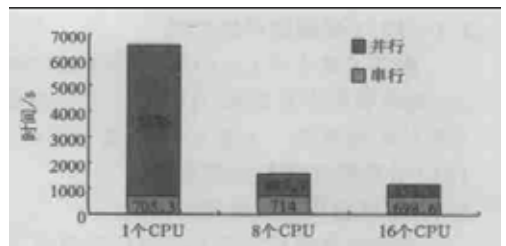


图 4 全球分析在 SP2 上运行时间

3.3 矩阵病态现象的解决

在 T213L31 分析方案试运行中,我们发现有时会出现矩阵病态现象,使分析无法进行下去,因此不能为模式提供初值。对观测资料分析后发现,产生问题的原因是个别观测资料之间的高相关性。因此从数学角度采取了调整线性方程组重新求解,即矩阵降阶技术处理(在物理上即是去除个别资料,对实际应用效果影响不大,可认为是合理的),以保证方案运行的可靠性和稳定性。

4 预报同化系统的建立

预报同化系统是指每天 4 次的间歇性 6 h 同化过程和模式在 00:00 UTC 的 3 天和 12:00 UTC 的 10 天预报。这个系统流程的开发是由我们自己独立完成的,实现了最优插值方案与 T213L31 模式的集成。由于模式的全部输入输出都采用 GRIB 码文件,好处是节省空间而且其内部含有对数据的描述,但是分析程序需要 IEEE 文件。因此我们开发了 OI 分析后高度场、湿度场、涡度、散度和地面气压场压缩成 GRIB 码程序,模式气候资料场生成程序,和由模式输出的 GRIB 码解压缩到 OI 分析程序需要的高度、涡度、散度和地面气压场的数据接口处理程序。另外,原业务计算机平台 CRAY-C92 是只有两个 CPU 的共享并行矢量机,IBM SP 是大规模并行的分布与共享标量机,在文件系统、作业控制和管理方面与前者都有很大的不同。因此,我们研制开发了适合大规模并行计算机的,由分析到预报再到分析的自动化作业流程,对机器资源的申请、临时文件的管理、运行监控、异常情况的处理等都进行了考虑,解决了 4 次连续分析同化预报的自动化流程控制和运行监控的技术问题。图 5 是 T213L31 模式的同化预报流程图。

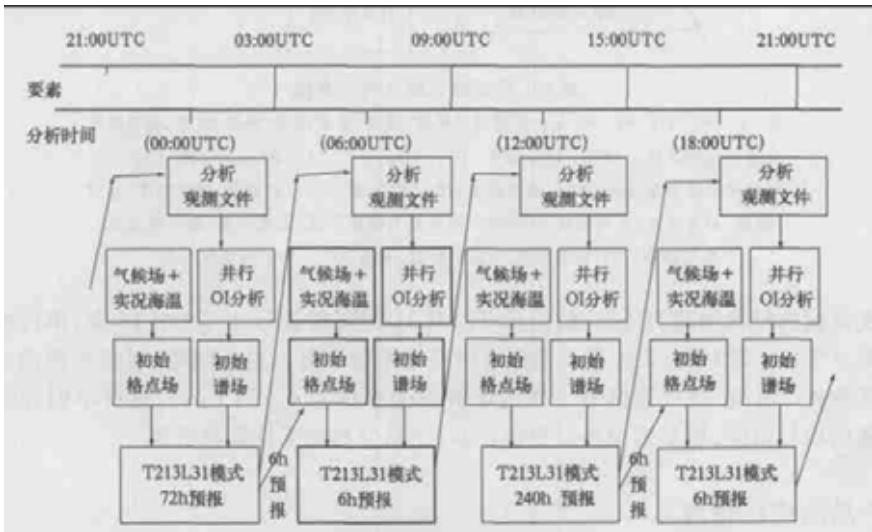


图 5 T213L31 同化预报流程图

5 后处理系统的自行开发

T213L31 模式引进时没有后处理系统,因此必须自行研制开发能满足业务需求的后处理系统。图 6 是我们开发的后处理系统的流程图。

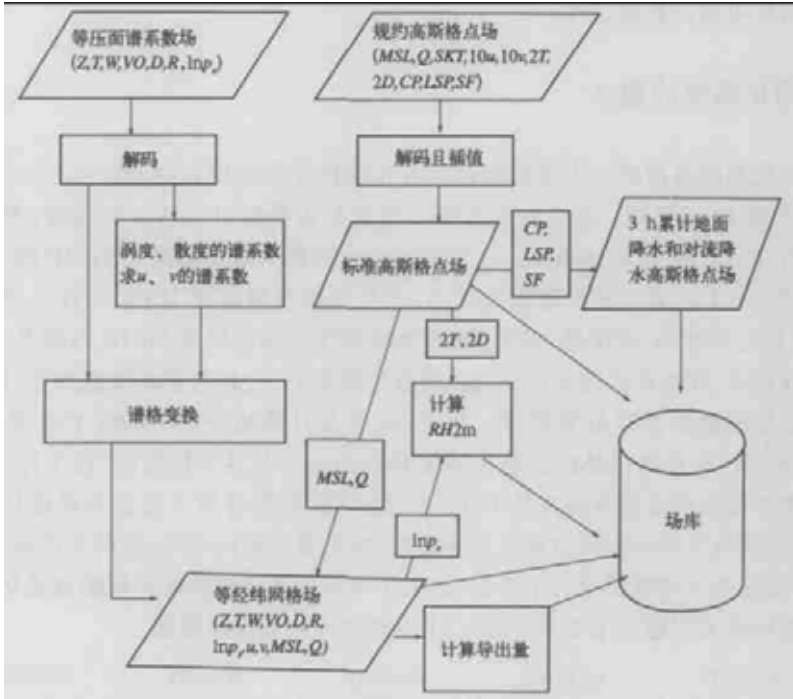


图 6 后处理系统流程示意图

($Z, T, W, VO, D, R, \ln p_s$ 分别表示高度、温度、垂直速度、涡度、散度、相对湿度、地面气压的对数。 $MSL, Q, SKT, 10u, 10v, 2T, 2D, RH2m, CP, LSP, SF$ 分别表示海平面气压、比湿、表面温度、10 m 的 u 和 v 、2 m 的温度、露点温度、相对湿度、对流降水、大尺度降水、降雪。导出量有温度平流、涡度平流、温度露点差、水汽通量、水汽通量散度、 θ_{sc} 、 K 指数、变高、 H 、 T 和 p 的预报误差)

在试验的过程中我们还发现,由于 T213L31 的资料量远比 T106L19 多,串行的后处理需要 6、7 h 才能完成,无法满足业务对时间的限制。针对这个问题,对后处理部分进行了多任务并行处理,完成这部分工作的墙钟时间减少到不到 15 min,这样不但能缩短整个系统的运行时间,尽早为预报员提供产品,还充分利用了计算机资源。

6 产品的应用情况

自从 T213 中期预报系统试运行以来,国家气象中心数值室一直对模式预报进行跟踪检验和效果评估。这期间的统计学的检验表明,无论是北半球还是东亚地区的形势场

检验, T213 各时效的 500 hPa 距平相关系数基本上都高于相同时效的 T106 预报;在冬、春季, T213 的北半球预报有效时效比 T106 延长了 1 天多, 即使是在夏季的 6 月份, 预报有效时效也延长了近 1 天;对于东亚区来说, 也有类似的特点。T213 对降水落区(≥ 0.1 mm)的预报比 T106 有了明显的改善, 空报率比 T106 减少。对较大量级降水的预报, Ts 评分也比 T106 高。天气学的检验表明, T213 对西风指数的逐日演变、副高脊点和北界的进退变化和 48 h 之内台风的移动变化预报都较 T106 有了明显的改善; T213 模式对降水落区或雨带位置的预报优于 T106 和 HLAFS, 3 天以内的预报有较高的可信度。对于其产品进行试用的预报员和其他数值预报产品的使用者也都反映这个新业务系统的预报产品比原 T106 系统有了明显的改进。

由于篇幅的原因, 这里只给出 2001 年中国北方最大的一次降雨过程, T213 系统的预报情况。图 7 给出的是 T213 对这次过程连续两天的 24 h 累积降水预报和相应时段的实况降水分布。可以看出无论是对降水落区还是降水中心的预报, T213 的预报都与实况有较好的吻合。

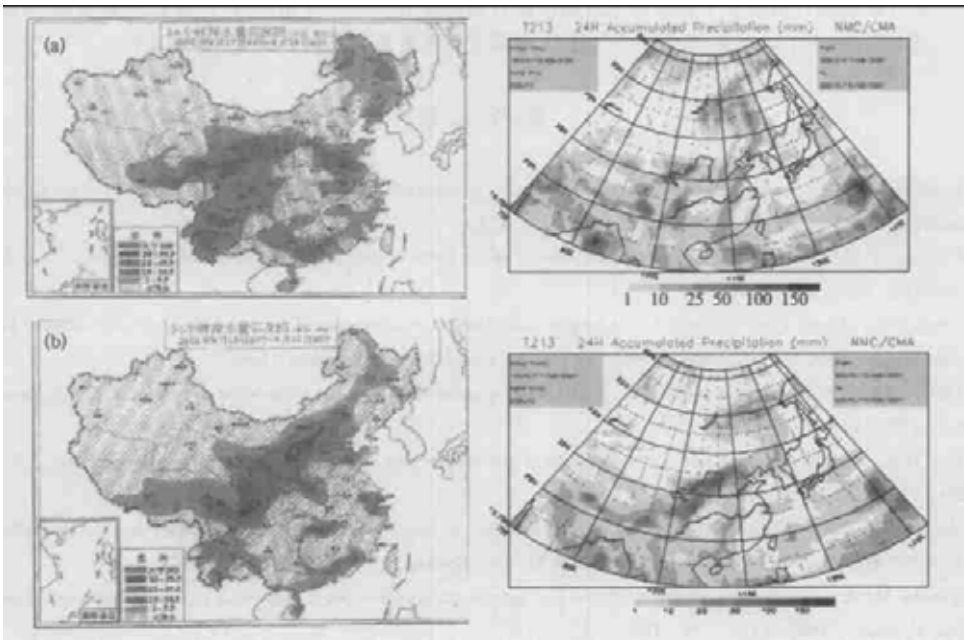


图 7 2001 年 8 月 17~18 日(a)、18~19 日(b) 24 h 降水实况和对应时间的 T213 的 48 h 预报(c)、(d)

7 结束语

T213L31 业务中期数值预报系统的建立缩小了我国的中期数值预报与发达国家的差距, 为预报员的预报提供了更好的参考。但同时, 我们也认识到进一步发展我国的中期数值预报业务的迫切需求。目前, 欧洲中心正在开发 T799L90 模式, 很快将会实现业务

化。日本气象厅的全球模式 2006 年将由目前的业务模式 T213L40, 升级到 T959L60。加拿大气象局的全球模式将由 $100\text{ km} \times 100\text{ km} - 28$ 层升级到 $35\text{ km} \times 35\text{ km} - 60$ 层。因此, 进一步提高我国中期数值预报模式的分辨率和进行相应的物理过程的改进工作, 是必然的也是很紧迫的一项任务。国家气象中心 2003 ~ 2005 年事业发展计划也对此提出了要求, 目标是 2005 年建立 T₁₃₁₉L₃₁ 全球中期数值天气预报系统。另外, 这个发展计划指出建立水平分辨率为几百米的奥运精细数值预报模式, 该模式的建立也需要一个比现有业务系统更高分辨的全球模式提供边值条件。

致谢: 本文是对许多同志共同开发结果的总结和介绍。T₂₁₃L₃₁ 中期业务预报系统在 IBM SP 机上的建立工作在陈德辉、王建捷、石曙卫、张跃堂的先后组织领导下, 国家气象中心数值室其它同志如, 张德新、万丰和赵刚对客观分析系统的开发, 胡江凯对作业流程和运行监控的建立, 赵俊英、王雨和黄卓对检验系统的建立, 庄建敏和苏颖对场库的建立和完善, 王毅涛对 micaps 绘图的研制, 管成功、马秀君、陆志善、王克敏和李纪曼对与系统业务化相关的工作都做出了各自的贡献, 也为本文的完成提供了一些资料。本文的完成还要感谢陈德辉博士, 文中关于加拿大和日本气象厅的发展计划来自于其参加东京暴雨模式国际报告会后的介绍。另外, 在此还要感谢 IBM 公司的 Zaphiris Christidis 先生对 T₂₁₃L₃₁ 中期业务预报系统建立工作的帮助和支持。

参 考 文 献

- 1 Morcrette J J. Impact of changes to the radiation transfer parameterizations plus cloud optical properties in the ECMWF model. *Monthly Weather Review*, 1990, **118**: 847 ~ 873.
- 2 Fouquart Y, Bonnel B. Computations of solar heating of the Earth's atmosphere: A new parameterization. *Beitr Phys Atmosph*, 1980, **53**: 35 ~ 62.
- 3 Baines P G, Palmer T N. Rationale for a new physically based parametrization of subgrid-scale orographic effects. Technical Memorandum 1699, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 1990.
- 4 Lott F, Miller M J. A new subgrid-scale orographic drag parametrization: Its formulation and testing. *Q J R Meteorol Soc*, 1996, **123**: 101 ~ 127.
- 5 Kuo H L. Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. *J Atmos Sci*, 1974, **31**: 1232 ~ 1240.
- 6 Tiedtke M. The sensitivity of the time-mean large-scale flow to cumulus convection in the ECMWF model. Proceedings, ECMWF Workshop on Convection in Large-Scale Models. Reading, 28 Nov.-1 Dec. 1983. 297 ~ 316.
- 7 Tiedtke M. A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. *American Meteorological Society*, 1989, **117**: 1779 ~ 1800.
- 8 Slingo J M. The development and verification of a cloud prediction scheme for the ECMWF model. *Q J R Meteorol Soc*, 1987, **113**: 899 ~ 927.
- 9 Tiedtke M. Representation of clouds in large-scale models. *Mon Wea Rev*, 1993, **121**: 3040 ~ 3061.
- 10 Blondin C, Bottger H. The surface and sub-surface parametrization scheme in the ECMWF forecasting system. Revision and operational assessment of weather elements. ECMWF Tech. Memo. 1987, **135**: 48.
- 11 Viterbo P, Beljaars A C M. An improved land surface parametrization scheme in the ECMWF model and its validation. Technical Report 75, Research Department, ECMWF. 1995.

FOUNDATION OF MEDIUM RANGE NUMERICAL FORECAST SYSTEM T213L31 ON HIGH PERFORMANCE COMPUTER IBM/SP

Chen Qiyang¹⁾ Jin Zhiyan²⁾ Wu Xiangjun²⁾ Yao Mingming¹⁾ Ali Mechentel³⁾

¹⁾ (*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

²⁾ (*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

³⁾ (*IBM TJ Watson Research Center, New York 10598, USA*)

Abstract

Using combined method of distributed and shared memory parallelization, new global spectral model based on ECMWF is run on high performance computer IBM/SP with great efficiency in National Meteorological Center (NMC) for the first time. The model performance is improved greatly by means of changing vector length, optimizing program design, ameliorating message passing mechanism, realizing joint application of distributed and shared memory parallelization, to decrease communication, calculation and memory consumption. Now 10-day forecasts of the model with resolution T213L31 can be finished within 3 hours so as to satisfy operational time requirement.

At the same time, the parallel Optimization Interpolation (OI) analysis system matching T213L31 global spectral model is constructed, and the problem of calculation load imbalance produced by spatial heterogeneousness of global observation stations is resolved, so that T213L31 global data assimilation and forecast system is built based on the above work, and so is corresponding automatic job control and watching system.

Key words: Numerical weather forecasts Global spectral model Distributed and shared memory parallelization Global analysis and assimilation