

周曾奎*

(江苏省气象台, 南京 210008)

提 要

综合预报专家系统是以智能数据库为核心的专家系统。系统主要用 Turbo-C, Turbo-Prolog 和 Basic 语言等编写实现。系统具有实时资料客观分析和天气系统模式识别; 历史和实时智能数据库; 系统动态演变相似过程预报; 物理量诊断分析; 专家经验预报; 综合决策支持系统等6大模块组成。各模块相对独立, 又可联接一起运行。整个系统结构设计新颖合理, 功能齐全, 是一个综合天气预报专家系统的通用外壳和业务流程。

关键词: 综合决策 天气预报专家系统 智能数据库

引 言

综合天气预报专家系统是建立以天气系统为核心的智能数据库(历史的和实时的)。并在此基础上根据天气过程概念, 建立计算机的天气过程演变的动态模型。根据天气形势的静态特征(参数)和主要天气系统的动态演变过程, 检索选取相似天气过程。结合经验规则作出天气系统的预报。经过近两年研制, 建立了44个典型的江淮气旋个例(1961—1980年4—6月, 约300多时次的700hPa天气图。每一气旋过程约6—7个时次)的历史智能数据库; 完成了以省台 NOVELL 网调入实时资料→自动分析→模式识别主要天气系统→提取主要影响系统→检索主要系统的动态演变过程的实时智能数据库; 研制和解决检索动态相似天气过程(根据天气系统演变规则——移向、移速、强度检索相似过程)和组建了自动选取预报因子、预报规则的气旋预报专家系统; 设计了多种预报方法、工具, 实时信息(数值预报产品, 物理量诊断, 云图等)

进入系统的接口和研制了独立的综合决策支持系统。整个系统有: 实时资料客观处理, 模式识别, 智能数据库, 相似过程预报, 物理量诊断分析, 专家经验预报和综合决策6大模块组成。各模块相对独立, 又可联接一起运行。

1 系统配置、语言及结构

系统硬件配置为一台386(或286)主机, VGA 显示卡及一台 HP 数字化仪, LQ-1600K 打印机。

系统主要采用 TURBO-C 语言, TURBO-Prolog 语言, Basic 语言编写。由 TURBO-C 语言编写的主控程序进行联接。系统结构见图1。

2 系统主要功能

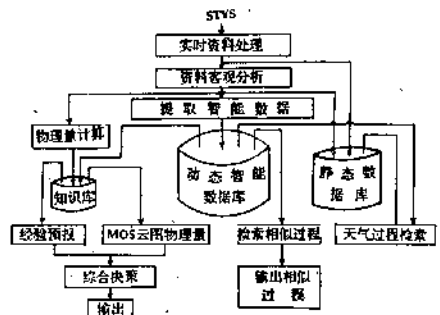


图1 综合天气预报专家系统结构图

* 参加研制本系统的主要人员还有: 韩桂荣、耿慈、沈树勤、朱定真、罗秋清。

2.1 实时资料处理

采用 FORTRAN 语言编写。主要功能,对实时资料进行处理,对离散点高空资料进行自动选站、补站、插值、自动分析。选用资料范围:20—55°N, 85—130°E, 共 130—160 个站点。处理网格为:2.5°×2.5°, 资料插值为: H, T, Td, u, v 及 \vec{V} 。

2.2 天气系统的模式识别——QIS 系统

在完成天气图自动分析(屏幕显示)基础上,对主要天气系统:槽、脊、高、低、暖、冷、急流、锋区、切变进行识别。并能分别提取以上信息,该系统具有以下特征。

2.2.1 主要天气系统的模式识别质量

从近 300 张历史天气图资料的识别显示和手绘天气图对照核实,天气系统分析完整、可靠,对主要天气系统的识别均采用 3 步方案,如对槽、脊的识别:第一步以高度场低(高)值点初选,第二步以走向和 u, v 分量的正、负值配置进行纠正,第三步用 B-样条光滑化处理。

2.2.2 具有人-机对话修正功能

(1)利用屏幕“□”,“+”光标的移动来进行点、线的增、删修改,及通过键盘进行其它修正。

(2)对急流可进行比例放大、缩小、平移、旋转等修正。

2.2.3 利用外接数字化仪鼠标修正

2.2.4 系统处理流程

系统处理流程图见图 2。

2.3 智能数据库的建立

智能数据库是一个专用的气象关系库,它存放的是知识型数据,从中得到的有关天气系统方面的信息类似于预报员的思路。另外,智能数据的可比较性和关联性,可将天气系统的强度和位置变化等均由机器完成。它与气象概念和知识的一致性,使天气系统的检索、统计、相似等工作有了可能。在研制“智能数据库”时,以采用表处理结构方式存放智能数据,解决了槽、脊、切变、急流、锋区、变高

等数据的非正常性问题,以及设置变时器和知识库。用知识引导检索方向,使天气系统的时间前后,层次上下得以关联,解决了动态检索这一新的课题要求。

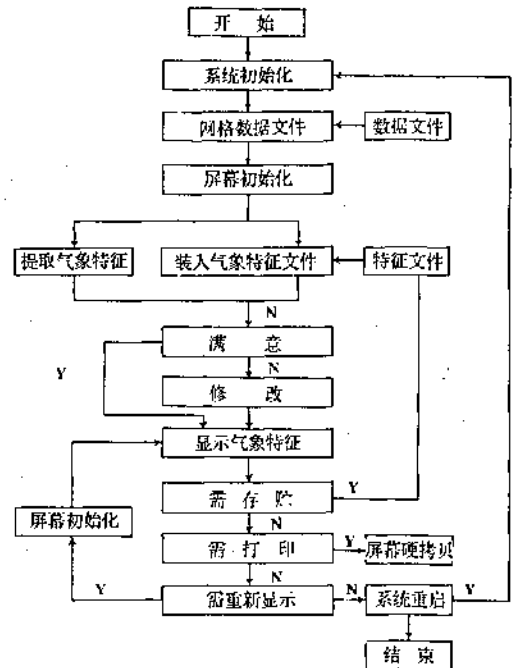


图2 系统处理流程图

2.3.1 提取智能数据

将经自动分析和已识别的主要天气系统,按其天气系统的位置由 C 语言编写,存入 DAT 数据文件,这部分数据是由计算机自动选择完成,再由智能库读入。

2.3.2 智能检索

智能检索是基于知识的一般数据检索,可以表示为:智能检索 = 基本检索 + 知识

系统基本检索其核心是:Prolog 的内部合一模式匹配机制。即用户先给出描述某种目标所应满足的条件的集合,然后以一阶谓词形式给出所求解问题的描述,系统根据这一种描述去检索它的目标,基本检索得出的数据,内部关联很小。当知识进入基本检索,数据的关联就体现出来。智能检索在系统中分为一般智能数据检索和扩展智能数据检索两部分:

(1)一般智能数据检索:利用它来检索历史上某天某时次天气形势和某范围内的某个系统或某个范围的系统配置,以及槽、脊的演变状况。实现此类检索需要提供天气学知识,如以检索槽的下一个时次位置为例,要提供以下知识:

①槽移向 SE 方向,速度约 600km/12 小时,最大速度 < 1000km/12 小时。

②两个连续时次的槽距离最近者(按最近点算,则后时次的槽可能为前一时次演变而成)。

③深槽移速慢,浅槽移速快。

以上知识均插入程序中,供检索时调用,此段程序即为知识库。

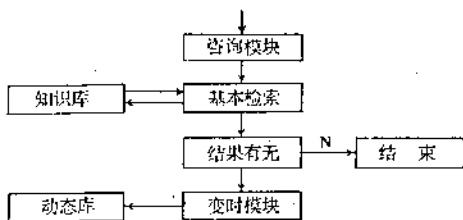


图3 一般智能检索框图

图中变时模块被用来改变文件名

(2)扩展智能数据检索:按某一专门的预报知识,在一定条件下采集的数据称为扩展智能数据,检索此类数据称扩展智能数据检索。如解决气旋的入型判别,要检索其满足条件的各主要系统位置,及对44个气旋历史资料各主要系统追踪其演变过程,采集这方面数据的过程,即为扩展智能数据检索。检索这方面的内容,需要更多的知识。

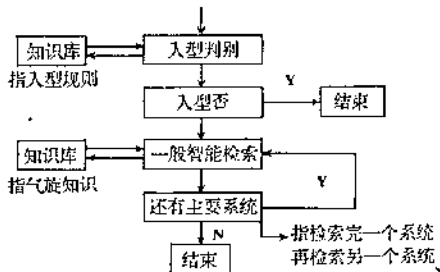


图4 扩展智能数据检索框图

2.3.3 知识库——静态数据库和动态数据库

静态数据库在程序中是相对不变的。它由框架网络规则及其它咨询程序所需信息以及一些参数、阈值组成。它可增加,亦可减少。它指示了搜索的方向;动态数据库为运行得出的结论,如检索到的扩展智能数据,都存入此动态库,此数据库存放在内存中,为以后找相似,显示打印等随时调用,亦可存在盘上。在动态库中,是按 dat 数据文件的格式存的,每个结论均由系统名、时间、层次、强度等组成。对于气旋动态过程,还给出气旋满足的类型等信息。

2.3.4 检索功能

(1)可变固定区域系统的检索

具体有:一层次,一时次系统的检索;多层次,一时次系统的检索;多时次,一层次系统的检索;天气图(主要系统)的检索。

(2)天气过程的检索。

(3)历史的江淮气旋个例主要系统演变资料的检索。

2.3.5 显示和输出

运用 Prolog 的 BGI 系统,将检索结果显示在北半球兰勃脱投影底图上(20—55°N, 90—130°E, 网格距为:5°×5°)。每一个气旋过程档案的显示为:

(1)某一时次离散点资料(130—160站 点);

(2) H, T, Td, dd, vv ;

(3)20—55°N, 85—130°E, 2.5°×2.5° (19×15网格点)上的 H, T, Td, u, v, \vec{V} ;

(4)主要系统静态图;

(5)主要系统过程演变动态图;

(6)地面气旋路径图;

(7)过程天气实况图。

由此可组成一套完整的江淮气旋过程图形档案。

2.3.6 流程框图

智能数据库流程框图见图5。

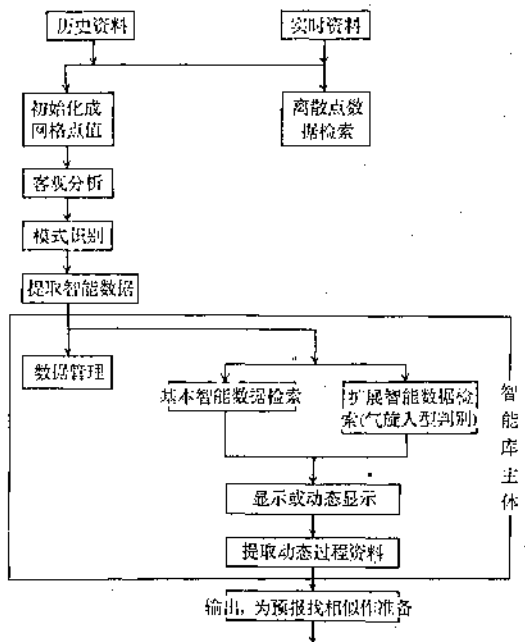


图5 智能数据库流程框图

2.4 检索选取相似过程

对预报对象进行相似过程的选取,这一功能不只是通过对静态指标的查找来完成,还通过对一个天气过程的跟踪查询最后选出天气过程的动态相似,这样更符合预报员的预报思路。如对江淮气旋过程,一般一个过程有5—6个图次,在选取相似时,我们以起始场(入型)开始,逐时次跟踪,每次跟踪都可输出相似个例的日期,雨量分布图,气旋路径图及个例的700hPa主要影响系统的动态演变图,直到过程结束。为实现这一功能,系统设计了:

2.4.1 动态资料处理

在智能数据库的基础上,将静态资料变为动态的过程资料,即按影响系统的演变过程,包括槽、脊、切变、高低压中心、急流等系统的移动方向、速度、经度变化,这样可表示出整个过程的主要系统演变情况。

2.4.2 动态过程相似的选取

通过智能数据库中存储的逐时次的主要影响系统的静态数据,跟踪查询,检索出进入起始场的影响系统及其逐时次的动态演变过

程,最后选出的相似过程是一套包括环境场相似(副高脊线,环流指数,50°N方差比),影响系统初始场相似(主要低槽、高脊、切变、低涡位置所在范围),影响系统的动态演变过程相似(移动速度,方向,强度变化),特征量相似(主要锋区,急流相似)和相应的气旋路径,天气实况等。

总之,检索相似过程,既有静态相似,又有动态相似,整个相似过程是采用TURBO-C语言编写。

2.5 物理量场诊断分析

2.5.1 资料:由实时库探空资料经过客观化处理的网格点资料。

2.5.2 范围:20—55°N、85—130°E范围内,15×19网格区,格距为:2.5×2.5经纬距。

2.5.3 物理量计算项目

2.5.3.1 利用温、压、湿计算的有:层结稳定度,对流稳定度, A, K 指数(3层), Tt (4层);

2.5.3.2 利用风向、风速计算的有:散度、涡度、垂直速度(均为4层);

2.5.3.3 利用温、湿、风计算的有:温度平流,湿度平流(均为4层)。

物理量计算采用编译BASIC语言,分块实施,程序中设计多重主菜单,各物理量场均可单独记盘。

2.6 专家经验

2.6.1 以前的“专家系统”在推理前是由预报员根据已归纳出的专家经验——规则,确认“0”或“1”键入,然后进行预报推理。这些规则可以是定性的,非定量的。但综合预报专家系统要求自动搜索、提取知识库的知识,所以必须将因子、规则客观化,定量化。尤其对以智能数据为主规则,则更须设计出微机易读易取的知识表达形式。为此,我们采用每一条知识完全按一阶逻辑谓词型式组成。如知识:

“700hPa范围 N_1-N_2, E_1-E_2 有切变”则写成: `dbread [we-system (ymdt, “shear-line”700, nb, list, stryngth, Ref), $N_1, N_2, E_1, E_2, list_i]$`

2.6.2 为解决预报因子,规则中大量的读网格点范围数据,定点数据,站点数据,以及取最大(小)值,求和,计数,表相加(减),读智能数据等,系统为此设计了函数库,这样只需调用与此有关的函数名,即可很方便地获得所需结果。

2.6.3 推理机主要特点

采用了框架匹配形式的正、反向推理及目标定义语句来定义知识库,因而知识库的结论即为推理机的目标。在 Prolog 系统下,整个推理过程为内部合一模式匹配机制。

在专家经验预报的整个知识库中包含了70条预报经验规则,分4型(暖切变,高压脊,西北槽,西南涡),每一型包含入型,有无气旋和气旋是否发展等3层预报结论。

2.7 综合决策系统

综合决策方案是目前已有多种预报方法,多种实时信息进入智能预报工作站所面临的必须解决的课题。本系统从分析过去多种决策方案的优劣和预报员在制作预报时的综合决策思维规律出发,设计了综合决策支持系统。

2.7.1 设计思路

2.7.1.1 模型选用两种决策方法

鉴于层次法比较注意历史信息资料的处理,并按目标对方法进行优选,而众数法比较侧重于当前信息的处理,采用的是少数服从多数的原则,模型选用了这两种决策方法。并对它们的权重集成的方法进行综合,以期弥补它们各自的不足。

2.7.1.2 决策模型接受实时信息和添加新方法的处理

决策系统是开放性的,可以加入新的方法。将待引入的信息分为定量的和定性的两类。定量的为除模型中已注册的方法外,引入确定性结论。模型选用众数决策法,重算权重。再与层次分析结果集成。

定性的是指不能确切地得出是发生或不发生的结论。只能模糊地做出一些判断。则采

用灰色理论提出的解决方法,处理不确定量使之数量化,且在具体情况下,取相应的值。

2.7.1.3 决策模型中预报时效的考虑

按气象上的特殊要求,权重分配上应考虑到引进方法的预报时效,如云图,雷达回波图等时效一般较短,但在预报决策过程中,有时会起到决定性的作用,以一票否决。因此模型考虑了它们在综合时所占的权重。

经以上处理后,模型实现了信息权重的动态分配,体现了动态的时效放大效应,使最新信息在决策中最为重要。因此,整个决策模型与预报员的决策思维相接近。

2.7.2 功能特征

用 TURBO-C 语言及函数调用功能,采用自顶向下结构化程序的设计方法。各功能均为独立的函数,由主函数拼接,易组合,易拆,易读。用户可方便地选用或扩展。

输出格式:决策结论以彩色直方图显示出各决策方法对于目标“0”,“1”的权重。同时显示(打印)最终决策结论的级(0或1)及其权重。若有引入的定量或定性信息,还可显示供对比的彩色直方图。

2.7.3 通用框架

模型的设计不是一个保守的框架,而是能更新,引进或吸收新的预报方法和新的实时信息的通用框架。因此,提高了决策系统本身的功能和扩展了应用范围。它不仅可作为一个模块(.EXE 文件)并入专家系统或其它预报中,也可以独立使用。

3 业务运行流程的设计

为了更好地发挥“STYS”系统的整个效益,和充分利用“STYS”系统的功能。我们设想进一步将目前省台预报服务所需的常规和非常规资料、信息及目前已经研制的综合天气预报专家系统及其它客观预报工具均进入系统,并设计出业务运行流程,如图6。

4 综合天气预报专家系统预报过程

使用 Ast386 微机,与省台 NOVELL 网相连,可直接调入高空及地面数据,用 copy

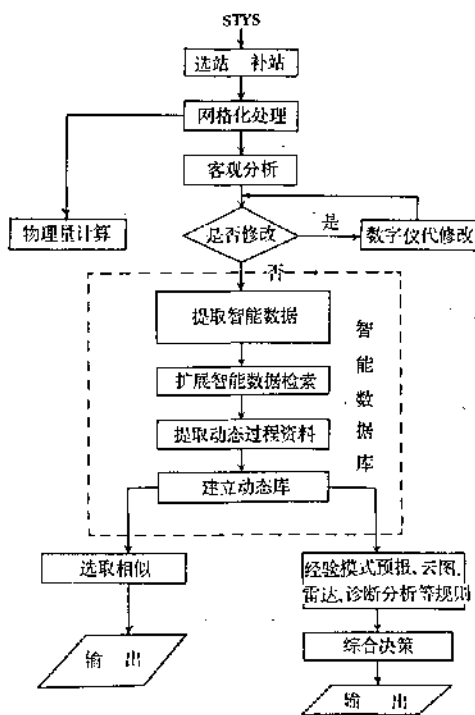


图6 综合预报专家系统运行流程框图

命令。资料拷好后,进入主程序目录 C:\TC, 敲入 Main-cyc,即可显示主菜单:

COMPREHESIVE WEATHER FORE-
CAST EXPERT SYSTEM

- (1)ACTUAL FORECAST
- (2)DISTRUBITE PROCESS

我们选择菜单2(分步预报),此时即出现菜单(A):

- (1)Imformation Processing
- (2)Objective analysis and system distinguish
- (3)Distinguish of weather process
- (4)Experience forecast
- (5)Model forecast
- (6)Physical element decision
- (7)Stream line analysis
- (8)Comprehensive decision
- (9)Select analougous proccss
- (10)Quit

此子菜单包含了整个系统的各模块组

成,我们选择资料处理(Information Processing),就进入了资料处理模块,把实时资料从离散点转到网格距为 2.5×2.5 的网格上,同时进行补缺、选站、改错处理,例如显示:

please enter data year month day time
for example: 1990, 6, 8, 00, should input
90060800

92061212

now doing the process of handling datas,
please waiting for awhile

键入 92061212 处理完后,系统返回上层菜单(菜单 A),选择 2(客观分析和模式识别)。

此模块作为一个系统,具有多种功能,从它的主菜单中依次选择选择项,调出 92061212 网格资料进行处理,同时处理与之有关的日期资料(如 92061212),可作出相关日期的分析天气图,不满意之处可调用修改功能处理。最终结果存盘(时次、70F,此次即为 92061212、70F),也可打印。

完成这步,结束返回上层菜单 A,选择 3 即智能数据库部分,可见此部分主菜单:

- (1)View the datas of 700hPa
- (2)Objective analysis
- (3)Collect intellignt datas
- (4)Intelligent database(part one)
- (5)Intelligent database(part two)
- (6)Analysis of weather types
- (7)Display
- (8)Return to edit system

此部分许多功能是在进行数据输入、管理及查询历史资料用的。对于实时资料,选择功能 2(选择智能数据),我们即从前述工作中建立了智能数据库(主要是天气系统位置、强度等)。它为以后查找这方面资料提供方便。同时能建立气旋动态过程(在功能 6 中),以便为以后选取相似调用。它也能显示。

结束此步,返回上层菜单 A,可选择 6(物理量诊断),计算后的物理量可单独存盘,以

备需时调用。

结束后再退回菜单 A, 选择4(经验预报), 可见菜单:

EXPERT SYSTEM OF CYCLONE
FORECASTING

made by jiangsu meterological observa-
tory

please enter year month, day, time,
92061212

其中“92061212”是键入的预报时次, 键入后系统问是否打印, 我们选择“Y”。接下来系统就自动地进行工作, 将结果打印出来。其中一些中间结果, 它是让程序员了解机器推理时的某些情况用的, 如程序成熟, 都可去除。

从打印出来的结果, 可知92061212该时次符合高压脊型的气旋入型条件。可能在12—24小时内出现气旋, 但不发展, 此即为经验预报结论。

将此预报结论, 加上其它方法得出的结论, 如模式、数值预告等, 一起进行综合决策, 若在菜单 A 中选择8, 可得到以直方图形式表示的决策结论。

在菜单 A 中选择9, 还可得到3个相似个例的气旋路径和降水分布图以及相似个例的动态演变过程(屏幕显示)。

3个相似个例日期

相似过程(similar process): 65042012

相似过程(similar process): 74041100

相似过程(similar process): 69041800

以上是系统工作的主要流程, 做出预报结论24小时, 即92061212, 江苏出现了气旋过程, 但没有发展, 说明92061212时次的预报结论是正确的。

5 小结

5.1 系统将复杂的模型计算, 模式识别, 计算功能融合于专家推理判断之中。人机界面友好, 图文并茂, 能根据需要展示领域知识和问题求解。

5.2 以“智能数据库”(历史的和实时的)为核心的综合专家系统, 解决了从省台 NOV-ELL 网调入实时高空资料到输出预报结论的全自动化, 具有新颖的设计, 合理的流程, 齐全的功能。

5.3 系统研制和解决了智能数据的提取、存储检索, 动态相似过程的选取; 解决了预报经验因子, 规则的自动提取和量化、客观化; 设计和研制了多种预报方法, 实时信息进入系统的综合决策支持系统。

5.4 系统的6大模块是独立的, 可单独运行, 也可融为一体, 有效地提高了天气预报的工作效率和正确性, 经1992年试用(因1992年气旋个例极少), 系统只进行了4次入型试报, 报“有”2次, 实况为有, 报“无”2次, 实况也为无, 报有的2次同时也报其不发展, 实况也为不发展。

参考文献(略)

A Comprehensive Weather Forecasting Expert System

Zhou Zengkui

(Jiangsu Meteorological Observatory)

Comprehensive weather forecasting expert system which centres in “Intelligent Database” is a common expert system shell and an operational process. Compiled mainly using computer languages such as Turbo-C, Turbo-prolog and Basic etc., this system consists of six major parts: objective analysis and system distinguish, intelligent database including real time and history, analogous process prediction based on the moving evolution of major weather system, physical element diagnosis, experience forecasting and comprehensive decision. Every part is relatively independent but all parts can be combined executing together. As an applied advanced technology, the system has a complete function and a rational structure design.

Key Words: comprehensive decision weather forecasting expert system intelligent database