

# GRIB 数据及其在航迹预测中的应用

武晓光,张军峰,蒋海行

(南京航空航天大学 民航学院,江苏 南京 210016)

**摘要:** 四维航迹预测的准确性是轨迹运行与空管决策支持的基础,而高空风数据支持下的气象建模是提高航迹预测准确性的关键。通过解析 GRIB 格式的风数据,获取各高度层的风速和风向,同时依据风对地速、航向的影响进行四维航迹预测建模,利用浦东机场的进场航班实现仿真验证,将预测结果与实际雷达轨迹对比,验证了风影响下四维航迹预测的准确性。

**关键词:** 航迹预测;GRIB 数据;风数据;气象建模

**中图分类号:** V328      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1671-654X(2013)06-0059-04

## Application of GRIB Data for 4D Trajectory Prediction

WU Xiao-guang, ZHANG Jun-feng, JIANG Hai-hang

(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** The accuracy of 4D trajectory prediction is the foundation of trajectory-based operation and decision support tools of ATC. Meteorological modeling, especially the wind modeling, is the key element for improving the precision of trajectory prediction. Through analyzing the wind data in GRIB format, wind speed and direction at each levels can be obtained. Meanwhile, the 4D trajectory prediction model is constructed based on the wind effect to aircraft movements, especially Ground Speed and Heading of aircraft. Taking arrival flights to Shanghai Pudong International Airport as an example, a simulation is conducted through the comparison of prediction results and the radar information. And the simulation results indicate the effectiveness of the proposed approach.

**Key words:** trajectory prediction; GRIB data; wind data; meteorological modeling

## 引言

航空器 4D 航迹是以空间和时间形式,对某一航空器航迹中的各点空间位置(经度、纬度和高度)和时间的精确描述<sup>[1]</sup>。4D 轨迹的准确性预测是新一代基于航迹运行的空管自动化系统的技术基础,广泛应用于进离场航班排序<sup>[2]</sup>、飞行冲突的预警与解除<sup>[3]</sup>、航迹优化等。

目前航空器飞行轨迹预测方法主要有两种:其一是基于混合估计理论<sup>[4]</sup>实现航迹预测,毕竟航空器运动不仅具有多模态性质,而且需要考虑其横向、纵向以及垂直方向的三维状态,因此航迹预测可以视作随机线性混杂系统的估计问题<sup>[5]</sup>。其二是基于航空器动力学及运动学模型,利用各类机型的性能参数实现航迹预测<sup>[6]</sup>。

在基于航空器动力学及运动学的航迹预测研究中,精确的数据支持可以提高预测结果的有效性,而气象数据就是其中一项重要的数据。气象数据中的风数据对航迹预测的影响尤为重要,如果缺少风速风向,将降低航空器四维轨迹预测的精度。然而由于风数据难以获取,在目前国内的四维航迹预测研究中,只在理论上对风在航迹预测中的影响加以描述,或以矢量图的形式假设风速、风向的大小,并以此简单建模。由于上述方法不能准确获得气象部门的真实数据,其四维航迹预测的效果难以令人信服。因此,对航迹预测中风信息的建模,并且将涵盖风信息的气象模型作为独立模块,参与构建航迹预测模型,显得尤为重要。本文通过分析 GRIB 格式的气象数据,实现具体风数据的数据库形式存储,然后在航迹预测的过程中,实时读取与计算,可以有效提高四维航迹预测精度。

收稿日期:2013-09-13

修订日期:2013-11-01

**基金项目:** 江苏省自然科学基金项目资助(BK20130814);中央高校基本科研业务费专项资金项目资助(NS2012028);波音-中国商飞联合资助课题(2012-TR-012);南京航空航天大学研究生创新基地开放基金项目资助(kfj130127)

**作者简介:** 武晓光(1989-),男,山东泰安人,硕士研究生,主要研究方向为新一代空中交通管制自动化。

1 风数据的格式与处理

1.1 风数据格式

欧洲中期天气预报中心(European Centre For Medium Range Weather Forecasts, ECMWF) 提供全球范围内的气象信息,其数值预报当前在世界上水平较高,有很高的使用价值。ECMWF 提供的气象数据可根据等压面进行选择,即找到不同高度层下的数值信息,气象信息以 GRIB 数据类型存储于文件中,预报中心每 6 h 更新一次数据。

GRIB 码<sup>[7]</sup>是与计算机无关的压缩的二进制编码,主要用来表示数值天气分析和产品的预报资料。对于使用现代通信协议的高速通信链路来说,GRIB 是一种传送大批量网格化数据的有效工具。通过把各种相关数据打包压缩为 GRIB 码,使信息的组织方式比起基于字符的形式要紧凑得多,因此有利于资料的存储和加快计算机之间的传输速度。

1.2 风数据处理

GRIB 是大批网格化数据的有效工具,气象信息的全球定位,依据格点确定,格点位置由经纬度唯一表示。某区域范围内风数据的获取过程有以下 4 个步骤:

- 1)选取所需气象数据。选择各气压层上风的数据,其中包含日期、时刻(0 h、6 h、12 h、18 h)、风分量、所需气压层等,其中时刻为 UTC 时间。
- 2)裁剪区域。选取所需世界某区域的气象数据,分别由纬度范围确定南北区域,经度范围确定东西区域。
- 3)确定单位网格跨度。数据定义在  $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$  经纬度跨度的网格上,也可根据所需精度自定义网格跨度。
- 4)各选项确定后,下载文件,文件下载格式为 GRIB 数据,GRIB 数据文件以记录为单位,每一个记录包含一个高度层上的一组网格点的单个物理量的值。
- 对于获取的各气压层上,以 GRIB 格式存储的风数据,只有经过解码才能生成描述文件。其基本过程为:首先,利用工具grib2ctl.exe生成整个文件的描述

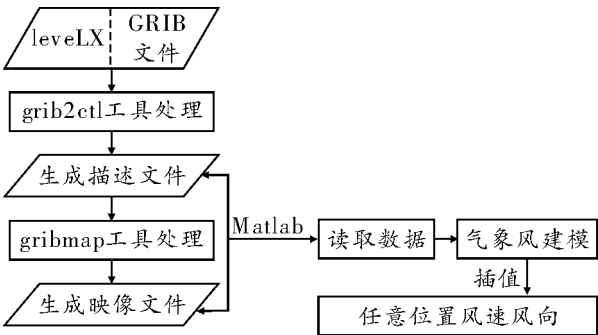


图 1 GRIB 风数据处理流程图

文件.ctl;然后,利用工具 gribmap.exe 生成映射文件.idx;最后,通过其描述文件,可以提取该文件存储记录的形式与结构信息,以便处理数据。

具体流程如图 1 所示。

2 航迹预测中的气象建模

2.1 航迹预测

航迹预测是通过航迹预测器计算预估航空器未来轨迹的过程,航迹预测器根据当前航空器的状态、预估的飞行意图、预计的环境状态和航空器性能等,预测航空器的未来走向,如图 2 所示。

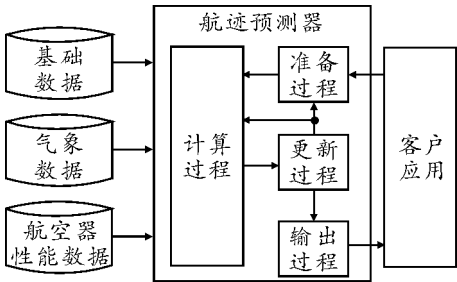


图 2 航迹预测模型示意图

准备过程:即产生飞行脚本(亦即航空器飞行意图)<sup>[8]</sup>的最初版本。数据输入需有飞行计划、航空公司运行程序以及空中交通管制对航空器性能的限制。

计算过程:即航迹预测器的核心功能。飞行脚本含有对航空器运行情况的描述,包括其程序化的空中交通管制限制。航迹计算器采用环境状况的预测信息和航空器性能数据,将意图信息与 4D 轨迹实施整合。

更新过程:航迹预测器可在新状态或意图数据出现时以时间为依据来进行更新过程,更新过程可能产生新的飞行脚本,或者可能仅会修正信息。

输出过程:将预测的航迹数据交由航迹预测的客户应用,如冲突探测与解脱、进场管理、离场管理等。

航迹预测器的输入包括基础数据、气象数据和航空器性能数据。其中:基础数据包括空域数据、航路航线信息等;气象数据由本文给出的基于 GRIB 格式的风数据构建;航空器性能数据由 BADA<sup>[9]</sup>(航空器基础资料,是欧控实验中心开发的一组以 ASCII 所组成的资料,包含了 399 种机型航空器有关操作性能参数及航空公司程序参数等数据)提供支持。

2.2 风的预处理

航迹预测中,航空器的实时位置不会精确地处于网格点上。而且 GRIB 数据点连成的网格并不是规则的矩形网格,而是近似梯形,因此为了确定航空器所处经纬度上的风矢量信息,需找到该经纬度相邻的四个

格点数据,如图 3 所示。

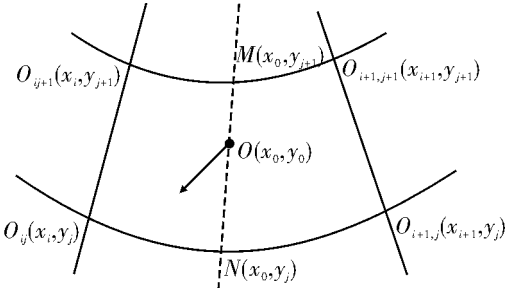


图 3 航迹点网格数据

通过两点线性插值方式求得  $M$  点风的東西方向風分量  $u(M)$  :

$$u(M) = u_1 + (u_2 - u_1) \times \frac{(x_0 - x_{i+1})}{(x_i - x_{i+1})} \tag{1}$$

式中,  $u_1$  為點  $O_{i+1,j+1}$  的東西方向風分量,  $u_2$  為點  $O_{i,j+1}$  的東西方向風分量。

同理,通過線性插值,可以求出  $O_{i+1,j+1}$  點風的南北方向風分量  $v_1$ ,  $O_{i,j+1}$  點風的東西方向風分量  $u_2$  和南北方向風分量  $v_2$ , 最後得出目標點  $O$  的東西方向分量 ( $u$ ) 與南北方向分量 ( $v$ )。從而得到風的大小與方向:

$$V_{wind} = \sqrt{u^2 + v^2} \tag{2}$$
$$\varphi_{wind} = \begin{cases} \arctan(u/v) & u > 0, v > 0 \\ 180 - \arctan(u/(-v)) & u > 0, v < 0 \\ 180 + \arctan(-u/(-v)) & u < 0, v < 0 \\ 360 - \arctan(-u/v) & u < 0, v > 0 \end{cases} \tag{3}$$

其中,  $V_{wind}$  為風速,  $\varphi_{wind}$  為風向, 南北方向: 南風為正; 東西方向: 西風為正。

2.3 風影響分析

在航跡預測中, 當真空速和風速一定時, 側風程度即風角的不同, 將導致偏流、地速的大小發生改變<sup>[10]</sup>。

由於側風的影響, 飛機的航跡將偏向航向的下風面, 從而產生偏流。偏流是飛機相對空氣運動的方向線到相對地面運動的方向線的夾角, 用地速向量同空速向量的夾角表示。左側風時, 航跡偏向航向的右側, 偏流為正; 右側風時, 航跡偏向航向左侧, 偏流為負; 偏流的大小與真空速和風速的大小及側風程度有關。

地速向量與風速向量的夾角, 即風角, 它說明飛機所受側風的程度。以航跡線為基準, 左側風時, 由航跡線順時針量到風向線, 為正值, 即“+WA”; 右側風時, 由航跡線反時針量到風向線, 為負值, 即“-WA”。

從風的分解可以知道:  $V_{wind} \times \sin(WA)$  是側風分量, 將使航跡線偏离航向線, 產生偏流, 影響航行方向;

$V_{wind} \times \cos(WA)$  是順(逆)風分量, 將影響飛機地速, 使地速不等於真空速, 影響航行時間。

在進行航跡預測時, 由於風直接對飛行器產生作用力, 產生偏流和順逆風分量, 影響到飛行器的過點時刻。航空器飛行中, 根據已知的風向、風速, 可以計算出偏流和地速, 得到單位時間內飛過的距離:

$$WA = \varphi_{wind} - MTK$$
$$DA = \arcsin(V_{wind}/V_{TAS}) \times \sin(WA)$$
$$V_{GS} = V_{TAS} \times \cos(DA) + V_{wind} \times \cos(WA)$$
$$DIS = V_{GS} \times \Delta T$$

其中,  $DIS$  為單位時間飛過的距離,  $MTK$  為航跡角。

3 仿真驗證

3.1 雷達數據

复制上海终端空域雷达数据, 通过管制自动化系统的回放功能, 将雷达轨迹转存为计算机可以读取的文件(.txt)。

提取某日航班的历史雷达数据, 包括各航班不同时刻的位置及速度信息。并根据浦东机场航行资料中进场航路与扇区划分, 分析 2013 年 1 月 2 日由西北向进场航班雷达轨迹, 如图 4 所示(其中细虚线表示扇区边界, 粗虚线表示进场航线, 实线表示雷达轨迹)。

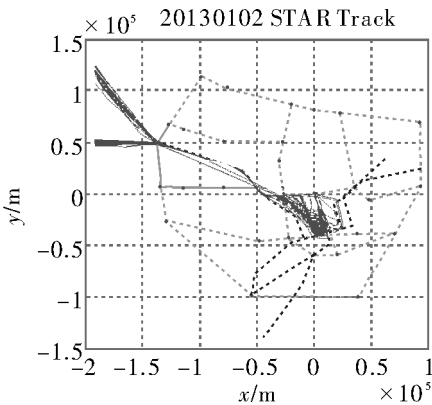
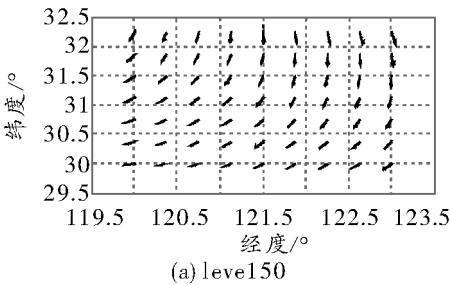


图 4 上海浦东国际机场西北向进港航班雷达轨迹示意图

3.2 風矢量圖

裁剪所需上海终端区范围的 GRIB 网格数据, 按图 1 所示的流程图进行处理, 可得風矢量圖如图 5 所示。



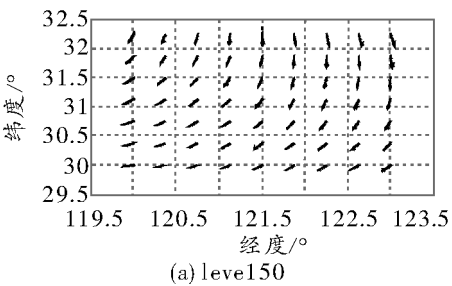


图5 不同高度风矢量图

3.3 仿真验证

选取2013年1月2日浦东机场西北向进场航班(CCA4503)作为仿真案例。在预测过程中,分别对加入与不加入以GRIB风数据支持的气象模型,进行航迹预测。航迹预测过点时刻与实际雷达过点时刻的对比如下表所示。

CCA4503 航班航迹预测分析表

航路点	未考虑风影响的 过点时刻(UTC)	实际到达时刻 (UTC)	预计到达时刻 (UTC)
VMB	7:14:35	7:14:35	7:14:35
EKIMU	7:21:00	7:20:08	7:20:50
JTN	7:24:04	7:22:58	7:23:48
PD019	7:26:11	7:24:59	7:25:54
IAF	7:27:21	7:26:10	7:27:11
PD015	7:28:17	7:26:55	7:27:57
PD014	7:29:39	7:28:10	7:29:19
PD013	7:31:43	7:30:23	7:31:23
PD012	7:33:05	7:32:00	7:32:45
PD023	7:34:33	7:33:56	7:34:25
IF	7:37:17	7:37:03	7:37:07
FAF	7:37:55	7:37:41	7:37:47

经过对比分析可以看出,加入风数据的航迹预测结果更为准确,说明引入GRIB数据格式的风数据进行气象建模,可以有效提高航迹预测工具的准确性。

4 结束语

本文给出了在航迹预测的过程中,GRIB数据格式的风信息的处理流程,并将以风数据支持的气象模型整合入航迹预测模型中,进行四维航迹预测。对于更加复杂的气象建模,以及气象预报信息对航迹预测的影响,将是未来重要的研究方向。

参考文献:

[1] Korn B,Helmke H,Kuenz A. 4D Trajectory Management in the Extended TMA: Coupling AMAN and 4D FMS for Optimized Approach Trajectories [C]. Silicon Valley, California: 25th Int Congress of the Aeronautical Sciences (ICAS 2006), July, 2006.

[2] Schroeder J A. A Perspective on NASA Ames Air Traffic Management Research [R]. AIAA - 2009 - 7054, 2009.

[3] Ruiz S, Piera M, Pozo I. A Medium Term Conflict Detection and Resolution System for Terminal Maneuvering Area based on Spatial Data and 4D Trajectories [J]. Transportation Research Part C, 2013, 26: 396 - 417.

[4] Hwang I. Air Traffic Surveillance and Control using Hybrid Estimation and Protocol - Based Conflict Resolution [D]. USA: Stanford University, 2003.

[5] 谢丽,张军峰,隋东,等. 基于交互式多模型滤波算法的航迹预测[J]. 航空计算技术, 2012, 42(5): 68 - 71.

[6] Fukuda Y, Shirakawa M, Senoguchi A. Development of Trajectory Prediction Model [C]. Tokyo, Japan: ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC), 2010.

[7] 刘媛媛,应显勋,赵芳. GRIB2 介绍及解码初探[J]. 气象科技, 2006, 34: 61 - 62.

[8] Michael A K, Scott D, Robab S, et al. Improving Ground - Based Trajectory Prediction through Communication of Aircraft Intent [R]. AIAA - 2009 - 6080, 2009.

[9] Eurocontrol Experimental Center. User Manual for the Base of Aircraft Data (BADA), Revision 3. 9 [R]. EEC Technical/Scientific Report No. 11/03, 2011.

[10] 张焕. 空中领航学 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2003.