



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 105701552 B

(45) 授权公告日 2021.09.03

(21) 申请号 201410532906.8

(22) 申请日 2014.10.11

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105701552 A

(43) 申请公布日 2016.06.22

(73) 专利权人 中国国际航空股份有限公司

地址 101300 北京市顺义区天竺空港工业
区A区天柱路28号蓝天大厦9层

(72) 发明人 陈奇 蒋志震 闫紫光 申洪斌

(74) 专利代理机构 北京市铸成律师事务所

11313

代理人 孟锐

(51) Int.Cl.

G06Q 10/04 (2012.01)

(56) 对比文件

CN 101692315 A, 2010.04.07

CN 103093649 A, 2013.05.08

CN 102737523 A, 2012.10.17

US 2010332123 A1, 2010.12.30

王素晓.民用飞机巡航段航迹规划和制导方
法研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库工
程科技II辑》.2011,C031-54.

王江云等.民机飞行管理系统建模与仿真实
现.《飞行力学》.2008,第26卷(第2期),第81-84、
96页.

审查员 侯昕煜

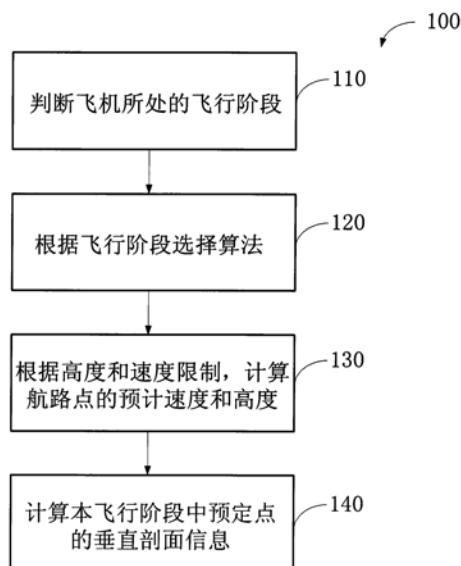
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种飞行航路垂直剖面的确定方法

(57) 摘要

本发明涉及一种飞行航路垂直剖面的确定
方法,包括:判断飞机所处的飞行阶段;根据飞
机的飞行阶段,获得限制条件;根据飞机的飞行
阶段,确定一个或多个预定点;以及计算所述一个
或多个预定点的垂直剖面信息。



1. 一种飞行航路垂直剖面的确定方法,包括:

确定飞机当前所处的飞行阶段,其中飞行阶段包括:起飞、爬升、巡航、下降和进近;

根据飞机的飞行阶段,获得当前飞行阶段所有航路点的限制条件,并以此计算当前飞行阶段飞到各航路点的预计速度和高度;

确定一个或者多个预定点,并以当前飞行阶段飞到各航路点的预计速度和高度为基础,根据所述预定点的设置方式,计算当前飞行阶段中飞机到达所有所述预定点的垂直剖面信息;

反馈计算的垂直剖面信息,以完成飞行过程;

其中计算当前飞行阶段中飞机到达所有所述预定点的垂直剖面信息的步骤包括:

在爬升阶段,设置以爬升轨迹角分类的多个数据表,并在爬升的轨迹角随着高度上升线性减小时,从对应数据表中获取垂直剖面信息;

在爬升阶段,航路点发生变化且速度和高度限制没有影响变化前的航路点,爬升阶段变化前航路的垂直剖面信息直接获取,变化后的爬升阶段、巡航阶段以及下降阶段垂直剖面信息重新计算。

2. 如权利要求1所述的方法,计算当前飞行阶段中飞机到达所有所述预定点的垂直剖面信息的步骤还包括:

在巡航阶段,航路点发生变化且总航程没变,爬升阶段、下降阶段和巡航阶段变化前的航路点的垂直剖面信息直接获取;

在下降阶段,航路点发生变化,爬升阶段的垂直剖面信息直接获取,下降阶段和巡航阶段的垂直剖面信息重新计算。

3. 如权利要求2所述的方法,计算当前飞行阶段中飞机到达所有所述预定点的垂直剖面信息的步骤还包括:

基于进离场数据库中存储的飞机初始性能参数所对应的垂直剖面数据,利用插值算法,直接插值得出飞机当前进离场时的垂直剖面;起飞重量和重心采用split曲线插值方法计算,巡航高度和成本指数采用线性插值方法计算;其中,利用巡航高度和成本指数对进近时的重量的影响进行分析,并对重量数值采用近似值方式处理,且将个位数向偶数靠齐,以使重量数值满足插值计算的输入格式;

其中,若输入的进离场条件不包含在进离场数据库中,连接包含该进离场条件下飞机初始性能参数对应的垂直剖面数据的服务端获取所述进离场条件下飞机初始性能参数对应的垂直剖面数据。

4. 如权利要求1所述的方法,其中垂直剖面信息包括预计速度、预计高度、预计到达时间和预计剩余燃油量。

5. 如权利要求2所述的方法,针对起飞或进近阶段,每隔10英尺或比10英尺更小的高度设置预定点,或者每隔1秒钟设置预定点。

6. 如权利要求2所述的方法,针对爬升或下降阶段,每隔1000英尺、500英尺或比500英尺更小的距离设置预定点。

7. 如权利要求2所述的方法,针对巡航阶段,每隔10海里、5海里或者或比5海里更小的距离设置预定点。

8. 如权利要求2所述的方法,通过迭代的方式计算爬升阶段、巡航阶段和下降阶段的预

定点的垂直剖面信息。

9. 如权利要求8所述的方法,通过查表的方式简化爬升阶段、巡航阶段和下降阶段的预定点的迭代计算。

10. 如权利要求2所述的方法,通过插值的方式计算起飞阶段和进近阶段的预定点的垂直剖面信息。

11. 如权利要求3所述的方法,所述进离场数据库包括按进离场条件分类的多个数据表。

12. 如权利要求11所述的方法,所述进离场数据库包括按某一飞机初始性能参数分类的多个数据子表。

13. 如权利要求12所述的方法,所述数据子表包括多个垂直剖面数据,每个垂直剖面数据与一个或多个飞机初始性能参数的特定值相对应。

14. 如权利要求13所述的方法,所述一个或多个飞机初始性能参数的特定值包括最大值和最小值。

15. 如权利要求13所述的方法,所述飞机初始性能参数包括:襟翼角度、起始重量、重心、巡航高度和成本指数。

16. 如权利要求15所述的方法,其中按襟翼建立数据子表,针对起始重量、重心、巡航高度和成本指数采用线性插值计算垂直剖面数据。

17. 如权利要求15所述的方法,其中按襟翼建立数据子表,针对起始重量和重心采用曲线插值计算垂直剖面数据;对于巡航高度和成本指数仍采用线性插值计算垂直剖面数据。

18. 如权利要求15所述的方法,其中,针对进近阶段,利用巡航高度和成本指数估计进近起始时的重量。

19. 如权利要求3所述的方法,其中所述进离场数据库的内容可以从外部下载。

20. 如权利要求3所述的方法,其中所述进离场数据库存储历史进离场数据。

21. 如权利要求1所述的方法,其中在航路点发生变化时,利用至少部分已经计算的垂直剖面来重新计算垂直剖面。

22. 如权利要求1所述的方法,其中所述限制条件包括:高度限制、速度限制、和距离限制,所述高度限制包括巡航高度限制。

一种飞行航路垂直剖面的确定方法

技术领域

[0001] 本发明涉及航空技术领域,特别地涉及一种飞行航路垂直剖面的确定方法。

背景技术

[0002] 飞行管理系统FMS(FlightManagementSystem)是大型飞机数字化电子系统的核 心,它可以组织、协调和综合多个机载电子系统。通常情况下,飞机在FMS的控制下,可以实 现全自动导航,从而以最佳的飞行路径、最佳的飞行剖面和最省油的飞行方式完成从起飞 到进近着陆的整个飞行过程。因此,在飞行员的培训过程中,大约1/3或更多的训练时间会 用来完成对FMS的熟练使用。

[0003] 对于飞行管理这个涉及大量实际操作的系统,依赖于课堂教学和看手册是不能熟 练掌握设备使用方法的,必需花费大量时间和精力进行练习。然而,固定模拟机FTD (FlightTrainingDevice) 和全动模拟机FFS (FullFlightSimulator) 价格昂贵,飞行员练习 飞行管理等系统时无法大量使用。

[0004] 然而,将FMS扩展到其他设备,特别是资源受限的设备时,一个困难就在于飞行航 路的垂直剖面的计算非常复杂,难以在这些设备上有效的执行。

发明内容

[0005] 针对以上技术问题,本申请提出了一种飞行航路垂直剖面的计算方法,包括:判断 飞机所处的飞行阶段;根据飞机的飞行阶段,获得限制条件;根据飞机的飞行阶段,确定一 个或多个预定点;以及计算所述一个或多个预定点的垂直剖面信息。

[0006] 如上所述的方法,其中飞行阶段包括:起飞、爬升、巡航、下降和进近。

[0007] 如上所述的方法,不同的飞行阶段有着不同的计算方法。

[0008] 如上所述的方法,其中垂直剖面信息包括预计速度、预计高度、预计到达时间和预 计剩余燃油量。

[0009] 如上所述的方法,针对起飞或进近阶段,每隔10英尺或更小的高度设置预定点,或 者每隔1秒钟设置预定点。

[0010] 如上的方法,针对爬升或下降阶段,每隔1000英尺、500英尺或更小的距离设置预 定点。

[0011] 如上所述的方法,针对巡航阶段,每隔10海里、5海里或者或更小的距离设置预 定点。

[0012] 如上所述的方法,通过迭代的方式计算爬升阶段、巡航阶段和下降阶段的预定点 的垂直剖面信息。

[0013] 如上所述的方法,通过查表的方式简化爬升阶段、巡航阶段和下降阶段的预定点 的迭代计算。

[0014] 如上所述的方法,所述垂直剖面部分通过插值的方式计算起飞阶段和进近阶段的 预定点的垂直剖面信息。

[0015] 如上所述的方法,所述垂直剖面部分包括进离场数据库。

[0016] 12. 如权利要求11所述的方法,所述进离场数据库包括按进离场条件分类的多个数据表。

[0017] 如上所述的方法,所述进离场数据库包括按某一飞机初始性能参数分类的多个数据子表。

[0018] 如上所述的方法,所述数据子表包括多个垂直剖面数据,每个垂直剖面数据与一个或多个飞机初始性能参数的特定值相对应。

[0019] 如上所述的方法,所述一个或多个飞机初始性能参数的特定值包括最大值和最小值。

[0020] 如上所述的方法,所述飞机初始性能参数包括:襟翼角度、起始重量、重心、巡航高度和成本指数。

[0021] 如上所述的方法,其中按襟翼建立数据子表,针对起始重量、重心、巡航高度和成本指数采用线性插值。

[0022] 如上所述的方法,其中按襟翼建立数据子表,针对起始重量和重心采用曲线插值;对于巡航高度和成本指数仍采用线性插值。

[0023] 如上所述的方法,其中,针对进近阶段,利用巡航高度和成本指数估计进近起始时的重量。

[0024] 如上所述的方法,其中所述进离场数据库的内容可以从外部下载。

[0025] 如上所述的方法,其中所述进离场数据库的内容可以与外部服务器保持同步。

[0026] 如上所述的方法,其中所述进离场数据库存储历史进离场数据。

[0027] 如上所述的方法,其中在航路点发生变化时,利用至少部分经计算的垂直剖面来重新计算垂直剖面。

[0028] 如上所述的方法,其中所述限制条件包括:高度限制、巡航高度、速度限制、和距离限制。

附图说明

[0029] 下面,将结合附图对本发明的优选实施方式进行进一步详细的说明,其中:

[0030] 图1是根据本发明的一个实施例的计算垂直剖面的方法的流程图;

[0031] 图2是根据本发明的一个实施例的计算进离场垂直剖面的方法的流程图;

[0032] 图3是根据本发明的一个实施例的计算进离场的结构示意图;以及

[0033] 图4根据本发明的另一个实施例的计算垂直剖面的方法的流程图。

具体实施方式

[0034] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0035] 飞行过程的垂直剖面信息包括根据飞机所处的不同的飞行阶段飞机飞行状态信息,包括但不限于预计速度、预计高度、预计时间和预计剩余燃油量。

[0036] 图1是根据本发明的一个实施例的计算垂直剖面的方法的流程图。如图1所示,计算垂直剖面的方法100包括:在步骤110,判断飞机所处的飞行阶段。飞行阶段分为起飞、爬升、巡航、下降、着陆和复飞。由于不同阶段有不同的算法,在步骤120,根据当前的飞行阶段选择相应的算法。步骤120也可以在以下其他步骤之后,具体执行计算之前进行。

[0037] 接下来,在步骤130,分析当前飞行阶段所有航路点的速度和高度限制,然后根据此限制计算飞到这些航路点的预计速度和高度。

[0038] 然后,在步骤140,以当前飞行阶段所有航路点为基础,根据该飞行阶段预定点的设置方式和所选择的算法,继续计算该飞行阶段中的飞机到达所有预定点的垂直剖面信息,包括但不限于预计速度、预计高度、预计到达时间和预计剩余燃油量。

[0039] 根据本发明的一个实例,在起飞阶段,从地面增速、离地、收起起落架、收起襟翼等过程都是在这一阶段完成的。因为这些动作使得飞机的气动形态发生变化从而影响起飞剖面的计算,所以在起飞阶段的预定点的选取一般会非常密集,以准确地反映出飞机的飞行状态。根据本发明的一个实例,每隔10英尺或更小的高度设置预定点。根据本发明的另一个实例,为了减少计算量,每隔1秒钟设置预定点。

[0040] 根据本发明的一个实例,进近阶段采用与起飞阶段相同的预定点设置方式。根据本发明的一个实例,起飞和进近的预定点设置可以参考导航数据库中的内容。在进近过程中,以落地点反推计算预定点的垂直剖面信息,其方法与起飞类似。

[0041] 以下以起飞航路点为例,具体说明一个计算垂直剖面的实例。为了简化计算过程,做出如下设定:机场A、海拔0米、跑道S、方向正北0°、离场阶段、飞机重量M、重心位置G、起飞襟翼θ、风速为静风、温度为标准温度ISA以及飞机成本指数C。起飞第一航路点离场高度410英尺,不考虑巡航高度。具体计算包括以下步骤:

[0042] a.计算410英尺处经纬度;

[0043] b.根据性能数据库的内容,计算起飞剖面;

[0044] c.计算速度、水平距离、油耗、到达时间;

[0045] d.重新计算距离;

[0046] e.重新计算经纬度;

[0047] f.重复步骤b-e,直到两次迭代之间的误差小于预定值;以及

[0048] g.在得出了离场高度410英尺的航路点的信息后,可以计算下一点航路点的速度、水平距离、油耗、到达时间。

[0049] 爬升阶段和下降阶段类似,预定点的设置采用高度步长。根据本发明的一个实例,爬升阶段从1500英尺开始到限制高度或者巡航高度,而下降阶段从巡航高度下降到进高度(例如外信标限制高度)。在爬升阶段和下降阶段,每个1000英尺或更小的距离设置预定点。

[0050] 在巡航阶段,飞机的飞行状态比较平稳。根据本发明的一个实例,以10海里、5海里或更短距离的步长设置预定点。在一次飞行过程中,飞机可能经过几次爬升和平飞或巡航过程。在每个过程中采用其各自的算法来计算预定点的垂直剖面信息,从而得出整个航路的垂直剖面。

[0051] 以下以爬升为例,具体说明如何根据本发明的一个实施例计算预定点的垂直剖面信息。

[0052] 假定起始爬升点是1500英尺,目标高度是巡航高度或下一高度限制点。使用数值积分计算爬升到目标高度的速度、耗油量、升力、阻力等相关参数。

[0053] 由于是爬升阶段,选取积分步长为1000英尺。先计算中间高度2000英尺($1500+1000/2$)上的相关参数,中间高度即1500英尺到2500英尺的平均值,然后根据平均值推算2500英尺的数据。具体算法包括:

[0054] a.假设2000英尺的重力W等于升力L,由此可以算出升力系数CL;

[0055] b.根据CL,可以计算修正后的阻力系数,再计算此高度下的推力和加速因数;

[0056] c.根据此高度下的推力和加速因数,就可以计算爬升轨迹角 γ ;

[0057] d.根据 γ ,可以计算爬升率R/C,再根据R/C计算爬升1000英尺的所需时间steptime;

[0058] e.根据steptime,可以计算距离和耗油量,从而就可以修正2000英尺高度的W,再根据 γ 修正L,

[0059] f.有了修正后的W和L,就可以重新计算CL;

[0060] g.重复步骤b-f,直到两次迭代的W的差异小于预定阈值。

[0061] 具体而言,每一个循环都能得出一个W,而且每次的W都和上次的W越来越接近。当它们的差小于允许误差(即预定阈值)时,就认为这个W是可以接受的最终的W。这样就计算了2000英尺的垂直剖面信息的相关数据,然后以此方式去推算2500英尺的数据;再以此类推去计算其它高度的数据,直到目标高度。

[0062] 如果爬升阶段有高度限制,则当达到该高度时飞机应改平,以平飞通过具有此高度限制的航路点。然后,再继续爬升。对于速度限制的处置方法与此类似。

[0063] 由于以上的算法涉及迭代计算。对于很多计算资源不足的设备而言,迭代计算会非常耗时,从而带来不好的用户体验。为了减少对于计算资源的需求,根据本发明的一个实例,引入以爬升轨迹角 γ 分类的多个数据表。具体而言,爬升轨迹角 γ 的范围从 20° 到 5° ,每间隔 0.1° 设置一个数据表。该数据表中存储该爬升轨迹角下不同重量、成本指数、温度对应的飞机的速度、高度、水平距离和时间。假设定速爬升的轨迹角 γ 随高度上升线性减小,从而可以直接通过查表的方式获得不同高度下飞机的速度、高度、水平距离、时间和剩余油量等垂直剖面数据。从而避免迭代对于计算资源的占用。

[0064] 根据本发明的一个实例,如果在飞行过程中更改了航路点,为了节省计算资源,尽可能重复利用之前的计算结果。

[0065] 例如,如果飞机的起飞重量、成本指数、巡航高度和备份油不变,只是航路点发生了变化。那么首先要分析变化发生在哪个阶段,如果在巡航段,且总航程没变,那么爬升、下降和巡航段变化前的航路点的垂直剖面没有发生变化,可以直接调取,然后再计算变化后的航路点的垂直剖面数据即可;如果变化发生在下降段,则爬升的垂直剖面没有发生变化,可以直接调取,下降和巡航段的垂直剖面需要重新计算;如果变化发生在爬升段,且速度高度限制没有影响到变化前航路点,则爬升段变化前航路的垂直剖面没有发生变化,可以直接调取,变化后航段和巡航、下降阶段的垂直剖面需要重新计算。这样通过尽量调取已存的数据就可以尽量避免重新整个航路的垂直剖面,降低整体计算时间。

[0066] 根据本发明的一个实例,航路部分的优化也可以基于初始参数进行,即起飞重量、成本指数、巡航高度、备份油、航路点、高度和速度限制、总航程。例如,将当前航路最新计算

的垂直剖面存入航路数据库中,以方便以后的垂直剖面的计算。

[0067] 图2是根据本发明的一个实施例的计算进离场垂直剖面的方法的流程图。该方法涉及进场和离场程序,即涉及飞机起飞和进近阶段。这是垂直剖面里面计算量最大的部分。如果能优化这部分计算,则可以很大程度上解决运算资源有限的问题。

[0068] 如图2所示,优化方法200包括:在步骤210,创建进离场数据库。进离场数据库用于存储给定进离场和给定初始性能数据下计算的垂直剖面数据。这样如果用户下次输入同样的进离场和初始数据,就可以直接调取数据库存储的垂直剖面数据,从而省去了大量的计算量。

[0069] 这种方法面临的一个困难是,飞机的初始性能数据很多而进离场的条件也有上万条。如果将进离场条件和飞机的初始数据组合,可能有多达十万或更多种。因此,不可能将所有的这些组合的垂直剖面数据都存储到数据库里。这样过于浪费存储空间,而且使得数据库的建立和更新都面临更多难题。

[0070] 图3是示出了根据本发明的一个实施例的进离场数据库的结构示意图。如图3所示,进离场数据库300包括离场数据库和进场数据库。以离场数据库为例,针对每个机场或者每个机场的每个跑道建立一个单独的数据表。例如,图3示出了北京首都机场、上海虹桥机场、上海浦东机场和杭州萧山机场等四个数据表。本领域技术人员应当理解,数据表还可以更多或者以其他的形式呈现。

[0071] 更进一步地,对于每个机场的数据表,根据飞机起飞襟翼的不同再分为多个子表。例如,图3示出了北京首都机场的数据表包括襟翼为1、5、10、和15四个子表。本领域技术人员应当理解,数据子表还可以更多或者以其他的形式呈现。

[0072] 更进一步地,每个数据子表中存储飞机的4个初始性能参数所对应的垂直剖面数据。根据本发明的一个实例,如果4个参数的可选取范围分别是A(0,1),B(0,1),C(0,1),D(0,1),在数据子表中存储16组数据所对应的垂直剖面数据。这16组数据所需格式应为1110、1111、1101、1011、1001、1000、1010、1100、0110、0111、0101、0011、0001、0000、0010、0100。例如,1011所代表的就是当A取1,B取0,C和D取1的飞行垂直剖面数据;0101所代表的就是当A取0,B取1,C取0和D取1的飞行垂直剖面数据。

[0073] 根据本发明的一个实例,初始性能数据有4个参数:飞机的起飞重量、重心、巡航高度和成本指数。改变任意一个初始性能参数都会使最终的垂直剖面数据发生改变。

[0074] 为了减小计算量,避免迭代运算,根据本发明的一个实例,基于进离场数据库中存储的飞机初始性能参数所对应的垂直剖面数据,利用插值算法,直接插值得出飞机当前进离场时的垂直剖面。由于进离场数据库中飞机初始性能参数有4个变量,在预先存储的16组初始数据下,就可以插值出该条进离场任意初始条件下的垂直剖面数据。

[0075] 根据本发明的一个实施例,采用线性插值的方法计算垂直剖面数据。进一步地,根据本发明的另一个实施例,针对起飞重量和重心采用split曲线插值或其他曲线插值方法计算;对于巡航高度和成本指数仍采用线性插值。

[0076] 根据本发明的一个实施例,进离场数据库的数据子表中,还存储取值范围以外的其他飞机初始性能参数所对应的垂直剖面数据。在进行插值计算时,可以利用距离最近的数据点进行插值,也可以利用多个数据点进行插值,例如进行多个点的线性或曲线插值。这样,数据子表中存储的垂直剖面数据越多,插值计算的结果也就更为准确。

[0077] 在优化方法200中,在步骤220,接收使用者输入的进离场条件和飞机初始性能数据。具体而言,用户可以在CDU界面直接输入起飞机场和跑道、目的地机场和跑道,以及飞机初始性能数据,包括:无油重量,备份油,成本指数,巡航高度,起飞襟翼,和重心。

[0078] 进近程序的某些初始条件是不能直接输入的。比如,进近时的重量。因为该重量会受到巡航高度、成本指数等数据影响,但是又不能把这些影响因素都加入初始参数,因为这样会使初始参数变成5个或者更多。这样会增加初始存储的数据量,增加了数据库的规模和创建难度,不利于用户体验。根据本发明的一个实例,利用巡航高度、成本指数等数据对进近时的重量的影响进行分析,然后对该重量进行模糊处理,例如:对重量数值采用“四舍五入”的近似方式处理,并且将个位数向偶数靠齐,使其满足插值计算的输入格式。

[0079] 由于进离场条件可能有上万条,如果这些航路中的每一个都创建初始数据并存储在进离场数据库中也不是最佳方案。根据本发明的一个实施例,进离场数据库包括最常用的进离场条件下的垂直剖面数据。

[0080] 进一步地当用户输入的进离场条件不包含在进离场数据库中时,可以连接到包含该进离场条件下飞机初始性能参数所对应的垂直剖面数据的另外的服务器、计算机或者互联网下载这部分垂直剖面数据。根据本发明的另一个实施例,使用者可以自行创建进离场数据库中的内容,上传垂直剖面数据到进离场数据库中。

[0081] 根据本发明的一个实例,提供专门用于存储所有的垂直剖面的服务器。当用户联网时,服务器会可以与用于垂直剖面计算的进离场数据库同步。既支持用户从服务器端下载所需的进离场垂直剖面数据,也能够收集该用户的特有进离场的垂直剖面。这样就相当于所有的使用者共同创建和维护进离场数据库,极大地提高了用户体验。

[0082] 考虑到以上的扩展进离场数据库的方式以及进离场数据库中可以存储历史垂直剖面数据的功能,进离场数据库会随着使用者的使用不断扩大。

[0083] 在步骤230,根据进离场数据库中所存储的飞机初始性能数据对应的垂直剖面数据,直接通过插值计算出相应的垂直剖面数据。在步骤240,将计算得出的垂直剖面数据进行存储。

[0084] 图4是根据本发明的另一个实施例的计算垂直剖面的方法的流程图。如图4所示,计算垂直剖面的方法400包括:在步骤410,接收用户输入的航段信息。如果用户输入起飞机场和目的地机场,则从起飞的第一个航段开始计算垂直剖面。然后接下来完成其他的航段的垂直剖面的计算。

[0085] 在步骤420,判断飞机所处的飞行阶段,即飞机是否处于起飞、爬升、巡航、下降或进近中。如果飞机处于起飞或进近阶段,在步骤430,判断飞机的进离场条件是否包含在进离场数据库中。如果进离场数据库中存在该进离场条件下的垂直剖面数据,则在步骤440,通过插值计算直接得出飞机起飞或进近的进离场垂直剖面数据。如果进离场数据库中不存在该进离场条件下的垂直剖面数据,则在步骤450中获取该进离场条件下的飞机初始性能数据所对应的垂直剖面数据。根据以上的介绍,所获取的数据包括针对飞机的4项飞机初始性能数据的取值范围所对应的16种组合情况下的垂直剖面数据。然后,在步骤440中,通过插值计算得出飞机起飞或进近的垂直剖面数据。利用插值计算的方式,避免了频繁的迭代计算,从而可以极大地减少对计算能力的需求,提高计算速度,提升用户体验。而且,比较插值计算的结果与迭代计算的结果会发现二者之间的差异并不大。因此,插值计算的结果是

完全可以满足训练要求的。

[0086] 如果飞机处于爬升、巡航或下降阶段，则通过积分循环的方式得出整个航段的垂直剖面数据。在步骤460，设置循环终止条件。终止条件包括：(1)高度限制，即达到预定的限制高度；(2)巡航高度，即达到了指定的巡航高度；(3)速度限制，即达到了预定的速度；(4)距离限制，即飞机已经飞过了预定的距离，例如到达了预定的航路点。根据本发明的实例，还可以设定其他的循环终止条件，由此可以更加灵活地计算垂直剖面。

[0087] 在步骤470，根据飞机所处的飞行阶段和/或计算垂直剖面的具体要求，选择积分步长。如上所介绍的，对于爬升或下降阶段，可以选择500英尺或1000英尺为积分步长；对于巡航阶段，可以选择5海里或10海里为积分步长。

[0088] 在步骤480，根据飞机所处的飞行阶段，采用相应的积分算法，按照积分步长所确定的预定点，循环计算飞机的垂直剖面，直到遇到终止条件。

[0089] 接下来，在步骤490，判断本航段的垂直剖面是否已经计算完成。如果没有完成，则返回重新计算。如果已经完成，则在步骤411，判断是否将垂直剖面的计算结果存入数据库中。如果需要保存，在步骤412，将垂直剖面的计算结构存入数据库中。例如，对于起飞和进近的垂直剖面可以保存在进离场数据库中。对于其他飞行阶段的垂直剖面，可以按使用者的要求或者航段飞行的频繁度选择是否保存垂直剖面，以方便以后的计算。

[0090] 在步骤430，判断是否已经完成了本飞行阶段。如果已经完成，则返回步骤410，计算下一航段。否则，返回重新计算未完成部分的垂直剖面的计算。

[0091] 以下通过一个具体的实例说明本发明的优化算法的技术效果：采用iPad作为测试工具，运行FMS模拟器。测试内容为从上海(ZSSS)飞杭州(ZSHC)，使用跑道36R，离场NJD2D，飞往笕桥(CJ)，然后飞往党山(DSH)，使用ILS15进近，DSH过渡。性能数据：无油重量550000KG，备份油2000KG，成本指数35，巡航高度13800英尺，起飞襟翼5，重心20%。

[0092] 此航路空中航路段很短，主要由进离场组成，特别适用于测试此优化方案的性能。不使用优化方案，计算各航路点速度和高度需用时间：3分30秒；而使用优化方案，计算各航路点速度和高度需用时间：35秒。

[0093] 上述实施例仅供说明本发明之用，而并非是对本发明的限制，有关技术领域的普通技术人员，在不脱离本发明范围的情况下，还可以做出各种变化和变型，因此，所有等同的技术方案也应属于本发明公开的范畴。

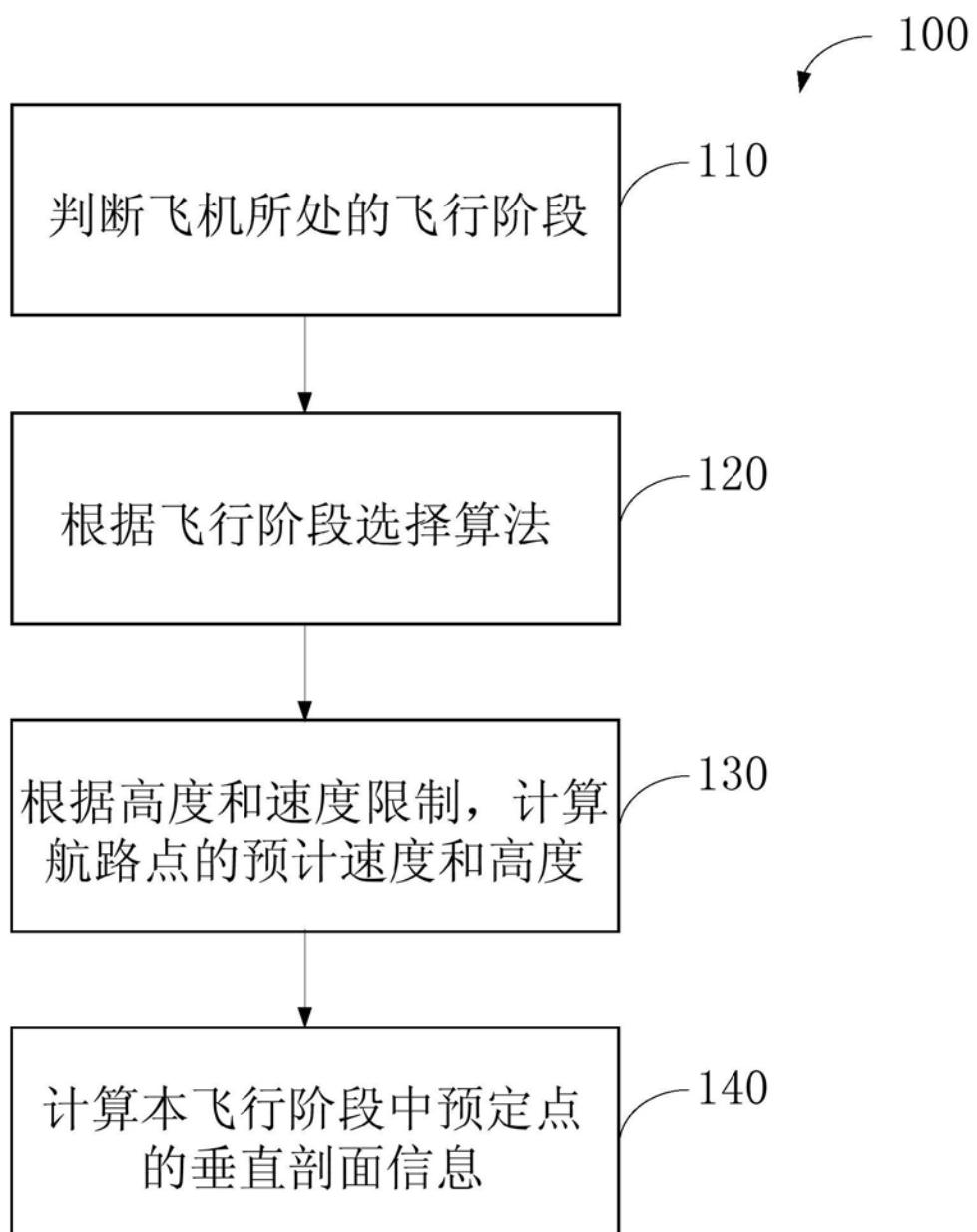


图1

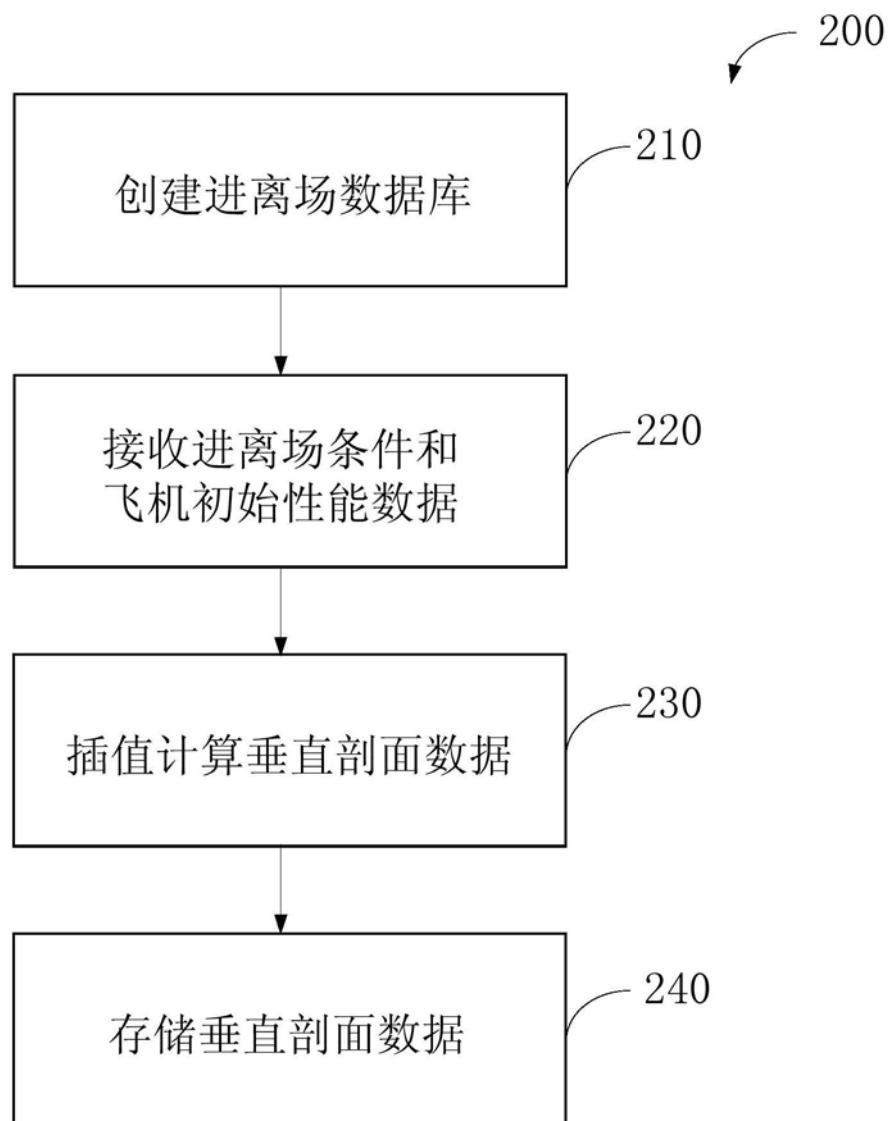


图2

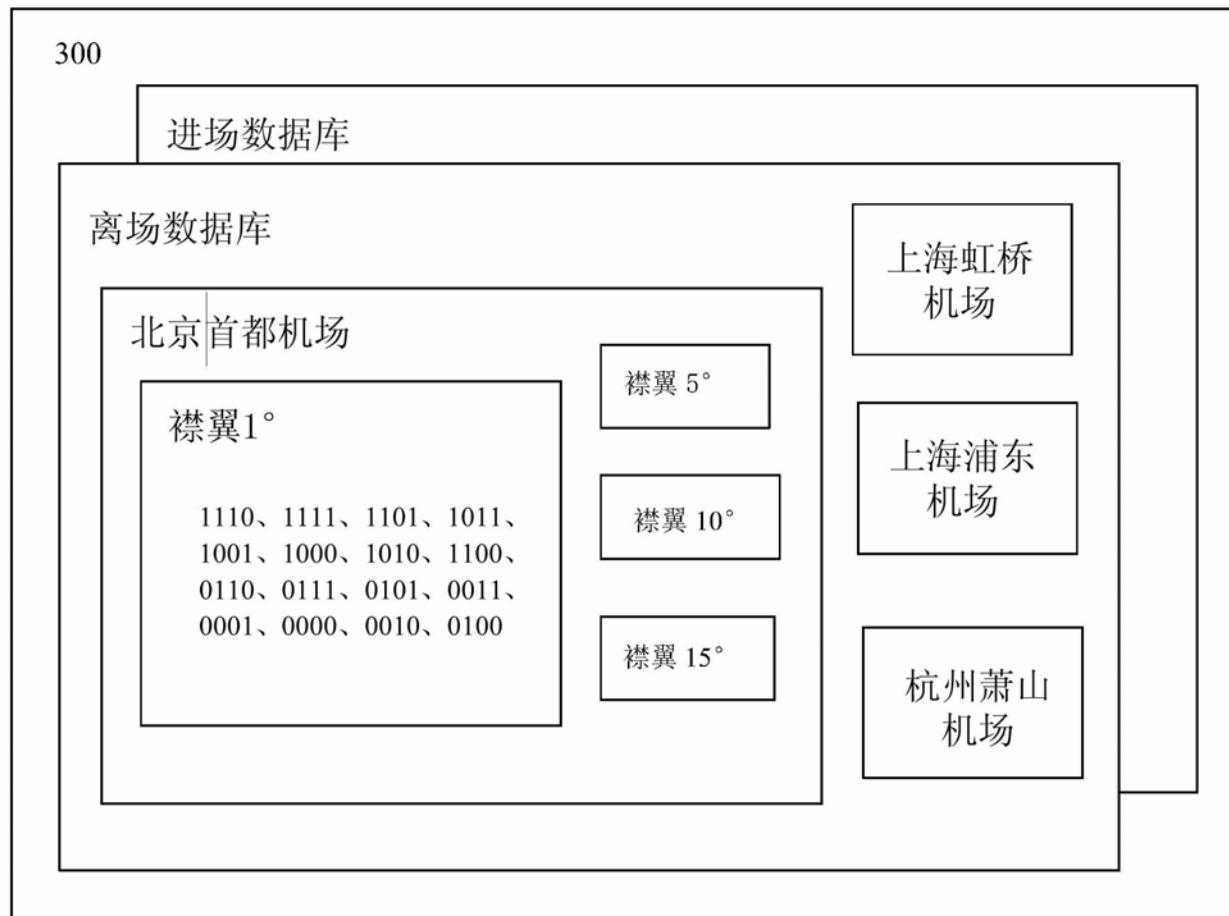


图3

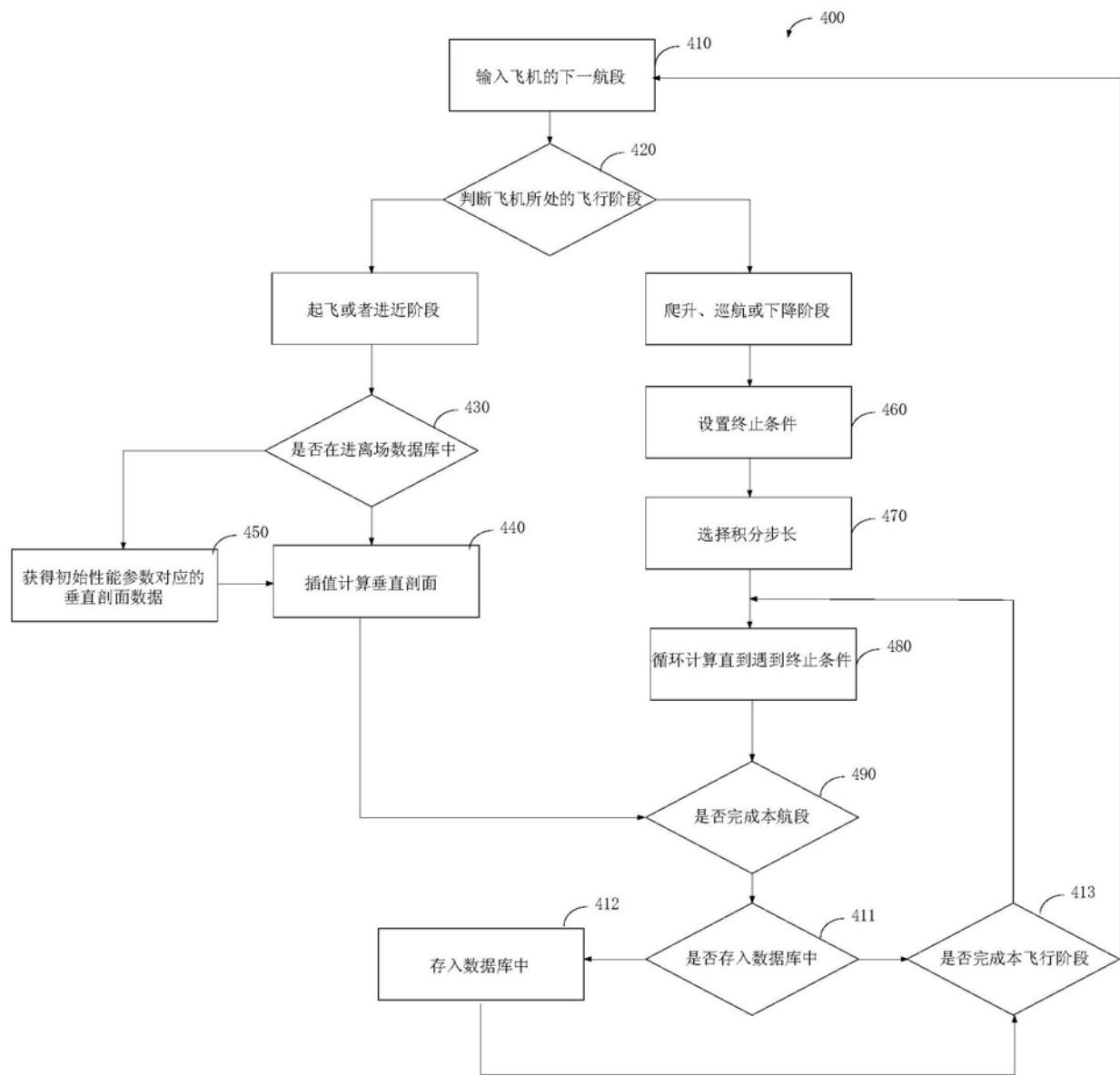


图4