



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102651175 A

(43) 申请公布日 2012. 08. 29

(21) 申请号 201210050326. 6

(22) 申请日 2012. 02. 22

(30) 优先权数据

13/032151 2011. 02. 22 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 R·V·苏布 J·D·彼得森 陈炜炜

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 柯广华 朱海煜

(51) Int. Cl.

G08G 5/00(2006. 01)

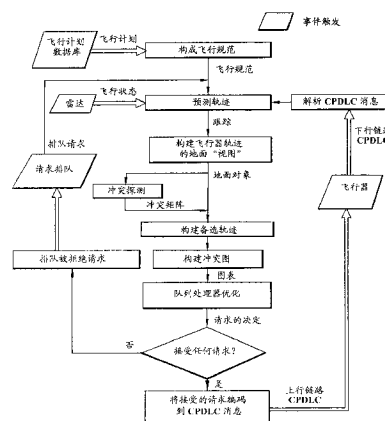
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 15 页

(54) 发明名称

用于管理空中交通的方法和系统

(57) 摘要

本发明名称为用于管理空中交通的方法和系统。适合处理从空域中的多个飞行器接收的多个轨迹修改请求的方法和系统。方法包括：接收从多个飞行器传送的多个轨迹修改请求，并且请求其高度、速度和 / 或横向路线选择的变更；对多个轨迹修改请求依次执行冲突评估，以便确定多个轨迹修改请求的任一个是否引起与多个飞行器的任何其它飞行器的高度、速度和横向路线选择的冲突；在计算机存储器数据队列中放置多个轨迹修改请求中由冲突评估识别为引起冲突的 n 个轨迹修改请求；以及周期地处理该队列，以便对 n 个轨迹修改请求执行后续冲突评估，从而确定 n 个轨迹修改请求的任一个是否仍然引起与多个飞行器的任何其它飞行器的高度、速度和横向路线选择的冲突。



1. 一种处理从空域中的多个飞行器接收的多个轨迹修改请求的方法,所述多个飞行器的每个具有包含其高度、速度和横向路线选择的轨迹参数,所述方法包括:

接收从所述多个飞行器传送的所述多个轨迹修改请求,并且请求其高度、速度和 / 或横向路线选择的变更;

对所述多个轨迹修改请求依次执行冲突评估,以便确定所述多个轨迹修改请求的任一个是否引起与所述多个飞行器的任何其它飞行器的高度、速度和横向路线选择的冲突;

将所述多个轨迹修改请求中由所述冲突评估识别为引起冲突的 n 个轨迹修改请求放置于计算机存储器数据队列中;以及

周期地处理所述队列,以便对所述 n 个轨迹修改请求执行后续冲突评估,从而确定所述 n 个轨迹修改请求的任一个是否仍然引起与所述多个飞行器的任何其它飞行器的高度、速度和横向路线选择的冲突。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在每个所述后续冲突评估之后,所述方法还包括:

基于所述后续冲突评估来准予所述 n 个轨迹修改请求中不再引起冲突的那些请求;
通知所述多个飞行器中传送了所准予的轨迹修改请求的那些飞行器;以及然后
从所述队列中移除所述准予的轨迹修改请求。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于,所述后续冲突评估的第一个包括:

确定全部所述 n 个轨迹修改请求是否仍然引起与所述多个飞行器的任何其它飞行器的高度、速度和横向路线选择的冲突;

如果全部所述 n 个轨迹修改请求不再引起冲突,则准予全部所述 n 个轨迹修改请求;
通知传送了所述 n 个轨迹修改请求的所述多个飞行器;以及然后
从所述队列中移除所述 n 个轨迹修改请求。

4. 如权利要求 3 所述的方法,其特征在于,如果基于所述第一后续冲突评估,所述 n 个轨迹修改请求的一个或多个仍然引起冲突,则所述后续冲突评估的随后第二个通过包括下列步骤的组合搜索来确定:

确定所述 n 个轨迹修改请求的至少 $n-k$ 个是否仍然引起与所述多个飞行器的任何其它飞行器的高度、速度和横向路线选择的冲突,其中 k 是大于或等于 1 但小于 n 的整数;

如果全部所述 $n-k$ 个轨迹修改请求不再引起冲突,则准予全部所述 $n-k$ 个轨迹修改请求;

通知传送了所述 $n-k$ 个轨迹修改请求的所述多个飞行器;以及然后
从所述队列中移除所述 $n-k$ 个轨迹修改请求。

5. 如权利要求 4 所述的方法,其特征在于,在对于没有引起冲突的所述 $n-k$ 个轨迹修改请求识别了 $n-k$ 的最大值时,所述组合搜索终止。

6. 如权利要求 4 所述的方法,其特征在于,确定、准予、通知和移除所述 $n-k$ 个轨迹修改请求的所述步骤的每个遵循最佳导向组合搜索。

7. 如权利要求 6 所述的方法,其特征在于,在对于没有引起冲突的所述 $n-k$ 个轨迹修改请求识别了 $n-k$ 的最大值时,所述最佳导向组合搜索终止。

8. 如权利要求 4 所述的方法,其特征在于,所述组合搜索的所述确定步骤识别解决方案的至少两个集合,其中所述 $n-k$ 个轨迹修改请求没有引起冲突,所述方法还包括:

执行成本计算,以便比较与准予所述解决方案集合的每个的所述 $n-k$ 个轨迹修改请求关联的相对操作成本;

将所述解决方案集合的其中之一识别为与比所述解决方案集合的其它解决方案更低的组合操作成本关联;

准予所识别的解决方案的一个集合的所述 $n-k$ 个轨迹修改请求,并且通知所述多个飞行器中传送了所述 $n-k$ 个轨迹修改请求的那些飞行器;以及然后

从所述队列中移除所述识别的解决方案的一个集合的所述 $n-k$ 个轨迹修改请求。

9. 如权利要求 8 所述的方法,其特征在于,由所述成本计算比较的所述相对操作成本是燃料相关成本或者时间相关成本。

10. 一种用于执行如权利要求 1 至 9 中的任一项所述的方法的系统。

用于管理空中交通的方法和系统

技术领域

[0001] 一般来说,本发明涉及用于管理空中交通的方法和系统。更具体来说,本发明的方面包括用于协商和处理从多个飞行器所接收的空中交通轨迹修改请求的方法和系统,以及用于调度到达机场的空中交通的方法和系统。

背景技术

[0002] 基于轨迹的操作(TBO)是美国下一代空中运输系统(NextGen)和欧洲的单一欧洲天空 ATM 研究(SESAR)的关键组成部分。在两种计划中存在进行中的大量工作量以使这个概念发展。飞行器轨迹同步和轨迹协商是现有 TBO 概念中的关键能力,并且提供提高空域操作的效率的框架。在 TBO 中实现的轨迹同步和协商还使空域用户(包括班机经营者(航空公司)、班机调度员、班机工作人员、无人航空系统和军事用户)能够经常以接近它们优选(用户优选)轨迹的轨迹来飞行,从而使包括燃料和时间节省、风力最佳路线选择和天气单元附近移动的方向的商业目标能够结合到 TBO 概念中。因此,期望生成支持轨迹同步和协商、又能够促进和加速 TBO 的采用的技术。

[0003] 本文所使用的“飞行器的轨迹”是飞行器从起飞到着陆所沿用的三维位置的时序序列,并且能够通过轨迹向量的时序集合以数学方式来描述。相比之下,飞行器的飞行计划指的是由飞行员或班机调度员在出发之前向当地民航机构提交的文档,并且包括诸如出发点和到达点、所估计的途中时间之类的信息和能够由空中交通控制(ATC)用于提供跟踪和路线选择服务的其它一般信息。飞行轨迹的概念中包含:存在具有中心线以及围绕这个中心线的位置不确定性和时间不确定性的轨迹路径。轨迹同步可定义为解决飞行器的轨迹的不同表示之间的偏差以使得任何剩余差异在操作上是不重要的过程。构成操作上不重要的差异的方面取决于轨迹的预计使用。相对较大的差异对于策略需求估计可以是可接受的,而差异对于战术间隔管理中的使用必须小得多。TBO 的全部目标是通过使用空间(纬度、经度、高度)和时间中的准确四维轨迹(4DT)来降低与飞行器的未来位置预测关联的不确定性。精准 4DT 的使用具有以下能力:根据预测飞行器相对于时间的未来空间位置(纬度、经度和高度)的能力、包括预测接近它们的到达机场的一组飞行器在地理位置(称作计量方位(metering fix)、到达方位或角柱(cornerpost))的到达时间的能力,来极大地降低飞行器的未来飞行路径的不确定性。这种能力表示从当前“基于净空的控制”方式(这取决于飞行器的当前状态的观察)到基于轨迹的控制方式的重大改变,目标是允许飞行器沿用户优选轨迹飞行。因此,实现 TBO 的关键是准确的计划轨迹(或者可能的多个轨迹)的可用性,从而为 ATC 提供有价值信息以允许空域的更有效使用。

[0004] 一般来说,轨迹协商是这样的过程:通过该过程交换信息,以便平衡对安全性、容量和商业目标的用户偏好以及对经营者或空中导航服务提供商(ANSP)的限制。虽然轨迹协商是现有 TBO 概念的关键组成部分,但是对于轨迹协商是什么并且包含什么存在许多不同观点。取决于协商的预期结果和时帧,不同施动者将包含在协商中,并且将交换不同的信息。一般来说,轨迹协商的概念已描述为飞行器经营者对协商最佳或优选轨迹的期望,与该

期望进行平衡以便确保在出发和到达期间飞行器的安全间隔和那些飞行器的最佳定序,同时提供公平的框架。轨迹协商概念还允许空域用户提交轨迹偏好以解决冲突,包括对飞行器的 4D 轨迹(横向路线选择、高度和速度)的修改。

[0005] 鉴于以上所述,TBO 概念要求生成、协商、通信和管理来自单独飞行器的 4DT,并且聚合表示给定空域中的多个飞行器的轨迹的流量。多个飞行器的轨迹管理能够通过自动化辅助来最可靠地实现,以便与适当装备的飞行器经营者协商飞行员轨迹变更请求,从而允许 ANSP 与飞行器的飞行员/经营者之间的四维轨迹的协商。轨迹协商已描述为具有四个阶段:预协商、协商、协议和执行。例如参见 Joint Planning and Development Office, 2008 年 10 月,NextGen Avionics Roadmap,版本 1。在预协商中,空中交通管理(ATM)系统知道或推断所有相关飞行器的用户优选轨迹。这些用户优选轨迹之间或者与空域限制的任何冲突引起协商阶段。在这个阶段中,对一个或多个用户优选轨迹的修改可在班机经营者与 ANSP 之间协商,以便从 ANSP 观点来最好地利用空域,同时最小化与那架班机的经营者的目标的偏离。协议阶段产生飞行器的协商 4DT,其中至少一部分由 ANSP 准许。在执行阶段,飞行器飞行协议的和准许的 4DT,并且 ANSP 监测对这个 4DT 的遵守情况。飞行器未能遵守协商的轨迹或者环境的变化(例如,紧急情况或者突发飞行)能够引起协商阶段的重新发起。供协商阶段和协议阶段中使用的若干空地通信协议和航空电子设备性能标准存在或者正在制订中,例如控制器飞行员数据链路通信(CPDL)和自动相关监视合同(ADSC)技术。

[0006] 与空中交通管理的概念相关联的是本领域已知的多种类型的到达管理器(AMAN),其非限制性示例包括:作为当前正在制订的美国国家航空航天局(NASA)中心 TRACON 自动化系统(CTAS)的一部分的、称作交通管理咨询器(TMA)和途中下降咨询器(EDA)的系统。在 H. N. Swenson 等人的“Design and Operational Evaluation of the Traffic Management Advisor at the Fort Worth Air Route Traffic Control Center”(第一届 USA/Europe Air Traffic Management Research & Development Seminar, Saclay, 法国(1997 年 6 月 17-19 日))论述了 TMA,并且在 R. A. Coppenbarger 等人的“Design and Development of the EnRoute Descent Advisor(EDA) for Conflict-Free Arrival Metering”(Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference(2004))中论述了 EDA。TMA 的主要目标是通过向各飞行器指配计量方位处经调度的到达时间(STA)来调度到达。TMA 计算作为 STA 与估计的到达时间(ETA)之间的差的所需延迟。EDA 的主要目标是计算空中交通控制器(ATCo)的咨询,以便帮助将飞行器输送到符合 STA 的到达计量方位,同时防止与沿到达轨迹的其它飞行器的间隔冲突。EDA 主要利用速度调整,并且然后在需要时添加横向距离,以便经由路径伸展来吸收更大延迟。EDA 还通过对巡航速度和下降速度的同时调整来结合冲突检测和冲突解决。但是,没有将用户偏好结合到 EDA 概念中。

[0007] 部分由于缺乏验证活动和有益效果评估,在实现 TBO 中还保留了多个不小的空白。作为响应,General Electric Company 和 Lockheed Martin Corporation 创建了联合策略研究行动(JSRI),目的在于生成加速空中交通管理(ATM)领域中的 TBO 的采用的技术。JSRI 的工作包括:使用 GE 的飞行管理系统(FMS)和飞行器专门技术、Lockheed Martin 的 ATC 域专门技术-包括途中自动现代化(ERAM)和公共自动化雷达终端系统(公共 ARTS)-来调查和评估轨迹协商和同步概念。地面自动化系统通常提供能够预测时间和空间中的飞行器的路径的四维轨迹模型,提供计划和执行诸如调度、冲突预测、间隔管理和一致性监测之

类的关键空中交通控制和交通流量管理功能所需的信息。在飞行器上，FMS 能够通过飞行器的自动飞行控制系统 (AFCS) 来使用闭环导向的轨迹。许多现代 FMS 还能够满足可由地面系统指派给飞行器的、需要的到达时间 (RTA)。

[0008] 尽管具有上述技术能力，但与轨迹协商过程相关联的问题仍然存在，包括交换影响给定空域中的一组飞行器的 4D 轨迹的参数和限制的方式，以及如何在全面重视所有 ATC 目标（安全间隔、交通流量等）的同时达成尽可能接近用户优选轨迹（根据商业目标）的协商轨迹。

发明内容

[0009] 本发明提供适合处理从空域中的多个飞行器所接收的多个轨迹修改请求的方法和系统。

[0010] 按照本发明的第一方面，该方法包括：接收从多个飞行器所传送的多个轨迹修改请求，并且请求其高度、速度和 / 或横向路线选择的变更；对多个轨迹修改请求依次执行冲突评估，以便确定多个轨迹修改请求的任一个是否引起与多个飞行器的任何其它飞行器的高度、速度和横向路线选择的冲突；在计算机存储器数据队列中放置多个轨迹修改请求中由冲突评估识别为引起冲突的 n 个轨迹修改请求；以及周期地处理该队列以便对 n 个轨迹修改请求执行后续冲突评估，从而确定 n 个轨迹修改请求的任一个是否仍然引起与多个飞行器的任何其它飞行器的高度、速度和横向路线选择的冲突。

[0011] 按照本发明的一具体方面，后续冲突评估的第一个包括：确定全部 n 个轨迹修改请求是否仍然引起与多个飞行器的任何其它飞行器的高度、速度和横向路线选择的冲突；如果全部 n 个轨迹修改请求不再引起冲突，则准予全部 n 个轨迹修改请求；通知传送了 n 个轨迹修改请求的多个飞行器；以及然后从队列中移除 n 个轨迹修改请求。可选地，如果基于第一后续冲突评估， n 个轨迹修改请求的一个或多个仍然引起冲突，则另一个后续冲突评估可通过组合搜索来确定。组合搜索优选地包括：确定 n 个轨迹修改请求中的至少 $n-k$ 个（其中 k 是大于或等于 1 但小于 n 的整数）是否仍然引起与多个飞行器的任何其它飞行器的高度、速度和横向路线选择的冲突；如果全部 $n-k$ 个轨迹修改请求不再引起冲突，则准予全部 $n-k$ 个轨迹修改请求；通知传送了 $n-k$ 个轨迹修改请求的多个飞行器；以及然后从队列中移除 $n-k$ 个轨迹修改请求。

[0012] 本发明的其它方面包括适合执行上述方法的系统。

[0013] 本发明的技术效果在于，排队过程极大地促进 ATC 系统接纳来自给定空域中的多个飞行器的轨迹修改请求的能力。这个益处对应于与保持跟踪请求并且周期地执行冲突探测关联的 ATCo 的工作负荷的显著降低。偏好管理方法中的排队过程的利用还使飞行器能够在飞行期间实现优选巡航高度和 / 或轨迹，使得能够使与飞行器关联的商业成本降低并且可能为最小，同时确保空域中的所有班机之间的安全间隔。

[0014] 通过以下详细描述，将会更好地理解本发明的其它方面和优点。

附图说明

[0015] 图 1 是按照本发明的第一方面、用于管理空域中的飞行器的四维轨迹的偏好管理方法和系统的框图。

- [0016] 图 2 表示适合于实现图 1 的偏好管理方法的软件信息流程图。
- [0017] 图 3 表示适合于实现图 1 的偏好管理方法的软件模块和接口图。
- [0018] 图 4 表示用于图 1 的队列处理器以及图 2 的队列处理器和队列优化块的过程流程。
- [0019] 图 5 至图 10 示出实现图 1 的偏好管理方法和系统的一个示例。
- [0020] 图 11 是按照本发明的另一方面、用于修改飞行器的路径和 / 或速度以使得它们可满足机场处的调度的到达时间 (STA) 的调度管理方法和系统的框图。
- [0021] 图 12 和图 13 是示出由图 11 的调度管理方法和系统的咨询工具所执行的过程的框图。
- [0022] 图 14 是表示由图 11 的调度管理方法和系统的咨询工具所执行的操作的流程图。
- [0023] 图 15 示出用于实现本发明的调度管理方法的情况的一个示例。

具体实施方式

[0024] 下文论述本发明的范围之内的空中交通管理的多种方面。这些方面的第一方面称作偏好管理,它涉及基于地面的空中交通控制 (ATC) 系统与飞行器之间的、允许飞行器四维轨迹 (4DT) 的修改以满足商业目标和安全目标的轨迹协商。本文所使用的“ATC 系统”将表示负责监测和管理给定空域中的空中交通的任何人或任何设备,包括空中交通控制器 (ATCo) 和它们使用的自动化,并且“飞行器”将用于不仅包含飞行器本身,而且还包含负责飞行器的 4D 轨迹的计划和变更的任何人或任何物,包括但不限于班机调度员、班机经营者 (航空公司) 和班机工作人员。ATC 系统所采用的硬件和其它设备是基于地面的,以便区分 ATC 系统与飞行器上的硬件。本发明的第二方面称作调度管理,其中涉及 ATC 系统与飞行器之间的通信,以便确定满足机场周围的空域中的飞行器的到达调度所需的轨迹修改。调度管理还结合 ATC 系统与飞行器之间的轨迹协商,使得可满足系统优选时间调度,而没有违反飞行安全限制,同时优选地使空域用户的成本为最小。本文所使用的“轨迹协商”将表示 ATC 系统与飞行器之间可能迭代的过程,以便获得飞行器可接受的、但没有引起与给定空域中的其它飞行器的冲突的一组轨迹变化,包括在保持 ANSP 安全性和调度需求的同时满足经营者商业目标的能力。

[0025] 按照本发明的第一方面,提供偏好管理方法和系统,以便促进在给定空域中飞行的一个或多个飞行器在飞行期间实现用户优选四维 (高度、纬度、经度、时间) 轨迹 (4DT),使得能够满足安全目标并且能够使飞行器经营者相关的商业成本为最小。偏好管理需要轨迹协商,这可由来自飞行器的轨迹修改请求来发起,包括对高度、横向路线选择 (纬度和经度) 以及速度中的变化的请求。非限制性示例是在飞行器传送将使飞行器能够超过前方较慢的飞行器的轨迹修改请求时。偏好管理提供通过分析和准予轨迹修改请求的能力来处理符合国际民航组织 (ICAO) 的修正的能力。还应当注意,例如,如果给定一组飞行器的路径有冲突并且必须经过修改以获得无冲突飞行,则地面的观察能够发起轨迹协商。

[0026] 图 1 是用户偏好情况的框图,并且表示感兴趣空域中的飞行器。随着飞行器传送轨迹修改请求来发起偏好管理方法,轨迹修改请求可包括飞行期间的巡航高度变化 (由于降低的质量或变化的风力)、横向 (纬度 / 经度) 路线选择变化 (例如,“直飞”或者绕过恶劣天气区改线) 和 / 或降低燃料使用或者变更飞行器的到达时间、例如补偿延迟的速度变

化。飞行器可向“地面”提供（例如，经由来自飞行器的数字下行链路、语音请求或者来自班机调度员的数字交换）轨迹修改请求，“地面”包括 ATC 系统及其 ATCo、其图形 / 用户接口（“接口”）和自动化（“冲突探测”和“队列过程”）。修改请求可以是例如使用控制器 - 飞行员数据链路通信 (CPDLC) 机制的特定轨迹修正，ATC 系统的自动化使用补充飞行计划和状态数据将特定轨迹修正转换为预测 4DT。备选地，轨迹修正可包含在所提出的备选轨迹中，可能使用现有技术，例如使用自动相关监视合同 (ADS-C)。因此，本发明能够使用现有技术，例如由航空无线电技术委员会 (RTCA) 特别委员会 -214(SC-214) 所定义的 ADS-C 和 CPDLC 消息，但是本发明的空 - 地协商过程并不局限于这类通信格式或者受控的到达时间 (CTA)。

[0027] ATC 系统可选择人工考虑轨迹修改请求 (ATCo 和接口)，尽管本发明的优选方面是将请求处理委托给自动化，如图 1 所示。在其接收顺序中，ATC 系统的冲突探测将产生于轨迹修改请求的 4DT 与 ATC 系统所负责的给定空域中的所有已知交通的子集或全部的其它轨迹的合计进行比较。各比较识别所产生 4DT 与 ATC 系统中保存的所有相关背景空中交通之间的任何冲突（例如，与轨迹相关的预测飞行器状态之间的最小间隔的违反或者与空域拥塞或流量相关联的冲突）。如果没有识别冲突，则 ATC 系统可发起到准许了（准予了）其轨迹修改请求的飞行器的自动上行链路，或者可将协商请求和其它相关净空信息提供给 ATCo(ATCo 和接口) 供进一步动作，包括准予或保持协商请求。一旦由飞行器记录（“飞行员检查”）和实现（“4DT”）修改请求，ATC 系统监测飞行器的轨迹与协商修改请求的一致性。轨迹协商过程的结果优选地是接近用户优选轨迹（根据商业成本）的同步轨迹，同时重视与安全间隔、交通流量等相关的所有 ATC 系统目标。

[0028] 另一方面，如果轨迹修改请求引起冲突，则 ATC 系统可将轨迹修改请求放置在计算机存储器数据队列中供将来考虑（“队列过程”），并且然后处理由不同飞行器提交的下一个轨迹修改请求。排队过程涉及周期地处理队列以识别由于先前引起冲突的情况不再存在而能够被准予的那些排队请求。然后能够通知传送了被准予请求的飞行器关于已经准予其请求，并且能够从队列中清除被准予请求。如下面将参考图 4 进行论述的，排队过程利用优化算法来识别和准予排队请求，优选地按照最大地清除未决排队请求并且保证对所有空域用户的公平性的方式进行。例如，排队过程可利用组合优化方法，例如组合试探法。为了避免通过过量请求导致队列过负荷，排队过程优选地允许轨迹修改请求通过飞行器请求来净化 (purge)，并且轨迹修改请求优选地在队列中具有有限持续时间，该持续时间后能够从队列中将其净化。

[0029] 除了利用队列之外，ATC 系统还可对备选轨迹修改请求来识别和执行冲突探测，并且在适当时如果无冲突则对飞行器提出备选轨迹修改。备选轨迹修改可基于从飞行器所提供的关于多种轨迹变化对班机经营者的商业目标的影响（正面或负面）的信息，多种轨迹变化例如横向距离变化、巡航高度增加或降低或者速度变化。这允许可以是比将要指配的当前准许的轨迹更优选的备选轨迹，即使不能准予原始（最佳）请求。飞行器可接受或拒绝备选轨迹修改。如果备选轨迹修改由飞行器拒绝，则将其原始轨迹修改请求返回到队列供后续处理。如果备选轨迹修改由飞行器接受，则能够从队列中净化其原始轨迹修改请求。

[0030] 高级系统软件架构及其通信能够在计算机处理设备上执行，以用于实现上述偏好管理方法。在图 2 和图 3 中描述优选管理模块的流程图。图 2 表示偏好管理软件信息流程，

以及图 3 表示偏好管理软件模块和接口。图 2 和图 3 中,偏好管理模块读取来自中央控制器的数据存储介质的班机和事件数据,中央控制器以动态方式来同步空中与地面之间的信息。包括飞行器的轨迹参数的这个信息被更新并且存储在数据存储介质上。包括备选优化算法的表示的偏好管理模块的队列处理器的过程流程如图 4 所示。队列处理器利用例如通过地面自动化轨迹预测器所得到的预测轨迹来检测空域中的飞行器的现有 4D 轨迹与产生于每个轨迹修改请求的 4D 轨迹之间的冲突。

[0031] 在多个飞行器占据由 ATC 系统所监测的空域并且飞行器的两个或更多个期望对其轨迹进行修改以便实现某些目标的典型情况下,队列过程特别重要。在现有实践中,由于空中交通控制器通常遇到的信息过负荷而最小地考虑或者没有进一步考虑而拒绝这些偏好请求。

[0032] 设 T_i 和 P_i 分别是作为由 ATC 系统所监测的空域中的 n 个飞行器其中之一给定的飞行器 A_i 的当前轨迹和优选轨迹。理想目标是潜在地实现无冲突轨迹组合包 $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, 其中请求轨迹修改的飞行器的所有 P_i 在没有检测到任何冲突的冲突探测之后已经替换那些飞行器的 T_i 。但是,这实际上由于潜在冲突而可能不可行,在这种情况下,目标是识别准予最大数量的无冲突偏好的组合包,并且例如争取满足某些商业目标或者使飞行器 (A_n) 之中的操作成本(例如,燃料使用)为最小。这种过程可需要考虑轨迹组合包,其中集合中的一个或多个 T_i 有选择地用 P_i 来替换,并且测试冲突。这种选择性替换和测试过程是组合问题,并且对于 n 个轨迹修改请求,存在 2^n 个选项。甚至对于五个班机的很适中的队列大小,也存在 32 种可能性,这无法通过 ATCo 容易地人工评估。

[0033] 鉴于以上所述,目标是采用一种方式来动态处理多个轨迹修改请求,使得在操作限制下以最佳方式来周期地处理队列,其中每个周期过程对排队轨迹修改请求执行冲突评估以确定请求中的一些是否仍然引起与空域中的其它飞行器的 4D 轨迹的冲突。在这种周期处理期间,能够对最近的请求给予较高优先级,以便使飞行器按照其偏好飞行的总时间为最大。通过这些能力,图 1 至图 3 所示的偏好管理模块更易于能够通过轨迹修改请求经由途中协商来接纳用户偏好。

[0034] 从前面所述应当意识到,偏好管理模块的队列过程模块(图 4)必须配置成接受因情况冲突而无法由 ATC 系统立即准许的轨迹修改请求,并且能够及时地有效处理排队(未决)请求。如先前参照图 1 所述,虽然空域中的飞行器的协议的和同步的轨迹对于某个时间范围是无冲突的,但是飞行器的一个或多个可期望高度、横向和 / 或速度变化,使得它们能够获得可包括通过规避偏好的更理想的飞行剖面,正如由其板载飞行管理系统(FMS)可推荐的那样。在这种情况下,表示为轨迹修改请求的偏好经下行链路传递到地面上的 ATC 系统。ATC 系统则必须识别将是无冲突的轨迹修改请求的组合。从以下论述中显而易见,用于此用途的多种算法是可能的,包括试探算法,以便有效地处理排队请求的集合,但是应当理解,将来可开发其它算法。

[0035] 第一试探解决方案将上述选择性替换和测试过程看作是二元组合指配问题。指配 $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ 首先经过冲突探测,以及如果结果是无冲突轨迹组合包,则整个组合包经由与飞行器的通信来准许。但是,如果检测到冲突,则能够构成 n 位真值表,以便以 $n-k$ 位为活动来调查选项,其中 k 是大于或等于 1 但小于 n 的整数。作为一个示例,真值表中的每个选项对应于轨迹组合包 $\{P_1, P_2, \dots, T_m, \dots, P_n\}$, 其中假定准予除了一个(飞行器 A_m 的请求

T_m) 以外的所有飞行器轨迹修改请求 (P_n)。在备选轨迹组合包中,没有假定准予的轨迹修改请求对于每个组合包是不同的。这些备选轨迹组合包的每个经过冲突探测,并且消除引起冲突的那些组合包。如果存在无冲突的单个组合包,则与那个组合包关联的轨迹修改请求经由与传送了被准予请求的飞行器的通信来准予和准许。在多个组合包被确定为无冲突的情况下,能够执行成本计算,其中比较与准予无冲突组合包的每个关联的相对操作成本,包括与准予最近的请求关联的附加效益,使得能够选择具有最低成本的组合包。相对操作成本能够考虑燃料关联和 / 或时间关联的成本。与所选组合包关联的轨迹修改请求然后经由与传送了被准予请求的飞行器的通信来准予和准许,并且能够从队列中净化准予的修改请求。另一方面,如果没有以 $n-1$ 偏好为活动来识别无冲突轨迹组合包,则能够以 $n-2$ 偏好为活动来重复进行该过程。这个过程能够以 $n-3$ 、 $n-4$ 等等来重复进行,直到已经调查所有可能轨迹组合包。最坏情况情形是:全部 $2n$ 个轨迹组合包引起冲突。这种试探的最坏情况计算复杂度也是指数的。

[0036] 另一种试探解决方案是按照某种考虑序列来考虑一个或多个飞行器的备选偏好。当考虑班机偏好 (轨迹修改请求 P_i) 时,所有其它飞行轨迹保持在其当前或假定接受状态。假定接受状态对应于这样的修改轨迹:其被暂时准许但尚未作为已准许的修改传递给飞行器。对于各班机,考虑其修改偏好,并且检查接受那个偏好是否会确保无冲突飞行。如果检测到冲突,则丢弃那个偏好而不予考虑,而考虑下一班机的修改偏好,并且执行相似的冲突探测。这个过程能够继续进行到已经考虑可试验计划的组合包中的各班机的修改偏好。随后,依次考虑其修改偏好先前被丢弃的各班机,直到没有其它无冲突接受是可能的。这种迭代过程能够重复进行到不能接受其它修改偏好。此处,执行最终冲突探测,并且经由与飞行器的通信来准予和准许假定修改集合。在给定飞行器能够提供一个以上修改请求并且其第一优选修改请求引起冲突的情况下,可依次考虑它的其它偏好。

[0037] 队列处理的又一种组合方式使用对冲突图的节点装箱问题,在本文中定义为最佳导向组合搜索。形式上,冲突图是图表 $G = (V, E)$,使得边缘存在于形成冲突的两个节点 (即,无法共同发生的两个事件) 之间。设 T 表示由 ATCo 来决定的某个时间窗口。冲突图形成如下。设 A 表示在 T 之内出现于给定空域中的所有飞行器。还设 $A \cap \Phi A$ 表示在队列中具有先前被拒绝请求的飞行器。设 $V = V^1 \times V^2$ 按如下所述分割所有节点。每一飞行器 $a \in A$ 将在 V^1 中具有表示原始轨迹的节点。每一飞行器 $a \in A \cap \Phi A$ 将在 V^2 中具有表示那架飞行器的请求的轨迹的节点。仅 V^1 中的所有节点是无冲突的,因为它们表示原始轨迹。因此, V^2 中表示的所有班机必须以 (a) V^1 中的所有节点和 (b) V^2 中的所有其它节点来经过冲突探测。对于存在于 $v \in V^2$ 与 $v_0 \in V^1 \times V^2$ 之间的每一冲突,绘制 v 与 v_0 之间的边缘。结果是冲突图。由于边缘表示 T 中的冲突,所以对于每一边缘则能够“选择”不超过一个节点。这正好是定义节点装箱问题的限制集合。

[0038] 图表将由节点的两个集合组成:与原始轨迹对应的飞行器以及与所请求轨迹对应的飞行器。设 $k \in N$ 表示图表中表示飞行器 $k \in \{1, 2, \dots, 5\}$ 的轨迹请求的节点。边缘在每一个成对冲突之间构成。对于给定权向量 w , 解决最大权节点装箱问题。

[0039] 已经实现用于解决最大权节点装箱问题的两个算法。使用者能够定义在调用队列处理算法时要使用哪一个算法。算法之一是 LP 试探:解决 MWNP, 设 0 表示最佳解决方案。显然,如果 0 为整数,则 0 对于原始问题是最佳的。否则,通过将具有最高权的分数分量上

舍入为 1 而将其相邻分量下舍入到 0, 来返回可行解决方案。这对于所有分数分量进行, 直到舍入向量为整数。另一个算法是“贪婪”方式: 权向量按照非递增顺序来排序。对具有最高权的节点指配值 1, 而将其所有相邻节点指配为 0。然后选择尚未指配值的下一个最高权节点, 并且该过程重复进行, 直到对每一节点已指配值 0 或 1。

[0040] 从以上所述应当显而易见, 排队过程极大地促进 ATC 系统接纳来自给定空域中的多个飞行器的轨迹修改请求的能力。这样做时, 偏好管理方法中的排队过程的利用使飞行器能够在飞行期间实现优选巡航高度和 / 或轨迹, 使得能够使与飞行器关联的商业成本降低并且可能为最小, 同时确保空域中的所有班机之间的安全间隔。

[0041] 图 5 至图 10 帮助示出本发明的偏好管理方法的实现。图 5 表示一组五个飞行器, 指定为 1、2、3、4 和 5, 识别为离开指定为 KSJC、KOAK 或 KSFO 的机场, 并且全部飞往指定为 KSEA 的机场。在这种基线情况下, 所有班机遵循其指定为 FL320、FL340、FL360 和 FL380 的飞行计划巡航高度。除了两个 KSFO 班机 (2 和 5) 之外的所有班机是高度分离的, 两个 KSFO 班机在相同高度 (FL360) 处是时间分离的。为了可视表示的简洁起见, 在这种情况下假定所有班机以相同真空速飞行。

[0042] 图 6 中, 来自 KSFO 的班机 2 进行从高度 FL360 攀升到 FL380 的请求, 但是那个请求被拒绝, 因为准予该请求会引起与在 FL380 巡航的来自 KSJC 的班机 1 的间隔冲突。将这个请求排队, 如通过其请求输入图 6 的队列框所表示的。

[0043] 图 7 中, 来自 KOAK 的班机 3 进行从 FL340 攀升到 FL360 的请求, 但是那个请求也被拒绝, 因为准予该请求会引起与在 FL360 巡航的来自 KSFO 的班机 2 的间隔冲突。因此, 也将这个第二请求排队, 并且示于图 7 的队列框中。

[0044] 图 8 中, 来自 KSJC 的班机 4 进行从 FL320 攀升到 FL340 的请求, 但是那个请求被拒绝, 因为准予该请求会引起与在 FL340 巡航的来自 KOAK 的班机 3 的间隔冲突。然后将该第三请求排队, 并且示于图 8 的队列框中。

[0045] 图 9 中, 来自 KSFO 的班机 5 进行从 FL360 攀升到 FL380 的请求, 并且那个请求立即被准予, 因为它是无冲突的。由于图 9 的被准予请求的结果, 图 10 表示对队列执行队列处理的结果, 其中未决请求中的三个被准许供巡航攀升, 因为对班机 5 所准予的高度变化已经促进冲突限制解决。即使是这样, 来自班机 2 的请求在队列中仍保持未决, 并且不能被准予, 除非发生环境中的其它变化。

[0046] 从以上所述应当显而易见, 偏好管理能够用于使 ATC 系统能够促进在给定空域中飞行的一个或多个飞行器在飞行期间实现用户优选 4D (高度、纬度、经度和时间) 轨迹 (4DT), 可使得与班机关联的操作成本 (例如, 燃料燃烧、飞行时间、缺失乘客连接等) 降低或者为最小, 同时确保空域中所有班机之间的安全间隔。偏好管理还允许 ATC 系统支持全国空域燃料节省并且降低延迟。

[0047] 除了来自飞行器的轨迹修改请求之外, 轨迹协商还能够由于地面上关于一个或多个飞行器的路径和 / 或速度必须修改以使得它们可满足其调度到达时间 (STA) 的观察而发起。针对这种事件类型的协商框架是本发明的上述调度管理方法, 该方法能够实现为与上述偏好管理模块结合使用的模块。在任何情况下, 调度管理框架提供一种方法和系统, 在给定空域中飞行的一个或多个飞行器通过该方法和系统来更容易地实现系统优选时间目标, 使得使与飞行器经营者相关的商业成本为最小, 并且使系统延迟成本为最小, 而没有违反

飞行安全限制。如同参照图 1 至图 10 所述的偏好管理方法和系统一样,轨迹协商在飞行器与 ATC 系统之间发生(这些术语先前在偏好管理方法和系统的论述下定义)。

[0048] 如图 11 所示,调度管理模块包括子模块,其中两个标识为“调度器”和“DA”(下降咨询器)。到达管理器(AMAN)常用于拥塞空域,以便计算在具体机场的飞行器的到达调度。DA 功能大体上与 NASA 的途中下降咨询器(EDA)相关,但是存在对这个功能性的关键增加。调度管理模块使用飞行器监视数据和/或来自飞行器的预测轨迹来构成到达某个点的飞行器的调度,通常是位于终端空域边界的计量方位。当今,这个功能由美国的 FAA 的交通管理咨询器(TMA)来执行,而在国际上使用其它 AMAN。一般来说,本发明利用基于飞行器数据来监测飞行器并且连续计算到计量方位的序列和 STA 的到达调度器工具。虽然大多数当前调度器使用先来先服务算法来计算 STA,但是存在不同许多备选调度方法,包括最佳配备最佳服务类型的调度。另一方面,DA 是咨询工具,用于生成对飞行器的规避咨询,它将使飞行器能够准确执行将使飞行器按照调度器所计算的 STA 输送到计量方位的规避(速度变化和/或路径伸展)。

[0049] 进一步参照图 11,感兴趣空域中的一个或多个飞行器由 ATC 系统来监测。例如,ATC 系统在各飞行器进入由 ATC 系统所监测的空域时来监测其 4D(纬度、横向路线选择和时间)轨迹(4DT)。对于每个感兴趣飞行器,调度器生成可与飞行器的目标机场关联的一个或多个计量方位点(fix point)处 STA。多个飞行器的 STA 存储在作为可由调度器和 DA 来访问的基于计算机的数据存储的一部分的队列中。DA 然后执行计算,以便基于所推断或者从飞行器下行链路传递的信息来确定飞行器是否将能够满足其 STA。如果必要并且可能,则 ATC 系统向飞行器传送指令,以确保飞行器将在 STA 到达计量方位点,并且如可能需要的,将更新队列中存储的每个飞行器的 STA。如图 11 所示,DA 的计算在传递到执行向飞行器传送指令的任务的 ATCo 接口(例如,图形/用户接口)之前被输送给调度推理器(下面参照图 13 论述)。

[0050] 为了生成能够按照 STA 将飞行器准确输送到计量方位的规避咨询,DA 要求当前预测四维轨迹(4DT)以及与飞行器的操作和状态相关联的辅助数据。这种辅助数据可包括下列一个或多个:优选到达时间(TOA),最早估计到达时间(ETA_{min}),最近估计到达时间(ETA_{max}),当前计划速度(其中速度可以是校准空速(CAS)和/或一个或多个飞行阶段(攀升、巡航或下降)的马赫数),优选速度(可以是最小燃料成本速度),最小可能速度和最大可能速度,以及沿当前横向路线选择和当前巡航高度的最小燃料速度的备选建议 4DT。具有适当设备(例如,FMS 和数据通信(DataComm))的飞行器能够直接向 ATC 系统提供这种辅助数据。具体来说,许多高级 FMS 能够准确计算这个数据,这个数据能够使用飞行器与 ATC 系统之间的 CPDLC、ADS-C 或者另一种数据通信机制或者来自班机调度员的另一个数字交换来与 ATC 系统进行交流。

[0051] 实际上,许多飞行器可能将无法提供这种辅助数据的部分或全部,因为飞行器没有适当地配备或者由于商业相关原因班机经营者施加了关于哪些信息能够与飞行器共享的限制。在这类情况下,这种信息的部分或全部将需要由 ATC 系统来计算或推断。由于燃料最佳速度以及具体来说预测的 4DT 取决于 ATC 系统对其没有访问权的飞行器性能特性(例如,飞行器质量、发动机额定值和发动机使用寿命),所以预计由适当配备的飞行器所提供的辅助数据比 ATC 系统所生成的辅助数据更为准确。因此,需要采取某些步骤来使 ATC

系统能够更准确地推断与飞行器性能特性相关的数据,这将帮助 ATC 系统预测某些辅助数据,包括燃料最佳速度、预测 4DT 以及当没有从飞行器本身提供这个数据时影响它们的因素。如下面所解释的,感兴趣的飞行器性能参数将部分从通常通过飞行器经由通信数据链路所提供的辅助数据所包含的飞行器状态数据和轨迹目的信息来得出。可选地或者另外,监视信息还能够用于改进推断过程。推断参数然后用于由 ATC 系统对飞行器的行为进行建模,特别是用于轨迹预测目的、试验计划以及估计与不同试验计划或轨迹规避关联的操作成本。

[0052] 为了预测飞行器的轨迹,ATC 系统必须依靠能够用于生成飞行器的当前计划 4DT 和 / 或表示飞行器的飞行计划的无意变化的多种“假设”4DT 的飞行器的性能模型。这类基于地面的轨迹预测主要是基于物理的,并且利用飞行器性能的模型,其中包括多种参数和可能的关联不确定性。被认为是对所考虑飞行器的类型通用的一些参数可从制造商规范或者从市场销售性能数据来得到。倾向于更为可变的其它特定参数也可以是已知的,例如,它们可包含在所提交飞行计划中或者直接由飞行器经营者来提供。但是,其它参数不是直接提供的,而是必须从飞行器得到的信息(以及可选地从监视信息)、通过 ATC 系统来推断。下面论述能够推断这些参数的方式。

[0053] 诸如发动机推力、气动阻力、燃料流量等的飞行器性能参数常用于轨迹预测。此外,这些参数是对飞行器的垂直(高度)剖面 and 速度的主要影响。因此,性能参数影响与飞行器的 4DT 的垂直部分具有最大相关性。但是,飞行器推力、阻力和燃料流量特性能够基于 ATC 系统将可能不知道的飞行器的使用年限以及自维护以来的时间而显著改变。在一些情况下,由于与被认为是经营者的策略和专有的信息相关的顾虑,诸如毛重和成本指数之类的航空公司性能信息不能与地面自动化直接共享。

[0054] 但是,已经确定飞行器的攀升阶段的推力被认为是已知的,其带有高级确定性、仅根据降低额定功率设定而变化。实际上,与攀升点顶端对应的沿着路线选择的距离能够表示为起飞重量(TWO)的函数。因此,在到攀升顶端的距离与直到 TOW 的某个值的 TOW 之间存在直接相关性。重量范围从飞行器制造商规范也是已知的,这可采用源自所提交飞行计划或者可适用规章制度的知识(机场之间的距离、到备选机场的距离、最小保留等)来进一步增强。对预测模型的附加输入、包括飞行器速度、假定风速和倾侧角能够从横向剖面信息来得出,并且用于预测飞行器的垂直剖面。

[0055] 鉴于以上所述,起飞和攀升期间的飞行器预测轨迹的知识能够用于推断飞行器的起飞重量(质量)。如果飞行器燃料流量的估计是可用的,则这能够用于预测飞行器在其后续操作期间的重量,包括它对计量方位的接近。相对于预测轨迹的飞行器状态的后续测量(例如速度和攀升或下降速率)能够用于改善燃料流量和预测重量的估计。飞行器的重量然后能够用于推断辅助数据,例如飞行器的最小燃料成本速度和预测轨迹参数,因为它们已知为取决于飞行器的质量。作为一个示例,通过将飞行器的起飞重量与到起飞期间发生的攀升顶端的距离相关,来推断飞行器的重量。多个生成步骤然后能够用于预测飞行器在起飞期间和之后的垂直剖面。各生成步骤包括将从生成步骤之一所得到的飞行器的预测高度与飞行器所报告的飞行器的当前高度进行比较。当前高度与预测高度之间的差然后用于生成第一飞行器的后续预测高度。

[0056] 如图 12 的框图所示,STA 和飞行器数据(包括监视数据和辅助数据)输入到的 DA

自动化,DA 自动化负责生成飞行器的规避咨询器,以便在必要时满足 STA。DA 使用预测的最早到达时间值和最近到达时间值 (ETA_{Min} 和 ETA_{Max}) 来确定满足 STA 所需的规避类型。这些时间限度可进一步加长 (pad),以便考虑 ETA_{Min} 和 ETA_{Max} 计算中的潜在不确定性或者在飞行到计量方位的同时将会遇到的风力中的不确定性 (这可引起真实到达时间超出预测时间限度之外)。如果 STA 是在飞行器的 (可能加长的) ETA_{Min} 与 ETA_{Max} 限度之间,则这能够通过简单地将 STA 指配给飞行器作为时间限制并且允许飞行器的 TOA 控制 (TOAC) 功能 (往往称作需要的到达时间 (RTA)) 来将飞行器在其 STA 导向并且输送到计量方位来实现。与将 STA 指配为 RTA 关联的 4DT 从飞行器 (例如,经由数据链路) 来提供或者由 ATC 自动化使用前面所述的推断飞行器参数来计算。但是,如果 STA 超出 ETA 限度或者与 RTA 关联的 4DT 不是可接受的 (例如,如果它将引起与另一个飞行器的 4DT 的冲突),则可能与备选横向路线选择 (由横向方位或过程 (路径伸展) 所指定) 和可能的垂直限制 (例如,巡航高度或中途点高度限制) 相结合的速度咨询 (具有飞行的各阶段的潜在不同的速度) 或者 RTA 指配能够通过 DA 来计算,这将使飞行器满足系统预期 STA,同时重视所有相关 ATC 限制 (例如,停留在必要的到达跑道或者通过一组方位)。例如,如果计算指示飞行器的 STA 迟于其 ETA_{max} ,则 DA 能够生成路径伸展规避,其中涉及充分延长 ETA_{max} 以使得飞行器将在计量方位点实现其 STA 的修改横向路线选择。备选地,可使用可能与横向路径伸展相结合、要求飞行器下降到能够以较低速度飞行 (由于较高空气密度) 的较低中间高度的垂直规避。但是,如果计算指示飞行器的 STA 早于其 ETA_{min} ,则最易得到的解决方案通常将涉及将 ETA_{min} 指配为飞行器在计量方位点的 RTA,并且然后允许飞行器的 FMS 修改其速度,以便在计量方位点实现 RTA。DA 将其计算结果转发给调度推理器,调度推理器然后根据存在上述情况的哪一种来向 ATCo 接口发出适当信息。接口可对飞行器发起净空的自动上行链路或者向 ATCo 提供净空信息供进一步动作。

[0057] 图 13 是表示对横向路线选择或垂直路径的修改是必要的情况的框图,如图 12 中的节点 1 所示,并且转至作为图 13 中的输入。DA 能够生成一个或多个备选 4DT,其特征在于对高度、速度和 / 或横向路线选择的不同变化,例如备选路径伸展轨迹或者以备选速度下降到较低高度以便延迟飞行器到达其计量方位。生成备选轨迹的过程可通过用户偏好来导向,如以上对于本发明的偏好管理方法和系统所述。如果提出多个备选 4DT,则 DA 比较每个备选 4DT 与给定空域中的所有已知交通的子集或全体的其它轨迹的合计。比较识别来自初始集合的每个潜在 4DT 与所有相关背景交通之间的任何冲突 (与轨迹相关的预测飞行器状态之间的最小间隔的违反)。背景交通的 4DT 保持在 ATC 系统的数据存储中。如果没有识别冲突,或者如果潜在冲突的概率低于某个阈值,则对于初始集合中的两个或更多 4DT,能够将备选 4DT 转发给执行规避成本评估的模块,由其对每个备选 4DT 来计算速度和 / 或轨迹修改规避的归一化成本。这个成本计算还可利用从飞行器直接提供或者从辅助数据所推断的飞行器性能模型和 / 或成本信息来计算燃料使用剖面。ATC 系统优选地按照其归一化成本来对备选 4DT 分级,并且分级列表输入到调度推理器,调度推理器选择没有引起与其它飞行器的 4DT 的冲突或者违反任何空域限制的最低成本 (最高分级) 轨迹修改。这些轨迹修改可包括横向路径变化、高度变化和速度指配或者 RTA 时间限制。这个信息则可输入到 ATCo 接口,ATCo 接口可对飞行器发起净空的自动上行链路或者向 ATCo 提供净空信息供进一步动作。

[0058] 调度管理模块具有初始调度水平线和最终调度水平线。初始调度水平线是空间水平线,它是各飞行器进入给定空域、例如到达机场的大约 200 海里 (370.4 公里) 之内的空域的位置。ATM 管理器监测飞行器的位置,并且在飞行器进入初始调度水平线时被触发一次。称作 STA 固定水平线的最终调度水平线由特定到达时间计量方位来定义。STA 固定水平线可定义为飞行器的小于或等于未来 20 分钟的计量方位 ETA。一旦飞行器穿过 STA 固定水平线,则其 STA 保持不变,DA 被触发,并且任何满足时间规避经上行链路传递给飞行器,以便执行由调度管理器所提出的计划。

[0059] 图 14 是表示由 DA 模块所执行的操作的流程图。如图 14 所示,DA 模块监测由调度器在 ATC 系统的数据存储中所保持的调度队列。备选地,DA 模块可能是事件驱动的,并且由调度器根据需要来调用,例如当飞行器穿过最终调度水平线时。DA 然后收集来自飞行器的速度信息、飞行器的预测轨迹(从飞行器直接提供或者在地面预测)以及来自调度器的调度计划。DA 然后生成飞行器的一个或多个满足时间规避(速度调整或时间限制、高度调整和/或路径伸展),执行每个所生成满足时间规避与现有活动预测轨迹的冲突探测,并且消除具有冲突的任何满足时间规避。在无冲突满足时间规避池中,(例如由规避成本评估模块)执行成本评估过程,由此 DA 选择优选满足时间规避。所选规避则输出到接口,其中它经上行链路传递给飞行器或者提供给另一个用户供进一步处理。在没有满足时间规避是无冲突的情况下,调度管理模块可利用传统语音/人工操作(图 13)。

[0060] 调度器从地面以及能够提供轨迹信息的可能配备的飞行器来得到信息。这创建预测飞行器轨迹,并且包含动态演进飞行器状态信息(例如 4D 位置、地面速度、航路和高度率)。调度器生成 DA 的调度计划,DA 从空中(飞行器)和地面收集信息,并且将信息提供给空中和地面。如果数据不能直接从飞行器本身提供,则这个过程还可使用前面所述的推断数据。

[0061] 如前面所述,在调度器中实现的调度算法可以是例如基于在所调度计量方位的估计的到达时间的顺序的动态先到先服务算法,或者它可将偏好给予能够提供更准确轨迹信息并且使用空中 TOAC 算法来满足 STA 的更好配备的飞行器。当发起调度器时,算法构成每个管理计量方位的空队列。当飞行器进入初始调度水平线时,将这个飞行器推进对应调度队列,并且算法在需要时更新队列中的各飞行器的 STA。当飞行器处于调度队列中并且其 ETA 被改变时,将对整个调度队列执行相同过程。当飞行器处于调度队列中并且穿过固定水平线时,其 STA 将在队列中保持不变,直到它离开队列。

[0062] 调度算法接收调度队列中的各飞行器的数据,例如 ETA(最小和最大)、飞行器重量级、飞行器标识等。对于每个调度队列,STA 更新过程能够描述如下。如果不存在其 STA 被保持的飞行器,则飞行器基于它在计量方位的 ETA 的顺序来处理。向经处理的飞行器指配等于其 ETA 的时间或者确保较早前在队列中被调度的飞行器的类型所需的最小时间间隔的最早时间,指配较大的一个。如果存在具有被保持 STA 的某个飞行器,则飞行器基于其 STA 采用被保持 STA 来排序,并且这些飞行器被看作是预先调度飞行器。如果具有未保持 STA 的飞行器则基于它们在计量方位的 ETA 的顺序来处理。调度器算法在每一循环周期检查每个调度队列的状态,从而将恒定更新的 STA 保持到它们被保持为止。

[0063] 图 15 帮助示出其中能够实现本发明的调度管理方法的情况。图 15 表示五个飞行器的集合,指定为 FLT#1 至 #5,识别为离开指定为 KSFO、KDEN、DKFW 和 KDCA 的机场,并且全

部飞往指定为 KSEA 的机场。在这种基线情况下,全部五个到达班机在其指定为 OLM 的计量方位点合并时将发生冲突。调度器生成全部五个班机的计量方位处的 STA,与计量方位关联的 DA 生成从固定水平线(计量点之前的 20 飞行分钟)到计量方位的速度变化或满足时间咨询。全部五个班机由这个过程调度成在 2 分钟相对时间窗口之内按照班机编号 FLT#5 至 #5 所示的顺序到达 OLM。

[0064] 从以上所述应当显而易见,调度管理方法和系统能够用于使 ATC 系统能够促进在给定空域中飞行的一个或多个飞行器实现系统优选时间目标和调度,这显著降低操作成本,例如燃料燃烧、飞行时间、缺失乘客连接等。因此,调度管理方法和系统能够促进在具有不同类型的飞行器性能能力(混合装备)的环境中的 ATC 操作的改进。通过对具有更好能力的飞行器提供更理想的解决方案,这种调度管理方法和系统鼓励飞行器经营者考虑支持空中-地面协商的高级飞行管理系统(AFMS)的安装。

[0065] 虽然根据特定实施例描述了本发明,但是显而易见,可由本领域技术人员采用其它形式。例如,性能和调度系统的组件的功能可由能够进行相似(但不一定等效)功能的不同组件来执行。因此,本发明的范围仅由所附权利要求来限制。

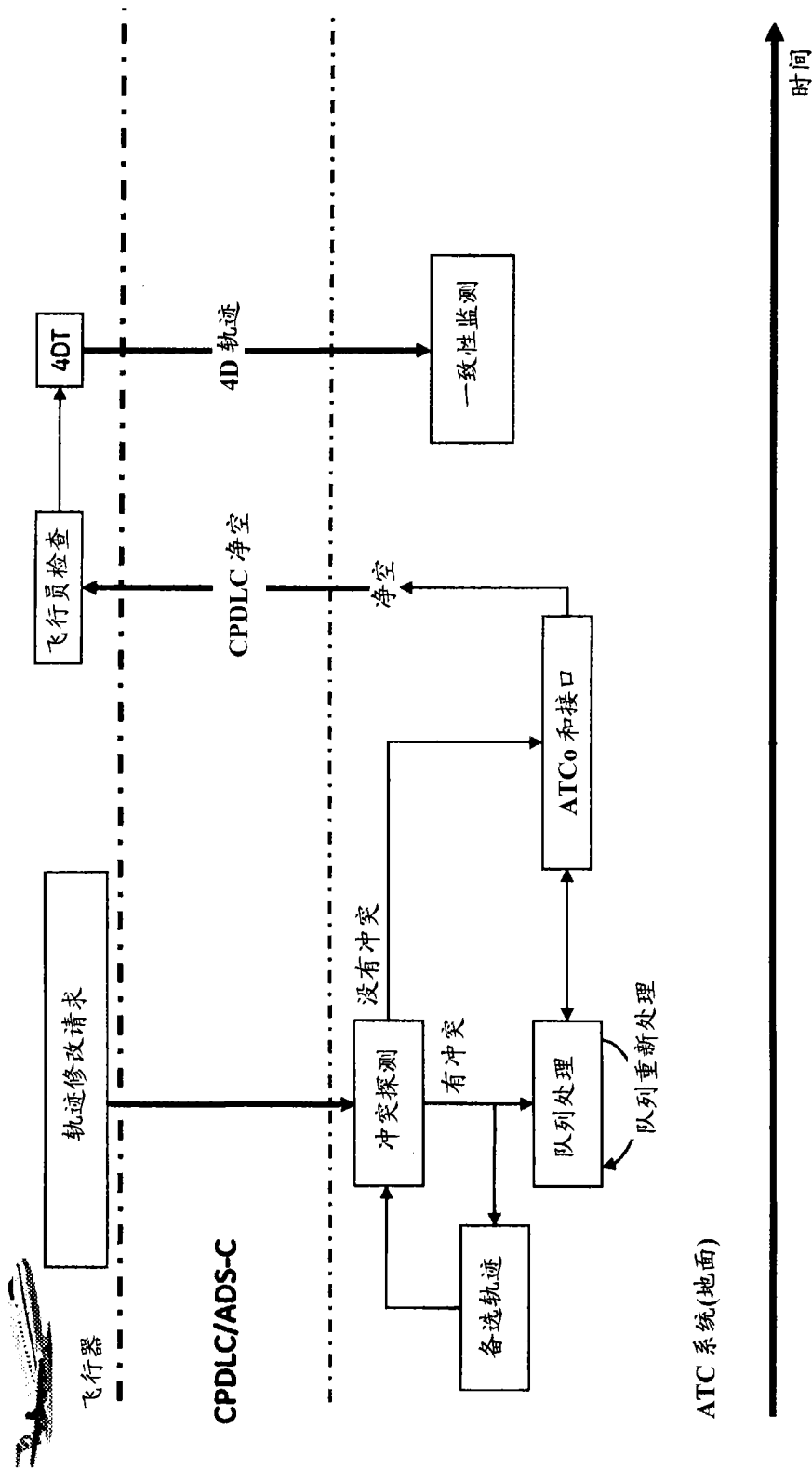


图 1

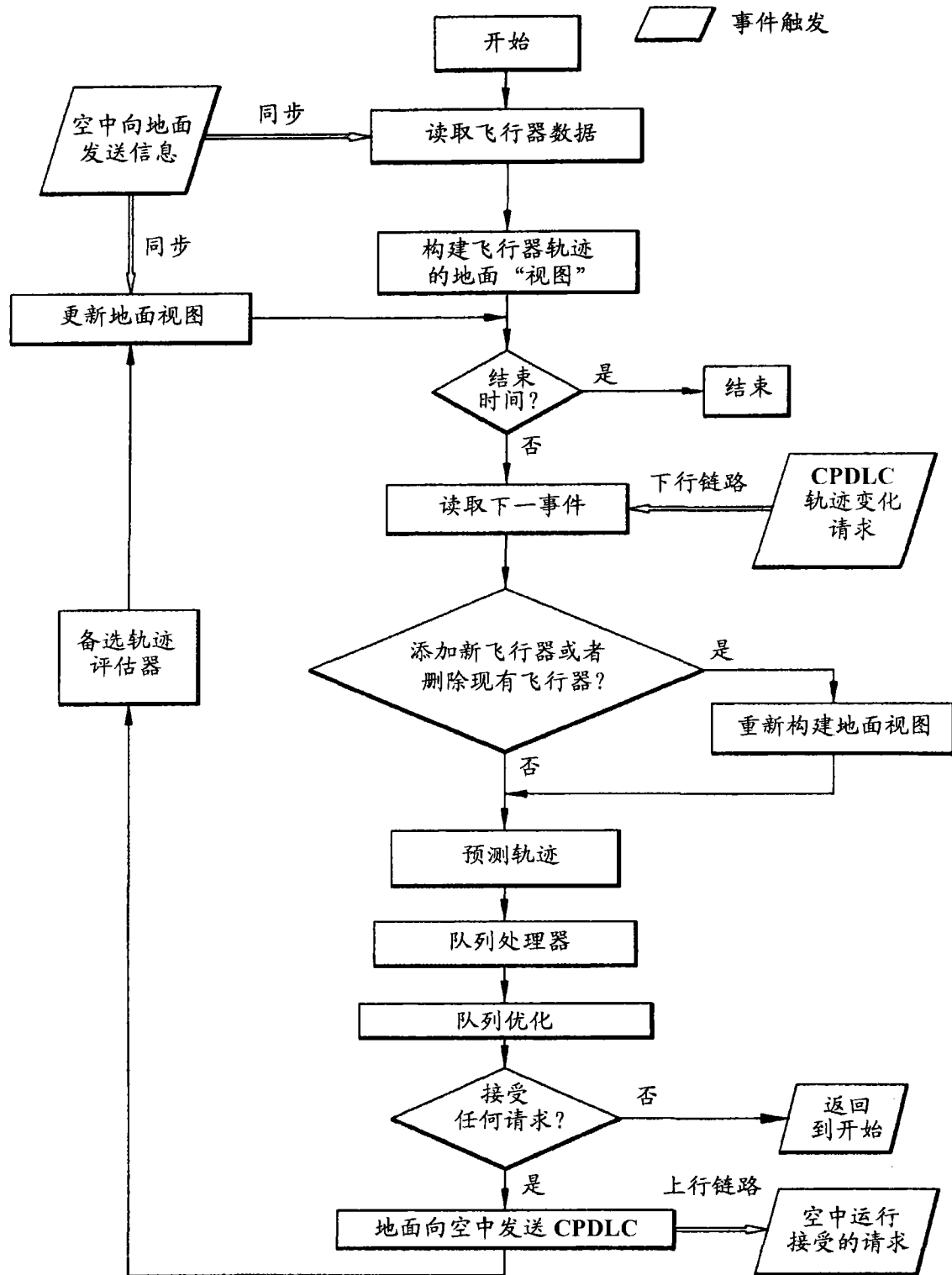


图 2

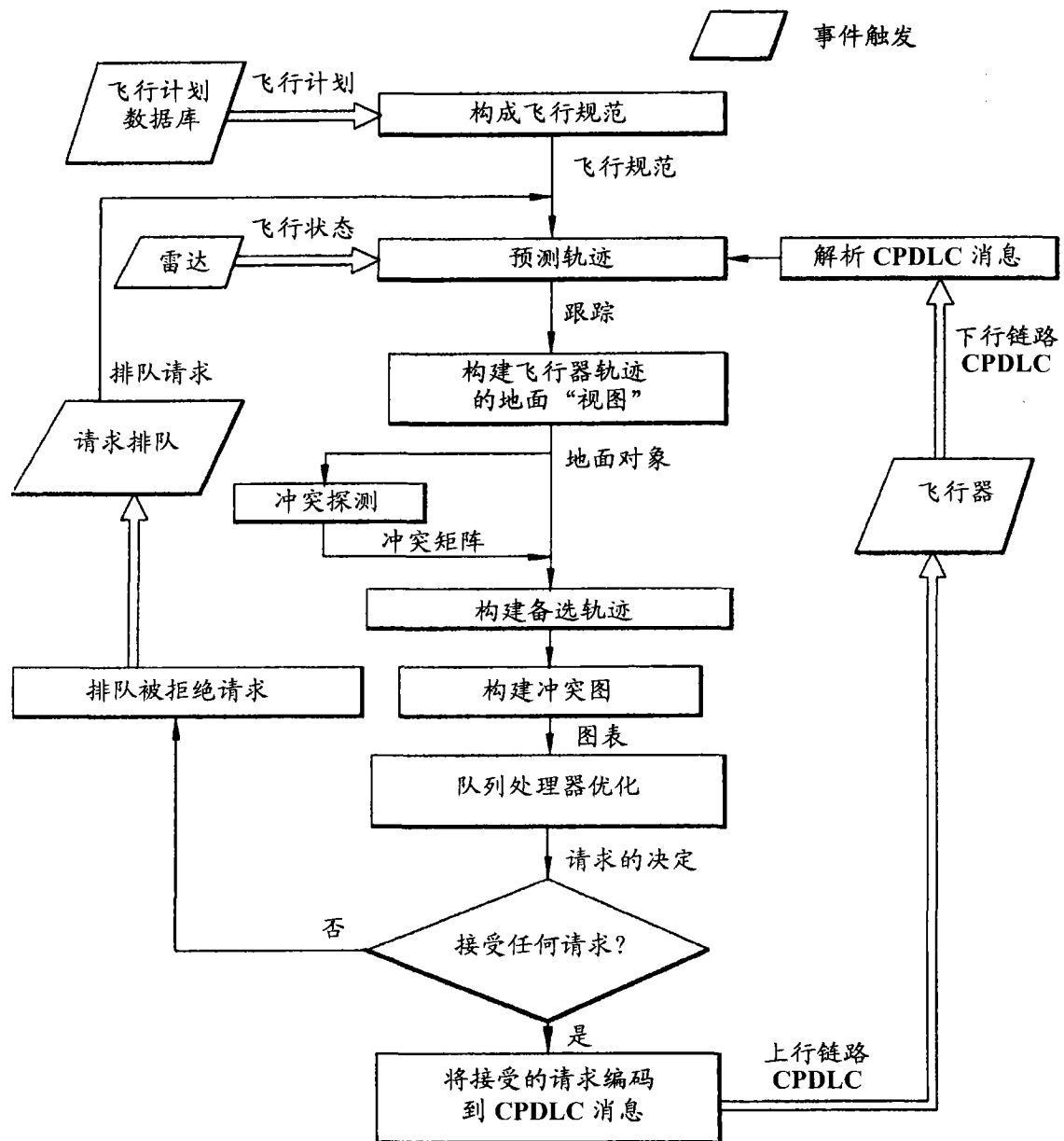


图 3

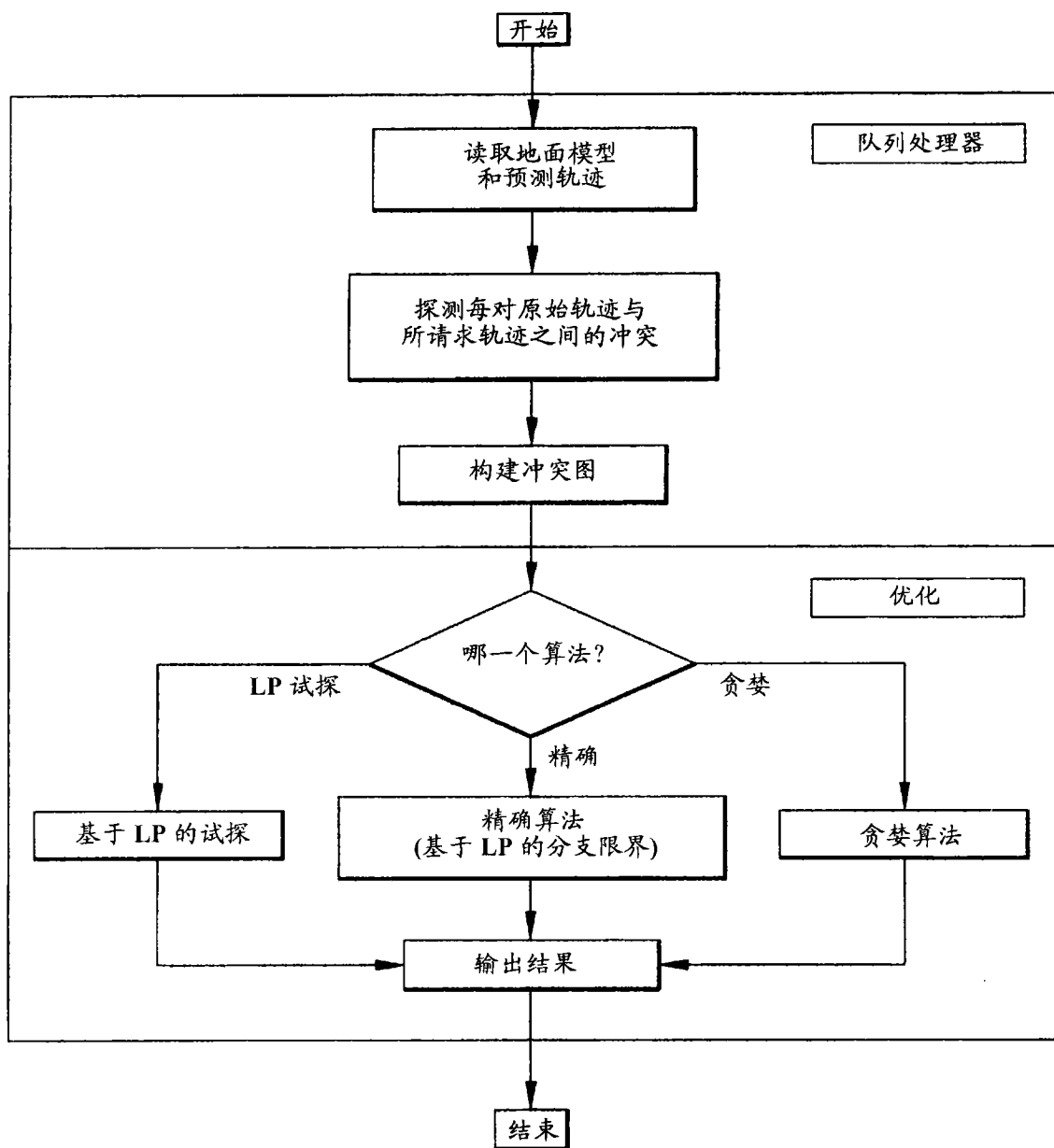


图 4

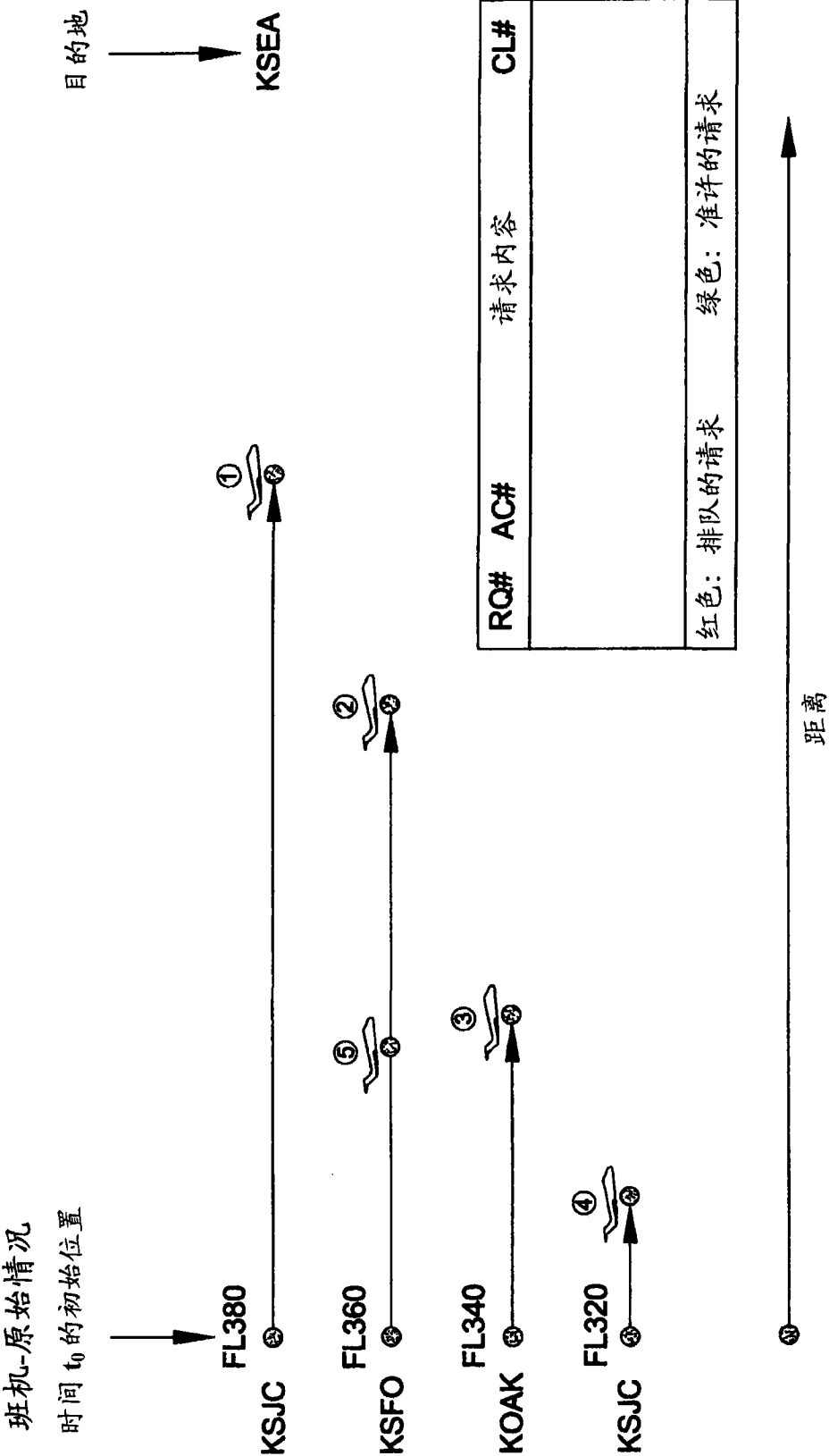


图 5

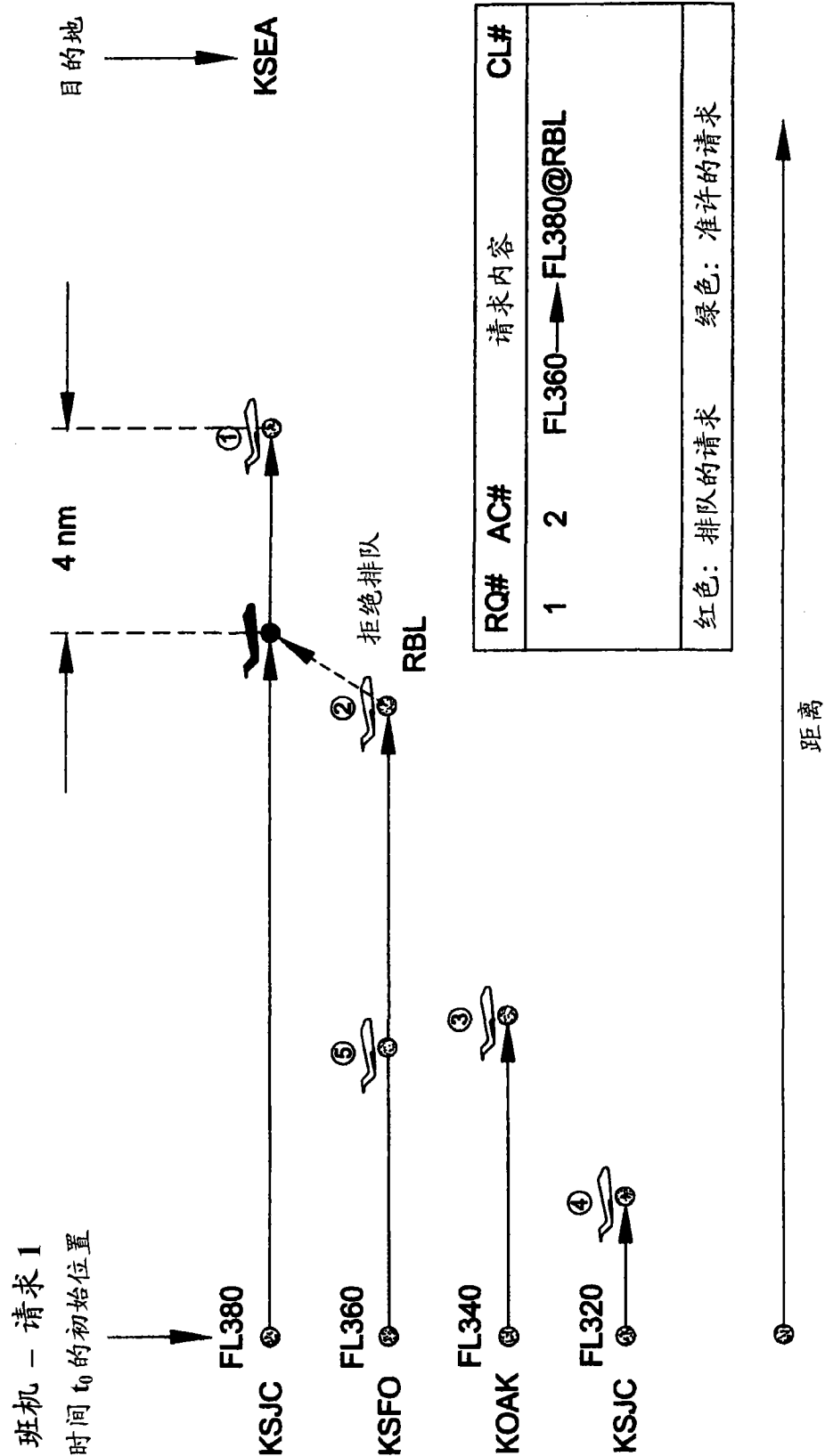


图 6

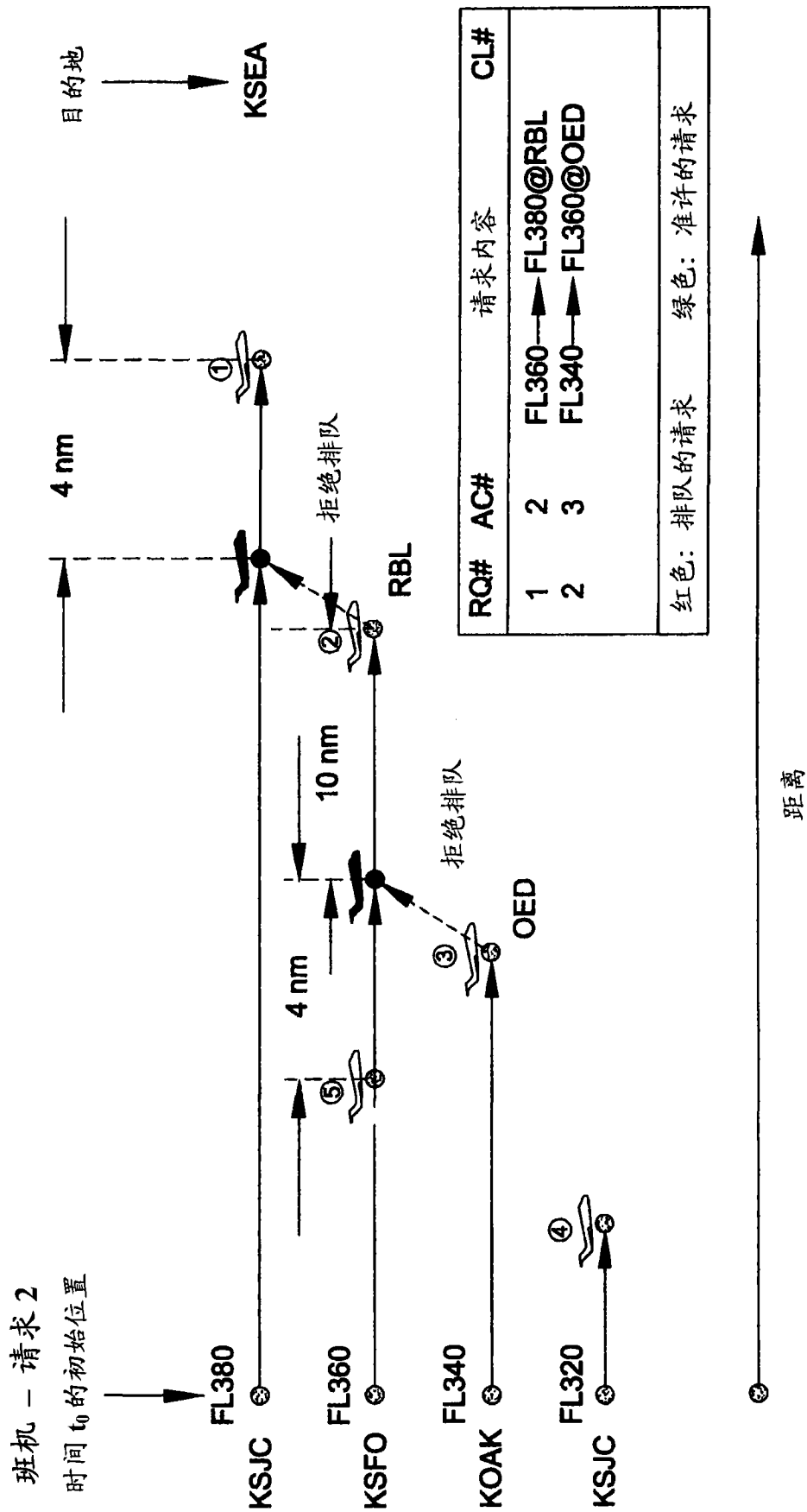


图 7

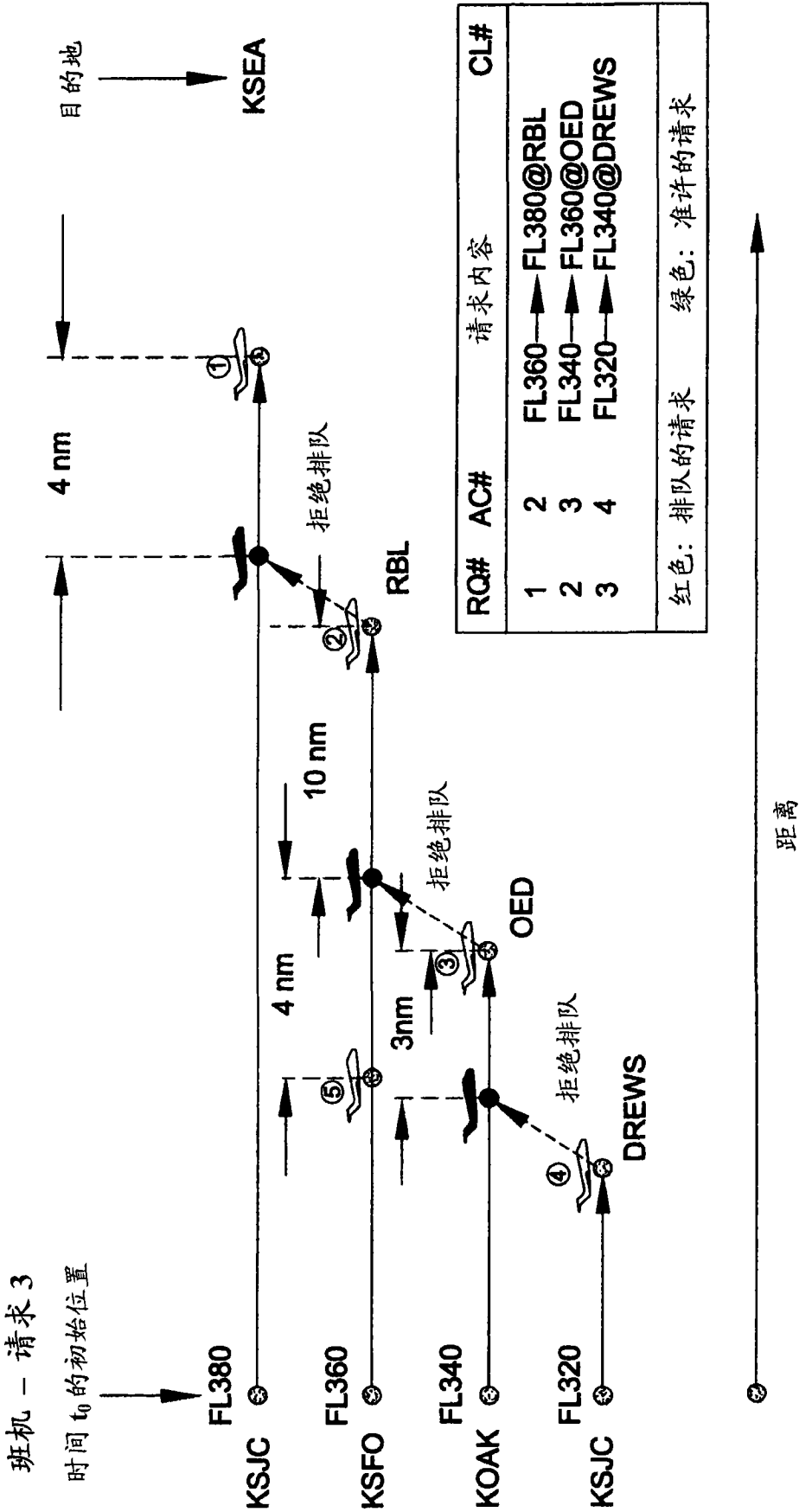


图 8

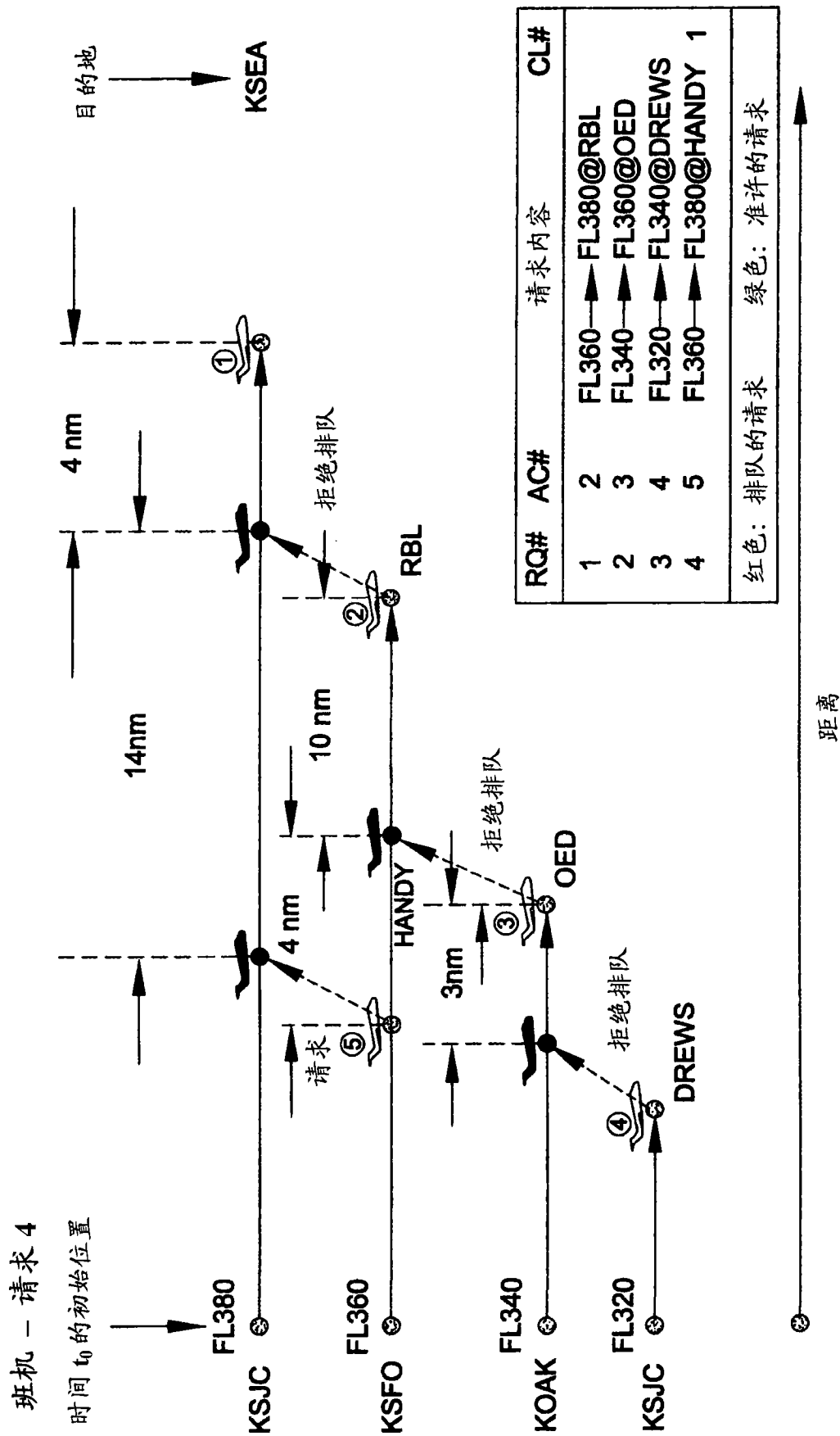


图 9

班机 - 最终情况

时间 t_0 的初始位置

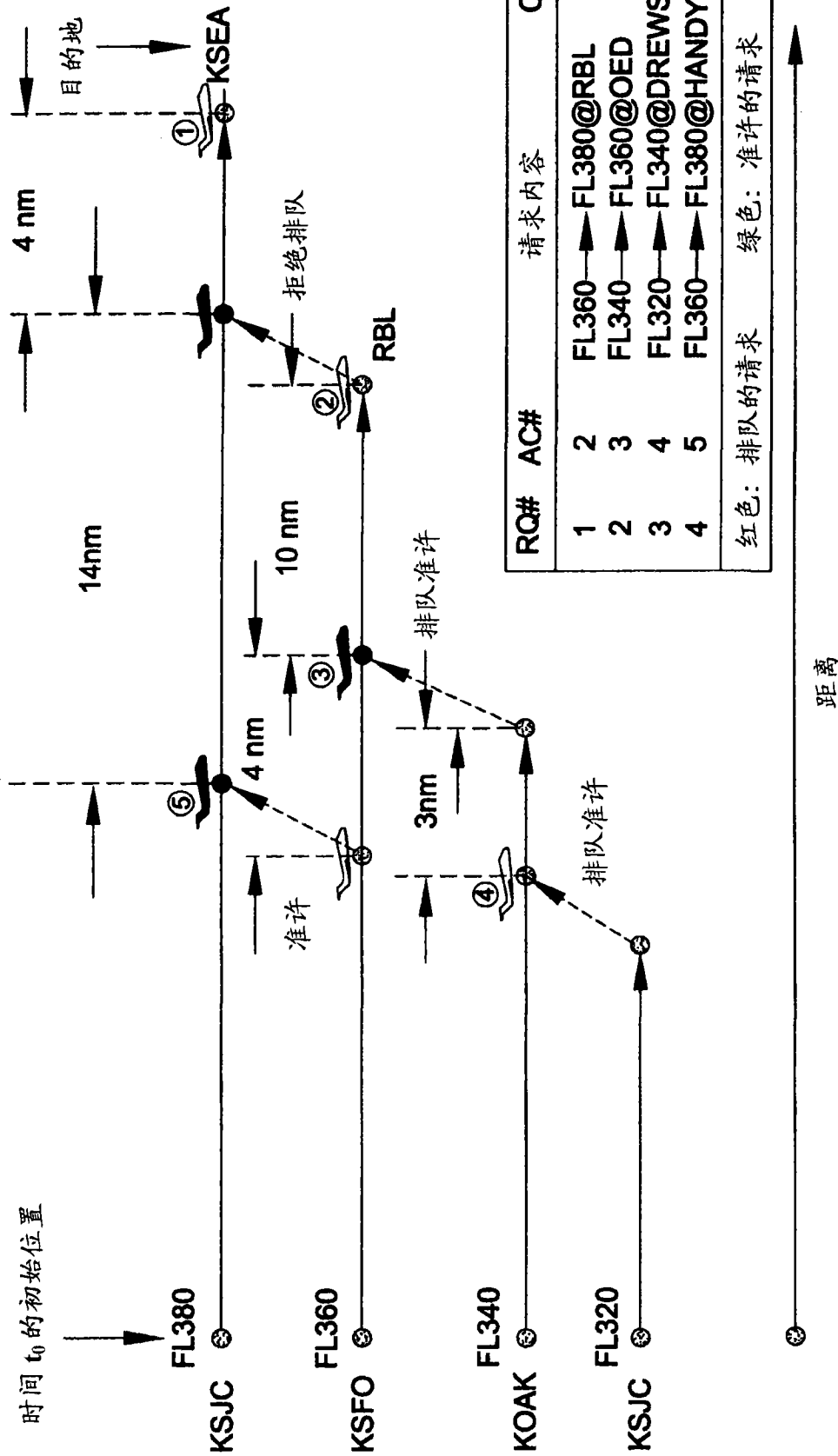


图 10

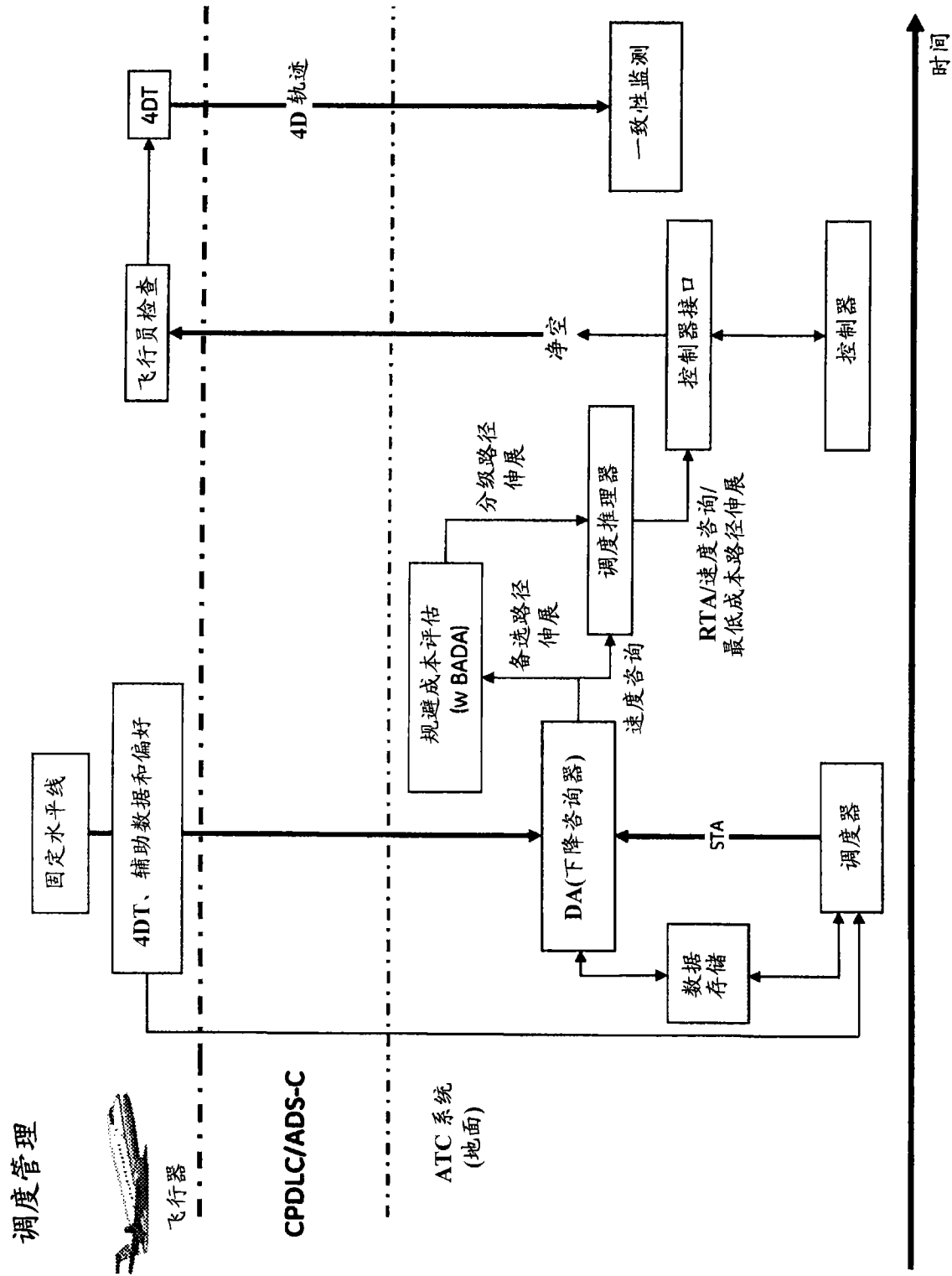


图 11

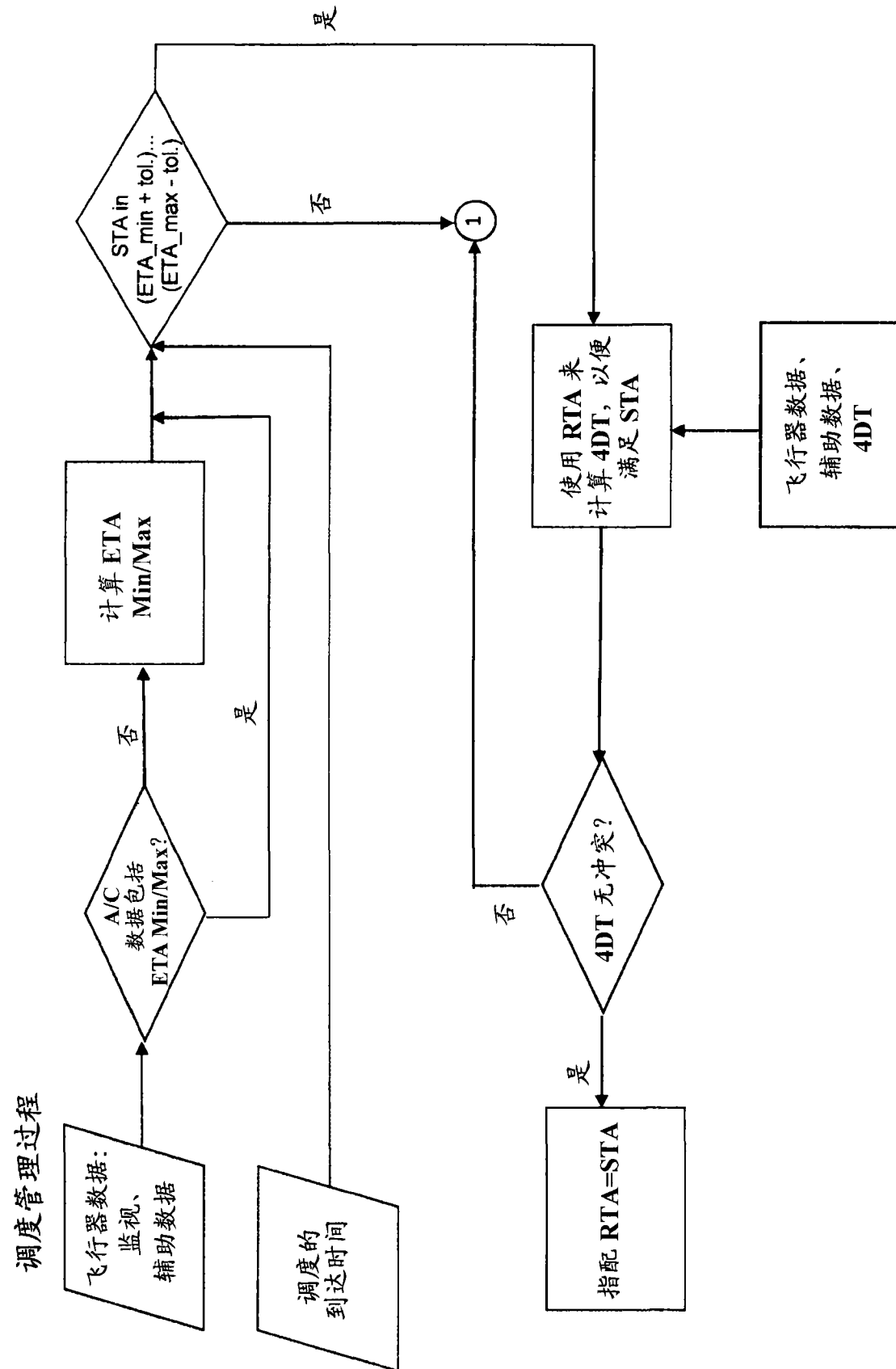


图 12

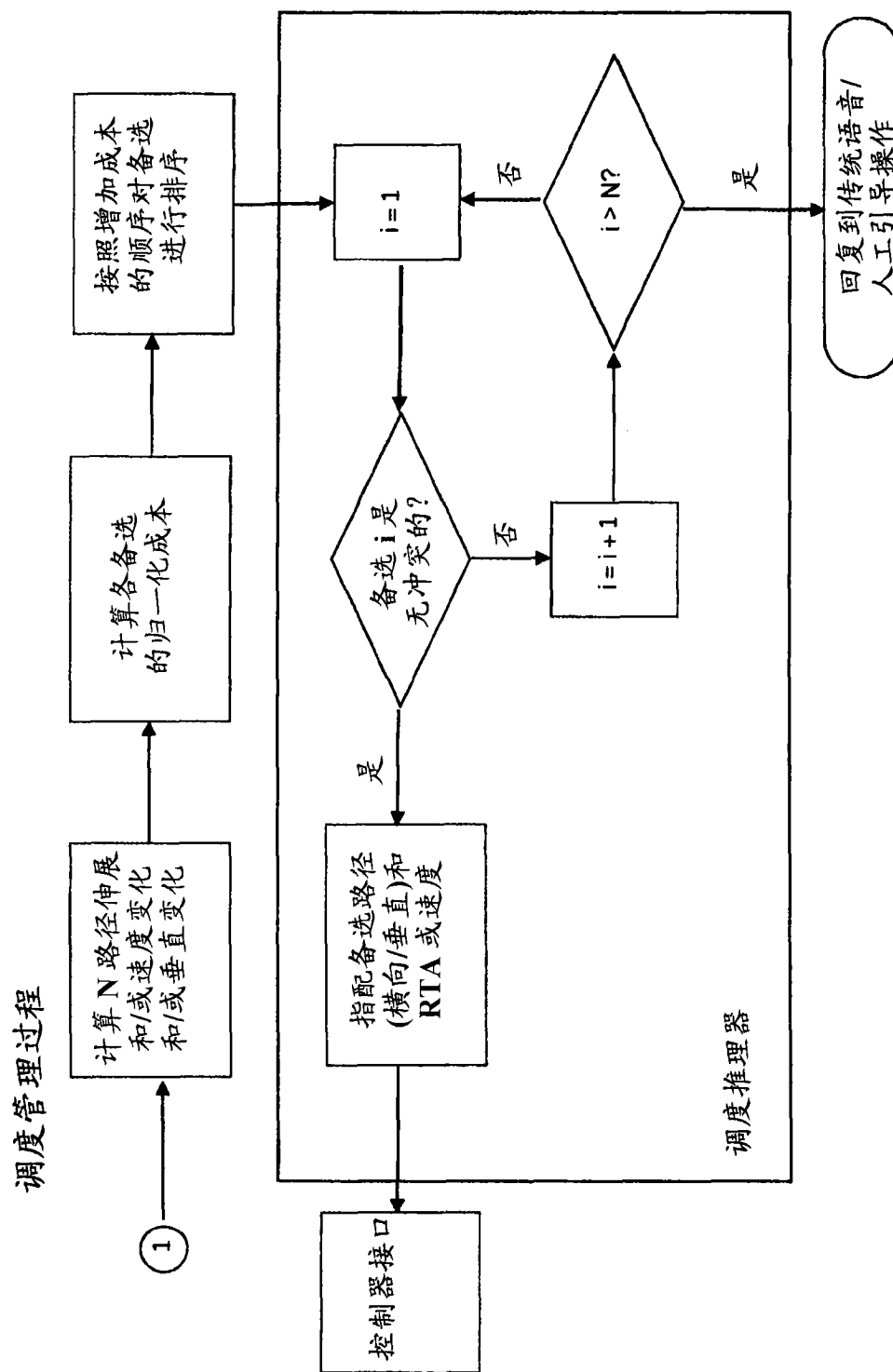


图 13

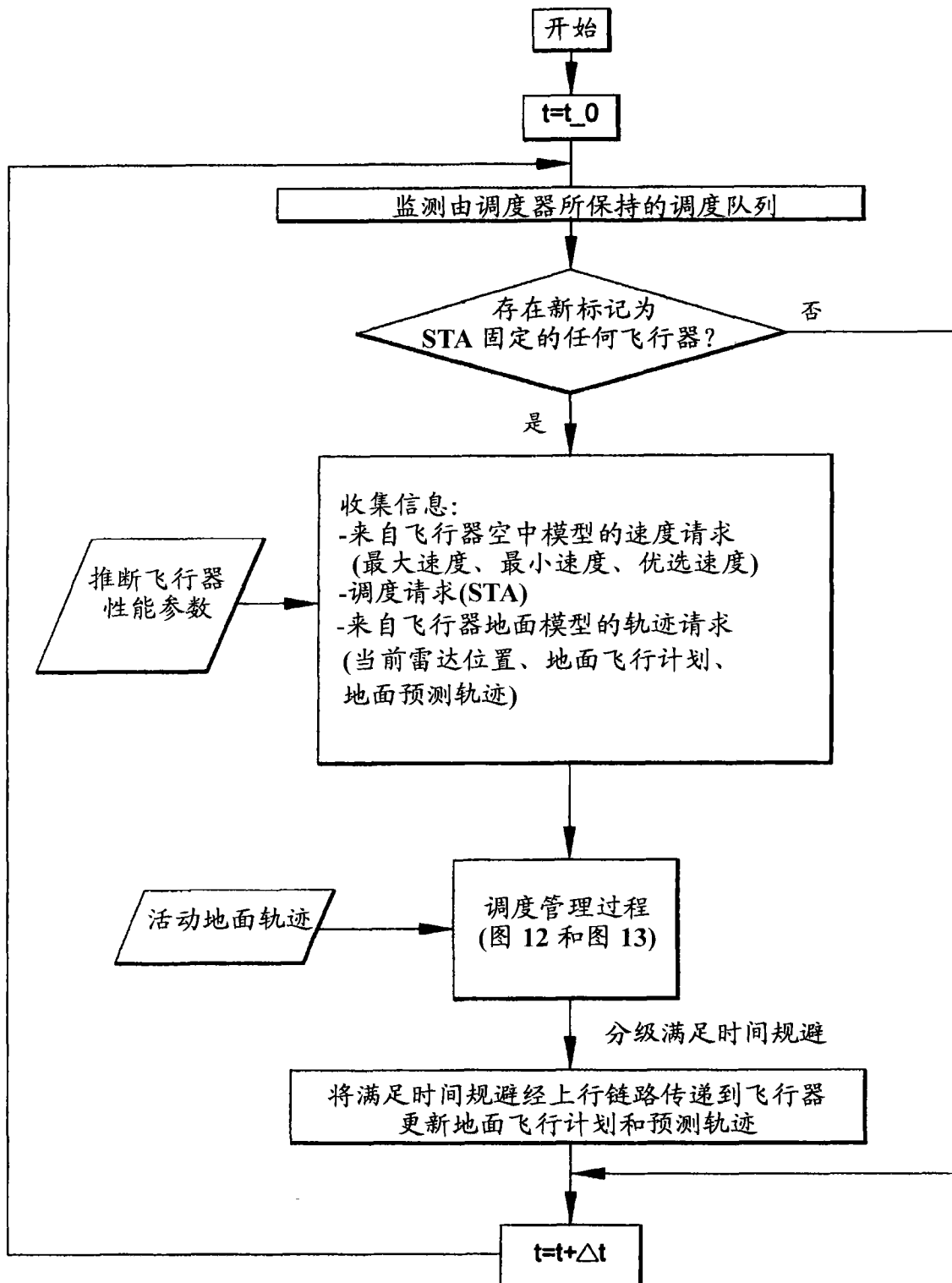


图 14

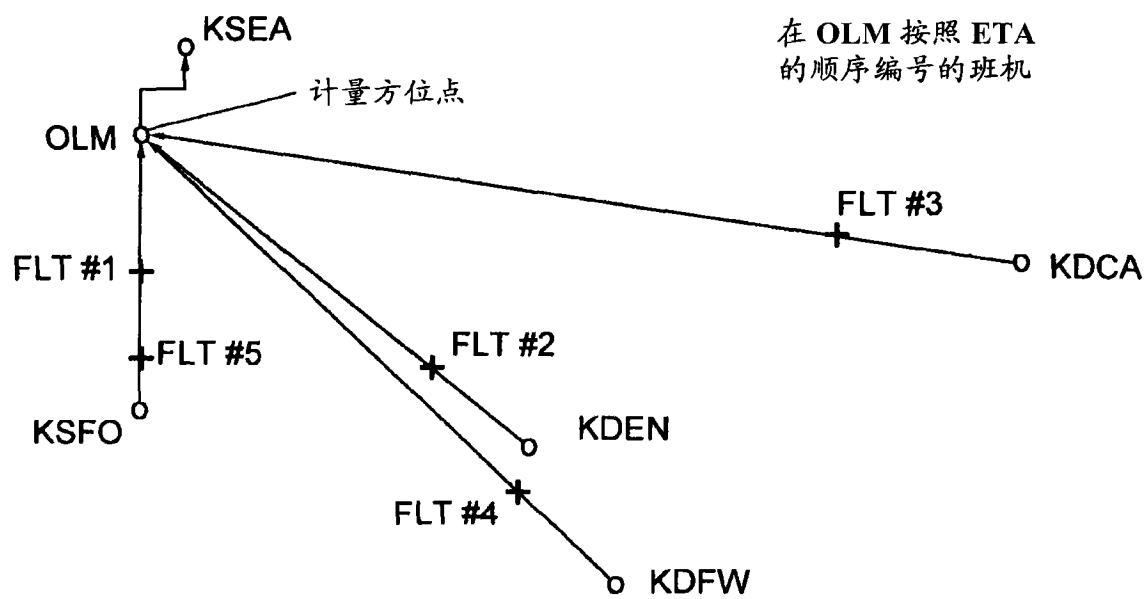


图 15