



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104808679 A

(43) 申请公布日 2015.07.29

(21) 申请号 201510089009.9

(22) 申请日 2015.02.27

(71) 申请人 中国民航大学

地址 300300 天津市东丽区津北公路 2898
号

(72) 发明人 吴恩森 陈钟玉 屈景怡 刘海涛
吴仁彪

(74) 专利代理机构 天津才智专利商标代理有限公司 12108

代理人 庞学欣

(51) Int. Cl.

G05D 1/10(2006.01)

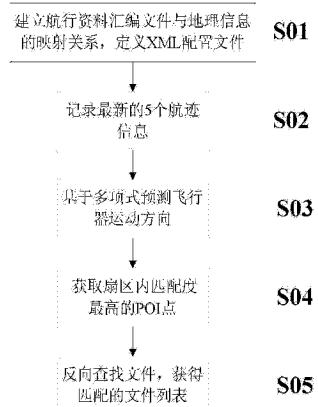
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法

(57) 摘要

一种基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法。其包括建立航行资料汇编文件与地理信息的映射关系及生成 XML 配置文件；记录航迹信息；基于多项式预测方法对飞行器的运动趋势进行预测；筛选 POI 兴趣点；反向查找航行资料汇编文件等步骤。本发明提供的基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法具有以下优点：①建立了航行资料汇编文件与地理信息的映射关系，形成了全新的易于管理的文件层次。②采用了飞行轨迹的预测方法，实现了文件的智能匹配，解决了传统的文件查找困难的问题。③运算简单，可靠性强。④能够提供更加便利、智能、立体的航行情报服务。



1. 一种基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法, 其特征在于 : 其包括按顺序执行的下列步骤 :

步骤 (1) 建立航行资料汇编文件与地理信息的映射关系及生成 XML 配置文件的 S01 阶段 : 在初始的航行资料汇编文件中, 包括航线、导航台、机场文件在内的目录是按照字母顺序排列的, 依次整理这些文件, 并自定义两个 XML 配置文件来描述航行资料汇编文件与地理信息间的映射关系 ;

步骤 (2) 记录航迹信息的 S02 阶段 : 在飞行过程中, 飞行器实时记录当前最新的 5 个航迹点信息, 包括速度、经纬度、方向角, 并将这些数据存储在本地的数据库中 ;

步骤 (3) 基于多项式预测方法对飞行器的运动趋势进行预测的 S03 阶段 : 设 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角 $s(t_i)$ 可用一组正交多项式时间函数表示, 再根据 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角的测量值 x_i 采用最小二乘法对系数 a_j 进行最小二乘估计得到 \hat{a}_j , 最后根据系数 \hat{a}_j 对 $(t_n + dt)$ 时刻目标方向角进行预测 ;

步骤 (4) 筛选 POI 兴趣点的 S04 阶段 : 根据预测的目标方向角定义一个方向角裕度 θ , 遍历 XML 配置文件中的地理信息, 利用地理信息与航行资料汇编文件之间的映射关系, 将这些具有航行资料汇编文件属性的点定义为 POI 兴趣点, 之后根据飞行器的经纬度坐标计算 POI 兴趣点与预测的目标方向角之间的差角 α , 并判断差角 α 是否小于方向角裕度 θ , 如果差角 α 在方向角裕度 θ 之内则继续计算该 POI 兴趣点与飞行器之间的距离, 距离最小的点就是匹配度最高的点 ;

步骤 (5) 反向查找航行资料汇编文件的 S05 阶段 : 通过解析 XML 配置文件获得航行资料汇编文件与地理信息之间的映射关系, 即能够根据匹配的 POI 兴趣点的地理信息反向查找到所对应的航行资料汇编文件, 从而实现航行资料汇编文件的智能匹配。

2. 根据权利要求 1 所述的基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法, 其特征在于 : 在步骤 (3) 中, 所述的基于多项式预测方法对飞行器的运动趋势进行预测的方法包括按顺序执行的下列步骤 :

1) 设 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角 $s(t_i)$ 可用一个正交多项式时间函数表示, 其中 $t_i = i \cdot T$, T 为轨迹的采样间隔 :

$$s(t_i) = \sum_{j=0}^m a_j t_i^j \quad (m < n-1) \quad (1)$$

2) 根据 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角的测量值 x_i 采用最小二乘法对系数 a_j 进行最小二乘估计, 可由下式求解 :

$$A = (P^T \cdot P)^{-1} P^T X \quad (2)$$

$$\text{式中 : } A = \begin{bmatrix} \hat{a}_0 \\ \hat{a}_1 \\ \vdots \\ \hat{a}_{m-1} \\ \hat{a}_m \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & \cdots & t_1^{m-1} & t_1^m \\ 1 & t_2 & \cdots & t_2^{m-1} & t_2^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_{n-1} & \cdots & t_{n-1}^{m-1} & t_{n-1}^m \\ 1 & t_n & \cdots & t_n^{m-1} & t_n^m \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{n-1} \\ x_n \end{bmatrix}$$

因此目标方向角 $s(t)$ 的最优估计为 :

$$\hat{s}(t) = \sum_{j=0}^m \hat{a}_j t^j \quad (3)$$

这样就可以利用式 (3) 对 (t_n+dt) 时刻的目标方向角进行预测, 即 :

$$\hat{s}(t_n + dt) = \sum_{j=0}^m \hat{a}_j (nT + dt)^j \quad (4)$$

在上述公式中, $n = 5$, n 代表历史轨迹采样点, x_i 是 S02 阶段中数据库输出的 5 组方向角数据, t 时刻的方向角就是 $\hat{s}(t)$, 则目标方向角的多项式函数为 :

$$s(t_i) = \sum_{j=0}^2 a_j \cdot i^j \quad (5)$$

再利用最新的 5 组方向角数据, 采用式 (2) 来确定系数 a_i 的最小二乘估计 \hat{a}_i , 这样就能够根据 \hat{a}_i 对 t_n 时刻的运动轨迹进行预测, 即 :

$$\hat{s}(t_n + dt) = \sum_{j=0}^2 \hat{a}_j (nT + dt)^j \quad (dt \leq T) \quad (6)$$

3. 根据权利要求 1 所述的基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法, 其特征在于 : 在步骤 (4) 中, 所述的筛选 POI 兴趣点的方法包括按顺序执行的下列步骤 :

- 1) 根据预测的目标方向角定义一个方向角裕度 θ , 该方向角裕度 θ 必须在 $0^\circ - 180^\circ$ 之间, 根据通航飞机的机动参数, 一般将方向角裕度 θ 取为 60° ;
- 2) 解析 XML 配置文件, 获取航行资料汇编文件和地理信息, 根据地理信息定义具有航行资料汇编文件属性的 POI 兴趣点 ;
- 3) 根据飞行器的经纬度坐标 (x_0, y_0) , POI 兴趣点的经纬度坐标 (x_1, y_1) , 以及预测的目标方向角 ϕ 计算 POI 兴趣点与预测的目标方向角之间的差角 α , 具体公式如下 :

$$\alpha = \arctan^{-1}\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right) - \phi$$

- 4) 判断差角 α 是否小于方向角裕度 θ , 如果差角在方向角裕度 θ 之内, 则计算该 POI 兴趣点与飞行器之间的距离, 然后按距离对这些 POI 兴趣点进行排序, 距离最小的点就是匹配度最高的点。

基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法

技术领域

[0001] 本发明属于空管自动化技术领域，特别是涉及一种基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP (Aeronautial Information Publication, 航行资料汇编) 文件智能匹配方法。

背景技术

[0002] 通用航空是指使用民用航空器从事公共航空运输以外的民用航空活动，作业项目覆盖了农、林、牧、渔、工业、建筑、科研、交通、娱乐等多个行业。通用航空的具体内容包罗万象，具有机动灵活、快速高效等特点，近些年来，随着我国民航事业的发展和低空空域的开放，通用航空的行业规模日益扩大，飞行需求渐趋旺盛，因此具有很大的市场前景。

[0003] 航行情报服务是飞行服务中的重要组成部分。准确、及时地向机组提供航行情报服务是安全飞行的基础。通用航空作业具有很强的灵活性，机载设备相对简单，因此，在通用航空中对航行情报服务便捷性、易用性要求很高。航行情报服务包括向飞行员提供航图、航行资料汇编及告知航行通告等多项内容。航图和航行资料汇编文件是指飞行过程中需要使用到的规章手册、机场和航线资料等文件，数量大，内容繁杂。传统的航行资料分发方式是向机组提供大量纸质版文件，使用起来极为不便，因此不适于通用航空。

[0004] 目前，国内外已经有很多厂商研制出了使用在移动智能设备上的电子飞行包 (Electronic Flight Bag system, EFB)，该电子飞行包将航图和航行资料汇编文件电子化，提升了使用的便捷性。但同时也存在几个问题，如这些厂商多为飞机制造商，如波音、空客等，具有很强的垄断性，因此，设备价格高昂，维护成本巨大。由于通用航空的作业成本较低，因而不具备广泛配备 EFB 的条件。另外，电子飞行包并没有对航行资料文件进行进一步的处理，依旧需要通过一层层的文件夹浏览才能找到飞行中需要的文件。

[0005] 鉴于上述原因，通用航空急需一种电子航行资料汇编文件的智能查找方法，来解决传统方式和现有的 EFB 中繁复地文件查找问题，从而保障通用航空的飞行安全。

发明内容

[0006] 为了解决上述问题，本发明的目的在于提供一种易于管理，实现了文件的智能匹配，摆脱了传统的大量文件查找困难的问题，能够提供智能立体的航行情报服务的基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法。

[0007] 为了达到上述目的，本发明提供的基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法包括按顺序进行的下列步骤：

[0008] 步骤 (1) 建立航行资料汇编文件与地理信息的映射关系及生成 XML 配置文件的 S01 阶段：在初始的航行资料汇编文件中，包括航线、导航台、机场文件在内的目录是按照字母顺序排列的，依次整理这些文件，并自定义两个 XML 配置文件来描述航行资料汇编文件与地理信息间的映射关系；

[0009] 步骤 (2) 记录航迹信息的 S02 阶段：在飞行过程中，飞行器实时记录当前最新的 5 个航迹点信息，包括速度、经纬度、方向角，并将这些数据存储在本地的数据库中；

[0010] 步骤(3) 基于多项式预测方法对飞行器的运动趋势进行预测的S03阶段：设 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角 $s(t_i)$ 可用一组正交多项式时间函数表示，再根据 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角的测量值 x_i 采用最小二乘法对系数 a_j 进行最小二乘估计得到 \hat{a}_j ，最后根据系数 \hat{a}_j 对 $(t_n + dt)$ 时刻目标方向角进行预测；

[0011] 步骤(4) 筛选POI兴趣点的S04阶段：根据预测的目标方向角定义一个方向角裕度 θ ，遍历XML配置文件中的地理信息，利用地理信息与航行资料汇编文件之间的映射关系，将这些具有航行资料汇编文件属性的点定义为POI兴趣点，之后根据飞行器的经纬度坐标计算POI兴趣点与预测的目标方向角之间的差角 α ，并判断差角 α 是否小于方向角裕度 θ ，如果差角 α 在方向角裕度 θ 之内则继续计算该POI兴趣点与飞行器之间的距离，距离最小的点就是匹配度最高的点；

[0012] 步骤(5) 反向查找航行资料汇编文件的S05阶段：通过解析XML配置文件获得航行资料汇编文件与地理信息之间的映射关系，即能够根据匹配的POI兴趣点的地理信息反向查找到所对应的航行资料汇编文件，从而实现航行资料汇编文件的智能匹配。

[0013] 在步骤(3)中，所述的基于多项式预测方法对飞行器的运动趋势进行预测的方法包括按顺序执行的下列步骤：

[0014] 1) 设 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角 $s(t_i)$ 可用一个正交多项式时间函数表示，其中 $t_i = i \cdot T$, T 为轨迹的采样间隔：

$$[0015] s(t_i) = \sum_{j=0}^m a_j t_i^j \quad (m < n-1) \quad (1)$$

[0016] 2) 根据 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角的测量值 x_i 采用最小二乘法对系数 a_j 进行最小二乘估计，可由下式求解：

$$[0017] A = (P^T \cdot P)^{-1} P^T X \quad (2)$$

$$[0018] \text{式中: } A = \begin{bmatrix} \hat{a}_0 \\ \hat{a}_1 \\ \vdots \\ \hat{a}_{m-1} \\ \hat{a}_m \end{bmatrix}, \quad p = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & \cdots & t_1^{m-1} & t_1^m \\ 1 & t_2 & \cdots & t_2^{m-1} & t_2^m \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 1 & t_{n-1} & \cdots & t_{n-1}^{m-1} & t_{n-1}^m \\ 1 & t_n & \cdots & t_n^{m-1} & t_n^m \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{n-1} \\ x_n \end{bmatrix}$$

[0019] 因此目标方向角 $s(t)$ 的最优估计为：

$$[0020] \hat{s}(t) = \sum_{j=0}^m \hat{a}_j t^j \quad (3)$$

[0021] 这样就可以利用式(3)对 $(t_n + dt)$ 时刻的目标方向角进行预测，即：

$$[0022] \hat{s}(t_n + dt) = \sum_{j=0}^m \hat{a}_j (nT + dt)^j \quad (4)$$

[0023] 在上述公式中， $n = 5$ ， n 代表历史轨迹采样点， x_i 是 S02 阶段中数据库输出的 5 组方向角数据， t 时刻的方向角就是 $\hat{s}(t)$ ，则目标方向角的多项式函数为：

$$[0024] s(t_i) = \sum_{j=0}^2 a_j \cdot t^j \quad (5)$$

[0025] 再利用最新的 5 组方向角数据,采用式 (2) 来确定系数 a_i 的最小二乘估计 \hat{a}_i ,这样就能够根据 \hat{a}_i 对 t_n 时刻的运动轨迹进行预测,即 :

$$[0026] \quad \hat{s}(t_n + dt) = \sum_{j=0}^2 \hat{a}_j (nT + dt)^j \quad (dt \leq T) \quad (6)$$

[0027] 在步骤 (4) 中,所述的筛选 POI 兴趣点的方法包括按顺序执行的下列步骤 :

[0028] 1) 根据预测的目标方向角定义一个方向角裕度 θ ,该方向角裕度 θ 必须在 $0^\circ - 180^\circ$ 之间,根据通航飞机的机动参数,一般将方向角裕度 θ 取为 60° ;

[0029] 2) 解析 XML 配置文件,获取航行资料汇编文件和地理信息,根据地理信息定义具有航行资料汇编文件属性的 POI 兴趣点;

[0030] 3) 根据飞行器的经纬度坐标 (x_0, y_0) ,POI 兴趣点的经纬度坐标 (x_1, y_1) ,以及预测的目标方向角 Φ 计算 POI 兴趣点与预测的目标方向角之间的差角 α ,具体公式如下:

$$[0031] \quad \alpha = \arctan^{-1}\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right) - \phi$$

[0032] 4) 判断差角 α 是否小于方向角裕度 θ ,如果差角在方向角裕度 θ 之内,则计算该 POI 兴趣点与飞行器之间的距离,然后按距离对这些 POI 兴趣点进行排序,距离最小的点就是匹配度最高的点。

[0033] 本发明提供的基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法具有以下优点:①建立了航行资料汇编文件与地理信息的映射关系,形成了全新的易于管理的文件层次。②采用了飞行轨迹的预测方法,实现了文件的智能匹配,解决了传统的文件查找困难的问题。③运算简单,可靠性强。④能够提供更加便利、智能、立体的航行情报服务。

附图说明

[0034] 图 1 为本发明提供的基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法流程图。

[0035] 图 2 为本发明中基于多项式预测方法对飞行器的运动趋势进行预测的方法流程图。

[0036] 图 3 为本发明中筛选 POI 兴趣点的方法流程图。

[0037] 图 4 为本发明中根据预测的目标方向角定义方向角裕度 θ 的示意图。

具体实施方式

[0038] 下面结合附图和具体实例对本发明提供的基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法进行详细说明。

[0039] 如图 1 所示,本发明提供的基于飞行轨迹预测的通用航空 AIP 文件智能匹配方法包括按顺序执行的下列步骤:

[0040] 步骤 (1) 建立航行资料汇编文件与地理信息的映射关系及生成 XML 配置文件的 S01 阶段:在初始的航行资料汇编文件中,包括航线、导航台、机场文件在内的目录是按照字母顺序排列的,依次整理这些文件,并自定义两个 XML(Extensible Markup Language, 可扩展标记语言) 配置文件来描述航行资料汇编文件与地理信息间的映射关系;

[0041] 步骤 (2) 记录航迹信息的 S02 阶段 : 在飞行过程中, 飞行器实时记录当前最新的 5 个航迹点信息, 包括速度、经纬度、方向角等, 并将这些数据存储在本地的数据库中 ;

[0042] 步骤 (3) 基于多项式预测方法对飞行器的运动趋势进行预测的 S03 阶段 : 设 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角 $s(t_i)$ 可用一组正交多项式时间函数表示, 再根据 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角的测量值 x_i 采用最小二乘法对系数 a_j 进行最小二乘估计得到 \hat{a}_j , 最后根据 \hat{a}_j 对 $(t_n + dt)$ 时刻目标方向角进行预测 ;

[0043] 如图 2 所示, 所述的基于多项式预测方法对飞行器的运动趋势进行预测的方法包括按顺序执行的下列步骤 :

[0044] 1) 设 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角 $s(t_i)$ 可用一个正交多项式时间函数表示, 其中 $t_i = i \cdot T$, T 为轨迹的采样间隔 :

$$[0045] s(t_i) = \sum_{j=0}^m a_j t_i^j \quad (m < n-1) \quad (1)$$

[0046] 2) 根据 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时刻目标方向角的测量值 x_i 采用最小二乘法对系数 a_j 进行最小二乘估计, 可由下式求解 :

$$[0047] A = (P^T \cdot P)^{-1} P^T X \quad (2)$$

$$[0048] \text{式中: } A = \begin{bmatrix} \hat{a}_0 \\ \hat{a}_1 \\ \vdots \\ \hat{a}_{m-1} \\ \hat{a}_m \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & \cdots & t_1^{m-1} & t_1^m \\ 1 & t_2 & \cdots & t_2^{m-1} & t_2^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_{n-1} & \cdots & t_{n-1}^{m-1} & t_{n-1}^m \\ 1 & t_n & \cdots & t_n^{m-1} & t_n^m \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{n-1} \\ x_n \end{bmatrix}$$

[0049] 因此目标方向角 $s(t)$ 的最优估计为 :

$$[0050] \hat{s}(t) = \sum_{j=0}^m \hat{a}_j t^j \quad (3)$$

[0051] 这样就可以利用式 (3) 对 $(t_n + dt)$ 时刻的目标方向角进行预测, 即 :

$$[0052] \hat{s}(t_n + dt) = \sum_{j=0}^m \hat{a}_j (nT + dt)^j \quad (4)$$

[0053] 在上述公式中, $n = 5$ (n 代表历史轨迹采样点), x_i 是 S02 阶段中数据库输出的 5 组方向角数据, t 时刻的方向角就是 $\hat{s}(t)$, 则目标方向角的多项式函数为 :

$$[0054] s(t_i) = \sum_{j=0}^2 a_j \cdot i^j \quad (5)$$

[0055] 再利用最新的 5 组方向角数据, 采用式 (2) 来确定系数 a_i 的最小二乘估计 \hat{a}_i , 这样就能够根据 \hat{a}_i 对 t_n 时刻的运动轨迹进行预测, 即 :

$$[0056] \hat{s}(t_n + dt) = \sum_{j=0}^2 \hat{a}_j (nT + dt)^j \quad (dt \leq T) \quad (6)$$

[0057] 步骤 (4) 筛选 POI 兴趣点的 S04 阶段 : 根据预测的目标方向角定义一个方向角裕

度 θ ，遍历 XML 配置文件中的地理信息，利用地理信息与航行资料汇编文件之间的映射关系，将这些具有航行资料汇编文件属性的点定义为 POI 兴趣点，之后根据飞行器经纬度坐标计算 POI 兴趣点与预测的目标方向角之间的差角 α ，并判断差角 α 是否小于方向角裕度 θ ，如果差角 α 在方向角裕度 θ 之内则继续计算该 POI 兴趣点与飞行器之间的距离，距离最小的点就是匹配度最高的点；

[0058] 如图 3 所示，所述的筛选 POI 兴趣点的方法包括按顺序执行的下列步骤：

[0059] 1) 如图 4 所示，根据预测的目标方向角定义一个方向角裕度 θ ，该方向角裕度 θ 必须在 $0^\circ - 180^\circ$ 之间，并且不能过大或过小，否则就失去筛选 POI 兴趣点的作用，根据通航飞机的机动参数，一般将方向角裕度 θ 取为 60° ；

[0060] 2) 解析 XML 配置文件，获取航行资料汇编文件和地理信息，根据地理信息定义具有航行资料汇编文件属性的 POI 兴趣点；

[0061] 3) 根据自己飞行器的经纬度坐标 (x_0, y_0) ，POI 兴趣点的经纬度坐标 (x_1, y_1) ，以及预测的目标方向角 ϕ 计算 POI 兴趣点与预测的目标方向角之间的差角 α ，具体公式如下：

$$[0062] \alpha = \arctan^{-1}\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right) - \phi$$

[0063] 4) 判断差角 α 是否小于方向角裕度 θ ，如果差角在方向角裕度 θ 之内，则计算该 POI 兴趣点与飞行器之间的距离，然后按距离对这些 POI 兴趣点进行排序，距离最小的点就是匹配度最高的点。

[0064] 步骤 (5) 反向查找航行资料汇编文件的 S05 阶段：通过解析 XML 配置文件获得航行资料汇编文件与地理信息之间的映射关系，即能够根据匹配的 POI 兴趣点的地理信息反向查找到所对应的航行资料汇编文件，从而实现航行资料汇编文件的智能匹配。

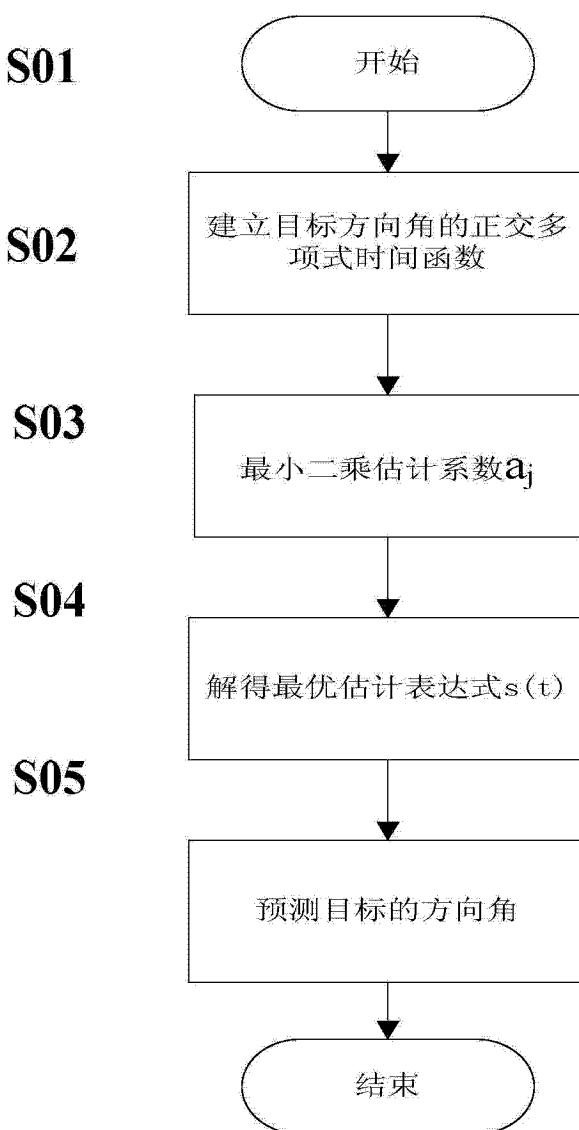
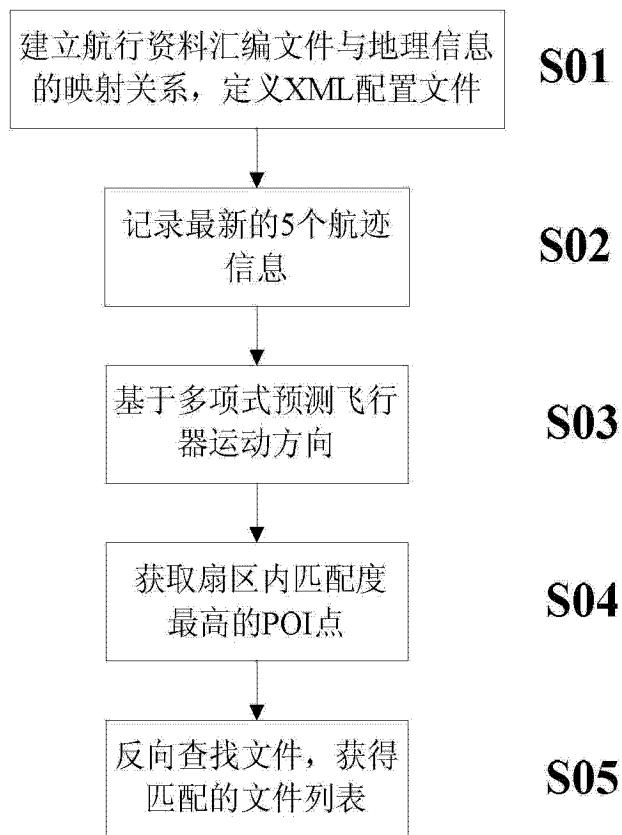


图 2

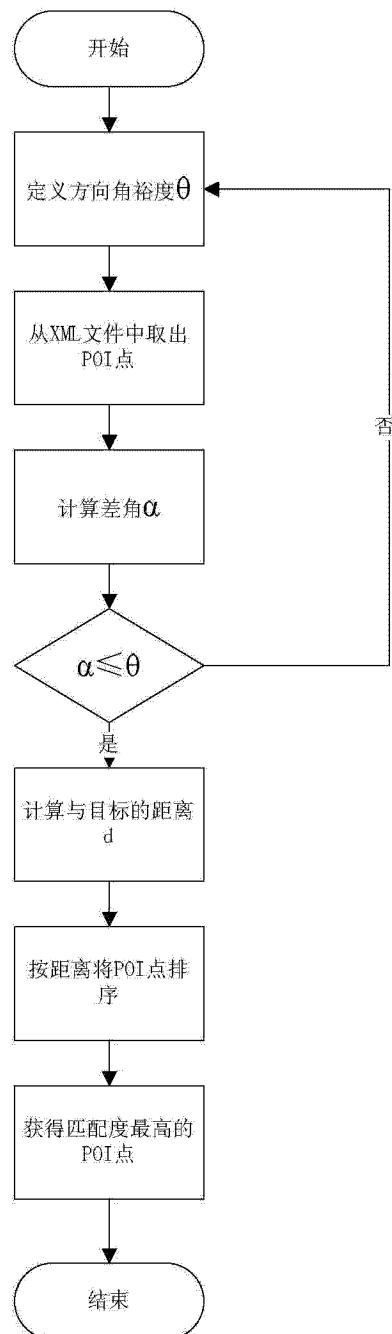


图 3

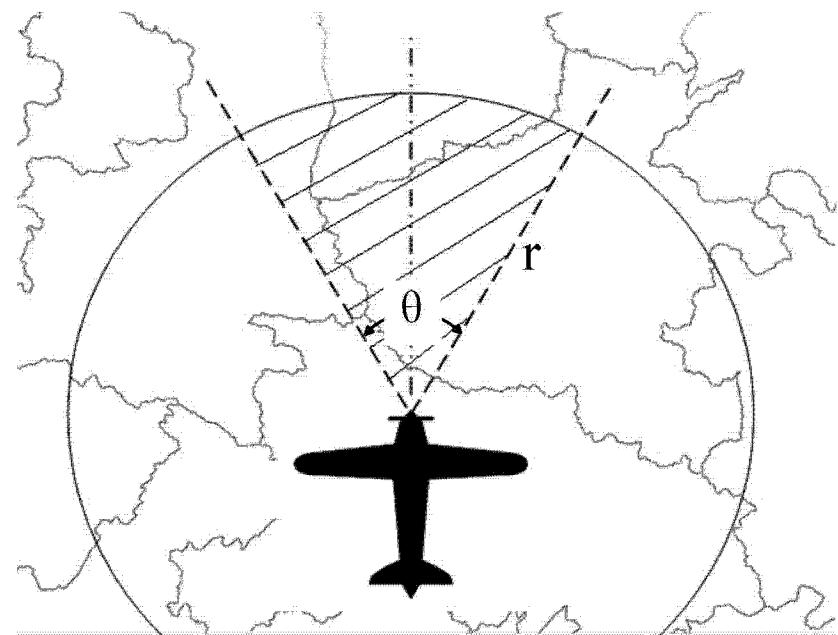


图 4