



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112034494 A

(43) 申请公布日 2020.12.04

(21) 申请号 202010959980.3

(22) 申请日 2020.09.14

(71) 申请人 航科院中宇(北京)新技术发展有限公司

地址 101204 北京市平谷区马坊工业园区  
通航大厦7-8层

(72) 发明人 王冠宇 柴功博 任佳 陈辉

(74) 专利代理机构 成都华辰智合知识产权代理有限公司 51302

代理人 秦华云

(51) Int.Cl.

G01S 19/23 (2010.01)

G01C 25/00 (2006.01)

G06F 16/29 (2019.01)

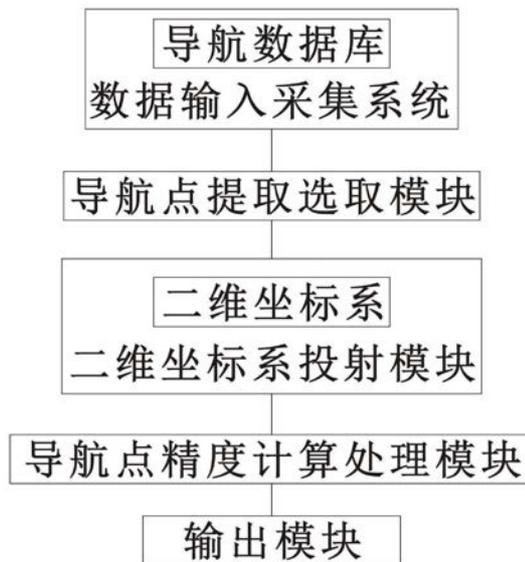
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统及方法,包括依次连接的数据输入采集系统、导航点提取选取模块、二维坐标系投射模块和导航点精度计算处理模块,数据输入采集系统用于采集飞机飞行导航数据并存储于导航数据库中,导航点提取选取模块提取或选取三个导航点数据,三个导航点数据包括两个已知精度导航点数据和一个未知精度导航点数据;二维坐标系投射模块将导航点提取选取模块所输入的三个导航点数据投射到二维坐标系中;导航点精度计算处理模块用于根据三个导航点数据以及二维坐标系计算出未知精度导航点数据的精度。本发明通过计算能够得到比较客观的导航点精度情况,有利于提升导航性能研究以及精确客观演算导航精度。



1. 一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统,其特征在于:包括依次连接的数据输入采集系统、导航点提取选取模块、二维坐标系投射模块和导航点精度计算处理模块,所述数据输入采集系统包括导航数据库,所述数据输入采集系统用于采集飞机飞行导航数据并存储于导航数据库中,所述导航点提取选取模块用于提取或选取三个导航点数据,三个导航点数据包括两个已知或/和已确定精度的导航点数据和一个未知精度导航点数据;所述二维坐标系投射模块包括二维坐标系,所述二维坐标系投射模块用于将导航点提取选取模块所输入的三个导航点数据投射到二维坐标系中;所述导航点精度计算处理模块用于根据三个导航点数据以及二维坐标系计算出未知精度导航点数据的精度。

2. 按照权利要求1所述的一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统,其特征在于:所述数据输入采集系统的导航数据库存储的全部飞机飞行导航数据为全部导航点数据集,全部导航点数据集包括已知精度导航点数据集和未知精度导航点数据集。

3. 按照权利要求1所述的一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统,其特征在于:还包括输出模块,所述输出模块用于输出未知精度导航点数据的精度。

4. 一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算方法,其特征在于:其方法包括如下:

A、数据输入采集系统采集飞机飞行导航数据并存储于导航数据库中,导航数据库存储的全部飞机飞行导航数据为全部导航点数据集,全部导航点数据集包括已知精度导航点数据集和未知精度导航点数据集,已知精度导航点数据集为已知精度导航点数据的集合,未知精度导航点数据集为未知精度导航点数据的集合;已知精度导航点数据集主要来源于北斗导航系统在该导航点所导航定位的导航点数据或/和地面导航台在该导航点所导航定位的导航点数据,已知精度导航点数据的精度受北斗导航系统或/和地面导航台在该导航点的导航精度确定并存储于已知精度导航点数据集中;

B、导航点提取选取模块提取或选取三个导航点数据,三个导航点数据包括两个已知精度导航点数据和一个未知精度导航点数据,其提取或选取方法如下:

B1、若选取一个未知精度导航点,则导航点提取选取模块提取出两个相邻的已知精度导航点,或者导航点提取选取模块提取出接近的若干个已知精度导航点供选取;

B2、若选取两个已知精度导航点,则通过导航点提取选取模块选取一个未知精度导航点;

C、二维坐标系投射模块将导航点提取选取模块传输过来的三个导航点数据投射到二维坐标系中,导航点精度计算处理模块在二维坐标系中根据三个导航点数据计算出未知精度导航点数据的精度。

5. 按照权利要求4所述的一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统,其特征在于:所述步骤C中未知精度导航点数据的精度计算方法如下:

C1、两个已知精度导航点投射到二维坐标系上分别为A导航点、 $A_1$ 导航点,一个未知精度导航点投射到二维坐标系为B导航点,二维坐标系包括X轴和Y轴,在二维坐标系中以A导航点为坐标原点,A导航点与 $A_1$ 导航点的两点连线A- $A_1$ 重合于X轴,其中A导航点的精度为 $r_1$ , $A_1$ 导航点的精度为 $r_2$ ,两点连线A- $A_1$ 的距离 $|AA_1| > (r_1+r_2)$ ,B导航点在二维坐标系中距离A导航点的距离为 $\delta$ ;以A导航点为圆心、 $r_1$ 为半径构建出一个圆A,以B导航点为圆心、 $r_2$ 为半径构建出一个圆B,在圆A上取一点P,设点P相对于坐标原点的角度为 $\alpha$ ,在圆B上取一点Q,设点Q相对于坐标原点的角度为 $\beta$ ,直线PQ的距离 $|PQ| > 0$ ,在直线PQ上取一点C,则直线BC的距离 $|BC|$

就为B导航点的精度；

C2、B导航点的精度通过如下方法计算得到：

$$F(\alpha, \beta) = r_1 \cos \alpha \left( \frac{r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha}{\sqrt{(r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha)^2 + (r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha)^2}} - 1 \right) \\ + r_1 \sin \alpha \frac{r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha}{\sqrt{(r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha)^2 + (r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha)^2}} \\ - \delta \left( \frac{r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha}{\sqrt{(r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha)^2 + (r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha)^2}} - 1 \right),$$

函数 $F(\alpha, \beta)$ 连续且可导,则在 $\frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} = 0$ 且 $\frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \beta} = 0$ 处有极值,即可求出 $F(\alpha, \beta)$ 的最大值和最小值,将取得最大值的 $F(\alpha, \beta)$ 再代入到如下公式 $|BC|$ 中即可得出B导航点的精度:

$$|BC| = \sqrt{(x - \delta)^2 + y^2} = \sqrt{r_1^2 + 2\delta F(\alpha, \beta)}.$$

6.按照权利要求5所述的一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统,其特征在于:还包括步骤D,

D、重复步骤步骤C即可计算出任一未知精度导航点或所有未知精度导航点的精度,然后通过输出模块输出精度数据。

7.按照权利要求4所述的一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统,其特征在于:所述步骤B的导航点提取选取模块具有导航点提取系统界面,通过导航点提取系统界面选取导航点数据,导航点提取选取模块自动提取导航点数据并在导航点提取系统界面上显示并供选取;

B1、若在导航点提取系统界面上选取一个未知精度导航点,则导航点提取选取模块自动提取关联的两个或两个以上的已知精度导航点在导航点提取系统界面上显示并供选取,通过导航点提取选取模块确定两个已知精度导航点;

B2、若在导航点提取系统界面上选取两个已知精度导航点,则导航点提取选取模块自动提取关联的未知精度导航点并在导航点提取系统界面上显示并供选取,通过导航点提取选取模块确定一个未知精度导航点。

## 一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及飞机导航技术领域,尤其涉及一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统及方法。

### 背景技术

[0002] 导航数据是引导飞机准确选择飞行路线、安全到达目的地的重要数据基础,是现代民航运行的重要支撑。飞机飞行所记录的航空导航数据以及官方公布的航空导航数据是不可避免地存在数据偏差的,因为北斗导航系统或GPRS导航系统或地面导航台在提供导航数据时不可避免地存在偏差,在某些地方偏差较低、精度较高,在某些地方偏差较高、精度较低,飞机飞行导航时,有些导航数据是直接来源于北斗导航系统或GPRS导航系统或地面导航台的导航定位数据(本申请称为已知精度导航点,由已知精度导航点数据的集合为已知精度导航点数据集,此类导航定位数据的精度一般是已知的或确定的,比如地面导航台在某个导航点或某个区域的导航精度一般是确定的),有些是根据行为学、数据拟合、数据计算或推算并得到的导航数据(本申请将此类导航数据称为未知精度导航点,由未知精度导航点数据的集合为未知精度导航点数据集,此类导航数据的精度一般是未知的),现有技术对于未知精度导航点的导航数据的精度是没有办法进行计算的,而往往在处理导航数据的时候常常会遇到数据精度计算问题,未知精度导航点的导航数据的精度是否会有损失,损失是多少,对飞行数据中的未知精度导航点的导航数据的精度没有比较客观测算或判断,无法得知在数据推算的过程中精度变化与哪些计算因素相关,也就无法找出计算过程中的关键问题。还有就是在飞机失事时,无法计算未知精度导航点的导航数据的精度,会大大增加搜索时间、搜索困难度,并错过最佳的救援时间,如何计算未知精度导航点的导航精度,对于导航性能提升、精确计算并提升导航精度有着至关重要的关系。

### 发明内容

[0003] 针对现有技术存在的不足之处,本发明的目的在于提供一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统及方法,通过已知精度的导航数据计算出未知精度导航数据的精度情况,便于得到整个导航数据中各个导航点的精度情况,并得到比较客观的导航点精度情况,有利于提升导航性能研究以及精确客观演算导航精度。

[0004] 本发明的目的通过下述技术方案实现:

[0005] 一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统,包括数据输入采集系统、导航点提取选取模块、二维坐标系投射模块和导航点精度计算处理模块,数据输入采集系统、导航点提取选取模块、二维坐标系投射模块、导航点精度计算处理模块依次连接,所述数据输入采集系统包括导航数据库,所述数据输入采集系统用于采集飞机飞行导航数据并存储于导航数据库中,所述导航点提取选取模块用于提取或选取三个导航点数据,三个导航点数据包括两个已知或/和已确定精度的导航点数据和一个未知精度导航点数据;所述二维坐标系投射模块包括二维坐标系,所述二维坐标系投射模块用于将导航点提取选取模块所输入

的三个导航点数据投射到二维坐标系中;所述导航点精度计算处理模块用于根据三个导航点数据以及二维坐标系计算出未知精度导航点数据的精度。

[0006] 为了更好地实现本发明系统,所述数据输入采集系统的导航数据库存储的全部飞机飞行导航数据为全部导航点数据集,全部导航点数据集包括已知精度导航点数据集和未知精度导航点数据集。

[0007] 作为优选,本发明系统还包括输出模块,所述输出模块用于输出未知精度导航点数据的精度。

[0008] 一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算方法,其方法包括如下:

[0009] A、数据输入采集系统采集飞机飞行导航数据并存储于导航数据库中,导航数据库存储的全部飞机飞行导航数据为全部导航点数据集,全部导航点数据集包括已知精度导航点数据集和未知精度导航点数据集,已知精度导航点数据集为已知精度导航点数据的集合,未知精度导航点数据集为未知精度导航点数据的集合;已知精度导航点数据集主要来源于北斗导航系统在该导航点所导航定位的导航点数据或/和地面导航台在该导航点所导航定位的导航点数据,已知精度导航点数据的精度受北斗导航系统或/和地面导航台在该导航点的导航精度确定并存储于已知精度导航点数据集中;

[0010] B、导航点提取选取模块提取或选取三个导航点数据,三个导航点数据包括两个已知精度导航点数据和一个未知精度导航点数据,其提取或选取方法如下:

[0011] B1、若选取一个未知精度导航点,则导航点提取选取模块提取出两个相邻的已知精度导航点,或者导航点提取选取模块提取出接近的若干个已知精度导航点供选取;

[0012] B2、若选取两个已知精度导航点,则通过导航点提取选取模块选取一个未知精度导航点;

[0013] C、二维坐标系投射模块将导航点提取选取模块传输过来的三个导航点数据投射到二维坐标系中,导航点精度计算处理模块在二维坐标系中根据三个导航点数据计算出未知精度导航点数据的精度。

[0014] 为了更好地实现本发明方法,所述步骤C中未知精度导航点数据的精度计算方法如下:

[0015] C1、两个已知精度导航点投射到二维坐标系上分别为A导航点、 $A_1$ 导航点,一个未知精度导航点投射到二维坐标系为B导航点,二维坐标系包括X轴和Y轴,在二维坐标系中以A导航点为坐标原点,A导航点与 $A_1$ 导航点的两点连线 $A-A_1$ 重合于X轴,其中A导航点的精度为 $r_1$ , $A_1$ 导航点的精度为 $r_2$ ,两点连线 $A-A_1$ 的距离 $|AA_1| > (r_1+r_2)$ ,B导航点在二维坐标系中距离A导航点的距离为 $\delta$ ;以A导航点为圆心、 $r_1$ 为半径构建出一个圆A,以B导航点为圆心、 $r_2$ 为半径构建出一个圆B,在圆A上取一点P,设点P相对于坐标原点的角度为 $\alpha$ ,在圆B上取一点Q,设点Q相对于坐标原点的角度为 $\beta$ ,直线PQ的距离 $|PQ| > 0$ ,在直线PQ上取一点C,则直线BC的距离 $|BC|$ 就为B导航点的精度;

[0016] C2、B导航点的精度通过如下方法计算得到:

$$\begin{aligned}
 F(\alpha, \beta) = & r_1 \cos \alpha \left( \frac{r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha}{\sqrt{(r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha)^2 + (r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha)^2}} - 1 \right) \\
 & + r_1 \sin \alpha \frac{r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha}{\sqrt{(r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha)^2 + (r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha)^2}} \\
 & - \delta \left( \frac{r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha}{\sqrt{(r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha)^2 + (r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha)^2}} - 1 \right),
 \end{aligned}$$

[0018] 函数 $F(\alpha, \beta)$ 连续且可导,则在 $\frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} = 0$ 且 $\frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \beta} = 0$ 处有极值,即可求出 $F(\alpha, \beta)$ 的最大值和最小值,将取得最大值的 $F(\alpha, \beta)$ 再代入到如下公式 $|BC|$ 中即可得出B导航点的精度:

$$[0019] \quad |BC| = \sqrt{(x - \delta)^2 + y^2} = \sqrt{r_1^2 + 2\delta F(\alpha, \beta)}.$$

[0020] 作为优选,本发明方法还包括步骤D,

[0021] D、重复步骤步骤C即可计算出任一未知精度导航点或所有未知精度导航点的精度,然后通过输出模块输出精度数据。

[0022] 作为优选,所述步骤B的导航点提取选取模块具有导航点提取系统界面,通过导航点提取系统界面选取导航点数据,导航点提取选取模块自动提取导航点数据并在导航点提取系统界面上显示并供选取;

[0023] B1、若在导航点提取系统界面上选取一个未知精度导航点,则导航点提取选取模块自动提取关联的两个或两个以上的已知精度导航点在导航点提取系统界面上显示并供选取,通过导航点提取选取模块确定两个已知精度导航点;

[0024] B2、若在导航点提取系统界面上选取两个已知精度导航点,则导航点提取选取模块自动提取关联的未知精度导航点并在导航点提取系统界面上显示并供选取,通过导航点提取选取模块确定一个未知精度导航点。

[0025] 本发明较现有技术相比,具有以下优点及有益效果:

[0026] (1) 本发明能够通过已知精度的导航数据计算出未知精度导航数据的精度情况,便于得到整个导航数据中各个导航点的精度情况,并得到比较客观的导航点精度情况,有利于提升导航性能研究以及精确客观演算导航精度。

[0027] (2) 本发明通过已知或确定的两个相邻已知精度导航点数据计算出位于两个相邻已知精度导航点数据之间的未知精度导航点的精度情况,并依次遍历两个相邻已知精度导航点数据之间的所有未知精度导航点,然后按照全部导航点数据集依次连续选取两个相邻已知精度导航点数据分别计算各个未知精度导航点的精度情况,由此可以得到全部导航点数据的精度情况及分布,便于后续导航数据分析。

## 附图说明

[0028] 图1为本发明的原理结构框图;

[0029] 图2为实施例中三个导航点数据在三维坐标系中的位置示意图；

[0030] 图3为实施例中三个导航点数据在二维坐标系中的位置示意图。

### 具体实施方式

[0031] 下面结合实施例对本发明作进一步地详细说明：

[0032] 实施例

[0033] 如图1、图3所示，一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算系统，包括数据输入采集系统、导航点提取选取模块、二维坐标系投射模块和导航点精度计算处理模块，数据输入采集系统、导航点提取选取模块、二维坐标系投射模块、导航点精度计算处理模块依次连接，所述数据输入采集系统包括导航数据库，所述数据输入采集系统用于采集飞机飞行导航数据并存储于导航数据库中，所述导航点提取选取模块用于提取或选取三个导航点数据，三个导航点数据包括两个已知或/和已确定精度的导航点数据和一个未知精度导航点数据（其中，两个已知精度导航点数据、一个未知精度导航点数据之间存在内在约束关系，两个已知精度导航点数据最好是基于相邻的两个导航点数据，一个未知精度导航点数据最好是位于相邻的两个导航点数据之间的导航点或者实际定位时，通过相邻的两个导航点数据能够定位出的未知精度导航点数据，如果所选取的两个已知精度导航点数据所对应的两个导航点相距太远，那么对于该未知精度导航点数据的精度计算就不太客观，容易增加精度计算误差）。所述二维坐标系投射模块包括二维坐标系，所述二维坐标系投射模块用于将导航点提取选取模块所输入的三个导航点数据投射到二维坐标系中。所述导航点精度计算处理模块用于根据三个导航点数据以及二维坐标系计算出未知精度导航点数据的精度。

[0034] 本发明系统中数据输入采集系统的导航数据库存储的全部飞机飞行导航数据为全部导航点数据集，全部导航点数据集包括已知精度导航点数据集和未知精度导航点数据集。

[0035] 本发明系统还包括输出模块，所述输出模块用于输出未知精度导航点数据的精度。

[0036] 一种飞机飞行导航数据中导航点精度计算方法，其方法包括如下：

[0037] A、数据输入采集系统采集飞机飞行导航数据并存储于导航数据库中，导航数据库存储的全部飞机飞行导航数据为全部导航点数据集，全部导航点数据集包括已知精度导航点数据集和未知精度导航点数据集，已知精度导航点数据集为已知精度导航点数据的集合，未知精度导航点数据集为未知精度导航点数据的集合；已知精度导航点数据集主要来源于北斗导航系统在该导航点所导航定位的导航点数据或/和地面导航台在该导航点所导航定位的导航点数据，已知精度导航点数据的精度受北斗导航系统或/和地面导航台在该导航点的导航精度确定并存储于已知精度导航点数据集中；

[0038] B、导航点提取选取模块提取或选取三个导航点数据，三个导航点数据包括两个已知精度导航点数据和一个未知精度导航点数据（本发明的两个已知精度导航点数据、一个未知精度导航点数据在选取或提取时受到条件约束，两个已知精度导航点数据最好是相邻的两个已知精度导航点数据，一个未知精度导航点数据最好是相邻的两个已知精度导航点之间未知精度导航点的导航点数据），其提取或选取方法如下：

[0039] B1、选取一个未知精度导航点（本发明可以在系统界面上或系统地图上的导航数

据上直接选取),导航点提取选取模块提取出两个相邻的已知精度导航点(本发明可以在系统界面上给出两个相邻的已知精度导航点,或者在系统地图上的导航数据上直接突出显示出两个相邻的已知精度导航点,两个相邻的已知精度导航点选取受到系统约束条件),或者导航点提取选取模块提取出接近的若干个已知精度导航点供选取(本发明可以在系统界面上给出若干个的已知精度导航点,或者在系统地图上的导航数据上直接突出显示出若干个的已知精度导航点,各个已知精度导航点选取受到系统约束条件);

[0040] B2、选取两个已知精度导航点和一个未知精度导航点(本发明可以在系统界面上或系统地图上的导航数据上直接选取两个已知精度导航点,然后在系统界面上或系统地图上显示出可供选取的未知精度导航点或所有未知精度导航点所拟合的线段,以供用户选取),在本发明系统中,可以在系统界面上选取两个相邻的已知精度导航点,然后计算位于两个相邻的已知精度导航点之间的一个或多个未知精度导航点的精度,当然可以直接计算出两个相邻的已知精度导航点之间所有未知精度导航点的精度;

[0041] C、二维坐标系投射模块将导航点提取选取模块传输过来的三个导航点数据投射到二维坐标系中,导航点精度计算处理模块在二维坐标系中根据三个导航点数据计算出未知精度导航点数据的精度。

[0042] 优选地,所述步骤B的导航点提取选取模块具有导航点提取系统界面,通过导航点提取系统界面选取导航点数据,导航点提取选取模块自动提取导航点数据并在导航点提取系统界面上显示并供选取;

[0043] B1、若在导航点提取系统界面上选取一个未知精度导航点,则导航点提取选取模块自动提取关联的两个或两个以上的已知精度导航点在导航点提取系统界面上显示并供选取,通过导航点提取选取模块确定两个已知精度导航点;

[0044] B2、若在导航点提取系统界面上选取两个已知精度导航点,则导航点提取选取模块自动提取关联的未知精度导航点并在导航点提取系统界面上显示并供选取,通过导航点提取选取模块确定一个未知精度导航点。

[0045] 所述步骤C中未知精度导航点数据的精度计算方法如下:

[0046] C1、两个已知精度导航点投射到二维坐标系上分别为A导航点、 $A_1$ 导航点,一个未知精度导航点投射到二维坐标系为B导航点,二维坐标系包括X轴和Y轴,在二维坐标系中以A导航点为坐标原点,A导航点与 $A_1$ 导航点的两点连线A- $A_1$ 重合于X轴,其中A导航点的精度为 $r_1$ , $A_1$ 导航点的精度为 $r_2$ ,两点连线A- $A_1$ 的距离 $|AA_1| > (r_1+r_2)$ ,B导航点在二维坐标系中距离A导航点的距离为 $\delta$ ;以A导航点为圆心、 $r_1$ 为半径构建出一个圆A,以B导航点为圆心、 $r_2$ 为半径构建出一个圆B,在圆A上取一点P,设点P相对于坐标原点的角度为 $\alpha$ ,在圆B上取一点Q,设点Q相对于坐标原点的角度为 $\beta$ ,直线PQ的距离 $|PQ| > 0$ ,在直线PQ上取一点C,则直线BC的距离 $|BC|$ 就为B导航点的精度;

[0047] C2、B导航点的精度通过如下方法计算得到:

$$\begin{aligned}
 F(\alpha, \beta) = & r_1 \cos \alpha \left( \frac{r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha}{\sqrt{(r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha)^2 + (r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha)^2}} - 1 \right) \\
 & + r_1 \sin \alpha \frac{r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha}{\sqrt{(r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha)^2 + (r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha)^2}} \\
 & - \delta \left( \frac{r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha}{\sqrt{(r_2 \cos \beta + d - r_1 \cos \alpha)^2 + (r_2 \sin \beta - r_1 \sin \alpha)^2}} - 1 \right),
 \end{aligned}$$

[0049] 函数 $F(\alpha, \beta)$ 连续且可导,则在 $\frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} = 0$ 且 $\frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \beta} = 0$ 处有极值,即可求出 $F(\alpha, \beta)$ 的最大值和最小值,将取得最大值的 $F(\alpha, \beta)$ 再代入到如下公式 $|BC|$ 中即可得出B导航点的精度:

$$[0050] \quad |BC| = \sqrt{(x - \delta)^2 + y^2} = \sqrt{r_1^2 + 2\delta F(\alpha, \beta)}.$$

[0051] D、重复步骤步骤C即可计算出任一未知精度导航点或所有未知精度导航点的精度,然后通过输出模块输出精度数据。

[0052] 本发明中 $F(\alpha, \beta)$ 的公式推导如下:

[0053] 图2为两个已知精度导航点A与 $A_1$ 及一个未知精度导航点B在三维坐标系中的位置示意图,点P落在以点A为球心 $r_1$ 为半径的球中,点Q落在以点 $A_1$ 为球心 $r_2$ 为半径的球中,点B在点A与点 $A_1$ 的直线上且与点A的距离为 $\delta$ ,点C在点P和点Q的直线上且与点A的距离为 $\delta$ 。 $|AA_1| > (r_1 + r_2)$ ,求点C到点B离的最大值,即为点C的坐标精度。为了计算方便将图2中的点A、点 $A_1$ 、点Q、点B、点C分别投影到图3所示的二维坐标系(该二维坐标系为二维坐标系投射模块的二维坐标系)中,随即得到步骤C1中的各个点及角度。那么A导航点的坐标为(0,0),点B的坐标为( $\delta$ ,0), $A_1$ 导航点的坐标为( $d$ ,0),其中 $d$ 为距离 $|AA_1|$ ,可由已知条件求出;点P( $x_1, y_1$ )在以 $A_1$ 导航点为圆心、 $r_1$ 为半径的圆上,点Q( $x_2, y_2$ )在以 $A_1$ 为圆心、 $r_2$ 为半径的圆内,点C( $x, y$ )在直线PQ上。直观上,距离 $|BC|$ 取最大值时,点P、点Q分别都在圆周上。于是,可得下面的方程式:

$$[0054] \quad x_1^2 + y_1^2 = r_1^2 \quad (1)$$

$$[0055] \quad (x_2 - d)^2 + y_2^2 = r_2^2 \quad (2)$$

$$[0056] \quad (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = \delta^2 \quad (3)$$

[0057] 利用上面方程中的约束条件,求出 $|BC| = \sqrt{(x - \delta)^2 + y^2}$ 的最大值。如图3所示,设直线PQ与x轴所成的角为 $\theta$ ,则

$$[0058] \quad \sin \theta = \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad (4)$$

$$[0059] \quad \cos \theta = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad (5)$$

[0060] 由于点C在直线PQ上,所以:

[0061]  $x = \delta \cdot \cos\theta + x_1$  (6)

[0062]  $y = \delta \cdot \sin\theta + y_1$  (7)

$$|BC| = \sqrt{(x - \delta)^2 + y^2} = \sqrt{(\delta \cdot \cos\theta + x_1 - \delta)^2 + (\delta \cdot \sin\theta + y_1)^2}$$

[0063]

$$= \sqrt{r_1^2 + 2\delta[x_1(\cos\theta - 1) + y_1\sin\theta - \delta(\cos\theta - 1)]} \quad (8)$$

[0064] 设  $f(x_1, y_1) = x_1(\cos\theta - 1) + y_1\sin\theta - \delta(\cos\theta - 1)$ , 当  $f(x_1, y_1)$  取得最大值时,  $|BC|$  有最大值。设  $x_1 = r_1\cos\alpha, y_1 = r_1\sin\alpha, x_2 = r_2\cos\beta + d, y_2 = r_2\sin\beta$ , 再将 (4) 和 (5) 代入  $f(x_1, y_1)$  后可得

$$f(x_1, y_1) = r_1\cos\alpha \left( \frac{r_2\cos\beta + d - r_1\cos\alpha}{\sqrt{(r_2\cos\beta + d - r_1\cos\alpha)^2 + (r_2\sin\beta - r_1\sin\alpha)^2}} - 1 \right)$$

[0065]

$$+ r_1\sin\alpha \frac{r_2\sin\beta - r_1\sin\alpha}{\sqrt{(r_2\cos\beta + d - r_1\cos\alpha)^2 + (r_2\sin\beta - r_1\sin\alpha)^2}} - \delta \left( \frac{r_2\cos\beta + d - r_1\cos\alpha}{\sqrt{\sqrt{(r_2\cos\beta + d - r_1\cos\alpha)^2 + (r_2\sin\beta - r_1\sin\alpha)^2}}} - 1 \right)$$

[0066] 令  $F(\alpha, \beta) = f(x_1, y_1)$ , 即可得到如下公式:

$$F(\alpha, \beta) = r_1\cos\alpha \left( \frac{r_2\cos\beta + d - r_1\cos\alpha}{\sqrt{(r_2\cos\beta + d - r_1\cos\alpha)^2 + (r_2\sin\beta - r_1\sin\alpha)^2}} - 1 \right)$$

[0067]

$$+ r_1\sin\alpha \frac{r_2\sin\beta - r_1\sin\alpha}{\sqrt{(r_2\cos\beta + d - r_1\cos\alpha)^2 + (r_2\sin\beta - r_1\sin\alpha)^2}} - \delta \left( \frac{r_2\cos\beta + d - r_1\cos\alpha}{\sqrt{\sqrt{(r_2\cos\beta + d - r_1\cos\alpha)^2 + (r_2\sin\beta - r_1\sin\alpha)^2}}} - 1 \right)$$

[0068] 令  $F(\alpha, \beta) = f(x_1, y_1)$ , 由于  $|AA_1| > (r_1 + r_2)$ ,  $|PQ| > 0$ , 故函数  $F(\alpha, \beta)$  连续且可导, 在  $\frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} = 0$  且  $\frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \beta} = 0$  处有极值。解出  $\alpha$  和  $\beta$  即可求出  $F(\alpha, \beta)$  的最大值和最小值。将取得极大值的  $F(\alpha, \beta)$  再代入到式  $|BC|$  中即可得出 B 导航点的精度:

[0069]  $|BC| = \sqrt{(x - \delta)^2 + y^2} = \sqrt{r_1^2 + 2\delta F(\alpha, \beta)}$

[0070] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已, 并不用以限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

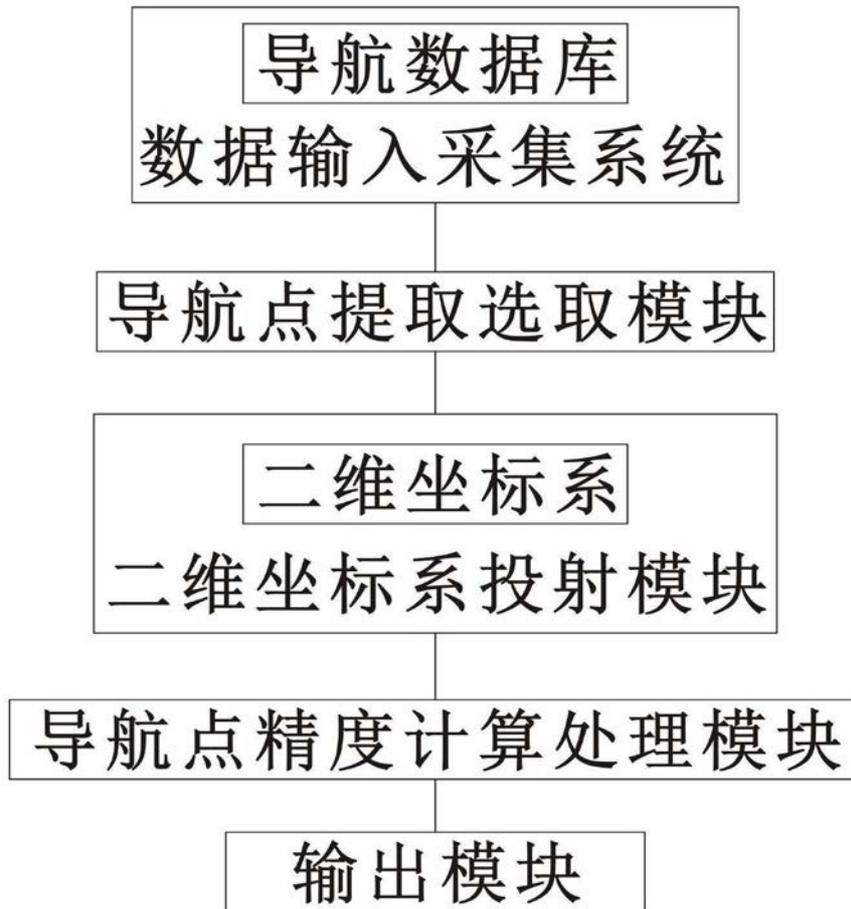


图1

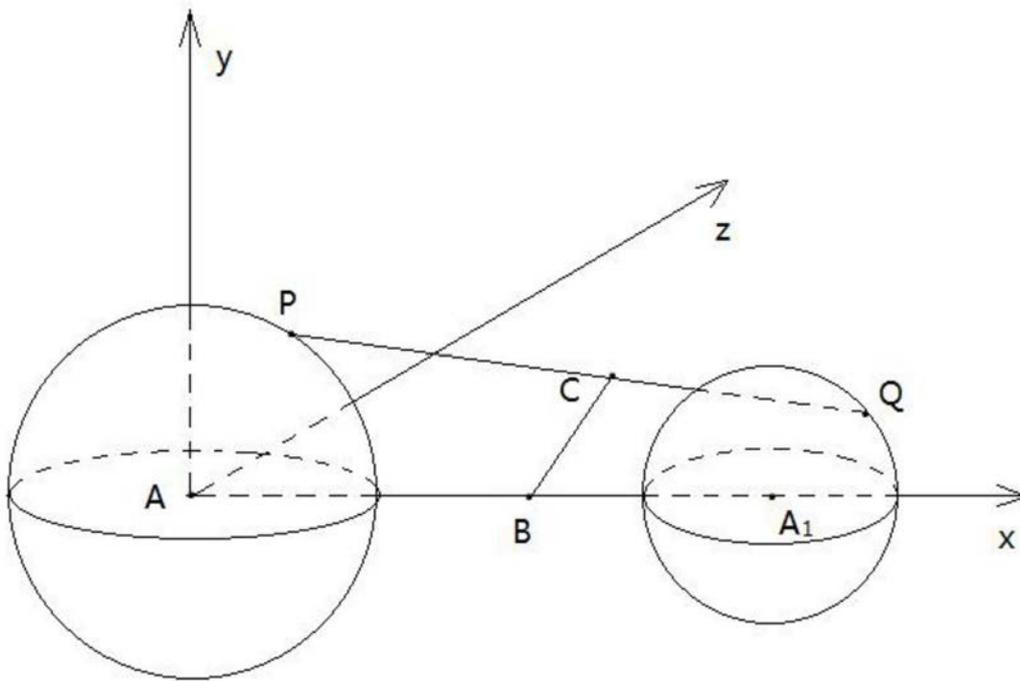


图2

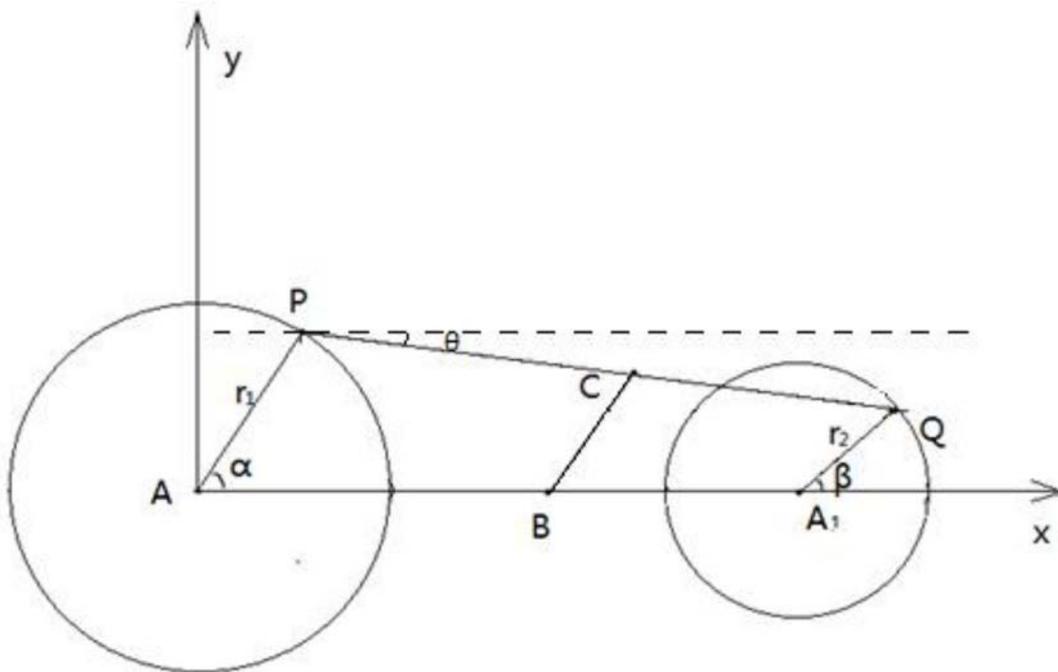


图3