

基于B/S架构的航线规划仿真系统的设计与实现

李艳军, 曹璐, 杨鹤笛

北京京航计算通讯研究所, 北京

收稿日期: 2021年11月8日; 录用日期: 2021年12月6日; 发布日期: 2021年12月13日

摘要

在航线规划设计过程中, 设计者和飞行员需要通过航线数据的计算和显示, 查看和分析航线设计结果, 以及机动改变航线点后的结果。本文通过研究二维坐标系下不同转弯方式的航线点数据的计算方法, 完成基本的领航计算, 确定每一个航段的各项飞行诸元, 最终设计实现了一种基于B/S航线规划仿真系统, 能够实时计算、显示和管理航线及航线点数据, 指导航线规划设计工作。

关键词

航线, 规划, 仿真

Design and Implementation of Flight Route Planning Simulation System Based on B/S Architecture

Yanjun Li, Lu Cao, Hedi Yang

Beijing Jinghang Research Institute of Computing and Communications, Beijing

Received: Nov. 8th, 2021; accepted: Dec. 6th, 2021; published: Dec. 13th, 2021

Abstract

In the course of route planning and design, designers and pilots need to view and analyze the results of route design through calculation and display of route data, as well as the results after maneuvering the route points. By studying the calculation method of the route point data of different turning modes in the two-dimensional coordinate system, this paper completes the basic naviga-

tion calculation, determines the various flight elements of each segment, and finally designs and implements a B/S-based route planning simulation system. It can calculate, display and manage route and route point data in real time, and guide route planning and design work.

Keywords

Air Route, Plan, Simulation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在飞机领航系统的航线规划设计过程中, 需要对航线设计进行仿真分析, 计算和显示航线数据及具体航线图形, 便于设计者和飞行员查看和分析航线设计结果。航线仿真主要是对整个飞行过程中, 整体航线的各个航线点的航行诸元、转弯数据等进行计算, 并绘制各个航路点之间的连接线。传统的航线规划通常只为操作人员提供单一的航路生成方式, 且其制定的飞行航路忽略了飞行器的转弯过程, 也很少有对单点进行配置生成航线的方法。本文基于 B/S 架构, 提供多种编辑航线手段, 允许操作人员实时修改航线点数据从而修改航线视图, 并对航线及航线点数据进行管理[1]。

2. 系统功能设计

航线仿真系统基于 B/S 架构开展设计与实现, 在数字地图中实现飞机飞行航线数据及转弯点数据计算、航线绘制和修改、航线管理等功能, 能够以图形化方式或表格编辑方式完成任务航线的建立与维护[2]。

1) 航线及转弯点数据计算

航线距离及时间: 计算从上一个转弯点到当前转弯点的飞行距离和飞行时间;

航线总距离及时间: 计算从起始点到终点总的飞行距离和飞行时间;

转弯点坐标: 在数字地图中某一点的经纬度数据, 需要通过在数字地图中拾取坐标点或者用户输入;

转弯点航向: 飞机纵轴前方的延长线为航向线, 飞机所在位置的经线北端顺时针至航向线的夹角;

转弯点空速: 飞机在该转弯点相对于空气的速度;

转弯坡度: 飞机转弯时, 机身向转弯中心倾斜, 也就是向内侧倾斜的角度;

转弯半径: 在空速和坡度限制下, 计算飞机转弯时距离转弯中心的距离;

转弯方式: 如果用户需要显示转弯弧, 则可以设置为压点、向点、绕点转弯, 若用户不需要显示转弯弧, 则可以设置为直线, 此时将不计算转弯点数据。

2) 航线绘制及修改

通过计算航线点的转弯角度、转弯圆弧的起始点和终止点, 实现在不同转弯方式下, 自动计算转弯方向, 绘制航线点形成的圆弧和直线, 从而形成航线。对已制定的航线进行修改, 能够在数字地图上拖拽航线点, 修改其经纬度, 在航线列表中修改航线转弯点经纬度、坡度、空速、飞行方向数据并重新进行航线的计算和绘制。

3) 航线管理

利用数据库对航线数据进行存储, 添加, 删除, 修改和查询。数据库主要包括机场数据表单、航线

数据表单、航段数据表单、转弯点数据表单。机场数据库表单为机场名称、经度、纬度等，航线数据表单包括航线名称、航线飞行时间、航线飞行距离，航段数据表单包括航段名称、航段飞行时间、航段飞行距离、航向；转弯点数据表单包括转弯点名称、经度、纬度、地标名称、转弯方式(绕点、压点、向点)、转弯方向、高度、速度、坡度等[3]。

3. 转弯方式概述

常见的转弯方式包括压点转弯、绕点转弯和向点转弯。

1) 压点转弯

飞机到达预定转弯点上空时，立即开始按预定转弯坡度转弯，当转到预定改出航向时，改平转弯坡度对正该航向飞行。在采用这种转弯方式时，航路点自身是转弯弧的起始点，如图1所示。

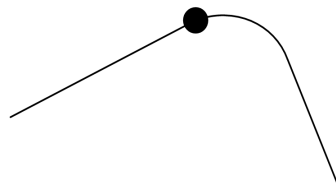


Figure 1. Press point turn
图 1. 压点转弯

2) 绕点转弯

在飞机起飞前进行地图作业时，根据飞机的飞行速度，计算出预定转弯坡度对应的转弯半径，以预定转弯点为圆心，以该半径画一弧线，使对向该转弯点的航线外切与该弧线的一个点上。飞行中，当预定转弯点位于飞机正侧方，飞机开始转弯；当对正预定航向时改出转弯，对向下一段航线飞行。在采用这种转弯方式时，航路点自身为圆心，如图2所示。

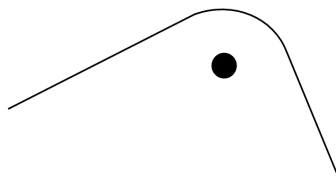


Figure 2. Turn around
图 2. 绕点转弯

3) 向点转弯

飞机在经过此航路点时，先进行转弯，再在航路点上完成转弯，一般在飞完前一段航程之后，需要转弯对正下一段航线使用向点转弯。在这种转弯方式中，航路点自身是转弯弧的结束点，如图3所示。

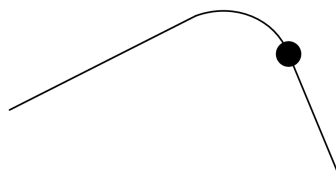


Figure 3. Turn to the point
图 3. 向点转弯

4. 航线数据计算方法及实现

绘制航线需要对直飞过程进行直线绘制,对转弯飞行过程绘制转弯弧段,并与直飞过程相连,绘制出连续的航线,因此需要重点计算转弯弧段数据[4]。

1) 转弯诸元计算

转弯半径计算: 见式 1, V 为飞机飞行速度(米/秒), γ 为转弯坡度(度), g 为重力加速度(9.81 米/秒²)

$$R = \frac{V^2}{g \cdot \tan \gamma} \quad (1)$$

转弯时间计算: 其中转 360 度时间见式 2, R 为飞机转弯半径(米), ZW 为飞机转弯角度(度)

$$T_{360^\circ} = \frac{2\pi R}{V} \quad (2)$$

转任意角度时间见式 3

$$T_{ZW} = T_{360^\circ} \cdot \frac{ZW}{360} \quad (3)$$

2) 转弯弧段计算及实现

转弯弧段数据包括默认转弯方向, 转弯点圆心, 圆上转弯弧段的起始点和结束点, 转弯角度[5]。

- 默认转弯方向:

设 P_i 点为上一个航段的结束点, 从该点开始, 途径 P_{i+1} 点进行转弯, 到 P_{i+2} 点, 分别计算 $P_i P_{i+1}$ 和 $P_{i+1} P_{i+2}$ 的航向, 相减得到夹角 α , 则当 $\alpha > 180^\circ$ 时, P_{i+1} 点的转弯方向为左转, 如图所示, 当 $\alpha < 180^\circ$ 时, P_{i+1} 点的转弯方向为右转, 如图 4 所示。

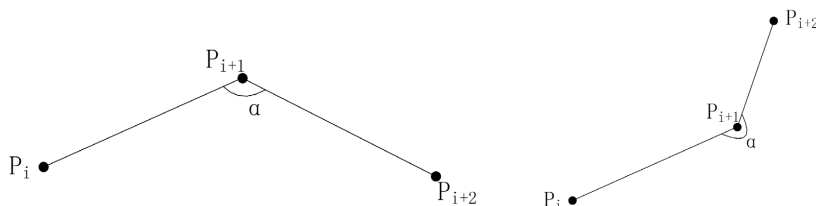


Figure 4. Turning direction calculation

图 4. 转弯方向计算

```
//计算默认转弯方向
int _nPtCount = hx_vecpHxpt.size();
double dPreviousFW = TwoPtFW(hx_vecpHxpt[_nPtCount - 3].m_ptdEnd, hx_vecpHxpt[_nPtCount - 2].m_ptZB);
double dCurrentFW = TwoPtFW(hx_vecpHxpt[_nPtCount - 2].m_ptZB, hx_vecpHxpt[_nPtCount - 1].m_ptZB);
double _dDifferent = dCurrentFW - dPreviousFW;
if (_dDifferent < _D_ZhiXianAngle || _dDifferent > 360 - _D_ZhiXianAngle)
    hx_vecpHxpt[_nPtCount - 2].m_ZwType = EZwType_ZhiXian;
else if (hx_vecpHxpt[_nPtCount - 2].m_ZwType == EZwType_ZhiXian)
    hx_vecpHxpt[_nPtCount - 2].m_ZwType = EZwType_YaPoint;
hx_vecpHxpt[_nPtCount - 2].m_bZWFY_Left = _dDifferent < 180 ? false : true;
```

- 转弯点圆心:

当 P_{i+1} 的转弯方式为压点转弯时, 设圆心点为 C , 如图 5 所示, 已知 $P_i P_{i+1}$ 航向, 通过 $\pm 90^\circ$ (右转为+, 左转为-), 得到 $P_{i+1}C$ 的方向, 根据上述求得的转弯半径 R , 可得到 C 点坐标;

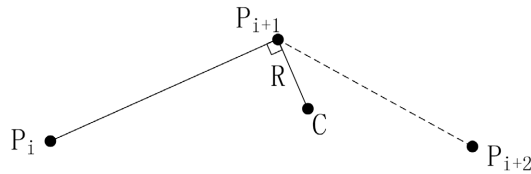


Figure 5. Calculation of the turning center of the pressure point
图 5. 压点转弯圆心计算

当 P_{i+1} 的转弯方式为绕点转弯时, 该转弯点坐标即转弯点圆心坐标;

当 P_{i+1} 的转弯方式为向点转弯时, 如图 6 所示, 如果 P_{i+2} 是压点转弯或是结束点, 则可计算 $P_{i+1}P_{i+2}$ 航向, 通过 $\pm 90^\circ$ (右转为+, 左转为-), 得到 $P_{i+1}C$ 的方向, 通过转弯半径 R , 可得到 C 点坐标; 如果 P_{i+2} 是绕点转弯或是向点转弯, 则先计算下一个点的转弯弧起始点, 直到不是向点转弯, 再通过反向递推方式, 由下一个点的转弯弧起始点计算 P_{i+1} 的转弯点圆心 C 。

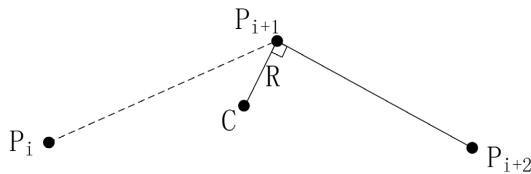


Figure 6. Calculation of the center of the turning point
图 6. 向点转弯圆心计算

```
//根据起始点, 求第二开始点和圆心
assert(hx_vecpHxpt.size() > 2);
HxPtStruct * _pHxptStart = &hx_vecpHxpt[0];
HxPtStruct * _pHxptNext = &hx_vecpHxpt[1];
if (_pHxptNext->m_ZwType == EZwType_ZhiXian)
    return true;
else if (_pHxptNext->m_ZwType == EZwType_YaPoint)
{
    //第二点 压点, 求出第二点圆心
    double _dMN_FX;//第一点结束点与第二点开始点方向
    double _dNBoFX;//第二点开始点与第二点圆心的方向
    _dMN_FX = TwoPtFW(_pHxptStart->m_ptZB, _pHxptNext->m_ptdStart);
    if (_pHxptNext->m_bZWFX_Left)
        _dNBoFX = _dMN_FX - 90;
    else
        _dNBoFX = _dMN_FX + 90;
    //计算第二点中心点
    _pHxptNext->m_ptdCenter=OtherPt(_pHxptNext->m_ptdStart, _dNBoFX, _pHxptNext->m_dZWBJ);
    return true;
}
```

- 转弯弧起始点:

当 P_{i+1} 的转弯方式为压点转弯时, 该转弯弧起始点为该点坐标;

当 P_{i+1} 的转弯方式为绕点转弯时, 如图 7 所示, 设转弯弧起始点为 $P_{i+1}S$, 要求 C 点到 $P_{i+1}S$ 的方向角 $\angle\beta$ 。已知 P_i 和 C 点坐标, 可得两点距离 $|P_iC|$, $\angle\alpha$ 为 $P_iP_{i+1}S$ 和 P_iC 的夹角, $\angle\gamma$ 为 P_iC 的方向角, 则

$$\angle\alpha = \arcsin(R/|P_iC|)$$

$$\angle\beta = \angle\gamma - 90^\circ - \angle\alpha \quad (\text{右转时})$$

$$\angle\beta = \angle\gamma + 90^\circ + \angle\alpha \quad (\text{左转时})$$

可得 $\angle\beta$, 已知 $P_{i+1}SC$ 为转弯半径, 则可求得 $P_{i+1}S$ 坐标, 转弯角度即 $\angle\beta$ 。

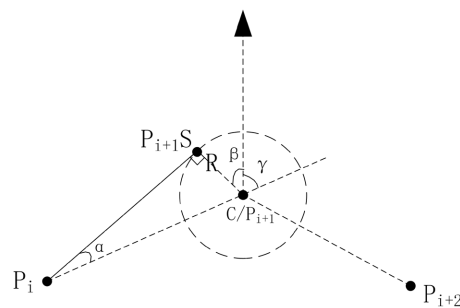


Figure 7. Calculation of the starting point of the arc around the point

图 7. 绕点转弯弧起始点计算

当 P_{i+1} 的转弯方式为向点转弯时, 通过上述转弯点圆心的计算, 得到转弯点圆心坐标后, 则可参照绕点转弯时的计算方式, 得到该转弯弧起始点坐标。

- 转弯弧结束点

当 P_{i+1} 的转弯方式为压点转弯时, 如图 8 所示, 设转弯弧结束点为 $P_{i+1}E$, 要求 C 点到 $P_{i+1}E$ 的方向角 $\angle\beta$ 。已知 C 和 P_{i+2} 点坐标, 可得两点距离 $|CP_{i+2}|$, $\angle\alpha$ 为 $P_{i+2}P_{i+1}E$ 和 CP_{i+2} 的夹角, $\angle\gamma$ 为 CP_{i+2} 的方向角, 则

$$\angle\alpha = \arcsin(R/|CP_{i+2}|)$$

$$\angle\beta = \angle\gamma - 90^\circ + \angle\alpha \quad (\text{右转时})$$

$$\angle\beta = \angle\gamma + 90^\circ - \angle\alpha \quad (\text{左转时})$$

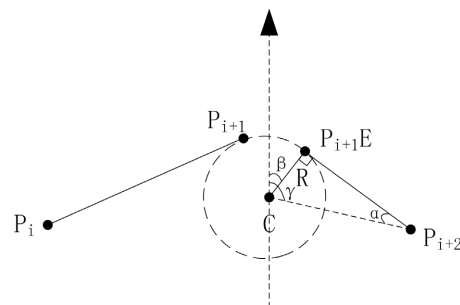


Figure 8. Calculation of the starting point of the turning arc

图 8. 向点转弯弧起始点计算

可得 $\angle\beta$ ，已知 $CP_{i+1}E$ 为转弯半径，则可求得 $P_{i+1}E$ 坐标，转弯角度即 $\angle\beta$ 。

当 P_{i+1} 的转弯方式为绕点转弯时，通过上述转弯点圆心的计算，得到转弯点圆心坐标后，则可参照压点转弯时的计算方式，得到该转弯弧结束点坐标。

当 P_{i+1} 的转弯方式为向点转弯时，该转弯弧结束点为该点坐标。

5. 仿真系统实现

通过设计和实现上述计算算法，创建航线数据库，搭建 B/S 架构的仿真系统。在应用过程中，首先添加起升点和降落点。一般情况下，起升点和降落点均为机场数据，因此在具有机场数据库的情况下系统将自动从机场数据库中读取最近的机场经纬度数据。

采用 GIS 地图获取地图图层，操作者可以在图层上点选转弯点位置，获取转弯点的经纬度。也可以在列表中可以点击实际数据进行编辑，调整转弯点的经纬度、高度、速度、升降率、坡度和转弯方向、转弯方式等，如图 9 所示。

当转弯点个数大于 1 时，仿真系统自动计算该点的转弯方向、转弯半径和前一个转弯点的转弯弧段，并将直线和弧段通过 GIS 图层的方式绘图显示，如图 10 所示。通过经纬度和速度数据，可以计算出两个转弯点之间的飞行时间、飞行距离和方向数据，并在地图中航线段上显示。



名称	经度	纬度	高度	速度	升降率	方向	方式	坡度	显示	时间
	114.38	46.979	6000	500	0	左转	压点	45	显示	
	115.00	46.980	6000	500	0	左转	压点	45	显示	
	114.88	46.811	6000	500	0	左转	压点	45	显示	
	115.08	46.680	6000	500	0	左转	压点	45	显示	
	115.30	46.738	6000	500	0	左转	压点	45	显示	
	115.36	46.480	6000	500	0	左转	压点	45	显示	

Figure 9. List of route drawing
图 9. 航线绘制列表

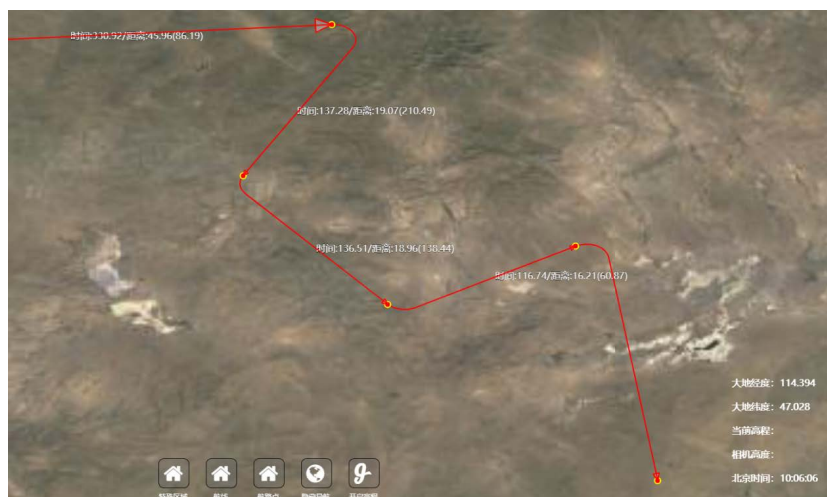


Figure 10. Route drawing display
图 10. 航线绘制显示

6. 总结

本文给出了一种基于 BS 架构的航线规划仿真系统的设计与实现方法, 能够为操作人员在设计航线过程中提供多种编辑转弯点的手段, 既可以采用地图取点的方式, 也可以采用手动录点的方式, 便于操作人员使用。系统根据操作人员所设定的航路点及转弯方式和参数, 实时计算航线点的转弯诸元数据、转弯弧段绘制数据等, 并分段绘制航段, 形成整体航线, 从而达到指导航线规划设计工作的效果。

参考文献

- [1] 刘子沂, 王行行, 张钧溥. 基于最优航线规划的想定制作设计与实现[J]. 信息化研究, 2019, 45(6): 6.
- [2] 郑义然. 天气雷达和航线融合显示系统研究[J]. 现代信息科技, 2020, 4(5): 4.
- [3] 鲁力, 刘晨宇. 基于插值算法的进离场航线地形仿真研究[J]. 中国科技信息, 2021(6): 3.
- [4] 李相如, 曹晨, 罗琪楠. 预警机巡逻航线规划问题建模与仿真分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2021, 16(2): 4.
- [5] 李明, 曹立文. 一种多转弯方式组合的航线转弯弧画法[J]. 航空电子技术, 2016, 47(2): 4.