

大飞机装配厂房布局及运动仿真软件开发

Layout for Large Aircraft Assembly Workshop and Development of Motion Simulation Software

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 王亚平 胡伟楠



王亚平

现任北京航空航天大学机械工程及自动化学工业与制造系统工程系高级工程师。长期从事计算机辅助设计/计算机辅助制造(CAD/CAM)研究工作。

在飞机研制过程中,飞机装配是最重要的环节之一,占整个飞机制造周期的1/2。应用数字化技术开展飞机装配过程模拟可预先发现并解决很多实际制造过程中可能出现的问题,从而减少产品的制造时间,并且大幅度节省成本^[1]。

法国达索系统公司的DELMIA提供目前市场上最完整的3D数字化设计、制造和数字化生产线解决方

本研究研发的大飞机安装厂房布局及运动仿真软件已实现基本功能,可完成模型的精简,单元定义,包括最大包围盒和最大轮廓的计算,已定义单元的清单显示,单元定义完成后可存储在.Def结尾的文件中;可完成仿真的整体布局,并对各单元进行位置精确编辑、路径添加和运动时间的设定等编辑操作;可完成仿真的显示,包括视角的实时调整,仿真的基本控制,仿真单元的清单显示。

案,在航空业中的典型用户包括波音、空客、成飞、郑飞、西飞、上飞、中国航空研究院等。

我国多年来对飞机装配技术缺乏研究,基本上还是沿袭着过去几十年来批生产的手工作坊模式。

受中国商飞公司及北京航空精密机械研究所委托,在自主研发的普通微机CAD软件平台上开发一套大飞机安装厂房布局及运动仿真软件。要求实现在装配厂房内进行飞机部件、各种装配工装、设备、工作台、座椅以及大型安装平台的布局,安装平台在厂房内的运动路径设计、运动仿真及干涉检查。同时实现安装平台自身旋转楼梯的转动,平台各层滑动

组件的移动、旋转以及工作人员走上安装平台各层的运动仿真。

软件的功能需求分析

整个仿真过程需要模拟整个飞机装配厂房内部的环境包括飞机部件、装配工装、设备以及工作人员的运动过程,安装平台的运动路径设计及运动干涉检查,即时报告干涉情况。通过整个系统的需求分析,所开发的运动仿真系统应基本实现如下功能(图1)。

(1)整体布局。飞机装配厂房工装及设备众多,为方便操作,首先应是整体上布局的过程,之后可进行精确的位置调整。

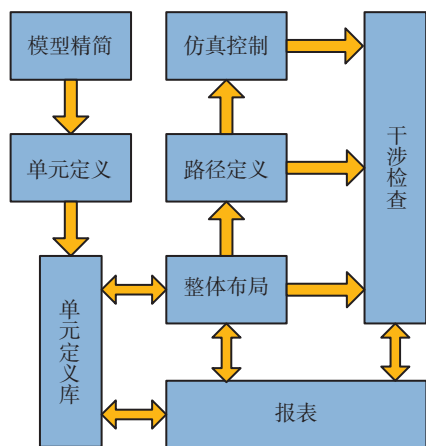


图1 系统模块流程

(2) 模型精简。仿真环境包括装配厂房、飞机、各种类型装配工装、工作人员以及大型安装平台,要想在普通微机配置环境中实现布局及运动仿真,必须对上述模型进行轻量化设计。轻量化的具体方法不再展开讨论。

(3) 路径设计。运动仿真中的运动模型需要有运动路径,路径设计模块在整体布局完成后用于路径的直观设计。

(4) 运动仿真与干涉检查。将运动模型根据设计好的运动路径进行运动仿真,显示模型的真实运动过程,并与周围的静态模型进行碰撞检查。

安装平台简介

安装平台尺寸长 12m,宽 7m,高 8m,为铝合金材料制造。该型号平台共分 4 层,上 3 层均可供工作人员站立进行操作,平台中带旋转楼梯一个,可进行旋转操作。上 3 层前部由多个滑板组成,各滑板可前后运动,第一层滑板还可以自由旋转 90°。平台由电机控制可沿各个方向自由运动(图 2)。

实现系统开发的关键技术

1 装配单元定义

系统可对每个精简完成后的工装进行定义。意义在于,在定义过程

中完成该工装的最大包围盒的计算及该工装的外形轮廓的计算。包围盒用于干涉检查的初级判断,外轮廓在 Z 方向拉起包围盒的高度用于干涉检查的精确判断。外轮廓的计算方法采用了虫随法的基本思想。

在图像处理的研究领域里,这样定义了边界跟踪:由图像中目标区域一个边缘点出发,搜索并连接边缘点进而逐步检测所有边界的方法。边界跟踪是一种基于梯度的图像分割方法。从梯度图的一个边界点出发,通过对先前一个边界点的考虑而确定下一个新的边界点。本文参照

了虫随法的基本思想,采用处理规则是:在一个基于二值图像的目标中(图 3),一只理想的小虫从白色背景向黑色背景像素区域前进,该黑色区域表示为一个闭合的轮廓。当小虫进入了黑色像素中时,小虫向左转弯并继续向下一个像素运动。如果下一个像是白色,则小虫右转。这一过程持续下去直到小虫到达运动开始点才停止(图 4 和 5)。

2 单元间独立运动控制和单元内部的相对运动控制

运动仿真所涉及的单元众多,如何使单元之间能够同时控制而又具

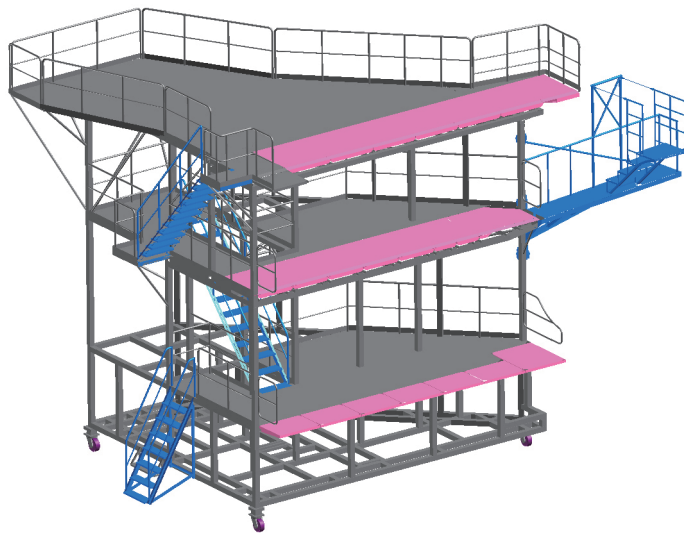


图2 安装平台精简后的模型

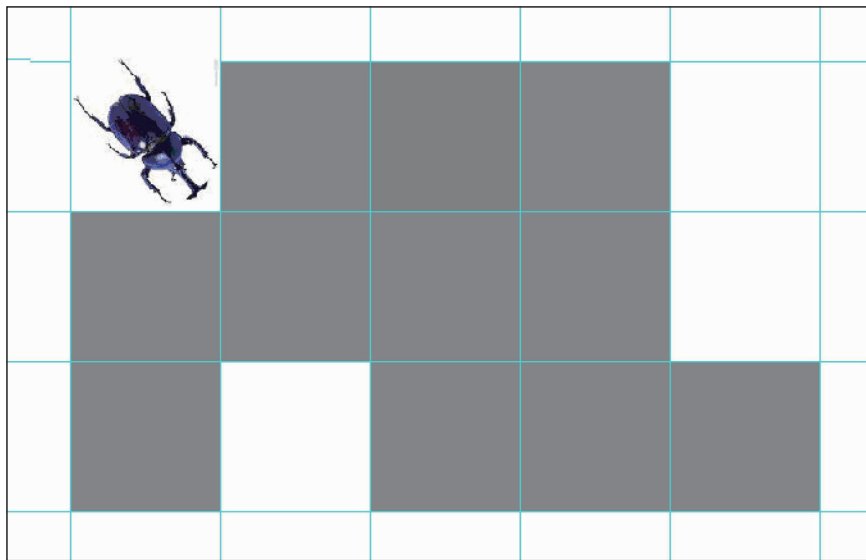


图3 虫随法

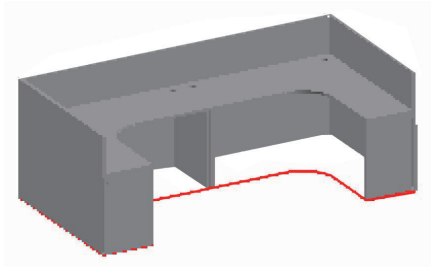


图4 工作台的外形轮廓线搜索

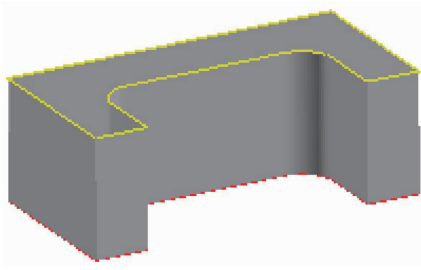


图5 拉起外轮廓线形成干涉检查面

有相互独立的运动,单元内部的子单元具有相对运动是一个关键问题。单元仿真运动的控制实际上是控制运动单元在指定的时刻显示在指定的位置上,对于显示在指定的位置用 OpenGL 能够很好的解决。控制原理见图 6。其中, M_i 表示第 i 个单元, T_{ij}^A 表示到达第 i 个单元路径的第 j 个节点的绝对时间, T_{ij}^L 表示离开第 i 个单元路径的第 j 个节点的绝对时间, t_i 表示绝对时间轴上的时间。

单元 M_1 : 到达第 1 个节点的时间为 T_{11}^A , 离开第 1 个节点的时间为 T_{11}^L , 且 $T_{11}^A = T_{11}^L$; 到达第 2 个节点的时间为 T_{12}^A , 离开第 2 个节点的时间为 T_{12}^L ; 到达第 3 个节点的时间为 T_{13}^A , 离开第 3 个节点的时间为 T_{13}^L ;

元应的位置坐标,以下是各单元在 $t_0 \sim t_4$ 时间点上的状态:

t_0 : 单元 M_1 、 M_2 、 M_3 均处于初始静止状态;

t_1 : 单元 M_1 、 M_2 由第 1 个节点运动至第 2 个节点, M_3 仍处于初始静止状态;

t_2 : 单元 M_1 、 M_2 在第 2 个节点静止不动, M_3 仍处于初始静止状态,所有单元均处于静止状态;

t_3 : 单元 M_1 、 M_2 由第 2 个节点运动至第 3 个节点, M_3 由第 1 个节点运动至第 2 个节点,所有单元均处于运动状态;

t_4 : 单元 M_1 、 M_2 、 M_3 运动完成,

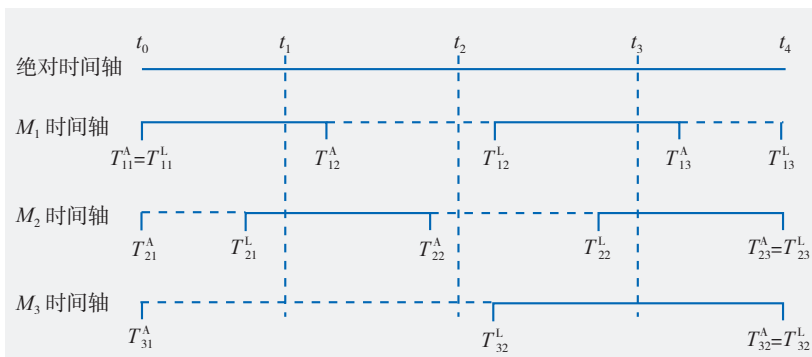


图6 单元运动控制原理图

为 T_{12}^L ; 到达第 3 个节点的时间为 T_{13}^A , 离开第 3 个节点的时间为 T_{13}^L ;

单元 M_2 、单元 M_3 同理都有各自时间轴上每个节点的时间。

以绝对时间轴上的时间为循环,逐个判断当前时间是否在各单元运动时间段内,然后根据时间计算各单

均处于终止静止状态;

控制方法如下:

(1) 建立一个假定的绝对时间轴,给定开始时间和终止时间,例如:开始时间为 0,终止时间为 100;

(2) 对于静止单元直接将其开始时间和终止时间设置为 0 和 100;

(3) 对于运动单元根据需求设置其运动的开始时间和终止时间,例如:开始时间为 30,终止时间为 60。

这样最终显示效果为:静止单元始终显示在给定的初始位置上,而运动单元在绝对时间 0~30 显示在路径的起始端点上,在 30~60 时间段内在路径上运动,在 60~100 时间段内显示在路径的终点上。因此,只需通过设定不同的运动单元在绝对时间轴上的开始与终止时间就能实现它们在时间上的独立控制。

实现方法如下:

采用多线程编程,主线程用于所有单元的显示,这样做可以实时调整观看视角,副线程用于计算各单元在不同时刻应在的显示位置。

首先为每个运动单元计算单位绝对时间内移动的路径点数 $ModSpeed_i$ (点/T),同时求出最大值为 $MaxSpeed$,然后计算每个点所需的相对时间,算法为: $ModSpeed_i (T' / 点) = MaxSpeed / ModSpeed_i$,这样,速度最快的为 $1T' / 点$,速度慢的每个点花费的时间大于 $1T'$,原理图见图 7。

然后给每个运动单元设定一个参数:当前所在路径点序号 $Dotnow$,以相对单位时间为循环,根据速度 $ModSpeed_i$ 和 $Dotnow$ 计算出当前运

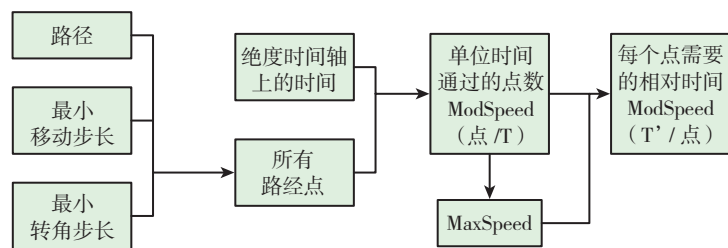


图7 运动单元的速度ModSpeed的计算

动单元在当前路径点时应该处于的相对时间轴的位置 T_{break} , 如果相对时间循环到了 T_{break} , 则将单元显示到该位置, $Dotnow$ 加 1, 等待相对时间下次循环到新的 T_{break} , 否则单元显示位置不变, 程序流程见图 8。

仿真显示设计过程

1 装配单元加载

每一个装配单元精简完成后, 用装配单元定义功能将其加载到系统中, 系统自动完成装配单元定义功能。将该装配单元的最大包围盒信息、外轮廓信息保存, 用以后续的干涉检查之用。将所有待用的装配单元全部定义完成后即可进入布局阶段。

2 快速布局

进入布局模块后, 首先调入装配厂房。在已经定义完成的工装中选择需要的装配单元名称, 该装配单元的最大包围盒即动态显示在屏幕上, 利用鼠标拖动该包围盒, 将其放在需要的地方, 该包围盒即被定位显示在该位置上。由于每个装配单元可能很复杂占用空间较大所以此时只显示包围盒而不加载几何模型, 目的是快速进行布局设计。将所有需要用到的装配单元全部布局完成后点击布局完成, 系统提示是否加载几何模型, 回答是即加载全部的几何模型。

3 精确定位

快速布局完成后即可进入精确定位模块。进入该模块后系统显示所有布局的装配单元内容, 点击某一个装配单元即进入该装配单元的精确定位模式, 可对该装配单元进行平移、旋转等操作将其精确定位在合理的位置上。

4 运动轨迹设计

精确定位完成后即可进入运动轨迹设计环节, 可用鼠标在地面上连续点击, 连接这些点就形成了单元运动轨迹。将这些运动轨迹保存起来

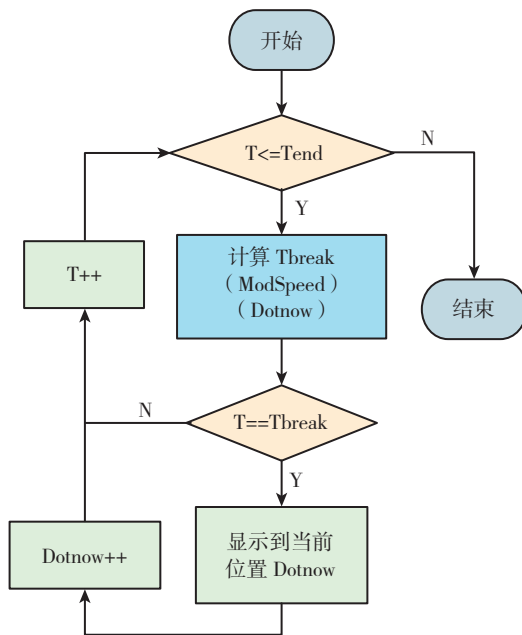


图8 运动单元位置计算及显示流程

显示, 仿真显示启动后, 按照设置, 静止单元不动, 动态单元按照配置的路径和时间段动态显示, 同时动态单元可与静止单元进行干涉检查, 如果出现干涉则弹出对话框提示操作者有干涉。

结论

本研究研发的大飞机安装厂房布局及运动仿真软件已实现基本功能(图 9), 可完成模型的精简, 单元定义, 包括最大包围盒和最大轮廓的计算, 已定义单元的清单显示, 单元定义完成后可存储在 .Def 结尾的文件中; 可

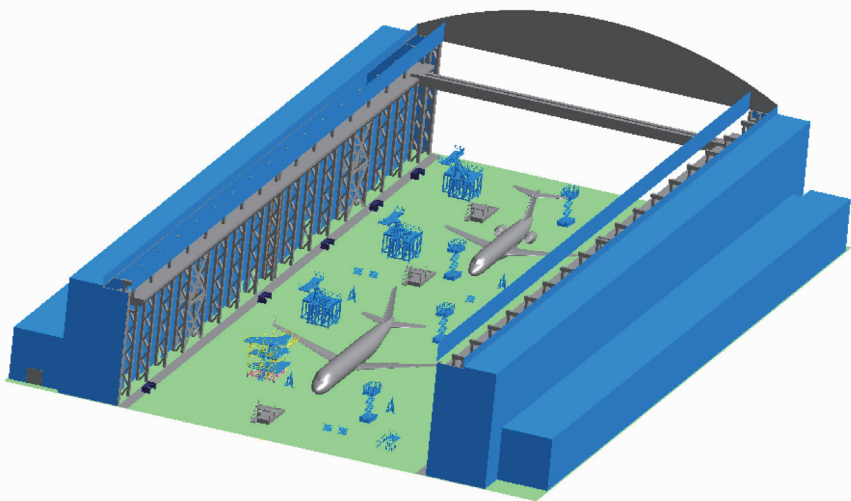


图9 大飞机装配厂房布局及仿真环境设计实例

待用。

5 运动单元参数配置

系统将所有装配单元分成两类, 一类为静止单元, 该类单元在仿真过程中是静止不动的。另一类是运动单元, 动态单元需要赋予运动路径和时间段, 一旦路径和时间段赋予完成后, 在仿真启动时该单元即按照该运动轨迹和时间段进行显示。

6 仿真显示

所有配置完成后即可启动仿真

完成仿真的整体布局, 并对各单元进行位置精确编辑、路径添加和运动时间的设定等编辑操作; 可完成仿真的显示, 包括视角的实时调整, 仿真的基本控制, 仿真单元的清单显示。

参考文献

[1] 谭慧猛, 朱文华, 王琛, 等. DELMIA 在支线飞机概念总装仿真中的应用. 机械设计与制造. 2010(1):86-88.

(责编 良辰)