

# 装配工艺微规划在 DELMIA 下的实现技术\*

## Implementation of Assembly Process Micro-Planning in DELMIA

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室

董亮 李原 赵磊 李均英

**[摘要]** 为了实现飞机、船舶等大型复杂产品的计算机辅助装配工艺规划和工艺仿真的集成,提出了装配工艺微规划的概念,介绍了装配工艺微规划的组成层次以及基于装配工艺微规划实现装配工艺规划和仿真集成的方法。结合仿真平台 DELMIA,采用 CAA 对 DELMIA 进行二次开发,实现了装配工艺微规划技术在该环境下的实现,最终输出可直接指导装配现场的电子装配操作指令、装配操作视频等多媒体装配工艺文件。

**关键词:** 装配工艺微规划 装配工艺仿真  
DELMIA 二次开发

**[ABSTRACT]** In order to integrate the processes of computer aided assembly process planning and simulation in the large and complex product manufacturing such as an aircraft or a ship, etc, the concept of assembly process micro-planning (APMP) is proposed. By using APMP for information sharing and transferring between the area of process planning and process simulation, so the both is integrated. Besides, by using CAA to develop new function based on DELMIA, this technology is implemented. And the electro-assembly order and assembly process video can be output to guide the workers to implement a product assembly in a work shop.

**Keywords:** Assembly process micro-planning Assembly process simulation Secondary development of DELMIA

在航空、航天、船舶等领域的大型复杂产品制造过程中,计算机辅助装配工艺规划<sup>[1-3]</sup> (Computer Aided Assembly Process Planning, CAAPP)和装配工艺仿真<sup>[2-3]</sup> (Computer Aided Assembly Process Simulation, CAAPS)是产品数字化制造过程中的关键环节。实际应用中,由于依赖不同的技术平台来完成装配工艺规划和仿真,装配工艺规划和工艺仿真过程相对分离,二者之间缺少集成;规划结果无法直接用于仿真,而仿真提供的可视化、细节化展示设计无法对规划结果进行细节化的反馈;装配规划的结果细节展示度不够,而仿真结果缺少细节化

的文字描述,使得这 2 个方面对装配现场的指导程度都不够。DASSAULT 公司的 DELMIA<sup>[4]</sup> 是实现产品装配过程可视化仿真的一种强有力的工具,它通过与 CATIA 设计的产品设计数据实现无缝集成,实现基于产品三维模型的装配工艺仿真、管路仿真以及人机分析等,仿真装配工艺操作的过程。通过这种装配工艺仿真与优化技术,波音、空客取得了显著的效益,如空客典型部件装配周期缩短了 60%,装配工艺设计周期缩短了 30%~50%,装配成本减少了 20%~30%。

本课题针对装配工艺规划和仿真集成的要求,提出装配工艺微规划 (Assembly Process Micro-Planning, APMP) 的概念,在 DELMIA 平台上对产品装配工艺微规划技术的实现进行应用研究,最终输出装配现场所需要的反映装配工艺规划和仿真结果的电子操作指令、操作过程视频等多媒体工艺指导文件。

## 1 装配工艺微规划

### 1.1 装配工艺微规划的定义

对于飞机、船舶等大型复杂产品而言,其产品装配工艺方案的规划主要由企业工艺科(处)和车间工艺室分级完成。工艺科(处)主要从工艺总方案的角度分析并决策部件级的装配工艺组件划分、装配顺序规划等;而车间工艺室主要从具体装配操作的角度细分前者规划的结果,分析并决策零组件级的装配顺序规划、装配路径规划等,完成由装配工序/工步组成的装配大纲的编写,进行关键装配环节的工艺仿真。结合企业的这种工艺规划模式,将其细分为装配工艺宏规划和装配工艺微规划,分别对应工艺科(处)和工艺室 2 个级别的工艺规划。

装配工艺微规划是依据装配宏规划的结果,以产品对象为中心,引入产品工装、相关设备和工具、人员等装配过程的参与因素,规划各个工序的具体实现过程,并对装配操作细节进行设计,精确到单一对象的运动规划,最终通过装配工艺过程仿真验证,输出可用于指导装配现场的电子操作指令、操作视频等多媒体装配工艺文件。

### 1.2 装配工艺微规划的层次结构

装配工艺微规划的结构层次为<sup>[5-6]</sup>: 装配工作 (Assembly Job, AJ)、装配任务 (Assembly Task, AT)、装

\* 国家“863”项目(2006AA04Z137)、陕西省科技计划项目(2007K05-02)资助。

配操作(Assembly Operation, AO)和装配动作(Assembly Action, AA),见图1。

装配工作(AJ)指把装配内容按照工艺要求划分为多项工作,每项对应1个人单独完成或多个人协作完成,并对应装配工序层次。AJ之间也有一定的逻辑先后和父子关系,但只反映之间的时间先后关系。

装配任务(AT)是反映装配顺序的装配工作的拆解,即将零组件逐个组装成部件或产品,该过程以产品零组件为中心,每一个零组件的安装就对应一个装配任务,某一零组件安装过程中所需要的工装、工具、设备、人员等的运动均被认为是为了完成该装配任务而执行的操作,因此这些操作归属于该任务。同一AJ下的不同AT之间有串/并行关系。

装配操作(AO)是指完成某个零组件的安装任务中所需要的操作活动,是执行装配任务的中间步骤。装配操作按照操作对象类型(产品对象或者使用资源)或者操作对象位置不同而进行细分。因此操作对象可以是同一个类型的对象的运动集合,如零组件连接、装配工具的使用、装配工具的归位等,或者是同对象不同部位的相关对象的运动集合,如卡板上部固定器件运动、卡板下部固定器件运动等。装配操作的对象可以是单个,也可以是多个。同一个AT下的不同AO之间有串/并行关系。

装配动作(AA)是装配操作执行中具体对象的移动或转动过程,是装配过程最底层的元素,AA对象指具有

相同运动轨迹的一个(组)对象。AA对象的运动规划可以对应到装配工艺仿真环境下的最底层的基本操作对象的运动规划。同一个AO下的不同AA之间有串/并行关系。

### 1.3 基于装配工艺微规划的CAAPP与CAAPS的集成

该集成过程和装配工艺微规划的4层结构相关联:一方面,在装配工艺微规划过程中实现对产品的装配过程从装配工作到装配操作分层细化,创建CAAPP环节所需的装配任务(装配工序)、装配操作清单(装配工步)等;另一方面,依据规划结果创建CAAPS环节所需的装配仿真文件,进行装配动作的编辑、验证和展示等,完成装配工艺微规划最底层的细节规划,最终依据规划结果输出可以指导装配现场的电子装配操作指令和装配操作视频等工艺文件。

## 2 装配工艺微规划在DELMIA下的实现

### 2.1 装配工艺微规划的业务执行流程

装配工艺微规划主要依靠装配车间工艺室人员来完成,其业务流程见图2。导入并解析工艺科的规划结果(装配工艺宏规划结果及其他工艺指导、原则性文件),引入装配工装、夹具、设备等模型,建立面向车间装配工艺规划的装配工艺微规划模型。结合车间实际生产情况生成装配工位的结构形式以及主要分工,绘制出面向车间装配的二级装配系统图。在此基础上,对装配

工位进行细分得到装配任务集合(对应车间装配工序),通过对典型的装配操作进行总结与归类形成面向装配任务的典型装配操作集,进而对装配任务进行细化,生成装配操作集合。结合装配工艺仿真环境对装配规划结果进行工艺仿真和精细规划,把每一个操作最终细分为单一对象的具体动作,最终根据工厂的实际工作情况和文件的组织形式要求,依据典型装配模版库进行装配指令模版的设计,进而将装配工艺微规划结果转化成符合车间实际情况、对装配现场指导性强的多媒

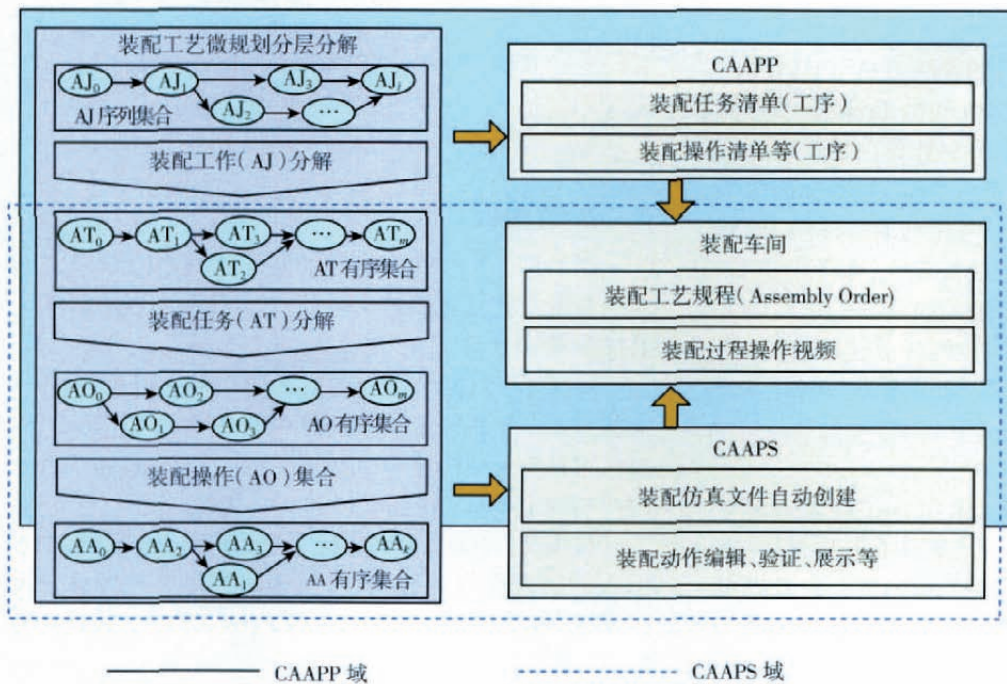


图1 装配工艺微规划的结构层次及其对CAAPP和CAAPS的集成  
Fig.1 Four levels in APMP and the method to integrate the CAAPP and CAAPS

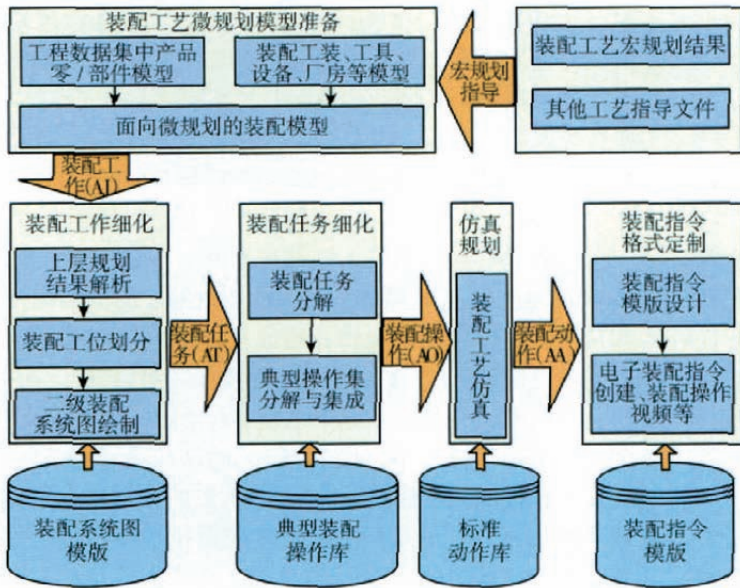


图2 装配工艺微规划执行流程  
Fig.2 Implementation flow of APMP

体装配指令。

该部分在装配系统图模版库、典型装配操作库、标准动作库和装配指令模版库的支持下是一个串行的过程。装配工艺微规划主要是在典型装配操作规程、典型装配方法和装配工艺标准规范等驱动下，从装配操作执行的角度将装配工作细分为装配任务、操作、动作等装配指令。

### 2.2 DELMIA 下装配工艺微规划各层的定义

由于选择 DELMIA 作为装配工艺微规划技术的实现平台，把装配工艺微规划包含的各层分别与 DELMIA 的 CATProcess 仿真文件下的 PPR 树的 Process 节点对应，其对应关系示例见图 3。安装中外翼上壁板是一个装配工作(AJ)，该工作包含上壁板上架、上壁板连接等装配任务。其中，上壁板上架任务中包含：打开 3#、5# 卡板，移动上壁板到装配型架等装配操作；针对打开 3# 卡板的操作包含定位器 1 的运动、定位器 2 的运动以及卡板组件的运动等。装配工作、装配任务、装配操作分别对应 Process 下的 Activity 节点，而装配操作则对应最底层的 move 动作、视点变换等。

### 2.3 DELMIA 下的功能开发技术

为了实现装配工艺微规划技术在 DELMIA 环境下的应用，一方面对 DELMIA 进行功能补充开发，另一方面确定符合企业操作习惯的装配仿真流程等，对其已有功能进行重组，最终输出操作视频、电子操作指示单等多媒体装配工艺文件，以有效指导装配作业现场，提高工艺人员的工艺规划和仿真效率。

(1) DELMIA 功能的二次开发。

采用达索提供的 CAA 对 DELMIA 进行二次开发，包括 Process Library 的自动创建、PPR 树上 Process 节点的批量创建、Process Documentation 输出的控制脚本编写等。通过这些新开发的功能，实现装配工艺微规划的分层细化，并依据规划结果自动创建 DELMIA 仿真文件 CATProcess 文件和 Activity Library 文件。进一步进行装配动作的详细设计，形成装配工艺的过程仿真。根据企业需求以及企业使用工艺文件的具体格式要求设计装配仿真文件解析功能，输出电子装配操作指令、装配操作过程视频等多媒体装配工艺指导文件。

(2) 定制化的 DELMIA 功能重组。

为了实现装配工艺的快速规划和仿真，结合企业习惯和特点对 DELMIA 的功能进行重组，配合二次开发的新功能的使用，形成装配工艺微规划工作空间，减少功能模块之间的切换，实现装配工艺微规划和仿真的快速执行。

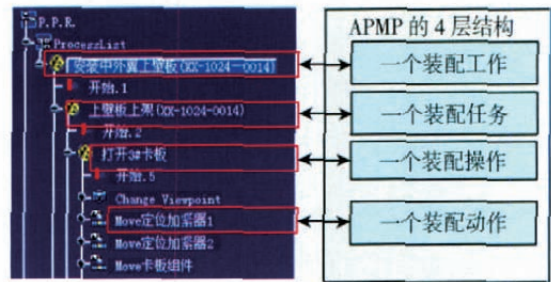


图3 DELMIA仿真文件节点与装配工艺微规划 (APMP) 四层结构的对应  
Fig.3 Nodes in DELMIA correspond with four levels of APMP

## 3 实例验证

以某型飞机中央翼部件为对象进行 DELMIA 环境下的装配工艺微规划技术验证，其具体的实现流程图 4，具体步骤如下。

步骤 1：根据装配工艺宏规划结果的指导，引入中央翼模型、中央翼工装模型和其他资源模型(如人体、操作工具等)，即构建 DELMIA 下的 CATProcess 文件中 PPR 树的 Product 节点和 Resource 节点。

步骤 2：根据 PDM 系统输出的产品 PBOM 清单和引入的装配微规划模型，分层编写产品装配操作流程(装配任务清单、装配操作清单)(图 4 (a))，同时产生 Product/Process 对应关系表和 Resource/Process 对应关系表。

步骤 3：依据装配操作流程文件批量创建 Process

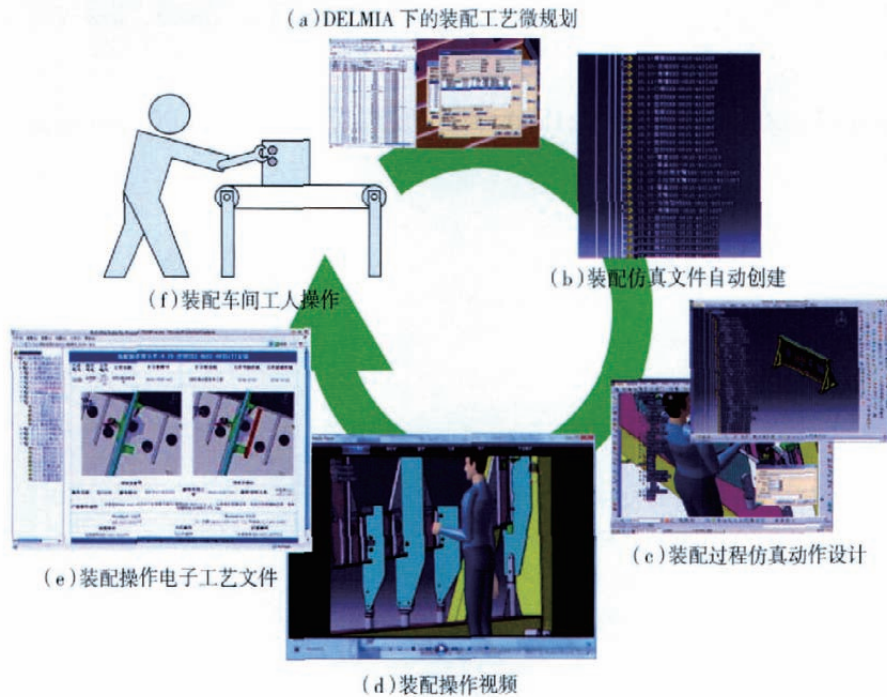


图4 装配工艺微规划在DELMIA下的实现过程

Fig.4 Implementation process of APMP in DELMIA

Library的Activity节点,实现Library文件的自动创建。

步骤4: 根据创建的Library文件以及相关的Process/Product, Process/Resource对应关系表自动创建PPR的Process节点(图4(b)),到此完成进行装配仿真所需的基本文件创建。

步骤5: 在定制的仿真工作空间中,进行装配动作的编辑(图4(c)),包括路径的设定、显示效果的展示、动作之间时间逻辑关系的调整以及人机动作验证等。

步骤6: 输出装配工艺指示文件,包括干涉报告、操作过程视频(图4(d)),可视化装配操作工艺指令(图4(e))等多媒体装配工艺指导文件。

步骤7: 将输出装配工艺指导文件下发到装配车间,指导装配工人进行装配操作(图4(f))。

通过该部分功能,实现由装配工艺规划文件到装配仿真文件的自动创建,大大提高了工艺人员的工作效率,降低了工艺人员的工作强度,同时集合规划和仿真输出的多媒体装配工艺文件提高了对装配现场的指导作用,提高了企业的数字化装配水平。

#### 4 结束语

本课题结合大型复杂产品装配工艺规划和装配工艺仿真集成的需求,提出了装配工艺微规划概念,介绍了基于装配工艺微规划的CAAPP和CAAPS的集成方法。结合装配工艺仿真软件DELMIA的使用,介绍了该环境下装配工艺微规划的实现技术,采用CAA对

DELMIA进行二次开发,将装配规划结果直接转变为装配仿真文件,进而通过装配仿真实现具体对象运动的细化和编辑,输出可直接指导装配车间工人操作的电子装配操作指令和装配过程视频等多媒体装配工艺文件,实现了工艺规划和工艺仿真之间的信息传递和共享,进而实现了CAAPP和CAAPS的结合和统一。达到缩短工艺规划和仿真时间,提高工艺规划和仿真对装配现场的指导作用的目的。虽然装配工艺微规划目前只能支持DELMIA下的工艺规划和仿真的集成,但为实现多种平台上的工艺规划和仿真的集成奠定了基础,同时也是下一步研究的方向。

#### 参 考 文 献

- [1] 盛义军,张振明,樊其瑾,等. 基于CAPPFramework的飞机装配CAPP系统开发. 机械科学与技术,2001,20(1):145-146.
- [2] 刘检华,宁汝新,姚珺,等. 基于装配任务的虚拟装配工艺模型研究. 系统仿真学报,2005,17(9):2163-2166.
- [3] Jung B. Task-Level Assembly Modeling in Virtual Environments. ICCSA 2003, LNCS 2669:721-730.
- [4] 李景新,郑国磊. DELMIA系统在飞机装配模拟中的应用研究. 航空制造技术,2008(11):90-93.
- [5] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京:北京航空航天大学出版社,2001. 427-442.
- [6] Lohse N, Hirani H, Ratchev S, et al. An ontology for the definition and validation of assembly processes for evolvable assembly systems. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10101/32361/01511480.pdf>. [2005-09-26].

(责编 良辰)