

# 三维虚拟实验室中装配序列规划问题研究

张秋云, 刘东峰

(广东工业大学信息工程学院, 广东 广州 510006)

**摘要:** 将装配序列规划方法应用于实验教学领域, 提出由全局装配干涉矩阵和优先约束矩阵获取可行装配序列, 并将装配体不稳定性及装配方向改变次数作为评价参数, 进而运用遗传算法对装配序列进行优化。最终在自主开发的三维虚拟实验室系统中进行了仿真, 不仅实现了生动有趣的仿真效果, 又可提供实时有效的装配操作引导功能, 有助于操作者对实验仪器和实验原理的学习。

**关键词:** 三维虚拟实验室; 实验仪器; 虚拟装配; 序列规划; 实验教学

**中图分类号:** TP391.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1131(2016)05-0047-03

## 0 引言

实验教学是教学活动中的一个重要组成部分。传统实验教学存在着各种各样的问题, 如实验设备昂贵, 实验仪器易损耗且难以操作, 有些实验的操作过程也存在一定危险性, 一些抽象性的实验在真实的情景中难以实现, 传统实验教学受到时间和空间的制约。虚拟实验室综合运用虚拟现实、多媒体、人机交互、数据库和网络通信等技术<sup>[1]</sup>, 搭建逼真、生动、可交互的虚拟实验环境, 从而作为传统实验教学强有力的补充手段。但是目前大多数虚拟实验室仿真系统仅仅实现了对实验现象的展现<sup>[2]</sup>, 缺少操作者对实验仪器的学习功能, 而在实验教学活动中, 学习实验仪器的组成结构和实验原理, 掌握实验仪器的正确操作是非常重要的。本文将广泛应用于工业领域的虚拟装配序列规划方法嵌入到自主搭建的三维虚拟实验室环境中, 创建了生动逼真的仪器模型和装配环境, 提供了实时方便的交互手段, 让操作者能够更直观高效地学习实验仪器的结构和操作原理, 打破了传统实验室对实验教学活动的限制, 满足了虚拟实验教学的需求。

## 1 装配序列规划方法

装配序列规划方法包括装配信息建模、装配序列生成、装配序列评价与优化和装配序列应用等方法。本文将装配序列规划相关算法嵌入到了实验仪器的手动装配过程中, 实现对装配操作的实时引导, 输出并保存装配过程信息以及对整个装配过程进行动画回放等功能。

### 1.1 装配序列生成

由三维虚拟仪器模型或三维建模软件获取全局装配干涉矩阵  $I_G$ <sup>[3]</sup>, 人工设定优先约束矩阵  $P$ , 完成装配信息的建模过程。若一个装配体由  $n$  个零件 (1, 2, ...,  $n$ ) 构成, 其全局装配干涉矩阵  $I_G$  表示为  $n$  阶方阵, 即:

$$I_G = \begin{bmatrix} I_{11X}I_{11Y}I_{11Z}I_{12X}I_{12Y}I_{12Z} & \cdots & I_{1nX}I_{1nY}I_{1nZ}I_{1nY}I_{1nZ}I_{1nZ} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{n1X}I_{n1Y}I_{n1Z}I_{n2X}I_{n2Y}I_{n2Z} & \cdots & I_{nnX}I_{nnY}I_{nnZ}I_{nnY}I_{nnZ}I_{nnZ} \end{bmatrix}$$

$I_G$  的每个元素均由六位二进制数构成,  $I_{ijX}I_{ijY}I_{ijZ}I_{jiX}I_{jiY}I_{jiZ}$  代表零件  $i$  分别沿着 +X, -X, +Y, -Y, +Z, -Z 六个全局坐标轴方向装配到最终位置时与零件  $j$  的干涉情况。若不发生干涉, 则对应位取值为 1, 发生干涉则取值为 0。约定当  $i=j$  时, 对应位取值为 0。根据装配零件之间的几何运动相互性可知, 当  $I_{ijD} \oplus I_{jiD} = 1$  时,  $I_{jD}I_{jiD} = I_{ijD}I_{jiD}$ , 否则  $I_{jD}I_{jiD} = I_{ijD}I_{jiD}$ , 其中  $D \in \{ \pm X, \pm Y, \pm Z \}$ , / 表示负号。为了便于计算机处理, 本文将全局装配干涉矩阵的每个元素即六位二进制数均以十进制数存

储。优先约束矩阵是根据人的经验或特别指定的待装配对象的零件间优先装配关系获取的。包含  $n$  个零件的装配体的优先约束矩阵表示为  $n$  阶方阵, 即:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}$$

其中  $p_{ij}$  代表零件  $i$  是否优先于零件  $j$  装配。若零件  $i$  优先于零件  $j$  装配, 则  $p_{ij}$  取值为 1, 否则取值为 0。约定当  $i=j$  时,  $p_{ii}=0$ 。易知当  $p_{ij}=1$  时  $p_{ji}=0$ 。

如图 1 所示, 当用鼠标点击选中某个未装配的零件时, 系统会判断选中的零件与已装配零件序列构成的临时序列是否满足全局装配干涉矩阵和优先约束矩阵的约束, 即判断临时序列是否是几何可行和人为约束可行的, 并给出相应提示信息。操作者就可以根据提示信息, 进行下一步正确的装配动作。如果装配过程中选中零件的位置与最终装配位置的距离小于设定的阈值<sup>[4]</sup>, 则突出显示选中零件并根据位置姿态矩阵 (PAM)<sup>[4]</sup> 完成该零件的自动装配, 并更新和保存已装配零件序列, 继续等待下一次的装配操作。这样就通过本文提出的装配序列生成算法达到序列的实时生成与对操作实时引导的目的。

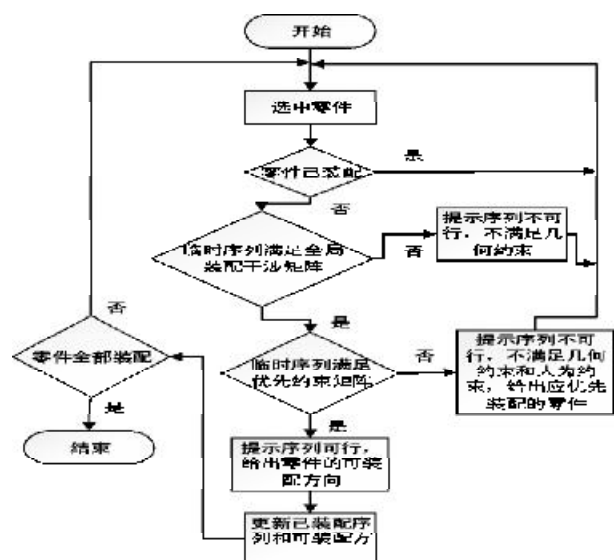


图 1 装配序列可行性判断

### 1.2 装配序列评价与优化

装配序列评价涉及到采用哪些参数评价一个装配序列好

坏,优化则通过遗传算法进行进化来获取更优的装配序列。本文选取装配体不稳定性及装配方向改变次数作为装配序列评价参数,以获得更低的不稳定性和更少的装配方向改变次数作为优化目标。其中不稳定性由装配序列和支撑矩阵  $S$  通过运算获得,装配方向改变次数则由装配序列和全局装配干涉矩阵通过运算获得。通过分析零件间的重力支撑关系获取支撑矩阵,包含  $n$  个零件的装配体支撑矩阵为  $n$  阶方阵,即:

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & \cdots & s_{nn} \end{bmatrix}$$

其中  $S_{ij}$  代表零件  $i$  和零件  $j$  的重力支撑关系。若零件  $i$  重力支撑零件  $j$ ,则取值为 1,否则取值 0。约定当  $i=j$  时  $S_{ij}=0$ 。选择装配不稳定性及装配方向改变次数为参数建立遗传算法的适应度函数<sup>[5]</sup>。装配序列优化的适应度函数定义为:

$$benefit = \text{Max} - (\alpha \times f_1 + \beta \times f_2)$$

其中  $f_1$  为装配序列的不稳定性,  $f_2$  为装配方向改变次数,  $f_1 + f_2 = 1$ 。将判断装配序列可行性的算法嵌入到遗传算法中,采用随机生成和手动输入若干个初始装配序列种群相结合的方法,自动生成若干个随机的满足几何约束和人为约束的装配序列,若生成失败,则请求手动输入初始序列种群;然后对当前种群进化,保留适应度值最高的两个序列直接作为下一代的两个序列,下一代的余下成员则通过随机选择当前种群的两个序列,并以一定概率执行交叉、倒位、突变获得,这样既能保证每次进化保留最优的序列,又能保证进化过程种群的多样性,防止遗传算法过早收敛<sup>[5]</sup>,从而实现种群的不断进化。装配序列优化算法流程如图 2 所示。

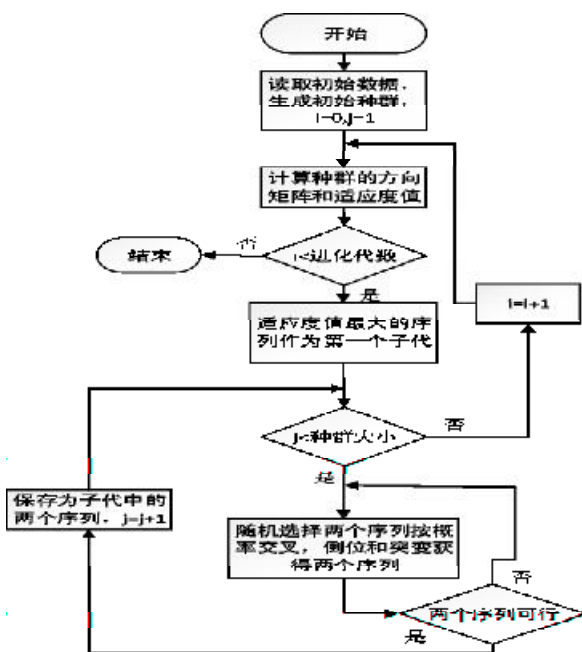


图2 装配序列优化

## 2 仿真与实现

运用 Delta3D 游戏开发引擎<sup>[4]</sup>,搭建三维虚拟实验室系统,系统界面用 Crazy Eddie's GUI 设计,实验仪器模型用三维建模软件 3DMax 创建,运用碰撞检测算法和 Open Dynamics Engine 物理仿真引擎实现虚拟装配过程的物理仿真<sup>[4]</sup>,

将本文提出的装配序列规划方法在三维虚拟仪器天平的虚拟装配过程中给予实现。如图 3 和图 4 所示,当选中一个新的未装配的零件,系统将判断选中零件与之前已装配零件组成的装配序列是否可行,并给出提示信息。通过系统菜单,还可以进行装配过程动画的回放,自动装配以及重新装配等操作。



图3 序列不可行提示信息



图4 序列可行提示信息

设置种群大小为 7,进化代数为 1000,交叉概率为 0.3,倒位概率为 0.1,突变概率为 0.01,  $\text{Max}=100$ ,  $\alpha=0.7$ ,  $\beta=0.3$ 。如图 5 和图 6 所示为生成的初始装配序列种群和进化到 1000 代的结果,可以看出装配序列适应度值的最大值和平均值整体上是递增的,实现了装配序列不断优化目的,进化获得的装配序列也都是可行的。

Origin Colony:												
3	1	8	2	4	6	7	5					
3	1	3	6	2	7	4	5					
2	3	4	6	1	7	5	5					
2	3	8	1	6	4	7	5					
2	3	3	1	6	4	9	5					
4	6	3	3	1	7	5	5					
7	1	8	3	4	2	6	5					
Current benefit												
mean:76.1429 max:81 min:72												

图5 初始种群

current generation:1000												
mean:99.4286 max:100 min:97												
第1000代Colony												
1	5	6	4	3	2	7	8					
5	1	6	2	3	7	8	4					
6	5	1	4	3	2	7	8					
1	5	6	4	3	2	7	8					
1	5	6	4	3	2	7	8					
1	5	6	4	3	2	7	8					
1	5	6	4	3	2	7	8					
the timecost of ERU=3.674S												

图6 第1000代种群

## 3 结语

本文将装配序列规划方法在三维虚拟实验室系统中进行了实现,操作者可以更高效更准确更安全地完成实验仪器的装配,更好地理解和学习实验仪器的结构和操作,弥补了常见虚拟实验室的一些不足,能更好地实现远程虚拟实验教学的目的。该系统的实现仍可进一步完善和拓展,比如进一步完善物理仿真功能和互动功能<sup>[4]</sup>,实现多人在线协同操作等,具有较大的发展潜力。

# 基于微波光子阵列的数字多波束测控系统构想

李景峰, 郑生华

(中国电子科技集团公司第三十八研究所, 安徽 合肥 230088)

**摘要:** 未来测控设备将向着多目标、高速率、平台多样性发展。数字阵列体制由于其独特的优势, 逐步应用于测控领域。但是数字天线阵面功耗、体积、重量、电磁兼容、数据传输等瓶颈限制了其应用。文章给出了一种基于微波光子阵列的数字多波束测控系统构架, 将有效提高测控系统的灵活性、平台适应性、重构扩展性、电磁兼容性, 为我国未来海陆空天一体化测控系统提供了有效的技术途径。

**关键词:** 数字多波束测控系统; 数字阵列; 微波光子阵列; 电光调制阵列模块(EOAM); 光电数字阵列模块(ODAM)

中图分类号: TN927

文献标识码: A

文章编号: 1673-1131(2016)05-0049-03

## An idea for digital multi-beam measurement and control system based on microwave photonic array

Li Jingfeng, Zheng Shenghua

(No.38 Research Institute of CETC, Hefei 230088, Anhui, China)

**Abstract:** The future development of measurement and control equipment will be towards the trend of multiple targets, high data rate and platform diversity. Digital array systems because of its unique advantages, will be gradually applied in the field of measurement and control system. But the size, weight, power consumption, electromagnetic compatibility of the digital array antenna limits its application. The framework of the digital multi-beam measurement and control system based on the microwave photonic array is presented in this paper. It will effectively enhance the system flexibility, platform adaptability, reconfiguration scalability and electromagnetic compatibility. It will also provide an effective way for our country to fulfill the sea air and space integration measurement and control system in the future.

**Key words:** multi-beam measurement and control System; digital array; microwave photonic array; electro-optic array module (EOAM); optic-electro digital array module(ODAM)

## 0 引言

随着航空航天事业的飞速发展, 我国将逐步建成无人机网络、导航系统和卫星星座网络, 给测控领域提出了更高的求。未来测控设备的将需具备以下特点:

(1) 多目标。多目标测控技术是目前测控领域面临的一个重要课题, 也是测控系统面临的新挑战。如何对全空域内多目标进行同时测控是测控领域的复杂且重要问题。

(2) 宽带、高速率。随着被测平台越来越复杂, 综合化程度越来越高, 加之视频、图像测量在数传的要求, 使得遥测传输速率成倍增长。国外测控界专家预测, 遥测速率十年后将从当前的 Mb/s 增长到 100Mb/s 甚至 Gb/s 量级。

(3) 测控平台多样化。海陆空天一体化是未来测控网络发展的趋势, 因此测控设备的承载平台也趋于多样化, 特别是星载、机载、车载平台, 对测控设备的体积、重量、功耗、环境适应性、接口的复杂性等提出了严苛的要求。

数字阵列体制由于其独特的优势, 由雷达领域逐渐渗透到测控领域。但是数字天线阵面功耗、体积、重量、电磁兼容、大数据传输等缺点使其在测控领域应用中遇到了瓶颈。本文

给出了一种将微波光子学和数字波束形成相结合的多波束测控系统构架, 将有效提高测控系统的灵活性、平台适应性、重构扩展性、电磁兼容性, 为我国未来实现海陆空天一体化测控系统提供了有效的技术途径。

## 1 数字阵列在测控领域的应用

数字阵列体制收发均采用数字波束形成技术, 可精确、灵活完成多波束合成、加权和扫描, 在雷达领域得到了广泛应用。在测控通信领域, 基于数字阵列体制多目标测控设备也逐步开始研制, 数字阵列测控设备相对传统测控设备的主要优势如下:

(1) 波束控制灵活, 具备灵活的多任务能力。通过数字域的波束幅相精确控制, 实现灵活的同时波束工作能力, 支撑各种测控方式的组合应用, 最大限度满足用户各种可能任务场景下的测控需求。

(2) 空间自由度高, 系统动态范围大, 抗干扰能力强。数字阵列技术保留了所有阵元的空间信息, 具备高的空间自由度, 结合干扰源分析和自适应波束置零方法, 可在空间多个方向形成零点, 具有很强的抗干扰能力。

## 参考文献:

- [1] 王卫国, 胡今鸿, 刘宏. 国外高校虚拟仿真实验教学现状与发展[J]. 实验室研究与探索, 2015(34): 214-219
- [2] 杨美霞. 基于虚拟现实技术的网络虚拟实验室设计与实现[J]. 现代计算机, 2011(01): 129-131
- [3] 吕凤县, 张桂香, 张庆洪. 基于拆卸和拆卸约束矩阵的装配序列规划[J]. 现代制造工程, 2014(1): 21-23

- [4] 孙艺萌. E-learning 系统中的虚拟装配设计[J]. 计算机技术与发展, 2015(25): 182-185
- [5] 李海军, 姜捷, 王云飞. 基于扩展干涉矩阵和遗传算法的拆卸序列规划[J]. 计算机工程与设计, 2013(34): 1064-1068

**作者简介:** 张秋云(1991-), 女, 河南周口人, 硕士, 研究方向为三维信息处理和可视化仿真; 刘东峰(1969-), 男, 江西安福人, 博士, 研究方向为计算几何, 三维信息处理和可视化仿真。