# 虚拟装配与装配精度检测技术

国外虚拟装配的研究起始于20世纪90年代中前期，华盛顿州立大学与美国国家标准技术研究所最早进行虚拟装配研究，他们联合开发了虚拟装配设计环境VADE[[1]](#endnote-1)，这标志着虚拟现实技术在装配领域的成功应用，这项研究被认为是虚拟装配研究领域的里程碑。随后，德国、英国、加拿大、希腊等国的著名高校和研究机构都开展虚拟装配的研究。国内对虚拟装配的研究起步于20世纪90年代末期，发展速度比较快，取得了不少研究成果。虚拟装配发展迄今为止可分为三个阶段[[2]](#endnote-2)：

1. 虚拟装配理论的提出与完善阶段
2. 虚拟装配原型系统的开发阶段
3. 虚拟装配在工业界的应用研究阶段

目前国外虚拟装配技术的发展已经进入了第三阶段，以法国达索为代表的大公司开始了虚拟装配的工业应用。国内虚拟装配的研究目前正处于从第二阶段向第三阶段过渡的状态即原型系统开发或部分试用阶段。

虚拟装配是实际装配过程在计算机上的体现，是虚拟现实技术(Virtual Reality Technology)和CAD技术在工程问题中的典型应用，是现代先进生产制造技术的关键组成部分。在虚拟环境进行装配，缺乏像现实环境中存在的各种物理约束和感知能力，几何约束建模仍是主要的实现手段。虚拟环境中零件是依靠几何约束相互装配到一起，工装工具操作仿真、零件自由度模拟、装配运动仿真都依赖于几何约束信息来实现。精度检测主要包括了尺寸误差的检测和形位误差的检测，与尺寸误差中的长度误差、角度误差等相比，形位误差的评定难度相对来说较大，所以，如何准确地评定形位误差一直以来都受到了国内外学者的普遍关注。学术界长期以来比较流行的方法是最小二乘法（Least square Method，LSM），该方法虽然简便、易行，但存在着仅提供形位误差的近似评价结果、并不保证解的最小区域性等缺点，只是适用于对精度要求不太严格的情况，也可以作为其他方法的初始值。因此，其他形位误差评定的方法也在不断地被提出、发展和改进。对于虚拟装配以及精度检测相关的技术，有关学者从不同角度对他们的理论与实际应用进行了探索。

美国华盛顿州立大学的Sankar Jayaram等最早对虚拟装配进行了系统化的开发与研究，首次给出了虚拟装配的定义为：使用计算机，在没有物理实现产品或支持过程的情况下，通过分析模型、预测模型、数据的表达和可视化，作出或辅助作出与装配相关的工程决策[[3]](#endnote-3)[[4]](#endnote-4)。

德国Bielefeld大学B.Jung等将虚拟装配描述为在虚拟环境中使用如直接操作、语音命令等方式与虚拟现实交互构建虚拟产品原型[[5]](#endnote-5)。跟传统CAD的装配相比，虚拟装配的重点在于更加直观的人机交互，在虚拟环境中应当通过直接操作零件和语音命令的方式直接完成虚拟装配操作。

清华大学CIMS国家工程中心的张林煊、肖田元等对虚拟装配的定义为：虚拟装配是装配过程在计算机上的本质实现，是基于产品的数字化实体模型，在计算机上分析与验证产品的装配性能及工艺过程，从而提高产品的可装配性[[6]](#endnote-6)。装配包括两重含义：一是由零部件组成的静态的装配体，二是该装配体的形成过程。他们认为，虚拟装配泛指在计算机上的“装配”，是否在虚拟环境中装配，只是场景和表达方式差别，其应包含的两重含义不变。

华盛顿州立大学的Sankar Jayaram等研究了约束的识别、确认和求解问题，利用D-Cubed 3D DCM库来进行约束求解，在虚拟环境中模拟零件在受约束状态下的运动7。

英国Salford大学虚拟环境中心的Fernando等研究了基于几何约束的零件精确定位和三维操作，探讨了 “可行运动 ”和 “自动约束识别 ”等关键技术[[7]](#endnote-7)，开发了几何约束管理器，用来支持虚拟环境下装配和维修任务。

华中科技大学CAD中心的曹鹏彬等实现了基于装配约束动态管理的虚拟拆卸[[8]](#endnote-8)。研究了基于几何信息的虚拟拆卸过程中装配约束的动态管理机制，并实现了基于装配约束导航的虚拟拆卸。

浙江大学CAD＆CG国家重点实验室的刘振宇教授等也研究了虚拟环境下基于装配约束动态解除的产品拆卸技术[[9]](#endnote-9)。研究了虚拟拆卸过程中配合几何约束的自动解除方法。随着拆卸过程的递进，根据设计者的交互意图，适时取消零件所受的配合约束。

M. Burdekin等提出了一种称为“包容旋转法”方法用于平面度误差评定，并根据平面度误差的最小区域原则推理出了包容平面旋转的规则[[10]](#endnote-10)。

Kirsten Carr等建立了直线度、平面度和圆柱度误差的非线性数学模型[[11]](#endnote-11), [[12]](#endnote-12)，并通过适当的坐标和比例变换将该问题转换为了线性规划问题，确定合适的初始条件，可以是线性规划问题的解收敛于原始问题的解。

Jyunping Huang等提出了评定空间直线度误差和平面度误差时采用平行六面体包络进行计算的方法，在测点数据量很大时，具有明显的效率优势[[13]](#endnote-13)。但是，这种方法计算出来的误差值为近似值。

蔡婧等建立了六项形位误差的最小二乘法和最小区域法数学模型[[14]](#endnote-14)，包括平面直线度、空间直线度、平面度、圆度、圆柱度和同轴度等，对这些模型目标函数的基本性质进行了研究，并证明了它们的不可微性，最后利用实际的测量数据对目标函数的连续性及解的唯一性进行了分析。

郑鹏对应用线性规划进行形位误差评定研究的理论和方法进行了探讨，并用一个线性规划模型统一了各种形位误差的评定，根据该模型既可进行理论研究，又方便计算机程序运算，且解算快速，结果准确[[15]](#endnote-15)。

廖平对基于遗传算法的形位误差评定方法进行了比较系统且深入的研究，构建了一套基于遗传算法进行形位误差评定的理论体系，不仅包括了遗传算法在基本形体的形位误差的计算，还包括了复杂几何形体的形位误差计算等[[16]](#endnote-16)。

岳武陵等研究了空间直线度的数学模型，并通过逐次二次规划算法（SQP）进行了评定[[17]](#endnote-17)，该方法保留了模型中的非线性信息，对初始参数要求低，具有稳定、可靠和效率高的优点。

罗钧等提出了将改进人工蜂群（MABC）算法用于平面度误差最小区域法的评定，通过实验验证，得出计算精度优于最小二乘法、粒子群算法和遗传算法，比较适合用于形位误差测量仪器和三坐标测量机[[18]](#endnote-18)。

从本质上讲，虚拟装配就是以零部件的三维实体模型为基础，通过虚拟的实体模型在计算机上仿真装配操作的过程，在虚拟环境中进行装配操作及其相关装配精度等的分析，实现产品的装配规划和评价，生成指导实际装配的工艺文件。虚拟装配中点云模型的精度信息提取尤其是形位误差的精度提取方面，很多算法都从不同的角度取得了一定的效果，但是还存在着缺乏统一的形位误差评定数学模型、评定算法多为近似算法、优化算法不同程度地存在着搜索方向盲目、计算量过大和迭代次数过多等问题。

# 参考文献

1. [] Jayaram, S., et al., VADE: A virtual assembly design environment[J]. IEEE COMPUTER GRAPHICS AND APPLICATIONS, 1999. 19(6): p. 44-50. [↑](#endnote-ref-1)
2. [] 夏平均，姚英学. 虚拟装配的研究综述与分析(II)[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008(06): 第942-947页. [↑](#endnote-ref-2)
3. [] Jayaram, S., H.I. Connacher and K.W. Lyons, Virtual assembly using virtual reality techniques[J]. COMPUTER-AIDED DESIGN, 1997. 29(8): p. 575-584. [↑](#endnote-ref-3)
4. [] 夏平均，姚英学, 虚拟装配的研究综述与分析(I)[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008(05): 第740-744页. [↑](#endnote-ref-4)
5. [] Jung, Bernhard, Hoffhenke Martin, Wachsmuth I. Virtual assembly with construction kits[C]. Proceedings of the 1998 ASME Design for Engineering Technical Conferences. Pp. 1103-1112. ISBN 978-0-7918-1953-1. [↑](#endnote-ref-5)
6. [] 肖田元. 虚拟制造[M]. 北京：清华大学出版社. 2004. P440-445. [↑](#endnote-ref-6)
7. [] Marcelino, L., N. Murray and T. Fernando, A constraint manager to support virtual maintainability[J]. COMPUTERS & GRAPHICS-UK, 2003. 27(PII S0097-8493(02)00228-51): p. 19-26. [↑](#endnote-ref-7)
8. [] 曹鹏彬, 刘继红与管强, 基于装配约束动态管理的虚拟拆卸[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002(10): 第988-992页. [↑](#endnote-ref-8)
9. [] 刘振宇, 谭建荣与张树有, 虚拟环境中基于约束动态解除的产品拆卸技术研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003(07): 第812-817+835页. [↑](#endnote-ref-9)
10. [] Burdekin M, Pahk H J. The Application of a Microcomputer to the on-line Calibration of the Flatness of Engineering Surfaces[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 1989, 203(2): 127-137 [↑](#endnote-ref-10)
11. [] Carr K, Ferreira P. Verification of form tolerances part I: Basic issues, flatness, and straightness[J]. Precision Engineering. 1995, 17(2): 131-143. [↑](#endnote-ref-11)
12. [] Carr K, Ferreira P. Verification of form tolerances part II: Cylindricity and straightness of a median line[J]. Precision Engineering. 1995, 17(2): 144-156. [↑](#endnote-ref-12)
13. [] Huang J. An efficient approach for solving the straightness and the flatness problems at large number of data points[J]. Computer-Aided Design. 2003, 35(1): 15-25 [↑](#endnote-ref-13)
14. [] 蔡婧. 六项形位误差评定数学模型的研究[D]. 东北大学　, 2009. [↑](#endnote-ref-14)
15. [] 郑鹏. 形位误差计算机评定系统的研究[D]. 郑州大学, 2003. [↑](#endnote-ref-15)
16. [] 廖平. 基于遗传算法的形状误差计算研究[D]. 中南大学, 2002. [↑](#endnote-ref-16)
17. [] 岳武陵，吴勇. 基于多目标优化的空间直线度误差评定[J]. 光学精密工程. 2008, 16(8): 1423-1428. [↑](#endnote-ref-17)
18. [] 罗钧，王强，付丽. 改进蜂群算法在平面度误差评定中的应用[J]. 光学精密工程. 2012, 20(2): 422-430. [↑](#endnote-ref-18)