

# MCAM 空腔构造算法研究与实现

## Implementation of Void Filling Algorithm for MCAM

(1.合肥工业大学;2.中科院等离子体物理研究所;  
3.中国科学技术大学核科学技术学院)周敬之<sup>1,2</sup> 江平<sup>1</sup> 张俊军<sup>2,3</sup> 王国忠<sup>2,3</sup>  
ZHOU Jing-zhi JIANG Ping ZHANG Jun-jun WANG Guo-zhong

**摘要:** MCAM(Monte Carlo Automatic Modeling)是FDS团队自主开发的蒙特卡罗粒子输运计算自动建模软件,其主要功能是实现CAD模型与蒙特卡罗粒子输运计算模型之间的相互转换,但是目前MCAM基于布尔减运算算法生成的蒙特卡罗计算模型的空腔描述往往复杂,计算耗时,另外MCAM对于大量管道模型仍需手工填充建模,建模效率低,而且容易出错。为了提高蒙特卡罗计算效率,方便管道空腔建模,提出了一种基于特征识别技术的CAD模型的空腔构造算法,并实现了MCAM空腔构造功能。一方面,降低了CAD模型经过MCAM转换后的空腔描述复杂度;另一方面,可以对管道模型进行自动填充。该功能已经集成至MCAM4.8版本中,测试结果表明了其正确性和可靠性。

**关键词:** 自动建模;空腔构造;CAD建模;特征识别

中图分类号: T399

文献标识码: A

**Abstract:** MCAM (Monte Carlo Automatic Modeling) is a computer aided modeling software of Monte Carlo Particle transport simulation codes with our own copyright by FDS Team. The main function is to achieve the bi-directional conversion between the CAD model and the Monte Carlo particle transport simulation model. However, the void cell description of Monte Carlo transport simulation model generated by the current version of MCAM is complex and time-consuming. In addition, it is err-prone and inefficient to manually fill a model with a large number of pipes for the user of MCAM. In order to improve the efficiency of Monte Carlo simulation and facilitate the void filling of pipe model, the paper presents a new method based on feature recognition technology for the void filling of CAD model and the void filling function of MCAM. On one hand, the complexity of void description converted by MCAM is reduced; on the other hand, the pipe models can be automatically filled. The void filling function has been integrated into MCAM., and The results of test demonstrates its accuracy and reliability.

**Key words:** Automatic Modeling; Void Filling; CAD Modeling; feature recognition

MCAM是以中国科学院等离子体物理研究所和中国科学技术大学核科学技术学院为依托的FDS团队研发的基于通用CAD技术的蒙特卡罗粒子输运计算自动建模系统,能够实现CAD工程模型与蒙特卡罗(Monte Carlo,简称蒙卡)计算模型相互转换,同时提供了模型预处理、模型分析和几何建模等功能,有效的解决了中子学分析建模瓶颈问题,在国际上取得了广泛的应用和良好的评价。一般情况下,CAD工程模型仅仅定义了实际的零件部分,而蒙特卡罗粒子计算模型需对整个问题空间进行定义,因此不仅描述零件部分,而且对不属于任何零件的空余部分(即空腔部分)也需进行描述,如管道的中空部分。MCAM的早期版本对空腔的描述是利用实体包围盒进行布尔减运算来完成的。该方法虽然能实现对空腔的描述,但需较大的时空开销,而且构造的空腔模型复杂,生成的曲面数量过多,导致蒙卡粒子输运计算程序抽样时间的增加。另一方面,在进行复杂核装置的三维建模过程中,需对大量管道进行填充,而依赖手工填充,费时耗力。针对上述问题,本研究利用实体模型的几何信息以及拓扑结构,研究了一种新的空腔构造算法,实现了空腔自动填充功能,同时改进了对问题空腔的描述,经过实际例题的测试,蒙卡计算程序的效率得到显著提高。

## 1 基于布尔操作的空腔构造算法

空腔填充的众多算法中,包围盒布尔减运算算法,其算法简

周敬之: 硕士

单、容易实现,并且适合处理大部分的规则模型,得到了广泛的应用。该算法描述如下:首先获取实体模型的包围盒,再将实体的包围盒与实体模型本身进行布尔减运算,获取问题空间中除实体本身以外的空余部分,即实体空腔。针对大型实体模型空腔复杂度高的问题,通常首先采用二分法等方式对问题空间不断进行切分,获取模型中各个零件所属的包围盒,然后应用布尔减运算生成模型零件的一系列空腔,从而达到简化模型空腔的目的。

早期,MCAM虽然利用这一算法完成对空腔问题的描述,但是完全利用布尔减算法,构造的空腔不直观,同时需要较大的时空开销。当几何模型中存有大量中空管道时,这个问题尤其显著。因此,迫切需要发展一种新的空腔构造算法。

## 2 本研究空腔构造算法

本研究算法通过引入特征识别技术,判别并将构造空腔实体所需的面、环信息保存在相关的数据结构中,对信息进行相应处理后,按照构建实体的规则生成空腔。本研究算法描述中相关定义如下:空腔为问题空间中实体模型之外的所有空余部分;内环为实体的面中内孔边界所形成的环;内侧面为实体的内孔所相接的侧面;凸边为实体的两相交面的交边所在内角小于 $180^\circ$ ,反之则为凹边。

对实体面和环进行特征判别的分析。如图1a所示,实体内侧面与实体外表面的拓扑以及几何信息除了数值并没有其他

区别,应对两种面进行判别。另外如图 1b 所示,实体中上下两组内侧面分别属于两个内空腔,需对其进行相应标识识别。



图 1

本研究处理这个问题的方法是在搜索到构造空腔实体所需的面和环信息的同时,将该信息附加一个起始环标志属性,用于判别该信息所属的内空腔。

本研究算法描述如下:

1. 获取实体模型的表面所有内环,也就是实体表面的孔洞,作为内部空腔实体信息搜索起点。将实体模型中的所有面进行保存。

2. 取出一个内环开始搜索空腔信息,利用环有向边取反的方式获取与该环相连接的内侧面,并将所有内侧面中的内环保存下来,这些内环是实体内侧面上的孔洞。

3. 遍历内侧面中的内环继续获取与其相连的内侧面,直到将实体中与该空腔相关的所有面和环都获取并保存完毕。

4. 将搜索到的内侧面进行面法向量反向处理,获取表面的内环信息构造空腔的面,通过这一系列面构造空腔实体的壳、块、体。按照该流程继续构造实体的其他空腔以及下一个实体的空腔。

本研究算法流程图如图 2

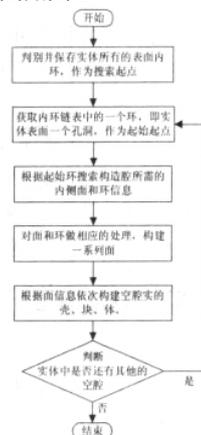


图 2 算法流程图

本研究算法中设定面和环的起始环可采用结构体数据结构,在结构体中定义一个起始环属性。搜索起始内环通过环本身为内环并且该环为凸环的方式判别,本研究算法中内环的凹凸性通过边的凹凸性来判别。本研究算法已经基于 Spatial 公司开发的几何造型内核 ACIS 平台上开发实现,并作为空腔建模功

能已集成至最新的 MCAM4.8 版本中。

### 3 算法测试与验证

本研究采用 CATIA 建模的弯管模型、凹槽立方体和国际热核实验堆 ITER 中的导向管模型对算法进行测试。测试在 Core (TM) 2 Q660 2.40GHZ,3.37GB 的内存机器上进行。

#### 3.1 测试

图 3a 所示模型为利用 CATIA 建模的一个多次旋转的弯管。该模型包含多个凸环、平面、柱面空腔特殊特征,可以对算法中特征识别的有效性检验。如图 3b 所示,该模型为在生成内空腔实体模型后,再将原模型导入。图 4 所示两图为带有内空腔的立方体和空腔填充后的视图,图 4b 为将立方体本身透明化的效果图,将两组中模型与提取的空腔模型进行比较,通过 MCAM 检验后空腔模型与原模型之间无干涉,无缝隙,并且可以快速对模型进行正向转换,验证了两者在形态上可以精确匹配,本研究算法生成的空腔模型信息完整。



a 弯管原模型

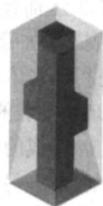


b 填充后的弯管模型

图 3



a 带空腔的立方体



b 填充后的立方体效果图

图 4

#### 3.2 验证

如图 5 所示,为 MCAM 空腔填充功能在 ITER 的 feeders 模型建模过程中的应用。Feeders 模型是按照 ITER 的要求建于 ITER 托克马克赤道窗口 Port Cell 中,是赤道窗口控制线的导向管,本研究算法可以将包含 feeders 模型空腔一次性填充建模,大大提高了 MCAM 建模的效率。

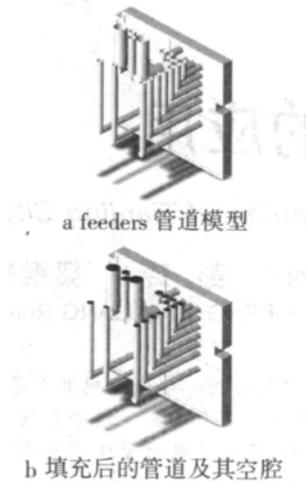


图 5

同时,我们也比较了本研究空腔填充方法和 MCAM 现有空腔填充方法对蒙特卡程序计算速度的影响。对于原 feeders 模型,使用 MCAM 现有的空腔填充功能填充模型的内空腔和外空腔,并转换成蒙特卡计算程序 MCNP4C 的输入文件,记为输入文件 A;对于通过本研究方法填充后的模型及其空腔,只需用 MCAM 现有空腔生成方法生成其外空腔,然后转换生成 MCNP 计算输入文件,记为输入文件 B。使用两个输入文件进行光子输运模式计算,点源位置坐标为(1645, 5, 65),抽样粒子数为 1 亿,MCNP 计算时间比较如表 1 所示

表 1 MCNP 计算时间比较

模型	输入文件	计算时间
原模型	A	213.47 分钟
经填充后的模型	B	78.01 分钟

如表 1 所示,经过比较,填充后 feeders 模型的计算时间上减少为原模型的 37%,显著地提高了 MCNP 计算效率。

#### 4 结论及展望

本研究通过将特征识别技术引入到 MCAM 空腔构造算法中,在空腔建模时根据模型本身的拓扑信息进行空腔构造,以减少建模过程中实体间的布尔运算使用次数,从而达到了提高空腔建模的时效性和准确性的目的。测试结果表明,本研究算法可以对中级复杂程度且不包含样条面的管道以及类似管道模型进行内空腔构造,不需要进行布尔运算,并且针对包含大量管道的 ITER 模型时,可以对管道进行填充,丰富了 MCAM 的建模功能,提高了蒙特卡计算效率。下一步的工作是通过加入更多的特征识别对更复杂的实体以及包含样条面的实体进行空腔建模,并且对实体外部空腔也可以进行构造。

本文作者创新点:本文基于特征识别技术研究了一种新的实体空腔构造算法,丰富 MCAM 建模功能的同时,可以显著地提高 MCNP 计算效率。

#### 参考文献

[1]Yican. Wu, CAD-based Interface Programs for Fusion Neutron Transport Simulation. Fusion Engineering and Design. Fusion Engineering and Design 84 (2009) 1987-1992.  
 [2]吴宜灿,李莹,卢磊,等.蒙特卡罗粒子输运计算自动建模程序系统的研究与发展[J].核科学与工程,2006,26(01):20-27.  
 [3]Y. Li, L. Lu, A. Ding, et al. Benchmarking of MCAM 4.0 with the ITER 3D model [J]. Fusion Engineering and Design, 2007, 82 (15-24):2861-2866.

[4]李莹,曾勤和卢磊.利用 ITER 基准模型对 MCAM4.2 进行检验 ( ) [J].核科学与工程,2008,28(1):47-50.  
 [5]卢磊,李莹,丁爱平等. MCAM 在 ITER 窗口限制器蒙特卡罗计算建模过程中的应用[J].核科学与工程,2007,27(3):277-281.  
 [6]S. Zheng, M. Chen, J. Li, et al. Neutronics analysis for the test blanket modules proposed for EAST and ITER [J]. Nucl. Fusion, 2007, 47:1053-1056.  
 [7]Q. Huang, S. Zheng, L. Lu, et al. Neutronics Analysis for A Compact Reversed Shear Tokamak CREST [J]. Fusion Engineering and Design, 2006, 81:1239-1244.  
 [8]Q. Zeng, L. Lu, A. Ding, et al. Update of ITER 3D basic neutronics model with MCAM [C]. 15th International Toki Conference on Fusion and Advanced Technology, Toki City, JAPAN, 2005, 2773-2778.  
 [9]曾勤,卢磊,李莹,等.蒙特卡罗粒子输运计算自动建模程序 MCAM 在 ITER 核分析建模中的应用 [J].原子核物理评论,2006,23(2):138-141.  
 [10]李莹.蒙特卡罗粒子输运计算自动建模系统预处理关键技术研究[D].中国科学院博士学位论文,安徽合肥,2009.  
 [11]罗月童,刘晓平.三维特征识别技术及其在 MCAM 的应用[J].工程图学学报,2006,1:50-54.  
 [12]高曙明.自动特征识别技术综述.计算机学报,1998,21(3):281-288  
 [13]张雯,王守尊等.ACIS 几何平台及其应用模式的研究[J].微计算机信息,2006,4-1:P253-255  
 [14]www.spatial.com

作者简介:周敬之(1983-),男(汉族),安徽省合肥市人,合肥工业大学数学学院学生,硕士,主要从事计算机辅助几何设计方向研究。  
**Biography:**ZHOU Jing-zhi (birth 1983-),male (HAN), Hefei University of Technology, Master, Computer Aided Geometric Design.

(230009 安徽合肥 合肥工业大学数学学院) 周敬之 江平  
 (230031 安徽合肥 中科院等离子体物理研究所) 周敬之 张俊军 王国忠  
 (230027 安徽合肥 中国科学技术大学核科学技术学院) 张俊军 王国忠  
 (School of Mathematics, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China) ZHOU Jing-zhi JIANG Ping  
 (Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science, Hefei 230031, China) ZHOU Jing-zhi ZHANG Jun-jun WANG Guo-zhong  
 (School of Nuclear Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)  
 ZHANG Jun-jun WANG Guo-zhong  
 通讯地址:(230009 安徽合肥 合肥工业大学数学学院) 周敬之  
 (收稿日期:2010.03.23)(修稿日期:2010.06.23)

技术创新

<p><b>书 讯</b></p> <p>《现场总线技术应用 200 例》 55 元 / 本 (免邮资) 汇至</p>
<p>《PLC 应用 200 例》 110 元 / 本 (免邮资) 汇至</p>
<p>地址: 北京市海淀区中关村南大街乙 12 号天作 1 号楼 B 座 812 室 微计算机信息 邮编:100081 电话:010-62132436 010-82168297(T/F)</p>