1. 绪论
   1. 课题研究目的和意义

随着科学技术的迅猛发展，科学计算在各行各业中起到的作用越来越重要，其所涉及到的对象越来越多，问题越来越复杂，计算规模也越来越大；而这时从海量的计算数据中挖掘有效的、具有指导意义的信息就变得越来越困难，于是也变得更加重要，其中可视化后处理【1】是一个非常关键的领域。

近年来，无网格法【2】发展迅速，但是由于其相对于广泛使用的有限元法等一系列科学计算方法而言，其发展时间相对较短，在很多方面的发展还不够完善，尤其是专门针对无网格法可视化后处理方面的研究工作。

有限元法主要处理小变形的固体力学问题，且由于基于网格，于是在有限元法的可视化后处理中【3】，主要显示模型的网格和表面信息、位移信息、应力等值线（面）等。有限体积法等计算流体力学（CFD）方法，主要基于欧拉网格计算，其可视化后处理【4】主要针对标量场的等值线（面）显示，矢量场的点图标、矢量线（面）显示等功能实现。针对这一类的仿真计算方法，市面上已经有不少商业后处理软件，如Tecplot；很多商业计算软件如Abaqus，Ansys，FLUENT等也都带有后处理模块。

然而，无网格法的可视化和以上的几类方法的情况有所不同。首先，无网格法多数是基于粒子表示的数据，比较典型的代表是光滑质点流体动力学法（SPH）【5】和物质点法（MPM）【6】，于是传统后处理中常用的等值线（面）显示等在网格和表面上处理的方式便不方便被无网格法使用。虽然有如Delaunay三角化【7】等由粒子生成非结构网格的算法可以将传统方法使用在无网格法数据上，但是鉴于无网格法本身的特点，仍有大量的情况不适合使用该方法。其一，无网格法经常被用来模拟冲击、爆炸等大变形物理过程，经常伴随有大量高度飞溅的粒子，如爆炸烟雾、侵彻后的碎片云等，这些物质并不适合构造网格或表面。其二，无网格法经常用来模拟液固耦合、相变、化学反应等多种不同状态物质的混合物理过程，使用传统的等值线（面）等表示方法并对不同状态物质以颜色区分这种形式，很多场合下也并不能够使人对仿真结果有一个直观的认识。于是，现在大多数情况下人们还是采取了直接在原始粒子数据上表示计算结果的方式，如使用Paraview等商业软件。如图【1-1】所示，

左为导弹侵彻混凝土墙的照片效果，右为使用MPM仿真的此类问题并用Paraview直接显示粒子信息。右图的效果很大程度上让人无法接受，如果实现左图的真实效果，会好很多。

由此可见，对该类问题的可视化，采用真实感渲染的后处理方式是最能够直观、有效地表现物理过程的方法之一，而且其另一个优点是方便和实现效果对比。

清华大学航天航空学院计算动力学研究室开发的MPM仿真计算软件PeneBlast就是使用Paraview进行后处理的，其效果不能令人满意，于是这促成了本课题，我通过本课题的研究，最后为该软件开发了一套基于真实感渲染的可视化后处理系统。

* 1. 基于物理仿真的真实感图形渲染工作介绍
  2. 真实感渲染算法介绍
  3. 本文工作

【1】Nielson G M, Shriver B. Visualization in scientific computing[M]. IEEE Computer Society Press, 1990.

[3]范彦斌,杨彭基. 有限元分析计算结果的计算机图形可视化显示[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,1995,01:11-16.

[4]雷勇,魏涛,柳共青. CFD可视化研究与进展[J]. 航空计算技术,1999,01:8-11+19.

【5】Gingold R A, Monaghan J J. Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars[J]. Monthly notices of the royal astronomical society, 1977, 181(3): 375-389.

【6】Sulsky D, Chen Z, Schreyer H L. A particle method for history-dependent materials[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1994, 118(1): 179-196.

[7] Watson DF. Computing the n-dimensional Delaunay tessellations with application to Voronoi polytopes[J].

The Computer J., 1981, 24(2):167-172.