

8-7-2020

Algorithm for Sea Ice Model Scene Management Based on Spatial Index

Yuhao Sun

Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

Yin Yong

Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

Yicheng Jin

Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

Gao Shuai

Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Algorithm for Sea Ice Model Scene Management Based on Spatial Index

Abstract

Abstract: In the process of modeling for scene visualization in marine simulator, ice region scene needs plenty of sea ice. Because of the numerous sea ice models, it may cause huge waste of time and space then make the whole simulation system in a poor real-time visualization situation, if there is no scientific or effective method. *Applying quad-tree spatial index algorithm to sea ice dynamic modeling and management in ice region scene system of marine simulator, it could reduce consumption of time and space resources, improve the whole system fluency, and optimize the visualization of sea ice scene.* And it also provides a foundation which could simulate the ice region scene real-time and the ship-ice interaction effectively.

Keywords

quad-tree spatial index algorithm, sea ice modeling, scene management, marine simulator

Recommended Citation

Sun Yuhao, Yin Yong, Jin Yicheng, Gao Shuai. Algorithm for Sea Ice Model Scene Management Based on Spatial Index[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(10): 2427-2431.

基于空间索引的海冰模型场景管理算法及应用

孙昱浩, 尹勇, 金一丞, 高帅

(大连海事大学 航海学院, 大连 116026)

摘要: 在航海操纵模拟器的视景可视化建模中, 冰区场景需要的海冰面积非常大, 大量海冰模型在视景场中动态创建模型和底层数据管理需要科学高效的方法, 否则会耗费大量时间和空间资源, 影响整个程序的实时性以及可视化效果。将四叉树空间索引算法应用于航海模拟器视景系统中海冰模型的动态创建和管理, 可以较大程度上减少时间和空间资源的消耗, 提升整个视景系统的流畅性, 优化海冰场景的可视化效果, 为航海模拟器海冰视景场的实时仿真提供了创建和管理基础, 也为冰区模拟器系统后续的船冰交互过程提供了科学高效的数据基础。

关键词: 四叉树空间索引; 海冰建模; 场景管理; 航海模拟器

中图分类号: TP319.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 10-2427-05

Algorithm for Sea Ice Model Scene Management Based on Spatial Index

Sun Yuhao, Yin Yong, Jin Yicheng, Gao Shuai

(Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: In the process of modeling for scene visualization in marine simulator, ice region scene needs plenty of sea ice. Because of the numerous sea ice models, it may cause huge waste of time and space then make the whole simulation system in a poor real-time visualization situation, if there is no scientific or effective method. Applying quad-tree spatial index algorithm to sea ice dynamic modeling and management in ice region scene system of marine simulator, it could reduce consumption of time and space resources, improve the whole system fluency, and optimize the visualization of sea ice scene. And it also provides a foundation which could simulate the ice region scene real-time and the ship-ice interaction effectively.

Keywords: quad-tree spatial index algorithm; sea ice modeling; scene management; marine simulator

引言

现实世界中, 全球海洋约 10% 的区域被海冰覆盖。海冰的存在给航运、海上作业、渔业和油气矿物勘采等海上行为带来了极大的不便和很多安全隐患^[1]。在航海操纵模拟器中加入冰区相关航行视景, 不仅完善了航海模拟器的多功能性^[2], 对相关

海事领域的人员培训、海事评估及科学研究等方面也都起到了不可或缺的作用^[3]。

大规模冰区航行场景的视景仿真一直是国内外研究的热点。目前, 国外研究学者已在该领域做出了很多前瞻性研究并取得了显著的成果^[4-8]。国内对海冰模型的相关的研究主要集中在工程海冰数值模型的分析和应用上^[9-10], 如海冰生成运移特征及物理学性质, 冰与结构相互作用的理论和试验方法等, 在冰区航行的海冰视景的动态建模研究方面仍处于探索阶段, 只有文献^[11-12]做了初步研究。



收稿日期: 2015-06-02 修回日期: 2015-07-30;
基金项目: 国家 863 计划课题(2015AA016404); 海洋公益性行业科研专项(201505017-4); 交通部应用基础研究项目(2014329225370);
作者简介: 孙昱浩(1986-), 男, 辽宁大连人, 博士生, 研究方向为虚拟现实技术。

<http://www.china-simulation.com>

• 2427 •

海冰视景场的建立,不仅需要包括冰区场景应有的天气情况和地形条件,其中实时高效的海冰动态仿真建模一直以来都是大规模冰区场景可视化的重点和难点。因为海冰模型区别于海洋场景中船舶、岸上建筑物以及码头堆场等一般的固定模型,这些模型可以提前离线建好,而且在视景系统中模型本身其表现形式不需要发生任何变化,只正常显示这些即可。现实中,海冰伴随着海洋环境下温度条件的变化,会发生冻结、融化等自然现象,而且由于风浪、船舶与海冰自身的交互作用,海冰会发生破碎、漂浮及堆积等相关景观。所以,对冰区场景的海冰建模仿真必须得有其相对应的实时视景呈现,而且更重要的是,对于大规模海冰场景而言,如何控制管理模型数量、场景范围与整体系统实时性的平衡,利用科学有效的数据组织管理方法提升系统的效率及可持续性。

现阶段的海冰模型可视化研究中,文献[11-12]利用优化后的 Koch 曲线分形算法和随机多边形曾对海冰的视景建模进行了相关探索,并取得了一定成果。但该算法对整体冰区区域的场景管理并没有加以考虑,长时间运行系统后海冰模型会大量重复存在于整个冰区视景场中,消耗了系统资源,影响了实时性。

为了使大规模冰区场景在航海模拟器视景场中可以科学高效的为整个系统服务,需引入一种实时性和应用性更好的海冰模型动态管理算法。

1 四叉树空间索引的引入

在冰区视景系统中,整体海冰视景场是由大量重复的单独海冰模型构成,如果这些模型同时在视景场中加载和绘制,这对视景系统的时间空间资源是一个巨大的浪费,而且会在系统后续的船冰交互过程模拟中极大的影响海冰和船舶的碰撞检测效率。至此,对于整个系统的实时性和可持续性而言,亟需一个科学合理的针对大规模海冰模型数据管理方法。

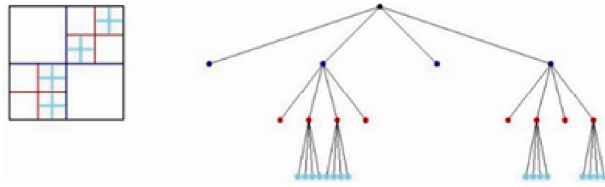
数据结构中的四叉树索引算法是一种常应用于二维空间数据分析和分类的树形数据结构,尤其是在优化点查询和开窗查询等空间查询操作方面,四叉树索引具有独特的优势^[13]。简而言之,四叉树索引方法是对单位二维空间数据四等分,其细分层次的数量由用户根据应用的具体情况而定,最终细分结果可以生成四叉树空间结构。

海冰模型场景的可视化虽然在视觉表现上属于三维空间,但其在冰区视景场整体系统中隶属单层结构,所以在数据结构管理上可以简化视为二维空间数据。视景系统通过对船舶在整个海冰场的具体位置的判断,可以迅速高效的确定其对应的海冰场四叉树空间节点位置,然后根据所在节点位置即时逐层的细化生成四叉树结构,最终形成动态树形空间存储结构。不仅如此,海冰模型由于各种外界条件因素而的生成、破碎、消融、冻结等状态情景,与树形空间结构的存储管理方法非常吻合,这就为四叉树空间索引算法应用于海冰模型的场景管理提供了可能。

2 基于四叉树空间索引动态管理海冰视景场

在四叉树的空间结构中,除叶节点外的每个节点都有 4 个子节点。这 4 个子节点平均地划分它们的父节点所占据的二维空间区域,依次类推,直到该分支的叶节点。在整个海冰模型场景管理中,叶节点不同于其他节点,它没有子节点,是冰区场景中海冰视景建模的最小单位,可以代表一个单独的海冰模型。

如图 1 所示为二维空间数据与四叉树空间索引结构之间互为对照的转换实例。图中,四叉树结构中的每个叶节点即代表冰区视景场中一个单独的海冰模型,在具体系统程序中,四叉树结构生成子节点的过程即为动态生成替换不同大小海冰模型的过程。



(a) 二维空间数据划分 (b) 四叉树空间索引结构

图 1 四叉树空间索引示意图

在视景程序中可以采用 STL(标准模板库)中的 **Vector** 来描述四叉树空间索引的数据结构, 目的是在实现过程中能充分运用 **Vector** 自身的模板函数数据库, 提高程序效率。冰节点 **icenode** 的程序结构具体如下文定义:

```
typedef struct icenode {
    int nodeType;
    //定义块类型为根节点、或是叶节点
    Vertex pointBoundingCoordinates[4];
    //每个节点的边界 4 个点
    Vertex pointMiddle;
    //块的中心点
    icenode* childNode[4];
    //本节点的 4 个子节点指针, 如果已经是叶子节点, 则为空
    double nodeID;
    //本节点 ID
    int parentNodeID;
    //父节点 ID
};
```

```
}ICENODE;
```

从四叉树 **icenode** 的数据结构描述中可以看出, 不仅在当前节点中定义了父子节点对应关系, 而且还定义了其的中心点以及边界点, 这样定义的目的是在海冰层次细节模型中, 可以更方便地对视景物体以外的模型进行简化, 以便加快绘制速度, 提高视景系统效率。

在定义了冰节点之后, 根据船舶在视景场中的位置判断, 就可以动态的控制管理整个海冰模型数据结构了。

视景系统中动态生成整个海冰场的具体流程如图 2 所示, 在视景系统里, 船冰未发生接触时(即船体模型在海冰场外), 整个海冰区域可由一个单独的海冰模型代替, 当船冰发生接触时具体算法如下:

- (1) 事先按四叉树的空间层次划分整个海冰场位置网格;
- (2) 根据船舶位置循环遍历所在海冰场各层, 并判断末层叶节点是否生成;
- (3) 若未生成末层叶节点, 则创建船所在位置层的子节点, 在视景中表现为当前层的每块海冰模型被 4 块子层的模型代替;
- (4) 直至末层的叶节点生成, 循环判断结束, 树形结构的每个叶节点也代表了一个单独的海冰模型。

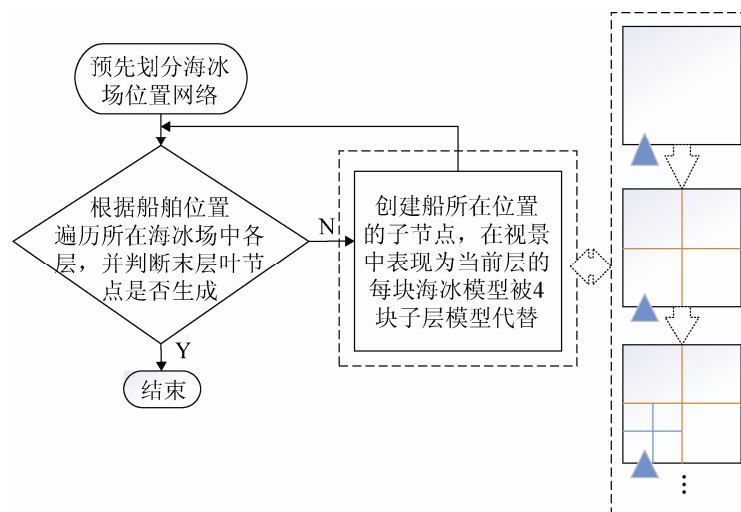


图 2 动态生成整个海冰场的流程图

冰区视景场在冰块重新冰冻阶段,在四叉树空间结构中即逐渐从未层删除叶节点,在二维上可简化表示为化四为一,然后重新生成四叉树路径,此过程是先前生成子节点的逆过程,不加赘述。

经过四叉树空间索引算法划分整个海冰场后,冰区视景中大量的海冰模型就可以高效方便的进行管理操作。

如示意图 3 所示,从加入四叉树空间索引算法前后的海冰场结构对比中可以看出,本算法不仅大大减少了场景中需要预加载模型的时间,优化了系统资源的消耗成本,而且其中每一个叶节点代表一个单独固定的海冰模型,叶节点的位置与海冰在整个冰场中的位置互为匹配,方便了整个冰区视景中海冰模型的动态查询和管理,而且对其后续的破碎、冻结和消融等相关动态过程起到了前期简化的作用。

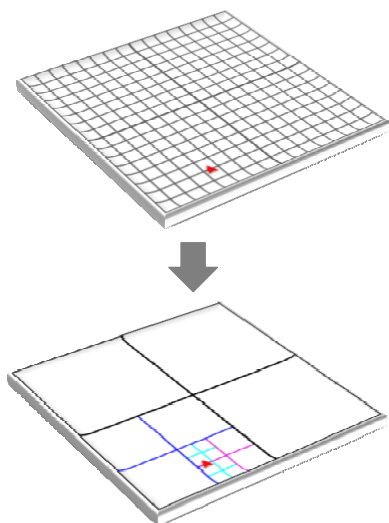


图 3 加入算法前后的海冰场管理示意图

3 运行实例

在基于四叉树空间索引的海冰模型场景管理算法的执行效果测试中,测试使用的机器配置为:CPU 为 Intel E7400,内存大小为 2GB,显卡为 NVIDIA G100。如表 1 所示,将模型按平均网格管理和按四叉树空间索引算法两种方式作了针对加载时间(单位:ms)的对比试验。

表 1 两种算法加载海冰模型时间比较

模型数量	平均网格加载时间(ms)	四叉树索引加载时间(ms)
16×16	594	461
32×32	1,030	487
64×64	4,524	523
128×128	14,354	568

在具体冰区视景的仿真过程中,海冰模型的加载是影响整个系统响应时间的重要因素。上述测试实验中,随着海冰模型数量从 256(即 16×16)、1024(即 32×32)、4096(即 64×64)直至 16384(即 128×128)的逐渐增加,相对于平均网格算法在加载时间剧烈增加(从 594ms 增加至 14,354ms),可以对比看出四叉树空间索引算法在海冰模型加载时间上始终稳定在 500ms 左右,可见该算法在时间和空间资源耗费上大大优于平均网格算法,进而也验证了算法在航海模拟器海冰模型管理中的可用性,最终为冰区的视景整体系统仿真提供了必要的实时性保障。

对冰区视景场中的大规模海冰模型按照四叉树空间索引算法进行管理,应用 OSG 视景引擎进行海冰场的可视化效果验证。其中根据上文图 2 编写以下 4 个功能函数:

```

osg::Vec3getShipBoundingKeyPointsPosition(int idNum);
//取得船轮廓线关键点的位置,用以判断船位计算网格位置;
osg::ref_ptr<osg::Group> creatSubIceGroup(osg::PositionAttitudeTransform *perIcenode, string levelStr);
//生成子节点
void build4subIcebox(int current_level, int current_levelR, int current_levelC, int next_levelR, int next_levelC);
//在 osg 节点管理中,用生成四个子节点替换旧的节点;
void replaceOldIceGroupWith4subIcebox (int current_level, int current_levelR, int current_levelC, osg::Group *IceGroup);
//生成最终层的叶节点;

```

其中海冰建模、碰撞检测和破碎效果等相关内容不是大规模海冰模型管理方面讨论的重点, 故不赘述。如图 4(a)~(c)所示为引入算法后的程序结构效果图, 其中(a)为船舶模型未进入冰区海冰场前, 海冰模型结构示意图效果图; (b)为模拟船舶进入海冰场范围内, 通过二叉树空间索引算法对整体海冰模型进行树形控制, 可见整体海冰区域已经进行了二叉树结构划分, 不一样的颜色用来区分二叉树结构的层次的不同, 每个颜色模型块代表树形结构的一个叶节点; (c)为(b)的俯视效果示意图; 图 4(d)是在上述二叉树空间索引算法的基础上加入海冰纹理、简单碰撞检测和海冰破碎示意效果后的视景程序效果图。

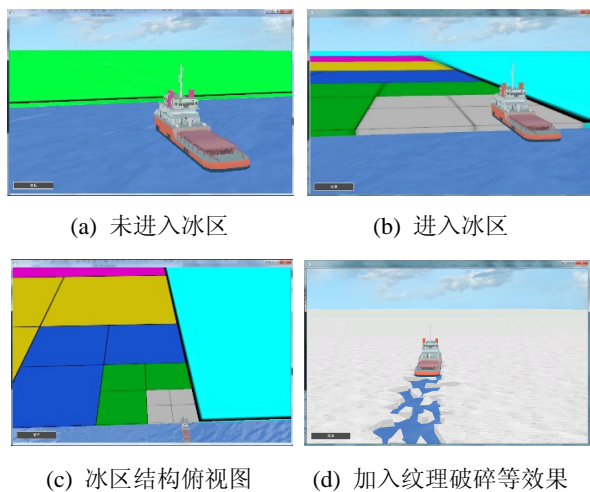


图 4 程序实例

整个冰区视景系统测试程序的帧率可以保证在 60 Hz 左右, 其中动态创建和管理后的大规模海冰模型作为冰区视景的基础能够很好的满足视景系统的实时要求和可视化效果, 而且其空间索引结构对系统的后续工作提供了数据保障。

4 结论

船舶冰区航行相关视景内容是全任务航海模拟器的不可或缺部分, 科学合理的创建和管理海冰场视景是冰区航行模拟器实时性的重要保证。冰区场景需要的海冰面积非常大, 所需的大量海冰模型在动态创建和管理上需要科学高效的方法, 否则会耗费大量时间和空间资源, 影响整个系统的实时性

以及可视化效果。将二叉树空间索引算法应用于大规模海冰模型的动态创建和管理, 可以较大程度上减少系统空间时间资源的消耗, 提升整个冰区视景系统的流畅性, 优化海冰场景的可视化效果, 为航海模拟器海冰视景场的实时仿真提供了创建和管理基础, 也为冰区航行模拟器系统后续的船舶交互过程提供了科学高效的数据基础。

参考文献:

- [1] 彭振武, 王云闯. 北极航道通航的重要意义及对我国的影响 [J]. 水运工程, 2014, 39(7): 86-89.
- [2] 金一丞, 尹勇. STCW 公约马尼拉修正案下的航海模拟器发展战略 [J]. 中国航海, 2012, 35(3): 5-10.
- [3] 中国海事局. 1978 年海员培训, 发证和值班标准国际公约马尼拉修正案 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2010.
- [4] Lau M. Preliminary Modelling of Ship Manoeuvring in Ice Using a PMM [J]. Technical Report (S1883-7263), 2006, 21(4): 31-71.
- [5] Martio J. Numerical Simulation of Vessel's Maneuvering Performance in Uniform Ice [R]// Report No. M-301, Ship Laboratory, Helsinki University of Technology, Finland, 2007. Finland: Helsinki University of Technology, 2007.
- [6] Lubbad R, Løset S. A Numerical Model for Real-time Simulation of Ship-ice Interaction [J]. Cold Regions Science and Technology (S0165-232X), 2011, 65(2): 111-127.
- [7] Transas. NTPRO 5000 Ice Navigation Simulator [EB/OL]. (2015-04-1) [2015-04-1]. <http://www.transas.com/products/NTPROIce>
- [8] Maritime K. Maritime. Ships Bridge Simulators [EB/OL]. (2015-04-1) [2015-04-1]. <http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/5792E29604BB5431C1257D88004748CC?OpenDocument>
- [9] 丁德文. 工程海冰学概论 [M]. 北京: 海洋出版社, 1999.
- [10] 岳前进, 季迎顺. 工程海冰数值模型及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [11] 孙昱浩, 尹勇, 高帅. 航海模拟器中冰区视景的研究 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(1): 49-53.
- [12] 孙昱浩. 航海模拟器中冰区航行视景的研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2011.
- [13] 董鹏, 李津平, 白予琦, 等. 基于改进二叉树索引的矢量地图叠加分析算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(4): 530-534.