

6-2-2020

Combinatorial Optimization of 3D Visualization Simulation Based on Automatic-Correction

Yanyang Zeng

1. College of Computer Science and Technology of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;;

Qingqing Pei

1. College of Computer Science and Technology of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;;

Fengju Kang

2. School of Marine Engineering of Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, 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.

Combinatorial Optimization of 3D Visualization Simulation Based on Automatic-Correction

Abstract

Abstract: In order to enhance the visual simulation results, developers often need to combine and optimize the fine expression of the above entities, terrain and physical field by the individual experience under conditions of limited computer resources. The iterative process of debugging cycle is long, and it is difficult to solve the contradiction between good fidelity and real-time. *So, cybernetics ideas, and proposes semi/fully automatic correction technology were introduced, which is composed of discrete multi-resolution representation of the three-dimensional model, assessment of visual effects and intelligent optimization, providing a decision support method for three-dimensional visual development.* The method was applied to research and develop a typical virtual battlefield environment “the sea battlefield environment”.

Keywords

three-dimensional visualization, automatic-correction, multi-resolution, combinatorial optimization, visualization assessment, battlefield environment

Recommended Citation

Zeng Yanyang, Pei Qingqing, Kang Fengju. Combinatorial Optimization of 3D Visualization Simulation Based on Automatic-Correction[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(9): 1873-1879.

自修正的三维视景组合优化方法

曾艳阳¹, 裴庆庆¹, 康凤举²

(1. 河南理工大学计算机科学与技术学院, 焦作 454000; 2. 西北工业大学航海学院, 西安 710072)

摘要: 在计算机资源有限的条件下, 开发人员通常需要凭借个人的经验对视景开发过程中涉及的实体、地形、物理场等三维模型表达的精细程度等因素进行组合优化, 反复迭代的调试过程周期长, 也难以很好地解决逼真性和实时性的矛盾。引入控制论思想, 提出了由三维模型离散多分辨率绘制及表示、视景效果评估方法、智能优化组合等组成的三维视景半/全自动修正技术, 提供了一种三维视景开发的辅助决策方法, 并成功地应用于典型虚拟海战场视景生成中。

关键词: 三维视景; 自修正; 多分辨率; 组合优化; 视景评估; 战场环境

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017) 09-1873-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201709001

Combinatorial Optimization of 3D Visualization Simulation Based on Automatic-Correction

Zeng Yanyang¹, Pei Qingqing¹, Kang Fengju²

(1. College of Computer Science and Technology of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. School of Marine Engineering of Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In order to enhance the visual simulation results, developers often need to combine and optimize the fine expression of the above entities, terrain and physical field by the individual experience under conditions of limited computer resources. The iterative process of debugging cycle is long, and it is difficult to solve the contradiction between good fidelity and real-time. So, cybernetics ideas, and proposes semi/fully automatic correction technology were introduced, which is composed of discrete multi-resolution representation of the three-dimensional model, assessment of visual effects and intelligent optimization, providing a decision support method for three-dimensional visual development. The method was applied to research and develop a typical virtual battlefield environment "the sea battlefield environment".

Keywords: three-dimensional visualization; automatic-correction; multi-resolution; combinatorial optimization; visualization assessment; battlefield environment

引言

随着计算机图形技术的快速发展, 三维视景仿真技术并得到了广泛的应用。三维视景仿真技术通

过结构信息、图像、计算机图形学和体视特征等的表示和实时生成等技术来呈现虚拟环境, 并获取逼真度的视觉效果; 为用户建立一个实时、逼真、具有交互性的环境。三维视景仿真技术主要体现在复杂数据信息的三维可视化, 它是放大人类感知图形化的表示方法^[1], 其对信息的处理和表达有其它方式无法取代的优势, 有可视性、交互性和多维性等特征^[2-4]。



收稿日期: 2017-05-18 修回日期: 2017-07-18;
基金项目: 国家自然科学基金(61503124);
作者简介: 曾艳阳(1987-), 男, 河南固始, 博士, 讲师, 研究方向为仿真方法及应用; 裴庆庆(1994-), 女, 河南商丘, 硕士生, 研究方向为仿真技术; 康凤举(1947-), 男, 江苏南通, 教授, 博导, 研究方向为系统仿真实论及应用。

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

• 1873 •

由于视景仿真技术不断向军事领域渗透,传统的训练观念和方式正面临革命性的改变。模拟训练系统已成为全军作战仿真软件研制和开发需求的重要部分。其中,战场环境仿真是作战仿真的重要内容,逼真的战场环境实时仿真技术是作战仿真的基础,能够有效增加训练人员的沉浸感,提高仿真训练效果,并为作战评估、保障分析等提供有力的仿真平台,为军事演习和实战提供技术指导。但受计算机硬件条件和相关技术的发展水平限制,战场环境的视景仿真开发过程尚存较大困难。因此,研究快速、逼真的三维视景技术对质量和速度等要求较高的战场环境仿真应用来说,无疑具有重要的意义。三维视景辅助开发技术为解决上述问题带来积极的影响,因此本文提出了自修正的三维视景组合优化技术。

在三维模型多分辨率建模方法方面,三维模型多分辨率建模方法,文献[5]提出了离散 LOD 结构表示方法,为每个场景图节点中所包含的模型集合构建离散多分辨率表示。文献[6]提出了渐进网格的聚类层次结构表示方法,提供两个层次的细化表示,即渐进网格和簇的细化,在降低更新代价的同时保证了绘制质量。上述方法可以为三维模型的多分辨率建模提供若干理论方法,但是还应该加强对不同分辨率模型的内部属性的分析和设计。在三维视景效果评估方法方面,如对虚拟场景的三维几何模型逼真度采用 AHP 评估方法、行为逼真度和时空逼真度采用主观评估的方法,而对电磁、水声、红外等能量场的逼真度采用图像特征分析法进行评估。在组合优化解决方法方面,部分学者引入人工智能来解决组合优化问题。文献[7]提出一种新的组合优化方法-组合优化多智能体进化算法,设计了智能体的竞争行为与自学习行为。通过理论分析证明所提方法的全局收敛性,且方法有较快的收敛速度。此外,还有采用粒子群算法、遗传算法、神经网络等进行组合优化问题的研究^[8-9]。

综合上述国内外研究现状,由于虚拟战场环境

中研究的武器实体种类多、地形规模大、物理场难以直观表达等因素,并为了提高视景仿真的逼真度和画面质量,开发人员通常需要凭借个人的经验对视景组合过程中涉及的实体、地形、物理场等三维模型表达的精细程度反复调试,这样导致模型层级和视点的反复迭代调试过程周期长,也难以很好地解决逼真性和实时性的矛盾。总的来说,上述的 LOD 技术、视景评估 AHP 方法与组合优化方法等被单独、零散的提出,并没有系统的提出三维视景开发的闭环修正过程。为此,本文研究由三维模型离散多分辨率表示、视景效果评估方法、智能优化组合方法等组成的三维视景半/全自动修正技术的设计方法,为三维视景高效地开发提供一种辅助决策方法。

1 方法的提出

引入控制论思想,提出由三维模型离散多分辨率绘制及表示、视景效果评估方法、智能优化组合方法等组成的三维视景半/全自动修正技术,将仿真可视化开发从开环过程转化为闭环,提出一种可组合、迭代修正的三维视景开发新方法,如图 1 所示。自修正三维视景组合优化技术总体设计方法包括 3 个环节:(1) 完成三维模型的多分辨率绘制及表示;(2) 提出三维视景效果的评估指标和评估方法;(3) 建立依据三维视景效果的评估结果自动搜索、匹配候选模型的组合方案。其设计原理为:首先,建立三维实体的多分辨率模型组合方案,通过绘制引擎及加速等方法建立一个典型的三维视景仿真系统,然后根据视景效果评估指标和方法评估该系统的综合评估指标值,并提供给模型组合优化决策方法,最后通过该方法对多分辨率模型组合方案中各模型进行搜索、匹配、重组,经过不同分辨率模型的迭代修正、组合后再次绘制的系统达到更逼真的视景仿真效果。这样,总体设计方法由 4 部分组成,分别为多分辨率的三维模型组合、三维视景效果评估、组合优化决策和三维视景仿真系统。

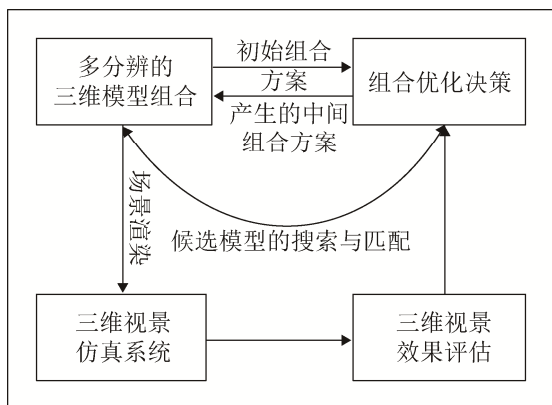


图 1 自修正三维视景组合技术的设计思路
Fig. 1 Design ideas of combinatorial optimization

在组合优化技术中引入“粒子”概念来表达各分辨率层级模型的组合, 一个粒子代表多个模型的不同分辨率的一种组合方式, 这样所有的组合就构成了“粒子群”^[10]。上述技术目的是在一定的粒子区域内进行全局寻优: 从初始粒子的样本集出发, 利用三维视景效果评估当前粒子来寻找新的粒子, 逐步接近理想的效果。

其中, 对粒子的评价转化为对其所渲染场景的逼真度和画面质量的评估, 包括基于逼真度指标体系的主客观评估和基于图像信息熵、边缘熵与帧频的纯客观评估。在视景效果的评估中引入用户的主观评估, 是将用户的直观感知能力与方法设计相结合, 根据客观方法得来的评估值来调整粒子的搜索方向, 这样可以改善三维视景系统的设计、实时交互等, 使其与人的能力和需求之

间有更好的融合。这里的组合优化的对象有两方面的含义: 一方面为多分辨率模型和视点的可组合性, 另一方面为三维视景效果评估指标的可组合性。自修正方法包括半自动修正和全自动修正两种方式。

2 方法的实现

技术方案的提出主要是依据主客观视景评估(半自动修正)与纯客观视景评估(全自动修正), 可以完成模型多分辨率表示+半自动视景评估+组合优化、模型多分辨率表示+全自动视景评估+组合优化 2 种方法。

2.1 半自动视景评估+自修正技术方案

半自动视景评估+自修正技术方案简称为半自动修正方法, 它采用基于人的在线评估和客观评估相结合的方法, 主要体现在三维视景效果的主客观评估方法, 如图 2 所示。

主客观三维视景效果评估主要包含 2 个阶段, 第一个阶段需要确定仿真场景中所含指标并人工完成指标的赋值, 第二阶段利用客观评估方法如灰色聚类等进行指标值的归一化处理。经过上述 2 个阶段, 得到三维视景效果综合评估值并传递给组合优化决策方法。在此过程中, 只需人工进行指标赋值, 其他过程自动完成, 形成了半自动修正的组合优化过程。

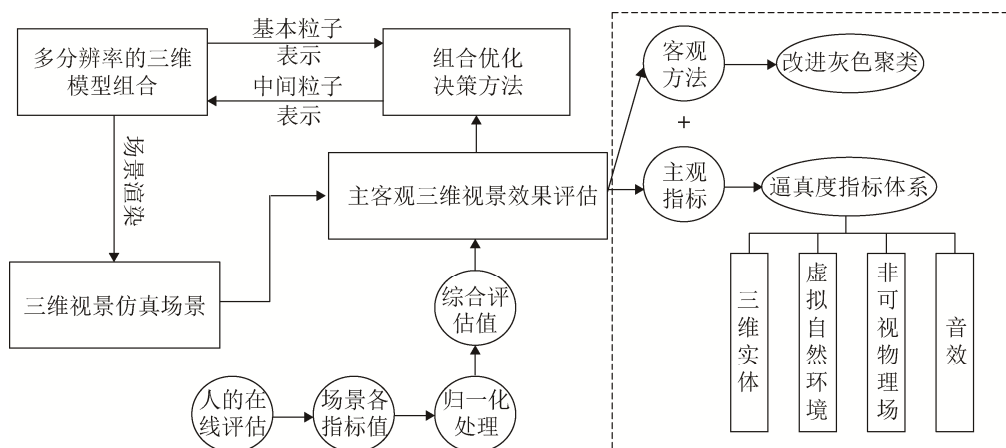


图 2 半自动修正的三维视景组合优化方法
Fig. 2 Combinatorial optimization based on semi-automatic correction

2.2 全自动视景评估+自修正技术方案

全自动视景评估+自修正技术方案简称为全自动修正方法，它依赖纯客观因素的评估，主要体现在三维视景效果的纯客观评估方法，如图 3 所示。纯客观三维视景评在方法执行过程中避免人的参与，综合考虑三维场景图像绘制质量与信息熵特性之间的关系，提出利用图像处理方法进行图像信息熵、图像边缘熵

的计算，通过专家知识和理论模型相结合的方法进行各指标值赋权，归一化处理得到三维视景效果综合评估值并传递给组合优化决策方法。

2.3 方法的转化过程

总体设计方法中的多分辨率的三维模型组合、组合优化决策可转化为编码/解码器、求解器，这样转化后的总体设计方法如图 4 所示。

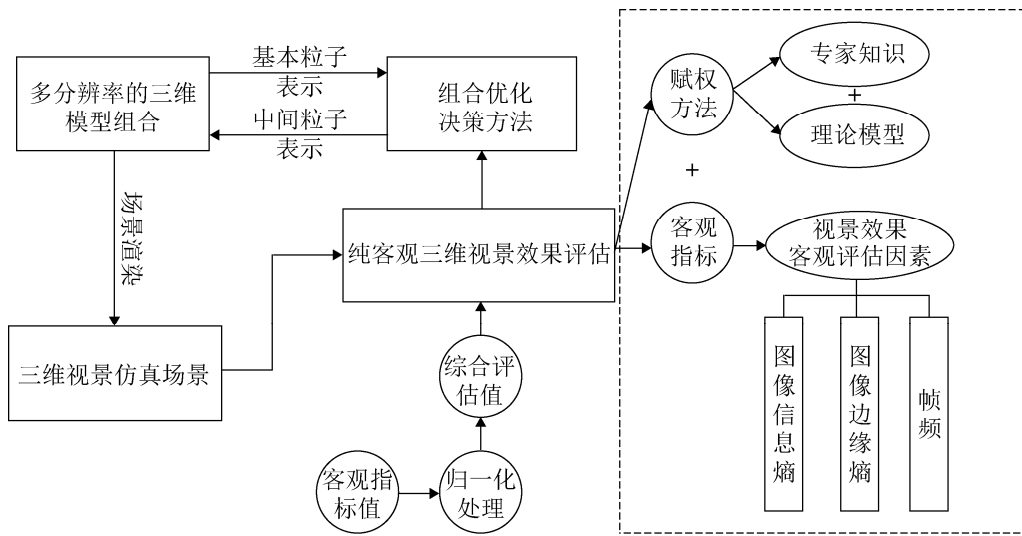


图 3 全自动修正的三维视景组合优化方法

Fig. 3 Method of optimization 3D vision combination with automatic correction

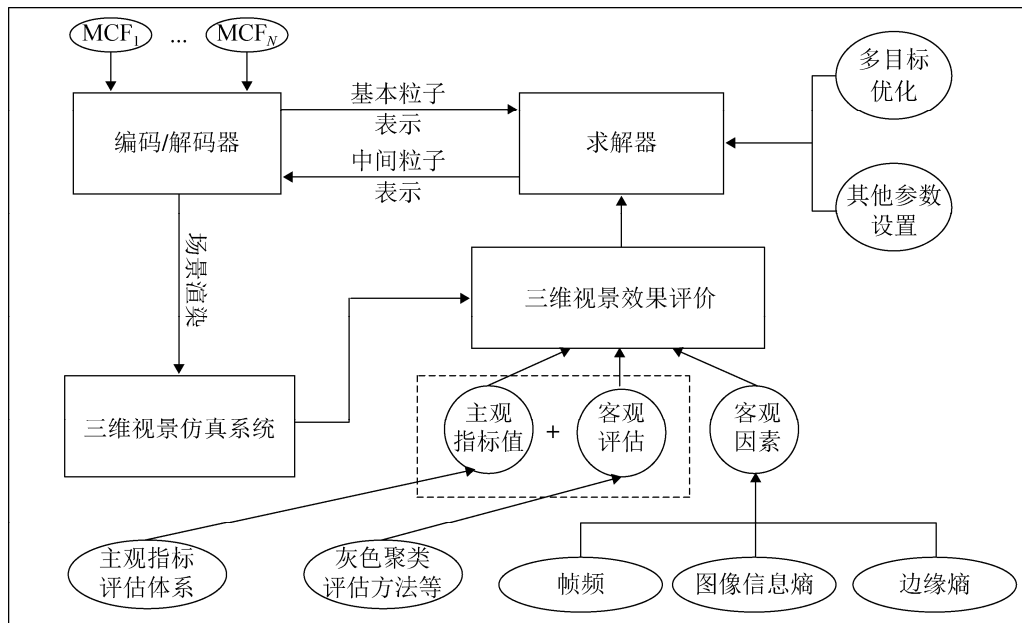


图 4 转化后的自修正三维视景组合优化方法

Fig. 4 Transformation of self-modified 3D vision combination optimization method

编码/解码器的工作有两部分: 一部分是将输入的多分辨率模型组合的集合($MFC_i, 1 \leq i \leq N$)进行编码, 并把得到的粒子集传给求解器; 另一部分是将由求解器生成的中间粒子集进行解码, 并把得到的候选多分辨率模型组合的集合传给场景渲染模块。场景渲染模块将按候选的多分辨率模型组合逐一进行绘制, 并将绘制的画面输出至三维视景效果评估模块。

求解器的主要工作是根据编码/解码器的输出以及三维视景效果评估模块输出的评价生成中间粒子集。它需要对模型的分辨率层级与视点的组合优化进行计算、分析, 并与其他粒子集输出的数据进行比较, 它解决的是模型的分辨率层级与视点的组合优化的 NP 完全问题。在各指标权重一定的情况下, 使综合指标值最大, 这样求解器可以转化为求解多目标优化问题。

按照上述过程, 转化后的方法可概括为以下 3 个部分: 输入、迭代寻优、输出, 基本过程如图 5 所示。

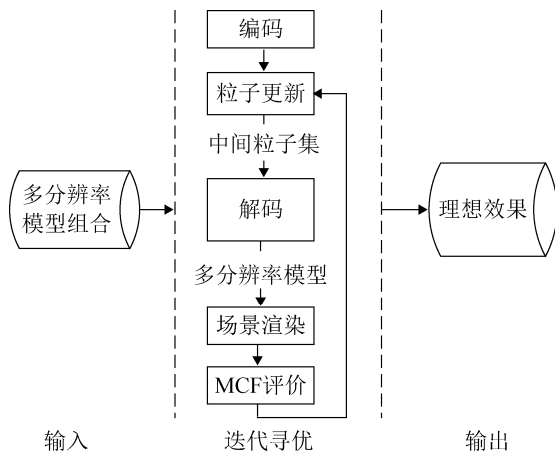


图 5 自修正的三维视景组合优化技术基本过程
Fig. 5 Basic process of optimization of 3D vision combination with self-correction

从初始模型的分辨率层级组合的集合到符合用户满意的理想场景渲染效果, 中间需要经过多次的迭代, 是一个逐步寻优的过程。整个优化过程从初始粒子样本集出发, 需要进行粒子适应度和粒子更新的计算, 以生成新的粒子。

在多分辨率模型组合方法选择过程中, 首先必须根据实际问题进行编码, 使粒子能表示问题的解, 因此将组合方法编码为一个粒子。每个粒子可以有多个属性, 这取决于解的编码方式。

粒子的属性数即维数等于组合模型的个数, 即:
$$N(p) = N_{mcf} \quad (1)$$

式中: $N(p)$ 是粒子的维数; N_{mcf} 是组合优化过程中实体的个数。

假设 $N_{mcf} = m$, 则粒子在第 i 次迭代时的 m 维编码表达式为:

$$p(i) = \{s_1(x), s_2(x), \dots, s_i(x), \dots, s_m(x)\} \quad (2)$$

式中: $s_i(x)$ 为第 m 个实体的分辨率层级数。

解码操作是根据粒子的编码方式进行反向处理, 获取编码前的解形式。在对粒子进行评价前, 必须对粒子进行解码操作, 以获得组合实体的分辨率层级数。

3 基于虚拟海战场场景的算例

本文在上述开发过程中, 对下述典型的场景使用半自动化的修正组合技术进行应用。典型场景为直升机从水面舰起飞进行探潜。该场景包含了一架直升机、一艘潜艇和大规模海浪, 采用半自动修正组合技术进行场景各实体模型的分辨率层级和视点的优化组合。

3.1 典型的海战场仿真假定

假定参与作战仿真实体有:

红方: 作战平台: 潜艇; 装载武器: 鱼雷; 装载传感器: 声呐。

蓝方: 作战平台: 反潜直升机; 装载武器: 空投鱼雷; 装载传感器: 吊放声呐。

初始态势想定为: 以红方潜艇与蓝方直升机在某一海域作战为背景, 仿真开始时, 潜艇在某一海域低速巡逻; 舰载反潜直升机在潜艇必经阵地进行巡逻、搜索, 协同反潜, 通过友军的舰载声呐对潜艇进行探测, 舰载反潜直升机配置在潜艇来袭的方位, 并使用吊放声呐进行搜索, 准备

对潜艇进行攻击。

3.2 半自动修正方法的应用与分析

设置初始样本集合： R 为固定值 300， $\theta=0$ ， $1\times 90^\circ$ ， $2\times 90^\circ$ ， $3\times 90^\circ$ ， $\delta=81^\circ$ 。这里的 θ 与场景中模型的分辨率组合方式总共有 $6\times 5\times 5\times 4$ 个，即场景的最佳组合是从这 600 个样本集中选择。考虑的对应的评估指标主要有：潜艇与直升机的线框分辨率(I11)、纹理(I12)、光照(I13)、颜色(I14)；海浪生成算法(I221)、海面纹理(I222)、光照海面(I223)、海洋特殊效果(I224)。对应的参数设置如表 1 所示。

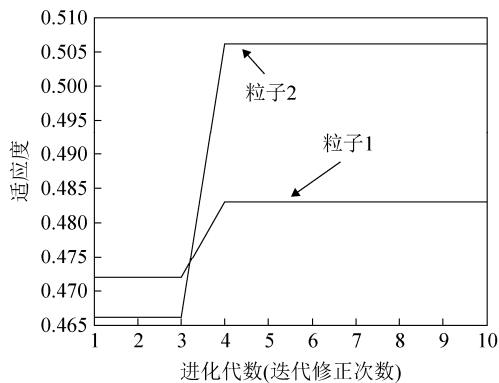
表 1 对应的参数设置

Tab. 1 Corresponding parameter settings

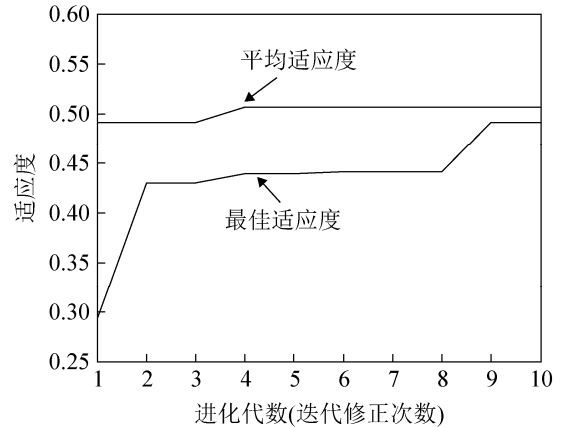
种群规模	粒子维数	最大的迭代次数	取值范围
2	3	10	各模型的分辨率和 θ 层级

采用半自动修正的组合优化方法，各粒子的适应度变化情况如图 6(a)所示，该图为 2 个粒子的适应度变化曲线。图 6(b)为组合优化过程中 2 个粒子平均适应度和最佳适应度变化曲线。

迭代得到的最优解及其绘制图像分别如图 7(a), (c), (e), (g)和 7(b), (d), (f), (h)所示。其中每一行代表每次迭代中的第一个、第二个粒子，每列代表某个粒子的到达最优解时的迭代过程。绘制图像的最优解为第 4 代中的第 2 个粒子，各模型的分辨率和 θ 的层级分别为 4, 4, 3, 4。图 8 分别表示第一个粒子和第二个粒子分辨率和 θ 层级选择的寻优过程。



(a) 2 个粒子适应度变化曲线



(b) 平均适应度和最佳适应度变化曲线

图 6 2 个粒子的组合优化适应度变化曲线

Fig. 6 Adaptability changes of 2 particles

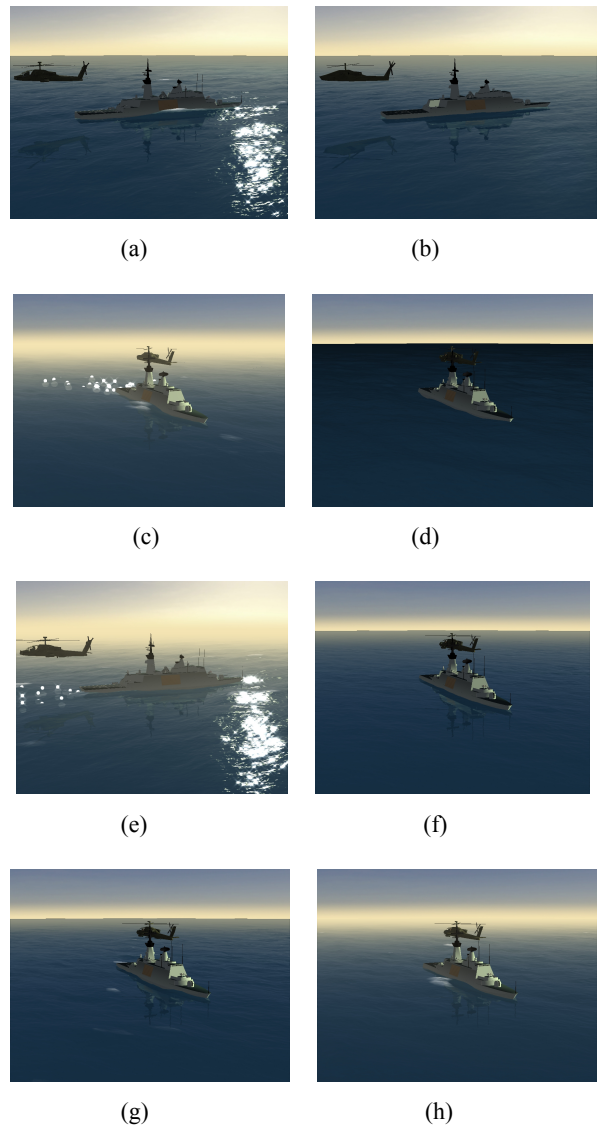
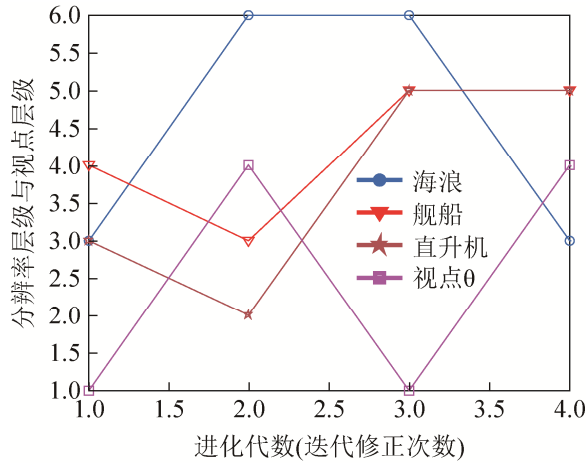
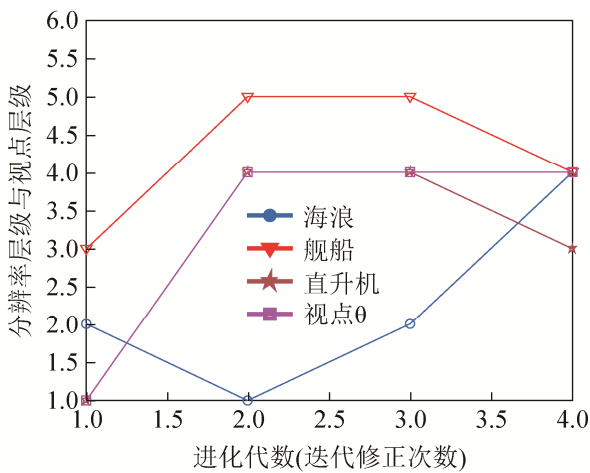


图 7 半自动组合优化过程中的图像序列

Fig. 7 Image sequence of semi-automatic correction



(a) 第一个粒子的寻优过程



(b) 第二个粒子的寻优过程

图 8 第一个粒子和第二个粒子分辨率和视点 θ 层级选择的寻优过程Fig. 8 Optimization process of first particle and second particles' level selection of resolution and viewpoint θ

4 结论

提出了总体设计方法的设计思路, 由 3 个环节和 4 个部分组成, 从半自动化修正和全自动修正两方面详细论述了该方法的具体实现过程, 并通过编码/解码器与求解器的设计实现了方法的转化及组合优化的求解决策过程。所提方法能较好地应用于海战场视景开发过程中, 缩减用户可视化操作的工作量, 最终有效的提高了视景效果同时也兼顾了实时性, 在战场环境仿真的智能化方面做出了有益的探索。

参考文献:

- [1] Riccardo Mazza. Introduction to information visualization [M]. Germany: Springer, 2009: 30-80.
- [2] Johnson C. Top scientific visualization research problems [J]. IEEE Computer Graphics and Applications (S0272-1716), 2004, 24(4): 13-17.
- [3] Chen C M. Top 10 unsolved information visualization problems [J]. IEEE Computer Graphics and Applications (S0272-1716), 2005, 25(4): 12-16.
- [4] 汪成为, 高文, 王行仁. 灵境(虚拟现实技术)的理论、实现及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1997: 7-10. (Wang Chengwei, Gao Wen, Wang Xingren. The Theory of Realization and Application of Spiritual Environment (Virtual Reality Technology) [M]. Beijing, China: Tsinghua University Press, 1997: 7-10.)
- [5] Erikson C, Manocha D, Baxter W V. HLODs for faster display of large static and dynamic environments [C]// Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, New York, USA. USA: ACM, 2001: 111-120.
- [6] Yoon S E, Salomon B, Gayle R, et al. Quick-VDR: interactive view-dependent rendering of massive models [C]// Proceedings of the IEEE Visualization, Austin, USA. USA: IEEE, 2004: 131-138.
- [7] 钟伟才, 刘静, 刘芳, 等. 组合优化多智能体进化算法 [J]. 计算机学报, 2004, 27(10): 1341-1353. (Zhong Wei Cai, Liu Jing, Liu Fang, et al. Combinatorial Optimization Using Multi-Agent Evolutionary Algorithm [J]. Chinese Journal of Computers, 2004, 27(10): 1341-1353.)
- [8] 马文龙, 王铮, 赵燕伟. 基于改进蚁群算法的制造云服务组合优化 [J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(1): 113-121. (Ma Wenlong, Wang Zheng, Zhao Yanwei. Optimizing servers composition in cloud manufacturing based on improved ant colony algorithm [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(1): 113-121.)
- [9] 夏亚梅, 程渤, 陈俊亮, 等. 基于改进蚁群算法的服务组合优化 [J]. 计算机学报, 2014, 35(2): 270-281. (Xia Yamei, Chen Bo, Chen Junliang, et al. Optimizing servers composition based on improved ant colony algorithm [J]. Chinese Journal of Computers, 2014, 35(2): 270-281.)
- [10] Zhang Junhao, Xia Pinqi. An improved PSO algorithm for parameter identification of nonlinear dynamic hysteretic models [J]. Journal of Sound and Vibration (S0022-460X), 2017, 389: 153-167.