

8-3-2020

Combinatorial Optimization of Resolution Level in Three-dimensional Visualization

Yanyang Zeng

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

Zhenhai Yu

2. *Systems Engineering Institute of China Shipbuilding, Beijing 100941, China; ;*

Weidong Liu

3. *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 Resolution Level in Three-dimensional Visualization

Abstract

Abstract: In the process of developing three-dimensional visualization, it is necessary to select and adjust the combined solutions of the resolution hierarchy of multiple models. If only by artificial attempting will lead to the more times of iteration and lower design efficiency, therefore, *a method, combinatorial optimization of models' resolution level, is proposed. Image information entropy is introduced for evaluating the image quality of the scene. According to the assessed value of visual effects and it is provided to the above method based on particle swarm optimization (PSO), the models with the resolution hierarchy can be matched and reorganized. Through the iterative correction and combination, the new drawn scene achieves a more realistic visual result. And the intelligent optimization of the resolution level of models is achieved.* Simulation results show that this method is effective to reduce the number of evaluations and eliminates redundant portfolio of computing, the final scene which is drawn by the optimal combination solution can be quickly obtained.

Keywords

3D visualization, resolution level of model, combinatorial optimization, image information entropy, PSO

Recommended Citation

Zeng Yanyang, Yu Zhenhai, Liu Weidong. Combinatorial Optimization of Resolution Level in Three-dimensional Visualization[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(8): 1809-1814.

三维视景分辨率层级的组合优化方法

曾艳阳¹, 余振海², 刘卫东³

(1. 河南理工大学计算机科学与技术学院, 焦作 454000; 2. 中国船舶工业系统工程研究院, 北京 100941; 3. 西北工业大学航海学院, 西安 710072)

摘要: 在三维视景开发过程中选择和调整多个模型分辨率层级的组合方案时, 若凭借人工尝试会导致反复迭代次数的增加和整体设计效率的低下, 为此, 提出了一种分辨率层级组合优化方法。引入图像信息熵对场景渲染图像的质量评估, 把视景效果的评估值作为适应度值, 进行粒子群算法(PSO)的模型组合优化。通过该方法对各分辨率层级的模型组合进行搜索、匹配和重组, 经过不同分辨率模型的迭代修正, 组合后再次绘制的场景达到更逼真的视景仿真效果。仿真实验结果表明, 该方法有效地减少了评估次数, 并消除了冗余组合的计算, 最终能够快速获取最优组合方案形成的场景。

关键词: 三维视景; 模型分辨率层级; 组合优化; 图像信息熵; 粒子群

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 08-1809-06

Combinatorial Optimization of Resolution Level in Three-dimensional Visualization

Zeng Yanyang¹, Yu Zhenhai², Liu Weidong³

(1. College of Computer Science and Technology of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. Systems Engineering Institute of China Shipbuilding, Beijing 100941, China; 3. School of Marine Engineering of Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In the process of developing three-dimensional visualization, it is necessary to select and adjust the combined solutions of the resolution hierarchy of multiple models. If only by artificial attempting will lead to the more times of iteration and lower design efficiency, therefore, a method, combinatorial optimization of models' resolution level, is proposed. Image information entropy is introduced for evaluating the image quality of the scene. According to the assessed value of visual effects and it is provided to the above method based on particle swarm optimization (PSO), the models with the resolution hierarchy can be matched and reorganized. Through the iterative correction and combination, the new drawn scene achieves a more realistic visual result. And the intelligent optimization of the resolution level of models is achieved. Simulation results show that this method is effective to reduce the number of evaluations and eliminates redundant portfolio of computing, the final scene which is drawn by the optimal combination solution can be quickly obtained.

Keywords: 3D visualization; resolution level of model; combinatorial optimization; image information entropy; PSO

引言

在对具有复杂场景的三维视景开发过程中, 由



收稿日期: 2015-05-15 修回日期: 2015-07-09;
基金项目: 高等学校重点科研项目(15A520018);
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; 余振海(1976-), 男, 河南固始, 本科, 高工, 研究方向为现代仿真技术; 刘卫东(1962-), 男, 博士, 教授, 博导, 研究方向为计算机控制、系统仿真技术。

于场景中包含的三维模型较多且复杂, 庞大的成像开销严重影响工作效率, 计算机硬件无法满足它的大容量存储的要求, 需要消耗更多的绘制时间进行数据的交换, 因此近年来人们对绘制加速技术进行了广泛的研究。为了获得理想的视觉效果和实时性, 研究者们提出了一些场景中模型管理的方法。文献[1]提出一种基于外存的网格简化和基于视点

的细节层次(LOD)控制方法,实现了针对大型网格模型的基于视点的选择性绘制;文献[2]通过基本八叉树的视点相关 LOD 策略来管理动态模型,实现了动态地质现象的可视化;文献[3]提出基于人工神经网络的 LOD 方法实现三维模型部件的搜索功能。此外还有如单元分割法、脱线预计算及内存管理技术等^[4-6]。总的来说,一个模型可以用不同分辨率来表示,根据场景的切换选用不同分辨率的模型。在上述方法中一般根据模型在屏幕上覆盖像素的多少选择相应的层次:当视点离物体很近时,模型形成的图像在屏幕占据较大的像素,会选择使用精度较高的模型,即分辨率较高的模型;当视点拉远时,该模型的图像在屏幕上的像素就较少,用大量的多边形面来表示交精细的模型是不必要的。而在一个复杂的绘制场景中,可能存在多个模型,假如每个模型都按上述方法来选择分辨率,那么整个场景的视觉效果和实时性都有一定的影响。为了改善这样问题,开发人员手工的不断的选择和调整多个模型分辨率级别的组合方案,这样会导致反复迭代的次数增加和设计效率低下。

为此,本文首先引入图像处理中的图像信息熵对绘制的画面质量进行评估,然后根据视景效果评估值作为适应度值,进行粒子群算法的模型分辨率级别的智能迭代和选择,经过不同分辨率模型的迭代修正、组合后再次绘制的场景达到更逼真的视景仿真效果,来实现模型分辨率级别的智能优化,最终得到适应度值最大的一组模型分辨率的组合方案。另外,在智能算法的选择过程中,PSO^[7]算法相对其他智能优化算法拥有规则简单,容易实现,收敛速度快,有很多变种方法可以避免陷入局部最优等特点,并且算法中可调节参数少,对于参数的选择已经有成熟的理论研究成果^[8-9],开发人员可以快速的实现。

需要指出的是本文的模型分辨率指的是离散的方式。一般的多分辨率表示方式包括连续的和离散的两种。连续多分辨率表示,其组织方式较复杂且切换代价较高,但是绘制质量相对较好;离

散多分辨率表示按物体切换,其组织方式简单且切换代价低,但是绘制效果较差。选择分辨率的表示方法一般依赖于虚拟场景的类型,而离散多分辨率表示适用于由大量小模型组成的大规模场景,而不适用于单一场景,符合本文的研究内容。

1 基于 PSO 的组合优化决策方法

1.1 图像信息熵的引入

信息熵被 John Zachary^[10]使用在图像中,图像的颜色直方图被看成是概率密度函数。假设 p_i 表示被量化颜色 i 的像素在整幅图像中所占的百分比。图像的信息熵是一种特征的统计形式,它反映了图像中平均信息量的多少。从而图像 IMG 的信息熵的一维灰度熵可表示为:

$$E(IMG) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i) \quad (1)$$

式中: i 表示像素的灰度值, $0 \leq i \leq 255$ 。

本文采用灰度图作为概率密度函数,则图像信息熵表示为图像灰度级集合的位平均数,描述了图像信源的平均信息量,则图像 IMG 的信息熵表达式为:

$$H(IMG) = - \sum_{i=1}^{\text{width}} \sum_{j=1}^{\text{height}} p(i, j) \log_2 p(i, j) \quad (2)$$

$$p(i, j) = x(i, j) / \sum_{i=1}^{\text{width}} \sum_{j=1}^{\text{height}} x(i, j)$$

式中: width , height 分别是图像的宽和高,表示场景绘制的图像大小; $x(i, j)$ 为图像的在 (i, j) 处的灰度值。

1.2 基本流程

首先要确定初始的多分辨率模型组合方案的集合,然后对各个多分辨率模型集合行采样,根据采样的组合方案绘制视景场景,通过评估场景画面得到的评估值进行 PSO 算法的迭代,最后逐步得到最优化的结果。每一个组合方案都是粒子在搜索空间中的位置,所有的粒子都有一个被优化的函数决定的适应值,所以本文的适应度函数即为图像信息熵函数。粒子的速度值决定模型分辨率级别选择的

方向和距离, 整个组合方案追随当前的代表最优组合的粒子在解空间中搜索。

PSO算法的流程为: 在 m 维的搜索空间中, 随机分布的 n 个粒子组成一个初始粒子群, 每个粒子有各自的位置 $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}$ 和速度 $v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im}$, $i=1, 2, \dots, n$ 。每个粒子在迭代过程中找到的最优位置为 $pBest(i)=p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im}$, 整个粒子群迄今为止搜索到的最优位置为全局最优解为 $gBest=pg_1, pg_2, \dots, pg_m$ 。

结合 PSO 算法, 本文的组合优化算法流程可概括为图 1 所示, 包括多分辨率模型的编码和组合方案的初始化、粒子更新、解码、场景绘制以及粒子评价等过程。其步骤可概括如下:

Step1: 对多分辨率层级选择的组合优化问题进行

编码。每个粒子即为一种分辨率模型组合方案, 需确定粒子的各属性值, 粒子的个数、维数等。

Step2: 按粒子个数初始粒子种群。

Step3: 计算初始样本集中每个粒子的适应度, 并将其赋值给个体最优解 $p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im}$ 。

Step4: 通过各粒子的个体最优解的比较, 确定初始样本集的全局最优解 pg_1, pg_2, \dots, pg_m 。

Step5: 如没有找到满意的解时:

(1) 计算每个粒子的速度, 并更新它的位置;

(2) 计算每个粒子的适应度值, 并将其与 $p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im}$ 进行比较, 若该值较大, 则用其更新 pg_1, pg_2, \dots, pg_m ;

(3) 确定全局最优解。

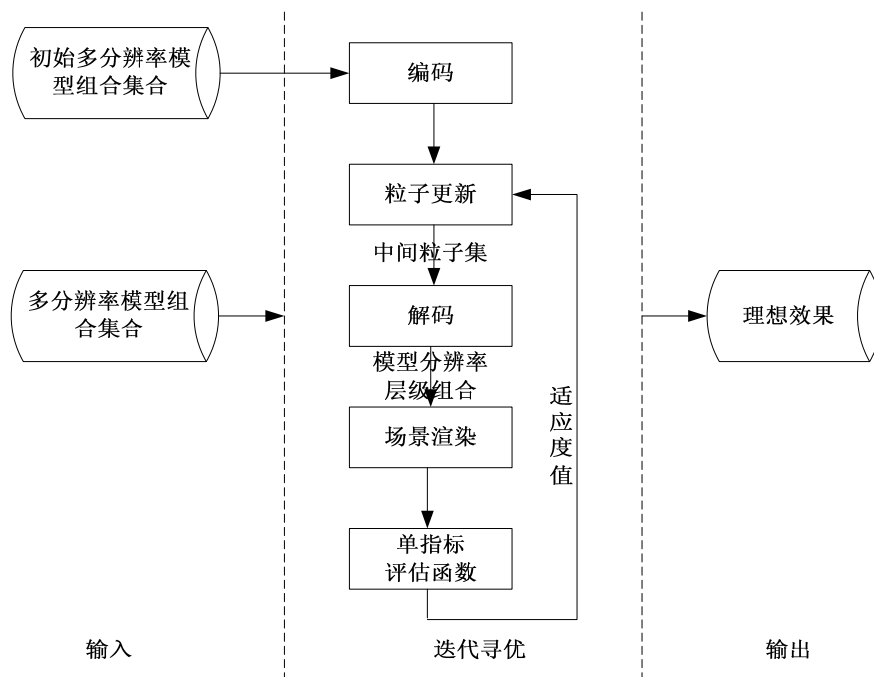


图 1 基于 PSO 的组合优化决策方法基本流程

1.3 编码和初始化

设第 t 次迭代寻优时的粒子样本集为 $P(t)=\{p_1(t), p_2(t) \dots, p_N(t)\}$, N 是样本集的尺寸大小。初始样本集 $P(0)$ 通过随机选择模型层级组合方案来确定, 这样可以保证粒子分布的随机性。根据三维模型的数量进行编码, 使粒子能表示问题的解, 本

文粒子的属性数即维数等于三维视景中的模型个数, 即:

$$N(p_i(t)) = N_E \tag{3}$$

式中: $N(p_i(t))$ 是粒子的维数; N_E 是三维可视化中实体个数。

假设 $N_E=m$, 则粒子 i 在第 t 次迭代寻优时的 m 维编码表达式为:

$$\begin{aligned}
 p_i(t) = \{ & \\
 & Level(s_1(x_1, y_1, z_1), \dots, s_m(x_1, y_1, z_1)) \\
 & Level(s_1(x_2, y_2, z_2), \dots, s_m(x_2, y_2, z_2)) \\
 & \vdots \\
 & Level(s_1(x_n, y_n, z_n), \dots, s_m(x_n, y_n, z_n)) \} \quad (4)
 \end{aligned}$$

式中: $s_j(x_i, y_i, z_i)$ 是样本点 i 的标量值, $Level(s_1(x_i, y_i, z_i), s_2(x_i, y_i, z_i), \dots, s_m(x_i, y_i, z_i))$ 是各三维模型的分辨率层级值。这 2 个取值范围可以在 PSO 的参数设置中定义。

1.4 优化过程

从初始多分辨率模型组合的集合到达到开发人员满意的模型组合方式, 中间需要经过多次的迭代, 这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。假定新产生的样本集是 $P(t)$, 包含的粒子为 $p_i(t) (i=1, 2, \dots, N)$, 产生的中间绘制图像为 $IMG(t)$ 依次对每个粒子进行评价, 得到适应度值 $Fit(p_i(t))=H(IMG(t))$, 随后对粒子 $p_i(t)$ 和粒子个体最优解 $pBest(i)$ 的适应值进行比较。

如果 $Fit(p_i(t)) > Fit(pBest(i))$, 则更新 $pBest(i)$ 的值为 $p_i(t)$, 并比较粒子 $p_i(t)$ 和粒子 $gBest$ 的适应值, 如果 $Fit(p_i(t)) > Fit(gBest)$, 更新 $gBest$ 为 $p_i(t)$; 否则如果 $Fit(p_i(t)) < Fit(pBest(i))$, 则无操作。

然后, 根据得到的 $pBest(i)$ 和 $gBest$, 更新每个粒子的速度和位置, 由此得到新的样本集 $P(t')$, 假使此集合中没有理想的组合方式且迭代次数没有达到最大限制, 则继续进行迭代。粒子适应度就是粒子的具体评价价值。粒子更新则按照全局 PSO 算法的速度和位置的更新公式(5)和(6)来实现。

$$\begin{aligned}
 v_{im}^{k+1} = \omega \times v_{im}^k + c_1 \times \text{Rand}() \times (p_{im}^k - x_{im}^k) + \\
 c_2 \times \text{Rand}() \times (p_{gm}^k - x_{im}^k) \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$x_{im}^{k+1} = x_{im}^k + v_{im}^k \quad (6)$$

式中: v_{im}^k 为粒子 i 在第 k 次迭代中第 m 维的速度; x_{im}^k 为粒子在第 k 次迭代中第 m 维的当前位置; c_1 , c_2 为加速常数, 调节每个粒子向 $pBest$, $gBest$ 位置

移动; ω 为惯性权重; $\text{Rand}()$ 为介于 $[0, 1]$ 之间的随机数; p_{im}^k 是粒子 i 在第 m 维的个体极值点位置, p_{gm}^k 是群体在第 m 维的全局极值点位置。

2 组合优化算例

场景中舰船和直升机三维模型都包含了 5 个分辨率层级, 海浪的分辨率有 6 个层级, 这样场景中 3 个模型的分辨率层级组合方式总共有 $6 \times 5 \times 5$, 即组合优化过程是从这 150 个样本集中选择。求解中对应 PSO 参数设置如表 1 所示。粒子的维数对应场景中舰船、直升机和海浪模型的分辨率层级数。

表 1 对应的 PSO 参数设置

种群规模	粒子维数	最大的迭代次数	取值范围
3	3	50	各模型的分辨率层级

在基于图像信息熵的组合优化设计过程中, 各粒子的适应度变化情况如图 2 所示, 该图为 3 个粒子的适应度变化曲线。图 3 为组合优化过程中 3 个粒子平均适应度和最佳适应度变化曲线。从两幅图中可以观察到各粒子在迭代过程中逐步靠近最优解, 其图像信息熵取值范围分别为 $[2.6, 4.6]$ 。迭代得到的最优解及其绘制图像分别如图 4(a)-(f) 所示。其中绘制图像信息熵的最优解为第 6 代中的第 1 个粒子, 其对应的图像信息熵值为 4.493, 各模型的分辨率层级为 6, 3, 5, 即图 4(f) 为模型分辨率选择的最优结果。

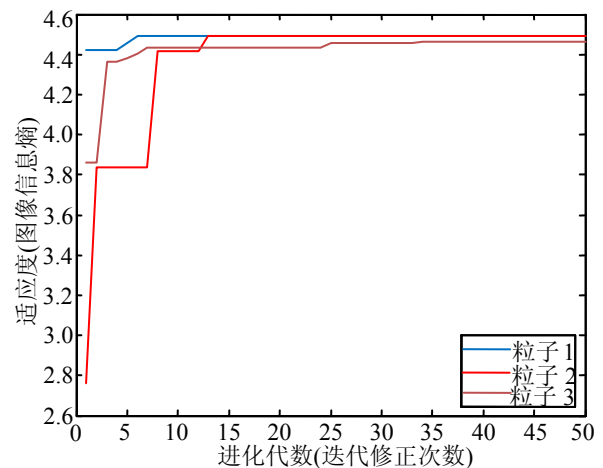


图 2 3 个粒子适应度变化曲线

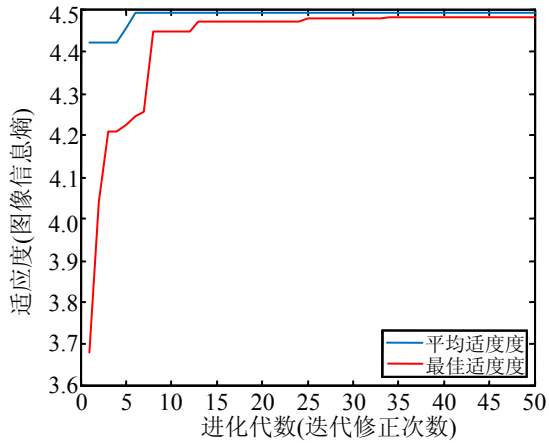


图 3 平均适应度和最佳适应度变化曲线

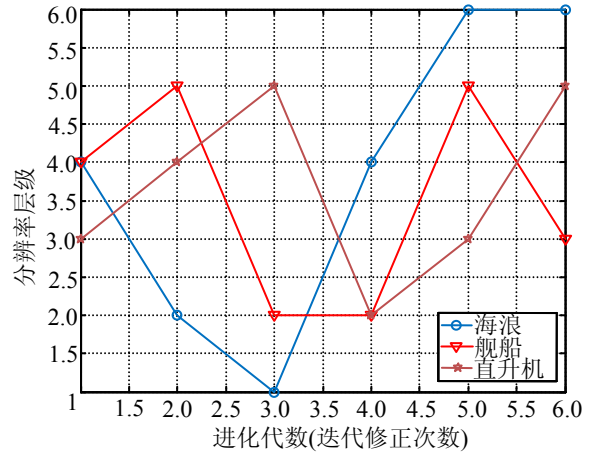


图 5 第一个粒子分辨率层级选择的寻优过程

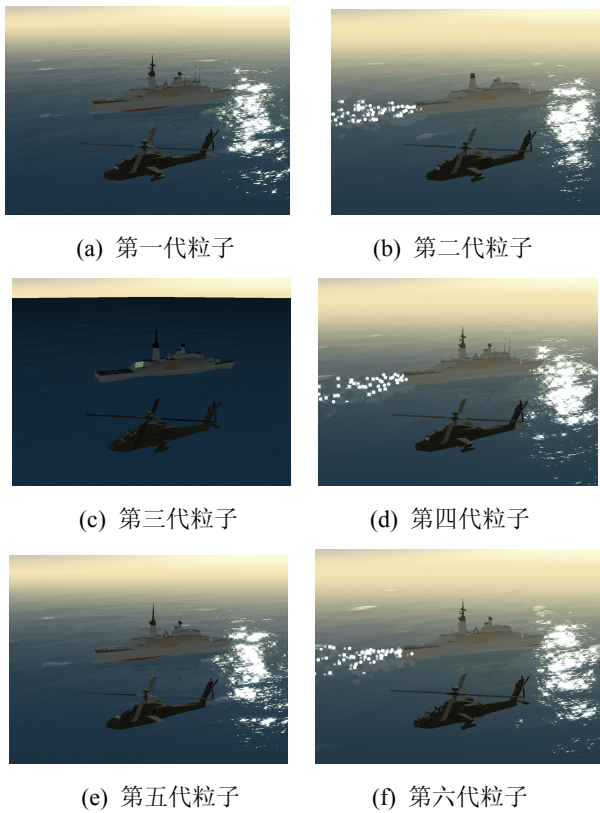


图 4 基于图像信息熵组合优化过程的图像序列

图 5 和图 6 分别表示第一个粒子和第二个粒子分辨率层级选择的寻优过程，可以看出第二个粒子容易陷入局部最优解。

图 7 为使用一般的分辨率层级选择方法^[11]绘制形成的图像，对应的分辨率层级分别为 3, 3, 3。场景的位置帧频分辨为：30.5 FPS/s、38.5 FPS/s，这样的帧频都满足绘制画面对实时性的要求，但是从绘制质量来说图 4(f)比图 7 要好。

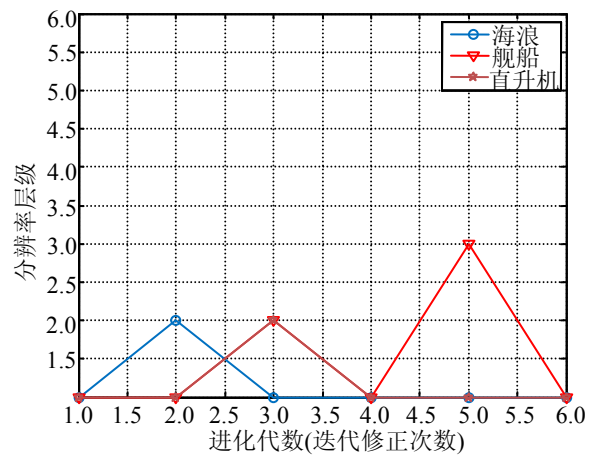


图 6 第二个粒子分辨率层级选择的寻优过程



图 7 一般方法绘制的图像

3 结论

提出利用 PSO 解决了多分辨率模型的组合优化问题，并通过多分辨率的舰船、直升机和海狼进行了方法的应用与分析，总的来说，基于 PSO 的组合优化方法有效地减少了评估次数，消除了冗余组合的计算，最终能够快速获取最优组合方案形成的场景。下一步的研究需考虑场景的实时性评估指标即帧频，依据 2 个指标的综合评估值来选择最优组合方法，对场景的视觉效果和实时性进行智能优化。

参考文献:

- [1] 冯洁, 查红彬. 大型三维网格模型的简化及基于视点的LOD控制[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(2): 186-193.
- [2] Jing Li, Huayi Wu and Chaowei Yang, *et al.* Visualizing dynamic geosciences phenomena using an octree-based view-dependent LOD strategy within virtual globes[J]. Computers & Geosciences(S0098-3004), 2011, 37(9): 1295-1302.
- [3] Chih-Hsing Chu, Han-Chung Cheng, Eric Wang, *et al.* ANN-based 3D part search with different levels of detail (LOD) in negative feature decomposition[J]. Expert Systems with Applications(S0957-4174), 2009, 36(8): 10905-10913.
- [4] Rafael Rodriguez, Eva Cerezo, Sandra Baldassarri, *et al.* New approaches to culling and LOD methods for scenes with multiple virtual actors[J]. Computers & Graphics (S0097-8493), 2010, 34(6): 729-741.
- [5] Chih-Hsing Chu, Yu-Hsuan Chan, Ping Han Wu. 3D streaming based on multi-LOD models for networked collaborative design[J]. Computers in Industry (S0166-3615), 2008, 59(9): 863-872.
- [6] F. J. Melero, P. Cano, J. C. Torres. Bounding-planes Octree: A new volume-based LOD scheme[J]. Computers & Graphics(S0097-8493), 2008, 32(4): 385-392.
- [7] KIERSTAD D, DELBALZO D. A genetic algorithm applied to planning search paths in complicated environments[J]. Military Operations Research (S0275-5823), 2003, 8(2): 45-59.
- [8] Veenu Mangat and Renu Vig. Novel associative classifier based on dynamic adaptive PSO: Application to determining candidates for thoracic surgery[J]. Expert Systems with Applications(S0957-4174), 2014, 41(18): 8234-8244.
- [9] D. K. Biswas, S. C. Panja, S. Guha. Multi Objective Optimization Method by PSO[J]. Procedia Materials Science(S2211-8128), 2014, 6: 1815-1822.
- [10] Zachary J.M. An Information Theoretic Approach to Content Based Image Retrieval[D]. Phd. Thesis Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College, 2000: 45-62.
- [11] 张森, 康凤举, 张建春, 等. 一种自适应混合加权动态推算地形生成算法[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(8): 1601-1605.
- [11] Yu H., Wang C., Ma K.L. Parallel hierarchical visualization of large time-varying 3d vector fields [C]// Proceedings of the ACM/IEEE Conference on Supercomputing. New York, USA: ACM Press, 2007, 24:1-12.
- [12] Bentes C., Labronici B. B., Drummond L. M., Farias R. Towards an efficient parallel raycasting of unstructured volumetric data on distributed environments [J]. Cluster Computing (S1386-7857), 2014, 17(2): 423-439
- [13] Kendall W., Peterka T., Huang J., Shen H.W., Ross R. Accelerating and benchmarking radix-k image compositing at large scale [C] //Proceedings of the Eurographics Conference on Parallel Graphics and Visualization. Aire-la-Ville: Eurographics Association, 2010: 101-110.
- [14] Moreland K., Kendall W., Peterka T., Huang J. An image compositing solution at scale [C]// Proceedings of International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis. New York, USA: ACM Press, 2011, 25: 1-10.
- [15] D.L. Yang, J.C. Yu, and Y.C. Chung. Efficient compositing methods for the sort-last-sparse parallel volume rendering system on distributed memory multicomputers [C]// Proceedings of the International Conference on Parallel Processing. Washington, USA: IEEE Computer Society, 1999: 200-220.

(上接第 1808 页)

- [5] Neumann U. Parallel volume-rendering algorithm performance on mesh-connected multicomputers [C]// Proceedings of the Symposium on Parallel Rendering. New York, USA: ACM Press, 1993: 97-104.
- [6] Ma K.L., Painter J., Hansen C., Krogh M. Parallel volume rendering using binary-swap compositing [J]. IEEE Computer Graphics and Applications (S0272-1716), 1994, 14(4): 59-68.
- [7] Yu H., Wang C., Ma K.L. Massively parallel volume rendering using 2-3 swap image compositing [C] // Proceedings of the ACM/IEEE Conference on Supercomputing. New Jersey, USA: IEEE Press, 2008, 48: 1-11.
- [8] Peterka T., Goodell D., Ross R., Shen H.W., Thakur R. A configurable algorithm for parallel image-compositing applications [C] // Proceedings of the Conference on High Performance Computing Networking, Storage and Analysis. New York, USA: ACM Press, 2009, 4: 1-10.
- [9] Wu Q., Gao J., Chen Z., Zhu M. Pipelining parallel image compositing and delivery for efficient remote visualization [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing (S0743-7315), 2009, 69(3): 230-238
- [10] ns-3 network simulator [OL]. (2015-04-01). <http://www.nsnam.org/>