

K-042

3D 作業空間のためのモデル集約によるスケーラブルな知覚品質制御法

A Scalable Perceptual Quality Control Method for 3D Work Space based on 3D Model Aggregation

川人 彰文[†] 酒徳 哲[†] 北形 元[†] 白鳥 則郎[†] 木下 哲男[†]
Akifumi Kawato Akira Sakatoku Gen Kitagata Norio Shiratori Tetsuo Kinoshita

1. 序論

本稿では、3D 作業空間の知覚品質制御において、適宜複数の 3D モデルを集約して扱うことで、制御にかかる処理負荷を低減させることが可能な、スケーラブルな知覚品質制御法を提案する。

近年、3D 作業空間を利用した直感的で臨場感のあるインターフェースの普及が進んでいるが、その効果的な利活用のためには計算機やネットワークの計算処理負荷を低減させるための QoS 制御が不可欠である。大規模な 3D 作業空間においては、空間内に存在する 3D モデルの個数が膨大になるため、その描画にかかる処理負荷やネットワーク配送にかかる負荷だけでなく、空間の知覚品質制御、すなわち個々の 3D モデルの QoS 制御に要する処理負荷も増大する。そのため、大規模な 3D 作業空間を利用したサービスを適切な品質で提供するためには、空間の規模や利用者の状況に応じた、柔軟でスケーラブルな制御法が必要不可欠である。

本提案法により、制御すべき 3D モデルの個数が膨大となる場合においても、適切なサービス品質を維持できる。

本稿では、提案する知覚品質制御法について述べた後、提案に基づいた試作の 3D 空間システムの設計について述べ、試作システムを用いた実験を通じて、本提案の有効性を示す。

2. 関連研究

3D 空間において、一般に最も処理負荷や知覚品質への影響が大きい要素は 3D モデルの形状解像度 (LoD:Level of Detail) である。LoD の調整による知覚品質の制御に関しては多くの既存研究が存在するが、これらの既存研究は、利用者が感じるサービス品質に影響を与えないことを前提にシステムの処理負荷をできる限り軽減させる手法であり、資源の不十分な状況を想定した知覚品質制御は困難であった [1] [2]。そこで我々は、これまで“やわらかいシステム”の概念 [3] に基づき、3D 作業空間システム QuViE/P [4] の研究開発を推進してきた。QuViE/P は限られた資源状況において、利用者が感じるサービス品質をできる限り向上させる知覚品質制御をおこなう 3D 作業空間システムである。

しかしながら、品質制御自体の処理量については考慮しておらず、3D モデルの個数が膨大となる場合には、品質制御にかかる処理が本来節約すべき資源を圧迫してしまうため、効果的な適用は困難であった。

3. 3D モデル集約に基づく制御法の提案

3.1 提案の概要

本研究では、大規模な 3D 作業空間における知覚品質制御において、制御に要求される計算処理負荷を考慮した、スケーラブルな制御法を提案する。

本制御法では、空間設計者が定義した複数の 3D モデルを集約した新しい 3D モデルを予め生成しておく。そして空間の利用時には知覚品質制御を個別の 3D モデルのそれぞれに対しておこなうか、集約された新しい 3D モデルに対しておこなうかを視点からの距離に応じて切り替えることで、制御対象となる 3D モデルの個数を調整する。これにより知覚品質制御にかかる処理量は描画する 3D モデルの個数に比例しなくなるため、従来手法に比べて処理量を低減させることが可能となる。

以下、本提案における各段階の詳細について述べる。

3.2 3D モデルの集約

本制御法では LoD の調整による知覚品質制御をおこなう。これは LoD の異なる 3D モデルのセットを用意し、視点からの距離に応じて描画する 3D モデルを切り替えるという方法でおこなわれる。LoD の異なる 3D モデルのセットを本研究では LoD モデルと呼ぶ。

まず前処理として 3D モデルの集約をおこなう。ここで 3D モデルの集約とは、集約対象となる LoD モデルに属する、最も低い LoD を持つ 3D モデルを複数組み合わせ、QEM [5] 等のポリゴン簡略化アルゴリズムを用いて新しい LoD モデルを生成する一連の操作を指す。集約の例を図 1 に示す。集約する 3D モデルの組み合わせはその配置座標、および 3D 作業空間における大きさによって決定する。また、新しい LoD モデルの各 LoD が有効となる距離範囲も 3D モデルの大きさに基づき決定する。

このような一連の集約操作を、すべての 3D モデルを集約し終えるまで繰り返す。説明の簡便のため、本稿では次の 3 種類のモデルを定義する。

- 個別モデル：設計者の定義した LoD モデル。
- 集約モデル：LoD モデルを集約して新たに生成される LoD モデル。
- 制御対象モデル：知覚品質制御の対象となる LoD モデル

3.3 集約関係の記述

集約操作を繰り返すことで、3D モデル同士の集約関係はツリーとして表現することができるようになる。本制御法では、3D モデル同士の集約関係をツリーにおける親子関係に置き換え、探索を容易にすることで、次節で述べる制御対象モデルの切り替えに利用する。この目的を満すため、ツリーの各ノードには次の情報が付加される。

[†]東北大学, Tohoku University

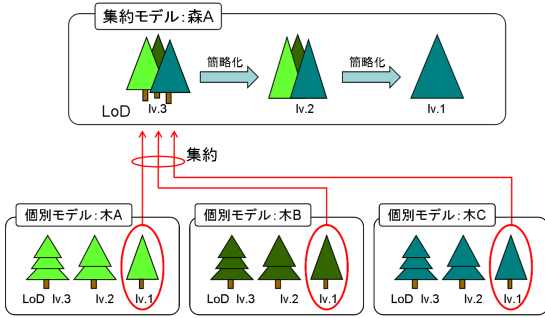


図 1: 3D モデルの集約の例

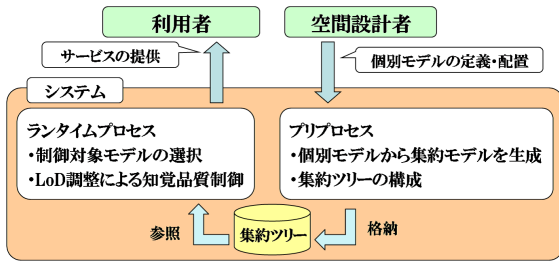


図 2: 提案法に基づく試作システムの概要

- 空間内の配置に関する情報
- 品質制御に用いるための LoD モデル
- 各 LoD が有効となる視点からの距離の範囲
- ノード間の親子関係

本研究では、以上の情報を各ノードに付加したツリー構造を、集約ツリーと定義する。

3.4 制御対象モデルの切り替え

空間の利用時には実行時処理として、前節で述べた集約ツリーを用いて制御対象モデルの選択、切り替えをおこなう。切り替えの基準としては、視点と各モデル間の距離を用いる。視点からの距離と、ノードに設定された“各 LoD が有効となる距離範囲”を比較することでノードの有効性を判定する。有効距離範囲はツリーにおける深さが小さいほど、視点に対して遠い範囲で有効となるように設定されるため、視点からの距離が近い場合は個別モデルが有効となり、遠い場合は集約モデルが有効となる。

4. 設計・実装

提案法に基づく試作システムの概要を図 2 に示す。前処理として、空間設計者が定義・配置した個別モデルに基づき、集約モデルを生成し、その結果として集約ツリーを構成し、格納しておく。実行時処理では、集約ツリーを参照して個別モデル、集約モデルを切り替え、LoD 調整による知覚品質制御をおこなう。

システムの実装は Java、および Java3D を用いておこなった。

5. 実験

5.1 実験の概要

本提案の有効性を示すため、前章で述べた試作システムを用いて、LoD 調整のみをおこなう従来の知覚品質制

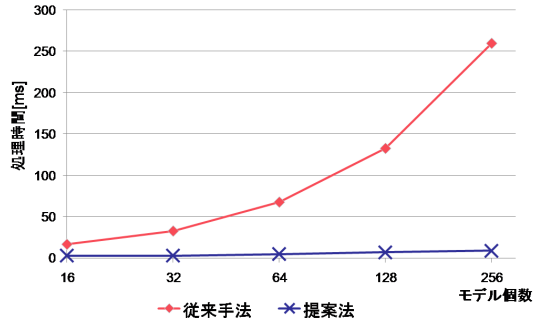


図 3: 1 つの 3D モデルの LoD 調整に対する時間を 1ms と設定した場合の比較結果

御法と、提案法の比較実験をおこなった。

実験の概要としては、同一の 3D モデル配置をした空間に対してそれぞれの知覚品質制御法を適用し、その際の LoD 調整にかかる実行時間を計測する。試作システムでは、視点からの距離を用いた LoD 調整のみをおこなっているが、より多くの処理を必要とする知覚品質制御法も提案されている [4]。そこで仮想的な LoD 調整処理時間として、3D モデル 1 つに対する LoD 調整の時間を 1ms と設定した上で比較をおこなった。

5.2 実験結果

実験の結果を図 3 に示す。従来手法では実行時間はモデルの個数に比例して増加しているが、提案法では、制御対象モデルの選択をおこなった上で LoD 調整による知覚品質制御をおこなうため、LoD 調整の回数を減らすことができ、従来手法と比べて実行時間が大幅に短縮されている。

6. 結論

本稿では、3D 作業空間の知覚品質制御において、複数の 3D モデルを集約して扱うことで、制御にかかる処理負荷を低減させることが可能な、スケーラブルな知覚品質制御法を提案した。また、提案法に基づくシステムの設計について述べ、実験により、提案法を用いることで、制御すべき 3D モデルの個数が膨大となる場合でも、制御にかかる処理量を抑えることが可能であることを示した。

参考文献

- [1] J. Chim, et al, “ CyberWalk: A Web-Based Distributed Virtual Environment ”, IEEE Trans. Multimedia, vol.5, no.4, Dec.2003
- [2] D. Luebke, et al, “ Perceptually Driven Simplification Using Gaze-Directed Rendering ”, University of Virginia Technical Report CS-2004-04.
- [3] Norio Shiratori, et al., “ Flexible Networks: Basic Concepts and Architecture, ” IEICE Trans. Commun., col.E77-B, no.11, pp.1287-1294, Nov. 1994.
- [4] Takayuki Kuroda, Takuo Suganuma, Norio Shiratori, “ QuViE/P : An Effective QoS Control Scheme for 3-D Virtual Environment Based on User 's Perception ”, Proc. of AINA2007
- [5] Michael Garland, Paul S. Heckbert, “ Surface Simplification Using Quadric Error Metrics ”, SIGGRAPH '97