

QuViE/P : 3次元仮想空間における利用者の知覚に基づく 新しいQoS制御方式の提案と応用

QuViE/P : A New QoS Control Scheme and Its Application for 3-D Virtual Space Based on Perceptual Quality

黒田 貴之[†]
Takayuki Kuroda

北形 元[†]
Gen Kitagata

菅沼 拓夫[†]
Takuo Suganuma

白鳥 則郎[†]
Norio Shiratori

1. はじめに

3次元空間のアプリケーションを利活用する場合、高速な画像処理能力と広帯域なネットワークが要求される。そのため、一般的な性能の計算機やインターネットで構成される資源の十分でない状況下で適切な品質のサービスを提供するには、利用者要求や資源状況など様々な条件に応じた、柔軟で高精度なQoS制御が必須である。

そこで本研究では、3次元仮想空間のQoS制御において、利用者の主観的な品質評価特性に着目し、与えられた資源において最大限の利用者レベル品質を実現する3次元仮想空間システム:QuViE/P(Quality-aware Virtual Environment with Perceptual Quality)の構築を目的とする。そのために、本稿では、システム内部における品質指標と利用者が実際に感じる知覚レベルの品質との対応関係、特に、その対応関係のアプリケーション利用時における変化までも考慮した、新たなQoS制御の手法を提案する。本手法により、使用可能な資源が減少しても、利用者にとって適切な品質や機能を維持する効果が実現できる。これにより、資源の不十分な環境下での3次元仮想空間アプリケーションの利便性を大幅に向上させることができる。

本稿では、まず、本手法の核となる提案(S1)と(S2)について述べる。

- (S1) 利用者の視点や視線とオブジェクトとの位置関係に応じた、“システムレベル品質と利用者レベル品質の対応関係”の変化特性知識の導入とその効果的な応用。
- (S2) アプリケーション利用時における利用者の注目オブジェクトの動的な推測機能の考案。

さらに、(S1)と(S2)に基づいた提案システムQuViE/Pのプロトタイプを構築し、その有効性を示す。具体的には、図1に示すように、使用可能な計算資源が必要量の30%まで減った場合でも、利用者にとって重要でない街路樹やその葉を簡略化し、計算資源を節約することで、重要な表示要素である路上の人物や標識の表示を維持するなどの制御が可能となることを示す。

2. 関連研究

3D描画処理において、一般に最も処理負荷やQoSへの影響が大きい要素は3Dオブジェクトのポリゴン数、すなわちLoD(Level of Detail)であり、LoDの制御に関しては、様々な既存研究が存在する[3][4]。しかし、これらの既存研究では、主にシステムの処理負荷がどの程度軽

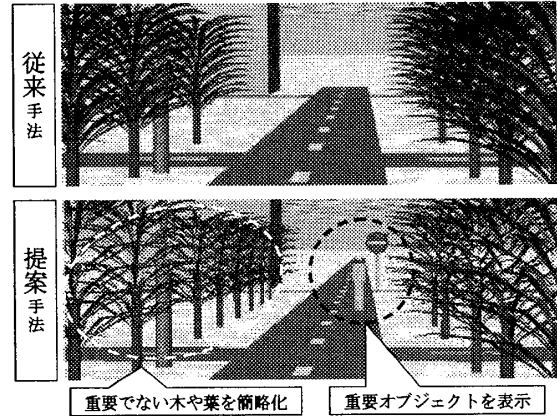


図1: 計算資源不足時におけるQuViE/Pの動作イメージ

減されるかという点に着目しており、本研究の焦点である、資源の不十分な状況下における対応は困難であった。

一方、これまで我々は、“やわらかいシステム”の概念[1]に基づき、限られた資源状況で可能な限り良いQoSを提供する、3次元仮想空間システムの研究開発を推進してきた[2]。しかしながら、これまでの制御の対象は、システムレベルQoS(System-level QoS:以降S-QoSと略記)、すなわち、フレームレートやポリゴン数など、システム内部におけるQoS指標であり、利用者がアプリケーション利用時に実際に感じる品質である知覚レベルQoS(Perceptual-level QoS:以降P-QoSと略記)を考慮した制御は困難であった。

そこで本稿では、3次元仮想空間のQoS制御において、利用者の主観的な品質評価特性に着目し、S-QoSとP-QoSとの関係(Relation between S-QoS and P-QoS:以降RSPと略記)を考慮することによって、最大限のP-QoSを提供可能な3次元仮想空間システムを構築する。

これを実現するためには、まず3次元仮想空間におけるRSPを把握する必要がある、次にRSPを考慮した利用者の知覚に基づくQoS制御機構を構築する必要がある。しかし、3DオブジェクトのRSPに関する既存研究[5]においては、S-QoS(形状解像度)とP-QoS(見た目の品質)には非線形な対応関係が存在することは調査されているものの、その調査は極めて限定的な環境のみを対象としており、実際のアプリケーション利用における応用は困難であった。すなわち、例えばオブジェクトが遠距離にある場合はより低いS-QoSでも十分なP-QoSに感じられるなどというように、RSPはアプリケーション利用時の状況により大きく変化するため、その変化までを考慮したRSPの動的な取得手法が必要であった。

[†] 東北大学 電気通信研究所/情報科学研究科, Research Institute of Electrical Communication/Graduate School of Information Science, Tohoku University

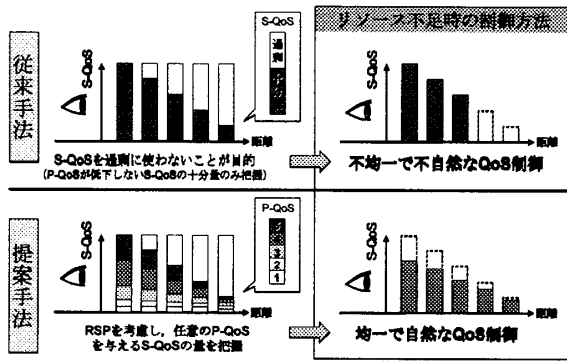


図2: 提案する QoS 制御手法の基本方針

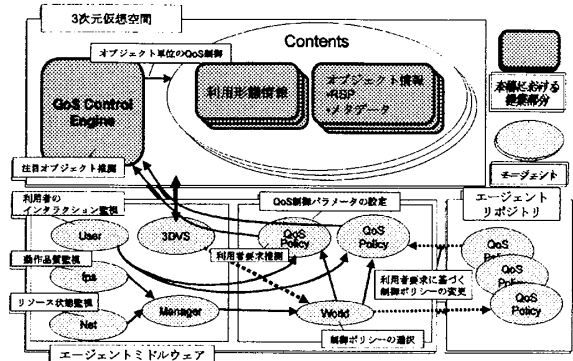


図3: 提案システム QuViE/P の全体構成

3. 利用者の知覚に基づく QoS 制御手法

図2に、本研究における提案の基本方針を示す。例えば、視点とオブジェクトとの距離に応じた QoS 制御において、従来手法では、過剰な品質の提供を抑制して必要十分なレベルにする制御までは行うことができるが、さらなるリソース不足が発生した場合には、調整すべき QoS のレベルを把握していないため、適切な対応は困難であった。一方、本研究の提案手法では、任意のレベルの P-QoS を与える S-QoS の量を把握することにより、リソースの不足時にも適切な制御を行うことが可能となる。

この基本方針の実現に向けて、前節で述べた問題を解決するため、本稿では、利用者の視点やオブジェクトの位置など、アプリケーション利用時に変化する様々なパラメータについて、RSP の変化特性を事前に獲得しておき、そのパラメータをアプリケーション利用時に動的に取得することにより、アプリケーション利用時の RSP の取得を実現する手法を提案する。具体的には、次の2つを提案する。

- (S1) 利用者の視点や視線とオブジェクトとの位置関係に応じた RSP 変化特性知識の導入とその効果的な応用

既存の RSP 検査手法 [5] に則り、被験者による5段階での主観的な品質評価実験を実施する。本研究ではこれを応用し、オブジェクトを利用者の視点から遠距離に動かす操作や、視線から外れた位置に動かす操作を追加することにより、QoS 制御に必要な RSP 変化特性知識を獲得する。

- (S2) アプリケーション利用時における利用者の注目オブジェクトの動的な推測機能の考案

本機能では、3次元仮想空間の制作者や利用者が予め指定した条件等を元に、3次元仮想空間の利用状況に応じて利用者要求を判断し、利用者の注目オブジェクトを推測する。ここで、利用者が注目オブジェクトを中心にしていると仮定することで、利用者の視線に関する情報を取得する。

以上の提案により、アプリケーション利用時の RSP の動的な取得を実現し、RSP を考慮した利用者の知覚に基づく QoS 制御機構を備えた、3次元仮想空間システム QuViE/P を実現する。

4. 提案システム QuViE/P の設計

4.1 全体設計

図3に、QuViE/P の全体構成を示す。これまで我々は、コンテンツや利用者のインタラクションから推測した利用者要求に応じて、様々な QoS 制御ポリシーを動的に切り替え可能な3次元仮想空間システムを開発してきた [2]。このシステムでは、ミドルウェアとして構成されるソフトウェアエージェント群が、CPU やネットワークのリソース、および利用者のインタラクションを監視し、その情報を元に、利用者要求や適切な QoS 制御ポリシーを選択する機能を持つ。

本稿では、これらの機構に対し、さらに (S1) と (S2) の提案機能を実現する QoS Control Engine を追加した。また、コンテンツ内には、制御に必要な利用形態情報、RSP 変化特性知識、およびオブジェクトの特徴を示すメタデータを付加できるようにした。

以下に、(S1) と (S2) および QoS Control Engine における QoS 制御処理の詳細を示す。

- 4.2 (S1) 利用者の視点や視線とオブジェクトとの位置関係に応じた RSP 変化特性知識の設計

本稿では、RSP として、3D オブジェクトを構成する頂点数 (S-QoS) と利用者の主観的な品質評価 (P-QoS) との対応関係を用いる。また、RSP 変化特性知識とは、後述する品質評価実験によって取得した、各種の変化パラメータの値ごとの RSP の集合である。これを、XML 形式のファイルとして定義しておき、変化パラメータの値に応じた RSP を参照できるようにする。変化パラメータとしては、P-QoS への影響が大きく、アプリケーション利用時に変化する主要要素として、視点とオブジェクトとの距離と視線からの角度を取り上げる。

- 4.3 (S2) 利用者の注目オブジェクトの動的な推測機能の設計

まず、予め各オブジェクトに、オブジェクトの特徴を示すメタデータを付与しておく。また、コンテンツの制作者や利用者は、コンテンツやその利用形態、および利用者の嗜好などに応じた、注目オブジェクトの推測条件を設定しておく。そして、アプリケーション利用時に、エージェントミドルウェアから随時提供される利用形態や利用者のインタラクション情報に応じて、これらの推測条件から適切なものを選択し、その推測条件と一致す

るメタデータを持つオブジェクトを、注目オブジェクトとして選定する。

4.4 QoS Control Engine における制御処理フロー

まず、利用者の注目オブジェクト推測機能により、数個の注目オブジェクトを選出する。次に、画面上の各オブジェクトについて、当該オブジェクトから最も近い注目オブジェクトからの角度として視線からの角度を算定し、この角度と視点からの距離に基づき、RSP 変化特性知識を参照することにより、当該オブジェクトの現在の RSP を決定する。そして、画面上の全てのオブジェクトの RSP とリソース状況から、提供すべき適切な P-QoS を決定し、最終的なオブジェクト単位の QoS 制御を実施する。これを毎フレーム繰り返し、状況に応じた細かな QoS 制御を実現する。

5. 実験・評価

5.1 RSP 変化特性獲得のための品質評価実験

5.1.1 実験概要

既存の RSP 検査手法 [5] に則り、最高レベル品質のオブジェクト (レベル 5) と最低レベル品質のオブジェクト (レベル 1) を、検査対象オブジェクトの左右に表示し、評価時に参照できるようにした。図 4 に、実装したプロトタイプ RSP 検査アプリケーションによる検査中の画面を示す。被験者は、これらの参照用オブジェクトと比較して検査対象オブジェクトがどの程度の品質に感じるかを、5 段階で主観的に評価する。この検査を 11 人の被験者に対して実施し、その結果を平均して、RSP 変化特性知識を獲得した。

5.1.2 視点からの距離に応じた RSP 変化特性の獲得

前節に示した検査を、視点からの距離を変化させながら実施した。検査を実施する距離のパターンは、検査対象オブジェクトの画面上でのサイズに着目して選択した。今回は、検査対象オブジェクトを画面上になるべく大きく表示したときのサイズを基準のサイズとして、検査対象オブジェクトのサイズが基準の $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ になる位置とした。

図 5 に、本実験で得られた視点からの距離に応じた RSP の変化特性を示す。図 5 中の scale は、検査対象オブジェクトのサイズの基準サイズからの倍率を示しており、値が小さいほど遠距離であることを示している。この結果から、視点からの距離が大きい程、RSP の非線形性はより顕著となることがわかる。

5.1.3 視線からの角度に応じた RSP 変化特性の獲得

5.1.1 節に示した検査を、視線からの角度を変化させながら実施した。検査対象オブジェクトから、ある角度だけ離れた位置に、被験者の視線の的となるポイントを表示し、被験者には、そのポイントを注視しつつ検査対象オブジェクトの品質を評価してもらった。今回はこの検査を、前節に示した各距離ごとに、0 度、5 度、10 度、15 度の 4 パターンの角度について実施した。

その結果、距離に応じた RSP 変化特性と同様に、視線からの角度が大きいほど RSP の非線形性はより顕著となる傾向が確認できた。

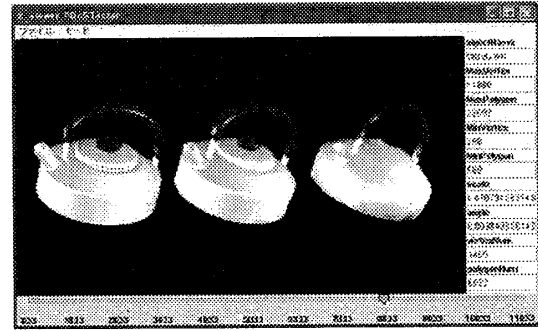


図 4: プロトタイプ RSP 検査アプリケーション

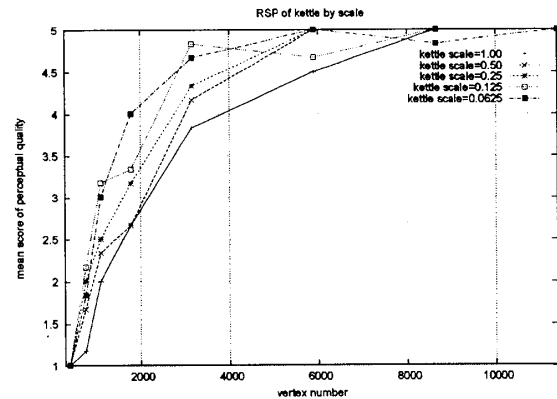


図 5: 視点からの距離に応じた RSP の変化特性

5.1.4 RSP 変化特性の獲得結果とその考察

5.1.2 節と 5.1.3 節の実験により、RSP は利用者の視点や視線とオブジェクトとの位置関係に応じて大幅に変化することが確認できた。そして、視点からの距離や視線からの角度が大きくなる程、RSP の非線形性はより顕著になるという特性が明らかとなった。これはすなわち、S-QoS を減少させても P-QoS への影響がほとんどない領域や、逆にわずかな S-QoS の減少が大幅な P-QoS の低下を招く領域が存在し、さらにその範囲が変化することを意味している。そのため、本実験で得られた RSP の変化を考慮することによって、過剰な品質の提供による資源浪費の回避や、最低限必要な品質の維持、さらには使用可能な資源に応じた最大限の品質提供など、高度な QoS 制御が可能となると考えられる。

RSP やその変化特性はオブジェクト毎に異なる可能性があるため、現状ではオブジェクト毎に検査し獲得している。ただし、文献 [5] ではオブジェクト毎の RSP には高い類似性があることが示されており、今後これを考慮した効率的な運用が期待できる。

5.2 RSP を考慮した QoS 制御の効果

本研究の提案である RSP を考慮した QoS 制御の有効性を示すため、実装した QuViE/P のプロトタイプにおいて使用可能な S-QoS の量を制限することにより、資源が十分でない状況下における提案 QoS 制御手法の効果を検証した。

図 6 に、その結果を示す。まず、広い範囲を俯瞰した場面において、従来手法では、使用可能な S-QoS を十

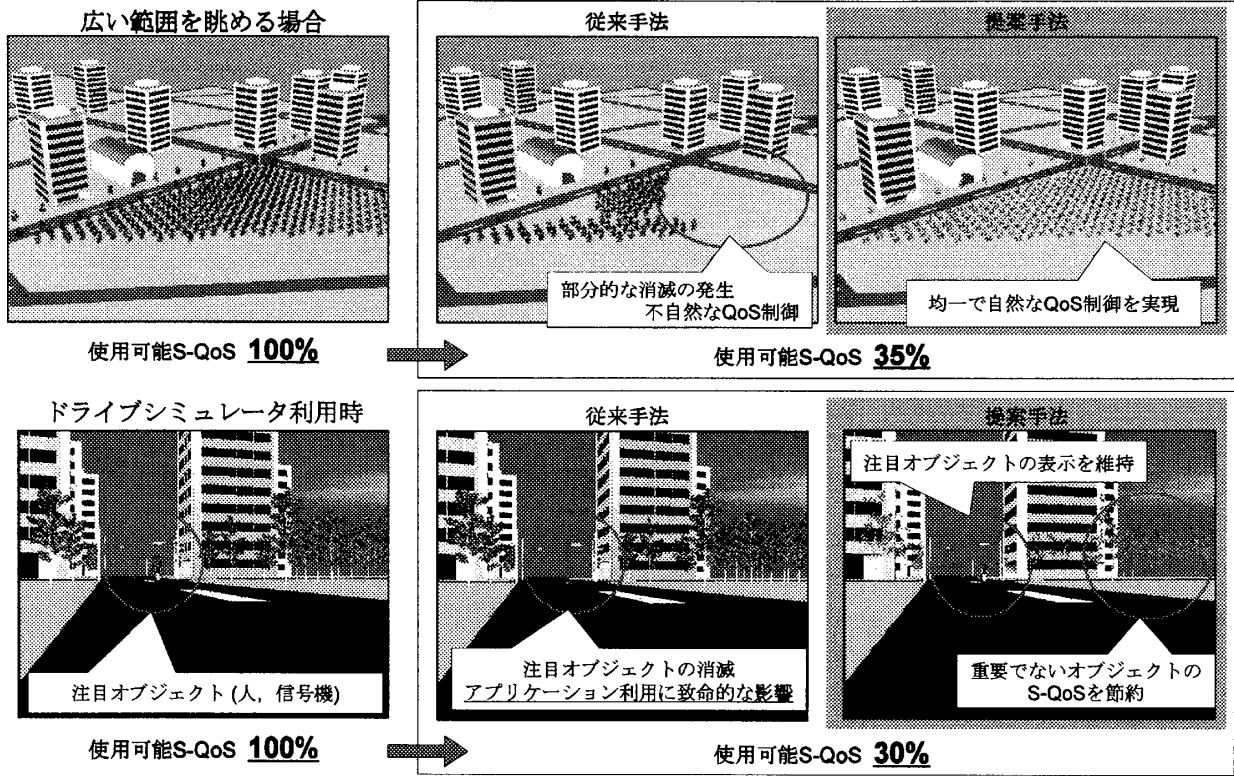


図 6: RSP を考慮した QoS 制御の効果

分量の 35% まで制限すると、遠距離や視野周辺に偏ったオブジェクトの消滅が発生し、景観が著しく乱れてしまっている。一方、提案手法では全体的に均一に QoS を低下させる効果により、景観の全体像を維持した適切な QoS 制御が行われている。次に、ドライブシミュレータ利用時においては、従来手法では、注目オブジェクトである路上の人物や信号機が、視点から遠距離にあるために消滅してしまっており、ドライブシミュレータとしての利用が困難な状態に陥っている。これに対し、提案手法では、注目していない木などのオブジェクトの S-QoS を適度に低下させることで必要な計算資源を確保し、注目オブジェクトの消滅を回避しており、ドライブシミュレータとしての機能を維持している。

以上により、QuViE/P では、使用可能な資源が減少しても、利用者にとって適切な品質や機能を維持する効果が実現できたといえる。

6. おわりに

本研究では、限られた資源で最大限の P-QoS を提供可能な 3 次元仮想空間 QuViE/P の実現を目的とし、RSP を考慮した利用者の知覚に基づく動的かつ柔軟な QoS 制御手法を提案した。具体的には、利用者の視点や視線とオブジェクトとの位置関係に応じた RSP の変化特性知識の導入とその QoS 制御への応用、および利用者の注目オブジェクト推測機能を提案し、従来は困難であったアプリケーション利用時の RSP を考慮した QoS 制御機構を実現した。また、QuViE/P のプロトタイプを実装し、実験を通じて、RSP を考慮した QoS 制御の効果と本研究における QuViE/P の有効性を確認した。

今後は、本稿における QoS 制御手法をネットワークを介した 3 次元モデルデータ配信に応用する手法を検討してゆく。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 (16300011) の援助を受けて実施した。

参考文献

- [1] Norio Shiratori, et. al., "Flexible Networks: Basic Concepts and Architecture," IEICE Trans. Commun., vol.E77-B, no.11, pp.1287-1294, Nov. 1994.
- [2] Ryosuke Ohmae, et. al., "Design and Implementation of Multi-User 3D-Virtual Space with QoS Awareness Based on Multi-Agent Framework," Proc. of the International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2004), pp.68-74, 2004.
- [3] David Luebke, Benjamin Hallen, Dale Newfield, and Benjamin Watson, "Perceptually Driven Simplification Using Gaze-Directed Rendering", University of Virginia Technical Report CS-2004-04.
- [4] Satoshi Oikawa, et. al., "QoS Control Function based on User's Information on the 3D Virtual Shared Space," Proc. of the International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2004), pp.74-77, 2004.
- [5] Yixin Pan, et. al., "Quality Metric for Approximating Subjective Evaluation of 3-D Objects," IEEE Transaction on Multimedia, VOL. 7, NO. 2, Apr. 2005.