

3次元空間データ配信表示システム

佐伯 俊彰、大野 次彦、下間 芳樹

三菱電機(株)情報技術総合研究所

本稿で提案する3次元空間データ配信表示システムは、ポリゴンにより構成された3次元モデルに静止面をテクスチャとしてマッピングして高品質化と3次元化を実現した3次元空間(3次元地図を含む)データを、ネットワーク接続されたノートPC、携帯情報端末に向けて、オンデマンドに配信し、ストレスを感じさせない3次元空間のウォークスルーを実現することを目的としている。本稿では、通信路の利用可能通信速度と視点移動速度に応じて送信する空間データのLOD(Level Of Detail)を制御するLOD制御技術について詳述する。

3Dimensional- Spatial- Data Streaming Distribution and Rendering System

Toshiaki Saeki, Tsugihiko Ohno, Yoshiki Shimotsuma
Mitsubishi Electric Corporatipon

The 3-Dimensional spatial data streaming distribution and rendering system proposed in this paper aims at realizing walk-through into 3-D space in which stress is not impressed. This system can distribute 3-D spatial data on demand towards note PC and Personal Digital Assistant which were connected to a network. The quality of this data is improved by mapping a photograph as a texture to the 3-D model constituted by polygons. LOD(Level Of Detail) control technology which controls LOD of spatial data which transmits according to the communication speed of a communication way which can be used and the moving speed of a viewpoint is explained in detail.

1. はじめに

ポリゴンにより構成された3次元モデルに静止面をテクスチャとしてマッピングして高品質化と3次元化を実現した3次元空間(3次元地図を含む)データを、ネットワーク接続されたノートPC、携帯情報端末に向けて、オンデマンドに配信し、ストレスを感じさせない3次元空間のウォークスルーを実現することを目的とした、3次元空間データ配信表示システム(図1)を開発している。

同システムは、視点移動に伴って新たに表示対象となる空間に存在する空間データ(表示オブジェクト)を、リアルタイムにサーバからクライアント端末に優先度にしたがって、ストリーミングに配信して、表示に必要な最小限のデータをダウンロードするだけで、広大な3次元空間において、シーンのリアルタイムな表示とスムーズな視点移動によるウォークスルーを実現することを狙っている。

しかし、視点移動に伴って発生する表示オブジェクトをリアルタイムに表示できるように配信す

るには、次世代移動体通信をターゲットにしても通信速度がまだ不十分であるため、すべての同表示オブジェクトを配信しきれないという問題がある。

さらに、視点移動速度が上昇すると、配信しなければならぬ同表示オブジェクトのデータ容量が増加し、また、通信路の利用可能通信速度が劣化すると、単位時間当たりに配信することのできるデータ容量が低下するため、リアルタイムな表示の実現がよりいっそう困難となる。

そこで、上述問題を解消するために、

- ① 視点移動速度、通信速度の変化に応じて、配信する空間データのLOD(Level Of Detail)を制御する適応型LOD制御と、
- ② シーンの切替え表示のための各処理ステップの処理時間を調整することにより、シーンの切替速度(フレームレート)を制御する画面切替レート制御

を行うことにより、予め定めたフレームレートを極力維持し、リアルタイム性を保証する表示を実

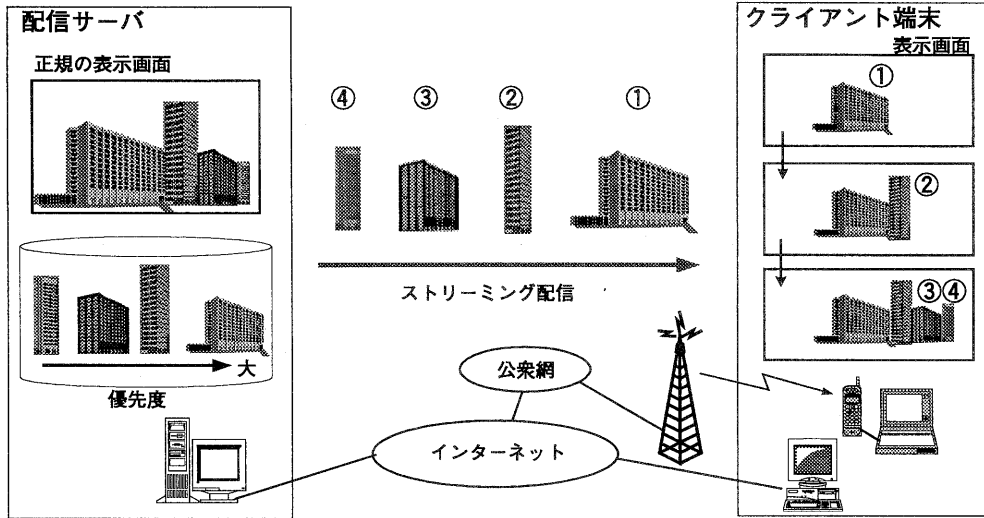


図1 システム構成/利用イメージ

現する制御方式について検討した。

本稿では、上述適応型LOD制御と画面切替レート制御について述べる。

2. 適応型LOD制御

2.1 基本機能

適応型LOD制御では、予め指定されたフレームレートにて、ビューワの表示性能を考慮して定めた表示オブジェクトの目標LOD設定（ビューワで表示するときの表示オブジェクトのLOD設定）による表示品質に極力近づけて、リアルタイムな表示が実現できるように、視点移動速度、利用可能実効通信速度の変化に応じて、送信する表示オブジェクトのLODを適宜調整して、同表示オブジェクトの送信データ総量を調整する。

フレームレートとは、視点から見える3次元空間のシーンの表示を一秒間に切替えることのできる回数を指す。

目標LODとは、クライアント端末のビューワで表示オブジェクトを表示するとき、シーンを指定されたフレームレートにて切替表示することができるように、1シーンの表示に要する表示オブジェクトのデータ総量を調整するために設定した空間オブジェクトのLODを指す。

視点の移動により新たに単位時間あたりに送信対象となる表示オブジェクトか、通信路の利用可能実効通信速度とクライアント端末において単位時間あたりにシーンに追加することのできる表示

オブジェクトのデータサイズから決まる単位時間あたりにビューワに新たに追加表示することのできる表示オブジェクトの、どちらか一方のデータサイズの小さい方を単位時間あたりの送信データ総量とする。

表示オブジェクトの外観の形状に基づく視認性を向上させる度合いに応じて定めた静的優先度と、ユーザの要求、利用目的に応じて動的に定めた動的優先度によって、表示オブジェクトの送信する必要性、リアルタイム性を示す送信優先度を視点移動速度に応じて設定する。

動的優先度は、視点位置とオブジェクトとの距離が小さい程、また、視線方向ベクターと視点位置から表示オブジェクトに向かう方向ベクターとのなす角（視線乖離度）が小さい程、優先度を大きく設定する。

送信優先度は、視点移動速度が大きくなるにしたがって、静的優先度が小さいオブジェクトほどより優先度を小さく設定する。

例えば、動的優先度の大きいオブジェクト（視点位置からの距離が小さいオブジェクト、視線方向からの乖離度の小さいオブジェクト）であっても、静的優先度が小さいオブジェクトは視認性が低いため、視点移動速度が大きくなればなる程、送信優先度をより小さく設定する。

図2に示すような抽出スコープを用いて、視点位置を基準とした3次元空間を、視点移動速度、通信路の利用可能実効通信速度、空間オブジェク

トの疎密状況に応じて、動的に複数の領域に分割した各分割領域毎に、送信する同表示オブジェクト（送信オブジェクト）の優先度と詳細度を設定し直して、同送信オブジェクトの送信するデータが同送信データ総量以下になるように調整する。

LOD設定の原則は、視点と表示オブジェクトの距離と視線垂直度に応じて、遠方ほど視線方向から離れるほど粗くなるように表示オブジェクトの詳細度を設定する。

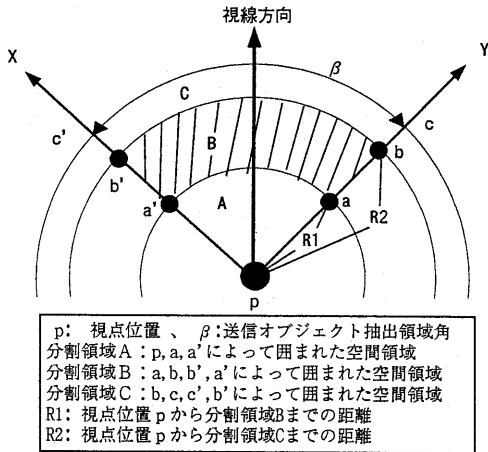


図2 抽出スコープ

2.2 LODの変更手法

視点移動速度や利用可能通信速度が変化した場合、同変化に応じて、同3次元空間の分割数、分割領域サイズ、分割領域境界を適宜変更し、各分割領域において選択する表示オブジェクトのLOD（優先度と詳細度）を変更する。詳細度は、オブジェクトを構成するポリゴン数とテクスチャデータの解像度調整により実現する。

視点移動速度が速くなったり、利用可能実効通信速度が遅くなった場合に、LODの設定を変更して、単位時間あたりに送信するデータ量を低減する手法について説明する。

送信データ量を低減するためのLOD設定を変更するルールは、例えば、図3に示すように3通りの変更手法が考えられる。

図3に示すルール(1)は、各分割領域の領域サイズを変更することにより、送信データ量を低減しようとするものである。

視点移動速度が速くなる程、また、利用可能通信速度が遅くなる程、図2に示す抽出スコープが

LOD設定ルールの例

- (1) 領域の分割数、各分割領域の詳細度は変更しないが、各分割領域の領域サイズを変更する。
- (2) 領域の分割数、領域サイズは不変とし、各領域に割り当てられた詳細度を領域単位に変更する。
- (3) 領域の分割数を変更して、各領域にあらためて詳細度を再設定する。

図3 LOD設定ルール

示す各分割領域の領域範囲(R, β)を小さく変更することにより、抽出スコープにより分割される各分割領域の領域サイズを変更する。

この場合、LODの変更対象となる送信オブジェクトの数がルール(2)、(3)に比べて少なく、同送信データの低減量が比較的少ない場合に有効な変更手法である。

ルール(2)は、分割領域単位に表示オブジェクトのLODを低減する。ルール(1)の場合に比べて、LODの変更対象となる送信オブジェクトの数が多くなるため、ルール(1)より同低減量が多い場合に効果的な低減手法となる。

ルール(3)は、分割数を変更することにより、送信データ量を低減する。分割数を低減すると、送信しなければならない異なる詳細度の同一オブジェクトの表示モデルの送信データを削減することができる。しかし、分割数が減ることから分割領域間の表示オブジェクトのLODの差が大きくなるため、表示品質が損われる可能性が高くなるが、リアルタイム性を優先する場合には有効な手段といえる。

このようなルール(1)、(2)、(3)を適用することによる送信データの低減量が、視点移動速度の上昇または通信速度の低下により発生するLOD変更前のLODによる未送信データ量を上回る場合、同ルールの適用は、有効なLODの変更手段といえる。

上記ルールの適用にあたっては、送信データを低減する度合い（リダクション効果）が大きくなるほど、ルールの適用によるLODの変更対象となる空間領域の広さ（調整範囲）が大きくなるほど、ビューワーの表示映像の画質が劣化する度合いが大きくなるため、リダクション効果と調整範囲を考慮する必要がある。

過去に送信対象となった空間が再度送信対象空間として選択された場合は、過去に送信した既送

信オブジェクトのLODのレベルが目標LODより低いLODであると、再送時のLODが既送信オブジェクトのLODより高い場合は、同オブジェクトを再送し、既送信オブジェクトと指し替える。同既送信オブジェクトのLODが目標LODと同じである場合は、再送は行わない。これは、目標LOD以上のLODの表示オブジェクトを送信して表示しようとする、クライアント端末のビューワーの表示性能の限界から、レンダリング速度が劣化するために、予め指定したフレームレートを維持できなくなってしまうためである。

3. 画面切替レート制御

画面切替レート制御は、視点移動速度が変化したり、通信路の利用可能通信速度が変化しても、ユーザにストレスを感じさせない操作性を実現することを目的としている。

画面切替レート制御では、適応型LOD制御によりLODを変更する代わりに、フレームレートを調整して、極力（ベストエフォート）操作性の劣化を防止して、リアルタイム性を保証しようとしている。

ここで、画面切替レート制御が制御の対象としているフレームレートについて説明する。

クライアント端末において、視点から見える3次元空間のシーンを表示する動作フローを図4に示す。視点位置、視線方向が決定(S1)すると、表示オブジェクトをサーバからダウンロード(S2)し、ダウンロードした表示オブジェクトを、レンダリング時に参照されるオブジェクトデータベース(シーングラフ)に追加登録(S3)し、レンダリング(S4)する。このS1~S4の一連の処理を1回実行することにより、視点から見えるシーンの映像1フレームを表示することができる。このS1~S4の一連の処理を単位時間当たり繰り返し実行する回数がフレームレート (frame/sec) である。

短い周期で通信速度や視点移動速度が上下に変化する場合や、同変化が微少である場合、適応型LOD制御にて、LODの設定を変更すると、返って、LODの再設定のための処理が増大するために負荷が増大し悪影響を及ぼす場合がある。画面切替レート制御では、このような場合に、LODの設定を変更するのではなく、予め指定したフレームレートに極力近づける方向で、上記S1~S4

の各処理ステップの処理時間を調整制御してフレームレートを変更する。

同画面切替レート制御は、LODの設定を変更するより、フレームレートの変更を行った方が、

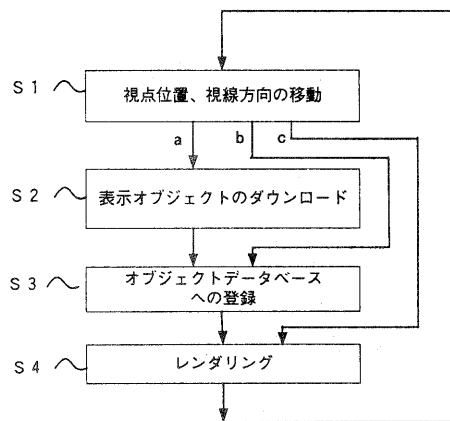


図4 フレームの表示フロー

リアルタイム性が保証される度合いが高くなる場合に適用される。

例えば、通信速度がネットワークの輻輳により劣化すると、表示オブジェクトの配信データレートが低減されるために、送信時間が長くなってしまいます。

この時、同画面切替レート制御では、表示オブジェクトのダウンロード(S2)のための処理時間の割当を、サーバから配信される表示オブジェクトを受信できるように変更する。

この変更により、フレームレートは、ステップS2の割当処理時間を延長しただけ小さくなるが、同フレームレートの減少が小さい場合は、LODの設定を変更するより、リアルタイム性が保証される度合いが高くなる。

視点の移動速度あるいは、通信路の利用可能通信速度の変動が上記フレームレートの変更を必要とする場合よりさらに軽微である場合は、上述のように、フレームレートを変更することなく、図4に示す処理ステップS2~処理ステップS4の各処理ステップに割り当てられている処理時間を融通しあうことにより、ステップS1~ステップS4の処理時間、すなわち、シーンの切り替え速度（フレームレート）を指定された一定速度に維持しようとする。

4. まとめ

通信路の利用可能な通信速度が変化して単位時間

当たりの送信可能データ量が変化したり、あるいは、視点移動速度/視線回転角速度が変化して単位時間当たりに送信する必要性のある表示オブジェクトのデータ量が変化しても、同適応型LOD制御と同画面切替レート制御を行ってストリーミング配信することにより、フレームレートを極力一定に保ち、リアルタイム性をベストエフォートに保証する空間表示が可能となる。

5. おわりに

現在、同ストリーミング配信表示システムを開発中である。今後、システム評価を行い最適な制御パラメータの抽出を行う予定である。

参考文献

- [1] 佐伯 他：「リアルタイム性を考慮した地図配信方式」、情報処理学会第60回国大会、2000.3
- [2] 佐伯 他：「リアルタイム性と信頼性を考慮したQoS制御に基づく地図配信方式」、情報処理学会第4回高度道路交通システム研究会、2000.3
- [3] 佐伯 他：「3次元空間データストリーミング配信表示システム」、情報処理学会第62回全国大会、2001.3