

5T-10 スケーラブルな分散型バーチャルリアリティシステムの提案

賀戸 大輔[◇] 呉 世雄[†] 平 朋大[†] 藤川 和利[◇] 有川 正俊[‡] 下條 真司[†] 宮原 秀夫[†][◇]奈良先端科学技術大学院大学

〒630-01 生駒市高山町 8916-5

{daisuk-k,fujikawa}@is.aist-nara.ac.jp

[†]大阪大学大学院基礎工学研究科

〒560 豊中市待兼山 1-3

{osw,taira,shimojo,miyahara}@ics.es.osaka-u.ac.jp

[‡]広島市立大学情報科学部

〒731-31 広島市安佐南区大塚東3丁目4番1号

arikawa@its.hirosima-cu.ac.jp

1 はじめに

近年、バーチャルリアリティ(Virtual Reality: VR)技術に関する研究・開発が盛んに行われており、特に Virtual Reality Modeling Language(VRML)[3]は、安価なワークステーションやPC上で容易に利用できるため、多くのユーザから注目されている。ユーザはVRMLを用いて仮想空間を記述し、World Wide Web(WWW)の機能を利用して提供することができる。このため、広域ネットワーク上の多くのユーザが同じ仮想空間を航行することが容易に行える。また、VRMLでは、ネットワーク上に分散している複数の仮想空間をリンクを用いて関連づけることができるため、ユーザがある仮想空間内の扉や窓をクリックすることで他の仮想空間に簡単に移動することができる。このようにネットワーク上に分散したユーザが仮想空間に関する情報を交換することのできるVRシステムを分散型VRシステムとよぶ。

これらのことから、実際にVRMLを用いて仮想商店街を構成したり、オンライン会議に利用しようという動きがある。これらのシステムにおいて、仮想空間に実際の参加者の映像や音声を用いることで、ユーザにとってより親しみやすいアプリケーションが提供できると考えられる。

このような背景から本研究では、多くのユーザが仮想空間を共有し、その空間内に現実世界の映像や音声を取り入れることのできる新たなVRシステムの構築を行っている。しかし、複数のユーザが単一の仮想空間を共有する場合、ユーザの環境は互いに大きく異なることが考えられ、ネットワーク帯域や計算機能力といった資源量は一律であるとは限らない。また、映像や音声といった連続メディアを用いた場合、必要とされる資源量が時間とともに変化する。そのために、ネットワークや計算機の負荷の変動やシステムの規模の変化に応じて品質を調整することで対応するバーチャルリアリティシステムを提案する。

2 分散型VRシステムの問題点

分散型VRシステムは図1のようにサーバとクライアントから構成され、クライアントはサーバ上に置かれたVRMLファイルを取り寄せVR空間を構成する。現在、VRMLを用いたシステムでは、ユーザはアプリケーション開始時には、ファイルの内容をすべて転送し終わるまで待たなければならない。また、あるVR空間において

マウスボタンをクリックするなどして、他のVR空間に移動する場合もファイルの転送が終了するまで待たなければならない。滑らかに空間を移動することができない。

ネットワーク上の複数のユーザがVR空間を共有することのできるシステムがいくつか開発されており[2, 4, 1]、システムの過負荷状態に対処するため、Level of Detail(LoD)とよばれる概念を用いて、一つのオブジェクトに対して表示品質(例えば、ポリゴン数)の異なる表示形態をあらかじめ定義し、負荷に応じて表示品質を決定している。しかし、これらのシステムでは、オブジェクトとユーザ間の距離よってのみ表示品質の調整を行っているだけで、ネットワークの負荷が十分に考慮されていない。また、ネットワークや計算機の負荷が動的に変化する場合における表示品質の調整方法を提供していない。

このようなことから、本研究では、ユーザの視覚による認識に基づいてVR空間内のオブジェクトの重要度を決定し、その重要度により動的にオブジェクトの表示品質をちょうせいすることで、システムの負荷変動に対応することのできるシステムを提案する。

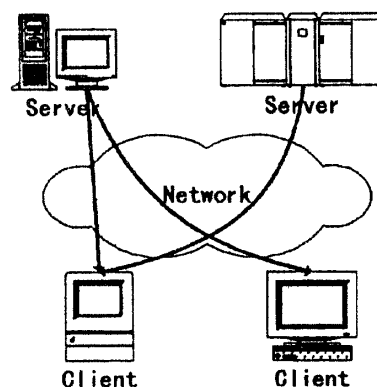


図1: 分散型VRシステムの構成

3 重要度に基づく品質調整機構

本稿ではVR空間内のオブジェクトの重要度を表すために Importance of Presence: IoP という概念を導入し、さらにIoPに応じた表示品質調整機構を提案する。

3.1 IoP の決定法

IoP とは、ユーザの空間内のオブジェクトの認識の度合を示すものであり、ユーザの位置から見たオブジェクトの位置や移動スピード、視線方向から定めることができると考えられる。例えば、ユーザとオブジェクトの距離が離れている場合や、視線方向からのずれが大きいときにはユーザのその物体に対する認識度は低いと考えられるので IoP は低くなる。これらのことを考慮して、IoP を以下のようにして求める。

ユーザからオブジェクトまでの距離を l 、ユーザの視線方向とオブジェクトの方向の角度を θ 、オブジェクトが実際の画面上に表示される面積を S とする。また、VR 空間内には N 個のオブジェクトが存在するものとする、 i 番目のオブジェクトの IoP は以下のようにして計算できる。

$$IoP_i = \frac{f(l_i, S_i, \theta_i)}{\sum_{i=1}^N f(l_i, S_i, \theta_i)} \quad (1)$$

$$f(l_i, S_i, \theta_i) = \begin{cases} 0 & (\text{if } -\pi \leq \theta_i < -\frac{\pi}{2} \text{ or } \\ & \frac{\pi}{2} < \theta_i \leq \pi) \\ 0 & (\text{if } l_i > L_{max}) \\ \omega_1(L_{max} - l_i) \cos^2 \theta_i + \omega_2 S_i & (\text{if } L < l_i \leq L_{max}) \\ \omega_3(L_{max} - l_i) \cos^2 \theta_i + \omega_4 S_i & (\text{if } l_i \leq L) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、ユーザの背後にあるオブジェクト (つまり、 $-\pi < \theta_i < -\frac{\pi}{2}$ または $\frac{\pi}{2} < \theta_i \leq \pi$ となる場合) の IoP を 0 とみなす。また、オブジェクトの距離が認識できない程遠くなった場合 (つまり、 $l_i > L_{max}$ 、 L_{max} は可視距離) も IoP を 0 とみなすことができる。通常、人間の視覚では、大きな物体ほど認識しやすいが、ある程度近づくと大きさに関わらず物体を認識すると考えられる。このため、ある閾値 L を設け、閾値よりオブジェクトが近い場合は距離を優先して IoP を計算し、遠い場合は表示面積を優先して IoP を計算する。

3.2 VR 空間の品質調整方法

次にオブジェクト重要度に基づいて品質を調整する方法について述べる。最初、システムの負荷が低いときには全ての物体を高品質で表示する。しかし、システムが過負荷状態に陥り VR 空間内をユーザが滑らかに移動できなくなった場合には、以下のようにして重要度の低い物体から順に品質を落としていき過負荷状態を解消する。

ある i 番目のオブジェクトに M_i 個の LoD が定義されているものとする。ここで、品質を下げる際の下限 LoD を次の式を満たす j 番目の LoD とする。

$$\frac{j-1}{M_i} \leq IoP_i < \frac{j}{M_i} \quad (3)$$

最も IoP の低いオブジェクトに対して、下限 LoD まで LoD を順次下げる。途中、システムの過負荷状態が解消

された場合は、その時点で品質を下げるのを停止する。下限 LoD まで品質を下げて、システムが過負荷状態であれば、次に IoP が低いオブジェクトを下限 LoD まで順次品質を下げる。この作業をシステムの過負荷状態が解消されるまで繰り返す。

この方法を用いれば、ユーザの知覚を基準とした VR 空間全体の品質の低下を最小限にしつつ、システムの過負荷状態を回避することが可能である。

3.3 オブジェクト転送機構

アプリケーション開始時やある VR 空間から他の VR 空間に移動したときに、ユーザがファイル転送の終了を待たずに滑らかに VR 空間を移動できるように、VR 空間内のオブジェクトを逐次転送する“オブジェクトストリーミング”を提案する。ここでは、 t 秒後のユーザの位置を予測し、その時点におけるオブジェクトの重要度を計算し、重要度の高いオブジェクトから転送する。

4 まとめ

本稿では、従来の分散型バーチャルリアリティシステムの問題点を指摘し、さらにその問題点を解決する方法として、ユーザから見たオブジェクトの重要度のに着目し、重要度の決定方法、およびそれを利用したシステムの過負荷時における VR 空間の品質調整方法の提案を行った。

今後の課題として、重要度の計算式の評価を行う必要がある。また、ユーザが VR 空間内を速く移動している場合は、高品質で表示を行うことよりも、滑らかに移動できることの方を優先するべきである。このため、ユーザの移動速度を考慮してオブジェクトの重要度を決定することが考えられる。さらに、複数のユーザ間で同一の VR 空間を共有する場合には、ネットワークの帯域や計算機の処理能力といった環境の異なるユーザ間で、VR 空間の一貫性を保証することが重要である。

参考文献

- [1] R. Lea, Y. Honda, K. Matsuda, O. Hagsand, and M. Stenius, "Issues in the Design of a Scalable Shared Virtual Environment for the Internet," *Proc. of HICSS97*.
- [2] T.A. Funkhouser, "Database Management for Interactive Display of Large Architectural Models". *Graphics Interface '96*, Toronto, Ontario, May, 1996, p. 1-8.
- [3] Mark Pesce, "VRML - Browsing and Building Cyberspace", *New Riders*, 1995
- [4] M.R. Macedonia, M.J. Zyda, D.R. Pratt, P.T. Barham, and S. Zeswitz, "NPSNET: A Network Software Architecture for Large Scale Virtual Environments", *Presence*, Vol. 3, No. 4, Fall 1994, pp.265-287.