

# 大規模 3 次元仮想空間における 利用性向上のための興味解析手法の提案

中井優志 柴田義孝

岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究科

近年、3次元仮想空間を利用したコミュニケーションシステムが数多く提案されている。このようなシステムでは同一の空間内に多数のユーザーの参加をサポートするために、アバタの距離に基づいた QoS 制御を主として適用している。QoS 制御の目的はコミュニケーションシステムにおいて計算機、ネットワーク資源の浪費を防ぐためである。本稿ではアバタ間の距離に加え、利用者の興味情報に基づいた計算機資源、ネットワーク帯域への QoS 制御を提案する。この手法を用いることで、必ずしも必要ではないコミュニケーションと、計算機、ネットワーク資源の浪費を防ぐ。また、関心の高いコミュニケーションに優先して資源を割り当てることが可能となる。

## Proposing Interest Analysis for Improvement in Usability on the 3D Virtual Shared Space

Yushi Nakai Yoshitaka Shibata

Graduate School of Software and Information Science Iwate Prefectural University

Recently many communication systems based on three dimensional spaces are proposed. In those systems, in order to support many users in the same space, QoS control function based on the distance among the avatars is mainly applied. For this reason, the computing and network resources in the communication systems are wasted. In this paper, we suggest a new QoS control to take account of user's interest and status information in addition to the distance among the avatars. Using this method, un-necessary communication and resources can be reduced and more interested communication can be attained with higher priority in the large communication space.

### 1 はじめに

近年、ブロードバンドの普及によって高速で常時接続可能なネットワークが日常用いられるようになってきた。これにより、従来のテキストやイメージなどによるコミュニケーションから、音声や動画を用いた双方向のコミュニケーション利用の期待も高まってきている。

一方、コンピュータ性能の向上やマルチメディア技術の発達により、高精細な 3 次元グラフィックスを用いたシステムが開発されるようになってきた。従来技術では、ネットワーク環境が乏しかった理由もあり、計算機単体や大学構内などの単体、もしくは同一の場所での利用が主であった。しかしながら、近年のネットワーク技術の発展により、遠隔地間を結んだシステムの利用が可能となった。これにより、近年は大容量ネットワークを利用した大規模な利用者間によるコラボレーション支援を目的とした DVE(Distributed Virtual Environment) も多数提案されている。[2] [5] [3] [4] また、ビデオの利用な

ごによるコミュニケーション機能の高性能化や、数百から数千といった利用者の大規模化などにより、このような大規模な DVE システムにおいてサービス品質 (QoS) を考慮することが求められている。

そこで従来の研究においては利用者の興味情報と 3 次元仮想空間内での位置情報を利用した QoS 制御の実現を行ってきた。[4]

しかしながら、従来のシステムは興味情報は利用者が明示的に入力を行うものであり、利用者は興味の変化の度に再入力を行う必要があった。そのため QoS 制御の効果は利用者の入力に依存する部分があり、利用者ごとに QoS 制御の効果が異なっていた。

また、従来システムの QoS 制御対象は利用者間のインタラクションにとどまっており、3 次元仮想空間に存在するオブジェクトは QoS 制御の対象外であった。興味情報による QoS 制御を 3 次元仮想空間に存在する全てのオブジェクトに拡大することで、より利用者のユーザビリティが向上するものと考えられる。

このような背景から、本研究では新たに利用者の興味モデル化を行い、QoS 制御対象を 3 次元仮想空間に存在するオブジェクト全体に発展させたシステムの提案、構築を行う。

## 2 関連研究

本研究の先行研究としては、これまでにおこなわれた本研究室の研究 [4] が挙げられる。先行研究 [4] では

- 利用者の興味情報を用いた、ユーザ検索機能
- 興味情報・立場情報・距離情報を用いたメディアの選択機能
- 興味情報・立場情報・距離情報を用いた QoS 優先度及びレベル制御機能

を実現することによって、三次元仮想空間で行われる重要なコミュニケーションに優先的に資源を配分し、利用者の要求を考慮した制御を可能とした。

また、他の関連研究としては 3 次元仮想空間でのコミュニケーションフレームワーク [2] [5] [3] や、利用者の興味を用いたヴァーチャルカンファレンスシステム [1] があげられる。コミュニケーションフレームワーク [2] [5] [3] ではコミュニケーションを行う際にユーザの 3 次元仮想空間上での位置情報を基準に QoS 制御を行うことでトラフィックを削減するものであり、利用者の興味は考慮されていない。

また、文献 [1] では利用者の興味モデル化を行い、必要な情報を効率良く取得する手法を提案しているが、利用者間のインタラクションは対象としておらず、1 対多数のカンファレンスを対象としている。また、興味の履歴は考慮されていない。これらの関連研究に対して、本研究では利用者の興味とその履歴を考慮したシステムを提案する。

## 3 システム概要

本研究では大規模 3 次元仮想空間上でのインタラクションを支援するために、利用者の潜在的な要求をシステム側で把握し、ユーザに対して必要なインタラクション機能を提供するシステムの提案と実現を行う。

これにより利用者は大規模 3 次元仮想空間上において、空間に存在するオブジェクトを効率的に探し出し、興味の程度に応じたインタラクションを行うことができる。

図 1 は本システムの概要であり、高速なネットワークで相互接続された複数のネットワークからシステムを構成する。ネットワーク上に Information Server, Information DB がそれぞれ一つ、Agent, Client がそれぞれ複数設置することによりシステムが動作す

る。本研究の適応分野としては、ヴァーチャルミュージアムを想定しており、利用者が興味のある展示品を効率的に探しだすことを可能とし、展示品に対する興味に応じたプレゼンテーションや、同等の興味を持っている他の利用者とのコミュニケーションによって、現実でのプレゼンテーションでは実現が困難なサービスを提供することができる。

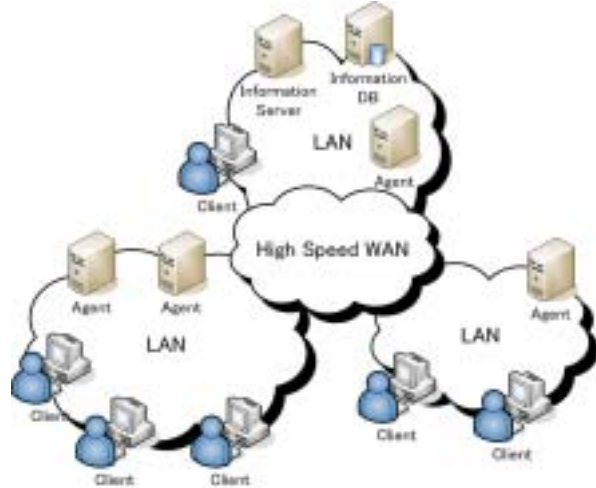


図 1: システム概要

## 4 システムアーキテクチャ

システムのマジュールは興味情報を管理する InformationServer、静的な情報を保持する InformationDB、クライアントへ提供する空間の最適化を行う Agent、利用者のインターフェースとなる Client、の 4 つに分割できる。

Information Server は Location Manager と Interest Manager をもち、Location Manager は全 Client の位置情報を管理し Client からの位置情報更新と Agent からの位置情報要求を処理する。Interest Manager は全 Client 興味情報の管理を行い、Client からの興味情報更新をうけ、Information DB に格納する役割をもつ。

Information DB は静的な情報の格納と、空間に配置される 3D オブジェクト情報の格納を行う。

Agent は Interest Analyser と Calculator をもつ。Interest Analyser は Client からの興味分析要求をうけ、Client 向けに最適化された空間情報を生成する。

Calculator は興味分析を行う。

Client は VRSpace Generator, User Interface, Interaction Manager, Action Analyser をもつ。VRSpace Generator は Client 向けに最適化された空間情報を基に、3 次元空間の生成を行う。User Interface は利用者に最適化された空間情報を

基に、3次元仮想空間を利用者に提供する。また、利用者からの入力の処理を行う。

Interaction Manager は Client 間のインタラクションの管理を行う。Action Analyser は利用者からの興味情報を分析し、分析された結果は Information Server に報告される。

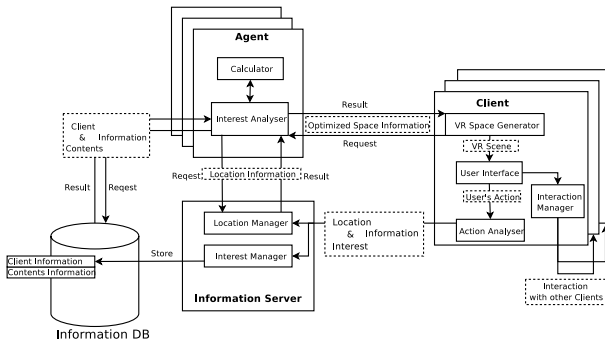


図 2: システムアーキテクチャ

## 5 VR空間における興味のモデル化

本研究では利用者の利用性を向上させるために、参考文献 [1] を拡張した 3次元オブジェクトの管理手法を提案する。

### 5.1 VR空間で表現されるオブジェクト

VR空間で表現されるオブジェクトは

1. 利用者のアバタオブジェクト
2. コンテンツオブジェクト

に分類される。

本システムではオブジェクト行列  $O$  を以下のように定義する。 $U$  を利用者のアバタオブジェクトとし、総数を  $m$ ,  $P$  をコンテンツオブジェクトとし、総数を  $n$  とした場合、以下の行列でオブジェクトを表現する

$$O = \begin{pmatrix} o_1 \\ o_2 \\ \vdots \\ o_m \\ o_{(m+1)} \\ o_{(m+2)} \\ \vdots \\ o_{(m+n)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_m \\ P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{pmatrix}$$

また、全てのアバタオブジェクトには空間に存在するオブジェクトそれぞれに対する好奇心を数値化した行列  $C$  (curiosity) を定義する。 $C$  は以下の定義となる。この値は利用者による入力によって決定される。

$$C = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_m \end{pmatrix} \quad (c \in [0, 1])$$

オブジェクトをアバタオブジェクト、コンテンツオブジェクトの 2 種類に分類することによって、興味の重み付け行列の参照領域を制限することが可能となる。

### 5.2 興味の重み付け行列

本システムでは前述のオブジェクトの定義を前提として興味の重み付け行列  $W$  を定義する。 $W$  はオブジェクトの総数  $(m+n) \times (m+n)$  の行列となる。

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1(m+n)} \\ w_{21} & \cdots & w_{2(m+n)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{(m+n)1} & \cdots & w_{(m+n)(m+n)} \end{pmatrix}$$

このとき  $W_{ij} \in [0, 1]$

$W(i, j)$  はオブジェクト  $i$  からオブジェクト  $j$  に対する興味の重みを表す。

また、コンテンツオブジェクトからアバタオブジェクトに対する重みの値は 0 となる。

### 5.3 興味履歴行列

本システムではオブジェクトの興味の履歴化を行う。

興味を基底とした履歴化を行うことによって、利用者に、オブジェクト精度の高いレコメンデーションの実現を目的とする。

本システムにおいて、オブジェクト精度は LOD (Level Of Detail) として表現し、後述する段階を設定する。アバタオブジェクトからオブジェクトへの興味履歴を  $A$  (ActiveHistory), オブジェクトに対して興味を持ったアバタオブジェクト履歴を  $P$  (PassiveHistory) とする。

Active History を表す行列  $A$  は  $m \times (m+n)$  の行列となり、 $a_{i,j}$  はアバタオブジェクト  $i$  から見た

オブジェクト  $j$  の履歴順位となる。

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1(m+n)} \\ a_{21} & \cdots & a_{2(m+n)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{m(m+n)} \end{pmatrix}$$

$$a_{i,j} \in [0, m+n]$$

Passive History を表す行列  $P$  は  $(m+n) \times m$  の行列となり、 $p_{i,j}$  はアバタオブジェクト  $j$  がオブジェクト  $i$  を参照した履歴順位となる。

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1m} \\ p_{21} & \cdots & p_{2m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{(m+n)1} & \cdots & p_{(m+n)m} \end{pmatrix}$$

$$p_{i,j} \in [0, m]$$

## 6 行列操作

本モデルにおいて、これまでに定義した行列に対する操作を説明する。操作は以下のとおりである。

1. 利用者の参加
2. 利用者のアクションからの興味解析
3. 興味履歴の解析による興味解析
4. 興味の重みに応じたオブジェクトの LOD(Level Of Detail) 制御

定期的に制御を実行することで利用者からの情報をシステムに反映させる。

### 6.1 利用者の参加

空間に新しく参加したアバタオブジェクトを  $U'_m$  とした場合、新たに  $U'_m$  の情報を格納するための行、列が 3 つの行列に追加される。

#### 6.1.1 興味の重み ( $W$ 行列) の再構築

アバタオブジェクトの総数を  $m'$ 、コンテンツオブジェクトの総数を  $n$  としたとき、行列  $W$  は  $m' \times (m' + n)$  の行列となる。

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1(m'+n)} \\ w_{21} & \cdots & w_{2(m'+n)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m'1} & \cdots & w_{m'(m'+n)} \end{pmatrix}$$

再構築によって追加された行、列の値はすべて 0 となる。

#### 6.1.2 オブジェクトの興味履歴 ( $A$ 行列) の再構築

アバタオブジェクトの総数を  $m'$ 、コンテンツオブジェクトの総数を  $n$  としたとき、行列  $A$  は  $m' \times (m' + n)$  の行列となる。

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1(m'+n)} \\ a_{21} & \cdots & a_{2(m'+n)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m'1} & \cdots & a_{m'(m'+n)} \end{pmatrix}$$

再構築によって追加された行、列の値はすべて 0 となる。

#### 6.1.3 オブジェクトの披参照履歴 ( $P$ 行列) の再構築

アバタオブジェクトの総数を  $m'$ 、コンテンツオブジェクトの総数を  $n$  としたとき、行列  $P$  は  $(m' + n) \times m'$  の行列となる。

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1m'} \\ p_{21} & \cdots & p_{2m'} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{(m'+n)1} & \cdots & p_{(m'+n)m'} \end{pmatrix}$$

再構築によって追加された行、列の値はすべて 0 となる。

## 6.2 利用者のアクションからの興味取得

### 6.2.1 アクションからの興味取得

ユーザの VR 空間でのアクションからユーザの興味を解析する。具体的には、アクションを複数のパターンに分類し、それぞれの興味の重みを事前に定義する。

アクションを行うユーザを  $i$ 、 $i$  の興味対象を  $j$  とした場合、以下のテーブルに基づいて  $W(i,j)$  に  $w$  を代入する。

テーブルは Action と、そのアクションに対する興味の重み ( $w$ ) の割り当てで構成されており、任意数のアクションと興味の重みを設定することが可能である。

$$w = \begin{cases} w_1 & Action_1 \\ w_2 & Action_2 \\ \vdots & \vdots \\ w_N & Action_N \end{cases}$$

ユーザアクションによって  $W(i, j) = 1$  となった場合、履歴順位が1位となり  $A(i, j)$  の値は1となる。また、第1位のオブジェクトが更新されたことにより順位の更新がおこなわれる。

### 6.3 履歴の分析による興味行列の再計算

ユーザアクションの分析によって *ActiveHistory* が更新された場合、そのユーザの興味分析を行う。

#### 6.3.1 同様の興味をもつアバタオブジェクトに対する興味

1. 新たにユーザが興味をもったオブジェクトの *PassiveHistory* を参照する。
2. 各要素にユーザの  $c(\text{curiosity})$  を掛け合わせる。
3. 掛け合わせた値をユーザの興味の重み行列の各要素に加算する

#### 6.3.2 対象アバタオブジェクトの興味伝播

興味の対象がアバタオブジェクトである場合、そのアバタオブジェクトの興味からの伝播が考えられる。

1. 新たにユーザが興味をもったアバタオブジェクトの *ActiveHistory* を参照する。
2. 各要素にユーザの  $c(\text{curiosity})$  を掛け合わせる。
3. 掛け合わせた値をユーザの興味の重み行列の各要素に加算する

#### 6.3.3 興味の減衰

興味は時間と共に減衰するものと考えられる。*ActiveHistory* は  $T$  時間ごとにそのユーザの  $c(\text{curiosity})$  を掛け合わせた値に更新されていくものとする。

### 6.4 興味の重みに応じたオブジェクトの LOD(Level Of Detail) 制御

本システムでは興味の重み行列  $W$  の値に応じて VR 空間でのオブジェクト表現を変化させる。ユーザ  $i$  がオブジェクト  $j$  を VR 空間で見た場合の表現は、 $W(i, j)$  の値に応じて変化する。表現レベルは  $W(i, j)$  に閾値を設けることによって

変化させ、閾値を  $t(\text{threshold})$  として設定することで以下のように表現することができる。

$$\begin{cases} t_0 \leq W(i, j) < t_1 & \text{Level1} \\ t_1 \leq W(i, j) < t_2 & \text{Level2} \\ \vdots & \vdots \\ t_{N-1} \leq W(i, j) \leq t_N & \text{LevelN} \end{cases}$$

$$t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_N$$

利用者に対して表示されるオブジェクトは Level に応じたディテールで表現することが可能となる。また、*threshold* を任意数設定することにより、Level の段階を調整することも可能となる。

## 7 プロトタイプシステム

本システムのプロトタイプ構成としては図2のようなものを構築中である。100M の Ethernet 上に、全体の興味情報を一元管理する Information Server, Information DB を一組と、利用者が利用する Client、興味解析を行う Agent をそれぞれ複数配置する。

プロトタイプシステムにおいて、利用者のアクション

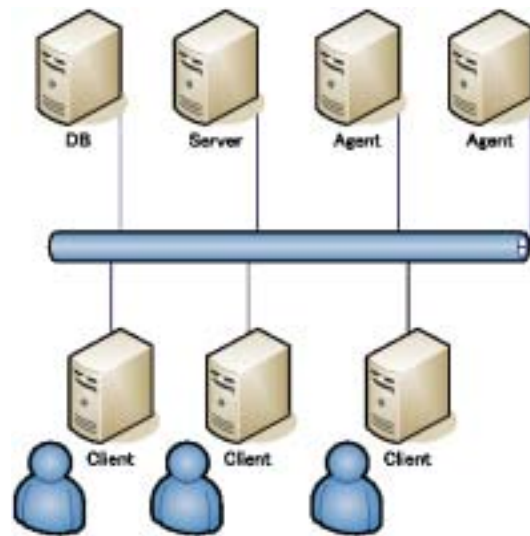


図3: プロトタイプ構成案

ンは以下のように設定を行う。

$$w = \begin{cases} 0.5 & \text{default} \\ 0.7 & \text{closetoobject} \\ 1.0 & \text{selectobject} \end{cases}$$

これは仮に利用者がオブジェクトを選択した際に  $w$  は 1.0 に、オブジェクトに近付いた際に  $w$  は 0.7 に、空間に参加した際に 0.5 が設定されることを表す。

また, $w$  の値による LOD は以下のように設定を行う。

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0 = W(i, j) & invisible \\ 0 < W(i, j) < 0.3 & wireframe \\ 0.3 \leq W(i, j) < 0.6 & monocrome \\ 0.6 \leq W(i, j) < 0.9 & color \\ 0.9 \leq W(i, j) = 1 & color, information \end{array} \right.$$

以上の定義を行った上で、プロトタイプシステムとしてヴァーチャルミュージアムの実現を行った。システムは利用者のアクション分析を行うことで興味情報を取得し、得た興味情報に基づいて空間に存在するオブジェクトの LOD を変化させる。また、利用者が他の利用者に興味を持った場合に、相手利用者の興味履歴を反映するといったレコメンデーションも実現する。

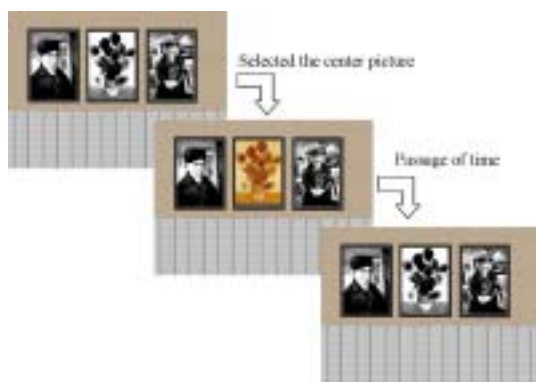


図 4: プロトタイプシステム

## 8 評価

本システム評価は以下の項目を行う。

- 興味による QoS 制御の有無による利用性の変化  
QoS 制御の有無によってどの程度利用性が変化するかを測定する。
- 規模の変化による利用性の変化  
Client が増えるにしたがって、Information Server, Information DB にどの程度の負荷がかかるのかを測定する。また、Agent の増減によってどの程度の負荷分散が可能かを検証する。
- 興味履歴参照の有無による利用性の変化  
利用者の興味履歴を管理することによって、どの程度利用性が変化するかを測定する。

これら各項目に関して、利用者のアンケートを基に集計を行い、システム実現による利用性の評価を行う予定である。

## 9 まとめ

本稿では多数の利用者が存在する 3 次元仮想空間における興味分析手法を提案した。興味の行列化を行い、利用者のアクションを行列に反映させることで利用性を高めることが可能となる。また、現在は提案手法の評価を行うためにプロトタイプシステムの構築を行っている。

## 参考文献

- [1] Dawei Ding and Miaoling Zhu. A model of dynamic interest management: Interaction analysis in collaborative virtual environment. *Proceedings of the ACM symposium on Virtual Reality Software and Technology 2003 (VRST 2003)*, 2003.
- [2] Greenhalgh Purbrick J and Snowdon. Inside massive-3: Flexible support for data consistency and world structuring. *Proceedings of the Third ACM Conference on Collaborative Virtual Environments (CVE 2000)*, pages 119–127, 2000.
- [3] Hideyuki Nakanishi, Satoshi Koizumi, Toru Ishida, and Hideaki Ito. Transcendent communication: Location-based guidance for large-scale public spaces. *International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2004)*, 2004.
- [4] Satoshi Oikawa, Koji Hashimoto, and Yoshitaka Shibata. Qos control function based on user's information on the 3d virtual shared space. *18th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2004)*, page 74, 2004.
- [5] Kurt Saar. Virtus: a collaborative multi-user platform. *Proceedings of the forth symposium on Virtual reality modeling language*, 1999.