

マルチエージェントに基づく3次元共有空間のQoS制御

QoS Control Scheme for Multi-User 3D-Virtual Space Based on Multi-Agent Framework

大前 良介[†]
Ryosuke Ohmae菅沼 拓夫[†]
Takuo Suganuma白鳥 則郎[†]
Norio Shiratori

1. 序論

近年、計算機技術とインターネットの発展に伴い、より高度なインターフェイス・コミュニケーションツールとして、3次元共有空間を用いたアプリケーションが普及しつつある。3次元共有空間とは、利用者端末でコンピュータグラフィックスを用い表現された仮想的な3次元空間を、ネットワークを介して利用者間で共有する技術である。3次元共有空間を用いることで、地理的に離れた利用者同士が、あたかも同じ場所にいるかのような感覚でコミュニケーションや作業を行うことができる。その一方で、この技術の実現には、提供されるサービスに見合った高い処理能力と高速なネットワークが必要となり、刻一刻と変化する計算機・ネットワークの資源状況(CPU利用率、帯域使用率など)下においてサービスを快適な状態で受けるには、利用者自身が適切な設定を行わなくてはならない。このことは、計算機技術やネットワークに対する知識をほとんど持たない初心者にとっては非常に煩わしく、大きな負担となっている。

そこで、本研究では、3次元共有空間の利用者の負荷を軽減し、その利便性を向上するシステムを実現する。具体的には、利用者の要求、計算機・ネットワークの状況を自律的に獲得し、それらの情報を元に自動的に3次元共有空間のQoS制御を行うシステムの実現を目的とする。

本稿では、マルチエージェントシステムに基づく本システムの設計と実装について述べる。プロトタイプシステムを用いた実験により本システムの評価を行ったところ、利用者要求、計算機資源、ネットワーク資源の変動に対し、これまでにない柔軟な制御が行えることを確認した。

2. 3次元共有空間のQoS制御

2.1 技術的課題

これまで、3次元共有空間のQoS制御を行う様々な研究がなされてきた[1][2]。これらは主に、システムに対する影響を考慮したものであり、利用者の視点での利便性までを考慮した制御方式については十分検討されていない。そこで、本研究では従来にない以下のような特徴をもつシステムを実現する。

- 利用者の設定作業の負荷軽減
- 使用中のリソース変化への動的な対応
- 利用者要求に基づくQoS制御

このようなシステムを実現する上で以下のような技術的課題がある。

- (P1) 3次元共有空間に対する利用者要求の獲得手法
(P2) 多種多様かつ多数のオブジェクトにより構成される3次元共有空間の効果的なQoS制御法

これに対し、本研究では以下のような解決法を与える。

- (S1) 利用者エージェントによる利用者要求獲得 (P1)
(S2) オブジェクトをエージェント化し、エージェント間協調によるQoS制御 (P2)

2.2 利用者エージェントによる利用者要求獲得

大きく分けて2つの手法により、利用者エージェントを用いて利用者要求獲得を行う。

一つは、3次元共有空間におけるQoSの監視である。利用者はQoSが低下すれば必然的にそれを向上させたいという要求を持つと考えられる。そこでエージェントに3次元共有空間のQoS定義を知識として与え、これに基づいて提供サービスの状況を監視する。これにより、いつ、どのように制御を行ってほしいかという利用者要求を獲得する。なお、ここでは3次元共有空間のQoSを表示品質(ポリゴンの精密さ等)と動作品質(fpsの高さ等)から定義するものとする。

もう一つは、利用者の3次元空間内での行動の監視である。移動中であれば、動いているものを追いかけていたりしている状況であるから、動作品質を優先するであろうし、静止中であれば、何かをじっくり見ている状況であるから、表示品質を優先すると予想される。以上から表示品質・動作品質要求を取得する。また、オブジェクトと利用者とのインタラクションを監視することにより、利用者にとって重要なオブジェクトを知ることができ、オブジェクトの重要度要求を獲得することができる。

2.3 オブジェクトのエージェント化

3次元共有空間のQoS制御を行う上で、2次元のビデオ会議システム等と大きく異なる点は、ビデオ会議システムでは一つの画面単位でのfps・解像度などの品質の調整のみを考慮すればいいのに対し、3次元共有空間では内部のデータ構造的にそれぞれのオブジェクトが独立して扱われるため、一つの画面内に映し出されるオブジェクト単位での制御が必要となることである。これによって、制御する対象が非常に多くなるため、個々のオブジェクトをいかに管理・制御するかが問題となる。

本研究では、オブジェクトに対して、利用者との関係から得られる重要度や履歴を管理する機能、及び、自身の品質を決定する機能を与える。この操作をエージェント化と呼ぶ。オブジェクトと利用者との関係は、それぞれの利用者・オブジェクトごとに異なっているため、各オブジェクトをエージェント化することで、利用者によりパーソナライズされた知的で柔軟な制御が行える。

3. 設計

本研究の提案システムに必要な機能は以下の通りである。

- (F1) QoS監視機能
(F2) リソース監視機能
(F3) 利用者要求獲得機能
(F4) オブジェクト重要度管理・品質決定機能
(F5) 解決方針決定機能
(F6) 端末間交渉機能

本研究ではこれらの機能をマルチエージェントを用いたミドルウェアとして実装する。そして、そのエージェントミドルウェア

[†] 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

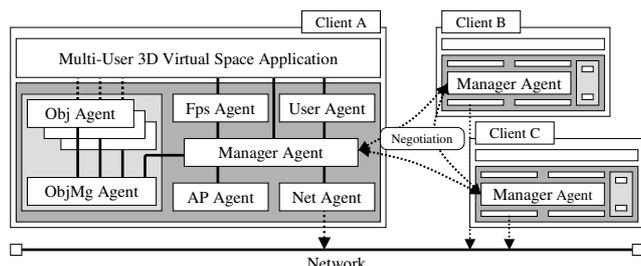


図 1: エージェント構成

アが3次元共有空間アプリケーションの制御パラメータを設定することでQoS制御を行う。

マルチエージェントを用いたミドルウェアとして実装を行う理由は、ミドルウェアとして実装することで、既存の技術を生かしつつ新しい制御法を提供できるからである。また、エージェントの持つ自律性・協調性がこれらの機能の実現に有効であり、ミドルウェアを設計する上で高い拡張性を確保できるからである。

図1にエージェントの構成を示す。それぞれのエージェントは以下のような機能を持つ。

- Manager Ag** エージェント全体を管理しており、各監視エージェントから状況報告を受け、調整を指示する。また、必要に応じて他の利用者端末のエージェントと交渉を行う。
- Obj Ag** エージェント化したオブジェクト。自身と利用者の関係(重要度)を管理しており、Managerの指示を受け自身の品質を決定する。
- ObjMg Ag** Obj Agentを管理し、空間全体の品質を保持する。閾値を超えて品質が変化した場合AP Agentへ通知する。
- User Ag** 利用者の空間内の移動から利用者要求を獲得し、Manager Agentへ通知する。
- Fps Ag** QoSパラメータの一つであるfpsの監視を行い、閾値を一定時間超えるとManager Agentに警告メッセージを送信する。
- Net Ag** ネットワークトラフィックの監視を行い、閾値を一定時間超えるとManager Agentに警告メッセージを送信する。
- AP Ag** アプリケーションの特徴に応じて動作品質と表示品質の妥協点を決定する。

4. 実装

3次元空間アプリケーションの実装にはC言語ベースの3次元空間構築用ライブラリWorld Tool Kit (Windows OpenGL版)を用い、3次元空間共有にはサーバクライアント型空間共有システムWorld to Worldを用いた。

エージェントの実装にはルールベースのマルチエージェントフレームワークであるDASH-1.1d (DASH: Distributed Agent System based on Hybrid architecture) [3]を用いた。

DASHはJavaベースのフレームワークであり、World Tool Kitはネイティブコードで実行される。本研究はミドルウェアとしての制御機構を実現することを目指している。そのためアプリケーションがどのようなコードで実装されても、この機能を利用できるように、アプリケーションとエージェントとの接続は、TCP通信を用いた接続方法を採用した。

図2に実装した制御対象アプリケーションを示す。これは、

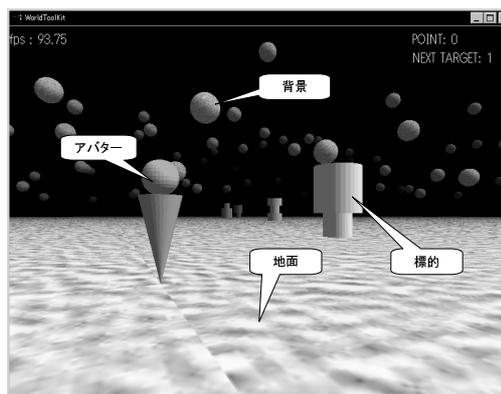


図 2: 実装したアプリケーション

利用者同士がコミュニケーションを行いながら標的を追いかけるといった簡単なゲームを想定している。

このアプリケーションにはアバター、標的、背景、地面といったオブジェクトが存在している。これらの重要度の初期値は、アバター/高、標的/中、背景・地面/低と設定した。

今回の実装で、処理量の調整に用いるパラメータはLOD(Level of Detail)の切り替え位置である。LODは視点から離れたオブジェクトの表示品質を下げ、全体の処理量を減らす技術である。この切り替え位置を小さな値にすると全体で表示品質の低いオブジェクトが増え、処理量を減らすことができる。また、通信量の調整に用いるパラメータは各オブジェクトの送信レートである。実装環境には送信レートについて、共有プロパティ単位、受信レートについてコネクション単位で調整する機能が備わっているが、今回は簡単化のため送信レートのみを用いた。これら調整パラメータは簡単化のため、0~5の6段階の値を指定するようにした。

5. 実験と評価

5.1 実験の概要

実装したプロトタイプシステムを用いて実験を行った。実験では計算機・ネットワーク資源状況および利用者要求の変化に対するシステムの動作を観測した。実験においてfpsを計測した計算機はhp workstation x2000(Pentium4 1.7GHz/1024MB/FireGL2/WindowsNT4.0)である。ネットワークは、GbitLANで接続されたサーバクライアントネットワークに、この計算機を帯域制限を設けたルータを介して10MbpsのLANで接続した環境を用いた。

5.2 計算機・ネットワーク資源変化への対応

まず、アプリケーションの動作中にバックグラウンドタスクが発生したことを想定し、実行中に故意にCPUに負荷をかけ、そのときのシステムの挙動を観測した。結果を図3に示す。CPUに負荷をかけると、処理能力が低下し、fpsが劣化している。これに対しこの劣化を検出し、それぞれのオブジェクトの重要度に応じて表示品質を下げ、fpsをある程度回復させる動作を行っていることがグラフから読みとれる。

次に、使用中にネットワークトラフィックが増大した状況を想定し、実行中にダミートラフィックを発生させたときのシステムの挙動を観測した。結果を図4に示す。先ほどと同様に、トラフィックの増大を検出し、それぞれのオブジェクトの重要度に応じてデータの送信レートを下げることで全体のトラフィックを低く抑えていることがグラフから読みとれる。

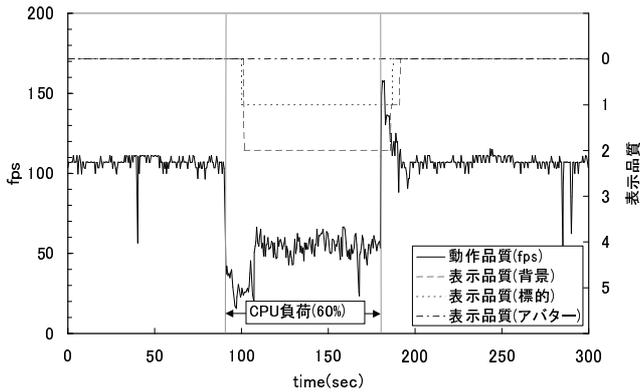


図 3: 実験結果-CPU 負荷の変動に対する制御

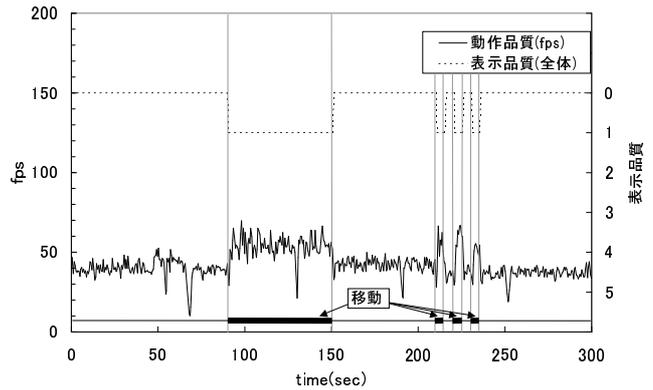


図 5: 実験結果-移動の監視に基づく制御

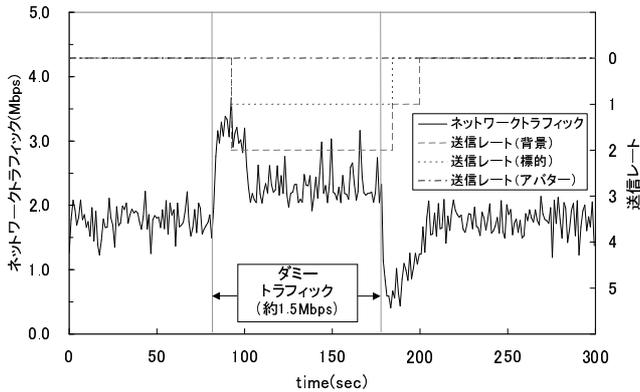


図 4: 実験結果-ネットワークトラフィックの変動に対する制御

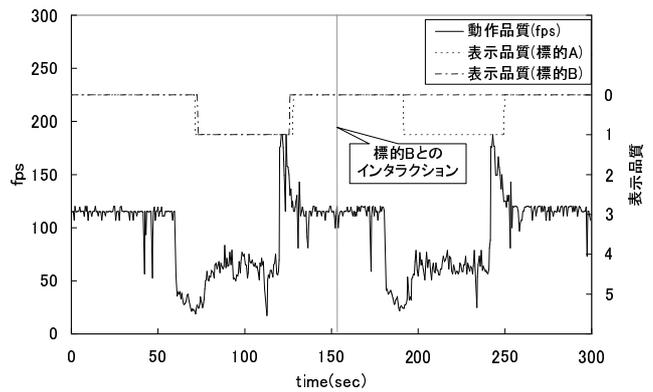


図 6: 実験結果-インタラクションに基づく制御

5.3 利用者要求変化への対応

次に、利用者の空間内の動作を監視することによる制御が行えることを検証するため、以下のような実験を行った。

まず、利用者の移動を監視することによる制御を確認するため、移動と静止を繰り返させた。結果を図 5 に示す。利用者の移動を検出すると、表示品質を一段下げ、動作品質を上昇させている。ここで、利用者の移動と静止は短時間で変動することが考えられるため、制御はどのオブジェクトの品質を下げるかということを考慮せず、一律で下げている。このことで、図 5 の 200 秒から 250 秒の間にみられるような、短時間で変動する要求にも素早く対応できている。

次に、オブジェクトと利用者のインタラクションを監視することによる制御が行えることを検証した。結果を図 6 に示す。一度目の制御では、標的 A・B とともに同様の表示品質の制御が行われている。次に標的 B と利用者のインタラクションが発生した後の制御では、標的 B の重要度が高くなり、標的 B の表示品質を維持している。

5.4 評価

以上のように、今回実装したシステムは、計算機資源・ネットワークトラフィックの変動を自動的に検出し、柔軟な制御が行えた。また、利用者の行動を監視することで自動的に利用者要求を取得し、それに基づいた効果的な制御が行えることが確認できた。これらは、利用者エージェントによる利用者要求獲得とエージェント化したオブジェクトの自動制御による効果が現れているためであると考えられる。これらの結果から、本提案のシステムは本研究の目的を達成するのに有効であることが示された。

6. 結論

本研究では、3次元共有空間アプリケーションの利用時の利用者の負荷軽減を目的とし、(1) 利用者エージェントによる利用者要求獲得、(2) オブジェクトをエージェント化し、エージェント間協調により制御を行う、といった方法により技術的課題を解決する手法を提案した。また、それらを実現するためのシステムを設計・実装した。実装したプロトタイプシステムを用い実験を行い、評価した結果、これまでにない柔軟な制御が行えることが確認され、本研究の目的の達成に非常に有効であることが示された。

現状では多数の利用者が参加したときのスケーラビリティやネゴシエーション手法についての考慮が不足しているため、今後の課題として、これらの問題を解決する手法を模索していく予定である。また、利用者要求の達成度を定量的に評価するための手法についても検討していく。

参考文献

- [1] 玉田隆史 中村泰明 “多次元データ構造に基づく3次元仮想都市空間の管理と高速描画” 電子情報通信学会論文誌 '95/8 Vol.J78-D-II No.8
- [2] 中村暢達 里田浩三 平池龍一 根本啓次 “インターネット対応の3Dマルチユーザシステム Ladakh” 電子情報通信学会論文誌 '98/5 Vol.J81-D-II No.5
- [3] DASH - Distributed Agent System based on Hybrid architecture ! - <http://www.agent-town.com/dash/>