

分散仮想環境への非同期インタラクション機能の導入

松田 智 柴田 直樹[†] 安本 慶一 伊藤 実

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科[†] 滋賀大学情報管理学科

Second Life など、インターネット上の仮想世界が注目を集めている。現在はインターネット上のサービスとして普及し始めているが、今後は企業内イントラネット上でのコラボレーション環境としても利用されることが予想される。コラボレーションのプラットフォームとして仮想空間を考えた場合、匿名性を重視するよりも、ユーザ間の信頼感や親密感を作り出すような環境が好ましい。また仮想空間において企業活動が展開されるようになると、ロールプレイングゲームのようなゲーム性を重視するよりも、仮想空間内の活動の状況把握や指揮伝達の効率性が要求される。さらに仮想空間内の活動が長期に継続する場合、メールのような非同期のコミュニケーション手段が必要となる。本稿では、コラボレーション環境に適した機能を盛り込んだ仮想空間のフレームワークを提案する。提案するフレームワークではテレビ会議システムのようにユーザの音声・映像データを伝送することで、現実世界のアウェアネス情報を伝達することを可能とする。その際、仮想空間での位置関係に応じてアウェアネス情報の通信を制御し、現実世界のような自然なコミュニケーションを実現する。またアバタの分身を仮想空間の複数地点に配置することにより、仮想空間の離れた場所で進行している活動を同時に把握することを可能とする。アバタの分身には非同期通信機能を持たせ、ユーザが都合の良い任意のタイミングで複数の会話グループとコミュニケーションできるようにする。これらの機能の有効性を評価する方法についても考える。

Integrating Asynchronous Interaction Function into Distributed Virtual Environments

Tomo Matsuda Naoki Shibata[†] Keiichi Yasumoto Minoru Ito

Nara Institute of Science and Technology [†] Shiga University

Virtual worlds (VW) on Internet such as Second Life attract attention. Up to now, VWs have spread as popular services on Internet. In the near future, it is expected that VWs will be used as collaboration environments on intranets of enterprises. Considering VW as a platform for collaboration, forming reliance and closeness is more desirable than keeping anonymity. When enterprise activities are developed on virtual spaces, efficiency for understanding situation of activities on VWs and command transmissions is required. Interest of game such as roll-playing game are not required. Furthermore, when activities on virtual space continue over a long term, asynchronism communication is required. In this paper, we propose a virtual space framework which is suitable for a collaboration environment. The proposed framework can transport awareness information of the real world by capturing and transferring user's audio and video data similarly to video conferencing systems. Our framework controls communication of awareness information based on user's position in virtual space, in order to realize natural communication. Moreover, it allows user to put replicas of avatar on multiple places and understand multiple activities that are going on at distant places. A replica of avatar has a asynchronous communication function. User can communicate with multiple conversation groups arbitrarily. We consider evaluation method for effectiveness of the proposed function.

1 はじめに

インターネット上で様々な仮想世界サービスが提供され人気を博している [1][2][3][4]。遠隔地にいる多数のユーザがネットワーク上で仮想空間を共有し、アバタを介してコミュニケーションできるシステムは以前から存在したが、近年のコンピュータとネットワークの性能向上により、一般ユーザに対して満足できるレベルの品質でサービスを提供できるようになってきた。現在は主としてエンターテインメント分野で利用されているが今後その用途

は広がるだろう。

仮想空間はユーザの位置関係に応じて会話する相手を選ぶことができる点が優れている。現実世界の対面コミュニケーションでは相手との関係の度合いに応じて距離や空間を使い分けている [5]。また多人数が集まっているとき、その中の特定の人やグループと会話したい場合に、近づいたり離れたりすることで会話する相手を限定している。このような位置関係の調整は多数の人が協調して作業を進める CSCW (Computer Supported Cooperative

Work) などの分野では必須である [6][7]。仮想空間はその特性を活かしてコラボレーション環境のプラットフォームとして利用されるようになることが予想される。その場合インターネット上での不特定多数による利用だけでなく、企業内のイントラネット上で特定多数により利用されるようになるだろう。

しかし現在インターネット上で提供されている仮想世界サービスは、コラボレーション環境のプラットフォームとしては適していない面がある。Second Life などは、不特定多数のユーザが参加することを前提とし、また現実世界とは異なる別世界を楽しむという方向性を向いているため、匿名性を重視している。しかし、企業内でのコラボレーションでは、匿名性は不要であり、逆にユーザ同士が信頼感や親密感を抱くことができる環境が求められる。対面コミュニケーションでは、言語以外の情報、例えば表情、身振り、声色などのアウェアネス情報を基に相手の存在、意図、関心、感情などを判断し、コミュニケーションにフィードバックすることで円滑に意思疎通することが可能となっている。特に表情は他人に態度や感情を伝える表現として最も影響力がある重要な情報である [8]。コラボレーション環境としてはテレビ会議のようにユーザの実写映像などを伝達できるシステムが望ましい。

我々は、仮想空間をコラボレーション環境として活用するには仮想空間上のユーザの位置に基づいて、ユーザの実写映像などアウェアネス情報を伝達することが必要だと考え、それを実現するフレームワークを提案した [9]。しかし仮想空間においてコラボレーションなどの企業活動を大規模に展開するにはさらに機能を加える必要があると考える。

これまでの仮想世界サービスは、個人が仮想世界の冒険を楽しむことを目的としていることが多く、効率的な情報収集の手段にはあえて制約が加えられ、コミュニケーション手段も限られていた。しかし企業活動を行うには、仮想空間内で行われている活動全体の状況把握や、指揮伝達を支援する機能が必要である。さらに仮想空間内での活動が長期に継続するようになることを考えると、電話のようなリアルタイムの通信だけでなく、メールのような非同期の通信ができると便利である。

我々は、特定多数によるコラボレーション環境として仮想空間を活用する場合、以下の機能が必要だと考える。(1) ユーザの位置関係に基づいて、実写映像などのアウェアネス情報を伝達し合うことができる。(2) 仮想空間の異なる場所の状況を同時に把握し、複数の会話グループに同時に参加することができる。(3) 仮想空間において非同期の通信をすることができる。本稿では、(1) を実現するために既に提案しているフレームワークに、上記(2) - (3) を実現するための機能を加えることで、企業の

コラボレーション活動により適したフレームワークを新たに提案する。

2 関連研究

多人数が参加するリアルタイムコミュニケーションのシステムで、各ユーザに対してシステムに参加している全てのユーザに関する情報が等量に与えられると、会話するために必要な情報が他の情報によって干渉を受けて、コミュニケーションが困難になる。そこで必要な情報のみを伝達しあうようにユーザ間のインタラクションを制御し、現実世界のような自然なコミュニケーションを実現するために、空間に基づいたモデルが提案されてきた。

DIVE (Distributed Interactive Virtual Environment) では、「オーラ」、「フォーカス」、「ニンバス」という概念が提唱された [10]。仮想空間において、各オブジェクトを中心とする一定の空間的な範囲をそのオブジェクトの「オーラ」と定義する。オーラはオブジェクトが移動するとそれに伴って移動する。そして自分のオーラと他のオブジェクトのオーラが交差したとき、オブジェクト間でのインタラクションが可能となる。図 1 において A と B はインタラクション可能であるが、C はインタラクションできない。

オーラがオブジェクト間の対称的な関係を前提とするのに対し、フォーカスとニンバスは非対称的な関係を前提としている。フォーカスはユーザの可視範囲であり、ニンバスは対象の被可視範囲である。そして自分のフォーカスが対象のニンバスに重なる場合にのみ見ることができる。図 2 で A は B を見ることができるが、B は A を見ることができない。

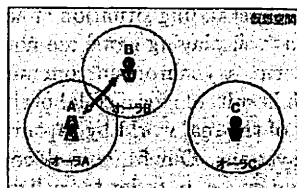


図 1: オーラ

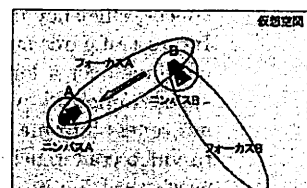


図 2: フォーカスとニンバス

我々が提案したフレームワーク [9] でもこれらの概念を利用した。フレームワークは、(1) 仮想空間共有機能、(2) 音声会話機能、(3) ユーザ映像表示機能により構成される。仮想空間共有機能は、ユーザが三次元の仮想空間を共有し、その中を自由に移動することができる機能である。音声会話機能は、仮想空間の中で出会った他のユーザと音声による会話をすることができる機能である。映像通信機能は、Web カメラでキャプチャしたユーザの実写映像を表示することができる機能である。音声会話機能とユーザ映像表示機能が提供するユーザ間のインタラクションは、仮想空間共有機能が提供する空間におけ

るユーザ間の位置関係に基づいて制御される。具体的には、オーラ方式を用いて近距離にいるユーザ間でコミュニケーショングループを形成し、コミュニケーショングループに属するユーザ間のインタラクションを強調してユーザに提示している。

音声通信機能では、RAVITAS (Realistic Voice Chat Framework For Cooperative Virtual Space)[11] のフレームワークを採り入れて、カクテルパーティ効果に伴う 3D 音響効果を実現している。音源の音量に基づいてニンバスを動的に設定し、ニンバスの範囲内にアバタが存在すると、そのアバタを操作するユーザは音声を聞くことができるものとした。これにより音声を存在と位置を伝えるアウェアネスとして機能させている。さらにコミュニケーショングループに属するユーザの音声をより鮮明に聞こえるように制御し、現に会話している相手についてより多くの情報を取得できるようにしている。図 3 で、A は C が発する音声のニンバス内にいるのでその声を聞くことができる。また A と B はオーラが交差しているのでコミュニケーショングループを形成しており、互いの声を鮮明に聞くことができる。

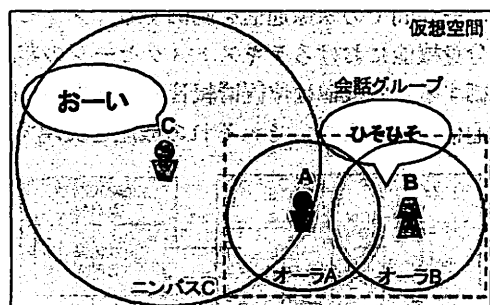


図 3: 音声通信の制御モデル

映像通信機能では、コミュニケーショングループのメンバーになると Web カメラでキャプチャしたユーザの映像を自動的に表示するよう制御している。

3 提案するフレームワーク

本章では、新たに提案するフレームワークの目的とそれが実現する機能について述べる。

3.1 フレームワークの目的と概要

現実世界での企業活動は遠く離れた複数の場所で同時に進行している。これらの活動を連携させてプロジェクトを進めるためには、複数の遠隔地の状況を把握し、必要に応じて各地に指揮することが不可欠である。企業の活動が仮想世界に移行し、その規模が大きくなると、仮想空間においてもこのようなプロジェクト管理の必要性が高まってくる。

しかしこれまでの仮想世界サービスでは、このような管理の為の手段は提供していない。仮想世界の多くは、

ユーザがその中を旅することで、仲間や敵と出会ったりアイテムを見つけるなど、冒険を楽しむことを目的としている。人やモノや情報と出会うには、現実世界と同じように実際にその場へ行かなければならないという制約を与えることで、移動のプロセスを楽しむというゲーム性を確保している。

しかし企業活動の場として仮想空間を活用する場合、現実世界のように物理的な制約にとらわれることなく、複数の遠隔地の状況を瞬時に把握できる方が便利である。

また現実世界で我々は多くの人と様々なコミュニケーションをとりながら仕事を進めている。その際、状況に応じて適切なコミュニケーション手段を選択している。例えば、緊急性が高い要件の場合には電話する。リアルタイムでこちらの意思を伝え、それに対する相手の反応を確認することができるからである。緊急性が低い場合にはメールを利用することが多い。電話は相手が不在であるか多忙であるかなど相手のプレゼンスを気にしてはならないが、メールであれば相手の状況に関わらず用件を伝えておくことができるからである。

これまでの仮想世界サービスは、ユーザがシステムにログインしている状況で他のユーザとリアルタイムのコミュニケーションをすることを前提にしていた。しかし仮想空間で企業活動が本格的に行われるようになると、その活動は長期に継続して行われることになる。このためメンバーがログインしていない状況でも、コミュニケーションする手段が求められる。また話したい相手が他のユーザと会話中である場合も非同期の通信ができれば便利である。

我々は、企業などによるコラボレーション活動に適した分散仮想環境を実現することを目的とし、以下の機能を盛り込んだ新しいフレームワークを提案する。(1) 仮想空間の異なる場所の状況を同時に把握し、複数の会話グループに同時に参加することができる。(2) 仮想空間において非同期の通信をすることができる。

フレームワークは 2 章で述べた、(1) 仮想空間共有機能、(2) 音声会話機能、(3) ユーザ映像表示機能に加えて、(4) 分身機能、(5) 非同期通信機能により構成される。以下の節では、新たに提案する分身機能と非同期通信機能について述べる。

3.2 分身機能

分身機能は、仮想空間の異なる場所の状況を把握することを可能にするために、仮想空間の複数の地点にアバタの分身を配置することを可能にする。

ユーザはアバタが訪れた場所に、アバタの分身を配置しておくことができる。図 4 のようにユーザに対しては、アバタ本体の位置に基づく視覚空間のみが提示されるが、ユーザは配置した任意の分身を選択して、それをアバタ本体に切り替えることができる。これにより、状況

を把握したい場所に分身を配置しておき必要に応じて切り替えることで、離れた場所で同時進行するプロジェクトを監視することができる。

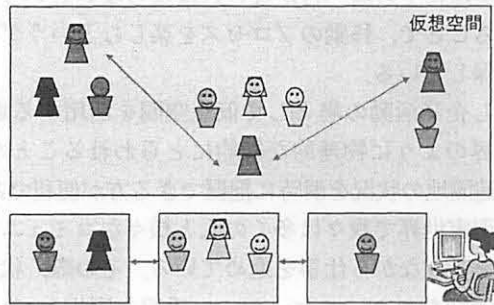


図 4: 分身機能

また分身の位置に基づく視聴覚空間は録画・録音することができる。これにより、状況を把握しておきたい場所に分身を配置しておけば、あとから確認することができる。

3.3 非同期通信機能

非同期通信機能は、分身機能と組み合わせて使用することにより、複数の会話グループと非同期の通信をすることを可能にする。

人間が同時に複数の会話に参加するのは困難であることを考慮して、音声通信や映像通信をすることができるのはアバタ本体のみとする。しかしユーザは分身を複数のコミュニケーショングループの中に配置し、分身の間を自由に移動することで、複数のグループとコミュニケーションすることができる。

分身は、他のユーザと非同期の通信をする機能も提供する。他のユーザは、分身に対してテキスト、音声、映像のメッセージを送信することができる。ユーザは、メッセージを受信すると通報を受け、任意のときに読むことができる。分身を通じて、複数の地点にいる他のユーザと非同期の通信をすることが可能となる。

3.4 フレームワークの対象

分身機能と非同期通信機能は次のような使われ方をすることを想定している。

企業がプロジェクトを進めるときプロジェクトのメンバーはいくつかのグループに分かれて作業を進めることが多い。このような場合、プロジェクトのリーダーは全てのグループの状況を把握し、各グループからの相談に乗り、必要に応じて指示やアドバイスができれば便利である。提案するフレームワークでは、リーダーは全てのグループに分身を配置し、分身の間を移動していくことで各グループの状況を把握できる。グループのメンバーがリーダーに相談したいときは分身に対してメッセージを送信する。状況を分かりやすく説明するために映像のメッ

セージを送ることもできる。リーダーはメッセージ受信の通知を受けて、相談があるグループの分身へ瞬時に移動することができる。この他、ヘルプデスクとして分身を配置するなどの利用も考えられる。

このように分身機能と非同期通信機能を使って、現実世界では物理的な制約により実現することが難しいようなプロジェクトの進め方を仮想空間の中で実現することができる。

4 フレームワークの実現方法

本章では、提案するフレームワークを実現するためのアーキテクチャについて設計の基本方針を述べる。

4.1 アーキテクチャの概要

アーキテクチャは、(1) 位置情報管理部、(2) GUI 部、(3) 音声制御部、(4) 映像制御部、(5) メッセージ制御部により構成される。位置情報管理部は仮想空間に参加しているユーザの位置情報を管理する。GUI 部は、ユーザに対する仮想空間の表示とユーザの操作によるアバタの移動を管理する。音声制御部はユーザ間での音声会話を制御する。映像制御部はコミュニケーショングループに属するユーザ間での映像通信を制御する。メッセージ制御部は分身機能におけるテキストメッセージの非同期通信を制御する。各機構は位置情報管理部を中心に図 5 のように通信することで、それぞれの機能を実現する。

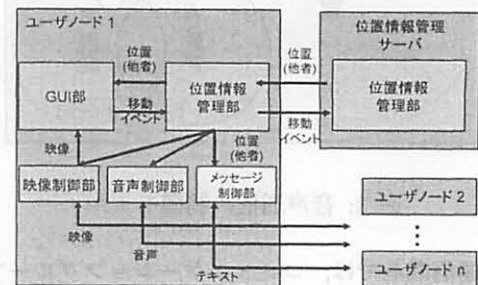


図 5: アーキテクチャの概要

4.2 位置情報管理部

位置情報管理部は、仮想空間におけるアバタ（分身を含む）の位置情報をユーザノード間で共有する仕組みを提供する。

位置情報の管理は、専用の管理サーバを設置し、クライアント／サーバ方式で行う。ユーザノードの位置情報管理モジュールは、GUI 部がアバタ移動イベントを検知すると、それを管理サーバに通知する。管理サーバはクライアントからのイベント通知を基にアバタの位置を集中管理する。サーバは全てのアバタの位置情報をユーザノードに定期的に一斉同報で配布し、ユーザノードが他のアバタの位置を保持することを可能とする。

位置情報管理部は各アバタに対応する物理アドレス

(ユーザノードの IP アドレス) も保持し、音声制御部や映像制御部がユーザノード間でユニキャスト接続する際に提供する。

ユーザノードの位置管理モジュールは、コミュニケーショングループの管理も行う。位置情報に基づいてオーラの範囲内にいるアバタを特定しグループに追加する。

4.3 GUI 部

GUI 部はユーザへの出力とユーザからの入力を制御する。

出力部は、仮想空間とアバタを 3D グラフィックスでディスプレイに表示する。仮想空間の背景、オブジェクト、アバタの 3D データはユーザノードにあらかじめ配布しておき、仮想空間におけるユーザの視点 (位置と方向) と、位置情報管理部が保持する他のアバタの位置情報に基づいてそれらを描画する。3D グラフィックスの描画はゲーム開発用 3D グラフィックスライブラリである JOGL (Java bindings for OpenGL) を使用して実装する。

入力部は、ユーザの操作 (矢印キーの入力) によるアバタの移動を検知して、位置情報管理部に通知する。また出力部に対して新しい位置情報に基づく仮想空間画面の再描画を指示する。ユーザが分身を選択してアバタ本体を切り替えた場合も位置情報管理部に通知し、新しい分身の位置情報に基づいて仮想空間画面を再描画する。

4.4 音声制御部

音声制御部はユーザ間で音声による会話を行う際の、マイクからの音声の検出、ユーザノード間での音声データの通信、アバタの位置関係に基づく音響効果、スピーカまたはヘッドホンへの音声出力を制御する。

送信プロセスでは、マイクから検出した音声の音量と位置情報管理部が保持する他者のアバタの位置情報に基づいてニンバス内にいるアバタを特定する。次に特定されたアバタに対応するユーザノードにユニキャスト接続し音声データを送信する。

受信プロセスでは、受信した音声データに対応するアバタの位置情報に基づいて 3D 音響効果を付加し、スピーカまたはヘッドホンに出力する。コミュニケーショングループに属するユーザの音声である場合にはより鮮明に聞こえるように加工しカクテルパーティ効果を付加する。3D 音響効果は、ゲーム開発用 3D サウンドライブラリである JOAL (Java bindings for OpenAL) を使用して実装する。

分身に対して非同期の音声通信データを受信したときはディスクに保存し、GUI 部に通報する。ユーザからリクエストがあったときに保存したデータを再生する。

4.5 映像制御部

映像制御部は、Web カメラからのユーザ映像のキャプチャとコミュニケーショングループに属するユーザノ

ード間での映像の通信を制御する。

送信プロセスでは、位置情報管理部からコミュニケーショングループへのメンバー加入の通知を受けて、対応するユーザノードにユニキャスト接続し、映像データを送信する。映像データは JMF (Java Media Framework) を使用して Web カメラからキャプチャする。

受信プロセスでは、受信したデータをバッファリングし、GUI 部がこれを使用して仮想空間画面に表示する。

分身に対して非同期の画像通信データを受信したときはディスクに保存し、GUI 部に通報する。ユーザからリクエストがあったときに保存したデータを再生するよう GUI 部に指示する。

4.6 メッセージ制御部

メッセージ制御部は、ユーザ間でのテキストメッセージの通信を制御する。送信プロセスでは、メッセージを送信したい分身の物理的なノードを特定し、テキストメッセージを送信する。受信プロセスでは、受信したメッセージをディスク保存し、GUI 部に通報する。

5 評価方法

提案するフレームワークの有効性を調べるために 3 つの評価実験を行う予定である。本章ではこれらについて述べる。

5.1 アウェアネス情報伝達の評価

実験 1 は、3D 仮想空間に映像機能を追加することでコミュニケーション効率が増加するかを検証することを目的とする。

実験は次の手順で行う。3D 仮想空間のみ、テレビ会議のみ、3D 仮想空間と映像機能の 3 つの場合で、ユーザが会話しているシーンの映像を複数用意しておく。会話の内容は、研究プロジェクトの進捗についての議論である。この映像を被験者に順番に見せ、そのあとでプロジェクトの進捗状況に関する質問などをして会話内容の理解度を調査する。またユーザに対する親しみやすさを調査する質問をする。3 つの場合の理解度と親しみやすさを比較することで、3D 仮想空間と映像の組み合わせがコミュニケーション効率を増加させるのに有効であるかを検証する。

5.2 グループ機能による制御の評価

実験 2 は、ユーザの位置関係に基づいてコミュニケーショングループを形成しメンバー間の音声と映像を強調するように制御することでコミュニケーション効率が増加するかを検証することを目的とする。

実験は次の手順で行う。事前に 3D 仮想空間において 10 人のアバタが 3 つのグループを形成して会話しているシーンの映像を 2 つ用意する。一つは、被験者がその中の一つの会話グループに参加していると仮定して、音

声の聞こえ方と映像の表示の仕方を制御する。もう一つはグループによる制御を行わない。会話の内容は、実験1と同様である。それぞれの映像を被験者に見せた後、自分が参加しているグループで行われていた会話の理解度を調査する質問をする。回答率を比較することで、グループ機能がコミュニケーション効率を向上させるかを検証する。

5.3 分身と非同期通信機能の評価

実験3は、分身機能と非同期通信機能の組み合わせが、仮想空間の複数の場所で進行している活動の状況を把握するのに有効であるかを調べることを目的とする。提案するフレームワークでは複数の分身を配置した場合でも他のユーザとリアルタイムでコミュニケーションできるのはアバタ本体のみとし、分身を介したコミュニケーションは非同期で行うものとした。これは人間が同時に複数の会話を認知するのは困難であり、非同期のコミュニケーションの方が複数の状況を把握するには効率が良いと考えたからである。

これを検証するために次の手順で実験を行う。事前に3D仮想空間において2人のアバタが会話しているシーンの映像を複数個用意しておく。会話の内容は、実験1と同様である。はじめに、この映像を被験者に同時に複数個見せる。これは非同期通信機能がなかった場合の、ユーザに対する映像の提示方法を模倣している。次に、複数の映像を順番に被験者に見せる。これは非同期通信機能がある場合の、ユーザに対する映像の提示方法を模倣している。各ケースの後で、会話内容の理解度を調査する質問をする。同時に見せた場合と順番に見せた場合とで回答率を比較し、非同期の通信機能により会話の理解度が向上するかを検証する。

非同期で通信を行う場合、リアルタイムのインタラクションはできなくなり、その分コミュニケーション効率は低下する。この実験ではリアルタイムのインタラクションが必要ではない場合の非同期通信機能の有効性を検証している。

6 まとめ

本稿では、企業内などでの特定多数によるコラボレーションに適した共有仮想空間を実現するためのフレームワークを提案した。仮想空間での活動が大規模になると、複数の遠隔地で同時に進行する活動の状況把握や指揮伝達が必要になる。また活動が長期に継続するようになると、非同期のコミュニケーション手段が必要になる。そこでユーザが複数の場所にアバタの分身を配置し、アバタ間を自由に移動できる機能を提供した。またアバタの分身に非同期の通信機能を持たせることにより、話したい相手がログインしていないときや他のユーザと会話しているときでも映像、音声、テキストによりメッセージ

を残すことができるようにした。

現在、アーキテクチャの設計方針に基づいてプロトタイプを実装している。

また提案した機能の有効性を検証するための評価実験の準備を進めている。評価の目的は(1)3D仮想空間に映像通信機能を追加することでコミュニケーション効率が向上するかを検証すること、(2)ユーザの位置関係に基づいてコミュニケーショングループを形成しメンバー間の音声と映像を強調するように制御することでコミュニケーション効率が向上するかを検証すること、(3)アバタに分身を配置して複数グループとコミュニケーションする場合、非同期の通信機能によってコミュニケーション効率が向上するかを検証することとした。これらをアンケート方式による主観評価により測定する。評価実験の結果を考察し、より自然なコミュニケーションを実現する上で効果的な制御モデルや、コラボレーション環境に必要な機能を検討していく。

謝辞

本研究の一部は、(財)中山隼雄科学技術文化財団の支援を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Second Life HP, <http://secondlife.com/>
- [2] There HP, <http://www.there.com/>
- [3] Gaia Online HP, <http://www.gaiaonline.com/>
- [4] Entropia Universe HP, <http://www.entropiauniverse.com/>
- [5] Hall, T. E.: "The Hidden Dimension Doubleday & Company," NY (1966).
- [6] Dourish, P. and Bly, S.: "Porthole: Supporting Awareness in a Distributed Work Group," Proc. of Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.541-547 (1992).
- [7] Gutwin, C. and Greenberg, S.: "A Descriptive Framework of Workspace Awareness for Real-Time Groupware," Computer Supported Cooperative Work, Vol.11, No.3-4, pp.411-446 (2002).
- [8] Mehrabian, A.: "Silent messages, Implicit Communication of Emotions and Attitudes, 2nd Ed.," Wadsworth Pub. Co. (1981).
- [9] 松田智, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤実: 仮想空間で実世界のアウェアネス情報を取り込んだ効率よいコミュニケーションを実現するためのフレームワークの提案, 情報処理研究報告 DPS130-16, pp. 67-72, 2007.
- [10] Benford, S. and Fahlén, L. E.: "A Spatial Model of Interaction in Large Virtual Environments," Proc. of Third European Conference on CSCW (ECSCW'93), pp.107-122 (1993).
- [11] Yasumoto, K. and Nahrstedt, K.: "RAVITAS: Realistic Voice Chat Framework for Cooperative Virtual Spaces," Proc. of IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME2005), (CD-ROM) (2005).