

実空間と仮想空間を統合するコミュニケーション 支援システムにおけるユーザインタフェースの設計と実装

坂根 裕 小川 剛史 柳沢 豊 塚本 昌彦 西尾 章治郎

大阪大学工学部情報システム工学教室

〒 565 大阪府吹田市山田丘 2-1

{sakane,ogawa,kani,tuka,nishio}@ise.eng.osaka-u.ac.jp

あらまし: 近年, ネットワークを用いて遠隔地にいる人々のコミュニケーションを支援する研究が盛んに行われている。このようななかで, 筆者らの研究グループでは, バーチャルリアリティ技術とモバイルコンピューティング技術を統合してコミュニケーションを支援する「透明人間」環境を提案し, その実現に取り組んでいる。本研究では, 実空間内の情報を仮想空間内に正確に反映させるために, 実空間内にある物体の位置や向きを仮想空間内に反映させる機構を実現した。さらにこの機構を用いて, 実空間内のユーザが物体に対して行った操作の結果をリアルタイムで仮想空間に反映し表示することのできる, ユーザインタフェースシステムの設計および実装を行なった。これを用いることにより, 仮想空間内のユーザに対して実空間内に存在する物体の位置や向きなどの詳細な情報を正確に伝達できるようになり, よりリアルなコミュニケーションを行うことが可能となった。

キーワード: 拡張現実, 仮想現実, ヒューマンインタフェース, モバイルコンピューティング

Design and Implementation of a User Interface of a Human Communication Support System based on the Integration of Virtual Space and Real Space

Yutaka SAKANE Takefumi OGAWA Yutaka YANAGISAWA
Masahiko TSUKAMOTO Shojiro NISHIO

Department of Information Systems Engineering

Faculty of Engineering, Osaka University

2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565, JAPAN

{sakane,ogawa,kani,tuka,nishio}@ise.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract: In recent years, extensive studies have been done for supporting communication among those who are at long distance. In our previous papers, we have proposed an environment, called "Invisible Person", which supports such communication by integrating two technologies, i.e., the virtual reality and the mobile computing. In this paper, we propose a mechanism for reflecting spacial information of a real space, such as the location and the direction of each object in the space, on that of a virtual space. By using this mechanism, users in a real space and a virtual space can cooperate each other to achieve a work. We also propose a user interface for the mechanism, which reflects the effects of operations of an object in a real space on those in a virtual space. Moreover, our design and implementation of the system are described, which we developed based on the proposed mechanism and the interface. This system enables us to realize more real communication with other users.

key words: Augmented Reality, Virtual Reality, Human Interface, Mobile Computing

1 はじめに

近年、VR (Virtual Reality, バーチャルリアリティ) を用いたインタフェースが、現実世界に近い感覚で操作を行なうことのできる優れたインタフェース技術として注目を集めている [1]。サイバースペース (Cyber Space) やバーチャルモール (Virtual Mall) などでは、仮想空間上の人々との会話などのコミュニケーションが実現できたり、家にいながらにしてショッピングを楽しむことが可能となり、仮想空間における人々は社会活動を行う共通の場としてそれを利用している。しかし従来の VR では、現実とは異なる架空の世界を構築しており、ユーザ同士のコミュニケーションが可能となるのはコンピュータによって作られた仮想空間内に限定されていた。人々の日常の社会活動を支援するためには現実空間でのコミュニケーションを可能にすることが重要であり、これを実現するためには、VR を拡張して仮想空間内からでもコンピュータを通して実空間に存在する人々とのコミュニケーションをサポートするようなアプローチが必要であるものと考えられる。

このようなことから、筆者らの研究グループでは「透明人間」というメタファを提案し、これを用いた新しいコンピュータ環境を「透明人間」環境と呼んでいる [3, 5, 6]。透明人間環境においては、仮想空間には実空間の情報を、実空間には仮想空間の情報をマッピングすることによって、仮想空間と実空間を同一の空間と見なし、実空間での行動が仮想空間に、また仮想空間での行動が実空間に反映される [4]。

筆者らがこれまでに開発したシステムにおいては、実人間の表情やジェスチャに関しては、ビデオ画像を通して知ることが可能であり、比較的単純なユーザ間の意思の疎通は可能であった。しかし、実空間内のユーザと仮想空間内のユーザが、あたかも同一空間に存在しているかのように感じながらで協調して作業を行うというような、より複雑なコミュニケーションを行うためには、従来のシステムで用いている手法のみでは不十分である。仮想空間内のユーザが、実空間内の状況をより正確に把握するためには、実空間にいるユーザの表情やジェスチャだけでなく、操作している装置や機材の形状や位置、向きなどを仮想空間内において正確に把握できることが必要と考えられる。

本研究では、実空間にある物体に対して、実空間内のユーザが行った操作の結果を仮想空間内に反映

するシステムを構築した。このシステムにおいて、実空間内の物体の位置や向きを検出し、仮想空間にリアルタイムに反映することで、実空間内のユーザが行った行動を、より詳細に仮想空間に反映できる。また IPH では、仮想空間に反映された部分が表示されることにより、実空間で起こったことが把握できる。その結果、仮想空間内のユーザと実空間内のユーザとのコミュニケーションは、以前の透明人間システムと比較して、よりリアルなものとなった。

以下2章においては、まず透明人間環境の概念について述べる。3章ではユーザインタフェースシステムについて述べ、それらを構成する位置検出機構、仮想空間管理機構、現在稼働しているシステムについて詳しく述べる。4章ではユーザインタフェースの実装部分について述べ、最後に5章において本研究のまとめをおこなう。

2 透明人間環境とは

従来の VR を用いたコミュニケーションシステムにおいては、ユーザは計算機上に構築された仮想空間の範囲内でしか他のユーザとのインタラクションを行うことができなかったが、「透明人間」環境においては仮想空間内のユーザは仮想空間内から実空間に対してインタラクションが行え、仮想空間をより実空間指向に拡張した空間が実現されている。

「透明人間」になる人は、自宅や職場などから IPH (Invisible Person Host) を使い、バーチャルモールなどを動き回るように三次元仮想空間内を動き回る。この三次元仮想空間では、バーチャルモールやサイバースペースなどの仮想空間とは異なり、人間を含め存在するすべての物体と実空間に存在する物体とが一対一に対応付けられており、実空間の情報と仮想空間の情報の連携をとることで実空間の状況が反映されている。透明人間は仮想空間内である場所に訪れることで、実空間上におけるその場の状況をリアルに体験することができ、実空間内の人間と会話などのインタラクションが可能となる。つまり、ユーザは IPH を用いて仮想的に実空間を訪れることが可能であり、さらに実空間内にいる人間とのコミュニケーションをとることができる。

このように、「透明人間」環境は、仮想空間と実空間とを互いにマッピングし統合することで、仮想空間および実空間内の双方のユーザに汎用性・柔軟性の高いコンピューティングの共通の場を提供する新

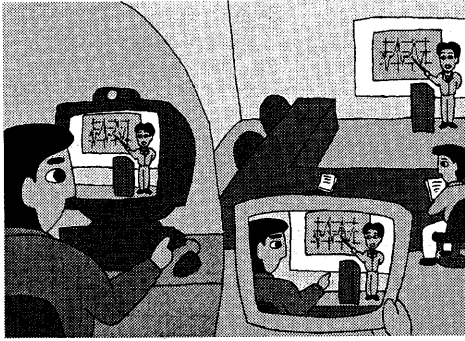


図 1: 透明人間環境

たなコンピュータ環境である。

一方、実空間内の人間は、ネットワークを用いて仮想的に訪れてきている人間の姿を見ることは不可能である。ネットワークを用いて遠隔地を訪れる人を透明人間と呼ぶのはこのためである。また、透明人間に対して実空間内の現実の人間を「実人間」と呼ぶ。実人間が透明人間とコミュニケーションをとるためには、実空間を撮影した映像上に透明人間を表示する機能を備えた ESP (Existence-Sensitive Pad) と呼ぶ携帯端末を用いる必要がある。ESP には、透明人間との会話などのインタラクションを可能とするためのインターフェースが備わっている。この ESP をもつ人をエスパー (ESPer) と呼ぶ。

図 1 に透明人間環境を利用している場面を示す。この例は透明人間環境を用いて会議を行っている例である。室内には、前に立って発表している人、図の右側の椅子に座って発表を聞いている人、手のみが図に写っている ESP を持ったエスパーの 3 人の人間が存在する。しかし、ESP には室内に存在しない人間、つまり透明人間が映っていてエスパーにはその姿が見えている。この人は別の場所から IPH を用いてこの会議に透明人間として出席している。IPH には実空間である会議室をモデル化した仮想空間が構築されていて、透明人間となるユーザは、その仮想空間に投影された会議室に存在する実人間およびエスパーと会話などのコミュニケーションができる。

このような実空間に密接に関係する仮想空間を構築するためには、実空間の状況を詳細に理解し、その状況を仮想空間にリアルタイムで反映しなければならない。実空間の状況とは、実空間に存在するさまざまな物体の位置やその物体の状態であり、それ

らの状況をより詳細に理解するために、磁気センサや CCD カメラなどのセンサ類を用いる。実空間に存在する物体で、状態が仮想空間に反映される物体のことを実オブジェクトと呼ぶ。これらのセンサ類からリアルタイムで得たデータから物体の位置検出や画像抽出を行い、実空間の状況を表すデータとして管理する。また、実空間は VRML (Virtual Reality Modeling Language) を用いてモデリングしておき、IPH を用いて仮想的に実空間を訪れるユーザは、この VRML で記述されている仮想空間を通して実空間とのインタラクションを行う。管理している実空間の状況データをもとに仮想空間内のオブジェクトを移動させるなどして、実空間の状況を仮想空間に反映する。さらに実空間に仮想空間の状況を反映させるために、仮想空間に存在するユーザの位置データなどの仮想空間の状況を示すデータについても管理する。以上のような、実空間と仮想空間の双方の状況データの管理を行う、管理サーバと呼ぶ計算機を実空間に設置する。

透明人間システムは以下の 3 つのシステムから構成される [2]。

管理サーバシステム: 実空間に関する情報を検出・管理し、リアルタイムに仮想空間へ反映するシステム。また、仮想空間に関する情報も管理し、実空間へ反映させる。管理サーバ上で動作する。

透明人間管理システム: IPH に構築した仮想空間を通して、ユーザの遠隔地への訪問を実現するシステム。IPH 上で動作する。

ESP 管理システム: 実人間が、透明人間の姿を見て透明人間とのコミュニケーションを実現するシステム。ESP 上で動作する。

3 ユーザインタフェースシステム

筆者らが設計したユーザインタフェースシステムは、管理サーバ上で動作する「位置検出機構」、IPH 上で動作する「仮想空間管理機構」の 2 つの機構からなる。位置検出機構は実オブジェクトの位置をリアルタイムに検出し、その差分から移動データを得る。この移動データをもとに仮想空間管理機構は仮想空間内で対応するオブジェクトを移動させる。これにより、実空間の状況が仮想空間に反映される。

以下、3.1 節では位置管理機構について、3.2 節では仮想空間管理機構について述べる。

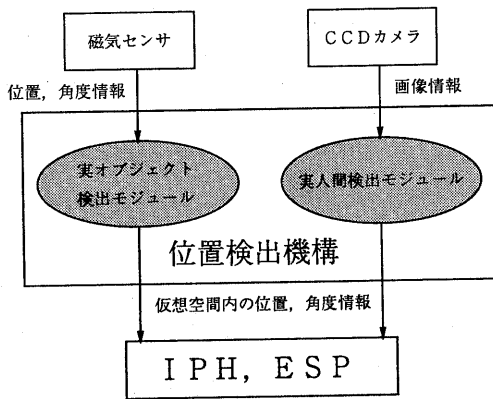


図 2: 位置検出機構

3.1 位置検出機構

位置検出機構は、カメラや磁気センサなどを利用して、実人間や実空間オブジェクトの位置を測定し、その情報をクライアントであるIPHとESPに提供する。この機構は「実人間検出モジュール」と「実オブジェクト検出モジュール」から構成される(図2)。以下に、各モジュールの機能について述べる。

実人間検出モジュール: 仮想空間内で実人間を表示する座標を算出するモジュール。カメラから得た画像と予め撮映しておいた参照画像との差分をとることにより、カメラに対する実人間の相対座標を算出する。この実空間における実人間の座標を仮想空間内での座標に変換する。

実オブジェクト検出モジュール: 実空間内で移動したオブジェクトの座標をもとに仮想空間内のオブジェクトの座標を算出するモジュール。磁気センサを用いて、実空間内にある特定のオブジェクトのセンサに対する相対座標を得る。これを仮想空間内の磁気センサの座標より、仮想空間内の座標に変換する。

これらのモジュールが算出した仮想空間内での座標を管理サーバの他のモジュールへ渡す。そして管理サーバはIPHやESPに適切なフォーマットでデータを送信する。

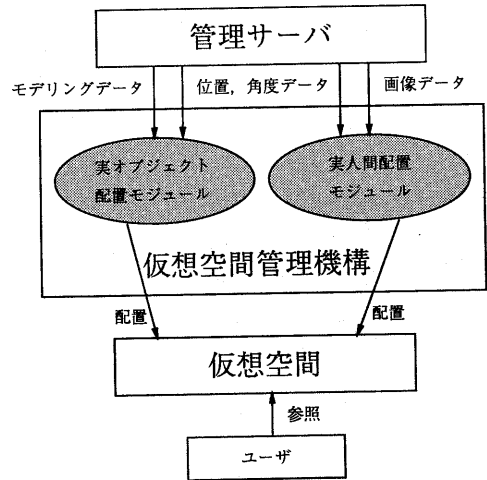


図 3: 仮想空間管理機構

3.2 仮想空間管理機構

仮想空間管理機構は、管理サーバから得た実人間と実空間オブジェクトの仮想空間内における座標をもとに、それらのモデリングされたオブジェクトを配置する。この機構は「実人間配置モジュール」と「実オブジェクト配置モジュール」なる2つのモジュールから構成される(図3)。以下に、各モジュールの機能について述べる。

実人間配置モジュール: 実人間の位置と角度データをもとに、画像データをテクスチャとして貼りつけた薄い直方体を仮想空間に配置する。

実オブジェクト配置モジュール: 実オブジェクトの位置と角度データ、そのモデリングデータをもとに、仮想空間内に予めモデリングされてあるオブジェクトを配置する。

次に、これらのモジュールを用いた実際の処理の流れを述べる。まず、実人間については、管理サーバから送られてくる、位置、角度、画像データを用い、直方体の板に画像データをテクスチャとして貼り込み、位置と角度データをもとに仮想空間内に配置する。実空間オブジェクトの場合は、位置、角度、モデリングデータが送られてくるので仮想空間内に送られてきたモデリングを配置する。位置、角度はリアルタイムに送られてくるのでその都度更新を行なう。

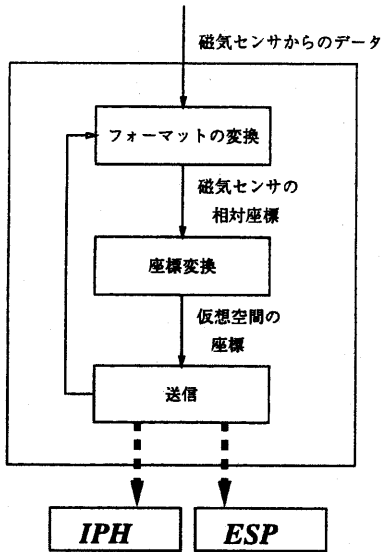


図 4: 実オブジェクト検出モジュールの構成

4 実装

本研究の実装は、3章で挙げた「位置検出機構」と「仮想空間管理機構」の2つの機構を作成することである。以下、4.1節では位置管理機構の実装を、4.2節では仮想空間管理機構の実装について述べ、4.3節では現在の透明人間システムについて述べる。

4.1 位置管理機構の実装

位置検出機構において、未実装であった「実オブジェクト検出モジュール」の実装を行なった。図4は実オブジェクト検出モジュールを示す。以下では、図に示すモジュールの各機能について説明する。

フォーマットの変換: 磁気センサから得られる文字列データを座標データに変換し、格納する。

座標変換: 磁気センサに対する相対座標である配列のデータを、仮想空間内での座標に変換する。

送信: IPH と ESP に座標変換で得られたデータを送る。

磁気センサからは文字列のデータが送られてくる。このデータを解析して、位置と角度の情報を取得し、構造体に格納する。次に格納した位置や角度のデー

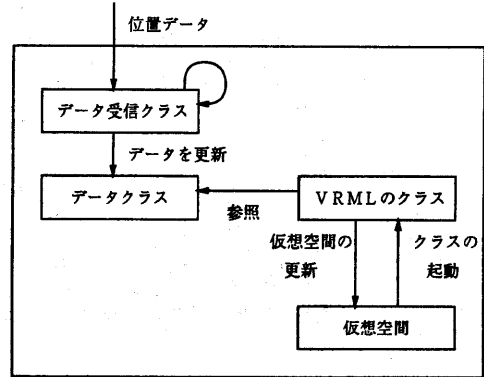


図 5: 実オブジェクト配置モジュールの構成

タを、仮想空間における磁気センサの座標をもとに、オブジェクトを配置する仮想空間内の座標を算出する。管理サーバと接続している IPH に対して、計算された位置や角度のデータを送信する。

また、「実オブジェクト検出モジュール」と「実人間検出モジュール」は、「位置検出機構」を構成するモジュールであるが「実人間検出モジュール」では画像処理を行うため計算負荷が大きい。そこで、実行速度を考慮して、「実オブジェクト検出モジュール」の計算処理を別のマシンで実行させるように実装した。このようにすることで、管理サーバの負荷の分散が実現できる。

4.2 仮想空間管理機構の実装

本研究では「実オブジェクト配置モジュール」の実装を行なった。図5に実オブジェクト配置モジュールの構成を示す。以下、図に示すモジュールの各機能について説明する。

データ受信クラス: 管理サーバから送られてくる座標データを、データクラスに書き込む。

データクラス: データを保存する。

VRMLのクラス: VRML から起動されるクラス。起動されるごとにデータクラスを参照し、得られた実オブジェクトの座標データをもとに仮想空間の更新を行なう。

管理サーバから得られた位置データをデータ取得クラスが受け、それをデータを蓄えておく専用のデー

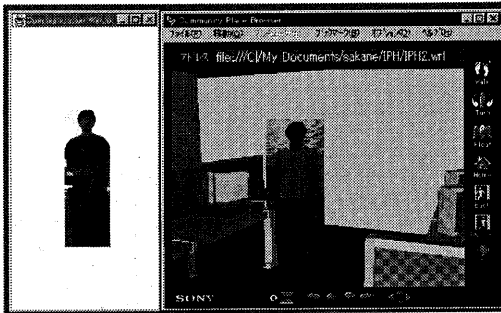


図 6: IPH の画面

タクラスに格納する。これは位置データが到着すると同時にデータの格納を開始する。これにより常に最新のデータが蓄えられる。VRMLブラウザは仮想空間を構築し、VRMLのクラスを起動する。VRMLクラスは起動されるとデータクラスを参照して、実オブジェクトの座標を得る。このデータをもとに仮想空間の情報を書き換える。本研究では、仮想空間の構築に VRML2.0 を用いて行なった。また IPH の実装は Java を用いた。

4.3 現在のシステム

筆者らの所属する研究室をモデルにして、現在システムの実装を行なっている。管理サーバとして SiliconGraphics 社の Indigo2 が 1 台と、Indy が 1 台、IPH として Windows95 が動作するパーソナルコンピュータが 1 台、実人間の位置を測定する用にソニーの CCD カメラが 1 台、実オブジェクトの位置を測定するための磁気センサとして POLHEMUS 社の FASTRAK 1 台を用いた。カメラから取得した実人間の画像をもとに位置を算出し、磁気センサからの位置情報と合わせて IPH に送る。IPH では、それらを仮想空間にモデリングし、さらに実人間だけを抜き出した画像を別のウィンドウに表示するようになっている。図 6 は現在稼働しているシステムの画面の例である。ブラウザにはソニーの Community Place Ver2.0 を用いている。

5 おわりに

本研究では、透明人間環境における実空間から仮想空間のインタラクションを実現するため、実空間

内のアクティビティを仮想空間内に反映し、表示することのできるユーザインタフェースシステムの設計と実装を行なった。本研究で作成されたユーザインタフェースを用いることにより、透明人間と実人間が、実空間内で協調作業することが可能であるようなよりリアルなコミュニケーションが可能となった。

今後は、仮想空間内のユーザが物体に対して行った操作を、実空間内に反映することが可能なユーザインタフェースシステムを構築することで、さらにリアリティの高いコミュニケーションを実現することが必要であると考えられる。

謝辞

末筆ながら、透明人間システムの構築において、仮想空間のモデリングについてご支援頂いた西尾研究室の中野昭宏氏に深い謝意を表す。なお、本研究の一部は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業における研究プロジェクト「マルチメディア・コンテンツの高次処理の研究」、および（財）日本情報処理開発協会先端情報技術研究所の「先進的ソフトウェア資源拡充のための委託研究」の補助によるものである。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- [1] 中西英之, 吉田力, 西村俊和, 石田亨: “FreeWalk: 情報ネットワークの散歩道,” 第7回データ工学ワークショップ (DEWS'96) 論文集, pp.31-36 (1996).
- [2] 小川剛史, 白井博章, 柳沢豊, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “仮想空間と実空間を統合する「透明人間」環境の実現について,” 電子情報通信学会技術研究報告, MVE96-53, Vol.96, No.390, pp.55-62 (1996).
- [3] 小川剛史, 柳沢豊, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “透明人間: 仮想空間と実空間を統合するコミュニケーション支援環境システムの設計と実装,” 情報処理学会第54回全国大会講演論文集 (5), pp.25-26 (1997).
- [4] 小川剛史, 柳沢豊, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “「透明人間」システムにおける実空間を反映する仮想空間管理サーバの設計と実装,” マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集 (1997, 発表予定).
- [5] 塚本昌彦: “透明人間: 実空間と仮想空間の統合によるコミュニケーション支援環境について,” 情報処理学会第53回全国大会講演論文集 (4), pp.203-204 (1996).
- [6] 塚本昌彦: “透明人間: 実空間と仮想空間を統合するコンピューティング環境,” シミュレーション (日本シミュレーション学会誌), Vol.16, No.1, pp.20-27 (1997).