

## 携帯型コンピュータを用いた コミュニケーション支援システムの設計と実装

中野 昭宏 小川 剛史 中村 聡史 塚本 昌彦 西尾 章治郎

大阪大学大学院 工学研究科 情報システム工学専攻

モバイルコンピューティング技術とバーチャルリアリティ技術を統合して、遠隔地にいる人々とのリアリティの高いコミュニケーションを実現するために、筆者らの研究グループでは「透明人間」環境と呼ぶ環境を提案し、その構築に取り組んでいる [9]。これまでに構築したシステム [5] では、実空間をモデル化した仮想空間を利用して、遠隔地を仮想的に訪れることを可能としていたが、仮想的に訪れている遠隔地の人を実空間から見ることはできなかった。本稿では、透明人間環境において、実空間から仮想空間を利用するユーザとのコミュニケーションを実現する機構の設計と実装について述べる。実装したシステムを用いることによって実空間のユーザは画面を通して、あたかも仮想空間内のユーザが目の前に立っているかのように感じながらコミュニケーションをとることができる。

### Design and Implementation of a Communication Support System Using a Portable Computer

Akihiro NAKANO Takefumi OGAWA Satoshi NAKAMURA

Masahiko TSUKAMOTO Shojiro NISHIO

Department of Information Systems Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

Recently, we have proposed and realized a computing environment called the "Invisible Person" environment in order to realize the communication among persons separated by a long distance with a high level of reality, using both of mobile computing technologies and virtual reality technologies[9]. In our previous prototype system[5], although it is possible for users to imaginarily visit a distant place by visiting the virtual space which models the place, people who are really in the place cannot communicate with these users. In this paper, we show our design of a facility implemented for users in the real space to see and to communicate with users in the virtual space. By using this facility, users in real space feel as if users in virtual space exist around of them.

#### 1 はじめに

近年、携帯型計算機の小型化、高性能化及び無線通信技術の発達に伴い、モバイルコンピューティングに関する研究 [2,8] が盛んに行われ、時間、場所を問わずいつでもどこでもネットワークに接続して世界中にアクセスできるようになった。そのため、これまで屋内での利用が中心であった計算機の利用の場が屋外にも広がり、場所に依存しない計算機環境が身近なものとなってきている。

一方、計算機上に構築した仮想空間を利用して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 [1,4,7]。バーチャルリアリティ(Virtual Reality)のインタフェース技術を利用することで、よ

り現実世界に近い感覚で仮想空間を体験できるため、相手が遠く離れた場所にいる場合でも机上でリアリティの高いコミュニケーションをとることが可能となっている。

これらのモバイルコンピューティング技術とバーチャルリアリティ技術は共に、計算機の利用範囲を拡大するものであり、人間のコミュニケーションを支援するための重要な技術であると考えられる。

筆者らの研究グループでは、これら二つのコンピューティング技術を利用して、実空間と仮想空間を統合した「透明人間」環境と呼ぶコンピューティング環境を提案し [9]、その構築に取り組んでいる [5]。

透明人間環境では、実空間での出来事を仮想空間にリアルタイムに反映する。更に、仮想空間での出来事もリアルタイムに実空間に反映することで両空

間を1対1に対応づける。これにより遠隔地にいる人は、仮想空間を通して、対応した実空間を仮想的に訪れることができる。また、実空間の人は、携帯端末を用いることで、仮想空間を通して訪れている遠隔地の人の姿を見ることができ、コミュニケーションが行える。

本稿では、仮想空間を利用するユーザの姿を携帯端末の画面に表示し、実空間内のユーザと仮想空間内のユーザとのコミュニケーションを実現するシステムの設計及び実装について述べる。実空間内のユーザは、カメラを搭載し、無線ネットワークに接続した携帯端末を使用する。この携帯端末は、カメラからリアルタイムに取得した実空間の画像に仮想空間内のユーザの画像を合成して表示することにより、画面を通してあたかも仮想空間内のユーザが目の前に立っているかのように実空間のユーザに感じさせる。更に、マイクとスピーカを利用して仮想空間内のユーザと音声の通信を行うことで、実空間内の人間と仮想空間内の人間とのコミュニケーションを可能にする。

以下2章において、透明人間環境の概念について述べる。3章ではシステムの設計について詳しく述べ、4章でプロトタイプシステムの実装について述べる。最後に5章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

## 2 透明人間環境

透明人間環境は、ある実空間とその実空間をモデル化した仮想空間からなる [9]。この仮想空間は実空間で起こる出来事がリアルタイムで反映され、完全に実空間と同じ状況を再現しているものとし、透明人間ホスト (Invisible Person Host, IPH) 上に構築されている。遠隔地のユーザは IPH 上の仮想空間で行動することで、仮想的に実空間を訪れる。

一方、実空間では IPH のユーザの姿を直接見ることができない。そのため、IPH のユーザを透明人間と呼ぶ。実空間の人間 (実人間) は、この透明人間とコミュニケーションをとるために存在感知パッド (Existence-Sensitive Pad, ESP) を用いる。ESP は会話などの透明人間とのインタラクションを可能にするインタフェースを備えている。ESP を持つ実人間を特にエスパー (ESPer) と呼ぶ。図1は、透明人間の概念を示しており、一例として会議室の一光景

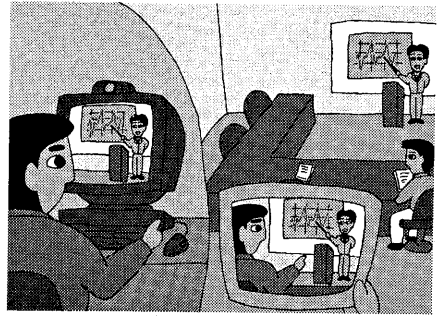


図1: 透明人間環境の概念

を描写したものである。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、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、つまり透明人間が写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及びエスパーと会話などのやりとりができる。

## 3 システム設計

本章ではシステム設計について述べる。まず3.1節で透明人間システム全体について述べ、その後3.2節でESP管理システムについて述べる。

### 3.1 透明人間システム

透明人間環境を実現するためには、刻々と変化する人間や物の位置など実空間におけるさまざまな状況をリアルタイムに仮想空間に反映しなければならない。そのため、実空間における状況に関するデータを管理し、リアルタイムにそのデータを更新する必要がある。そこで、管理サーバと呼ぶ実空間内のデータを管理する計算機を設置する。透明人間やエスパーが実空間を訪れると、それぞれ IPH や ESP は管理サーバにアクセスし、実空間内に存在する透明人間や実人間、エスパーの情報を取得する。透明人間システムは、IPH 上で動作する透明人間管理システム、ESP 上で動作する ESP 管理システム、管理サーバ上で動作する管理サーバシステムの3つのシステム

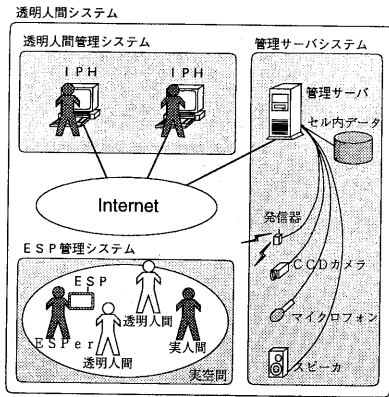


図 2: 透明人間システムの構成

から構成される (図 2)。

・以前構築したプロトタイプシステム [5] では、筆者らの研究室をモデルとし、IPH 及び管理サーバを用いて透明人間となって遠隔地を訪れることが可能になっていた。

### 3.2 ESP 管理システム

ESP は、透明人間の姿を表示し透明人間とのコミュニケーションを実現する携帯端末である。ESP は、搭載したカメラから取得する画像に透明人間の画像を合成し、画面に表示することで、画面を通してエスパーの目の前に透明人間が存在しているかのように見せる。合成する透明人間の画像は透明人間とエスパーの距離に応じて大きさを調整し遠近感を出す。また、エスパーの音声は ESP のマイクから取得し、管理サーバを介して IPH に通信する。透明人間の音声は管理サーバより受信し、ESP のスピーカから再生する。このようにして、エスパーと透明人間との会話を実現する。透明人間の音声を再生する際も同様に、エスパーと透明人間との距離に応じて音声を調整することで透明人間との距離感を出す。更に、ステレオ音声をを用いることで、透明人間の立つ方向を表現することも可能である。たとえ透明人間がエスパーの視野内に存在しない場合、つまり、ESP の画面に透明人間の画像が表示されていない場合でも、声の届く範囲に透明人間が存在する場合には透明人間の音声を ESP で再生する。

これらの機能を実現する ESP 管理システムを以下の点に注目して設計した。

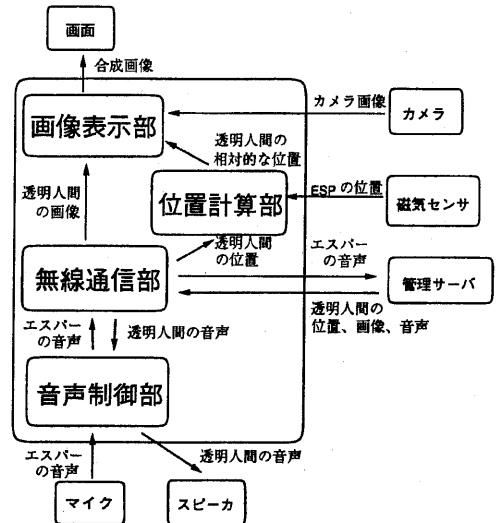


図 3: ESP 管理システム

- 誰もが容易にエスパーになれるよう、ESP には、できる限り特殊な機器を使用しない。精密な数値測定や画像の高速表示などは特殊な機器の利用で可能となり、よりリアリティの高いコミュニケーションが実現できると考えられるが、リアリティの高さよりも、システムの構築の容易さを重視する。
- ESP では可能な限り、複雑な処理を行わない。ESP は携帯端末であるため固定端末と比較して処理能力に限界がある。そのため、短時間で複雑な処理を行うことは困難であると考えられることから、ESP が受け取る情報はあらかじめ管理サーバで処理し、ESP では比較的簡単な処理を行う。

ESP 管理システムは無線通信部、位置計算部、画像表示部、音声通信部の 4 つのモジュールから構成される (図 3)。各モジュールの機能は以下のとおりである。

**無線通信部:** 管理サーバとの通信を行う。管理サーバから透明人間の位置・向きの情報、画像情報及び音声情報を取得し、それぞれ、位置計算部、画像表示部、音声制御部に送る。また、エスパーの音声情報を音声制御部から取得し、管理サーバに送る。

**位置計算部:** 磁気センサなどのセンサ類から取得した ESP の位置・向きの情報と無線通信部から取得した透明人間の位置・向きの情報から、ESP に対する透明人間の相対的な位置・向きを計算し、透明人間が ESP のカメラの視野内に存在するかどうかを判断する。ただし、ESP の位置情報が実空間における位置情報であるのに対し、透明人間の位置情報は仮想空間における位置情報であるため、これを実空間における位置情報に変換してから計算し、この計算結果を画像表示部、音声制御部に送る。

**画像表示部:** 透明人間が ESP の視野内に存在する場合、位置計算部から取得した ESP に対する透明人間の相対的な位置から透明人間の画像の表示位置を決定し、ESP と透明人間の距離から表示する透明人間の画像の大きさを決定する。そして、ESP に搭載したカメラから取得した実空間の画像に無線通信部から取得した透明人間の画像を合成して表示する。透明人間が ESP の視野内に存在しない場合は、カメラから取得した実空間の画像をそのまま表示する。

**音声制御部:** ESP に搭載するマイクから取得したエスパーの音声情報を無線通信部に送る。また、位置計算部から取得した ESP と透明人間の距離から再生する透明人間の音声の大きさを決定する。更に、無線通信部から透明人間の音声情報を取得し、ESP に搭載したスピーカから再生する。

## 4 実装

本章では 3 章で述べた ESP のモジュールのうち、特に位置計算部、画像表示部の実装について述べる。ESP 管理システムを表 1 の環境で実装した。

### 4.1 位置計算部

図 4 に位置計算部の動作を示す。以下では、各機能について説明する。

- 実空間の座標系への変換

磁気センサから受け取る情報は磁気センサに対する ESP の相対的な位置情報であるため、磁気センサの位置を考慮しこれを実空間の座標系に変換する。また、管理サーバから受け取る透明人間の位置情報は仮想空間における座標系で表現されているため仮想空間の原点や座

表 1: 実装環境

ESP	Think Pad(IBM)
カメラ	PowerShot 30T(Canon)
磁気センサ	3SPACE FASTRAK(POLHEMUS)
無線通信	WaveLAN(AT & T)

標軸を実空間のものと一致させることにより実空間の座標に変換する。

- 透明人間の相対的な位置の計算

実空間を xyz 空間として管理し、透明人間、ESP の位置を xyz 座標で表す。ESP に対する透明人間の相対的な位置や距離の計算、透明人間が ESP のカメラの視野内に存在するかどうかの判断はこの xyz 座標を用いて行う。実際の空間は 3 次元空間であるが、ここでは簡単のため、2 次元平面であるとする。エスパーの座標を  $(X_E, Y_E)$ 、透明人間の座標を  $(X_I, Y_I)$ 、カメラの視野角を  $2\theta_E$ [度]、ESP の向きと X 軸の正の向きのなす角度を  $\theta_X$ [度] とする (図 5)。

1. ESP の位置を原点に平行移動すると、透明人間の座標は

$$(X_I - X_E, Y_I - Y_E)$$

となる。

2. ESP の向きを Y 軸に一致させる。すなわち、 $(90 - \theta_X)$ [度] の回転移動を行う。これにより、透明人間の座標は

$$\begin{aligned} & ((X_I - X_E) \times \sin \theta_X - (Y_I - Y_E) \times \cos \theta_X, \\ & (X_I - X_E) \times \cos \theta_X + (Y_I - Y_E) \times \sin \theta_X) \end{aligned}$$

となる。

3. ESP の視野は、

$$y \geq \frac{1}{\tan \theta_E} x \quad \text{かつ} \quad y \leq -\frac{1}{\tan \theta_E} x$$

なる領域であり、2 で得た透明人間の座標がこの領域内に存在すれば、透明人間は ESP の視野に存在すると判断できる。

4. 透明人間の向きと X 軸のなす角度を  $\theta_I$ [度] とすると、エスパーに対する透明人間の相対的な向きは  $\theta_I - \theta_E$ [度] となる。

この計算方法は 2 次元平面に対するものであるが、この計算を水平面と鉛直面の両方において行うことにより、3 次元空間における判定及び向きの計算に用いることができる。

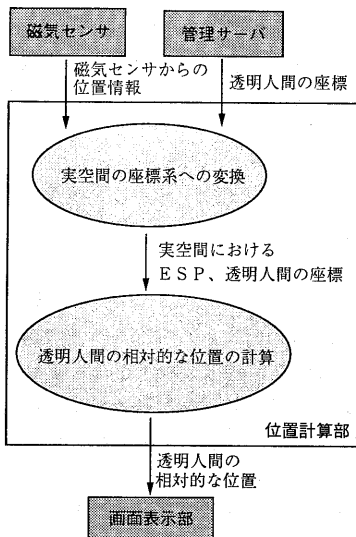


図 4: 位置計算部

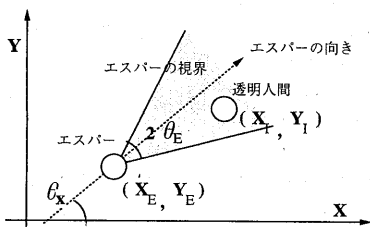


図 5: エスパーの位置、視野と透明人間の位置

実人間同士が会話を行う場合と同様にエスパーが透明人間と会話を行う場合、ESP は常に完全に静止しているわけではなく、エスパーはわずかに場所を移動したり体の向きを変えたりしているため、エスパーの位置情報は常に変動している。また、手ブレにより ESP の画面の内容が安定しない場合もある。このような場合、位置情報の変化に対応して ESP に対する透明人間の相対的な位置を計算し、画面表示部に送信すると、ESP の画面に表示される透明人間の画像が振動するため、コミュニケーションの妨げになってしまう。そこで、ESP のわずかな位置・向きの変化といった微小な情報の変化は無視し、ESP の画面表示位置を安定させる。ESP の微小な位置・向きの変化を無視する方法として、以下のような方法を用いた。

- 手ブレなどが原因の磁気センサからのデータのふらつきはミリ・メートル単位のものであるため、センチ・メートル以上の単位で数値を使用することにより磁気センサからのデータを一定させる。
- ESP の位置を決定する際に磁気センサから複数回データを取得し、それらの平均値から位置情報を算出するようにする。

## 4.2 画像表示部

図 6 に画像表示部の動作を示す。以下では、各機能について説明する。

- 透明人間画像の表示方法の決定  
位置計算部から透明人間の ESP に対する相対的な位置、距離の情報を受け取り、ESP の画面内で表示する透明人間の位置及び大きさを決定する。表示位置の決定は次のような方法で行う。
  - 透明人間の位置情報から ESP と透明人間を結ぶ線が ESP のカメラの視野の左端となす角及び、ESP のカメラの視野の右端となす角を求め、それぞれ  $\theta_L$ 、 $\theta_R$  とする (図 7a)。
  - 同様に ESP と透明人間を結ぶ線が ESP のカメラの視野の上端及び下端となす角を求め、それぞれ  $\theta_U$ 、 $\theta_D$  とする (図 7b)。
  - 画面を左右に  $\theta_L:\theta_R$  に内分し、上下に  $\theta_U:\theta_D$  に内分する場所が透明人間の画像を表示する場所である。

表示する透明人間の画像の大きさは、透明人間と ESP の距離によって決定する。ESP の画面に表示される実人間の大きさと比較した結果、透明人間と ESP の距離が 3m より近い場合、透明人間が ESP に 10cm 近づくごとに透明人間の画像を 1% ずつ拡大し、逆に 3m より遠い場合、10cm 遠ざかるごとに透明人間の画像を 1% ずつ縮小するようにした。

- 合成画像の作成

以上のようにして決定した透明人間画像の表示位置及び大きさに基づいて透明人間画像をカメラから取得した実空間の画像と合成する。ESP の画面表示例を図 8 に示す。

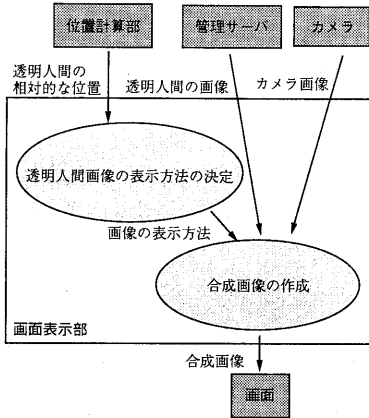
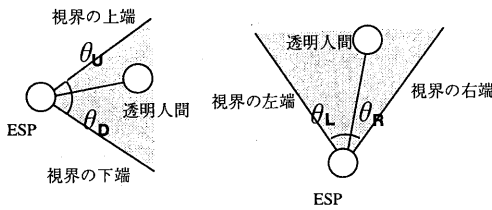


図 6: 画像表示部



(a) 鉛直面での ESP と透明人間の位置関係 (b) 水平面での ESP と透明人間の位置関係

図 7: ESP と透明人間の位置関係

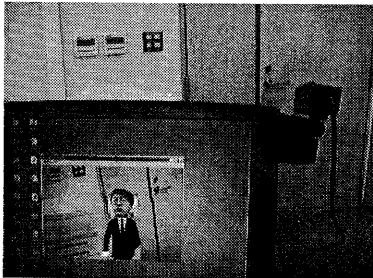


図 8: ESP の画面表示例

## 5 おわりに

本稿では、透明人間システムにおいて、携帯端末の位置情報及び仮想空間内のユーザの位置情報を基にして仮想空間内のユーザの画像を表示する ESP 管理システムの実装について述べた。実装したシステムを用いることによって、実空間内のユーザは携帯端末の画面を通して目の前にあたかも仮想空間内の

ユーザが立っているかのように感じながらのコミュニケーションが可能になった。また、リアルタイムビデオを効果的に利用することで、コミュニケーションは相手の表情を伴った現実に近いものとなった。

今後の課題として、磁気センサを利用しない画像処理等による ESP の位置情報取得や、ESP の負荷を軽減するための透明人間の画像の表示方法の実装が挙げられる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたって、多くの貴重なご助言を頂いた NTT 基礎研の柳沢豊氏とシステム構築にご協力頂いた坂根裕氏をはじめとする当研究室の諸氏に謝意を表す。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」によっている。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] Abbe. Mowshowitz: "Virtual Organization," *Communication of ACM*, Vol.40, No.9, pp.30-37 (1997).
- [2] "特集「モバイルコンピューティング」," 電子情報通信学会誌, Vol.80, No.4, (1998).
- [3] G. W. Fitzmaurice: "Situated Information Spaces and Spatially Aware Palmtop Computers," *Communication of ACM*, Vol.36, No.7, pp.38-49 (1993).
- [4] "特集「仮想環境社会の展望」," 情報処理, Vol.38, No.4, (1997).
- [5] T. Ogawa, Y. Sakane, Y. Yanagizawa, M. Tsukamoto, and S. Nishio: "Design and Implementation of a Communication Support System based on Projection of Real Space on Virtual Space," *Proc. of 1997 IEEE PacificRim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM'97)*, Vol.1, pp.247-250 (1997).
- [6] 厩本純一: "Augmented Interaction: 状況認識に基づく新しいインタラクションスタイルの提案," *インタラクティブシステムとソフトウェア II*, 近代科学社, pp.9-17 (1994).
- [7] "小特集「バーチャルリアリティ-究極の人・機械インタフェース」," シミュレーション, Vol.16, No.1, (1997).
- [8] 坂本 昌彦: "モバイルコンピューティング研究のすすめ-「いつでもどこでもコンピューティング」の繰り広げる未来にむけて-," 情報処理, Vol.39, No.2, pp.158-162 (1998).
- [9] M. Tsukamoto: "Mobile Computing for Integrating Real Space and Virtual Space," *Proc. of IFIP Workshop on Personal Wireless Communications(PWC'98)*, pp.191-198 (1998).