

## 実空間共有型遠隔コミュニケーションシステム Remy の提案

藤村 亮太<sup>†</sup> 郭 斌<sup>†</sup> 大村 廉<sup>††</sup> 今井 倫太<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 慶應義塾大学 理工学研究科

<sup>††</sup> 慶應義塾大学 理工学部

E-mail: †{fujimura,bingo,ren,michita}@ayu.ics.keio.ac.jp

本稿では遠隔コミュニケーションシステム Remy を提案する。Remy は遠隔地にいる相手の実空間を共有しながら行うコミュニケーションを行うことを支援する。従来の遠隔コミュニケーションシステムではユーザの移動範囲はディスプレイといったデバイスの前に制限され、実空間を共有したコミュニケーションを行うことは困難であった。そこでロボットやウェアラブルデバイスを用いて実空間を共有したコミュニケーションを行う研究が行われてきたが、ロボットやウェアラブルデバイスを用いるとユーザに空間的負荷、身体的負荷を与えてしまうといった問題があった。Remy では移動可能な二次元アバタを直接実空間上に投影することで、ユーザの負荷を軽減しつつも、実空間の共有を可能にする。

### Remy: A remote communication system that refers real world objects

Ryota FUJIMURA<sup>†</sup>, Guo BIN<sup>†</sup>, Ren OHMURA<sup>††</sup>, and Michita IMAI<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Technology, Keio University

<sup>††</sup> Science and Technology, Keio University

E-mail: †{fujimura,bingo,ren,michita}@ayu.ics.keio.ac.jp

In this paper, we describe a remote communication system named "Remy". Remy aims to support to do communications that share other party's real world from remoteness. Existing remote communication systems have to use robot or wearable device to share other party's real world. So user may feel spatial and physical strain. Remy solves this problem by projecting two dimension avatar on real world.

#### 1. はじめに

本研究は遠隔地から、コミュニケーションしている相手側の実空間を共有する遠隔コミュニケーションシステムの開発を目指す。人間同士のコミュニケーションは、話者や聞き手の周囲の環境を参照しながら行われるので、環境から得られる情報と切り離して扱うことができない[1]。例えば空間内のある物体を参照し相手に伝えたい場合、人間は物体に向かって指を差し「これ」と発話することで参照を行う。さらにその参照が相手に伝わっているかどうかを、相手、自分、物体との配置や相手の反応から判断する。よって、実空間を共有する遠隔コミュニケーションシステムは、離れた二者が円滑なコミュニケーションを行う上で有用である。今回は特に遠隔からのコミュニケーションに

よる作業支援を想定する。以降、システムを使い遠隔から作業指示を与えるユーザを遠隔ユーザ、指示を受け作業を行うユーザをローカルユーザ、ローカルユーザが作業を行う空間を作業空間と呼ぶ。

遠隔コミュニケーションシステムとして代表的なシステムは電話であるが、近年は音声と共に映像情報を遠隔地に伝えるビデオ会議システムが発展してきている。例えば石井らはディスプレイに遠隔ユーザの映像を反転して映し出し、透明な板を挟んでコミュニケーションを行っているように感じさせる ClearBoard [2] を開発した。ClearBoard によって遠隔ユーザの視線を感じ取ることが可能で、相手が何を見ているか理解することができる。また、Majic [3] は半円状にスクリーンを配置し、遠隔地の二人と三者間でコミュニケーションを行うシステムである。遠隔の二人の

映像をシームレスに表示することで、三人で同じ空間を共有して会話している雰囲気を与えることができる。ビデオ会議システムを使用する上でユーザはお互いに様々な情報を共有できるが、多くのビデオ会議システムではユーザはコンピュータやディスプレイの前に位置取る必要がある。よってユーザの移動範囲はシステムの配置によって制限されてしまい、指差しといったジェスチャで実空間のオブジェクトを参照することが難しくなる。そのため、実空間のオブジェクトに対して直接的に参照を行えるシステムが必要になる。

実空間のオブジェクトを直接的に参照することが可能な遠隔コミュニケーションシステムとして、文献 [4], [6] が挙げられる。文献 [4] は GestureMan というロボットを作業空間に配置し、遠隔から GestureMan の操作を行うことで実空間のオブジェクトの参照を行う。GestureMan はレーザー光を照射でき、レーザー光による直接的な指示が可能となる。文献 [6] はレーザー光を照射可能なウェアラブルデバイスをローカルユーザに装着させる。指示者は遠隔からレーザー光の照射位置を制御することができ、レーザー光を実空間オブジェクトに照射させることで参照を行う。

上記の研究 [4], [6] は実際に運用する上で、システムの設置やシステムの身体的負担など物理的なコストが高く、また操作が複雑という問題がある。文献 [4] はロボットを使用するため、ロボットの配置や移動に必要な空間が作業空間に用意されている必要がある。また、ロボットの操作にジョイスティック、マウス、三面ディスプレイといった大掛かりな装置を用いる必要がある。文献 [6] はローカルユーザがレーザー光照射デバイスと PDA を体に装着せねばならず、少なからず身体的負担を受けてしまう。

本研究では壁上映射メディア PROT [7] を使用した遠隔コミュニケーションシステム Remy を提案する。Remy では相手の空間にあるオブジェクトを参照する際に遠隔ユーザが自ら身体を動かし指差しが必要が無い。代わりに遠隔ユーザの顔の映像および首の下に表示される二次元の身体画像でアバタを作成し、アバタを作業空間に直接投影することで作業空間のオブジェクトを参照する。アバタの投影には PROT を使用する。PROT は一本のポールに回転鏡とプロジェクタを装着したデバイスであり、回転鏡を回転させることでプロジェクタの映像を壁や床の任意の位置に投影することができる。また PROT には可動式カメラと超指向性スピーカが取り付けられており、PROT が投影した映像の周辺を撮影できると共に、投影した映像の位置から音声を鳴らすことも可能である。遠隔ユーザは、PROT のカメラから送信された映像を見ることができ、映像に映し出された作業空間の任意の位置をクリックすることで、クリックされた位置にアバタを移動できる。アバタは、PROT の可動範囲内で自由な方向に素早く提示可能であるので、ローカルユーザはシステムから移動範囲の制限を受けることなく、作業空間を自由に動き回りながら遠隔ユーザとコミュニケーションを行うことができる。

Remy は、システムによってユーザの移動範囲が制限されてしまう問題、システムの操作が複雑である問題、実空間のオブジェクトを直接参照する際に身体的負担、空間的負担を受けてしまう問題を解決する。

## 2. Remy の情報提示モデル

本章では従来研究の情報提示手法をモデル化し、従来手法に対する Remy の手法をモデル化して示す。

### 2.1 ビデオ会議システムの情報提示モデル

ビデオ会議システムの情報提示手法をモデル化した図を図 1 に示す。

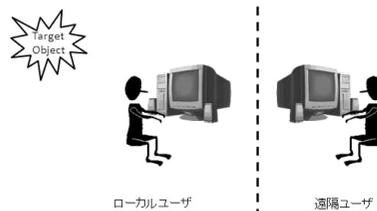


図 1 ビデオ会議システムの情報提示モデル

ビデオ会議システムではユーザはディスプレイの前でしかコミュニケーションを行うことが出来ず、実空間のオブジェクトを参照したコミュニケーションを行うことが困難である。

### 2.2 従来の実空間共有型システムの情報提示モデル

従来の実空間共有型システムの情報提示手法をモデル化した図を図 2 に示す。

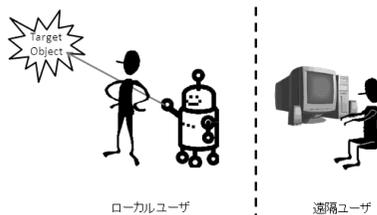


図 2 従来の実空間共有型システムの情報提示モデル

ロボットやウェアラブルデバイスを用いることで実空間オブジェクトを参照したコミュニケーションを行うことが可能である。しかし遠隔ユーザはロボットといった複雑なデバイス进行操作せねばならず、ローカルユーザは使用するデバイスによる負担を受けてしまうといった問題点がある。例えばウェアラブルデバイスを着用する場合は、デバイスの重さや着用感によってユーザは身体的負担を受けてしまう。またロボットを使用する場合は、ロボットを配置する空間や移動する空間を用意せねばならず、ユーザは空間的負担を受けてしまう。

## 2.3 Remyの情報提示モデル

Remyの情報提示手法をモデル化した図を図3に示す。

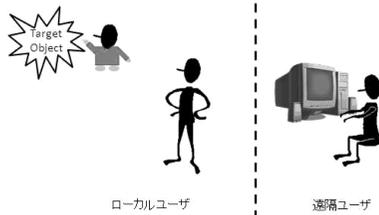


図3 Remyの情報提示モデル

遠隔ユーザのアバタをオブジェクトに直接投影することで、ローカルユーザは移動に制限を受けることなくコミュニケーションを行うことが出来る。またローカルユーザは特殊なデバイスを着用する必要が無く、身体的負担を受けない。アバタを投影するデバイスを小型にすることでユーザは空間的負担も受けずに済む。

## 3. Remyの設計と実装

### 3.1 Remy概要

Remyの動作イメージを図4に示す。

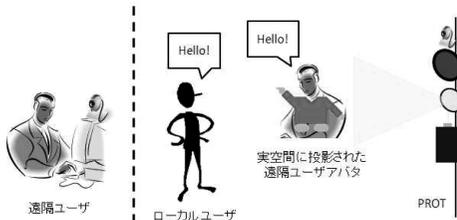


図4 Remy動作イメージ

Remyを動作させる上で、遠隔ユーザはカメラとマイクを取り付けたPCのみを使用し、作業空間には部屋の隅にPROTとPROT制御用PC、マイクを設置する。遠隔ユーザは作業空間の映像をクリックすることで遠隔ユーザのアバタの投影位置の操作とオブジェクトに対する指差しを行う。ローカルユーザは移動範囲の制限を受けることなく、遠隔ユーザのアバタとコミュニケーションを行う。

### 3.2 壁上メディア PROT

Remyでは実空間を移動するアバタを実装するためにPROTを使用する。PROTの外観を図5に示す。PROTは回転鏡付きプロジェクタ、超指向性スピーカ、カメラを一本のポールに装着したデバイスである。ポールは床と天井で固定するタイプであり、一人でも容易に設置できる。回転鏡、超指向性スピーカはそれぞれサーボモータで取り付けられており、各サーボモータは0.3度間隔で制御することができる。プロジェクタが投影する映像を回転鏡で反射させることにより、壁や床に映像を投影し移動させることが可能となる。

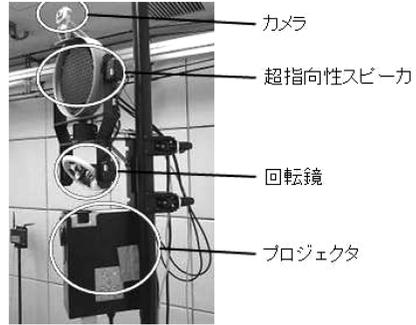


図5 PROT外観

PROTは音声を投射するデバイスとして超指向性スピーカ[5]を用いている。超指向性スピーカは、可聴音を超音波に変換し特定の方向へ向けて発射する。発射された超音波は物体に反射することで減衰し、元の可聴音域の音声へと変化する。よって超指向性スピーカから出力した超音波を壁や床、オブジェクトに当てることで、人間には当てた対象そのものから音声が出力されているように感じさせることができる。回転鏡付きプロジェクタと超指向性スピーカを組み合わせて用いることで、投影した映像から音声聞こえてくるようなコンテンツを作成可能である。また、スピーカ上部にカメラを取り付けることで、映像と音声を投射している周辺の映像を撮影することができる。

### 3.3 Remyシステム構成

Remyのシステム構成を図6に示す。

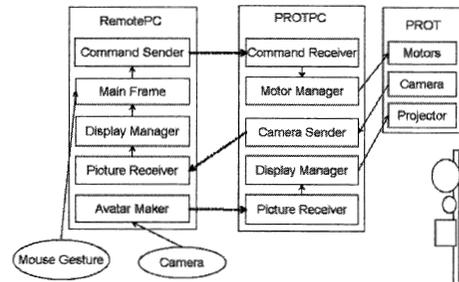


図6 Remyシステム構成

Remyは遠隔ユーザが操作に使用するRemote-PC、作業空間に配置しPROTの制御を行うPROT-PC、そしてPROT本体で構成される。Remote-PCとPROT-PCは互いにUDP通信で映像のやりとりを行う。Remote-PCはAvatar Makerでカメラからの映像の取得、アバタの合成を行いPROT-PCへ送信する。また、Remote-PCはMain Frameにてマウスジェスチャを検知し、マウスの移動量をコマンドに変換した後PROT-PCへ送信する。PROT-PCは受け取ったコマンドからMotor Managerにてモータの回転角度を計算し、PROTを動かす。

今回は音声通信部分の実装は行わず、音声通信には skype [8] を使用した。

### 3.4 遠隔ユーザアバタ

Remy は遠隔ユーザの映像をそのまま投影するのではなく、二次元画像を合成したアバタとして投影する。

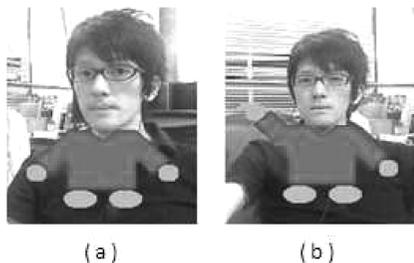


図 7 遠隔ユーザアバタ

Remy で実装したアバタを図 7 に示す。遠隔ユーザの顔を認識し、首から下に二次元画像を合成する。アバタには二種類のモーションを用意した。実空間を移動する際は図 7(a) のように手を下ろした状態で移動するが、止まった際に図 7(b) のように指差しジェスチャを行う。アバタが指差しジェスチャを行うことによって、遠隔ユーザは自身が指差しを行う必要がなくなり操作が簡単になる。またアバタの指差しにより、ローカルユーザは遠隔ユーザがどのオブジェクトを参照しているのかを直感的に理解することができる。

### 3.5 Remy 操作インターフェース

Remy の操作画面を図 8 に示す。



図 8 Remy 操作画面

操作画面は、PROT 上のカメラで撮影された作業空間の映像が表示されるだけのシンプルなものである。操作画面の中央には作業空間に投影されたアバタの映像が映り込む。

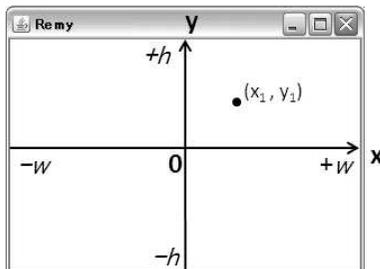


図 9 操作画面座標系

操作画面の座標系を図 9 に示す。Remy ではカメラの画角と解像度、操作画面のクリックされた座標からモータの回転量を計算し、アバタの移動を行う。クリックした座標を  $(x_1, y_1)$  とし、カメラの解像度を  $2w * 2h$  としたとき、PROT のモータの水平方向の回転量  $\theta_{x1}$ 、垂直方向の回転量  $\theta_{y1}$  は次式<sup>(注1)</sup>で求められる。

$$\theta_{x1} = (\tan^{-1} \frac{2x_1}{5w}) * \frac{180}{\pi} [deg] \quad (1)$$

$$\theta_{y1} = (\tan^{-1} \frac{3y_1}{10h}) * \frac{180}{\pi} [deg] \quad (2)$$

(1), (2) 式によって、クリックした位置に操作画面の中心が移動するように PROT のモータの回転量が計算される。

Remy の操作例を図 10, 図 11 に示す。図 10 の丸で囲んだ部分をクリックすると、図 11 のようにクリックした位置を指さすようにアバタが移動する。



図 10 操作例：クリック前



図 11 操作例：クリック後

(注1)：定数の部分  $\frac{2}{5}, \frac{3}{10}$  は使用するカメラの画角によって異なる。

## 4. Remyの使用

本章では、実際に Remy を用いて行った遠隔ユーザとローカルユーザのコミュニケーション例を紹介する。

### 4.1 作業空間

PROTを設置した作業空間の様子を図12に示す。PROTが作業空間に対して占有している物理的空間が十分に小さいことが見て取れる。

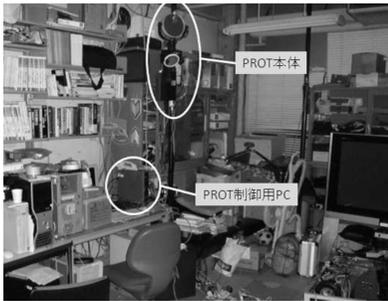


図12 PROT設置例

### 4.2 遠隔ユーザ

遠隔ユーザの様子を図13に示す。遠隔ユーザはノートPC中央に出ている操作画面で Remy の操作を行う。操作画面のサイズは自由に変更可能である。



図13 遠隔ユーザの例

### 4.3 コミュニケーション例

大学生二人に Remy を使った遠隔コミュニケーションを行ってもらった。以下にコミュニケーションの流れを示す。



図14 コミュニケーション例1-1

図14では壁に投影された遠隔ユーザの-avatarとローカル

ユーザがコミュニケーションを行っている。ローカルユーザは粘着テープを探しており、遠隔ユーザに向かって「テープはどこに置いてあったっけ?」といった発言を行った。



図15 コミュニケーション例1-2

遠隔ユーザはローカルユーザの発言を聞き、少し考えた後「この棚にあるよ」という発言と共にアバタの位置を移動させた。(図15)



図16 コミュニケーション例1-3

ローカルユーザは遠隔ユーザの発言と、アバタの指差しに従って棚の二段目を探索し始めた。(図16)

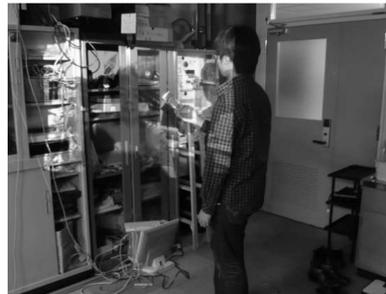


図17 コミュニケーション例1-4

ローカルユーザは粘着テープを見つけ出すことに成功した。(図17)

## 5. 考察

### 5.1 Remyの有効性

4章の結果より、Remyを用いることで作業空間内のオブジェクトを共有したコミュニケーションを行うことができた。ローカルユーザは体に特殊なデバイスを身につける必要がなく、PROTが作業空間中に占有している空間は十

分に小さいため、ローカルユーザに負荷を与えてしまう問題も解決している。

## 5.2 Remyの問題点

Remyにはいくつかの問題点が見つかった。

### 視線の共有

Remyには遠隔ユーザとローカルユーザ間で視線の共有をできない問題がある。遠隔ユーザの視点はPROTに取り付けられたカメラであるため、コミュニケーション中にローカルユーザの顔を見ることができない。また、遠隔ユーザはコンピュータの画面を見ながらアバタの操作を行うため、作業空間に投影される遠隔ユーザの視線は常に下を向いてしまう。遠隔ユーザの視線が常に下を向いていることにより、ローカルユーザが違和感を感じてしまう可能性がある。

### アバタによる指差しのずれ

RemyはPROTカメラの画角と解像度からモータの回転量を計算しアバタの移動を行っている。しかし現在の手法では、移動させたい位置と実際に移動する位置にずれが生じてしまった。作業空間の形状、PROTの回転鏡とカメラの物理的位置のずれといった理由が原因として考えられる。

### 音声の伝達手法

今回はPROTにマイクを取り付け、ローカルユーザの音声を遠隔ユーザに送信した。しかし、コミュニケーション中はローカルユーザはPROTに対して背を向けた位置取りをすることが多いため、マイクで音声を拾えない場面があった。

## 6. 今後の課題

今回は一組のユーザにRemyを使用してもらったが、さらに多くのユーザに使用してもらい、Remyの評価を行う必要がある。Remyの有効性や、問題点がどの程度コミュニケーションに影響をもたらすか評価し、評価結果に従ってシステムの改良を行っていくつもりである。

## 7. まとめ

本稿では遠隔地からコミュニケーション相手側の実空間を共有する遠隔コミュニケーションシステムRemyを提案した。

Remyは、二次元アバタを実空間のオブジェクトへ直接投影することで、遠隔地から実空間を共有する。二次元アバタを使用することでローカルユーザは空間的負荷や身体的負荷を受けることなく実空間を共有したコミュニケーションを行うことができる。コミュニケーションを行う際、ローカルユーザはシステムの配置によって移動範囲を制限されることが無い。また、遠隔ユーザは画面をクリックするといった簡単な操作でアバタの位置を制御し、ローカルユーザに実空間を参照した指示を与えることができる。

### 文 献

- [1] Christian Heath, Paul Luff, Hideaki Kuzuoka, Keiichi

Yamazaki, and Shinya Oyama.: Creating coherent environments for collaboration; In Proc. of ECSCW2001, pp.119-138, 2001.

- [2] Hiroshi Ishii, Minoru Kobayashi, and Kazuho Arita.: Iterative Design of Seamless Collaboration Media; Communications of the ACM, 1994
- [3] Kenichi Okada, Fumihiko Maeda, Yusuke Ichikawa, Yutaka Matsushita.: Multiparty videoconferencing at virtual social distance: MAJIC design; Proc. of CSCW'94, ACM, NewYork, Oct.1994, pp.385-393
- [4] Kuzuoka, H., Oyama, S., Yamazaki, K., Suzuki, K., Mitsuishi, M.: GestureMan: A Mobile Robot that Embodies a Remote Instructor's Actions; in Proc. of CSCW2000, pp.155-162, 2000.
- [5] Nakadai, K., Tsujino, H.: Towards New Human-Humanoid Communication: Listening During Speaker by Using Ultrasonic Directional Speaker; Proc. of ICRA, pp.1495-1500, 2005.
- [6] 酒田 信親, 加藤 大和, 興格 正克, 葛岡 英明, 蔵田 武志: レーザ搭載型ウェアラブルアクティブカメラによる遠隔コミュニケーション支援; 信学技報・第12回複合現実感研究会, PRMU2002-172, pp.19-24
- [7] 佐原 昭慶, 石井 健太郎, 川島 英之, 今井 倫太: 壁上を移動可能な映像・音声の投射システム; 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2006, No.4, pp.231-232, 2006.
- [8] skype 公式サイト: <http://www.skype.com/>