

大型ビデオコミュニケーションシステムと モバイル端末の接続手法

梶 克彦^{†1} 平田 圭二^{†1}
原田 康徳^{†1} 白井 良成^{†1}

本論文では、複数のディスプレイとカメラを備える大型のビデオコミュニケーションシステム (VCS) である t-Room とモバイル端末を接続するための表示方法と機能を提案する。ディスプレイやカメラの数や大きさが異なるシステムどうしを接続し、円滑なコミュニケーションを行うためには、ユーザ間で共有する視界や実行可能な作業を同等に保ち、ユーザが感じる非対称性を緩和する必要がある。t-Room 側とモバイル端末側のユーザが、互いに同等の範囲の視界を持ち、視線の共有、t-Room 内の移動、指さし等を t-Room 側のユーザと同様に行うことのできるインタフェースを提案し、実装した。

A Connecting Method Between Large Video Communication Systems and Mobile Devices

KATSUHIKO KAJI,^{†1} KEIJI HIRATA,^{†1} YASUNORI HARADA^{†1}
and YOSHINARI SHIRAI^{†1}

In this paper, we propose a connecting method between mobile devices and large video communication systems (VCS) using multiple displays and cameras. As an example of such kinds of VCS, we take t-Room that we are developing. When connecting asymmetric systems, it is necessary to enable similar behaviors for each user. If the restriction of behavior is different to each other, users confuse what kind of action remote user is able to. In the interface to connect t-Room and mobile devices that we implemented, each user has similar ability about range of vision, moving of visual line, moving around t-Room, and pointing.

1. はじめに

Polycom 社や Cisco 社などの商用ビデオコミュニケーションシステム (VCS) では、カメラや大型のディスプレイを複数利用することで、臨場感のある遠隔コミュニケーションを可能にしている。また、遠隔間の協調作業を円滑に行うための大型 VCS の研究がすすめられている^{5),8)}。これらのシステムは、立体的に配置された複数の大型ディスプレイに複数のカメラで撮影された遠隔映像を表示することで、互いの環境を共通理解しやすくする。これらの大型 VCS の欠点の一つとして、ユーザの利用場所がシステムを設置した場所に限定されてしまうことが挙げられる。

一方、ユーザのいる場所にかかわらず、移動中でもコミュニケーションを行うことのできる手段として、携帯電話、PDA、ネットブックなど、小型のディスプレイとカメラを備えたモバイル端末が一般に広く普及してきている。これらモバイル端末と大型 VCS どうしを接続することができれば、コミュニケーション機会の拡大につながり、ユーザの利便性をさらに高めることができるだろう。

遠隔コミュニケーションシステムでは、互いのユーザの視界や実行可能な作業に関して対称性を保つことが必要となる。ディスプレイやカメラの構成が等しいシステムどうしを接続した場合には、視界や実行可能な作業に関して比較的対称な環境を作ることが可能である。ユーザが相互に適切な映像を見ることができないと、互いの環境を理解することが困難になる^{3),10)}。また、実行可能な作業が非対称な場合、遠隔間の円滑なコミュニケーションが困難になる^{4),7)}。

これまで、大型 VCS とモバイル端末のような構成の異なるシステムどうしを接続した際の、ユーザ間で共有している視界や実行可能な作業に関して対称性を保つための表示方法や機能に関する研究は十分に行われていない。Hirata らは、ディスプレイ配置の異なる t-Room 間で距離や方向を共有するための表示手法について考察している⁶⁾。ただし、複数の大型ディスプレイとカメラで構成されたシステムどうしの接続について考察されており、モバイル端末と複数 VCS のように、極端にディスプレイやカメラの構造の異なるシステムどうしの接続において対称性をできるだけ維持する、具体的には、距離や方向を共有する方法は考察されていない。

本研究の目的は、カメラやディスプレイの数、大きさに関して、構成が異なるシステムどうしを接続する方式を確立することである。実証システムとして t-Room とモバイル端末を接続する際の表現手法と機能を提案し実装する。モバイル端末はノート PC、携帯電話、PDAなどを想定し、ディスプレイと操作インタフェースを備えていること、ディスプレイ周辺に配置されたカメラでモバイルユーザを撮影できることを前提とする。

^{†1} NTT コミュニケーション科学基礎研究所
NTT Communication Science Laboratories

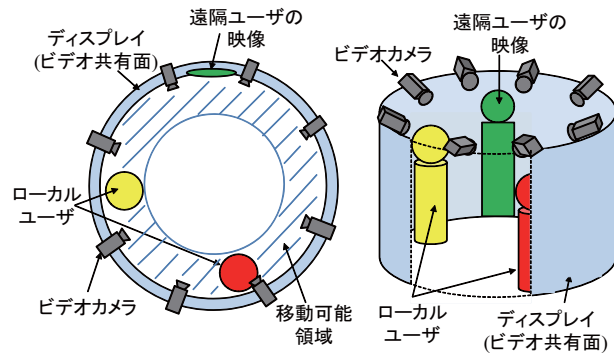


図 1 ビデオ共有面で空間を円柱状に囲む t-Room の構成
 Fig. 1 t-Room consists of multiple cameras and LCD panels

本稿の構成を以下に示す．まず 2 章において，対象とする大型 VCS である t-Room について説明し，t-Room とモバイル端末を接続するインタフェースを提案する．3 章では，インタフェースの実装と評価実験について述べ，4 章において今後の課題を挙げる．

2. t-Room とモバイル端末を接続するインタフェースの提案

2.1 t-Room

t-Room はビデオ共有面¹²⁾の技術を用いたシステムである．ビデオ共有面とは以下の条件を満たす面である．遠隔地点の映像を表示する面と実体を撮影する面が同一であり，撮影された実体の映像は実時間で遠隔地点の面に実物大で表示される．ビデオ共有面上では，遠隔間で物体の相対的な位置関係が共有される．これより，ビデオ共有面上に表示されている物体に対してユーザが直接指さしできるようになる．指しは典型的なジェスチャの 1 つで，協調作業の場面において頻繁に用いられる．

t-Room はビデオ共有面によって空間を円柱状に囲む構成をとる (図 1)．同じ構成の遠隔 t-Room にいるユーザの映像は，ローカル t-Room の同じ位置に表示される．これより，誰が誰に注目しているか，誰と誰がどの程度離れているかなど，空間内にいるユーザ全体の位置関係，距離，方向が共有される．また，t-Room 内のユーザは視線を自由に移動できる．ビデオ共有面の面積が限られている場合，遠隔ユーザがビデオ共有面の外に注目してしまうと，ローカルユーザは遠隔ユーザの注目しているものを認識できない．一方 t-Room は空間全体が共有面であるため，遠隔ユーザが t-Room 内のどこを向き何に注目しても，ローカルユーザは遠隔ユーザの注目している方向と物体を認識できる．

さらに，t-Room では円柱状に配置されたビデオ共有面の表面付近をユーザが自由に移動できる (図 1 左)．これより，遠隔間のユーザはコミュニケーションの状況に合わせて適切な位置関係をとることができる．Luff らはコミュニケーションシステムの設計指針の一つ

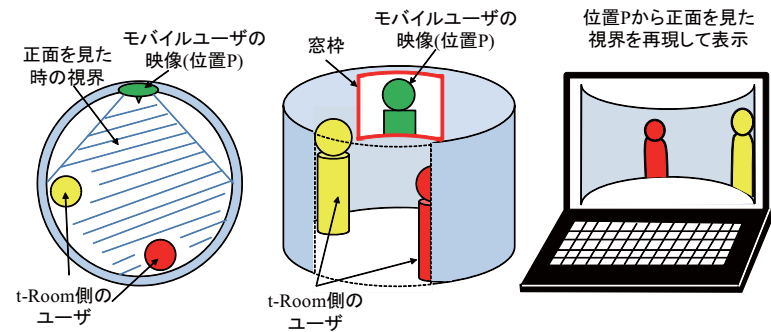


図 2 t-Room とモバイル端末を接続した表示．(左) 位置関係と視野，(中央)t-Room 側，(右) モバイル端末側
 Fig. 2 A presentation method of t-Room and mobile device

として他人との位置関係を決められることを挙げている⁷⁾．また Yamashita¹³⁾ らは座席配置によって議論の性質が変わることを指摘している．

2.2 t-Room とモバイル端末の接続における表示手法と機能

t-Room とモバイル端末を利用するユーザどうしが円滑にコミュニケーションできるようにするため，互いのユーザの視界と実行可能な作業に関する対称性をできるだけ成り立たせるインタフェースを提案する．

2.2.1 位置関係，距離，方向の共有

本節では，モバイルユーザが t-Room 側のユーザの位置，距離，方向を認識する課題と，t-Room 側のユーザがモバイルユーザに関する位置，距離，方向を認識する課題を挙げる．

まず，モバイルユーザが t-Room 側のユーザの位置，距離，方向を認識するための表示手法について述べる．複数のカメラ映像を 1 つのディスプレイに表示する場合，もっとも一般的なのは各映像を格子状に配置する方法であろう²⁾．しかし格子状の配置は遠隔地のカメラ映像の立体的な配置と対応しないため，位置関係，距離，方向の情報が失われてしまう．位置関係や方向を把握可能な表示方法としては，t-Room の特定の位置 P にユーザが立った時の視界 (図 2 左) を立体的に再現して表示する方法 (図 2 右) が考えられる．3 次元仮想空間に複数ユーザが集まりコミュニケーションを行う FreeWalk¹⁴⁾ や iChatAV¹⁾ などが類似した表示手法を採用している．ここで，モバイル端末のディスプレイの大きさの制限から，視界を再現した映像は等身大ではなくなる．しかし縮小の比率は一貫しているため，モバイルユーザは表示されたユーザの大きさからユーザ間の距離を推測することは可能であろう．

モバイル端末の表示を，仮想的なユーザが t-Room 中にいるとして (図 2 中央，緑のユーザ)，そのユーザの視界の範囲に限定することで，互いのユーザに同等の範囲を見る能力を持たせることができる．もしモバイル端末側に t-Room 全体のカメラ映像を表示してしまう

と、モバイルユーザは通常の視野では見られない部分に注目できてしまう。この時 t-Room 側のユーザは、モバイルユーザが注目している範囲を推測することが難しくなる。

モバイルユーザが自身の位置を把握するために、モバイル端末には視界を再現する映像に加えて俯瞰映像を表示すると有効であろう。モバイルユーザは t-Room 内にその実体が存在しないため、視界を再現する映像のみをモバイル端末に表示した場合、t-Room 内のどの位置からの視界が表示されているのかが分かりづらくなる。表示する俯瞰映像の種類としては、円柱を横長に展開した映像、上から見た映像、斜め上から見た映像などが考えられる。Otsuka らは、円卓を囲んだ会議の様子を俯瞰する映像として、円柱を上から見た映像や斜め上から見た映像を採用している⁹⁾。ディスプレイの大きさの制限によってこれらの俯瞰映像を複数表示できない場合、ディスプレイの大きさ、個人の嗜好、コミュニケーションの状況などを踏まえて、表示する俯瞰映像を選択的に切り替える機能が必要だろう。ただし、俯瞰映像はモバイルユーザ自身の位置を把握しやすくすることが主な目的であり、モバイルユーザの視界を適切に制限する必要もあるため、俯瞰映像は小さな表示で十分であろう。

t-Room 側のユーザがモバイルユーザに関する位置、距離、方向を認識するために、t-Room 側には、位置 P にモバイルユーザの映像を等身大で表示する (図 2 中央)。モバイルユーザの映像は上半身のみが撮影されるため、その映像をそのまま大型ディスプレイに表示すると上半身が浮いているように感じられる。そこで、モバイルユーザの映像の周りに枠を設けることで、窓から t-Room の中をのぞいているような感覚を t-Room 側のユーザに提供する。

2.2.2 視線の共有

t-Room 内のユーザどうしは、互いに空間内のどこを向き何を見ているか、それを認識することができる。そこで、モバイルユーザにも同様の能力を持たせるために、t-Room 内にモバイルユーザに対応する仮想的なユーザが存在するとして、そのユーザの視線の向きを変更できるようにする。モバイル端末には、位置 P にいるユーザが向いた方向の視界 (図 3 左) を再現して表示する (図 3 右) ことで視線の向きの変更が表現できる。

一方 t-Room 側には、図 3 中央のようにモバイルユーザの映像と窓枠を視線方向に台形に傾けて表示する^{11),14)}。モバイルユーザは常にモバイル端末のディスプレイと正対しているため、目線や体の向きでは視線方向が表現されない。そこで、モバイルユーザが注目している方向を窓枠の傾きによって表現し、t-Room 側のユーザがモバイルユーザの視線の向きを認識できるようにする。

2.2.3 モバイルユーザの t-Room 内の位置移動

t-Room 内のユーザは空間の円周上を自由に動き回ることができる。そこで、モバイルユーザがあたかも同型の t-Room 内の位置を移動しているような効果をもたらす機能を持たせる。モバイルユーザはモバイル端末の入力デバイスを用い、自身の映像が表示される円柱上の位置を移動する。この時、モバイル端末には移動中の位置からの視界を再現して表示し、同時に t-Room 側には、移動中の位置にモバイルユーザの映像を表示する。

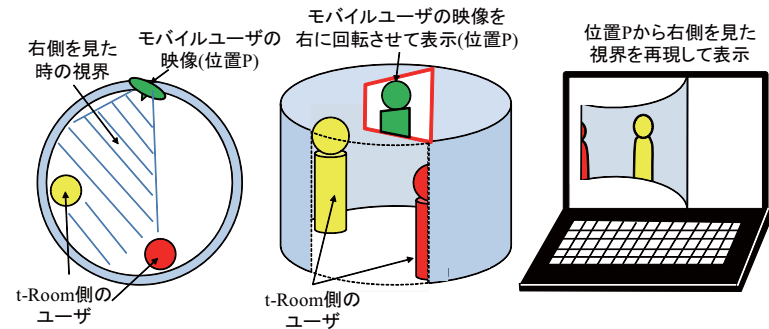


図 3 モバイルユーザが右を向いた時の表示。(左)位置関係と視野、(中央)t-Room 側、(右)モバイル端末側
Fig.3 A presentation method of t-Room and mobile when the mobile user looks at right hand

ここで、移動するモバイルユーザの様子を t-Room 内のユーザが容易に追跡できるようにするため、モバイルユーザの移動可能な速度を t-Room 内のユーザが歩く速度と同等程度に制限する。もし速い速度での移動や不連続な移動を可能にすると、t-Room 側のユーザがモバイルユーザの映像を追跡する負荷が大きくなり、モバイルユーザの映像を見失う場合も生じてしまうだろう。

2.2.4 ポインティング

t-Room 側のユーザはビデオ共有面上に表示された物体に対して直接指さしをすることができる。そこでモバイル端末にも指さしに準じる機能を備える必要がある。しかし、多くのモバイル端末では、ディスプレイ周辺にカメラが設置されており、カメラでディスプレイ表面を撮影することができず、モバイル端末のディスプレイをビデオ共有面とすることが困難である。そこで、モバイルユーザはモバイル端末に表示された t-Room ディスプレイをマウスカーソルでポイントし、t-Room 側にはポイントされた当該箇所にモバイル端末側のポインタ画像を表示する。t-Room 側のユーザはポインタ画像を見ることで、モバイルユーザが何をポイントしているのかが分かる。

あたかもモバイルユーザが t-Room 内のある箇所に存在して指さしをしているような効果をもたらすために、t-Room 側のユーザが指さしをする際の視線方向や物理的な距離関係を再現する。現実世界では、通常指さしを行うユーザは指をさす箇所に視線を向けており、また腕の長さに限界があるため、数十センチ程度の距離までしか指さしできない。モバイル端末側でも、視線を右か左に向けた状態で視界内に入る範囲、かつ腕の長さと同程度程度の距離までの範囲をポイント可能範囲とみなす。もし自身の位置から遠い箇所をポイントしたい場合は、t-Room 側のユーザと同様、その箇所の近くまで移動してからポイントする必要がある。これらの制限により、t-Room 側に表示されるポインタ画像は必ずモバイルユーザの

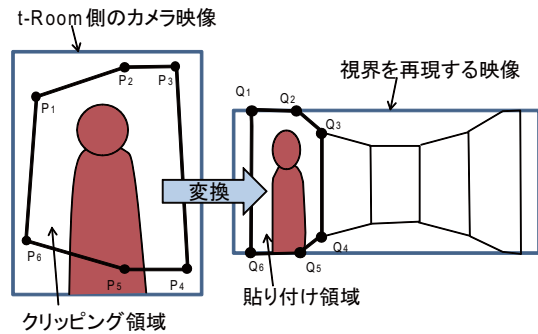


図 4 クリッピング領域を貼り付け領域に変換する例
Fig. 4 Clipping of input image and transforming to output image

視線の先に表示され、モバイルユーザ映像とポインタ画像の距離は常に近くなるため、どのモバイルユーザがどこをポイントしているかを t-Room 側のユーザが認識しやすくなる。
モバイルユーザが思い通りの箇所をポイントできるようにするため、モバイル端末には、ポインティング領域として、ポイント可能な範囲の映像を変形させずに拡大表示する。図 3 右側のような視界を再現した映像を直接ポイントする場合、映像は立体的に変形され歪んでおり、かつ縮小されているため詳細な箇所をポイントするのが困難であると考えられる。

3. 実装

3.1 多角形多段変換方式

前章で提案したインタフェースを統一的に実現する方式として、カメラ映像や静的な画像の柔軟な変形と配置を可能とする画像座標変換機能を設計、実装した(多角形多段変換方式)。ビデオ共有面を実現するためには、カメラで撮影されたディスプレイ表面の映像から、厳密にディスプレイの領域を切り出すクリッピングが必要である。また 2.2.2 節で述べたように、モバイルユーザの映像や窓枠の画像は矩形から台形に変形し表示する必要がある。さらに、視界を再現する映像や俯瞰映像のような立体的な配置を実現するためには、4点以上の頂点を持つ多角形への変換を必要とする場合がある。

そこで、カメラ映像や画像などを多角形としてクリッピングし、任意の座標に多角形として貼り付ける多角形変換の機能を実装した。図 4 に、t-Room 側のカメラ映像の 1 つをクリッピングし、視界を再現する映像の左端として変換する例を示す。まずディスプレイ表面を撮影した映像から、利用する領域 ($P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$) をクリッピングする。次に、視界を再現する映像の左端側の映像として貼り付け領域 ($Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$) を指定すると、クリッピング領域が貼り付け領域に変換されてモバイル端末に表示される。さらに、複数のカメラ映像から立体的で複雑な図形を容易に作成できるよう、多角形変換を多段に行えるよ

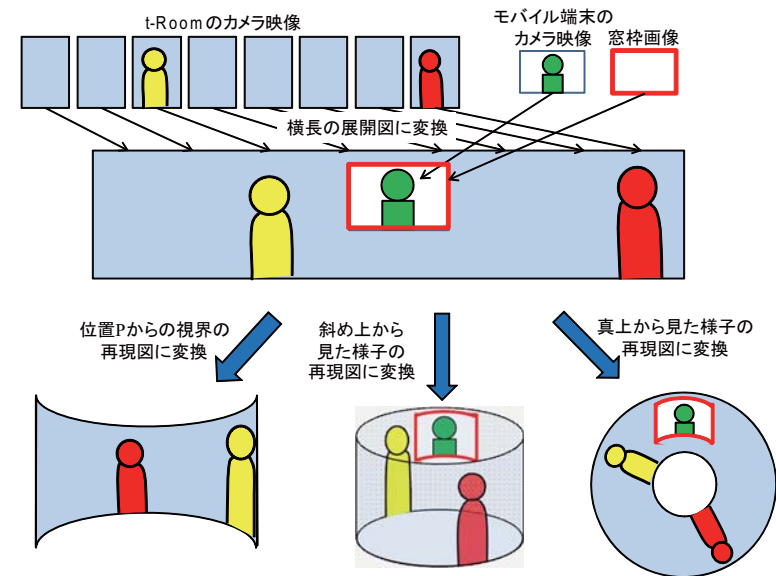


図 5 多角形多段変換方式による複数の映像への変換
Fig. 5 Transformation to various 3D images

うにした。例えばモバイル端末側に表示する映像は、本機能を用いて以下のように作成される。まず t-Room の複数のカメラ映像を横一列に並べ、モバイル端末のカメラ映像と窓枠画像を位置 P に重ね合わせる(図 5 中央)。さらにこの横長の展開図から、地点 P からの視界を再現する映像(図 5 左下)、斜め上から見た俯瞰映像(図 5 中央下)、上から見た俯瞰映像(図 5 右下)に再変換する。

1 つの変換定義は 1 つの XML で静的に定義され、多段に変換を行う場合は変換定義の XML を URL によって指定する。モバイル端末は変換定義を順にたどり、最終的な変換座標を求め、カメラ映像や画像を変形してディスプレイに表示する。さらに、2.2.3 節と 2.2.4 節で提案したモバイルユーザの t-Room 内の移動機能やポインティング機能を実現するために、変換定義を動的に更新する機能を実装した。例えば t-Room 側の表示の変換定義として以下の URL を指定したとする。

url="push://192.168.0.1:234/xmlgen.rb"

この場合、モバイル端末 (IP:192.168.0.1) では、xmlgen.rb というスクリプトプログラムがユーザからのマウスやキーボード入力に基づいて変換定義 XML を動的に生成する。生成された XML はポート 234 を通して t-Room 側に配信され、t-Room 側のディスプレイはその XML を受け取りモバイルユーザの映像やポインタ画像の配置を更新する。push プロト

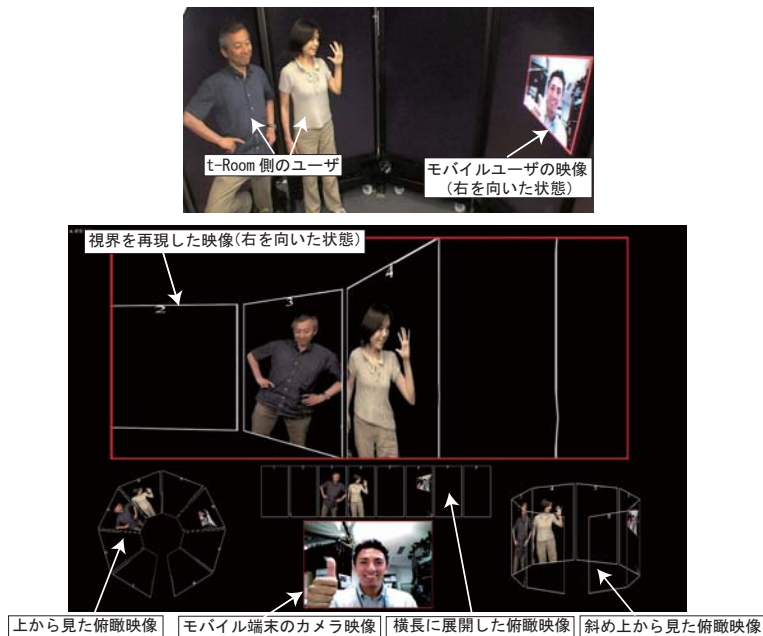


図 6 t-Room とノート PC を接続する表示例 . (上)t-Room 側, (下) モバイル端末側
 Fig. 6 Screenshots of the interface that connecting t-Room and laptop computer

コルは http プロトコルと異なり, クライアントはデータ受信後に接続を切断せず, 新たな変換定義 XML が配信されるのを待ち続ける .

3.2 実行例

モバイルユーザが右側を向き, t-Room 側のユーザとコミュニケーションする様子を図 6 に示す . t-Room 側では, 窓枠を右側に傾けてモバイルユーザの映像を表示する (図 6 上) . モバイル端末のカメラ映像中のユーザの大きさと t-Room のディスプレイの大きさをあらかじめ測定しておき, モバイルユーザの映像は等身大となるように調整して拡大表示する . 一方モバイル端末では, 視界を再現した映像, 複数の俯瞰映像, モバイル端末のカメラ映像が表示される (図 6 下) . 今回はモバイル端末の中でも比較的表示領域の大きいノート PC を用いているため複数の俯瞰映像を表示できているが, ディスプレイの小さいモバイル端末の場合は表示する俯瞰映像の数を制限したり, レイアウトの工夫をする必要がある . また, 図 6 では 1 台の t-Room と 1 台のノート PC を接続しているが, 複数台の t-Room と複数の異なる種類のモバイル端末を同時に接続することも可能である .

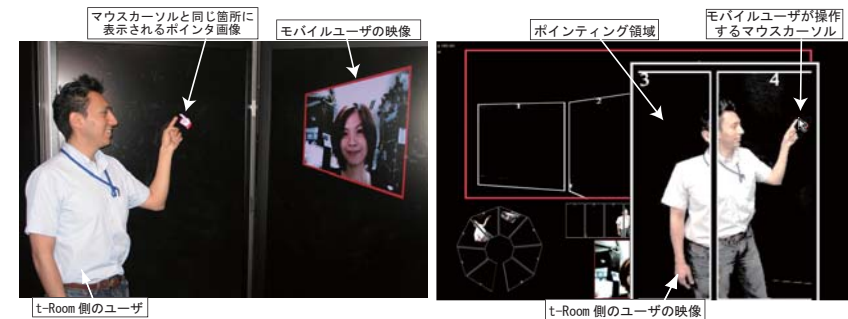


図 7 互いにポインティングしあう様子 . (左)t-Room 側, (右) モバイル端末側
 Fig. 7 A scene of pointings between a t-Room user and a mobile user

t-Room 側のユーザとモバイルユーザが互いをポインティングする様子を図 7 に示す . モバイルユーザが視線を右 (左) に向けている状態で, 視界を再現する映像中のポイントしたい箇所の周辺をクリックすると, モバイルユーザのすぐ右隣 (左隣) 周辺領域の映像がポップアップし拡大表示される (図 7 右のポインティング領域) . モバイルユーザがその領域内をマウスカーソルでポイントすると, t-Room の当該箇所にポインタ画像が表示される (図 7 左) .

3.3 評価実験

本インタフェースを評価するために, 被験者 12 人 (4 グループ) を用いて実験を行った . 実験手順は以下のとおりである . 1 グループ 3 人として, t-Room 内に 2 名が入り, 残りの 1 名がノート PC を利用する . t-Room とノート PC は同一の部屋に置かれており, 互いに肉声でコミュニケーションする . t-Room 内にはランダムに 48 種類のイラストが配置され, 各被験者は異なるイラストが 1 つずつ印刷されている 16 枚の紙を持つ . まず最初に t-Room 内の被験者は紙に描かれたイラストと同じものを t-Room 中から探し出して指さすと, ノート PC 側の被験者はその様子を追って同じイラストをポイントする . 次にノート PC 側の被験者が手元の紙に描かれた画像と同じイラストを探し出してポイントすると, t-Room 内の被験者のどちらかが同じイラストを指さす . これを 3 人が順に行い, 合計 48 個の画像をポイントしあう . この手順を, ノート PC 側の被験者を交代し, イラストの配置を変えて 3 回行う . 実験終了後に各被験者は以下のアンケート項目に回答する .

- 1: t-Room 内の全体の様子を把握できたか
- 2: t-Room 内の被験者の視線や体の向きを把握できたか
- 3: t-Room 内の被験者の指さした場所をスムーズに見つけられたか
- 4: 視線を右や左に動かした時の視界を再現する映像は理解できたか

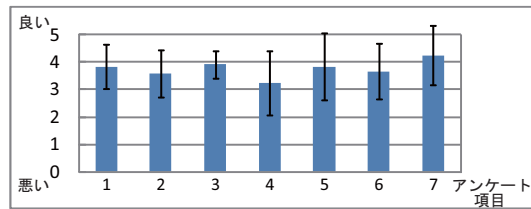


図8 アンケートの各項目の平均と標準偏差
Fig.8 Averages and standard deviations of each questionnaire entry

- 5: t-Room 内を移動中に自分の表示されている位置を認識できたか
- 6: ポイントしたい画像を見つけた後、スムーズにその画像をポイントできたか
- 7: ノート PC 側の被験者の視線の動きが窓枠の形から認識できたか

項目 1~6 はノート PC 側の被験者として、項目 7 は t-Room 側の被験者としての質問であり、各項目は 5 段階 (1:悪い~5:良い) で評価する。

各項目の平均値と標準偏差を図 8 に示す。各項目とも平均値が 3 を上回っていることから、位置関係の共有、視線の共有、t-Room 内の移動、互いのポインティングは最低限行えることが確認できた。特に、項目 7 は平均 4.25(標準偏差 1.09) と高いことから、図 3 中央のような、窓枠の傾きによってモバイルユーザの視線方向を表現する手法の有効性が確認できた。

自由記述のアンケートとして、ノート PC 側の被験者のフラストレーションがたまったという意見が複数見られた。この原因として、ノート PC 側の移動のための操作や、ポイントする箇所をポインティング領域におさめる操作がスムーズに行えなかったことが挙げられる。このことから、ノート PC 側のユーザビリティは低い状態であるといえる。今後、インタフェースの工夫によりユーザビリティを向上させる必要がある。

4. おわりに

本論文では、複数のディスプレイとカメラを備える大型 VCS である t-Room とモバイル端末を接続するためのインタフェースを提案した。ディスプレイやカメラの数の異なるシステムどうしを接続する際、ユーザ間で共有している視界や実行可能な作業を同等に保ち、ユーザが感じる非対称性を緩和する必要がある。そこで、モバイル端末側には t-Room 側のユーザと同等の範囲の視界を立体的に再現して表示し、t-Room 側にはモバイルユーザの映像を等身大で表示することで位置関係、距離、方向を互いに認識可能にした。また、互いのユーザによる視線方向の共有、t-Room 内の移動、ポインティングを可能にした。

今後の課題としては、多様なジェスチャを適切に伝える機能を充実させることが挙げられる。例えば本論文では物体への直接的なポインティングを対象として実装したが、今後は空

間的な方向指示のようなジェスチャをモバイル端末側で行えるよう改良する予定である。

参 考 文 献

- 1) Apple Inc. iChat AV.
<http://www.apple.com/jp/ftp-info/reference/ichatavJ.html>.
- 2) Dourish, P. and Bly S. Portholes: Supporting Awareness in a Distributed Work Group. In *Proceeding of CHI*, pp. 541-547, 1992.
- 3) Gaver, W. The Affordances of Media Spaces for Collaboration. In *Proceedings of CSCW*, pp. 17-24, 1992.
- 4) Heath, C. and Luff, P. Media Space and Communicative Asymmetries: Preliminary Observations of Video-Mediated Interaction. *Human-Computer Interaction*, Vol.7, pp. 315-346, 1992.
- 5) Hirata, K., Harada, Y., Takada, et al. t-Room: Next Generation Video Communication System. In *Proceedings of World Telecommunications Congress 2008*. IEEE, Dec 2008. with IEEE Globecom 2008.
- 6) Hirata, K., Harada, Y., Takada, T., et al. Video Communication System Supporting Spatial Cues of Mobile Users. In *Proceedings of CollabTech 2008*, pp. 122-127, 2008.
- 7) Luff, P., Heath, C., Kuzuoka, H., et al. Fractured Ecologies: Creating Environments for Collaboration. *Second Symposium on Intelligent Media Integration for Social Information Infrastructure*, Vol.18, pp. 51-84, 2003.
- 8) Luff, P., Heath, C., Kuzuoka, H., et al. Handling Documents and Discriminating Objects in Hybrid Spaces. In *Proceedings of CHI*, 2006.
- 9) Otsuka, K., Araki, S., Ishizuka, K., et al. A Realtime Multimodal System for Analyzing Group Meetings by Combining Face Pose Tracking and Speaker Diarization. In *Proceeding of International Conference on Multimodal Interfaces*, pp. 257-264, 2008.
- 10) Stefik, M., Bobrow, D., Foster, S., et al. WYSIWIS Revised: Early Experiences with Multiuser Interfaces. In *Proceedings of CSCW*, pp. 147-167, 1987.
- 11) Sugawara, S., Suzuki, G., Nagashima, Y., et al. InterSpace: Networked Virtual World for Visual Communication. *IEICE Transaction on Information and Systems*, Vol. E77-D, No.12, pp. 1344-1349, 1994.
- 12) Tang, J. C. and Minneman, S. L. VideoDraw: A Video Interface for Collaborative Drawing. *Proceedings of CHI*, pp. 313-320, 1990.
- 13) Yamashita, N., Hirata, K., Aoyagi, S., et al. Impact of Seating Positions on Group Video Communication. In *Proceedings of CSCW'08*, pp. 177-186, 2008.
- 14) 中西英之, 吉田力, 西村俊和, 石田亨. FreeWalk : 3次元仮想空間を用いた非形式的なコミュニケーションの支援. *情報処理学会論文誌*, Vol.39, No.5, pp. 1356-1364, 1998.