

ビデオコミュニケーションシステムにおいてジェスチャ認識を支援する映像効果の実装

Implementation of Visual Effects Supporting Gesture Recognition in Video Communication System

梶 克彦*
Katsuhiko Kaji

山下 直美*
Naomi Yamashita

平田 圭二*
Keiji Hirata

1. はじめに

一般的なビデオ会議システム (VCS) では、遠隔の 3D 空間に存在するユーザや実物は複数のビデオカメラで撮影され、ローカルの複数の 2D スクリーンに投影される [2, 3]。この時、3D 空間の情報を歪める要因には以下のようなものがある [5]: (1) 不連続な複数の 2D スクリーンへの投影, (2) 方向性の欠損, (3) 映像サイズと距離情報の拡大, 縮小。VCS におけるこれらの歪みは運用上様々な問題を引き起こす。例えば、不連続な複数の 2D 平面への投影によって、物体が分割され撮影されていない部分が表示されない、方向情報の欠損によって遠隔ユーザの顔や体の向きを誤認識してしまう、映像サイズや距離の拡大, 縮小によって、遠隔ユーザの動作を予測しづらくなる等である。

人がコミュニケーションするときに情報を伝えるメディアの 1 つにジェスチャがある。遠隔ユーザの行う一連のジェスチャをローカルユーザが遠隔の複数の平面スクリーンを通して見るとき、一旦遠隔ユーザのジェスチャを見逃してしまうと、それ以降の動作を予測しづらくなる。その結果、ローカルユーザはコミュニケーションの文脈に復帰することが困難になり、ローカルユーザは遠隔ユーザの指した方向や物体を誤認識するようなことが生じる。

遠隔映像投影の歪みに起因するジェスチャ誤認識の問題を緩和するアプローチとして、特別な映像効果の付与によって、スクリーンに投影されるジェスチャを補強することを考える。ここで、その特別な映像効果に関して以下の 3 点を考慮する必要がある。まず、一般的にシステムの構成やコミュニケーションの状況によって適切な映像効果の表現は異なるため [9]、柔軟に映像効果の表現が調整できる必要がある。次に、画像遅延増加は円滑なコミュニケーションを妨げる原因となるため [7]、映像効果の付与による画像遅延増加は極力抑える必要がある。また、多地点接続が可能なコミュニケーションシステムの場合、地点数に関するスケーラビリティを備えることが必要である。即ち、接続する地点数の増加に伴う画像

遅延やメモリ使用量の増加をできるだけ抑えなければならない。

特別な映像効果の 1 つとして、ユーザの動作の履歴を利用して遠隔ジェスチャ認識を補助する Telepointer Traces [9] が挙げられる。Telepointer Traces は、一定時間前 (数百ミリ秒程度) までの遠隔ポインタの痕跡を現在のポインタ画像に重ねて表示するという手法である。この手法は、ジッタ[†]の発生するネットワークにおいて、遠隔ポインタの移動認識に有効である。我々の研究目標は遠隔ジェスチャの認識の補助や、遠隔ユーザの動作を容易に理解できる環境の提供であり、Gutwin ら [9] と重複している。

我々は、Telepointer Traces の手法に基づき、VCS における身体的ジェスチャの認識を補助する手法を提案する。本論文の構成は以下の通りである。まず 2 章において、VCS における遠隔ジェスチャ映像の補強手法として、遠隔の遅延映像を遠隔の現在映像に重ねて表示する Motion Trace を提案する。次に 3 章において、Motion Trace の VCS への適用について議論する。4 章では遠隔ビデオコミュニケーションシステム t-Room において Motion Trace の効果を調べるために行った被験者実験について述べ、5 章では Motion Trace の改善や広範な適用可能性に関する考察を行う。

2. Motion Trace

VCS における遠隔ジェスチャの認識を補助する手法として Motion Trace を提案する。Motion Trace は指さし、移動、顔や体の回転などの身体的なジェスチャに対して Telepointer Traces の技術を適用したものであり、遠隔ユーザの動作の一定時間前までの痕跡を現在の遠隔映像に重ねて表示する。

Gutwin らは、Telepointer Traces の有効な表現として、Motion Lines, Motion Blur やこれらの組み合わせを提案した [8]。我々はこれらの中から有用な表現を選んで新しい表現を設計した。ここで、Motion Lines では、遠隔ポ

*NTT コミュニケーション科学基礎研究所

[†]ジッタとは、通信の際に発生する遅延のゆらぎやトラフィックの乱れのことである。

インタが一定時間前までに辿った軌跡を1本の線によって表示する。また Motion Blur では、ポイントの軌跡に沿って筋状の痕跡を表示する。

一般の VCS におけるスクリーン映像は、形状の複雑さや時間依存性が遠隔ポイントと大きく異なる。遠隔ポイントは単純なカーソル画像で表現され、時間により変形しない。一方、スクリーン映像は、ユーザや実物を 2D 映像として表現するため複雑な形状をしており、コミュニケーションの過程で変化する場合がある。それゆえ、Motion Lines や Motion Blur を直接的に適用することは困難と考えられる。

我々は予備実験として様々な Motion Trace の表現を試行し、VCS のジェスチャ認識補助に最も適合すると思われる表現として以下の2つを選んだ。1. Motion Lag, 2. Motion Lag & Motion Flow。Motion Lag は、現在の遠隔映像に一定時間遅延した遠隔映像を重ねた表現である(図1)。もしローカルユーザが遠隔ユーザの実際のジェスチャを見逃したとしても、すぐ後に再生される遅延映像によるジェスチャを見ることができれば、コミュニケーションの文脈を見失う場合が減るだろう。また、リアルタイムのジェスチャが理解できなかったとしても、表示される遅延映像によってジェスチャを理解しなおす機会が与えられる。



図1: 現在の遠隔ユーザの手(右側のカラー映像)と1100 ms 前の遠隔ユーザの手(左側のグレー映像)

Motion Lag & Motion Flow の表現を図2に示す。Motion Flow とは、Optical Flow [1] によって Motion Lines を表現したものである。現在の手の映像(右側)と遅延映像(左側)の間で移動した特徴点を線で結ぶ。その線分を遅延映像側ほど低い輝度で表示することで、Motion Blur のような筋状の痕跡を表現する。Motion Flow はスクリーンに表示されるユーザや物体の動作や変形を表現するので、もしユーザがスクリーン映像を見逃したり、物体の陰に隠れて見えなくなった場合でも、ユーザは Motion Flow を見ることで遅延映像の動作や変形を追跡し予測できる。このことから、Motion Lag & Motion Flow の表現は、遠隔ユーザのジェスチャ認識を支援できるのではないかと

考える。

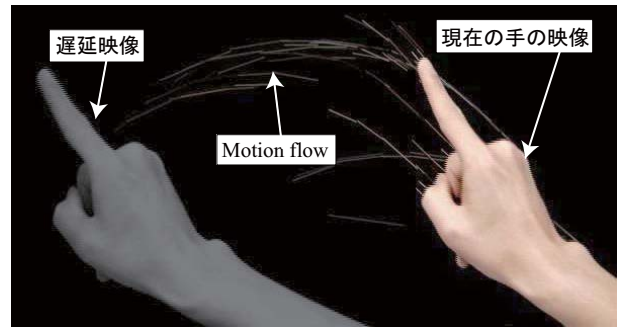


図2: Motion Flow を見れば、遅延映像が次に弧を描いて動作することを予測できる

例えば、ユーザの手の実物大映像は一般にポインティングに用いられるカーソルのように小さくないので、遅延映像が占める面積は比較的に大きくなる可能性がある。映像効果の表示によってスクリーン映像が煩雑になりすぎるのを避けるため[9]、後述する被験者実験では重ね合わせる遅延映像を1枚だけにしている。また、ジェスチャと関係ない部分に映像効果が付加され見づらくなるのを防ぐため、Motion Trace を現在の映像の裏(スクリーン表面よりZ軸で奥の位置)に重畳している。これにより、静止している箇所は遅延画像が現在の映像に隠されるため、現在の映像は明瞭に表示される。さらに、現在映像と遅延映像を容易に識別できるように、遅延映像はグレースケール化し半透明にしている。

3. 実装

我々は Motion Trace の実装に際して、柔軟性、画像遅延、地点数のスケーラビリティの3点を重視した。まず、幅広い VCS への適用可能性を備えるために、構成やコミュニケーション形態の異なる様々な VCS に対応する柔軟性を持たなければならない。また、本来の VCS としての性能を著しく低下させないようにするため、画像処理による遅延の増加を抑制し、かつ地点数に関してスケーラビリティを維持しなければならない。

3.1. 柔軟性

Gutwin らは、環境と状況に応じて Telepointer Traces のパラメータを変更することが必要であると指摘している[9]。我々は Motion Trace の表示に関する痕跡表示時間、遅延映像の枚数、Motion Flow 表示の有無、コントラスト、オプティカルフロー推定に利用する特徴点の数などのパラメータを動的に変更可能とした。VCS によって歪みの種類やレベルが異なるため、Motion Trace のパラメータもそれぞれの VCS に合わせ、ジェスチャ認識を補助し、画面が煩雑になりすぎない適切な値に設定する。例えば、

CPU	Intel Core 2 Extreme 2.93GHz
メモリ	2 GB
OS	Windows XP Professional SP2
画像処理	OpenCV, OpenGL, Qt
カメラ映像	解像度 720x480 の画像を IEEE1394 経由で取り込み

表 1: 実装環境

複数のスクリーン間に大きな隙間が存在する場合、痕跡表示時間を長めに設定することでジェスチャの見逃しを抑制できるだろう。また、ユーザが歪みの少ない箇所を移動する場合にはコントラストを下げ画面を簡素化する。

非同期コミュニケーションを支援する VCS においても 3D 空間の歪みによって過去のジェスチャを認識しづらくなることから、そのような VCS においても Motion Trace は有効であろう。例えば、データベースに記録されたビデオ映像に対して、その時点から一定時間前までの映像を用いて Motion Trace を付与する。非同期コミュニケーションにおいてジェスチャの見逃しが生じた場合、通常その記録を巻き戻して繰り返し閲覧しなければならないが、Motion Trace の表示によって閲覧の繰り返しを抑制できると考えられる。Motion Trace は、記録の再生時に動的に付与することもでき、何度も繰り返し閲覧する記録であれば、再生前にあらかじめ付与し、データベースに保存しておくことも可能である。

3.2. 画像遅延

Motion Trace を表示するには画像処理を行う必要があり、この画像処理のために画像遅延が発生すると円滑なコミュニケーションを妨げる原因の一つとなる [7]。本稿での画像遅延を、遠隔地の映像が入力されてからローカルに出力されるまでにかかる時間とする。

Motion Trace を付与するための画像処理には、高速な画像処理を実現する OpenCV ライブラリを用いた。また、一定時間前までの全フレームを常にメモリに展開させておくことで、Motion Trace の処理に用いられる過去の画像を高速に参照可能にした。Motion Flow を表現するための Optical Flow 推定のアルゴリズムには、Lucas-Kanade 法 [12] を画像ピラミッドにおいて反復する手法を用いた。本手法は特徴点の移動を精密かつ高速に発見するのに有効である。

Motion Trace による画像遅延の増加を表 1 の環境で計測した。Motion Trace の表現は、計算量の最も多い Motion Lag & Motion Flow とした。測定の結果、Motion Trace の付与による画像遅延の増加時間は 15 ms であった。この結果から、遠隔同期合奏のような密結合の協調作業*を行

*50 ミリ秒以内の応答時間で頻繁にインタラクションを繰り返すような協調作業

う場合以外であれば、Motion Trace の付与による画像遅延増加の影響は低いといえる。

3.3. 地点数に関するスケーラビリティ

多地点間の接続が可能な VCS に対して Motion Trace を適用するためには、地点数に関するスケーラビリティを備える必要がある。つまり、接続する地点数の増加に伴って画像遅延やメモリ使用量が極端に増加してはならない。

ビデオカメラの画像に対して Motion Trace の効果を付与するタイミングは、ビデオカメラから画像が入力された時点 (撮影側) と、ネットワークを通して画像を受信した時点 (投影側) の 2 通りが考えられる。我々は地点数のスケーラビリティを確保するために、この画像処理を撮影側で行うことにした。もし投影側で画像処理を行うと、ある地点のビデオカメラ画像は接続先の複数地点に配信され、その後 Motion Trace の効果が付与されることになる。この場合、各地点の複数の計算機が同一の画像に対して画像処理を行わなければならない。全体としては地点数の増加に伴い画像遅延やメモリ使用量が増加してしまう。一方、撮影側で画像処理を行えば、Motion Trace の付与された画像が複数地点に配信されることから、複数の計算機が同一の画像に対する処理を行う必要がない。そのため、画像遅延やメモリ使用量の極端な増加を防ぐことができる。

4. 実験

遠隔映像投影の際に歪みが生じる VCS において Motion Trace が遠隔ジェスチャ認識に有効であるかを調べるため、t-Room に Motion Trace を適用し、遠隔指示者の指さしを被験者が認識できるかについて実験を行った。

4.1. 実験環境としての遠隔ビデオコミュニケーションシステム t-Room

従来より、遠隔映像の投影時の歪みに対処する研究が行われてきた。Gaver らは、メディア空間におけるコミュニケーションにおいて、不適当な遠隔映像が表示されたり複数の異なる視点からの映像が表示されるなどの歪みが生じた場合に、様々な問題が生じることを指摘している [6]。また、Kuzuoka らは平面の小型モニタに起因する歪みによって遠隔話者の身体性が損なわれることを指摘し、この歪みを緩和するために、机の正面と側面に 60 インチのスクリーンを備え円卓ミーティングのメタファを実現する Agora を提案した [11]。

これらの従来研究を踏まえ、我々は 3D 空間の歪みに起因する問題を緩和するビデオコミュニケーションシステム t-Room を研究開発している [10]。t-Room では、複数の内向きスクリーンが空間を円柱状に囲い、複数のビデオカメラが撮影するスクリーン表面の映像を遠隔 t-Room の同一箇所のスクリーンに投影することで、スクリーン

表面付近に存在するユーザや物体を共有する(図3)．スクリーンの連続的な配置により，3D空間の不連続性は回避されている．遠隔ユーザとローカルユーザがt-Room内で対面したとき，お互いの方向性は正しく伝えられる．しかしユーザ間の距離が近くなるにつれて方向性の歪みは大きくなる．またユーザの大きさやユーザ間の距離を保存するために，ユーザはできるだけスクリーンの近くに立つことが必要である．

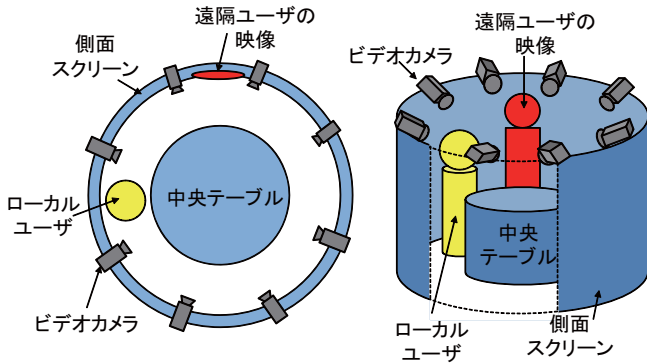


図3: 複数の平面スクリーンとカメラにより構成されるt-Roomの鳥瞰図．

ここで我々は，ユーザの利便性の向上とユーザの移動可能領域を適切に制限することを目的として，t-Roomの中央にテーブルを配置した．側面と同様，テーブルもスクリーンとビデオカメラで構成され，テーブル上に存在する物体の映像は遠隔t-Roomのテーブル上に投影される．このとき，側面スクリーンと中央テーブルの間は不連続となり，その結果3D空間の歪みが生じ，側面スクリーンとテーブルにまたがるジェスチャの認識が困難になる．しかし，ユーザがt-Room内に立ち，自由に移動するためにはこの不連続性を排除することが困難である．もし側面スクリーンと中央テーブルを接触させてしまうと，ユーザの立つ場所がなくなってしまう．

4.2. 実験方法

Motion Traceの種類としては，以下の5つの条件を用いた：(a) Motion Trace なし，(b) Motion Lag (遅延 400 ms)，(c) Motion Lag (遅延 400 ms) & Motion Flow，(d) Motion Lag (遅延 1100 ms)，(e) Motion Lag (遅延 1100 ms) & Motion Flow．

実験計画として，全25人の被験者がそれぞれ上述の5つの条件においてタスクを行う被験者内計画を用いた．タスクは以下のとおりである．被験者はローカル(京都)のt-Room内の固定した場所に立つ(図4)．遠隔地(厚木)のt-Roomの側面スクリーンとテーブルにはデジタル図形が表示され，二人の指示者が交互に指さしを行う．被験者は指示者が指さした図形を解答用紙にチェックしていく．条件の順序はカウンターバランスをとった．

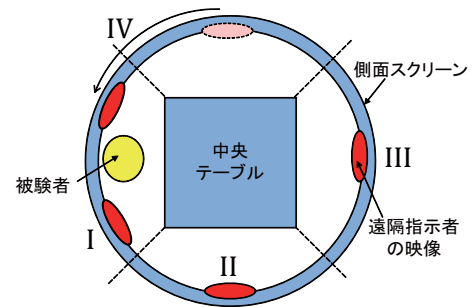


図4: 指示者と被験者の位置関係のカテゴリ

ネットワーク遅延の影響を排除し，指示者の動作が被験者ごとに異なることを避けるため，実験には3.1節で述べたt-Roomの記録再生機能を用いた．指示者はあらかじめ厚木のt-Roomで指さしを行い，その記録に5つの条件のMotion Traceを付与し，京都のデータベースに保存しておく．その記録を被験者のいる京都のt-Roomで再生することで，ネットワーク遅延の影響は排除され，指示者の動作は被験者間で同一となる．それぞれのタスクは32の質問で構成され，質問は2人の指示者にランダムに割り振られる．また1つの質問では，1人の指示者が1~3回の指さしを連続して行う．

次に我々は，指示者と被験者の位置関係に関してカテゴリ化を行った．位置関係が異なれば，被験者は，異なる種類，レベルの歪みを伴った指示者の映像を見ることになる(即ち，3D空間の不連続性，映像サイズや距離の拡大縮小など)．歪みの種類やレベルによって，Motion Traceの影響は異なると予測される．指示者と被験者の位置関係のカテゴリは以下のように設定した(図4)．(I)指示者が被験者の右に隣接する，(II)指示者が被験者と数歩離れた位置に立つ，(III)指示者が被験者の対面に立つ．これらに加えて，(IV)指示者が被験者の方へ接近し，その後指さしをするというカテゴリを設けた．予備実験において，(IV)の際に指さしの見逃しが多くみられた．各位置関係におけるMotion Traceの効果を測るために，32の質問を4つのカテゴリに分割し，各カテゴリの質問数を8とした．

4.3. 実験結果

最も正答率が高かった条件は(e) Motion Lag (1100 ms) & Motion Flowの条件であった($M=81\%$, $SD=11.3$)．一方，最も正答率が低かった条件は(a) Motion Trace なしであった($M=71\%$, $SD=15.2$)．

5回の試行と5つの条件の2要因に対する反復測定分散分析を行ったところ，試行の主効果が有意であった($F[4, 100] = 7.21$, $p < .0001$)．我々の予測に反して，Motion Traceが有意に正答率を向上させるという結果は得られなかった．

Motion Trace がどのような状況において正答率を向上させるかを調べるために、位置関係のカテゴリに着目してさらに詳細にデータを分析した。

その結果、被験者と指示者の位置関係が近い場合 (I) 隣接) において正答率の改善に寄与していることがわかった。カテゴリ (I) 隣接において、5 回の試行と 5 つの条件の 2 要因に対する反復測定分散分析を行ったところ、試行の主効果 ($F[4, 100] = 4.47, p < .01$) と条件の主効果 ($F[4, 100] = 2.78, p < .05$) が有意であり、相互作用は認められなかった。条件に関して *Post hoc test* (Tukey's test) を行ったところ、(e) Motion Lag (1100 ms) & Motion Flow の正答率は (a) Motion Trace なしの正答率よりも有意に高いことが示された ($p < .05$)。

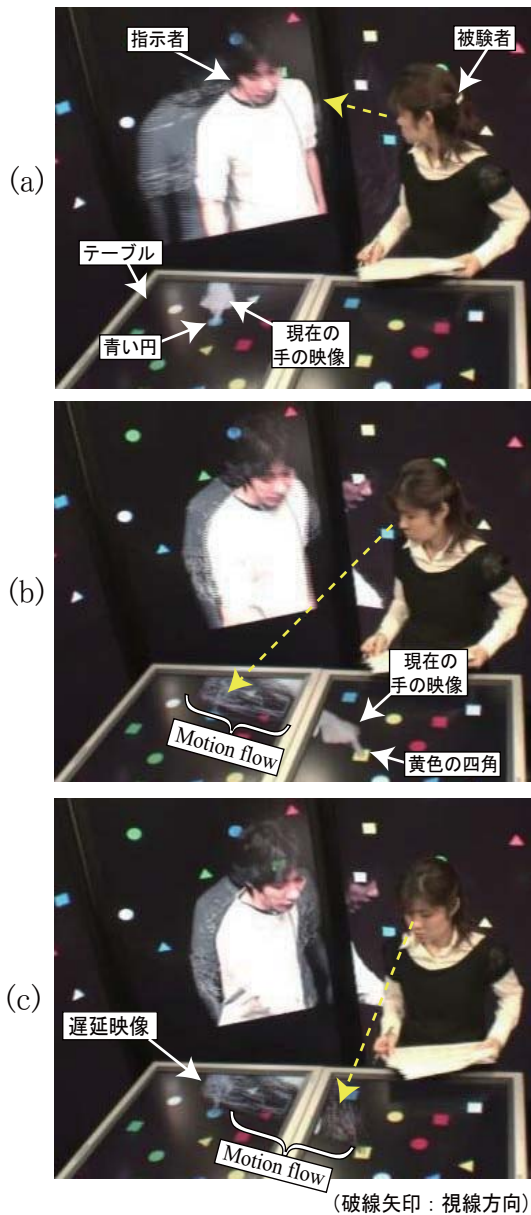


図 5: Motion Trace が有効に作用した場面

図 5 に、遠隔ジェスチャを見逃したユーザが、Motion Trace によってコミュニケーションの文脈に復帰できた典型的な場面を挙げる。図 5(a) は、指示者がテーブル上の青い円を”これ”と発声しながら指さした瞬間である。指示者が”これ”と言ったため、被験者は指示者の方を振り返り、テーブル上の指さしを見逃してしまっている。被験者はすぐに被験者がテーブル上の図形を指さしているということ認識し、テーブルに視線を移動させる (図 5(b))。しかし、側面スクリーンとテーブルの間が不連続であるため指示者の実際の指さしを見ることができず、テーブル上には Motion Flow と (直後に現れる) 遅延映像だけが残される。その間に指示者は次の図形 (黄色の四角) の指さしを行っているが、被験者は視線移動の最中であり、この指さしも見逃している。その後指示者はしばらく直立する (図 5(c))。しかし最終的に、被験者は Motion Flow と Motion Lag をたどり、指さされたテーブル上の 2 つの図形を正しく認識することができた。

5. 考察

Motion Trace は、当該実験環境のようにスクリーンの不連続性影響が大きく、遠隔ユーザの映像全体を視野におさめるのが困難な状況において有効であると考えられる。Motion Trace は、被験者と指示者が隣接した位置関係にある時、遠隔ジェスチャの認識補助に有効であった。t-Room において指示者と被験者が隣接する時、側面スクリーンと中央テーブルの間の隙間の影響は最も大きくなり、指示者は側面スクリーンと中央テーブルに大きく分割されて見える。そのため、被験者は指示者の映像全体を視野におさめるのが困難になり、Motion Trace が有効に作用したと考えられる。

一方、カテゴリ (IV) の指示者が被験者に接近して指さす場合には、最終的には指示者と被験者が隣接しているにもかかわらず、正答率の有意な向上は認められなかった。その理由の 1 つとして、指示者が被験者の方に接近する際、次に指さす図形に視線を向けているため、被験者はおおよその指さし箇所を推測できたということが考えられる。実際、実験後のインタビューにおいて、複数の被験者が、接近してくる指示者の頭の向きから指をさす方向を推測できたとの意見を述べている。カテゴリ (I) では初めから指示者と被験者が隣接しており、被験者は指示者の頭の向きから指をさす方向を推測する時間が足りず、その結果 Motion Trace が有効に作用したのではないかと考えられる。

Motion Flow の表示の有無に関しては、Motion Flow を表示した方がわずかに正答率が高かった。Motion Flow を表示しない条件 (b) Motion Lag (400 ms) と (d) Motion Lag (1100 ms) における正答率は 77.9 %、Motion Flow を表示する条件 (c) Motion Lag (400 ms) & Motion Flow と (e) Motion Lag (1100 ms) & Motion Flow における正答率は 80.8 %であった。実験後のインタビューでは、Motion Flow

によって遅延映像の動作の推測が容易になるという理由から、半数以上の被験者が Motion Flow の表示に肯定的であった。

今回の実験では、Motion Trace を通して遠隔ジェスチャを閲覧した際の認識精度について調査したため、遠隔指示者のジェスチャは一方的で、遠隔間のインタラクションは存在しなかった。またジェスチャの種類は指さしだけであった。実際のより複雑な遠隔コラボレーションでは、遠隔間の双方のユーザが互いにジェスチャを用いてコミュニケーションを行い、様々な種類のジェスチャが状況によって使い分けられている [4]。遠隔コラボレーションにおける Motion Trace の有効性を明らかにするために、引き続き研究が必要である。

6. おわりに

遠隔ユーザのジェスチャが複数のカメラで撮影され、遠隔の平面スクリーンに投影されるとき、ジェスチャの3D 構造は様々な要因で歪められてしまう。この歪みによって、遠隔ジェスチャの認識が困難になり、その結果ユーザはコミュニケーションの文脈を見失う場合が生じる。この問題を緩和するために、我々は遠隔ジェスチャ認識を補強する映像効果である Motion Trace を提案した。Motion Trace は、遅延映像を現在映像に重ねて表示する Motion Lag と、遅延映像と現在映像の間を Optical Flow で結ぶ Motion Flow の組み合わせにより実現される。また Motion Trace の実装において、柔軟性、地点数のスケラビリティを備え、画像遅延やメモリ使用量の増加を抑えることで、Motion Trace を一般の VCS に対して適用できるようにした。さらに、遠隔映像投影の際に歪みが生じる t-Room に対して Motion Trace を適用し、被験者実験を行った。その結果、遠隔ユーザの映像が不連続なスクリーンによって大きく分断され、遠隔ユーザの映像全体を視野に入れることが困難な状況において Motion Trace が有効であることを確認した。また、Motion Trace の設定としては、1100 ms 前の遅延映像を現在映像に重ね合わせ、Motion Flow を表示した場合が最も有効であった。

現在我々は、Motion Trace の効果をさらに詳細に調査するための実験を計画中である。遠隔ユーザがインタラクションをする環境での Motion Trace の有効性や、Motion Trace が特に有効となるジェスチャの種類、コミュニケーションの文脈などについて調べる予定である。また、対面環境におけるコミュニケーションの補強として Motion Trace を利用することも検討中である。

参考文献

[1] Beauchemin, S. and Barron, J. The Computation of Optical Flow. *ACM Computing Surveys*, Vol. 27, No. 3, pp. 432–467, 1995.

[2] Bly, S.A., Harrison S.R., Irwin, S. Media Spaces: Bringing People Together in a Video, Audio, and Computing Environment. *Communications of the ACM* 36 (1), pp. 28–46, 1993.

[3] Cisco. Cisco TelePresence System. <http://www.cisco.com/>.

[4] Fussell, S. R., Setlock, L., Yang, J., et al. Gestures Over Video Streams to Support Remote Collaboration on Physical Tasks. *Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 19, pp. 273–309, 2004.

[5] Gaver, W. The Affordances of Media Spaces for Collaboration. In *Proceedings of CSCW*, pp. 17–24, 1992.

[6] Gaver, W., Sellen, A., Heath, C., et al. One is not Enough: Multiple Views in a Media Spaces. *INTERCHI'93*, pp. 335–341, 1993.

[7] Gergle, D., Kraut, R. and Fussell, S. The Impact of Delayed Visual Feedback on Collaborative Performance. *Proceedings of CHI'06*, pp. 1303–1312, 2006.

[8] Gutwin, C. Traces: Visualizing the Immediate Past to Support Group Interaction. In *Proceedings of Graphics Interface'02*, pp. 43–50, 2002.

[9] Gutwin, C. and Penner, R. Improving interpretation of remote gestures with telepointer traces. In *Proceedings of CSCW'02*, pp. 49–57, 2002.

[10] Hirata, K., Harada, Y., Takada, T., et al. Video Communication System Supporting Spatial Cues of Mobile Users. In *Proc. of CollabTech 2008*, pp. 122–127. IPSJ, Aug 2008.

[11] Kuzuoka, H., Yamashita, J., Yamazaki, K., et al. Agora: A Remote Collaboration System that Enables Mutual Monitoring. *Proceedings of CHI'99*, pp. 190–191, 1999.

[12] Lucas, B. and Kanade, T. An Iterative Image Registration Technique With an Application to Stereo Vision. *Proceedings of Imaging Understanding Workshop*, pp. 121–130, 1981.