

情報共有をともなうアドホックな対面協調作業のための 近接端末間方向認識

塩見 和則¹ 高田 秀志^{2,a)}

受付日 2016年4月8日, 採録日 2016年10月4日

概要: スマートフォンやタブレット端末を持ち寄って行う対面協調作業では, 端末内の文書ファイルや検索をして得た Web ページをその場で相手と共有したくなるような場面がある. 端末のタッチパネル上で共有相手の方向へフリック操作などのジェスチャを行うことによって情報共有を行う方法は, 直感的であり有用であるが, ジェスチャが行われた方向にどの端末が存在するのかを認識できる必要がある. 本論文では, 前触れなく発生するアドホックな対面協調作業を対象として, 作業者が端末どうしを互いのカメラに映るように向き合わせるだけで方向を認識することが可能な手法を提案する. 本手法で認識した方向を用いてフリック操作によってどの程度正しく送信先端末が特定できるのかを評価した結果, 端末が密に接近している場合を含めても 8 割以上で正しく特定できていることが分かった. また, 協調作業における有益性に関して定性的に評価したところ, 直感的に端末の方向認識ができるという性質と, 参加者間のコミュニケーションを促進するという性質があることが分かった.

キーワード: モバイル端末, 対面協調作業, デバイス間情報共有, アドホックグループ

Orientation Recognition among Proximate Terminals for Ad Hoc Co-located Cooperative Work Involving Information Sharing

KAZUNORI SHIOMI¹ HIDEYUKI TAKADA^{2,a)}

Received: April 8, 2016, Accepted: October 4, 2016

Abstract: Co-located cooperative work using smartphones or tablet terminals requires functionality to share digital contents such as documents stored in the terminal and websites found by search engines. While allowing users to make body gestures such as throwing and flicking is useful for information sharing, it is necessary to recognize the orientation of other terminals to which the information is delivered. Targeting ad hoc co-located cooperative work, this paper presents a method to detect the orientation of the other terminals using the terminal's camera. Using this method, users only need to face the terminals each other and capture the other terminal with the camera. The experimental results show that identification of the target terminals can be performed in over 80% cases even in the condition where the terminals are very close. Our qualitative analysis also reveals that the proposed method enables workers to intuitively recognize the orientation among terminals and activates communication among workers.

Keywords: mobile device, co-located collaborative work, cross-device information sharing, ad-hoc group

1. はじめに

近年, スマートフォンやタブレット端末といった電子端末の普及にともなって, 複数人が同一空間に偶発的に集まって行うアドホックな対面協調作業にこれらの端末が利用される機会が増えてきた. このような対面協調作業では, 端末が保持している文書ファイルや検索をして得た Web

¹ 立命館大学大学院情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525–8577, Japan

² 立命館大学情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525–8577, Japan

a) htakada@cs.ritsumeik.ac.jp

ページをその場で相手と共有したくなるような場面が多く見られる。このような場面において、参加者間で容易に情報を共有できるようになると、円滑に作業を進めることができ、意思決定や合意形成の効率が向上することが期待できる。

対面協調作業において、参加者が持ち寄った端末間で情報共有を行うためには、共有相手へ情報を送信する操作が必要である。情報共有を行う際、送信先の端末が存在する方向にフリック操作やスワイプ操作のようなジェスチャをタッチパネル上で行うことで、直感的な操作で共有相手の端末が特定されるようにすることが考えられるが、どの方向にどの端末が存在しているのかという端末間の位置関係をそれぞれの端末が認識しておく必要がある。

従来の研究における方向認識手法としては、2.2節で述べるように、外部機器が設置されていたり、机が存在していることや参加者が円形を形成しているなど、特定の作業環境が想定されており、偶発的に発生するアドホックな対面協調作業を支援するには必ずしも十分とはいえない。これに対して、本論文では、以下のような特徴を持つ端末間方向認識手法を提案する。

- 端末に搭載されているカメラとセンサのみを利用し、外部機器を必要としない。
- 共有機の存在や参加者が形成している形状に想定を置かない。
- 個別の端末 ID が割り振られた AR マーカなどを貼り付けるなどの事前準備を必要としない。

本手法では、参加者が自身の端末をグループ内の他の参加者の端末と互いのカメラに映るように向き合わせることで方向認識が行われる。このとき、自身の端末の向きをジャイロセンサによって取得することで、相手の端末との相対角度を認識する。

また、本論文では、本手法による方向認識の精度や、認識した方向に基づいた情報送信の正確性、さらに、対面協調作業への影響に関して評価を行った結果について述べた上で、本手法の有効性と限界を示す。

以下に、本論文の構成を示す。2章ではアドホックな対面協調作業の性質と、端末間の情報共有支援に関する関連研究について述べる。3章ではカメラを利用した端末間方向認識手法の概要と実装について述べ、4章では情報送信の正確性と実作業への適用に関する定性的評価、および、本手法の有効性と限界について述べる。最後に、5章では本研究の成果と今後の課題についてまとめる。

2. 情報共有をともなう対面協調作業

2.1 アドホックな対面協調作業における情報共有支援

対面協調作業には、オフィスの会議のように予期されたものだけでなく、同じ目的を持った人が必要に応じて集まり、偶発的に行うアドホックなものがある。アド

ホックな対面協調作業を Nomadic Collaboration として定義し、その特徴について述べた研究 [1] では、Nomadic Collaboration の特徴を以下のようにまとめている。

- 時と場所を選ばず、偶発的に行われる。
- 参加者同士は双方向にコミュニケーションをとる。
- 交換される情報は簡易なものである。

AirDrop や Wi-Fi Direct は、このような特徴を持つアドホックな対面協調作業における情報共有に利用できる。しかし、これらのツールでは、送信時に端末名をリストから選択する必要があるため、どの参加者がどの名前の端末を使用しているかを把握しておかなくてはならない。また、Android Beam のような NFC を利用した情報共有ツールがあるが、端末どうしを接触させる必要があるため、参加者間で手が届かない程離れている場合に利用できない。したがって、参加者が持つ端末の位置関係を認識できるようにしたうえで、フリック操作などの直感的な操作で情報共有を行えるようにすることは有用である。

2.2 関連研究

対面協調作業を対象に、端末間の情報共有支援を目的にした研究が広く行われている。特に、端末間の位置関係を各参加者が持ち寄った端末が認識できるようにすることで、ジェスチャによる容易な情報の送受信を実現している研究が行われている。端末間の位置関係の認識には、手動で行う方法 [2], [3] や、外部機器を用いる方法 [4], [5] が提案されている。これらに対して、本研究は、手動による設定を必要とせず、参加者が持ち寄った端末のみで位置関係の認識を実現することを目的とする。以下、端末のみで位置関係の認識を行っている研究をあげたうえで、本研究との差異を述べる。

SurfaceLink [6] は、端末が並べられた机上で発生する音と振動から送信端末と受信端末を特定することで、端末間で指をなぞることによる情報の送受信を実現している。HoverLink [7] は、机上に並べた端末に対して、別の端末を接触させたときに生じる加速度の変化から端末間の位置関係をそれぞれの端末が認識できるようにすることで、スワイプ操作による情報の送信を実現している。これらのシステムでは、端末が平面に接地している状態にあることが前提となっており、共有机上での作業を想定しているが、アドホックな対面協調作業では、共有機が存在しない場合も考えられ、その場合、端末を保持する必要があるため、これらのシステムを利用することができない。

RealSense [8] は、端末に内蔵されている方位センサで周辺端末との相対角度を認識したうえで、スワイプ操作による情報共有を実現している。しかし、各参加者が対面であつ、円形状に並んでいる場合のみ利用可能であり、参加者の配置に制約がある。複数人によるインタラクションでは、各参加者の間に一定の空間を維持しながら、異なった身体

配置をとる F 陣形と呼ばれる概念が存在する [9]。F 陣形には、各参加者が対面するようなグループを形成する場合以外にも、横に並んでいる参加者が同一の方向に身体を向けるようなグループを形成する場合がある。そのため、アドホックな対面協調作業において、端末の位置認識を行う場合、このようなグループの形状を考慮する必要がある。

Orienteer [10] は、参加者の方向にスワイプ操作することで情報共有が可能な環境を実現するために、端末内蔵のカメラを利用した方向認識を提案している。Orienteer では、端末利用時に内蔵カメラが下方を向く現象を利用しており、カメラの映像の中から各参加者の足先の方向を検知することで各参加者の方向を認識している。しかし、各参加者の位置認識に端末の GPS を利用しているため、屋内での利用が困難である。アドホックな対面協調作業は、屋内や屋外にかかわらず発生することが考えられるため、作業場所にかかわらず利用可能なシステムが必要である。

これらをふまえ、本論文では、アドホックな対面協調作業において、グループの形状や作業場所に依存せず、参加者間の情報共有を支援するために、端末内蔵のカメラとセンサを用いた方向認識手法を提案する。また、情報送信の方法として、端末のタッチパネル上でコンテンツをはじくフリック操作を適用する。本研究では、送信元の端末の画面上で送信相手の方向へフリック操作を行うことで、直感的に送信先を指定して情報送信する方法を用いる。Shuriken [11] では、作業環境に依存しない方向認識を端末内蔵の方位センサと端末間の電波信号強度 (RSSI) を利用して実現している。しかし、方向認識の精度や実際の対面協調作業に適用した場合の有益性に関する評価は十分に行われていない。そこで、本研究では、グループの形状や作業場所に依存しない方向認識手法を実現したうえで、実現した手法の精度評価、および、実作業に適用した場合の有益性に関する評価を行う。

3. 携帯端末のカメラを利用した近接端末間方向認識

3.1 要求事項

本研究で提案する端末のカメラを利用した方向認識手法の要求事項は以下のとおりである。

- 精度
期待した端末へフリック操作により情報送信が可能となる精度で、端末の方向を認識可能であること
- 環境制約の解消
共有の有無や屋外・屋内といった対面協調作業を行う環境にかかわらず、端末の方向認識が可能であること
- 形状制約の解消
参加者が対面しているか横並びしているかといった、グループの形状によらない方向認識が可能であること

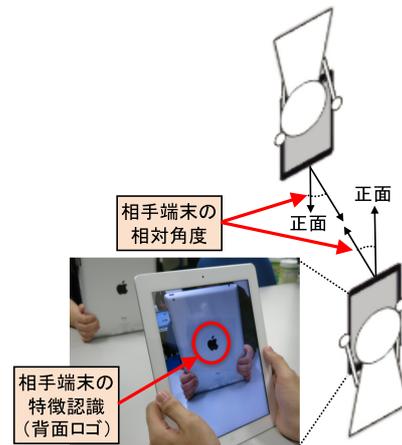


図 1 カメラとセンサを利用した方向認識

Fig. 1 Orientation recognition using camera and sensors.

本研究では、上記の 3 点の要求事項を満たす端末間方向認識手法を提案する。本手法では、端末に搭載されたカメラとセンサを利用した方向認識を実現したうえで、フリック操作による送信先の端末の特定を可能とする。

3.2 方向認識手法

3.2.1 近接端末の方向

本研究では、他の作業者が持つ端末の方向にカメラを向けたとき、端末は相手が存在している方向を向いていることを利用した方向認識を実現する。図 1 に、2 人の作業者が端末の方向認識を行っている様子を示す。作業者は、相手端末が互いのカメラに映るように端末を向かい合わせる。このとき、カメラに相手端末が映っているかどうかを画像処理によって判定し、もし映っているならば、そのときにジャイロセンサから得られる回転角を相手端末の相対角度として認識する。相手端末が映っているかどうかの判定は、相手端末の背面の特徴を認識することによって行い、今回は Apple 社のロゴを認識対象の特徴として登録する。相手端末の相対角度については、方向認識が開始されたときの端末の方向を正面とし、端末から見て右方向に正の角度、左方向に負の角度を設定する。また、設定後に作業者が向きを変えた場合には、変わった角度分だけ他の端末との相対角度を補正する。

今回、方向を認識した後に参加者の移動に応じて相対角度の調整を行うことは考えず、参加者は移動せず同じ位置で作業するか、移動した場合には再度方向認識を行うことを制約として設ける。また、ジャイロセンサによる相対角度の取得では、方向認識の開始時に正面を向いている必要があるため、地磁気センサで絶対方位を取得する方法も考えられるが、周囲の環境によって誤差が生じる可能性もあるため、今回は見送っている。

3.2.2 対面端末の特定

カメラで端末を認識したとき、それがどの端末なのかを

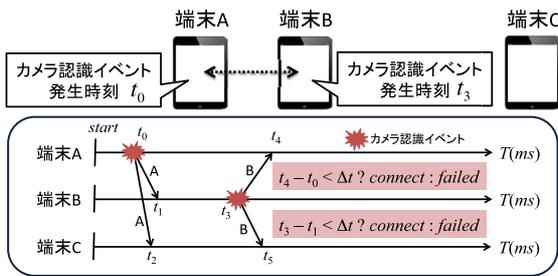


図 2 端末の特定方法

Fig. 2 A terminal identification method.

特定する必要がある。本手法では、複数の端末の中から、互いにカメラで認識している端末を特定するために、通知情報を端末間で送信しあう方法をとる。

図 2 に示すように端末 A、端末 B、端末 C の中から端末 A と端末 B が互いにカメラで認識しあうとき、まず、端末 A はカメラ認識イベントが発生した時刻 t_0 を記録したうえで、端末 B と端末 C に通知情報を送信する。次に、通知情報を受信した端末 B と端末 C は、それぞれ時刻 t_1 、時刻 t_2 を記録する。端末 B でカメラ認識イベントが発生したときも同様に、時刻 t_3 を記録したうえで、端末 A と端末 C に通知情報を送信する。このとき、端末 B では、時刻 t_1 と時刻 t_3 の差分が Δt より小さい場合に対面端末であると判定する。また、端末 A では、端末 B から通知情報を受信した時刻 t_4 と時刻 t_0 から判定を行う。

上記の方法は、グループ内のすべての端末に対してブロードキャストを行うようなネットワーク上で動作することを想定している。そのため、方向認識を行う際には、互いに向かい合っている端末が同時には 1 組の場合のみであることを前提としている。また、グループ内のすべての端末に対して 2 台ずつ順番に方向認識を行う必要があり、 n 台の端末がある場合には $nC_2 = n(n-1)/2$ 回の方向認識が必要である。

3.3 フリック操作による情報送信

フリック操作で直感的に送信先端末を特定できるようにするために、まず、図 3 に示すように、画面をタッチしたときに発生するタッチイベントから始点と終点の座標を取得することでフリック操作による角度を計算する。次に、この角度が、各端末との相対角度に対してある閾値以内に収まっている端末を送信先として決定する。閾値以内に収まる端末が複数あった場合には、相対角度との差分が一番小さいものを送信先とする。また、閾値以内に収まる端末が 1 つもなかった場合には、送信先なしとする。以上のようにして、送信先の端末を決定することにより、おおむね意図している端末の方向へフリック操作が行われた場合には、その端末へ情報が送信されるようにし、フリック操作のミスなどによってフリック操作の方向がずれてしまったような場合には、意図していない端末に情報が送信されな

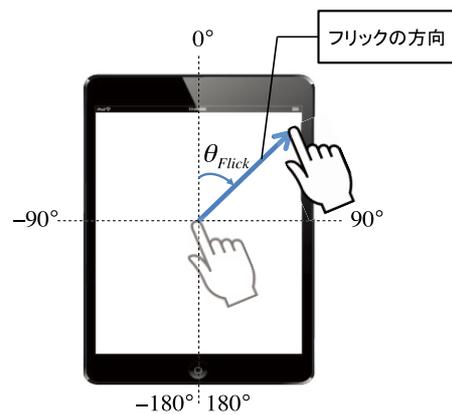


図 3 フリック操作による角度

Fig. 3 Angle of a flicking gesture.

いようにする。

3.4 実装

本研究では、実装を行う端末として、Apple 社の iPad を利用する。また、近接している iPad 間での通知情報の送受信を実現するために、iOS 上のソフトウェア開発において P2P 通信を実現するために提供されている Multipeer Connectivity フレームワークを利用する。

さらに、マーカレスの画像認識を行うために metaioSDK を利用する。ここでは、iPad に搭載されているカメラで認識対象となる画像を映すことで端末の検出を行う。今回の実装では、前述のように、認識対象として Apple ロゴの画像を登録する。iPad のカメラで対象の画像を認識したとき、CoreMotion フレームワークから得られる 3 軸角度センサの yaw 方向の値を検出した端末との相対角度として取得する。

4. 評価実験

本章では、提案手法に基づく方向認識を評価した実験の結果と考察について述べる。

4.1 フリック操作による情報送信の正確性

4.1.1 実験内容

本手法で適用している情報送信では、送信する相手の方向を意識して、タッチパネル上でフリック操作を行う。本実験では、本手法による方向認識が行われたときの各端末との相対角度を取得する。また、フリック操作による情報送信が行われたときのフリック角度を取得する。そのうえで、取得したそれぞれの端末に対する角度を用いて送信先端末を決定することで、送信先の端末が期待どおりに決定されるかを定量的に評価する。

具体的な実験内容は、以下のとおりである。まず、被験者は 3 つの方向に配置された iPad に対して、本手法による方向認識を行う。次に、被験者の端末上に表示されたオブジェクトを指示された方向にフリック操作する。

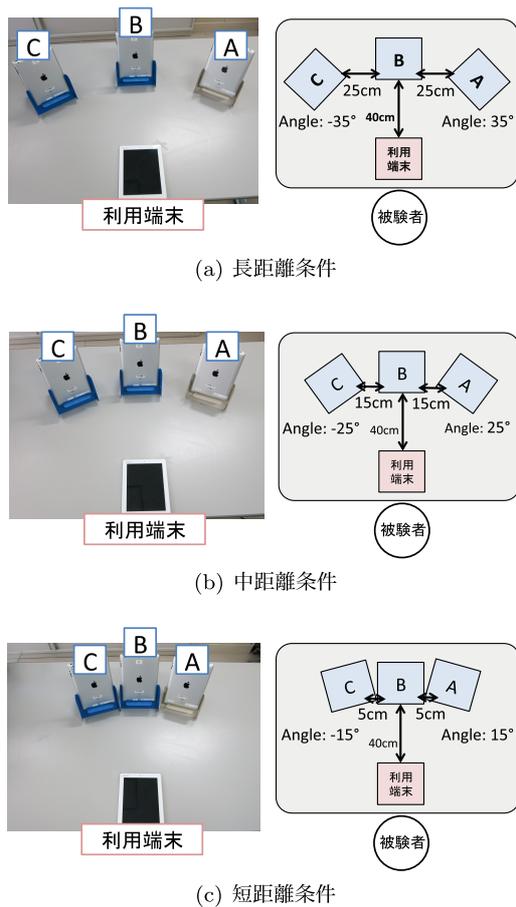


図 4 配置条件
Fig. 4 Arrangements of terminals.

4.1.2 実験環境

本実験における被験者は、大学生、および、大学院生 25 人である。被験者は、日常的にスマートフォンを利用しており、画面上でのタッチ操作には慣れている。

図 4 に被験者、および、端末の配置を示す。本実験は、作業者間の距離を考慮した 3 通りの配置条件で行う。各配置条件では、端末 A、端末 B、端末 C の 3 台の iPad を被験者から見て背面を向くように机の上に設置している。3 台の iPad 間の距離は、(a) 25 cm, (b) 15 cm, (c) 5 cm である。また、利用端末に対して、端末 A と端末 C は、(a) $\pm 35^\circ$, (b) $\pm 25^\circ$, (c) $\pm 15^\circ$ の角度で配置している。いずれの配置条件においても、端末 B と利用端末の距離は 40 cm である。

4.1.3 実験手順

被験者は、利用端末を用いて端末 A、端末 B、端末 C の順序でカメラによる方向認識を行ったうえで、利用端末を元の位置に戻す。次に、各方向に配置された端末に対して、フリック操作による情報送信を行う。どの端末に向けてフリック操作を行うかについては、図 5 のように、送信先端末の指示が画面上に表示される。被験者は、指示された端末に対象オブジェクトが届くように意識しながら、フリック操作を行う。以上の手順を長距離条件、中距離条件、短



図 5 利用システム
Fig. 5 The experimental system.

距離条件の順序で行う。

4.1.4 評価方法

今回の実験では、以下の 4 つの指標に基づいて情報送信の成功と失敗を判定する。

- 成功（正送信）
指示どおりの端末に送信された場合
- 成功（非送信）
送信先なしと判定されたもののうち、指示された端末が存在する方向と 10° 以上離れた方向へフリック操作が行われていた場合
- 失敗（非送信）
送信先なしと判定されたもののうち、指示された端末が存在する方向から 10° 未満の方向へフリック操作が行われていた場合
- 失敗（誤送信）
指示された端末とは異った端末に送信された場合

成功（非送信）は、端末の存在しない方向にフリック操作が行われた場合に端末が存在しないと正しく判定された場合、失敗（非送信）は、端末の存在する方向にフリック操作が行われていたものの、方向認識のずれにより端末が存在しないと誤って判定された場合を示している。

本実験では、フリック操作が行われた方向に端末が存在しているかを判定する閾値として、 10° 、 15° 、 20° を設定し、各閾値と各配置条件の組合せごとに評価を行う。

4.1.5 実験結果

本手法により認識された各端末の相対角度の平均と標準偏差を表 1 に、被験者が各端末に対して行ったフリック角度の平均と標準偏差を表 2 に示す。認識された相対角度を見ると、フリック操作が行われた方向に端末が存在しているかを判定する閾値のうち、一番小さい 10° 以内に長距離条件の端末 A を除いて収まっていることが分かる。一方で、被験者によりフリックされた角度については、正面の端末 B に対してはほぼ正確な方向へフリックされているものの、両端の端末 A と端末 C に対しては、正面からの角度が大きくなる方向へフリックされる傾向があることが分かる。

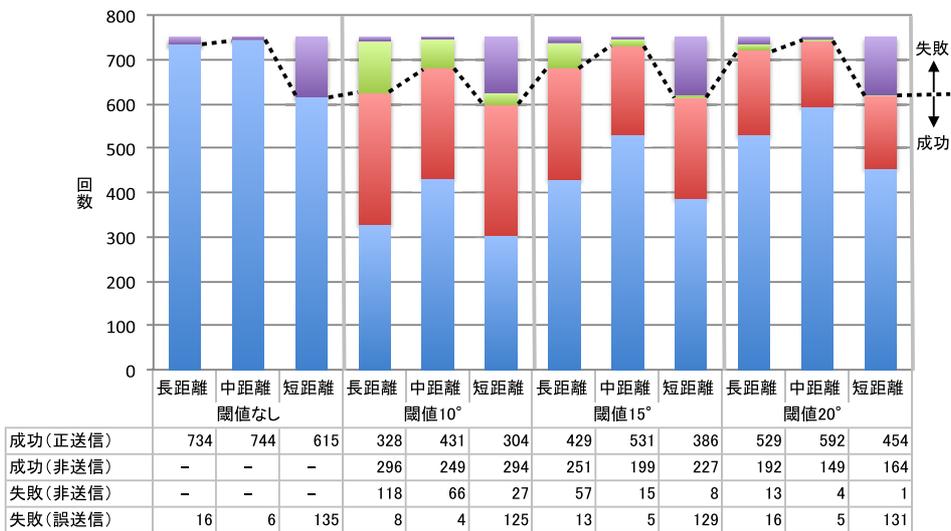


図 6 フリック送信の結果

Fig. 6 Results of sending by flicking gestures.

表 1 各端末の相対角度の平均と標準偏差

Table 1 Average and SDs of relative angles toward the terminals.

配置条件	位置	端末 A	端末 B	端末 C
長距離 (±35°)		24.0 (3.2)	-4.3 (2.7)	-35.5 (2.9)
中距離 (±25°)		19.0 (3.9)	-4.1 (3.0)	-30.5 (3.7)
短距離 (±15°)		8.1 (4.0)	-6.1 (3.0)	-22.2 (3.6)

表 2 フリック角度の平均と標準偏差

Table 2 Average and SDs of flicking angles.

配置条件	位置	端末 A	端末 B	端末 C
長距離 (±35°)		48.1 (9.0)	1.4 (4.3)	-46.1 (8.2)
中距離 (±25°)		38.5 (9.7)	0.9 (2.3)	-37.6 (7.4)
短距離 (±15°)		30.0 (9.4)	1.0 (6.2)	-28.4 (10.2)

次に、各配置条件と各閾値における成功（正送信）回数、成功（非送信）回数、失敗（非送信）回数、失敗（誤送信）回数の結果を図 6 に示す。実験で設定した各閾値において、3つの配置条件を合計した成功割合は、閾値 10° で 84.5%、閾値 15° で 89.9%、閾値 20° で 92.4%であった。また、各配置条件において、各閾値を合計した成功割合は長距離条件が 90.0%、中距離条件が 95.6%、短距離条件が 81.3%であった。閾値を設定しない場合には、長距離条件・中距離条件において成功（正送信）回数が 98%以上となった。

また、失敗（誤送信）回数は、長距離条件と中距離条件で 10 回前後であった。一方で、短距離条件では、閾値を設定しない場合も含めて、いずれの閾値においても 100 回以上となり、他の 2つの条件に比べて顕著に多くなった。

4.1.6 考察

実験の結果、閾値が 10° の場合と、短距離条件の場合を除いて、成功割合が 9 割程度を達成している。また、成功割合のうち、成功（非送信）回数が多い原因について分析

を行った結果、表 2 に示したフリック操作の角度から分かるように、正面に配置している端末 B にフリック送信する場合、両端に配置している端末 A や端末 C に誤って送信しないように注意を払う必要があるため、慎重にフリック操作する一方で、両端に配置している端末 A や端末 C のように、片方に別の端末が存在しない場合、そのような注意を十分に払わずフリックを行ったため、フリック操作の角度が端末の相対角度との閾値内に収まらなかった場合が大部分であることが分かった。隣接する端末が存在しない側の閾値を大きくし、フリック操作が実際の端末の方向よりも離れていても送信先と見なすようにすることにより、成功（正送信）の回数を増やすことができると考えられる。

失敗（誤送信）回数は、短距離条件が他の 2つの条件に比べて著しく多くなったが、実際の対面協作業においては、参加者同士が短距離条件のように密接することは考えにくい。したがって、短距離条件で失敗（誤送信）が多くなったことに関しては、実用上問題にならないと考えられる。

4.2 実作業への適用

4.2.1 実験内容

本実験では、実際に参加者間で情報共有を行う対面協作業を対象に、端末間の位置設定を行う方法として、本手法を適用したシステムを利用する場合と手動で行うシステムを利用する場合を比較することにより、実作業における本手法の有益性に関する調査を行う。そのために、フリック操作による情報送信を行う前の位置設定の段階に焦点を置いた実験を行う。また、被験者の会話や行動、アンケートに加え、主観的な心的負荷の評価方法である NASA-TLX に基づくアンケートなどの結果から、本手法が対面協作業にもたらす影響について議論する。

本実験のタスクは、図 7 のように共有機を挟んで着席し

表 3 アンケート内容
Table 3 Questionnaire content.

質問項目	回答項目
質問 1 どちらのシステムを利用した方が位置設定を容易に行えましたか (四択形式)	カメラ・どちらかといえばカメラ ・どちらかといえば手動・手動
質問 2 どちらのシステムを利用した方がタスクに対する楽しさを感じましたか (四択形式)	カメラ・どちらかといえばカメラ ・どちらかといえば手動・手動
質問 3 カメラを利用したシステムを使いやすかったですか (四択形式)	使いやすかった・まあまあ使いやすかった ・少し使いにくかった・使いにくかった
質問 4 カメラを利用して位置設定をするときに何かストレスを感じましたか (四択形式)	感じた・まあまあ感じた ・少し感じた・感じなかった
質問 5 それぞれのシステムで位置設定をするときにコミュニケーションの取り方が変わりましたか (二択形式)	変わった・変わらなかった

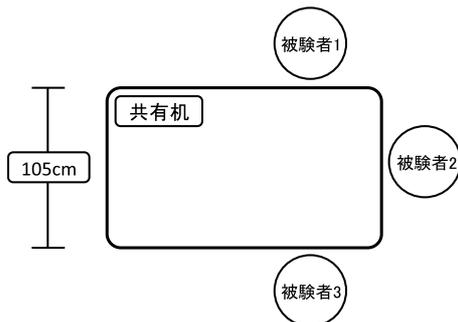


図 7 被験者の配置
Fig. 7 Arrangement of participants.

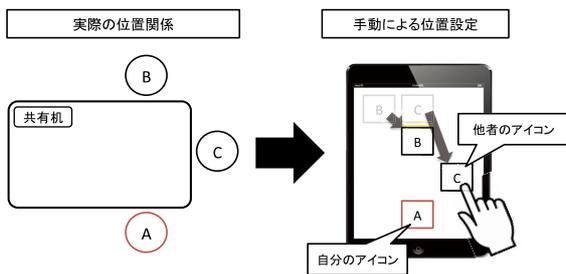


図 8 手動での位置設定
Fig. 8 Manual setting of orientation.

ている各被験者が持つ iPad の位置設定をしたうえで、フリック操作によりコンテンツを送信するという内容である。各被験者は 1 台の iPad を持ち、本システム、および、手動により位置設定を行うシステムの 2 つのシステムで位置設定を行ったうえで、フリック操作による Web ページの共有を行う。

4.2.2 実験環境と手順

本実験の被験者は、情報系の学生 18 人である。被験者は、3 人ごとのグループを形成し、各グループは 1 回ごとに利用するシステムを変更して同様のタスクを 2 回行う。本実験では、被験者は手動で位置設定を行うシステムを比較システムとして利用する。比較システムでは、図 8 に示すように、他者のアイコンをドラッグ操作で移動させ、現実空間の被験者の位置関係に対応付けて配置することで、自身の端末と他者の端末との相対的な方向を設定する。本実験では、タスクを開始する前に、自身のアイコン上に表

表 4 位置設定の所要時間 (秒)

Table 4 Required time for setting orientation (in seconds).

	本システム	比較システム
グループ 1	24.2	25.8
グループ 2	45.2	16.8
グループ 3	28.1	17.9
グループ 4	36.0	30.1
グループ 5	30.1	38.2
グループ 6	42.4	22.3
平均	34.3	25.2

示される名前は A, B, C のいずれかであることを各被験者に告げる。また、対面協調作業では、事前に相手の端末名が分からない状況が想定されるため、タスクを開始するまで他者がどのアイコンに対応しているかが分からないようにしている。

本実験ではまず、各被験者は本システム、もしくは、比較システムを利用して位置設定を行う。この際、システムでは位置設定にかかった時間を記録している。次に、適当な Web ページを他の被験者にそれぞれ 1 回以上フリック操作により送信する。以上のタスクをそれぞれのシステムを利用して 2 回行い、タスクを終えたあと、NASA-TLX に基づいたアンケートに回答する。また、本システムを利用したタスクを行う前に、利用方法の説明と位置設定の練習時間を数分間設けている。さらに、2 回のタスクを終えたあと、表 3 に示すような内容のアンケートを実施する。

4.2.3 実験結果

4.2.3.1 位置設定の所要時間

本システム、および、比較システムを利用した位置設定に要した時間を表 4 に示す。この時間は、位置設定作業を開始してから、全端末間の位置設定を終了するまで、被験者間のコミュニケーションや端末を向かい合わせる動作など、すべての動作に必要な時間である。この結果から、本システムの方が 3 割程度長い時間を要する傾向があることが分かる (両側 t 検定において $p = 0.159$)。また、今回は 3 人グループであるため 3 回の方向認識が必要であるが、平均すると、本システムで 1 回の方向認識に必要な時間は約 11.4 秒である。

なお、背面ロゴの認識および相手端末の特定に対する処

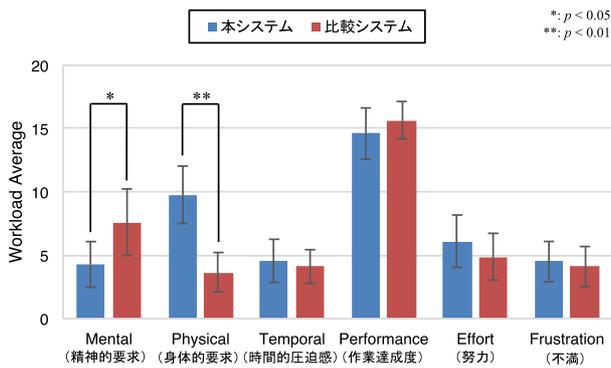


図9 NASA-TLX アンケートの結果
Fig. 9 Results of NASA-TLX questionnaire.

理時間はおおむね1秒以下であるが、背面ロゴの認識に必要なカメラのフォーカス合わせに5秒程度の時間がかかることが多い。これに、被験者間の会話や端末を持ち上げて向かい合わせる動作などの時間が加わって、上記のような時間になっている。

4.2.3.2 アンケート結果

本システム、および、比較システムのNASA-TLXによるアンケートの結果を図9に示す。図中の棒グラフは各尺度における作業負荷の平均値を表し、また、エラーバーはt分布による信頼区間(有意水準5%)を表す。比較システムにおいて、精神的要求を示すMentalの評価値の平均は7.61であるのに対し、本システムでは4.28という結果が得られた。一方、身体的要求を示すPhysicalでは、比較システムが3.67であるのに対して、本システムでは9.78という結果が得られた。また、それぞれの尺度についてt検定を行ったところ、MentalとPhysicalの2つの尺度については、本システムを利用した場合と比較システムを利用した場合で、評価値の平均に有意差があることが分かった。

次に、本システムと比較システムにおける、容易性と楽しさに関するアンケート結果を表5に示す。質問1では、約56%の被験者がカメラを用いた本システムの方が位置設定が容易であったと回答している。また、質問2では、約89%の被験者が本システムによる位置設定の方が楽しかったと回答している。

質問1の容易性に対して、「カメラ」「どちらかといえばカメラ」と回答した理由については、以下のようなものが得られた。

- 手動の方は3人の位置関係を考えなければならなかったが、カメラの方は端末を向けるだけで位置設定ができたから。
- 手動では自分の位置を相手に伝えることと、相手の位置を考える手間があった。

また、「手動」「どちらかといえば手動」と回答した理由については、以下のようなものが得られた。

- カメラを利用したシステムでは、端末を持ち上げるのが面倒だった。

表5 質問1(容易性)と質問2(楽しさ)の結果

Table 5 Results for Q1 (easiness) and Q2 (fun).

	カメラ	どちらかといえばカメラ	どちらかといえば手動	手動
質問1	3	7	6	2
質問2	9	7	2	0

表6 質問3(使いやすさ)の結果

Table 6 Results for Q3 (confort).

使いやすかった	まあまあ使いやすかった	少し使いにくかった	使いにくかった
6	10	2	0

表7 質問4(ストレス)の結果

Table 7 Results for Q4 (stress).

感じた	まあまあ感じた	少し感じた	感じなかった
0	4	8	6

- カメラの位置設定の際、認識に少し時間がかかった。質問2の楽しさに対して、「カメラ」「どちらかといえばカメラ」と回答している被験者は主に、他の被験者とコミュニケーションをとりながら協同して位置設定ができることを理由としてあげている。一方で、「どちらかといえば手動」と回答している被験者は、端末を持ち上げることに對する負荷がないことに加えて、相手端末の位置が視覚的に表示されていることを理由としてあげている。

さらに、本システムの使いやすさに関するアンケート、および、本システムを利用した位置設定のストレスに関するアンケートの結果をそれぞれ表6、表7に示す。質問3では、多数の被験者が本システムを利用した方が使いやすいと回答しているが、2人の被験者は少し使いにくかったと回答している。その理由として、他の端末の方向を認識するのに時間を要することをあげている。また、質問4では、複数の被験者が本システムを利用した位置設定にストレスを感じたと回答している。その理由として、カメラで認識を行う端末の順番を決める必要があること、相手の端末の方向に逐一自身の端末を向ける動作が必要なこと、順番待ちが発生することをあげている。

最後に、利用システムによってコミュニケーションのとり方が変わったかどうかの質問5に対しては、16人(約89%)の被験者が変わったと回答した。コミュニケーションのとり方に関する代表的なコメントとしては、以下のようなものが得られた。

- カメラの方は一度に2人までしか位置設定を行うことができなかったので、どの順で位置設定を行うかのコミュニケーションがあった。
- 手動で位置設定する際はほぼコミュニケーションはなかった。

4.2.4 考察

4.2.4.1 位置設定の容易性

位置設定を行う場合の容易性に関しては、質問1の結果から、半数強の被験者が本システムを評価していることが

分かる。これは、NASA-TLX アンケートの Mental の結果に現れているように、カメラを相手の端末の方向に向けるという位置設定方法が、画面上のタッチ操作による位置設定方法よりも直感的であり、分かりやすかったことが影響していると考えられる。

一方で、4.2.3.1 で述べたように、本システムを用いた場合に位置設定に要する時間は、手動で位置設定を行う比較システムを用いた場合よりも長くかかるという結果が得られている。また、質問 4 では、本システムではグループ内で 2 人ずつ位置設定を行わなければならないことから、認識し合う順番を決めなければならないことや、順番待ちが発生することがストレスを感じる理由としてあげられている。特に、人数が増えた場合には位置設定にかかる時間やストレスがさらに問題になり、現状では、10 回の位置設定を必要とする 5 人のグループまでが現実的には限界であると考えられる。

また、質問 1 において複数の被験者が比較システムの方が容易であると回答している。これは、本システムでは位置設定をするとき端末を持ち上げるという動作を行う必要があるのに対して、比較システムでは端末を机の上に置いた状態でも位置設定が可能であるため、NASA-TLX アンケートの Physical の結果に現れているように、被験者はこれらの物理的負荷の違いを感じたためであると考えられる。

4.2.4.2 参加者間でのコミュニケーション

質問 3 の結果から、被験者は本システムを利用した位置設定に楽しさを感じていることが分かる。また、質問 5 の結果から、本システムを利用した位置設定の方が、比較システムを利用した位置設定よりも、被験者同士でコミュニケーションをとることができるという知見が得られた。ビデオ映像から観察した結果からも、比較システムを利用した位置設定では一度も発言をしない被験者が見られた。これらのことから、互いのカメラを向き合わせるという協同して行う位置設定が被験者間のコミュニケーションの促進に影響していると考えられる。

4.2.4.3 本手法の有効性と限界

カメラを用いた位置設定を行う場合、手動で設定する場合に比べて、設定時間が長くかかったり、身体的負荷が大きくなったりする反面、被験者間のコミュニケーションが促進されるという効果があるということが出来る。特に、アドホックな対面協調作業では初対面の参加者と作業することも想定されるため、簡便な方法ではなく、端末を向かい合わせて位置設定を行うという作業をあえて導入することによって、協調作業において重要なコミュニケーションを生み出すきっかけとなり、協調作業の質の向上にも寄与すると考えられる。

お互いに向かい合わせている端末どうしの認識方法については、向かい合わせた状態でそれぞれの画面をタップする方法や、端末を握っている手の拳どうしをぶつける方法

なども考える。これらの方法とカメラを用いる方法との比較は今後の課題であるが、画面をタップする方法に対しては楽しさの面、拳をぶつける方法に対しては身体的ストレスの面で優位性があると予想している。

位置設定を行った後のフリック操作による情報共有については、現状、想定していない状況が存在する。1 つは、一度に複数人に送信する場合である。これに対しては、たとえば、フリック操作ではなく、送信相手がいる方向を指でなぞる操作を採り入れ、なぞられた領域の方向にいる作業員全員に情報を送信するようにすることが考えられる。また、今回の手法は方向のみを認識しており、距離を考慮していないことから、同じ方向に複数人が存在するような場合に送信相手を区別することができないという制約もある。これについては、たとえば 3 人が横並びになっている場合、紙の文書を手渡しで受け渡すように、両端の作業員からはまず真ん中の作業員に情報が送信されるようにし、必要であれば、真ん中の作業員がさらにもう 1 人の作業員に対してフリック操作を行うことによって情報が送信されるようにすることが考えられる。

カメラで相手端末を認識する場合の背面の特徴については、今回の評価では Apple 社のロゴのみを対象として実験を行った。本手法では、ロゴなどのように、画像処理によって認識可能な明確な特徴が背面にあることを想定している。そのような特徴がなく、たとえば、テクスチャなどでもどの程度認識が可能なかの評価は、今後の課題である。

5. おわりに

本論文では、アドホックに発生する対面協調作業を対象に、端末内蔵のカメラとセンサを用いた方向認識手法を提案した。本手法は、各参加者が持つ端末を、端末内蔵のカメラが撮影する範囲に含むように互いに向き合わせることで、他端末の方向認識を可能とする。

フリック操作による情報送信の正確性に関する評価実験では、端末が密に接近している場合を含めても 8 割以上で正しい判定処理が行われることが分かった。また、本手法を協調作業に適用した場合の有益性に関する実験を行った結果、直感的に端末の方向認識ができるという性質と、参加者間のコミュニケーションを促進する性質が確認された。一方で、グループ内のすべてのペアでカメラによる端末の認識を行わなければならないことが、参加者の負荷を増加させている要因となっていることが確認された。

今後は、作業中に発生する作業員の参加や離脱に対応するための方法や、今回用いた Apple ロゴだけではなく、様々な種類の端末の認識を行えるようにするための方法について検討を行う。また、作業員が端末を向かい合わせなければならない回数を削減することにより、方向認識における作業員の負担を軽減する方法についても検討を進める。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 25330249 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 森岡靖太, 村井信哉, 田仲史子, 杉川明彦: 使用場所の制約のない対面会議支援システム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.97, No.412, pp.19–24 (1997).
- [2] 桑野元樹, 森口友也, 高田秀志: 方向を意識したフリック操作による情報送信機能を備えた協調検索ツールの構築, 情報処理学会研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), No.5 (2012).
- [3] Lucero, A., Jokela, T., Palin, A., Aaltonen, V. and Nikara, J.: EasyGroups: Binding Mobile Devices for Collaborative Interactions, *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.2189–2194 (2012).
- [4] Yatani, K., Tamura, K., Hiroki, K., Sugimoto, M. and Hashizume, H.: Toss-it: Intuitive Information Transfer Techniques for Mobile Devices, *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.1881–1884 (2005).
- [5] Marquardt, N., Hinckley, K. and Greenberg, S.: Cross-device Interaction via Micro-mobility and F-formations, *Proc. 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.13–22 (2012).
- [6] Goel, M., Lee, B., Islam Aumi, M.T., Patel, S., Borriello, G., Hibino, S. and Begole, B.: SurfaceLink: Using Inertial and Acoustic Sensing to Enable Multi-device Interaction on a Surface, *Proc. 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.1387–1396 (2014).
- [7] Kuribara, T., Shizuki, B. and Tanaka, J.: HoverLink: Joint Interactions Using Hover Sensing Capability, *Proc. 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.1651–1656 (2015).
- [8] Lin, C.-P., Wang, C.-Y., Chen, H.-R., Chu, W.-C. and Chen, M.Y.: RealSense: Directional Interaction for Proximate Mobile Sharing Using Built-in Orientation Sensors, *Proc. 21st ACM International Conference on Multimedia*, pp.777–780 (2013).
- [9] Kendon, A.: Spacing and orientation in co-present interaction, *Development of Multimodal Interfaces: Active Listening and Synchrony*, pp.1–15, Springer (2010).
- [10] Dearman, D., Guy, R. and Truong, K.: Determining the Orientation of Proximate Mobile Devices Using Their Back Facing Camera, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.2231–2234 (2012).
- [11] Chung, J. and Mujibiya, A.: Shuriken: User Grouping and Data Transfer for Collaborative Shopping and Offline Meetings Based on Inter-Device Relative Positioning, *Proc. 18th ACM Conference Companion on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing, CSCW'15 Companion*, pp.151–154 (2015).



塩見 和則 (正会員)

2014年立命館大学情報理工学部情報システム学科卒業。2016年同大学大学院情報理工学研究科情報理工学専攻博士課程前期課程修了。2016年より凸版印刷株式会社に勤務。



高田 秀志 (正会員)

1968年生。1991年京都大学工学部情報理工学専攻卒業。1993年同大学大学院工学研究科情報理工学専攻博士前期課程修了。同年三菱電機(株)入社。2001年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻博士後期課程修了。2004年京都大学大学院情報学研究科研究員。2006年立命館大学情報理工学部助教授、2010年4月同教授、現在に至る。分散システム、協調作業支援システム、教育・学習支援システム等の研究に従事。博士(情報学)。電子情報通信学会、日本教育工学会、ACM、IEEE Computer Society 各会員。