

携帯端末を利用するアドホックな対面協調作業のための カメラを活用した方向認識手法

塩見 和則¹ 高田 秀志²

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、端末に保持している電子データや Web 検索をして収集した情報をその場で相手に共有したくなるような場面がある。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る。これまでに、参加者間の情報共有支援として、固定機器を利用した環境が提案されているが、前触れなく発生するアドホックな対面協調作業では、あらかじめ作業場所を予測することができないため、各参加者が所持している端末間で情報共有を支援することが望ましい。本研究では、参加者が所持している端末の画面上で指をはじく操作（フリック操作）による情報送信方法に着目した上で、他端末の方向を認識するための手法を提案する。提案する方向認識手法では、端末内蔵のカメラとセンサを活用しており、端末同士を互いのカメラに映るように向き合わせるだけで方向認識が可能である。本手法において、フリック操作によって期待した相手にどの程度情報を送ることができるかを評価したところ、正しい相手に送ることができる割合が最大で 70% 程度であった。また、送信先の決定方法を見直すことにより、送信精度の向上が見込めることがわかった。

An Orientation Recognition Method Leveraging a Camera Device for Ad Hoc Collocated Cooperative Work Using Portable Terminals

SHIOMI KAZUNORI¹ TAKADA HIDEYUKI²

Abstract: Ad hoc face-to-face cooperative work using multi-touch devices has the opportunity to share useful information collected by doing Web search. In this work, people can perform decision making and agreement formation quickly among workers by enabling a user to share digital content instantly. Although previous studies have provided an environment to support information sharing with fixed instruments, it is not possible to create such an environment anywhere. We present a method to detect a portable terminal orientation using camera image and sensors, and to send information by flicking toward the direction to a co-worker as a receiver. This method enables to recognize a portable terminal orientation without using peripheral devices. An experiment to evaluate how correctly users can send information to others by flicking operation shows that the information can be sent to a correct receiver successfully at most 70% approximately. In addition, it is found to be possible to raise the successful rate by improving the method of determination of destination terminal.

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タッチ

パネルを搭載した電子端末が普及し、複数人が同一空間上に集まって行う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。このような端末を利用する対面協調作業では、端末が保持している電子データや Web 検索をして収集した情報をその場で相手に共有したくなる場面が多く見られる。そのような場面において、各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の向上が期待される。

¹ 立命館大学大学院 情報理工学研究所
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

² 立命館大学 情報理工学部
College of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

対面協調作業の情報共有支援としては、WeSearch[1] のようにテーブルトップ PC を利用した環境が提案されている。また、Kinect のような外部機器を利用して端末の動きを検出することによって情報共有を支援する環境 [2] も提案されている。しかし、前触れなく発生する対面協調作業では、作業場所をあらかじめ予測することが不可能であるため、固定された機器ではなく、各参加者が所持している端末で情報共有支援を行うことが望ましい。

端末間の情報共有において、Apple 社が提供している AirDrop や Android 端末に搭載されている Wi-Fi Direct を利用する方法があるが、送信毎に送信相手を選択する必要があり、煩雑な操作を要する。そこで、本研究では、端末の画面上で送信する相手の方向に指をはじくフリック操作に着目した上で、他端末の方向を認識するための手法について検討を行う。フリック操作による情報送信は、直感的に送信先の指定を可能にするが、各端末がどの方向に存在するのかといった端末間の位置関係を送信元の端末にあらかじめ認識させておく必要がある。

参加者自身が端末間の位置関係を手動で設定することで、フリック操作による直感的な情報送信を実現するシステムが存在する [3][4] が、手動による位置関係の設定は人的要因により、実際の参加者の位置とは異なる位置を設定する場合も考えられる。その場合、期待した相手に情報が送信されず、参加者間の円滑なコミュニケーションが損なわれる。既存の端末間の位置関係の設定に関する研究は、共有機が存在する、各参加者が対面しているといった条件が必須であり、利用できる場面や場所が限定されている。

そこで、本稿では、各参加者が所持している端末に搭載されているカメラとセンサを活用した方向認識手法を提案する。提案する手法では、自身の端末を相手の端末の方向に向け、端末のカメラが撮影する範囲に相手の端末が含まれた時に端末の認識を行う。また、端末を認識したときの自身の端末の向きを相手の端末との相対角度とすることで他端末の方向認識を可能にする。さらに、方向を認識をした端末に対して、フリック操作による情報送信を可能とする。

2. 携帯端末を利用する対面協調作業

2.1 対面協調作業の分類と情報共有支援

コンピュータにより人間の協調作業を支援する CSCW(Computer-Supported Cooperative Work) の分野において、協調作業は場所の同一性に基づいて、対面協調作業と分散協調作業に分類される。対面協調作業は、互いに行動が目視できる距離で行われる協調作業であり、参加者は身振りや視線などのノンバーバルな情報を容易に利用可能である。また、対面協調作業は、図 1 に示すように「作業発生の規則性」に基づいてさらに分類できる。学校の授業やオフィスの会議で行われる対面協調作業は、定期的に

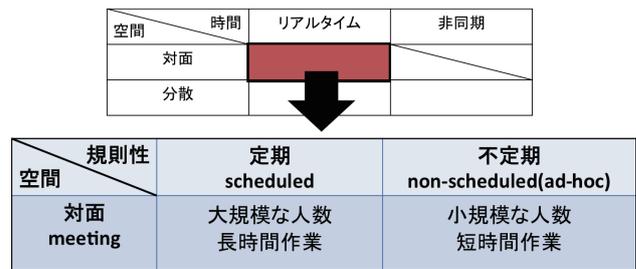


図 1 対面協調作業の分類と特徴

発生するため、予期されている対面協調作業と言える。一方で、同じ目的を持った人間が必要に応じて集まり、偶発的に行うアドホックな対面協調作業がある。これらの対面協調作業の特徴として、予期されている対面協調作業は、同一空間内に多くの参加者が存在し、作業時間が長い場合が多い。これに対して、アドホックな対面協調作業は、参加者の人数が比較的少なく、作業時間が短い場合が多い。森岡らは、アドホックな対面協調作業の特徴を Nomadic Collaboration として、以下のようにまとめている [5]。

- 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

このような特徴から、アドホックな対面協調作業では、近接無線通信を活用した情報共有支援ツールを利用することが多い。例えば、Apple 社が提供している AirDrop があるが、送信先の端末を選択するときに、あらかじめ端末名を知る必要があるのに加え、送信毎に送信相手を手動で選択する必要がある。また、AndroidBeam は、端末同士を接触させる必要があるため、物理的に離れた参加者同士では利用できない。このような点から、アドホックな対面協調作業では、情報共有支援が十分ではないと考えられる。

2.2 関連研究

これまでに、対面協調作業を対象に、情報共有支援を目的にした研究が行われている。

SurfaceLink[6] は、端末が並べられた机上で手を擦ることにより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、端末間での情報の送受信を実現している。HoverLink[7] は、端末同士を接触させたときの加速度の変化を利用したペアリング手法を提案している。いずれの研究も、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いるため、共有机上での作業を想定したシステムと言える。企業が実施するグループディスカッションや、学校におけるグループワークのような、予期された対面協調作業の場では、共有機があらかじめ用意されていることが一般的であるため、端末を平面に接地することは可能である。しかし、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、その場合は端末を把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。

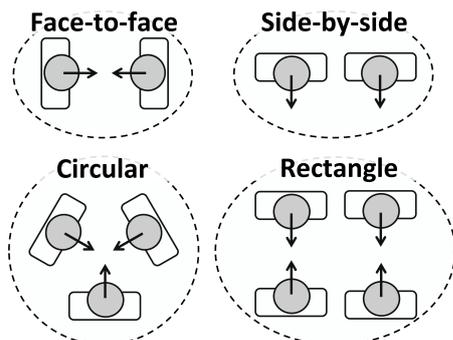


図 2 複数人のインタラクションにおける身体配置



図 3 カメラによる端末検出

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上で、スワイプ操作による情報共有を実現している。また、情報共有に要する時間を計る実験において、スワイプ操作による情報共有の有用性を明らかにしている。しかし、各参加者が対面かつ、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取る F 陣形と呼ばれる概念が存在する [12]。図 2 に示すように、F 陣形には参加者同士が対面するような形の他にも、並んで同一の方向に身体を向ける形があるため、そのような参加者の配置を考慮する必要がある。Orienteer[9] は、端末利用時に背面カメラが下を向く現象を利用しており、カメラの映像から各参加者の足の向き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、Orienteer では、各参加者の位置情報を GPS から取得しているため、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、屋内や屋外に関わらず発生するため、作業場所に関わらず利用可能なシステムが必要である。

この他に、AirLink[10] は、音の周波数の変化を利用することで、空中でのジェスチャ操作による端末間の情報共有を実現しているが、バッテリー消費量の問題が示唆されている。

これらを踏まえ、アドホックな対面協調作業において参加者の配置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画面上的コンテンツをはじく操作であるフリック操作を適用する。ここでは、送信元の携帯端末の画面上で送信相手のいる方向へフリック操作をすることで、直観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、端末内蔵の方位センサと端末間の RSSI を利用した方向認識を実現しており、本研究で対象とする要件を満たしている。しかし、方向認識の精度や実際に対面協調作業に適用した際の有益性に関する評価は十分に行われていない。本研究では、参加者の配置や作業場所に依存しない方向認識手法を実現した上で、精度評価および有

益性に関する評価を行っていく。

3. 携帯端末のカメラを利用した方向認識手法

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 3 つである。

精度

参加者の方向を正確に認識可能であり、期待した相手へフリック操作による情報送信が可能であること

場所的制約の解消

共有機の有無や屋外・屋内に関わらず方向認識が可能であること

形状制約の解消

対面や横並びなど、参加者の身体配置に関わらず方向認識が可能であること

本研究では、参加者が持つ端末さえあれば実現可能な方向認識機構を構築する。また、フリック操作による情報送信機構を構築する。

3.2 システム概要

3.2.1 近隣端末の方向認識

フリック操作のような直感的なジェスチャ操作による情報送信を実現するためには、各端末が存在する方向を認識させておく必要がある。本手法では、図 3 のように、各参加者が所持している端末同士を互いのカメラに映るように向き合わせた時、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する。ここでは、端末に搭載されているカメラで相手の端末を認識した時に OS から取得できる向きの情報を相手端末との相対角度とする。

また、フリック操作で情報を送信する場合に、自身の端末を送信する相手の方向に向けることが考えられる。このとき、自身の端末と他端末の位置関係が変わるため、端末の向きの変化から位置関係の調整を行えるようにする。

3.2.2 フリック操作による情報送信

複数人が同一の場所に集まって Web 検索を行う作業において、他の参加者にとって有益そうな情報を見つけた場合や、自分が調べた情報を伝える場合に参加者間で情報を

共有する．また，自身の端末が保有している写真といった電子データを他者に共有する場面がある．提案する手法では，フリック操作による角度とカメラにより認識した各端末の相対角度を比較することで送信先の端末を決定する．

3.3 実装

3.3.1 近隣端末の方向認識

本手法では，方向認識を行う端末として，Apple 社の iPad を利用する．また，iPad 間の P2P 通信を実現するために，MultipeerConnectivity 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．本手法では，認識対象として，Apple ロゴの画像をあらかじめ登録している．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．取得した相対角度は，端末から見て正面を 0° とし，右方向に正の角度，左方向に負の角度を割り当てる．また，端末の向きに合わせた位置関係の調整を行うために，常に yaw 方向の値を取得し，設定した相対角度に反映させる．

また，複数の端末から，互いにカメラで認識している端末を特定するために，カメラで端末を認識したときに通知情報を送信する．本手法では，カメラで端末を認識している状態を端末認識状態，認識していない状態を端末非認識状態とする．カメラによる認識が行われると，認識した端末は認識開始時の時刻を自身の端末に記録した上で，他端末に通知情報を送信する．通知情報を受け取った端末は，自身が端末認識状態である場合，通知を受け取った時刻と自身の端末で記録している時刻から差分を算出し，相互認識時間とする．算出した相互認識時間が設定した閾値を超えている場合，対面にいる端末として特定する．

3.3.2 フリック操作による情報送信

図 4 のように，フリック操作による角度 θ_{Flick} は，画面をタッチした際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計算する．得られたフリック操作による角度と，送信元の端末と各端末との相対角度の差分を取り，最も差分値が小さい端末を送信先の端末に決定する．ただし，誤って端末が存在しない方向にフリック操作をした場合，いずれかの端末に送信されてしまうのを防ぐため，閾値をあらかじめ設定しておき，差分値が閾値を上回る場合は送信しないようにする．

4. 評価実験

4.1 方向認識の精度

4.1.1 実験概要

本手法において，端末の方向認識は，端末内蔵のセンサの値に基づいている．そのため，本手法の実現性はモー

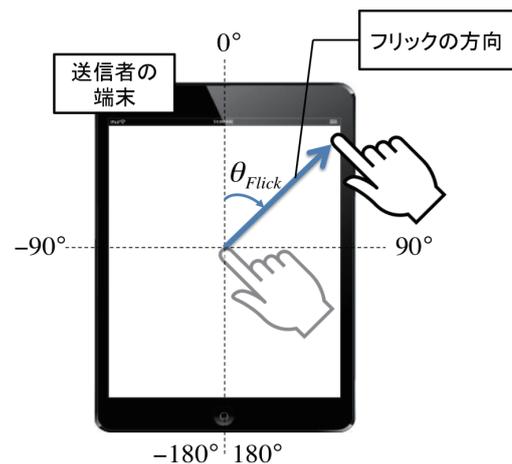


図 4 フリック操作による角度

表 1 最大値と最小値

	<i>LP</i>	<i>ULP</i>	<i>FP</i>	<i>URP</i>	<i>RP</i>
最大値	-67.0	-31.4	5.6	43.1	89.0
最小値	-89.0	-47.8	-12.5	26.0	61.7

ションセンサの精度に委ねるところが大きい．

そこで，本手法を適用したグループ形成が行われることを想定した仮想環境下で，モーションセンサを利用した端末の方向認識を行う．本実験で構築した仮想環境では，5 つの方向（右，右上，正面，左上，左）に iPad を図 5 のように配置している．カメラにより方向認識を行う Scan Peer に対して，他の iPad との距離は 30-45[cm] である．また，正面の iPad を 0° ，右上と左上の iPad を $\pm 30^\circ$ ，左右の iPad を $\pm 90^\circ$ の角度で配置している．

実際に本手法を適用する際，カメラにより端末を認識する順序は多様であると考えられる．そこで，本実験では，右回り（左 左上 正面 右上 右），左回り（右 右上 正面 左上 左），振り子状（正面 左上 右上 左右）の 3 つの順序でカメラによる認識を，各順序に対して 30 回ずつ合計 90 回行う．

4.1.2 実験結果

試行ごとの計測値を図 6，各方向に対する最大値と最小値を表 1 に示す．結果から，左右の端末に対するセンサの計測値は，他の方向の計測値に比べてばらつきが大きくなったが，概ね正しい方向が認識できていることが確認できた．

4.2 フリック操作による情報送信の正確性

4.2.1 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，被験者に本手法による方向認識を行ってもらい，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を行ってもらい，フリック角度を取得する．そ

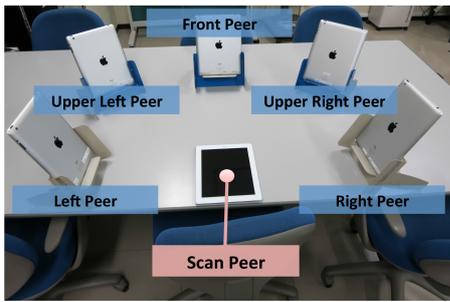


図 5 仮想環境

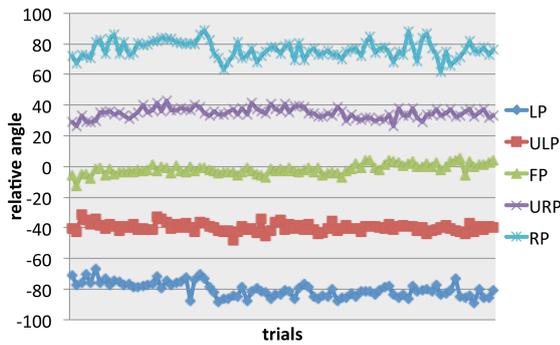


図 6 試行ごとのモーションセンサ値

の上で、取得したそれぞれの角度を本手法に適用することで、送信したい相手に正確に情報送信でき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、被験者に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ってもらう。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送信してもらう。

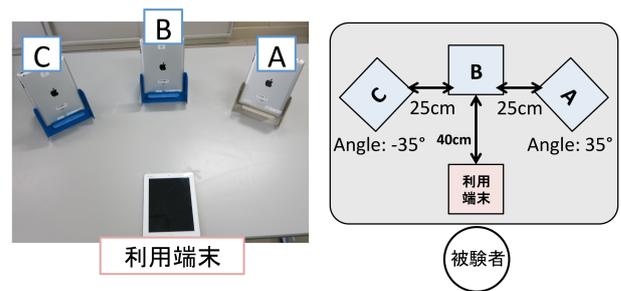
4.2.2 実験環境

本実験における被験者は、大学生および大学院生25名である。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。

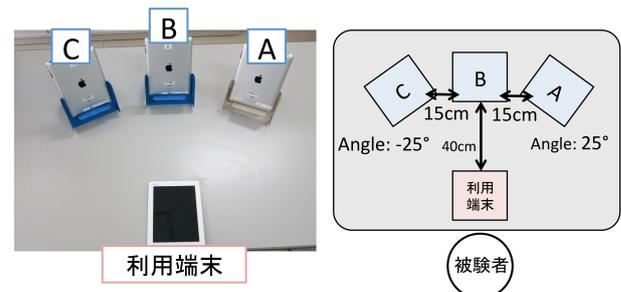
図7に被験者および端末の配置を示す。本実験は、各参加者間の距離を考慮した3通りの配置条件で行う。各配置条件では、端末A、端末B、端末Cの3台のiPadを机の上に配置している。3台のiPad間の距離は、(a)25cm、(b)15cm、(c)5cmである。さらに、利用端末に対して、端末Aと端末Cは、(a) $\pm 35^\circ$ 、(b) $\pm 25^\circ$ 、(c) $\pm 15^\circ$ の角度で配置している。

4.2.3 実験手順

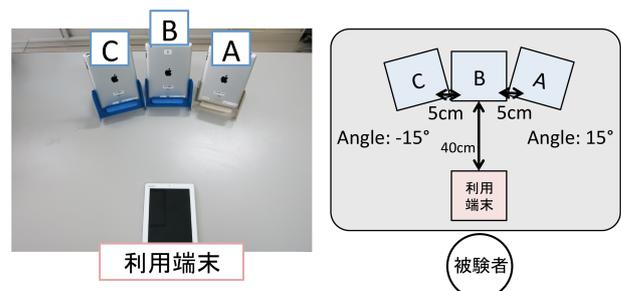
被験者は、利用端末を用いて端末A、端末B、端末Cの順序でカメラによる方向認識を行った上で、利用端末を元の位置に戻す。次に、各方向に配置された端末に対して、フリック操作による情報送信を行う。どの端末に向けてフリック操作を行うかについては、図8のように、送信する端末の指示が画面上に表示される。被験者は、指示された端末に対象オブジェクトが届くように意識しながら、フリック操作を行う。図中のフリック対象オブジェクトは、



(a) 遠距離条件



(b) 中距離条件



(c) 短距離条件

図 7 配置条件



図 8 フリック送信時の端末画面

タッチ操作で動かすことが可能となっており、指が離されると元の位置に戻るようになっている。以上の手順を遠距離条件、中距離条件、短距離条件の順序で行う。

4.2.4 評価方法

評価は、本手法で取得した各端末の相対角度とフリック角度を比較することで行う。本実験では、以下の3つの指標を定義する。



図 9 フリック送信の結果

成功回数

指示された端末に送信された回数

非存在回数

端末が存在しない方向にフリック操作を行った回数

誤り回数

指示された端末とは異った端末に送信された回数

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、各閾値および各配置条件ごとに評価を行う。

4.2.5 実験結果

各配置条件と各閾値における成功回数、非存在回数、誤り回数の結果を図9に示す。今回の実験の各閾値において、3つの配置条件を合計した成功割合は、閾値10°の場合は49.2%、閾値15°の場合は61.1%、閾値20°の場合は70.2%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遠距離条件が58.7%、中距離条件が70.3%、短距離条件が51.4%であった。

各閾値における3つの配置条件を合計した非存在回数の割合は、閾値10°は44.5%、閾値15°は32.4%、閾値20°は22.8%であった。また、誤り回数は、遠距離条件と中距離条件では10回前後であった。一方で、短距離条件では、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。

さらに、本手法により得られた各端末の相対角度の平均と標準偏差を表2に、被験者によりフリックされた角度の平均と標準偏差を表3に示す。この結果から、特に、両端に配置した端末Aと端末Cにおいて、本手法により得た端末の相対角度とフリック角度に大きな差異があり、成功率を下げていることが分かった。

4.2.6 考察

実験の結果、最も成功回数が多い閾値20°の場合においても、成功回数の割合は7割程度であり、我々が期待したほど高い数値が見られなかった。その要因としては、両端に配置している端末に対する相対角度とフリック角度に差異が生じたことにより、非存在回数が多くなったことが挙げられる。端末Bに送信する場合、両隣の端末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をすることが考えられる。一方で、端末

表 2 各端末の相対角度の平均と標準偏差

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

表 3 フリック角度の平均と標準偏差

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

Aと端末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うフリック操作が必要ないため、非存在回数が多くなったと考えられる。このことから、各端末に同じ閾値を設定するのではなく、例えば、他の端末が存在しない側の閾値を大きく設定するなど、認識した端末の位置にあわせた適切な閾値の設定方法を検討する必要がある。

誤り回数は、近距離条件が他の2つの条件に比べて著しく多くなったが、実際の対面協調作業においては、参加者同士が近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、近距離条件で誤り回数が多くなったことに関しては、実用上問題にはならないと考えられる。

5. おわりに

本研究では、対面協調作業のなかでも特にアドホックに発生する対面協調作業を対象に、端末間の情報共有支援として、端末内蔵のカメラとセンサを用いた方向認識手法を実現した。本手法は、作業場所や各参加者の配置に依存しないという点で有用であると考えられる。また、端末内蔵のセンサを用いた方向認識の精度と、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を行った。その結果、正しい相手に送信できる割合は最大でも70%程度であることが分かった。今後は、より高い精度で方向認識が可能な閾値の設定方法を検討するとともに、実際に対面協調作業に適用した際のユーザに掛かる負荷を評価することで、本手法の有益性を明らかにする。

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] Meredith Ringel Morris, Jarrod Lombardo, Daniel Wigdor: WeSearch: Supporting Collaborative Search and Sensemaking on a Tabletop Display, In Proc. CSCW'10, pp.401-410, (2010).
- [2] Nicolai Marquardt, Ken Hinckley, Saul Greenberg:

- Cross-Device Interaction via Micro-mobility and Formations , In Proc . UIST ' 12 , pp.13-22 , (2012) .
- [3] Andres Lucero , Tero Jokela , Arto Palin , Viljakaisa Aaltonen , Jari Nikara: EasyGroups: binding mobile devices for collaborative interactions , In Proceeding , CHI ' 12 , pp.2189-2194 . (2012) .
- [4] 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 , 第 84 回 GN 研究会 , Vol.2012-GN-84 No.5 , (2012) .
- [5] 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 , Vol97 , No.412 , pp.19-24 , (1997) .
- [6] Mayank Goel , Brendan Lee , Md . Tanvir Islam Aumi , Shwetak Patel , Gaetano Borriello , Stacie Hibino , James Begole: SurfaceLink: Using Inertial and Acoustic Sensing to Enable Multi-Device Interaction on a Surface , In Proc . CHI'14 , pp.1387-1396 , (2014) .
- [7] Takuro Kuribara , Buntarou Shizuki , Jiro Tanaka , Hover-Link: Joint Interactions using Hover Sensing Capability , In Proc . CHI'15 , pp.1651-1656 , (2015) .
- [8] Chien-Pang Lin , Cheng-Yao Wang , Hou-Ren Chen , Wei-Chen Chu , Mike Y . Chen: RealSense: Directional Interaction for Proximate Mobile Sharing Using Built-in Orientation Sensors , In Proc . MM'13 , pp.777-780 , (2013) .
- [9] David Dearman , Richard T . Guy , Khai N . Truong: Determining the Orientation of Proximate Mobile Devices using their Back Facing Camera , In Proc . CHI'12 , pp.2231-2234 , (2012) .
- [10] Ke-Yu Chen , Daniel Ashbrook , Mayank Goel , Sung-Hyuck Lee , Shwetak Patel: AirLink: Sharing Files Between Multiple Devices Using In-Air Gestures . In Proc . UbiComp'14 , pp.565-569 , (2014) .
- [11] Jonathan Chung , Adiyana Mujibiyana: Shrunken: User Grouping and Data Transfer for Collaborative Shopping and Offline Meetings Based on Inter-Device Relative Positioning , In Proc . CSCW'15 Companion , pp.151-154 , (2015) .
- [12] Adam Kendon: Spacing and orientation in co-present interaction , In Proc . COST'09 , pp.1-15 , (2009) .