

タブレット駆動型身体拡張インタフェース ～スタンドアローン型 ExtendedHand～

上田 雄太^{1,a)} 浅井 唯貴^{1,b)} 榎本 龍一^{1,c)} 新明 拓也^{1,d)} 武村 紀子^{1,e)} 岩井 大輔^{1,f)}
佐藤 宏介^{1,g)}

概要：手は人間のコミュニケーションには欠かせない。しかし、ポインタで遠くの物を示すようなコミュニケーションの場合は、手の持つ表現の高さが活かしきれていない。本稿では、手の届かない位置の対象を扱うような場合に、プロジェクタ投影されたバーチャルハンドを自分の手の代わりとして操作する身体拡張型インタフェースを提案する。特に、本研究ではバーチャルハンドの操作から表示までをタブレット端末1台で行うシステムを設計・開発した。この特徴により、車椅子使用者が本システムを車椅子へ組み込んで使用し、コミュニケーションの場に役立てるといような応用が考えられる。

Tablet-based Body-extending Interface for Gesture Communication ～Stand-alone ExtendedHand～

YUTA UEDA^{1,a)} YUKI ASAI^{1,b)} RYUICHI ENOMOTO^{1,c)} TAKUYA SHINMEI^{1,d)} NORIKO TAKEMURA^{1,e)}
DAISUKE IWAI^{1,f)} KOSUKE SATO^{1,g)}

Abstract: Hand is an essential part of our body for communication. However, in a situation that we reach a distant target, we can't express our intension fully because our arm has limit of the length. In this paper, we propose the body-extending interface for this situation. In our proposed system, we manipulate a projected virtual hand instead of our real hand for reaching distant targets. We can use this proposed system by using only single tablet PC and a projector. The compact settings enable us to reach the distant target easily. We think that our system will be helpful especially for wheelchair users.

1. はじめに

人間は手を使用して他者とのコミュニケーションを行う。手の表現力は高く、手のポーズや動きは自分の意図を伝えることや相手の行動を類推することに役立つ。しかし、遠くの物を対象としたコミュニケーションにおいては、相手の意図を類推することが困難になる。例えば、相手が離れた位置の本棚を指差した場合、その行為がどの本を指して

いるのかを直観的に理解することは困難である。このため、遠くの対象を明確に示すためには指差ではなくレーザーポインタ等のポインタが使用される。しかし、ポインタには手のような自由度がないため表現に乏しく、ポインタを使用している際に、対象を手で直接扱うような表現力の高いコミュニケーションが出来ているとは言えない。また、一般的なポインタやリモコンで遠隔対象の選択や操作を行う際、その動作は日常的な身体動作と乖離している。例えば、対象のある場所へ移動させるときに、その位置や方向を逐一コントローラで指定する操作手法には、実際に手で物を持って動かすような動作が含まれず、直観性を欠いている。

小川、岡原らは、直接手で対象を扱うかのように、遠隔対象に働きかけるシステム ExtendedHand を提案した [1] [2]。

¹ 大阪大学

Osaka University

a) ueda@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp

b) asai@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp

c) enomoto@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp

d) shinmei@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp

e) takemura@sys.es.osaka-u.ac.jp

f) daisuke.iwai@sys.es.osaka-u.ac.jp

g) sato@sys.es.osaka-u.ac.jp



図 1 スタンドアローン型 ExtendedHand を車椅子に組み込み、使用した様子。タブレット端末をタッチするユーザーの手の状態と同期して、プロジェクタ投影されたバーチャルハンドが動作する

ExtendedHand では多関節を持つ手の CG モデル (バーチャルハンド, ハンド) を実世界上にプロジェクタ投影する。ユーザーは自分の手を動かすことでこのバーチャルハンドを制御し、対象へと働きかける際に自分の手の代わりに使用する。このとき、バーチャルハンドはユーザの手の状態に同期して動作する。このように、バーチャルハンドを使用することで、対象が手の届かない位置にあっても、手の形が持つ表現力の高さを利用したコミュニケーションが可能となる。また、ExtendedHand には手の模倣物を身体の一部のように感じるラバーハンド錯覚の知見が用いられており、自分の身体の一部のようにバーチャルハンドを操作すること、つまり自分の身体を拡張し、身体による操作範囲を拡張することを研究の最終的な目的としている。しかし、過去の研究では心理学的な実験や考察が主であり、日常生活で実際にシステムを使用するには、入力機器を利用性の高いものに変更する必要や、ハンドの操作法を検討して新たに設計を行う必要がある。

そこで、本研究では、岡原らのコンセプトを元に、システムとしての実用性を考えた新たな ExtendedHand を提案・実装する (図 1)。岡原らは赤外線カメラでユーザの手の状態を推定していたが、本研究では機器自体が広く普及し、使用に際する準備が少なく、光源環境に依存せず手を検出できることから、タブレット端末のタッチパネルを用いてユーザの手の状態を推定する。スマートフォンでバーチャルハンドを操作するという、著者の過去の研究 [3] では、そのシステムに通信用のアクセスポイントが必要であり、デ

バイスに関しては入力用スマートフォンと、手の状態推定からハンドの描画までを行う PC の、最低 2 機のデバイスが必要であった。今回新たに、システムを据え置き型で操作するような状況でも簡便に使用できるよう、タッチ検出から手の状態推定・ハンドの描画までを一つのタブレット端末で行うシステムを構築した。また、実用上の機能やハンドの取りうる動作を増やした上で、研究成果を配布可能な Windows アプリケーションの形式にまとめた。研究成果を還元し、システムの改善に繋がるよう、専用サイト^{*1}での配布を行っている。本稿では、従来の関連研究との考察、並びに本システムの設計・実装とシステムの使用者のコメントに基づく考察を記す。

2. 関連研究

2.1 ラバーハンド錯覚による身体拡張感

ExtendedHand にはラバーハンド錯覚の知見を取り入れている。ラバーハンド錯覚は Botvinick らによって初めて報告された [4]。Botvinick らは、被験者を椅子に座らせ、被験者から見て自分の手の位置にラバーハンド (ゴム製の腕の模型) が見えるように、仕切りや鏡を設置した。次に、実験者は被験者の手とラバーハンドを同時に筆でなぞる。このとき、被験者は筆による触刺激を手で感じながら、筆でなぞられるラバーハンドを観察する。この同期の結果、身体固有受容感覚がラバーハンドの位置する側に転移することが示された。この研究をきっかけとして、人工的な手のモデルへの身体感覚の生起が数多く研究され、ゴム製の腕モデルだけでなく CG によるバーチャルな腕モデルもその研究対象となった。Yuan らは、HMD を使用し、没入型 VR 空間で一人称視点でバーチャルハンドを操作した場合にラバーハンド錯覚の効果が表れることを示した [5]。実験では、被験者の腕の動きに合わせてバーチャルハンドが動くシステムと、矢の CG が動くシステムの 2 つが実装されており、同様に動く CG であっても、その見た目が手であることが身体感覚の生起に重要であることが示されている。また、Maria らは、データグローブで操作を行うバーチャルハンドを実装し、そのハンドを前方のスクリーンにプロジェクタ投影してステレオグラスで観察させ、被験者に操作をさせた [6]。この結果、被験者の手の動きとバーチャルハンドの動きの同期に遅延が少ないことがラバーハンド錯覚の効果を高める要因の一つであることが示された。

ExtendedHand に関しても、ラバーハンド錯覚が生じることが岡原らにより報告された [2]。ラバーハンド錯覚の研究としては、投影されたバーチャルハンドを目視する際に同様の錯覚が生じるかという点が新しい。岡原らは、この投影ハンドと被験者の手に筆で同時に触刺激を与え、その結果、固有受容感覚が投影ハンド側に転移するこ

^{*1} ExtendedHand (2015 年 12 月 14 日現在)
<http://www.extendedhand.net/>

とを示した。今回提案するシステムにおいても、このバーチャルハンドを使用している。また、本システムにおいても、バーチャルハンドへの身体感覚を高めるために、ユーザーの手の状態とバーチャルハンドの状態を同期した操作法を設計し、動きの同期に関する遅延を抑えるように実装を行っている。

2.2 仮想手を用いた対象へのインタラクシオン

近年、バーチャルハンドの操作は、モーションキャプチャセンサでゲーム内のアバターの手を操作するような状況でよく見られる。また、近年では主にディスプレイやHMDに表示されるCGを、バーチャルハンドで3次元的に操作することのできるLeapMotion^{*2}が開発されている。ExtendedHandでは、主にVRの分野としてディスプレイ内で使用されてきたバーチャルハンドを実世界上にプロジェクタ投影し、実物体を対象とするARの立場から使用することを提案する。

実世界上でバーチャルハンドを使用する関連研究としては、PoupyrevらのGoGoインタラクシオンが挙げられる[7]。この研究では、HMD上に表示されるバーチャルハンドを、遠隔対象に向けて自分の腕を伸ばすことで操作する。今回提案するExtendedHandでは、プロジェクタ投影によってバーチャルハンドの様子を複数人で共有することが可能となっており、その他、ハンドの指が操作可能である点や手元操作でハンドを制御できる点などがPoupyrevらのシステムとは異なる。また、関連研究として、テレグジスタンスの分野で投影ハンドを遠隔ロボットに実装した研究[8]や、遠隔協調作業時に、HMDで共有したバーチャルハンドから作業視点位置を指示する研究[9]がある。このように、バーチャルハンドはコミュニケーションの場に有用であると考えられる。また、本研究では、関連研究で用いられるHMDやデータグローブなどは、装着が必要となるために使用せず、日常生活での使用の容易さを考慮して、空間に取り付けられたプロジェクタと簡便な入力機器のみのコンパクトな設計を重視している。このため、一般的に普及しているタブレット端末を入力機器に用いる。

一方、タブレット端末でバーチャルハンドを操作する研究としてはTHINGがある[10]。THINGでは、キャラクターの手の部分のCGを直観的に生成するために、タッチパネルからバーチャルハンドを操作する手法を提案している。本研究で用いたタッチ座標に基づく手の状態推定は、著者自身の過去の研究[3][11]を発展させたものである。そのため、THINGとはハンドの並進操作が大きく異なり、今回提案するExtendedHandでは、自分の手の代わりとして使用する際に実用性の高い動作が行えるようになっている。

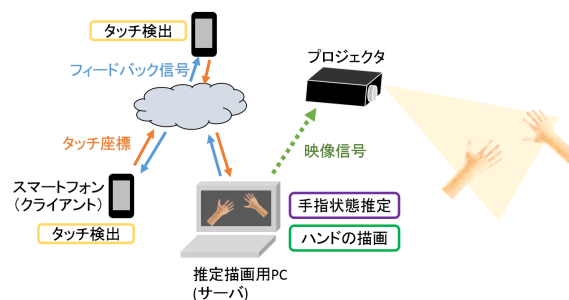


図2 従来システムのコンセプト

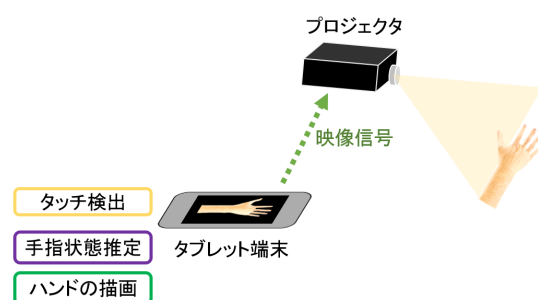


図3 新たに提案するスタンドアローン型のコンセプト

3. スタンドアローン型 ExtendedHand

3.1 システムコンセプト

図2は著者が過去に発表したスマートフォンによるバーチャルハンド操作(InstantReach)[3]のコンセプト図、図3は本研究で提案するシステムのコンセプト図である。図2のシステムでは、Androidスマートフォンでアプリを起動し、WiFiにアクセスしている描画用PCとソケット通信で接続を行う。そして、スマホからタッチ点等のデータを送信し、PC側で残りの処理を行う。このシステムでは、ユーザーはスマホのみを保持すればよいという簡便さがある。また、WiFiを使用しているため、多人数で同じアクセスポイントにアクセスすることで、多数のハンドを投影し、複数人で各々のハンド操作を行うということも可能である。例えば、会議室などで各々がスマートフォンを取り出し、会議ボード上のコンテンツを指差したり、操作したりして討議を行う、というような状況での使用に適している。

図3で提案するシステムは、スタンドアローン型である。本システムではWindowsタブレット1台でタッチの検出からハンドの描画まで全てを処理する。本システムは、例えば電波の途絶している廊下での使用など、その環境のネットワークの有無に依存せずに使用できることが利点であり、従来よりも使用可能な範囲が広がっている。本システムは、例えば車椅子にタブレット端末とプロジェクタを組み込み、車椅子使用者が移動した先の手の届かない場所に対して投影ハンドを使う、というような状況での使用に

^{*2} Leap Motion (2015年12月14日現在)
<https://www.leapmotion.com/>

適している。

3.2 システムデザイン

スタンドアローン型 ExtendedHand について、仕様を詳細にデザインする。使い方は次の通りである。タブレット端末をプロジェクタに無線接続等で接続し、その画面を複製状態にする。アプリケーションを起動すると、タブレット上には黒を背景としたバーチャルハンドが全画面表示され、プロジェクタの投影像からはバーチャルハンドのみが見える (図 3)。ここで、タブレットの画面をタッチしたまま手指を動かすと、そのユーザーの手の状態に合わせて画面内のバーチャルハンドが動作し、複製された投影ハンドを操作することができる。アプリ使用時のユーザーの視点は投影ハンドにあることを想定しているが、オプションの設定やアプリの終了時にはタブレット端末に視点を戻して操作を行うことを想定し、操作用のボタンをアプリの画面上に設置する。

操作に関しては、端末の画面サイズと指の動かしやすさを考慮し、タッチに使用する指は基本的に親指、人差し指、中指の 3 指とした。特に 3 指をともに使用する 3 指タッチを標準操作としているが、人差し指による 1 指タッチ、親指と人差し指による 2 指タッチ、人差し指と中指による 2 指タッチもユーザーの操作方法に含めている。また、4 本目の指が触れることでハンドの操作が停止する現象を避けるという理由と、5 指全てを接触させた操作の方が自然だと感じるユーザーに対応するという理由から、4 指以上でもハンドの操作を受け付けている。

次に、バーチャルハンドで行う動作について考える。基本的には、ユーザーの各指とバーチャルハンドの各指が対応しており、タッチパネルに指を接触させたまま指先を中央に向けてすばめると、対応するハンドの指が屈曲する。以前のシステム [3] では操作法を 3 指タッチのみに定めていたが、例えば、この状態で親指と人差し指によるつまみを動作を行う場合には、動作に使用しないハンドの中指を曲げておくために、自身の中指をタッチパネル上で中央に向けて大きく動かす必要があった。過去のデモ発表で頂いたコメントから、従来の設計では少数の指のみを使用する動作の操作が難しいということがわかった。ここで、特に実用的な手の動作については、その動作に使用しない指をタッチパネルから離すように操作法を変更し、操作性の改善を試みる。手の実用的な動作として、人差し指を用いた指示動作や親指と人差し指によるつまみ動作、全ての指を曲げる把持動作が挙げられる。このうち、指示動作についてはタッチ点が 1 個のときに、つまみについてはタッチ点が 2 個かつ、タッチが親指と人差し指によるものと判断できたときにその操作を行う。ハンドの行う把持動作については 3 指の曲がり具合から判定を行う。このように指示やつまみ動作などの実用的な動作については、標準操作の他

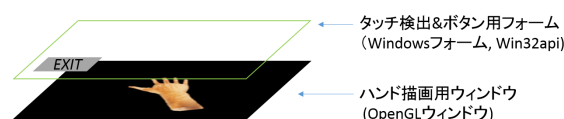
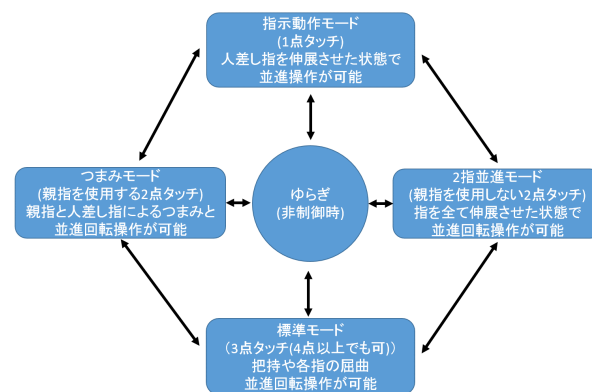


図 5 画面構成

に個別にモードを設けた (図 4)。

最後に、ユーザーがハンドの操作を少しの間止めているような状況を考える。以前のシステム [3] では非制御時のハンドは不動であったが、不動ではハンドに移っていた身体感覚が薄れていくのではないかと考え、非制御時のハンドには生体的なゆらぎを行わせ、生物的な印象を持続するようにした。

3.3 実装

以上のデザインを踏まえ、実装を行う。開発用 PC には Surface Pro3 (Windows 8.1, 64bit) を使用し、開発環境として Visual Studio 2013 Community を使用した。初めに、画面の設計を行う。グラフィック部分には OpenGL によるウィンドウを使用する。ここで、タッチを検出しながらハンドを全画面表示させるためには工夫を行う必要がある。本システムでは、OpenGL ウィンドウより前面に、WindowsAPI によってタッチ検出用のフォームを作成し、フォームの透明度を上げることでハンドが確認できる状態を作成する (図 5)。よって、本システムでは 2 つのアプリケーションが同時起動し、共有メモリを通じてデータのやり取りを行う。このシステム全体の処理フローを図 6 に示す。

手の状態推定については、初めにタッチ点の個数を読み取り、その個数が 2 個の場合は、その座標の離れ具合から、親指と人差し指によるタッチか、人差し指と中指によるタッチかを判別する。手の並進・回転・指の屈曲等は初めに指が端末に触れたときのタッチ位置と現在のタッチ位置を比較することで推定する。具体的には、タッチ点の重み付き重心の移動量をハンドの並進操作に使用し、人差し指・重心・中指がなす角の変化をハンドの回転操作に、各

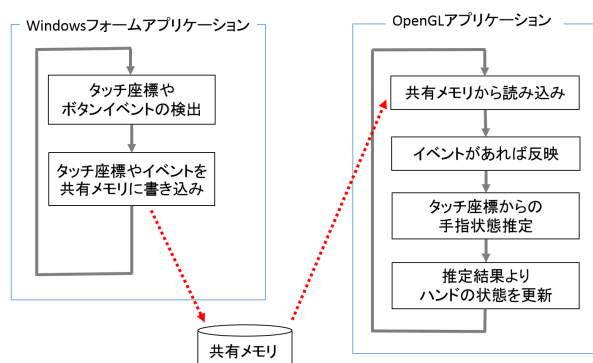


図 6 処理フロー

タッチ点と重心との距離の変化を各指の屈曲操作に使用する。非制御時には、間欠カオス法のアルゴリズムを参考に揺らぎを実装した。また、ハンドの表示については並進時に腕が伸びるように表示し、今回新たにハンドに服を着せている。

これらの実装の他、アプリとしてはメニューボタンを画面に設置した。ボタンを押すとメニュー画面が起動するようになっている。機能については、まずはアプリの終了処理を Exit ボタンで実装した。

4. システムの動作検証

4.1 システムの使用

Windows 8.1 64bit のタブレット PC を持つユーザーにアプリをダウンロードさせ、本システムを使用させた。この結果、対象機器 5 台全てでシステムが正しく動作することを確認した。

4.2 考察・システムの改善

システムの使用者から、投影先とプロジェクタとの距離によってバーチャルハンドのサイズを変更したいというコメントが得られた。このため、ハンドのサイズを変更する機能をメニュー画面に追加し、システムを改善した。これに関しては、実際に建物の案内板や本棚の本に対して本システムを使用した際に、プロジェクタと対象の距離の関係からハンドのサイズが対象に対して過度に大きくなり、対象を正確に指示することが困難であった状況を確認している。このような操作性の観点からハンドのサイズを変更可能にしておく必要がある。また、単に投影されたハンドのサイズが大きいことに対して違和感を感じるという意見も得られた。このような違和感は、バーチャルハンドへの身体感覚から生じるのではないかと考えられる。ハンドを手と認識した場合に、サイズが自分の手より過度に大きいことで身体感覚が減衰するのではないかと考えられ、ハンドの大きさは身体感覚に関係する要因の一つでないかと考えられる。本システムを車椅子に組み込み使用した時の様子を図 1 に、システム改善後のアプリ画面を図 7 に、アプ

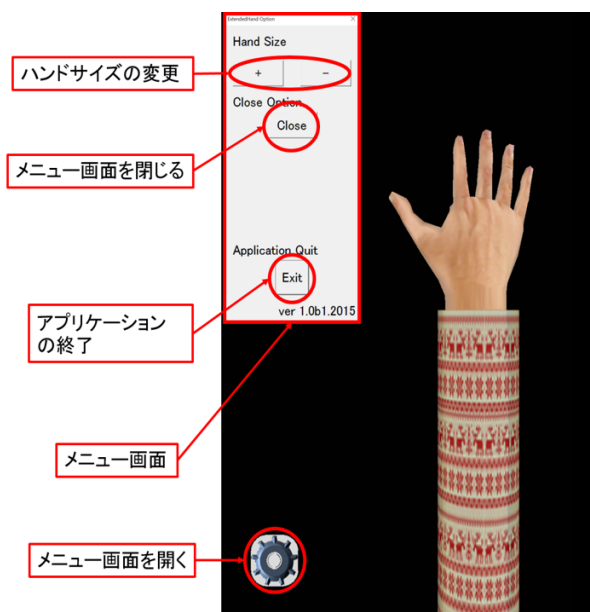


図 7 アプリケーション画面 (メニュー画面表示時)



図 8 操作時のバーチャルハンドの状態

リ使用時のバーチャルハンドの挙動の一例を図 8 に示す。

5. おわりに

実世界上で投影バーチャルハンドを操作することによって身体を拡張するという、コミュニケーション支援のインタフェースを開発した。本システムが一つのタブレット端末で構築できることにより、環境のネットワークに依存せずにシステムを使用することや、他の装置へ本システムを組み込むことが容易になった。例えば、車椅子やベッドサイドにシステムを組み込み、福祉支援として ExtendedHand を使用するような応用が考えられる。今後はアプリの配布やデモによってシステムの利用者を増やし、得られたコメントをもとにシステムの改善や身体感覚に関わる要因を調べたい。

参考文献

- [1] Shuhei Ogawa, Kohei Okahara, Daisuke Iwai and Kosuke Sato. A Reachable User Interface by the Graphically Extended Hand. In Proceedings of IEEE Global Conference on Consumer Electronics, pp.215-216, 2012.
- [2] 岡原浩平, 小川修平, 新明拓也, 岩井大輔, 佐藤宏介. 身体拡張型インタフェースのための前腕の投影表現に関する基礎検討. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.19, No.3, pp.349-355, 2014.
- [3] Yuta Ueda, Daisuke Iwai and Kosuke Sato. InstantReach: Virtual hand interaction using smartphone. In USB Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, S&T Demos 14, 2015.
- [4] Matthew Botvinick and Jonathan Cohen. Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see. *Nature*, Vol.391, Issue 6669, p.756, 1998.
- [5] Ye Yuan and Anthony Steed. Is the rubber hand illusion induced by immersive virtual reality ?. In Proceedings of IEEE Virtual Reality, pp.95-102, 2010.
- [6] Maria V Sanchez-Vives, Bernhard Spanlang, Antonio Frisoli, Massimo Bergamasco and Mel Slater. Virtual hand illusion induced by visuomotor correlations. *PloS one*, 5(4):e10381, 2010.
- [7] Ivan Poupyrev, Mark Billinghurst, Suzanne Weghorst and Tadao Ichikawa. The go-go interaction technique: non-linear mapping for direct manipulation in VR. In Proceedings of ACM symposium on User interface software and technology, pp.79-80, 1996.
- [8] MHD Yamen Saraiji, Charith Lasantha Fernando, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi. Development of mutual telexistence system using virtual projection of operator’s egocentric body images. In Proceedings of International Conference on Artificial Reality and Telexistence Eurographics Symposium on Virtual Environments, pp.125-132, 2015.
- [9] Morgan Le Chénéchal, Thierry Duval, Valérie Gouranton, Jerome Royan, and Bruno Arnaldi. The stretchable arms for collaborative remote guiding. In Proceedings of International Conference on Artificial Reality and Telexistence Eurographics Symposium on Virtual Environments, pp.147-150, 2015.
- [10] Merwan Achibet, Géry Casiez, Anatole Lécuyer and Maud Marchal. THING: Introducing a tablet-based interaction technique for controlling 3d hand models. In Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.317-326, 2015.
- [11] 上田雄太, 岩井大輔, 佐藤宏介. バーチャルハンド操作のための携帯タッチ端末を使用した手指状態推定. 第 59 回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCT’15) 講演論文集, 343-3 (4 pages), 2015.