

手の動きに追従する UI とその領域拡大のための研究 A Study to Spread the Area of Followable User Interface Environment

水谷 晃三[†]
Kozo Mizutani

1. はじめに

筆者は、住宅やオフィスなど建物の中での利用を前提として、PC やスマートフォンなど情報端末を携帯することなく利用できる新しい形のユーザインタフェース (UI) の実現方法を研究している。天井部に設置したセンサで利用者の動きを捉え、同じく天井部に設置したプロジェクタで利用者の手に UI を投影する。UI は利用者の手の動きに追従するように投影されるため、デバイスを携帯することなく従来のようなコンピューティング環境が提供される。

先行研究の試作システムでは 1 台のセンサとプロジェクタのみを用いているため、利用者に追従できる領域は狭く、同時に利用できる人数も物理的に増やすことができない。追従可能な領域を広げて実用化を目指すためには、複数台のセンサとプロジェクタを使用するとともに、同時利用者の数が増えたときのシステムパフォーマンスの低下を抑える必要がある。本稿では、これらの課題を踏まえた領域拡大の方法について検討する。

2. 手の動きに追従する UI

2.1 Followable User Interface の概要

筆者は、プロジェクションマッピングの技法を用いて利用者の手に UI を投影することにより、スマートフォンなどのような端末を利用者が携帯することなく利用できるコンピューティング環境の実現を目指している。手の動きに追従して UI が投影されるため、このようなコンセプトの UI を Followable User Interface (FUI) と独自に呼んでいる。

現状では、天井部に設置したセンサとプロジェクタを用いてこれを実現しようとしている (図 1)。1 つの UI は 1 つのプロジェクタ出力の領域の一部分のみを使って利用者の手に投影される。残りの領域は利用者の手の可動領域となるほか、他の利用者の UI を投影するための領域として使用される。プロジェクタの解像度が高まるほど、投影される UI の解像度は高まる。高解像度化と短焦点化が同時に実現できると、解像度を保ったままより広い領域をカバーできるようになり、1 つのプロジェクタでより多くの利用者へ UI を同時に提供できるようになる。さらに、複数のセンサとプロジェクタを用いることで、FUI の環境をより広い領域で提供できるようにすることを目指している。

2.2 関連研究

奥村らの Lumipen ではハイスピードカメラを用いて手の動きを捉え、プロジェクタからの投影軸をミラーによって制御することで手の動きに追従しながら UI を投影した[1]。Wilson らの LightSpace[2]では深度センサと複数のプロジェクタを用い、手の動きに追従する形でオブジェクトを投影

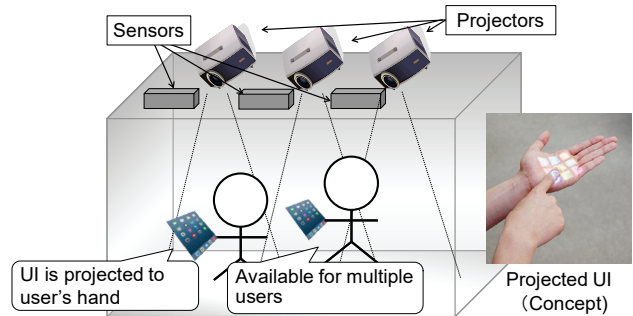


図 1 Followable User Interface のコンセプト

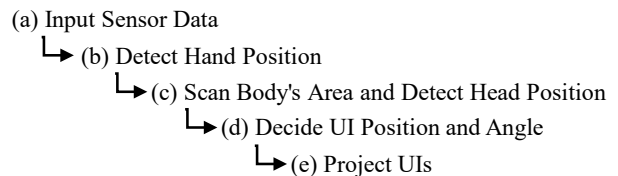


図 2 先行研究システムの内部フローの概要

する仕組みを実現した。Lumipen では UI を追従させるための可動式のミラーが利用者ごとに必要になるため、複数利用者の同時利用には対応させにくい。LightSpace は、その方法自体は筆者らの方式に類似するが、LightSpace が既存のコンピューティング環境の拡張を目指しているのに対し、筆者の研究では既存のコンピューティング環境に代えて利用者が端末等を携帯しなくても利用できる環境の実現を目指している点に相違がある。

このほか、利用者の手に UI を投影する仕組みを持つ研究には OmniTouch[3]や SixthSense[4]があるが、センサとプロジェクタを肩部や胸部付近に装着する必要があるなど筆者らの研究目的とは大きく異なる。

3. FUI の利用領域拡大のための方式

3.1 先行研究における課題と並列分散処理方式の検討

FUI の先行研究では、1 台の深度センサと 1 台のプロジェクタを用いて手の動きへの追従や運動視差による立体視表示の仕組みの検討を行ってきた[5,6]。図 2 に示すように、(a) 深度センサからの深度値の取得、(b) 手の領域の検出、(c) 利用者の胴体および頭部位置の推定、(d) UI の位置や向き決定、(e) プロジェクタ出力の順に処理を行うが、(b) や (c) は処理の負荷が高く、特に (c) の負荷は利用者の数に応じて増加する。将来、UI をジェスチャにより操作する仕組みを実現しようとする、処理の負荷はさらに増える。

これを踏まえ、複数のセンサとプロジェクタを用いて FUI の利用領域を拡大するために、図 3 に示すような並列分散処理方式のシステムアーキテクチャを検討する。本方式ではセンサごとにセンサノードを設けて (a)~(c) の処理を行う。その結果を複数のプロジェクタが接続されたプロ

[†] 帝京大学理工学部情報電子工学科, Department of Information and Electronic Engineering, School of Science and Engineering, Teikyo University.

ジェクションノードが受取り (d), (e) を行う。プロジェクションノードについてもプロジェクタごとに分散化する方式も考えられるが、これは今後の課題とする。

3.2 センサノード間の認識処理の委譲

各センサは、それぞれのセンシング領域が利用者の手の大きさ程度にオーバーラップするように配置するものとする。この場合、例えば図 4 の User A, B のように、立ち位置によっては利用者の領域が 2 つ以上のセンシング領域に跨ることがある。この状況下で利用者の手や頭の位置の認識処理を並列分散的に行うために、センサノード間で認識処理を委譲する仕組みを設ける。各センサノードで、まず (a), (b) の処理を行う。(c) の処理においてセンシング領域の最も外側の領域 (接続領域) に到達した場合は、その領域と同じ領域を含む他のセンサノードへ処理を委譲して、委譲先で (c) を継続する。委譲を受けたセンサノードは処理結果のみを委譲元に返すが、処理中に自身の接続領域に達した場合は、さらに別のセンサノードへ処理を委譲する。これを再帰的に行うことによって (c) を並列分散化する。

3.3 ノード間のフレーム同期

各センサは独立して動作しており、各センサノードがセンサからデータを受信するタイミングはそれぞれで異なる。一方、3.2 で述べた委譲の仕組みの実現や一連の処理の結果を UI の投影に反映するためには、ある時点におけるデータの同期をとる必要がある。この対応として、NTP (Network Time Protocol) によってノード間で実時刻の同期をとったうえで、ノード間がやり取りするデータにそのデータが発生した時刻を付与してフレーム同期をとる。ただし、委譲処理はその回数が増えるほど処理時間を要するほか、ノード間の通信上の遅延の影響も考えられる。そこで、閾値を設けてこの値以上の遅延が生じた場合はデータを破棄したり処理を中断したりすることとする。

4. システムの試作結果と考察

3. の検討を踏まえてノード間の通信プロトコルを定義して、先行研究のシステムに実装した。検証のため、深度センサ 2 台 (Microsoft Kinect V2) を床から 2.5m, プロジェクタ (BenQ TH682ST) 2 台を床から 2.3m の高さに下方へ向けて横方向に並べるようにそれぞれ設置した。この際 2 つのセンサ間の距離は 1.0m, プロジェクタ間の距離は 0.8m とした。センサノードには Core i7-8700, プロジェクタノードには Core i3-4170 の CPU を搭載するコンピュータを使用し、これらを 1000Base-T (Jumbo Frame) のネットワークで接続して検証を行った。

投影の対象となる手の高さを床から 1.2m としたとき、幅方向に約 2.2m, 奥行き方向に約 0.8m の大きさで FUI の環境を実現できることを確認した。図 5 に実行結果例を示す。複数人の同時利用においても、それぞれの利用者の手に UI を投影できることを確認した。処理の委譲が発生したときも 33.3ms 未満の時間で処理が行われており、システム全体として遅延なく 30fps で動作できることを確認した。しかしフレーム同期については、OS の NTP では十分な精度が得られず、データの破棄が生じたりして、手の動きに対する UI の追従が不自然になるなどの現象が生じた。フレーム同期の精度を向上させるために独自の仕組みを実

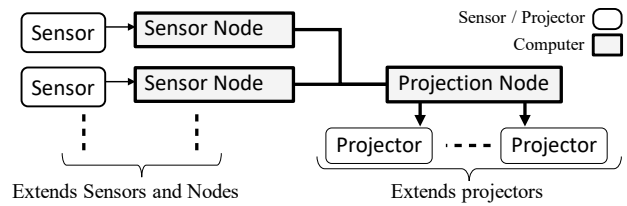


図 3 FUI 環境のための分散構成

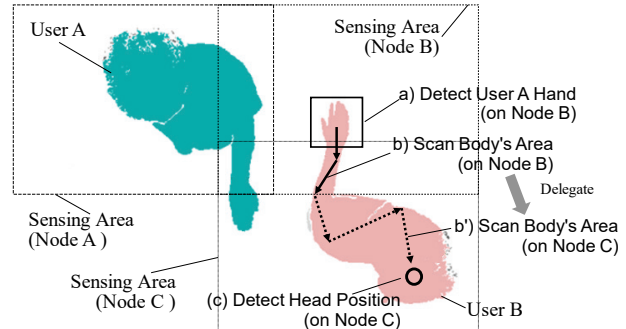


図 4 センサノード間の認識処理の委譲

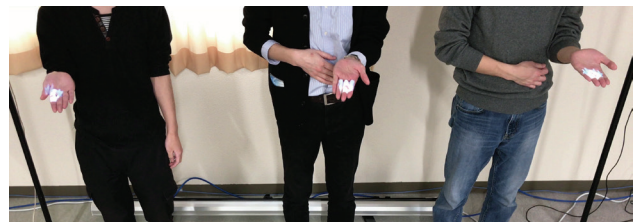


図 5 実行結果例

装するなど改良を施すとともに、センサやプロジェクタの台数を増やして本方式の定量的な評価を行う必要がある。

5. おわりに

本研究では手の動きに追従する UI において追従可能な領域を拡大するために独自の並列分散処理方式を検討した。試作システムの実装を通じ、本方式により効果的に領域を拡大できる可能性があることを示した。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP18K11580 の助成を受けた。

参考文献

- [1] 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊, “高速光軸制御を用いた動的物体への投影型拡張現実感”, 映像情報メディア学会誌, Vol.67, No.7, J204-J211 (2013).
- [2] Andrew D. Wilson, Hrvoje Benko, “Combining Multiple Depth Cameras and Projectors for Interactions On, Above, and Between Surfaces”, Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology, pp.273-282 (2010).
- [3] Chris Harrison, Hrvoje Benko, Andrew D. Wilson, “OmniTouch: Wearable Multitouch Interaction Everywhere”, Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp.441-450 (2011).
- [4] P. Mistry, P. Maes, “SixthSense-A Wearable Gestural Interface”, In the Proceedings of SIGGRAPH Asia 2009, p.1 (2009).
- [5] 山崎雄太, 大塚友章, 高笠綾華, 水谷晃三, 荒井正之, “複数人の利用者の絵の動きに追従するユーザインタフェースの研究”, 情報処理学会第 78 回全国大会, 6Y-3 (2016).
- [6] 杭陳琳, 岩崎信一郎, 高嶋蘭太郎, 水谷晃三, “手の動きに追従する UI における運動視差による三次元表示方法の研究”, 情報処理学会 第 82 回全国大会, 6ZB-07 (2020).