

なでて操作するカードボード HMD

加藤 邦拓 宮下 芳明*

概要. カードボード HMD が普及し、手軽に VR コンテンツを体験できる環境が実現してきた。一方で、現状のカードボード HMD では ON-OFF 制御を行うスイッチとしての入力機構しか備えておらず、その制約下でしかアプリケーションを作ることができなかった。本研究ではこうしたカードボード HMD のためのコントローラ作成手法を提案する。これにより HMD をなでてのスクロールやスワイプなどの操作ができる。また、コンテンツにマッチした様々なインタラクションを実現することが可能となる。例えば、釣りゲームにはリールを回すような操作を、物を投げるコンテンツには手を前に振る操作を入力するコントローラを HMD 上に実装できる。提案手法では先行研究 ExtensionSticker の技術を用い、導電性のパターンを印刷した HMD 上をタッチして、内部に格納したスマートフォンを操作する。また、コンテンツのアプリケーションだけでなく、コントローラのパターンや HMD の図面も配信・共有が可能である。今回、提案手法を用いた VR コンテンツを作成するメイカソンを実施した。本稿ではその作例を挙げ、提案手法によって実現しうる様々なインタラクションの可能性も議論する。

1 はじめに

今日、Oculus Rift や Gear VR などパーソナル向けの HMD が普及している。これらのデバイスは加速度センサなどの入力装置が標準で搭載されている。ユーザの頭の向きや位置を検出することで自由に視点を変えることを可能とし、より没入感のある体験を提供できる。また、ユーザは VR コンテンツを作成、配信し、それらをインストールするだけで誰もが自由に体験可能な環境が実現してきている。

こうした HMD の中でも、特に簡単な構造のものとして Google Cardboard¹ やハコスコ² などのダンボール製の箱でできたものがある。これらの HMD はダンボールを加工して組み立てた箱にレンズを取り付け、ディスプレイとしてスマートフォンを内側に入れて使用する。コストが低く HMD 自体を容易に入手できるため、スマートフォンを所持するユーザであれば Oculus Rift と同等の VR コンテンツを手軽に体験できる。また、ユーザが所持するスマートフォンに合うようサイズを加工したり、外装を自分の好みにデザインしたりと容易にカスタマイズすることも可能である。

一方で、画面の直接タッチ操作が主な入力であるスマートフォンを HMD の内部に格納するため、外部からの操作が困難であるという問題がある。これを解決するため、Google Cardboard では HMD 内部のスマートフォンを操作する入力インタフェースとして磁石を使用している。HMD 側面に張り付け

たリング状の磁石の動きをスマートフォンの磁気センサによって読み取りスイッチとして使用している[2]。また、HMD 上部に設けた物理ボタンを押しこむことで入力を行うものも発表されている。この物理ボタンには導電性の素材が貼り付けられており、ユーザがボタンを押した際に、導電性素材を介して画面の一部がタップされる。しかし、これらの入力手法では ON-OFF 制御を行うスイッチとしてしか使用しておらず、他の操作は実現できなかった。また、アプリケーションの開発者はこうしたデバイスの持つ制約のもとでしかコンテンツをデザインすることができなかった。本研究ではカードボード HMD に着目し、VR コンテンツのためのコントローラを作成する手法を提案する(図 1 a)。

提案手法では導電性のパターンを印刷したカートリッジを HMD 内部に設置することで入力インタフェースを実現する(図 1 b, c)。

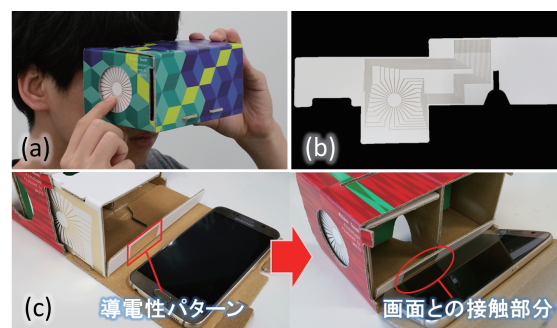


図 1. (a) タッチインタフェース使用外観, (b) インタフェースカートリッジ外観, (c) インタフェースカートリッジの挿入. HMD 内部の導電性パターンとスマートフォン画面の接触状態を保つ

Copyright is held by the author(s).

* Kunihiro Kato, Homei Miyashita, 明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻

¹ <https://www.google.com/get/cardboard/>

² <http://hacosco.com/>

表 1. 類似 HMD との比較

HMD	HMD 外部での操作	操作の種類	操作位置の変更
Oculus Rift	PC マウス, キーボード	スクロール, クリック	不可
Gear VR	タッチパッド	タップ, スクロール, スワイプ	不可
Google Cardboard 1	磁石 + 磁気センサ	磁石操作による ON-OFF 制御	不可
Google Cardboard 2	ボタンを介したタッチ入力	特定箇所におけるタップ操作	不可
ハコスコ	不可	直接画面タッチ	不可
提案手法	HMD 側面によるタッチ操作	タップ, スクロール, スワイプ	自由に変更可能

これによりユーザは VR コンテンツと同時に、そのコンテンツに適したコントローラも自由にデザインすることができる。また、製作者はアプリケーションと共に、HMD の展開図とコントローラの PDF データを配信することで、誰もが容易にインタラクティブな VR コンテンツを体験できる環境が実現できる。今回、提案手法によるインタフェースが、いかにユーザを触発し多様な VR コンテンツを実現しうるかについての評価を行うため、VR コンテンツを開発するメイカソンを実施した。本研究では、このメイカソンで得られた作例をもとに、タッチインタフェースを搭載したカードボード HMD を用いたインタラクションの可能性について議論する。

2 タッチインタフェースを搭載したカードボード HMD

本手法では、タッチ入力を発生させるための導電性パターンを印刷したカートリッジ (以降、インタフェースカートリッジ) をコントローラとして使用する。提案手法と類似する HMD との比較を表 1 に示す。

2.1 ExtensionSticker 技術の使用

印刷する導電性パターンは、先行研究である ExtensionSticker の技術を用いて作成する [5]。ExtensionSticker は導電性インクを用いて印刷したシートを静電容量式タッチパネル上に貼り付けることで、入力インタフェースを拡張する技術である。静電容量式タッチパネルは、人体などの接地した導電体の接近によりタッチ検出を行っており、金属などの導電体を介した入力も可能である。ExtensionSticker ではこのことを利用し、導電性インクによって印刷した複数の細い線を密集させることで、それらを介したタッチ入力を行っている。ユーザが縞模様状に配置された複数の線に触れることで、シートを貼り付けた任意の箇所においてタッチ入力ができる。また、ユーザがこの細い線上を指でスライドさせる操作をすると、指と接触している線が順にずれていき、スクロール操作のような連続的タッチ入力も可能となる。

2.2 インタフェースカートリッジ

インタフェースカートリッジは導電性インクによって印刷したパターンを貼り付けたダンボールからなり、折り曲げた状態で HMD 内に挿入して使用する。導電性パターンは HMD の内部を通しスマートフォンの画面に接続される。ExtensionSticker の手法では、導電性パターンとスマートフォン画面を接触させるために、両面テープを使用している。提案手法ではテープ等を用いることなく、折り曲げたダンボールが元に戻る力を利用し、スマートフォンに押し付けるように接触させる。HMD の蓋を閉じて固定することでスマートフォンがインタフェースカートリッジに押しえ付けられ、接触状態を保つ。この際、スマートフォンの画面端 (長辺) から 10.0 mm がインタフェースカートリッジに接触する。この接触面上で行われるタッチ入力によってコンテンツの操作を行う。ExtensionSticker の認識精度の評価については文献 [5] で行われており、線の間隔が広く、接続する線が長くなると精度が下がることを示している。本研究ではこれをもとに、インタフェースカートリッジに印刷する縞模様状のパターンを、線の太さを 1.5 mm、間隔を 0.5 mm に設定した。

HMD 外装には操作部分として穴が開けられている。ユーザはこの穴を通してインタフェースカートリッジをタッチして操作する。また、インタフェースカートリッジを交換することで、異なる入力インタフェースを使用できるため、コンテンツに適した入力を行う様々なコントローラを提供できる。

提案手法によって実現可能なコントローラ例を図 2 に示す。ユーザの操作部分として導電性の線を円形に配置したインタフェースカートリッジを用いることで、回転操作を入力可能なコントローラを実現する (図 2 a)。導電性の線を平行に並べたパターンを用いることで、ユーザのスクロール操作を入力可能なコントローラも実現できる。このコントローラを HMD の側面に配置することで、HMD 上を上下または左右にスワイプするインタラクションが可能になる (図 2 b, c)。また、インタフェースを配置する場所も自由に変更することができる (図 2 d)。そのため Gear VR や、Google Glass のような HMD

側面上でのタッチ操作だけでなく、HMD 前面や上面、底面など様々な箇所を操作するインタラクションが実現できる。

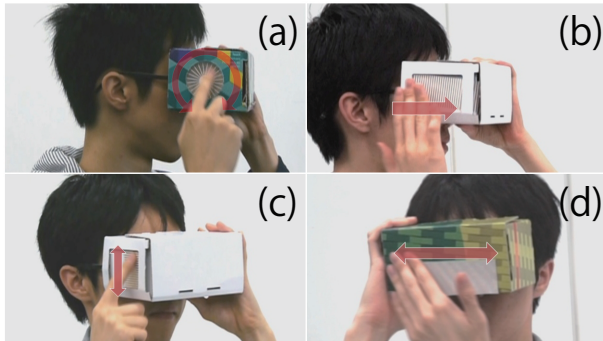


図 2. (a) 回転操作, (b) HMD 側面でのスワイプ操作, (c) HMD 側面での縦スクロール操作, (d) HMD 前面でのスクロール操作

3 VR コンテンツ作例

提案手法によるタッチインタフェースを搭載した HMD を用いた VR コンテンツを開発するメイカソンを実施した。メイカソン参加者はプログラミング経験のある大学生 6 名である。

3.1 アイデアソンの実施

メイカソン開始前に、提案手法によって実現できるインタラクションについてのアイデアソンを実施した。以下にアイデアソンで得られたコンテンツを示す。この結果、具体的なアプリケーション例の他に、提案手法のインタフェースに適したコンテンツや実現可能な新たなインタラクションなど様々なアイデアが得られた。

- FPS ゲームへの応用 (ライフルのズーム, 発砲など)
- 車のハンドルを回す操作
- 下がってきた眼鏡を持ち上げる操作
- ディスプレイの曇りを拭き取る操作
- ロープなどの巻取り操作
- VR 内のキャラクターに触れる操作
- 他のユーザが装着した HMD をタッチ操作
- 壁に設置した導電性パターンに HMD を押し付けてコンテンツを起動

3.2 メイカソン概要

メイカソンでは参加者に一定の時間を設け、提案手法を用いたカードボード HMD 上の使用を想定したスマートフォンアプリを開発してもらう。まず、

初めの 10 分程度でメイカソンの概要説明を行う。この際、提案手法による HMD の仕様、アプリケーション開発時のルールについて説明をした。

概要説明を終えた後、インタフェースカートリッジの使用方法について詳細説明を行った。コンテンツ作成に使用するインタフェースカートリッジとして、回転操作、横スクロール操作、縦スクロール操作の 3 種類を用意した。またこれらのコントローラは、導電性インクとインクジェットプリンタ (Brother, PRIVIO DCP-J740N) を用いてパターンを印刷し、インタフェースカートリッジ用のダンボールに貼り付けて使用した。導電性インクには銀ナノ粒子インク (三菱製紙, NBSIJ-MU01) を使用した。

この詳細説明の段階で参加者全員が提案手法による HMD 外部からのスマートフォン操作に成功したことを確認し、それから各自にアプリケーションの開発を行ってもらった。アプリケーションの開発時間は説明終了後の約 5 時間とした。

3.3 作例

参加者 A はトイレットペーパー巻取りゲームを開発した (図 3 A)。スマートフォンの画面内に巻かれた状態のトイレットペーパーが表示されており、HMD 側面に配置した回転インタフェースを用いて操作する。ユーザの回転操作によってトイレットペーパーを巻き取ったり、元に戻したりといったことができるコンテンツとなっている。

参加者 B は HMD を用いたロボット掃除機の制御コントローラを開発した (図 3 B)。コントローラとして回転インタフェースを使用しており、前後の回転操作をそれぞれロボット掃除機の前進・後退に割り当てている。

参加者 C は VR 空間内で自由に散歩ができるコンテンツを開発した (図 3 C)。スマートフォン画面内に 3D の空間が広がっており、HMD 側面の回転インタフェースによって前進・後退ができる。また、スマートフォンに内蔵されたジャイロセンサを用いており、ユーザの頭の向きによって VR 空間内での視点を操作できる。

参加者 D は早撃ちゲームを開発した (図 3 D)。回転インタフェースの任意の箇所をタップすることでゲームがスタートする。タップを行った後、一定時間後に画面が切り替わった瞬間にもう一度タップ操作を行い、タップ操作までにかかった時間を競うゲームとなっている。

参加者 E は背面カメラを用いた双眼鏡アプリを開発した (図 3 E)。スマートフォンの背面カメラから取得した映像をスマートフォン画面に表示しており、HMD 側面に配置した縦スクロールインタフェースによってズーム操作を行う。

参加者 F はタップ、スクロール操作最適化モジュールを実装した (図 3 F)。HMD 側面に配置した

回転インタフェース上でタップ、ダブルタップ、スクロールの何れかを行った際、それぞれどの操作が行われたかを画面内に表示する。



図 3. (A) トイレtpーパー巻取りゲーム, (B) ロボット掃除機制御コントローラ, (C) 3D 空間内での移動, (D) 早撃ちゲーム, (E) 背面カメラを用いた双眼鏡アプリ, (F) タップ, スクロール最適化モジュール

4 議論

4.1 コンテンツとインタフェースの親和性

提案手法では、インタフェースの配置や入力方法を自由に変更することでコンテンツにマッチしたインタフェースを容易に提供できる。これにより参加者 A が開発したアプリケーションやアイデアソンで挙げられた眼鏡を持ち上げる操作、ロープの巻取り操作などのように、コンテンツの動作に合ったユーザの操作を入力として使用できる。この他にも、ものを投げる操作には、HMD 側面上で手を前にスライドさせる動作を入力に、窓を開ける、本のページをめくるなどの操作には、HMD 前面上で手を左右に動かす動作を入力に、釣りをするアプリケーションやハンドルを回す操作には、回転動作を入力にするなど、コンテンツに合った様々なインタラクションの実現が考えられる。

4.2 内蔵センサと連携したコンテンツの可能性

参加者 C, E が開発したアプリケーションのように、スマートフォン内蔵センサを活用することで、より幅の広いコンテンツへの応用が可能となる。参加者 C はスマートフォンのジャイロセンサを活用しており、ユーザの頭の向きによって VR コンテンツ

内での視点制御を行っている。既存の様々な HMD デバイスにおいて、加速度センサ、ジャイロセンサを活用した視点制御が可能なコンテンツが数多く存在しているが、提案手法ではこうした既存の VR コンテンツを操作する手段としても有効なことがわかる。今回、参加者 C は回転操作を VR 空間内での移動のための入力として使用していたが、これにタップやスワイプ操作を別のアクションに割り当てることで、アイデアソンで得られた FPS ゲームなど、様々なゲームコンテンツへの応用が考えられる。この他にも、360 度全方向を自由に見回すことのできる動画コンテンツのための音量調節、動画のシーク操作などへの応用が考えられる。

また、参加者 E はスマートフォンの背面カメラを活用しており、HMD 上でのタッチ入力をズーム操作に割り当てている。既存の類似コンテンツとして、Gear VR に標準搭載されたパススルーカメラ機能が挙げられる。Gear VR にはデバイスの側面にタッチパッドが搭載されており、タッチ入力によるコンテンツ操作やメニュー選択が可能となっている。提案手法によって Gear VR のパススルーカメラ機能と同等のコンテンツも容易に実現できることがわかる。この他にも、AR を組み合わせたコンテンツや複数の端末を用いた多人数での対戦ゲームのようなコンテンツなど、様々な応用例が考えられる。

4.3 外部デバイスと連携したコンテンツの可能性

実施したメイカソンの中で、参加者 B のみが外部のデバイスと連携したコンテンツの開発を行っていた。参加者 B のアプリケーションは、ロボットの向きの制御などには至っておらず、HMD 上でのタッチ操作による前進・後退機能しか実現していなかった。しかし、ロボット掃除機上にカメラを搭載することで、ロボット掃除機の視点で映像を見ながら、リアルタイムに動作を制御するコンテンツも容易に実現可能である。

4.4 操作性向上の可能性

参加者 F の開発したアプリケーションは、ユーザが HMD 上で行ったタップ、ダブルタップ、スクロール操作を識別し、画面上に表示するという単純なものであった。しかし一方で、タッチ操作を行う際、スクロールとして識別するためのタッチ移動量や、ダブルタップとして識別するためのタッチのタイミングなどのパラメータ調整を行い、自分のスマートフォン上で提案手法を使用するための最適化を行っていた。そのため、参加者 F の開発したアプリケーションは、他の参加者が開発したものに比べて入力ミスが少なく、特に操作性の良いものとなっていた。

ExtensionSticker では、タッチ操作を行うための最適な導電性パターンの太さや間隔についての評価実験を行っており、複数の端末上での動作を確認し

ていた。提案手法ではそれをもとにインタフェースカートリッジ作成を行ったが、これに加えソフトウェア上でのパラメータ調整を行うことで、操作性を向上させるための最適化も可能であると考えられる。

4.5 アプリケーション実装手段についての考察

実施したメイカソンでは開発環境を自由として行ったが、参加者の内半数が JavaScript による開発を行っていた。これについて参加者に聞き取り調査を行ったところ、入力のために特殊なデバイスを使用せず、タッチ入力やセンサの情報を使用するため、ブラウザ上で動作させる JavaScript で十分であるという回答が得られた。また参加者 F は、画面を長押しすることでブラウザのページを更新する機能を設けることで、プログラムの更新時にスマートフォンを HMD から取り出さずに動作を確認する工夫をしていた。

4.6 ユーザによるオリジナル HMD 作成

提案手法は ExtensionSticker の手法と同様に、家庭用インクジェットプリンタと銀ナノ粒子インクを用いることで作成できる。今回実施したメイカソンでは、この条件のもとに作成したインタフェースカートリッジを使用することで、インクジェットプリンタと銀ナノ粒子インクを用いることでも実用可能なことを示した。

また、今日レーザカッターなどの機器も普及しており、HMD の展開図を切り出すことで容易に HMD 本体を作成できる。ユーザは VR コンテンツとそのオリジナルのコントローラをだけでなく、HMD 本体外装も含めて自由にデザインすることができる。

現在、App Store などを通じて個人が開発したアプリケーションを自由に配信し、またそれらを一般のユーザ誰もが使用可能な環境が実現している。本研究はユーザ個人が開発したインタラクティブな VR コンテンツを操作するための HMD と共に自由に配信し、誰もが体験可能な環境の実現にも貢献できると考えられる。

4.7 Maker Faire Tokyo 2015 での展示

提案手法を用いたカードボード HMD のプロトタイプを、2015 年 8 月に開催された Maker Faire Tokyo 2015 にて 2 日間展示した。展示期間中、数百名の来場者に対して動画やデモを用いた説明を行った。来場者の中にはカードボード HMD 上で用いる VR コンテンツの開発経験者もおり「開発のために使用したい」「既存のものでは操作ができず困っていた」などのコメントが得られた。

5 関連研究

5.1 スマートフォン入力手法の拡張

SideSight は端末の周辺領域を用いたスマートフォンの操作を実現している [1]。端末側面に複数の赤外線近接センサが配置されており、端末の周辺におけるタッチ操作を認識して操作を行う。SideSwipe ではスマートフォンの周辺空間でのジェスチャ入力により、端末を直接触れずに操作する手法を提案している [3]。この手法では、スマートフォンが通信に使用する GSM 信号を受信するアンテナを端末裏側に設置している。ユーザが端末周辺で手を動かした際に信号の一部が反射することを利用し、受信した信号の強弱から操作を識別する。Midas はスマートフォンなどのデバイス上にタッチセンサを貼り付けることでインタフェースの拡張を行っている [11]。また、インタフェースを作成するための支援システムも実装しており、作成したいインタフェースの形を描画するだけで、ボタンやスクロールなどのインタフェースを作成できる。デザインしたインタフェースに対し、ソフトウェア上で機能を割り当てることで、様々な機能を持つインタフェースを自由に作成できる。Acoustruments は、スマートフォン内蔵のスピーカ、マイクを用いたタンジブルインタフェースである [4]。スマートフォンのスピーカとマイクが管で繋がれており、スピーカから発生させた超音波をマイクで取得する。ユーザがこの管を握る、バルブを閉じるなどの操作を行うことにより発生する超音波のスペクトル変化を分析し、ユーザの操作を識別している。把持状態を識別するスマートフォンケースや、インタラクティブな玩具への応用など様々なアプリケーションを示している。また、Acoustruments の Web サイト内の紹介動画³では、本研究で対象としているカードボード HMD への応用例も示している。Clip-on Gadgets は触覚フィードバックのある物理的なボタンを配置したクリップ状のインタフェースである [7]。このクリップには導電性ゴムが配置されており、端末の画面に接触している。ユーザが物理ボタンを押した際に、導電性ゴムの配置箇所における静電容量を変化させてタッチ入力を発生させている。これらの研究のように、入力インタフェースを拡張し、直接端末に触れずとも操作を可能とする手法は数多く存在している。これに対し本研究では ExtensionSticker によって、印刷物を用いたインタフェースの拡張を行っているため、安価でかつ容易に実現することができる。

MagGetz は、磁石を内蔵したタンジブルインタフェースによる入力手法である [10]。ボタンやスライダ、ジョイスティックなどのインタフェース内に磁石が配置されており、それらが操作された際に

³ <http://www.disneyresearch.com/publication/acoustruments/>

生じる磁界の変化をスマートフォン内蔵の磁気センサで取得することで実現している。同様に Google Cardboard でも、磁石を活用したインタフェースを採用している。MagGetz のように、磁石を用いることでも様々な入力インタフェースを実現できるが、一方でソフトウェア上でそれらの操作の識別を行う必要がある。ExtensionSticker の手法では、回転やスワイプなどの様々なユーザの操作を入力として使用しているが、ソフトウェア上での認識はタッチパネル上のタッチ操作として扱うことができるため、アプリケーションの開発も比較的容易に行うことができるという利点がある。

5.2 導電性インクを用いた入力インタフェースの作成

導電性インクを家庭用のインクジェットプリンタから出力し、回路やセンサを作成する手法は Instant Inkjet Circuits として提案された [12]。PrintSense ではこの手法を用い、電極パターンを印刷することでタッチセンサを作成する手法を提案している [8]。ユーザのマルチタッチ操作に加え、近接、圧力、センサ自体の折りたたみ状態など複数の情報を取得可能であり、様々なデバイスのプロトタイプを実装できる。A Cuttable Multi-touch Sensor も同様に導電性インクを用いたタッチセンサを実現している。タッチセンサの一部を切り取っても動作する回路設計を提案しており、様々なデバイスに合わせた形の入力インタフェースを実現可能となっている [9]。これらの研究では、ユーザの入力のために電子回路を必要としているが、本研究では印刷したパターンをタッチパネル上に接触させるだけで使用できる。

6 まとめ

本研究では、カードボード HMD のためのコントローラ作成手法を提案した。導電性インクを用いて印刷したインタフェースカートリッジを使用することで、内部のスマートフォンを HMD 上をなでることで操作できる。既存のカードボード HMD では、ON-OFF 制御を行うスイッチとしての入力機構しか備えていなかったが、提案手法では ExtensionSticker の技術を利用し、スクロールやスワイプ操作を可能とした。またインタフェースの配置や入力方法を変更することで、コンテンツにマッチした様々なインタラクションを実現する。本稿では、提案手法を用いたメイカソンを実施した。そこで得られたコンテンツをもとに、提案手法によって実現可能な様々なインタラクションの可能性を示した。なお、本研究は UIST 2015 にてデモ発表を行う予定である [6]。

謝辞

本研究は WHITE Inc. 及び、サンメッセ株式会社と共同で開発を行ったものである。

参考文献

- [1] Alex Butler, Shahram Izad, Steve Hodges. SideSight: Multi-“touch” Interaction Around Small Devices, In *Proc. UIST’08*, pp.201-204, 2008.
- [2] Boris Smus, Christopher Riederer. Magnetic Input for Mobile Virtual Reality, In *Proc. ISWC ’15*, pp.43-44, 2015.
- [3] Chen Zhao, Ke-Yu Chen, Md Tanvir Islam Aumi, Shwetak Patel, Matthew S. Reynolds. SideSwipe: Detecting In-air Gestures Around Mobile Devices Using Actual GSM Signals, In *Proc. UIST’14*, pp.527-534, 2014.
- [4] Gierad Laput, Eric Brockmeyer, Scott E. Hudson, Chris Harrison. Acoustruments: Passive, Acoustically-Driven, Interactive Controls for Handheld Devices, In *Proc. CHI’15*, pp.2161-2170, 2015.
- [5] Kunihiro Kato, Homei Miyashita. ExtensionSticker: A Proposal for A Striped Pattern Sticker to Extend Touch Interfaces and its Assessment, In *Proc. CHI’15*, pp.1851-1854, 2015.
- [6] Kunihiro Kato, Homei Miyashita. Creating a Mobile Head-mounted Display with Proprietary Controllers for Interactive Virtual Reality Content, In *Adjunct Proc. UIST’15*, 2015.
- [7] Neng-Hao Yu, Sung-Sheng Tsai, I-Chun Hsiao, Dian-Je Tsai, Meng-Han Lee, Mike Y. Chen, Yi-Ping Hung. Clip-on Gadgets: Expanding Multi-touch Interaction Area with Unpowered Tactile Controls, In *Proc. UIST’11*, pp.367-372, 2011.
- [8] Nan-Wei Gong, Jürgen Steimle, Simon Olberding, Steve Hodges, Nicholas Gillian, Yoshihiro Kawahara, Joseph A. Paradiso. PrintSense: A Versatile Sensing Technique to Support Multimodal Flexible Surface Interaction, In *Proc. CHI’14*, pp.1407-1410, 2014.
- [9] Simon Olberding, Nan-Wei Gong, John Tiab, Joseph A. Paradiso, Jürgen Steimle. A Cuttable Multi-touch Sensor, In *Proc. UIST’13*, pp.245-254, 2013.
- [10] Sungjae Hwang, Myunwook Ahn, Kwang-yun Wohn. MagGetz: Customizable Passive Tangible Controllers On and Around Conventional Mobile Devices, In *Proc. UIST’13*, pp.411-416, 2013.
- [11] Valkyrie Savage, Xiaohan Zhang, Bjorn Hartmann. Midas: Fabricating Custom Capacitive Touch Sensors to Prototype Interactive Objects, In *Proc. UIST’12*, pp.579-588, 2012.
- [12] Yoshihiro Kawahara, Steve Hodges, Benjamin S. Cook, Cheng Zhang, Gregory D. Abowd, Instant Inkjet Circuits: Lab-based Inkjet Printing to Support Rapid Prototyping of UbiComp Devices, In *Proc. UbiComp’13*, pp.363-372, 2013.