

卒業論文2016年度

圧力のみを利用する
選択ユーザーインターフェースの
開発と提案

慶應義塾大学環境情報学部4年
加藤貴之

目次

第1章 はじめに

- 1.1 研究背景
- 1.2 研究動機
- 1.3 目的

第2章 圧力式ユーザーインターフェース Clutch の提案

- 2.1 概要
- 2.2 着想を得た先行事例
 - 2.2.1 Gear

第3章 実装

- 3.1 実装にあたって
 - 3.1.1 デバイスの選定
 - 3.1.2 開発言語の選定
- 3.2 実装
 - 3.2.1 概要
 - 3.2.2 画面説明
- 3.3 問題点
- 3.4 フィードバックを受けてのチューニング
 - 3.4.1 メニュー項目数の削減
 - 3.4.2 選択に必要な時間の削減

第4章 関連研究

- 4.1 親指圧による五十音入力装置の開発
- 4.2 *Pressure-based menu selection for mobile devices*

第5章 考察

- 5.1 実装を終えて
- 5.2 圧力インターフェースの実例
- 5.3 圧力インターフェースの今後

謝辞

参考文献

第 1 章 はじめに

1.1 研究背景

2017 年現在市場で主流になっている静電容量式タッチパネルを搭載したスマートフォンの原型となったのは、2007 年の 1 月に発表された Apple 社の初代 iPhone である。iPhone 以前にもスマートフォンは市場に存在したが、物理キーボードと感圧式タッチパネルを併用し、iPhone 以後主流となった静電容量式タッチパネルによるものとは大きく異なるものであった。

画面設計において、現代において主流のスマートフォンである iPhone、Android OS 搭載スマートフォンがそれ以前の Windows Mobile などの OS を搭載したスマートフォン・PDA などのモバイル端末と比較して決定的に変化した点は、画面上のタッチするアイコン・メニュー項目などのサイズが情報量に対して大きくなったという事である。これは搭載するタッチパネルが物理的に押し込む必要のある感圧式から静電容量式に変化したことで、前提とする入力デバイスが先の細いタッチペンから先の太い人間の指に変わり、ユーザーインターフェース側も従来のタッチペンのような精密な座標のタッチでなくとも操作できるよう、適応する必要があったからであると言える。

以後 10 年間、端末のほぼ全ての操作を静電容量式タッチパネルで行うスマートフォンのユーザーインターフェースの形態はほぼ原型を留めている状態である。一方で、ユーザーインターフェースが大きく変化していない状況にも関わらず、スマートフォンのディスプレイサイズは年々大画面化の道を辿っている状況にある。Apple 一社の iPhone だけに限定して画面サイズの変遷を見ても、2007 年に発売されたオリジナルの iPhone が搭載していた 3.5 インチディスプレイから、2012 年に発売された iPhone 5 にて 4 インチに拡大し、更に 2 年後の 2014 年に発売された iPhone 6 では 4.7 インチになり、5.5 インチの大型モデルである iPhone 6 Plus も併せて発売された。一方の Android 搭載スマートフォンも同様に大画面化しており、2011 年上期には平均 3.88 インチであった携帯電話各社の発売した Android スマートフォンの画面サイズは翌年の 2012 年上期には 4.29 インチ、2013 年上期には 4.66 インチ、2014 年上期には 5 インチに突入し、下期にはピークの 5.14 インチに到達^[1]している。

このように iPhone は主流モデルが 4.7 インチ、Android も主流画面サイズが 5 インチ台と、静電容量式タッチパネルのスマートフォンが市場に登場した頃と比較すると画面サイズは大幅に拡大していることがわかる。

こういった時代背景の中、大きく変化していない静電容量式タッチパネル操作を中心としたスマートフォンのユーザーインターフェースは、大画面にも耐えうる設計にアップデートが必要とされている時代にあると言える。また、タッチパネルの画面座標に依存しない操作形態が実現すれば、先述した静電容量式タッチパネルになった際にスマートフォンの画面が太い指の入力に対応するために情報量が減少してしまった問題の解消にも繋がる。

1.2 研究動機

静電容量式タッチパネルがスマートフォンの入力装置の主流となって以来 10 年間、大きなユーザーインターフェースの変化は無かった一方で、新たなセンサーを搭載する機種も登場し始めた。2015 年 9 月に発表・発売された iPhone 6s 及び iPhone 6s Plus は、従来の静電容量式タッチパネルの裏に新たに圧力センサーを搭載することにより、従来の画面上のタップ操作に加えその圧力を感知して押し込むことによる新たな操作形態を実現した 3D touch に対応した。この圧力センサーという新たな入力装置によって、10 年間大きく変わらない形にあるスマートフォンにおけるユーザーインターフェースに対して新規性のあるアプローチが出来ないかと考えたのが今回の研究動機である。

また、圧力センサーを入力装置として利用した場合にユーザーがスマートフォンへ伝えられ

る情報量は単一のタップと比較し多段階であるため、現在画面座標の変化とタップを組み合わせ実現している多様な操作を画面座標による入力情報の変化を圧力で代替し、単一の座標で実現することによって、大画面を搭載したスマートフォンを片手で操作できる、画面座標の位置に依存しない入力のユーザーインターフェースを開発に繋がると考えられることから、市場のスマートフォンの画面サイズが大きくなり操作しづらくなっている問題点に直接的にアプローチできる方法であり、研究に着手する動機として十分な条件が揃っている。

1.3 目的

今回の研究の目的は、スマートフォンの画面サイズに左右されない、あるいは左右されにくいユーザーインターフェースを設計・実装し、実際にユーザーが利用した際に片手で操作しやすい効果的なユーザーインターフェースであることを実証することである。また、今回片手による操作という限定された環境下を条件とするが、圧力による操作における問題点を発見し、今後の同様の限定された環境下におけるインターフェース研究に役立てることを目指す。

第2章 圧力式ユーザーインターフェース Clutch の提案

2.1 概要

スマートフォンのタッチパネルの圧力センサーを用いた、リスト方式のナビゲーションを操作できるユーザーインターフェース「Clutch（クラッチ）」の提案を行う。Clutch はタッチパネルの圧力センサーを活用し、画面上の単一座標での押し込み具合でナビゲーションのブラウジングを完結させることのできるユーザーインターフェースである。

本稿では動画投稿サービス「YouTube」にアップロードされている動画のリストから任意の動画を圧力操作により選択し、再生を行うプロトタイプを作成する。

2.2 着想を得た先行事例

2.2.1 Gear

今回タッチパネル上でタッチする座標を変更せず、感圧センサーの数値のみによって操作するユーザーインターフェースを考えるにあたって、増井俊之教授の考案した Gear^[2]に着想を得た。Gear は、ふたつのキーだけを利用してナビゲーションを行う。ふたつのキーでそれぞれ上と下に項目を移動し、項目上で一定時間待つことで項目を展開する事ができる。この「一定時間待つ」という操作方法が今回 Clutch を開発するにあたって重大なヒントとなった。Gear ではふたつのキーしか利用していないのにも関わらず、一定時間待つという第三のアクションを導入する事によって操作できる範囲を拡張している。ユーザーの利用できる入力装置が限定されている際に操作形態をひとつ増やす事のできるこの手法は、今回提案する Clutch にも応用が可能なものだと考えた。

また、本稿の圧力式ユーザーインターフェース「Clutch」の命名は、マニュアルトランスミッションの自動車におけるギア（Gear）を操作する際に踏み込んだ圧力に応じて操作を行う事のできるクラッチペダルに着想を得たものである。

第3章 実装

3.1 実装にあたって

3.1.1 デバイスの選定

今回 Clutch を実装するにあたって、タッチパネルで圧力を取得できるデバイスが必要であった。Apple 社の iPhone シリーズであれば iPhone 6s, iPhone 6s Plus, iPhone 7, iPhone 7 Plus が 3D touch による圧力の取得に対応している。一方で Android 搭載スマートフォンでは Huawei Technologies 社の一部スマートフォンが Force Touch という圧力入力に対応した機能を搭載しているが、国内向けモデルはこれを搭載していないことから、今回は開発デバイスを iPhone に限定して開発を行う。

動作検証は筆者所有の iPhone 6s, iPhone 6s Plus, iPhone 7, iPhone 7 Plus で行うが、スマートフォンの大画面化に対して画面上の届きにくい座標まで指を伸ばさずに操作できるユーザーインターフェースの開発という本稿の趣旨に沿い、iPhone 6s Plus, iPhone 7 Plus での操作性を重視し、開発は iPhone 7 Plus で動作確認しながら進行する。

3.1.2 開発言語の選定

iPhone に搭載されている 3D touch の圧力情報は、通常の Objective-C や Swift で実装されたネイティブアプリのほか、iPhone にプリインストールされているブラウザ「Safari」で開いた Web サイト上でも JavaScript を用いて取得可能である。今回は実際に Clutch が動作するプロトタイプを作成するにあたって、速やかに実装及びテストを行えるよう、ブラウザ上で動作する Web アプリとして作成する。また、実装を円滑に行うため JavaScript での開発に jQuery のライブラリを用いる。

また、ユーザーに慣れ親しみの無い従来と異なるユーザーインターフェースを実装するにあたって、直感的なユーザーインターフェースにするためには画面上で起こっている現象をユーザーにフィードバックする必要があるため、CSS3 Transition による画面上のアニメーションを導入する。

3.2 実装

3.2.1 概要

今回 Clutch をデバイス上でデモするためのプロトタイプとして、YouTube の動画リストから任意の動画タイトルを選択し再生するプレイヤーを作成した。

3.2.2 画面説明

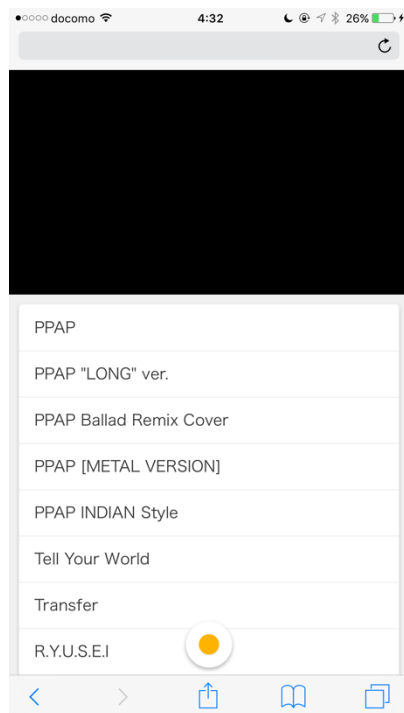


図 1

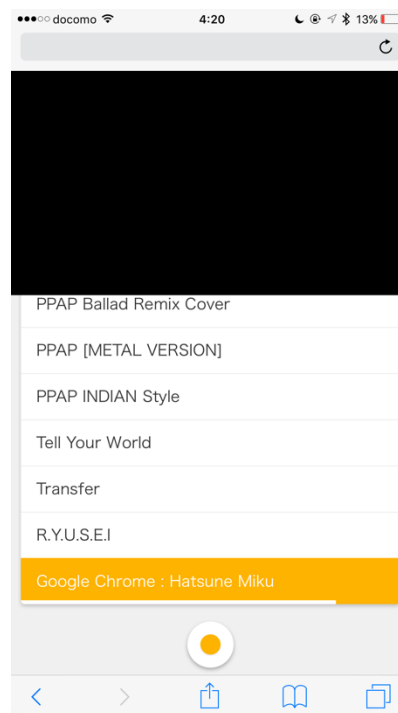


図 2

今回作成したプロトタイプでは画面上部に動画プレイヤーを配置し、その下部の残りのスペースにて動画タイトルのリストを配置し、スクロールする画面配置とし、画面最下部にユーザーの押し込みの圧力を取得する「Clutch ボタン」を配置した。(図 1)

Clutch ボタンの動作に関しては圧力のみによって操作が可能のため、画面上のどこに配置しても動作は可能である。考案当初は画面全体をボタンにするという案だったが、ユーザーが画面上のどの位置を操作するかを直感的にわかりやすく表現し、なおかつ大画面の端末であっても左手・右手どちらの手であっても片手で操作できるよう、左手・右手どちらでスマートフォン本体を持った際にも親指が届く範囲内である画面最下部中央にボタンを配置した。

Clutch ボタンを押し込むとリスト上の項目が最上部の項目から順にハイライトされ、最後まで押し込むと最下部の項目がハイライトされる。ハイライトされた状態の圧力をそのまま維持したまま一定時間経過する事によって、ハイライトされた項目の下のインジケーターが左端から右端まで到達し、動画が画面上部のプレイヤーに読み込まれる。また、インジケーターが右端に到達する前に圧力を変更する（押し込みを強めたり弱めたりする）と他の項目にハイライトが遷移し、インジケーターによるカウントダウンはリセットされる。(図 2)

3.3 問題点

作成したプロトタイプを実際に複数名のユーザーに使ってもらいテストしたところ、項目上で一定時間圧力を維持する事が難しいというフィードバックを受けた。また、中央に近い項目ほど力加減が難しく、圧力の維持が難しいというフィードバックもあった。

3.4 フィードバックを受けてのチューニング

先述のフィードバックを受け、基本的な操作形態は変更せず、数値などを変更させる事で使用感を改善させるチューニングを施した。

3.4.1 メニュー項目数の削減

最初のプロトタイプではリストの項目数を 18 項目に設定した。0～1 の圧力入力を項目数で分割するという実装の性質上、どうしても項目数が多いと一段階あたりの圧力の範囲が狭くなってしまい、操作の難易度が上がってしまう。そこで、直球ではあるがメニュー項目数を半分の 9 項目に減らしたバージョンを作成した。

実際にメニュー項目数を半分に減らしたものを再度複数名のユーザーにテストしてもらった結果、全てのユーザーが項目数の少ない物の方が使いやすいと答えた。

また、項目数をさらに 5 項目にまで減らしたバージョンも作成したが、こちらのフィードバックとしては、選択はしやすくなっているものの、ひとつひとつの項目を移動するのに必要な圧力が大きく、移動が面倒に感じるというフィードバックもあった。

3.4.2 選択に必要な時間の削減

Clutch はハイライトされたリスト項目の上で一定時間以上滞在する事によって項目を選択する仕組みであるが、圧力をこの一定時間維持する事が難しいとのフィードバックをユーザーから受けた。その対策として、選択に必要な時間を削減する事で操作の難易度が下がるのではないかと考えた。

最初のプロトタイプでは同じ項目上に 1 秒以上滞在した場合に項目を選択（動画をロードする）仕様としていたが、それを 1 秒から 0.5 秒に削減したバージョンを作成した。

こちらに関しても再度複数名のユーザーにテストを行った結果、全てのユーザーが使いやすいと答えた。

第4章 関連研究

第2章で先述したとおり，本研究は階層ナビゲーションを限定的な入力範囲内で操作するという発想において，増井俊之教授の **Gear** の研究を参考にしている．一方で圧力を利用したインターフェースに関する研究は今回開発に利用した **3D touch** を搭載した **iPhone** 以外のデバイスにおいても以前から行われており，圧力による入力の特性を知り，本研究により開発した **Clutch** の精度を向上させる関連研究として有用性がある．

4.1 親指圧による五十音入力装置の開発

2007年に発表された「親指圧による五十音入力装置の開発^[3]」では親指を動かさずに五十音入力を行う装置の設計・製作を行なっている．同研究では従来の携帯電話の入力装置と比較して遜色無い入力速度を実現している一方で，圧力による入力は間違い率が高く，これを改善するためには圧力入力の際にクリック感を持たせた触覚フィードバック，音を鳴らす聴覚フィードバックを持たせる事により，間違い率を下げる事ができると考察している．本研究ではユーザーの圧力入力に対して視覚的なフィードバックをアニメーションで行う事でユーザーの操作を補助しているが，触覚，聴覚におけるフィードバックは行っていない．今回の開発環境である **iPhone** の内蔵ブラウザである **Safari** では使用した開発言語である **JavaScript** からデバイスのバイブレータにアクセスする手法が用意されていないという技術的制約があるため，今後 **Clutch** の操作精度を向上させる場合は開発環境をネイティブアプリに移し，触覚と聴覚を用いたユーザーへのフィードバックを導入する事が精度の向上に繋がると考察する．

4.2 Pressure-based menu selection for mobile devices

2010年に圧力センサーを利用したメニュー選択インターフェースを複数提案し，操作速度・精度などを比較検証した研究^[4]がある．提案されたインターフェースの一つは **Quick Release** 方式と言う，圧力でカーソルを移動し目的の項目にカーソルが合わさったら指を離して選択する手法，もう一つは **Dwell** 方式と名付けられ，圧力でカーソルを動かし，本稿で作成した **Clutch** と同じく時間経過により選択を行うというものである．同研究によると **Quick Release** は操作速度に優れているものの，**Dwell** と比較すると精度に劣り，逆に **Dwell** は **Quick Release** ほど操作速度が得られないものの，正確な操作が可能という特性があると結論付けている．

時間経過による選択という手法は時間経過を待っている間に他の項目にユーザーの不本意に移動してしまう操作エラーの懸念はあるものの，相対的に精度の高い手法である事が述べられており，本稿での目的である大画面のスマートフォンにおける操作方法として有用である事が分かる．

第5章 考察

5.1 実装を終えて

本研究では大画面化の道を辿るスマートフォンにおいて、近年新たに搭載されたタッチパネルの圧力センサーに着目し、指の届く範囲内での圧力のみを利用した、片手でも操作しやすいユーザーインターフェースを目指して開発を行った。実際に実装を行いテストしてみたところ、圧力のみによる多段階の操作は精度の問題に直面する事が明らかになった。この精度の問題は先述した項目数の削減による一項目あたりの閾値を広くする、項目選択に用いる時間経過のタイミングを短く調整するなどのチューニングである程度改善できたほか、しばらく使うことによるユーザーの練度の向上によって精度が上がる傾向にあった。

精度の問題は残ったものの、スマートフォン本体のサイズに影響されず、片手で持った状態であっても一点の圧力操作のみによってコンテンツのリストの中から任意の項目を選択して閲覧するという目的は今回の実装で達成された。

実装を終えて、圧力インターフェースにおける主な課題は「操作方法の不透明さ」及び「操作の精度」の二点だと考えた。圧力による入力はユーザーにとって前例の少ないインターフェースのため、押し込んだ場合にどのような結果になるのか想像しづらい。また、操作方法を理解していても押し込み度合いが多段階のため、段階が増えすぎると押し込み具合を複数使い分ける事が難しい。この二点に関して、今回のClutchの実装では画面上に分かりやすい単一のボタンのグラフィックを配置する事で操作方法の不透明さを極力抑え、操作の精度は動作の数値を調整する事である程度高める手法を取ったが、一定の成果は得られたものの、引き続きこれらの点を改善する事が今後の課題である。

5.2 圧力インターフェースの実例

Clutchの実装を通して明らかになった圧力インターフェースにおける課題点を踏まえ、現在普及している製品における圧力インターフェースの実例を取り上げる。

普及している圧力を利用したインターフェースの代表例としては、ペンタブレットが挙げられる。PC向けのペンタブレットをはじめ、SamsungのスマートフォンGalaxy NoteシリーズのSペン、AppleのiPad ProシリーズのApple Pencilなど、PCやスマートフォン、タブレットにおいて実世界の筆記用具を模倣した感圧入力デバイスは一般に普及していると言って良いだろう。これらは既に筆記用具を用いて文字や図を描いた事のあるユーザーに対して実世界の筆記用具を模倣したインターフェースを提供しているため、鉛筆を使った事の無いユーザーでもなければ「操作の不透明さ」を感じるユーザーは少ないと推測される。また、「操作の精度」に関しても、既に実世界の筆記用具で練度を高めたユーザーの利用を想定しているため、こちらも問題ではない。実世界の道具を模倣したインターフェースのメリットとして、ユーザーの学習の必要性が最低限に抑えられるため、圧力インターフェースにおける「操作の不透明さ」「操作の精度」の両面において問題が発生しない例と言える。

また、体重計も圧力を利用したインターフェースを採用したデバイスである。体重計の場合、ユーザーが本体に乗るという明快な利用方法が「操作の不透明さ」を解消しており、また圧力による入力が重力・質量により一定に固定されるため、「操作の精度」による問題も発生しない。

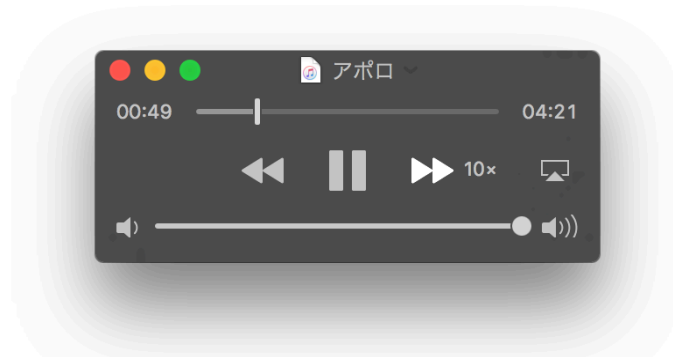


図 3

Appleの販売するノートパソコンのMacBookシリーズの近年のモデルは、トラックパッドにForce Touchと呼ばれる感圧入力を搭載している。これは従来のトラックパッドに感圧センサーを搭載しつつ、Taptic Engineと呼ばれる触覚フィードバックシステムを搭載することで、従来のクリック感を擬似的に触覚フィードバックで再現しつつ、クリックを多段階に取得できるようにしたシステムである。これは「操作の不透明さ」という観点においては従来のトラックパッドと全く同じ操作で利用できるためユーザーが迷う事は無いが、逆に多段階で入力できる箇所に関して画面上にヒントが無い場合、ユーザーは押すまでForce Touch対応ボタンかどうか分からない。Force Touch対応インターフェースの例としてMacにプリインストールされているメディアプレイヤー「QuickTime」（図3）を挙げる。早送りボタンはForce Touch対応トラックパッドであれば5段階の早送り操作が可能となっており、押し込み具合によって2倍速、5倍速、10倍速、30倍速、60倍速の早送りを切り替える事ができる。これらの段階はTaptic Engineの触覚フィードバックにより境界線が指先で感じ取れるようになっているため、ユーザーは指先の感覚を頼りに5段階の押し込みを高い精度で操作する事ができる。ユーザーが事前にForce Touchで押し込めるボタンが分からないため「操作の不透明さ」の問題点は抱えている一方で、「操作の精度」の側面においては触覚フィードバックを用いる事によって効果的に補完が出来ている例と言える。

5.3 圧力インターフェースの今後

先述したとおり、ペンタブレットにおいて従来の筆記用具にてユーザーが培った練度の恩恵で使い方に迷わないなど、圧力インターフェースの抱える「操作の不透明さ」と「操作の精度」の問題のハードルを大幅に下げなければ、普及には至らないと考えられる。

本研究ではそれら対策としてアニメーションを用いた視覚的フィードバックを施すアプローチを示したが、4.1の関連研究の章で取り上げたとおり、これに触覚・聴覚のフィードバックを与える事で操作の精度を改善する事が、普及に向けた課題である。触覚フィードバックを用いてユーザーの操作を補助する手法は5.2で取り上げたとおりMacBookのトラックパッドにも採用されている手法であり、関連研究の考察、製品の実例の双方の観点から見ても有用であると思われる。

スマートフォンの画面において、従来のタッチパネル上の座標に対して指を移動させタップする操作に対し、単一座標で圧力変化を入力とするインターフェースは指の動きだけでは視覚的な変化が見えず、言わば目隠しで文字入力をするようなものである。そのため、視覚・触

覚・聴覚によるフィードバックを返す事で、ユーザーが操作の段階を的確に把握できる実装が不可欠である。

今回の研究ではClutchは触覚・聴覚フィードバックを返す実装には至らず課題を残す形となったが、大型のディスプレイを搭載した機種であってもタッチパネル上の画面座標に依存せず、圧力の入力のみによってコンテンツをブラウジングできる事を実証できた。研究を通して明確になった圧力インターフェースの抱える課題に対してフィードバックによる補助を実装すれば、実用に耐えうる感圧インターフェースが作成できるのではないか。

謝辞

本研究を遂行，及び本稿を執筆するにあたり，担当の増井俊之教授にご指導・ご支援頂いた事をこの場を借りて感謝申し上げます．増井俊之研究室に四年間在籍してきた中で，増井俊之教授，そして増井俊之研究室の皆様には数え切れないほどの斬新なアイデア，インスピレーション，技術的な知見などの知的好奇心を満たす刺激を頂き，学生生活を実りある充実したものにしてくださった事を心から感謝申し上げます．

参考文献

- [1] スマートフォン画面、大型化は一段落か. ケータイ Watch
<http://k-tai.watch.impress.co.jp/docs/column/mca/719659.html> (2017 年 1 月 19 日閲覧)
- [2] 増井俊之. Gear: 最小限の操作による階層情報ナビゲーション, インタラクション 2015 論文集, 2015.
- [3] 杉上雄紀, 中尾政之. 親指圧による五十音入力装置の開発, 精密工学会学術講演会講演論文集 pp. 777-778, 2007.
- [4] Graham Wilson, Craig Stewart and Stephen A. Brewster: Pressure-based menu selection for mobile devices, Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services (MobileHCI '10), pp. 181-190, 2010.