

平成23年度 卒業論文

フレームタップ操作による
タブレット入力拡張方式の検討

平成24年 2月21日

08111034

中島 崇之

指導教員 三浦 元喜 准教授

九州工業大学 工学部 総合システム工学科

目次

第1章	はじめに	4
1.1	イディオム	4
1.2	端末におけるイディオム	5
1.3	研究の目的	7
第2章	コンセプト	8
2.1	フレームタップ検出方法	8
2.2	フレームタップスクロール	8
2.3	実験機	9
第3章	関連研究	11
3.1	物理的センサデバイス追加	11
3.2	Fat Finger 問題	12
3.3	静電容量変化を伴う部材の利用	12
3.4	加速度センサを利用したデバイスおよび操作状況の把握	13
第4章	基礎実験	15
4.1	静止測定実験	15
4.1.1	実験条件	15
4.1.2	実験結果	16
第5章	発展実験	20
5.1	自動車内測定実験	20
5.1.1	実験条件	20

5.1.2	実験結果	20
5.2	電車内（座り）測定実験	23
5.2.1	実験条件	23
5.2.2	実験結果	23
5.3	電車内（立ち）測定実験	26
5.3.1	実験条件	26
5.3.2	実験結果	26
5.4	歩行中測定実験	29
5.4.1	実験条件	29
5.4.2	実験結果	29
5.5	卓上測定実験	29
5.5.1	実験条件	29
5.5.2	実験結果	30
5.6	持ち方の統計	30
5.6.1	実験結果	30
5.7	発展実験の考察	33
第6章	フレームアップの実装	34
第7章	おわりに	35
謝辞		36
参考文献		37

第1章 はじめに

スマートフォンやタブレット型コンピュータが普及したことで、タッチパネルの使用が日常的となってきた。タッチパネルの特徴はその扱いやすさにある。画面をタッチすることで選択、スワイプやフリップすることでドラックやページ移動など、直観的な入力が可能となっている。しかし、直観的な入力手法であるため、タッチパネルで新しい機能を追加するには表示画面を削り、操作可能なオブジェクトを追加することになる。スマートフォンやタブレット型コンピュータは小型であり、物理的なボタンを追加することが難しい。この問題を解決するため、普段は行わない操作に機能を追加するイディオムという方法が存在する。

1.1 イディオム

イディオムとは言語的には言葉と言葉をつなぐことを意味するものである。例えば「血に飢える」など。「血」と「飢える」は本来関係ないが、繋げることで意味を持つものである。

同様に本論文においてイディオムとは経験によって学習（暗記）し、その行動が当然であるように操作する手法のことを言う。具体例としては、図 1.1 において「左のようなドアであれば横へスライドさせる。」「右のようなドアであれば手前に引く。」といった、当然の行動であるであるが、知らなければ使えない手法のことである。

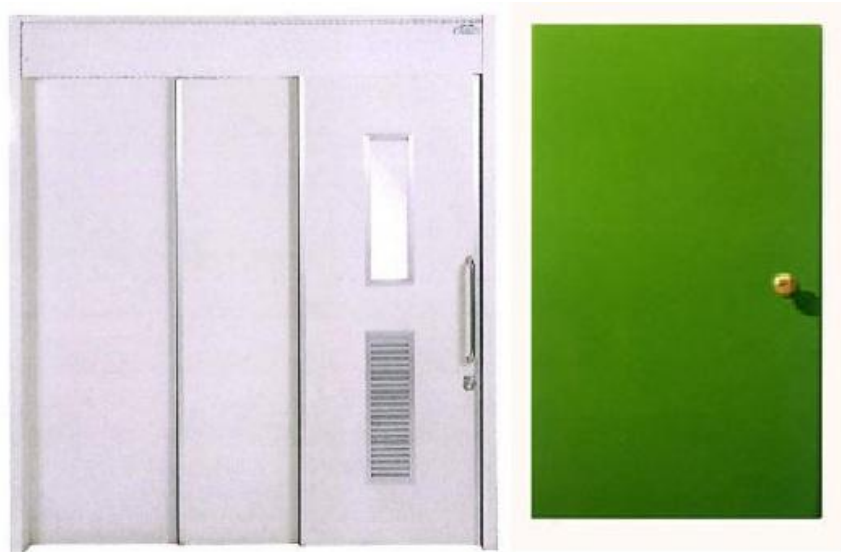


図 1.1 扉

1.2 端末におけるイディオム

通常スマートフォンやタブレット型コンピュータに新しい機能を追加するには、画面内に操作可能なオブジェクトを新しく配置する必要がある。しかし、スマートフォンやタブレット型コンピュータは画面が狭く、画面内に操作可能なオブジェクトを追加すると他の情報表示領域が限られるため、必要な機能を追加しにくい。

この問題を解決し、限られたスペースを有効活用しながら機能を追加するために、様々なイディオムが提案されてきた。例えば、図 1.2 のようにタッチパネルと筐体との境界部分から下方向に向かってスワイプすると「通知画面」を表示する機能、図 1.3 のようにホームボタンのダブルタップでよく使うアプリを表示する機能などがある。他にも iOS や Android などでは画面上部の境界をタップすると一番上にスクロールする機能や、四本または五本指で左右にスワイプするとアプリケーションが切り替わる機能などもある。



図 1.2 スワイプによる通知画面の表示



図 1.3 ホームボタンのダブルタップによるアプリ表示

このように現在でも、多数のイディオムが存在しており、イディオムをむやみに増やすことはユーザの混乱を招くおそれがあるが、適切に設計されたイディオムであればユーザにとってタブレット型コンピュータの使い勝手を向上させることができる。しかし、従来のタブレット型コンピュータにおいては操作可能なボタンの数や画面の領域は限られている。今後もイディオムが増え続けると、操作が複雑化し、適切に設計できなく

なると考えられる。

1.3 研究の目的

こういったイディオムの問題を解決するため、我々は端末以外のセンサやデバイスを追加することなく、実現可能なイディオムを多様化させる手法として、タッチパネルセンサ付きタブレット、スマートフォンの画面周囲（外枠部分）でのタップ動作検出手法を提案し、その有効性について検討する。

この手法が実用化すると、タップ位置に対する操作を追加することが可能であり、タップの方向、強さに応じた画面のスクロールなど、タッチパネルと同様な直感的なイディオムを追加することが可能である。

本研究は第1段階として画面周囲のタップ動作を検出するために必要な手法の確立。第2段階としてその手法が様々な状況下でも使用することが可能か調査。第3段階として手法を応用したアプリケーションの開発。という段階で研究を進めていく。

第2章 コンセプト

我々は、従来のスマートフォンやタブレット型コンピュータのタッチパネルセンサ付き画面の外部に、現実には存在していない仮想的なボタンを配置し、そこへのタップ動作を検出する方式を提案する。この仮想的なボタンの操作に対して機能を割り当てることで、スマートフォンやタブレットの操作を多様化し、ユーザビリティを向上させることを目的とする。

なお、本研究において提案する、タッチパネルセンサ付き画面外でのタップ動作、およびその手法のことを、縁や枠を叩くという意味で、以下では「フレームタップ」と呼称する。

2.1 フレームタップ検出方法

フレームタップの動作を検出する手法として、我々はデバイスに当初から組み込まれているセンサを利用する。最近のスマートフォンやタブレット型コンピュータにはタッチパネルセンサや照度センサをはじめ、多くのセンサが組み込まれている。その中でも、我々は3軸加速度センサとジャイロセンサを使用する。

フレームタップはタブレットの端をタップするため、本体に大きな回転や振動が発生する。タブレットは手に持って使うため、持ち方やタップの仕方によって得られる波形も大きく変わってくる。またタブレット型コンピュータの機種によって、センサの内蔵位置も異なるため、得られるセンサデータも異なることが予想される。今回は提案するフレームタップ手法の実現可能性を調査するため、実験機である GALAXY Tab におけるデータを取得し、それを解析した。解析結果と考察については第4章で述べる。

2.2 フレームタップスクロール

フレームタップ動作に割り当てる機能の具体例についてフレームタップスクロール

を提案する.

現在も画面上部のフレームとタッチパネルの境界をタップするとページの一番上に移動するイディオムはあるが、一番下へ移動するものが存在しない. そこで、フレーム上部、下部をダブルタップすることで長大な Web ページにおける閲覧箇所を一番上や一番下までジャンプさせることも考えられる. また、フレームタップでのタップ動作はタッチパネルセンサ付き画面のスワイプと異なり、自分の指で画面を覆い隠す心配がない. そこで、タップしたフレームの位置を特定し、その方向に画面をスクロールさせることで、画面を隠さず直観的にスクロールできる手法と考えられる.

2.3 実験機

図 2.1 および図 2.2 が今回使用する SAMSUNG 社の GALAXY Tab (SC-01C) である.

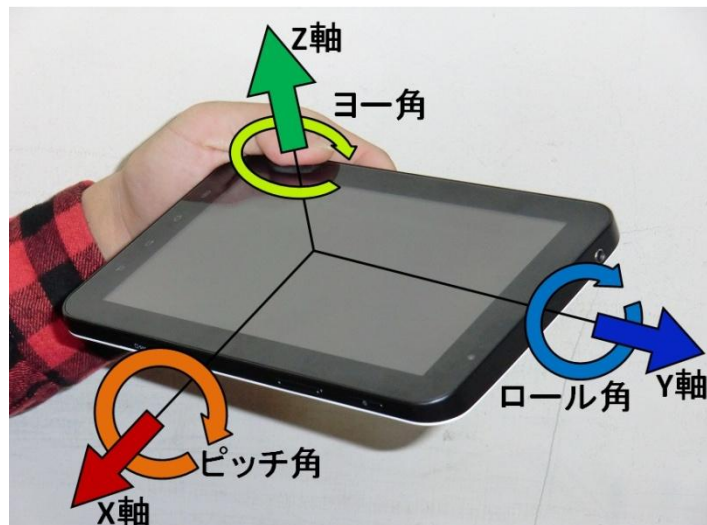


図 2.1 GALAXY Tab

図 2.1 のように、本体に対して x 軸 y 軸 z 軸が設定されており、それぞれの軸から時計回りにピッチ角, ロール角, ヨー角が設定されている. 加速度センサは Bosch Sensortec BMA020 Accelerometer ジャイロセンサは ST Microelectronics L3G4200D Gyroscope が組み込まれている.



図 2.2 操作例および仮想ボタンの位置

図 2.2 は実際にタブレット型コンピュータを操作しているときの様子であり，画面四隅の赤い丸で囲まれた部分を仮想的なボタンとする．

第3章 関連研究

3.1 物理的センサデバイス追加

従来、PDA や携帯電話等の、小型であるため効果的な入力手法が限られる情報機器について、自然なふるまいをセンシングする方法が多々提案されてきた。たとえば、すでに多くのスマートフォンやタブレット型コンピュータに実装されている、加速度センサによって傾きを判別し、自動で画面の向きを変更するといったものである。

過去に行われてきた研究の大きな流れの一つとして、本体に物理的なセンサデバイスを追加して、上記の目的を達成するアプローチがある。Hinckley らは、本体に赤外線距離センサ、傾きセンサ、タッチセンサを追加して、周辺状況に対応して自動でモード切り替えを行った手法を提案し、プロトタイプを作成している[1]。現在では一般的となっている傾きによる画面向きの変更や、近接センサを利用した利用状態の検出もこの研究で提案されていた手法である。

椎尾らは、表示コンテンツのスクロール操作と編集操作を直感的に切り替える手段として、「文鎮メタファ」にもとづくインタフェース手法を提案している[2]。本体下部にタッチセンサを追加し、タッチセンサに手のひらを接触させていれば画面は固定され拡大や縮小となり、接触がなければ画面はスクロールされる。片手で紙への筆記を行った場合と同等の自然なインタフェースを実現している。その他の手法として、Heo らは、iPod touch に全体を覆うフレームを取り付け、フレーム内の圧力センサで画面に対する垂直方向および画面水平方向に指で加える力を検出し、Web ブラウザのタブ切り替えやスクロールに応用する方法を提案している[6]。これらの研究は小型デバイスの機能を自然に拡張している点で有意義であるが、こうした手法を実現するためには本体に物理的なセンサやデバイスを追加する必要がある。小型・軽量を特徴とする情報端末にセンサを追加することは、本来の利点を縮小してしまうことにつながるため注意が必要であると考えている。

3.2 Fat Finger 問題

タブレットやスマートフォンのようなタッチパネルセンサを主に使用するデバイスが抱える問題として、指で画面を覆い隠すという点が挙げられる。これは直観的な入力の実現とトレードオフの関係にあるが、これを解決しようとする研究も行われてきた。

Baudisch らは、将来的に極小の画面を持つデバイスが一般化したときのインタラクション手法として、本体の背面から指で操作する方式 nanoTouch を提案している[3]。このコンセプトの有効性を確認するために、小型のタッチスクリーンを取り付けたデバイスを作成し、評価実験を行っている。

岩淵らは、背面インタラクションにおける指の位置を正確に視認するため、透明なインタラクティブディスプレイのプロトタイプを製作し、有用なアプリケーションや新たなインタラクションの可能性を検討している[4]。画面が透明であることで背面からの操作が簡単になっているが、透明であるため、背面から画面を他人に見られる可能性や、環境によって視認性に影響がでる場合がある。

3.3 静電容量変化を伴う部材の利用

Yu らは、タブレット本体の周囲に挟みこんだ状態で使用する無電源ボタン入力デバイス Clip-on Gadgets とツールキットを提案している[5]。iPod Touch 等の静電容量式のタッチパネルを使用しているデバイスに装着し、指を触れてボタンを押すと、タッチパネルセンサのわずかな外周部(3mm~5mm)に接した端子を通じてタッチパネルの反応を引き出すことができる性質を利用している。青木らも複数導電部をもつ枠型物理オブジェクトを介したタブレット操作を提案し、円形デバイスの回転や移動、複数のデバイスの区別等を簡易で安価な方法で実現している[7]。

これらのタブレットのタッチパネルセンサの特性を利用して、無電源、簡易でかつ安価な部材をつかって操作性を拡張する研究は、タッチパネルの進化に伴い、今後も盛ん

に行われることが予想される。しかし、これらの方式はわずかながらも部材の配置により画面を占有してしまうため、現在のスマートフォンやタブレット型コンピュータが備える小型の画面を最大限に活用するという点では制約となりうる。我々は、既存のデバイスが標準的に備えているセンサを最大限に利用し、画面を極力覆い隠さずに拡張することをねらいとしている。

3.4 加速度センサを利用したデバイス本体および操作状況の把握

これまでに述べた研究は本体にセンサデバイスを追加したり、特殊な部材を追加したりすることで機能拡張を実現している。しかし、近年スマートフォンやタブレットに標準的に組み込まれている加速度センサやアクチュエータを活用する研究も多い。

菅原らは、携帯電話が置かれている状況のうち、特に静止状態に着目し、机上にあるか手で持っているかといった状況を推定することを目的として、3軸加速度センサとPWM制御振動モータを用いたアクティブセンシング方式を提案している[8]。これにより静止した携帯電話がどのような状況に置かれているのかを高精度で判別することが可能となる。また河内らは携帯電話の身体上での格納場所判定機能のスマートフォン上への実装と応用システムの開発を行っている[9]。3軸加速度センサが示す加速度変動を解析することにより、端末が身体上の5カ所の既定場所のうちどこに格納されているかを判定することが可能となっている。萩谷らは、パスワードロック解除時のタッチパネル操作と、その際の加速度情報を用いて、持ち手と打ち手を判別する手法を提案している[10]。また石原らは加速度情報を個人認証に応用している[12]。このように、加速度情報を高度に利用して状況把握を行ったり、ユーザビリティ向上につなげたりする研究は数多く、こうした要求に対応した動作判別ライブラリを構築する試みもなされている[11]。我々のねらいは加速度情報を駆使して、画面外のデバイス本体上に実際には存在しない仮想的な「ボタン」を設定し、それをタップしたりクリックしたりしたときの動作を検出し、操作性向上に役立つ点にある。また本体に標準的に備え付けられる

ようになったジャイロセンサも組み合わせて、可能な限り仮想ボタンの精度を高めることを目的としている。

第4章 基礎実験

センサやデバイスを追加せずに新しい機能を追加するため、タブレット型コンピュータに初めから組み込まれている加速度センサとジャイロセンサを用いて、本体の姿勢変化や動きからフレームタップ手法におけるタップ位置を推定するための基礎実験を行った。

日常生活を行う中で加速度センサ、ジャイロセンサを使った動作を認識するためには、デバイスの持ち方、タップの行い方、使う人の動き等、イレギュラーを引き起こす要素が多数存在する。基礎実験として限定された条件下で実験を行い、フレームタップの有効性の検討を行った。

4.1 静止測定実験

静止測定実験においては、できる限り不確定要素を取り除く条件の下、実験を行った。

4.1.1 実験条件

- ① 椅子に座りなるべく動かずに行う。
- ② タブレット本体を背面から左手で包み込むように持つ(図 4.1 左)。
- ③ 右手の人差し指で表面から押すようにタップする。



図 4.1 実験におけるタブレット型コンピュータの持ち方
(左：適切な持ち方の例，右：不適切な持ち方の例)

まず、①は座った状態ということで、立って歩きまわるなど、あらかじめ防ぐことのできる不確定要素を取り除く。次に、②は持ち方一つでセンサから得られる値が大きく変わってくる。四隅をタップする際に、図 4.1 右のように持ち手がタップする場所の背面にあり、押しえられている場合は、振動の大半を持ち手が吸収してしまい、認識に利用できるセンサデータが得られない。そこで、持ち手は図 4.1 左のように、本体を包み込むようにして把持し、できるだけ自由度を高く保つことが必要である。最後に③だが、タップの方向によって同じ位置のタップでもまったく異なるデータが返ってくる。そういった不確定要素を防ぐために、統一したタップ方法で実験を行った。

実験では被験者として 3 人の学生から四隅をそれぞれ 10 回ずつ、計 120 個のデータを収集した。実験における測定動作はダブルタップのみとし、データ収集時間は 3000 ミリ秒とした。

4.1.2 実験結果

実験により取得したデータの一例を Microsoft Excel によってグラフ化したものを図 4.2 から図 4.5 に示す。グラフは加速度と角度の 2 軸折れ線グラフとなっている。左側

縦軸は加速度であり，単位は m/s^2 である．ただし，水平面上に置いてあるときに $0m/s^2$ となるように z 軸のみ重力の分 ($9.8m/s^2$) 差し引いている．加速度の波形は点線であり，緑色が x 軸，赤色が y 軸，紺色が z 軸で表示されている．

右側縦軸は角度であり，単位は $^\circ$ である．ただし，ヨー角は方位の北を 0° と基準にしており，北から時計回りに 360° 測定する．波形は実線であり，水色がピッチ (x 軸回転)，黄色がロール (y 軸回転)，紫色がヨー (z 軸回転) で表示されている．横軸は時間であり，単位はミリ秒 (ms) である．なお，以下のグラフでは 3 秒間の計測結果を示している．

実験を行うにあたり，「タップは表面から押すように行った」と条件付けした．これにより方位を調べるヨー角は反応が得にくいと考えられ，測定結果からも同様のことが言えた．逆に，ロール角とピッチ角はタップに対して大きな反応を示した．

実験データを解析すると x 軸加速度とロール角， z 軸加速度とピッチ角がそれぞれ非常に似た変化を示していることが確認された．

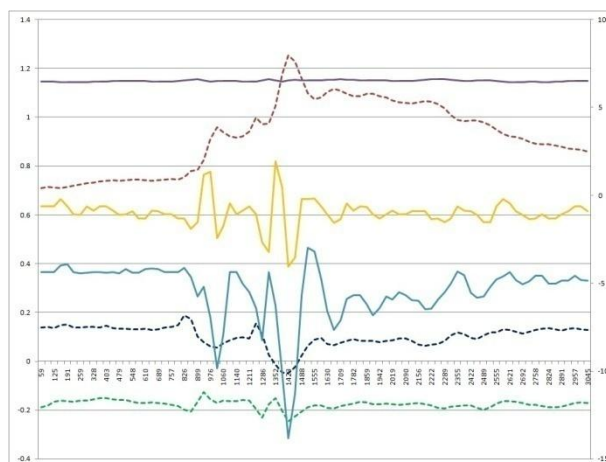


図 4.2 左下タップの波形

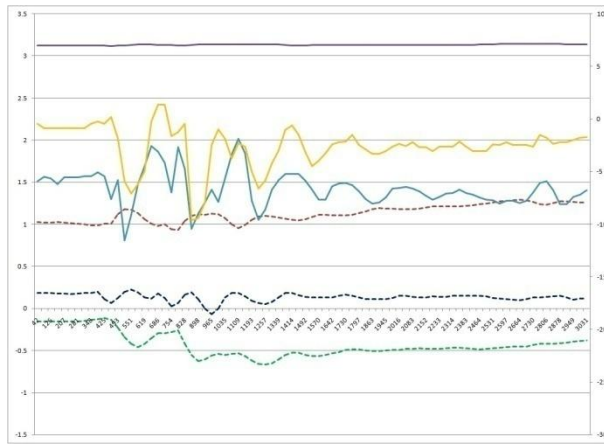


図 4.3 右下タップの波形

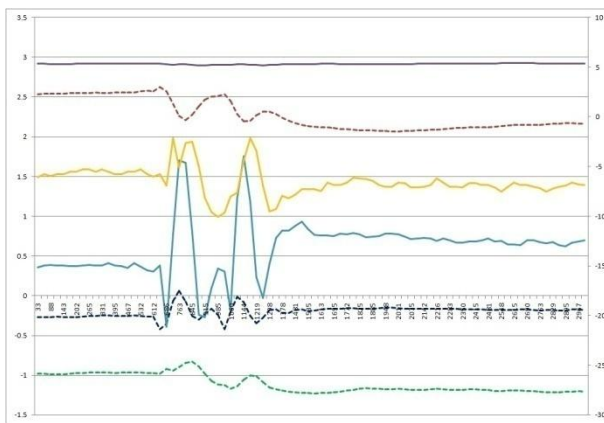


図 4.4 左上タップの波形

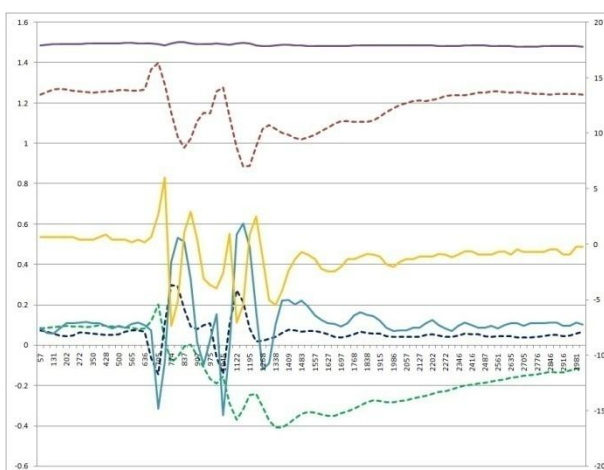


図 4.5 右上タップの波形

反応の大きなピッチ角，ロール角を中心に解析を進めると，以下の共通する特徴が検

出された.

- 上側をタップするとピッチ角がプラス方向に振れ、下側をタップするとピッチ角がマイナス方向に振れる.
- 右側をタップするとロール角がマイナス方向に振れ、左側をタップするとロール角がプラス方向に振れる.

これらをまとめたのが表 4.1 である.

表 4.1 上下及び左右に対するピッチとロールの特徴

	上下に対するピッチ	左右に対するロール
特徴が 出ている	93/120 [個] 77.5[%]	60/120 [個] 50[%]
逆の特徴が 出ている	5/120 [個] 4.2[%]	20/120 [個] 16.7[%]
特徴無し (判別不能)	22/120 [個] 18.3[%]	40/120 [個] 33.3[%]

表 4.1 の通り，上下の判別にはピッチ角のみを使って判断した場合，77.5%判別が可能である．さらに，逆方向の反応は 4.2%と比較的低い確率となっている．逆に，左右の判別は 50%となっており，高い確率とは言い難い．この違いは条件②の持ち方がピッチ角を自由に動かせるからだと考えられる．

本実験により，主にロール角，ピッチ角を用いて，上下左右のタップ動作判別ができる可能性を見出した．よって，第 5 章の発展実験では主にロール角とピッチ角を中心に解析を進める．

第5章 発展実験

第4章で判明した結果を基に5つの条件下においてのフレームタップの有効性について検討する。また、GALAXY Tabの持ち方について集計を取った。

5.1 自動車内測定実験

自動車内測定実験においては、自動車の中（運転手以外）でのタップ動作を検出できるか実験を行った。

5.1.1 実験条件

- ① 自動車走行中に座席に座り行う。
- ② タブレット本体を背面から左手で包み込むように持つ（図4.1左）。
- ③ 右手の人差し指で表面から押すようにタップする。

今回、①は走行中の自動車に乗っている時にタップ動作を検出するために指定した。実験では自家用車を使用したため、座った状態と指定した。実験は走行中としており、直進、カーブ、交差点の右左折、信号待ち、渋滞、加速、減速など走行状況は指定しない。また、②③の条件を付加する理由は基礎実験と同じである。

実験では被験者として3人の学生から四隅をそれぞれ10回ずつ、計120個のデータを収集した。実験における測定動作はダブルタップのみとし、データ収集時間は3000ミリ秒とした。

5.1.2 実験結果

実験により取得したデータをMicrosoft Excelによってグラフ化した。基礎実験の実験結果から、ピッチ角とロール角を中心に解析を進め、記載するグラフはピッチ角とロール角の1軸折れ線グラフである。縦軸は角度であり、単位は $^{\circ}$ である。オレンジがピッチ（x軸回転）、水色がロール（y軸回転）で表示されている。横軸は時間であり、単位

はミリ秒 (ms) である。なお、以下のグラフでは3秒間の計測結果を示している。

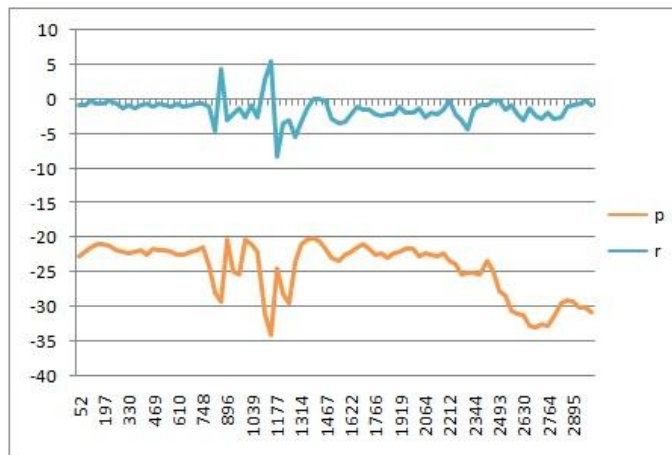


図 5.1 自動車内左下

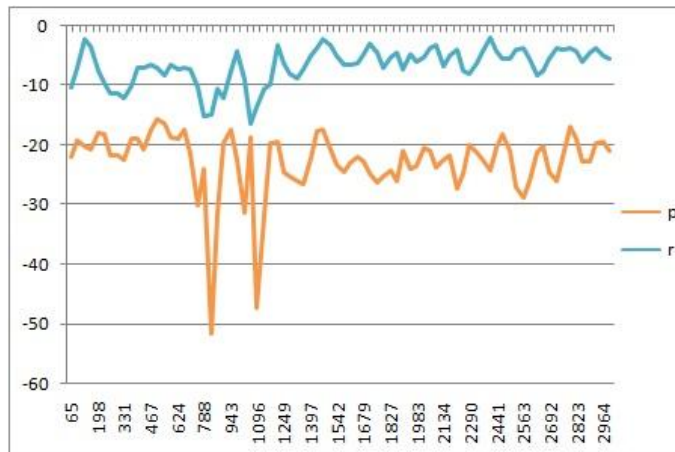


図 5.2 自動車内右下



図 5.3 自動車内左上



図 5.4 自動車内右上

表 5.1 自動車内実験におけるピッチ角とロール角の反応

	上下に対するピッチ	左右に対するロール
特徴が 出ている	110/120 [個] 91.7[%]	42/120 [個] 35[%]
逆の特徴が 出ている	1/120 [個] 0.8[%]	16/120 [個] 13.3[%]
特徴無し (判別不能)	9/120 [個] 7.5[%]	62/120 [個] 51.7[%]

表 5.1 を見ると、ピッチ角を用いて上下の判別では、特徴が表れているものは 91.7% と高確率で判別が可能である。対して、ロール角を用いて左右の判別をすると、特徴が表れているものは 35% であり、特徴が出ていないものを大きく下回っている。

静止状態との大きな違いは、タップ操作時以外の振動である。静止状態では緩やかで細かい振動だったが、今回は鋭く細かい振動となっている。これは車の揺れによるものだと考えられる。この鋭く細かい振動により、静止状態でも反応の小さかったロール角の反応は判別が難しくなったと考えられる。

5.2 電車内（座り）測定実験

電車内（座り）測定実験においては、電車内で座席に座った状態でのタップ動作を検出できるか実験を行った。

5.2.1 実験条件

- ① 電車内で座席に座った状態で行う。
- ② タブレット本体を背面から左手で包み込むように持つ（図 4.1 左）。
- ③ 右手の人差し指で表面から押すようにタップする。

①は電車に乗っている時にタップ動作を検出するためであり、電車内では立つ場合と座る場合とあるので、今回は座席に座った状態と指定した。実験は電車の運行中としており、直進、カーブ、加速、減速、駅での停車中など運行状況は指定しない。さらに、進行方向に対する被験者の座る座席の向きも指定しない。また、②③の条件を付加する理由は基礎実験と同じである。

実験では被験者として3人の学生から四隅をそれぞれ10回ずつ、計120個のデータを収集した。実験における測定動作はダブルタップのみとし、データ収集時間は3000ミリ秒とした。

5.2.2 実験結果

実験により取得したデータを Microsoft Excel によってグラフ化した。基礎実験の実験結果から、ピッチ角とロール角を中心に解析を進め、記載するグラフはピッチ角とロール角の1軸折れ線グラフである。縦軸は角度であり、単位は $^{\circ}$ である。オレンジがピッチ（x軸回転）、水色がロール（y軸回転）で表示されている。横軸は時間であり、単位はミリ秒（ms）である。なお、以下のグラフでは3秒間の計測結果を示している。

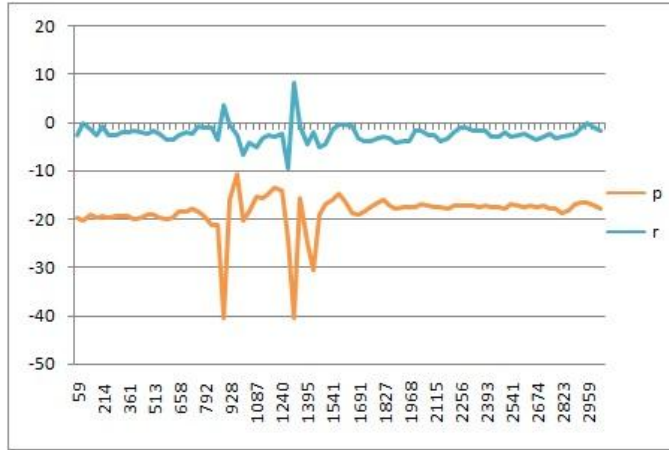


図 5.5 電車内（座り）左下

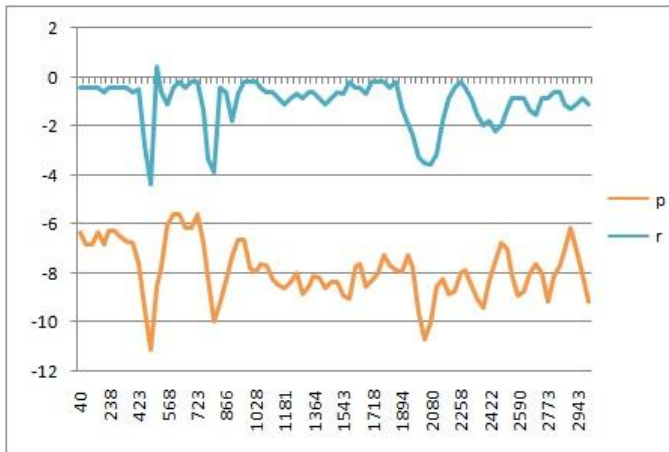


図 5.6 電車内（座り）右下



図 5.7 電車内（座り）左上



図 5.8 電車内（座り）右上

表 5.2 電車内（座り）におけるピッチ角とロール角の反応

	上下に対するピッチ	左右に対するロール
特徴が 出ている	92/120 [個] 76.7[%]	59/120 [個] 49.2[%]
逆の特徴が 出ている	2/120 [個] 1.7[%]	4/120 [個] 3.3[%]
特徴無し (判別不能)	26/120 [個] 21.6[%]	57/120 [個] 47.5[%]

表 5.2 を見ると、ピッチ角を用いて上下の判別では、特徴が表れているものは 76.7% と高確率で判別が可能である。対して、ロール角を用いて左右の判別をすると、特徴が表れているものは 49.2% であり、特徴が出ていないものとほとんど変わらない値となっており、判別は難しい。

タップ操作時以外の振動は非常に細かく安定している。まれに大きな振動が見られるが、これは電車の大きな揺れによるものと考えられる。

5.3 電車内（立ち）測定実験

電車内（立ち）測定実験においては、電車内で立ったままタップ動作を検出できるか実験を行った。

5.3.1 実験条件

- ① 電車内で立った状態で行う。
- ② タブレット本体を背面から左手で包み込むように持つ（図 4.1 左）。
- ③ 右手の人差し指で表面から押すようにタップする。

①は電車に乗っている時にタップ動作を検出するためであり、電車内では立つ場合と座る場合とあるので、今回は立った状態と指定した。実験は電車の運行中としており、直進、カーブ、加速、減速、駅での停車中など運行状況は指定しない。さらに、進行方向に対する被験者の向きも指定しない。また、②③の条件を付加する理由は基礎実験と同じである。

実験では被験者として 3 人の学生から四隅をそれぞれ 10 回ずつ、計 120 個のデータを収集した。実験における測定動作はダブルタップのみとし、データ収集時間は 3000 ミリ秒とした。

5.3.2 実験結果

実験により取得したデータを Microsoft Excel によってグラフ化した。基礎実験の実験結果から、ピッチ角とロール角を中心に解析を進め、記載するグラフはピッチ角とロール角の 1 軸折れ線グラフである。縦軸は角度であり、単位は $^{\circ}$ である。オレンジがピッチ (x 軸回転)、水色がロール (y 軸回転) で表示されている。横軸は時間であり、単位はミリ秒 (ms) である。なお、以下のグラフでは 3 秒間の計測結果を示している。



図 5.91 電車内 (立ち) 左下

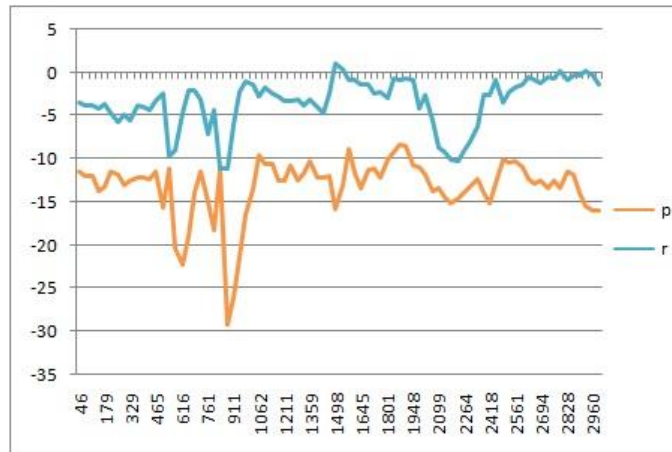


図 5.10 電車内 (立ち) 右下

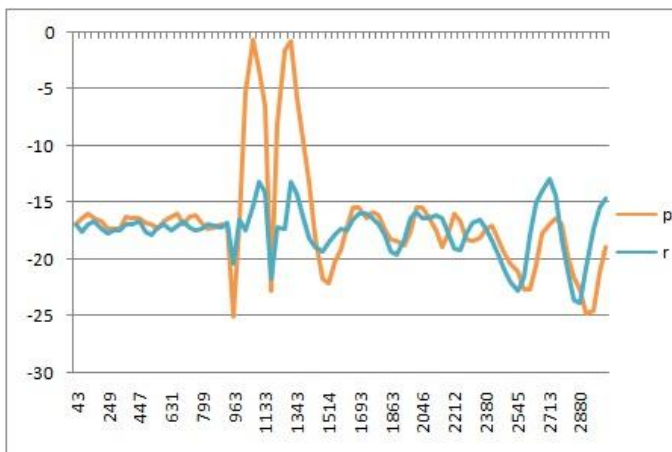


図 5.11 電車内 (立ち) 左上



図 5.12 電車内（立ち）右上

表 5.3 電車内（立ち）におけるピッチ角とロール角の反応

	上下に対するピッチ	左右に対するロール
特徴が 出ている	109/120 [個] 90.8[%]	35/120 [個] 29.2[%]
逆の特徴が 出ている	6/120 [個] 5[%]	23/120 [個] 19.2[%]
特徴無し (判別不能)	5/120 [個] 4.2[%]	62/120 [個] 51.6[%]

表 5.3 を見ると、ピッチ角を用いて上下の判別では、特徴が表れているものは 90.8% と高確率で判別が可能である。対して、ロール角を用いて左右の判別をすると、特徴が表れているものは 29.2% であり、特徴が出ていないものより 20% も下回っており、判別は難しい。

タップ操作時以外の振動は鋭く細かいが、安定していない。電車内（座り）に比べると振動が大きくなっており、立っているためだと考えられる。

5.4 歩行中測定実験

歩行中測定実験においては、歩行中のタップ動作を検出できるか実験を行った。

5.4.1 実験条件

- ① 歩行中に行う。
- ② タブレット本体を背面から左手で包み込むように持つ（図 4.1 左）。
- ③ 右手の人差し指で表面から押すようにタップする。

①は歩行中という状況下でもタップ動作を判別できるか確認するために指定した。また、②③の条件を付加する理由は基礎実験と同じである。

実験では被験者として 3 人の学生から四隅をそれぞれ 10 回ずつ、計 120 個のデータを収集した。実験における測定動作はダブルタップのみとし、データ収集時間は 3000 ミリ秒とした。

5.4.2 実験結果

歩行中はタップ時以外での振動が大きく、グラフの中からダブルタップの振動を探し出すことが非常に困難であり、現在の手法での判別は不可能である。

5.5 卓上測定実験

卓上測定実験においては、GALAXY Tab を机に置いた状態でのタップ動作を検出できるか実験を行った。

5.5.1 実験条件

- ① 机の上に置いた状態で行う。
- ② 右手の人差し指で表面から押すようにタップする。

①は手で持たず、机の上に置いた状態でタップ動作を検出するために指定した。また、

②の条件を付加する理由は基礎実験の条件③と同じである。

実験では被験者として3人の学生から四隅をそれぞれ10回ずつ、計120個のデータを収集した。実験における測定動作はダブルタップのみとし、データ収集時間は3000ミリ秒とした。

5.5.2 実験結果

今回、手に持ってタップした場合と大きく異なるデータが得られた。そのため、現在の手法では判別が不可能である。

5.6 持ち方の統計

本実験では、被験者に実験とは伝えずに GALAXY Tab を渡し、使ってもらった。これにより無意識での GALAXY Tab の持ち方を確認した。なお、実験には20代を中心に10代から60代までの男女、計76人に協力してもらった。

5.6.1 実験結果

今回の実験結果をまとめたものが下の表である。

タイプはそれぞれ、以下の図 5.13～図 5.17 に対応する。

表 5.4 無意識下での GALAXY Tab の持ち方

タイプ	持ち方	結果	
A	左右の中央を押さえ、手のひらで裏を支える	45[人]	59.2[%]
B	左右の下部を押さえ、手のひらで裏を支える	17[人]	22.4[%]
C	左側に親指を掛け、指先で裏を支える	4[人]	5.3[%]
D	机に置いて使う	9[人]	11.8[%]
E	両手で持ち、操作は両手の親指で行う	1[人]	1.3[%]



図 5.13 タイプ A



図 5.14 タイプ B



図 5.15 タイプ C



図 5.16 タイプ D



図 5.17 タイプ E

今回、タイプ A が最も多く、半数以上の人々が左右の中央を押さえて持つということが確認された。さらに、タイプ A とタイプ B を合計すると 81.6% となる。つまり、大多数の人は上下の違いこそあるものの、指先で左右を押さえ、手のひらで支えるということが確認された。

また、タイプ D 及びタイプ E はタッチパネル端末（スマートフォンやタブレット型コンピュータ）を触る機会のない人や高齢者といったタッチパネル端末に不慣れな人に

多く見られた。さらに、右利き、左利きに関係なく、タイプ A からタイプ C は全員左手で持ち、右手で操作するという結果が得られた。

5.7 発展実験の考察

5.1～5.5, 様々な状況下でのフレームタップについて、周囲の振動がある場合でも、使用者が比較的動かなければ有効であると判明した。しかし、歩行中など使用者が動く場合には判別が難しい。また、机の上に置いて使用する場合にはタップ時に大きな振動や回転を計測できたが、現在の手法では判別が難しい。

5.6, 持ち方については、本研究で推奨している持ち方と同様の持ち方を大多数の人が無意識下で行っていることが判明し、本研究の有効性が証明された。

第6章 フレームタップの実装

フレームタップを応用したアプリケーションの開発を行った。1.3 や 2.2 で述べたようにタップ方向に応じた画面スクロールのアプリケーションとした。今回はここまでの研究成果を応用しているため、判別は上下のみとしている。

ピッチ角のみで判別を行い、高精度にするため、独自のアルゴリズムを開発した。

ジャイロセンサを用いるため、得られるデータは角度である。角度では多少の動きで値が大きく変わってしまう。そこで現在と一つ前の角度との変位（角速度）で1回目の判別を行う。さらに現在と一つ前の角速度との変位（角加速度）及び現在と一つ前の角加速度の変位を用いて2回目の判別を行う。この二重の判別アルゴリズムにより誤認識の少ないアプリケーションとなった。

上下のみの判別を行っているため、右手、左手どちらの手でタップしても使用可能かつ、上側、下側であればどの位置でも反応するアプリケーションとなった。

第7章 おわりに

我々は複数の実験によりジャイロセンサを用いることで、フレームタップによる四隅の振動の判別が使用者の静止という条件下において可能となることを見出した。また、上下のタップ動作識別なら高確率で判別できることがわかった。四隅の判別が可能であるという事は、フレームタップ手法により、現実には存在していない仮想的なボタンに機能を割り当て、スマートフォンやタブレット型コンピュータの操作を多様化させることが可能となるということである。また、持ち方の統計を集めたことにより、フレームタップの持ち方が有効であることも併せて証明された。さらに、フレームタップを応用した Web アプリケーションの開発した。

今後の展望として、今回判別ができなかった左右のタップ動作や歩行中、机に置いた状態でのフレームタップの検出手法の確立を進めていきたいと考えている。

謝辞

卒業論文を完成するにあたり、ご指導ご教授いただきました三浦准教授に心よりお礼申し上げます。また、実験に協力していただいた、たくさんの有志の皆様にも心よりお礼申し上げます。本当にありがとうございました。

参考文献

- 1) Ken Hinckley, Jeff Pierce, Mike Sinclair, Eric Horvitz: Sensing Techniques for Mobile Interaction, ACM UIST 2000, pp.91-100, (2000)
- 2) 椎尾 一郎, 辻田 眸: 文鎮メタファを利用した小型情報機器向けインタフェース, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.3, pp.1221-1228, (2007)
- 3) Baudisch, P. and Chu, G.: Back-of-device interaction allows creating very small touch devices, CHI 2009, pp.1923-1932, (2009).
- 4) 岩渕 正樹, 筧 康明, 苗村 健: 両面タッチ入力可能な透明インタラクティブディスプレイ, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008, pp.1151-1156, (2008).
- 5) 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, UIST 2011, pp.367-371, (2011)
- 6) Seongkook Heo, Geehyuk Lee: Force Gestures: Augmenting Touch Screen Gestures with Normal and Tangential Forces, UIST 2011, pp.621-626, (2011)
- 7) 青木 良輔, 宮下 広夢, 井原 雅行, 大野 健彦, 千明 裕, 小林 稔, 鏡 慎吾: くるみる: 複数導電部をもつ枠型物理オブジェクトを用いたタブレット操作, 情報処理学会研究報告, (2011)
- 8) 菅原 康太, 白石 陽, 高橋 修, 千葉 雄樹, 小西 勇介, 中尾 敏康: 3 軸加速度センサと PWM 制御振動モータを用いた携帯電話周辺情報検出, 第 8 回情報科学技術フォーラム, pp.15-22, (2009)
- 9) 河内 智志, 薛 媛, 藤波 香織: 携帯端末の身体上格納場所判定機能のスマートフォンへの実装, インタラクシオン 2011 論文集, pp. 531-534, (2011)
- 10) 萩谷 俊幸, 上向 俊晃, 加藤 恒夫: 加速度およびタッチパネルへの入力情報を用いた携帯端末の持ち手・打ち手判別, 第 10 回情報科学技術フォーラム, pp.667-668, (2011)

- 11) 小瀧 陽, 笹倉 万里子: iPod touch の加速度センサによる動作判別ライブラリの構築, 情報処理学会研究報告, (2010)
- 12) 石原 進, 行方 エリキ, 太田 雅敏, 水野 忠則: 端末自体の動きを用いた携帯端末向け個人認証, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.12, pp.2997-3006, (2005).