

2020 年度 卒業論文

論文題目

非視認状態を想定した新たなタップ操作インタフェース
における多様な操作方法の提案

指導教員

舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学 工学部 情報工学科

2017 年度入学 29114042 番

名前 加藤 馨

目次

第1章	はじめに	1
第2章	逆タップ	4
第3章	2本指逆タップ	7
3.1	2本指逆タップの判定の概要	7
3.2	2本指逆タップの判定の実装	8
3.3	2本指逆タップの判定の詳細	11
3.3.1	逆タップ候補処理	11
3.3.2	逆タップ判定処理	11
3.3.3	1本指逆タップ判定処理	12
3.3.4	2本指逆タップ判定処理	12
第4章	視覚障害者を想定しての通常のタップと2本指逆タップの比較実験	14
4.1	実験準備	14
4.2	実験方法	17
4.3	実験結果と考察	19
第5章	むすび	21
	謝辞	22
	参考文献	23

第1章 はじめに

現在、タブレットやスマートフォンなどのタッチパネル式デバイスが普及している。総務省による令和元年版情報通信白書によると、2018年における世帯のスマートフォンの保有率は79.2%であり、パソコンの保有率の74.0%を上回っている [1]。銀行のATMや鉄道駅の自動券売機などの公共性の高い機械への導入や、教育現場でのスマートフォンやタブレット PC の利用など、我々の生活に深く関わるものとなっている [2][3]。

スマートフォンやゲーム機などの多くのタッチパネル式デバイスでは、静電容量式のタッチ操作検出方式が活用されている。静電容量式は画面を指で触れた点の静電容量の変化を感知し、タッチした位置を把握する。長所としては、衣服の袖や通常のペンには反応せず、ホコリや水滴に強いいため意図しない動作を起こしにくい。また、正確な多点検出（マルチタッチ）が可能であり、二本指以上で操作することができる。そのためフリック、拡大縮小（ピンチイン、ピンチアウト）、回転などのジェスチャー操作に適している。しかし、指や静電容量式に反応する専用タッチペンでしか操作することができないこと、手袋をしたまま扱えないことや、近くに金属筐体がある場合にその影響を受けやすいことが短所である。

タッチパネル式デバイスは液晶画面をペンや指などで触れて、その後に離れた時点でその操作をタップ（指で画面を軽く叩く操作）として判定することで操作される。これらのデバイスにはパソコンや従来型の携帯電話に搭載されているキーボードや通話ボタンなどの物理的なボタンが搭載されていない場合が多い。したがって、点字などの触覚的手掛かりがないため画面を視認していない状態で思い通りに操作することはできず、また画面を一瞥しただけで以後画面を見ずに操作することも難しい。厚生労働省による平成28年生活のしづらさなどに関する調査によると、日本全国で在宅の視覚障害者は31.2万人いる [4]。画面を視認できない視覚障害者にとって

スマートフォンやタブレットは使いにくいであろうと考えられる。そこで当研究室では、広く普及している静電容量式タッチパネルを対象に、視覚障害者でも利用しやすい新しい操作インタフェースを提案している [5]。先行研究では、「逆タップ (iTap: inverse tap)」という新しいタップ方法を提案している。指が画面から離れている状態だけでなく、触れている状態も基本的に無操作状態であると考え、操作箇所を指を離れたのちにすぐに同じ場所に触れた場合にタップ操作が行われたと判定する。なお、図 1.1 のようにタッチパネル画面上に物理的に展示のような突起物をつけておき、また通常のタップ、スワイプ操作の判定はしない。これにより、画面を見ずに突起物の触覚的特徴で操作箇所を見つけ、タップ操作を行うことができる。

ところで、パソコンではマウスの左クリックと右クリック、スマートフォンではタップとプレス&ホールドなど、一つの操作箇所に対して複数の操作が可能な場合が多い。パソコンで右クリックを行うとコンテキストメニューが表示され、コピー&ペーストや新規フォルダ作成など様々な機能を利用することができる。また、スマートフォンでは、アプリケーションのアイコンをタップするとそのアプリケーションが起動するのに対し、プレス&ホールドを行うことでそのアプリケーションの情報を見たり、削除したりすることができる。このように、一つの操作箇所に対して複数の操作が行えることは、ユーザにとって便利である。

そこで、本論文では視覚障害者にとって利用しやすいタッチパネル式デバイスの汎用性を高めるため、逆タップを元にして2本指逆タップという新しい操作方法を提案する。2本指逆タップは逆タップを2本指で同時に行うことである。1本指で行う逆タップとは別に2本指逆タップに対して別の機能を割り当てれば、非視認状態で扱えるタッチパネル式デバイスがより便利になると考えられる。

以下、第2章では先行研究で提案されている逆タップについて説明する。第3章では二本指逆タップのアルゴリズムについて提案するとともに、その実装方法について説明する。第4章では視覚障害者を想定しての通常のタップと二本指逆タップの比較実験について、そして第5章ではまとめと今後の課題について述べる。



図 1.1: 突起物のついたタッチパネル

第2章 逆タップ

本章では、先行研究 [5] で提案している逆タップについて説明する。ユーザが以下の動作を起こった時に逆タップと判定する。

1. 指で画面に触れる
2. 画面に触れたまま指を動かし、操作したい箇所を見つける
3. タップしたい箇所で指を画面から離す
4. 一定時間内に画面の同じ箇所に触れる

また、合わせてダブル逆タップ操作についても考慮している。逆タップを短時間に連続で行うことでダブル逆タップの操作と判定する。まず、タッチパネル上に物理的に点字のような突起物を付けておく。また、指が触れている状態は無操作状態と認識し、指が画面に触れてその直後に離した場合や、触れてその後にスクリーン上で動かした場合は、いわゆる通常のタップ、スワイプ操作と判定しないこととする。この前提により、画面を見ずに手探りで操作したい場所を探し、突起物の触覚的特徴で操作箇所が判別できる。図 2.1 に逆タップ操作のアルゴリズムフローを示す。実装には AndroidStudio の `onTouchEvent` を用いている。イベントには種類があり、これをアクションと呼ぶ。アクションの種類には以下のものがある。

- ACTION_DOWN: 1 箇所もタッチしていない状態でタッチした時のイベント
- ACTION_UP: 1 本の指でタッチしている状態でタッチなくなった時のイベント
- ACTION_POINTER_DOWN: すでに 1 箇所以上でタッチしている状態で追加タッチした時のイベント

- ACTION_POINTER_UP: 複数の指でタッチしている状態で、そのうち1つの指を離れた時のイベント
- ACTION_MOVE: タッチ中に指を動かしたときのイベント

ACTION_UP, ACTION_POINTER_UPは画面から指が離れた時のアクションであり、大域変数 **u** に指が離れた座標と時刻を保存する。ACTION_DOWN, ACTION_POINTER_DOWNは指が画面に触れた時のアクションであり、大域変数 **d** に指が触れた座標と時刻を保存する。ACTION_MOVEは指が画面上を動いた時のアクションであるため、なにも行わない。画面に指が触れた時の座標と時刻が、前回離れた時の座標と時刻と近ければ、逆タップ操作と判定する。

通常のタップ操作と逆タップ操作を比較する実験が2つ行われた。目隠しをした被験者が1分の間に指示されたタブレット操作（タブレット操作タスク）を行う全盲者を想定した実験では、逆タップ操作の方がタスクを成功した回数が多く、失敗した回数は少ない結果となった。よって全盲者を想定した場合には、通常タップ操作に比べ逆タップ操作の方が正しく操作できることが確認できた。簡易ドライビングシミュレータを用いた運転中を想定した被験者が画面を注視できない状況でタブレット操作を行う実験では、通常のタップ操作と逆タップ操作でタスク実行回数に差はなかったが、先行車を正しく追走できているかどうかの指標である運転スコアに関しては逆タップ操作を課したときの運転スコアが通常タップ操作時のスコアよりも低下した。つまり運転中を想定した場合は操作成績の向上が確認できなただけでなく、運転操作もおろそかになってしまった。これは、慣れない操作方法であったためタブレット操作に意識が逸れてしまい、また運転に集中する必要があるといっても生命の危険につながるわけではないため、運転操作がおろそかになってしまったのではないかと考察されている。ただ、どちらの状況でも、逆タップの操作に慣れることにより有用な結果が得られるのではないかと考えられる。

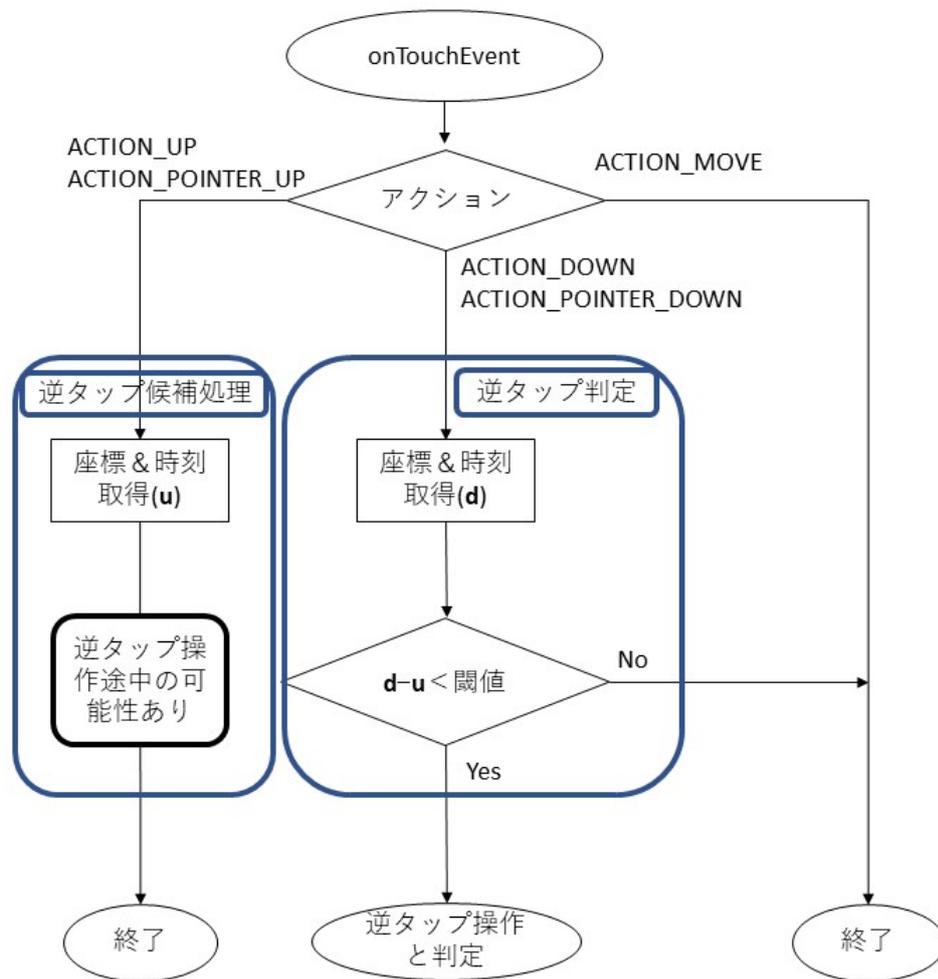


図 2.1: 逆タップのフローチャート (文献 [5] より引用)

第3章 2本指逆タップ

本章では、2本指逆タップの判定、実装方法について述べる。通常のスマートフォンやタブレット端末には、タップやダブルタップの他に、プレス&ホールドやスワイプなどの様々な操作方法が用意されている。私たちが普段利用しているスマートフォンやタブレット端末は多様な操作方法で操作できることにより使いやすく仕上がっている。しかし、当研究室ですすめている研究においては逆タップとダブル逆タップしか提案されていない。指を触れている状態も基本的に無操作状態であるとする本研究のインタフェースでは、指を一定時間触れたままにしておくタップ&ホールドや、指を画面に触れたまま動かすスワイプといった動作をそのまま実現することは困難である。そこで、本論文では、通常の操作である2本指タップに対して、2本指逆タップ操作を提案することで、操作方法の多様性を高める。

3.1 2本指逆タップの判定の概要

ユーザが以下の動作を行った時に2本指逆タップ操作が行われたと判定する。

1. 2本以上の指で画面に触れる
2. 画面に触れたまま指を動かすことで操作したい箇所を見つける
3. タップしたい箇所で、少なくとも2本の指を、互いに近い位置で画面から離す
4. 一定時間以内に、画面の同じ箇所に、2本の指で触れる

しかし実際には、2本の指を厳密に同時に離したり触れたりすることは困難であり、またタブレット端末自体も同時に判定することはできない。そのため、以下のような動作と考えることができる。

1. 2本以上の指で画面に触れる

2. 画面に触れたまま指を動かすことで操作したい箇所を見つける
3. タップしたい箇所で1本目の指を画面から離す
4. 同じ箇所, 厳密には一定の距離以内のもう1本の指を画面から離す
5. 一定時間以内にどちらかの指でほぼ同じ箇所に触れる
6. 一定時間以内にもう一方の指でほぼ同じ箇所に触れる

3と4の操作および5と6の操作はほぼ同時に行われる。また、離すとき、および触れるときの2本の指の順序は問わない。この一連の動作は、「互いに近い2本の指が同時に逆タップを行う」ようなものである。

3.2 2本指逆タップの判定の実装

本節では2本指逆タップの判定の実装について述べる。実装には Android Studio の `onTouchEvent` を用いる。 `onTouchEvent` については第2章で解説した通りである。また、スレッド処理を行う場合によく用いられる Java の Handler クラスの `postDelayed` と `removeCallbacks` も用いる。 `postDelayed` は第一引数で指定した `Runnable` オブジェクトの処理を、第二引数で指定した時間 [ミリ秒] の後に実行する。 `removeCallbacks` は `postDelayed` で実行しようとした処理を取り消すことができる。

図 3.1 に逆タップ, すなわち1本指逆タップ操作も考慮されている2本指逆タップのフローチャートを示す。フローチャート内で座標と時刻を格納しておく `u`, `u2`, `d`, `d2`, `d3` は大域変数とし、初期値はともに $-\infty$ (`x`, `y` 座標, および時刻をプログラムにおける最小値) としておく。なお、これらの大域変数に「[t]」とついている場合はその変数の時刻要素を表す。定数である `threshold`, `threshold2` は閾値であり、事前に値を決めておく。

まず、タッチパネル上で指が触れる (`ACTION_DOWN` または `ACTION_POINTER_DOWN`), または指が離れる (`ACTION_UP` または `ACTION_POINTER_UP`), 指が触れながら動く (`ACTION_MOVE`) のいずれかのアクションが起こると、 `onTouchEvent` が開始され、アクションの種類の判定をする。 `ACTION_DOWN`, `ACTION_POINTER_DOWN` 時には、 `d2` の座標と時刻が `d3` に、 `d` の座標と時刻が `d2` にバックアップされ、

dに現在指が触れた時点の座標と時刻が格納される。つまりこのシステムでは過去3回の指がタッチパネルに触れた時のその座標と時刻を保存している。ACTION_UP, ACTION_POINTER_UP時には、**u**の座標と時刻が**u2**にバックアップされ、**u**に現在指が離れた時点の座標と時刻が格納される。つまりこのシステムでは過去2回の指がタッチパネルから離れた時点の座標と時刻が格納される。ACTION_MOVE時には何の処理を行うことなく終了する。

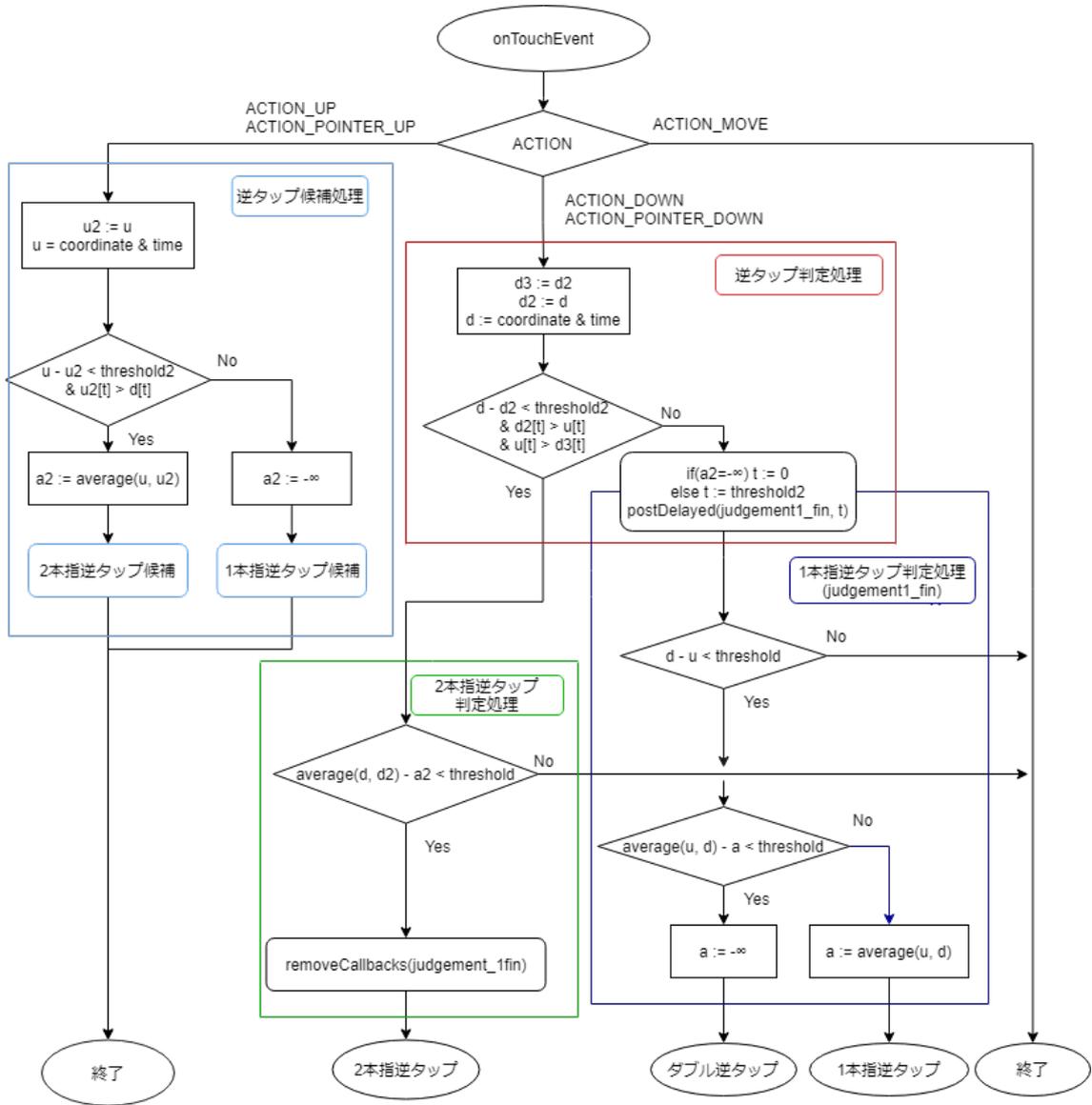


図 3.1: 2本指逆タップのフローチャート

3.3 2本指逆タップの判定の詳細

逆タップおよび2本指逆タップの判定は、逆タップ候補としての処理パートと、逆タップ判定パートに分けて行う。逆タップ判定パートでは、逆タップ候補が1本指の逆タップ候補であるか2本指逆タップ候補であるかを判別し、最終的な判定は逆タップ候補のいずれかにより1本指逆タップ判定パートまたは2本指逆タップ判定パートで行われる。本節ではそのそれぞれのパートについて詳しく説明する。

3.3.1 逆タップ候補処理

本節では、逆タップ候補処理について説明する。逆タップおよび2本指逆タップは、通常のタップ操作とは逆に指がタッチパネルに触れる動作よりも指がタッチパネルから離れる動作が先行する。タッチパネルから指が離れた場合に逆タップ候補処理へ移行することで、まずその指が離れた座標と時刻が記録される。次の分岐条件「 $u-u2 < \text{threshold2} \ \& \ u2[t] > d[t]$ 」は、前回と今回の指を離れた座標と時刻の差が閾値より小さい、つまり短時間に近い位置で離す動作を行っている、かつ、前回の指を離す動作と今回の指を離す動作の間に指に触れる動作を行っていない、つまり連続で離す動作を行っていることを表している。この条件が満たされる場合は、短時間に連続で近い位置で離す動作が行われており、2本指逆タップ候補とする。満たされない場合は、1本指の逆タップ候補とする。2本指逆タップ候補である場合は大域変数 $a2$ に前回と今回の指を離れた座標と時刻の平均を代入する。1本指の逆タップ候補である場合は、 $a2$ に $-\infty$ を代入する。これは2本指逆タップの可能性はないことを意味する。

3.3.2 逆タップ判定処理

本節では、逆タップ判定処理について説明する。指がタッチパネルに触れた時に、1本指の逆タップ候補であるか2本指逆タップ候補であるかを判定する。タッチパネルに指が触れた場合に逆タップ判定処理に移行することで、まずその指が触れた座標と時刻が記録される。次の分岐条件「 $d-d2 < \text{threshold2} \ \& \ d2[t] > u[t] \ \& \ u[t] > d3[t]$ 」は、前回と今回の指に触れた座標と時刻の差が閾値より小さい、つまり短

時間で近い位置に触れる動作を2回行っている、かつ、前回の指に触れる動作と今回の指に触れる動作の間に指を離す動作を行っていない、かつ前々回の指に触れる動作以降に指を離す動作を行っている、つまり2回連続で指に触れる動作をしているが、3回連続ではないことを表している。この条件が満たされる場合は、2本指逆タップの可能性があるので、2本指逆タップ判定処理へと移行する。満たされていない場合はこの、指が触れられた時点で、1本指逆タップでしかない可能性と、次にもう一度指が触れられて2本指逆タップとなる可能性がある。前者の場合は、1本指逆タップ判定処理を行う。後者の場合は、指定時間の後に指が触れられなかった場合に1本指逆タップ判定処理を行う。すなわち、遅延時間を設けて1本指逆タップ判定処理を行う。遅延時間は「if ($a2 = -\infty$) $t := 0$ else $t := \text{threshold2}$ 」の部分で決める。逆タップ候補処理(3.3.1節)で2本指逆タップ候補と判定されている、すなわち $a2$ に u , $u2$ の平均が格納されている場合には、遅延時間を threshold2 とする。2本指逆タップ候補と判定されていない、すなわち $a2$ に $-\infty$ が格納されている場合は、遅延時間を0とする。このように遅延時間を定めた上で `postDelayed` を用いて1本指逆タップ判定を指定の遅延時間後に実行する。

3.3.3 1本指逆タップ判定処理

1本指逆タップ判定処理については先行研究[5]と同じであるため、説明は省略する。

3.3.4 2本指逆タップ判定処理

本節では、2本指逆タップ判定処理について説明する。逆タップ判定処理(3.3.2節)において2本指逆タップの可能性があると判定した場合には2本指逆タップ判定処理に移行する。判定は分岐条件「 $\text{average}(d, d2) - a2 < \text{threshold}$ 」により行う。これは今回と前回のタッチパネルに指が触れた座標と時刻それぞれの平均と、直前の指がタッチパネルから離れた座標と時刻それぞれの平均の差が閾値より小さいことを意味している。つまり、2回ずつの離す動作と触れる動作を同じ場所で短時間で行っている場合に満たされる。満たされる場合は、`removeCallback`により逆タップ判定処理(3.3.2節)で指定遅延後の実行を予定してある1本指逆タップ判定処理を

キャンセルする。その後、実際の2本指逆タップに対応する処理を行う。満たされない場合は `onTouchEvent` を終了する。

第4章 視覚障害者を想定しての通常のタップと2本指逆タップの比較実験

提案した、2本指逆タップが、目が見えない状態で実際に操作可能であるのかどうか確認するために、全盲状態を想定した通常のタップと2本指逆タップの比較実験を行った。

4.1 実験準備

先行研究（第2章）と同様に電話やテンキーを参考に、画面を12のボタン領域に分けることにした。画面を見ずに触覚的手掛かりのみで操作できるように各ボタンに点字状の突起物を張り付けた。突起物はそれぞれボタンの中央に配置し、上から1, 3行目のボタンと、2, 4行目のボタンではそれぞれ違う種類の突起物を付けた。これにより被験者は目が見えない状態でも手探りで自分が画面上のどこを触っているかを判別できる。また、何らかの操作が行われた時にはバイブレーションにより合図する。これによりユーザは画面を見ずとも操作できたことを確認できる。図4.1に突起物を付けたタブレットおよび操作画面の様子を示す。実験では空調操作パネルを模した画面において、温度や風量、風向き調整を行うことを想定している。なお、上から2, 3, 4行目の1, 3列目のボタンには1本指の逆タップと2本指逆タップそれぞれに対して次のように別の機能を割り当てる。1本指逆タップでは温度や風量、風向きの値を1段階ずつ上下させる。2本指逆タップでは2段階ずつ上下させる。なお、1本指逆タップ操作時と2本指逆タップ操作時のバイブレーションによる合図は同様とした。これは、被験者が2本指逆タップをしたつもりで1本指での逆タップとなってしまう割合を後から検証するためである。それ以外のボタンには機能を割り当てていない。実験を始める前に被験者に1本指の逆タップと2本指逆タップの操作方法を説明した後に、タブレットの操作練習時間を設けた。これは逆タップ操作に慣れて

もらい, またボタンの配置と突起物の配置を記憶してもらうことを目的としている.



図 4.1: タブレットおよび操作画面

4.2 実験方法

被験者は大学生および大学院生7名である。この実験は全盲者を想定しているため、被験者にアイマスクを装着してもらい、全盲状態で実験を行った。実験の手順を以下に示す。

1. 被験者がタブレットの位置を確認
2. 被験者がアイマスクを着用
3. タブレット操作タスク (例: 温度を上げる) を受ける
4. タスクを実行
5. タスクを実行できたと感じたら合図
6. 上記3, 4, 5を1分間繰り返す
7. タスク通り操作を実行できた回数と誤まった操作をした回数を記録する

この手順を通常タップ, 2本指逆タップ両方の操作方法で行った。なお, 2本指逆タップで行う場合は全てのタブレット操作タスクを2本指で行うように指示した。図4.2に実験の様子を示す。

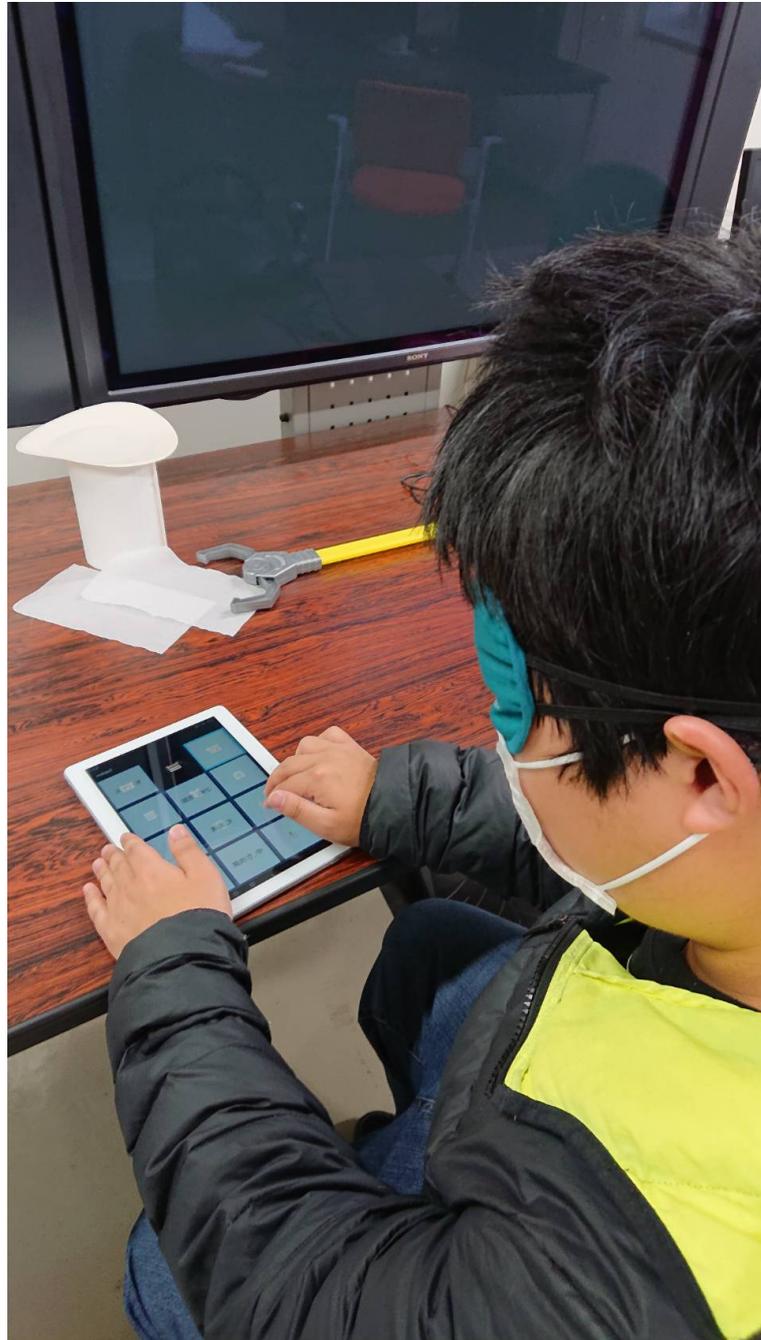


図 4.2: 実験の様子

4.3 実験結果と考察

まず、全盲状態での、通常のタップ操作、および2本指逆タップ操作に対する、指定通りのボタン押し操作の成功回数と失敗回数を表4.1、表4.2に示す。なお、表4.2における成功回数には、指定通りのボタンに対する2本指逆タップだけでなく、1本指の逆タップ成功数も含まれる。通常のタップ操作では、誤ったボタンの箇所で操作が多かった。一方で、逆タップ操作では誤ったボタンの箇所で操作はなかった。先行研究の被験者実験と同様に、全盲状態において、通常のタップよりも逆タップ操作の方が正しく操作できることが確認できる。

表 4.1: 通常タップに対する実験結果

被験者	失敗回数	成功回数
A	0	8
B	1	10
C	3	9
D	4	10
E	4	10
F	5	6
G	5	7
平均	3.12	8.57

表 4.2: 2本指逆タップに対する実験結果

被験者	失敗回数	成功回数
A	0	9
B	0	11
C	0	10
D	0	13
E	0	10
F	0	10
G	0	11
平均	0.0	10.57

次に、同実験において、各被験者の2本指逆タップ操作の成功回数のうち、実際には1本指での逆タップ操作であった回数を調べた（表4.3）。実験では全ての操作を2本指逆タップで行うように指示をしてあり、また被験者も2本指逆タップの操作を行ったと申告している。しかし実際には、1.5割程度の操作は1本指の逆タップ（温度などを1段階だけ変更）として判定されていた。被験者が2本指逆タップ操作に慣れていなかったかもしれないことに加えて、タッチパネルに貼り付けた突起物の真上は指の接触判定精度が低くなってしまっていたこと、被験者がタッチパネルの分解能よりも2本の指の間隔を狭くしてしまっていたこと、などの原因が考えられる。操作の8割以上は正しく2本指逆タップを行っていたので、単に慣れにより、改善が期待できそうである。

表 4.3: 2本指逆タップ操作時の実際の内訳

被験者	操作回数	2本指逆タップ	1本指逆タップ
A	9	6	3
B	11	9	2
C	10	8	2
D	13	12	1
E	10	10	0
F	10	9	1
G	11	8	3
平均	10.57	8.86	1.71

第5章 むすび

本研究では、先行研究 [5] が提案した、非視認状態を想定したタップ操作方法である逆タップを元に、2本指逆タップという新たな操作方法を提案した。被験者実験により、全盲状態において、通常のタップ操作方法よりも正しい操作箇所に対して操作できることが確認された。しかし、正しい操作箇所でも操作できていたとしても、少ない割合ではあるが2本指逆タップを行っているつもりでも1本指逆タップとなっていた。これは、被験者が2本指逆タップ操作に慣れていなかったことに加えて、突起物の上は指が触れても静電容量を感知しにくい点や、2本の指が近すぎると1箇所での接触と判定されてしまう点などのハードウェアの問題が考えられる。

視覚障害者にとって利用しやすいタッチパネルインタフェースの実現を目指して、これまでに逆タップとダブル逆タップという操作方法を提案している。本論文で新たに2本指逆タップを提案することで、1つの操作箇所に対する操作の種類を増やした。これはパソコンの右クリックや、タブレット端末の2本指タップに相当するといえる。様々な操作方法を用意することで、より複雑なアプリケーションの実現が可能となる。一方で、見えない状態での操作を前提としていることを考えると、あまり複雑なアプリケーションは適さないのかもしれない。今後は、操作方法の種類が過剰にならないように熟慮しつつ、見えない状態での操作をより容易にするような新たな、例えばスワイプ操作に相当するような操作方法についても検討していきたい。

本研究が視覚障害者にとってより利用しやすいタッチパネル式デバイスの開発につながることに期待したい。

謝辞

本研究を進めるにあたって、日頃から多大なご尽力をいただき、ご指導を受け賜りました名古屋工業大学、舟橋健司 准教授、伊藤宏隆 助教に心から感謝致します。最後に、本研究に多大なご協力をいただきました舟橋研究室諸氏に心から感謝致します。

本研究の一部は JSPS 科研費 JP20K11918 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 総務省 令和元年版情報通信白書 情報通信機器の保有状況.
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/html/nd232110.html>
- [2] 森 博, 田近 一郎, 杉江 晶子, “タブレット PC を活用したマルチメディア教育の試み”, 名古屋文理大学紀要, 12 号, pp. 97-104, 2012.
- [3] 柳田 久弥, “授業におけるスマートフォンと授業支援システムの利用に関する一考察”, 富士大学紀要, 48 巻, pp. 87-95, 2016.
- [4] 厚生労働省 平成 28 年生活のしづらさに関する調査：結果一覧.
https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/seikatsu_chousa_c_h28.html
- [5] 牧隼人, “非視認状態でのタッチパネル利用を想定した新しいタップ操作インタフェース”, 名古屋工業大学卒業論文, 2019.