

2019年度 卒業論文

論文題目

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

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

2016年度入学 28114116番

名前 牧 隼永

目次

第1章	はじめに	1
第2章	新しいタップ	5
2.1	逆タップ	5
2.2	ダブル逆タップ	8
第3章	視覚障害者を想定しての通常タップと逆タップの比較実験	10
3.1	実験準備	10
3.2	実験方法	12
3.3	実験結果と考察	14
第4章	画面を注視できない状況での通常タップと逆タップの比較実験	15
4.1	実験準備	15
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のデバイスが普及している。総務省による平成30年版情報通信白書によると、スマートフォンの世帯保有率が75.1%とパソコンの72.5%を上回っており、我々の生活に欠かせないものとなっている [1]。民間向け製品に関してタッチパネル式デバイスの歴史を見てみると、その始まりは1991年にアメリカのGO社が開発した独自のOS「PenPoint」を搭載したペン入力方式の携帯型コンピュータが有名である。「PenPoint」は、ペンでの文字入力や操作指示など独創的なアイデアが多く、徹底したオブジェクト指向で設計されているなど、コンピュータ技術面で大きなインパクトを与えた。しかし、実際の利用にはあまりにも時期尚早であり、ビジネスとしては成功しなかった。その後日本では1993年にシャープが発売した携帯情報端末「ザウルス」が高く評価されたが、世界規模で初めて支持を得たタッチパネル式デバイスは1996年にアメリカのPalm社が発売した「PalmPilot」であった。アルファベットに基づいた独自の一筆書きの手書き入力方法が受け入れられたことが普及につながった。そして2007年のApple社「iPhone」発売などによりスマートフォンが普及していった。近年ではこういったタッチパネル式デバイスの普及により、スマートフォンやタブレットPCが教育現場で利用される機会が増加している。また教育現場においてのタッチパネル式デバイスの利用に関する研究や調査も盛んに行われている [2][3][4]。

タッチパネルのタッチ操作検出方式には大きく分けて感圧式と静電容量式の2種類がある。感圧式では指やペンなどで押した画面の位置を電圧変化の測定によって検知する。内部構造は、それぞれ透明電極膜を配置したガラス面とフィルム面を少しだけすき間を設けて張り付けたものであり、フィルムの表面を押すと、フィルム側とガラス側の電極同士が接触して電気が流れ、その電圧の変動を検出することで接点の位置をとらえる。長所としては、構造が単純なので低コストで製造でき、消費電力

が比較的抑えられている点が挙げられる。フィルムへの圧力で入力するため、指だけでなく、手袋をしたままの状態やペンでの入力が可能である。短所は、フィルムと2枚の導電層によって画面の透過率が低くなる（表示品質が低下する）点、耐久性や耐衝撃性が比較的低い点、画面サイズが大きくなるほど検出精度が下がる点である。一方静電容量式は画面に指で触れると発生する微弱な電流、つまり静電容量（電荷）の変化をセンサーで感知し、タッチした位置を把握する。指を画面に近づけると、人体の静電容量にセンサーが反応するため、画面に接触する寸前でポインターを動かすような操作も可能である。静電容量式の長所としては、感圧式と違って衣服の袖や通常のペンには反応せず、ホコリや水滴に強く、耐久性や耐傷性が高いこと、感圧式に比べると透過率が高いことが挙げられる。また、正確な多点検出（マルチタッチ）を可能にし、軽い操作感やフリック、拡大縮小、回転などのジェスチャー操作に適している。しかし、指以外では静電容量式に反応する専用タッチペンでしか操作できず、手袋をしたまま扱えない点や、近くに金属筐体がある場合にその影響を受けやすい点が短所である。また Apple 社の iPhone6s から搭載されている 3D Touch という機能では画面を押し込む操作が可能である [5]。3D Touch には画面を軽く押し込む操作 Peek と、さらに強く押し込む操作 Pop というアクションが用意されている。Peek 操作ではタッチした時にプレビューの様なウィンドウが現れ、選択しているメールや、ウェブサイトの中身を垣間見ることが可能である。Pop 操作では選択中のコンテンツの中身へと移動することができる。Peek と Pop を組み合わせることで、タップの回数を減らしてスマホとのインタラクションをよりシンプルで素早くすることが可能になっている。しかし 3D Touch を利用するには、特別なハードウェアが必要となる。

タッチパネル式デバイスでは液晶画面をペンや指などで押して、あるいは触れて（タッチ）、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。したがって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。近年より広く普及している静電容量式のタッチパネルでは、画面に触れたまま手探りでタッチしたい場所を探そうと指を動かすとスワイプ（画面に触れた状態で指を「掃く」ように滑らせる操作）と認識されてしまう。その

ためタッチタイプは困難であり、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。なお、感圧式タッチパネルや、Appleの3D Touchの機能を利用したアプリケーションでは、手探りでタッチしたい場所を探すことも可能である。平成30年版厚生労働白書によると日本全国で在宅の視覚障害者は31.2万人おり[6]、視覚障害者を対象としたスマートフォン、タブレットの研究や開発も行われている[7][8][9]。しかし視覚障害者にとって使いにくい点はいまだ多くあるのではないかと考えられる。例えば全盲者の場合はたとえ音声出力機能があっても触覚的手掛かりがないためタッチパネル操作が難しいだろう。また視覚が日常生活に不自由を感じるほど弱いロービジョン者はタッチパネル上で意図しない箇所をタッチしてしまうことがあるかもしれない。

そこで本稿では近年より広く普及している静電容量式タッチパネルを対象に、前述のような問題を解決する新しいタップ方法を提案する。まずタッチパネル画面上に物理的に点字のような突起物をつけておく。また、指が画面に触れてその後に離れた場合や、触れてその後に動かした場合には、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、直前に一瞥した視覚情報や事前に記憶した画面配置情報と、突起物の触覚的特徴より、操作箇所が判別できる。ユーザが(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、という動作を行った場合に、これをタップ操作と判断する。本論文ではこの新しいタップ操作を、通常のタップ操作と反対に指が離れてその後に触れた場合にタップと判定するため、逆タップ(iTap: inverse tap)と呼ぶことにする。この逆タップ操作インタフェースにより、視覚障害者は、事前に画面上のボタン配置パターンなどを覚えておくことで、手探りによりボタンの位置を認識してタップ操作をすることが可能である(実際には操作の完了を通知する音や振動を併用する必要があるだろう)。また近年の自動車に増えてきている、タッチパネル方式のカーオーディオやカーエアコンの操作パネルに対しても、注視するわけにはいかない運転中において、パネルを一瞥した後に手探りでボタン位置を確認してタップ操作をすることが可能である。

以下、第2章で逆タップ、およびダブル逆タップの実装について説明する。第3章

で視覚障害者を想定しての通常タップと逆タップの比較実験について, 第4章では画面を注視できない状況での通常タップと逆タップの比較実験について述べる. そして第5章では本研究のまとめと今後の課題について述べる.

第2章 新しいタップ

本章では、通常のタップ操作と反対に指が離れてその後に触れた場合にタップと判定する、逆タップ (iTap: inverse tap)、ダブル逆タップの判定方法を提案する。なお、開発には Android Studio を使用し、動作確認は HUAWEI MediaPad M3 Lite 10 wp で行った。

2.1 逆タップ

本節では逆タップについて述べる。ユーザが以下の動作を行った時に逆タップ操作とみなすこととする。

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

なお、実装には Android Studio の `onTouchEvent` を用いる。イベントには種類があり、これをアクションと呼ぶ。アクションは `getActionMasked()` で取得可能である。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し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

図2.1に逆タップの判定のフローチャートを示す。通常のタップは、(1)触れて、(2)離すという2つの動作から成り立つ。一方逆タップは、(1)離して、(2)触れるという2つの動作から成り立っている。そのため判定処理は、最終的な判定パートと、逆タップ候補としての処理パートの2つに分けて行う。なお、フローチャート内で座標と時刻をを格納しておく \mathbf{u} , \mathbf{d} 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。また、「 $\mathbf{d}-\mathbf{u} < \text{閾値}$ 」は、各座標の差が事前に定めた閾値未満であり、かつ各時刻の差が同じく事前に定めた閾値未満であることを判定する。

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 が開始される。次にアクションの種類を判定をする。システムを起動してから最初の ACTION_DOWN 時には, \mathbf{u} が初期値の $-\infty$ であるため, 逆タップ操作とは判定されない。つづいて, 画面上のボタンを探すような動作をしても, ACTION_MOVE 時には何も処理を行うことなく終了する。その後, ACTION_UP, ACTION_POINTER_UP 時には, その時の座標と時刻を記録する。このアクションは逆タップ操作の可能性はある。2回目以降の ACTION_DOWN, ACTION_POINTER_DOWN 時には, 前回指を離れた時と今回指が触れた時の座標の差, 時刻の差を計算する。その値が閾値よりも小さかった場合, つまり短時間内にほとんど同じ場所に触れた場合にその動きを逆タップ操作と判定し, 逆タップに対応する実際の処理に移行する。

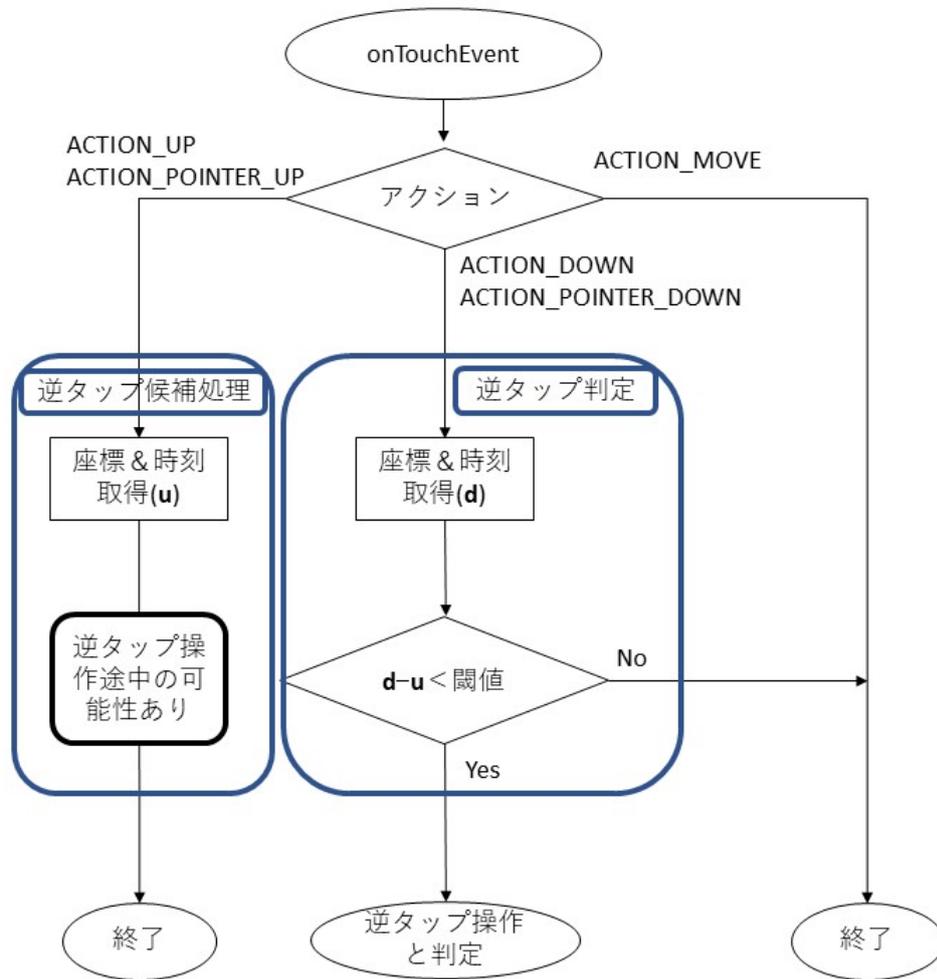


図 2.1: 逆タップの実装

2.2 ダブル逆タップ

本節ではダブル逆タップについて述べる。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認識する。よって逆タップ判定の延長としてダブル逆タップ判定を行う。画面に指が触れている状態から指を離し、一定時間内に同じ座標を触れることが逆タップであり、その後、短時間の間にもう一度、同じ操作をすることがダブル逆タップである。

図 2.2 にダブル逆タップ判定のフローチャートを示す。なお、座標と時刻を格納しておく \mathbf{a} は、 \mathbf{u} と \mathbf{d} の座標の中心と、 \mathbf{u} と \mathbf{d} の時刻の平均を意味する大域変数であり、初期値は同様に $-\infty$ とする。また、「 \mathbf{u} と \mathbf{d} の平均」 $-\mathbf{a} < \text{閾値}$ は同じく、直前の逆タップ時の座標および時刻の平均値と、今回の逆タップ時のそれとの各差がそれぞれ閾値未満であることを判定する。

まずシステムを起動してから最初に逆タップ操作と判定された場合を考える。フローチャートに示す通り、逆タップ候補処理、逆タップ判定を経て、その後ダブル逆タップ判定へと移っていく。最初の逆タップ操作では \mathbf{a} が初期値であるため、「 \mathbf{u} と \mathbf{d} の平均」 $-\mathbf{a}$ の値が必ず閾値より大きくなる。したがってダブル逆タップ操作とは判定されず、シングル逆タップ操作と判定される。その際 \mathbf{u} と \mathbf{d} の平均を \mathbf{a} として記録しておく。次に 2 回目以降の逆タップ操作が判定された場合を考える。ここでも再び「 \mathbf{u} と \mathbf{d} の平均」 $-\mathbf{a}$ の値を計算するが、この時の \mathbf{a} の値は前回の「 \mathbf{u} と \mathbf{d} の平均」の値、つまり前回逆タップ操作と判定されたときの \mathbf{u} と \mathbf{d} の座標の中心と、 \mathbf{u} と \mathbf{d} の時刻の平均値である。「 \mathbf{u} と \mathbf{d} の平均」 $-\mathbf{a}$ の値が閾値未満、つまり前回逆タップ操作した時から短時間の間にもう一度同じ場所で逆タップ操作が行われた場合、その操作をダブル逆タップ操作と判定し、ダブル逆タップに対応する実際の処理に移行する。一方、「 \mathbf{u} と \mathbf{d} の平均」 $-\mathbf{a}$ の値が閾値より大きい、つまり前回の逆タップ操作から時間をおいて再び逆タップした場合や、異なる場所を逆タップした場合はダブル逆タップ操作とみなさず、シングル逆タップ操作と判定し、シングル逆タップに対応する実際の処理に移行する。

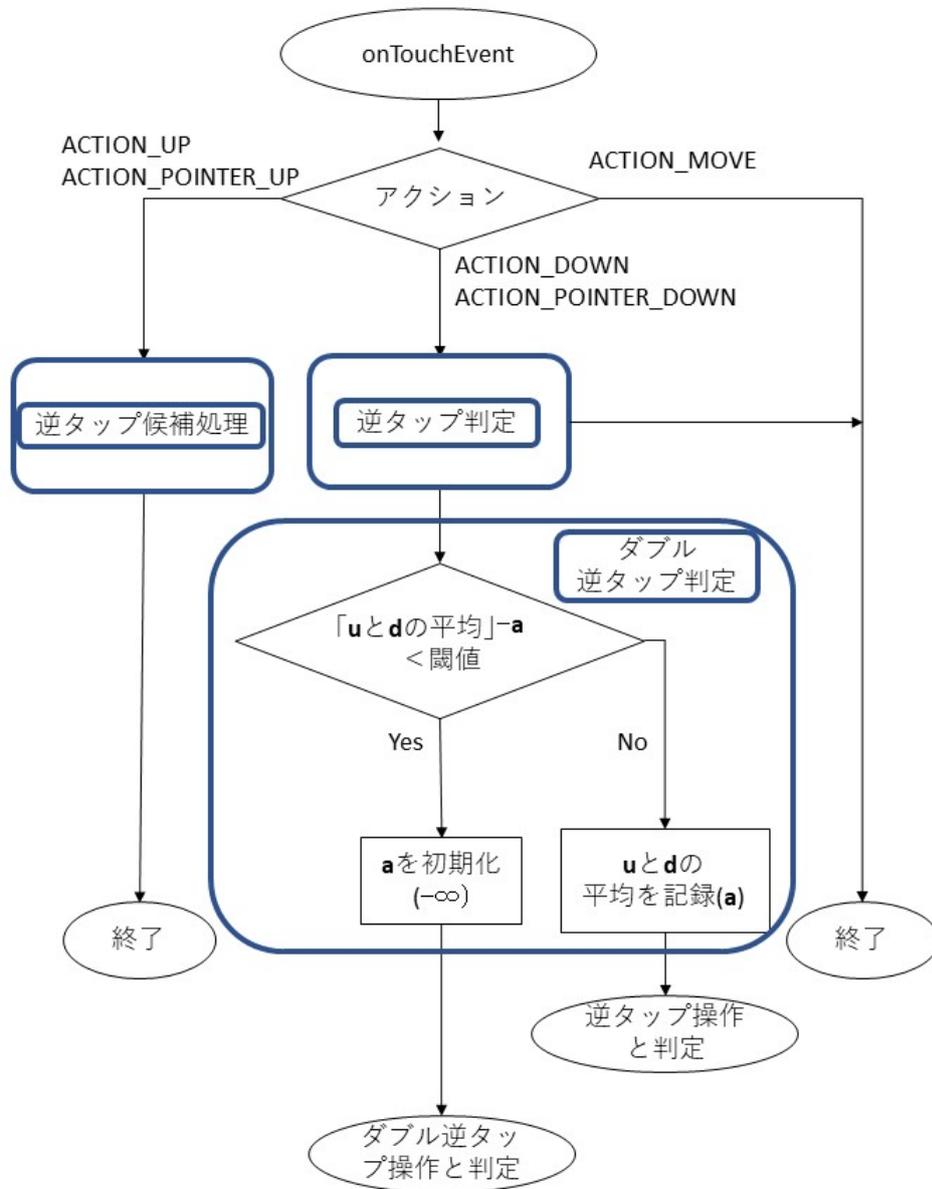


図 2.2: ダブル逆タップの実装

第3章 視覚障害者を想定しての通常タップと逆タップの比較実験

本章では、全盲者を想定した通常タップと逆タップの比較実験の結果について述べる。

3.1 実験準備

まず、電話や電卓などのテンキーを参考に、画面を12のボタン領域に分けることとした。手探りで画面を見ずに操作できるように各ボタンに点字状の突起物を貼り付けた。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行目のボタンにはそれぞれ違う種類の突起物を付けた。これによりユーザ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。また何かしらの操作が行われるとバイブレーションにより通知する。これによりユーザは画面を見ずとも操作できたかどうかを判別できる。図3.1, 3.2に突起物を付けたタブレットの様子を示す。実験では、まず、ステレオか空調を選択したのち、ステレオであれば曲の選択や音量調整を、空調であれば風量や温度設定の調整を、リモコンで行うことを想定している。なお、1行目のボタンはダブル逆タップ操作で、2, 3, 4行目のボタンは逆タップ操作で動作する。また、中央の列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逆タップの操作方法を説明し、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。

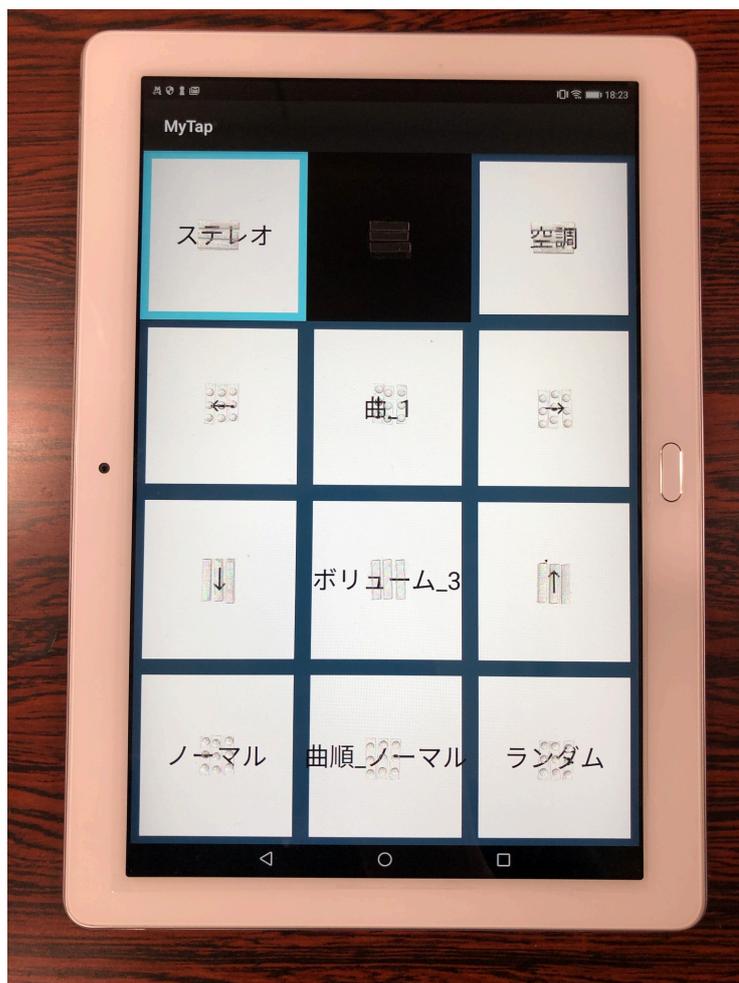


図 3.1: 突起物を付けたタブレットの様子 (ステレオ画面)



図 3.2: 突起物を付けたタブレットの様子 (空調画面)

3.2 実験方法

被験者は大学生および大学院生9名である。この実験は全盲者を想定している。被験者には全盲の状態になってもらう必要があるため、アイマスクを装着してもらった。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1度上げる) を受ける

4. タスクを実行
5. 正しく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, 逆タップ両方の操作方法で行った.



図 3.3: 実験1の様子

3.3 実験結果と考察

表 3.1 に通常タップによる実験結果を, 表 3.2 に逆タップによる実験結果を示す. タスクを失敗した (誤った操作をした) 回数に注目してみると, 逆タップは通常タップに比べて平均約 2 回少なくなっていることが分かる. 加えて逆タップは 1 回も操作を誤らなかつた被験者が半数以上であった. またタスクを成功した (正しく操作できた) 回数に注目してみると, 逆タップは通常タップよりも約 3.5 回多くなっていることが分かる. このことより全盲者にとって, 逆タップ操作は触覚的特徴を手掛かりにすることができ, 手探りで操作できるため, 通常タップ操作に比べて操作が容易であると考えられる. また逆タップ操作は通常タップ操作に比べて正確に操作できるため, ロービジョン者特有のタッチパネル上で意図しない箇所をタッチしてしまうような問題を解決できるのではないかと考えられる. 実験中の被験者の様子を見ると実験の前半は 1 つのタスク実行にかかる時間は長かったが, 後半になるとより早くタスクを実行できるようになっていた. 被験者が逆タップ操作に慣れればより良い結果が得られることも期待できる.

被験者	失敗	成功
A	0	7
B	0	7
C	2	7
D	6	4
E	1	4
F	2	5
G	4	1
H	2	7
I	5	1
平均	2.44	4.78

表 3.1: 通常タップの結果

被験者	失敗	成功
A	0	11
B	0	11
C	0	9
D	0	10
E	0	6
F	0	9
G	1	5
H	2	9
I	1	5
平均	0.44	8.33

表 3.2: 逆タップの結果

第4章 画面を注視できない状況での通常タップと逆タップの比較実験

本章では画面を注視できない状況として、車の運転中を想定し、通常タップと逆タップの操作比較の実験と結果について述べる。

4.1 実験準備

運転中の状況を再現するために、簡易ドライビングシミュレータを用意する。運転操作の入力はロジクール社製のステアリングコントローラ GT Force Pro[10] により行う(図 4.1)。GT Force Pro は実際の自動車を運転するように操作することでステアリングの角度、アクセルペダルやブレーキペダルの踏み込み具合などを取得することができる。またステアリングに任意の力を出力することができる。本実験では、ステアリングの入力のみを利用し、また可動域は左右 90 度に制限する。

被験者にはステアリング操作により自動車を模した挙動をとる操作対象を制御してもらう。この時、前方を走る車(先行車)の走行軌跡に沿うように操作対象を操作してもらうことで、運転へと意識を向けてもらう。被験者に提示する画面を図 4.2 に示す。道路前方には先行車である自動車を模したモデルを表示し、操作対象を黒い円で表示している。画面内の 3 次元空間における前後方向の黒線は先行車の走行軌跡を示しており、濃淡二色の灰色の円は被験者が先行車の挙動を追ううえで目標とする範囲を示している。また運転に関してのスコアを算出し、先行車を追走することで、運転に集中していたかどうかの指標とする。スコアは、操作対象の円の中心座標と、目標の灰色の円の中心座標の距離 D に基づいて算出する。時刻 t における自車位置と目標位置との距離を $D(t)$ として、式 4.1 から 1 試行あたりの平均距離 $\overline{D(t)}$ を算出する [11]。

$$\overline{D(t)} = \frac{\sum_{t=0}^N |D(t)|}{N} \quad (4.1)$$

N は1試行での総フレーム数であり, 今回の場合はリフレッシュレート $60[Hz]$ で30秒間の試行であるため $N = 60 \times 30 = 1800$ である. 操作成績 P は式 4.2 により算出する [11].

$$P = -100 \times \overline{D(t)} + 100 \quad (4.2)$$



図 4.1: GT Force Pro

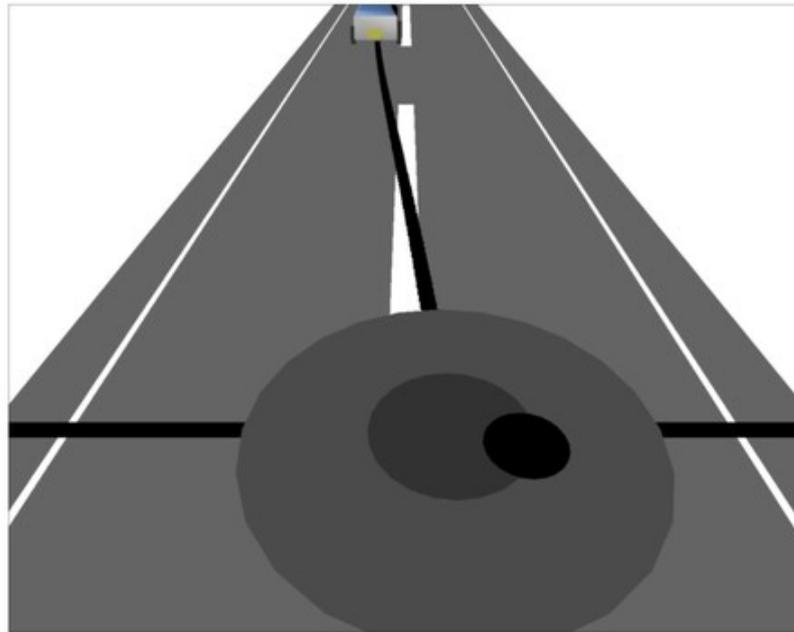


図 4.2: 提示画面

4.2 実験方法

被験者は実験1と同じ大学生および大学院生9名である。被験者には前述したドライビングシミュレータにおいて先行車を追いかけるながら、ステレオや空調の操作パネルを模したタブレット端末で、通常タップ、逆タップそれぞれのタスクを実行してもらう。実験の前にドライビングシミュレータの操作練習をもらった。なお、逆タップ操作に関しては、実験1と同じ被験者であるため、すでに経験済みである。以下で本実験の手順について示す。

1. 運転操作開始
2. タブレット操作タスク (例:温度を1度上げる) を受ける
3. タスクを実行 (運転操作をしながら)
4. 正しく実行できたと感じたら、合図
5. 上記2, 3, 4を30秒間繰り返す

6. タスクを実行した回数を記録

7. 運転スコアを算出

この手順を通常タップ、逆タップそれぞれで行う。実験の様子を図4.3, 4.4に示す。

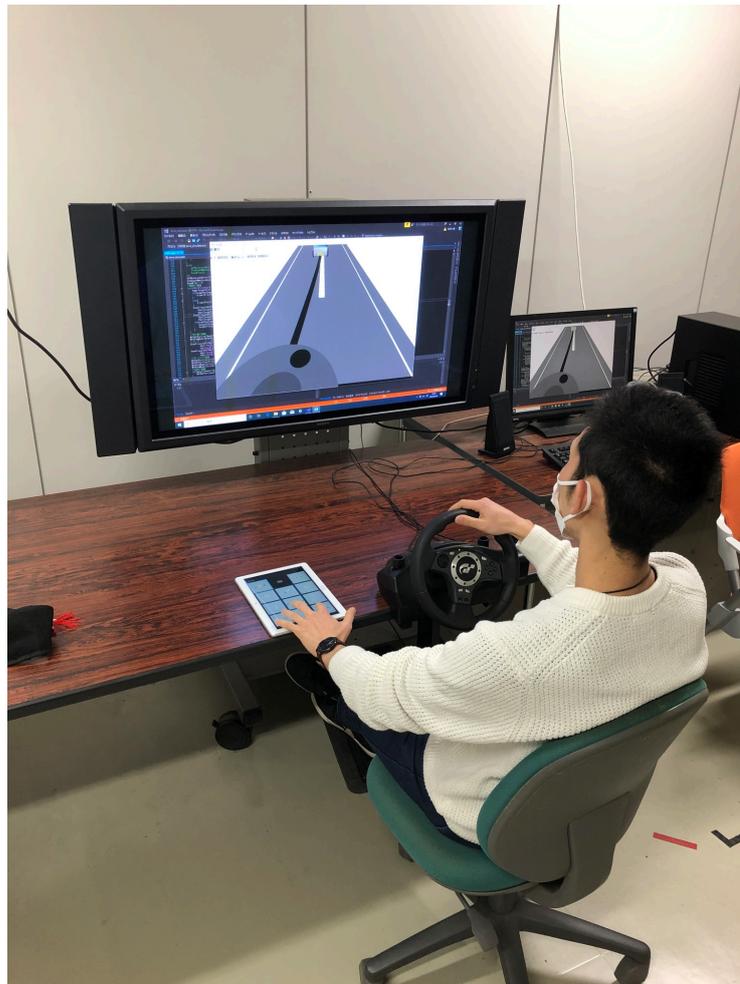


図 4.3: 実験 2 の様子 (1)



図 4.4: 実験 2 の様子 (2)

4.3 実験結果と考察

各被験者の運転スコアとタスク実行回数を表 4.1, 4.2 に示す。通常タップ、逆タップにおいてタスク実行回数は変化しなかったが、運転スコアに関して逆タップの結果が通常タップの結果よりも平均約 5 点低下した。また実験後の被験者から以下のような意見が出た。

- 配置を完全に覚えていたらもう少しやりやすいかも
- 突起物の部分が反応しないのが使いづらい

本実験では画面を注視できない状況での逆タップの優位性は得られなかった。これ

は被験者が逆タップ操作に不慣れであったことが原因ではないかと考えられる。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だろうか。被験者が逆タップ操作に慣れた状態であったり、より直感的に分かりやすい触覚的特徴を付けたりすれば、有用な結果が得られるのではないかと考えられる。

被験者	運転スコア	タスク実行回数
A	91	6
B	82	5
C	84	8
D	82	8
E	96	6
F	92	9
G	91	6
H	91	8
I	78	6
平均	87.44	6.88

表 4.1: 通常タップの結果

被験者	運転スコア	タスク実行回数
A	74	5
B	81	6
C	84	9
D	92	6
E	74	7
F	86	9
G	81	6
H	88	8
I	82	6
平均	82.44	6.88

表 4.2: 逆タップの結果

第5章 むすび

本研究では、タッチタイプが困難であり、そのため視覚障害者にとって操作が難しい静電容量式タッチパネルを対象に、画面を全く見ない、または注視しない状態で操作可能な新しいタップ操作方法について提案した。提案のタップ方法による実験システムを構築し、通常のタップ操作との比較による有用性の検証実験を行った。実験では視覚障害者による利用(実験1)や、車の運転中という画面を注視できない状況での利用(実験2)を想定した。実験1では被験者の操作成績の向上が見られ、逆タップの有用性が確認できた。一方、実験2では操作成績の向上が確認できなかつただけでなく、運転操作もおろそかになってしまった。これは被験者が逆タップ操作に不慣れであったことに加えて、簡易シミュレータであり運転に対する集中の必要性が低かったためであることも考えられる。被験者が逆タップ操作に慣れた状態であり、また運転に集中しなければならない状況においては、一瞥しただけで注視せずに操作することが困難な通常のタップ方法に対して、提案方法の有用性が確認できる結果が得られるのではないかと考えられる。また、逆タップだけにとどまらず、スワイプやプレス&ホールドに相当する新しい操作方法についても検討したい。

本研究が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、日頃から多大な御尽力を頂き、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、本研究に多大な御協力を頂きました舟橋研究室諸氏に心から感謝致します。

参考文献

- [1] 総務省 平成 30 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/h30/html/nd252110.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, 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, pp87-95, 2016.
- [4] 李 哲, “日本の外国語教育における ICT 活用の研究動向”, 大阪大学大学院人間科学研究科紀要, 42, pp329-341, 2016.
- [5] 3D Touch - User Interaction - iOS - Human Interface Guidelines - Apple Developer, <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/user-interaction/3d-touch/>
- [6] 平成 30 年版厚生労働白書,
<https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/18/dl/1-01.pdf>
- [7] 嶋村 幸仁, “スマートフォンによる視覚障害者誘導システムに関する研究”, 筑波技術大学テクノレポート, 24(1), 113-114, 2016.
- [8] 山下 晃弘, 佐藤 佳, 佐藤 俊太, 川口 正太郎, 松林 勝志, “UHF 帯 RFID を用いた視覚障がい者向け歩行者ナビゲーションシステムの開発と展示会への適用”, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム (CDS), 7(1), pp34-43, 2017.
- [9] 森 大輝, “方向センサと振動子を用いた視覚障害者の歩行支援システム”, 平成 30 年度東京大学大学院修士論文, 2019.

[10] logicool, GT Force Pro,

<http://support.logicool.co.jp/ja-jp/product/driving-force-pro>

[11] 片岡俊樹, “操作にともなう自己主体感の操作系に対する外的要因による影響に関する調査”, 平成 29 年度名古屋工業大学大学院修士論文, 2018.