

タブレット端末で利用される手書きノートアプリケーションのための新しいメニューデザイン

木谷 篤^{1,a)} 中谷 多哉子^{2,b)}

概要: タブレット端末で利用される, 手書きのノートアプリケーションで採用されるメニューは, 使用される場面や状況, 指で操作するタブレット端末の特徴を考慮して, その形状をデザインする必要がある.

本研究ではタブレット端末を利用して, 指で操作する手書きノートアプリケーションのためのメニューとして Arc Menu を開発した. Arc Menu は, 使用される状況や指で操作することを考慮し, 操作している指の近くに表示され素早く選択できる, メニューを表示させた際に指でメニューが隠れないなどの特徴がある. Arc Menu と似た特徴を持った既存のメニューとして Pie Menu[1] が存在する. Arc Menu と Pie Menu, そして手書きノートアプリケーションで使われる画面端に表示されるメニューを用いてメニューデザインの使用性を調査するため, 2 種類の実験を行った.

- 実験 1: メニューの表示位置が操作時間に及ぼす影響
- 実験 2: 2 種類の手元に表示されるメニューの比較

実験 1 では手元に表示されるメニューの操作時間が, 画面端に表示されるメニューの操作時間より速いことが分かった. 実験 2 では手元に表示される 2 種類のメニューを比較した上で, それぞれのメニューの分析を行った. その結果, 2 種類のメニューには操作時間に差がないこと, どちらのメニューも見えにくい位置にあるアイテムは, 操作している指で隠れ, 他のアイテムと比較して操作時間が遅くなることが分かった. これらの実験はどちらも単階層のメニューを用いたが, 試験的に 3 種類の多階層メニューを作成した.

キーワード: メニューデザイン, インタフェース, タブレット端末

1. はじめに

本研究では, タブレット端末で用いられる, 手書きノートアプリケーションのメニューを開発し, 既存のメニューと比較し, その使用性を評価する. はじめに, 研究の背景と問題意識, そして研究の

目的を述べる.

1.1 研究の背景, 問題意識

スマートフォンやタブレット端末が普及するに伴い, 目的に応じた様々なアプリケーションが登場している. 手書きでノートを取ることのできるアプリケーションも増えてきている. 今後手書きノートアプリケーションを使って, 学生であれば授業中に先生が板書したものを写したり, 講義で重要なポイントをメモする, 社会人であれば会議

¹ 筑波大学大学院ビジネス科学研究科

² 筑波大学大学院ビジネス科学研究科, IEICE, IPSJ, JSSST, SEA, IEEE CS, ACM

a) atsushi.kitani@gmail.com

b) nakatani@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp

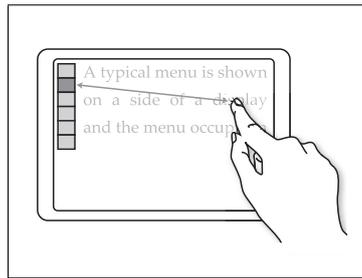


図 1 メニューの表示位置

で重要な発言を書き取るといったことが、増えてくると予想される。

このような場面では、アプリケーションでノートを取っているからといって、授業や議事の進行が待ってくれることはない。アプリケーションの利用者は、授業や会議に集中しつつ、必要に応じて、重要な箇所をハイライトしたり、太字にするために、メニューを操作して、利用する機能を切り替えながらノートを取る。そのため、利用者の思考を邪魔せず素早く扱えるメニューであることが望まれる。

そのためタブレット端末で用いられるアプリケーションのメニューでは、従来のPCなどの機器との違いや、タブレット端末の特徴、使用される場面の状況を十分に考慮した上でメニューを開発する必要がある。

以下に考慮すべき点を示す。

1.2 メニューの表示位置

図 1.2 にメニューの表示位置と操作している指の距離を図示する。画面端や上下にメニューが表示されるアプリケーションでは、ノートを記述している指からメニューの距離が図 1.2 で示すように遠くなる場合がある。

PCであれば、マウスによる操作以外にもショートカットが割り当てられていることが多く、メニューの位置に関係なく、素早く選択することが可能である。一方、タブレット端末では必ず指でタッチして操作する必要があるため、素早く操作するには、メニューが表示される位置を考慮することが重要である。

1.3 メニューデザイン

画面端に表示されるメニュー以外にも、手書きノートアプリケーションで用いることのできるメニューはある。図 2 にその例を示す。

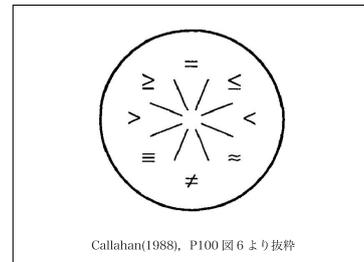


図 2 円形のメニューデザインの例

図 2 の Pie Menu[1] は、PC のマウスポインタの周りに円形に表示されるため、少ない動きでメニュー選択が可能である。Pie Menu のように、マウスポインタの周りに表示されるメニューも多く提案されているが、タブレット端末で利用される手書きノートアプリケーションのメニューの場合、操作している指や手でメニューが隠れて選択しにくいことが考えられる。

1.4 研究の目的

先に挙げた考慮すべき点を元に、新しいメニューを開発し、手書きノートアプリケーションに適しているのか、そのほかの既存のメニューとの違いはどこにあるのか明らかにするために、比較実験を行う。比較実験を通して、手書きノートアプリケーションに適したメニューデザインの使用性を評価することが本研究の目的である。

2. 関連研究

手書きノートアプリケーションのメニューデザインには、どのような特徴のメニューが適しているのか、まず、手書きアプリケーションの研究を調査し、実際にどのような手書きノートアプリケーションが、実用化されているのか確かめる。そして、本研究の主たる分野であるメニューデザインに関する先行研究を示し、開発すべきメニューデザインの参考とする。

2.1 手書きアプリケーションの定義

コンピュータで用いられる手書きアプリケーションでは、手書きとは、手書き文字認識を行なうアプリケーションのことを指すことが多い。しかし本研究ではメニューのデザインが主たる研究対象のため、本研究における手書きアプリケーションとは、手書き文字認識は行わず、指で文字を書く事のできるアプリケーションを指し、手書きノートアプリケーションと記述する場合は、授業や会議などで、ノートを取るための手書きアプリケーションのことを指す。

2.2 手書きアプリケーションに関連する研究

手書き入力機器を用いた研究は、タブレット端末が普及する前から多く行われてきている。佐保田ら(2012)[9]も文字認識エンジンを用いた手書き文字認識の研究を行っており、日本語の複雑な手書き文字でも認識出来る。

三浦ら(2005)の研究[8]では、デジタルペンとPDA(Personal Digital Assistant)を用いた、双方向のやり取りができる手書きのシステムが提案されている。

これらの研究は、手書き文字認識や双方向でのやり取りに関する研究であるため、利用されているメニューのデザインは簡素なものである。

実用的な手書きノートアプリケーションは、AppleのiPadなどのタブレット端末が普及したことで身近になってきた。既存の手書きノートアプリケーションは多数あり、その多くはきれいな線が書け、便利な機能を有していることが特徴である。

ノートを複数の人と同時に使える機能や、手書き文字認識機能を有しており、三浦らや、Anthonyらの研究を実用化したものと言える。

2.3 メニューの定義

古川康一、溝口文雄(1987)[7]は書籍「インタフェースの科学」の中で、「メニューは、複数項目の中から1つをユーザに選択させるための道具である」と定義している。

本研究では、メニューを何らかの操作で画面上に表示され、表示されている選択肢を選び、選択し

終わると、非表示になる道具と定義し、メニューを操作することで、線の太さや色を切り替えることが可能となる。

2.4 メニューに関連する研究

メニューには、画面の端に沿って配置されるメニューや、状況に応じてポップアップで表示されるもの、マウスポインタや操作している指の近くに表示されるものなど様々な種類がある。

円形のメニューで最も古いものはWisemanら(1969)によるPIXIE[6]が挙げられるが、Callahanら(1988)の提案であるPie Menu[1]がより一般的に知られている。Pie Menuは図2のように円形の形をしており、マウスポインタの周りに表示されるため少ない動きでメニューのアイテムを選択することができる。Callahan(1988)らはPie Menuと、プルダウンで表示されるメニューとの比較を行い、Pie Menuの優位性を明らかにしている。

Pie Menuを拡張したRen(2008)らのLayer Pie Menu[5]は、形状はPie Menuと似ており、操作している感圧式スタイラスペンの周りにポップアップ表示される。Layer Pie Menuはスタイラスペンで、タッチしている箇所の圧力の違いでメニューのレイヤーを切り替えることで、通常のPie Menuより、多くの選択肢からアイテムを選ぶことに成功している。Layer Pie Menuを図3に示す。

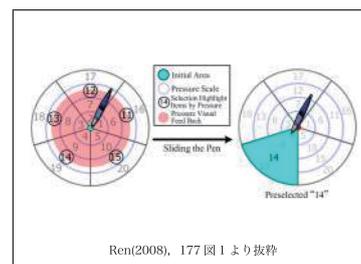


図 3 Layer Pie Menu

マウスポインタの周りに表示されるメニューとしてはKurtenbachら(1993)のMarking Menu[3]もある。Marking Menuを図4に示す。Marking Menuは初心者モードと熟練者モードの2つのモードがあり、初心者モードではメニューがマウスポ

インタの周りに表示され、熟練者モードになるとメニュー表示がなくても、マウスの動きの軌跡でメニュー選択を行なうことができる。

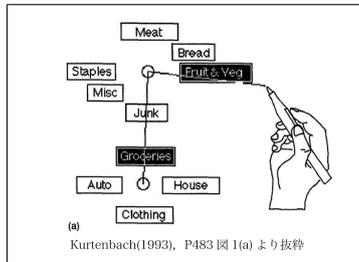


図 4 Marking Menu

Bailly ら (2007) による Wave Menu[2] は Pie Menu のように円形にメニューが表示され、第一階層のアイテムを選択する際にメニューが外側に広がり、中央のスペースに第二階層のアイテムが表示される。図 5 に Wave Menu を示す。

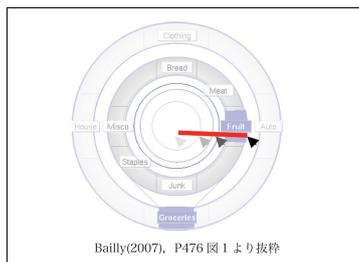


図 5 Wave Menu

様々なメニューの研究があるが、それらを実際に採用するためには、それぞれどんな操作、どんなアプリケーションに適しているのか慎重に検討する必要がある。

3. Arc Menu

ノートを取る場面は、授業中だけでなく、自宅で個人学習する場面等も想定することができるが、本研究では授業中、会議中などで板書を写す、話した内容を書き取るといった、素早い操作が求められる状況を想定している。ノートを取るという操作は、それほど多くの機能は必要ないが、重要な箇所や発言を素早く書き取る必要がある。そうした状況で利用されることを想定した、手書きノ

トアプリケーションのメニューとして、円弧の形状をした Arc Menu を開発した。

ここに Arc Menu のデザインを図 6 に示す。

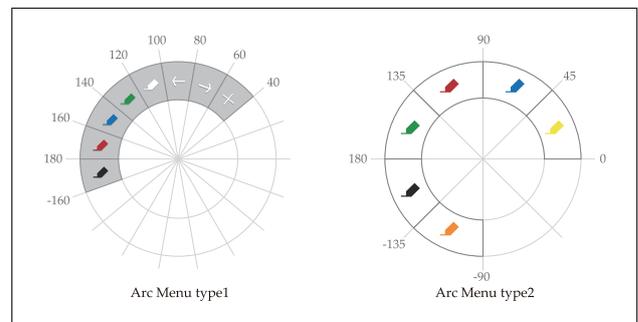


図 6 Arc Menu のデザイン

図 6 の二種類の Arc Menu は、比較実験の対象となるメニューに合わせた操作方法を採用する。type1 はシングルタップで表示させ、8 個のアイテムをシングルタップで選択する。外側の半径は 160px、内側は 100px、ひとつのアイテムに割り当てた角度は 20 度とする。表示されるアイテムの数は 8 個とし、5 色のペンと、取り消し、やり直し、クリアの 3 種類のアイテムを表示した。

type2 は長押しで表示させ、6 個のアイテムをフリックで選択する。外側の半径 100px、内側の半径が 60px、ひとつのアイテムに割り当てた角度は 45 度とし、Type1 よりも角度を広く取っているのが特徴である。どちらも右利き、左利き用がある。タブレット端末を操作したことがないような人でも操作できるよう、操作が複雑になるマルチタッチや両手での操作は行わず、片方の手の人差し指だけで操作することを想定している。

以下に、Arc Menu の特徴を示す。

3.1 ポップアップ表示で画面を専有しない

Arc Menu はポップアップで表示され、メニュー選択後はすぐに非表示になるので、画面を占有しない。手書きノートアプリケーションを用いてノートを取る場合、画面サイズが PC と比較すると小さく、多くの内容を書き込むことが困難であるため、ポップアップ表示にすることで、画面全体をノートを取るスペースとして活用できる。

3.2 素早いメニュー操作

ノートを取る作業は、授業中や講義中であれば板書の内容を見て、記憶した箇所を素早く書き取る必要がある。そのため、メニューの操作ができるだけ速く行える必要がある。Arc Menu では、メニューに表示されるアイテムを人が短期的に記憶できるおよその数 7 ± 2 [4] に収まる数にし、メニューの階層化も行わないこととした。

3.3 下のコンテンツを隠さない

ポップアップでメニューが表示されている間は、その下のコンテンツは隠れてしまう。利用者の注意がノートを取ることから、アイテムを選択することに移動すると、どこに何を書いていたのか、次にどこから書き出せばいいのか、分からなくなる可能性がある。そのため Arc Menu ではメニュー中央に透明な部分を設けることで、メニュー下のコンテンツを覆う面積を少なくし、メニューを表示させても書いている内容を確認できるようにした。

3.4 メニューを目視できる形状

利用者の指先にメニューが表示される場合、メニューを表示させた際に、操作している指の下にアイテムが隠れることがあり、アイテムが見えにくくなり、操作時間が遅くなる可能性がある。Arc Menu は円弧の形を採用することで、すべてのアイテムを目視できるように配置し、どこにどんなアイテムがあるのかすぐに分かるように配慮している。

4. メニューの比較実験

Arc Menu の設計が、実際に手書きノートアプリケーションで用いられるのに適しているのか検証するため、2つの仮説を立て、それらに対して実験を計画、実行し、その結果を評価する。2つの実験を通してメニューの特性を明らかにすることが本章の目的である。以下に仮説を示す。

- 仮説1：メニューの表示位置が画面左端に固定されているより、操作している指の近くに表示されたほうが操作時間が速い
- 仮説2：アイテムをすべて目視できるメニューのほうが、目視できないメニューよりも操作

時間が速い

ショートカットのないタブレット端末の場合、アイテムを切り替えるためにはどんな位置、形であれメニューは必要である。そして文字などを書き写す場合、書いている位置によっては画面端に固定されたメニューからの距離が遠くなるのが操作時間に影響すると考えたため仮説1を立てた。

今回の研究では、初めて使う人でも利用できる事を想定し、Marking Menu4の熟練者モードのように、メニューを表示させずに操作することは考慮していない。そのため、必ず表示されたメニューを目視しながらアイテムを選ぶ必要がある。その際、タブレットを操作する指が、表示されたメニューの一部を隠すことが操作時間に影響を与えるという考えから仮説2を立てた。

4.1 実験1：メニューの表示位置が操作時間に及ぼす影響

メニューの表示位置によって、メニュー操作の時間がどれほど変わるのか、比較実験によって明らかにする。メニューの表示位置が画面左端に固定されているより、操作している指の近くに表示されたほうが操作時間が速い、という仮説1を検証するため、画面左端に表示される、既存手書きノートアプリケーションで多く採用されているメニューと、操作している手元に表示される Arc Menu の操作時間を比較する。

4.1.1 目的

この実験では、仮説1を検証し、どちらのメニューの操作時間が速いのか明らかにすることで、Arc Menu と List Menu の操作時間に差があれば、手書きノートアプリケーションに求められるメニューとして必要な条件2をどちらのメニューが満たしているのか示すことができる。

4.1.2 実験計画

実験1を行うために、Arc Menu と比較するメニューを選定し、どのような比較実験を行なうか計画を立てた。既存の手書きノートアプリケーションで採用されているメニューの多くは、画面両端や上下に配置されている。そうしたメニューは、画面端に配置されていても、ノートを書いている

ときは表示されないものもあり、必要に応じてメニュー表示ボタンや、画面端をフリックして引き出すことで表示させるものが多い。メニューの表示位置が操作時間に及ぼす影響を明らかにするため、多くの手書きノートアプリケーションで採用されているメニューを模した List Menu⁷ を制作した。図 7 に List Menu を示す。

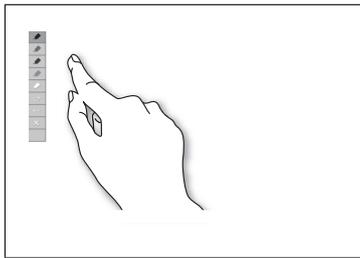


図 7 比較実験で用いた List Menu のデザイン

List Menu は画面左端に配置され、画面上をシングルタップすることで表示される。書いている位置、タップした位置に関係なく、常に画面左端に表示される。画面端に配置されており、通常の操作でメニューが隠れることはないため、利き手によって配置位置を変える事は行っていない。そのためノートを書いている位置がメニューから遠いと、メニューに近い位置から選択するよりも、アイテムを選択してから次に書き出す操作が遅くなることが予見できる。一方、指先近くに動的に表示され、ノートを画面のどこに書いていても、一定の距離でメニューからアイテムを選択できるのが、Arc Menu の特徴である。

本実験では、文字を書き終えてから、メニューを選択し、次にまた文字を書き出すまでの時間を比較することで、手書きノートアプリケーションの操作の中で、メニューの表示位置が画面左端に固定されているより、操作している指の近くに表示されたほうが操作時間が速いという仮説を検証することができる。

4.1.3 実験方法

実験は男性 3 名、女性 5 名、10 代から 40 代、右利きが 7 名、左利きが 1 名の被験者 8 名に対して実施した。実験を行なうにあたって、はじめに以下のように実験の説明をした。



図 8 比較実験の様子内容

- この実験は、手書きノートアプリケーションのためのメニューデザインの使いやすさを調べるものである
- 書き取る全体のスピードは計測しない
- 指で書き取り、画面から指を離して、メニューから色を変えて、また書き出す一連の操作にかかった時間を測る
- ほかの人とスピードを競っているわけではないので、普段ノートを取る速度で書く
- 書き取る内容はランダムに色の塗られたひらがなで、画面の背景として薄く表示される
- 同じ色の文字をまとめて書くのではなく、左上から右下に、順番に書き取ること
- 書き間違えた場合は、取り消し/やり直しボタンを押すか、もしくは白いペンで消して再度書きなおす
- 実験で使うメニューの切り替えは画面上部のメニューボタンで切り替えること
- 画面上部の開始ボタンを押してから、書き取りを行い、終わったら画面上部の終了ボタンを押すこと

実験は Apple の iPad を用いて行った。被験者のうち男性 3 名、女性 1 名は iPad をあまり触ったことがなく、残りの女性 4 名は iPad を所有していた。実験を行う前に、およそ 3 分ほど 2 種類のメニューの操作性に慣れてもらった。はじめに Arc Menu を使った書き取りを行い、次に List Menu を使った書き取りを一度ずつ行った。

実験の様子を図 8 に示す。

実験で用いたメニューは、どちらも通常は非表

示になっており、画面をシングルタップすることでメニューを表示させることができる。一度表示させたメニューを選択する場合もタップで行い、どちらもアイテムを選択すると画面から消える。Arc Menu はタップした位置を中心として円弧を描くように表示されるため、右利き、左利きによって角度の違うものを用意した。List Menu はタップされた位置、利き手に関わらず、画面左端に表示される。

4.1.4 実験結果

実験結果の、平均、分散を表 1 に示す。書き始めてから、Arc Menu を用いてアイテムを選択し、書き始めるまでの操作時間の平均は 1.71 秒であった。List Menu を用いて行った場合の操作時間の平均は 2.16 秒であった。この二種類のメニューのデータセットを用いて仮説 1 を 5% の有意水準で t 検定を行った結果、t 値=10.3308、自由度=314、p 値=2.2e-16 (< 0.05) となった。仮説 1 の帰無仮説は“表示位置が画面左端に固定されたメニューと、指の近くに表示されるメニューの操作時間に差はない”となる。そのため、実験結果から仮説 1 の帰無仮説は棄却され、指の近くに表示されるメニューのほうが操作時間が早いことが分かった。

表 1 実験 1 の被験者毎の結果

| メニュー | 平均 (秒) | 分散 |
|-----------|--------|------|
| Arc Menu | 1.71 | 0.08 |
| List Menu | 2.16 | 0.19 |

4.2 実験 2：2 種類の手元に表示されるメニューの比較

実験 1 では List menu のようにメニューが画面端に表示される場合、手元に表示されるメニューより操作時間が遅くなることが分かった。しかし Arc Menu と同じように指先近くにポップアップ表示されるメニューとの操作時間の比較は行っていないため、Arc Menu の円弧型のデザインが、操作時間にどれほど影響を与えるのかは分からない。

そこでこの実験では Arc Menu と、Pie Menu の中央に透明な箇所を設けたドーナツ型の Pie Menu (D-Pie Menu) の操作時間の比較を行い、Arc Menu

の円弧型のデザインが操作性にどのように影響をしているのか調査する。

通常の Pie Menu ではなく、中央に透明な箇所を設けた D-Pie Menu との比較にしたのは、Arc Menu と同じように中央に透明な箇所を設けた Pie Menu にすることで、透明な箇所の有無による操作時間への影響をなくし、円弧の形と、円の形の違いの影響だけを比較することが出来るためである。

Arc Menu は操作している指の周りにポップアップで表示される。表示されるアイテムは 6 個、それぞれ 45 度ずつ割り当ててあり、操作している指の右下 90 度には何も表示されない。D-Pie Menu も同じように指の周りにポップアップで表示され、表示されるアイテム 6 個に 60 度ずつ割り当ててあり、360 度全方位にメニューが表示される。

Arc Menu と D-Pie Menu を比較すると、Arc Menu のほうがひとつのアイテムに割り当てられた角度が狭くなるが、操作している指や手に隠れにくいいため、すべてのアイテムを目視しやすい。そのため、メニューのアイテムに割り当てられた角度が狭くなることを差し引いても、ノートを取る際には、指で隠れる箇所がない Arc Menu の方が D-Pie Menu よりも操作しやすく、操作時間が速くなると考え、アイテムをすべて目視できるメニューのほうが、目視できないメニューよりも操作時間が速いという仮説を立てた。

4.2.1 目的

この実験の目的は、Arc Menu と D-Pie Menu の操作時間を比較した上で、ふたつのメニューの特徴を明らかにすることである。ふたつのメニューの比較から、操作時間に優位な差があるのか分かる。さらに個別のメニューの分析から、それぞれの特徴を明らかにすることができる。

4.2.2 実験計画

被験者には、実際にノートを取る中で、2 種類のメニューを使った操作を行ってもらい、そのメニュー選択にかかる時間を計測する実験計画を立てた。

4.2.3 実験方法

Arc Menu と D-Pie Menu の 2 種類のメニューをノートを取る流れの中で使用する。被験者は提

示された対象物を見て、手書きノートアプリケーションを用いて対象物を書き写す。その過程でメニューを表示させ色を変更する。本実験では、メニューが表示されてから色を選択し終わるまでの速度を計測し、2種類のメニューの操作時間を比較する。

実験には、実験1と同じようにiPadを用い、メニューの数は6個とした。被験者の前に6色に色分けされたアルファベットと数字が書かれたものを表示する。被験者は左上からひとつずつ文字を書き写し、必要に応じてメニューを表示させ、色を変更する。Arc Menu、D-Pie Menuともに0.4秒間長押しをすると指の周りに表示される。Arcは右利きの場合、右下の45度、左利きの場合には左下の45度が欠けている形をしている。D-Pie Menuは左利きの被験者の実験データは左右を反転させ、右利きの実験データに合わせて計測を行った。色を間違えた場合は消さずに、選択しなおして書くよう指示。メニューの操作に慣れた被験者と、慣れていない被験者の差をなくすため、メニューの中でアイテムが表示される位置はランダムで変わる。

被験者は20代から50代、男10名、女8名の計18名。右利きが16名、左利きが2名。各メニュー3回ずつ、計9回の書き写しを行う。

4.2.4 実験結果

実験で得られたデータをアイテムごとに分けた、Arc Menuの箱ひげ図を図9、D-Pie Menuの箱ひげ図を図10に示す。

縦軸は操作時間、横軸はメニューに配置されたアイテムを表している。以下に箱ひげ図の各部の値を示す。

- 箱の上辺：第3四分位数
 - 箱の下辺：第1四分位数
 - 上ひげの先端：第3四分位数+1.5 × IQR (四分位数範囲) より小さい値
 - 下ひげの先端：第1四分位数-1.5 × IQR (四分位数範囲) より大きい値
 - ひげの外：上下のひげの範囲よりも外れている値
 - 中央の太線：中央値
- どちらのメニューごとのアイテムも、外れ値を

確認できるが、これらは長押し操作で、上手くメニューを表示できなかった場合や、iPadの操作に慣れていない被験者が、メニューの表示に手間取った可能性がある。

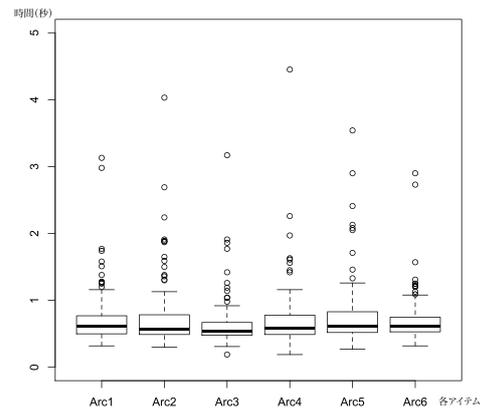


図9 Arc Menuの箱ひげ図

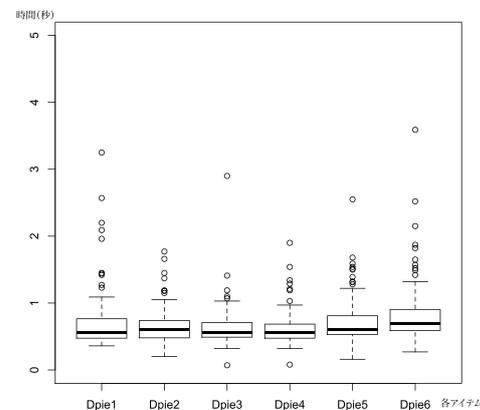


図10 D-Pie Menuの箱ひげ図

外れ値はスミルノフ・グラブス検定を用いて削除し、各アイテムごとの操作時間を抽出した。外れ値を除去したArc MenuとD-Pie Menuの全体における操作時間の平均を求めると以下の表2のようになった。

平均も分散も殆ど差はなく、有意水準5%にお

表 2 実験 2 の結果 (平均と分散)

| メニュー | 平均 (秒) | 分散 |
|------------|--------|------|
| Arc Menu | 0.64 | 0.05 |
| D-Pie Menu | 0.65 | 0.06 |

ける t 検定を行った結果, t 値=0.7831, 自由度=1154.586, p 値=0.4337(> 0.05) となり, ふたつのメニューには統計上有意な差はないことが分かった.

次に Arc Menu, D-Pie Menu それぞれのメニューを個別に分析し, なぜ両メニューの操作時間に差がなかったのかを検証する.

4.2.5 Arc Menu の分析

Arc Menu のアイテムごとの操作時間における分散分析の結果, P 値=0.0011(< 0.01) となり, Arc のアイテムごとの操作時間には統計的に有意な差があることが分かった. これは, Arc Menu のアイテムすべてが均等に選択しやすいわけではないことを意味する.

さらにテューキーの方法を用いて多重比較を行い, どの場所のアイテムが有意に速い/遅いのかを調査した結果を図 11 に示す. 図 11 を見ると arc2 はほかのアイテムより操作時間が速いため, arc0 と arc4, arc5 と有意な差が生じている. arc5 はほかのアイテムよりも操作時間が遅いため, arc2 だけでなく arc1 とも有意な差が生じている. arc5 がほかのアイテムより操作時間が遅いのは下側の指に隠れる位置に近い箇所に配置してあるためと考えられる. これはメニューが操作している指で隠れないようにデザインしたが, 指の角度や位置によって arc1 や arc5 が見えにくくなってしまったためと考えられる.

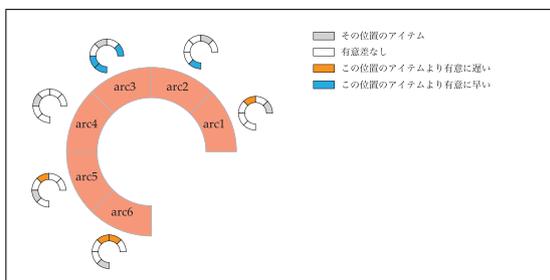


図 11 Arc Menu における各アイテムごとの有意な差のある位置

4.2.6 D-Pie Menu の分析

D-Pie Menu は指からの距離はもどのアイテムも同じであるが, 指で操作する場合, 操作している指で隠れる箇所があり, その箇所を選択する速度は, ほかの目視できる箇所を選択する速度よりも遅くなることが考えられる. D-Pie Menu のアイテムごとの操作時間における分散分析の結果, P 値=3.43e-07(< 0.001) となり, D-Pie Menu の各アイテムの操作時間にも Arc Menu 同様, 統計的に有意な差があった. D-Pie Menu のアイテムもすべてが均等に選択しやすいわけではない.

どのアイテム間に有意な差があるのかテューキーの方法を用いて多重比較を行った結果, どの場所のアイテムがどの場所のアイテムより有意に速い/遅いのかを図 12 に示す.

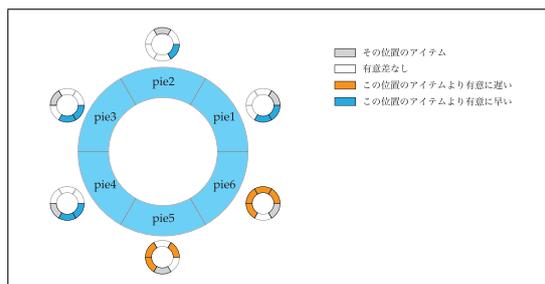


図 12 D-Pie Menu における各アイテムごとの有意な差のある位置

図 12 を見ると pie5 は pie1, pie3, pie4 より操作時間が遅く, pie6 は pie1, pie2, pie3, pie4 より操作時間が遅いことが分かる. pie5 は真下, pie6 は右下に位置し, どちらも指の下に隠れる位置にあるため, 操作にかかる時間が遅く, ほかのアイテムとの差が生じた. pie5 と pie6 はどちらも同様に遅いためふたつに有意差は生じていない.

5. 考察

実験 1 において, メニューの表示位置による操作時間の違いを調査し, メニューの表示位置が画面左端に固定されているより, 操作している指の近くに表示されたほうが操作時間が速い, という仮説を検証した結果, 操作している指の近くに表示されたほうが操作時間が有意に速いことが分かった.

これはタブレット端末で用いられる手書きノートアプリケーションは、メニューの表示位置によって、その操作時間が変わり、全体として指の近くに表示されるメニューよりも操作時間が遅いということを示している。メニュー操作をできるだけ速く行うためには、画面端にメニューを表示させるのではなく、ポップアップで手元に表示させる方が、素早い操作を実現することができる。

実験 2 では、Arc Menu と D-Pie Menu の操作時間を比較し、ふたつのメニューの操作時間に有意差はなかったことが分かった。しかし、これはふたつのメニューの使用性が全く同じであるということではなく、メニューのアイテムごとの操作時間の違いを調査したところ、Arc Menu では 15 通りの組み合わせのうち 4 組、D-Pie Menu では 7 組に統計的有意な差があり、Arc Menu、D-Pie Menu とともに各アイテムを選択するのにかかる時間は均一でないことが分かった。

D-Pie Menu で操作時間に差があったのは、指で隠れる位置に配置された下と、右下のアイテムであった。Arc Menu も各アイテムの操作時間にはばらつきがあり、メニューを表示していない箇所に隣接するアイテムと、そして左下のアイテムが遅いことが分かった。

割り当てられた角度の違う Arc Menu と D-Pie Menu の操作時間に有意な差がなかったのは、D-Pie Menu の操作時間が遅い箇所が、全体の操作時間を引き下げたためと考えられる。

よってタブレット端末用の手書きノートアプリケーションのメニューは Arc Menu のように、表示させた際にすべてのアイテムを目視できるように配置するか、Pie Menu のような形状のメニューを用いる場合、指で隠れる位置には、使用頻度の低い機能を配置するなどの工夫することが望ましい。

6. メニューの階層化

今回の 2 つの実験では、メニューは単一階層のみとしたため、表示できるアイテムの数に限りがあった。そこで Arc Menu を階層化し、より多くのアイテムや機能を選択できるようなメニュー：Layered Arc Menu を 3 種類作成した。

6.1 階層化の案 1

第一階層のメニューがこれまでと同じようにポップアップで表示され、選択されたアイテムにサブメニューが含まれている場合、第二階層のメニューが第一階層の外側に表示される案。この案を図 13 に示す。

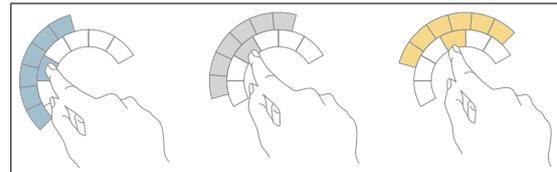


図 13 第一階層の外側に第二階層が表示される

図 13 に示した Layered Arc Menu を操作したところ、フリック操作の場合、図 14 のように、第二階層にあるアイテムを選択する際に、より近い経路を辿ろうとするため、手前の第一階層のメニューを誤って選択してしまうことがわかった。

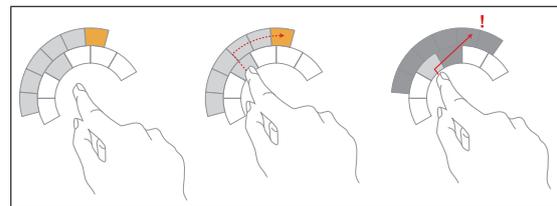


図 14 手前の第一階層で意図しないアイテムを選択してしまう

6.2 階層化の案 2

そこで図 15 に示すように、フリック操作で操作する際、第二階層のアイテムを選択しようとすると、第一階層のメニューが内側に縮まり、誤って他の第一階層のアイテムを選択しないようなメニューを作成した。

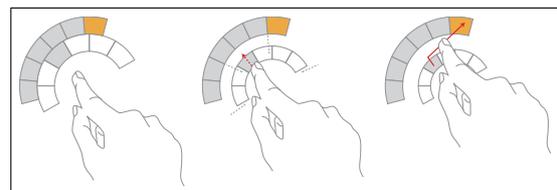


図 15 フリックでの誤操作を減らす案

6.3 階層化の案3

また図 16 にのように，第一階層のメニューのアイテムを選択すると，第一階層のメニューは消え，その位置に第二階層のメニューが表示されるメニューを作成した．この場合，第二階層のメニューのアイテムのうち，一つは第一階層に戻るためのボタンとして割り当てる必要がある．

この場合，メニューの階層関係を認識しにくいですが，階層が深くなるにつれ外側にメニューが広がっていくことはない．

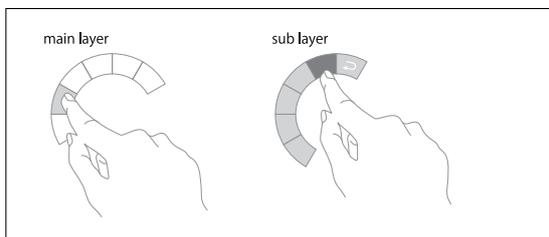


図 16 第一階層が消え，第二階層がその位置に表示される案

7. 今後の課題

タブレット端末でノートを取る際に利用されることを想定し，単階層のメニューデザインを提案した．実際のアプリケーションの場合，単階層では選択できるアイテムの数が少ないため，今後は最後に提案したような，複数階層のデザインとその操作性についても，より詳しく調べる必要がある．

今回のシンポジウムで発表した際にいただいたアドバイスとして，多階層の案2のように，操作中にメニューが縮まるのではなく，ある方向に指を動かしているときは第一階層の選択を遅延させるといった解決策もあるという知見も得ることができた．

そして単に機能やボタンを増やすということではなく，ノートを取るという前提のもと，実際にタブレット端末でノートを取るには，どのようなメニューが適切なのか，階層化した際の形や動きはどうすれば良いのか，メニュー以外には問題はないのか，様々な視点から，手書きノートアプリケーションが使われる状況を考慮し，引き続き研究を続ける必要がある．

参考文献

- [1] Callahan, J., Hopkins, D., Weiser, M. and Shneiderman, B.: An empirical comparison of pie vs. linear menus, *CHI '88: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (1988).
- [2] Gilles Bailly, E. L. and Nigay, L.: Wave Menus: Improving the Novice Mode of Hierarchical Marking Menus, *INTERACT'07: LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE*, pp. 475–488 (2007).
- [3] Gordon P. Kurtenbach, Abigail J. Sellen and William A. S. Buxton.: An empirical evaluation of some articulatory and cognitive aspects of “marking menus”, *In Human Computer Interaction*, pp. 1–23 (1993).
- [4] Miller, G.: The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information., *Psychological Review*, pp. 81–97 (1956).
- [5] Ren, X., Oya, T., Yin, J. and Liu, Y.: Enhancing Pie-Menu Selection with Pen Pressure, *Innovative Computing Information and Control, 2008. ICICIC '08. 3rd International Conference* (2008).
- [6] Wiseman, N. E., Lemke, H. U. and Hiles, J. O.: PIXIE: A New Approach to Graphical Man-machine Communication, *Proceedings of 1969 CAD Conference Southhampton 463.*, Vol. 51 (1969).
- [7] 古川康一，溝口文雄：インタフェースの科学，共立出版 (1987).
- [8] 三浦元喜，國藤進，志築文太郎，田中二郎：デジタルペンと PDA を利用した実世界指向インタラクティブ授業支援システム，*情報処理学会論文誌*，Vol. 46, No. 9 (2005).
- [9] 佐保田遼，中川正樹：文字認識エンジンを用いた手書きワープロの開発と評価，*ヒューマンインタフェースシンポジウム* (2012).

質疑・応答

質問 両手を使うという議論にはならないのですか？

回答 実験に関しては片手という制約の中でやっていますが，両手を使うのもあります．階層化したアークメニューは二カ所同時にタップして表示させるので，書いている手と別の手でタップして表示させる手法も考えられます．

質問 書いている場所からどんどん離れてしまうというのはよくないと言っていますが，それほど指が離れてしまうのは問題ではないの

では？

回答 絵を描くならいいのですが、メモやノートを取るときは素早く操作する必要があるので、操作している手元からの移動距離は少ない方がいいと考えています。

質問 ノートを取るのにそもそも指ってというのはどうなの？？なんで指で取っているの？

回答 指で書くと字が大きくなってしまふのは分かりますが、スタイラスがすべてのタブレットに付属している訳ではないので、まずは指での操作を前提にしています。

質問 いくつぐらいのメニュー項目を選べばいいと考えていますか？レイヤーの数ではなく、一度に表示される数、必要なエントリー数はどれくらいと考えていますか？

回答 色々な機能が必要なのは分かっていますが、まず、素早くメモを取るためのメニューとしては、一度に表示されるのは6～8個と考えています。

質問 逆に本当にださないといけない数が先にあって、それに合わせてUIが決まるはず。

回答 確かにそうかもしれません。その数がアーク型で操作できる数に収まるならアーク型でもいいが、より多く出す必要があるならそれに合わせた形にするのが良いかもしれません。

質問 アークでもパイでもアイコンであれば問題ないけど、文字で表示しなければいけないメニューの場合はどうするのか？

回答 ドローイングソフトなどのパレットのようにアイコンで表現できるものだけを用意しました。この形状だと長い文字列は表示できないのですが、タッチした際に、ポップアップで文字を表示させることはできます。

質問 パイメニューはもっと古いのがある。参考文献が間違っている。

回答 確認し訂正します。