

携帯型ペン入力情報機器における ペンジェスチャ入力指示インタフェース

加藤 直樹[†] 大美賀 かおり^{††} 中川 正樹[†]

本論文では、携帯型情報機器上でのペンジェスチャ入力 UI において、デジタルインク入力とペンジェスチャ入力の区別に画面上のボタンを用いる方法とペンを一定時間停留させる方法について考察した。ペンジェスチャの入力前に指示する手順と後に指示する手順の必要性を調査する実験を行ったところ、ペンジェスチャの操作に慣れている人は前に指示する手順を、不慣れな人は後に指示する手順をよく使う傾向があるが、両手順ともに使われるため、両方を利用できるようにすべきであることが分かった。また、一定期間にわたる使用実験から、提案した入力指示方法は、従来のサイドスイッチを用いる方法に代わることができるという有効性が示された。前記の両手順を提供すべきことに加えて、PDA の画面サイズの制約からボタン領域は最小限にとどめること、ペンジェスチャ入力の操作ミスから復帰できるようにすること、ペンによる操作に適すことを方針として、押し方でペンジェスチャの入力指示と使用する手順変更の 2 つの機能を実行できるボタンインタフェースを提案した。普通にボタンを押す操作を入力指示に割り当て、ボタンを押したまま停留させるか、押したままボタン外に引きずると反対の手順による入力を指示できるようになる。このボタンインタフェースに対する評価実験を行ったところ、ペンジェスチャの入力指示と手順変更ともに簡単に行えること、ペンの停留より引きずる方法の方が好まれて使われることが分かった。

User Interfaces for Designating Pen Gesture Input on Pen-based Personal Digital Assistants

NAOKI KATO,[†] KAORI OOMIKA^{††} and MASAKI NAKAGAWA[†]

This paper describes user interfaces for designating pen-gesture input without making designation of digital-ink input on pen-based PDAs. A question arises on whether the designation should be made before or after a pen-gesture is written. A simple experiment has revealed that users who are familiar with pen-gestures are likely employ 'before' and those unfamiliar often employ 'after'. Nevertheless, they use both the methods so that the both must be available. Moreover, it is useful if we could validate a pen-gesture written without designation in the 'before' method. Furthermore, the area for buttons should be minimal for small-faces such as PDAs and operations should be suited for a pen. These lead us to the design that a single button designates pen-gesture input and also accepts the method change between 'before' and 'after'. When this button is tapped, a pen-gesture is indicated according to the current method. When it is kept pushed for a while or moved outside from the button, not only the method is switched but also a pen-gesture is inputted by this method. Evaluation experiments have shown that the single action to switch the method and designate pen-gesture input is simple for users and the interface that a pen is moved out is preferred to the other.

1. はじめに

近年、ペン入力をコンピュータとの対話手段として採用したシステムの製品化、実用化が進んでいる。特に、多くの携帯型情報機器 (PDA: Personal Digital Assistants) がペン入力を採用している。この理由は、

情報の表示面と入力面を一体化できるペン入力の特長と、小型化が重要な機器の要求が一致したことと考えられる。また、ペンは、紙とともに人間が長い間親しんできたものであり、ペン入力を採用することで、だれもが簡単に使えるユーザインタフェース (以下、UI と記す) の提供が期待できる。

ペン入力を採用した UI における特徴的な対話技法の 1 つにペンジェスチャがある。ペンジェスチャは筆跡の位置と形状で、操作の種類、対象、属性を一括して指示できるため、素早く操作指示ができる。また、

[†] 東京農工大学
Tokyo University of Agriculture and Technology
^{††} ソニー株式会社
Sony Corporation

ペンによる自由筆記と同じ動作であるため、一連の流れを妨げない操作手順を提供できる。これらの点が注目され、図形の入力¹⁾、文章や図の編集^{2),3)}など、あらゆる分野への利用が研究されてきている。

一方、これらの研究や実用化が進められていく中で、ペンジェスチャの形状が覚えきれないという問題が浮上した。また、ペンジェスチャの誤認識も大きな問題点である。ペンジェスチャの形状や位置の認識で誤りが生じると、意図しない機能が意図しない対象に対して実行されてしまうことになる。

さらに、ペンジェスチャを、手書きの文字や図形(これらをデジタルインクと呼ぶ)を描く操作の中に組み入れる場合、通常のデジタルインク入力とペンジェスチャの入力をなんらかの方法で区別しなければならないという課題がある。さらに、両者を間違えて入力してしまうことも考えられ、この誤操作を訂正できるようにもすべきである。

ペンジェスチャをだれもが簡単かつ正確に利用できる対話技法とするためには、デジタルインクの入力とペンジェスチャの入力を正確に区別し、かつ、操作ミスにも素早く対応できるようにする必要がある。また、PDAは小画面であるため、それに適したものにすることが必要である。

本論文では、PDA上でデジタルインクを自由に筆記し、その編集をするタスクに適したペンジェスチャ入力指示方法と、ボタンインタフェースについて述べる。まず、デジタルインク入力とペンジェスチャ入力を区別する2つの方法を提案し、それらを評価する実験について述べる。次に、ペンジェスチャ入力指示に用いることを前提とし、画面領域を有効利用すること、操作ミスに対処すること、ペン入力に適すこと、操作の手間を減らすことに考慮して、押し方によって2つの機能を実行できるボタンインタフェースを提案し、それを評価するために行った実験について述べる。

2. ペンジェスチャ入力指示方法の検討

2.1 ボタンとペンの停留を用いた指示方法の提案

本論文では、PDA上でデジタルインクを自由に筆記し、その編集を行う一連のタスクに対してペンジェスチャを適用するときのことを考える。我々はこのタスクがペン入力の良さを最も活かすものであると考えている。

この場合、先にも述べたとおり、デジタルインクの入力とペンジェスチャの入力を区別しなければならない。多くのシステムが、ペンのサイドスイッチを押しながら入力した場合をペンジェスチャの入力とする

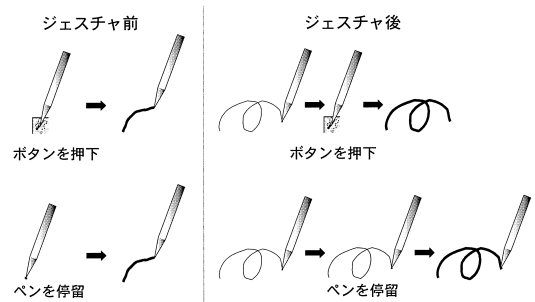


図1 提案するペンジェスチャの入力指示方法

Fig.1 Proposed user interfaces for designating pen-gesture input.

方法をとっている。しかし、感圧式のタブレットを使用しているPDAのペンにはサイドスイッチが存在しないため、この方法に頼ることはできない。また、サイドスイッチを間違えて押してしまったり、押し損なったりすることが多く、ペンが小さいPDAではこの問題はさらに大きなものとなる可能性がある。ペンジェスチャを筆跡の形状を用いて自動認識する方法もあるが、誤認識の問題が避けられない。さらにこの方法には、ペンジェスチャと同形状のデジタルインクが入力できないという問題もある。

そこで、正確にペンジェスチャを入力でき、かつハードウェアにも依存しない指示方法として、画面上に配置したボタンを押す方法⁴⁾、および、ペンの停留を用いる方法を提案する⁵⁾。ペンの停留とはペン先を同じ場所に一定時間とどめる操作である。

ボタンを押したりペンを停留させたりすることで、ペンジェスチャの入力を指示する操作手順としては、次の2つが考えられる(図1)。

- (a) ボタンを押してからペンジェスチャを入力する。または、ペンジェスチャの筆記前にペンを停留させる。以下、これらをジェスチャ前と呼ぶ。
- (b) ペンジェスチャを入力してからボタンを押す。または、ペンジェスチャの筆記後にペンを停留させる。以下、これらをジェスチャ後と呼ぶ。

既存のUIにおける一般的なボタンの使い方では、ボタンを押すことでなんらかの処理が開始される。(a)はこれと同一の手順であり、直感的に分かりやすいと考えられる。ペンのサイドスイッチを押しながら入力する方法も、まず先にサイドスイッチを押す動作をするため、これに慣れた人にとって(a)は基本的に同じ手順であると考えられる。それに対し、(b)はペンジェスチャの入力を行った後にボタンを押すため、一般的な手順とは異なり、ユーザに混乱を招く可能性があるといえる。

しかし、人間の思考パターンを考慮すると (b) にも利点がある。人間は、宣言を行ってから作業をするという手順において、宣言をし忘れることが多い。そのため、ボタンを押す前にペンジェスチャの入力を行い、その後で入力がデジタルインクの入力になっていることに気づくことがある。この傾向を考慮すると、後からペンジェスチャであることを指示できた方が分かりやすく、また間違いも起こしにくい。

手順 (a), (b) にはそれぞれ利点がある。実際にユーザがどちらを好み、頻繁に使用するかを調査し、どちらかに極端な偏りがあればそちらを採用すべきである。また、極端な偏りがない場合には、ユーザが自由にどちらを使うか設定できる機能を設ける必要があるといえる。そこで、これらの点を明らかにすることと、サイドスイッチを用いる方法を含め、今回提案したボタンとペンの停留を用いる方法のどれがユーザにとって使いやすいものかを調べる実験を行った。

2.2 実験方針

実験では、デジタルインクを描くことと描いたデジタルインクの編集を行えるソフトウェア上で、被験者に囲みジェスチャと呼ぶペンジェスチャを使用してもらうことで、提案したペンジェスチャ入力指示方法を評価する。

囲みジェスチャとは、編集操作において、編集対象となるオブジェクトを囲む線を描くことで対象の指示を行うペンジェスチャである⁶⁾(図2)。ペンジェスチャにはこの対象指定以外にも、挿入、削除、移動などの操作を意味するペンジェスチャが提案されている。しかし、どのようなペンジェスチャを設計したとしても、デジタルインク入力とペンジェスチャ入力との区別は必要であり、かつ、そのペンジェスチャに近い文字や図形を入力することは考えられるため、区別の問題を形状では回避できない。これらの点はあらゆるペンジェスチャに共通の問題である。また、囲みジェスチャは、様々な大きさの入力、様々な速さでの入力が考えられ、一般的なペンジェスチャ(図3)の入力動作を包含する。これらのことから、すべてのペンジェスチャについて実験する必要はなく、対象指定のペンジェスチャで、問題を代表できると考えた。

また、実験では移動や削除など編集操作の種類を、またはそれらの実行を指示する方法としてメニュー上に配置したボタンを押す方法を採用した。これはジェスチャ前とジェスチャ後の好みを調べるうえで問題を複雑にしないためである。

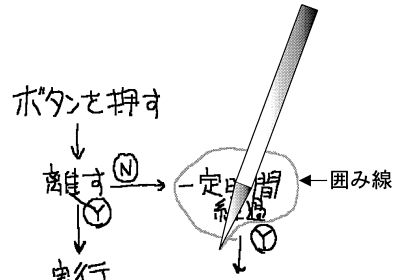


図2 囲みジェスチャによる対象選択

Fig. 2 Objects selection by circumscribing gesture.

コピー	削除	改行

図3 ペンジェスチャの例

Fig. 3 Example of pen gestures.

2.3 ボタンを用いた指示方法における2通りの手順についての評価(実験1)

2.3.1 実験内容

本実験では、ボタンを用いる方法を代表として、ジェスチャ前とジェスチャ後のどちらが頻繁に使われるのか調べることを目的とした。被験者には、実験前にジェスチャ前とジェスチャ後両手順によるペンジェスチャ入力の方法を説明し、操作に慣れるまで練習させた。そして、文字や図からなるメモを自由に筆記し、編集を行いたいときは、ジェスチャ前とジェスチャ後のどちらか好きな方で編集対象を指示し、その後、移動、拡大縮小、コピー、ペースト、カット、削除の各編集処理を実行するよう指示した。その際、上記6種類の編集処理を各1回以上実行し、かつ、各処理を実行ごとに囲みジェスチャを入力するように指示した。つまり、少なくとも実行すべき編集処理の回数(6回)だけ、ジェスチャ前かジェスチャ後による囲みジェスチャの入力を行うことになる。この実験では、ジェスチャ前とジェスチャ後がそれぞれ何回利用されたかを計測した。また、ユーザの意見を収集するためにアンケートに答えてもらった。

2.3.2 実験環境

次に被験者および使用した機材を示す。

(1) 被験者

被験者は、ペンジェスチャの使用経験年数が3年以上の人5名(ペンジェスチャに慣れている者)、1年未

表 1 実験 1 に使用した機材

Table 1 Environment for an evaluation experiment 1.

製品名	日立製マルチコミュニケータ Possible
型番	PMC-100
CPU	SH-1 (12 MHz)
タブレット	感圧式
表示画面	反射型 STN 液晶, 5.5 インチ, 480 × 320 ドット

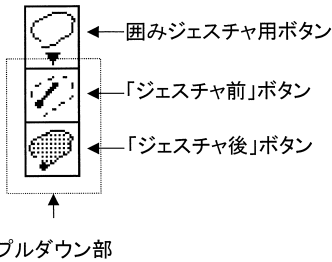


図 4 ペンジェスチャ入力用のボタン

Fig. 4 Button interface for pen gesture input.

満の人 6 名 (ペンジェスチャに不慣れな者) から構成される 11 名である .

(2) 使用機材

実験に使用したハードウェアの仕様を表 1 に示す . このハードウェア上に実装した実験用ソフトウェアの仕様を次に示す .

- デジタルインク入力・編集機能 : デジタルインクの入力と, それらの移動, 拡大縮小, コピー, ペースト, カット, 削除ができる . 対象指定は囲みジェスチャによって行え, 編集対象を選択すると操作の種類を指示するためのメニューが現れる .
- 囲みジェスチャ入力指示機能 : ジェスチャ前とジェスチャ後それぞれの手順による囲みジェスチャ入力を指示するためのボタンを画面上にプルダウン形式で配置する (図 4) . 図内最上部のボタンをペンタップすることで, 2 つのボタンを含むプルダウン部が出現する . これらのボタンのいずれかをペンタップすることで囲みジェスチャの入力を指示できる .

2.3.3 実験結果

ジェスチャ前とジェスチャ後それぞれを使用した回数について, 被験者別に集計した割合を図 5 に, 被験者の特徴別 (被験者全体, ペンジェスチャに慣れている者, 不慣れな者) に集計した割合を表 2 に示す . 図 5 において被験者番号 1 から 5 までがペンジェスチャに慣れている者, 6 から 11 までが不慣れな者であり, 各棒の中の数は使用回数である .

また, アンケートの内容と結果を図 6 に示す . 図内の数字は回答した人数である . なお, 数名の被験者が

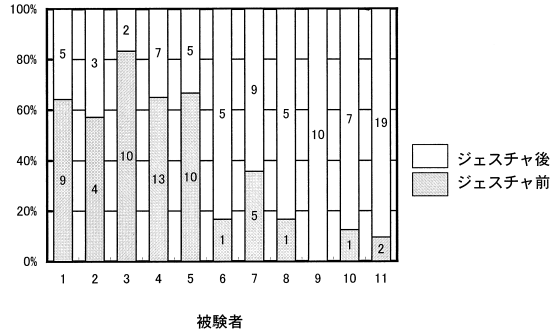


図 5 ペンジェスチャ入力手順の被験者別使用回数

Fig. 5 Frequency in use of pen gesture input method used button.

表 2 ジェスチャ前とジェスチャ後の使用頻度

Table 2 Percentage of using pen gesture input modes.

	ペンジェスチャに		
	被験者全体	慣れている者	不慣れな者
ジェスチャ前	42%	68%	15%
ジェスチャ後	58%	32%	85%

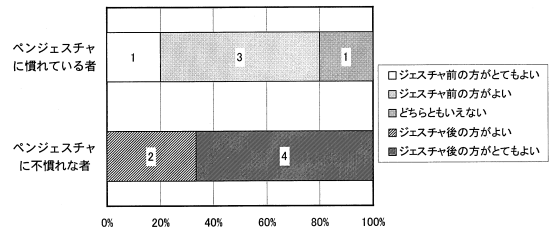


図 6 ペンジェスチャ入力手順に対する好みの比率

Fig. 6 Preference of pen gesture input method.

ら, 次の意見が得られた .

- ジェスチャ前の方が分かりやすいと思ったが, 実際に操作してみるとジェスチャ後の方が使いやすかった .

2.3.4 考察

ペンジェスチャに慣れている者に着目すると, 5 名全員がジェスチャ前を多く使用し, 平均でもジェスチャ前が 68% と頻繁に使っていることが分かる (図 5, 表 2 参照) . また, アンケートの集計結果からも, ジェスチャ前に好みがあることが分かる (図 6 参照) . 一方, ペンジェスチャに不慣れな者に着目すると, 6 名全員がジェスチャ後を多用し, 平均でもジェスチャ後が 85% とジェスチャ後の方を頻繁に使っていることが分かる (図 5, 表 2 参照) . また, アンケートの集計結果からも, 全員がジェスチャ後の方を好んでいることが分かる (図 6 参照) .

ここで重要なことは, 被験者層の違いで利用した手順に偏りがあるものの, ほとんどすべての被験者が両

方の手順を用いていることである。ペンジェスチャに慣れた者にとっては、ジェスチャ前が分かりやすいとしても、全体で 32% もジェスチャ後を利用しているのは重要である。ジェスチャ後は、紙の上での筆記のように、インク、そして、校正記号などにあたるペンジェスチャを区別なしに筆記した後でも、それがペンジェスチャであることを指示できる方法である。逆に、ペンジェスチャに不慣れな者も、こうした指示ができるのに筆記する前に指示をしているのは、一般的な GUI の慣習（たとえば描画ツールでは線を描画する前にそれを指示するためボタンを押す操作）に 7 回に 1 回ぐらいは従っているものと解釈できる。この考察は、紙上での筆記習慣と、コンピュータ上での操作習慣がユーザの利用モデルの中で葛藤していることを予感させる。しかし、ここではこれ以上この問題を扱わず、利用者ごとに利用する手順に差違があるものの、両方が混在する点を確認するにとどめる。

以上のことをふまえると、ジェスチャ前とジェスチャ後のどちらかだけを提供するのではなく、利用者が両方を容易に利用できるようにすべきである。

2.4 一定期間使用における 5 通りの指示方法についての評価（実験 2）

2.4.1 実験内容

本実験は、デジタルインクの入力指示にボタンを用いる方法、ペンの停留を用いる方法、そして、サイドスイッチを用いる方法の 5 通り（ボタンとペンの停留を用いる方法には、前と後に指示する 2 通りがある）について、2 カ月間被験者に使ってもらったうえでの評価を行うことを目的とした。

被験者には研究報告をデジタルインクで記入することを課題として、約 2 カ月の間、次に示すソフトウェアを利用してもらい、5 通りのペンジェスチャ指示方法の使用回数を計測した。使用回数は、ツールの起動または前回のメール送信から、メール送信まで（これを 1 タスクと呼ぶ）に使用した回数として計測した。また、使用を始めてから 2 週間後と 2 カ月後に、それぞれの方法について使いやすい順番をアンケートで答えてもらった。

2.4.2 実験環境

次に被験者および使用した機材を示す。

(1) 被験者

被験者は筆者が属する研究室の学生で、ペン入力機器の使用経験が 3 年以上ある者が 1 名（被験者 A）、1 年未満の者が 2 名（被験者 B、C）である。

(2) 使用機材

実験に使用したハードウェアの仕様を表 3 に示す。本

表 3 実験 2 に使用した機材

Table 3 Environment for an evaluation experiment 2.

本体	DOS/V 互換機
OS	Microsoft Windows98
タブレット	日立精工製 FamilyPad (HDG-405J-SR) 電磁誘導式, 4 × 5 インチ

表 4 ペンジェスチャ指示方法の使いやすさ順位

Table 4 Preference order of pen gesture designations.

	被験者 A	被験者 B	被験者 C
ボタン (ジェスチャ前)	2 → 1	3	2
ボタン (ジェスチャ後)	4 → 3	4	4
停留 (ジェスチャ前)	3 → 4	2	1
停留 (ジェスチャ後)	5 → 5	1	3
サイドスイッチ	1 → 2	5	5

機の入力面は A6 サイズであり通常 PDA とよばれる機器に比べ若干大きい。そこで、実験ツールのウィンドウサイズを前節で使用した PDA の画面と同程度にし、入力面サイズが大きいことによって PDA 用 UI の評価としての信頼性が落ちることを防いだ。使用したソフトウェアは、実験 1 で使用したものの仕様に加え、描いたメモを電子メールで送信できる機能を備えたものである。また、入力指示には先に述べた 5 通りの方法が利用できる。

2.4.3 実験結果

被験者がメールを送信した回数（実施したタスク回数）は被験者 A が 5 回、B が 36 回、C が 21 回であった。各被験者が回答したペンジェスチャ指示方法の使いやすさ順位を表 4 に示す。被験者 B、C は回答に変化がなかったため、1 つの回答だけ記してある。また、被験者 B、C が使ったペンジェスチャ指示方法のタスクごとの回数を図 7 に示す。被験者 A はツールの使用は続けていたが、メール送信の回数が少なく、実際の使用回数を反映しているデータとはいえないと判断し、図示していない。

2.4.4 考察

この実験の結果から、使いやすいと感じるペンジェスチャ指示方法は被験者によって異なることが分かった。注目すべき点としては、サイドスイッチを用いる方法はペン入力機器の使用経験、つまりサイドスイッチの使用経験によって明確な違いがあったことがあげられる。経験が長いものはサイドスイッチの順位が高く、短いものは低かった。経験が長い被験者 A からはすばやい操作ができるので良いとの意見を得たのに対して、経験が短いものからは使いにくいとの意見を得た。図 7 から、被験者 B は初めサイドスイッチを使用してみたが、徐々に使用しなくなったことが分かる。

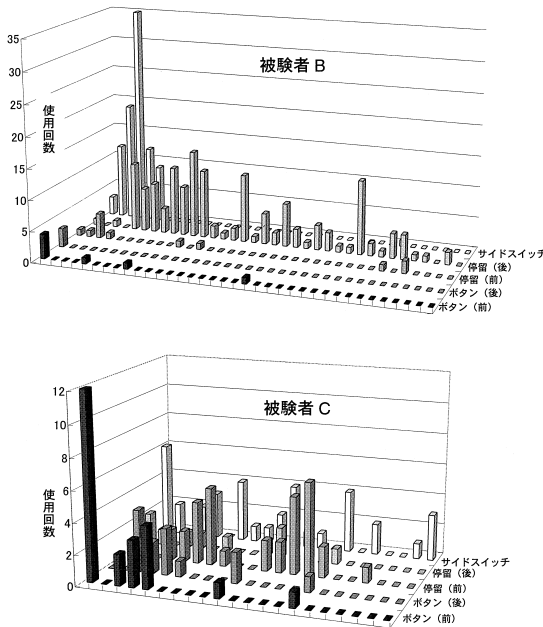


図7 ペンジェスチャ入力指示方法の使用回数

Fig. 7 Frequency in use of user interfaces for pen gesture input.

被験者 C はサイドスイッチを頻繁に使っているように見えるが、これは意図せずにサイドスイッチを押してしまったとの意見をj得ている。この点は、サイドスイッチの誤用が多いことを示している。

また、使用経験の長い被験者 A でも、長く使っているうちに、サイドスイッチよりボタンを前に押す方法の方が使いやすいと感じるように変化があった。これらの点から、今回提案した方法はサイドスイッチに代わる指示方法として有効であるといえる。

さらに、被験者 C はボタンとペンの停留の両方法においてジェスチャ前を好んでいるにもかかわらず、たまにジェスチャ後を利用していること、経験が長い者から、ジェスチャ後は不自然な手順と感じるが、操作ミスをしたときのためには必要であると思うとの意見をj得たことは、先の実験と同様、両手順を提供すべきことを示している。

3. ペンジェスチャ入力用ボタンインタフェースの提案と評価

3.1 要求事項と基本設計

前に述べた実験から、ペンジェスチャの入力指示にボタンを使用する場合、ペンジェスチャを入力する前にボタンを押す手順と入力した後にボタンを押す手順共に使われることが分かった。しかし、PDA は小画面であることから、ジェスチャ前用とジェスチャ後用

のボタンの 2 つを画面上に配置することは避けたい。実験 1 で使用したソフトウェアの指示ボタンはプルダウンメニューを利用し、画面上に配置しているボタンは 1 つだけであるが、毎回メニュー出現と機能選択の 2 ステップが必要となってしまう。

この点を解決するためには、ジェスチャ前とジェスチャ後どちらの手順を使うかをユーザが設定できるようにし、ボタンを押したときには設定した手順による入力指示が行えるようにすればよい。しかし、この設定用のボタンを別に配置することは先に述べた理由から避けるべきである。そこで、1 つのボタンに、ジェスチャ前またはジェスチャ後によるペンジェスチャ入力の指示と使用する手順の設定変更の 2 つを割り当てることを考える。

3.2 詳細設計

1 つのボタンに 2 つの機能を割り当てるために、ここでは、ペンの停留とペンの引きずり (ドラッグ) を利用することを提案する⁴⁾。ボタンを通常にペントップする操作は、即時性が必要で使用頻度も多いペンジェスチャの入力指示に割り当てる。そして、ボタンを押した状態でペンを停留させる操作、または、ボタンを押した状態のままペンをボタン外に引きずり出す操作を、使用する手順の変更に割り当てる。

具体的には、ジェスチャ前を選択している場合は、ボタンをペントップした後にペンジェスチャを入力し、ジェスチャ後を選択している場合は、ペンジェスチャを入力してからボタンをペントップすることになる。そして、設定されている逆の手順でペンジェスチャ入力を指示したい場合は、ボタンを押した状態でペンを停留させるか、ボタンを押したままボタン外に引きずり出す。すると、プルダウンメニュー形式でボタンが出現し、逆の手順によるペンジェスチャ入力を指示することができる (図 8)。このとき同時に設定も変更され、以後ボタンをペントップすると、今回使用した手順によるペンジェスチャ入力を指示できるようになる。この機能によってジェスチャ前を設定していたにもかかわらず指示せずにペンジェスチャを入力してしまった操作ミスからも復帰が可能となる。なお、ジェスチャ前とジェスチャ後のどちらが設定されているかは、ボタン上の絵を変化させ明示することとする。

同様の要求を解決している既存のボタンインタフェースとして、ボタンの一部分に小さな領域があり、そこをペントップすることでプルダウンメニューが出るようにしているものがある (図 9)。しかし、小さな領域をペントップする操作は難しいため、この技法はペン UI に適さない。それに対し、ペンを停留させる動

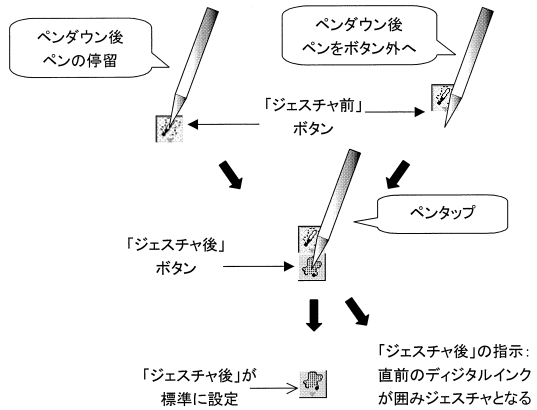


図8 ペンジェスチャ入力手順の切替え（ジェスチャ前からジェスチャ後）

Fig.8 Change of pen gesture input methods (“before” mode to “after” mode).

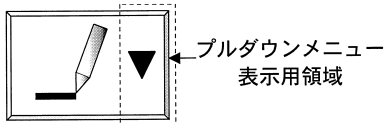


図9 プルダウンメニュー表示用領域を持つボタンインタフェース
Fig.9 Button interface with area for pull-down menu.

作や引きずる動作は、ペンを使う動作として自然である。また、ペンの停留を採用した場合、ペンを停留させる時間が必要となるが、手順を変更する頻度は高くなく、素早さもさほど要求されない機能であるため問題は少ないと考える。

ここで提案したボタンインタフェースは、1つのボタンで処理の実行指示と設定変更のためのメニューを表示する2つの機能を提供するものととらえることができる。この点に着目すると、描画ツールにおける色の変更や文書作成ツールにおけるフォントの変更など、複数の選択肢があり、かつ、同じ選択肢を連続して頻繁に使う機能や、印刷の指示のように処理の属性を設定するメニューをたまに表示する必要がある機能の指示にも適応する。

3.3 ペンの停留を用いる方法の評価（実験3）

3.3.1 実験内容

上で提案したペンの停留を用いるボタンインタフェースを評価するために、これを組み込んだ電子メモ帳ソフトウェア Idea-Pad⁴⁾を実現し、評価実験を行った。

被験者には、実現したソフトウェアを実際に使用してもらい、ペンジェスチャの入力指示と使用する手順の設定変更についてその簡単さを選択肢から選ぶアンケートに回答してもらった。このアンケートではコマ

表5 実験3に使用した機材

Table 5 Environment for an evaluation experiment 3.

製品名	三菱製 AMiTY VP
型番	M3012
CPU	Pentium 75 MHz 相当
タブレット	電磁授受方式
表示画面	透過型新 DSTN カラー液晶 7.5 インチ, 640 × 480 ドット

ンド欄を設け、自由な意見や理由を収集した。実際に使用する前には、ペンジェスチャの入力指示と設定変更の方法をはじめとしたソフトウェアの使い方を説明した。また、使用するときには、使用する手順を何度か変更するように指示した。

3.3.2 実験環境

次に被験者および使用した機材を示す。

(1) 被験者

被験者は、ペンジェスチャの使用経験年数が3年以上の人6名（ペンジェスチャに慣れている者）、1年未満の人6名（ペンジェスチャに不慣れな者）から構成される12名である。コンピュータの使用経験については、使用経験年数3年以上の人が8名、1～3年の人が1名、1年未満の人が3名である。

(2) 実験機材

IdeaPadの実行環境を表5に示す。本機はA5サイズであり、画面サイズも通常PDAとよばれる機器に比べ大きい。そこで、実験2のときと同様に、ソフトウェアのウィンドウサイズをPDAの画面と同程度にした。IdeaPadの仕様は実験1と同様である。ただし、囲みジェスチャ入力指示用のボタンは、上で提案したペンの停留を用いるボタンインタフェースを実装した。

3.3.3 実験結果

選択型質問の内容と集計結果を図10に示す。また、次に示す意見が複数の被験者から得られた。

- ペンの停留時間を調整した方がよい。
- 1つのボタンに2つの処理を割り当てている方法に混乱することはなかった。

3.3.4 考察

アンケートの集計結果より、ペンジェスチャの入力指示と設定変更の操作ともに12名中11名（約92%）の人が簡単であると答え、このボタンインタフェースの操作性は良いことが示された。

また、得られた意見から、実現したペンの停留時間は最適なものではなかった可能性がある。停留時間の適切な長さは人によって異なることが考えられ、ペンの停留時間を調整する機能を持たせるべきであること

質問1. ジェスチャの入力指示は簡単にできましたか。



質問2. ジェスチャ前とジェスチャ後の変更は簡単にできましたか。

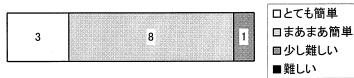


図 10 ペンの停留を用いたボタンインタフェースについてのアンケート内容と結果

Fig. 10 Results of questionnaire about button interface using pen holding.

が分かった。

3.4 一定期間使用における2方法の評価(実験4)

3.4.1 実験内容

本実験では、ペンの停留とペンの引きずりを利用したボタンインタフェースについて、2カ月間被験者に使ってもらったうえでの評価を行うことを目的とした。

なお、本実験は前に述べた実験2と同時に行ったものであり、被験者や使用機材は2.4.2項に示したものと同一である。評価するボタンインタフェースは、ペンジェスチャの入力指示用にだけでなく、描画線の色と太さの設定、メール送信用のボタンにも実装した。

計測項目は2つのボタンインタフェースの使用回数である。また、どちらの方が使いやすいかをアンケートで答えてもらった。

3.4.2 実験結果

被験者全員が引きずりの方が使いやすいと答えた。そして、引きずりを使用した割合は、被験者Aが100%、Bが95%、Cが87%であった。被験者B、Cが使ったボタンインタフェースのタスクごとの回数を図11に示す。

3.4.3 考察

被験者全員が引きずりの方を使いやすいと答え、また使用割合も引きずりが大きく、引きずりの方がペンの停留よりも使いやすいことが示された。

実験3の結果から、ペンの停留を用いる方法については、停留時間の調整が重要なことが得られた。そのため、今回はユーザが自由に停留時間を変更できるようにしたが、それでも引きずりの方が好まれるとの結果となった。ユーザからは、メニューが出てくるのを待つのが面倒であるとの意見が得られ、待ち時間そのものが使用感を悪くすることが分かった。一方、実験2では、ペンジェスチャの入力指示にペンの停留を利用する方法を好むユーザもいることが得られている。

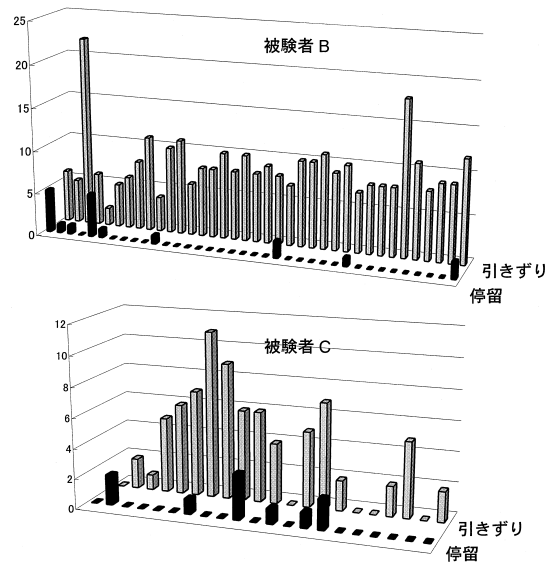


図 11 ボタンインタフェースの被験者別使用回数
Fig. 11 Frequency in use of button interfaces.

ボタンインタフェースでは、ペンを停留させるのに対して引きずる動作は、手間はほぼ同じであるが操作の流れは待ち時間がない分滑らかである。一方、ペンジェスチャ入力指示では、ボタンまでペンを移動する動作に対して停留させるの方が手間は少なく操作の流れも滑らかである。この点が2つの対話技法に用いたペンの停留に対する評価の違いに現れたと考えられる。つまり、ペンの停留を利用するときは、ペンの停留とそれ以外に利用できる方法の手間とそれらを用いたときの操作の流れを十分比較検討することが重要である。

4. 関連研究と関連製品

PDAのUIに関する研究には、使用時の姿勢に着目したもの⁸⁾、小画面上で情報のブラウジングや閲覧を快適に行えるようにしたもの^{9),10)}、1画面により多くの情報を表示できるように考慮したもの¹¹⁾がある。しかし、これらはペンジェスチャの入力に関するものではない。

PDAのUIの場合、論文より製品という形で発表されることが多いため、市販のPDAについて調査を行った。ペンジェスチャを採用しているものとして、SHARP製のザウルス、カラーザウルスのインクワープロと、Apple Computer製NewtonのNotePadがある。インクワープロではペンジェスチャ用のボタンを設け、ボタンを押すことでペンジェスチャの入力モードに入る方法を採用している。しかし、モード変更を忘れたときに対応できる機能は設けられていない。NotePadでは筆跡による自動認識を採用してい

る．実際に使用してみるとペンジェスチャの誤認識がときどき発生する問題があった．また、ペンの停留でペンジェスチャの入力を開始する方法も採用しているが、ペンのぶれによって停留を正確に行えない現象がおきた．いずれにおいても、我々が提案した UI のように、正確にペンジェスチャを入力でき、かつ、利用者によるカスタマイズや操作ミスに対応できるものではない．

5. おわりに

本論文では、携帯型ペン入力情報機器上で、デジタルインクを自由に筆記し、その編集をする一連のタスクに適したペンジェスチャ入力指示方法と、ボタンインタフェースについて述べた．

ペンジェスチャを採用する場合の問題点であるデジタルインク入力とペンジェスチャ入力の区別を、本論文では画面上に配置したボタンを用いて解決する方法と、ペンを一定時間停留させる動作を用いて解決する方法を提案した．この際、ペンジェスチャの入力前に指示する方法と後に指示する方法の 2 つの手順が考えられたため、両者の必要性を調査する目的で実験を行った．この結果、ペンジェスチャの操作にすでに慣れている人は前に指示する手順を、不慣れた人は後に指示する手順を好みよく使う傾向があるが、両手順ともに使われるため、両方を提供すべきことが分かった．また、今回提案した方法にサイドスイッチを利用する方法を加えた 5 通りの方法について、2 カ月間にわたって使用してもらう評価実験を行ったところ、使いやすいと感じる方法、実際に使用する方法は人によって異なった．注目すべき結果として、次のことが得られた．

- サイドスイッチに慣れていない人はサイドスイッチを用いる方法は使いにくいと感じる．
- サイドスイッチに慣れている人も長期間使用しているうちにボタンを用いる方法が最も使いやすいと感じるようになった．
- サイドスイッチを用いる方法は誤用が多い．

これらの点から、今回提案した方法は、これまで多く使われてきたサイドスイッチを用いる方法に代わるペンジェスチャ入力指示方法として有効であることが示された．

次に、先の実験から得られた両手順を提供すべきことに加え、PDA の画面サイズの制約からボタン領域は最小限にとどめること、ペンジェスチャ入力の操作ミスから復帰できるようにすること、ペンによる操作に適すること、操作手順を少なく押さえることを方針として、ボタンの押し方でペンジェスチャの入力指示

とどちらの手順を利用するかの設定変更の 2 つの機能を実行できるボタンインタフェースを提案した．このボタンインタフェースでは、普通にペンタップすると設定されている手順によるペンジェスチャの入力指示が行え、ボタンを押したままペンを停留させるかボタンを押したままペン先をボタンの外に引きずり出すと他方の手順が設定され、それと同時に新たに設定した手順による入力指示が行える．

ペンの停留を用いる方法が簡単であるかどうかを調べる実験を行ったところ、92%の被験者が簡単であると答えた．一方で、停留させる時間を調整できるようにすべきことが明らかになった．

また、2 カ月間にわたって今回提案したボタンインタフェースを使用してもらった評価実験を行ったところ、ペンの停留を用いる方法よりも引きずりを用いる方法の方が使いやすく、使用頻度も高いとの結果が得られた．ペンジェスチャ入力指示ではペンの停留を好む人がいたことから、ペンの停留の利用指針として、ペンの停留を利用するときは、ペンの停留とそれ以外に利用できる方法の手間とそれらを用いたときの操作の流れを十分比較検討することが重要であることが得られた．

このボタンインタフェースはペンジェスチャに限らず、排他的な複数の選択肢を持つ機能や、たんに属性設定が必要な機能に利用でき、画面の有効利用が重要な PDA 用のボタンインタフェースとして活用できると考えられる．

謝辞 ペンジェスチャ入力指示方法にペンの停留を用いる方法とペンの引きずりを用いるボタンインタフェースの提案に協力していただいた斎藤文彦氏、秋山勝彦氏、評価実験に参加していただいた方々に感謝の意を表す．

参考文献

- 1) Zhao, R.: Incremental Recognition In Gesture-Based and Syntax-Directed Diagram Editors, *Proc. CHI'93*, pp.95-100 (1993).
- 2) Kurtenbach, G. and Buxton, W.: Issues in combining marking and direct manipulation techniques, *Proc. UIST'91*, pp.137-144 (1991).
- 3) 葛貫壮四郎, 横山孝典, 正嶋 博, 福永 泰: JIS 校正記号準拠のオンライン手書き編集方式, 情報処理学会論文誌, Vol.27, No.10, pp.1027-1034 (1986).
- 4) 大美賀かおり, 加藤直樹, 中川正樹: 手書きインタフェース統合環境におけるアイデアメモ PDA, 計測自動制御学会第 14 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.543-548 (1998).

- 5) 斎藤文彦, 加藤直樹, 中川正樹: 手書きと音声を用いた実時間コミュニケーション, 計測自動制御学会第 14 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.607-612 (1998).
- 6) 中川正樹, 佐藤 俊: 表示一体型タブレット上でペンの囲みに対する対象の包含を判定する高速アルゴリズムの実現と評価, 信学論(B), Vol.J77-D-II, No.8, pp.1630-1639 (1994).
- 7) 加藤直樹, 中川正樹: ペンユーザインタフェース設計のためのペン操作性の検討, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1536-1546 (1998).
- 8) 内田典佳, 増井信彦, 岡崎哲夫, 外村佳伸: 携帯情報端末のユーザインタフェースの検討, 計測自動制御学会第 13 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.545-548 (1997).
- 9) 河内谷清久仁, 石川 浩: 携帯情報ブラウジングのための入力デバイス「NaviPoint」, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1431-1439 (1998).
- 10) 椎尾一郎: Scroll Display: 超小型情報機器のための指示装置, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1448-1454 (1998).
- 11) 増井信彦, 岡崎哲夫, 外村佳伸: Infotier: 携帯情報端末に適した透過表示型ユーザインタフェースの提案, 計測自動制御学会第 14 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.505-508 (1998).

(平成 11 年 12 月 27 日受付)

(平成 12 年 7 月 5 日採録)



加藤 直樹(正会員)

1969 年生. 1998 年東京農工大学大学院電子情報工学専攻博士後期課程修了. 1997 年より日本学術振興会特別研究員を経て, 1999 年より東京農工大学工学部助手. 手書きユーザインタフェースの研究・教育に従事. インターネット利用, 教育の情報化に興味を持つ. 工学博士. ACM, ヒューマンインタフェース学会各会員.



大美賀かおり

1973 年生. 1997 年東京農工大学電子情報工学科卒業. 1999 年同大学院電子情報工学専攻博士前期課程修了. 同年ソニー(株)入社. 現在に至る. 手書きユーザインタフェース, 通信技術に興味を持つ.



中川 正樹(正会員)

1954 年生. 1979 年東京大学大学院理学系修士課程修了. 同在学中, 英国 Essex 大学留学(M. Sc. in Computer Studies). 1979 年東京農工大学工学部助手. 現在, 教授. パターン認識, 手書きインタフェース, 情報教育等の研究・教育に従事. 理学博士. ACM, IEEE, 電子情報通信学会, ヒューマンインタフェース学会各会員.