

ペン入力のための楕円形仮想キーボードとベクトル入力法

橋本 美奈子^{†,☆} 長嶋 雲 兵[†]
富 樫 雅 文[†] 細 矢 治 夫[†]

ペン先を動かしやすい領域を利用した楕円形仮想キーボード (VOKB) と、特殊文字の入力に flick gesture を利用したベクトル入力法 (VIM) の提案と性能評価を行った。従来の矩形仮想キーボード (VRKB) では手首の回転を利用した入力が難しくペン先を大きく動かす必要があった。我々は VOKB をフリーポインティング実験から求めたペン先でポイントしやすい領域に基づいて設計した。VOKB をペン先の移動方向、移動距離について VRKB と比較した結果、VOKB では従来の VRKB よりも手首の回転を利用した入力が増加し、ペン先の移動距離が短縮されることが分かった。VIM では特殊文字の入力に 4 種類の flick gesture を用いることにより、1 ストロークでの SHIFT 操作と任意の位置での SP, C/R, BS 入力を可能とする。VIM をペン先の移動方向と移動距離についてポイント入力法と比較した結果、ペン先の大きな移動が減り手首の回転に合わない入力が削減された。VOKB と VIM を組み合わせた場合 (VOKB+VIM) にも手首の回転を利用した入力が可能となり、ペン先の移動距離はそれぞれを単独で利用する場合よりもさらに短縮された。QWERTY, DVORAK などの 5 通りのキー配列についてペン先の移動距離を比較したところ、QWERTY よりも短い移動距離をとる配列が 2 通りあった。入力に必要な動作量の指標としてアクション数を定義し、速記型入力の unistroke および T-Cube と比較したところ、VOKB+VIM で最小のアクション数をとった。

A Virtual Oval Keyboard and a Vector Input Method for Pen-based Computing

MINAKO HASHIMOTO,^{†,☆} UMPEI NAGASHIMA,[†] MASATOMO TOGASIT[†]
and HARUO HOSOYA[†]

This paper proposes a virtual oval keyboard whose shape is designed on the basis of the easily pointed area with a pen, and a vector input method where user can input both a vector and its origin with a flick gesture. Efficiency of the vector input method on a virtual oval keyboard (VOKB+VIM) for pen-based computing was evaluated by analyzing the distance and direction of pen top movement. Distance of pen top movement is significantly reduced by VOKB+VIM in comparison with the traditional virtual rectangular keyboard. Moreover, direction of the movement of VOKB+VIM is quite suitable to rotational movement of the user's wrist. The number of actions for a character input by VOKB+VIM was also compared with two other shorthand input methods, unistroke and T-Cube, and was found to be the smallest of all.

1. はじめに

計算機の小型化とともに携帯機としてのハンドヘルドコンピュータの需要が高まり、簡便な文字入力手段としてペン入力が注目を浴びている¹⁾。ペンによる文字入力手段には大きく分けて、手書き文字入力^{2),3)}、速記型入力^{4),5)}、仮想キーボードによる入力がある。手

書き入力は人間が慣れ親しんだ動作なので初心者にも操作しやすいという利点があるが、入力動作の多さや誤認識の問題などから必ずしもユーザに好まれていない⁶⁾。また速記型入力は入力動作が比較的単純であるので、誤認識が少なく高速に入力できる可能性があるものの、慣れるまでに十分な練習が必要なので初心者向けとはいえない。仮想キーボードは画面に表示されたソフトウェアキーボードで、ペン先で画面上のキーをポイントしてポイント入力法 (PIM: Point Input Method) によって文字を入力する。これは両手打鍵キーボードからの移行性が良いため、比較的広い範囲で用いられている。

[†] お茶の水女子大学理学部情報科学科

Department of Information Sciences, Faculty of Science, Ochanomizu University

[☆] 現在、株式会社東芝研究開発センター情報・通信システム研究所 Presently with R&D Center, TOSHIBA Corporation

現在の主なペン入力仮想キーボードは図1のような矩形仮想キーボード (VRKB: Virtual Rectangular KeyBoard) で、両手打鍵キーボードの形状と方式をほぼそのまま受け継いでいる。しかしペン入力の動作特性^{7)~11)}は両手打鍵キーボードのものとは大きく異なるため、これらの違いがひきおこす3つの問題が生じる。第1に、形状が横長矩形であるためキーからキーへの移動にペン入力動作の特徴である手首の回転⁸⁾をうまく利用できず、ペン先の移動距離が大きくなる。第2に、ペンでは2つ以上のキーを同時にポイントできないため、*shift* 操作などの同時打鍵を必要とする場合に、2ストローク以上の操作が必要となる。第3に、*space* (SP), *carriage return* (C/R), *backspace* (BS), *shift* (SHIFT) などの特殊文字がキーボードの端に位置するため、これらを入力するのにペン先を大きく動かす必要がある。

そこで本研究では、これらの問題を改良するために楕円形仮想キーボード (VOKB: Virtual Oval KeyBoard) とベクトル入力法 (VIM: Vector Input Method) を提案し、その性能を評価する^{12),13)}。

VOKB の設計は実験から求めたペン先でポイントしやすい領域を利用して行う。VOKB の性能をペン先の移動方向と移動距離に関して評価した結果、従来の VRKB よりも手首の回転を利用した入力が増え、ペン先の移動距離が小さくなった。

VIM では、特殊文字の入力に単純な flick gesture を利用することによって、1ストロークでの *SHIFT* 操作と任意の位置からの *SP*, *C/R*, *BS* 入力を可能とする。VIM の性能をペン先の移動方向と移動距離に関して評価した結果、手首をキーボードの端まで大きく動かす必要がなくなり、従来のポイント入力法よりもペン先の移動距離が小さくなった。

さらに VOKB と VIM を組み合わせ、QWERTY, DVORAK など5通りのキー配列についてペン先の移動距離を比較する。また1文字の入力に必要な動作量の指標としてアクション数を定義し、入力に簡単なジェスチャーを用いる速記型入力の unistroke⁴⁾ およ

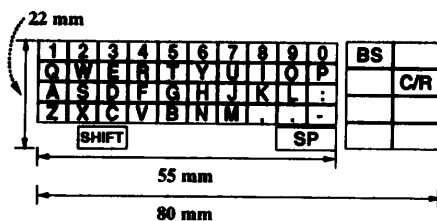


図1 矩形仮想キーボード (VRKB)

Fig. 1 A conventional software keyboard (Virtual Rectangular KeyBoard: VRKB).

び T-Cube⁵⁾ と比較する。

2. 楕円形仮想キーボード

楕円形仮想キーボード (VOKB) をペン先でポイントしやすい領域を利用して設計するために、以下に述べる実験によってペン先でポイントしやすい領域を求めた。

2.1 フリーポイントング実験

ペン先でポイントしやすい領域を確認するために、ペン先の届く範囲内を自由にポイントするフリーポイントング実験を行った。

2.1.1 実験方法

被験者 20代の右ききの女性13名。(全員正常視力で、QWERTY 配列両手打鍵キーボードの使用経験を3年以上持つお茶の水女子大学理学部情報科学科の学生。パソコンコンピュータの使用は初めてである。)

機材 パーソナルコンピュータ P5-60 (Gateway 2000), 入出力一体型透明タブレット PL-100VA (WACOM), スタイラスペン

手順 図2のようにタブレットを水平面から30°傾けて固定し、中央に縦9.5cm, 横9.5cmの実験ウィンドウを表示する。被験者はタブレットの正面に座り、次の操作を休憩をはさんで2回行う。

操作 ペンを握った右手の小指を実験ウィンドウの右下に固定し、ペン先の届く範囲内をまんべんなく動かしながら4分間すばやく自由にポイントする。

本実験で想定したペンコンピュータはパームトップサイズの携帯端末なので、手のひらにのせて利用する場合を考えてタブレットを水平面から傾けた。また、液晶画面は視線に直交する角度に置かれるのが一番視認性が高いので、タブレットの傾きを30°として広範囲な視認性を確保した。

2.1.2 実験結果

被験者による総ポイント数の違いをならすため、それぞれの被験者について総ポイント数に占める各領域の割合を求めた。図3にこの割合を全被験者について合計した結果を示す。外枠の正方形は実験ウィンドウを、正方形内の黒点の濃度はポイントされた割合を表

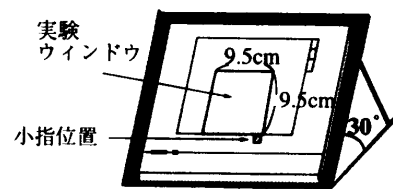


図2 実験環境

Fig. 2 Equipment for sampling.

表1 入力テキスト

Table 1 Sample input literature.

| ○文学作品 | |
|--|-----------|
| 作品名 (著者名) | 文字数 |
| Alice's Adventures in Wonderland (Lewis Carroll) | 146,410 |
| Anne of Green Gables (Lucy Maud Montgomery) | 564,847 |
| Gulliver's Travels (Jonathan Swift) | 570,793 |
| Little Women (Louisa May Alcott) | 1,044,072 |
| Peter Pan (James M. Barrie) | 262,459 |
| Strange case of Dr. Jekyll and Mr. Hyde (Robert Louis Stevenson) | 139,240 |
| The Arabian Nights (Sir Richard Burton 訳) | 1,140,472 |
| The Secret Garden (Frances Hodgson Burnett) | 432,487 |
| The Adventures of Tom Sawyer (Mark Twain) | 390,759 |
| Wuthering Heights (Emily Bronte) | 659,258 |
| ○技術文書 (Sun4 マニュアル) | |
| Sun4 コマンド名 | 文字数 |
| csh builtin | 2,618 |
| cc | 2,380 |
| csh | 9,298 |
| gcc | 14,546 |
| grep | 1,837 |
| less | 6,907 |
| ls | 1,323 |
| make | 6,508 |
| perl | 29,280 |
| sh | 5,498 |

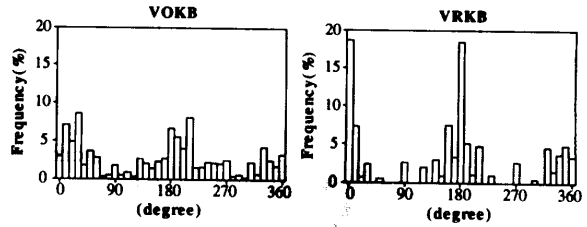


図7 移動方向別頻度グラフ (文学作品)
Fig. 7 Direction frequency of movement (novels).

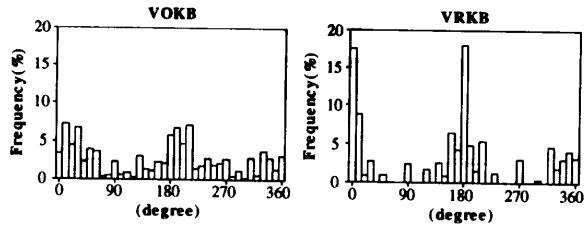


図8 移動方向別頻度グラフ (技術文書)
Fig. 8 Direction frequency of movement (technical literature).

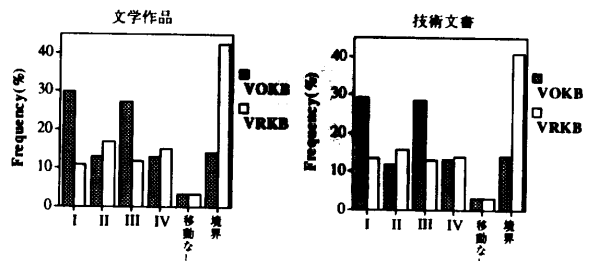


図9 方向I~IVへの移動頻度グラフ (文学作品, 技術文書)
Fig. 9 Direction frequency of movement (novels and technical literature).

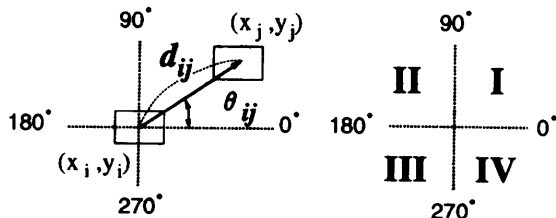


図6 ペン先の移動方向と移動距離の定義
Fig. 6 Definition of movement area.

なく分布しており、最大頻度と最小頻度の差は文学作品で8.26%、技術文書で6.93%である。一方VRKBでは水平方向の0°、180°への移動が特に多く、文学作品で38.16%、技術文書で37.61%を占めている。

図9に方向I~IVへの移動頻度グラフを示す。VOKBでは文学作品、技術文書ともに原点から見てI、IIIへの移動が多いことが分かる。I、IIIは右ききの人の手首の回転方向と一致している。これは、VOKBにより手首の回転を利用した入力がしやすくなること

を示唆している。一方VRKBではI、IIIへの移動がVOKBに比べて非常に少なく、図7、8から推察されたような水平方向を含む境界への移動が多いことが分かる。これは、VRKBではVOKBに比べて手首の回転を利用した入力が難しいことを表している。このようなことから、VOKBには手首の回転を利用した入力を可能とする効果があると考えられる。

2.3.3 移動距離

図10、11にVOKB、VRKBで全テキストを入力する際に必要となるペン先の移動距離別頻度グラフを、また図12、13にその累積グラフを示す。

距離別移動頻度グラフ(図10、11)から、文学作品、技術文書ともにVOKBでは20mmより長い移動を必要とする入力がVRKBに比べて非常に少なくなっていることが分かる。また累積グラフ(図12、13)から、14mm以下の小さい移動ではVOKBとVRKBの傾向が似ていることが分かる。これは細かい移動による入力にはほとんど差がないことを表している。ま

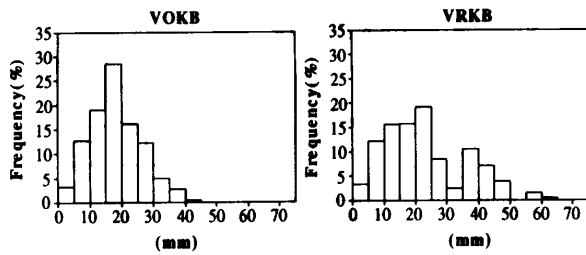


図 10 移動距離別頻度グラフ (文学作品)
Fig. 10 Distance frequency of movement (novels).

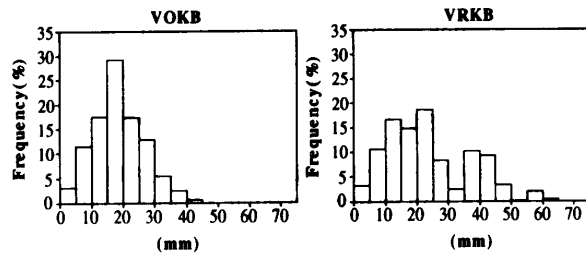


図 11 移動距離別頻度グラフ (技術文書)
Fig. 11 Distance frequency of movement (technical literature).

た、VRKB では 1 文字を入力するのに最大で 61 mm 必要だが、VOKB ではその約 0.75 倍の 46 mm に短縮されている。これは、VOKB では VRKB よりも入力に大きい移動を必要としないことを表している。

表 2 に 1 文字を入力するのに必要なペン先の平均移動距離と標準偏差を示す。移動距離はすべてのテキストについて VOKB における入力のほうが短く、文学作品、技術文書ともに平均で VRKB の約 0.76 倍に短縮された。これは、VOKB により入力に必要なペン先の移動距離が短縮されたことを表している。

このようなことから VOKB には、細かい移動を増やすことなく大きな移動を削減することで、入力に必要なペン先の移動距離を短縮する効果があるといえる。

2.4 考 察

本章では、実験的に求めたペン先でポイントしやすい領域に基づいて VOKB を設計し、ペン先の移動方向と移動距離に関する性能評価を行った。評価の結果、VOKB では従来の VRKB よりも手首の回転を利用した入力が増加し、ペン先の移動距離が短縮されることが分かった。

ここで、VRKB を VOKB と同様に水平方向から傾けた場合にも手首の回転方向と一致する I, III 方向への動きが多くなり、水平に置く場合よりも手首の回転方向に合った入力がしやすくなると考えられる。しかし両手打鍵の流れを汲む VRKB では両手で交互打鍵しやすいようにキーが配置されているため、キーボードの段方向に沿った直線的な動きが多くなる。直線的

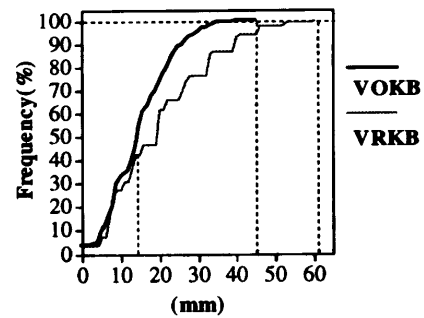


図 12 移動距離別累積グラフ (文学作品)
Fig. 12 Accumulation of distance frequency of movement (novels).

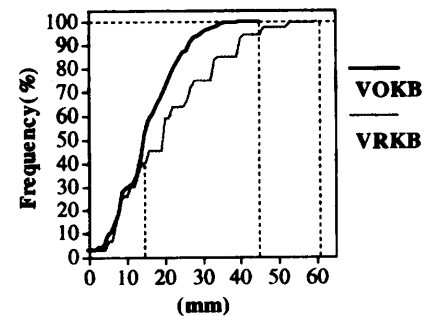


図 13 移動距離別累積グラフ (技術文書)
Fig. 13 Accumulation of distance frequency of movement (technical literature).

表 2 1 文字の入力に必要なペン先の移動距離 (mm)
Table 2 Averaged distance of a movement and its standard deviation.

| 文学作品 | VOKB | VRKB | VOKB/VRKB |
|------|--------|--------|-----------|
| 平均 | 15.539 | 20.384 | 0.76 |
| 標準偏差 | 0.120 | 0.180 | — |
| 技術文書 | VOKB | VRKB | VOKB/VRKB |
| 平均 | 16.025 | 21.056 | 0.76 |
| 標準偏差 | 0.173 | 0.233 | — |

な動きでは主に指の運動が必要となるので十分な手首の回転を使わず、このような直線的な動きは VRKB の傾きを変えても減らない。よって VRKB を傾けても、キーボードの段方向が曲線状に広がっている VOKB に比べると、手首の回転を十分に利用した入力は難しいものとする。

3. ベクトル入力法

ベクトル入力法 (VIM) とは、速記型入力 T-Cube⁵⁾ 等に見られる単純な flick gesture を仮想キーボードに適用した入力法で、flick gesture の始点と終点のなすベクトルや始点位置によって入力を決定する方法である。

従来のペン入力仮想キーボードは両手打鍵キーボー

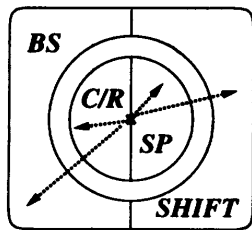


図14 SP, C/R, BS, SHIFTへのベクトルの割当て
Fig. 14 Assign of vector to SP, C/R, BS and SHIFT operation.

ドの方式をほぼそのまま受け継いでおり、ユーザは画面上のキーを1つずつポイントするポイント入力法(PIM: Point Input Method)によって文字を入力していた。しかし、ペン入力では10本の指を同時に利用できる両手打鍵キーボードと違って2つ以上のキーを同時にポイントすることができないため、SHIFT操作などの同時打鍵を必要とする場合に2ストローク以上の操作が必要となっていた。また、space (SP), carriage return (C/R), backspace (BS)などの特殊文字がアルファベットキーから離れたキーボードの端に位置しているため、これらを入力するのにペン先をキーボードの端まで大きく動かす必要があった。

ベクトル入力法では、SP, C/R, BS, SHIFTの入力に図14のように割り当てた4種類のflick gestureを利用し、次の2通りの方法でポイント入力法とキー配置の問題を改良する。

- (1) flick gestureのベクトルと始点位置に入力を割り当て、1ストロークで2つの入力を同時に行う

flick gestureの始点と終点のなすベクトルが1つの入力を決定し、さらにflick gestureの始点位置が1つの入力を決定する。本研究では、文字キーからSHIFTに対応するベクトルをflick gestureで描くことによって、1ストロークでのSHIFT操作を可能とした(図15)。

- (2) flick gestureのベクトルに入力を割り当て、1つの入力を任意の位置から行う

flick gestureの始点と終点のなすベクトルによって1つの入力を決定する。ここではflick gestureの始点位置が入力を決定しないので、任意の位置からベクトルを入力することができる。本研究では、3種類のベクトルをSP, C/R, BSに割り当ててこれらを好きな場所で描くことにより、SP, C/R, BSをキーボードの端まで移動せずに入力できるようにした(図16)。

始点位置 + flick gesture

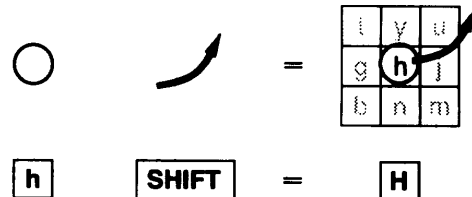


図15 ベクトル入力法によるSHIFT操作の例
Fig. 15 An example of SHIFT operation with VIM.

flick gesture



図16 ベクトル入力法によるSP入力例
Fig. 16 An example to input SP with VIM.

表3 SP, C/R, SHIFTの平均出現確率

Table 3 Averaged probability of SP, C/R, BS and SHIFT operation.

| 文学作品 | SP | C/R | SHIFT |
|------|---------|--------|--------|
| 平均 | 17.53 % | 0.37 % | 2.85 % |
| 標準偏差 | 0.32 % | 0.21 % | 0.72 % |
| 技術文書 | SP | C/R | SHIFT |
| 平均 | 15.37 % | 0.56 % | 5.09 % |
| 標準偏差 | 0.72 % | 0.09 % | 1.61 % |

3.1 VIMの評価

VIMによって手首の回転を利用した入力が可能となり、ペン先を大きく動かす必要がなくなるかどうかを確認するために、入力に必要なペン先の移動方向、移動距離についてVIMとPIMを比較した。

3.1.1 評価方法

VIMとPIMを利用して英文テキストを入力する際に必要となるペン先の移動方向と移動距離を比較した。比較は2.3.1項と同様に、表1の英文テキストを用いたシミュレーションによってVRKB上で行った。入力テキストにおけるSP, C/R, SHIFTの平均出現確率を表3に示す。

3.1.2 移動方向

図17に、方向I~IVへの移動頻度グラフを示す。VIMでは文学作品、技術文書ともに移動を必要としない入力が多く、その割合は表3に示したSP, C/Rの出現確率の合計とほぼ一致している。これは任意の位置からSP, C/Rがベクトル入力できるようになったことで、ペン先を移動する必要のない入力が増えたことを表している。またVIMでは、手首の回転に合わないII, IVへの移動がPIMよりも大幅に削減されている。このことは、VIMによって手首の回転に

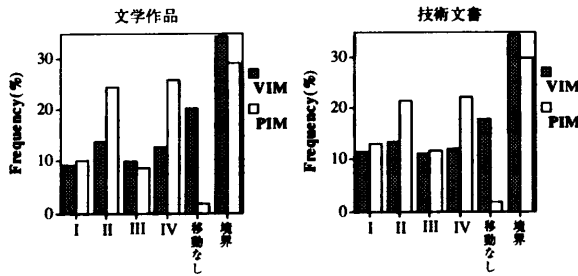


図 17 方向 I~IV への移動頻度グラフ (文学作品, 技術文書)
 Fig. 17 Direction frequency of movement (novels and technical literature).

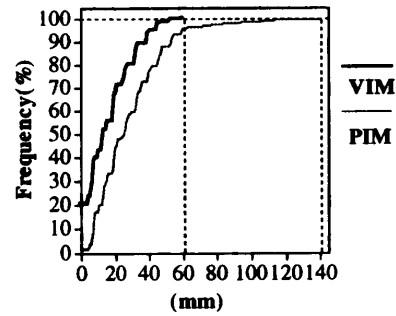


図 20 移動距離別累積グラフ (文学作品)
 Fig. 20 Accumulation of distance frequency of movement (novels).

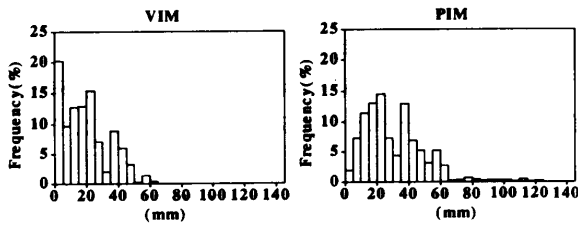


図 18 移動距離別頻度グラフ (文学作品)
 Fig. 18 Distance frequency of movement (novels).

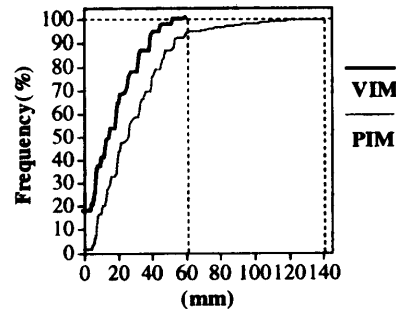


図 21 移動距離別累積グラフ (技術文書)
 Fig. 21 Accumulation of distance frequency of movement (technical literature).

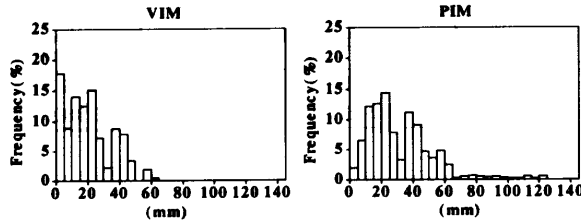


図 19 移動距離別頻度グラフ (技術文書)
 Fig. 19 Distance frequency of movement (technical literature).

合わない入力が削減されたことを表している。

3.1.3 移動距離

図 18, 19 に, 各入力法で全テキストを入力するときに必要なペン先の移動距離別頻度グラフを, また図 20, 21 にその累積グラフを示す。

これらのグラフから, VIM では文学作品, 技術文書ともに移動を必要としない入力が多いことが分かる。これは 3.1.2 項と同様に, VIM によって任意の位置から *SP*, *C/R* が入力できるようになった効果を表している。また, PIM では 1 文字を入力するのに最大で 141 mm の移動が必要だが, VIM ではその半分以下の 61 mm に短縮されている。PIM における 61 mm 以上の大きな移動を必要とする入力には *SHIFT* 操作などが含まれており, *SHIFT* 操作を VIM で行うことで, ペン先を大きく動かす必要がなくなったことを表している。

表 4 に 1 文字を入力するのに必要なペン先の平均

表 4 1 文字の入力に必要なペン先の移動距離 (mm)
 Table 4 Averaged distance of a movement and its standard deviation.

| 文学作品 | VIM | PIM | VIM/PIM |
|------|--------|--------|---------|
| 平均 | 17.065 | 28.312 | 0.60 |
| 標準偏差 | 0.153 | 0.622 | — |
| 技術文書 | VIM | PIM | VIM/PIM |
| 平均 | 18.193 | 29.328 | 0.62 |
| 標準偏差 | 0.380 | 0.806 | — |

移動距離と標準偏差を示す。移動距離は VIM を利用した場合のほうがすべてのテキストについて短く, 平均して PIM の約 0.6 倍に短縮された。このようなことから, VIM には特殊文字をベクトルで入力することで入力に必要なペン先の移動距離を短縮させる効果があるといえる。

4. 楕円形仮想キーボードとベクトル入力法の組合せ

前章までに, 楕円形仮想キーボード (VOKB) とベクトル入力法 (VIM) のそれぞれが, 手首の回転を利用した入力とペン先の移動距離の短縮を可能とすることが分かった。本章では, VOKB と VIM を組み合わせた場合 (VOKB+VIM) にもそれぞれを単独で利

用した場合のような効果が得られるかどうかを確認するため、VOKB+VIMにおけるペン先の移動方向と移動距離を解析する。さらにQWERTY, DVORAKなどの5通りのキー配列についてペン先の移動距離を比較し、QWERTY配列よりも短い移動距離で入力可能となる配列があるかどうかを確認する。また1文字を入力するのに必要な動作量の指標としてアクション数を定義し、入力に簡単なジェスチャーを用いる速記型入力のunistrokeおよびT-Cubeと比較する。

4.1 VOKB+VIMの評価

VOKBとVIMを組み合わせた場合(VOKB+VIM)について、英文テキストを入力する際に必要となるペン先の移動方向と移動距離を解析した。解析は、3.1.1項と同様に表1の英文テキストを用いたシミュレーションによって行った。

4.1.1 移動方向

図22に、方向I~IVへの移動頻度グラフを示す。文学作品、技術文書ともに移動を必要としない入力が多く、VIMの効果を表している。また、右ききの人の手首の回転方向と一致するI, IIIへの移動が多く、VOKB+VIMでも手首の回転を利用した入力がしやすいことを示唆している。

4.1.2 移動距離

表5に、1文字を入力するのに必要なペン先の平均移動距離と標準偏差を示す。移動距離はすべてのテキストについてVOKB, VIMを単独で利用したときよりも短くなった。これは、VOKBとVIMを組み合わせることにより、入力に必要なペン先の移動距離がさらに短縮されたことを表している。

4.2 キー配列の評価

図23に示すQWERTY, DVORAKなど5通りのキー配列について、VOKB+VIMで英文テキストを入力する際に必要なペン先の移動方向と移動距離を比較した。比較は3.1.1項と同様に、表1の英文テキ

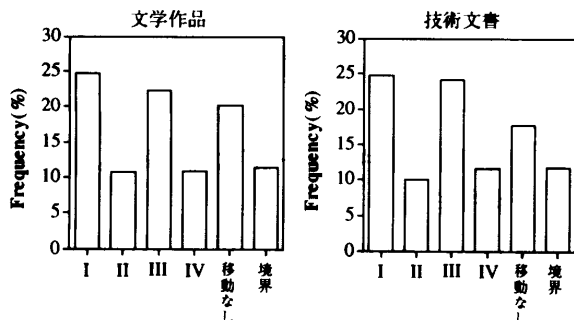


図22 方向I~IVへの移動頻度グラフ (文学作品, 技術文書)
Fig. 22 Direction frequency of movement (novels and technical literature).

ストを用いたシミュレーションによって行った。

4.2.1 移動距離

表6に、1文字を入力するのに必要なペン先の平均移動距離と標準偏差を示す。文学作品、技術文書ともに配列(4), (5)で(1)よりも短い移動距離をとった。配列(5)では配列(1)の0.82~0.84倍まで移動距離が短縮された。これは、使用頻度の高いキーを手首に近いキーボードの下段に配置したためと考えられる。また最大の移動距離をとった配列(2)は、母音が左に、高頻度の子音が右に集まった両手で交互打鍵しやすい配列であるため、ペン先の移動距離が大きくなったものと考えられる。

4.3 入力動作量の比較

VIMをVOKBに取り入れることにより、従来のポイント動作に加えベクトル入力のためのジェスチャー

表5 1文字の入力に必要なペン先の移動距離 (mm)
Table 5 Averaged distance of a movement and its standard deviation.

| 文学作品 | VOKB+VIM | VOKBのみ | VIMのみ |
|------|----------|--------|--------|
| 平均 | 13.048 | 15.539 | 17.065 |
| 標準偏差 | 0.077 | 0.120 | 0.153 |
| 技術文書 | VOKB+VIM | VOKBのみ | VIMのみ |
| 平均 | 13.845 | 16.026 | 18.193 |
| 標準偏差 | 0.246 | 0.173 | 0.380 |

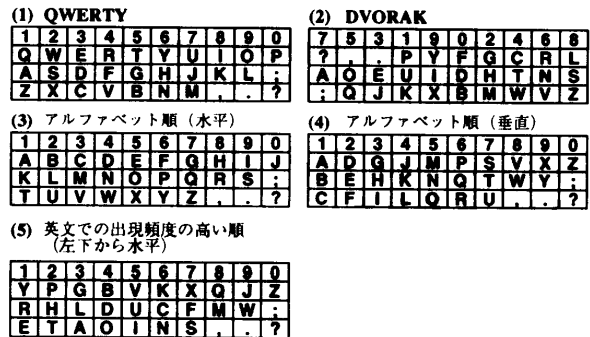


図23 キー配列
Fig. 23 Keyboard arrangement.

表6 1文字の入力に必要なペン先の移動距離 (mm)
Table 6 Averaged distance of a movement and its standard deviation.

| 文学作品 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均 | 13.048 | 15.150 | 13.807 | 12.429 | 10.962 |
| 標準偏差 | 0.077 | 0.104 | 0.111 | 0.071 | 0.102 |
| 平均/(1) | 1.00 | 1.16 | 1.06 | 0.95 | 0.84 |
| 技術文書 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| 平均 | 13.845 | 15.975 | 14.067 | 12.817 | 11.371 |
| 標準偏差 | 0.246 | 0.263 | 0.203 | 0.235 | 0.273 |
| 平均/(1) | 1.00 | 1.15 | 1.02 | 0.93 | 0.82 |

が必要となり、入力にともなう動作量が増加した。そこで、1文字の入力に必要な動作量の指標としてアクション数を定義し、VOKB+VIMを入力に簡単なジェスチャーを用いる速記型入力の unistroke および T-Cube と比較した。

4.3.1 Unistroke

unistroke⁴⁾とは、アルファベットを一筆書きのジェスチャーに対応させた速記型入力法で、unistroke アルファベットを画面上に書いて文字を入力する。unistroke アルファベットは覚えやすさと書きやすさを基準に単純な図形で表現されているので、誤認識が少なく、手元を見ないで高速に入力できる可能性を含んでいる。図24に unistroke アルファベットを示す。これらは小文字を表し、ペンの側面にあるボタンを押しながら書くと大文字が入力される。

4.3.2 T-Cube

T-Cube⁵⁾とは、動作の速い flick gesture によって直線の開始位置と方向を連続して入力し、文字を指定する速記型入力法である。直線の開始位置は図25のような9個のセルに分割された Target から選ぶ。各セルにはそれぞれ8分割の Pie Menu が対応しており、ユーザは入力したい文字の方向へペン先を動かして離すことによって、文字を入力する。

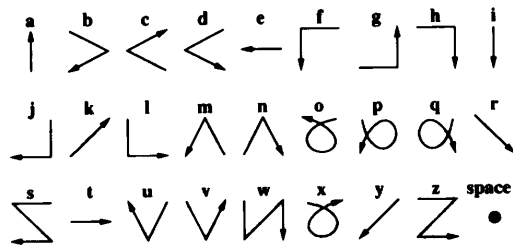


図24 unistroke アルファベット
Fig. 24 Unistroke alphabet.

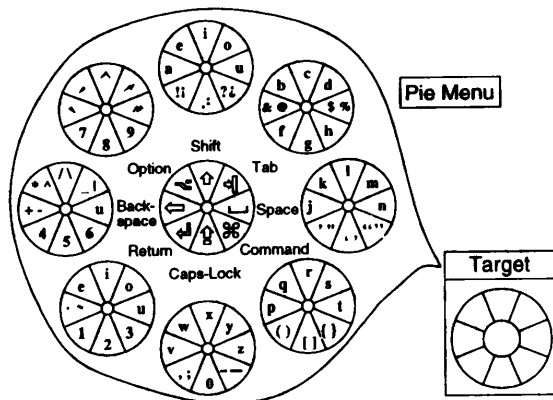


図25 T-Cube
Fig. 25 T-Cube.

T-Cube は動作の速い flick gesture を利用しているので、慣れれば高速な入力が可能となる。また入力待ちの状態では Target のみが表示されるので、つねにすべてのアルファベットキーが表示される仮想キーボードに比べて画面上に占める割合が小さく、小型化が必要な携帯端末向きであるといえる。

4.3.3 アクション数の定義

各入力法のアクション数を以下のように定義する。

VOKB+VIM: 小文字の入力には1回のポイント動作が必要なので、アクション数を1とする。大文字の入力には、対応する文字をポイントしてから SHIFT の方向にペンを動かす必要があるため、アクション数を2とする。SP は任意の位置から対応するベクトルを描いて入力するので、アクション数を1とする。

Unistroke: 入力に必要な動作は図24に示した unistroke アルファベットを描くことなので、アクション数を unistroke アルファベットの画数として表7のように定義する。なお曲線の画数を1.5、点の画数を0.5とし、大文字と小文字のアクション数は同じ値をとるものとする。

T-Cube: 小文字と SP の入力では、対応するセルをポイントしてから対応する方向へペンを動かす必要があるためアクション数を2とする。また、大文字の入力には小文字の場合に加えて SHIFT キーの入力が必要となるため、アクション数を4とする。

4.3.4 アクション数の比較

表8に、1文字の入力に必要な平均アクション数と標準偏差を示す。アクション数はすべてのテキストについて VOKB+VIM が最小となった。

表7 アクション数の定義 (unistroke)

Table 7 Definition of number of actions in unistroke.

| | | | | | | | |
|------------------|-----|-----|-----|---|---|-----|---|
| alphabet | a | b | c | d | e | f | g |
| unistroke | ↑ | → | ← | ← | ← | ↓ | ↓ |
| action | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| alphabet | h | i | j | k | l | m | n |
| unistroke | ↓ | ↓ | ↓ | ↘ | ↙ | ∧ | ∧ |
| action | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| alphabet | o | p | q | r | s | t | u |
| unistroke | ○ | ○ | ○ | ↘ | Σ | → | ∨ |
| action | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| alphabet | v | w | x | y | z | SP | |
| unistroke | ∨ | ↘ | ○ | ↘ | Z | • | |
| action | 2 | 3 | 1.5 | 1 | 3 | 0.5 | |

表8 1文字あたりの入力に必要なアクション数
Table 8 Averaged number of actions to input a character.

| | VOKB+VIM | Unistroke | T-Cube |
|------|----------|-----------|--------|
| 平均 | 1.023 | 1.262 | 2.046 |
| 標準偏差 | 0.004 | 0.006 | 0.008 |

5. おわりに

本稿では、楕円形仮想キーボード (VOKB) とベクトル入力法 (VIM) の提案および性能評価を行った。フリーポインティング実験により、ペン先でポイントしやすい領域が斜めに傾いた楕円形状に広がることを確認し、VOKBを設計した。シミュレーションによって、VOKBとVRKBで20編の英文を入力する際に必要となるペン先の移動方向、移動距離について比較した結果、VOKBでは手首の回転に合った入力が多くなり、ペン先の移動距離が短縮されることが分かった。

VIMでは特殊文字の入力に4種類の flick gesture を用いることにより、1ストロークでの *SHIFT* 操作と任意の位置での *SP*, *C/R*, *BS* 入力を可能とした。シミュレーションによって VIM と PIM を入力に必要なペン先の移動方向、移動距離について比較した結果、従来のポイント入力法よりも手首の回転に合わない入力が削減されることが分かった。また1ストロークでの *SHIFT* 操作が可能となったことでペン先の大きな移動が削減され、移動距離が短縮された。このようなことから、VIMによってポイント入力法とキー配置の問題が改良されることが分かった。

VOKBとVIMを組み合わせた場合 (VOKB+VIM) にも手首の回転を利用した入力が可能となり、ペン先の移動距離はそれぞれを単独で利用する場合よりもさらに短縮された。QWERTY, DVORAKなどの5通りのキー配列についてペン先の移動距離を比較したところ、QWERTYよりも短い移動距離をとる配列が2通りあった。また、入力に必要な動作量の指標としてアクション数を定義し、速記型入力の unistroke および T-Cube と比較したところ、VOKB+VIMで最小のアクション数をとった。

最後に、実際に携帯端末で VOKB と VIM を利用する際の画面表示例を図26に示す。VOKBの位置・大きさ・傾き等はユーザが自由に調整できるものとすることが望ましいと考える。

今回は被験者によらないシミュレーションを行い、入力に必要なペン先の移動方向、移動距離に関する VOKB, VIM の性能についての指標を得た。今後は実際に人間が利用したときに効率の良い入力が可能と

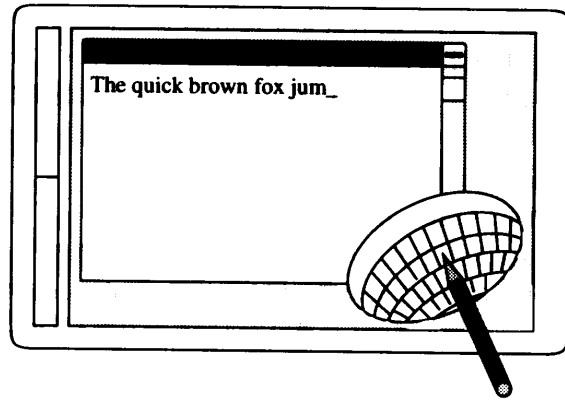


図26 VOKBの画面表示例
Fig. 26 Display image of VOKB.

なるかどうかを確認し、本研究で得られた指標と実際に人間が利用したときの性能が対応するかどうかを確認する必要がある。

またアルファベット順、出現確率順という規則に基づいた配列について VOKB+VIM のペン先の移動距離を比較したが、今後はさらに配列の種類を増やし、より VOKB+VIM に適したキー配列について検討する必要がある。

謝辞 VOKBの設計のための実験にご協力いただいたお茶の水女子大学理学部情報科学科の皆様へ感謝いたします。

参考文献

- 1) Tappert, C.C. and Ward, J.R.: Pen Computing: Fad or Revolution?, *Information Display*, Vol.8, No.3, pp.14-19 (1992).
- 2) Nakagawa, M.: Non-Keyboard Input of Japanese Text On-Line Recognition of Handwritten Characters as the Most Hopeful Approach, *Journal of Information Processing*, Vol.13, pp.15-34 (1990).
- 3) Tappert, C.C., Suen, C.Y. and Wakahara, T.: The State of the Art in On-Line Handwriting Recognition, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.12, No.8, pp.787-808 (1990).
- 4) Goldberg, D. and Richardson, C.: Touch-Typing with a Stylus, *Proc. INTERCHI '93*, ACM Press, pp.80-87 (1993).
- 5) Venolia, D. and Neiberg, F.: T-Cube: A Fast, Self-Disclosing Pen-Based Alphabet, *Proc. CHI '94*, ACM Press, pp.265-270 (1994).
- 6) Briggs, R.O. et al.: Whither the Pen-Based Interface?, *Journal of Management Information Systems*, Vol.9, No.3, pp.71-90 (1992-93).

- 7) 魚井宏高, 篠田真由美, 山本康友, 辻野嘉宏, 都倉信樹: 選択操作におけるペンとマウスの実験的評価, 情処研報, 92-HI-43-5 (1992).
- 8) 小野 眞: ペンの操作性に関する実験的研究, 情処研報, 92-HI-41-13 (1992).
- 9) 小野 眞: ペン入力のパフォーマンスモデルに関する検討, 情処研報, 93-HI-47-1 (1993).
- 10) 加藤直樹, 福田奈津子, 中川正樹: 手書き対話インタフェースの可能性, 第10回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp.471-478 (1994).
- 11) Kato, N., Fukuda, N. and Nakagawa, M.: An Experimental Study of Interfaces Exploiting a Pen's Merits, *Proc. HCI International '95*, pp.555-560 (1995).
- 12) Hashimoto, M. and Togasi, M.: A Virtual Oval Keyboard and a Vector Input Method for Pen-Based Character Input, *CHI '95 Conference Companion*, ACM press, pp.254-255 (1995).
- 13) 橋本美奈子, 長嶋雲兵, 富樫雅文, 細矢治夫: ペン入力のための楕円形仮想キーボードとベクトル入力法—性能評価—, 第11回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp.575-580 (1995).

(平成7年11月1日受付)

(平成8年9月12日採録)



橋本美奈子 (正会員)

昭和47年生。平成6年お茶の水女子大学理学部情報科学科卒業。平成8年同大学院理学研究科情報科学専攻修士課程修了。同年(株)東芝入社。ヒューマンインタフェースの研究に興味を持つ。



長嶋 雲兵 (正会員)

昭和30年生。昭和58年北海道大学大学院博士課程後期修了。理学博士。同年岡崎国立共同研究機構分子科学研究所助手。平成4年お茶の水女子大学理学部情報科学科助教授。現在同学科教授。理論化学, 並列分散処理, 性能評価の研究に従事。日本化学会, 日本応用数理学会, IEEE各会員。



富樫 雅文 (正会員)

昭和24年生。新潟高校卒業。昭和50年北海道大学理学部研究生。平成5年お茶の水女子大学理学部情報科学科助手。平成7年同非常勤講師。現在フリー。理学博士。主な著書「ヒューマンインタフェース」(オーム社, 共著)。ヒューマンインタフェース, 科学情報システム, 情報構造論に興味を持つ。情報処理学会正会員。



細矢 治夫 (正会員)

昭和10年生。昭和34年東京大学理学部化学科卒業。昭和39年同大学院博士課程修了。理学博士。同年理化学研究所研究員。当時の研究テーマ: 分子の電子構造と反応機構の理論的研究。昭和42~43年米国ミシガン大学博士研究員(ロドプシンの光化学反応)。昭和44年お茶の水女子大学理学部化学科助教授。現在同学部情報科学科教授。現在の研究テーマ: 数理化・情報化学・化学教育(グラフ理論の化学への応用, 巨大分子の電子構造の理論的研究, 多面体の数理解析)。著書: 「化学反応の機構」, 「構造と物性」, 「量子力学」, 「化学をつかむ」, 「絵解き量子化学入門」, 「光と物質—そのミクロな世界」。加入学会: 本会, 日本化学会, 化学ソフトウェア学会, 高次元科学会, 米国物理学会, 国際数理化学会, 他。