

高次脳機能障害を想定したソフトウェアキーボードの性能評価

Performance Estimation of Software Keyboard
Designed for Higher Brain Dysfunction佐藤 基次[†]
Mototsugu Sato縄手 雅彦[†]
Masahiko Nawate森本 大資[†]
Daisuke Morimoto

1. まえがき

e-Japan 構想の実現のために自治体やボランティアなどによるパソコン利用講習が積極的に実施されているが、近年では障害者向けの講習の必要性も高まって来ている。身体障害や視聴覚障害のように外部からの症状把握が容易な場合に対して、近年増加している脳梗塞などから発症した高次脳機能障害においては、その特徴である失行、失認、注意障害、記憶障害 [1] など本人の自覚の無い、観察の困難な症状を伴うことにより、指導する側に格段の注意が必要であるとともに、障害に配慮した講習環境、ツールが求められている。そのようなツールはマウス操作支援やキー入力支援機能を持つ講習ツールであり、高次脳機能障害に配慮した学習シナリオが必要となる。

我々は、その中のキー入力に着目してソフトウェアキーボードの性能評価を行うことを試みた。ソフトウェアキーボードの長所として物理的なキーボードに脳機能障害者向けの機能を付けるよりも安価で、またソフトウェアによって大きさ、レイアウト、機能の調節が容易であることがあげられる。物理的なキーボードは十指を利用して入力することが想定されており、脳機能障害の結果として生じている片麻痺などを伴う患者の場合にはそのキー間隔やサイズが適していない場合がある。また、注意障害の一つである半側空間無視の症状がある場合には、視野内の左半分や図形の左半部分を認識しない問題 [1] があり、横に長い形状の物体やツールは向いているとは言えない。そのため、キーボードのレイアウトに自由度があるソフトウェアキーボードについて、検討を行った。

従来からソフトウェアキーボードに関する研究は多く行われているが、効率を追求したキー配置や形状は提案されても、配置を覚えることの問題は無視できない。例えば、Zhai ら [2] は、いくつかのキー配置について、Fitts の法則 [3] をキーの距離とサイズを考慮した入力効率に応用し、最適配置の検討を行っている。しかし、Fitts の法則は、単純な作業において十分に習熟した動作をくり返し行う際の統計的な関係を導いたものであり、Zhai ら [2] の手法は、キーを探す時間を無視しているため、現実的な性能比較とは言えない面がある。これに対し、Pavlovykh ら [4] は携帯電話においてキーを探し認識する時間を考慮しているが、Fitts の法則 [3] を拡張したものではない。また MacKenzie ら [5] はターゲット間を入力デバイスを使って移動する際、ターゲット間の軸に対するゆらぎから特徴を抽出して入力デバイスの評価を行っている。

本研究においては、まず評価ツールを用いてマウスを使ったポインティングにおいてターゲットまでの距離と大きさが変わった際のゆらぎの大きさ、クリックに要す

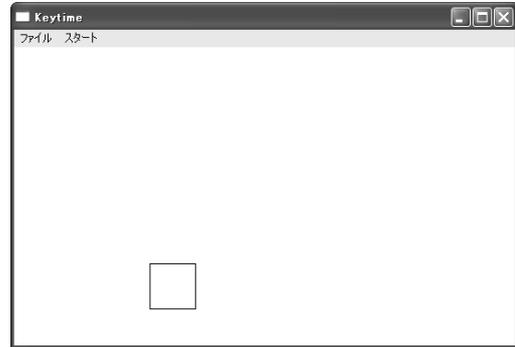


図 1: 評価ツール

る時間、移動に要する時間を測定する。その測定結果を考慮し、記憶障害を伴うことが多い高次脳機能障害者がキー入力を行う際に、キーの大きさとキー間の距離に加えて、キーを探して迷う行為や片麻痺時に利き腕の動作にもぶれが生じて効率的にマウス移動が出来ない現象を取り込んだソフトウェアキーボードの性能評価を行う。また、キー配置としては、QWERTY 配列のローマ字入力、50 音をキートップに表示した 50 音キーボードに加え、キーボードのサイズ縮小が容易で近年認知の高まっている携帯電話方式のキー配置について、Zhai らの方法 [2] を拡張して評価を行う。

2. 評価ツールを用いた性能評価

本実験で用いた評価ツールを図 1 に示す。動作プラットフォームは Windows 系 OS であり、開発は VisualC++ .NET を使用している。これは後に図 3 で示すソフトウェアキーボードでも同様である。ターゲットをクリックする毎にターゲットが移動し、その距離はクリックした地点から 100, 300, 500 ピクセルのいずれかあり、ターゲットの幅は 10, 30, 50 ピクセルのいずれかである。距離と幅はランダムに変化し、移動方向もランダムである。被験者は健常者 3 人で、図 1 に示すような四角いターゲットが移動するたびにターゲットまでポインタを持って行って四角の中をクリックしてもらおう。この動作を距離 3 種類 × 幅 3 種類 = 9 種類かつ、それぞれの種類でランダムに 10 回ずつ、計 90 回を 2 セットやってもらおう。図 2 に距離と幅が変化した際のターゲットまでの直線距離と実際の移動距離との誤差 (a)、ターゲットの領域内に入って一度止まってからクリックするまでの時間 (b)、クリックするのに要した時間を含まない移動だけに要した時間 (c) の変化を示す。(a) では幅が 10, 50 ピクセルのとき距離が 500 ピクセルから 300 ピクセルになると誤差は小さくなっているが、100 ピクセルにな

[†]島根大学総合理工学部, ECS, Shimane Univ.

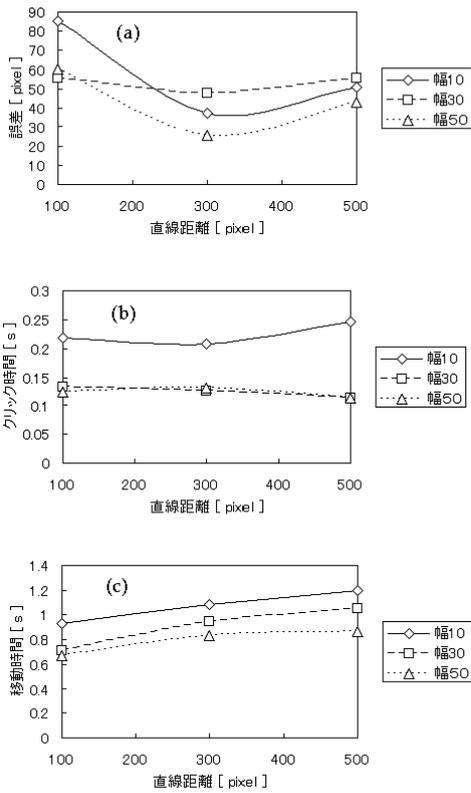


図 2: 評価ツールを用いて距離と幅を変化させたときの評価パラメータ (a) 誤差, (b) クリック時間, (c) 移動時間.

るとターゲットを行き過ぎてしまうため、誤差が大きくなってしまふことが言える。(b)ではクリック時間は距離に関係なく一定とみなせるが、幅に関してはある程度の幅以下になると変化が見られる。(c)では単純に後に示す困難指数に従って移動時間が大きくなっており、指数関数で大きくなっている。

3. キー配置と評価方法

本実験で作成したソフトウェアキーボードについて図 3(a) から (c) にその概観を示す。単独のアプリケーションとして動作し、MS-IME に入力文字を渡すことにより、テキスト入力エリアを持つアプリケーションへの文字入力を実現している。ウィンドウの大きさは、QWERTY 配列 (a) が縦 225 ピクセル × 横 500 ピクセル、50 音配列 (b) が 255 × 500 ピクセル、携帯電話方式 (c) が 225 × 320 ピクセルとした。文字キー以外のキーの配置は基本的には物理キーボードと類似した場所とした。右下の「換」のキーはこれらのキー配置を相互に変換するキーである。表示の切替えにより数字入力用のテンキーも表示できるが、数字の入力に関しては今回は評価しなかった。

Fitts の法則 [3] は往復運動による腕の単純なくり返し作業において、その振幅と対象物の大きさが作業の困難

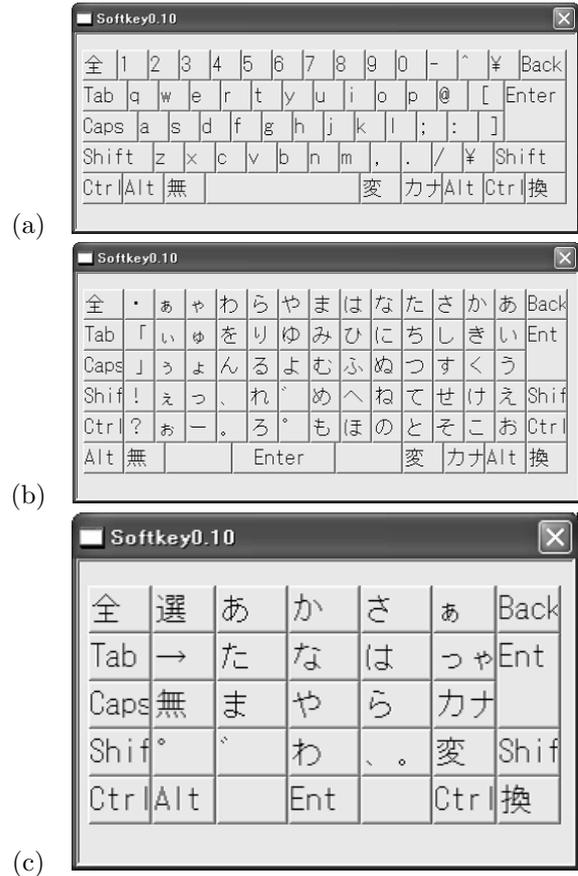


図 3: 作成したソフトウェアキーボードのキー配置。(a)QWERTY 配列, (b)50 音配列, (c)携帯電話方式.

さと相関があることを示したもので式 (1) で与えられる。

$$I_d = -\log_2\left(\frac{W_s}{2A}\right) \quad (1)$$

ここで、 I_d は bit/応答の単位で表される困難指数、 W_s は作業対象物の大きさ (幅) であり、 A は振幅である。Zhai ら [2] はこの式をキー入力に適用するために、図 4 にあるようにキーのサイズ W_j と i 番目から j 番目と連続する文字間のキーの距離 D_{ij} を用いて、

$$MT = a + \frac{1}{IP} \log_2\left(\frac{D_{ij}}{W_j} + 1\right) \quad (2)$$

のように変更した。ここで、 MT は平均文字入力時間、定数 a は単位時間あたりにキーをクリックできる回数の

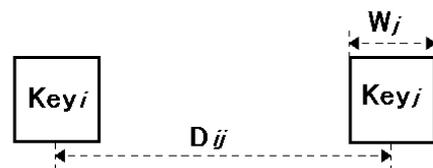


図 4: 連続するキー入力時の評価パラメータ

表 1: 各種キーボードの入力に関するデータ

キー配列	平均誤差 [ピクセル]	クリック回数
ローマ字入力	11.4	559
50音入力	102.8	418
携帯電話	23.6	929
キー配列	平均移動時間 [s]	平均クリック時間 [s]
ローマ字入力	0.592	0.157
50音入力	0.960	0.164
携帯電話	0.363	0.175

逆数であり, IP は困難指数である. 彼らは $a = 1/7.8$ と $IP = 4.9$ を用いて各種のキー入力効率を評価したが, キーを探す時間を無視しているため, 解析結果は入力速度の上限値を計算していると説明した.

我々は高次脳機能障害の特徴である記憶障害と不安定な手の動きを取り込むため, 評価ツールの結果を踏まえて, 式 (2) の D_{ij} に実効的な増減を取り込むよう修正した.

評価ツールの結果, 図 2(a) では幅が 10, 50 ピクセルのときは距離によって誤差が変化しているが幅が 30 ピクセルのときは距離に関係なく誤差が一定とみなせる. 図 2(b) では幅が 10 ピクセルのときだけクリック時間が大きい, 幅が 30, 50 ピクセルのときは距離に関係なく一定である. 図 2(b) では困難指数が大きくなるに従って指数関数で移動時間が大きくなっている. これらのことを考慮して実際キーの幅が 30 ピクセル程度なので, 式 (2) の a は定数とみなし, D_{ij} に距離に関係なく一定の誤差 k を加えることにより,

$$MT = a + \frac{1}{IP} \log_2 \left(\frac{D_{ij} + k}{W} + 1 \right) \quad (3)$$

を用いて, 例文を入力した場合の入力に要した時間 MT が a や IP , また, k の大きさによってどのように変化するかを計算し, 各種キーボードの性能を比較する. 例文は電子情報通信学会の学会誌にある論文から 200 文字分の文章を抜き出して使用した.

携帯電話方式のキー入力においては, たとえば「あ」のキーをクリックするたびにキートップが「い」「う」のように変更される仕様としているが, 必要な文字を入力するためのキーのクリック回数の増加が予想される. 最近の携帯電話では入力速度の向上のために入力予測プログラム POBox [6] が実装されている. しかし, 我々の評価では, 利用履歴に依存しない性能を調べるために, POBox や市販の日本語入力プログラムにあるような入力予測機能は使用しない. ただし, 日本語入力プログラムとして使用した MS-IME の学習機能は利用した.

なお, この実験に使用したソフトウェアキーボードは我々の Web ページ [7] 上で公開している.

3.1 実効的な移動距離を考慮した場合の性能比較

前述の式 (3) で示したようにマウスを移動する軌跡はキー間の直線距離よりも長くなる傾向にある. また, キーを探す行動が含まれるとこの実効的な距離の増加は無視

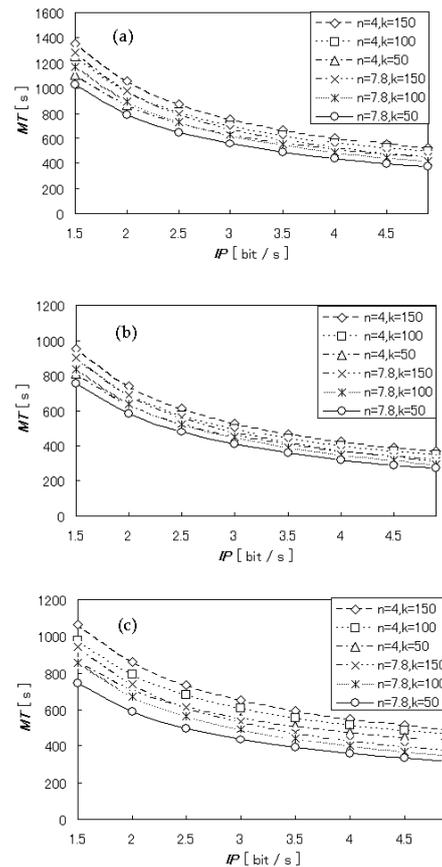


図 5: 実効的な移動距離を考慮した場合のソフトウェアキーボードの性能比較. (a)QWERTY 配列, (b)50音配列, (c) 携帯電話方式.

できない程度に大きくなる. これを考慮して, $n = 4$ と 7.8 について, k をパラメータとして MT を評価した結果を図 5 に示す. 図中のパラメータ n は単位時間にキーをクリックする回数であり, $1/a$ である. MT は k によっては大きな変化を示さないが, IP の小さい領域では効果がより顕著に現れて来る. 図 6 に図 5 において $n=4, k=150$ (a), $n=7.8, k=150$ (b), $n=4, k=50$ (c), $n=7.8, k=50$ (d) のときの IP の値による配列ごとの MT の比較を示す. ここで $IP=1.5-3$ の領域にしてあるが健康者でもキー入力において $IP=2.5-3$ 程度に低下する. (a) $n=4, k=150$ のとき全体として 50 音順が入力時間 MT は相対的に少ない.(b) $n=7.8, k=150$ のとき $IP=1.5-3$ の領域では $n=4$ のときと比較すると携帯電話方式の性能が相対的に向上しているが 50 音順の方がわずかながら速い.

このことは $k=50$ のときも同様であり, k を変えたとき図 5 で同キーボードにおいては MT の差は見られるが, 図 6 で各キーボードにおける MT の差は見られなかった. 参考として, 実際にこれらのキーボードを健康者が利用して入力した際のデータを表 1 に示す. 表中の平均誤差というのはゆらぎを考慮した実際の移動距

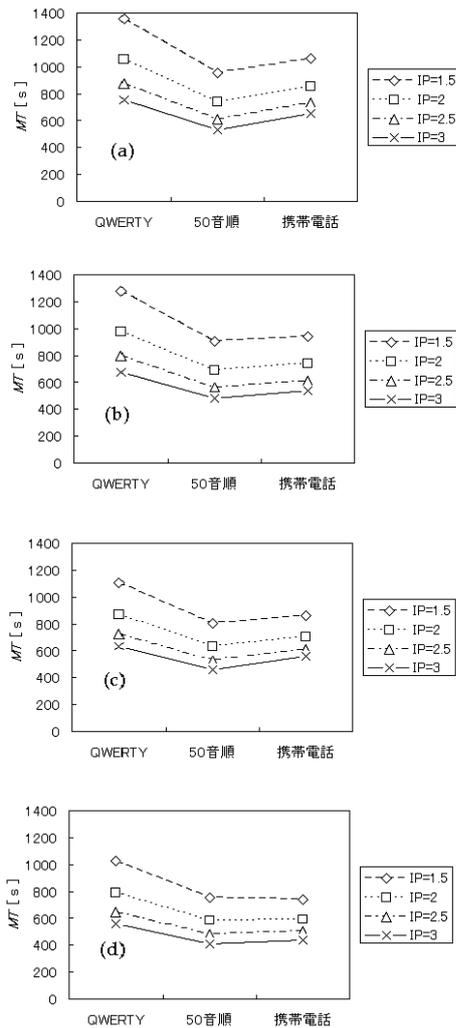


図 6: IP を変えた際の各配列の MT の比較. (a) $n=4$, $k=150$, (b) $n=7.8$, $k=150$, (c) $n=4$, $k=50$, (d) $n=7.8$, $k=50$.

離と直線距離との差である。50音配置の平均誤差が大きくなっているのはこれはあ行と「ん」の間を行き来する回数が無視できないくらい多いことと、キーを探すという行為が他の二つの配列に比べ、顕著に現れることが推定される。携帯電話方式のクリック回数の増加と平均移動時間のは予想される通りであった。携帯電話方式の平均クリック時間がわずかながら大きいのは、キーを数回押して目的の文字を入力するときに視覚的に確認するという行為によるものと推定される。

4. まとめ

失認や失行、記憶障害などの症状を持つ高次脳機能障害者のキーボード入力に関して、Fittsの法則を拡張し、キー探索の迷いや手のぶれなどを考慮に入れることのできるモデルを作成し、QWERTY配列、50音配列、携帯電話方式の3種類のソフトウェアキーボードに対して性

能評価を行った。例文として用いた電子情報通信学会誌の200文字のテキストを入力する際の、キーの幅が30ピクセル程度の場合についてキーのクリックを記録し、マウスの移動距離とクリック回数から入力時間 MT を求め比較した。健常者よりも低い性能指数を持つ障害者にとっては、カーソルの移動距離が小さい携帯電話方式が有効であるように予想されるが、手のぶれによるゆらぎを考慮すると50音配列の性能が相対的に良くなっている。しかし、手のぶれが本実験で想定したものより大きくなると携帯電話方式が有利になると予想されるので、障害者向けの講習などで文字入力を扱う際には、英文入力の比率が多くなければ、障害の種類によって50音配列と携帯電話方式を使い分けると良いことが示唆された。

謝辞

この研究を行うにあたり種々の助言をいただいたビッグボイス代表の渡辺哲也氏に感謝します。この研究は日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(C), 課題番号14550359)により行われた。

参考文献

- [1] 長谷川賢一編, 「高次脳機能障害」, 建帛社, 2001.
- [2] S. Zhai, M. Hunter and B. A. Smith, "The Metropolis Keyboard – An Exploration of Quantitative Techniques for Virtual Keyboard Design", *Proc. UIST 2000*, pp.119–128, 2000, (Nov. 5-8, 2000, San Diego, California).
- [3] P. M. Fitts, "THE INFORMATION CAPACITY OF THE HUMAN MOTOR SYSTEM IN CONTROLLING THE AMPLITUDE OF MOVEMENT", *J. Experimental Psychology*, **47**, pp.381–391, 1954.
- [4] A. Pavlovych, W. Stuerzlinger, "Model for non-expert text entry speed on 12-button phone keyboards", *Proc. 2004 conference on Human factors in computing systems 2004*, pp.351–358, 2004, (April. 24–29 2004, Vienna, Austria).
- [5] MacKenzie, I. S., Kauppinen, T., Silfverberg, M., "Accuracy measures for evaluating computer pointing devices", *Proc. CHI 2001*, pp. 9–16, 2001, (Mar. 30–Apr. 23 2001, New York).
- [6] T. Masui, "An Efficient Text Input Method for Pen-based Computers", *Proc. CHI 98*, pp.328–335, 1998, (Apr. 18-23 1998, Los Angeles, California).
- [7] <http://www.mag.shimane-u.ac.jp/keyboard/keyboard.html>