



片手用キーボードによる打鍵間隔を活用した文字入力手法

片山, 拓也
村尾, 和哉
寺田, 努
塚本, 昌彦

(Citation)

情報処理学会論文誌, 54(4):1667-1676

(Issue Date)

2013-04-15

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

© 2013 情報処理学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90005153>



推薦論文

片手用キーボードによる打鍵間隔を活用した文字入力手法

片山 拓也^{1,a)} 村尾 和哉^{1,b)} 寺田 努^{1,2,c)} 塚本 昌彦^{1,d)}

受付日 2012年7月1日, 採録日 2013年1月11日

概要: 近年のコンピュータ小型化にともない, ウェアラブルコンピューティングに関する注目が高まっている. ウェアラブルコンピューティング環境では, 携帯性や装着性の観点から小型の入出力デバイスが望まれる. 一般に, コンピュータへの文字入力デバイスとしてはキーボードが広く普及しており, 多くのユーザがキーボードの入力に慣れ親しんでいる. しかし, キータッチのしやすさなどのユーザビリティに影響を与えるため, キーボードの単純な小型化には限度がある. そこで本研究では, ユーザがすでに体得しているキーボード入力能力を活かすために, 既存のキー配列をそのままに保ちながらキーボードを左右に分割し, どちらか一方のみを用いる手法を提案する. 提案手法では, 単語の切れ目ごとにキーボード半分の打鍵情報のみから入力単語を推測する. 提案手法を用いることで, 従来のキーサイズと入力動作を最大限に保ったままキーボードの大きさを半減できる.

キーワード: キーボード, 小型入力デバイス, 単語推定

A Text Input Method for One-handed Keyboard Using Keying Interval

TAKUYA KATAYAMA^{1,a)} KAZUYA MURAO^{1,b)} TSUTOMU TERADA^{1,2,c)}
MASAHIKO TSUKAMOTO^{1,d)}

Received: July 1, 2012, Accepted: January 11, 2013

Abstract: In wearable computing, compact I/O devices are desirable from the viewpoint of portability. Now, many users are accustomed to input with a keyboard, however, there is a limitation of miniaturization because it degrades the performance of key touch. Therefore, in this paper, we propose a method to miniaturize a keyboard by excluding the half of it. The user can input words with one hand because the proposed system estimates the input word using keying interval, which appears also when the user inputs with both hands. From the result of user study, we confirmed that the user can input with only one hand and that it does not decrease input speed drastically.

Keywords: keyboard, compact I/O device, word estimation

1. はじめに

近年はコンピュータの小型化が進んでおり, 携帯電話な

どの情報機器を携帯するユーザが増えた. さらに現在は, コンピュータを常時装着して生活するウェアラブルコンピューティングに関する注目が高まっている [1], [2]. これらの環境では, 携帯性や装着性の観点から小型のデバイスが求められる. 現在, デスクトップコンピューティング環境の文字入力にはキーボードが主に用いられているが, フルサイズのキーボードは持ち歩きに適さず, 衣服への装

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe,
Hyogo 657-8501, Japan

² 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency, Chiyoda,
Tokyo 102-0076, Japan

a) takuya@stu.kobe-u.ac.jp

b) murao@eedept.kobe-u.ac.jp

c) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

d) tuka@kobe-u.ac.jp

本稿の内容は 2011 年 7 月のマルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム 2011 にて報告され, モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会主査により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である.

着も難しいため、ウェアラブルコンピューティング環境で利用されている例は少ない。一方、キーボードの単純な小型化は、キータッチのしやすさなどのユーザビリティを悪化させる原因となるので限度がある。多くのキーボードのキー間隔は 19mm が採用されており、キー間隔が下がるにつれて入力速度も下がるといわれている。

これまでに小型の文字入力デバイスは多く提案されているが、コンピュータのヘビーユーザの多くがキーボードの入力に慣れ親しんでいるため、新たな形状のデバイスを受け入れるには敷居が高く、習熟してもキーボードほどの入力速度が得られないものがほとんどである。また、ウェアラブルコンピューティング環境向けにハンズフリーで入力できるジェスチャベースや視線ベースの入力方法が提案されているが、入力速度が低い、入力動作が大きい、視線の移動が危険につながる、といった問題点があげられる。

図 1 に示すように、フルキーボードは身体に装着するには大きすぎる。そこで本研究では、既存のキーボードのキー配列をそのままにしながらキーボードを左右に分割し、どちらか一方のみを用いることでキーボードの小型化を図る手法を提案する。提案手法は、ユーザがすでに体得しているキーボード入力の能力を活かした入力である。具体的には、図 2 に示すように、片方の手は従来と同様にキーボードを打鍵して、あたかも両手でキー入力を行っている動作のまま、もう一方の手は机や腿などを空打ちする。その際、実際にキー入力を行っている手から得られるキー入力のインターバルから空打ちの打鍵数を推測する。そして、単語の切れ目ごとに入力された単語を推定し、優先度順に候補を提示する。提案手法を用いることで、従来のキーボードのキーサイズと入力動作を最大限に保ったまま大きさを半減できる。本稿ではシステムのプロトタイプ



図 1 サイズの比較

Fig. 1 The comparison of size.



図 2 入力方法

Fig. 2 The input method.

を実装し、文章の入力速度を調査した。

以下、2章で関連研究を紹介し、3章で提案手法を説明し、4章で評価について述べる。そして、5章で考察を行い、最後に6章で本研究のまとめを行う。

2. 関連研究

これまでに小型文字入力デバイスは数多く提案されている [3], [4], [5]。特にウェアラブルコンピューティング環境では、荷物を持っていて両手が使えない状況でも入力できるようにデバイスを手に把持しなくてもよい入力手法が提案されている。たとえば、文献 [6] では、片腕に装着したカメラともう片方の腕に装着した反射指標を用いて、空中でストロークベースの入力を行っている。Liu らが提案したジェスチャベースの手法 [7] では、センサが取り付けられた手で空中で文字を書いて入力を行う。Rosenberg らが提案した The Chording Glove [8] では、ユーザはすべての指の先に押下を検出するセンサが内蔵されたグローブを用いて入力する。これら以外にも視線を用いた入力 [9] や、脳波を用いた入力 [10] なども提案されている。これらは小型化という要件は満たすが、大きな入力動作を必要とするので社会的受容性を欠いたり、新しい入力動作の習熟に多くの時間を要したりするなど、利用者への敷居が高い。さらに、視線入力では屋外の使用に際して危険がともなうし、簡易な装置を用いた脳波入力では文字入力に十分な入力の分解能は得られない。それに対して、提案手法はハンズフリーこそ実現できないものの、フルキーボードの入力動作を継承するため、ある程度の入力速度を維持したままデバイスの小型化が可能である。

文字入力デバイスの小型化にはキー数を減らすというアプローチが最も一般的であり、携帯電話で採用されているめくり方式や、CUT 方式 [11] などがこれにあたる。めくり方式では 1 キーに複数の文字が割り当てられて、その打鍵回数で入力文字を決定する。CUT 方式では、めくり方式からさらに文字のキーへの割当てを工夫し、使用頻度が高い文字を少ない打鍵回数で入力可能にしている。ウェアラブルコンピューティング用に市販されているものでは、Matias 社の Wearable Half Keyboard [12] や Handkey 社の Twiddler [13] などがある。Wearable Half Keyboard は図 3 (左) に示すようにキーボードの左半分のみを切り取ったようなデザインになっており、キーボードの右半分にある文字を打つにはスペースキーを押しながら対応する左半分のキーを押す。キーの対応は図 3 (右) のような

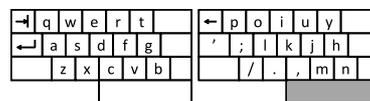


図 3 Wearable Half Keyboard [12] のキー配置

Fig. 3 The key layout of Wearable Half Keyboard [12].

写像型を採用している [14]. Twiddler は, 文字入力の際には背面の 12 キーの同時入力の組合せですべてのアルファベットが入力できる. しかし, これらはいずれも片手入力を想定しており, 少ないキー数ですべての入力をカバーするために同時入力などの特殊な入力を要求する. そのため習熟に時間を要するうえ, 両手で入力を行うキーボードに比べて入力速度が大きく劣る.

提案手法は, 従来のキーボードの配列をそのまま用いるとともに, 入力動作を最大限維持することで, ユーザがすでに体得しているキーボード入力の能力を活かした入力を実現できる. 提案手法では打鍵間隔を用いて入力単語を推定するが, 似た技術に打鍵認証 [15], [16] がある. 打鍵認証とはキー打鍵タイミングから個人認証を行う技術で, 導入コストを抑えられるが, 他のバイオメトリクス認証と比べて認証精度が低いという問題がある.

3. システム設計

3.1 システム概要

提案手法では図 4 のようにキーボードを左右半分に分割し, どちらか一方のみを用いて片手で入力を行う. ここで, [Space] キー, [Enter] キーなどの使用頻度の高いキーは両方に配置する. 以降, この半分に分割されたキーボードをハーフキーボードと呼び, 入力に用いる手を「打鍵手」, 用いない手を「非打鍵手」と呼ぶ. 入力の際, ユーザ

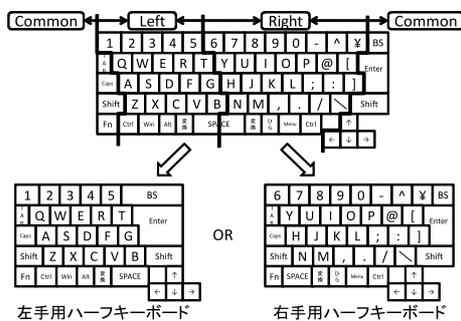


図 4 キーボードの分割位置
Fig. 4 The division of keyboard.

の非打鍵手は自分の腿や机などを空打ちすることで通常のキーボードに近い入力動作を維持できる. それと同時に, この非打鍵手の空打ちによって打鍵手のキー入力間に通常のキーボードを使用しているときと同様の打鍵間隔が発生する. 提案手法では, その打鍵間隔を用いることで, 打鍵手のキー入力情報のみから非打鍵手の打鍵数を推測し, 入力単語の推測に用いる. 以上によって, 従来のキーボードのキーサイズと入力動作を最大限に維持したまま, デバイスの大きさを半減させる.

システムの動作例を図 5 に示す. 図 5 は打鍵手が右手のときの「keyboard」の入力例を示している. ここで, 提案手法はどの言語にも対応可能であるが, 本稿では英文の入力について述べる. システムは英単語データとユーザの打鍵速度データを保持している. 提案手法では, 単語探索部において打鍵手のキー入力のたびにそのキー入力で成立する英単語の候補を絞り込むと同時に, 優先度決定部において打鍵間隔からその間に含まれる非打鍵手の打鍵数を推測し, 推測された打鍵数に応じて候補に優先度を付ける. そして, アルファベット以外のキーが入力される単語の切れ目で, 優先度順に入力単語の候補を提示し, ユーザは実際に入力した単語を候補の中から選択する. その後, 次の単語の入力が開始されると選択中の単語と最後に押されたアルファベット以外のキー (図 5 ではピリオド) を出力する. ここで, 実際に入力した単語が候補の一番先頭に提示された場合は選択動作が必要ないため, 従来のキーボードの入力動作が維持される. このように, 提案システムでは「候補の絞り込み」, 「優先度計算」の後に候補を提示する. 以下でそれぞれについて説明する.

3.2 候補の絞り込み

提案システムでは入力単語の候補はあらかじめ作成された辞書ファイルの中から検索される. ところが, 通常の辞書に収録されている見出し語はそれぞれの単語の基本形のみであるのに対して, 英文ではそれらの単語は複数形や受

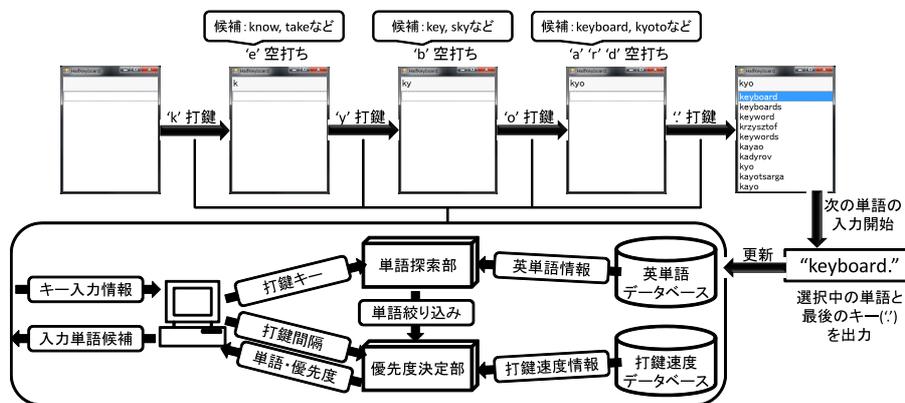


図 5 システムの動作フロー (右手での入力)
Fig. 5 The system flowchart (input with right hand).

動形、現在進行形など様々な形に変化して使用される。そこで、一般の人が実際にどのような形で単語を使用しているかを学習させるために、提案システムでは Wikipedia の Web ページをクローリングして辞書を作成する。

辞書ファイルからの単語の検索にはトライ木の概念を用いる。トライ木とは辞書の実装構造としてよく用いられるもので、その特徴として、各ノードに対して固有のキーは格納されておらず、根から自身までのルートがキーに対応している。また、根には空の文字列が対応し、あるノードの配下にある全ノードは、自身に対応する文字列を接頭部として持つ。右手を打鍵手にしたときの提案システムのトライノードの構造を図 6 に示す。根は 'h', 'i', 'j', 'k', 'l', 'm', 'n', 'o', 'p', 'u', 'y' の右手入力文字を持つ 11 ノードと文字を持たない 1 ノードを子として持つ。同様に、右手入力文字を持つ各ノードは、右手入力文字を持つ 11 ノードと文字を持たない 1 ノードを子として持つ。一方、自身が文字を持たないノードは子を持たない葉ノードであり、葉ノードにはそのノードのキーと非打鍵手入力の文字の組合せからなる単語が格納されている。たとえば、'i' と 'y' の順に先祖を持つ葉ノードには正規表現で "[a-gq-tv-xz]*i[a-gq-tv-xz]*y[a-gq-tv-xz]*" と表される単語 ("variety" や "sideways" など) が格納される。

提案システムでは根を始点として、打鍵手の文字入力があったときに、その文字を持つ子ノードに移動する。その時点では、そのノードを根とする部分木に含まれるすべての葉ノードに格納されている単語が入力された候補となる。その後、アルファベット以外のキーが入力されたときに、ノードと直接結ばれている子の葉ノードに格納されている単語が最終的な入力単語の候補となる。つまり、打鍵手での入力 'k₀', 'k₁' がされた時点では "[a-gq-tv-xz]*k₀[a-gq-tv-xz]*k₁[a-z]*" を満たす単語が候補となり、その後アルファベット以外のキーが入力されると、"[a-gq-tv-xz]*k₀[a-gq-tv-xz]*k₁[a-gq-tv-xz]*" を満たす単語が候補として提示される。

しかし、打鍵手の入力のみでは人名や商品名などの固有名詞や、新語といった辞書に載っていない単語が入力できないという問題があるため、提案システムでは 2 章で述べた Wearable Half Keyboard と同様の反転入力の機構を備

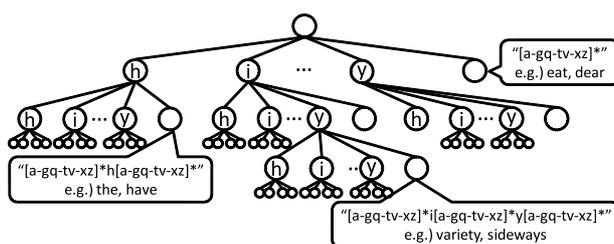


図 6 打鍵手が右手の場合のトライ木
Fig. 6 The trie tree of right-half keyboard.

えている。具体的には、あらかじめ設定した反転キーを押しながらのキー入力は、図 3 に示すようにキーボードを左右反転した位置の非打鍵手側のキー入力に置き換えられる。たとえば反転キーを押しながらの 'j' や 'x' の入力は 'f' や 'v' の入力に置き換えられる。また、この入力機構は辞書に載っていない単語を入力する以外に、候補の絞り込みとしても使用できる。提案手法では、非打鍵手に割り当てられている文字に入力が偏った単語を入力すると、候補の絞り込みが十分にできずに大量の単語を候補として提示することがある。そこで、反転入力の機構を用いて非打鍵手に割り当てられている文字を入力することで、その文字を含まない単語を候補から除外できる。よって、打鍵手入力 'k₀', 'k₁' の入力後に反転キーを用いて非打鍵手入力 'k'₀' があった場合は、"[a-gq-tv-xz]*k₀[a-gq-tv-xz]*k₁[a-gq-tv-xz]*k'₀[a-z]*" を満たす単語が候補となる。具体例をあげると、打鍵手が右手の際、'k', 'y', 'o' の入力の後に反転入力の機構を用いて 's' の入力があった場合は、"keyboards" は候補として提示されるが、"keyboard" は候補から外される。

3.3 優先度計算

提案手法では入力単語の候補の提示順を決定するために、打鍵手の打鍵間隔からその間に含まれる非打鍵手の打鍵数 (以下、非打鍵手入力数) を推測して優先度を計算する。

優先度計算のために、システムはユーザの打鍵速度のデータとして、非打鍵手入力数 n に応じた打鍵手の打鍵間隔 t_n を収集する。たとえば、右手を打鍵手としたときは "keyboard" という入力から、'k' と 'y', 'y' と 'o' の間にはそれぞれ 'e' と 'b' の 1 文字が含まれるので、それらの打鍵間隔を t_1 に記録し、'o' とスペースキー間には 'a', 'r', 'd' の 3 文字が含まれるので、その打鍵間隔を t_3 に記録する。ここで、非打鍵手入力が 5 回以上連続で続くことは非常に稀で、十分なデータが集まらないため n の上限を 4 に設定する。以下、 $n \geq 5$ のデータはすべて $n = 4$ に置き換えて扱う。そして、 n ごとの打鍵速度の平均 t_{μ_n} と標準偏差 t_{σ_n} を計算し、非打鍵手入力数の推測に利用する。

非打鍵手入力数の推測には正規分布の確率密度関数の高さを用いる。打鍵手での打鍵間隔 x が与えられたときの非打鍵手入力数が n の確率は、以下のように平均 t_{μ_n} 、分散 $t_{\sigma_n}^2$ の正規分布の確率密度関数 f_n の高さ $f_n(x)$ で表される。

$$f_n(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}t_{\sigma_n}} \exp\left(-\frac{(x - t_{\mu_n})^2}{2t_{\sigma_n}^2}\right)$$

そして、打鍵間隔 x に対してすべての n について $f_n(x)$ を計算した後、以下に示す式で打鍵間隔 x のときの非打鍵手入力 n の重み $p_n(x)$ を計算する。

$$p_n(x) = \frac{f_n(x)}{\sum_{i=0}^4 f_i(x)} + \alpha$$

ここで、 α を加えることで、タイピングにもたつた場合でも一定の重みが得られる。また、非打鍵手入力数をまったく推測できないような大幅なタイピングのもたつきによる外れ値を除外するため、 $x \geq t_{\mu_4} + 2 \times t_{\sigma_4}$ の際は p_n を計算せずに、すべての n について $p_n = 1$ とする。

すべての打鍵間隔について $p_n(x)$ を計算した後、単語ごとの優先度 W を計算する。単語の優先度の初期値 W_{base} は Web ページのクローリング中の出現回数の対数とする。そして、打鍵手入力が “ $k_1 k_2 \dots k_n k_{n+1}$ ” (k_{n+1} は非アルファベットキー) で k_i と k_{i+1} の打鍵間隔が x_i であったとき、“[非打鍵手入力 k'_0 文字][k_1][非打鍵手入力 k'_1 文字][$k_2 \dots k_{n-1}$][非打鍵手入力 k'_{n-1} 文字][k_n][非打鍵手入力 k'_n 文字][非アルファベットキーの入力]” で表される単語の優先度 $W(k'_0, k'_1, \dots, k'_n)$ は以下のように計算される。

$$W(k'_0, k'_1, \dots, k'_n) = W_{base} * \prod_{i=1}^n p_{k'_i}(t_i)$$

なお、 k_1 の前の打鍵間隔 x_0 は考慮しない。これは、 x_0 には k'_0 の入力に要した時間に加えて、直前の単語の選択時間が含まれ、安定せず推測できないためである。また、辞書に載っていない単語の入力を可能にするために、入力されたとおりの文字列 “ $k_0 k_1 \dots k_{n-1} k_n$ ” を候補の末尾に追加する。

ユーザは提示された候補の中からあらかじめ設定した変換キーあるいは上下の矢印キーで自分が入力した単語を選択して入力する。また、入力単語が候補の上位に表示されていないときの探索を容易にするために、候補の提示をアルファベット順や文字数順に並べ替える機能を実装した。入力単語の決定は変換キー以外のキーの入力があつたときに決定されるため、入力単語が最上位に提示されれば、通常キーボードの入力時に対して追加の動作を必要としない。

最後に、選択された単語をもとに打鍵間隔 x と正解の非打鍵手入力 n' の組合せを打鍵速度データベースに反映させて更新する。その際、タイピングのもたつきによる外れ値を除外するために $x \geq t_{\mu_{n'}} + 2 \times t_{\sigma_{n'}}$ の際は打鍵速度データベースに反映させない。打鍵速度データベースは各非打鍵手入力数について最新 100 回分の打鍵間隔を保持し、100 回分を超えた際は古いデータから削除する。

3.4 プロトタイプ

提案手法を実現するプロトタイプを作成した。作成した左側ハーフキーボードのプロトタイプを図 7 を示す。キーボードの左側を採用した場合は、使用頻度の高いキーを空いているキーや使用頻度が低いキーに割り当てた。具体的には、‘h’ と ‘y’ の位置に ‘.’ と ‘;’ を、‘6’ と [caps lock] キーの位置に [Backspace] キーと [Enter] キーを配置している。さらに、スペースキーの左のキー (図 7 では [alt, opt] キー) は候補の順送り選択キー、さらにその左のキー (図 7 で



図 7 プロトタイプ

Fig. 7 The prototype system.

は [win, cmd] キー) は候補の逆送り選択キー、一番左下のキー (図 7 では [ctrl] キー) は候補の並べ替えキー、その上のキー (図 7 では [shift] キー) は反転キーに設定した。プロトタイプは机上での利用のほかに、大腿部に装着した状態での利用も可能である。

4. 評価

作成したプロトタイプを用いて提案手法の習熟の評価を行った。被験者は 20 代男女 5 名、期間は 5 日間で、1 回の実験につき、メーラを想定した 200 語前後の文章を入力させた。被験者はいずれも普段からキーボードを使用しており、入力をタッチタイプで行える。提案手法は左右のハーフキーボードを用いて行う。比較手法として、フルキーボード、めくり方式、Wearable Half Keyboard 方式 (以下、WHK 方式) も同様に 5 日間の習熟を観察した。入力する文章は、手法間における入力単語による影響を抑えるために日ごとに全被験者共通の文書を用いた。各文章に含まれるキーボードの左半分に配置されている文字は、1 日目は 53.8%、2 日目は 50.0%、3 日目は 48.5%、4 日目は 49.5%、53.5% であった。入力手法は、各日程、各被験者でそれぞれ無作為に決められた順に切り替えて行った。1 日目の実験を行う前に、各被験者に対して入力手法の説明を行い、自由に文章を入力させる練習の時間を設けた。その際、各被験者ごとの打鍵速度データベースのデータを集めるために、ランダムに単語を提示してそれを入力させることで、非打鍵手入力数が 0 から 4 までの際の打鍵間隔データをそれぞれ 50 回分収集した。被験者は図 8 に示すようにディスプレイの前に着席した状態で、ディスプレイの左側に提示した文章を右側に書き写す。なお、めくり方式を除く入力手法はデバイスを机上に置いた状態、めくり方式はデバイスを把持した状態で実験を行った。また、提案手法を用いて入力する際は、反転入力による絞り込みは用いずに入力させた。以下に結果を示す。

4.1 入力速度

各被験者の入力速度の推移を表 1 に示す。また、全被験者の平均の入力速度の習熟曲線を図 9 に示す。表中の WPM (Word Per Minute) とは、文字入力デバイスの入力速度の指標の単位で 1 分間に何単語 (一般的に 5 文字を 1

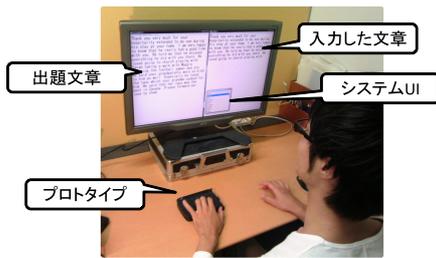


図 8 実験の様子

Fig. 8 The snapshot of experiment.

表 1 入力速度

Table 1 The input speed of each method.

被験者	入力手法	入力速度 (WPM)				
		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
A	フルキーボード	44.3	52.7	53.4	59.4	53.7
	めくり方式	8.7	9.2	11.9	11.4	10.2
	WHK方式	12.2	14.5	18.1	14.8	17.0
	提案手法(左)	19.5	17.8	19.9	22.4	22.7
	提案手法(右)	10.4	12.1	11.4	14.3	17.2
B	フルキーボード	24.1	22.0	25.6	27.5	28.3
	めくり方式	7.9	7.1	9.3	10.7	9.7
	WHK方式	9.0	9.3	10.3	12.0	12.7
	提案手法(左)	13.3	10.4	10.2	14.3	15.4
	提案手法(右)	8.5	7.9	10.0	8.5	11.1
C	フルキーボード	21.0	20.7	22.9	23.1	22.2
	めくり方式	7.5	8.5	8.9	9.4	8.9
	WHK方式	9.1	9.3	9.3	10.7	12.4
	提案手法(左)	9.6	10.2	9.8	10.7	10.7
	提案手法(右)	7.2	9.7	7.9	8.1	8.7
D	フルキーボード	23.9	20.2	23.8	26.2	26.8
	めくり方式	6.3	5.9	7.4	7.4	7.3
	WHK方式	7.5	9.3	10.0	10.0	10.5
	提案手法(左)	10.8	9.7	13.5	14.9	15.3
	提案手法(右)	9.1	8.1	10.8	11.1	12.3
E	フルキーボード	18.9	25.0	22.4	24.9	27.6
	めくり方式	8.7	10.0	10.6	10.3	12.1
	WHK方式	6.8	9.6	9.2	11.2	13.7
	提案手法(左)	6.5	8.0	10.7	13.4	15.1
	提案手法(右)	7.0	8.6	10.4	10.7	10.1

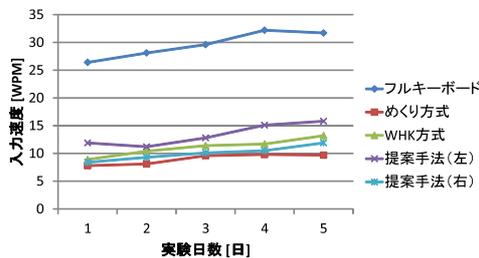


図 9 入力速度の習熟曲線

Fig. 9 The learning curve.

単語とする)を入力できるかを表す。表 1 からすべての被験者がフルキーボードの入力速度が最も高くなり、次いで多くの場合に提案手法(左)の入力速度が高くなった。フルキーボードを含むすべての入力手法に習熟の傾向が見られた。被験者はいずれもフルキーボードを普段から使用し

ており、タッチタイプ入力ができる者を集めたが、提案手法の使用が各キーの配置を強く意識することにつながり、入力速度が向上したと考えられる。実際に、被験者 A を除くすべての被験者は 'B', 'T', 'Y', 'N' キーの打鍵手が実験初日には定まっていなかったが、提案手法を使用することでキー配置を意識するきっかけになった。あるいは実験手順や、用いたフルキーボードに対する慣れも入力速度の上昇の要因と考えられる。

左右の提案手法を比較した場合、被験者 E の 1, 2 日目を除くすべての被験者、日程において左の入力速度の方が高くなった。この特徴は被験者の利き手にかかわらずに見られた。その理由として、キーボードの左半分には多くのアルファベットキーが配置されていることと、使用頻度が高い文字が偏っていることが考えられる。キーボードは右半分に '・' や ';' などのキーを配置している分、26 文字中 15 文字のアルファベットキーが左半分に配置されている。多くのキーが配置されていることで、非打鍵手の入力の組合せのパターン数が少なくなり、候補の絞り込みが容易になる。また、文献 [17] によると、アルファベットの文字のうち使用割合が高い文字は 'e', 't', 'a' であり、その 3 文字の出現割合は順に 12.702%, 9.056%, 8.167% で、キーボードの左半分にあるアルファベットの使用割合の合計は 58.9% である。提案手法では打鍵手の入力が多くなると入力単語の候補が絞り込まれる。候補の数が減ると、入力単語を選択する時間が短縮され、結果スムーズな入力につながる。

4.2 入力時間の内訳

入力時間の内訳として、打鍵時間(打鍵手の最初の打鍵からアルファベット以外のキーを押して候補選択に入るまでの時間)と選択時間(候補選択に入ってから次の単語の打鍵手の最初の打鍵を行って候補を決定するまでの時間)を調べた。各被験者の 1 単語あたりの平均打鍵時間と平均選択時間の推移を表 2 に示す。ここで、表 2 における 1 単語は WPM の計算で用いた 5 文字ではなく、スペースで区切られた単語を指す。前述したとおり、フルキーボードに関しても一定の習熟傾向が見られたため、表 2 の打鍵時間の短縮が提案手法の片手打鍵に対する慣れか、キーボードの入力能力の向上かの判断ができない。そこで、1 単語あたりのフルキーボードの入力時間に対する提案手法の打鍵時間の比を調査し、表 3 に示す。表 3 から、打鍵時間は 1 日目から 2 日目にかけて大きく変化したが、それ以降は大きく変化していない。このことから、提案手法の利用にともなう非打鍵手の空打ち動作は時間をかけずに習得できるといえる。一方で、表 2 から入力時間の大部分を占める選択時間は、徐々に減少傾向にあることが分かる。前節で述べた、提案手法の左の方が入力速度が高い理由と同様の理由で、左の選択時間が短くなったと考えられる。入力時間のうち選択時間が占める割合は、初日は左で 80.2%、右

表 2 入力時間の内訳

Table 2 The detail of input time.

打鍵手	内訳	時間 (ms)				
		1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目
左	打鍵時間	929	963	814	799	796
	選択時間	3,758	3,690	3,245	2,550	2,577
右	打鍵時間	884	892	894	771	758
	選択時間	4,673	4,613	3,747	3,859	3,749

表 3 フルキーボード入力に対する打鍵時間の比

Table 3 The ratio of keying time for input time with a full keyboard.

打鍵手	比 (%)				
	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目
左	49.4	42.2	39.2	44.2	42.4
右	47.7	39.9	45.4	37.8	40.0

表 4 入力単語の上位提示割合

Table 4 The presented rate.

打鍵手	提示位置	提示割合 (%)				
		1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目
左	最上位	53.6	46.0	44.6	50.4	55.5
	初期画面	87.9	88.8	90.1	93.1	94.9
右	最上位	46.2	46.6	45.7	58.6	37.9
	初期画面	84.9	81.6	86.0	85.2	85.0

で 84.1%, 5 日目は左で 76.0%, 右で 83.2%となった。この理由としては、被験者が選択操作に慣れたこと、単語の提示位置が上位になったことが考えられる。提案手法の入力時間の短縮には選択時間の短縮が重要であるといえる。

4.3 入力単語の提示位置

前節で選択時間が短縮された理由を明らかにするために、入力単語が候補の上位に提示された割合を調べた。具体的には、すべての被験者において入力単語が最上位に提示された割合と初期画面 (10 単語を提示) に提示された割合を表 4 に示す。表 4 から、初期画面に提示される割合は上昇傾向にあったが、最上位に提示される割合は安定しなかった。システムが非打鍵手入力数を正確に予想できても最上位に提示されるためには、同じ非打鍵手入力数を持つ単語の中で最上位に提示される必要がある。つまり、最上位に提示される割合は Web クローリング時の入力単語の出現頻度にある程度依存している。表 2 の選択時間と表 4 の初期画面の提示割合を比較すると、ある程度の相関関係が見られることから、前節で述べた選択時間の短縮は入力単語の提示位置が上昇したためだと考えられる。入力単語が最上位にあるときの選択時間は平均 1.4 秒、初期画面に維持された場合は平均 1.8 秒だったが、初期画面から外れた際の選択時間は平均 9.2 秒と大幅に大きくなった。すべての被験者で入力単語が最上位に提示されたときのみの入力時間を抽出し、入力速度を計算すると、左で 23.9 WPM,

表 5 非打鍵手入力数の推測精度

Table 5 The estimation accuracy of keying number.

打鍵手	推測精度 (%)				
	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目
左	74.0	70.1	72.5	73.3	74.1
右	72.4	73.5	73.6	79.4	75.2

表 6 5 日目の打鍵数推測結果

Table 6 The result of estimated keying (5th day).

出力打鍵数 \ 入力打鍵数	0	1	2	3	4
0 (左)	85.6%	11.8%	2.0%	0.6%	0.0%
1 (左)	17.3%	64.5%	14.7%	3.0%	0.5%
2 (左)	4.1%	59.2%	32.7%	4.1%	0.0%
3 (左)	0.0%	25.0%	50.0%	20.0%	5.0%
4 (左)	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%	0.0%
0 (右)	90.0%	9.7%	0.0%	0.0%	0.0%
1 (右)	22.2%	66.7%	9.8%	0.7%	0.7%
2 (右)	3.1%	44.6%	41.5%	7.7%	3.1%
3 (右)	0.0%	22.9%	54.3%	14.3%	8.6%
4 (右)	0.0%	0.0%	0.0%	28.6%	71.4%

右で 21.9 WPM と非常に高い値となった。

4.4 非打鍵手入力数の推測精度

全被験者における非打鍵手入力数の平均予測精度の推移を表 5 に示す。表 5 から打鍵手が左の場合、実験日時が経過しても推測精度が大きく変化していない。その原因を明らかにするために、実験 5 日目における非打鍵手入力数ごとの推測結果を表 6 に示す。表 6 から、入力打鍵数が増えるほど推測精度が低下しており、左右どちらも入力打鍵数が 2 を超えると著しく精度が低下していることが分かる。非打鍵手入力数の誤推測は多くの場合、実際の入力打鍵数よりも少ない打鍵数と推測されている。その理由として、タイピングのもたつきを含む打鍵間隔が除去しきれずに打鍵速度データベースに格納され、各非打鍵手入力数の平均打鍵間隔を大きくしていることが考えられる。平均打鍵間隔が大きくなると、もたつきのない打鍵間隔が入力されたときに実際よりも少ない打鍵間隔として扱われてしまう。

4.5 デバイス装着状態での入力速度

デバイスを大腿部に装着した場合、普段と異なる姿勢で入力を行い、デバイス視界から外れるため、入力速度に変化が現れると考えられる。そこで、被験者 A に対して追加実験を行った。入力はデバイスを大腿部に装着し、立った状態で行った。結果、入力速度は 21.8 WPM となり、着席時と比べて大きな差は見られず、普段からキーボード入力をタッチタイプで行っているユーザには入力姿勢の変化による入力速度への影響は少ないと考えられる。しかし、デバイスを大腿部に装着した場合、歩行時の入力は打面が変化するため打鍵速度が安定しないと考えられる。また、歩行時の揺れでホームポジションを見失うことも考えられ

る。その場合、目的のキーを探すためにデバイスに視線を落とすため、注意が散漫になり、危険につながる恐れがある。この歩行時の問題は、現在の携帯機器の操作時にもいわれる問題である。上記の問題を解決するには、デバイスの装着位置を歩行の影響を受けにくい腰部に変更したり、現在の指の位置をフィードバックしたりする機構が必要である。

5. 考察

本章では提案手法の入力速度の向上のための改良案を述べる。前章から、入力速度の向上には単語の選択時間の短縮が必須である。以下で、具体的な方法を考察する。

5.1 非打鍵手入力数推測精度の向上

入力速度の向上には、非打鍵手入力数を高い精度で推測して、入力単語を上位に提示し、選択時間を短縮することが重要である。打鍵推測精度を上げるには、タイピングのもたつきを含む打鍵間隔を除去する方法と、その打鍵間隔を考慮した分布を採用する方法が考えられる。空打ち動作を行う前提では入力のもたつきには限度はないが、非打鍵手入力数に対する打鍵間隔の最小には限りがあるという特徴を考慮すると、正規分布よりもポアソン分布を採用した方が打鍵数の推測精度が向上する可能性がある。

非打鍵手入力数を 100%の精度で推測できた場合、実験時に使用した文章に出現する単語が最上位に提示される割合は打鍵手が左の場合 67.0%、右の場合 62.7%となり、初期画面に提示される割合は打鍵手が左の場合 97.2%、右の場合 94.8%と高くなる。さらに、現在の設計では単語に含まれる最初の打鍵手の入力以前に行われた非打鍵手入力数は推測していないが、仮にその入力数も推測できた場合、入力単語が最上位に提示される割合は打鍵手が左の場合 87.2%、右の場合 78.6%となり、初期画面に提示される割合は打鍵手が左の場合 99.4%、右の場合 98.5%と非常に高くなる。非打鍵手の腕や衣服に加速度センサを装着することで非打鍵手入力数を高い精度で推測できる可能性がある。

5.2 予測変換アルゴリズムの採用

今回は、打鍵間隔と辞書ファイルの作成時の出現回数という 2つの要素のみを用いて単語の優先度計算を行った。しかし、実際にユーザが入力する単語は、英語の構文上の制約で直前の単語の影響を大きく受け、さらにメールの返信であれば参照元メールの影響も受けている。それらを考慮した入力単語予測アルゴリズムはこれまで数多く提案されてきており [18]、現在では携帯電話を中心に幅広く普及している。代表的な予測変換アルゴリズムに N-gram [19] がある。これは入力中の単語を含む直前の N 語の組合せの出現頻度から入力中の単語を予測するものである。そこで、Wikipedia の全記事から作成した unigram ($N = 1$)

表 7 N-gram を用いた場合の入力単語の上位提示割合
Table 7 The presented rate when using N-gram.

打鍵手	提示位置	提示割合 (%)	
		unigram	bigram
左	最上位	49.5	57.8
	初期画面	83.5	92.4
右	最上位	35.2	46.5
	初期画面	82.9	91.7

と bigram ($N = 2$) のコーパスを用いた場合の入力単語の提示位置を調査したところ、結果は表 7 のようになった。ここで、unigram は単純な登場頻度による順位付けを表すため、提案手法の打鍵間隔を考慮する以前の優先度に等しい。表 4 と表 7 を比較すると、打鍵間隔を考慮することで unigram を用いた場合よりも入力単語を上位に提示できていることが分かる。一方で、bigram を用いた場合には提案手法の提示位置は若干劣るが、前節で述べたとおり、非打鍵手入力数の推測アルゴリズムの改良によって提示位置は上昇するため、打鍵間隔を用いた入力単語の推測は十分に有効であるといえる。さらに、提案手法の初期値に N-gram で推測される優先度を適用するなど、両者を組み合わせることで、さらに優れた入力単語の推測が可能になる。

5.3 利用環境に応じた辞書の利用

今回の評価では Wikipedia 上の単語を学習した辞書ファイルを用いたが、ユーザの利用シーンに合わせて様々な辞書ファイルを用意することで入力速度の向上につながる可能性がある。具体的には、本稿の評価の際にはメーラを想定した文章を用いたので、“I” や “my” などの一人称や “you” や “your” などの二人称が多く出現した。これらはいずれも右手の入力に偏った単語なので、左のハーフキーボードを用いた場合は打鍵間隔による絞り込みが十分にできず、提示位置は優先度の初期値（今回は Web クローリング時の出現回数を用いた）が大きく影響する。その優先度の初期値を多数のメール文章から求めることで、メール文章作成がスムーズになる。あるいは、単語の使用履歴を考慮した辞書ファイルを用いることで、入力単語の提示位置が上昇し、提案システムの入力速度は格段に向上すると考えられる。

6. おわりに

本研究では、文字入力デバイスの小型化の 1つの方法として、既存のキーボードのキー配列をそのままにしながらキーボードを左右に分割し、その片側の入力情報のみから残りの入力を推測することで文字入力を行う手法を提案した。提案手法は、ユーザがすでに体得しているキーボード入力の能力を活かし、キーピッチを確保したままキーボードの大きさを半減できる。評価によって提案手法の有効性

が確認でき、実機のプロトタイプの評価から入力速度を改善する余地があることが分かった。今後は長期利用による入力速度の変化の観察、装着感などのユーザ評価、日本語入力への対応を予定している。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（さきがけ）のおよび文部科学省科学研究費補助金基盤研究（A）（20240009）によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 塚本昌彦, 板生知子: ウェアラブルコンピューティングとユビキタスサービス, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, Vol.49, No.4, pp.210-216 (2004).
- [2] 塚本昌彦: ウェアラブルコンピューティング, 基礎講座ユビキタスコンピューティング, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.5, No.1, pp.27-32 (2003).
- [3] MacKenzie, I. and Soukoreff, R.W.: Text Entry for Mobile Computing: Models and Methods, Theory and Practice, *Human-Computer Interaction*, Vol.17, No.2-3, pp.147-198 (2002).
- [4] Thomas, B., Tyerman, S. and Grimmer, K.: Evaluation of Text Input Mechanisms for Wearable Computers, *Virtual Reality*, Vol.3, No.3, pp.189-199 (1998).
- [5] 増井俊之: 携帯端末のテキスト入力手法, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.4, No.3, pp.131-144 (2002).
- [6] 久米祐一郎, 島田正文: 腕装着型カメラと反射指標を用いた装着型入力デバイスの検討, 映像情報メディア学会誌, Vol.60, No.2, pp.249-253 (2006).
- [7] Liu, Y., Liu, X. and Jia, Y.: Hand-Gesture Based Text Input for Wearable Computers, *Proc. ICVS 2006 IEEE International Conference on Computer Vision Systems*, p.8 (2006).
- [8] Rosenberg, R. and Slater, M.: The Chording Glove: A Glove-Based Text Input Device, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, Vol.29, No.2, pp.186-191 (1999).
- [9] Majaranta, P. and Riih , K.J.: Twenty Years of Eye Typing: Systems and Design Issues, *Proc. 2002 Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, pp.15-22 (2002).
- [10] 長谷川良平: ブレインマシンインターフェースの現状と将来, 電子情報通信学会誌, Vol.91, No.12, pp.1066-1075 (2008).
- [11] CUT key ようこそ, 入手先 (<http://www.cutkey.jp/>).
- [12] Matias Wearable Half Keyboard, available from (<http://www.halfkeyboard.com/wearable/index.html>).
- [13] Twiddler 2, available from (<http://www.handykey.com/>).
- [14] Matias, E., MacKenzie, I.S. and Buxton, W.: Half-QWERTY: A One-Handed Keyboard Facilitating Skill Transfer from QWERTY, *Proc. INTERACT 1993 and CHI 1993 Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.88-94 (1993).
- [15] 小谷賢太郎, 堀井 健, 法岡泰樹: テンキーパネルを用いた打鍵認証システムの構築と評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.7, No.1, pp.149-156 (2005).
- [16] Joyce, R. and Gupta, G.: Identity authentication based on keystroke latencies, *Comm. ACM*, Vol.33, No.2, pp.168-176 (1990).
- [17] Lewand, R.E.: *Cryptological Mathematics*, Mathematical Society of America (2000).

- [18] Masui, T.: POBox: An Efficient Text Input Method for Handheld and Ubiquitous Computers, *Proc. HUC 99 International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, pp.289-300 (1999).
- [19] Brown, P.F., de Souza, P.V., Mercer, R.L., Pietra, V.J.D. and Lai, J.C.: Class-Based N-Gram Models of Natural Language, *Computational Linguistics*, Vol.18, No.4, pp.467-479 (1992).

推薦文

通常のキー配列のキーボードを半分にしたデバイスを用いて、未入力文字を推測するという斬新な方法を提案しており、高い新規性が認められる。また、実機プロトタイプを用いた評価により、実用性も示している。よって、ここに研究会推薦論文として推薦する。

(モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会
主査 竹下 敦)



片山 拓也

2008年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2010年同大学大学院博士前期課程修了。神戸大学大学院工学研究科博士後期課程修了。コンテキストウェアサービス、ユーザインタフェース、ウェアラブルコンピューティングの研究に興味を持つ。



村尾 和哉 (正会員)

2006年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2008年同大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。2010年同大学院情報科学研究科博士後期課程修了。2009年より独立行政法人日本学術振興会特別研究員DC2。2010年より同特別研究員PD。2011年より神戸大学大学院工学研究科学術推進研究員。2012年より神戸大学大学院工学研究科助教。現在に至る。博士(情報科学)。ウェアラブルコンピューティング、コンテキストウェアネスの研究に従事。IEEE等、5学会の会員。



寺田 努 (正会員)

1997年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005年より同講師。

2007年神戸大学大学院工学研究科准教授、現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事を兼務。博士(工学)。アクティブデータベース、ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE等、5学会の会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師。1996年同専攻助教授。2002年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授。2004年神戸大学電気電子工学科教授となり、現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等、8学会の会員。

2004年神戸大学電気電子工学科教授となり、現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等、8学会の会員。