

文字走査入力方式における誤スイッチ検出の理論的枠組

森 大毅*¹ 高橋 邦宏*¹ 中山 剛*²

A Theoretical Framework for Detecting False Triggering in Operating Scanning Communication Aids

Hiroki Mori*¹, Kunihiro Takahashi*¹ and Tsuyoshi Nakayama*²

Abstract – It has been difficult for some people with severe motor function disorders to effectively operate scanning communication aids, because it induces frequent false triggerings due to the involuntary movement. In this report, a framework for automatic cancellation of the false triggering is proposed. The basic idea is to derive the combination of true/false inputs that maximizes a posteriori probability for a given position sequence contaminated by false inputs. It is shown that the maximization can be performed for an alternative property composed of the false triggering position model, the user state model, and the statistical language model. These models were obtained from a simulated text input experiment performed by healthy subjects. The proposed method was evaluated by a computer simulation. As the result, false triggerings could be effectively detected with a performance of $F = 0.928$, and a great improvement was obtained for the accuracy of output texts.

Keywords : assistive technology, involuntary movement, statistical models, automatic correction

1. はじめに

音声コミュニケーションが困難な重度の運動機能障害者のための支援機器に、文字等走査入力方式^[2]に基づく意思伝達装置がある^[3]。走査入力方式による文章入力はその構成要素の1つであり、1つのスイッチの操作により、PC上の画面から文字やフレーズを選択する。eメールや自由な会話など、任意の日本語文章を入力する目的には、五十音表上でカーソルを走査させる方式が広く利用されている。1スイッチの走査入力方式は、ユーザの能力に対する要求(可動部位・可動域、筋力、巧緻性)のハードルが低く、様々な障害を持つユーザに適合できる可能性がある。またこの方式は、特殊環境下での作業など、使用可能なモダリティが極端に制限された環境において健常者が意思を伝達する方法としても利用できる可能性がある。

文字走査入力方式の、重度の運動機能障害者による使用や、特殊環境下での使用においては、ユーザ自らの意思によらない誤ったスイッチ操作が問題となる可能性がある。例えば、脳性麻痺、脊髄小脳変性症、パーキンソン病、多発性硬化症などを有する障害者には、しばしば不随意運動が見られる。とりわけ文字走査入力方式の潜在的需要が高い脳性麻痺の場合には、一般

に不随意運動が問題になることが多く、アテトーゼや振戦などいろいろな症状があるため一概には言えないが、ある動作をしようとする意思が強ければ強いほど筋肉が過度に緊張し、思う動作ができなくなる傾向があるとされている^[4]。これらの障害者に市販の意思伝達装置を適合させる場合に、ユーザ自らの意思とは無関係に発生する頻繁な誤ったスイッチ操作が問題となることがある。

本研究の目的は、文字走査入力方式において、ユーザの意思とは無関係に発生する誤ったスイッチ操作を自動的に検出することである。誤ったスイッチ操作を自動的にキャンセルすることができれば、誤入力の訂正のために要する余分な操作が不要となり、ユーザの心的負荷も軽減できると考えられる。

これまでの研究で、著者らが提案した文字走査入力方式における自動誤り訂正方式の有効性が明らかとなっている^{[5]~[7]}。この方式は、スイッチ操作タイミングのずれが原因で生じる入力誤りを、スイッチ操作タイミングおよび出力文字列の日本語らしさの統計モデルに基づいて算出される事後確率を最大とする文字列を求めることによって訂正するものである。しかし、これらの研究においては、ユーザの意思とは無関係に発生する誤ったスイッチ操作はないものと仮定されていた。文字走査入力方式における誤スイッチ操作を自動的にキャンセルすることを目的とした研究は、著者らによるものを含め過去に存在しない。

本論文では、過去に提案した自動誤り訂正方式を応

*1: 宇都宮大学大学院 工学研究科

*2: 国立障害者リハビリテーションセンター研究所

*1: Faculty of Engineering, Utsunomiya University

*2: National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

用した、文字走査入力方式における誤スイッチ操作検出の理論的枠組を提案する。この枠組では、ユーザによるスイッチ操作として、ユーザの意思に基づいたもの(真入力)と、ユーザの意思に基づかないもの(偽入力)の2通りが、区別なくシステムに入力されると考える。解くべき問題は、真偽の区別がないスイッチ操作位置系列が入力として与えられたとき、それらに対して真偽を推定してラベルを付与することである。

本論文では、偽入力の混入過程を統計モデルで表現する。この統計モデルの構造は、3. で述べる不随意運動の模擬データの観察により決定したものであり、提案法の有効性は、偽入力の混入過程が既知であるという条件の下での計算機シミュレーションにより検証する。

なお、本論文はこの統計モデルが不随意運動による誤スイッチ入力の妥当なモデルとなっていることを主張するものではない。元より脳性麻痺が原因の不随意運動はその様態が千差万別であって一般化が困難である。医学分野や教育学分野において、筋電図や動作観察の結果などから、脳性麻痺児・者の筋収縮能力の評価や不随意運動の分類化を行う試みがいくつかなされている [8], [9]。しかし、脳性麻痺児・者の機器操作に特化した本格的な類型化・モデル化まで至った研究は見当たらず、大規模な調査に基づく研究が待たれる。

本論文は、誤スイッチ操作検出の理論的枠組の提案、および計算機シミュレーションによる基礎的な評価を行ったものであり、不随意運動を有する運動機能障害者のための文章入力インタフェースの実装や、障害のある被験者で評価実験を実施するための前段階と位置付けられる。提案する枠組に基づいたインタフェースの有効性の評価には、インタフェースの実装、ならびに障害のある被験者による評価が欠かせないが、これについては稿を改めることとする。

2. 問題の定式化

文字走査入力方式では、一般に図1に示すような文字盤上をカーソルが自動走査する。目的の文字が属する列にカーソルが停留している間にスイッチ操作を行うことで、列の選択が終了する。続いて、目的の文字が属する行にカーソルが停留している間にスイッチ操作を行うことで行の選択が終了し、これで1文字の入力が完了する。

スイッチが操作されるたびに、PCはそれをイベントとして検出する。スイッチ操作のタイミングとカーソルの自動走査のタイミングを比較することにより、どの列/行でスイッチが操作されたかを検出することができる。結局、ユーザの入力は、システム側から見ればスイッチ操作位置の系列ということになる。例

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0												
1			ゝ	°			ゝ	°		削	ゝ	°
2		あ	か	さ	た	な	は	ま	や	ら	わ	や
3		い	き	し	ち	に	ひ	み	ゆ	り	を	ゆ
4		う	く	す	つ	ぬ	ふ	む	よ	る	ん	よ
5		え	け	せ	て	ね	へ	め		れ		っ
6		お	こ	そ	と	の	ほ	も		ろ		ー

図1 文字盤と列/行番号との対応表
Fig.1 Table of characters and their corresponding column/row numbers.

えば、ユーザの意図した文字列が「おはよう」であり、スイッチ操作に誤りがない場合、システムへ入力されるスイッチ操作位置系列は、列/行番号を図1のように定めれば「1, 6, 6, 2, 8, 4, 1, 4」である。従来の文字走査入力方式では、スイッチ操作に誤りがないことを仮定しているため、スイッチ操作位置系列から出力文字列へのデコードは一意である。

本論文では単純化のため、偽入力の混入過程に以下のような前提を設ける。

前提 1 ユーザによるスイッチ操作は、真入力と偽入力とから成る。

前提 2 真入力は、ユーザの意図した文字列をスイッチ操作位置系列にコード化したものである。真入力は、意図した位置と異なる位置に置換されたり脱落したりすることがなく、常に正しい。

前提 3 偽入力は、ユーザとは独立の確率過程に従って発生する。

上述の「おはよう」の例で説明すると、1文字目の「お」の行を選択するためにカーソルが5行目に移動している間、誤って2行目でスイッチを操作してしまったとすると、システムへの入力は「1, 2, 6, 6, 2, 8, 4, 1, 4」となる。このとき、システムが入力の妥当性を総合的に判断し、2番目の位置「2」でのスイッチ操作だけが偽入力であると結論してキャンセルすることができればよい。

本論文で提案するシステムにおいては、スイッチ操作位置系列に偽入力によるものが混入している可能性がある場合には、全てのスイッチ操作位置に対して、それが列番号であるのか行番号であるのかを区別することはできない。その理由は付録を参照のこと。

t 番目の入力の真偽を表す変数を $v_t \in \{0, \times\}$ と書く。0は真入力であることを、 \times は偽入力であるこ

とを表す記号である。また、ユーザが入力しようとする文字列を $C = C_1 C_2 \cdots C_N$ 、ユーザが実際に入力したスイッチ操作位置系列を $S = S_1 S_2 \cdots S_T$ とする。偽入力の検出問題は、与えられた S に対し、ユーザが意図した文字列が C である確率 $P(C|S)$ を最大にする C を求める問題である。ここで、真入力のスイッチ操作位置系列を \tilde{S} と書くと、 S と \tilde{S} とは真入力／偽入力系列 $v = v_1 v_2 \cdots v_T$ を介して結び付いており、 $S = S_1 S_2 \cdots S_T$ の中から $v_t = \times$ である S_t を除いた列が \tilde{S} である。すなわち

$$\tilde{S}_u = S_{l_u^\circ(v)} \quad (1)$$

である。ただし、 $l_u^\circ(v)$ は v の中に \circ が u 番目に出現する位置を表す。この関係を $\tilde{S} = f_v(S)$ と表す。 C と \tilde{S} の間には 1 対 1 の写像 $S: C \rightarrow \tilde{S}$ が存在する。

$P(C|S)$ の最大化問題は、以下のように変形できる。

$$\begin{aligned} & \max_C P(C|S) \\ & \propto \max_C P(S|C)P(C) \end{aligned} \quad (2)$$

$$= \max_C P(S|o = S(C))P(C) \quad (3)$$

$$= \max_C \sum_q P(S, q|o = S(C))P(C) \quad (4)$$

$$\simeq \max_{C, q} P(S, q|o = S(C))P(C) \quad (5)$$

$$= \max_{C, q} P(S|q, o = S(C))P(q|o = S(C))P(C) \quad (6)$$

$$= \max_{C, q} \sum_v P(S, v|q, o = S(C))P(q|o = S(C))P(C) \quad (7)$$

$$\simeq \max_{C, q, v} P(S, v|q, o = S(C))P(q|o = S(C))P(C) \quad (8)$$

$$= \max_{C, q, v} P(S|q, v, o = S(C))P(v|q, o = S(C)) \cdot P(q|o = S(C))P(C) \quad (9)$$

$$\simeq \max_{C, q, v} P(S|v, o = S(C))P(v|q)P(q)P(C) \quad (10)$$

$$= \max_{q, v, o} P(S|v, o)P(v|q)P(q)P(S^{-1}(o)) \quad (11)$$

式 (2) はベイズの定理による。式 (3) の $o = S(C)$ は、ユーザが意図したスイッチ操作位置系列 o が $S(C)$ に等しいことを表す。式 (4) の $q = q_1 q_2 \cdots q_T$ は、4. で述べるユーザ状態モデルの状態系列である。式 (5)、式 (8) は Viterbi 近似である。式 (7) は、真入力／偽入力系列 $v = v_1 v_2 \cdots v_T$ のあらゆる組み合わせ (例えば、 $v = \circ \times \circ \circ \circ \circ \circ \circ$ など) に対して、実際に観測

されたスイッチ操作位置系列 S との同時確率の総和を求める計算である。式 (10) の $P(v|q)$ はユーザ状態モデルの各状態における真入力／偽入力の発生確率であり、式 (9) からは [前提 3] のユーザの意図とは独立の仮定を用いて近似している。同様に、 $P(q)$ はユーザ状態モデルの状態系列の発生確率である。

各スイッチ操作の発生確率が独立と仮定すると、式 (11) の項 $P(S|v, o)$ は次のように真入力と偽入力の項に分解できる。

$$\begin{aligned} & P(S|v, o) \\ & = \prod_{t \in \{t|v_t = \circ\}} P(S_t|v_t = \circ, o_{l_t^\circ(v)}) \cdot \prod_{t \in \{t|v_t = \times\}} P(S_t|v_t = \times) \end{aligned} \quad (12)$$

ただし、 $l_t^\circ(v)$ は v の t 番目までに \circ が出現する個数を表す。 $P(S_t|v_t = \circ, o_{l_t^\circ(v)})$ は、ユーザが意図した u 番目のスイッチ操作位置が実際には $t = l_u^\circ(v)$ 番目に入力されるとして、位置 o_u でのスイッチ操作を意図したのが実際には S_t で操作してしまう確率を表す。これは関連研究 [5] では入力誤りモデルとして与えられたものに相当する。ここでは [前提 2] により、

$$P(S_t|v_t = \circ, o_{l_t^\circ(v)}) = \begin{cases} 1 & \text{if } S_t = o_{l_t^\circ(v)} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

とする。このとき、 $P(S|v, o)$ は $o = f_v(S)$ のときに限って非零の値を持ち、

$$P(S|v, o) = \prod_{t \in \{t|v_t = \times\}} P(S_t|v_t = \times) \quad (14)$$

となる。すなわち、偽入力だと仮定された部分でのスイッチ操作位置確率分布の積で求められる。この確率を $P_\times(S)$ と書き、偽入力位置モデルと呼ぶことにする。3. で述べるように、偽入力はどの列／行においても同じような頻度で発生するのではなく、発生位置には偏りがある。偽入力位置モデルは、与えられた列または行の番号 S で偽入力が発生する確率を与えるものであり、適切な偽入力位置モデルは、与えられた位置でのスイッチ操作が誤りであるか否かの推定精度向上に貢献すると予想される。

式 (2) 等にかかる $P(C)$ は、ユーザが文字列 C を入力しようとする確率で、統計的言語モデルと呼ばれるものである [5]。

以上をまとめると、

$$\begin{aligned} & \max_C P(C|S) \\ & \simeq \max_{q, v} \left\{ \prod_{t \in \{t|v_t = \times\}} P_\times(S_t) \right\} P(v|q)P(q)P(S^{-1}(f_v(S))) \end{aligned} \quad (15)$$

copyright ©2010 IEICE

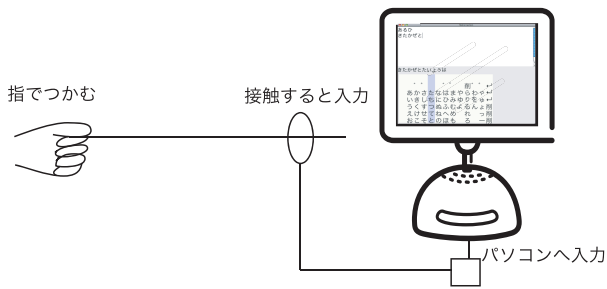


図2 模擬データ収集のための実験環境

Fig.2 Experimental environment for collecting simulated data.

となる。すなわち、偽入力の検出問題は、与えられた S に対し、偽入力位置モデル・ユーザ状態モデル・言語モデルから計算される式 (15) を最大化するような v (および q) を探索する問題となる。

3. 不随意運動の模擬データの収集および分析

不随意運動を有するユーザのスイッチ特性の収集は膨大なコストを要する。もともと文字走査入力自体が時間を要するものであるため、意味のある量のデータを収集するためには、1人あたり最低でも数時間の実験が必要である。

今回は、不随意運動を有しない健常者に負荷を与え、誤ったスイッチ操作が起こりやすくなる環境で、文字走査入力による文章入力実験を行い、不随意運動の模擬データとした。以下に説明する模擬データ収集法は、多数の脳性麻痺者に対するスイッチ適合作業の経験を持つ第3著者、および数名の作業療法士ならびに理学療法士と議論した上で考案したものである。

図2に、模擬データ収集のための実験環境を示す。これは、特殊なスイッチが接続された文字走査入力システムである。列・行選択のためのスイッチは、金属製の棒およびリングから成り、リングに通した棒を動かしてリングに接触させることで入力を行う。リングの内径は15mm、棒の太さは直径5mmおよび10mmの2通りである。被験者が棒をつかんでいる位置からリングまでの距離は30cmであり、スイッチ入力を望まない間リングに棒を接触させないように保つことはかなりの集中力を要する。また被験者には、意図しない入力であったことを申告するため(後述)、棒を持つ手と逆の手を常にキーボード上のESCキーの上に置かせた状態とした。

被験者は大学生・大学院生12名である。被験者には、システムに1文ずつ呈示される平仮名のテキストを入力するよう指示した。ここでいう文とは、構文的・意味的にひとまとまりを形成し、1度に入力するのに適当だと思われる長さを持つ文字列を意味し、テキス

トの文への分割は第1著者が行った。入力させたテキストは、現代仮名遣いに直した「いろは四十七文字」、ついでイソップ童話「北風と太陽」計275字である。被験者には、以下のことを教示した。

- 意図したスイッチ入力ではあったが、狙った位置からずれたタイミングでスイッチ操作をしてしまった場合には、訂正せずそのまま続行すること。(この種の誤りは、自動的に訂正できる可能性がある^[6]からである。)
- 意図していないのに誤ってスイッチ入力をしてしまった場合には、その直後にESCキーを押すこと。呈示されるテキストとの一致をチェックせずに、ESCキーにより誤スイッチ操作を自己申告させた理由は、「意図したスイッチ入力だがタイミングがずれたもの」と「意図しないスイッチ入力」を区別してデータを収集するためである。

実験中の被験者の習熟を考慮し、被験者には以下の順序に従い異なる条件で文章を入力させた。(後ほど難易度高)

1. 棒直径5mm、利き手で操作
2. 棒直径5mm、非利き手で操作
3. 棒直径10mm、利き手で操作
4. 棒直径10mm、非利き手で操作

データ収集のために開発した文字走査入力システムでは、ESCを押すとその直前のスイッチ入力がキャンセルされる。つまり、列選択中のスイッチ入力であればESC押下により列選択状態に戻る。また、行選択中のスイッチ入力であれば、ESC押下により直前の出力1文字がキャンセルされ、既に選択された列内での行選択状態に戻る。ESCキーによって誤ったスイッチ操作が「なかったこと」になるインタフェースは被験者のストレスを軽減させたと考えられ、ほとんどの被験者は誤スイッチ操作時にESCキーを積極的に使用した。

しかしながら、実際にはESCキーによる申告は完全ではなかった。例えば、多くの被験者は、通常はスムーズに続けて入力を行うが、一度誤スイッチ入力をしてしまうと、動揺によりその後も連続して誤る傾向がある。このような場合には、短い時間に非常に多くの誤スイッチ入力が発生するため、その全てをESCで申告させることは困難であった。また、特に列選択中の誤スイッチに対し、ESCを使わずもう一度スイッチ操作を行うことによって強引に列選択状態に戻ってしまう被験者が存在した。これらのことから、ESCキーの使用記録はあくまで参考としかならず、各スイッチ操作が真入力か偽入力かは、入力中の文や前後関係などから第1著者がデータを総合的に判断し、主観的にラベリングを行った。

文字走査入力方式における誤スイッチ検出の理論的枠組

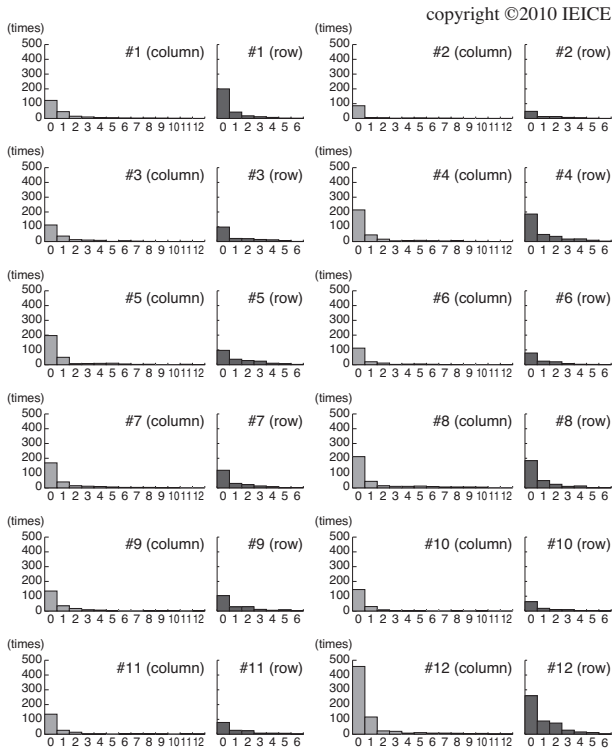


図3 列・行ごとの偽入力位置分布
Fig. 3 Histograms of false triggerings for each column and row.

4条件の文章入力実験に要した時間は、平均164分であった。12名の被験者の列・行ごとの偽入力位置分布を図3に示す。図中、#とあるのは被験者番号であり、columnは列選択時に発生した偽入力の回数を、rowは行選択時に発生した偽入力の回数を示している。横軸の数値は図1に示した文字盤の列および行番号である。図から、偽入力の頻度は被験者ごとにより差があるものの、どの被験者でも発生位置には偏りがあることがわかる。#5(column)を例にとると、この被験者が列選択時に誤って入力を行った時のカーソル位置は第0列および第1列にほぼ限られていたことがわかる。図3から、総じて、列選択時には文字盤の左方の方が、行選択時には文字盤の上の方が偽入力の頻度が高いことがわかる。図に示された列または行番号ごとの偽入力の相対頻度が、2.で導入した偽入力位置モデル $P_{\times}(S)$ に相当する。

図4に、被験者#1が「あるひきたかぜとたいようはちからくらべをしました」と入力しようとしている時のスイッチ操作時刻を示す。この例に典型的に見られるように、誤ったスイッチ操作の出現傾向として、

- 真入力に前後して単発的に起こるケース
 - 短時間に多数回連続して起こるケース
- の両方があることが一般的に観察された。このことから、作業中の被験者の精神状態として、平静状態と動揺状態が存在すると考えることができる。この解釈で

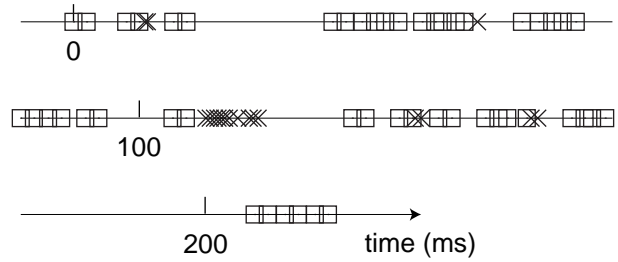


図4 スイッチ操作時刻の例。□印は真入力の時刻を、×印は偽入力の時刻を表す。

Fig. 4 An example timeline with the trigger events. Marks □ and × correspond to the trigger time of true and false triggerings, respectively.

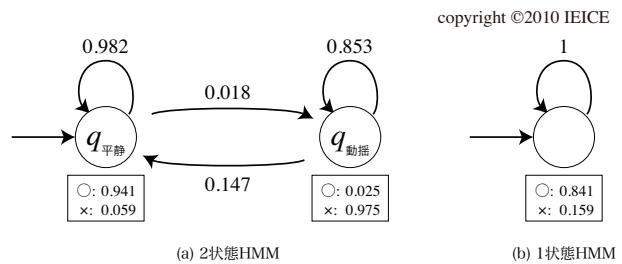


図5 ユーザ状態モデル
Fig. 5 The user state model.

は、前者が平静に、後者が動揺に対応した状態となる。

この傾向は、脳性麻痺における精神的な動揺による不随意運動の増大に似ているとも考えられる。今岡ら^[10]は、不随意運動や緊張のある脳性麻痺者を対象にしたキーボードのキー押し込み量の時間変化特性を調査し、「手の震えなどにより、一回の打鍵で意図しない二重入力を瞬時に行うときがあった。(中略)誤り入力に起因する訂正入力も多い。」と報告している。山田ら^[11]は、不随意運動を有する脳性麻痺者のスイッチ適合について述べており、「対象者がスイッチ操作を行う場合は、スイッチ操作を意識することで緊張状態となって、不随意運動が起き、1回の操作で2,3度押された状態になることがある。」と報告している。

4. スイッチ操作への偽入力混入過程のモデル化

前節で、模擬データの分析結果から、被験者には平静状態と動揺状態があり、平静状態でも誤スイッチ操作は起こり得るが、一度動揺状態に入ると平静状態に戻るまで連続して誤スイッチ操作を起こす傾向があることが観察されたことを述べた。

この過程を、図5(a)に示す2状態の隠れマルコフモデル(HMM)でモデル化することを考えた。ここで、矢印に付与された数値は状態遷移確率、枠内に表示された数値は各状態に移る時に真入力および偽入力を発生する確率である。HMMのパラメータは前節で

収集したデータから学習した。

なお、2状態のモデルの有効性を検証するため、比較対象として状態に依存せず一定確率で真入力/偽入力を発生するモデル(図5(b))も同時に学習した。

HMMの状態遷移確率を a_{ij} 、真入力/偽入力の発生確率を $P(v|q)$ と書くと、式(11)内のユーザ状態モデルに関する項 $P(v|q)$ および $P(q)$ は次のように計算できる。

$$P(v|q) = \prod_{t=1}^T P(v_t|q_t) \quad (16)$$

$$P(q) = \sum_{\mathbf{q}} \prod_{t=1}^T a_{q_{t-1}q_t} \quad (17)$$

式(17)の総和計算は、実際には式(15)の q に関するmaxにより近似して計算する。

5. 評価実験

提案法による誤スイッチ操作検出法の有効性を、シミュレーション実験により調べた。評価テキストは「北風と太陽」228文字を1000回繰り返すことで作成した。テキストから求められるスイッチ操作位置系列に対し、図5(a)に示した2状態のHMMに従いランダムな位置に偽入力を混入させた。偽入力の位置は、図3に示した偽入力発生位置分布の全被験者にわたる総和から求めた偽入力位置モデルに従いランダムに発生させた。

この偽入力が混入したスイッチ操作位置系列を入力とし、式(15)を解くことで偽入力の検出を行った。この処理は文を単位として行った。各々のスイッチ操作位置は、真入力/偽入力系列の各仮説 v に従って列番号または行番号とみなした。ただし、7以上の行番号は行数である7で割った余りの番号の行とみなした。ユーザ状態モデルは、シミュレーションで使用している2状態モデルのほか1状態モデルを、また偽入力位置モデルは、シミュレーションで使用したモデルのほかモデルなし(一様分布)としたものを比較した。言語モデルとしては、過去の関連研究と同じ仮名4-gramを用いた^[6]。式(15)は入力フレーム単位の漸化式に変形し、Viterbiアルゴリズムによって事後確率を最大にする真入力/偽入力系列およびユーザ状態系列を求めた。計算量削減のため、各フレームで尤度が上位500位までの仮説だけを残すビームサーチを行った。

性能の評価には、検出した偽入力の再現率・適合率および F 値、さらに出力される列の文字正解精度を用いた。文字正解精度は次式で定義される。

$$(\text{文字正解精度}) = \frac{N - S - I - D}{N} \times 100(\%) \quad (18)$$

ただし、 N は評価テキストの総文字数、 S は誤り文字数、 I は挿入文字数、 D は脱落文字数である。

結果を表1に示す。偽入力の検出を全く行わず、スイッチ操作位置をそのまま文字として出力した場合の文字正解精度は45.64%であり、言語として理解することはほとんど不可能である。

表中、ユーザ状態モデル「なし」の行は、言語モデルだけを用いて処理を行った場合の結果を参考のために示したものであり、この場合、文字正解精度はほとんど改善されなかった。

偽入力位置モデルと2状態のユーザ状態モデルを併用した場合には、偽入力の約94%を検出することができた。検出した偽入力が正しい割合は約92%であり、検出精度は比較的高いものであったが、一部ではやや過剰に検出されていた。2状態のユーザ状態モデルの場合、一度動揺状態と判断されると連続して偽入力と判断され、このとき真入力がまとめて削除されてしまうことがあった。文字正解精度は91.48%であり、処理を行わない場合の45.64%から大きく改善することができた。

一方、1状態のユーザ状態モデルを用いた場合、つまりユーザ状態を考慮しなかった場合でも、文字正解精度は87.95%となり、誤スイッチ検出が可能であることがわかった。しかしながら、2状態のユーザ状態モデルを用いた場合と比較すると検出精度は悪く、 F 値で約0.06ポイント劣っていた。このことから、偽入力位置モデルを併用した場合には、1状態よりも2状態のユーザ状態モデルを利用して誤スイッチ検出を行うことが有効であることが確認できた。

偽入力位置モデルを用いない場合には、検出した偽入力の適合率が低下した。すなわち、意図した入力であったのにキャンセルしてしまう割合が増加し、結果として文字正解精度も低下した。

図6に処理結果の一部を示す。

6. おわりに

本論文では、文字走査入力方式における誤スイッチ操作検出の理論的枠組を提案した。偽入力の検出問題が、与えられた真偽不明のスイッチ操作位置系列に対し、偽入力位置モデル・ユーザ状態モデル・言語モデルから計算される事後確率を最大化するような真入力/偽入力系列を探索する問題となることを示した。

不随意運動を模擬するため、健常者12名による負荷下文章入力実験を行い、偽入力発生頻度・位置分布のデータを収集した。その結果、誤スイッチ操作の出現傾向として、単発的なものと、短時間に連続して起こるものの2種類があるという見通しを得た。

この観察に基づき、偽入力の混入過程を、ユーザ状

表 1 偽入力検出実験結果

Table 1 Results of the false triggering detection experiments.

偽入力位置モデル	ユーザ状態モデル	再現率	適合率	F	文字正解精度
なし	なし	0.8814	0.4922	0.6317	45.78%
なし	1 状態	0.8623	0.8336	0.8477	84.92%
なし	2 状態	0.9477	0.6985	0.8042	79.23%
あり	1 状態	0.8503	0.8744	0.8622	87.95%
あり	2 状態	0.9396	0.9176	0.9285	91.48%

copyright ©2010 IEICE

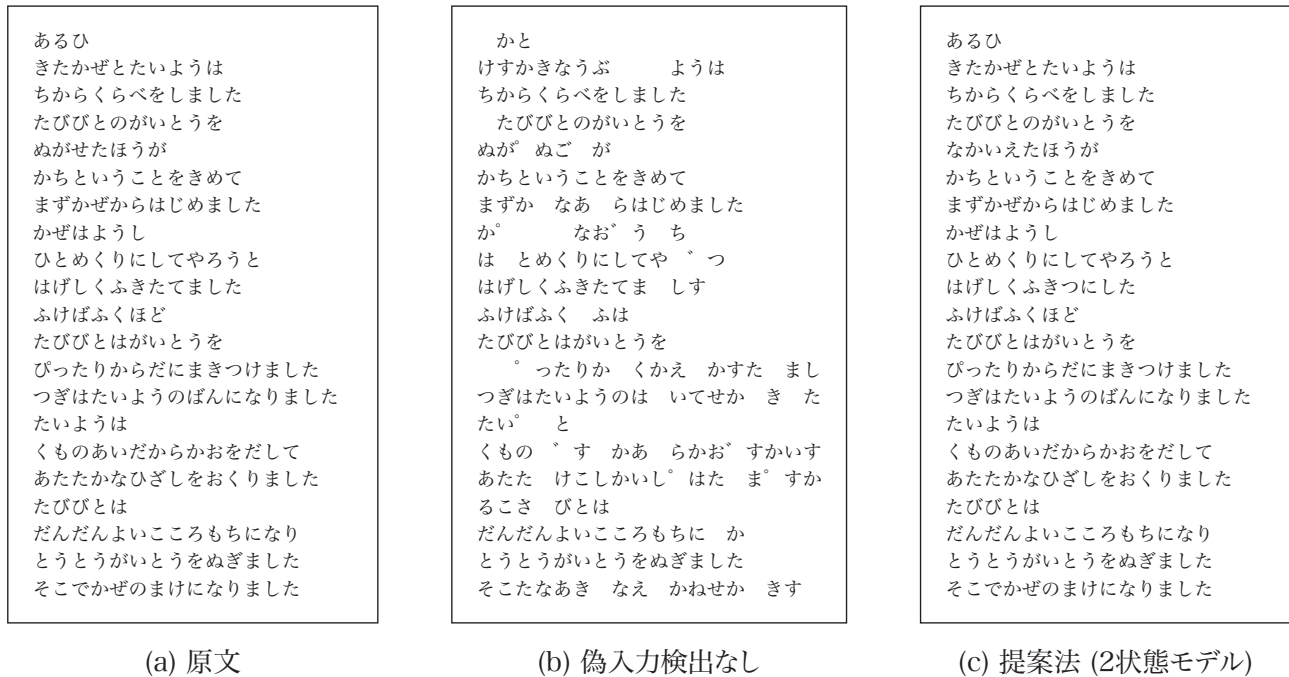


図 6 誤スイッチ検出後の出力例

Fig.6 Example outputs after applying proposed false triggering detection method.

態モデルとして 2 状態の HMM でモデル化した。また、位置分布の統計に基づき、偽入力位置モデルを作成した。

作成したユーザ状態モデルおよび偽入力位置モデルに基づき、文章入力時に偽入力が混入する状態のシミュレーションを行った。また、このときのスイッチ操作位置系列を入力として、提案法により偽入力を検出する実験を行った。その結果、 $F = 0.928$ の精度で偽入力を検出することができ、出力される文章の文字正解精度を大幅に向上させることができた。

今後の課題としては、不随意運動のより高精度なモデル化が挙げられる。例えば、これまでの予備検討により、カーソルの移動タイミングに同期した入力タイミングの分布形状には、真入力/偽入力での大きな差があることがわかっている。また、偽入力は真入力直後の短い時間に発生する傾向がある。これらを含めた、判別のための手がかりを多数組み合わせることで、検出精度を向上できることが期待される。さらには、画像など別の種類のモダリティを活用し、例えば動作や

姿勢などの情報を援用することも高精度化のためには有用であろう。このような情報は、統計モデルさえ得られれば提案した枠組に容易に組み込むことが可能である。

従来の文字走査入力方式では、現在列選択中か行選択中かをユーザにフィードバックすることができる。これに対し、本論文の枠組では常に列選択中/行選択中の両方の可能性があり得る。このため、フィードバックの方法には工夫が必要である。一例としては、列選択用の文字盤と行選択用の文字盤を両方表示しておく方法などが考えられる。文章入力インタフェースの実装に向けた次のステップとして、選択列/行や自動訂正結果のフィードバック法を含めたインタフェースの提案および有効性の検証が必要である。

付録

本論文で提案するシステムにおいては、スイッチ操作位置系列に偽入力によるものが混入している可能性がある場合には、全てのスイッチ操作位置に対して、

それが列番号であるのか行番号であるのかを区別することは原理的にできない。以下、その理由を述べる。

偽入力の混入がないとわかっているならば、奇数番目の入力は一列であり、偶数番目の入力は一行であると区別することができる。しかし、システムへの入力が「1, 2, 6, 6」であり、そこに偽入力が混入しているかもしれない場合、例えば3番目の「6」は列だと仮定できない。なぜならば、ユーザが入力したい最初の文字が「あ」（1列2行）ではなく実は「お」（1列6行）であり、2番目の「2」は偽入力かもしれないからである。同じことが全てのスイッチ操作に言えるため、「1, 2, 6, 6」の4つ全てのスイッチ操作に対して、それが列か行かは、提案システムの原理では区別できない¹。

通常の文字操作入力方式では、偶数回目のスイッチ操作の後には列選択モードであることを、奇数回目のスイッチ操作の後には行選択モードであることを、カーソルによりユーザに視覚的にフィードバックする。しかし、誤スイッチ操作を許す文字操作入力方式の場合には、ユーザが現在列を選択したいのか行を選択したいのかをシステムが一意に判断することはできない。上記の例では、ユーザは「お」を入力しようとして1列目でスイッチ操作を行った後、6行目で正しくスイッチを操作する前に誤って2行目でスイッチを操作した可能性もある。この場合、ユーザは依然として行を選択しようとしているので、2回目のスイッチ操作があったからといってカーソルを列選択モードにしてしまうと、ユーザの意志とシステムの動作が食い違うこととなる。もちろん、本当に「あ」を入力しようとした可能性もあるので、3回目のスイッチ操作は、ユーザが「あ」列の行を選択しようとしている可能性と同時に、「あ」の次の文字の列を選択しようとしている可能性も考慮せねばならない。

これは、スイッチを操作するごとに列選択から行選択へとカーソル表示が変化する従来のインタフェースでは実現できない。したがって、常に列選択と行選択のどちらでも行えるカーソルの表示法が必要である。このユーザへの視覚フィードバック法については本論文の範囲外であるが、今後の課題として6.で議論している。

参考文献

- [1] 森大毅, 高橋邦宏, “走査型文字入力における誤スイッチ検出のための一手法,” 電子情報通信学会 HCG シ

1: なお、市販の意思伝達装置と同様に、カーソルは循環走査を行うと仮定する。すなわち、列選択時には最右列の次は再び再左列へ、行選択時には最下段の次は再び最上段へ移動する。システムへの入力が「8」であった場合、それが真入力ならば、可能性は8列目か $1 (= 8 \bmod 7)$ 行目のいずれかである。

- ンポジウム 2010, pp. 305–310 (2010).
- [2] 平成 18 年厚生労働省告示第 528 号, “補装具の種目, 購入又は修理に要する費用の額の算定等に関する基準,” (2006).
- [3] 日本リハビリテーション工学協会編, “「重度障害者用意思伝達装置」導入ガイドライン —公正・適切な判定のために— 平成 22 年度改定版,” (2010).
- [4] 情報福祉の基礎研究会編著, “情報福祉の基礎知識,” ジアース教育新社 (2008).
- [5] 森大毅, 粕谷英樹, “走査型文字入力における自動誤り訂正方式,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 8, No. 1, pp. 195–202 (2006).
- [6] 森大毅, 粕谷英樹, 森田光哉, 中野今治, “走査型文字入力におけるスイッチ操作タイミング特性の測定とその自動誤り訂正への応用,” 信学技報, TL2006-48, SP2006-136, WIT2006-80 (2007).
- [7] 森大毅, “ALS と意思伝達—スキャン型文字入力における言語的戦略,” Brain and Nerve, Vol. 59, No. 10, pp. 1155–1162 (2007).
- [8] 赤滝久美, 伊藤晋彦, 三田勝己, 鈴木伸治, 渡壁誠, 高橋由美, 伊東保志, “筋電図と筋音を用いた脳性麻痺患者の筋機能の分析,” リハビリテーション医学, Vol. 31, No. 8, pp. 551–554 (1994).
- [9] 佐藤暁, “モデルパターン動作の獲得度を指標とした脳性まひ児の臨床像と動作発達経過の分析,” 特殊教育学研究, Vol. 36, No. 4, pp. 1–10 (1999).
- [10] 今岡達郎, 有福義範, 北風晴司, “通信端末の利用者適応入力の研究 (2): スイッチ入力における判別式の検討,” 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 23, No. 59, pp. 63–68 (1999).
- [11] 山田成仙, 谷岡稔真, 岡崎泰久, 渡辺健次, 近藤弘樹, “脳性麻痺により四肢が不自由な障害者が操作可能なチンコントロールを用いたマウス操作システムの開発,” 信学論 (D), Vol. J93-D, No. 10, pp. 2268–2280 (2010).

(2013 年 5 月 27 日受付, 9 月 5 日再受付)

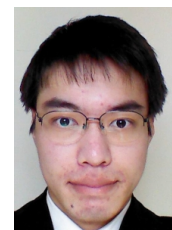
著者紹介

森 大毅



平 5 東北大学工学部通信工学科卒。平 10 同大学院工学研究科博士後期課程了。博士 (工学)。同年同大学院工学研究科助手。平 11 宇都宮大学工学部電気電子工学科助手。平 18 同助教授。現在同大学院工学研究科准教授。音声対話, 音声合成, 医療福祉工学の研究に従事。電子情報通信学会, 日本音響学会, 情報処理学会, ISCA 各会員。

高橋 邦宏



平 20 宇都宮大学工学部電気電子工学科卒。平 22 同大学院工学研究科博士前期課程了。同年日本コンピューター・システム株式会社入社。在学中は福祉情報工学の研究に従事。

中山 剛 (正会員)



平6 東京大学工学部精密機械工学科卒、
平8 同大学院工学系研究科精密機械工
学専攻修士課程了。同年国立障害者リ
ハビリテーションセンター研究所、頸
髄損傷者など運動機能に障害のある方
の日常生活支援、高次脳機能障害など
認知に障害のある方の支援、聴覚障害
者への情報保障に関する研究などに従
事。日本生活支援工学会、ライフサポ
ート学会、リハビリテーション工学協
会、AAATE、RESNA、計測自動制御学
会、精密工学会、日本ロボット学会、
日本生体医学工学会、人間工学会、
日本トイレ協会各会員。

