

FMRID : Finger Motion Recognition Input Device

杉川 明彦 鈴木 薫
(株)東芝 研究開発センター
川崎市幸区小向東芝町 1 番地
sugi@krl.toshiba.co.jp, suzuki@krl.toshiba.co.jp

本稿では、使用方法の習得し易さ、自由な姿勢と片手による操作性の良さ、必要なときに簡便に利用できることを目指した装着型デバイス FMRID (Finger Motion Recognition Input Device) のコンセプトと試作システムを用いた評価実験について述べる。FMRID は、ユーザの指の動きをセンサで検出し、計測した動きデータをパターン認識技術により認識して、文字や指示の入力を実現する。感圧センサと光学センサの2種類のセンサを用いた試作システムにより実験を行った。特定被験者を対象とする実験では、80種類の数字、平仮名に対して1位正解率91%を得たが、不特定利用者を対象とした認識率の向上や、遅延時間の短縮が今後の課題である。

FMRID : Finger Motion Recognition Input Device

Akihiko Sugikawa Kaoru Suzuki
TOSHIBA Research & Development Center
1 Toshiba-cho, Saiwai-Ku, Kawasaki
sugi@krl.toshiba.co.jp, suzuki@krl.toshiba.co.jp

In this paper, we describe a concept of a new device named "Finger Motion Recognition Input Device" which senses motion of a fingertip and recognizes a meaning of the motion by a pattern recognition technique. The purpose of this research is to realize a suitable device for a wearable computer, a tiny recording apparatus, and an infant who can't handle a pen-input device. Through experiments with specific subject, we show the device recognize about 80 kinds of Japanese characters.

1 はじめに

ハードウェアの進歩により、PDA と呼ばれる手帳サイズのコンピュータが、数年前のデスクトップコンピュータと同等の性能を有するようになった。しかし、このような筐体サイズの小型化は、一方でデータ入力や表示に制約を加える要因となっている。

近年、注目されるようになったウェアラブルコンピュータは、利用者の身体に装着できるように PDA をさらに小型化したものであり、利用者は常時コンピュータを身に付けて持ち歩き、任意の時にその支援を受けられることを狙っている。米国調査会社 IDC の発表によると、米国におけるウェアラブルコンピュータ市場は、

2003年に6億ドルに達すると報告されている。産業用をメインの市場とし、製造業、政府機関、医療機関などへの導入が進むと予測されている。

このような分野では、コンピュータを初めて使用する人も多く、家電製品並みの使い易さが求められている。また、利用者の行動を阻害しないことが重要とされており、例えば、道具を使用する作業の最中や任意の姿勢でもコンピュータへの指示ができることが必要とされる。

例えばアメリカ陸軍の車両保守点検用ウェアラブルコンピュータ[1]では

- ・手袋を着用していても使用できる
- ・様々な姿勢で使用できる
- ・5分の説明で使用できる

ことが要件に挙げられている。また、アプリケーションには、項目のチェック、数量の入力、メモ程度の記録、スケジュールの確認、マニュアルの参照などが望まれている。

本稿では、小型機器向けの新しい入力手段として開発中の FMRID (*Finger Motion Recognition Input Device*) のコンセプトとその試作システムによる評価実験について報告する。従来提案されている小型機器向けの入力手段と比較して、使用方法の習得し易さ、自由な姿勢と片手による操作性の良さ、必要なときに簡便に利用できることを目指している。FMRID の応用としては、ウェアラブルコンピュータの文字および指示の入力、小型のデータ記録装置、あるいは、ペン入力デバイスを使用することのできない幼児向けの入力手段などが挙げられる。

以下、本稿ではまず従来の入力方式を説明し、次に FMRID のコンセプトと原理について述べ、最後に評価実験の結果と課題について述べる。

2 従来例

これまでに小型機器向けに提案された入力方式には、タイプ別に、キー入力方式、タッチセンサ+スタイラス方式、ペン型デバイス方式、指装着型デバイス方式の4つがある。

2.1 キー入力方式

キーの数を大幅に削減することで筐体の小型化を実現し、従来のキーボードと違い、片手でデバイスを保持しながら、かつその手で文字の入力を行うために考案された方式である。少ないキーでの文字入力方式として以下の2種類が提案されている。1つは、1つのキーに複数の文字を割り当て、前後に押されたキーの情報と単語を構成する文字並びの制約を用いて入力文字を特定する方式である (T9[2]、片手操作キーカード SHK[3]、CUTKEY[4])。もう1つは、複数のキーを同時に押す方式であり、押されたキーの組み合わせによって入力文字を特定する方式である (Twiddler[5])。

キー入力方式は、利用者がそれに慣れれば、高速に入力することが可能だが、最初に複雑な操作を覚えることが必要なため、コンピュータに不慣れな人には利用されていないのが現状である。

2.2 タッチセンサ+スタイラス方式

スタイラスと呼ばれるペン型の入力デバイスを用いてタッチセンサ上に筆記された文字を、オンライン文字認識技術により入力する方式である。利用方法が初心者にも理解し易いため、従来から携帯端末向け入力方式の主流であった。認識方式には、スタイラスの軌跡データ(ベクターデータ)を直接認識する方式と、軌跡データを一旦ラスタデータに変換してから認識する方式の2つが実現されているが、いずれも、認識率の不足や、単位時間あたりの入力文字数の少なさが課題とされている。

最近では、文字そのものではなく、認識に適した崩し文字や、簡単なストロークの組み合わせを入力するジェスチャ認識を基本とした入力方式が提案・実用化されている (T-Cube[6]、Graffiti、Touch-Typing[7]、Cirrin[8]、Quikwriting[9])。この方式は、最初に簡単な練習を必要とするが、習得すればオンライン文字認識方式よりも認識率が高く、単位時間あたりの入力文字数も増やすことができる。

なお、オンライン文字認識、ジェスチャ認識

のいずれにおいても、人が快適に入力できる文字あるいは記号の大きさの制約から、デバイスは最低でも名刺半分程度の面積が必要であると考えられる。

2.3 ペン型入力装置

現時点でも実現された例は少ないが、1970年代からペンの形状をした入力装置に関して、国内で多くの特許が提案されている[12]。

その原理は、ペンの動きやペンに加わる力をペン内部に設けられた加速度センサや力センサにより計測し、そのパターンを認識することにより、利用者が書いた文字や命令用のジェスチャを認識する。

加速度センサ方式は、計測値を積分して座標の変化情報を取得し、オンライン文字認識と同様の手法で認識を行う。力センサ方式は、計測値の時間変化をパターン認識する。安定な認識のためには、利用者の手とペンの関係が一定に保たれている方が都合がよい。それゆえペンの形状を工夫して、利用者が確実に一定の方向からペンを保持するようにしたり、別途センサを設け、利用者がどの方向からペンを保持しているのかを検知し、基準からの回転量だけ入力データを補正して認識を行うものが提案されている。

2.4 指装着型入力装置

ウェアラブルコンピュータ向けに、装置の小型化と、使用場所の制約のない入力方式として、利用者が指で机や壁を叩き、その時の衝撃を指に装着した衝撃センサで検知し、叩いた指の組み合わせで文字の入力を行う FingeRing が提案されている[10]。センサとアンプ部の結線に人体を導体として信号を送受信する Body Coupling 技術を使用しており、ウェアラブルコンピュータの入力手段として注目を浴びている。高速に文字を入力できることが報告されているが、打鍵すべき指と文字の対応を習得する必要があり、キー入力方式と同様、習得時のハードルの高さが課題である。

3 Finger Motion Recognition Input Device

ウェアラブルコンピュータや小型機器に適した入力デバイスとして、本稿では FMRID (Finger Motion Recognition Input Device)を提案する。FMRID は、使用方法の習得し易さや必要などときに簡便に文字や指示を入力できることを目標としている。

利用者は FMRID を指に装着し、そのセンサ部を机や壁に接触させ、接触させたまま動かすことで文字やコマンドの入力を行う。言い換えれば、従来スタイラスを用いてタッチセンサ上で行っていた行為を、FMRID を用いて机や壁面などで行うことにより、文字やコマンドの入力を可能にする。それゆえ、FMRID は、デバイスの大きさには制約されなくて、机や壁、あるいは人体から十分な筆記面積を確保することができる。

3.1 従来入力方との比較

FMRID の入力方法はスタイラス方式と類似しており、利用者自身の文字を描く動作により入力を行うため、使用方法を直感的に理解できる。その一方、利用者は入力のために文字そのものの形状を描く必要があるため、入力速度はせいぜい毎秒数文字程度と制限され、スタイラス方式同様、大量の文字データの入力には向いていない。

また、FMRID はスタイラス方式と同程度以下の面積が確保できれば、利用者が仰向けであろうが、立っただけでもその姿勢を問わない。したがって、使用における制約は、FingeRing と同等である。

さらに、日常生活や作業において FMRID を常時装着していれば、文字入力や作業指示が必要などときには、道具を持ち替えたりせず、いつでもそのまま指を動かすことで簡便に目的を達成でき、デバイスを意識して保持する必要のあるスタイラス方式やペン型装置と比較して、心理的にも作業量的にも利用者への負担は少ないであろうと期待される。

また、手袋の着用が要求される環境では、ペ

ン操作やキー操作は容易ではなく、FMRID や FingeRing のような装着型が適していると考えられる。また、鉛筆を持つことに慣れていない幼児には、指を動かすだけで利用できる本デバイスが適していると思われる。

3.2 FMRID の応用

FMRID は、文書作成のような大量の文字データの入力を行うアプリケーションには適さないが、メモ書き、コマンド指示、タグの付与、情報検索など比較的入力文字の少ないアプリケーションには適している。

例えば、検索キーと検索実施コマンドを順に入力し、作業手順の確認や作業対象に関する情報などを音声や文字で受け取るようなアプリケーションがそうである。また、音声認識を利用しにくい騒音環境でも、情報へのアクセスが可能である。

また、作業中に気づいた事柄を FMRID に一旦記録しておき、後で日誌に記入するような使い方も考えられる。これはセンサ部にメモリを付随し、出先ではセンサ値の記録のみを行い、後でパソコンと接続して認識・入力を行うことで実現できる。4ch で 1 秒間に 50 サンプルを計測するセンサを用いて、利用者が秒 1 文字の入力を行うものとしたとき、256kbit 程度の EEPROM があれば、約 160 文字の情報を記録することができる。

3.3 FMRID の原理

FMRID は、指に装着したセンサでその動きを直接的あるいは間接的に計測し、計測されたデータをボタンとして、予め辞書に登録してある単語やコマンドのパターンと照合して認識するデバイスである。FMRID を使用するアプリケーションは、認識結果を文字として入力したり、対応付けられたコマンドを実行する。アプリケーションは、文字表示や音声合成などで認識結果を利用者へフィードバックする。FMRID の構成を図 1 に示す。

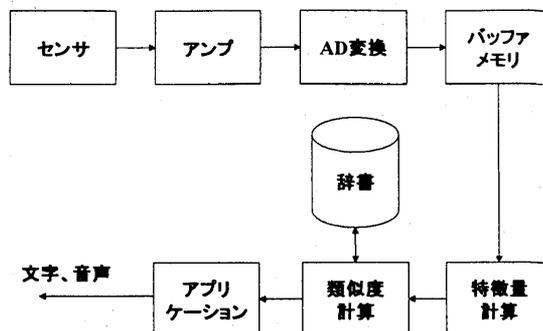


図 1：システム構成図

利用者は、センサ保持器具を指（人差し指）の第 1 関節部分に装着し、センサ部を若干対象面に押し付けるようにして、そのまま指で文字を描く。この時、ストロークの始点で指を対象面に押し付け、接触させながら指を移動させ、ストロークの終端で指を対象面から持ち上げる。接触した時刻から、バッファメモリに計測値を記録する。システムは対象面から指が持ち上げられた時刻から一定時間内に次のストロークが入力された場合は、入力継続とみなす。入力が無ければ文字入力終了とみなし、それまでに入力された計測データを用いて文字認識を行う。ただし、最初のストロークが決められた長さに満たない場合は、そのデータを無視することでチャタリングを防ぐ。

センサには、直接的あるいは間接的に指の動きを計測できるものを使用する。例えば、光学式センサを使用して計測された信号の時間差分から、指の移動方向を直接計測できる。

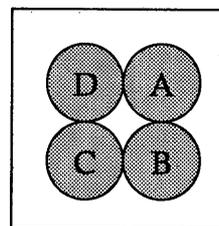


図 2：感圧センサの top view

あるいは、図 2 に示すように感圧センサを複数配置し、指を移動させるときに生じる力を計測することでも指の移動方向を間接的に計測することができる。例えば、指を右方向に移動さ

せた場合にはセンサ A・B の出力が大きくなり、指を下に動かした場合にはセンサ B・C の出力が大きくなる。

センサ出力信号は微弱なため、アンプで増幅してから AD 変換を通じてパソコンへ取り込まれる。認識部は有効とみなす期間に計測されたデータのみを対象に、次に述べるパターン認識処理を行う。

3.4 パターン認識

一般に、携帯型コンピュータ向けの文字認識方式は、仮名、英字、数字、漢字、記号を含めて 4000 字種前後を認識する能力を有しているが、実際の利用では、平仮名入力と仮名漢字変換を組み合わせ、最小の入力コストで利用されているように思われる。また、メモ書き、タグの付与、検索キー、コマンド入力などは必ずしも漢字の入力を必要とするものではないと考えられる。そこで FMRID では、平仮名や英数字など約 100 字種程度を認識できれば良いと考えている。

ウェアラブルコンピュータへの適用を考慮して、FMRID では、認識結果のみが文字や音声で利用者にフィードバックされ、入力されたストロークを視覚的にフィードバックすることはしない。そのため利用者は、各ストロークの位置関係を正しく入力することや、ストロークの長さのバランスをとることが困難であり、入力データのばらつきが大きくなることは避けられない。また、指を離している間の移動量は検出できないので、ストローク間の位置関係や大きさのバランスなどの構造情報が認識に利用できない。さらに、接触面の材質の違いによる計測データのばらつきも大きいと予想される。

以上のことを考慮し、パターン認識方式として、パタンの変動に強いとされる部分空間法を採用する[11]。部分空間法では、1つの計測データから抽出されたN個の特徴量をN次元のベクトル(特徴ベクトル)として捉える。あるカテゴリの特徴を表す辞書を生成する時には、当該カテゴリに属する複数の計測データ(教示パタン)

を収集し、その特徴ベクトルの自己相関行列を全収集データについて加算して得た特性核を KL 展開して M 本 (N 未満) の主成分ベクトルを得る。認識時には、計測データ(未知入力パタン)から同様の特徴ベクトル求め、カテゴリ毎に主成分ベクトルとの内積の 2 乗和を類似度として計算する。そして、全カテゴリについて上記の計算を行い、所定閾値以上で最高類似度を獲得した辞書のカテゴリを当該入力パタンが属するカテゴリであると特定することで認識が行われる。

4 デバイスの試作と認識実験

FMRID の有効性を検証するために、試作システムを作成して認識率を調べた。最初に、指の動き検出に感圧センサを用いた試作システムと、それを使用した認識実験について述べ、次にセンサを光学式に変更したシステムと実験について述べる。

4.1 感圧センサ方式

加わる力に比例して抵抗値が変化するピエゾ素子は最もよく知られた感圧センサであるが、試作時には入手できず、代わりにピエゾ素子同様、加わる力に応じて抵抗が変化する感圧導電センサを使用した。このセンサは 3kg までの加重を計測でき、無加重時の 500k Ω から最大加重時の 500 Ω まで連続的に抵抗値が変化する。ただし、力と抵抗値の関係は非線形である。

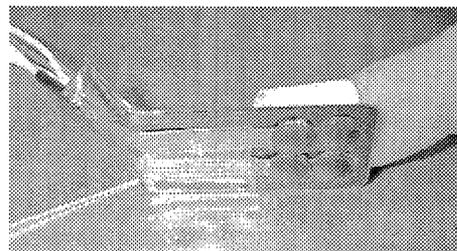


図 3: 感圧センサ

このセンサを図 3 のようにセンサ保持器具に 4 つ装着し、ケーブルでアンプ部と接続する。アンプ部からの出力は、AD 変換部で各々 8bit のデジタル信号に変換され、20msec 周期でパソ

コンに入力される。

FMRID は、センサが対象面から離れて一定期間内（待機時間）に再び接触しない場合は文字入力の終了と判断する。待機時間の間に類似度を計算してしまうため、文字入力終了から認識結果のフィードバックを得るまでの遅延時間は待機時間とほぼ等しい。本実験では待機時間を 350msec に設定した。この値は報告者の入力速度に合わせて調整されており、他の利用者に対しては個別に調整が必要である。

また、音声フィードバックを用いる場合には視覚フィードバックよりも長い時間を必要とする。実際の文字入力に要する時間、待機時間、フィードバック時間を合わせると、FMRID が 1 文字の入力に要する時間はおよそ 2 秒前後である。

認識対象は 0 から 9 までの数字であり、予め各カテゴリの教示ボタンを 10 サンプルずつ収集した。このとき、指を接触させる表面としてパソコンの筐体表面を使用した。特徴ベクトルとしては、計測された時間順に計測値を 10 の時間帯に分割し、各時間帯毎（10 分割）に各センサの出力値（4 個）を非線型に量子化して、各々累積したヒストグラム（40 次元）を作成し、これを特徴ベクトルとしてノルム 1 に正規化して使用した。

実験は、指を接触させる表面として同じ筐体表面を用い、教示ボタンと別に未知入力ボタンとして各カテゴリ 4 サンプルずつ（合計 40 サンプル）を収集して認識率を調べた。その結果、1 位正解率 88%、3 位累積正解率 100%であった。

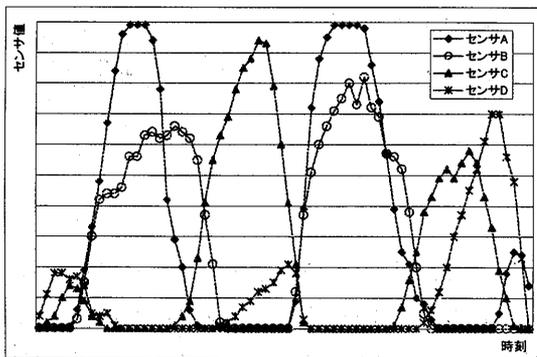


図 4：感圧センサの計測値

図 4 は教示ボタンの 1 つ（3 の文字を描いたもの）をグラフにしたものである。グラフの記号は図 2 に示したセンサに対応している。このグラフからセンサのピークが指の動きに対応していることが確認できる。図 5 は正規化したベクトルを視覚化したものであり、上から順にセンサ ABCD に対応しており、明るいほどその値が大きいことを示している。

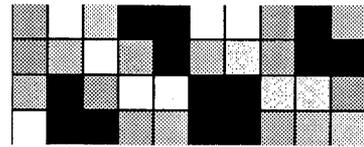


図 5：特徴ベクトルの視覚化

次に、指を接触させる表面として布地（ズボンの太ももの部分）を使用して未知ボタンを入力しようとしたが、感圧センサは対象面との接触を検知できなかった。これは、指を接触させる対象面が軟体であったために、指を押しつけた力に対する反作用が小さすぎ、感圧センサの計測範囲に収まらなかったためであると推察される。

4.2 光学センサ方式

接触面の材質の違いによる影響を低減するため、光学センサを用いたシステムを試作した。図 6 にセンサ部の写真、図 7 に指に装着した写真を示す。専用の光学センサの開発は困難であるため、市販の光学式マウスを分解して利用した。光学式マウスの詳細が不明なためブラックボックスとして扱い、マウスの座標値を時間差分した動きベクトルをセンサからの計測値として扱う。

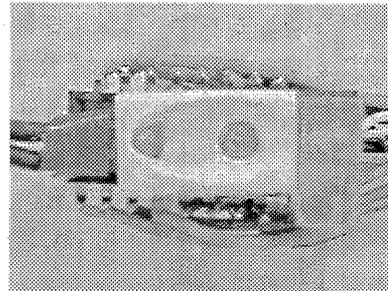


図 6：光学センサ部

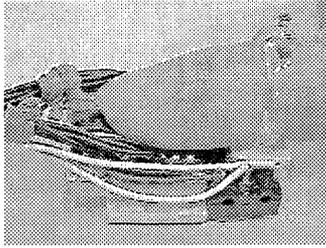


図7: 光学センサの装着

数字と平仮名を対象とした約 80 カテゴリを、マウスパッド上で各 10 サンプル収集して教示パターンとした。特徴量には、計測時間帯毎 (12 分割) に分割した進行方向毎 (12 分割) のヒストグラム (144 次元) と、全ストロークを通じての進行方向別ヒストグラム (12 次元) と進行方向変化別 (12 分割) のヒストグラム (12 次元) から構成される 168 次元のベクトルを作成し、ノルム 1 の正規化ベクトルを生成使用した。図 8 は「か」を入力した時にセンサから得られる値を視覚化したもの、図 9 は計測されたデータから特徴ベクトルを作成し視覚化したものである。図 5 と同様に、明るいほどその値が大きいことを示している。

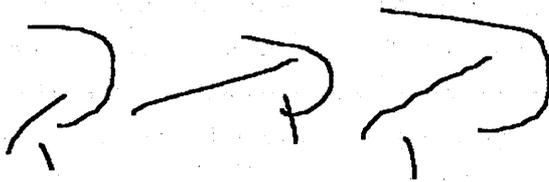


図8 入力データの視覚化

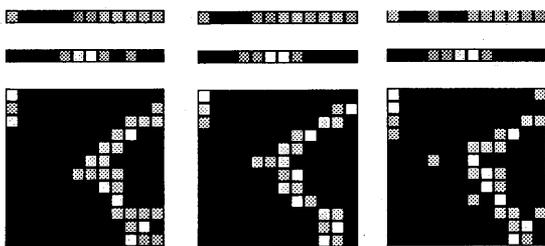


図9: 特徴ベクトルの視覚化

平仮名 10 字種、数字 10 字種の合計 20 カテゴリを実験対象とし、布地上で各 4 サンプルずつ (合計 80 サンプル) を収集して認識率を求めた。その結果、1 位正解率 91%、3 位累積正解

率 100%であった。実験では「0」と「6」や「い」と「り」など特定の文字の組み合わせを誤認識する場合は観察された。問題となっている文字の組み合わせは、ベクトルの進行方向の情報のみでは区別できにくいパターンであると推察される。

また、音声フィードバックを用いると 1 文字の入力に要する時間は、感圧センサのときと同様約 2 秒であった。(入力 1s、待機 350ms、音声 600ms)

5 考察

今回の実験は、提案するデバイスの有効性を調べるものであるものの、ボタン認識に関しては特定の利用者を対象とした実験であった。以下にボタン認識に関する今後の課題と対処方針をまとめる。

- 実験では 10 サンプルで辞書を作成しているが、実用的な認識率を確保するためには、教示するサンプルの数を増やす必要がある。特に認識率の悪いパターンに対しては、その属するカテゴリの正規の辞書とは別の専用辞書を設けることにより対処できると考えられる。また、辞書登録機能を設けることにより、任意の文字種 (例えば漢字など) や任意の文字列 (例えば単語など) の入力も可能となるため、利用者の利便性を考えると辞書管理機能を充実させることが必要である。
- 特に、単語を描くときには、普通 1 文字毎に描画位置を変えながら文字を並べるように描くため、単語の長さに応じた広さの平面を必要とする。FMRID は、もともとストロークの位置関係のような構造情報を利用しないため、同じ位置に複数の文字を描いても認識可能であり、1 文字分の面積で任意の長さの文字列を入力できる。
- 利用者を増やした時に、個人差による認識率の低下が予想される。不特定多数の利用者から予め教示サンプルを収集しておく

ことにより、新たな利用者を対象した場合でも、対応できると考えられる。

- 試作システムの認識アルゴリズムは時間情報を使用しているため、筆順の違いにより認識率の低下を生じる。また、続け字に関しては、ストロークとストロークの間に新たな計測値が混入することにより、同様に認識率の低下を生じる。予め問題となるデータを加えた教示パターンを使用して、別途辞書を作成することにより対処可能であると考えられる。
- 1文字入力の動作完了後、待機時間と音声フィードバックに約1秒必要となる。連続して文字入力を行う場合には、この遅れは快適ではない。連続しての文字入力を可能とする単語認識機能が必要である。
- 認識方法は、文字の構造情報を使用していないため、誤認識を起こしやすい文字の組み合わせの存在や、大文字と小文字の区別はできない。前後の文字との関係の利用や、特徴量の追加による認識アルゴリズムの改良が必要である。

6 まとめ

ウェアラブルコンピュータなどの小型携帯装置向けに、習得がしやすく、簡便に利用できる装着型デバイス FMRID を提案した。指に装着したデバイスを通して、指の動きにより文字やジェスチャを入力することができるため、常時装着が可能であれば、従来のデバイスと比較して作業をほとんど阻害することなく簡便に利用できることが特徴である。

FMRID の有効性を確認するために試作システムを作成し認識率を求めた。利用者を特定することにより比較的良い結果を得られたが、実用を考慮するならば、不特定利用者を想定した認識率の向上と、入力時の遅延時間の短縮が必要である。

常時装着が可能なハードウェアの実現には実装技術の進歩が必要であるが、手袋への装着は比較的簡単に実現することが見込まれる。そこ

で、今後は具体的なアプリケーションを対象に、手袋などを利用した常時装着可能な試作システムを構築しつつ実験を重ねる予定である。

参考文献

- [1] Bass, L., Siewirek, D., Smailagic, A., Stivoric, J. "On Site Wearable Computer System", CHI'95 Conference Companion, pp83-84 Denver, May 1995
- [2] Tegic Communications, <http://www.t9.com/>
- [3] FUJITU, http://www.fujitsu.co.jp/hypertext/news/1996/Jul/ms_txt.htm
- [4] MISAWA HOME, http://misawa01.misawa.co.jp/CUTKEY/v1_cutkey_top.html
- [5] Handykey Corporation, <http://www.handykey.com/>
- [6] Dan Venolia, Forrest Neiberg, "T-Cube: A Fast, Self-Disclosing Pen-Based Alphabet", Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'94), pp. 265-270, April 1994
- [7] David Goldberg, Cate Richardson, "Touch-Typing With a Stylus", Proceedings of ACM INTERCHI'93 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'93), pp. 80-87, April
- [8] Jennifer Mankoff; Gregory D. Abowd, "Cirrin: A Word-Level Unistroke Keyboard for Pen Input" Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'98), pp. 213-214, November 1998
- [9] Ken Perlin, "Quikwriting: Continuous Stylus-Based Text Entry", Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'98), pp. 215-216, November 1998
- [10] Fukumoto Masaaki, Yoshinobu Tonomura, "Body Coupled FingeRing": Wireless Wearable Keyboard, Proceedings of ACM CHI 97, pp. 147-154, April. 1997
- [11] Erkki Oja "パターン認識と部分空間法" 産業図書 1986
- [12] UBPEN : <http://www2.osk.3web.ne.jp/~jnc/product/index.html>