社団法人 情報処理学会 研究報告
IPSJ SIG Technical Report

2007－ＨＩ－122 (17)
2007－SLP－ 65 (17)
2007／2／10

ウェアラブルコンピューティングのための携帯型点字入出力インタフェースの設計と実装

平田 健悟† 塚本 昌彦† 義久 智樹‡
†神戸大学工学部
‡京都大学学術情報メディアセンター

近年のコンピュータの小型化により，コンピュータを身につけて利用するウェアラブルコンピューティングに対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，動きながらコンピュータを利用する場合が多く，集中して操作することが困難である．このため，HMDやキーボードといった視覚のみを用いた入出力インタフェースは不向きであるといえる．視覚を用いないインタフェースとして，点字表現を利用したものが提案されているが，持ち運びにくいなどウェアラブルコンピューティングには適さない．そこで本研究では，片手入力が可能な携帯型点字入出力インタフェースを提案する．提案するインタフェースでは，振動モータを取り付けて点字表現を行なう．本稿では，携帯型点字入出力インタフェースの設計，実装を行ない，その性能を評価する．

Design and Implementation of a Portable Input/Output Braille Interface for Wearable Computing

Kengo Hirata† Masahiko Tsukamoto† Tomoki Yoshihisa‡
†Faculty of Engineering, Kobe University
‡Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

Due to the downsizing of computers, wearable computing, where a user uses a computer attached on the body, has attracted great attention. In wearable computing, since computers are used even while moving, it is difficult to use them steadily. Hence, we can say that input/output interfaces using only visual perseptions such as HMDs and keyboards are not suitable for wearable computing. Although braille interfaces are proposed as interfaces that do not use visual perseptions, thay are not developped for wearable computing. Therefore, we propose a portable braille input/output interface which can be used by only one hand. In our interface, we adopt vibration motors to express braille. In this paper, we show a design and implementation of such interface, and evaluate its performance.

1 はじめに

近年，コンピュータの小型化が進み，コンピュータを衣服と同様に常に身に着けて利用するウェアラブルコンピューティングに対する注目が集まっている．ウェアラブルコンピューティングでは，歩行中や作業中などでも時間と場所を気にすることなくコンピュータを利用できる．しかし，動きながらコンピュータを利用するため，HMDやキーボードといった目視のみによる確認を必要とする入出力インタフェースは不向きであるといえる．例えば，歩きながらテキストの入出力などを行なう際に画面に注意が向けられてしまうと，それに気をとられ，周囲の状況を十分把握できないために事故につながる可能性がある．したがって，情報の出力を視覚だけでなく他の感覚も利用して提示することがウェアラブル環境において重要な課題となる．

視覚を用いない入出力インタフェースとしては，点字表現を利用した入出力インタフェースが提案されているが主に卓上用として開発されており，持ち運びにくく，指点字を用いているため入力時には両手がふさがってしまいウェアラブルコンピューティングには適していない．そこで本研究では，ウェアラブルコンピューティングのための，片手入力が可能な携帯型点字入出力インタフェースの設計と実装を行なう．提案するインタフェースでは振動モータを取り付けて点字表現を行なう．実装した携帯型点字入出力インタフェースの振動時間や振動パターン，入力方法について考察し，評価を行なう．

以降，2章ではウェアラブルコンピューティングにおける入出力インタフェースについての関連研究について記す．3章では点字について説明し，ウェ

アラブルコンピューティングへの応用について述べる．4章では携帯型点字入出力インタフェースを提案し，その設計と実装について記す．5章では提案するインタフェースについての評価実験について示し，6章で評価実験の結果について考察する．最後に，7章でまとめと今後の課題について述べる．

2 関連研究

情報提示を視覚以外で行うウェアラブルコンピューティングためのインタフェースの研究としては，Active Beltと呼ばれる，方位情報を伴う触覚情報提示を実現するベルト型ウェアラブルインタフェース [1] がある．Active Beltは方位センサー，GPSと複数のアクチュエータが組み込まれていて，目的地への方位情報を振動の場所で表現している．しかし，文字提示や文字入力は行なうことができない．入力では，複数の音声コマンドの多重化と空間的な定位手順を用いたvCocktailシステム [2] がある．これは音声を用いることで，視覚を用いない入力が可能になるが，周囲の雑音による誤作動の問題がある．

ほかにも，点字を用いたインタフェースの研究が盛んで，バーバル・ノンバーバル情報を利用した視聴覚障害者の歩行支援のためのウェアラブル触覚インタフェースの研究 [3] や筒型で持ち運びやすく立ったままでの入力可能な点字入力インタフェースOBOE[4] がある．これらは動きながらの使用は可能だが，入力と出力のデバイスが別々で，入力時には両手がふさがってしまうといった問題がある．また，体表点字を用いた新型携帯端末B-brll[5] がある．この携帯端末B-brllは点字タイプライタのような形式で入出力が一体化しているものの持ち運びにくく，動きながら用いることは困難である．そのほか，点字を用いたコミュニケーションシステムの研究も盛んである [6][7]．

聴覚を使うインタフェースでは街中や公共施設などで周りが騒がしい時や，静かにしなければならない時には使いづらい．触覚を使うインタフェースでは提示できる情報は少ないが，どこで使っても支障をきたす場合が少ないためウェアラブル環境に適している．

3 点字入力

点字は普段使用している文字と違い，左3点，右3点の計6つの点の位置の変化によって文字を構成している．そして，点字は凹凸で表現されており，突出している部分を触覚で認知して読んでいくものである．この6つの点の組み合わせによって日本語やアルファベット，数字も表せる [8]．ただし，これらには同じ点配置があるため，数字や外国語の場合はそれぞれ文が始まる前に数符・外字符と呼ばれる符号が必要となる．アルファベットの点字表を図1に示す．黒い点が突出部分である．

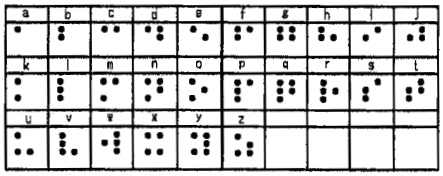


図 1: アルファベットの点字表

3.1 ウェアラブルコンピューティングへの応用

点字は既存で確立されいるものであるため，覚えた際の応用範囲も広い．さらに，点字を使うことで健常者はもちろん視聴覚障害者でもウェアラブルコンピューティングになじむことができる．また，文字表現には6つの点しか使わないので入出力デバイスとして小型化が容易であり，ウェアラブルコンピューティングに適していると考えられる．一般的な点字は紙面上で記述するものだが，ウェアラブルコンピューティングでは紙を使えないため，他の表現で凹凸を示す必要がある．これまでの研究では，ピンの凹凸で表現する触覚ディスプレイや振動モータ，ソレノイドなどを使われていたが，ウェアラブルでは持ち運びやすく，小型で軽いものが求められるので，振動モータが適していると考え，本研究ではこれを用いる．

4 携帯型点字入出力インタフェース

本研究で提案するインタフェースは，点字に基づいた入出力を行なうものである．これまでに研究されている点字インタフェースは持ち運びやすいが入力，出力それぞれに特化し同時につかいにくいものや，入出力を一体化しているが持ち運びにくいというものがあった．また，入力の際には両手がふさがってしまうという問題もある．

入出力インタフェースには次のようなことが望まれる．

- 持ち運びに適していて，移動しながらでも使える
- 何か作業している状況でも使用できるように片手で入出力できる
- 操作が複雑でなく簡単である

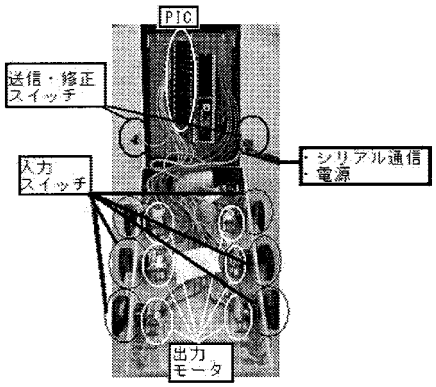


図 2: プロトタイプ

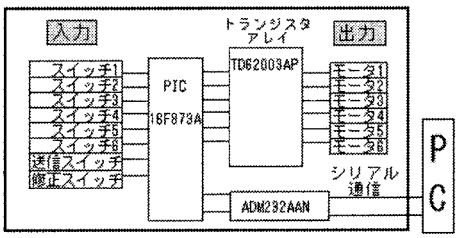


図 3: ハードウェア構成

これらはウェアラブルコンピューティングには必要不可欠である．以上を考慮したうえで，より良いインタフェースの設計，実装を行なう．

4.1 ハードウェア

図 2 のように，スイッチと振動モータをそれぞれ 6 つ，容器の中に点字の形に即して縦 3 つの 2 列になるように配置する．容器には普段使い慣れている携帯の見本を分解し利用した．大きさは縦 87mm，横 50mm，高さ 28mm である．また，振動モータにスイッチを直接つけることで入力と出力がそれぞれ対応するようにし，送信や修正を行なうためのスイッチ 2 つを本体の両側に取り付けた．プロトタイプは右利き，左利き関係なく利用できるよう左右対称に設計した．コンピュータとのやりとりにはシリアル通信を用いた．ハードウェア構成を図 3 に示す．PIC は入出力ピンをもつプログラミング可能なマイクロコントローラであり，モータとスイッチの制御，PC との通信は PIC を用いて行なう．今回，制御するモータとスイッチの数を考慮し，PIC16F873A を用いた．

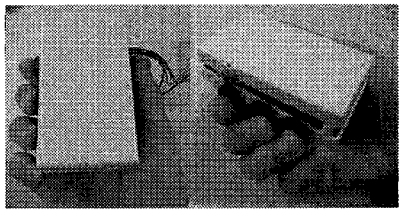


図 4: 使用中の様子

(1) 出力方法

点字の突出部分を振動で表現する．シリアル通信を用い，テキスト情報をモータの振動位置に対応させたバイナリーデータに変換して送信し，それぞれに対応した振動モータを振動させる．これにより画面を見ることなく 6 つの振動の位置から文字情報などを判別できる．

(2) 入力方法

点字にあてはまる箇所のスイッチを押し，送信ボタンによって決定するとそれに対応したバイナリーデータが送られ，画面にシンボルが表示される．入力時に打ち間違えた場合には修正ボタンを押すことでリセットされ，入力し直すことができる．

4.2 使用方法

プロトタイプの両側についた 6 つのスイッチがすべて手に触れるように持って使う．持ち方は特に決まっておらず，基本的にはユーザの使い易いように持っても良い．片手で使うことを想定して，いくつかの持ち方を試した結果，図 4 のような持ち方が適していると思われる．図 4 では，親指で右側 3 箇所を 人指し指は左上のボタンと修正ボタン，中指は左真ん中のボタン，薬指は左下のボタンに割り当てている．

5 評価実験

携帯型点字入出力インタフェースの評価実験として，入力速度や誤入力率，認識率を試行回数ごとに計測する実験を行なった．以下に実験の詳細をそれぞれ述べる．

5.1 評価実験用ソフトウェア

今回評価実験を図 5 のようなソフトウェアを作成した．左側の 1 つ，2 つ等は振動箇所数を示す．また，文字入力を選ぶと右側のテキストボックスに入力した文字が表示される．解答の下のテキストボックスには押したスイッチの場所が表示され，答えの下には振動した場所が表示される．解答と答えの

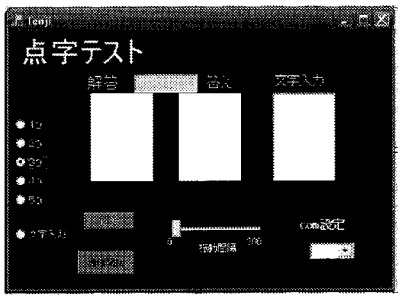


図 5: ソフトウェアの概要

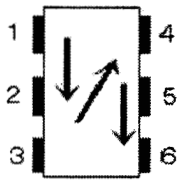


図 6: 振動の順番

間は正誤判定が表示される．ボタンは，上がテスト開始ボタン，下はシリアル通信を開始するボタンである．また，中央にあるバーは振動時間を調節するものであり，振動時間は使用者が自由に設定可能となっている．

5.2 被験者

今回実験に参加したのは，21〜24 歳の男性で，皆正眼者である．出力実験に 5 人，入力実験に 5 人の計 10 人に参加してもらった．また，すべての被験者には点字に関する知識はなかった．

5.3 実験方法

5.3.1 出力測定

出力測定では振動している場所がどれくらい正確に分かるかを調べる．全てのモータが同時に振動すると振動箇所がわかりにくくなると予想できるので，今回の実験では全て同時振動の他に，1 つずつ別々に振動していくものを加え，以下の 2 種類の振動パターンで評価した．

(1) 個別振動：同時振動は一つで，順番は 1，2，3，4，5，6 の順に振動していく (図 6)．

(2) 全体振動:全ての振動モータが同時に振動する．

それぞれのパターンには次のようなメリットとデメリットが挙げられる．パターン (1) は振動一つ一つの提示時間は短くなってしまうが，振動が互いに干渉しあうことを避けられる．逆にパターン (2) は

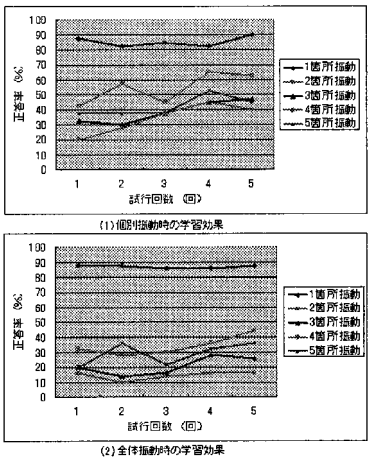


図 7: 振動パターンによる学習曲線

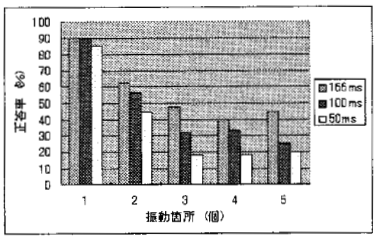
振動が互いに干渉しあってしまうが，振動の提示時間を長くできる．

実験方法は，まず 1〜5 箇所のそれぞれについてランダムに 10 回ずつ振動させ，被験者には振動したと思うところを示してもらいその正誤によって認識率を測定する．これを 5 セットずつ行なう．1 セットの試行ごとに 5 分の時間を空け，練習してもらった．また，実験時の振動間隔は被験者が振動箇所を示す時間をとるため 3 秒とし，振動時間は 1 分間に 60 個のシンボルを表示できる長さとする．評価結果は図 7 に示す．例えば，パターン (1) の場合は振動 1 箇所につき 166ms，パターン (2) の場合は 1000ms である．

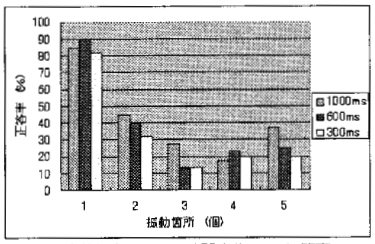
次に振動時間を次第に短くしてどの程度まで判別できるかを実験する．パターン (1) は振動 1 箇所につき 100ms，50ms，パターン (2) についてはパターン (1) で 6 箇所振動したときの長さにそろえて 600ms，300ms について調べる．これを同様に 2 セット行ない，その平均をとる．振動開始時と次の振動までの間隔は振動時間にかかわらず 3 秒間とした．評価結果は図 8 に示す．

5.3.2 入力測定

実験には出力時に使用したソフトウェアを使う．各スイッチで点字に対応した箇所を入力し，送信ボタンを押すことでテキストボックスに入力した文字が表示される．実験方法として，まず 5 分間練習してもらい，その後 1 分間アルファベットを a〜z の順に入力してもらう．これを 1 セットとし，計 5 セット試行して，1 分あたり何文字入力できるか測定を行なった．その際，被験者にはアルファベットの点字とそれに対応するアルファベットの文字が書

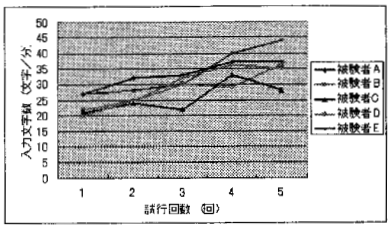


(1)個別振動時の振動時間変化による正答率

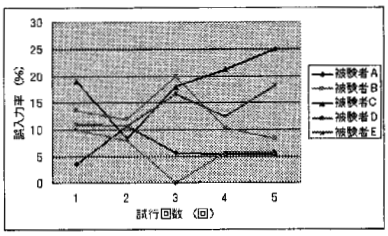


(2)全体振動時の振動時間変化による正答率

図 8: 振動時間による正答率の変化



(1) 入力速度



(2) 誤入力率

図 9: 入力実験の評価結果

かれた紙を配布し，それを見ながら入力を行なってもらう．評価結果として，入力速度とそれにともなう誤入力率を図 9 に示す．

6 考察

6.1 振動パターン

図 7 の個別振動と全体振動の学習曲線を比較する．1 箇所振動の場合どちらも正解率が 85 %程度である．これは，振動モータの振動が本体全体に伝わり，振動箇所が判断しづらくなっていたと思われる．1 箇所振動に限らず，振動箇所が増えるにつれてこのことが正答率に大きく影響を与えていると思われる．出力デバイスとしての性能を上げるためには振動モータの振動伝搬を抑えることが大きな課題となる．

2 箇所振動以上になると個別振動と全体振動では学習曲線に大きな違いがあった．個別振動では学習全体に向上しており，逆に全体振動では学習曲線が緩やかで，正答率も個別振動に比べ低い．5 回の試行で個別振動では 1.5 倍，全体振動では 1.2 倍の正答率向上という結果が得られた．5 セット目の個別振動の正答率は全体振動の正答率に比べ，3 箇所振動では約 1.8 倍，4 箇所振動に関しては約 2.5 倍の差が出た．よって，振動提示には全体を振動させるよりも分けて振動させたほうが有効であることが分かる．

6.2 振動時間

図 8 の振動時間変化による正答率の変化のグラフを見ると，少し時間を短くしても個別振動が優位にあるが，極端に時間を短くすると正答率に差があまり出なくなった．原因として，一つ一つの振動にインターバルがないので，振動がおさまる前に次の振動が始まってしまうからだと考えられる．同時振動との差別化のためには，振動時間を短くした時に各振動の間に間隔をあけることが必要となる．

6.3 入力速度

入力測定の結果を見てみると，入力速度の推移は図 9 のようになった．全体に速度向上の傾向が見られ，平均 1.5 倍の伸びとなった．ところが図 9 の誤入力率のグラフを見ると，試行回数や入力速度にかかわらず安定せず，被験者間でも誤入力の推移は異なるものとなった．このことから，早く入力しようとする焦りからや，慣れからくるスイッチの押しすぎなどが考えられる．これらはスイッチを押しすぎたことに気づかずに送信をしてしまっている可能性があるので，スイッチを押したという明確な触覚フィードバックがあれば誤入力は減ると予想される．

6.4 その他の意見

被験者のアンケート結果には，

- スイッチにクリック感がもう少し欲しい
- スイッチの配置が手に合わなかった
- 送信ボタンが近くて入力の途中に押してしまう

といった意見があった．

スイッチのクリック感は，スイッチを押したとユーザが認識するための重要な要素なので，現在使用しているもの以外にも様々なスイッチで試験する必要がある．

また，人の手の大きさや形には個人差があるが，スイッチの配置をその都度個別に設定することは難しい．そこで，カバーのようにスイッチの形状を個別に付け替えれるようなものについても考えていきたい．

7 まとめ

本研究では，ウェアラブルコンピューティングにおける入出力インタフェースとして，携帯型点字入出力インタフェースの設計と実装を行なった．このインタフェースは点字を用いたもので，持ち運びに適しており，片手で使用可能である．今後の課題として，共鳴を抑えるための振動モータの配置や文字の読み取り，今回ふれなかった振動の強さと振動間隔，そして入力の際の最適なボタン配置などがあげられる．また今回の実験では2つの振動パターンのみの評価を行なったが，様々な振動パターンでの評価も行なう予定である．

謝辞 本研究の一部は，科学研究費補助金・特定領域研究「情報爆発のための装着型入出力デバイスを用いた情報操作方式」(18049058) によるものである．ここに記して，謝意を表す．

参考文献

[1] 池井 寧，山崎 仁志，広田 光一：ウェアラブル指向音声メニュー多重化提示手法 vCocktail に関する研究，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol. 7，No. 4，pp. 571–581，2005.

[2] 塚田 浩二，安村 通晃：Active Belt：触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構，情報処理学会論文誌，Vol. 44，No. 11，pp. 2649–2658，2003.

[3] 雨宮 智浩，広田 光一，廣瀬 通孝：バーバル・ノンバーバル情報を利用した視聴覚障害者の歩行支援のためのウェアラブル触覚インタフェースの研究，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 9，No. 3，pp. 207–216，2004.

[4] 雨宮 智浩，広田 光一，廣瀬 通孝：筒型点字インタフェースの開発と評価，情報処理学会論文誌，Vol. 47，No. 7，pp. 1701–1710，2005.

[5] 大墳 聡，佐々木 信之，長谷川 貞夫，原川 哲美：体表点字を用いた視覚障害者および盲聾者向け新型携帯端末「ビーブル」の開発，ヒューマンインタフェース学会研究報告集，Vol. 8，No. 5，pp. 7–12，2006.

[6] 片山 滋友，椋田 實，長田 光平，阿部 正平，郡 千治，宮崎 卓弥，中山 克則：視聴覚複合障害者のための指点字コミュニケーションシステム (1)，情報処理学会第 64 回全国大会，2002.

[7] 阿部 正平，郡 千治，宮崎 卓弥，中山 克則，片山 滋友，椋田 實，長田 光平：視聴覚複合障害者のための指点字コミュニケーションシステム (2)，情報処理学会第 64 回全国大会，2002.

[8] 山口 芳夫：日本点字表記法概説，ジャスト出版，1982.