

常装着型インタフェースと Wireless FingeRing

福本 雅朗

外村 佳伸

NTT ヒューマンインタフェース研究所

〒 239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

Tel: 0468-(59)-2928 / Fax: 0468-(59)-2332

E-mail: fukumoto@nttcvg.hil.ntt.co.jp

あらまし PDA の小型化と、その先にあるウェアラブル・コンピュータの実現の為に、常装着を前提としたインタフェースデバイスの開発が求められる。本報告では、各種出力デバイスの常装着化の可能性について論じ、一例として指輪型キーボードである FingeRing (フィンガリング) を紹介する。次いで、人体誘導電界を用いた FingeRing のワイヤレス化について述べる。また、5本指キーボードに適した打鍵方式として、順序入力と和音入力の併用を提案する。

Fulltime Wearable Interface — Wireless FingeRing —

FUKUMOTO, Masaaki

TONOMURA, Yoshinobu

NTT Human Interface Laboratories

1-1 Hikari-no-oka Yokosuka-shi Kanagawa-ken 239-0847, JAPAN

Tel: +81 468 59 2928 / Fax: +81 468 59 2332

E-mail: fukumoto@nttcvg.hil.ntt.co.jp

Abstract A new interface device that is specially developed as fulltime wearing use is needed for realizing wearable computer systems. This article discusses possibility of wearing use for many input and output interface devices, and proposes "FingeRing" as example of fulltime wearable keyboard device. A low-power, short-distance wireless communication method that uses human body as an electric wire, and a new symbol cording method for five finger chord keyboard are also proposed.

1 はじめに

1.1 PDA とウェアラブル・コンピュータ

いつでも・どこでもコンピュータを使いたいという欲求は、パーソナルコンピュータの黎明期からあった。初期においては、主に物理的 (& 体力的) な理由で持ち運ぶことは不可能であったが、やがて集積技術の進歩によって、ノートブックからパームトップサイズへと小型化が進み、さらには PDA (Personal Digital Assistant) の出現によって、小型の情報機器を携帯するという行為が一般的になってきた。

この考え方をさらに推し進めたものが、コンピュータを衣服やアクセサリのように身に着けてしまう、ウェアラブル・コンピュータ (Wearable Computer) である。

次世代の PDA としてのウェアラブル・コンピュータの研究は、各所で行なわれてきているが、その多くは小型化したコンピュータ本体を腕や腰等に装着することに主眼が置かれている。しかし、高速無線ネットワークの発達した近未来においては、情報が蓄積されたコンピュータ本体をローカルな身体に装着することは、必ずしも必要ではなくなる。極端

な場合、I/O デバイスのみを装着すれば良く、コンピュータ本体はネットワークの向こう側にあっても構わない。すなわち、ウェアラブル・コンピュータの本質は「装着できるインタフェース」にあると言えることができるだろう。

しかし、コンピュータ本体の小型装着化に比べて、装着使用に適したインタフェースデバイス（特に入力デバイス）についての研究は、あまり行なわれてはいない。たとえば、Apple が示した装着可能な Macintosh のイメージモデル [1] では、手首につけた小さなトラックボールを指先で操作するとしている。また、MIT の wearable computer project では、手に握って使うタイプの和音キーボードが主に使われている [2]。最近では、片手で把持して使用するタイプの携帯型キーボード [3] も提案されている。これらのインタフェースデバイスは、人間の指や手等の操作機構の物理的サイズに依存しており、携帯性を高める為の急激な小型化は、操作性の低下を招く危険性がある。例えば、ボタンを並べるタイプのキーボードでは、キーの間隔を 14mm 以下にすると入力速度が低下し、疲労度や誤り率が上昇することが知られている [4]。アクセサリのように身に付けて生活することができる常装着型コンピュータのインタフェースには、従来のインタフェース機構の小型版ではなく、人間の操作系の物理的サイズに依存しない為により小型化による操作性の悪化が無い、特別なデバイスが求められるだろう。

我々は、将来の常装着型コンピュータでの使用を想定して、常時装着が可能な超小型のインタフェースデバイスの開発を進めている。次章では、各種のインタフェース方式について、装着使用を考えた場合の問題点と解決方法の一例を述べる。3章では、常装着可能なキーボードデバイスの一例として、指輪型のコマンド・文字入力装置である“FingeRing (フィンガリング)”の原理、及び装着性の向上の為に行なった、指輪部分のワイヤレス化手法について述べる。また、FingeRing のような 5 本指キーボードに適した符号化手法として提案した、「順序併用型和音入力方式」も紹介する。

2 ウェアラブル・インタフェース

従来の入出力機構は、主に机上での使用を前提として設計されていた。携帯性については特に考えられておらず、インタフェースを身体に装着すること、

特に装着したまま日常生活を行なうような「常装着」の状態はほとんど考慮されていない。入出力の操作性を保ちつつ常装着を可能とする為には、従来の機構を単に小型化するのではなく、実装手法の大幅な変更か、あるいは全く新しい入出力手段を考えなくてはならないだろう。本章では、常装着使用に適したインタフェースの構造と実装手法について検討を行なう。

2.1 入力機構

(a) キーボード 最もポピュラーな文字入力方式であり、多数のキースイッチを並べたものが一般的である。文字情報の入力だけでなく、項目やコマンドの選択にも使用される。キースイッチの数によって、フルキー方式・和音 (コード) キー方式・カーソル (ノファンクション) キー方式等がある。いずれの方式も、快適な速度で入力を行なう為には、キートップの大きさや間隔を無制限に小さくはできず、最低でも手の大きさ程度の場所を必要とするので、そのままの形で装着することは困難である。キーボードを装着型とするには、スイッチを並べる従来方式とは別の手段を考える必要がある。

ここで、キーボードを、「指の動きによって入力を行なうデバイス」と考えると、指の動きの検出によって仮想的なキーボードを構成することにより、スイッチ機構を並べる必要が無くなる。指の動きを検出する方法としては、データグローブを用いた仮想キーボードが知られているが、空中で指を曲げる動作を高速に行なうことは困難であり、疲労も激しい。これに対して、グローブや指サックの先端部に取り付けられたセンサで打鍵時の衝撃を捉える方式も提案されている。このタイプの仮想キーボードは、膝の上や大腿部などの支えになるものがあれば、どこでもタイピングを行うことができ、さらに空中で指を曲げる方式に比べて高速な打鍵が可能である。しかし、常装着使用を考えた場合には、最も感覚の鋭敏な指の先端部分や手全体を覆ってしまうことは、日常生活を営む上で障害となる。したがって、この方式を常装着型インタフェースに適用するには、指先や手を覆わずに打鍵動作を検出する機構を考えなくてはならない。その一例として、打鍵時の衝撃を指の付け根に装着した加速度センサで検出する方式を次章で紹介する。

(b) 音声テキスト化 音声テキスト化による文字入力は、訓練が不要で、かつ高速に文章を入力することが可能である上に、小型マイクの設定（もしくは咽頭マイクや骨伝導マイクの張り付け）のみで良いことから、装着使用に適している。高速・確実な音声認識技術が確立されれば、最も有効な入力装置のひとつとなることは確実である。しかし、人前でブツブツ喋りながらの入力は（現在の社会通念上は）奇異であり、周囲の迷惑となる。音声入力は、高速に文章を入力する場合に限って、周囲の迷惑にならないように用いるべきであり、通常の項目選択等の目的には別の手段を用いる方が良く考えられる。なお、筋電等を用いて口腔形状を測定する等、無発声での発話を認識する手段が開発されれば、音声入力は有望な方式となると考えられる。

(c) オンライン文字認識（ペンインタフェース）文字のみでなく、簡単な図形を含めたメモ書き等を入力でき、しかも訓練が不要であるなど、有利な点を数多く持っている。しかし、表示部分に直接描画を行なうので、ディスプレイサイズの制限（小さいと見難い、大きいと邪魔）を受けてしまい、そのままでは携帯・装着使用に適しているとは言えない。手書き入力装置の装着化には、ペン入力部とディスプレイとの分離が必要となるだろう。例えば、小型のペン型入力装置と HMD（頭部搭載型ディスプレイ）を組み合わせ、相互の位置関係を検出することによって、手掌等の手近な描画面上に仮想的な入力パッドを構成するような手法が考えられる。

(d) 画像入力 超小型カメラの装着により、画像入力自体は容易に行なうことができる。単なる画像蓄積ではなく、文章のテキスト化やシーン理解による分類等を行なう為には、高度な画像理解技術が必要となるが、これは後処理の領域であり、インタフェースデバイス自身の装着性は良い。

2.2 出力機構

(a) 音出力 音（音声・楽音）によるフィードバックは、小型のワイヤレスイヤホンや骨伝導デバイスを耳穴に挿入するか、張り付けることにより、容易に実現可能である。又、音による情報伝達は、他の動作を妨げることなく使用することができる（並行性がある）為、常装着の出力手段としては最適

であると考えられる。音声読み上げによるテキスト出力は一次元情報であり、高速な情報伝達は困難であるが、「電子手帳」的な簡単なブラウジング用途であれば、音声合成による簡単なフィードバックでも対応可能な場合が多い。また、複数のスピーカを用いて、ユーザの身体周囲に立体的な音場空間を構成することで、音声の出現位置に時刻等の付加情報を与えることができる [5]。

(b) 画像出力 画像による出力は、文字のみならず、グラフやイメージを含んだ情報を高速に伝達できるので、最も有効な手段であると考えられる。しかし、小型のディスプレイを腕等に装着する方式では、表示面積を広くとることができず、文字を大きくすると一覽性が犠牲になり、逆に小さくすると見にくくなってしまう。これに対して、超小型液晶等を用いた眼前投影型や網膜投影型の HMD では、本体の大きさによらず、大きな画面サイズを得ることができるので、装着用途に適している [6]。しかしながら、画像によるフィードバックは、視野の一部又は全部を奪うことになり、他の動作を妨げてしまう（特に、歩行中や自動車運転中などの使用は危険である）。従って、常時表示や突発的な表示を行なうのではなく、使用する時にのみ操作者が明示的にスイッチを入れるような機構にする必要がある。

(c) 触覚・痛覚・温覚等 並行性という点では音と同じメリットを持っているが、解像度が悪く、情報の伝達速度が著しく低いので、注意喚起等の特別な用途にしか使用できないと考えられる。触覚フィードバックの例としては、シートバックに設置したマトリクス状のアクチュエータによって、操作者の背中に図形情報を伝達する試みが行なわれている [7]。

3 FingerRing

FingerRing（フィンガリング）は、常装着使用を前提として考案されたコマンド・文字入力装置である。指輪型の加速度センサ（図 1）を各指の付け根に装着し、机や大腿部等、任意の支持面上で指先による打鍵動作（以下、「打指」と記す）を行なった場合に各指の付け根に生ずる衝撃（加速度）から、「どの指が打指されたか」を検出する。コマンドや文字は、打指を行なった指の組み合わせ（片手の 5

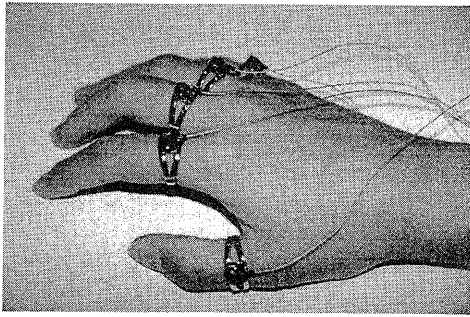


図 1: FingerRing の打指検出部 (有線版)

Fig.1: Sensor part of FingerRing (Wired version)

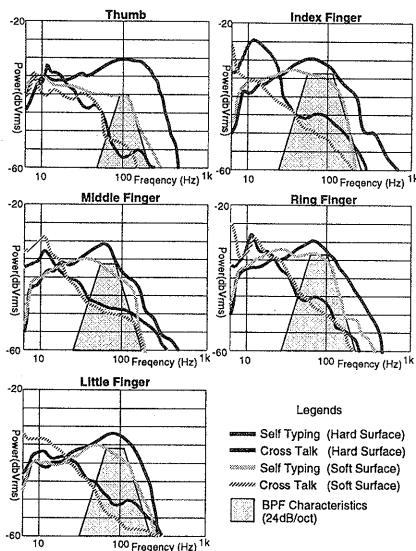


図 2: 各指の付け根における打指加速度の周波数分布
Fig.2: Frequency spectrum of typing acceleration.

指全てにセンサを装着した場合、5ビット)によって表現される。加速度センサは小型であり、かつ指先を覆わないので、常時装着しても日常生活への影響は少ない。また、打指面を選ばずに即座に入力動作が可能であり、ユーザー毎の調整も不要である [8]。

3.1 打指の検出と分離

打指による加速度は、指先から付け根まで指を伝わって伝達される。又、他の指の打指や、打指以外の動作(手を曲げる、回す等)による加速度は、逆

に手掌部を経由して各指の付け根に伝わってくる。従って、各指の付け根に装着した加速度センサで打指動作を検出する場合、センサ装着指の打指による加速度(自己衝撃)と、それ以外の指による打指による加速度や、打指以外の動作による加速度(他指衝撃=クロストーク成分)を分離する必要が生じる。FingerRing では、両者の周波数成分の違いを利用して分離を行なっている。図 2 に、各指毎の打指による加速度の周波数特性を示す。なお、図の「Hard 面」及び「Soft 面」は打指時の打指面の硬さを表す¹。この図によれば、各指毎に特定の周波数帯域のみを通過させるバンドパスフィルタ(以下 BPF)を用い、当該周波数帯域内の、「他指衝撃以上、自己衝撃以下」の信号レベルに閾値を設けることにより、打指面の硬さによらず、安定して自己打指のみを検出可能であることがわかる。本図に、24dB/oct の減衰特性を持った BPF を用いた場合の例を重ねて示す。

3.2 ワイヤレス化

初期の FingerRing では、各指の付け根のセンサとシンボル生成機構の間を、電線で接続しており、小型化による装着性の向上には限界があった。たとえ短い長さでも、電線を身体に這わせて使用することは、突起物に引っかける等の危険性を生み、常装着使用による日常生活は困難となる。常装着使用を実現する為には、各モジュール間のワイヤレス化が必要とされるだろう。

従来のワイヤレス通信方式のうち、電波(空間波)は消費電力が大きく、低消費電力とされる光通信は非見通し状態では使えない²、等の問題点があり、FingerRing に適用するのは困難である。

ここでは、小型で低消費電力小型、かつ非見通し通信が可能なワイヤレス通信方式³として、人体を電気信号の伝達経路(=電線)として用いる Body Coupling 方式を用いて、FingerRing のワイヤレス化を行なうことにした。

¹本図では、Hard 面として机を、Soft 面として大腿部を用いている。

²受信器(手首装着)と、送信器(指の付け根)の間は、非見通し状態となる場合がある。

³正確には、ワイヤレス「に見える」通信

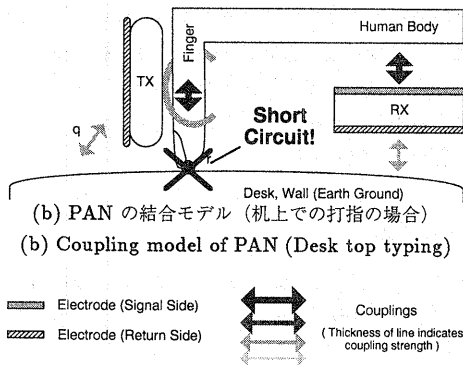
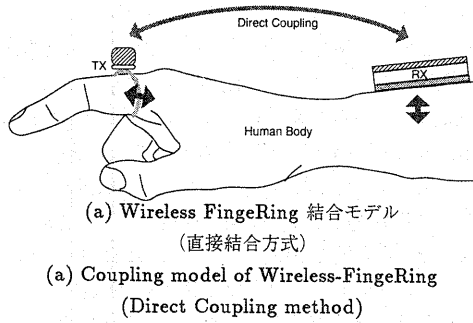


図 3: 人体を用いた結合モデル
Fig.3: Coupling models via human body

3.2.1 Body Coupling

Body Coupling による FingerRing のワイヤレス化の模式図を図 3-a に示す。指輪状の送信器内部に設置された加速度センサの出力を高周波のキャリアを用いて変調し、送信器のリング部分の電極に印加する。リング電極を通じて人体に発生した誘導電界を手首部分のアンテナで検出・復調することで、加速度センサの信号を伝送することができる。なお、誘導される電流はごく小さく、人体への影響は無い⁴。また、リング電極は絶縁材料で覆われているので、感電の心配も無い。

人体に生ずる誘導電界を用いた通信方式には、PAN [9] (Personal Area Network) がある。図 3-b に PAN の模式図を示す。誘導電流による通信を行なうためには、送受信器間の回路がループを形成している必要がある。PAN 方式では、人体を回路ループの片側（以下、信号側パス）とし、残りの片側（以下、帰還側パス）は、大地アースを用いると記述されている。しかし、この方式では、人体（信号側パス）が

⁴通常、JIS 標準の 1/1000 以下。

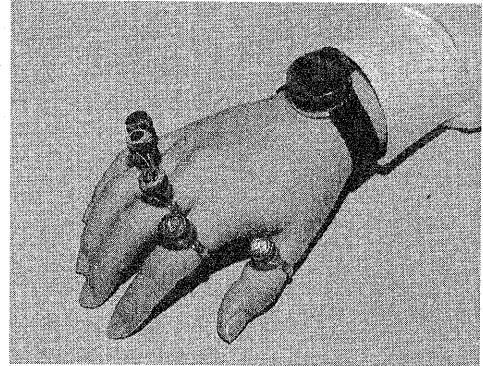


図 4: ワイヤレス FingerRing (指輪センサ及び受信アンテナ部分)

Fig.4: Wireless FingerRing (Ring-TX and Antenna)

大地アース（帰還側パス）と接触した場合には回路がショート状態となり、通信が途絶してしまいます。FingerRing においては、タイピングの一部は机や壁で行なわれる。この場合、机や壁は一般的に大地アースと同様のふるまいをするので、タイピングの為に指や手が机や壁（＝大地アース）に触れた状態では、通信ができなくなってしまう。従って、PAN の通信方式を直接 FingerRing に適用することは困難だと思われる。

ここで、FingerRing の無線化に目的を絞った場合、伝送距離はただか指の付け根から手首付近までの 15cm 程度である。そこで、回路ループの帰還側を大地アース経由でなく、送受信器双方の帰還側電極間の（空気を介した）直接結合とすることで、人体と大地アースの接触状態によらず、安定した通信を行なうことが可能となる（図 3-a）。今回、この直接結合 (direct coupling) 方式を用いて、FingerRing のワイヤレス化を行なうこととした。

3.2.2 Wireless FingerRing

直接結合方式を用いた Wireless FingerRing の送信器及び受信器（アンテナ部分）の外観を図 4 に示す。変調方式には回路構成が単純かつ混信に強い FM（周波数変調）を用いた。キャリア周波数は、高調波による混信を避ける為に、50KHz - 100KHz の間に 5 波を配置した。また、送信器の電源には、充電が早く、充放電管理が容易な電気二重層コンデンサ (5V 0.22F) を用いた。

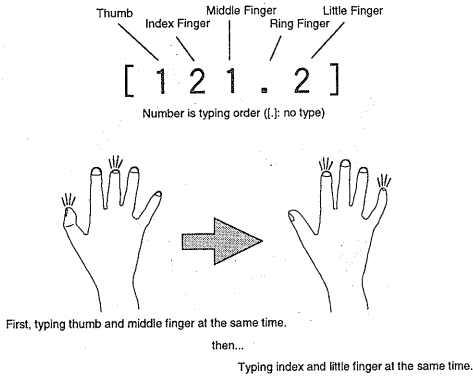


図 5: 順序併用型和音入力の表記法

Fig.5: Notation of orderly typing chording method

送信器（ハウジング部）の大きさは直径 13mm・高さ 17mm である。また、送信器一個当たりの消費電力は 1.75mW(5V, 0.35mA) であり、一回の充電（2分）で、約 30 分の連続使用が可能であった。なお、通信可能距離は 20cm であった。

4 入力方式

FingeRing では、荷物を持ちながらの歩行使用を考慮し、片手での入力を想定している。その為、5本の指の打指入力（=5ビット）の組み合わせから、コマンドや文字を構成する手法として、順序併用型和音入力を用いている。順序併用型和音入力は、複数指の同時打指による和音入力に、各指の打指にわずかな時間差を設けた順序入力（2連続まで）を組み合わせた入力方式である。図 5に、順序併用型和音入力方式の表記手法を示す。打指の容易な組み合わせだけを選択使用することにより、和音入力のみ、あるいは順序入力の場合に比較して、多くのシンボルを同等の時間で入力できると考えられる。打指速度評価実験の結果、ピアノ経験者（熟練者として仮定）に対しては、順序打指の併用によって、同一速度で入力可能なシンボル数を約 2 倍に増やせることがわかった [8]。

5 おわりに

本報告では、ウェアラブル・コンピュータの実現の為には、装着可能なインタフェース・デバイスの開発こそが重要であるとして、常装着に適した入出

カインタフェースについての考察を行ない、その一例として、指輪型加速度センサを用いた FingeRing を提案した。さらに、FingeRing の装着性向上を目指して、人体の誘導電界を用いた至近距離微弱電力通信方式 (Body Coupling) によって、指輪センサ部のワイヤレス化を図った。また、FingeRing に適した符号化方式として、順序併用型和音入力方式を提案した。本方式を用いることで、最大 52 種類のシンボルを、200 個/分以上の速度で入力可能である。

今後は、指輪部分のさらなる小型化と、消費電力の低減による動作時間の向上を目指す。また、非接触での充電手法、通信距離の延長や、通信チャンネル数の増加についても検討を行ないたい。また、学習性を考慮した打指パタンの割り当てについても検討を行なう予定である。

参考文献

- [1] Pierce, S.: Time Band concept (Concept Models from Apple Computer), Apple Computer Press Release (1992).
- [2] Starner, T. et al.: Wearable Computing and Augmented Reality., Technical Report 355, MIT Media Lab. (1995).
- [3] 杉本政勝: 片手操作キーカード (SHK) による日本語入力, 情報処理学会研究報告 (モバイルコンピューティング), Vol. 1, No. 1, pp. 1-6 (1997).
- [4] 大塚巖ほか: 片手キーボードの入力性能, 第7回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, 京都, 計測自動制御学会 HI 部会, pp. 5-8 (1991).
- [5] Nitin, Sawhney et al.: "Nomadic Radio: A Spatialized Audio Environment for Wearable Computing", Proc. of IEEE ISWC'97, pp. 171-172, Boston (1987).
- [6] M. B. Spitzer et al.: "Eyeglass-Based Systems For Wearable Computing", Proc. of IEEE ISWC'97, pp. 48-51, Boston (1987).
- [7] Hong, Z. Tan et al.: "Tactual Displays For Wearable Computing", Proc. of IEEE ISWC'97, pp. 84-89, Boston (1987).
- [8] 福本, 平岩, 曾根原: ウェアラブルコンピュータ用キーボード FingeRing, 信学論, Vol. J79-A, No. 2, pp. 460-470 (1996).
- [9] Zimmerman, T. G.: Personal Area Network(PAN): Near-Field Intra-Body Communication, Master's thesis, MIT Media Lab. (1995).