

Wireless FingeRing: 人体を信号経路に用いた 常装着型キーボード

福本 雅朗† 外村 佳伸†

将来の常装着型コンピュータのための新しい入力装置として、ワイヤレスな指輪型のキーボードである FingeRing (フィンガリング) を開発した。FingeRing は、膝や机の上などあらゆる場所で、指先を叩くことでコマンドや文字など多種類のシンボルを高速に入力することができる。本論文では、FingeRing の装着性をより向上させるための、指輪-手首間のワイヤレスな伝送手法を提案する。人間の身体を電気回路の一部として利用する「Body Coupling」方式により、超小型・超低消費電力の送信器を構成できる。また、信号の経路に大地アース (earth ground) を含まない「直接結合」方式を用いることで、送信器の電極部分が小さい場合や、人体と大地アースが接触した場合にも安定した通信が可能である。

Wireless FingeRing: A Body-coupled Wearable Keyboard

MASAAKI FUKUMOTO† and YOSHINOBU TONOMURA†

A really wearable input device "FingeRing" is developed for coming wearable PDAs. By attaching ring shaped sensors on each finger, many commands or characters can be input by finger-tip typing action. Since "FingeRing" can be used on any typing surface such as a knee or desk, quick operation is realized in any situation while standing or walking. To improve wearability, a very small, ultra low power wireless transmitter is developed that uses the human body as part of an electric circuit. "Direct Coupling" method enables stable communication even when body contacts any grounded surface.

1. はじめに

PDA (Personal Digital Assistant: 携帯型情報機器) を持ち歩く理由は、「いつでも・どこでも・すぐに」情報にアクセスしたいからである。持ち運びたいものは、「情報」であり、「機械」ではない。したがって、PDA はできるだけ小さく、軽い方がよい。現在の PDA は、持ち運びたい情報の量に比べて、まだ大きくて重い。半導体技術の進歩とともに、急速に小型化が進むと思われる。バッグの中からポケットの中へ、さらには腕時計サイズへと小型化し、いずれはアクセサリのように身に付けられるようになっていくに違いない。

次世代の PDA としての装着型 (Wearable) コンピュータの研究は、以前から行われてきたが、コンピュータ本体の装着化に比べて、装着使用に適したインタフェースデバイスについての研究は、あまり行わ

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。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、携帯性を高めるための急激な小型化は、操作性の低下を招く危険性がある。たとえば、ボタンを並べるタイプのキーボードでは、キーの間隔を 14 mm 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超小型 PDA 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せず、小型化による操作性の悪化がないデバイスが求められるだろう⁵⁾。

我々は、将来の装着型 PDA 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

† NTT ヒューマンインタフェース研究所
NTT Human Interface Laboratories

の開発を進めている。FingerRing (フィンガリング) は、指輪型のコマンド・文字入力装置であり、膝や大腿部、あるいは机や壁等、あらゆる場所で、指先でのタイピング動作による入力を即座に行うことができる。FingerRing は、各指の付け根に装着した加速度センサによって、打鍵動作を直接とらえるので、キースイッチやキーパッド等を必要とせず、小型化による操作性の悪化がない。これまでに、FingerRing の基本的な機能についての確認を行った⁵⁾。FingerRing では、打鍵面や打鍵強度によらず、安定して打鍵動作を検出できる。操作者ごとの調整も不要である。また、和音(同時)打鍵と順序打鍵を組み合わせることによって、約50種類のシンボルを比較的高速(200シンボル/分)に入力することができる。

現在の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る。常装着使用を可能とするためには、各モジュール間のワイヤレスな通信手法の確立が求められる。本論文では、FingerRingのモジュール間通信の無線化を目指して、各種の至近距離・微弱電力通信手法についての比較を行い、人体に生ずる誘導電流を用いた通信方式(Body Coupling)が適していることを示す。次に、本方式をFingerRingに適用する場合の問題点について述べ、大地アースを信号伝達経路に含まない直接結合(Direct Coupling)方式の提案を行う。

2. 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

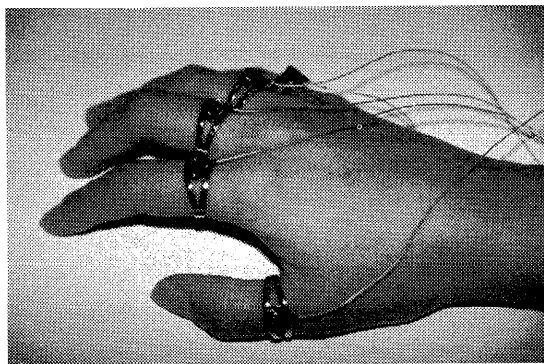


図1 FingerRing (有線版) のセンサ部分
Fig.1 Sensor part of FingerRing (wired version).

動作(以下、「打指」と記する)を行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、打指を行った指の組合せ(片手の5指すべ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、ユーザごとの調整も不要である。

2.1 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。また、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、逆に手掌部を經由して各指の付け根に伝わってくる。したがって、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っている。図2に、各指ごとの打指による加速度の周波

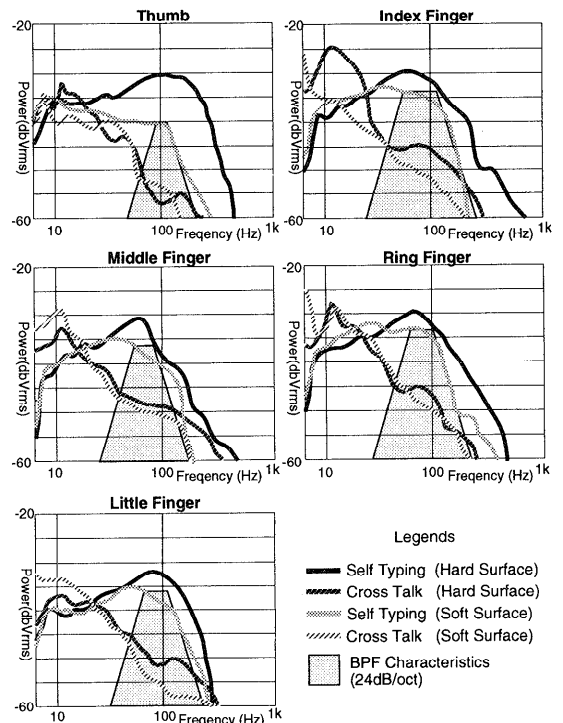


図2 各指の付け根における打指加速度の周波数分布および有効なBPF例
Fig.2 Frequency spectrum of typing acceleration.

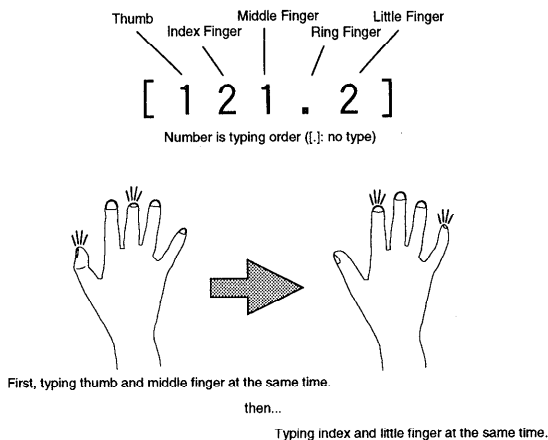


図3 順序併用型和音入力の表記法

Fig. 3 Notation of orderly typing chording method.

数特性を示す。なお、図の「Hard面」および「Soft面」は打指時の打指面の硬さを表す[☆]。この図によれば、各指ごと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分かる。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。

2.2 順序併用型和音入力方式

FingerRing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。そのため、5本の指の打指入力（=5ビット）の組合せから、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。打指の容易な組合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みの場合に比較して、多くのシンボルを同等の時間で入力できる。図3に、順序併用型和音入力方式の表記手法を示す。なお、2打より長い順序入力は、コマンドやファンクションキー、パスワード等として使用できる。熟練者では、最大52種類のシンボルを、200個/分以上の速度で入力できる。

3. ワイヤレス通信

各指の付け根に加速度センサを装着するFingerRing

は、キーボードやキーパッド等、人間の手や指の大きさの制約を受ける機構を必要としない。また、センサや処理装置は、性能を損なうことなく小型化が可能である。したがって、FingerRingにおいては、操作性を犠牲にすることなく、携帯性の向上を図ることができる。将来的には、超小型のセンサを指の背側に張り付けることで、指輪状の保持部さえも不要にできると思われる。

しかし、当初開発したFingerRing（図1）では、各指の付け根のセンサと、各センサの出力を統合するシンボル生成機構の間を電線で接続しているため、小型化による装着性の向上には限界がある。たとえ短い長さであっても、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^{☆☆}。したがって、FingerRingの常装着使用を実現するためには、指輪部分とシンボル生成機構間のワイヤレス化が不可欠だと思われる。本章では、各種ワイヤレス通信方式の比較を行い、次いで、人体を信号伝達経路に用いた通信手法のFingerRingへの適用について検討する。

3.1 至近距離・微弱電力通信方式

ワイヤレスな通信方式には多くの種類があるが、FingerRingへの適用にあたっては、以下の点に留意して選定する必要がある。

- 小型：指の付け根に装着して生活するので、小型化が容易な部品で構成されることが必要。センサ部分込みで直径10mm以内、高さ10mm以内、重さ数グラムが目標。
- 低消費電力：1回の充電で1日（24時間）の使用が望ましい。センサ駆動部分を含めて1mW以下（電源電圧3~5V）。理想は無電源動作。
- 非見通し通信：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。
- 複数個同時通信：複数（通常、各指1個計5個）の指輪からの信号を分離する必要がある。

表1に、各種通信方式の特徴を示す。

光による通信は、高速通信が可能であるが、直進性が強く、見通し外の通信には向かない。また、LEDを動作させるには最低1mA程度の電流を流す必要がある。電波（空中波）は、至近距離であれば周波数によらず見通し外通信が可能であるが、比較的大きな電力を必要とする。音波は見通し外通信に適しているが、

[☆] 本図では、Hard面として肌を、Soft面として大腿部を用いている。

^{☆☆} 手の甲にや手首に処理装置を載せ、メッシュ状のカバーで覆う方法も考えられるが、手首や指の屈伸による電線の伸びを吸収することは難しい。

表1 各種ワイヤレス通信方式の特徴
Table 1 Comparison of wireless communication methods.

method	miniaturization	power consumption	non line-of-sight	multiple link	remarks
optical	B	B	D	A	line-of-sight only
radiowave	C	D	B	A	much power needed
sound (electric)	C	C	A	C	
sound (mechanical)	A	A	A	C	no electric power
magnetic field	C	C	B	B	does not utilize human body
body coupling	A	B	A	A	use body conductivity

[A]:Better / [B]:Good / [C]:Bad / [D]:Worse

電気-音変換器の小型化が難しく、また変換効率もあまり良くない^{*}。磁気結合による通信は、指-手首間の比較的近い距離であれば、比較的小電力で行うことができるが、コイルを巻く必要があるため、指輪や手首部に装着する装置の小型化が難しいうえに、人体の透磁率が空気とほぼ同じであることから、磁力線の集中効果がほとんど期待できない。

これに対して、人体は比較的良好な導体であることが知られている。したがって、人体を電気信号の伝達経路(=電線)として用いることで、ワイヤレスな通信^{**}が行える可能性が出てくる。以上の理由から、我々は人体を信号伝達経路に用いた通信方式(以下、Body Coupling方式)を用いて、FingerRingのワイヤレス化を行うことにした。

3.2 Body Coupling

人体(皮膚表面)は、比較的高い周波数においては良好な導電性を示す。人体を信号伝達媒体に用いた通信には、PAN⁶⁾(Personal Area Network)がある。PANでは、人体表面もしくは近傍に電極を設置し、100 kHz~1 MHz程度のキャリア(スペクトラム拡散)を用いた交流電界を生成して人体に誘導電流を発生させることで、双方向の通信を行っている。図4(a)にPANの模式図を示す。誘導電流による通信を行うためには、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の場合、送受信器はともに1対の電極を持っており、その一方は送受信器の人体近傍側に、もう一方は逆側に設置されている。この場合、回路ループの片側(以下、信号側パス)は、人体近傍に設置した電極(以下、信号側電極)を通じて形成されており、残りの片側(以下、帰還側パス)は、もう一方の電極(以下、帰還側電極)どうしが大地アースを経由して結合されると記述されている。人体に誘導される電流は、信号

側・帰還側双方の結合が強いほど大きくなることから、送受信器の信号側電極は人体に近く、帰還側電極は大地に近い場所に設置するのが最も効率が良い^{***}。同論文では、PANを用いたデバイスの一例として、腕時計や眼鏡の形状が紹介されているが、PANの方式では、手首や顔等に装着可能な小型の装置を作ることは難しいと考えられるが、以下にその理由を記す。

図4(b)に、PANをFingerRingに適用すべく、指輪サイズの送信器を、指の付け根に装着した場合の模式図を示す。この場合、指輪状の信号側電極と人体との結合は十分に行われているが、帰還側電極(送信器のハウジング)の面積が小さく、大地アースとの距離も遠いので、結合(図の'p')は弱くなってしまい、誘導電流がわずかしか生じない。さらに、FingerRingのように、膝や大腿部等の人体表面で打指を行った場合、送信器の近傍はすべて人体で占められ、送信器の帰還側電極と大地アースとの結合はさらに弱くなる。

もう1つの問題点は、人体が大地に触れた場合である。前論文6)では、PAN方式の問題点として、人体(信号側パス)が大地(帰還側パス)に触れた場合、回路がショート状態となるため、受信信号レベルの低下(12 dB)が起きると記述されている。FingerRingにおいては、タイピングの一部は机や壁で行われる(図4(c))。この場合、帰還側電極と大地との距離が近付き、結合が強くなるので、信号の伝達に有利となるように思われる。しかし、机や壁は一般的に大地アースと同様の振舞いをするので、タイピングのために指や手が机や壁(=大地アース)に触れた状態では、満足な通信はできなくなってしまう。これらの理由から、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。

3.3 直接結合方式

ここで、FingerRingの無線化に目的を絞った場合、伝送距離はたかだか指の付け根から手首付近までの

^{*} 微細加工技術(マイクロマシニング)によって、周波数選択性を持つ振動センサと発音体を機械的に構成することで、無電源動作が実現できる可能性がある。

^{**} 正確には、ワイヤレス「に見える」通信。

^{***} 同論文では、靴の中敷きに設置した送受信器が紹介されている。

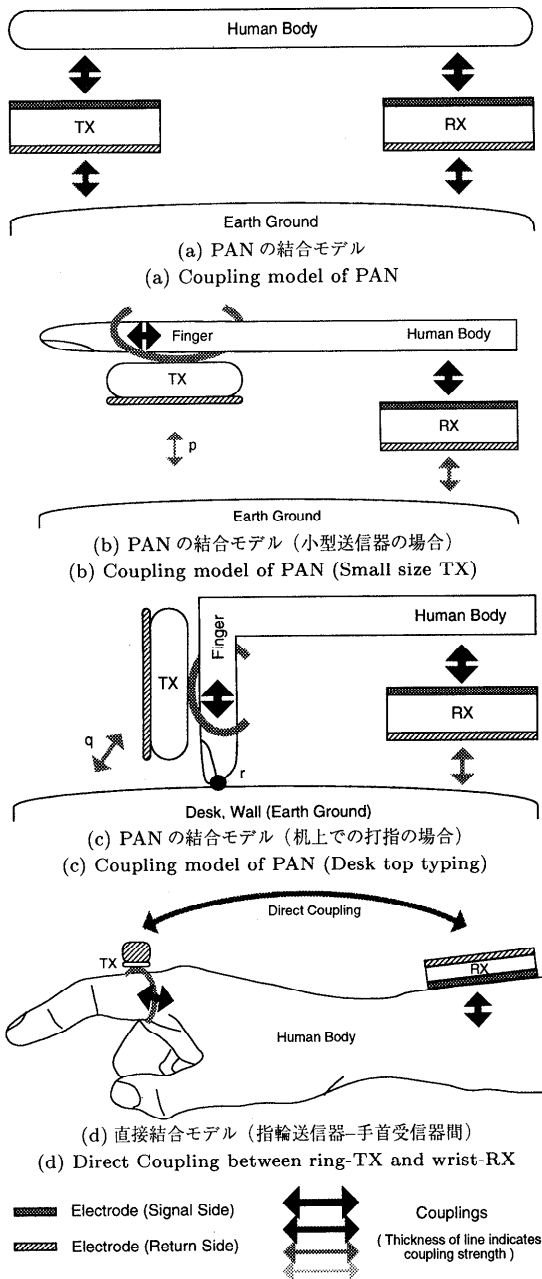


図4 人体を用いた結合モデル
Fig.4 Coupling models by human body.

15 cm 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が考えられる(図4(d))。この場合、大地アースと送信器(もしくは受信器)間の結合は、送受信器間の直接の結合に比べて弱くなる。したがって、送受信器間の結合は人体と大地アースの関係に左右され難く、膝や大腿部でのタイピング(大地アースが遠い)や、机や壁でのタイピ

ング(人体と大地アースが接触)等、大地アースを帰還側パスに含む結合方式での問題点を回避できると考えられる。以下、この方式を直接結合(direct coupling)方式と呼ぶことにする。なお、直接結合方式を用いた場合でも、送信器(指輪)および受信器(手首)の帰還側電極に人体が触れる、もしくは至近距離に接近した場合には、受信感度の低下が起こる。しかし、送信器の帰還側電極を指の背側に、受信器の帰還側電極を手首の外側に配置することによって、双方の帰還側電極への人体の接触の可能性を少なくすることができる。

なお、人体に過度の電流を流すことは、生体組織に悪影響を与える危険性があり、各国で上限値が規定されている。日本(JIS T1001-1992)においては、人体皮膚表面に流すことが許容されている電流値は、 $10\mu\text{A}$ (DC-1 kHz), $100\mu\text{A}$ (10 kHz), 1mA (100 kHz), 10mA (over 1 MHz) である。したがって、人体に電気信号を流して通信を行う場合には、数十 kHz 以上の周波数を用いることが効果的である。

Body Coupling 方式において、人体に誘導される電流の大きさは、主に送信器と人体との結合状態によって変化する。FingerRing の場合、指輪型送信器の指輪部分を信号側電極、ハウジングを帰還側電極としている。この場合、指輪を指の付け根に装着した通常の使用状態においては、皮膚表面に誘導される電流は nA のオーダーとなる。この値は上記制限値の 1/1000 以下であり、人体に対する影響はないと考えられる。送信器のハウジング(モールドされている)に人体が触れた場合に、人体と送信器の結合が最も強く(数 pF) となり、人体に流れる誘導電流は最大 ($3.1\mu\text{A}$) となる*が、この場合においても制限値の 1/30 にすぎず、問題とはならない。したがって、Body Coupling 方式は、人体に対して悪影響を及ぼさないと考えられる。なお、Body Coupling 方式においては、電極と人体は DC 的には絶縁することができるので、電極の金属部分を皮膚に接触させる必要がなく、金属アレルギー等の心配はない。

4. Wireless FingerRing

本章では、直接結合方式を用いた FingerRing の無線化の手法を示す。

4.1 変調方式

FingerRing の指輪型送信器には、

- 超低消費電力
- 多チャンネル同時通信

* キャリア周波数 100 kHz, 送信出力電圧 50 Vp-p の場合。

表2 5指のキャリア周波数
Table 2 Example of TX carrier freq.

Finger	Carrier Freq. (kHz)
Thumb	50
Index finger	58
Middle finger	67
Ring finger	78
Little finger	91

であることが要求される。

部品点数が少ない（低消費電力化が容易）、かつ複数チャンネルの使用が容易な変調方式としては、周波数変調（FM）があげられる。FingeRingにおいては、加速度センサの出力をアナログ伝送し、ほとんどの処理を受信器側で行うことで、送信器部分の回路の簡略化および小型低消費電力化を図ることとした。今回作成したプロトタイプでは、部品点数の削減のために、Timer IC (555) を用いてFM変調を行っている。この方式は歪みが大きいという問題があるが、FingeRingにおいては、伝送帯域はたかだか数十～数百Hzであり、また変調度も浅いので影響はない。なお、キャリアの周波数は、高調波による混信を避けるために、50～100kHzの間に5波を配置した。表2に各指のキャリア周波数を示す。

4.2 指輪型送信器

発振器の出力振幅（5V_{p-p}程度）を増幅することは、通信可能距離を伸ばすうえで効果的である。前述のPANにおいては、LCによるレゾネータを用いることで、電圧振幅を増大させている（5V→30V_{p-p}）。しかし、レゾネータを単体で動作させるにはある程度の電流を流す必要があり、低消費電力化が特に要求される指輪型送信器には適さない。FingeRingでは、チョークコイルとLCレゾネータの組合せによって、3～5V_{p-p}の発振器の出力振幅を、50V_{p-p}程度に増幅している。チョークコイルとレゾネータの併用によって、レゾネータのみの場合に比べて、少ない消費電力で大きな電圧振幅を得ることができる☆。

指輪送信器の信号側電極は、指輪（ring）部分をそのまま利用しており、人体との結合性を高めている。また、送信器のハウジングを帰還側電極として用いることで面積を増やし、帰還側パスの結合を高めている。なお、両電極とも、絶縁体でモールドされており、金属部分が人体に接触することはない。なお、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

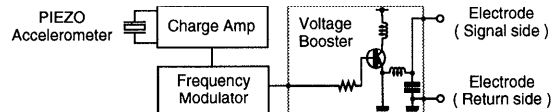


図5 FingeRing 指輪型送信器のブロック図
Fig. 5 Block diagram of FingeRing (TX).

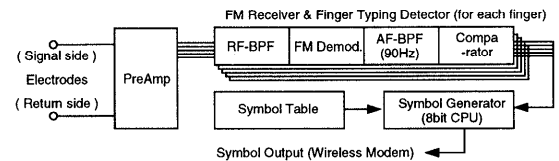


図6 FingeRing 手首受信器のブロック図
Fig. 6 Block diagram of FingeRing (RX).

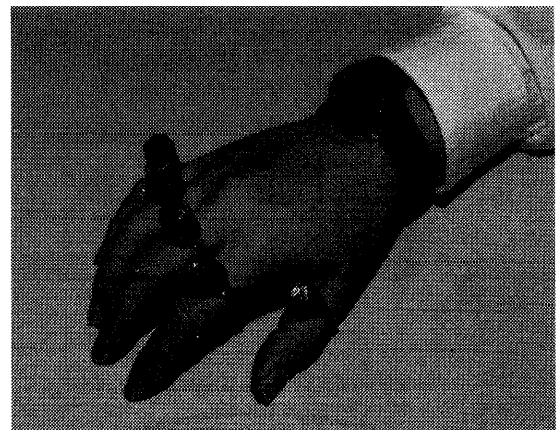


図7 ワイヤレス FingeRing (指輪センサおよび受信器電極部分)
Fig. 7 Wireless FingeRing (Ring-TX and RX (Electrode)).

層コンデンサ（5V, 0.22F）を用いた。図5に送信器のブロック図を示す。

4.3 手首受信器

受信器およびシンボル生成機構は手首部分に装着する☆☆。信号側電極は手首バンド皮膚側に、帰還側電極はハウジング上部に設置した。受信器では、各指のキャリアを分離し、センサ信号を復調した後、BPFによる打指周波数の分離および閾値処理を行い、各指ごとの打指の有無を検出する。その後、打指パターンに応じてコマンドや文字を生成し、ホスト計算機に送出する（微弱無線モデムを使用）。受信回路のブロック図を図6に、送受信器の外観を図7に示す。

☆ 同一電圧振幅を発生させた場合の消費電力は、レゾネータのみの場合に比べて50%以下。

☆☆ 受信器の電極部分のみを手首に設置し、シンボル生成機構を分離することも可能。

5. 評価と課題

5.1 ワイヤレス FingerRing

送信器（ハウジング部）の大きさは直径 13 mm、高さ 17 mm であり、体積比で目標値（直径 10 mm、高さ 10 mm）の 2.8 倍である。また、送信器 1 個あたりの消費電力は 1.75 mW（5 V、0.35 mA）であり、1 回の充電（2 分）で、約 30 分の連続使用が可能であった。

現在の送信器は汎用の素子を使用しているが、専用素子を製作、または COB（Chip on Board）法等を用いてダイを直接マウントすることによって、目標の大きさを達成することができると思われる。また、消費電力の点では、ほぼ満足な結果が得られた。この値はセンサ駆動回路や変調装置等のすべてを含めたものであり、Body Coupling 方式の超低消費電力性が確認できた。

連続使用時間については、現在のところ、目標値（24 時間）のわずか 1/48 にすぎない。これは主に、電気二重層コンデンサの容量不足によるものである。現在使用している電気二重層コンデンサの構造は、ボタン型のセルを 2 個重ねたものであり、各セルの正極付近の空間に無駄が多い。セルの形状を見直すことで、容量を 2 倍程度（1 時間の連続使用）にすることが可能だと思われる。なお、現在の送信回路では、打指が行われていないときにもキャリアは送信されており、無駄に電力を消費している。打指時のみ送信を行うような機構を用いることによって、飛躍的に使用時間を延ばすことが可能だと思われる。しかし、立ち上がり時の発振の不安定さや、打指の検出タイミングの遅れ等の問題を解決する必要がある。

大地アースによる受信感度の減衰は、身体の上に手を置いた場合に 3.7 dB、手を床（大地アース）に接触させた場合に 4.2 dB であった^{*}。どちらの場合も良好に通信を行うことができ、直接結合方式の有効性が確認された。

5.2 非接触充電

現在の送信器は、ハウジングの充電端子にバッテリーを接続することで充電を行っている。しかし、日常生活における使用を考えた場合、機器の防水対策は必須であり、このためには、本体の密閉構造化とともに、非接触の充電手段を考えなくてはならない。代表的な非接触充電方法には、電磁誘導や太陽電池がある。電磁誘導による充電は、比較的大電力を供給することが可能であるが、原理的に交流結合であり、交流 →

直流変換時のリップル低減のために大きなコンデンサを必要とするために、小型化には向かない（電気二重層コンデンサは、リップル吸収には向かない）。太陽電池による充電は、直流発電かつ外付部品が不要である等の利点があるが、現在の技術では、直径 10 mm の円盤状の単結晶シリコン太陽電池では 4 V、2.5 μ A（室内光 500 lux 時）程度の発電能力しかない。仮に、真夏の太陽光程度の強力な光源（110,000 lux 程度）を用いた充電スタンドを用いた場合でも 4 V、0.54 mA 程度であり、短時間で充電を行うことは難しい。太陽電池の発電能力が現在の 10 倍程度になれば、充電スタンド方式が実用になると思われるが、室内光による常時充電は望み薄である。

5.3 通信距離の延長

現在のワイヤレス FingerRing の通信可能距離は約 20 cm である。通信距離を延ばすには、(1) 送信電圧を上げる、(2) 送受信電極（特に帰還側）を大きくする、(3) 受信感度を上げる、等の手法がある。しかし、いずれの手法も、低消費電力と小型化が求められる送信器に適用するのは容易ではなく、また受信感度を過度に上げるとノイズに弱くなってしまふ。さらに、送受信器の距離を長く離すと、両帰還電極間の直接結合が弱まり、大地アースの影響を無視できなくなる。通信距離を大幅に延ばすには、直接結合以外の手法を考える必要があるだろう。

5.4 複数機器の同時使用

現在のワイヤレス FingerRing は、指ごとに別のキャリア周波数が必要である。現在の方式では、20 チャネル程度の確保が限界であり、多人数での同時使用の場合に混信を起こす恐れがある。キャリア周波数の範囲を広げることは、高調波や複数キャリアのビートによる混信の危険性があり、容易ではない。たとえチャネル数を増やせるとしても、CR、Xtal 等の定数によってチャネルを設定する方式では、衝突が起こった場合の回避が困難である。

FingerRing においては、受信器の至近距離にペアを構成する送信器が位置し、干渉原因となる他の送信器は、ペアとなる送信器より遠い位置にある。この場合、FM のマスキング特性によって、ペアとなる送信器が動作中には、他の送信器からの干渉は無視できるが、ペアとなる送信器が停止したときに、他の送信器からの干渉を受けてしまふ。この場合、各送信器ごと、あるいは 1 人分の送信器群に対して固有の ID 番号を付与し、重畳して送信された ID 番号を受信器で識別することで、チャネル数をあまり増やさずに、他の送信器からの干渉を避けることができると考えられる。こ

^{*} 手を空中に延ばした状態を基準とした場合。

の場合、回路規模を大きく増やさずに可能な、IDの付与および送信信号へのIDの畳み込み手法の開発が必要である。

なお、現在のワイヤレス FingeRing では、50～100 kHz の間のキャリアを用いている。これは主に使用している素子（汎用 Op-Amp）の性能によるものである。専用素子の開発等によって、より高いキャリア周波数を用いることができれば、人体への影響を少なくできる（高周波ほど許容電流が大きい）うえに、インバータ機器等からのノイズによる干渉をおさえられると思われる。

6. おわりに

本論文では、将来の装着型 PDA のために開発されたコマンド・文字入力装置である FingeRing に対し、装着性を高めるために不可欠な、各センサ部とシンボル生成機構間のワイヤレス通信に対する検討を行った。その結果、至近距離微弱電力通信の手法としては、人体を電線に見立てて信号伝送を行う Body Coupling 方式が有効であることが分かった。また、Body Coupling 方式において、送信器の帰還側電極のサイズが小さい場合には、信号の帰還側パスに大地アースを含まない直接結合方式が有効であることが示された。直接結合方式は、人体と大地アースが接触した場合にも、安定した通信を行うことができた。送信器（プロトタイプ）の消費電力は 1.75 mW であり、2 分の充電で、約 30 分の連続使用が可能であった。なお、通信可能距離は 20 cm であった。

なお、ワイヤレス FingeRing を用いた応用例として、合成音声によるテキスト読み上げ（ワイヤレスイヤホン使用）と組み合わせた、歩行中利用も可能な電子手帳風データビューワを構築し、コマンドに対する打指パターンの割当てや、メニュー構造、ならびに音声フィードバック手法等の評価を進めている。また、ピアノやドラム等の音楽演奏用途への応用も同時に進めている。

今後は、送信回路の改善を行い、消費電力の低減によって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いたい。また、学習性を考慮した打指パターンの割当てについても検討を行う予定である。

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, 計測自動制御学会 HI 部会, pp.5-8 (1991).
- 5) 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).
- 6) Zimmerman, T.G.: Personal Area Network (PAN): Near-Field Intra-Body Communication, Master's thesis, MIT Media Lab. (1995).

(平成 9 年 6 月 30 日受付)

(平成 10 年 3 月 6 日採録)



福本 雅朗 (正会員)

1964 年生。1988 年電気通信大学電気通信・応用電子学科卒業。1990 年同大学大学院修士 (電子) 課程修了。同年日本電信電話 (株) 入社。以来、各種インタフェースデバイスの研究に従事。現在 NTT ヒューマンインタフェース研究所映像処理研究部研究主任。電子情報通信学会、計測自動制御学会 (ヒューマンインタフェース部会) 各会員。



外村 佳伸 (正会員)

1956 年生。1981 年京都大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社 (現 NTT) に入社。以来画像を中心としたメディア変換装置の研究・開発、映像ハンドリング技術の研究、マルチメディアインタフェースの研究に従事。1987～1988 年米国 MIT メディア研究所客員研究員。現在 NTT ヒューマンインタフェース研究所映像処理研究部主幹研究員。IEEE, ACM 各会員。