

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月1日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500108

研究課題名（和文） ユビキタス環境における常時装着小型入出力装置に関する研究

研究課題名（英文） Research on a small wearable input/output device used in ubiquitous environment.

研究代表者

赤池 英夫 (AKAIKE HIDEO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号：00262379

研究成果の概要（和文）：

いつでもどこでも、様々な情報にアクセスできるユビキタス環境の到来が予想されている。移動性や携帯性に乏しい旧来のPCの入出力機器の代わりとして、常時装着する指輪型の入出力装置について研究した。利用者の意図に基づくタイミングで即座に指示を与えられることはできたが、受信したメッセージへの応答には不向きであった。また、種々のアプリケーションに対する統一された操作法についても提案した。

研究成果の概要（英文）：

The advent of the ubiquitous environment is expected, which people can access various information anytime anywhere. Toward such future, I researched a finger ring shaped input/output device with which I substitute conventional personal computer's I/O. I concluded that the device has an advantage in doing user intended operation in terms of time except for responding incoming messages. And I proposed an unified control method for the system and various application software using the device.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：ウェアラブル機器、ユビキタス環境、ユーザインタフェース

1. 研究開始当初の背景

パーソナルコンピュータ(狭義の計算機、以下PCと略)だけでなく情報家電(広義の計算機)を加えると、身の回りの計算機の台数は増加の一途を辿っている。これらの連携は緩やかなものであるが、やがては緊密な情報交換のもと、いわゆるユビキタス環境を形成し、意識的あるいは無意識的に様々な情報へと

アクセスできるものと考えられた。

現在でも、PCにはキーボードやマウス、液晶ディスプレイなどが主に使われているが、これらの装置はユビキタス環境へのインタフェースには必ずしも適していないと考えた。その原因のひとつとして、環境に対するアクセスパターンの豊富さがあげられる。たとえば、環境にアクセスするための装置を

携帯するか否か、アクセスの継続時間の長短、やり取りするメッセージの多寡、アクセスが非同期的に発生するか否か、といった項目の様々な組み合わせが考えられることに対して画一的なインターフェースで対応することに無理があると考えたためである。

そこで、ユビキタス環境において頻出すると予想される、非同期的に発生し、短時間に完了する、比較的少量のメッセージ交換を対象とし、それに適した入出力装置の模索が本研究の動機である。ただしここで「メッセージ」とはメールの本文のようなデータそのものだけでなく、ユビキタス環境やアプリケーションへの指令も含む。

なお、環境側が画像や音声の認識を行い、利用者の意図を検出する受動計測方式もあるが、研究開始当初は、近年では入手可能な安価な認識装置システムが利用できなかったため、ユビキタス環境にはこの手段を含めないこととした。

2. 研究の目的

研究開始当初の背景で述べた、ユビキタス環境におけるメッセージ交換に適した入出力装置を実現するためには、装置は身体で最も自由度の高い手指での操作を前提とすること、常に身に付けられること、片手でも操作しやすいこと、操作を行わない時には手指の通常の動作を妨げないことといった要件を満たすことが望ましいと考えた。そのためいくつかの候補の中から、非利き手の人差し指に装着し同手の親指で操作する指輪型装置の使用を選択した。

研究開始当初、ユビキタス環境における使用を念頭に置いた、利用可能な既存装置が存在せず、そのような指輪型装置の実現法自体も研究の目的とした。同じく、指輪型装置に対する操作を前述のメッセージ交換に対応づけるための作法、すなわち操作体系も自明ではないため、これの中・長期間の試用を通して確立し、さらに複数人の被験者を用いた実証実験を通してその有効性を示すことを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

(1)ユビキタス環境を模擬する計算機(「模擬端末計算機」と呼ぶ)を用意し、指輪型装置を作成する。これらの間は赤外線を用いて通信する。

①模擬端末計算機の準備

赤外線送受信素子およびマイクロコントローラなどから構成される赤外線送受信装置を作成しシリアル回線を介して PC と接続する。なお、使用場所に対する制限を緩和するために模擬端末計算機にはノート型 PC を利用する。

②指輪型装置の作成

以下の基本機能を有する装置を作成する。なお、本研究では常時装着を原則とするため当初から小型部品(電源を含め)を用いて製作する。

- ・入力機能: 親指による回転および押下操作を可能とする。具体的な実現法は使用するセンサーに依存するが、最初の版としては複数個のスイッチを用いたものとする。

- ・出力機能: 発光素子と圧電素子あるいは偏心モータによる視聴覚的、触覚的フィードバックを可能とする。

- ・通信機能: 模擬端末計算機との赤外線による低レート(数百ビット秒)通信を可能とする。多くの家電で利用されている NEC フォーマットを採用する。

- ・記憶機能: 模擬端末計算機あるいは他の指輪型入出力装置からの情報を部分的に保持可能とする。これには本装置のマイクロコントローラ内の不揮発メモリを利用する。

(2)模擬端末計算機と指輪型装置を用いて、あらかじめ設定された非同期に発生する小さなタスクに対する応答としてメッセージの交換を行い、その様子を記録・解析し、装着した入出力装置の特性を調べる。タスクのレパートリーは漸次増やす。模擬端末計算機の画面に特定の図形が現れたら指輪型装置を押すといった単純なタスクはよいが、複雑なタスクとなると単なる回転や押下だけでは対応できない。そこで基本操作の組み合わせやバリエーション(回転速度の調節、押下時間、ダブルクリックなど)による対応を検討する。さらに出力機能との組み合わせを考慮するなどして操作体系を作り上げる。また、操作記録の解析から得られた知見をもとにハードウェア、ソフトウェア両面の改良を随時行う。

(3)考案した操作体系の有効性を複数人の被験者による実証実験を通して示す。

4. 研究成果

まず、以降ユビキタス環境を単に「環境」、本研究で作成している指輪型装置を「提案装置」と呼ぶ。また、本研究で重視している特性に「即時性」と「即応性」がある。前者は非同期に生じる利用者の意図に基づき遅れなくメッセージが発信できればできるだけ高く、後者は環境からの通知に対し速やかに反応できればできるだけ高くなると定義する。

以下、提案装置の実装、即時性・即応性に対する検討、提案装置を用いた操作体系の検討について述べる。

(1)提案装置の実装について

①入力機能：初版としては小型のタクトスイッチを並べたものを使用したが基部から5mm程度の高さとなり長時間の使用には不向きであった。そこで、銅薄膜と絶縁体シートを用いて形成した電極間での通電の検出および銅薄膜に対する静電容量の変化を検出する方式について調査した。後者は構成が容易であるが、不用意な接触により誤操作を引き起こすこと、触覚によるフィードバックに欠けることから前者の方式に決定した。最終的には4つの独立した電極を持たせた。

②出力機能：初版ではLEDを点滅させることで環境からの情報を提示していたが、(2)で示されるように、もっぱら視覚に頼ることになり即応性に乏しくまた非効率であったため、小型の偏心モータによる触覚と圧電ブザーによる聴覚への出力に切り替えた。しかし提案装置のサイズの制限から通信機能および電源とともに腕時計型装置への分離を検討し試作した。

③通信機能：指差しにより対象を指定でき、適当な距離(数m程度)の通信が可能であることから、初版で用いた赤外線通信方式を採用した。また、最終的には出力機能を省略したため提案装置から環境への一方的な通信機能のみを持たせることとした。

④記憶機能：本研究では、特に利用されることがなかったため、提案装置のマイクロコントローラ内の不揮発性メモリ(100B程度)の利用にとどめた。

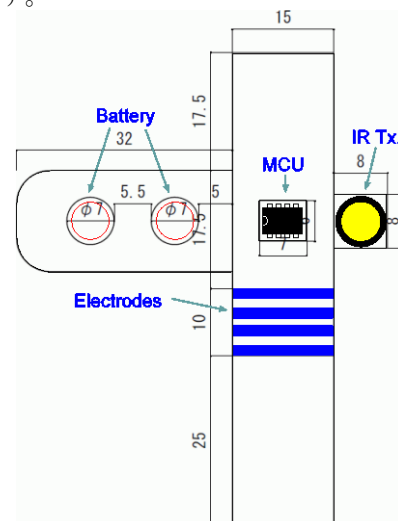
⑤電源：小型の太陽電池や環境発電モジュールの利用についても検討したが、最終的には小型のアルカリボタン電池(公称電圧1.5V、公称容量110mAh)を2つ使用した。しかし、日中は常に使用の可能性あることを考慮し、二次電池を就寝中に充電し使用することが望ましい。ただし、利用頻度および一回あたりの通信量、入出力機能と記憶機能のための電力に依存する。

⑥ソフトウェア：提案装置上で動作するプログラムとしては、主に入力状態を模擬端末計算機に送信し、模擬端末計算機からのコマンド(出力指定、装置設定の記憶など)の解釈を繰り返し実行するだけのものでよい。ただし、本研究では非同期に発生するメッセージ交換を対象としているので、提案装置は基本的に低電力消費状態で待機し、入力状態の変化およびタイムベースの定期的な通信ポーリングなどイベント駆動型のソフトウェアを記述できるプログラミング言語の利用が望ましい。

⑦指輪状基部：利用者の装着指の採寸を行い全体の寸法を決定後、アクリル樹脂を削りだすことで作成した。初版では円状のパーツを複数積層して指輪形状を構成していたが、サイズが固定され遊び分がなく長時間の使用に対し装着感の悪化を招いた。そのため最

終的には全体を展開して得られる板状のパーツを切り出し、加熱による折り曲げ加工によりサイズ調整を可能とした。また全体形状は搭載する機能により設計しなおした。

一般に、ウェアラブル機器は通常のPCなどと比べ、入出力の性能や機能が制限されている。しかし、入力と出力の制限の程度は必ずしも同じではない。眼鏡型機器であれば十分な情報提示(出力)が行えるものの、コマンドやその対象の指示(入力)にはジェスチャーや音声などを利用することとなり、低入力レートであったり利用の場に制約を受けたりする。また、腕時計型機器には適度な入出力機能を付与できるが、やはり一定以上の詳細度を持つ情報の閲覧や高レートの入力は難しい。あるいは、たとえばイヤリングのような装飾品型機器は入出力機能ともに制限が強く、もっぱら雰囲気を与えるような用途に適していると考えられる。提案装置も装飾品型の一つであるものの、装着部位が手指であることから入力機能の提供が主となっている。逆に、出力機能に関しては提案装置のサイズの制約から十分な情報を提示できない。たとえば新規メールの受信や各種SNSアプリケーションに関する新たな書き込みを知らせることはできてもそれ以上の詳細は分からず、結局、環境への通常のアクセスが必要となるため即応性に劣る。(2)の結果も踏まえ、最終的に提案装置からは出力機能を省略し、代わりに環境との連携を図ることとした。最新版の提案装置の展開外観図を以下に示す。



なお、当初は複数人のための装置を作成しデータ収集を行う予定であったが、装置製作の大半が手作業によるものであったため準備が間に合わず、研究代表者のみの試用に留まってしまった。現在、とりわけ指輪状基部の寸法の違いを初期の工程で吸収するために3Dプリンタの利用を計画している。

(2) 即時性および即応性に対する検討

現在、ユビキタス環境の構築には、スマートフォンのような多機能で高性能な通信機器によるもの、あるいは実環境に散在させた情報端末によるものが想定されている。いずれの構築法によっても、メッセージの発信のためには大別すれば、機器に物理的にアクセスするための時間(Ta)、所望のメッセージを発信するためのアプリケーションを起動あるいは選択する時間(Tb)、操作時間(Tc)が必要であり、さらにメッセージの受信のためにはメッセージの到着に気付く時間(Td)を要する。これらの総和 $Ta+Tb+Tc$ が小さければそれだけ即時性が高く、 $Ta+Tb+Tc+Td$ が小さければ即応性にも優れていると言える。

まず Ta に関して、スマートフォンであればすでに把持している場合を除けばポケットあるいは鞆などから取り出すための数秒程度、情報端末ならそこに歩み寄る可変の時間となる。一方、提案装置は常時装着しているためほぼ 0 である。

次に Tb に関しては環境側のシステム構成により大きく異なるものの、通常はメニューあるいは表示されているアプリケーションアイコンに対する選択時間となる。タッチスクリーンなどを備えるスマートフォン、情報端末の双方とも画面上の複数のアイコンからなるページの選択、目的のアイコンを押下することとなり、アプリケーションの利用頻度が均等と仮定すれば Hick-Hyman 則に従った時間となる。提案装置を用いた場合、基本操作(3)で導入が少ないためさらに遅くなるが、定量的には環境側の構成に依存する。

さらに Tc であるが、本研究では短時間に完了する比較的少量のメッセージ交換を対象としているため、たとえばアプリケーションがメールであれば、長文に渡るテキスト入力などは扱わず、もっぱら閲覧、定形メッセージの作成と発信、転送、破棄、新規メールの到着確認などの操作に要する時間となる。提案装置における Tc を求めるために、模擬端末計算機にランダム順に示される提案装置に対する基本操作の完了時間を計測した。研究代表者の場合、どの基本操作も 0.5 秒程度であった。これは提案装置の基本操作の種類が少なく想起時間が短いこと、親指のみによる瞬間的な物理動作であることによる。これに対してスマートフォンや情報端末であれば、アプリケーション毎に異なるメニューあるいはボタンといった GUI 部品の操作となり数秒～十数秒となる。

以上は利用者の意図によるメッセージ発信に対する即時性の指標となる操作時間であるが、環境が提示するメッセージ受信に対する応答性を調査するために、10～60 分の

ランダム時間経過後、模擬計算機にランダム順に提案装置の基本操作が提示されてから応答するまでの時間を T_d として計測した。また、この実験中には日常的な作業を行うものとした。提案装置の出力機能に触覚あるいは聴覚を刺激する素子を用いた場合は当然ながらほぼ瞬時に応答できるものの、LED の点滅などを用いた場合には行なっている応じた遅延が生じ、 T_d の値としては平均(研究代表者では 180 秒程度)、分散(同、120 秒程度)ともに大きくなった。

まとめると、提案装置は Tb、Tc を減らすことで即時性に優れる可能性はあっても、即応性に関しては T_d に影響を与える実装上の要素に依存し、次のアクションを起こすために必要な詳細な情報を知るにはやはり環境を経由することとなるため劣っていると結論した。

なお、今後 Tb、Tc に対しては種々のアプリケーションを対象に、 T_d に関しては複数人の被験者を対象に計測する予定である。

(3) 提案装置を用いた操作体系の検討

提案装置の最終的な実装には、圧力を加えることで通電する独立した4つの電極(e1～e4)を入力機能に使用した。

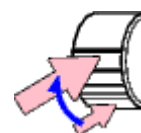
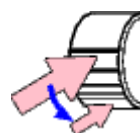
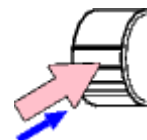
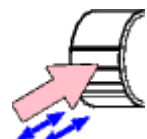
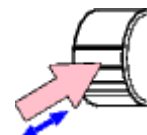
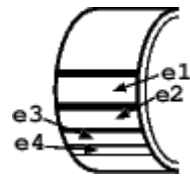
これを同手の親指の腹で押下することとなるが、可動範囲の都合から指の周方向の距離が短く(研究代表者では 10mm 程度)、4つの電極を押し分けることは困難であった。そこで以下の5つの操作のみを扱い、これを提案装置に対する「基本操作」と呼ぶこととした。

クリック：いずれかの電極を通電する操作。ただし他の操作と判定されない場合に限る。

ダブルクリック：同一電極かそれに隣接する電極を短時間(今回は 0.2 秒)に二度通電する操作。

ホールド：いずれかの電極が通電してから、一定時間(今回は 0.8 秒)同一電極かそれに隣接する電極を通電し続ける操作。

スライド：一方の端から他方の端に向かって短時間に電極を通電する操作。向きを考慮し、下スライド(e1→e4)と上スライド(e4→



e1)を区別する。

基本操作を使いメッセージ交換を実現することを考えた。基本操作は5種と少ないため、環境自体あるいは個々のアプリケーションが提供する全ての機能を使用することはせず、利用頻度の高い機能との対応付けを行うこととした。これは、提案装置は非同期に発生し、短時間に完了する少量のメッセージ交換のみの使用に限定し、この要件を満たさない場合は直に環境にアクセスすることとしたからである。

まずは、環境およびメールソフト、twitter、音楽プレイヤーなど個々のアプリケーション毎に機能との対応付けを考案していった。しかし、たとえばメールソフトであれば個々のメールが、twitter ではツイートが一次的に並んでいるとみなして、その間の移動を共通して上下スライドに割り当てることができるものの、他の基本操作とそれらのアプリケーションの機能の割り当ては自明ではない。そこで、基本操作は環境および個々のアプリケーション毎にすべてカスタマイズすることも検討したが、利用者はあらゆる対応関係を記憶する必要があり適切ではない。

現在暫定的に、クリックを決定、スライドを多肢選択、ホールドをメニュー呼び出しに割り当て、ダブルクリックのみをカスタマイズ可能とした。たとえばダブルクリックにより、環境がトップレベルメニューを表示している状況では最もよく使用されるアプリケーションを起動させたり、twitter クライアントが動作している状態では選択しているツイートをリツイートさせたりすることなどが行える。これはいわゆるショートカットであるが、(2)における Tb、Tc を減少させることになり即時性を向上させる。

しかし、未だ体系と言えるものは確立しておらず、複数人の利用者による参加型設計による割り当てを検討している。また、スライド直後にホールドすることで連続した多肢選択を行えるようにしたり、ダブルクリックを連続することで複数個のカスタマイズを行えたりするように、基本操作を組み合わせた「拡張操作」についても検討している。

さらに、環境あるいはアプリケーションの既存のインタフェースには、提案装置では直接扱えない機能、非常に手数の必要な機能なども含まれる。そこで現在、既存のインタフェース上に提案装置向けのインタフェースを被せるようなプロキシソフトウェア(たとえば Java 言語の Robot クラスなどを利用して)などの検討も行なっている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

なし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤池 英夫 (AKAIKE HIDEO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号：00262379