

Ubi-Finger : モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究

塚田 浩二[†] 安村 通晃[†]

本研究ではモバイル環境において、手指のジェスチャを用いて情報機器や情報家電機器の操作を実現する指装着型のウェアラブルデバイス Ubi-Finger を提案し、実装および評価を行った。ジェスチャは誰もが利用できる日常的なコミュニケーション手段であると同時に、身体性をともなった直感的な入力が可能であるという利点を持っており、これまでも主に Virtual Reality などの分野で積極的に利用されてきた。一方、コンピュータの利用分野はモバイル環境やユビキタス環境など、実生活全般に大きく拡大しつつある。Ubi-Finger はこれらの新しいコンピューティング環境に適した、小型でシンプルなジェスチャ入力デバイスである。我々は実世界のさまざまな機器をシンプルなジェスチャにより直感的に操作できる Ubi-Finger のプロトタイプシステムを実装した。また、具体的なアプリケーションとして、ライトやテレビなど、実世界のさまざまな機器を「指差す」ことで特定し、手指を用いたシンプルなジェスチャで対象の機器を操作できる応用例や、ノートパソコンの入力支援、プレゼンテーション支援などの応用例を試作した。さらに、システムの利用評価を行い、ジェスチャを利用した実世界機器操作の有効性を確認し、本研究の将来的な方向性を示した。

Ubi-Finger: Gesture Input Device for Mobile Use

KOJI TSUKADA[†] and MICHIAKI YASUMURA[†]

We have proposed a novel interface in mobile environment called “Ubi-Finger” that realizes sensuous operations for PDA and information appliances by gestures of fingers. In this paper, first, we propose the concept of “Ubi-Finger: Gesture Input Device for Mobile Use”. This concept enables users to sensuously control various devices in the real world. Since gestures are usual methods of non-verbal communications and enables sensuous operations for users, many researches on them carried out especially in the field of Virtual Reality. In the meanwhile, the uses of computers have rapidly extended to the daily life, such as mobile computing and ubiquitous computing. Ubi-Finger is a gesture-input device, which is simple, compact, and optimized for the new computing environment. Second, we develop prototype systems based on the concept that can control real-world devices with simple and natural gestures. Third, we develop some applications to control devices in the real world. Using our systems, a user can detect a target device by pointing with her/his index finger, then control it flexibly by performing natural gestures of fingers. Fourth, we evaluate the system performance and usability, and confirm the possibility of practical use. Finally, future prospects of the proposed concept and the prototype systems are discussed.

1. はじめに

1.1 背景

近年、コンピュータの小型化・高性能化には目を見張るものがあり、その利用分野はモバイル環境や情報家電など、実生活全般に大きく拡大しつつある。それにともない、実世界全般での利用を想定した新しいユーザインタフェースの研究がさかんにになっている。

ノートパソコンや PDA などの携帯情報機器を利用したモバイルコンピューティングは、空間内の特定の

場所にしばられずコンピュータを利用できるという大きな質的变化をもたらした。このような状況では従来のデスクトップ環境とは異なる、小型化しても使いやすい入力インタフェースが必要である。

Mark Weiser はコンピューティング環境の未来の姿として、多数の、しかも多様な形態の情報機器群が有機的に協調しあう世界 Ubiquitous Computing というビジョンを描いた¹⁸⁾。そのビジョンの具現化の1つが、各家庭への情報家電機器の普及である。近い将来各家庭内にコンピュータやネットワークが普及すると考えられており、各種の家電製品もネットワークで結合された情報家電機器となると予想されている。そうした状況においては家電機器が高性能化・多機能化する

[†] 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
Graduate School of Media and Governance, Keio University

る反面、物理的なインタフェースが消失し、家電操作はより複雑になると考えられている。各機器ごとに異なる操作を習得するのはユーザに大きな負荷を与えることになるため、多様な情報家電機器をできるだけ分かりやすく、統一の操作で利用できるインタフェースが望まれる¹¹⁾。

本研究では上述したようなモバイルコンピューティングや情報家電機器制御に適した手段として、手指を用いたジェスチャ入力に着目し、自然なジェスチャを用いてモバイル環境の情報機器や情報家電機器の操作を実現する指装着型のウェアラブルデバイス Ubi-Finger を提案し、実装および評価を行った。

1.2 ジェスチャ入力

一般に意志や感情の伝達においては、言語以上に非言語的手段の役割が大きいといわれている¹²⁾。身振り、手振りなどのジェスチャはその代表的なものであり、相手に伝えたいことを直接身体で表したり、コミュニケーションのメタ調節を行ったり、と潤滑な意思伝達を助ける役割を持っている⁹⁾。こうした動きは言葉の通じない異国人の間の会話だけでなく、日常の対話の中でも積極的に活用されている。

このようにジェスチャは有用で多くの人が自然に利用できるコミュニケーション手段であり、身体性をもたう直感的な入力が可能であることから、特にアーティフィシアルリアリティ (Artificial Reality) などの没入型システムにおける入力インタフェースの実現手法として多数利用されてきた^{10),19)}。また、近年こうした没入型システムにおける利用に加えて、より汎用的に利用可能な小型のジェスチャ入力デバイスの研究^{1),2),6),13)}もさかに行われている。一方、我々のアプローチはモバイル環境や情報家電機器制御などの特定の目的に焦点を絞り、そうした日常的な場面で誰もが容易に使えるデバイスを目指すものである。なお、上述した個々の研究については6章、関連研究で説明する。

2. Ubi-Finger

Ubi-Finger はモバイル環境でジェスチャ入力を行い、実世界の多様な機器操作を実現する小型の指装着型ウェアラブルデバイスである。Ubi-Finger の主要なコンセプトは以下の3点である。

- (1) 手指のジェスチャを用いた感覚的な入力・操作
- (2) モバイル環境に適したウェアラブルデバイス
- (3) 多様な機器操作を共通のインタフェースで実現

ここでは Ubi-Finger のコンセプトを詳しく紹介し、それらを実現するための問題点を検証し、実装の方針

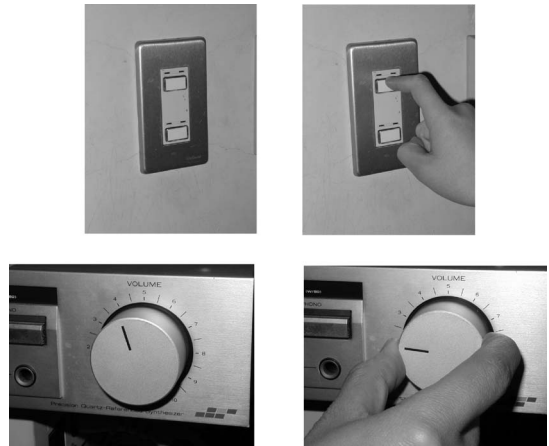


図1 実世界機器の持つアフォーダンス。上：部屋の照明のスイッチを「押す」、下：ボリュームつまみを「回す」

Fig. 1 Affordance of the real-world devices.

を述べる。

2.1 ジェスチャによる実世界機器操作

Ubi-Finger は手指を用いたジェスチャにより、実世界機器の操作を実現する。ジェスチャ入力を実世界機器の操作に適用した場合の利点としては、(1) 既存のメタファを活用した直感的な操作マッピング、(2) 身体性の積極的活用などがあげられる。

「既存のメタファを活用」とは、実世界機器を操作する従来の方法などを有効活用するということである。実世界機器はそれ自体の持つアフォーダンスによって、自己の特質を表明しており⁵⁾、たとえばオーディオ機器の音量操作を行うボリュームつまみは「回す」という使い方を提示している(図1)。我々は長年こうした操作手段に慣れ親しんでおり、機器操作のメタファとしても有効に機能すると考えられる。「身体性を活用」とは、ジェスチャ入力は身体性を最も活用できる入力インタフェースの1つであるということである。身体性は実世界指向インタフェースの研究において重要な要素であると考えられており¹⁴⁾、実世界機器の操作においても有効な活用が期待できる。たとえば、一度身体を動かして覚えた操作はボタンを順番に押すだけの操作よりずっと忘れにくいと考えられる。

2.2 ウェアラブルデバイス

福本³⁾は常時装着できるウェアラブルインタフェースの必要条件として「携帯性」、「操作性」、「即時性」の3つをあげている。つまり、ウェアラブルインタフェースは小型・軽量で日常生活の邪魔にならず、小型化しても使いやすい操作性を持ち、使おうと思ったときにすぐに利用可能なものでなければならない。

従来のジェスチャ入力システムの多くはジェスチャ

の多様性を重視し、すべての手指にセンサを装着するアプローチをとってきた。こうしたアプローチは汎用性の面で優れるが、「携帯性」「操作性」などの要件を満たすことは難しくなる。ここではジェスチャの多様性とユーザの装着負荷のトレードオフについて述べる。

2.2.1 ジェスチャの多様性と装着負荷

手指を用いたジェスチャをできるだけ多く認識するには、(1) 各指の第1関節・第2関節の曲げ・伸ばし、(2) 各指間の関節角度、(3) 手首の角度を検出する必要がある。しかし、こうしたアプローチはすべての指にセンサを装着する必要があるため、ユーザの装着負荷を増大し、携帯性に支障をきたすことが予想される。モバイル環境やユビキタス環境における利用を前提とした場合、このようにすべての指を使ったジェスチャ認識は、実装・実用の面から現実的ではないと考えられる。

そこで、本研究では携帯性を重視したシンプルなジェスチャ入力を主眼におき、(1) 親指・人差し指の曲げ・伸ばし、(2) 手首の角度を中心に検出する手法をとる。装着するセンサを人差し指中心にまとめることで、既存のジェスチャ入力デバイスより大幅に装着負荷を軽減している。

2.2.2 無意識的入力の排除

常時装着するウェアラブルインタフェースを想定した場合、意図的入力と無意識的な入力を区別することは非常に重要である。しかし、既存のジェスチャ入力システムの多くは明示的なトリガ機構を持たず、無意識的な入力を排除することは難しかった。

そこで、Ubi-Finger では親指で自然に押せる人差し指の側面部にタッチセンサを装着し、「親指でタッチセンサを押す」という明示的な行為をジェスチャ入力の開始・終了のトリガとして利用する手法をとる。このように明示的なトリガ機構を設けることで、意図しないジェスチャの誤認識の大幅な削減を図った。一方、こうした意識的トリガと直感性の間にはトレードオフが存在するため、今後さらなる議論が必要である。

2.3 多様な機器操作

Ubi-Finger は単一のデバイスで複数の実世界機器の操作を可能にする。従来の学習型マルチリモコンなどを用いても複数の機器操作を行うことはできたが、機能とボタンが1対1で対応付けられているため、操作対象の機器が増えるほど操作が複雑になり、ユーザの学習負荷が増大するという大きな欠点があった。

Ubi-Finger を利用すれば、ユーザはおおまかに以下のような手順で、さまざまな実世界機器をシンプルかつ直感的に操作することが可能になる。

(1) 「指差し」による機器の特定

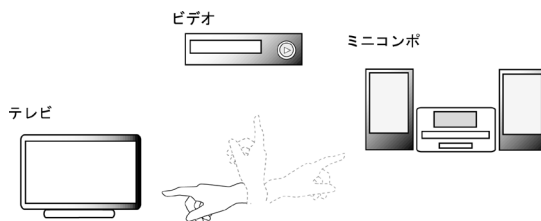


図2 指差しによる機器の選択のイメージ図
Fig. 2 Selection of a device with finger-pointing.

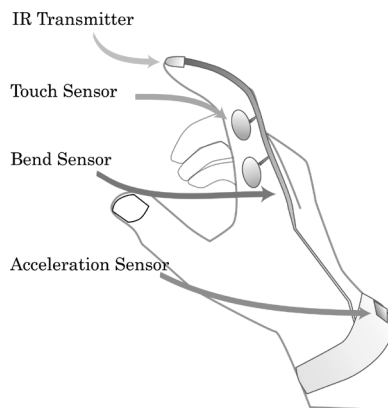


図3 Ubi-Finger デバイス構成イメージ図
Fig. 3 Basic concept of Ubi-Finger.

—操作対象の機器を指差し、赤外線にて ID を送信することで「選択」する(図2)。

- (2) 手指のジェスチャによる機器の操作
—操作対象の機器を手指のジェスチャにより操作する。この際、あらかじめ選択した機器を操作するため、操作対象の機器が増加しても操作が複雑にならない。

3. 実装

3.1 デバイス構成

ここでは Ubi-Finger のデバイス構成について述べる。Ubi-Finger は 3 系統のセンサ(ベンドセンサ, 2 軸加速度センサ, タッチセンサ)を中心に、実世界の情報機器を特定するための赤外トランスミッタと、これらのデバイスの制御やホスト PC・PDA などと通信を行うマイコンから構成される(図3)。それぞれのセンサからは(1) 人差し指の曲げ・伸ばし、(2) 手首の回転角度、(3) 親指によるボタン操作、といった情報が入力される。このうち、(1)、(2) は主にジェスチャの検出に、(3) は情報機器の特定やジェスチャ入力のトリガとして利用する。

3.2 システム構成

次に、Ubi-Finger を利用して実世界の機器を操作

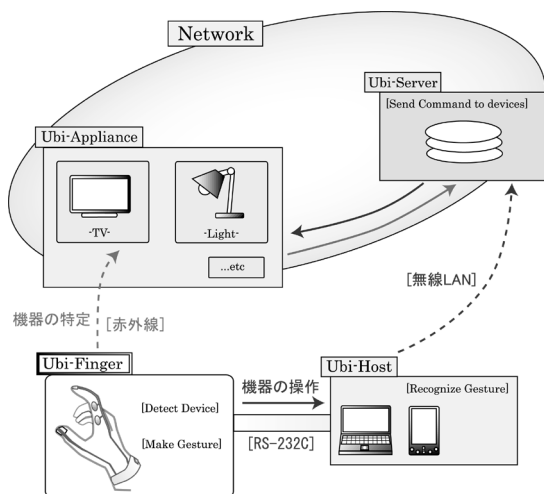


図 4 Ubi-Finger システム構成

Fig. 4 System configuration of Ubi-Finger.

するためのシステム構成について述べる(図4). 本システムは Ubi-Finger ハードウェア, Ubi-Host (Ubi-Finger デバイスのホスト PC), Ubi-Appliance (赤外線レシーバと LED を備え, ネットワーク接続可能な情報家電機器), Ubi-Server (Ubi-Appliance を管理するサーバ) の 4 つから構成される.

ここで, システムの流れについて簡単に紹介する.

まずユーザは Ubi-Finger で実世界の情報機器 (Ubi-Appliance) を指差し, 自分の ID 情報を含んだ信号を赤外線で送信する. Ubi-Appliance は信号を受けると機器固有の ID とユーザの ID をサーバ (Ubi-Server) に送信し, Ubi-Server は Ubi-Appliance とユーザの ID を関連付け「誰がどの機器を操作しようとしているか」という情報を保持する. そして Ubi-Appliance に関連付け完了のフィードバック信号を送信し, Ubi-Appliance は情報提示用の LED を用いて選択状態を提示する.

ユーザは操作対象の Ubi-Appliance の選択状態を LED で確認した後, Ubi-Finger を用いてジェスチャを行う. ジェスチャはホスト PC (Ubi-Host) で認識され, 特定のジェスチャ ID に変換されて, ユーザの ID とともに Ubi-Server に送信される. Ubi-Server はユーザの ID から操作対象の Ubi-Appliance を判別し, ジェスチャの ID を機器ごとにふさわしいコマンドに変換する. そして, ネットワークを介して Ubi-Appliance の操作を行う.

3.3 プロトタイプ

このようなデバイス構成・システム構成に基づき, Ubi-Finger システムのプロトタイプを実装した. こ

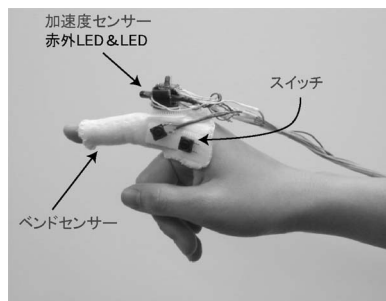


図 5 Ubi-Finger プロトタイプ Ver.2

Fig. 5 Prototype of Ubi-Finger Ver.2.

こでは, 作成したプロトタイプシステムの構成・実現手法・特徴などを述べる.

Ubi-Finger ハードウェア

まず, Ubi-Finger ハードウェアのプロトタイプについて述べる(図5). 初期のプロトタイプはオープングローブ型で多少大きくかさばるものであったが, 機能を保持したまま小型化した指サック型の Ubi-Finger デバイス ver.2 を実装した. まず, 利用したセンサ, トランスミッタについて説明する. ベンドセンサ (Infusion System 社製 BendMini) は圧電素子を利用して, 曲がり具合によって抵抗値が変化するアナログセンサである. まったく曲げない状態では $6\text{K}\Omega$, 180 度曲げた状態では $500\text{K}\Omega$ となり, 最小曲げ半径は 5mm である. 形状は $63\text{mm} \times 7\text{mm} \times 0.1\text{mm}$ の薄いフィルム状で, 曲げたときの抵抗感ほとんど感じられない. BendMini の出力電圧は, 後述のマイコンで 8bit の精度で A/D 変換する. 2 軸加速度センサ (Analog Devices 社製 ADXL202E) は $5\text{mm} \times 5\text{mm} \times 2\text{mm}$ の小型の加速度センサである. 実際の駆動にはコンデンサ, 抵抗などの外部回路が必要であり, それらを空中実装して $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 5\text{mm}$ 程度の形状に収めている. 最大 $\pm 2\text{G}$ の加速度計測を行うことが可能であり, 本研究では主に重力加速度を利用して地面に対するセンサ自体の傾きを計測し, 利用している. ADXL202E は加速度に正比例したデューティ比信号を出力し, マイコンで各軸に対する加速度を計算処理する. プッシュスイッチは $8\text{mm} \times 7\text{mm} \times 4\text{mm}$ の小型・薄型の形状である. わずかな力で押し込むことができ, 明瞭なクリック感を持つ. 赤外トランスミッタ (東芝製 TLN115A) は直径 $5\text{mm} \times 7.65\text{mm}$ の赤外 LED である. 標準放射強度は 26mW/sr と強力であり, 指向特性は $\theta_{1/2} = \pm 21$ 度と標準的である. 赤外線の送信時には, マイコンで 38kHz で変調したパルス信号を出力する.

次に各センサの装着位置について述べる. 指サック

の内側上面に薄い布でガイドを作り、人差し指の上部に沿うような形でバンドセンサを装着した。2軸加速度センサと赤外トランスミッタ、および情報提示用のLEDについては、指を曲げるときに邪魔にならず、装着感が安定する位置を考慮して、人差し指の第1関節と第2関節の中央付近上部にまとめて装着した。また、人差し指の第1関節と第2関節の間の側面に、プッシュスイッチを2つ装着した。装着にマジックテープを利用することで、押しやすい位置を微調整することが可能である。

最後に、センサ情報などのソフトウェア処理について述べる。各センサからの出力はマイコン（秋月電子通商製 Tiny-H8）で数値に変換され、シリアルケーブル経由でノートパソコン（Windows2000 搭載機）へ送られる。具体的には、バンドセンサの出力を 8 bit、加速度センサの出力を 16 bit（各軸 8 bit × 2）、プッシュスイッチの状態を 2 bit の値として変換する。プッシュスイッチが押されている状態ならば、マイコンはこれらの信号を 19,200 bps で連続的にノートパソコンへと送信する。ノートパソコン上では Ubi-Host ソフトウェアが動作し、マイコンの出力データをリアルタイムに解析してジェスチャ認識を行い、無線 LAN カードを経由して Ubi-Server との通信を行う。現在 7 種類のジェスチャを規定しており、それぞれに数個のフラグ（一定のセンサ出力値）を持たせている。これらの各フラグはある程度の誤差を許容するように設定している。そして、一定時間内にすべてのフラグが成立した場合、特定のジェスチャとして認識する。

Ubi-Appliance と Attachable Controller

Ubi-Appliance はネットワーク接続可能な情報家電機器を想定したものであるが、現時点ではそうした機器を簡単に入手することは難しい。そこで、図 6 のように、既存の家電機器に「取り付ける」だけで、Ubi-Appliance に必要な入出力系を付加できる機器装着型デバイス Attachable Controller を実装した。

図 7 に示すように、Attachable Controller は赤外受光部・ネットワーク接続部・機器制御部という 3 つのサブシステムから構成される。

(1) 赤外受光部

Ubi-Finger から赤外線信号を受信し、機器の選択状態の提示を行うサブシステムである。赤外受光素子と 2 つの LED、それらの制御を行うための PIC マイコン（Microchip Technology 社製 PIC16F84A）と周辺回路から構成される。

(2) ネットワーク接続部

主に Ubi-Server とのネットワーク通信を行うた

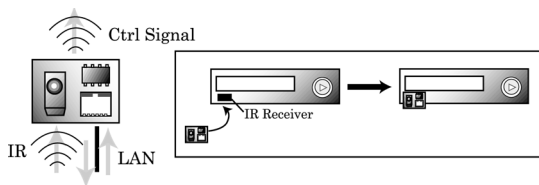


図 6 Attachable Controller 概念図

Fig. 6 Basic concept of Attachable Controller.

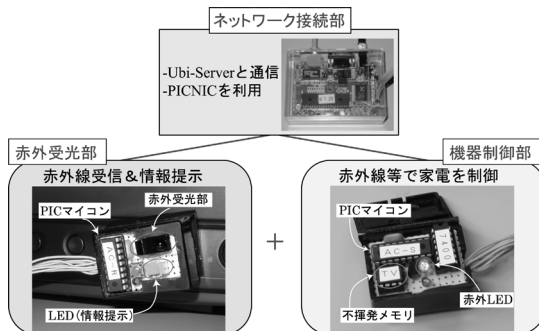


図 7 Attachable Controller システム図

Fig. 7 System configuration of Attachable Controller.

めのサブシステムであり、PICNIC という Tristate 社製のキットを利用している。PICNIC は LAN インタフェースを持ち、簡易 Web Server が動作する PIC ベースの小型コンピュータである。Ubi-Server は PICNIC のパラレルポートを介して、Attachable Controller の赤外受光部や機器制御部と通信を行う。

(3) 機器制御部（赤外線出力/リレー制御）

ネットワークからの信号に基づいて、赤外線などにより家電機器の制御を行うサブシステムである。赤外トランスミッタ（赤外 LED）と、取り外し可能な不揮発メモリ、PIC マイコン（Microchip Technology 社製 PIC16F84A）およびその周辺回路から構成される。

4. 応 用

次に、Ubi-Finger の有効な活用が期待できるいくつかの実装例を紹介する。

4.1 実世界の機器操作

従来我々が実世界の家電機器などを操作する場合、機器の数だけリモコンを利用しなければならず、機器（リモコン）ごとに異なる操作方法を学習する必要があった。高級な学習マルチリモコンでは複数の機器のコントロール信号を学習することはできたが、ボタンと機能のマッピングが複雑になり、従来のリモコン以上にユーザの学習負荷を増大させることになりがちで

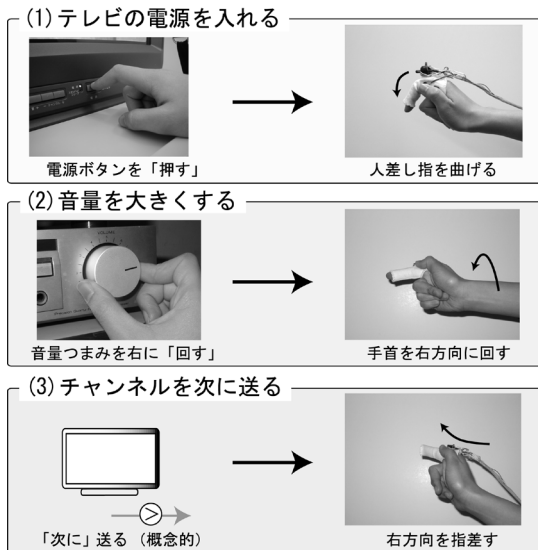


図8 テレビ操作とジェスチャの対応付け(抜粋)

Fig. 8 Examples of operations using Ubi-Finger.

あった。Ubi-Finger を利用すれば、これらの問題点を解決し、ユーザの学習負荷を軽減した直感的な機器制御が可能になると期待できる。

今回は実世界機器操作の応用例として、ライト、テレビ、オーディオ機器、ビデオなどに Attachable Controller を装着し、Ubi-Finger で制御するシステムを試作した。ここではテレビを Ubi-Finger により制御する応用例を紹介する。

テレビの制御に関して実現した機能は「電源のオン/オフ」、「ボリュームを上げる」、「ボリュームを下げる」、「チャンネル次へ」、「チャンネル前へ」、「ミュート」の6つである。これらの機能を機器操作の特性を利用してジェスチャに対応付ける。たとえばボリュームを上げる、下げるという操作は「ボリュームつまみを回す」という動作を連想させるため、その行為に類似した「手首を右回り/左回りに傾ける」というジェスチャに対応付ける。図8にジェスチャと操作の対応付けの抜粋を示す。

4.2 コンピュータの入力補助

Ubi-Finger を利用して、テキスト入力中に画面スクロールを効率的に行えるアプリケーションを実装した。エディタを利用してプログラミングやテキスト入力を行う際、少しウインドウをスクロールさせて他の部分を参照したいという状況はよく見られる。これまでマウスホイールやパッドを利用することでこうした操作を行えたが、キーボードから一時的に指を離す必要があり、本来のタスクが中断してしまうという欠点があった。Ubi-Finger を利用することでキーボー

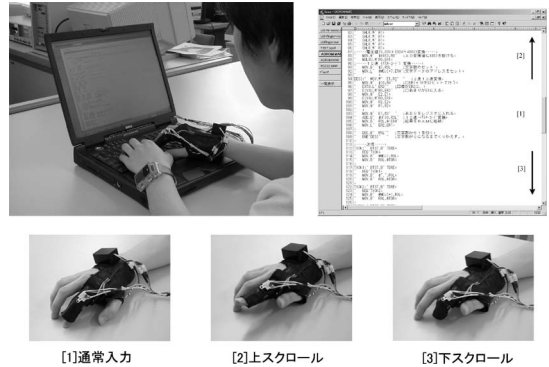


図9 コンピュータの入力支援(テキスト入力中の画面スクロール)

Fig. 9 Assistant input methods for PC.

ドからほとんど指を離すことなく、最小限の動き(人差し指の曲げ・伸ばし)でウインドウのスクロール操作を行うことが可能になる(図9)。

4.3 プレゼンテーション支援

Ubi-Finger を用いてプレゼンテーション支援を行うアプリケーションを実装した。従来我々がパソコンを用いてプレゼンテーションを行う場合、つねにパソコンの前でプレゼンソフトを操作する必要があった。こうした操作は特に多くの聴衆を前にした状況では煩わしく、ときに話の流れを切ってしまう要因にもなっている。Ubi-Finger を利用してプレゼンソフトを操作することで、自分も聴衆も PC 操作をほとんど意識することなく、より自然な流れのプレゼンテーションが期待できる。また、ダイナミックな動きのジェスチャを行うことで、視覚的にもインパクトが大きく、聴衆を飽きさせないプレゼンテーションが可能になる。

5. 評価実験

Ubi-Finger の特徴である「指差し」による機器特定手法や、ジェスチャによる機器操作手法の妥当性を検証するため、Ubi-Finger のプロトタイプを装着して複数の実世界機器を操作する実験を行った。被験者は Ubi-Finger を初めて利用する、23歳~47歳の男女10名である。

5.1 評価手法

Ubi-Finger の基本的な操作プロセスを対象として、オーディオ機器とライトの2つの機器を用意し、実験者の指示に応じてそれぞれの機器を連続的に操作するタスクを与えた。各機器と被験者の距離は2m、機器間の距離は1mとしている。双方の機器には Attachable Controller を装着しており、「指差し」を利用して機器の選択を行うことが可能である。本実験では日常的に他のタスクを行いながら頻りに利用する機能を想定し、

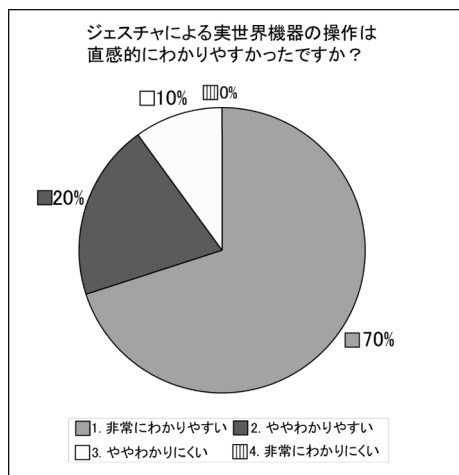


図 10 ジェスチャによる実世界機器の操作に関する評価結果 (n = 10)

Fig. 10 Evaluation of operations with gestures.

オーディオ機器では「再生/停止」「音量を上げる/下げる」という機能、ライトは「点灯/消灯」と「調光明るく/暗く」という機能を操作対象とした。そして、実験終了後に対話を行い、現在の実装の問題点などについて質問した。さらに、ユーザの印象評価を得るためにアンケートを実施した。

5.2 結 果

まず、Ubi-Finger の印象評価を中心にアンケートの調査結果をまとめる。

「ジェスチャによる実世界機器の操作は直感的に分かりやすかったですか?」という質問に対して、「非常に直感的」「やや直感的」「やや分かりにくい」「非常に分かりにくい」の4つの選択肢による回答を得た。その結果、「非常に直感的」という回答は7割に及び、「やや直感的」とあわせると全体の9割のユーザからジェスチャによる実世界機器の操作は直感的で分かりやすいという肯定的な評価が得られた(図10)。

また、「指差した機器の操作ができるのは魅力的だと思いますか?」という質問に対して、「非常に魅力的」「やや魅力的」「あまり魅力的でない」「まったく魅力的でない」という選択肢により回答を得たところ、「非常に魅力的である」というユーザは全体の8割に及んだ。さらに、「機器を指差して特定する操作は直感的に分かりやすかったですか?」という質問について、4段階で回答を得たところ、すべてのユーザが「非常に直感的」「やや直感的」と回答しており、ほとんどのユーザが「指差し」による機器の特定手法が直感的で分かりやすく、魅力的な手法であると感じていた(図11)。

このように、操作したい対象の機器を「指差し」に

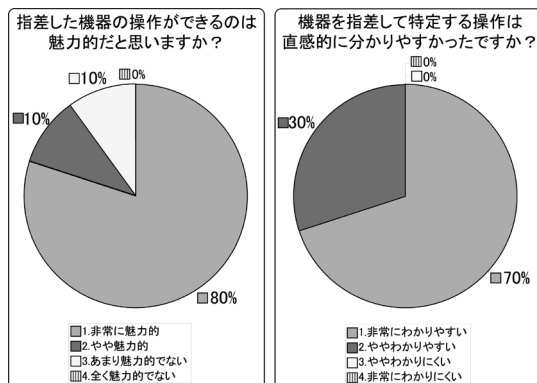


図 11 「指差し」による機器の特定に関する評価結果 (n = 10)

Fig. 11 Evaluation of operations with Finger-Pointing.

より特定し、手指のジェスチャを用いて操作するという Ubi-Finger のメインコンセプトに関しては、ほとんどのユーザが高い評価を与えており、本研究のアプローチの有効性を裏付けている。

また、実験後の対話により、「ケーブル類が邪魔」、「デバイスのサイズを調整したい」、「ジェスチャをカスタマイズしたい」、「入力のトリガ操作が煩わしい」といった課題が明らかになった。また、経験的に判明している課題として「隣接する複数機器の特定」が存在する。今後これらの課題への対応を検討していく。

6. 関連研究

ここではまず、ジェスチャ入力に関する先行研究を装着型センサを用いるアプローチと画像解析を用いるアプローチに分けて紹介し、本研究との差異を述べる。

装着型センサを用いるアプローチとしては、5DT DataGlove、CyberGlove や、毛利の手指ジェスチャ認識インタフェース、AcceleGlove などがあげられる。5DT DataGlove¹⁾や CyberGlove²⁾は光ファイバや感圧導電インクを関節角のセンサ(バンドセンサ)として利用するグローブ型ジェスチャ入力デバイスである。ポヒマスセンサなどと組み合わせることで、特定空間においてデバイスの3次元位置を測定できる。毛利の手指ジェスチャ認識インタフェース³⁾や AcceleGlove⁶⁾は2軸の加速度センサなどを各手指と手の甲に装着し、その相対的な出力値から手指の形状を取得する、手の甲と各指に分離して装着するジェスチャ入力デバイスである。これらの先行研究は、すべての手指にセンサをつけるアプローチをとっており、モバイル環境のみでなく、Virtual Reality の入力インタフェースなども含めたより汎用的な場面での利用を想定していると考えられる。一方、我々のアプローチは、モバイル環境

や情報家電機器など特定の目的を絞る、そうした日常的な場面で誰もが容易に使えるデバイスを目指している。そのために、シンプルなジェスチャのみを対象としてセンサの数を最小限に絞り、人差し指を中心に装着するコンパクトな形態とすることでユーザの装着負荷を軽減している。

画像解析を用いるアプローチとしては、Wearable ASL (American Sign Language) や Gesture Pendant などがあげられる。Wearable ASL¹⁷⁾はベースボールキャップにつけたカメラを用いて、ASLの認識を行う研究である。Gesture Pendant¹⁶⁾はペンダント型のデバイスに赤外 LED とカメラを搭載し、カメラで認識したジェスチャを用いた家電機器の操作を試みている。特に Gesture Pendant は、主に情報家電機器の制御に焦点を当てたアプローチであり、興味深い。本研究は装着型センサを利用してジェスチャ認識を行っている点で異なる。装着型センサを用いたアプローチの利点としては、カメラの視野にとらわれず入力を行える点、外界のノイズに強い点などがあげられる。また、情報家電機器制御のアプリケーションにおいて、本研究では機器の選択→操作を、指差しとジェスチャを用いて連続的に分かりやすい流れの中で行える点が特徴である。

情報家電機器を実世界インタフェースで操作する試みとしては FieldMouse や Air-Real があげられる。FieldMouse¹¹⁾はバーコードリーダなどの ID 検出装置とマウスや加速度センサなどの相対移動検出装置を一体化して「傾き」などを利用した情報機器の操作を試みている。本研究では複数のジェスチャを既存のメタファと結びつけて、より直感的な機器操作を実現できると考えている。Air-Real⁷⁾はレーザーポインタを内蔵したりモコンと部屋に設置されたカメラ、プロジェクタを利用して、レーザーポインタで指した家電に応じた操作を実現している。Air-Real は非常に大規模なシステムを必要とするのに対し、本研究は最小限のシステム構成で実現可能である点が異なる。Ubi-Finger は既存の家電機器に Attachable Controller を取り付けるだけで、さまざまな実世界機器の操作に適用可能である。

指鉤⁴⁾は手首に加速度センサを装着して、モールス信号のように On/Off 信号の時系列を用いてコマンド表現を実現する。指鉤では応用のアイデアとして、家電機器操作への適用例についても述べており、興味深い。一方、本研究は最小限のセンサを手指部に装着し、手指を利用したシンプルなジェスチャ入力を行うアプローチである。

Attachable Computer⁸⁾は、実世界の家電機器などに小型コンピュータとセンサなどを取り付けて、付加的な情報提示機能を追加するコンセプトである。Attachable Computer が実世界の機器に情報提示機能を付加する試みであるのに対し、本研究で提案する Attachable Controller は新しい入力・操作系の付加に焦点を当てている点で異なる。

Gesture Wrist¹⁵⁾は手首に 2 軸加速度センサと静電検出装置(送信電極と受信電極)を装着し、簡単なジェスチャ入力を試みる研究である。手首以外に機器を装着する必要がなく、数種類のジェスチャを認識できるという点で興味深い。しかし、ジェスチャ認識開始の明示的なトリガを与える機構が存在しないため、常時装着時には誤認識の問題が残ると考えられる。

7. 今後の展望

前述したように、我々のアプローチはユーザの装着負荷を軽減し、日常生活に溶け込んだ新しいコンピュータ環境において、誰もが容易に使えるデバイスを目指すものである。しかし、日常生活で実用的に利用するためには、現在のプロトタイプの形状ではまだ物理的・心理的な負荷をともなう可能性が高く、今後いっそうの改良が必要である。将来的には、指輪や腕輪、腕時計など、日常的に利用している装飾品や機器と同様の形状を持ち、役割を兼ね備えるような形態が望ましいと考えている。今後はこうしたより実用的なデバイスの形態にふさわしいセンサ構成や、無線通信機構 (Bluetooth) を用いたホスト PC との通信の無線化などの検討を進めていく。また、技術的な課題以外にも、洋服やアクセサリなどと同じように、ファッション性への配慮やユーザに合わせた多様なデザイン・サイズの提供なども重要な検討課題である。

一方、Ubi-Finger はこれまで述べてきた日常生活での利用以外に、パフォーマンス支援や専門的環境における操作などのアプリケーション分野にも応用できると考えている。パフォーマンス支援とは、Ubi-Finger を音楽などの芸術的表現の補助に応用することである。具体的には、演奏家や舞台役者がメインのパフォーマンスに新たな演出を加える補助的なパフォーマンス支援デバイスとしての応用例を考えている。また、エンドユーザが気軽に即興的演奏を楽しめるツールとしても可能性を持つ。専門的環境における操作とは、Ubi-Finger を撮影スタジオや音楽スタジオなど、多数の専門機器を扱う特殊な環境へ応用することである。たとえば音楽スタジオには、複数の音源や楽器、アンプなどが存在し、それらの音量や定位をミキサにより集

中管理している。ミキサのチャンネルと各機器の対応付けは、必ずしも直感的なものではなく、特に慣れない環境ではしばしば混乱を招く。Ubi-Finger を利用すれば、指差した機器を直接操作できるため、こうした混乱を軽減した、シンプルで直感的な操作環境を実現できると考えている。

8. おわりに

本研究では実世界のさまざまな場面に適したインタフェースとして手指を用いたジェスチャ入力に着目し、自然なジェスチャを用いて携帯情報機器や情報家電機器の操作を実現する、モバイル指向のジェスチャ入力デバイス Ubi-Finger を提案し、実装および評価を行った。

Ubi-Finger を利用すれば、ユーザは実世界の機器を「指差す」ことで特定し、手指のジェスチャにより操作対象の機器を直感的に操作できる。操作対象の機器が増加しても操作が複雑になることがなく、既存の操作メタファや身体性を活用した直感的な操作を実現できる。こうした本研究の機器操作のアプローチは、評価実験においても多くのユーザに支持され、その有効性が示されたといえる。

Ubi-Finger システムが将来的により小型化、高性能化すれば、情報家電機器制御をはじめとした実世界のさまざまな場面で実用的に利用することが可能になる。我々の指先が Ubiquitous な世界につながる日は近い。

参考文献

- 1) 5DT Data Gloves.
<http://www.5dt.com/hardware.html#glove>
- 2) CyberGlove.
<http://www.immersion.com/products/3d/interaction/cyberglove.shtml>
- 3) 福本雅朗：24時間ニューロヨクデキマスク?—Wearableなインタフェース, 情報処理, Vol.41, No.2, pp.123–126 (2000).
- 4) 福本雅明, 外村佳伸：“指鉤”：手首装着型コマンド入力機構, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2, pp.389–398 (1999).
- 5) Gibson, J.: *The Ecological Approach to Visual Perception*, Houghton Mifflin Company (1979).
- 6) Hernandez-Rebollar, J.L., Kyriakopoulos, N. and Linderman, R.W.: The AcceleGlove: A Whole-Hand Input Device for Virtual Reality, *Conference Abstracts and Applications of SIGGRAPH 2002*, p.259, ACM SIGGRAPH (2002).
- 7) 星野剛史, 堀井洋一, 丸山幸伸, 片山淳詞, 柴

- 田吉隆, 吉丸卓志：Air-Real：ホームネットワークのユーザーインタフェース, インタラクティブシステムとソフトウェア IX, pp.113–118, 近代科学社 (2001).
- 8) Iga, S., Itoh, E., Higuchi, F. and Yasumura, M.: Attachable Computer: Augmentation of Electric Household Appliances by Fit-up Computer, *Proc. Asia Pacific Computer Human Interaction (APCHI'98)*, pp.51–56 (1998).
 - 9) 喜多壮太郎：ひとはなぜジェスチャーをするのか, 認知科学, Vol.7, No.1, pp.9–21 (2000).
 - 10) Krueger, M.: *Artificial Reality II*, Addison-Wesley (1990).
 - 11) Masui, T. and Siio, I.: Real-World Graphical User Interfaces, *Proc. International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC'2000)*, pp.72–84 (2000).
 - 12) Mehrabian, A.: *Silent messages: Implicit communication of emotions and attitudes*, 2nd edition, Wadsworth (1981).
 - 13) 毛利 工：手指ジェスチャ認識に基づくウェアラブル型操作入力インタフェース, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.2, No.4, pp.283–292 (2000).
 - 14) 暦本純一：実空間に拡張する直接操作環境—複数コンピュータ環境への身体的アプローチ, 身体性とコンピュータ, pp.295–308 (2000).
 - 15) Rekimoto, J.: GestureWrist and GesturePad: Unobtrusive Wearable Interaction Devices, *Proc. 5th International Symposium on Wearable Computers (ISWC'2001)* (2001).
 - 16) Starner, T., Auxier, J., Ashbrook, D. and Gandy, M.: The Gesture Pendant: A Self-illuminating, Wearable, Infrared Computer Vision System for Home Automation Control and Medical Monitoring, *Proc. 4th International Symposium on Wearable Computers (ISWC'2000)* (2000).
 - 17) Starner, T., Weaver, J. and Pentland, A.: A Wearable Computer Based American Sign Language Recognizer, *Proc. 1st International Symposium on Wearable Computers (ISWC'97)* (1997).
 - 18) Weiser, M.: The Computer for the 21st Century, *Scientific American (International Edition)*, Vol.265, No.3, pp.66–75 (1991).
 - 19) Zimmerman, T. and Lanier, J.: A Hand Gesture Interface Device, *Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'87)*, pp.235–240, Addison-Wesley (1987).

(平成 14 年 4 月 12 日受付)

(平成 14 年 10 月 7 日採録)



塚田 浩二 (正会員)

1977年生．2000年慶應義塾大学環境情報学部卒業．2002年同大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了．同年，同大学院博士課程入学．MobiQuitous-Computing，

俄アートに興味を持つ．



安村 通晃 (正会員)

1947年生．1971年東京大学理学部物理学科卒業．1975年～1977年UCLA留学．1978年東京大学理学系大学院博士課程(情報科学専攻)満了(株)日立製作所中央研究所主

任研究員を経て，1990年4月より慶應義塾大学環境情報学部助教授．現在，同教授．理学博士．実世界指向インタフェース，マルチモーダルインタラクション，ユニバーサルデザイン等の研究に従事．ヒューマンインタフェース学会，日本ソフトウェア科学会，日本認知科学会，日本教育工学会，ACM，IEEE Computer Society 各会員．
