

Chameleon : 多様な状況下の機器指定を実現する 複数インタラクション統合技術

伊藤 昌毅^{†1,*1} 橋爪 克弥^{†1,*2} 河田 恭兵^{†1,*3}
生天目 直哉^{†1} 伊藤 友隆^{†1} 井村 和博^{†1}
西條 晃平^{†2} 中澤 仁^{†2}
高汐 一紀^{†2} 徳田 英幸^{†2,†1}

本論文では、スマートフォンを利用しホームネットワーク機器の連携を制御するシステム「Chameleon」を開発し、制御対象機器の指定手法を中心に評価する。ネットワーク接続可能な機器が一般化し、家庭においても複数の機器を連携させてサービスを利用することが広がりつつある。こうした状況で、ネットワークで接続された部屋内の機器、自宅や職場におかれた機器などから、どの機器を利用するか指定する操作が必要となる。この指定操作を、Chameleon では「触れる」「写真を撮る」「振る」「写真を選ぶ」「周辺を探す」の5つの直感的インタラクション手法を統合し提供する。これらの手法を使い分けることで、ユーザと対象機器との距離などが異なっている場合でも、関係に応じた適切な機器指定を実現する。ユーザの操作を簡便にし、システムのセットアップの煩雑さを避けるため、ユーザのインタラクション手法の明示的な指定を不要にし、複数コードを統合したマルチインタラクションコードの自動発行によるセットアップの簡略化を実現した。本論文では、Chameleon のプロトタイプをiPhone 3G を用いて実装し、本提案技術の有効性を実証した。

Chameleon: Seamless Integration of Multi-interaction that Realizes Identification of Devices under Various Situations

MASAKI ITO,^{†1,*1} KATSUYA HASHIZUME,^{†1,*2}
KYOHEI KAWADA,^{†1,*3} NAOYA NAMATAME,^{†1}
TOMOTAKA ITO,^{†1} KAZUHIRO IMURA,^{†1} KOHEI SAIJO,^{†2}
JIN NAKAZAWA,^{†2} KAZUNORI TAKASHIO^{†2}
and HIDEYUKI TOKUDA^{†2,†1}

This research presents Chameleon, a system which enables to identify a physical object with intuitive interaction and to operate it in Smart Environment. Chameleon provides five interaction methods based on the distance from the user to the target; Touch, Snap a Photo, Swing, Choose a Photo and Scan and automatically selects the interaction method by the user's simply starting prefer interaction method. Chameleon enables automatic device registration in which a management server prints a Multi Interaction Code, which integrates RFID for Touch, arrow for Swing, and visual code for Taking a Photo into a single code. When a user connects a new device onto a network, the server automatically specifies its functionality and issues a unique Multi Interaction Code for users to interact with the device. A user attaches this code on the new device to begin the interaction. We have evaluated the usability of Chameleon by collaborating and registering various computers and mobile devices. Our results have proved that with Chameleon, users are able to collaborate devices in an easy and impromptu manner.

†1 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

†2 慶應義塾大学環境情報学部

Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

*1 現在、鳥取大学大学院工学研究科

Presently with Graduate School of Engineering, Tottori University

*2 現在、株式会社ジャフコ

Presently with JAFKO Corporation

*3 現在、KDDI 株式会社

Presently with KDDI Corporation

1. 序 論

本論文では、機器連携のために実世界インタラクションを用いて機器を特定する手法について議論し、複数のインタラクション手法を組み合わせる手法を組み込んだ機器連携システム Chameleon を提案する。TV, ラジオ, プリンタ, 写真立てといった家電機器を中心とする様々な身の回りの機器が、現在ネットワーク接続可能になり、これらのネットワーク接続可能な機器は、単体で動作するだけでなく複数の機器が連携することで高度なサービスを実現している。たとえば TV は単に放送を表示するだけでなく、デジタルカメラや PC など様々な情報機器と接続することでコンテンツビューアとして機能する。デジタルカメラは、ネットワークを通じ遠隔地にある写真立てと連携することで記録の道具としてだけでなくコミュニケーションを支援する道具として機能するようになる。今後、こうした情報家電機器の発展は機器どうしの連携をますます促進し、複数の機器を活用したサービスの実現を促進するだろう。

こうした複数の機器からなるサービスをユーザが扱う場合、現在広く使われている赤外線リモコンの発展では不十分である。現在のリモコンは通常単一の機器の操作を前提としており、機器どうしの連携指示や、連携の結果できたサービスの操作は想定していない。家電メーカーが開発に力を入れる TV と HDD レコーダなどを連携させる HDMI-CEC においても、自在な組合せを想定しているというよりは特定の機器どうしの連携に特化しているのが現状である。

本論文で開発、評価する Chameleon は、スマートフォン上で実現した機器連携システムであり、スマートフォンの持つネットワーク機能やセンサ機能、豊かな情報提示技術などを活用し直感的な機器連携の実現やサービスの制御を目指している。ユーザは、Chameleon を用いて、周辺や自宅、職場といった遠隔地にある機器をそれぞれ入力、出力として指定し、その連携を実現できる。たとえば、手元のデジタルカメラ内の写真を部屋のプリンタに出力したり、遠くにある祖父母の家の写真立てに表示するなどが可能である。Chameleon が動作するスマートフォンは、単なるコントローラにとどまらず、それ自体も 1 つの機器として情報の提供や閲覧のために利用でき、それ自体で音楽を聴いたり中に保存されているカメラ画像を他に出力することなども可能である。

本論文では、機器連携を実現する際の機器特定のためのインタラクション手法に注目する。複数の機器を自在に連携させるためには、どの機器とどの機器を連携させるのかユーザが選択する必要がある。連携を前提とした機器利用の場合には、目的の操作を実現する前

に、何らかの方法で操作対象機器を指定しなくてはならない。しかしこうした操作の実現は、現在の機器操作と比べて必然的に多くの手順を踏むこととなる。ユーザの負担を減らすために、より直感的な手法で操作対象機器を指定できる必要がある。

ホームネットワークを対象としたミドルウェアである UPnP¹⁾, DLNA²⁾ などにおいては、ネットワークに接続された機器のアドレスや機能を管理し、接続可能な機器のリストなどからユーザに利用する機器を選択させている。しかしこうしたネットワーク上のアドレスや名前などだけを用いた手法では、ホームネットワーク機器の増加や、遠隔地にある機器利用など、今後の機器利用の際には十分な役割を果たさない。ヒューマン・コンピュータインタラクションの分野では、すでに多くの直感的な対象特定手法の研究があり³⁾⁻⁷⁾, これらの手法はホームネットワーク機器に対しても有効である。しかし提案されている手法はほとんどが目の前や同一空間内など特定の状況を選択するための手法であり、ホームネットワークで本来可能な自由な機器連携のためには不十分である。

本論文では、新しい万能の直感的な対象指定手法の提案ではなく、いくつかの直感的な手法を組み合わせる手法を提案する。単にいくつかの手法を組み合わせるだけでは、指定可能な範囲は広がるとしても、ユーザの観点からもシステム構築の観点からも複雑さが増し、使いやすさが確保できない。本論文では、インタラクション手法の切替えとインタラクションに必要なコードの発行に注目し、複数の手法によって操作手順が増え、使いにくくなることを避けるインタラクション統合手法を開発する。

本論文の構成は以下になる。まず 2 章で既存の機器選択手法を概観し、複数インタラクションを組み合わせる際の要件を整理する。次に 3 章において開発した Chameleon について説明し、インタラクション統合の特徴について説明する。4 章において本システムのユーザ評価を行い、5 章で今後の課題を議論する。最後に 6 章で本論文の結論を述べる。

2. 機器連携操作のための対象機器の選択

本章では、まずこれまで提案された様々な直感的な対象選択手法を概観する。次にこうした手法を組み合わせる手法について検討を加え、そのために必要な要件を示す。

2.1 既存研究

対象物の情報を得たり操作をしたりするために、ユーザに直感的に対象物を選択させる手法は様々な方法が提案されており、一部は携帯電話などで実用化されている。以下に、これまで提案された様々な手法を整理する。

2.1.1 「撮る」対象選択

カメラを用いた「撮る」選択手法は、大きく2つに分類できる。1つ目は、オブジェクトに2次元コードを貼付し、コードをカメラで認識する手法である。実際にQRコードやPDF417, Maxi Code, ARToolKit マーカなど多くの2次元コードが実用化されている。Cyber Code を拡張し、2次元コードを認識可能な範囲が狭いという問題を解消した Fractal Codes⁸⁾、印刷画像に目に見えないデータを埋め込み、カメラつき携帯電話を通して埋め込んだデータを認識する FPcode (Fine Picture code) 技術など今でも研究開発が続いている。2つ目は、オブジェクトの画像や形状などを登録しておき、オブジェクト自体をカメラで認識する手法である。Yamaguchi らは看板などのオブジェクトの画像をデータベースに登録しておき、カメラで撮影するだけでオブジェクトを特定できる手法を提案している⁹⁾。

2.1.2 「見る」対象選択

人の視線という自然な行為を利用した対象選択技術の研究も進んでいる。視線を認識して対象物を選択する技術として、Ayatsuka らが提案する Gaze-Link¹⁰⁾ は、オブジェクトに Cyber Code を貼り、カメラ越しにオブジェクトを見ることでユーザがオブジェクトを見ている間接続を可能にする手法である。Dickie らが提案する LookPoint¹¹⁾ は、対象にカメラを設置し実際にユーザの視線を検出することでユーザが視線を向けたオブジェクトを特定している。Shi らは、ユーザの頭部にユーザの視線を検出するカメラと、オブジェクトを映すカメラの2種類を搭載し、ユーザのしているオブジェクトを特定する CiteULike を提案している¹²⁾。

2.1.3 「触れる」対象選択

手や道具を用いて対象に触れることも、直感的な選択行為である。実世界のモノを対象にした触れる手法では、RFID を用いる技術が主流のアプローチである。ユーザ側デバイスにRFIDリーダを内蔵し、各オブジェクトにはRFIDタグを貼ることで、ユーザ側デバイスをオブジェクトにタッチするだけでオブジェクトを選択することが可能になる。

2.1.4 「指し示す」対象選択

指し示す手法は、家電を操作する赤外線リモコンの性質としても普段から使われているものである。Lee らの提案する Select-and-Point¹³⁾ では、画像認識によって指先を認識し、指し示したりジェスチャ入力を実現したりしている。暦本による Pick-and-Beam¹⁴⁾ は、レーザーポインタと環境側に設置されたカメラを用い、離れた位置にある情報を Hyper-dragging によって転送する技術である。Pick-and-Beam では、実世界の事物とコンピュータ間の操作である Hyper-dragging である Pick-and-Drop を拡張している。

2.1.5 「近づける」対象選択

対象にユーザやモバイル端末を近づけることで選択する技術が開発されている。Matsuoka らの音のバーコード¹⁵⁾ は、対象にスピーカを設置し、マイクを備えたモバイル端末によって音に埋め込まれた情報を読み取る技術である。Rekimoto らの Proximal interactions¹⁶⁾ では、ワイヤレス通信における受信パケット信号強度からネットワークの設定などの対象の選択を実現している。

2.1.6 「言葉」による対象選択

声を使ったオブジェクト選択手法として、Uchida らの情報家電操作のための対話インタフェース¹⁷⁾ があげられる。マイクに向かってオブジェクトの名前と操作内容をいうだけでシステムが意味を解釈し操作を実行する。

2.1.7 「身振り」による対象選択

ユーザの身振りをを用いたインタラクションの例として、Yatani らの Toss-It¹⁸⁾ があげられる。Toss-It は、モバイル端末をトスしたり振ったりする動作を用いて、データの選択や受け渡しができる。トスする方向に対象が複数あってもトスの強弱によって選択できる。この手法では、モバイル端末の動作は内蔵された加速度センサの値を解析して推測し、赤外線LEDを環境側に配置しカメラで撮影することによって空間内の位置を認識している。

2.1.8 「写真選択」による対象選択

選択対象候補の写真を列挙し、それを選択することで対象を選択する技術が、Suzuki らによって u-Photo¹⁹⁾ として提案されている。u-Photo では、選択対象となる機器にビジュアルマーカを貼ることで、写真撮影と同時に画像に加えて写真内の機器のIDや属性情報などを Exif 属性情報として記録する。撮影された写真データを用することで、機器の特定や制御、機器の設定情報などの写真撮影時への復元などを可能にしている。対象が遠隔にある場合でも、直感的な指定が可能である。

2.2 複数インタラクションの組合せ

既存の提案手法は、ユーザと指定対象との関係を限定している技術が多い。対象とユーザとが至近距離にあることを前提としていたり、選択肢が十分少ないことを仮定しているなど、特定の制約下では機能するが、日常で起こりうる様々な状況に1つの手法で対応するとはいい難い。そのため、ここで提案された技術の1つを洗練することで、より多くの状況に対応させることは現実的ではない。

本論文では、その代わりとして複数のインタラクション手法を組み合わせるアプローチを検討する。すでに Rukzio らは、Touching, Pointing, Scanning の各インタラクション

手法を比較し、それぞれのふさわしい用途や使い分けについて議論している²⁰⁾。ここでは、対象との距離やユーザの姿勢や行動などが最適なインタラクション手法を決定する要素となることを明らかにしている。このことから、複数のインタラクション手法を可能にすることがユーザが対象を選択する機会を増大させ利便性を高めることが予想できる。しかし複数のインタラクションを提供することは対象選択の際の煩雑さを増し、機器の設定に時間がかかったり、1つの機器を複数のインタラクションに対応させるための手間が増えてしまったりすることも考えられる。

複数のインタラクション手法を組み合わせる際に必要となる要件を以下に整理する。

2.2.1 組み合わせるインタラクションが補完的であること

指定対象となる機器は、目の前にあったり同じ部屋の中にあたり、隣の部屋、オフィス、公共空間にあたりする共有機器など様々なものが考えられる。インタラクション手法の組合せによって、異なる関係に置かれた機器をそれぞれ直感的に選択できる必要がある。Rukzio らの提案する Touching, Pointing, Scanning のみでは、たとえば「隣の部屋の電灯を消す」ときに Scanning しか手段がなく、すべての部屋の電灯がリストアップされるため直感的な選択が困難である。インタラクション手法の組合せにおいては、視認性や距離、既知か未知かなどの様々な条件を検討し、異なる条件下で最適なインタラクション手法を選択し組み合わせる必要がある。

2.2.2 ユーザの操作が煩雑にならないこと

インタラクション手法が増えることが、機器指定の際のユーザの負荷を増やさないようにする必要がある。たとえばインタラクション手法ごとに異なるデバイスに持ち替える必要があったり、どの手法を選択するかを指定する必要があったり、対象機器によって利用できないインタラクション手法があったりするなど、機器指定時の煩雑さが増すことは避ける必要がある。ユーザが学習しやすく、容易に使い続けられる形で、複数のインタラクション手法を使い分けられる必要がある。

2.2.3 インタラクション手法のセットアップの手間が増えないこと

あるインタラクション手法を実現するためには、選択候補となる機器にマーカ (QR コードなど) を貼ったり、レーザー受光部などのセンサを取り付けたりするなどの必要が出てくる。機器の情報を適切に管理するサーバが必要になる場合も多い。こうしたインタラクション手法を実現する環境構築は、インタラクション手法の増加で煩雑になる。複数のインタラクション手法の利用によって情報登録の手間が増大しないよう、その導入の手間を十分減らせるようにする必要がある。

3. Chameleon : 複数インタラクションを統合した機器連携システム

本論文では、ネットワークに接続された様々な機器制御を実現する Chameleon を開発した。Chameleon を用いることで、ユーザは複数の機器を連携させたサービスを容易に実行することができる。様々な状況にある複数の機器を制御対象とするため、Chameleon では操作対象機器の選択のために複数のインタラクション手法を用いることを可能にする。本章では、複数インタラクションの統合技術を中心に、Chameleon の特徴について述べる。

3.1 入出力機器の指定による機器連携

Chameleon は、スマートフォンを用いたホームネットワーク機器の連携、制御システムである。Chameleon では、連携する機器を入力と出力のいずれかあるいは両方を持つものとしてモデル化し、2つの機器の入力と出力との接続によってサービスを実行する。図1に iPhone 3G 上に実装した Chameleon の画面構成を示す。この例では、スマートフォン自身を入力に設定し、写真立てを出力に設定している。この場合、スマートフォンに蓄積された写真を写真立てへ出力する「写真を表示する」サービスを実行できる。入力としてプリンタ、デジタルカメラ、環境センサ、ホームサーバなどが、出力としてスピーカや TV、ヘッドホンなどが選択可能である。これらを接続することで、音や映像、その他の情報などの閲覧サービスが実現できる。



図1 Chameleon スクリーンショット
Fig. 1 The main screen of Chameleon.

3.2 Chameleon におけるインタラクション手法の統合

図 1 の Input, Output にあげられている機器の画像をクリックすると、それぞれ入力、出力機器の選択操作に移る。Chameleon では、このときの指定方法において、複数のインタラクション手法を統合した機器指定を実現している。Chameleon は、機器指定のために選択対象機器との関係に応じて「触れる」「写真を撮る」「振る」「写真を選ぶ」「周辺を探す」の 5 つの手法を提供する。これらのインタラクションのために特別な切替え操作は不要であり、利用するコードも機器導入時に発行された単一のコードのみを用いている。以下で、Chameleon におけるインタラクション統合の特徴を述べる。

3.2.1 距離を考慮した異なるインタラクション手法の提供

複数の対象指定インタラクション手法を提供する際には、それぞれが補完することで多様な対象機器の指定を実現する必要がある。Chameleon では、スマートフォン、携帯電話や PDA などの携帯デバイスで可能なインタラクション手法を整理したうえで、対象物と利用者との距離に応じた「触れる」「写真を撮る」「振る」「写真を選ぶ」「周辺を探す」の 5 種の機器指定インタラクションを可能にした。

- 触れる (Touch)

本手法では、「触れる」対象選択技術 (2.1.3 項) を応用し、携帯デバイスの RFID や FeliCa といった機能を用いて、携帯デバイスを直接選択対象に近づけることで選択動作を実現する。選択対象機器に RFID タグの設置が必要となるが、電源供給は必要ない。本手法は手を伸ばし届く範囲の機器に対して効果的である。なお実装に用いた iPhone 3G は RFID リーダを備えていないが、小型の RFID リーダを拡張端子に接続することで触れる動作を実現した。

- 写真を撮る (Snap a Photo)

本手法では、「撮る」対象選択技術 (2.1.1 項) を応用し、携帯デバイスのカメラを用い、対象物に貼り付けた特定のパターンを認識することで対象選択を実現する。カメラで写せる程度の十分近い距離に対象が存在するときに、本手法は有効である。本手法は、現在の携帯電話において広く普及している QR コードによる対象指定方法とほぼ同一である。実装では、黒枠の中に任意の黑白画像を埋め込み認識させられる、ARToolkit マーカを利用した。

- 振る (Swing)

本手法では、携帯デバイスの加速度センサを用い、ある特定のパターンに端末を振ることで対象選択を実現する。選択対象となる機器ごとに、矢印を組み合わせたスイング

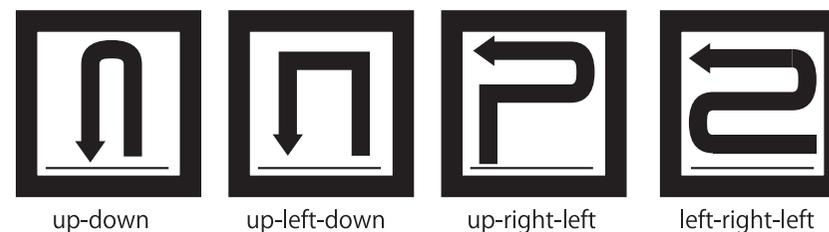


図 2 Swing コードの例

Fig.2 Examples of the Swing Code.

コードを設定し、端末をその矢印に従って振ることで選択動作とする。カメラを近づける必要がある QR コードなどのビジュアルマーカと比べて、視認範囲内に対象があればカメラの解像度などを考えずに利用可能である。本手法は、「身振り」による対象選択技術 (2.1.7 項) や「言葉」による対象選択技術 (2.1.6 項) といった技術と同様に、選択対象にあるコードを設定し、自然な振舞いでそのコードを表現することで対象を指定している。

本手法は、矢印という視認が容易な単純なコードを利用することで、QR コードなどの「写真を撮る」手法より利用可能な距離が長くなる一方、発行可能なコード個数が限定されるという問題がある。上下左右の 4 方向の矢印を用い、同一方向に連続して振れないため、3 つの矢印の組み合わせ方は $36 (= 4 \times 3 \times 3)$ 通り、4 つでは $108 (= 4 \times 3 \times 3 \times 3)$ 通りとなる。ホームネットワークの機器を区別するには十分ではあるものの、コード数が多いとはいえない。実際には、スイングコードは位置情報と合わせてサーバに保存されており、同一のコード体系は同じ家屋の中などに限定して利用することとなる。こうした仕組みによって、スイングコードの広範囲での利用を可能にしている。図 2 にコードの例を示す。右から左など反対方向に戻る際は、矢印の角を丸くすることで区別している。

- 写真を選ぶ (Choose a Photo)

本手法では、「写真選択」による対象選択技術 (2.1.8 項) を応用し、Chameleon の画面上に選択対象となる機器の一覧を写真で表示し、それを選択することで対象選択を実現する。この手法を用いることで、遠隔地にある対象も容易に選択できる。本手法を実現するために、機器の写真データを一括管理し、必要に応じて一覧表示や個別表示を可能にする必要がある。Chameleon では、ビジュアルマーカを貼付した機器をスマート

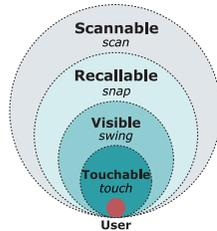


図 3 距離や状況に応じた利用インタラクションの区分
Fig. 3 Distance-based interaction.

フォンで撮影，サーバに送信し，サーバにおいて機器のアドレスなどの情報とともに写真を一括管理する仕組みを構築した。

● 周辺を探す (Scan)

新しく訪れた場所で利用可能な機器を探したり，見えない機器を指定したりするなどといった，上述の直感的な選択手法が利用できない状況のために，周辺の機器をリストアップしそれを選択する手法を提供する．本手法ではあらかじめサーバに機器の一覧表を備えており，検索要求が発行されたときにその一覧表を返している．

図 3 に，それぞれのインタラクションの適応範囲の概念図を示す．触れるインタラクションは手の届く範囲，写真を撮るインタラクションは対象が十分な大きさで撮れる近距離，振るインタラクションは視認範囲である．写真を選ぶインタラクションは，利用者の現在位置に制限されず，思い出すことができれば利用でき，遠隔でも利用できる．最後にあげた周辺を探すインタラクションは，見えない対象を探したり，初めての場所で利用可能な機器を探したりする際に利用できる．それぞれのインタラクションごとに適した対象との距離範囲が異なっており，これらの手法を組み合わせることによって，利用者と対象との関係によらずに機器選択が可能になる．

3.2.2 インタラクション手法の選択の必要性

Chameleon では，機器指定の際にどのインタラクション手法を用いるのかを選択する必要はない．ユーザが機器指定を行う状況で，システムは可能なすべてのインタラクション手法を受け付けるよう設定されている．そのためスマートフォンを持ち「振る」「対象に触れる」などのインタラクション手法を開始するだけで，対象機器の指定が可能になる．図 4 と表 1 に本機能の詳細を示す．機器選択のために入出力機器のアイコンを押下すると，カメラ画面が起動する (図 4 中央)．このままシャッターを押し「写真を撮る」ことも可能 (図 4 右中)

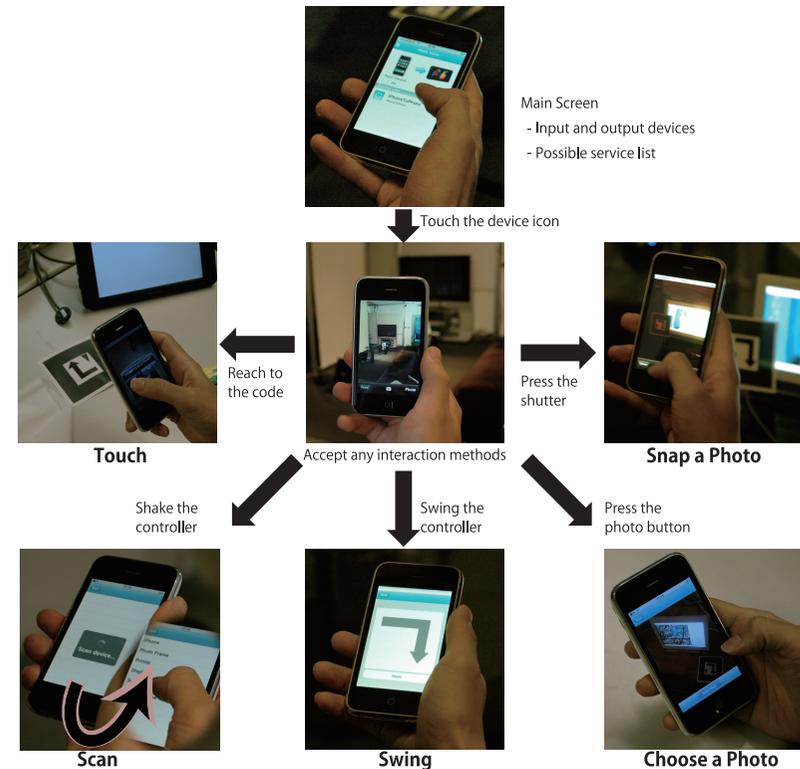


図 4 インタラクション手法の自動選択
Fig. 4 Automatic Selection of Interaction methods in Chameleon.

であるほか，対象に近づけることで「触れる」(図 4 左中)を，上下左右方向に振ることで「振る」(図 4 下中)を，写真選択ボタンを押すことで「写真を選ぶ」(図 4 下右)を，左右に細かく振ることで「周辺を探す」(図 4 下左)を呼び出すことができる．このようにインタラクション手法の選択を不必要とすることで，ユーザの操作手順を減らし使いやすさを実現している．

3.2.3 単一コードによるマルチインタラクション実現

Chameleon で利用する 5 つのインタラクションを実現するためには，選択対象機器にインタラクションを認識するためのマーカを設置する必要がある．「触れる」ためには RFID

表 1 各インタラクション手法とトリガとなる振舞い
Table 1 Each interaction mode and its trigger action.

Interaction	Trigger
触れる (Touch)	スマートフォンを対象に近づける
写真を撮る (Snap a Photo)	シャッターボタンを押す
振る (Swing)	スマートフォンを振る
写真を選ぶ (Choose a Photo)	写真一覧ボタンを押す
周辺を探す (Scan)	スマートフォンを左右に細かく振る

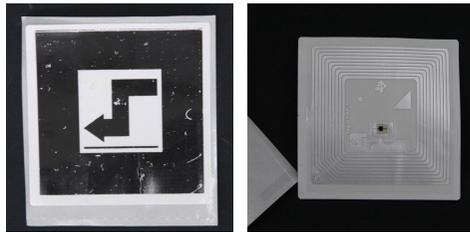


図 5 マルチインタラクションコード
Fig. 5 Multi Interaction Code.

タグを、「振る」ためには振り方を示すスイングコードを、「写真を撮る」ためにはビジュアルマーカが必要になる。これら 3 つのインタラクションのために別々のマーカを用意するのではなく、RFID を内蔵したラベルにスイングコードを印刷し、スイングコードを同時にビジュアルコードとしても利用することで、単一のコードによる複数インタラクション手法への対応を実現している。本コードを、マルチインタラクションコードと呼ぶ。

図 5 に、Chameleon で利用しているマルチインタラクションコードを示す。50mm 四方の RFID ラベルを用いており、任意の機器に貼り付けることが可能である。矢印のパターンはスイングコードであるとともに、黒枠線で囲ったラベル全体がビジュアルマーカとしても機能する。本コードでは Visual Tag の実現のために ARToolKit を利用している。

3.2.4 容易な導入プロセスによるインタラクションの有効化

Chameleon を動作させるためには、各機器にマルチインタラクションコードを張る必要があるほか、サーバで機器のリストや写真を管理する必要があるなど複雑な環境構築が必要になる。Chameleon では、マルチインタラクションコードの自動発行システムを開発し、機器の新規導入を容易にしている。新規機器導入時に自動的に呼び出される手順の中で、必要な情報が収集され、コードの発行やサーバへの情報登録が完了する。



図 6 RFID ラベルプリンタ
Fig. 6 RFID label printer.

Chameleon が対象とするホームネットワーク機器の分野では、UPnP などにより接続するだけでネットワークアドレスや機器の情報を取得する仕組みが存在する。しかしこれだけでは Chameleon が提供する各種インタラクション手法に必要な、実世界での情報はシステムに認識されず、インタラクションを実現するために必要な情報が揃わない。Chameleon では、RFID プリンタを用いたコードの自動生成、自動発行システムや、スマートフォンを通じた機器の写真の撮影システムを連動させ、コードの貼付や機器の画像収集などを支援している。

ユーザが初めて機器を接続すると、1) まず、サーバが接続を検知し、ネットワーク経由で機器情報を取得、サーバにデバイス情報を登録する。2) 次に、サーバにおいて適当なスイングパターン（上下左右の矢印の組合せ方）を割り振り、画像を生成し RFID ラベルプリンタ（図 6）にマルチインタラクションコードを出力する。3) サーバ上で管理するデバイス情報に、スイングパターン、ビジュアルマーカのコード、RFID コードを追加する。4) Chameleon が動作しているスマートフォンに新規機器の接続を通知し、マルチインタラクションコードを貼ったデバイスの写真撮影を促す。5) ユーザは印刷されたマルチインタラクションコードを貼付したデバイスを撮影し、サーバ上にアップロードする。

以上の一連の動作で、サーバにその後のインタラクションに必要な情報が揃う。Chameleon では、各種インタラクション手法による機器決定時に、サーバに問い合わせで機器判定に必要な情報を取得する。この手順全体を図 7 に示す。また表 2 に、各手法ごとに必要となるデータと収集方法をまとめる。

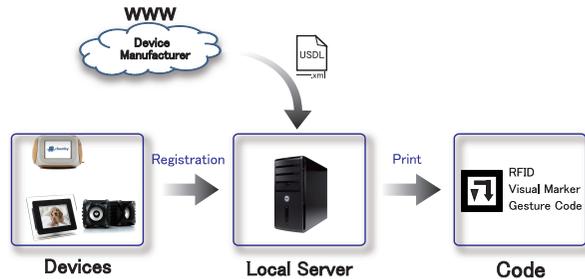


図 7 インタラクションコード自動発行のためのシステム構成
Fig. 7 System architecture for auto device registration.

表 2 インタラクションごとの必要情報とその収集方法

Table 2 Required information and the way of acquisition of each interaction.

インタラクション	必要データ	収集方法
触れる (Touch)	RFID コード	RFID プリンタの印刷時に取得
写真を撮る (Snap a Photo)	ビジュアルマーカパターンデータ	スイングパターン決定時に自動生成
振る (Swing)	スイングパターンと位置	サーバ内で自動生成およびスマートフォンより取得
写真を選ぶ (Choose a Photo)	機器の写真	ユーザのスマートフォンに撮影を要求
周辺を探す (Scan)	機器情報	機器接続時に機器およびネットワークより取得

4. 評価

本章では、Chameleon のユーザビリティ評価を行う。複数インタラクションに関する評価と、デモシナリオに基づく評価を行い、開発したシステムの有効性を評価する。なお本評価の際、「触れる」動作の実現のための RFID リーダ接続には iPhone の jail break が必要となり、評価環境を構築するのが困難であったため、代わりに iPhone 背面に RFID タグを貼り、マルチインタラクションコードの側に RFID リーダを設置し代用している。

4.1 複数インタラクション技法の必要性評価

まずはじめに本論文で提唱するマルチインタラクションの必要性を評価する。利用者と機器との距離の変化に応じて、異なるインタラクションをどう使い分けるかを観察し、複数のインタラクション手法の提供の有効性を評価する。

4.1.1 実験手順

本実験の実験環境として、慶應義塾大学徳田研究室の実験施設である SmartLivingRoom を利用し、複数の機器を利用者から異なる距離に配置した。図 8 (a) に実験空間を、図 8 (b) に利用者と機器との距離を示す。部屋の中に 4 種類の機器を設置したほか、Public Display

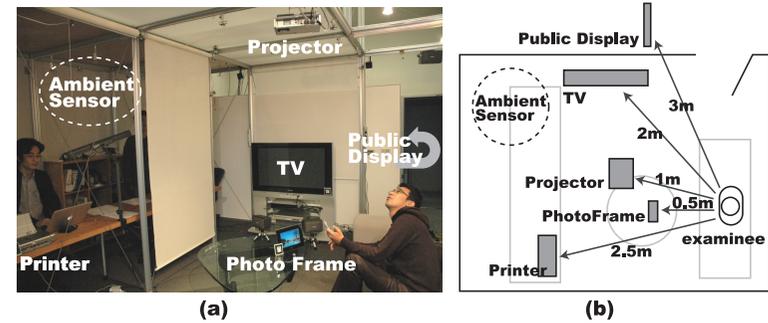


図 8 (a) 実験環境と (b) 利用者と機器との位置関係
Fig. 8 (a) Evaluation setting, (b) Position of the target and examinee.

を想定した端末を実験室の入り口の外に、室温を取得するセンサを被験者が目視、接近できない実験室の天井裏に設置した。被験者は、20 歳代の日常スマートフォンを利用しているユーザ 15 名である。被験者は、各インタラクションの使い方を聞いた後、1 分間インタラクションの練習をした。実験の説明の中では、各機器に対してすべてのインタラクション手法が有効であると説明した。目視できない機器に関しては、実験室入り口において Public Display の存在を説明したほか、設置したセンサの実物を見せて部屋の天井裏に設置してある旨を説明した。その後、実験の開始位置としてソファに座り、6 種類の機器を 2 回ずつ計 12 回、自分の好きな手法で選択し、どのインタラクションを用いたかを記録した。実験終了後に、利用者に対して実験に対する感想をインタビュー形式により尋ねた。

4.1.2 実験結果

本実験の実験結果を表 3 と図 9 に示す。表 3 は、利用者と機器の距離、各機器をどのインタラクションにより選択したかの割合を表している。図 9 は、各機器の選択に用いられたインタラクションの割合である。

4.1.3 考察

実験結果から、利用者は自らの状況に応じて、インタラクションを使い分けることが分かった。実験終了後のインタビューでは、インタラクションの選択理由に、多くの被験者が対象物との距離や間にある障害物の有無であげていた。たとえば、最も近い距離にあるフォトフレームは、「触れる」が最も採用され、一方で視覚に入らない場所にあるパブリックディスプレイやセンサは、「周辺を探す」や「写真を選ぶ」の利用頻度が高い。すべての対象物に対して「写真を撮る」の利用は非常に少ない。これは、対象物にフォーカスを当て

表 3 機器選択時のインタラクション手法の使い分け
Table 3 The rate of the interaction methods in each target.

	フォトフレーム	プロジェクタ	テレビ	プリンタ	パブリックディスプレイ	センサ
距離	0.5 m	1 m	2 m	2.5 m	3 m	空間内のどこか
詳細	テーブルの上	天井	壁沿	机の上	部屋の外	目に見えない
触れる	0.5	0.067	0.067	0.067	0.067	0.0
写真を撮る	0.1	0.067	0.0	0.0	0.0	0.0
振る	0.2	0.5	0.7	0.533	0.0	0.0
写真を選ぶ	0.2	0.167	0.2	0.233	0.333	0.233
周辺を探す	0.0	0.2	0.033	0.167	0.6	0.767

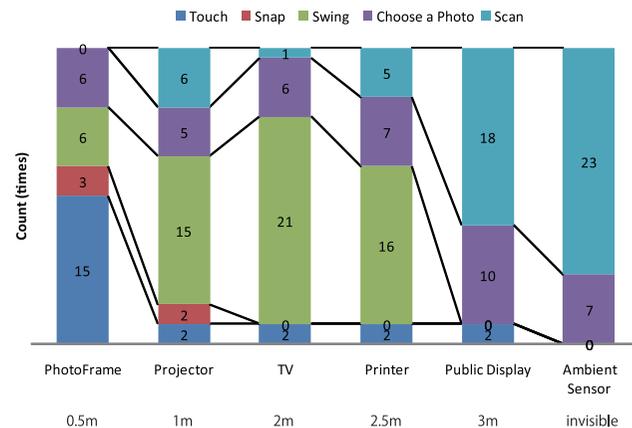


図 9 機器選択時のインタラクション手法の使い分けの割合
Fig. 9 The rate of the interaction methods in each target.

る必要があるため、利用者の負荷が大きいためであると考えられる。

実験から、距離だけではなく、利用者の活動状態や機器の認知の度合いが選択に影響を与えていると分かった。たとえば、「振る」は 1 度コードの矢印を認識すれば、対象物の注視が求められるため、快適であり負担が少ないとの意見があった。これに対して、「写真を撮る」は画面上でマークが認識できているかを確認するため、利用者の負荷が高いと分かった。一方で、実験では被験者をソファに座らせているが、これ以外の姿勢の場合にどのような傾向が出るかは今後の課題として残った。しかし、使い分けることがあるということは変わらないため、人は自分の置かれた状況を解釈し、インタラクションを選択するため、状況に応じた複数のインタラクションを提供する手法は正しい方向性であるとする。

その他の意見として、マルチインタラクションコードは、矢印が枠内に描かれているため、「触れる」や「写真を撮る」に比べ「振る」動作を促していると感じる、触れたときに反応するか不安を感じたとの意見があった。

4.2 インタラクション切替え手法

本節では、4.1 節の結果を受け、シームレスにインタラクションを切り替える手法を評価する。複数インタラクションは、状況に応じて適切な手法の選択が可能だが、一方で切替えの手間を与えてしまう。よって、本実験はこの手間を減らすための利用者の意図を予想したインタラクションの自動的切替え手法を評価する。はじめに、本実験の被験者と実験環境を述べ、ついで、実験結果と実験手順を詳述する。

4.2.1 実験手順

本実験では、インタラクションの切替えを行うための、利用者のアクションをトリガとして自動切替え手法と手動切替え手法の 2 種類を用意した。図 10 (a), (b) に本手法のスクリーンショットを示す。図 10 (b) は画面に、「触る」、「写真」、「振る」、「周辺を探す」の各インタラクション選択のためのボタンが表示されており、利用者が押すことで各インタラクションの画面へと移行する。写真を利用する「写真を撮る」「写真を選ぶ」は、同一のアイコンから利用できるようになっている。図 10 (a) はカメラが最初から起動してあり、この画面から直接、各インタラクションが行える。たとえば、「振る」インタラクションで機器選択するには、この画面のまま直接端末を振り始めると、振るインタラクションの画面へと推移する。実験では、被験者に対してインタラクション手法をランダムに 10 回指定し、指定されたインタラクションで機器選択が完了するまでの時間を測定した。実験の手順は、簡単な説明（目的、使い方、実験に関する諸注意）、インタラクション選択作業、アンケート記入の 3 段階である。実験終了後のアンケートは、リカート法²¹⁾に基づく、質問内容と評定方法である。実験では、ユーザビリティの指標を表す学習しやすさ、効率性、記憶しやすさ、エラーがあるかまたは起こした際の回復、ユーザの主観満足度の 5 つに関して、実験を行い評価した。被験者は、4.1 節と同じ 20 歳代のスマートフォンユーザ 15 名である。

4.2.2 実験結果

タスクを終了するまでの所要時間を図 11 に示す。縦軸には、選択終了までに要した時間の平均値が描かれている。赤で示した棒グラフが自動的切替え手法でのタスク実行までの所要時間であり、青が手動でインタラクションを選択したときの所要時間である。黒い線で表された範囲は、各結果の標準偏差を示している。

「写真を撮る」インタラクションを除いて、自動切替え手法と手動切替え手法の間に大き

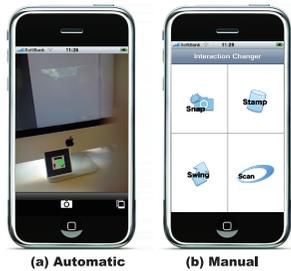


図 10 自動インタラクション切替えと手動インタラクション切替え手法のスクリーンショット

Fig. 10 Automatic and manual mode top.

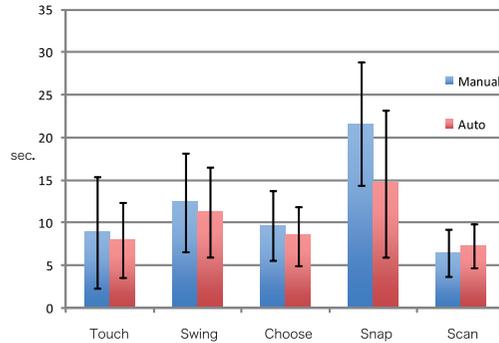


図 11 タスクを終了するまでの所要時間
Fig. 11 Time required to finish the task.

表 4 シームレスインタラクション切替え手法の誤認識
Table 4 Mis-recognition rate for Seamless interaction switch.

	Touch	Swing	Photo	Snap	Scan
認識エラー率	0.06	0.56	0	0.06	0.06

な所要時間の変化はなかった。「写真を撮る」インタラクションは自動切替え手法時に時間がかかっているが、これは写真撮影時にバックグラウンドプロセスで動いている加速度解析による誤作動が原因であると思われる。

表 4 は、自動切替え時の、被験者が意図したインタラクションが起動しなかった認識エラー率である。「振る」に対する誤認識が 0.56 と大きくなる傾向にあるが、この誤認識の多くは、同じくジェスチャを遷移トリガとする「周辺を探す」との誤認識が多かったためである。今後、インタラクション手法の自動切替え精度の向上のために、「周辺を探す」ためのインタラクションを振る動作以外の形に見直す必要がある。

表 5 は、ユーザビリティ評価の 5 つの指針²²⁾ をもとに行った評価実験の結果である。「振る」インタラクションにおける誤認識や所要時間にもかかわらず、「やっていて楽しい」の項目は、自動切替え手法における点数は 4.0 と、手動切替え手法よりも 1.0 点高かった。また、アンケートの自由記述欄からも、自動切替え手法は、手動切替え手法よりも楽しいとの意見を得た。「機器の選びやすさが効率的に行えると思う」の項目では、4.25 と自動切替えが手動切替えよりも 0.5 点高かった。アンケートの自由記述欄では、手動切替えはインタラクションとボタンのマッチングを頭の中でする必要があるが、自動は直接機器を選択するこ

表 5 質問結果：シームレスインタラクション切替え手法
Table 5 Questionnaire's results.

質問	Manual	Automatic
使い方を習得するのは簡単だ	4.0	3.75
やっていて非常にイライラする	3.0	3.0
機器の選びやすさの生産性が上がると思う	3.75	4.25
したことはほとんど間違っていたのではないかと思う	1.25	1.5
必要だと思ったことが全部できる	3.5	3.75
やっていて楽しい	3.0	4.0

とができるとの意見があった。

4.2.3 考 察

利用者の動作をトリガにインタラクションを切り替える自動切替え手法は、解析のために複数のプロセスが動作するため、所要時間が多くかかり、またインタラクションの認識エラーが発生することが分かった。これは、利用時に煩わしさを与えるため、利用の負担へとつながる。また表 5 における「使い方を習得するのは簡単だ」の項でも、手動操作よりかえて低くなる傾向がある。これは、全面的にカメラファインダが表示される自動操作の初期画面において「写真を撮る」以外の「触れる」「振る」「周辺を探す」といった操作が可能であることが伝わらないためだと考えられる。このような欠点にもかかわらず、ユーザビリティ評価の結果からは、利用者は自動切替えを好むことが分かった。自由記述で得た意見をもとに考察すると、手動切替えはボタンがあるため、ボタンの選択やインタラクションとの対応付けをすることが求められる。一方で、自動切替え手法は、あるインタラクションを行いたいと考えれば、その動作を直接始めることができる。よって、自動切替え手法を利用者が好むと考えられる。こうしたことから、本論文で提唱するシームレスなインタラクションの自動的切替え手法の方向性は被験者に好ましく受け入れられたといえる。切替え時の誤動作や所要時間は、画像解析アルゴリズムの改良やシステム的设计見直しにより改善されてゆくと考えられる。

4.3 シナリオに基づく機器連携の評価実験

上述した 2 つの評価実験から、複数のインタラクションを統合し動作させることで、機器選択が容易になることが分かった。次に、この手法を用いて、機器連携を実現する Chameleon の総合的な評価実験を行う。利用者が実際に連携を行うシナリオを想定し、実験環境を用意し、被験者に利用してもらう。以下に実験手順、実験結果、考察を述べる。

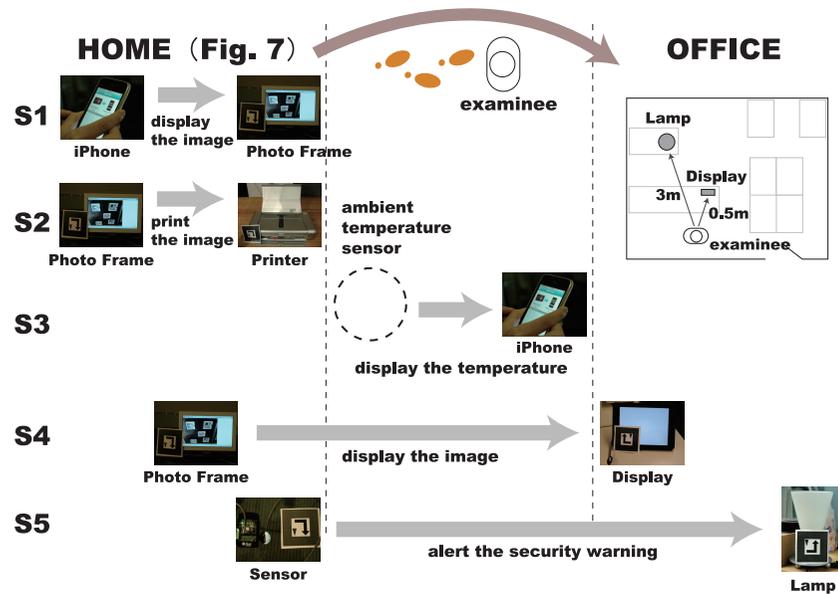


図 12 評価シナリオ
Fig. 12 Evaluation scenario.

4.3.1 実験手順

機器連携が同じ空間内だけでなく、異なる空間の間でも行われることを考慮し、実験環境として、仮想の自宅とオフィスを用意した。仮想の自宅には、リビングルームを想定して作られた本研究室の実験室(図8)を使い、オフィスとして学生が研究を行う研究室を利用した。実験では、家からオフィスまでの移動時に考えられる5つの連携シナリオを用意した。実験の手順は、説明(目的, 使い方, 実験に関する諸注意), Chameleonによる機器連携作業, アンケート記入の3段階である。本実験の被験者はChameleonの利用経験がない20代から30代までの8名である。そのうちコンピュータをほとんど使わないコンピュータ初級者が1名, 日常的に使っている中級者が5名, OSやネットワークの知識, プログラミング経験のある上級者が2名である。ユーザが選ぶインタラクションは, 指定せず, 好みに応じて選択してもらい, 各作業においてどのインタラクションを利用したかを記録した。

図12に, 評価で実施したシナリオを示す。また, 表6はシナリオの詳細を表している。

表 6 評価シナリオの詳細

Table 6 Detail of the evaluation scenario.

順番	概要	場所
S1	iPhone に保存されている写真をフォトフレームに表示	自宅
S2	フォトフレームに表示されている写真をプリンタで印刷	自宅
S3	環境内にあるセンサの値を iPhone に表示	自宅からオフィスへの移動中
S4	家のフォトフレームの写真をオフィスのディスプレイに表示	オフィス
S5	家のセンサからのアラートをオフィスのランプで表示	オフィス

表 7 Chameleon を用いた機器連携手法における距離別の評価結果

Table 7 The result of the questionnaire about identification using Chameleon in different places.

質問	近傍	遠隔	未知の場所
選択をするのが面倒だ	1.38	1.13	1.5
使い方を習得するのは簡単だ	4.5	4.38	3.88
やっていて非常にイライラする	1.75	1.5	1.63
したことはほとんど間違っていたのではないかと思う	1.5	1.5	1.75
必要だと思ったことが全部できる	4.25	4.5	4.0
やっていて楽しい	4.75	4.5	4.75

自宅を模した部屋には, テレビ, プロジェクタ, ディスプレイ, PC, センサ, フォトフレーム, プリンタなど複数の機器がある。また, 仮想のオフィスには机の上に PC, ディスプレイがあり, 少し離れた机の上にライトがある。シナリオは, 機器の場所や所有者が異なり, また機器が各々違うリソースとファンクションを持ち, それにより生成されるサービスの種類を複数考え, 構成した。

4.3.2 実験結果

表7, 表8に実験結果を示す。表8はシステム全体のアンケート結果であり, 表7は環境ごとのアンケート結果を表しており, 自宅を近傍, オフィスを遠隔, 移動中の廊下を未知の場所と記述している。

4.3.3 考察

実験結果から, Chameleon のユーザビリティに関する各項目について考察する。

• 学習しやすさ

プログラミングやネットワークの知識のある利用者は, 簡単な説明だけで Chameleon を使い, 連携サービスの利用ができた。しかし, コンピュータ初級者は機器を連携させることにに関して, 経験がなく, 利用を戸惑っていた。表8のアンケート結果において

表 8 Chameleon を用いた機器連携手法における全体の評価結果

Table 8 The result of the questionnaire about the overall evaluation of Chameleon.

質問	結果
使い方を習得するのは簡単だ	4.75
やっていて非常にイライラする	2.38
したことはほとんど間違っていたのではないかと思う	1.38
必要だと思ったことが全部できる	4.25
やっていて楽しい	4.88
機器の連携は直感的に行えた	4.63
インタラクションは直感的に行えた	4.5

も、「使い方を習得するのは簡単だ」の項目に対する被験者の平均は 4.75 であり、非常に学習しやすい印象を持っていることが分かる。しかし、表 7 の未知の場所における項目の平均値は、他と比べて 3.88 と低かった。これは、見えない機器を連携させることが求められるため、認知的負荷が大きかったと考えられる。

- 記憶しやすさ

Chameleon は、連携サービスの取得には、1) 機器の選択、2) サービスの選択、3) サービスの利用の 3 段階の手順が必要である。しかし、多くの被験者は、1 回の説明で手順を学習することができた。よって、Chameleon の操作は記憶しやすいものだと考えられる。

- エラーがあるかまたは起こした際の回復

実験では、機器選択を何らかのインタラクションで行うときに、各インタラクションが解析を誤った、インタラクションの移行が思いどおりにいかなかったという 2 種類のエラーが特に起きた。4.2 節での評価実験でも、「振る」と「周辺を探す」への移行の遷移が誤作動し、結果タスクを終了するまでの時間を多く要していることが分かっている。このエラーは、表 8 の「やっていて非常にイライラする」という質問に対する平均得点 2.38 に影響を与えていると考えられる。一方で、サービスの選択や利用に関するエラーは発生しなかった。

- 利用者の主観満足度

Chameleon による連携サービス利用に関するアンケート結果で、設問の平均値は 4.88 であった。リカートの個人的満足度の中間点は 3.6 であることが知られており、4.66 という数値は、平均より満足度の高いインタフェースであることを示している。システムの実装を改良し、より動作スピードや精度を向上させることで、さらに高い満足度につ

ながると考えられる。また、表 7 から分かるように、対象機器への距離にかかわらず高い満足度を得ることができた。自由記述欄では、「技術（インタラクション）の押し付けがない」、「自分の状況に応じて、選択方法の変更ができてよい」との意見が目立った。また、利用者の選択手法は、ばらつきがあった。たとえば、S2 におけるフォトフレームの指定は、「触れる」が 2 名、「写真を撮る」が 1 名、「振る」が 1 名である。この結果からは、連携においても、利用者が距離や自分の活動状態に応じて、柔軟にインタラクションを選択し、複数のインタラクションを提案する Chameleon の方向性が正しいと分かった。

5. 議論と今後の課題

Chameleon で行った、複数の機器指定インタラクション手法を統合する方法は、評価によっておおむね高い評価を得ることができた。しかしシステムやインタラクションの設計においては、まだ課題を残している。本システムに対する否定的な評価は、おおむね動作速度、認識精度とコードのデザインに関するものだった。特に認識精度に関しては、「振る」と横に振ることで実行する「周辺を探す」の動作が似通っており、誤認識を起こす問題があった。そのため、「周辺を探す」ためのインタラクション手法を、変更する必要があると考える。また Chameleon の画面に対して「用意されているインタラクションが分かりにくい」、「カメラが最初に起動した状態では、撮影を促す印象を受ける」との意見があった。こうした意見に留意し、複数のインタラクションに対応可能であることを直感的に伝える画面デザインを検討する必要がある。

マルチインタラクションコードのデザインに関しては、コードが「振る」ことを誘発する一方、「写真を撮る」「触れる」ことを誘発しないとの意見があった。すでに QR コードが「撮る」コードとして受容されていることを考えると、大きな問題ではないとも考えられるが、今後は「振る」以外の複数インタラクションに対応することを視覚的にも表現することを検討する。また、コードの大きさもデザイン性を考えたときに重要な問題となる。現在は、視認性、画像認識の精度を考え約 5cm 四方で作成しているが、今後もう少し小さいコードの採用も検討している。

複数のインタラクション手法を同時に起動することは、ユーザビリティ上の議論だけでなく、インタラクション選択画面への遷移のための時間および消費電力の問題を引き起こす。実装した Chameleon では、機器選択インタラクションの開始のためにカメラの起動が必要であり、これに 6 秒程度を要する。この起動時間は、「振る」や「触れる」といったインタ

ラクション手法を利用する際には余計なオーバーヘッドである。また機器選択中つねに加速度センサやカメラを起動していることで、消費電力の問題が生じる。

こうした問題を解決し Chameleon を実用化するためには、スマートフォンの性能向上を待つばかりでなく、カメラからの映像取得間隔や加速度センサの動作頻度を細かく調整する工夫が必要になる。また機器選択の履歴機能を追加することで、機器選択の実施回数が減少し、この問題の影響を抑えることができる。たとえば自宅のホームサーバと、職場のフォトフレームとを連携させ家族写真を表示するサービスを実現した場合、この接続方法を記録し2度目以降はそれを呼び出せば機器選択の実施回数は減少する。

またシステムの点では、Chameleon が動作しているシステム全体を、ホームネットワークを対象とした総合的なミドルウェアへと発展することを考えている。現在は機器の選択機能を中心に実装、評価したが、本システムの基盤には、入出力によってホームネットワーク機器をモデル化し、その接続によってサービスを実現するミドルウェアが動作している。この部分を発展させたり、既存のミドルウェアと融合させたりすることで、今後ホームネットワーク機器やサービスを統合的に管理、制御するシステムへと発展させてゆく。

6. 結 論

本論文は、ホームネットワーク機器の連携を制御するスマートフォンを利用したシステム Chameleon を開発、評価した。Chameleon は、機器連携に用いる対象の指定方法を「触れる」「振る」「写真を選ぶ」「周辺を探る」の4つ提供しており、ユーザと機器との距離などの関係に応じて適切な指定方法を選択することができる。複数のインタラクション手法を統合することで、ユーザの操作やシステムのセットアップが煩雑になることが考えられる。Chameleon では、各インタラクション手法を明示的な切替をせずに利用できること、対象にRFID、ビジュアルタグ、スイングタグを統合した単一のコードを貼ることで選択を実現すること、コードの自動発行システムによってサーバへの情報登録を含むシステムへの機器の登録を容易に実現することで、機器指定時にも新規機器導入時にも簡単な操作が可能な複数インタラクションの統合を実現した。

本論文では、Chameleon のプロトタイプを iPhone 3G を用い実装し、実際に利用される環境を構築して評価を行った。はじめにユーザが部屋内にある様々な機器を異なるインタラクション手法で指定することを確認し、複数インタラクションの必要性を確認した。次にインタラクションの手動切替えと自動切替えとを比較し、自動切替えの利便性を確認した。最後に、システムを自宅からオフィスに移動するという実利用を想定したシナリオで評価し、

システム全体の評価を行い本提案の有効性を確認した。

今後の課題としては、現在2台の機器の連携に限定して構築しているシステムを3台以上の連携にも対応できるよう拡張し、その場合の機器指定の手法について検討する。たとえば、写真画像をプリンタとTV画面両方に出力するようなときに、個別に指定するだけでなく一括して指定する方法について検討する。また現状では、直感インタラクションによる機器指定を受け付ける段階でユーザに可能な指定方法を伝えるようになっていない。画面構成の工夫などでインタラクションを誘発するような仕組みを考える。同時に、システムの実装を改良し、組み込んだ各インタラクションの1つ1つの認識精度や、インタラクション自動切替え時の認識精度を図る。そのうえでより多くの幅広いユーザを対象に評価を実施し、本システムが提案する複数インタラクション統合手法をより詳細に評価する。

謝辞 本研究は、NICT 委託研究「ダイナミックネットワーク技術の研究開発」の研究成果の一部である。

参 考 文 献

- 1) Universal Plug and Play Forum. <http://www.upnp.org>
- 2) Digital Living Network Alliance. <http://www.dlna.org/>
- 3) Ishii, H. and Ullmer, B.: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, *CHI '97: Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, ACM, pp.234-241 (1997).
- 4) Kumar, M., Paepcke, A. and Winograd, T.: EyePoint: Practical Pointing and Selection Using Gaze and Keyboard, *CHI '07: Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, ACM, pp.421-430 (2007).
- 5) Rekimoto, J.: Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments, *Proc. UIST'97*, pp.31-39 (1997).
- 6) Rieki, J., Salminen, T. and Alakarppa, I.: Requesting Pervasive Services by Touching RFID Tags, *IEEE Pervasive Computing*, pp.40-46 (2006).
- 7) Tsukada, K. and Yasumura, M.: Ubi-finger: Gesture Input Device for Mobile Use, *Proc. APCHI*, Vol.1, Citeseer, pp.388-400 (2002).
- 8) Ayatsuka, Y.: Fractal Codes: Layered 2D Codes with a Self-Similar Layout, *Pervasive 2007 Advances in Pervasive Computing*, pp.83-86 (2007).
- 9) Yamaguchi, T., Aono, H. and Hongo, S.: Feature of Signboard Pictures Using a Mobile Camera, *IEICE Technical Report*, PRMU2004-105, Fukui, pp.1-6 (2004).
- 10) Ayatsuka, Y., Matsushita, N. and Rekimoto, J.: Gaze-Link: A New Metaphor of Real-world Oriented User Interfaces, *Trans. IPS Japan*, Vol.42, No.6, pp.1330-1337 (2001).

- 11) Dickie, C., Hart, J., Vertegaal, R. and Eiser, A.: LookPoint: An Evaluation of Eye Input for Hands-Free Switching of Input Devices between Multiple Computers, *OZCHI '06: Proc. 18th Australia Conference on Computer-Human Interaction*, New York, NY, USA, ACM, pp.119–126 (2006).
- 12) Shi, F., Gale, A. and Purdy, K.: Helping People with ICT Device Control by Eye Gaze, pp.480–487 (2006).
- 13) Lee, H., Jeong, H., Lee, J., Yeom, K.-W., Shin, H.-J. and Park, J.-H.: Select-and-Point: A Novel Interface for Multi-Device Connection and Control based on Simple Hand Gestures, *CHI '08: Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, ACM, pp.3357–3362 (2008).
- 14) 暦本純一: InfoRoom: 実世界に拡張された直線操作環境, *インタラクション 2000 論文集*, pp.9–16 (2000).
- 15) Matsuoka, H., Nakashima, Y. and Yoshimura, T.: Aerial Acoustic Communications in Audible Band – Acoustic OFDM, IEICE Technical Report, EA2006-24, Vol.106, No.125, Ibaraki, pp.25–29 (2006). Fri, Jun 23, 2006: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (EA).
- 16) Rekimoto, J., Ayatsuka, Y., Kohno, M. and Oba, H.: Proximal Interactions: A Direct Manipulation Technique for Wireless Networking, *Proc. INTERACT2003*, Sep.-Oct., Press, pp.511–518 (2003).
- 17) Uchida, N., Tokiwa, H., Nishi, M., Takagi, A., Asoh, H., Hashimoto, M., Mori, A., Nakashima, H., Itoh, Y., Kobayashi, I. and Yana, K.: Development of a Speech Dialogue Interface System for Home Automation, IEICE Technical Report, Natural Language Understanding and Models of Communication, Vol.104, No.540, pp.19–24 (2004).
- 18) Yatani, K., Kishimura, T., Tamura, K., Sugimoto, M. and Hashizume, H.: Toss-It: Intuitive Information Transfer Techniques for Mobile Devices, Technical Report of IEICE, HIP, Vol.104, No.169, pp.19–24 (2004).
- 19) Suzuki, G., Aoki, S., Iwamoto, T., Maruyama, D., Koda, T., Kohtake, N., Takashio, K. and Tokuda, H.: u-Photo: Interacting with Pervasive Services Using Digital Still Images., *Pervasive*, pp.190–207 (2005).
- 20) Rukzio, E., Leichtenstern, K., Callaghan, V., Holleis, P., Schmidt, A. and Chin, J.: An Experimental Comparison of Physical Mobile Interaction Techniques: Touching, Pointing and Scanning, *UbiComp 2006: Ubiquitous Computing*, pp.87–104 (2006).
- 21) LaLomia, M. and Sidowski, J.: Measurements of computer satisfaction, literacy, and aptitudes: A review, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol.2, No.3, pp.231–254 (1990).
- 22) Nielsen, J.: *Usability Engineering*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA (1993).

(平成 22 年 6 月 28 日受付)

(平成 23 年 1 月 14 日採録)



伊藤 昌毅 (正会員)

2004 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了, 2008 年同博士課程単位取得退学. 博士 (政策・メディア). 現在, 鳥取大学大学院工学研究科助教. 地理情報や行動履歴の解析技術を中心に, ユビキタスコンピューティングの研究に従事. 地理情報システム学会会員.



橋爪 克弥

2010 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了. 現在, 株式会社ジャフコ勤務. 在学中は, 複数のインタラクション技術の統合手法を中心に, ヒューマンコンピュータインタラクションの研究に従事.



河田 恭兵

2010 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了. 現在, KDDI 株式会社勤務. 在学中は, スマートフォンを用いたインタラクション技術を中心に, ヒューマンコンピュータインタラクションの研究に従事.



生天目直哉

2010 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了. 現在, 同大学院政策・メディア研究科後期博士課程在学中. これまでセンサデータの解析技術, コンテキストウェアアプリケーションの研究に従事し, 現在はセンサネットワークのミドルウェアに関する研究に従事.



伊藤 友隆

2010年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了。現在、同大学院政策・メディア研究科研究員。ユビキタス環境におけるサービスミドルウェアやサービス記述言語等中心に、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。



井村 和博

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程在学中。無線センサネットワークの信頼性の向上を中心に、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。



西條 晃平

慶應義塾大学環境情報学部在学中。無線センサネットワークの応用アプリケーションを中心に、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。



中澤 仁 (正会員)

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科講師。博士(政策・メディア)。ミドルウェア、システムソフトウェア、ユビキタスコンピューティング等の研究に従事。日本ソフトウェア科学会、ACM各会員。



高汐 一紀 (正会員)

1992年慶應義塾大学大学院工学研究科修士(工学)。1995年慶應義塾大学大学院工学研究科博士(工学)。電気通信大学助手、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科助教授を経て、現在、慶應義塾大学環境情報学部准教授。主に、分散システム、実時間システム、ユビキタスシステム等の研究に従事。IEEE、ACM、日本ソフトウェア科学会各会員。



徳田 英幸 (正会員)

1977年慶應義塾大学大学院工学研究科修士。1983年ウォータールー大学 Ph.D. (Computer Science)。同年カーネギーメロン大学計算機科学科勤務。1990年同学科研究准教授。現在、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科委員長。主に、分散リアルタイムシステム、マルチメディアシステム、超並列・超分散システム、ユビキタスシステムの研究に従事。IEEE、ACM、日本ソフトウェア科学会各会員。