

タンジブルユーザインタフェース構築のための ユーザプロフィール学習手法

松井香純^{†1} 寺田 努^{†2} 西尾章治郎^{†1}

タンジブルインタフェース (TUI: Tangible User Interface) を用いてアプリケーションを操作する場合、アプリケーション機能と TUI のデバイスを関連付ける必要があるが、従来の関連付け手法ではユーザの嗜好プロフィールを用意するのが面倒であったり、アプリケーションごとに作成が必要であるという問題があった。そこで本研究では、関連付けに必要なユーザの嗜好プロフィールを自動構築する手法を提案する。提案アルゴリズムでは 6 種類の共通嗜好と 3 種類のアプリケーション特有の嗜好を容易な操作により自動的に構築することで、プロフィール準備の煩雑さを解消する。評価実験の結果、手法を適用したプロフィールを用いて 80%以上の精度でユーザの想定した機能が割り当てられることを確認した。

A User Profile Learning Method for Tangible User Interfaces

KAZUMI MATSUI,^{†1} TSUTOMU TERADA^{†2} and SHOJIRO NISHIO^{†1}

In recent years, to control application easily and intuitively, there is an increasing demand on Tangible User Interfaces (TUI). For using TUI devices to control applications, the system needs to associate the functions with TUI devices. Though several TUI applications and automatical function matching system have been proposed, it is difficult to use them for various applications since the users need to prepare their preferences. In this paper, we propose a method for learning user preferences. Our system automatically constructs the user preferences by considering six types of common preferences and three types of application specific preferences. The proposed method achieved over 80% accuracy on automatic function assignments.

1. はじめに

近年、コンピュータ上のアプリケーションはますます高度化し、操作は複雑になっている。そこで最近では、実体をもつデバイスに手で触れてアプリケーションを操作するタンジブルインタフェース (TUI: Tangible User Interface) の研究が盛んに行われている³⁾。既存の TUI として、瓶の蓋を開けると音楽が流れる musicBottle²⁾、砂の形状を変化させることで地形パターンの変化を表現できる Sandscape⁸⁾ ブロック型の入力装置を用いて三次元形状から立体のオブジェクトを画面上で操作できる ActiveCube⁴⁾ など、数多くの TUI が提案されている。TUI では、実際のものを操作すると同じように入力インタフェースとなっているものを操作すると、実際のものを操作したときに

得られた結果に近い感覚の結果が PC 上で得られるため、ユーザにとってわかりやすいインタフェースを実現できる。しかしこれらはデバイスの操作をユーザがカスタマイズできなかったり、専用のアプリケーションを操作するものであったため、最近では PC 上の既存のアプリケーションを TUI を用いて操作する研究が行われている⁹⁾。TUI を用いてアプリケーションの操作を行うと、マウスで画面上のボタンを押すのではなく実際にスライダを上下に動かすことで画面を上下にスクロールするなど、直観的な操作が可能になったり、よく使う機能を手で押すボタンに割り当てることで初心者にもわかりやすいインタフェースが実現できる。しかしこれまでに TUI のためのツールキットとして提案されている Phidget¹⁾ では、アプリケーションと連携させるために専門的なプログラミングの知識が必要であったり、VoodooIO⁹⁾ ではデバイスとアプリケーションの機能を手動で対応付けなければならぬという問題があった。

これらの問題を解消するために筆者らの研究グループでは、TUI デバイスとアプリケーション機能を自動的に割り当てるアルゴリズムを提案した⁷⁾。このシス

^{†1} 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

^{†2} 神戸大学大学院工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Kobe University

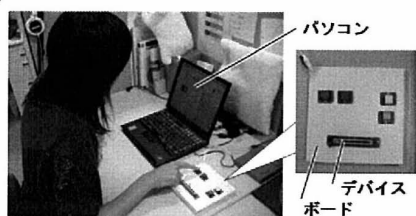


図 1 提案システムの利用例

テムを用いることで、プログラム知識や面倒な対応付けの操作を必要とせず、ユーザが自分専用にカスタマイズした TUI を簡単に構築できるようになった。しかしこのシステムではユーザは自身の嗜好情報をあらかじめ手動で用意する必要があり、また嗜好情報がそれぞれのアプリケーションごとに存在していたため、新たなアプリケーションへ適用できないという問題点があった。

そこで本研究では、ユーザの煩雑な操作なしにユーザの嗜好情報を容易に作成・更新するシステムを実現する。本研究ではまずユーザのデバイス配置に関する嗜好を抽出するために予備実験を行い、得られた知見を基にユーザの汎用的な嗜好情報を作成・学習するアルゴリズムを構築する。提案手法を用いることで、面倒な操作を必要とせず、新たなアプリケーションへも適用できる汎用的な嗜好情報が構築できるようになる。

以下、2 章では想定環境について説明し、3 章では予備実験および提案手法の詳細について述べる。4 章ではシステムの実装に、5 章では精度評価の結果を述べる。最後に 6 章で本論文のまとめと今後の課題について述べる。

2. 想定環境

本研究の想定環境を図 1 に示す。既存のインタフェースであるキーボードやマウスだけでは操作が煩雑であったり操作が退屈な場合に、TUI を併用してアプリケーションを操作する。

本研究では TUI のデバイスとして Pin&Play を用いる⁶⁾。Pin&Play は図 2 に示すように、通信および電力供給を行うボードとそこに配置するピン型デバイス（図 3）からなる。ボードは 5 層からなり、第 2 層と第 4 層には導電性の繊維の布地、第 1 層、第 3 層、第 5 層は絶縁性の素材である。第 2 層は通信と電力供給のための層であり、第 4 層はグラウンドの層である。デバイスは 2 つの端子をもち、ボードに刺し込まれるとそれぞれの端子がボードの各導電層と接続される。また、デバイスは ID をもち、スイッチやスライダといった部品の他に LED を備えている。Pin&Play のボードは、定期的にボード上に存在するデバイスをチェックすることでデバイスの状態の変化や新たなデ

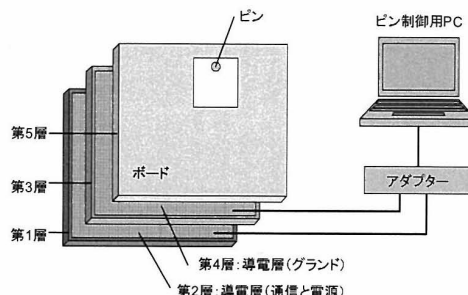


図 2 Pin&Play のシステム構成図

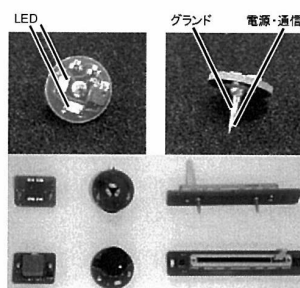


図 3 Pin&Play のデバイス (左からボタン、ダイヤル、スライダ)

バイスの追加、デバイスが抜き取られたことを検出できる。また、著者らの研究グループで提案した、カメラによる位置検出手法を用いることで、ボード上のデバイスの位置を取得できる⁵⁾。

ユーザはボードを PC に接続し、アプリケーションの機能を想定して、その機能を操作したいデバイスを自由に配置する。配置が終わると、ユーザの嗜好情報に基づいて自動的に機能が関連付けされ、ユーザは TUI を用いてアプリケーションを自由に制御できる。またユーザが操作しているアプリケーションが変わった場合は、自動的にそのアプリケーションに適切な関連付けが行われる。

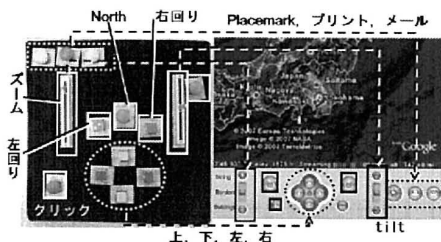
アプリケーションがどのような機能をもっているかはアプリケーション製作者からメタデータとして提供されるものとする。

3. 提案手法

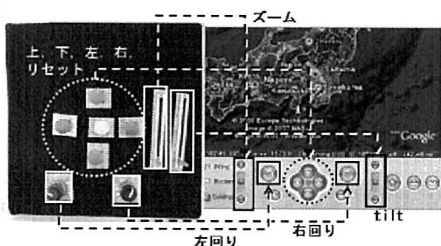
本研究では、TUI デバイスの配置から機能を自動的に割り当てる場合に必要になるユーザプロファイルの自動構築アルゴリズムを提案する。また、自動構築に適し、汎用的に利用できるプロファイル構造を提案する。これにより機能割当ての学習が可能になり、ユーザは PC 上のあらゆるアプリケーションを TUI で直観的に操作できるようになる。



図 4 予備実験の様子



(a) 被験者 A

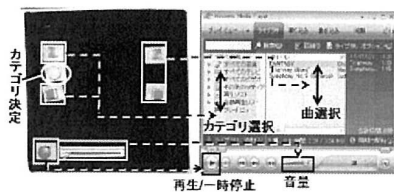


(b) 被験者 B

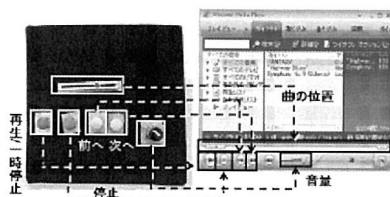
図 5 GoogleEarth を操作する場合のデバイスの配置

3.1 予備実験

本システムは、ユーザがもつ嗜好をもとに TUI に対するアプリケーション機能の割当てを行うことを前提としたシステムである。ユーザの嗜好はパラメータとして表現されるため、どのような種類の嗜好が機能配置に影響を与えるかを明らかにする必要がある。そこで、アプリケーション機能とデバイスの割当てやデバイスの配置に関する嗜好を調査し、アルゴリズム設計の方針を決定するために予備実験を行った。実験は 20 代の男女 9 人を被験者として、まず被験者に Pin&Play のデバイスを使って簡単なゲームをさせることで、デバイスの操作感を把握させ、その後下記の手順で実験を行った。まず、被験者にブラウザ、音楽



(a) 被験者 C



(b) 被験者 D

図 6 WindowsMediaPlayer を操作する場合のデバイスの配置

プレイヤー、地図ソフトという一般ユーザが頻繁に用いる 3 種類 8 個のアプリケーションを提示し、それをマウスやキーボードで使わせながら、そのアプリケーションの中で TUI で使いたい機能とその機能に割り当てたいデバイスを自由にボード上に配置させた。次にそれぞれのアプリケーションごとに数種類の機能に限定し、その機能を割り当てたいデバイスを自由に配置させた。

3.2 予備実験の結果

実験の結果、異なるアプリケーション間での配置の共通点や、同じアプリケーションに対しても被験者のデバイス配置にはさまざまなパターンがあることがわかった。図 5 に Google Earth に対して、機能を限定せずにデバイスを配置させた際の実験結果を示す。デバイスの配置に関して、被験者 A がズームとティルトのスライダを GUI での表示順に従ってボードの両端に分けて配置しているのに対して、被験者 B は 2 つのスライダを右端にまとめて配置するなど、機能に対しての配置方針が異なることがわかる。一方で、両者とも地図を上下左右に移動させるボタンはその意味どおりに上下左右の位置に配置しており、地図の右回転と左回転のデバイスもそれぞれ左右に配置するなど、操作上の意味を重要視して配置していることがわかる。さらに、上下左右ボタンを隣接させて配置していることから、意味の近い機能は隣接させるという方針があることもわかる。図 6 に Windows Media Player に対して、機能を限定せずにデバイスを配置した際の実験結果を示す。同じ音量を制御するのであっても、被験者 C は GUI で表示されているボリュームのバーと

表 1 実験結果からの被験者の嗜好

被験者の嗜好		適合率
1	ウィンドウ上の GUI の配置に近い配置にデバイスを置く	7/9
2	順番に意味がある場合や、並ぶ順番が概念的に決まっているような場合は、その順にデバイスを並べる	9/9
3	関連性の高い機能を隣接して配置する。	9/9
4	関連性の高い機能には同じ形状のデバイスを割り当て、そうでない場合は違う形状のデバイスを割り当てる	9/9
5	同じ意味をもつ機能には、アプリケーションが変わっても同じ形状のデバイスを割り当てる	6/9
6	デバイスに向きがある場合、その方向とウィンドウ上での変化方向が一致するようにデバイスを置く	8/9
7	GUI の表示とは関係なく、特定の機能は特定の位置に配置したり、特定のデバイスを選択する	4/9

同じ向きにスライダ配置しているが、被験者 D はダイヤルを利用して音量を調整しようとしている。このように GUI における配置に強く影響されるユーザもいれば、日ごろから使用している機器の形状に影響されるユーザも存在する。また、この例でも、プレイリストの上下はボタンも上下に配置されるというように機能の意味を考慮して配置が行われていること、機能が近いデバイスは隣接して配置されていることがわかる。

すべての被験者の評価結果より、被験者が考慮したと思われる配置に関する嗜好を抽出した結果とその適合率を表 1 に示す。結果より、すべての被験者が、機能間の意味が明確な場合はそれに従ってデバイスを配置し、さらにほとんどの被験者は GUI の配置に近い位置にデバイスを配置することがわかった。また、GUI とは関係なく、個人の嗜好に従ってデバイスを選択して配置する被験者もいることがわかった。これは「ボリューム＝つまみ」といったように、日常生活における機器の特徴をもとに機能配置しているものと考えられる。

3.3 関連付けアルゴリズム

前節で述べた予備実験の結果から、アプリケーション機能のデバイスへの割当てにおいては、(1) 機能に対するデバイスの適性、(2) 機能間の位置関係、(3) 機能間の関連性、の 3 つが重要であり、それぞれの要素はアプリケーション固有のものと、アプリケーションによらず汎用的なものに分けられることがわかった。それぞれに関して以下に説明する。

機能に対するデバイスの適性 (嗜好 1, 5, 6, 7)

ユーザがアプリケーションの機能を操作するとき、操作に適したデバイスの種類や、デバイスに適した位置は、その機能の特徴に対してユーザがもつ嗜好による。予備実験では、スクロールバーはスライダに割り当てられることが多い、GUI 上の配置に従ってスクロールバーに対応するデバイスは右側や下側に配置する、被験者が左手で操作したい機能は常に左側に配置される、といった傾向があった。

機能間の位置関係 (嗜好 2)

意味的に 2 次元的な位置関係をもつ機能は、その位置関係に従って配置される。予備実験では、地図を上下左右に移動させるボタンは、どのユーザも上下左右の位置関係で配置していた。

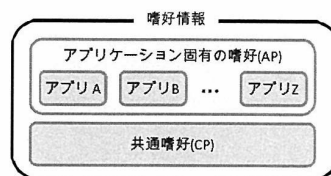


図 7 嗜好情報の構造

機能間の関連性 (嗜好 3, 4)

意味的に近い機能や、対になる機能は、割り当てるデバイスを近くに配置する傾向がある。予備実験では、消音ボタンと音量ダイヤルを隣接して配置する例があった。

上で挙げた 3 つのユーザの嗜好にはそれぞれ、アプリケーション固有のものと、アプリケーションによらず汎用的なものがある。予備実験では、あるユーザはどの音楽再生ソフトでも、停止ボタンと再生ボタンを横に隣接して配置する傾向が見られたが、アプリケーションの GUI 上のボタン配置に影響され、2 つのボタンの左右が入れ替わる場合があった。

これらの結果から、図 7 に示すように、システムには各ユーザに対し共通嗜好情報と、各アプリケーションごとの嗜好情報とを分けて保持させる。これによりシステムはアプリケーションごとの嗜好情報のまだない新たなアプリケーションに対しても、共通嗜好情報を用いることによりユーザの嗜好を反映した割当てが可能になる。具体的には、嗜好情報は機能へのデバイスの適性、機能間の位置関係、機能間の関連性などの詳細で具体的なアプリケーション固有の嗜好情報と、図 8 に示すような汎用的な 6 要素からなる共通嗜好とで構成する。

機能割当てでは上記の方針に従い、アプリケーション機能とデバイスの関連付けを行う。ユーザは上記の方針に沿う度合いを具体的なスコアとして、あらかじめ配置の嗜好情報として保持しておく。

共通嗜好とした 6 要素は、表 1 に沿ったものとなっており、ユーザの嗜好の強さの度合いを 10 段階のスコアで表わす。この表 1 の 7 番目の要素である、特定の機能に関するデバイスの位置や種類の嗜好に関して

- (1) PositionSimilarityToGUI (PS): ウィンドウ上の GUI 配置への近似度
- (2) OrderCompliance (OC): 意味のある順番の順守度
- (3) RelationAdjacency(RA): 関連性の高い機能の隣接配置度
- (4) RelationUniformization(RU): 関連性の高い機能に同形状のデバイスを割り当てる度合
- (5) CommonUniformization(CU): アプリケーションに関わらず同じ意味の機能には同形状のデバイスを割り当てる度合
- (6) DirectionConcordance (DC): デバイスに向きがある場合のウィンドウ上の変化方向との一致度

図 8 共通嗜好

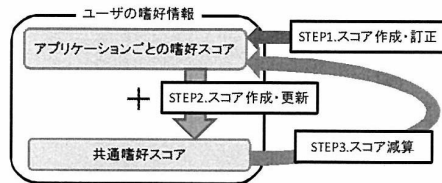


図 9 学習アルゴリズムの構造

は、アプリケーションごとの固有の嗜好情報として詳細に記述することで実現している。アプリケーション固有の嗜好情報では、機能に対するデバイスの種類や、機能間の位置、距離関係の嗜好の強さについて、上限をもたないスコアで表わす。

関連付けの手順として、システムは TUI デバイスの配置から、デバイス（および複数デバイスのグループ）に対するアプリケーション機能の全ての組合せを列挙し、スコアとして保持された上記の要素を含むユーザーの嗜好情報をもとに各組み合わせの評価値を算出する。列挙されたすべての組み合わせに対して最大の評価値をもつ組合せを採用し、システムはユーザーに最適な割当てを提示する。

3.4 割当て学習アルゴリズム

予備実験の結果にもとづき、本研究ではアプリケーション固有の嗜好と共通嗜好を考慮した割当て学習システムを設計した。この 2 種類の嗜好情報は独立しているため、各アプリケーションの嗜好情報が更新された場合に、共通嗜好への反映が必要となる。図 9 に嗜好情報の構築・更新機構を示す。以下でそれらの手順を詳細に述べる。

STEP1 アプリケーションごとの嗜好情報の作成

システムは以下の 2 つのモードを用いて、アプリケーション固有の嗜好情報を構築、更新する。

間違い訂正モード：

関連付けシステムを用い、ユーザーが配置したデバイスにアプリケーション機能を関連付けした時に、システムが提示した関連付けがユーザーの想定と異なる場合、

ユーザは間違い訂正モードを選択し、誤った関連付けが行われたデバイスをシステムに通知できる。ここでシステムは、正しい関連付けに寄与した嗜好のスコアや、間違いに寄与した嗜好のスコアを増減させることでアプリケーション固有の嗜好情報のパラメータを修正する。正しい嗜好情報の中でも絶対位置や距離に関するスコアについては、段階の近いスコアにも修正値を伝播させることで、その時の厳密な位置による局所的なスコアになるのを防ぐ。修正後、再度関連付けを行い、ユーザーの嗜好に合う関連付けになるまでこの操作を繰り返す。その場合システムは、通知された、間違ったデバイスと機能の割当ての履歴を考慮しながら、パラメータ調整を行う。

プロフィール作成モード：

システムを新規に利用する場合など、全くプロフィールのない状況では間違い訂正モードをによるプロフィール構築に時間がかかるため、プロフィール作成モードを用意した。プロフィール作成モードでは、サンプルアプリケーションをユーザーに提示し、ユーザーが想定する機能割当てを入力してもらうことで、その情報をもとにプロフィールを自動構築する。システムはデバイスの配置からユーザーの嗜好を抽出し、スコアに変換してアプリケーション固有の嗜好情報を作成する。

STEP2 共通嗜好の作成

STEP1 で構築・再構築したアプリケーション固有の嗜好情報をもとに、共通嗜好を抽出する。各共通嗜好を支持するアプリケーション固有の嗜好情報数を数え、以下の式を用いて 10 段階のスコアに変換し、共通嗜好スコアとして反映する。ここでは、各共通嗜好を支持するアプリケーション固有の嗜好の割合を、そのまま嗜好の支持率とするのではなく、低い割合は支持していると見なさないという閾値を設け、閾値以上の割合の度合いを 10 段階のスコアへと変換している。

$$S_i^c = \left(\frac{P_i^s}{P_i^a} - P^t \right) \times \frac{(1 - P^t)}{9} \quad (1)$$

S_i^c は i 番目の共通嗜好スコア、 P_i^a は i 番目の共通嗜好に関するアプリケーション固有の嗜好情報数、 P_i^s はその中でその共通嗜好を支持する嗜好数、 P^t は支持率の閾値を表している。

また、ある適当な一定値のスコアを支持スコアとし、 P_i^s は、支持スコア以上のスコアを保持している嗜好情報数を、支持しているとみなしてカウントする。

STEP3 アプリケーションごとの嗜好情報の更新

STEP2 で作成された共通嗜好スコアは、関連付けの際にアプリケーション固有のスコアと加算して利用されるため、アプリケーション固有の嗜好情報から共通嗜好スコアを引く必要がある。

そこで、共通嗜好情報の作成に関与したアプリケーション固有の嗜好情報のスコアから、関与して更新された新しい共通嗜好スコアの合計を減算し、新しいアプリケーション嗜好情報として更新する。

```

<application>
  <InternetExplorer>
    <v_scrollbar position="right">
      <button position="up"
        key="{PGUP}" />
      <button position="bottom"
        key="{PGDN}" />
      <dial position="" motion="-"
        key="{PGUP}" />
      <dial position="" motion="+"
        key="{PGDN}" />
    </v_scrollbar>
    <prev position="up">
      <button type="m" x="35" y="63" />
    </prev>
    <next position="up">
      <button type="m" x="92" y="63" />
    </next>
    <refresh position="up">
      <button position="" x="166" y="63" />
    </refresh>
  </InternetExplorer>
</application>

```

図 10 アプリケーション機能の記述例 (Internet Explorer の例)

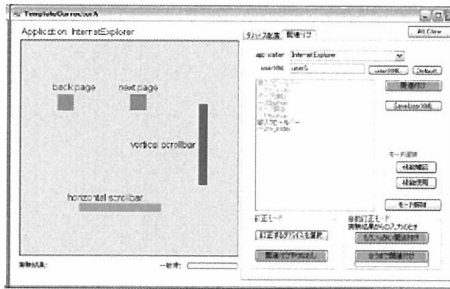


図 11 シミュレータの表示例

4. 実 装

システムのプロトタイプを実装した。プロトタイプは、ボタン、スライダ、ダイヤルやその他の TUI デバイスを配置すると、自動的にフォアグラウンドのアプリケーションの機能を配置したデバイスに割り当て、実際にユーザがデバイスを操作することでアプリケーションが制御できる。また、プロファイル作成モードや間違い訂正モードをホットキーを用いて選択することでユーザは嗜好情報を簡単に用意できる。各アプリケーションがもつ機能情報に関しては、図 10 に示すような XML 形式であらかじめ記述しておいたが、これらはアプリケーション開発者から提供されるものと想定している。また、図 11 に示すシミュレータを Microsoft Windows XP Professional 上で Microsoft

```

<function>
  <v_scrollbar>
    <h_position value="same" score="5" />
    <v_slider num="1" color="" score="4" />
    <dial num="1" color="" score="3" />
  </v_scrollbar>
  <h_scrollbar>
    <v_position value="8" score="3" />
    <v_position value="9" score="5" />
    <v_position value="10" score="3" />
    <h_slider num="1" color="" score="4" />
    <dial num="1" color="" score="3" />
  </h_scrollbar>
  <prev>
    <v_position value="same" score="2" />
    <button num="1" color="" score="2" />
  </prev>
</function>

```

図 12 アプリケーション固有の嗜好情報の記述例

```

<preferences refreshNum="1" >
  <PositionSimilarity score="7" />
  <OrderCompliance score="10" />
  <RelationAdjacence score="5" />
  <RelationUniform score="10" />
  <CommonUniform score="10" />
  <DirectionConcordance score="10" />
</preferences>

```

図 13 共通嗜好情報の記述例

Visual C#.NET を用いて実装し、実際に TUI を用いた場合と同様の機能を PC 内で実現できるようにした。

実際のアプリケーション固有の嗜好情報の記述形式の一部を図 12 に示す。ここでデバイスの種類や位置に関するアプリケーション機能ごとの詳細な情報を記述する。位置に関する情報は、作業範囲を 10 分割し、10 段階で適性を示しており、それぞれの情報は嗜好の強さをスコアとして保持している。共通嗜好の記述形式を図 13 に示す。ここでは全アプリケーションに共通する、汎用的な 6 要素の共通嗜好に対してその傾向の強さを 10 段階のスコアで保持している。

5. 評価実験

PC の操作に習熟した 20 代の男女 11 名を被験者とした評価実験を行った。本評価では、代表的なウェブブラウザ、音楽プレイヤー、地図ソフトをそれぞれ数種類用い、機能のある程度限定した上で被験者にデバイスを自由に配置させ、プロファイル作成モードでのプロファイル構築アルゴリズムに関する評価と、間違

表 2 閾値と機能一致率評価										
閾値 (P^t)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
機能一致率	0.6155	0.6651	0.6881	0.7321	0.7575	0.7569	0.7571	0.7562	0.7564	0.7509

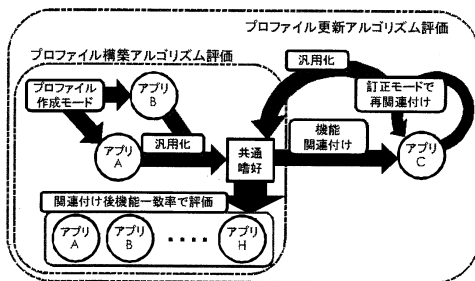


図 14 評価実験の模式図

い訂正モードでのプロフィール更新の精度評価に関する実験を行った。これらについて以下で詳細に述べる。

5.1 プロファイル構築アルゴリズム評価

プロフィール構築アルゴリズム評価では、プロフィール構築時に使用する閾値とその精度に関する評価を行った。ここでは、嗜好情報の無いプロフィールを用意し、図 14 に示すように、まずプロフィール作成モードを使用して 2 つのアプリケーションでの正解関連付け情報をアルゴリズムに適用することでプロフィールを構築し、構築したアプリケーションを含む 8 つのアプリケーションへ割り当てることで、機能一致率で評価を行った。

5.1.1 閾値評価

プロフィール構築時に使用する閾値 P^t で共通嗜好スコアへの反映度が変わる。この閾値を適切に設定するため、閾値の値による共通嗜好構築の適切さを評価した。

表 2 に示す結果からわかるように、閾値による大きな差は見られなかったが、0.2 から 0.5 の範囲に閾値がある場合に機能一致率が安定しているため、この範囲内で閾値を設定すべきであることがわかった。閾値が高い場合は、有用である範囲の割合でも閾値以下であり支持しないと見なされ、正常に共通嗜好として反映されていないためであると考えられる。

5.1.2 精度評価

構築したプロフィールの精度を評価するため、構築したプロフィールを用いて同じユーザの 8 つのアプリケーションでの機能一致率を調べた。

前節の評価結果を踏まえ、適切な閾値での機能一致率で評価したところ、76%での機能一致率が確認できた。

また、ここではプロフィール作成に用いた 2 つのアプリケーションを含む 8 つのアプリケーションにも適用しており、作成したのと同じアプリケーションへは 96%で、異なるアプリケーションへは 65%での機能一

表 3 更新アルゴリズム評価結果

更新時期	更新なし	5 回訂正後	10 回訂正後
訂正回数平均	8.9 回	9.11 回	8.7 回
更新回数平均	0 回	0.67 回	0.23 回
更新後一致率	-	80.1 %	81.3 %
更新後の一致改善率	-	9.2 %	12.5 %
実際の更新試行数	-	78 / 254	51 / 254
改善試行数	-	78 / 87	51 / 51
改善試行数	-	6 / 87	0 / 51

致率が確認できた。異なるアプリケーションへは、アプリケーション固有の嗜好情報が存在しないため共通嗜好のみで割当てを行っている。そのため、プロフィールを手動で用意した場合での機能一致率より落ちるが、次節で述べる間違い訂正モードとの併用も踏まえると、実用可能な範囲の精度だと考えられる。これにより、プロフィールの存在しない新たなアプリケーションへも容易に適用できることを確認した。

5.2 プロファイル更新アルゴリズム評価

プロフィール更新アルゴリズムの評価として、図 14 で示すように、構築アルゴリズム評価と同様に 2 つのアプリケーションで作成したプロフィールで 8 つのアプリケーションに一度関連付けした後、訂正モードでアプリケーション特有の嗜好情報を修正された時に、それらと共通嗜好を定期的に、更新アルゴリズムで更新したときのアプリケーションの機能一致率の評価を行った。

ここで、アプリケーションごとの嗜好が何回更新されてから共通嗜好へ反映させるかといった、更新頻度が機能一致度に影響する。更新間隔が短いと訂正されたパラメータから即時共通嗜好へと反映されるが、訂正したパラメータが必ずしも正しいとはいえないため、逆に訂正回数が増えてしまう可能性もある。そこで、更新頻度による影響とそれによる機能一致度を評価した。ここでは、平均訂正回数が 8.9 回であったことを踏まえ、5 回訂正される毎に更新する場合と 10 回訂正される毎に更新する場合とで評価を行った。結果を表 3 に示す。更新アルゴリズムを用いることで、どちらの場合でも 80%以上の機能割当て精度を確認できており、容易な操作でプロフィールを構築でき、かつユーザの割当てを学習することによるプロフィール再構築ができていると考えられる。5 回訂正後の更新と 10 回訂正後の更新とでは、5 回のほうが更新頻度が高いため、更新し一致率が改善したサンプルも多かったが、逆に訂正回数が増えたサンプルも見られた。10 回訂正後の更新では、更新頻度が低いため、更新し改善されたサンプル数は少ないが、悪影響となったサン

ルは見られなかった。

更新後の改善率は10回訂正後更新の方が良いが、改善サンプル数は5回訂正後更新の方が良いため、5回で更新する場合は効率を上げるために、共通嗜好に変換する嗜好情報の数に閾値を設けるなどで信頼性のない更新を防いだり、10回で更新する場合は、訂正回数が10回未満で終了したサンプルに対して、訂正終了後に更新アルゴリズムを適用し改善されるサンプル数を増やすなどといった改善が有効だと思われる。

6. ま と め

本研究では、TUIを用いてPC上のアプリケーションを操作するシステムにおける、ユーザの嗜好情報を自動構築・更新する手法を提案した。提案システムでは、予備実験をもとに6種の共通嗜好と3種のアプリケーション固有の嗜好情報を管理する。評価実験により、80%以上の精度でユーザの意図通りのアプリケーション機能へ割当てが行えることを確認した。割当てが間違っている場合にも訂正モードを用意することで、ユーザの嗜好の更新を容易に、かつ効果的に行えるようにしている。提案システムを用いることで、ユーザは容易にTUIを用いてPC上のアプリケーションを操作できるようになる。

本研究ではPin & Playシステムについてのみ評価を行ったが、他のTUIデバイスを用いた場合でも、そのデバイスに対する位置や機能割当てへの嗜好を記述すれば、提案アルゴリズムはそのまま適用できる。したがって、今後は3次元TUIなど他のTUIデバイスへ提案手法を適用し、また、PC操作の初心者や子供などを対象とした運用評価を行い、提案アルゴリズムの有効性を評価する予定である。

謝辞 本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)(17200006)、および中山隼雄科学技術文化財団の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) Greenberg, S. and Fitchett, C.: Phidgets: easy development of physical interfaces through physical widgets, in *Proc. of the ACM symposium on User interface software and technology (UIST 2001)*, pp.209–218 (2001).
- 2) Ishii, H., Mazalek, A., and Lee, J.: Bottles as a Minimal Interface to Access Digital Information, in *Extended Abstracts of Conference on Human factors in Computing Systems (CHI 2001)*, pp.187–188 (2001).
- 3) Ishii, H. and Ullmer, B.: Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms, in *Proc. of Conference on Human factors in Computing Systems (CHI 1997)*, pp.234–241 (1997).
- 4) Kitamura, Y., Itoh, Y., and Kishino, F.: Real-time 3D Interaction with ActiveCube, in *Extended Abstracts of Conference on Human factors in Computing Systems (CHI 2001)*, pp.355–356 (2001).
- 5) Kishino, Y., Terada, T., Villar, N., Gellersen, W.H., and Nishio, S.: A Position Detection Mechanism enabling Location-aware Pin & Play, *International Journal of Smart Home*, Vol.1, No.1, pp.31–39 (2007).
- 6) Van Laerhoven, K., Villar, N., Schmidt, A., Gellersen, W.H., Hakansson, M., and Holmquist, E.L.: Pin&Play: The Surface as Network Medium, *IEEE Communications Magazine*, Vol.41, No.4, pp.90–96 (2003).
- 7) Matsui, K., Kishino, Y., Terada, T., and Nishio, S.: An Automatic Matching Algorithm between Devices and Application Functions for Tangible User Interfaces, in *Proc. of the IADIS Interfaces and Human Computer Interaction (IHCI 2007)* (2007).
- 8) Piper, B., Ratti, C., and Ishii, H.: Illuminating Clay: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis, in *Proc. of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2002)*, pp.355–362 (2002).
- 9) Villar, N., Gilleade, M.K., Ramduny-Ellis, D., and Gellersen, W.H.: The VoodooIO gaming kit: a real-time adaptable gaming controller, in *Proc. of Advances in Computer Entertainment 2006 (ACE 2006)* (2006).