

Ubi-command Human Interface 家電制御プロトタイプシステムを使用した ユーザビリティ評価実験

山 岸 郁^{†1} 荊 雷^{†2}
周 穎 慧^{†1} 程 子 学^{†2}

高齢者が抱える問題として、身体能力の低下に伴った日常生活の問題があげられる。高齢者にとって日常生活での電子機器の操作や、ヘルパーの人を呼び行為も簡単なものではない。そのため、指コマンドヒューマンインターフェース (Ubi-command Human Interface 以下, UHI) は高齢者に利用しやすいシステムを構築するために提案された。UHI は直感的な指動作の操作を提供する指輪状のデバイスであり、人差し指に装着して使うことができる。3軸の加速度センサを持ち、X, Y, Z 軸の加速度を測定できる。One-stroke の指動作ではこの3軸の標準偏差は異なり、それぞれの指動作の特徴が出る。これにより、現在12種類の One-stroke 指動作が識別できる。また、UHI は無線通信により指動作に沿った命令を送信できる。UHI を使用した高齢者へのバリアフリーなシステムが期待できるが、UHI システムについては検証されているだけである。従って、UHI を利用するアプリケーションレベルの評価はまだ不十分である。本研究では、UHI による家電操作のプロトタイプシステムを構築する。次にそのシステムを利用した UHI の使用テストを行い、今後の改善のために有用性の評価および問題点の特定を行う。本研究での問題点は主に3つある。1つは評価システム、2つ目は評価項目、3つ目は評価手法についてである。1つ目は、ユーザが UHI の機能・特徴を十分に体験し理解できる評価システムをどう構築するのが問題となる。2つ目に、UHI の何に対して評価をするのかという評価項目についての問題がある。そして、その項目に対してどのような評価手法を選択するかが3つ目の問題である。本研究では以下の手法をとる。システムは UHI による家電制御を行うプロトタイプを構築する。評価項目は UHI のユーザビリティを基準に据える。そして、設定した評価基準に基づき、テスト状況を記録してその解析を行う。本評価実験では、UHI とリモコンのユーザビリティを比較する。ユーザは UHI とリモコンをそれぞれ使って指定されたタスクを達成する。実験の結果から、UHI の操作効率はリモコンと比較して50%程度であることが明らかになった。また、UHI の効率を改善する方法は主に3つ考えられる。1つ目は、指動作の定義を見直すこと。2つ目は、指動作の認識率を改善すること。3つ目は、今回のシステムを改良することである。

A Prototype System for Senior Citizens to Control Electric Appliances by Ubi-command Human Interface

KAORU YAMAGISHI,^{†1} LEI JING,^{†2} YINGHUI ZHOU^{†1}
and ZIXUE CHENG^{†2}

There is a difficulty in senior citizen's daily life with decreasing ability of recognition and physical ability. It is hard for senior citizens to control electric appliances and call family members or a nursing helper when he/she has requests, or urgent situations have happened. Ubi-command Human Interface (hereinafter called UHI, and "Ubi" means a finger in Japanese) was proposed to construct a system that can help senior citizens to use the appliances easily. The UHI can offer the operation by intuitive finger gestures and its shape is just like a ring. The UHI has fixed 3D accelerometer and is worn on the forefinger. The UHI can detect 12 types of one-stroke finger gestures. The UHI can offer a barrier-free system for senior citizens. The feasibility of the approach has been verified in previous studies. However, the direct usability test has not been done yet. Therefore, the evaluation of the interface is necessary. In this study, our purposes are to construct a prototype system to control electric appliances by the UHI, to evaluate the utility of the UHI by using the prototype system and to find the existing problems of this system in order to improve the UHI. In this study, the following methods are adopted. A prototype is constructed to control the electric appliances by the UHI. The usability of the UHI is chosen as an aspect to be evaluated. Based on a set of evaluation criteria, the test situations are recorded, and the analysis is conducted. In this evaluation experiment, the usability of the UHI and conventional Remote Controllers (RC) are compared. Users control the electric appliances by using the UHI and Remote Controllers for achieving the tasks. As result of the experiment, the efficiency of UHI was about a half of RC. And there are three methods to improve efficiency. The first method is to redefine the finger gestures. The second is to improve the finger gesture recognition rate. The third is to improve the prototype system in this study.

^{†1} 会津大学大学院コンピュータ理工学研究科

Graduate School of Computer Science and Engineering, the University of Aizu

^{†2} 会津大学コンピュータ理工学部

School of Computer Science and Engineering, the University of Aizu

1. はじめに

Ubi-command Human Interface (以下, UHI) は搭載された加速度センサによって指の動きを検知できるデバイスである。指の動作を入力手段とすることで各動作に対応させた命令を実行することができる。デバイスの形状は指輪型であり装着しやすい。UHI が開発された経緯には、高齢化社会における高齢者の身体能力の低下が大きく関わっている。体の不自由な高齢者にとって、日常生活での些細な行動でも大きな負担になることが多い。例えば、エアコンやテレビなどの電子機器を操作する場合を考える。この場合、まずはそれらのリモコンをそれぞれ探す手間がかかる。しかし、寝たきりの方などにとってはその行為自体難しいものである。別の例としては、緊急時にヘルパーや家族の方を呼ぶ場合がある。緊急時には人は平常時と違い冷静な判断ができない可能性が高い。電話などの機器もうまく使えない可能性がある。こういった現状を踏まえ UHI は高齢者の日常生活での補助装置として開発された。UHI ならば指の動作だけで様々な電子機器を操作することができる。緊急時には指を激しく振るなどの簡単な動作を使用して助けを呼ぶこともできる。さらに無線モジュールでの命令伝送を使用しているため、寝たきりの方でも普段は届かない機器の操作もすることができる。このようにバリアフリーな環境を構築できることが UHI には期待できる。

今までの先行研究¹⁾によりこれは実現可能であることは検証されてきた。しかし、この UHI を使用したシステムはまだ開発されていない。そして、ターゲットユーザである高齢者の方によるテストもされていない。それに伴ってインターフェースの評価が不十分である。

UHI による家電操作のプロトタイプシステムの構築、そして開発したシステムを使用した UHI の評価テストが本研究の目的である。テスト内容及びその結果から UHI の有用性の評価および問題点の検出を行う。

前述にあるように UHI デバイスを使用したシステムは存在しない。まずは本研究におけるプロトタイプシステムを構築しなければならない。ユーザテストを実施する上で、ユーザが UHI の特徴をよく理解できるシステムが求められる。また本研究で UHI のどのような点を評価したいのかを明確にし、それに適した項目の設定を行うことが必要である。そしてどのような評価手法を選択するかも問題となる。

評価実験のために、UHI の特徴である多数の家電を操作できるマルチリモコンとしての機能を備えたシステムを構築する。家電を1つの UHI で操作できるようにするために、操作家電の切り替えを実現する必要がある。この切り替え時の通信は本システムで新たに提案する。ユーザテストによる UHI の評価手法には、UHI で操作する家電と実際にリモコン

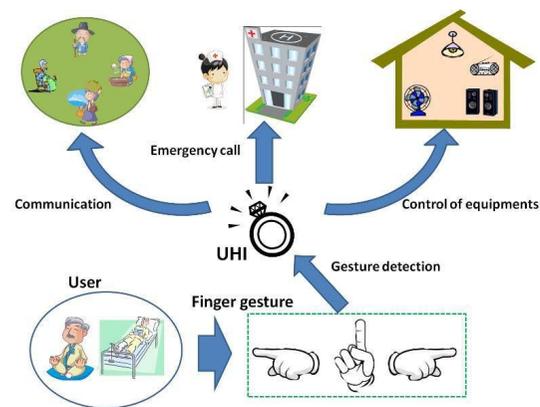


図 1 UHI のモデルと関連研究
Fig. 1 Model of UHI

で操作する家電との比較分析を実施する。評価する項目としてユーザビリティを設定する。ユーザビリティは ISO 9241-11 のものを参照する。

以下では、まず第 2 章で UHI の特徴を示したモデルと関連研究との比較を述べ、第 3 章では家電制御のプロトタイプシステムのデザインについて触れる。第 4 章では、評価実験の設定と結果を述べる。

2. モデル

2.1 UHI モデル

図 1 に UHI を使用したモデルを示す。

まず UHI が認識できる指の動作にコマンドを登録する。ユーザは指動作を行うことで、それぞれの動作に登録したコマンドを実行することができる。指の動作だけで様々なコマンドを使用できるので、例えばベッドで横になったままでも簡単に操作ができる。様々なコマンドを定義することで多様な場面での UHI の使用が可能である。Fig1 に示された例でいえば人々とのコミュニケーションや家電製品の制御などが考えられる。また緊急時にも指を動かすという簡単な操作でヘルパーや病院に緊急コールをすることが可能である。

本研究では、モデル中の家電製品の制御を実際のシステムとして構築し、UHI の評価を行う。図 2 に例としてライトを点灯させる場合の UHI およびライトのプロセスの流れを示す。

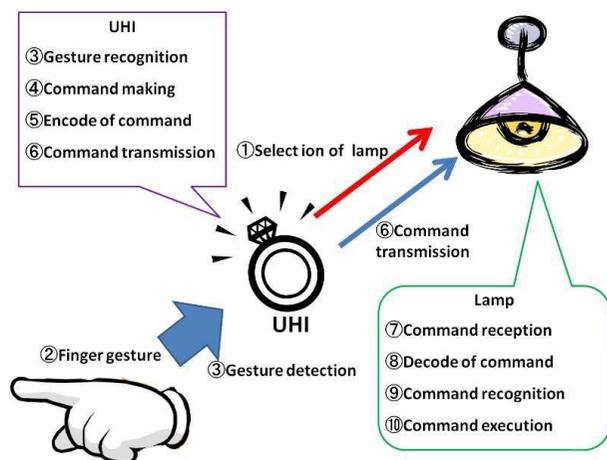


図 2 UHI によるライトの操作例
Fig. 2 Example of controlling to a lamp by UHI

2.2 関連研究

南里らの研究はセキュリティによる映像監視，老人介護において発作に対する自動通報システムなどへの応用を踏まえ，固定カメラによる異常動作の検出を行っている²⁾。しかし，この手法ではカメラ内に映る物体の動作しか認識できない。その装置環境を変えることは困難であり，一部の範囲でしか利用できないシステムである。

高田らの研究では，HMD(ヘッドマウントディスプレイ)の情報の表示方法について研究されている³⁾。研究ではユーザの身体動作に応じて情報量を適切に削除または非表示にしている。実験では加速度センサを足に装着し「座る」「歩く」「走る」の3つの身体動作を認識させている。しかし，家電製品を操作するような，機敏な動作を認識するには適していないシステムである。

福本らの研究では手首に設置した加速度センサによって，任意の指を打指することでコマンドを入力できる⁴⁾。コマンド表現には MORSL 方式を使用している。打指の長短リズムによって多様なコマンドパターンを実現している。単純な長短リズムにより 30 種類程度のコマンドが実現できる。しかし，コマンドの種類が多くなるほど MORSL 方式のコマンドは長く似通ったものが多くなる。これではユーザがコマンドを使い分けることが難しく，多数のコマンドを使用するには負担が大きいと思われる。

塚田らの研究の Ubi-Finger は UHI ととてもよく似たインターフェースである⁵⁾。UHI と同じく指の動作によるコマンド形式をとっており，感覚的な入力・操作が可能である。Ubi-Finger では手首に加速度センサを付け，人差し指にはバンドセンサを付ける。これによって，手首の回転速度，指の曲げ伸ばしを検出している。検出した値は PC へ送られ，動作が認識される。また人差し指の側面にタッチセンサを装着し，ジェスチャ入力の開始・終了を決めることができる。同じく人差し指に赤外線装置を取り付けることで，操作する機器の特定を赤外線通信で行っている。Ubi-Finger は人差し指と手首にそれぞれ装置を装着しなければならない。これはユーザにとって装着が面倒であると考えられる。またこの形状ではユーザが日常生活で使うには違和感を覚える可能性がある。それと比べて UHI は単一センサによる認識・制御デバイスであり，人差し指に装着するだけで済む。また指輪型という形状から日常生活でもあまり違和感を与えない。

2.3 課題

システムの問題点として，操作機器の選択方法をどうするかという点がある。塚田らの研究⁵⁾では赤外線装置による選択法をとっている。しかし，新たに装置を取り付けると装着性の問題が発生するので適切ではない。他の問題点としては，家電製品がコマンドを受信し，実行させる方法をどうするかという点がある。

3. 家電制御システムのデザイン

本研究で使用するプロトタイプシステムは UHI を使用した家電制御システムである。ユーザは UHI デバイスを装着し指動作を行うことで，UHI デバイスからコマンドを無線で各家電に送信し，操作家電の選択とその操作が行える。本システムの概略図を図 3 に示す。主な構成機器は，UHI デバイス，各家電，そして UHI デバイスからのコマンドを受信し家電の制御を行う receiver の3つである。家電と receiver は Electric Appliance Node (EA Node) として1つのまとまりと考える。

本項では，システムの構成機器及び UHI の通信についてそれぞれ 3.1 UHI，3.2 EA Node，3.3 UHI 通信として説明していく。

3.1 UHI

本システムでは，UHI は加速度センサの値から地面に対する指の角度を測定している。これにより 6 種類の指動作を指の角度から測定できる。UHI が認識できる指動作の一覧を図 4 に示す。本システムでは，これらの動作に固有の ID を付け，それを UHI デバイスからの送信データとして無線装置で EA Node へ送信する。

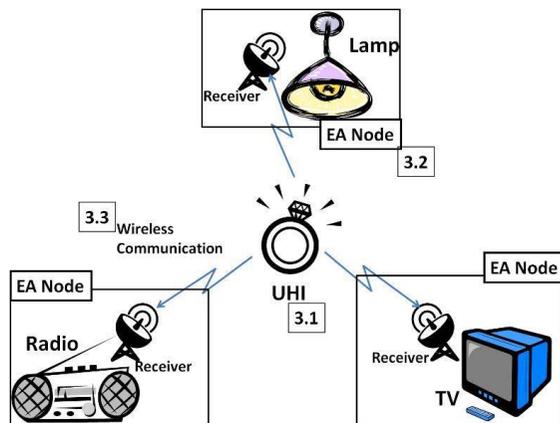


図 3 システム概略図
Fig. 3 Schematic view of system

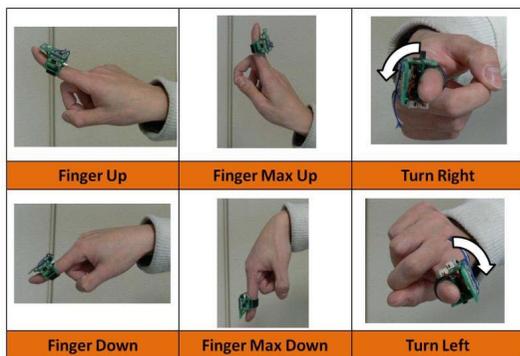


図 4 指動作のリスト
Fig. 4 List of Finger Gestures

3.2 Electric Appliance Node

EA Node とは、UHI からの命令を受信し、その命令を実行するサブシステムを持つ機器である。UHI デバイスとの通信と、UHI デバイスからの命令を家電に実行させるための機器として *receiver* を取り付ける。家電と *receiver* とを合わせて EA Node とする。

図 5 は EA Node のシステム構成を表したものである。*receiver* はデータ受信だけでな

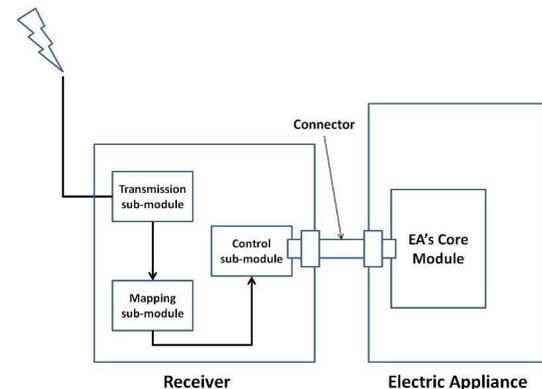


図 5 Electric Appliance Node 概略図
Fig. 5 Schematic view of Electric Appliance Node

く、コマンドに沿った家電の制御を実行する役割を担う。*receiver* のシステムは主に 3 つのモジュールに分けられる。データを送受信する Translate sub-module、受信したデータに沿って実行するコマンドを決定する Mapping sub-module、そして決定したコマンドを実行する Control sub-module である。Translate sub-module の通信プロセスは 3.3 章で説明する。Translate sub-module で UHI と通信し、データを受け取った後、システム動作は Mapping sub-module へと移行する。Mapping sub-module では、受信データ内で示されている指動作と家電機能とのマッピングを行う。Receiver 内では家電の各機能が各指動作に定義づけられていて、Receiver はそれら機能と指動作の組み合わせの一覧を保有している。この組み合わせに沿って指動作と家電機能とのマッピングが行われる。マッピングの結果から実行される家電機能が決まった後、システム動作は Control sub-module へと移行する。Control sub-module では Mapping sub-module で決定された家電機能を家電に実行させる。

3.3 UHI の通信

3.3.1 家電の ID

UHI を用いて家電製品の制御を行うためには、まず家電製品 1 つ 1 つを UHI で認識できるようにしなければならない。そのために家電それぞれに固有の ID を振り分ける。本システムでは、それぞれの家電に加えて Default という状態の ID を加える。Default とはどの家電製品も選択していない状態である。これらの ID は家電が UHI デバイスからの操作を

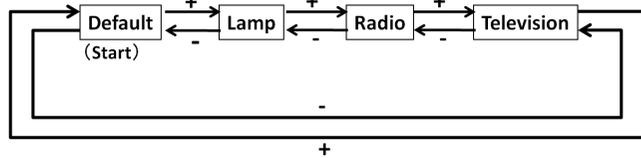


図 6 家電リスト
Fig. 6 The list of electric appliances

受け付けるかどうかの判断に用いられる。

UHI は家電の ID を登録したリストを持ち、これは図 6 で示されているように円環型のリストになっている。初めは Default から始まる。UHI はこのリストに沿って機器を選択する。

3.3.2 家電の選択

UHI は無線通信による命令伝送を行っており、EA Node との通信コネクションの設定を確定しないと、操作対象としていない EA Node が命令を受信してしまう可能性がある。機器変更の通信では、通信コネクションの確立と切断に高い信頼性が必要である。本システムでは、この通信コネクションの確立と切断に Transmission Control Protocol (TCP) に似た 3 ウェイ・ハンドシェイクを使用する。

3.3.3 命令の転送

本システムのプロトコルと TCP との違いは、通信コネクション確立後のデータ転送である。この時は UHI からの一方的なデータの転送のみで、EA Node からの応答はない。これは通信コネクションの確立や切断時と違い、高い信頼性は必要がないからである。また応答がないことで通信速度を向上できる。

4. 実装と評価

4.1 実装

本研究では、UHI による家電制御のプロトタイプシステムを構築する。今回、家電は LED を使った代用品を用意する。第三章で提示した通信制御のプログラムを UHI デバイス、receiver それぞれに書き込む。

4.1.1 実装環境

実装環境を表 1 にまとめる。

Integrated Development Environment	IAR Embedded Workbench for 8051 (EW8051)
Programming Language	C language
Flash writer	Flash Programming for CCxxxx Products from Texas Instruments (FlashPro-CC)

表 1 実装環境

Table 1 Environment of Implementation

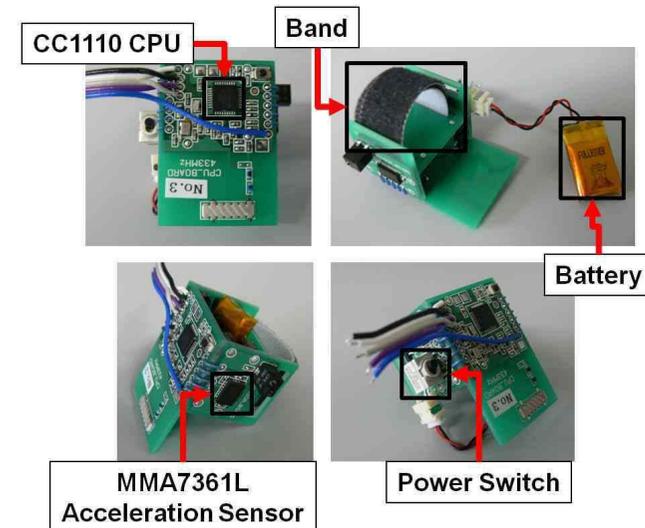


図 7 UHI デバイス
Fig. 7 UHI device

4.1.2 UHI デバイス

UHI デバイスの構成を図 7 に示す。UHI デバイスは、MMA7361L 加速度センサ、CC1110CPU、無線装置、バッテリー、電源スイッチ、および指に装着するためのバンドで構成される。

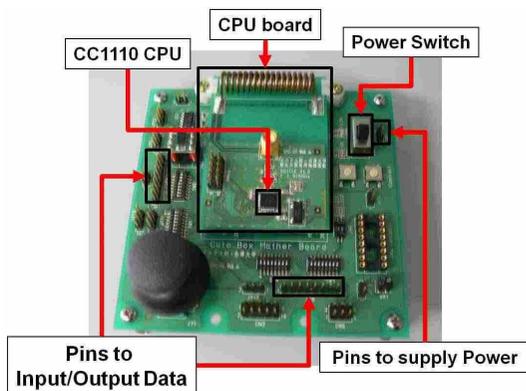


図 8 Receiver
Fig. 8 Receiver

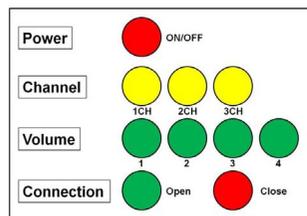


図 9 家電を模した LED パネル
Fig. 9 LED light for substitution of Electric Appliance

4.1.3 Receiver

家電に取り付ける receiver の構成を図 8 に示す。UHI と同じ CC1110MPU と無線装置、多数の I/O ピン、電源コネクタ、電源スイッチで構成されている。

4.1.4 疑似家電

今回のプロトタイプシステムでは家電を LED で簡単に再現する。LED を光らせることで、ユーザにどの機能を操作しているのかを知らせる。そのための LED パネルの模式図を図 9 に示す。

4.1.5 実装結果

システム全体を図 10 に示す。人差し指に UHI を装着する。指動作を認識すると、UHI は

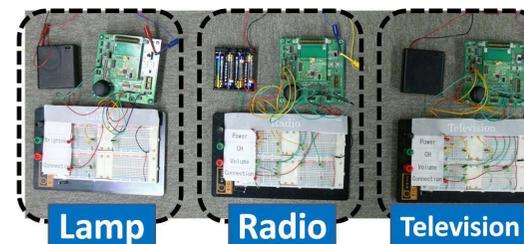


図 10 システム全体図
Fig. 10 The whole system

Receiver へ命令を送る。Receiver は命令を受信し、それに沿って処理をおこなう。Receiver は I/O ピンを通して、LED の操作を行う。

4.2 評価

本評価実験では UHI による家電操作と、家電とその付属のリモコンを使用した家電操作との操作比較を行う。実験では操作タスクを設定する。例えば、電源を付ける、チャンネルを変えるなどである。ユーザには UHI と付属のリモコンとを別々に使用してもらい、それぞれの操作でタスクを実行してもらおう。使用テストは単位時間で数回にわたって行う。単位時間内のタスク成功数により、学習効率を測定する。そして UHI とリモコンの実験結果を比較する。

4.2.1 評価項目

ユーザビリティ - ISO 9241-11 参照

“効率 - タスク成功数/単位時間”

4.2.2 評価実験設定

● 被験者

UHI を使用したことのない大学生・大学院生計 6 人

● 家電製品

リモコン操作でを使用した家電を表 2 に示す。

● 指動作コマンド

指動作コマンドの一覧を表 3 に示す。

● 評価実験環境

ユーザの正面に機器を横一列に並べる。リモコン操作機器と UHI 操作機器は同じものを一緒に並べる。

家電	型番 (メーカー)
Lamp	23LED RC 66199 (Comolife)
Radio	ZS-E70 (SONY)
Television	TH-15L70 (Panasonic)

表 2 リモコン操作の家電一覧

Table 2 Electric Appliances controlled by RCs

Finger Gesture	Lamp	Radio	Television
Finger Up		Power on/off	Power on/off
Finger Down		Change Channel	Change Channel
Turn Right	Brightness up	Volume up	Volume up
Turn Left		Volume down	Volume down
Finger Max Up	Change appliance (+)	Change appliance (+)	Change appliance (+)
Finger Max Down	Change appliance (-)	Change appliance (-)	Change appliance (-)

表 3 指動作コマンド

Table 3 Command of Finger Gesture

● タスク

タスクの形式は機器の指定とその操作で成り立つ。例えば、テレビの音量を2変更などである。この場合は、音量の上げ下げどちらか、または両方合わせて2回行えばよい。この選択はユーザの好きにできる。

タスクの難易度は1回の指動作数により低、中、高の3段階に分ける。

● 進行方法

最初に本実験の概要をユーザに説明する。次にリモコン操作の実験を最初に始める。リモコンの機能と操作の仕方を説明する。その後、リモコン操作の実験を行う。最後にUHIの操作での実験を行う。UHIの操作方法を説明した後、実験を行う。ユーザには実験中に指動作コマンドを確認できるように、コマンド一覧を記載した用紙を渡す。実験中にこの用紙をユーザは好きに見ることができる。

Sections	RC	UHI	Ratio (UHI/RC)
1	14	6	43%
2	16	8	50%
3	17	10	59%
4	17	11	65%
5	19	11	58%
ALL	17	9	53%

表 4 実験結果

Table 4 Result of Experiment

実験は2分間の単位時間に分け、時間内で出来るだけ多くのタスクをユーザに達成してもらおう。これを5回、リモコン操作とUHI操作でそれぞれ行う。実験の間には数分間の休憩をとる。

タスクは観測者からユーザに一つずつ提示する。ユーザがタスクを達成したと観測者が判断した時、新しいタスクを提示する。タスクの選択は、観測者がタスクの記載されたカードを引くことによるランダム選択とする。タスクは難易度の低いタスクのグループから提示する。そのグループのタスクを全て達成したら次の難易度のグループからタスクを提示する。

4.2.3 実験結果

ユーザ6人のリモコンとUHIの実験結果より、1セッション2分間ずつの達成タスク数の平均を表4にまとめる。表4の“リモコン”と“UHI”の項目は、ユーザ6人の達成タスク数の平均値である。セッション毎に達成タスク数はUHIとリモコンでそれぞれ増加している。また、この平均達成タスク数からUHIとリモコンの比率を計算した。最初のセッションでは、比率は最も低い43%である。しかし、4回目のセッションでは65%まで増加している。これはユーザがUHIの操作学習を積むことで、達成タスク数が増加したことを示している。全体平均では比率は53%である。この結果より、現在のUHIの効率はリモコンの約半分であるといえる。

図11はUHIとリモコンの平均達成タスク数をセッション毎にそれぞれプロットしたものである。この統計にはMicrosoftのExcelソフトウェアを使用した。プロットした値から近似曲線を導いた。この近似曲線には対数曲線がUHIとリモコンで最も適していると判断した。近似式を求めるには最小二乗法などの方法があるが、Excelでは自動で近似式を計算する機能があるので今回はこの機能を使用した。2つの対数式(1)と(2)をプロットした値から導いた。

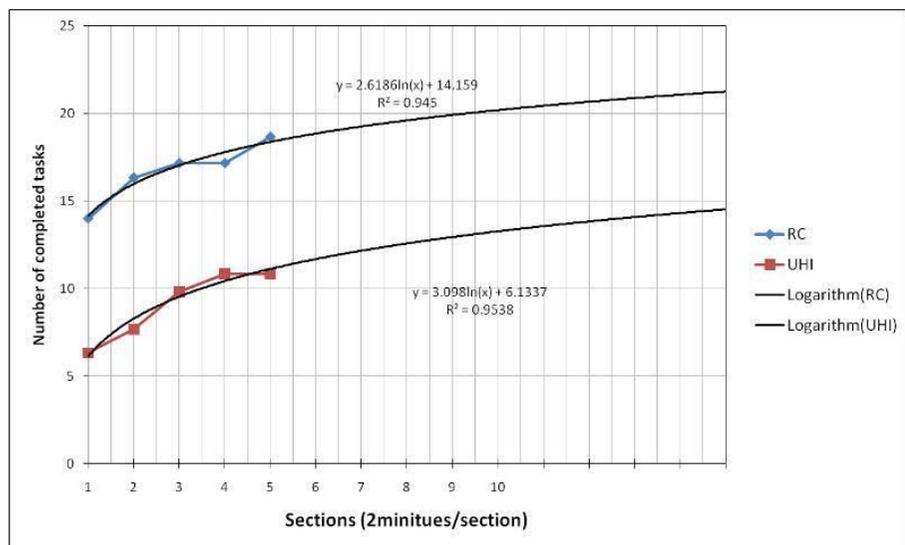


図 11 学習曲線
Fig. 11 Learning curves

$$y = 2.6186\ln(x) + 14.159 (R^2 = 0.945) \quad (1)$$

$$y = 3.098\ln(x) + 6.1337 (R^2 = 0.935) \quad (2)$$

上記の式では、 x は 1 セクション (2 分/セクション)、 y は達成タスク数、 R^2 は決定係数をそれぞれ示している。決定係数 R^2 が 0.9 以上ならば、その近似式が適正であると言える。

これらの近似曲線は UHI とリモコンの学習曲線と考えることができる。そしてこの学習曲線から 1 セクションで一定のタスク数を達成できるまでに必要な操作の学習時間を予測することができる。しかし、グラフの予測から現状では UHI はリモコンの効率を超せないことが分かる。

実験結果からの考察をまとめる。

現状で UHI の効率はリモコンの約半分であり、インターフェースとしての使用には改善が必要である。実験結果から、主に 3 つの改善方法が考えられる。1 つ目は、ユーザに操作学習を続けてもらうことである。実験結果から学習を続けることで効率が増すことは証明されている。2 つ目は、指動作の認識率の向上である。実験中に指動作が認識されないため、何度も同じ動作を繰り返し、時間が多くかかることが観測された。また、意図した指動作と

違う動作が認識されてしまう場面も多々あった。全体的に UHI の指動作の認識率は不十分であった。今回の実験では指の傾きによる静的な指動作を使用した。より直感的で理解しやすい操作をユーザに提供するために、動的な指動作が必要である。3 つ目は、今回のシステムの改良である。今回は LED を使用した疑似的な家電操作のプロトタイプシステムであったが、UHI で家電を操作しているとより実感できるシステムが必要である。

5. ま と め

本研究では、高齢者の補助システムを目的として、家電操作のプロトタイプシステムを構築した。そして、このプロトタイプシステムを使用して UHI の評価を行った。実験の結果から、現状で UHI の効率はリモコンの約半分であることが分かり、UHI の改良すべき 3 つの点が検出できた。今後はこれら 3 つの点について UHI を改良していきたい。

参 考 文 献

- 1) Jing, L., Zhou, Y., Cheng, Z. and Wang, J.: A Recognition Method for One-stroke Finger Gestures Using a MEMS 3D Accelerometer, *IEICE TRANSACTIONS*, Vol.E94-D, No.5 (2011).
- 2) 南里卓也, 大津展之: 複数人動画像からの異常動作検出, 情報処理学会論文誌. コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.46, No.SIG 15(CVIM 12), pp.43-50 (2005).
- 3) 高田大輔, 小川剛史, 清川 清, 竹村治雄: 身体動作に基づき提示情報を切り替えるコンテキストウェアなウェアラブル AR システム, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.12, No.1, pp.47-56 (2010).
- 4) 福本雅朗, 外村佳信: 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) 塚田浩二, 安村通晃: Ubi-Finger: モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3675-3684 (2002).