

I'm Here!: 物探しを効率化するウェアラブルシステム

上岡 隆宏*¹ 河村 竜幸*¹ 河野 恭之*¹ 木戸出 正継*¹

I'm Here! : Wearable Interface System for Improving Efficiency of Finding Objects

Takahiro Ueoka,*¹ Tatsuyuki Kawamura,*¹ Yasuyuki Kono *¹ and Masatsugu Kidode*¹

Abstract

This paper describes the design concepts and functional evaluations of a vision-based wearable interface system "I'm Here!," which supports a user's remembering where he/she placed an object, by displaying the last video scene of the object he/she handled. We estimate a desired object recognition rate for the system to help him/her efficiently find real world objects. We also discuss the types of user's behaviors while using the system and present the directions to improve the effectiveness of the system for everyday life.

Keywords : remembrance support, vision-based wearable system, augmented memory, object recognition, everyday life

1. はじめに

近年, 計算機の小型化・高性能化が進み, 旧来のデスクトップコンピュータ環境に加えて, ポータブル, あるいはユビキタスという, 新しい形式のコンピュータ環境が研究・実用化されてきた. ポータブル/ユビキタスコンピュータ環境では, ユーザは携帯端末や環境に遍在する端末を通して, 情報検索などのサービスを, いつでもどこでも欲しいときに享受できる [1], [2]. それに加えて, ユーザのコンテキスト情報を活用し, 日常生活におけるユーザの活動をきめ細かに支援することを目的として, 装着型デバイスを用いて情報を蓄積・処理するウェアラブルコンピュータ環境について, 現在までに様々な研究が進められている [3], [4].

日常生活における人の活動の一つに, 記憶活動がある. 人は, 日常生活において様々なタスクを遂行する. それらのタスクを効率的に遂行するために, 人は自分自身の体験のエッセンスを記憶し, 獲得した記憶を保持し, 必要となる場面に応じて思い出すという記憶活動を頻繁に行う. しかし, 記憶されているはずの体験を「覚えていない」「思い出せない」などの, 記憶活動に関するエラーもまた頻繁に起こる. 人の日常生活におけるタスク遂行の効率化は, 記憶活動のエラーが起きた場合に大きく損なわれる.

記憶活動のエラーによってタスク遂行の効率が損なわれている具体的な原因の一つに, 物探しタスクの付加的発生がある. 人があるタスクを遂行しようとした

ときに, 必要な道具がどこにあるか思い出せず, 生活環境の中を非効率な探索経路で対象となる道具を探すことは, 日常生活において頻繁に起こる. 人によって把持され, 移動される物体 (オブジェクト) は, 物探しタスクの対象となることが多い. 物探しタスクを効率的に遂行し, 日常生活全体の効率を高める手段として, ウェアラブルコンピュータを用いたユーザの記憶活動の支援が考えられる. これまでにも, 人の記憶活動を支援することを目的としたウェアラブルシステムの研究が行われてきた [5]. 本研究では, ユーザ視点映像に基づくビジョンベースのウェアラブルシステムを構築する. ユーザが探索対象オブジェクトを最後に目の前で把持したシーンをユーザ自身が確認できれば, その時点の体験を思い出す記憶活動が支援され, ユーザの物探しタスクが効率化される. そのためには, ウェアラブルコンピュータにユーザ視点映像を記録し, その中から適切な映像をユーザ自身に提示するインタフェースが必要である.

本稿では, 物探しタスクを効率化するという目的のために, 日常生活で用いることを前提にしたウェアラブルシステムのデザインを提示する. また, 実装システム "I'm Here!" のインタフェースと動作について述べる. I'm Here!による物探しタスクの効率化を実験で評価し, 同時に I'm Here!の改良点を明らかにする.

2. 物探し効率化のためのウェアラブルシステム

本稿で提案するウェアラブルシステムは, 人の日常生活における物探しタスクを効率化することを目的とする. 物探しタスクの具体例を以下に示す.

*1: 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
*1: Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

A 君は研究室のリフレッシュスペースにあるソファに座り、注目するサッカーの試合を見ながらコーヒーを飲んでいた。
 そこへ、B 助手からの急用による実験室への呼び出しがあった。A 君はコップを持って実験室に移動した。
 B 助手から説明を聞く前に、A 君は実験室の出窓の上にコップを置き、説明を聞いて指示された作業を行った。
 用事を終えた A 君は、サッカーの続きを見るためにリフレッシュスペースに戻った。
 A 君はソファに座ったときに初めて、自分がコーヒー入りのコップをどこかに置き忘れていることに気付いた。A 君は説明を聞くことに注意をとられていたので、コップを実験室のどこに置いたのかを思い出せなかった。
 ふたたびコーヒーを飲むために、A 君は実験室の中を探し回り、数十分を費やしてコップを見つけることができた。

このように、人の日常生活では注意不足や記憶のあいまい性が原因となって物探しタスクが頻繁に発生する。本来遂行すべきタスクの前に、余計な時間をかけて物探しタスクを遂行することは煩わしく、不幸なことである。最後に対象オブジェクトが目の前で把持された時点のユーザ視点映像が提示されれば、ユーザは提示映像が記録された時点における自分自身が忘れていた記憶を思い出すことができ、探す場所に目星をつけて物探しタスクを効率的に遂行することができる。

本稿では、物探しタスク効率化のために、対象オブジェクトを最後にユーザの目の前で把持した時点の映像をユーザ自身が検索できるウェアラブルインタフェースを提案する。本システムでは、自分が置いたオブジェクトを探すという物探しタスクを対象とし、適用範囲を個人使用に限定する。また、支援対象のオブジェクトは、コップのように人によって把持され、移動されるものに限定する。人の手で移動されない物体に関しては、生活環境の中での設置場所を物体と関連づけて覚えることが容易であり、本システムで支援する必要性は少ないと考える。本システムの機能には、登録・観測・検索の三つのフェーズがある。

- 登録：システムは、対象オブジェクトの外見特徴と名前をシステムのオブジェクト辞書に登録する。外見特徴の記録において、システムがユーザに求める操作は、対象オブジェクトを把持して目の前で回転させる操作だけである。

- 観測：システムはユーザ視点映像に基づいて Augmented Memory を構築する。Augmented Memory は、

常時記録されるユーザ視点映像にインデックスとして認識オブジェクトの登録名が添付されたデータベースである。Augmented Memory の構築では、システムはユーザが把持しているオブジェクトと登録オブジェクトを外見特徴を用いて比較する。把持オブジェクトが登録オブジェクトの一つとして認識された場合、ユーザ視点映像にはインデックスとして認識されたオブジェクトの登録名が添付される。ユーザ視点映像の蓄積量は、物探し以外の記憶活動を支援する用途への応用も考慮し、一生分が記録されてゆくものと仮定する。

- 検索：システムは、ユーザによって指定された登録オブジェクトが最後に把持された時点のユーザ視点映像を、Augmented Memory のインデックスを用いて検索し、ユーザに提示する。

3. 実装システム：I'm Here!

I'm Here! は、2 章で述べたシステムデザインに基づいて実装されたウェアラブルインタフェースである。本章では、登録・観測・検索の各機能フェーズにおけるユーザの操作と、システムの動作について説明する。

3.1 ハードウェア



図 1 I'm Here! の装着外観
 Fig. 1 Head-worn Devices of I'm Here!

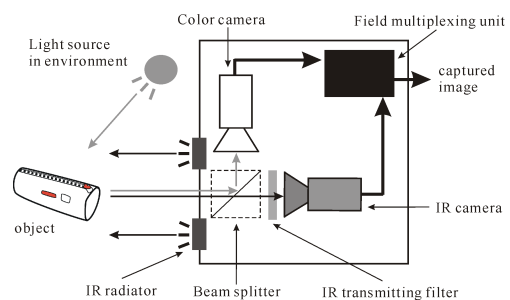


図 2 ObjectCam の構造
 Fig. 2 Structure of ObjectCam.

図 1 に I'm Here! の装着時の外観を示す。ユーザは、頭部にディスプレイ (HMD) とカメラデバイスを、腰部にウェアラブル PC を装着する。ユーザが目の前で把持したオブジェクトの画像を簡単に取得するためのカメラデバイスとして、ObjectCam を開発した (図 2)。ObjectCam は、赤外カメラとカラーカメラをビームスプリッターを介して光軸一致状態で配置することで、把持物体のカラー動画を簡易に取得できるカメラデ

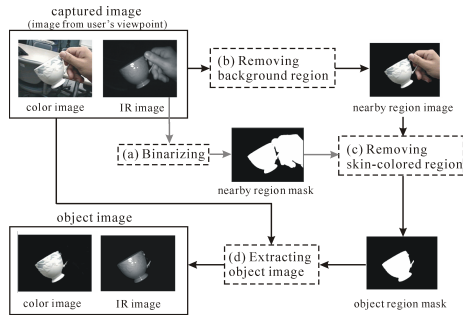


図3 ObjectCamによるオブジェクト画像の抽出
Fig.3 Object Image Extraction using ObjectCam.

バイスである。ObjectCamの前面には赤外光源が搭載され、環境中に一定の赤外光を照射している。反射赤外光の強度は、一般に距離の2乗に反比例するため、ユーザ視点の赤外反射画像において近接領域が明るく、背景領域が暗く写る。その性質を利用し、赤外反射画像の二値化によって近接領域マスクを作成し(図3(a))、近接領域画像を取得する(図3(b))。さらに肌色情報に基づき手領域を除去してオブジェクト領域マスクを作成し(図3(c))、ユーザ視点画像からオブジェクト領域のみを簡単に取得することができる(図3(d))。

システムからユーザに対して提示される映像・情報は、HMDに表示される。登録時のオブジェクト名入力や検索時の対象オブジェクト指定のために、リスト状に表示されたアイテムの選択が可能なSonyジョグダイヤルを装着し、入力インターフェースとして利用する。

3.2 オブジェクト認識手法

I'm Here!は、オブジェクト画像の特徴に基づいてオブジェクトを認識する。実世界の立体的なオブジェクトは、一般に撮像デバイスとの位置関係によって様々な形状・色特徴を持つため、オブジェクト認識には見え方の異なるオブジェクト画像群の特徴をセットにしたオブジェクト特徴量が必要である。1枚の画像マッチングに複雑な方法を用いた場合、オブジェクト認識処理全体の計算コストが膨大になる。そこで、I'm Here!では1枚のオブジェクト画像に対応する画像特徴量として $\{H-Z-C\}$ ヒストグラムを用いる。 $\{H-Z-C\}$ ヒストグラムは画像の色相(H)・反射赤外光輝度(Z)・画像重心からの距離(C)を複合的に表現した画像特徴量であり、対象オブジェクトの色とおおまかな形状を表現し、同時に画像平面上の回転によるオブジェクト画像の見え目変化にロバストな特徴を持つ。ヒストグラム特徴量であるため、1枚ごとの画像マッチングの計算量は少ない。さらに、冗長なマッチングを抑制するために、一つのオブジェクトを様々な方向から観測したオブジェクト画像群から代表的な $\{H-Z-C\}$ ヒストグラムを抽出する。I'm Here!は、抽出した $\{H-Z-C\}$

ヒストグラム集合をオブジェクト特徴量とし、3.3節に述べるオブジェクト辞書に登録する。

$\{H-Z-C\}$ ヒストグラムの構築は、次のプロセスで行われる。背景・手領域を除去したオブジェクト画像のピクセル数に基づき、画像領域サイズを正規化する。重心から各ピクセルまでの距離に基づいて、正規化された画像を複数領域に分割する。各領域において、色ヒストグラムと反射赤外輝度のヒストグラムを抽出し、全領域の色・反射赤外輝度のヒストグラム群をセットにして $\{H-Z-C\}$ ヒストグラムとする。

特徴量の冗長性を排除するために、オブジェクト画像群を画像の類似度でグループ分けし、各グループから代表的な画像特徴量を選出する。画像特徴量の類似度は、 $\{H-Z-C\}$ ヒストグラム間の差分絶対値が少ないほど高く評価される。 $\{H-Z-C\}$ ヒストグラム間の差分絶対値は、重心から各ピクセルまでの距離によって分割した領域ごとに色・反射赤外輝度のヒストグラムによる差分絶対値を求め、全領域の結果を合計する。

I'm Here!は、観測オブジェクト画像から抽出した画像特徴量を、オブジェクト辞書に登録されている全ての画像特徴量と比較し、類似度を評価する。画像特徴量の類似度がしきい値以上である場合、I'm Here!は類似度が最高値でかつしきい値以上である画像特徴量を持つ登録オブジェクトとして観測オブジェクトを認識する。算出した全ての類似度がしきい値に満たない場合、観測オブジェクトは未登録オブジェクトとして認識される。

基礎実験として、机上に固定したObjectCamで回転台に設置したオブジェクトを撮影してオブジェクト特徴量を構成し、I'm Here!のオブジェクト認識性能を評価した^[6]。日常生活で用いられるコップ、本、CDケースなどのオブジェクト20個をシステムに登録した場合、94.1%の認識率を得た。

3.3 システムの機能

I'm Here!では、登録・観測・検索の各機能を、図4に示すインターフェースと内部処理によって実現している。

システムは、入力インターフェースを通じたユーザからのフェーズ変更指示により、登録・観測・検索の各フェーズ間を移行する。

•登録フェーズ(図4(a))

オブジェクト登録時には、ユーザはシステムの動作フェーズを登録フェーズに切り替える。システムは、ユーザがオブジェクトを手にとって回転させる場面を記録し、記録されたユーザ視点映像からオブジェクト画像群を抽出する。システムは、登録対象のオブジェクト画像群からオブジェクト特徴量を抽出し、さらに、ユーザが入力したオブジェクト名をオブジェクト特徴

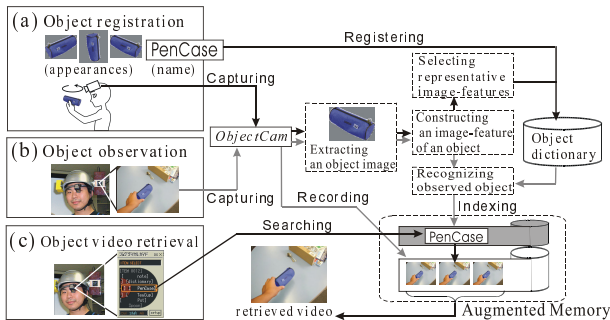


図 4 I'm Here!の機能と処理のフロー
Fig. 4 Operations and Functions of I'm Here!

量に関連づけてオブジェクト辞書に登録する。登録が終了すれば、システムは観測フェーズに移行する。

●観測フェーズ(図4(b))

ユーザからの指示がないデフォルト状態のシステムは観測フェーズにある。観測フェーズでは、システムはユーザ視点映像の記録と把持オブジェクトの認識を並行して行う。オブジェクト認識において、システムは登録されているオブジェクト辞書を用いてユーザが目の前で把持したオブジェクトを認識する。認識されたオブジェクトの登録名をユーザ視点映像の記録にインデックスとして添付することで、Augmented Memoryが構築される。



図 5 オンラインシステムのインタフェース
Fig. 5 Interface of Working I'm Here!

●検索フェーズ(図4(c))

オブジェクトが設置された場所を検索したい時、ユーザはシステムの検索フェーズを利用する。図5は、検索フェーズにおいてHMDに提示されるインタフェース画面例を示している。検索フェーズでは、システムはユーザに対して、辞書に登録されているオブジェクトの登録名一覧を提示する。ユーザによって指定されたオブジェクトの登録名に基づいて、システムはAugmented Memoryを検索し、対象オブジェクトが最後に観測された時点を中心にした規定の時間枠の映像を、ユーザに対して提示する。

4. 物探しタスク効率の評価

物探しタスクに対する提案システムの寄与を正確に求めるには、以下の要件を同時に満たし、実環境で運用可能なシステムを構築する必要がある。

●被験者に装着されるシステムの重量・装着感は、被験者の物探し活動に大きな影響を与えない

●頭部装着カメラの設置姿勢・視野角は、記録映像を見る被験者が十分な情報を得るための必要条件を満たす

●システムは、物探し支援が有効になるために必要なオブジェクト認識性能を持つ

●オブジェクト認識手法は、撮影環境・撮影条件の変化や、手などによるオブジェクト領域の隠蔽に対するロバスト性を持つ

本稿ではこのうち、物探し支援システムを実環境で運用する際に、その支援が有効となるために必要なオブジェクト認識率を、仮想的なI'm Here!を用いる実験によって調査した。

被験者は、実験環境内で物探しタスクを遂行する。その際、被験者はあらかじめ設定されたオブジェクト認識率を持つ仮想システムによる支援を受ける。仮想システムのオブジェクト認識率設定ごとに被験者の物探しタスクを分析し、システムを使わない被験者と比べて物探しタスクの効率が良くなる最低限のオブジェクト認識率を求める。

4.1 実験の設定

実験は、研究室環境で行われた。被験者は、実験環境で日常生活を送る研究室の男子大学院学生7人である。日常生活で用いられる道具類によって構成される21個のオブジェクトを、物探しタスクの対象オブジェクトとした。1回の実験において、被験者はオブジェクトを環境中の指定された場所に1個ずつ設置し、後でその中から指定されたオブジェクトを探索する物探しタスクを遂行した。各被験者に対して1日以上の間隔を空け、1人につき2回の実験を行い、その後インタビューを行った。

実験用システムは、被験者に対して3.3節の検索フェーズのみを提供する。検索フェーズで被験者のHMDに提示される映像は、オブジェクト配置パターンと仮想認識率に基づいてあらかじめ用意された実験用Augmented Memoryから検索される。

オブジェクト配置パターンは、21個の探索対象オブジェクトと21個の設置場所を関係づけ、オブジェクトの設置順序を定義したものである。今回の実験では、各被験者に対して2回の実験を行うため、オブジェクト配置パターンを2種類設定した。実験回数ごとに、全被験者に共通したオブジェクト配置パターンを適用した。

仮想認識率とは、実験用のI'm Here!におけるオブジェクト認識率を仮想的に再現するために、各実験においてシステムに設定する実験パラメータである。{0%, 33%, 66%, 100%}の4種類に、システムの検索機能を使わせない条件を加えた5種類の設定を、各設定で被験者数が偏らないように、また同一被験者が1

回目と2回目の実験で異なる仮想認識率設定になるように適用した。

実験用 Augmented Memory は、各被験者の視点映像ではなく、実験者の視点映像をもとに構成されている。実験者は、全ての実験の前に、各オブジェクト配置パターンに基づいてオブジェクト設置タスクを遂行した。スタート地点から21箇所の設置場所まで1回ずつ往復を行い、各場所に対応するオブジェクトを置いた。頭部装着カメラを用いて、オブジェクト設置時の視点映像とそのオブジェクト名を記録した。

実験用 Augmented Memory は、オブジェクト配置パターンと仮想認識率の設定ごとに、正事例と負事例の組み合わせによって構成される。正事例とは、被験者によるオブジェクト設置タスクと同じ場所に対象オブジェクトが設置されるシーンを、システムが提示する事例である。負事例とは、被験者によるオブジェクト設置タスクとは異なる場所に対象オブジェクトが設置されるシーンを、システムが提示する事例である。仮想認識率に合わせて、実験用 Augmented Memory 内の正事例と負事例の割合が決定される。つまり、実験用システムでは、観測フェーズにおいて仮想認識率に応じた認識失敗事例を含むように再現されている。例えば、あるオブジェクト X の認識が失敗した場合、Augmented Memory に X の登録名が付加されないため、検索フェーズにおける提示映像は X が最後に観測された時点のものではなく、それより以前に X が観測された時点の映像になる。実験時の検索フェーズにおいて被験者に提示される映像は、この観測フェーズにおける認識失敗を再現するために、実験用 Augmented Memory から検索される。

今回のような実験用 Augmented Memory を用意する目的は、物探しタスクにおける被験者の記憶想起行為を、直前に行ったオブジェクト設置タスクに基づいた想起として実験条件を統制するためである。被験者自身の視点映像で正/負事例を構成する場合、正事例は直前のオブジェクト設置タスク中の体験であるのに対し、負事例は直前のタスクよりも以前のオブジェクト設置タスク中の体験で構成されることになる。このような異なる属性を持つ正/負事例から実験用 Augmented Memory を構成すると、被験者は複数のオブジェクト設置タスクの体験を想起対象とする可能性があり、同種の(同一オブジェクトの)体験を想起する場合でも、被験者の体験検索順序に選択肢が生まれる。実験条件の現実性を保ちながら、想起行為の順序に関する統制を被験者間でとるためには、2回以前に行ったオブジェクト設置タスクについて完全に忘れた状態で、直前のオブジェクト設置タスクだけに基いてオブジェクトの探索を行わせることが必要である。

被験者の体験のみを用いて上記の統制条件を実現することは不可能だが、実験者の視点映像に基づく実験用 Augmented Memory を用いれば、全ての被験者は直前のオブジェクト設置タスクの記憶しか持たず、そのみを想起の対象として物探しタスクを行うという統制条件を仮想的に作り出すことができる。

4.2 実験手順

• ステップ1: オブジェクト設置

オブジェクト配置パターン通りに、被験者が各所にオブジェクトを設置する。スタート地点において、実験用 I'm Here! を装着した被験者に対してオブジェクト配置パターンが設置順に1つずつ開示される。開示される資料は、スタート地点と目的地点の位置を記した地図、オブジェクト設置地点の詳細な指示が描きこまれた写真、そして設置オブジェクトの登録名・写真を記したカードである。被験者は、スタート地点から指定された設置場所まで歩き、オブジェクトを設置し、スタート地点に戻る。実験者は、被験者の装着した歩数系が示す歩数と、実験者が測定した被験者の歩行時間を、設置時のデータとして記録する。すべてのオブジェクトについて同様のオブジェクト設置を遂行する。

• ステップ2: 記憶に対する一定負荷の付与

ステップ1が遂行された後、被験者に記憶力テストを課す。5×5のマス目に1から25までの数字が配置された表を10秒間開示し、数字が消えた状態で昇順に数字の表示されていた場所を選択する。ランダムに配置が変化するテストを7回くり返すことで、被験者の記憶力に対して一定の負荷を与える。

• ステップ3: オブジェクト探索

スタート地点で被験者に対してオブジェクトの登録名を開示し、ステップ1でオブジェクトが設置された実験環境から、スタート地点まで指定したオブジェクトを持ち帰らせる。対象オブジェクトは被験者ごとに異なる組み合わせで合計3個あり、1個ずつ順番に持ち帰らせる。実験設定としてシステムを使用することが指示されている被験者の場合、歩行を開始するまでに1度だけ実験用 I'm Here! の検索フェーズを使わせ、実験用 Augmented Memory を検索させる。4.1節で述べたように、実験システムは設定された仮想認識率に対応した映像を検索し、被験者に提示する。例えば、設定された仮想認識率が33%の場合、1個のオブジェクトに対応した想起映像はオブジェクト配置パターンに即した映像が提示されるが、残りの2個のオブジェクトに対応した想起映像はオブジェクト配置パターンと異なる場所に設置されるシーンを撮影した映像が提示される。被験者がスタート地点から出発し、オブジェクトを持ち帰るまでの歩数と時間が、各オブジェクト探索時の歩行データとして記録される。

• ステップ 4: 標準歩行データ取得

各被験者の標準的な歩行データを取得するために、このステップでは直線通路において2つの異なる距離を被験者に歩かせる。ステップ1~3のセットを1日以上の間隔を開けて2回行った後で、各被験者はこのステップを1回だけ行う。スタート地点から出発し、目的地点でUターンし、スタート地点で停止するという歩行を通じて、被験者の歩数・時間が測定される。各距離につき歩行データを10回ずつ測定し、その平均値が標準歩行データとして用いられる。

• ステップ 5: インタビュー

ステップ4を行った後で、実験者による被験者へのインタビューを、次の項目に沿って行う。

- A) ステップ1において、被験者はオブジェクト配置パターンをどのように記憶したか。
- B) ステップ3において、被験者は探索対象オブジェクトの登録名を見た時点で何を思い出したか。
- C) システムによって提示された映像に対して被験者がどの程度妥当性を感じたか。
- D) 対象オブジェクトを探索するときに、どのような戦略を用いたか。

4.3 評価パラメータの抽出

実験データから、物探しタスク効率を定量的に評価するためのパラメータを抽出する。まず、被験者の歩行モデルを次の要素から構築する。

- 1) 歩数 W
- 2) 経路の長さ L
- 3) 時間 T

実験の各試行では、被験者は全21箇所に設置した21個のオブジェクトの中から3個ずつ探索対象オブジェクトを指定される。実験結果から設置場所固有の影響を排除するため、各被験者に対して探索対象場所を21箇所の候補の中から3箇所ずつ偏りなく指定した。実験における探索距離が各被験者で異なるため、1), 2), および3)の観測値をそのまま評価に用いることはできない。そこで、正規化された評価値を以下のようにして求める。

被験者がスタート地点から対象オブジェクト設置場所まで歩き、設置してからスタート地点に戻るまでの歩行において、 L と W が線形関係であることを仮定する。また、 L と T の関係は、一定速度で歩行する場合と、歩行途中で一時的に立ち止まる場合に分けられると仮定する。 L と W の関係と、一定速度歩行時の L と T の関係を、以下に示す。

$$L = \alpha \cdot W + \beta. \quad (1)$$

$$T = \gamma \cdot L. \quad (2)$$

α, β, γ は、被験者ごとに決定される定数パラメータである。ステップ4において、2つの異なる距離のうち、短い距離の歩行データを $\{W_0, L_0, T_0\}$ 、長い距離の歩行データを $\{W_1, L_1, T_1\}$ とすると、各被験者の α, β, γ は(1)式、(2)式から次のように求められる。

$$\alpha = \frac{L_1 - L_0}{W_1 - W_0}. \quad (3)$$

$$\beta = \frac{L_0 W_1 - L_1 W_0}{W_1 - W_0}. \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{T_1 - T_0}{L_1 - L_0}. \quad (5)$$

ステップ1で得られる、オブジェクト設置時の歩行データを $\{W_p, T_p\}$ とする。また、ステップ3で得られるオブジェクト探索時の歩行データを $\{W_s, T_s\}$ とする。設置時の歩行距離 L_p と探索時の歩行距離 L_s は、(1)式、(3)式、(4)式から次のように求められる。

$$L_p = \alpha \cdot W_p + \beta. \quad (6)$$

$$L_s = \alpha \cdot W_s + \beta. \quad (7)$$

I'm Here!の寄与を示すパラメータは、 $\{L_f, T_f, T_z\}$ で構成される。 L_f は、ステップ3において被験者が対象オブジェクトを探し回ったときに迷った経路の距離、すなわち迷走距離を示し、(6)式、(7)式から次のように求められる。

$$L_f = L_s - L_p. \quad (8)$$

T_f は、被験者が迷った経路を歩いた時間、すなわち迷走時間であり、(2)式、(5)式、(8)式から次のように求められる。

$$T_f = \gamma \cdot L_f. \quad (9)$$

T_z は、被験者が歩行途中で一時的に立ち止まったことで経過した時間、すなわち停滞時間であり、(9)式から次のように求められる。

$$T_z = T_s - T_p - T_f. \quad (10)$$

4.4 実験結果

設定した認識率ごとのパラメータ傾向を調査するため、設定した仮想認識率ごとに、被験者の迷走時間・停滞時間を平均した(図6)。各認識率ごとの延べ被験者数は、表1に示されている。without-systemの項目は、システムの検索機能を使わないという設定で物探しタスクを遂行した被験者の記録である。図6の破線表示は、without-systemの場合の T_f の値(迷走時間)である。破線が仮想認識率66%で T_f のグラフと

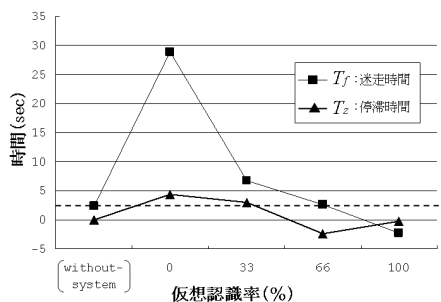


図6 仮想認識率ごとの物探しタスク効率の評価
Fig.6 Evaluation of the object-finding efficiency by object-recognition rate

表1 仮想認識率ごとの延べ被験者数
Table 1 Configuration of the gross subjects in the object-recognition rate settings

仮想認識率	without-system	0%	33%	66%	100%
被験者数	3	3	3	3	2

交差していることから、物探しタスクが効率化されるには提案システムが少なくとも66%より高いオブジェクト認識率を達成する必要があることが実験結果として求められた。

また、ステップ5で得られた聞き取り調査の結果、次の特徴が観測された。

A) オブジェクト配置パターンを覚えようとする被験者と、特に意識しなかった被験者がいた。また、オブジェクト配置パターンを記憶する方法としては、オブジェクトを置く時点の視点映像を記憶する方法、オブジェクトの設置場所が属する部屋などの大きな領域を記憶する方法、そして設置場所を表現する名前とオブジェクト名の言語的対応関係を記憶する方法などがあった。

B) オブジェクトの登録名を提示されることで被験者が思い出した記憶には、被験者自身の視点から見た対象オブジェクトを設置した場所、その周囲の様子、そして設置場所が属する部屋などが挙げられた。

C) 正事例と、負事例の場合で、被験者が提示映像に対して感じる妥当性の傾向が異なった。妥当性とは、提示映像が正事例であることに対する確信度である。正事例の場合は、妥当性を高く感じる傾向にあり、負事例の場合は、妥当性を低く感じる傾向があった。妥当性を低く感じた被験者は、被験者自身の記憶と提示映像を比較した結果として不整合性を感じていた。また、事例の正・負に関わらず、無条件で映像の妥当性を信じる被験者がいた。

D) 物探しタスクの初動時においては、映像を手がかりにして探索を行う場合と、映像を考慮に入れずに他の戦略を用いる場合があった。他の戦略としては、探索対象のオブジェクトが設置されていないことがわ

かる場所を探索対象から排除する、設置場所が集中する領域を優先的に探す、という戦略が用いられていた。

1回の実験においてステップ1から4までの各ステップ完了に要した時間の平均は、ステップ1は32分、ステップ2は5分、ステップ3は6分、ステップ4は5分であり、合計48分であった。

表2 T_f (迷走時間)の平均と標準偏差
Table 2 Means and Standard Deviations of the T_f

事例	without-system	負事例	正事例
事例数	9	18	15
平均	2.3	19.5	-1.3
標準偏差	5.1	35.2	1.4

正事例、負事例、そしてシステム非使用事例の各グループの有意性を調査するために、各グループから導出した迷走時間の平均・標準偏差を表2のように求め、分散分析を行った。その結果、分散比 $F_{(2,39)} = 3.41$ となり、物探しタスクにおいてシステム使用した場合の被験者の迷走時間への影響は5%水準で有意差が認められた。多重比較の結果、正事例とシステム非使用事例、負事例とシステム非使用事例については有意な差が認められなかったが、正事例・負事例間で誤差分散 $MS_e = 579.73$ となり、負事例における迷走時間が正事例よりも長いことが5%水準の有意差で示された。

表3 T_z (停滞時間)の平均と標準偏差
Table 3 Means and Standard Deviations of the T_z

事例	without-system	負事例	正事例
事例数	9	18	15
平均	-0.04	3.03	-0.29
標準偏差	4.85	7.50	1.97

停滞時間についても同様に平均・標準偏差を表3のように求め、分散分析を行ったが、分散比 $F_{(2,38)} = 1.56$ となり、有意差は認められなかった。

また、負事例を課された被験者の中には、迷走時間がシステム非使用時の平均迷走時間よりも長くなる被験者がいた。この現象は、システムがオブジェクト認識に失敗した場合の副作用といえる。

長い迷走時間を記録した被験者グループ S_w を抽出し、 S_w に対するステップ5の聞き取り調査を分析した結果、 S_w に属する被験者は、ステップ1において被験者自身が記憶した内容をステップ3において十分思い出せなかったことがわかった。結果的に、システムが提示した負事例に属する映像を S_w に属する被験者が盲目的に信頼し、物探しタスクの初動時に間違った場所へ導かれ、結果的に非効率な探索経路をたどったことが、 S_w の迷走時間が長くなった原因として考えられる。

4.5 考察

4.4節で各認識率設定の平均迷走時間を比較した結果、提案システムは認識率が66%より高い場合には物探しタスクを効率化することがわかった。実環境で運用するシステムを評価する場合、66%という目標認識率とシステムのオブジェクト認識率を比較することにより、システムの物探し支援に対する有効性を客観的に評価することができる。

迷走時間・停滞時間が負の値をとる原因は、各被験者の通常歩行時よりも、実験時の歩行速度・歩幅が大きくなる傾向にあることにある。ただし、パラメータが負の値をとることは、システム非使用とシステム使用における各パラメータ平均値の比較に影響はないと考える。

システム非使用時には、迷走時間は数十秒から0秒近くまでの幅広い値を記録した。それに対して、システムが正事例を与えた場合、迷走時間は分散が小さく、平均値が小さくなった。I'm Here!による正事例の提示が、物探し支援に有効に働いていることが示されたといえる。

一方、正事例と負事例の有意差があり、負事例を与えた場合の迷走時間はシステム非使用時よりも分散・平均が大きいため、I'm Here!が負事例を与えた場合には物探しタスクの時間効率・安定性が悪化する傾向がある。この傾向を改善するためには、システムの提示映像に加えて、映像の客観的妥当性を評価するための追加データを提示する必要がある。被験者全体の聞き取り調査から、被験者は提示された映像から読み取れるエピソード情報と被験者自身の記憶に含まれるエピソードとを比較し、映像の妥当性を評価していることがわかった。エピソード情報とは、例えばコップを机の上に置くというタスクにおいては、コップを置く机上の位置、机の上に既に置かれている他のオブジェクト、机のある部屋の風景、被験者自身のタスク前後の行動履歴などである。被験者のエピソード情報に関する記憶は時間経過とともに薄弱化してくるために、映像から読み取れるエピソード情報との比較が困難になり、映像に対する妥当性が評価できなくなる。妥当性に対する評価不能状態は、映像に対する盲目的な信頼が発生する原因となる。映像の妥当性を評価するための客観的情報が提示されれば、ユーザは映像を盲目的に信頼せざるをえない状況を回避することができ、少なくともシステム非使用の場合と同じ効率で物探しタスクを遂行することができる。I'm Here!のユーザが映像の妥当性評価を容易に行うためには、例えば提示映像の記録された時刻や、その前後に観測されたオブジェクトの画像などの客観的情報を、システムが提示映像と共にユーザに提供し、ユーザ自身のエピソード

情報の想起を支援することが必要である。

また、提示映像を考慮せずに物探しタスクを行う場合のユーザの戦略を支援すれば、物探しタスクをさらに効率化することが期待できる。具体的な方策としては、オブジェクトを頻りに設置する場所に関する情報を提示することが挙げられる。また、オブジェクトが設置される場所が属する部屋などの広い領域情報を提示することが挙げられる。

5. システムの改良点と展望

I'm Here!は、日常生活の中でも限定した条件下のみを考慮している。今後の課題として、I'm Here!をユーザの日常生活に適したシステムに改良するためのポイントを考察する。

日常生活環境の基礎データとして、筆者の1人が自分自身の日常生活において使用するオブジェクト数を調査したところ、118個であった。3.2節では20個のオブジェクトを用いた理想状態の認識率を求めたが、実環境で用いるシステムには120個程度のオブジェクトが登録可能であることが求められる。

I'm Here!に組み込まれたObjectCamは、赤外光を常時一定光量照射して、視野角に含まれる空間からの反射赤外光を取得している。そのため、屋外環境や屋内の日中の窓際周辺など、環境光に強い赤外光成分が含まれる場所では、背景領域を除去するための閾値よりも明るい赤外光が背景領域に観測されるので、反射赤外光の輝度を用いて背景領域と把持可能物体を分別することが難しくなる。環境光に含まれる赤外光成分の影響を受けないようにObjectCamを改良し、I'm Here!を適用できる環境を広げる必要がある。具体的な方策としては、赤外光源から照射する赤外光を明滅させ、複数の反射赤外画像を差分することで、環境光に赤外光成分が含まれる場合でも背景領域と近接領域を分別できる^[7]。

ObjectCamは近接領域の切り出しを容易に実現可能なカメラデバイスである。その反面、オブジェクト領域抽出のロバスト性は、反射赤外光による背景除去の品質に依存している。反射光は、鏡面反射成分と拡散反射成分で構成される。方向が入射光線角度に強く依存する鏡面反射成分よりも、あらゆる方向に反射される拡散反射成分のほうが、背景除去の品質に寄与する反射赤外光成分である。これまでの開発を通じて、鏡のように鏡面反射成分を強く反射する表面性質の物体や、赤外光の周辺波長を吸収する表面性質の物体は、物体表面からの反射赤外光を安定して撮影することが難しいため、ObjectCamによる領域抽出が困難であることがわかっている。

日常生活においてObjectCamを用いて抽出したオ

プロジェクト画像では、オブジェクトを把持している手領域や ObjectCam の視野角限界によってオブジェクトの一部が隠蔽される場合がある。日常生活に適したシステム構築のためには、光源等の観測環境の変化や上記の隠蔽等にロバストな撮像デバイス及び認識手法がさらに必要である。また、ObjectCam の視野角は、I'm Here!がユーザに提示する映像の視野角を決定する。日常生活で行われる物探しタスクを支援するための提示映像にはどれほどの視野角が必要となるかを調査する必要がある。

本稿で提案する物探し効率化のためのシステムデザインは、物探しタスクの簡単化のために個人使用を前提とした。実際の日常生活において、オブジェクトは同じ環境に生活する複数の人によって把持され、動かされる。ある個人のユーザ視点映像が対象オブジェクトの最後に設置された場面を含むという仮定は、対象オブジェクトが他者によって動かされた場合には成立しない。複数ユーザによる I'm Here!の運用を考慮し、各ユーザのオブジェクト辞書や視点映像を統合的に利用できるシステムデザインが必要である。

I'm Here!の今後の展望として、オブジェクトの系列情報を利用した機能拡張が挙げられる。日常生活におけるタスクには、複数のオブジェクトを系列的に使用することで達成されるタスクが多い、例えば、人がインスタントコーヒーを入れるときには、コップとスプーンを用意し、コーヒー瓶の蓋を開け、瓶から粉をスプーンですくい、スプーンの粉をコップに入れ、ポットからコップに湯を注ぎ、コップをスプーンでかき混ぜる。このようなオブジェクト系列情報を利用して、ユーザがコップを持ち、スプーンを持った時点でシステムがコーヒー作りタスクを推測し、コーヒー瓶が見当たらないことにユーザが気付く前にコーヒー瓶の場所をユーザに対して提示する、という機能を I'm Here!に追加することができれば、物探しタスクの発生を未然に防止することができる。

6. 関連研究

新西らは、ユーザの呼びかけに対して対象物が音を発して応答することで場所を知らせるというコンセプトに基づく物探し支援システム “Hide and Seek” を提案した^[8]。Hide and Seek において、対象物には赤外線受信機、スピーカ、静電容量センサが搭載されたアクティブ ID タグが装着され、計算機側には音声入力装置と赤外線信号発信装置が備わっている。ユーザが、あらかじめ登録してある対象物の登録名をマイクを通して発音すると、システムから対象物に対して赤外線信号が発信され、対象物に装着されたアクティブ ID タグが音を生成する。ユーザと対象物の距離に応じて

音程が変化するため、ユーザは対象物の位置に関して、方角と距離を知ることができる。ただし、システムの導入に際して支援対象となる物体全てにアクティブ ID タグを装着する必要がある、導入後もタグの電源を維持する必要があるなど、Hide and Seek の運用においては環境整備のコストが大きい。それに対して、本稿で提案するシステムは、デバイスを装着したユーザが対象オブジェクトを簡単な操作で登録するだけで、日常生活環境において気軽に運用できる。

川嶋らは、ユーザ視点映像に記録された日常生活のエピソードを要約するシステムを提案した^[9]。このシステムは、ユーザ視点映像と音声を常時記録し、ユーザが物体を持つ動作や人と会話する動作などを単位イベントとして抽出し、認識することで、日常生活のエピソードを単位イベントに基づいて要約する。ユーザが物体を持つ動作を認識するとき、把持している物体も同時に分類するので、ユーザがいつ、どこで何の物体を持ったかを履歴として保存し、その履歴を検索することができる。ユーザの視点映像を蓄積し、検索結果としてユーザに提示するというインターフェースは I'm Here!と共通しており、川嶋らのエピソード要約システムを物探しに利用した場合、I'm Here!と同じ程度のパフォーマンスを発揮すると考えられる。ただし、川嶋らの研究では、ユーザが主体的に物体の登録するための方法について言及していない。I'm Here!は、日常生活でユーザがオブジェクトを道具として取り扱う場合と同じように、目の前で登録したいオブジェクトを把持して様々な角度から眺めるだけの、自然かつシンプルな操作でオブジェクトを登録することができる。

池井らは、ウェアラブル映像提示システムを用いて人間の潜在的記憶力を強める “iFlashBack” を提案した^[10]。タスク遂行時の視点映像を頭部装着カメラで撮影し、再生時に RFID タグが添付された物体を把持してから離すまでの映像区間をスローモーションに、それ以外の映像区間をファストモーションにすることで強調表示を行い、その映像がユーザのタスク記憶効果を増加させることを示した。本研究は、RFID を用いることなく映像区間を決定していることと、オブジェクトを登録する機構を定義していることから、記憶活動支援システムとして iFlashBack よりも実用的であるといえる。

7. おわりに

本稿では、日常生活における個人ユーザの物探しタスクを効率化することを目的としたウェアラブルインターフェースのデザインを提案し、I'm Here!として実装した。I'm Here!は、あらかじめオブジェクトを登録しておけば、ユーザが最後にオブジェクトを把持した時

点の映像を検索し、オブジェクトを置いた場所を思い出すことができるウェアラブルシステムであり、ユーザの把持するオブジェクトの画像を簡単に抽出できるカメラデバイス ObjectCam を用いて構築された .I'm Here! は物探しタスクの効率を高める効用を持つことが、実験結果によって示された。

我々は今後、日常生活におけるシステム運用の実現(日常化)を目指す .I'm Here! を日常化するための要件を考慮したカメラデバイスとして、小型軽量で、環境光に含まれる赤外光の影響を受けにくい ObjectCam を開発する。ObjectCam の光源を撮影フレームごとに明滅させ、明時と滅時の反射赤外光画像を差分することにより、環境中の赤外光にロバストな画像抽出を可能にする。また、物探し支援に必要となるカメラの視野角条件を求めるために、被験者の認知行動を評価する実験を行う。

本稿 5 章において述べたように、.I'm Here! の日常化において、120 個程度のオブジェクトを登録可能という要件を満たす必要がある。今後、登録オブジェクト数を 120 個程度まで増加させた場合のオブジェクト認識率を求め、今回の実験で求めた目標認識率を用いて評価する。

謝辞

本研究は、科学技術振興機構 (JST) の戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「高度メディア社会の生活情報技術」プログラムの支援によるものである。

参考文献

- [1] Nakashima, H.: Cyber assist project for situated human support; Proc. of the Eighth International Conference on Distributed Multimedia Systems, pp. 3-7, (2002).
- [2] Weiser, M.: The Computer for the 21th Century; Scientific American (September), pp.66-75, (1991).
- [3] Kidode, M.: Design and Implementation of Wearable Information Playing Station; Proc. of the First CREST Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing, pp.1-5, (2002).
- [4] Mann, S.: An Historical Account of the 'WearComp' and 'WearCam' Inventions Developed for Applications in 'Personal Imaging'; Proc. of the First International Symposium on Wearable Computing (ISWC'97), pp.66-73, (1997).
- [5] Rhodes, R. J.: The Wearable Remembrance Agent: a System for Augmented Memory; Proc. of the First International Symposium on Wearable Computing (ISWC'97), pp.123-128, (1997).
- [6] Ueoka, T., Kawamura, T., Kono, Y., Kidode, M.: I'm Here! : a Wearable Object Remembrance Support System; Proc. of the Fifth International Symposium on Human-Computer Interaction with

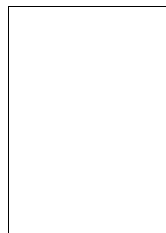
Mobile Devices and Services (MobileHCI2003), pp. 422-427, (2003).

- [7] Lee, C. M., Schroder, K. E., Seibel, E. J.: Efficient Image Segmentation of Walking Hazards using IR Illumination in Wearable Low Vision Aids; Proc. of the Sixth International Symposium on Wearable Computing (ISWC2002), pp.127-128, (2002).
- [8] 新西誠人, 伊賀聡一郎, 樋口文人, 安村通晃: Hide and Seek: アクティブに応答する ID タグの提案; WISS'99 インタラクティブシステムとソフトウェア VII, (1999).
- [9] Kawashima, T., Nagasaki, T., Toda, M.: Information Summary Mechanism for Episode Recording to Support Human Activity; Proc. of International Workshop on Pattern Recognition and Understanding for Visual Information Media, pp.49-56, (2002).
- [10] 池井 寧, 廣瀬洋二, 広田光一, 廣瀬通孝: ウェアラブル記録補助システム iFlashBack の映像提示法; ヒューマンインタフェース学会研究報告集 Vol.5, No.4, pp. 35-36, (2003).

(2002 年 1 月 1 日受付, 1 月 1 日再受付)

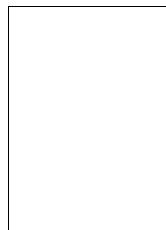
著者紹介

上岡 隆宏



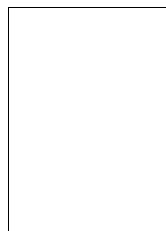
2000 神戸大学電気電子工学科卒。2002 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士課程了。現在同研究科博士課程に在学。ウェアラブルコンピュータの日常生活応用に興味を持ち、物体認識、ウェアラブルアプリケーションの研究に従事。情報処理学会, 人工知能学会, IEEE 各会員。

河村 竜幸



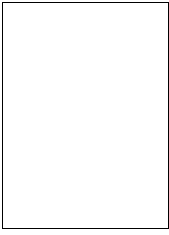
1998 関西大学機械システム工学科卒。2000 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士課程了。2004 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士課程指導認定退学。現在同大学院教務職員。ウェアラブル・ユビキタスコンピューティングによる拡張記憶の研究に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会, 認知科学学会, IEEE 各会員。

河野 恭之 (正会員)



1989 大阪大学情報工学科卒。1994 同大学院基礎工学研究科博士課程了。同年(株)東芝入社。同社関西研究所研究主務などを経て、2000 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授。知的 CAI, マルチモーダル理解, 音声対話 HI, 知的インタフェース, ウェアラブルインタフェースの研究に従事。情報処理学会, 人工知能学会, 電子情報通信学会, 認知科学学会, IEEE, ACM 各会員。博士(工学)。

木戸出 正継



1968 京都大学電子工学科卒．1870 同
大学院工学研究科修士課程了．同年東
京芝浦電気(株)(現(株)東芝)入社．
総合研究所にてパターン認識・画像処理
技術の研究開発，そして総合企画部に
て新規事業の推進．その後，関西研究
所，マルチメディア事業推進室，東芝
アメリカ社で技術開発と事業化に従事．
2000 奈良先端科学技術大学院大学情報
科学研究科教授．パターン理解，ヒュー
マンインタフェース，人間機械共存系
の要素技術に興味．電子情報通信学会，
情報処理学会，IEEE 各会員．情報処
理学会，IAPR フェロー．工学博士．