

記憶活動支援のためのデータグローブを用いた手指動作の 単位動作マッチングによる物体操作の弁別

木内 豊[†] 河村 竜幸[†] 河野 恭之[†] 木戸出 正継[†]

本研究では、ユーザが実行しているタスクを推定するために、データグローブから取得される時系列データを単位動作と呼ぶ細かな動作に分割することで、ユーザの物体に対する操作を弁別する手法を提案する。ユーザの物体に対する操作をリアルタイムに弁別することで、ユーザの記憶活動への支援が期待できる。例えばタスクを実行中のユーザに対して、ユーザが次に必要とする物体の位置をユーザが最後にその物体に触れたときの動画像を示すことで、ユーザがその物体を探し回るといったような問題を解消できる。本研究では、操作に伴う動作の部位と操作の周期性を分類し、今回は特に指形状の時系列変化から操作の弁別を試みた。また、日常生活で頻出する操作を選択し、指形状からの操作弁別性能を評価した。

Discriminating Operations to an Object with Unit Action Matching of Finger Motions

Yutaka Kiuchi^{††} Tatsuyuki Kawamura^{††} Yasuyuki Kono^{††} Masatsugu Kidode^{††}

This paper presents a method for discriminating operations to an object to estimate the task the user performs by dividing time series data from data glove primitive actions read "Unit Action." Discriminating operations to the object held by the user on real time enables to support his/her memory activities. For example, when he/she is performs a task, the system can support him/her by showing movie that is captured when user touched the object that will be required to perform the task. In this paper, we categorized finger actions while using hand-held objects by part and periodicity, and tried to discriminate operations using time series transition of finger shapes. Experiments show performance of the proposed method by discriminating operations which frequently occurred on a daily basis.

1. はじめに

今日、ウェアラブルコンピュータを装着したユーザの状態を推定し、そのユーザの過去に所属し、かつ推定した状態に応じた「適切な」情報をその場で提供することで、ユーザの記憶想起活動を支援し、またそれにより日常のさまざまな活動を支援する拡張記憶システムに関する研究が行われている。これらの研究では、人間が装着したセンサから映像や音声、歩行などの運動情報や、気温や湿度などの環境情報を、いつでも・どこでも獲得し、得られた情報を基にして上記のようなサービスを行うシステムの実現を目指している[1]。ユーザに対して適切な記憶活動支援を行うためには、ユーザが欲しいと思う情報とシステムが与える情報の乖離が小さくなるようなキーを選択する必要がある。推測のためのキーとなる情報の一つとして、ユーザの物体に対する操作が挙げられる。例えばあるタスクを実行中のユーザに対して、ユーザの物体に対する操作をリアルタイムに弁別し、ユーザが次に必要とする物体に最後に触れた場面の動

を示すことで、ユーザがその物体を探し回るといったような問題を解消できる。本研究では、データグローブから取得される時系列データを単位動作と呼ぶ細かな動作に分割することで、ユーザの物体に対する操作を弁別する手法を提案し、弁別の精度を実験によって評価する。

2. 操作弁別システムの設計

本章では、日常生活におけるタスクを定義する。また、操作に伴う動作の特徴と操作の周期性について述べる。最後に、ユーザに対するタスク支援を実現するための操作弁別システムの構成について述べる。

本研究では、ある対象へのユーザの手による働きかけを操作、操作される対象を物体と定義する。また、人がある目的を達成するために実行する、物体とその物体に関連付けられた操作との組み合わせの系列をタスクと定義する。粉末のインスタントコーヒーをいれるというタスクの例を表1に示す。

ユーザが実行した操作と物体の組み合わせから、ユーザが実行中のタスクを推定することを考える。ユーザが実行中のタスクをシステムが推定することにより、ユーザが次に実行する操作を推測し、ユーザに対してその操

[†]奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

^{††}Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

表 1. タスク例 (コーヒーをいれる)

手順	物体	操作
1	コーヒーの瓶	蓋を開ける
2	スプーン	粉末 (コーヒー) をすくう
3	コーヒーの瓶	蓋を閉める
4	砂糖壺	蓋を開ける
5	スプーン	粉末 (砂糖) をすくう
6	砂糖壺	蓋を閉める
7	ポット	ボタンを押す (湯を出す)
8	スプーン	混ぜる

作を実行するために必要な情報をシステムが提示することができる。例えばインスタントコーヒーをいれるタスクを実行中に、ユーザが砂糖壺をどこに置いたかを失念してそれを探し回ることが無いように、ユーザが最後に砂糖壺に触れた場面の動画をシステムがあらかじめユーザに提示することで、システムはユーザに対してコーヒーをいれるタスクを支援することができる。

2.1. 動作の特徴分類と操作の周期性分類

本節では操作を弁別するための情報として使用するために、動作の特徴を分類する。また、操作の周期性について分類する。

人が手を動かすために使用可能な関節の部位は複数存在している。操作というものは関節の動きによって実現されるので、操作の特徴は関節の動きに現れると考えられる。本研究では、操作をユーザの手による物体への働きかけと定義しているため、手の部位に限定して動作の特徴を弁別することを目的とする。操作は実行する際の動作を、手指関節、姿勢、位置の3つの要素に分類される。

手指関節動作： 操作を実行する際、手指の関節の曲がりによって手形状自身に変化する動作を手指関節動作と呼ぶ。手指の曲げ伸ばしと指間の開閉が手指関節動作に該当する。「ホッチキスで紙を留める」、「ハサミで紙を切る」等の操作が手指関節動作を特徴的に表す操作として挙げられる。

姿勢動作： 操作を実行する際、手の体に対する位置関係が変化する動作のうち、体に対する手の向きが変化する動作を表す。手首の関節の曲がりや主に姿勢動作に寄与する。「コーヒーの瓶の蓋を回して開ける」、「鍵で錠を開ける」等の操作が姿勢動作を特徴的に表す操作として挙げられる。

位置動作： 操作を実行する際、手の体に対する位置関係が変化する動作のうち、体に対する手の座標が変化する動作を表す。肘や肩の関節の曲がりや主に位置動作に寄与する。「冷蔵庫のドアを開ける」、「電動ポットのボタンを押す」等の操作が位置動作を特徴的に表す操作として挙げられる。

操作を実行する際、1回の操作に対して類似する動作が複数回繰り返して発生する(周期性を持つ)操作が存在する。周期性を持つ操作を操作中のうち、繰り返される動作の回数が不定な操作の場合、繰り返される動作の回

数に依存しない操作弁別手法が必要となる。ここで、操作の周期性の特徴を分類する。

非周期性操作：

操作を実行する際、動作が周期性を持たない操作を非周期性操作と呼ぶ。「ホッチキスで紙を留める」、「鍵で錠を開ける」等の操作が非周期性操作として挙げられる。

周期性操作：

操作を実行する際、動作が周期性を持つ操作を周期性操作と呼ぶ。ユークリッド空間上で運動が停止する点の有無によって、周期性操作を往復周期性と回転周期性に分類する。

往復周期性操作： 操作を実行する際、ユークリッド空間上で運動が停止する周期性操作を往復周期性操作と呼ぶ。「包丁で千切りをする」、「シャープペンシルのボタンを押して芯を出す」等の操作が、往復周期性操作として挙げられる。往復周期性操作は、1周期分の動作区間を決定する方法として、ユークリッド空間上で運動が停止する点を起点や終点から決定することが可能である。

回転周期性操作： 操作を実行する際、ユークリッド空間上で運動が停止しない周期性操作を回転周期性操作と呼ぶ。「スプーンでカップ内を混ぜる」操作が回転周期性操作の例として挙げられる。操作を実行する際にユークリッド空間上で運動が停止しないため、動作が継続的に行われているように見える。そのため回転周期性操作は、運動が停止する点を起点や終点として1周期分の動作区間を決定することは不可能である。

2.2. 操作弁別システム構成

本稿ではデータグローブを使用することで、主に手指関節動作の特徴から操作を弁別することを試みる。本操作弁別システムでは5DT社製のData Glove 16(図4)を採用した。このデータグローブを使用して、手指関節動作を特徴的に表す14の関節の曲がり具合が、時系列データとして取得できる(図5)。物体は、ユーザの腕部に装着したRFIDタグリーダを使用してあらかじめ物体に貼り付けられたRFIDタグを読み取らせることでシステムに物体を認識させることを前提とする。

図1に操作弁別システムの処理フローを示す。本システムでは、操作をあらかじめ学習しておくための学習プロセスと、実際に行った操作を弁別するための弁別プロセスで処理プロセスを構成する。

本システムでは手指関節動作の時系列データを、操作を弁別する上で特徴が出る細かな動作に分割する。この動作を**単位動作**と定義する。本システムでは、単位動作を操作の学習・弁別に使用する。

本節ではそれぞれのプロセスの概要を述べる。学習プロセスや弁別プロセスで使用される定義や処理に関しては3章で詳細に述べる。

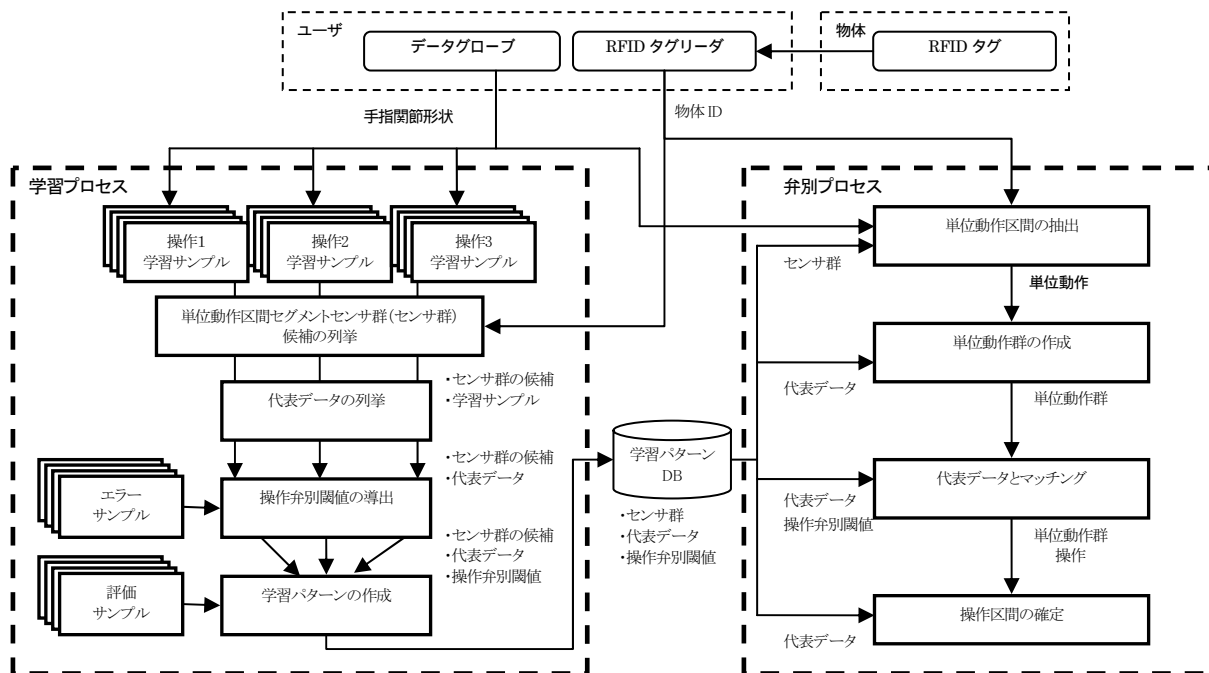


図1. 操作弁別システム処理フロー

学習プロセス: 本プロセスでは、弁別プロセスにおいて操作を弁別するために使用する学習パターンを作成する。本プロセスは単位動作セグメントセンサ群の候補の列挙、代表データの導出、操作弁別閾値の導出、学習パターンの作成の4つのプロセスで構成される。このプロセスには、操作を行った区間（操作区間）における手指関節動作の時系列データを学習サンプルと評価サンプルとして入力する。また操作を行っていない区間における手指関節動作の時系列データをエラーサンプルとして入力する。これらの入力から学習パターンを作成する。学習パターンは、後述する単位動作区間セグメントセンサ群、代表データ、操作弁別閾値の3つで構成される。

単位動作区間セグメントセンサ群候補の列挙: 学習する操作に対して、単位動作が実行されている区間（単位動作区間）を抽出するためのセンサチャンネルの集合となる単位動作区間セグメントセンサ群（以下センサ群）の候補を列挙する。

代表データの選出: 弁別プロセスにおいて、操作のマッチングや操作区間の確定に使用する代表データを学習サンプルの中から選択する。

操作弁別閾値の導出: 弁別プロセスでデータグループからの入力とのマッチングが行われた結果、入力を操作として弁別するか棄却するかを決定するための閾値（操作弁別閾値）を導出する。

学習パターンの作成: 学習パターンを作成するために、学習パターンの候補を操作ごとのセンサ

群候補を組み合わせで作成する。学習パターンの候補に対して評価サンプルを入力し、最も正しく操作を受理できた学習パターンの候補を学習パターンとして決定する。

弁別プロセス: 本プロセスでは、手指関節動作と物体の入力から操作を弁別する。本プロセスは、単位動作区間の抽出、単位動作群の作成、代表データとマッチング、操作区間の決定の4つのプロセスで構成される。

単位動作区間の抽出: 手指関節動作から学習パターンのセンサ群を使用することで単位動作区間を抽出し、単位動作を取り出す。

単位動作群の作成: 入力された単位動作を代表データの区間に存在する単位動作の数と一致するまで集め、単位動作群を作成する。

代表データとマッチング: 入力された単位動作群と代表データの区間に存在する単位動作の集合のマッチングを行い、操作を弁別する。

操作区間の確定: 入力された単位動作群と操作から、代表データに関節動作が一致するように操作区間を確定する。

3. 単位動作マッチングによる操作弁別

本章では、単位動作マッチングを行うことによって操作を学習・弁別する手法について述べる。

3.1. 区間の定義

本節ではデータグループの入力区間であるデータ区間、操作を行われている区間である操作区間、操作弁別

を行うためのプリミティブな単位である単位動作の区間を定義する。図2にホッチキスで紙を留める操作を実行した際に、操作区間と単位動作区間がどのように与えられるかを示す。横軸は時間の遷移を示す。縦軸はデータグループからの関節の曲がり量にあわせて出力される値を示す。表示の簡易化のため図5におけるセンサチャンネル2,3,6,Bに割り当てられているセンサの出力のみを示す。ホッチキスで紙を挟む瞬間と離す瞬間において、センサチャンネルの出力が大きく変化し、単位動作区間として U_1^i と U_2^i が抽出されていることがわかる。

3.1.1. データ区間

データグループの各センサチャンネル i ($1 \leq i \leq 14$) におけるサンプル時刻 j ($1 \leq j \leq N^O$) の出力値を $o_{i,j}$ とする。ただし出力値 $o_{i,j}$ は $0 \leq o_{i,j} \leq 1$ の範囲に収まるよう正規化されている。ここで、データ区間を示すデータグループの時系列出力データ \mathbf{O} を(1)とする。また、時刻 j における全チャンネルの出力 \mathbf{o}_j を(2)とする。

$$\mathbf{O} = \begin{bmatrix} o_{1,1} & o_{1,2} & \cdots & o_{1,N^O} \\ o_{2,1} & o_{2,2} & \cdots & o_{2,N^O} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ o_{14,1} & o_{14,2} & \cdots & o_{14,N^O} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{o}_1 \\ \mathbf{o}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{o}_{N^O} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{o}_j = \begin{bmatrix} o_{1,j} \\ o_{2,j} \\ \vdots \\ o_{14,j} \end{bmatrix} \quad (2)$$

3.1.2. 操作区間

データ区間内で、操作が行われている区間を操作区間とする。この時、データ区間集合は操作区間集合 Λ と非操作区間集合 $\bar{\Lambda}$ を持つ。 N^A 個の操作区間 Λ を持つ操作区間集合を(3)とする。また、 i 番目の操作区間(開始点: λ_s^i , 終了点: λ_e^i) は(4)で表せる。

$$\Lambda = \{\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_{N^A}\} \quad (3)$$

$$\Lambda_i = \{\mathbf{o}_{\lambda_s^i}, \mathbf{o}_{\lambda_s^i+1}, \dots, \mathbf{o}_{\lambda_e^i-1}, \mathbf{o}_{\lambda_e^i}\} \quad (4)$$

操作区間 Λ は、操作弁別を行うためのプリミティブ

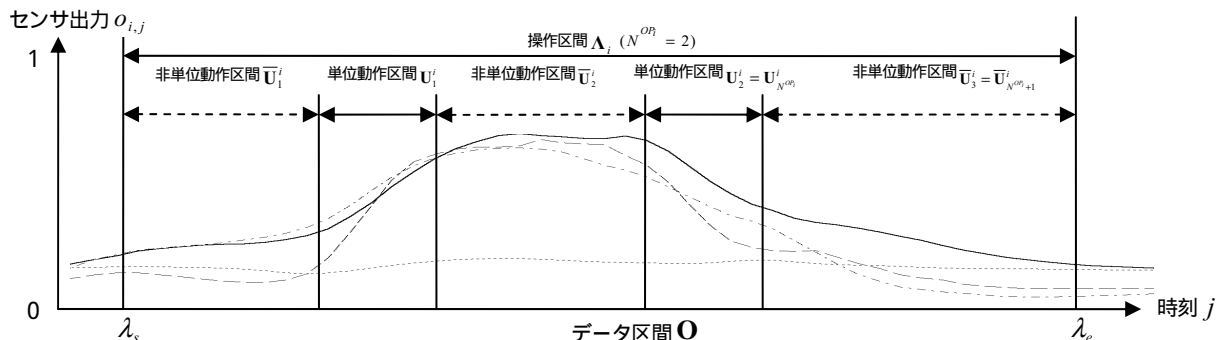


図2. 区間の定義

な情報単位である単位動作 U とそれ以外の非単位動作 \bar{U} を持ち、(5)と表せる。

$$\Lambda_i = \{\bar{U}_1^i, U_1^i, \bar{U}_2^i, U_2^i, \dots, U_{N^{Op}}^i, \bar{U}_{N^{Op}+1}^i\} \quad (5)$$

操作区間 Λ はただひとつの操作集合 OP を持つ。データ区間 O における i 番目の操作 OP_i が単位動作 U を N^{Op} 個持つことを式(6)で表現する。

$$OP_i = \{U_1^i, U_2^i, \dots, U_{N^{Op}}^i\} \quad (6)$$

3.1.3. 単位動作区間

単位動作 U において、データグループの各センサチャンネル i ($1 \leq i \leq 14$) におけるサンプル時刻 j ($1 \leq j \leq N^U$) の出力値を $u_{i,j}$ とする。ただし出力値 $u_{i,j}$ は $0 \leq u_{i,j} \leq 1$ に収まるよう正規化されている。ここで、単位動作の時系列出力データ U (単位動作区間) を(7)とする。また、時刻 j における全チャンネルの出力 \mathbf{u}_j を(8)とする。

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} u_{1,1} & u_{1,2} & \cdots & u_{1,N^U} \\ u_{2,1} & u_{2,2} & \cdots & u_{2,N^U} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{14,1} & u_{14,2} & \cdots & u_{14,N^U} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{u}_{N^U} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{u}_j = \begin{bmatrix} u_{1,j} \\ u_{2,j} \\ \vdots \\ u_{14,j} \end{bmatrix} \quad (8)$$

3.2. 基本処理

3.2.1. 単位動作の切り出し

時刻 j におけるセンサチャンネル i の出力値 $o_{i,j}$ の時間微分の値 $v_{i,j}$ を式(9)によって求める。ただし、 $\Delta t_{j,j-1}$ は時刻 j と時刻 $j-1$ における時間差を示す。

$$v_{i,j} = \frac{1}{\Delta t_{j,j-1}} |o_{i,j} - o_{i,j-1}| \quad (9)$$

単位動作を切り出す計算に用いられるセンサチャンネル集合を S とする。また Th^U を、単位動作を切り出す閾値とし、集合 S の内、閾値 Th^U を上回るセンサチャン

ネルの集合を S_{max} とする。この時、時刻 j における S_{max} は式(10)となる。

$$S_{max_j} = \{i \mid v_{i,j} > Th^U, i \in S\} \quad (10)$$

式(9)および(10)より、時刻 j における時間微分の値 $v_{i,j}$ が示す集合 S または S_{max} に属するセンサチャンネルを対象とした時間微分の最大値 V_{max_j} および時間微分の最小値 V_{min_j} を式(11)および(12)で求める。

$$V_{max_j} = \max_{i \in S} v_{i,j} \quad (11)$$

$$V_{min_j} = \min_{i \in S_{max}} v_{i,j} \quad (12)$$

最終的に式(8)~(12)を用いて、 α 番目の単位動作 U_α が(13)として決定される。

$$\mathbf{u}_k^\alpha = \begin{cases} \mathbf{u}_1^\alpha, (V_{max_j} > Th^U, \mathbf{o}_j \notin U^{\alpha-1}) \\ \mathbf{u}_{N^{U_\alpha}}^\alpha, (V_{min_j} \leq Th^U, \mathbf{o}_{j-1} \in U^\alpha) \end{cases} \quad (13)$$

ここで、単位動作 U_α の開始時刻を $T_s^{U_\alpha}$ 、終了時刻を $T_e^{U_\alpha}$ とする時、データ \mathbf{u} と出力データ \mathbf{o} は $(1 \leq k \leq N^{U_\alpha})$ において式(14)の関係を持つ。

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_k^\alpha &= \mathbf{o}_{T_s^{U_\alpha} + k - 1} \\ &= \mathbf{o}_{T_e^{U_\alpha} - N^{U_\alpha} + k} \end{aligned} \quad (14)$$

3.2.2. 区間マッチング

● 単位動作マッチング

本研究では操作集合同士の類似性を求めるために、操作集合に含まれる単位動作同士の距離を求める。選択された二つの単位動作 X, Y の距離 $D(X, Y)$ は DP マッチングを用いて導出する。今回使用した DP マッチングの定義を示す。

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_l (u_{l,i}^X - u_{l,j}^Y)^2} \quad (15)$$

$$g(1,1) = d(1,1) \quad (16)$$

$$0 \leq i_k - i_{k-1} \leq 1, \quad 0 \leq j_k - j_{k-1} \leq 1 \quad (17)$$

$$i_1 = j_1 = 1, \quad i_K = N^{U_X}, \quad j_K = N^{U_Y} \quad (18)$$

ここで式(15)は二つの出力値 $\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j$ の距離を求める関数 $d(i, j)$ を表現し、式(16),(17),(18)はそれぞれ DP の初期条件、単調性と連続性の条件、境界条件を示す。

マッチングには式(19)に示す対称型のパスを用いる。

$$g(i, j) = \min \begin{bmatrix} g(i, j-1) + d(i, j) \\ g(i-1, j-1) + 2d(i, j) \\ g(i-1, j) + d(i, j) \end{bmatrix} \quad (19)$$

以上の定義から、単位動作 X, Y の距離 $D(X, Y)$ は式(20)で求まる。

$$D(X, Y) = \frac{g(i_K, j_K)}{(i_K + j_K)} \quad (20)$$

● 操作マッチング

本研究では、比較元である操作集合 OP_i と同数の単位

動作区間を持つ比較対象である操作集合 OP_j との間で操作集合の類似性を計算する。これを操作マッチングと呼ぶ。ここで、単位動作区間の数が同数であることを(21)で表現する。

$$N = N_i^{OP_i} = N_j^{OP_j} \quad (21)$$

式(15)~(20)を用いて、各操作集合の n 番目の単位動作区間 U_n を単位動作マッチングすることで、式(22)に示す操作マッチングを行う。

$$DS(OP_i, OP_j) = \sum_{n=1}^N \frac{D(\mathbf{U}_n^i, \mathbf{U}_n^j)^2}{N} \quad (22)$$

3.2.3. 操作弁別閾値の導出

● 代表データの選出

本研究では、正答となる操作集合の集合である学習サンプル集合 Ψ とエラーとなる操作集合の集合であるエラーサンプル集合 Φ を用いて操作弁別の学習を行う。学習サンプル集合から代表データ OP_R を選出する計算は式(22)を用い、学習サンプル集合内の操作集合間の DP 距離の二乗和を最小化するような操作が代表データとなるように式(23)によって代表データのインデックス R を選出する。

$$R = i \mid \min_{i \in \Psi} \sum_{j \in \Psi} DS(OP_i, OP_j)^2 \quad (i \neq j) \quad (23)$$

● 操作弁別閾値の導出

代表データ OP_R を用いたサンプル集合 Ω (Ψ または Φ) に対する平均と標準偏差は式(22)を用いて式(24)および(25)で求められる。

$$\mu^\Omega = \frac{\sum_{Y_i \in \Omega} DS(OP_R, Y_i)}{N^\Omega - 1} \quad (24)$$

$$\mu^\Omega = \sqrt{\frac{\sum_{Y_i \in \Omega} DS(OP_R, Y_i)^2}{N^\Omega - 1} - \mu^{\Omega^2}} \quad (25)$$

学習サンプル集合から求められる正答弁別閾値 Th^Ψ は式(26)で求められる。また、エラーサンプル集合から求められるエラー棄却閾値 Th^Φ は式(27)で求められる。ここで、 γ は閾値の強度パラメータであり、 γ_Ψ の値が大きいほど受率が増加する方向に働き、 γ_Φ が大きいほど棄却率が増加する方向に働く。最終的に操作弁別閾値 Th_{Err} は式(28)によって求まる。

$$Th^\Psi = \mu_\Psi + \gamma_\Psi \sigma_\Psi \quad (26)$$

$$Th^\Phi = \mu_\Phi - \gamma_\Phi \sigma_\Phi \quad (27)$$

$$Th_{Err} = \begin{cases} Th^\Psi & (Th^\Psi \leq Th^\Phi) \\ Th^\Phi & (Th^\Psi > Th^\Phi) \end{cases} \quad (28)$$

3.2.4. 操作区間の確定

図3に操作区間の確定例を示す。入力操作区間 Λ_α の開始点 λ_s^α および終了点 λ_e^α を確定するために、区間 MA_s^R と $MA_s^e(i)$ 、 MA_e^R と $MA_e^e(j)$ の DP 距離が最小

になるような区間幅 i と j を導出する .

入力操作区間 Λ_α から , 非単位動作である \bar{U}_1 および $\bar{U}_{N^{OP\alpha}}$ を排除した操作区間を Λ_α^* とするとデータ区間は (29) のように表すことができる .

$$\mathbf{O} = \{\mathbf{O}_{Head}^\alpha, \Lambda_\alpha^*, \mathbf{O}_{Tail}^\alpha\} \quad (29)$$

ただし ,

$$\Lambda_\alpha^* = \{\mathbf{U}_1^\alpha, \bar{\mathbf{U}}_2^\alpha, \mathbf{U}_2^\alpha, \dots, \mathbf{U}_{N^{OP\alpha}}^\alpha\} \quad (30)$$

$$\mathbf{O}_{Head}^\alpha = \{\mathbf{o}_1, \mathbf{o}_2, \dots, \mathbf{o}_{T_S^{U_1^\alpha}-1}\} \quad (31)$$

$$\mathbf{O}_{Tail}^\alpha = \{\mathbf{o}_{T_e^{U_{N^{OP\alpha}}^\alpha}+1}, \mathbf{o}_{T_e^{U_{N^{OP\alpha}}^\alpha}+2}, \dots, \mathbf{o}_{N^O}\} \quad (32)$$

ここで , 非単位動作である \bar{U}_1 および $\bar{U}_{N^{OP\alpha}}$ は (33) および (34) となる .

$$\mathbf{MA}_s = \bar{U}_1 \quad (33)$$

$$\mathbf{MA}_e = \bar{U}_{N^{OP\alpha}} \quad (34)$$

ここで , 操作区間 Λ_α の開始点 λ_s^α と終了点 λ_e^α を式 (33) および (34) をそれぞれ i と j の変数で関数化した場合 , (31) および (32) との対応より , 式 (35) および (36) で表すことができる .

$$\mathbf{MA}_s^\alpha(i) = \{\mathbf{o}_k \mid i \leq k \leq T_S^{U_1^\alpha} - 1, i \in O_{Head}^\alpha\} \quad (35)$$

$$\mathbf{MA}_e^\alpha(j) = \{\mathbf{o}_k \mid T_e^{U_{N^{OP\alpha}}^\alpha} + 1 \leq k \leq j, j \in O_{Tail}^\alpha\} \quad (36)$$

また , 代表データの操作区間 Λ_R の \mathbf{MA}_s および \mathbf{MA}_e はそれぞれ (37) および (38) となる .

$$\mathbf{MA}_s^R = \{\mathbf{o}_k \mid \lambda_s^R \leq k \leq T_S^{U_1^R} - 1\} \quad (37)$$

$$\mathbf{MA}_e^R = \{\mathbf{o}_k \mid T_e^{U_{N^{OP\alpha}}^R} + 1 \leq k \leq \lambda_e^R\} \quad (38)$$

最終的に操作区間 Λ_α の開始点 λ_s^α および終了点 λ_e^α を式 (35) ~ (38) と (15) ~ (20) を用いて (39) および (40) によって確定する .

$$\lambda_s^\alpha = i \mid \min_{i \in O_{Head}^\alpha} D(\mathbf{MA}_s^R, \mathbf{MA}_s^\alpha(i)) \quad (39)$$

$$\lambda_e^\alpha = j \mid \min_{j \in O_{Tail}^\alpha} D(\mathbf{MA}_e^R, \mathbf{MA}_e^\alpha(j)) \quad (40)$$

4. 操作弁別実験

本章では , 提案する弁別手法の有効性を確認するために日常生活で頻出する操作を弁別する実験を行い , 手指関節動作による操作弁別性能を評価する .

4.1. 実験内容

● 学習対象

弁別の対象となる物体と操作は日常性の高いものから選択した (表 2) . 姿勢動作や位置動作の特徴が大きく出ると考えられる操作に関しても , 手指関節動作に特徴が表せることで操作が弁別できるかを検証するために , 学習の対象として選択した . 非周期性操作は操作の開始点から終了点までの区間を学習サンプルとして入力した . 周期性のある操作は , 操作区間における 1 周期分の動作の区間を学習サンプルとして入力した . 周期性操作の開始・終了点は , 往復周期性操作はユークリッド空間上で運動が停止している点から選択し , 往復周期性操作は動作速度が最も遅い点から選択した .

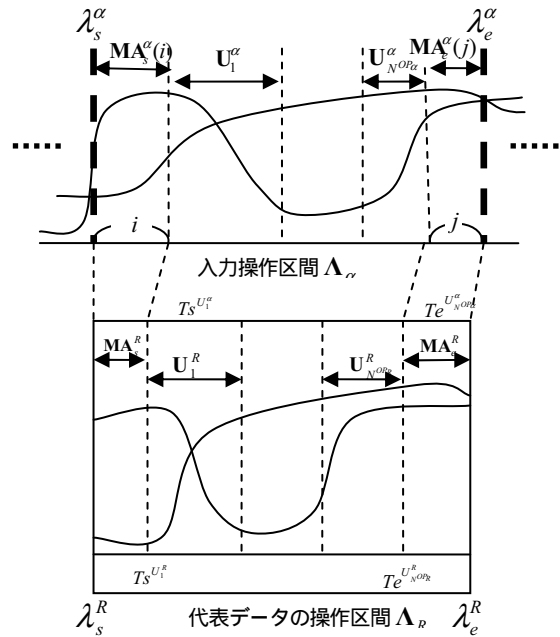


図 3 . 操作区間の確定

● 操作の学習

学習サンプルと評価サンプルはそれぞれ 10 サンプルずつ与えた . エラーサンプルは学習サンプルを取得する際に , 物体を把持している区間のうち , 弁別対象の操作を実行していない区間を全て与えた .

単位動作を切り出す閾値は $Th^U = 0.01$ とし , 閾値の強度パラメータは $\gamma_\psi = \gamma_\phi = 2.0$ とした .

● 学習パターンの評価

選択した学習パターンに対して学習 (評価) サンプルと同じ形式の正答サンプルを 10 サンプル与えた . また , 正答サンプルを取得する際に , 物体を把持している区間のうち , 操作を実行していない区間を全て誤答サンプルとして与えた . それによって弁別された結果を以下の 4 種類に分類し , その結果から正答受率率と誤答棄却率を

表 2 . 実験対象操作

物体	操作
ボールペン	ボタンを押す 書く
ホッチキス	紙を留める
鍵	開錠する 施錠する
ドアロック	開錠する 施錠する
水道の蛇口	開ける 閉める
冷蔵庫	ドアを開ける ドアを閉める
スプーン	すくう 混ぜる 食べる
インスタントコーヒーの瓶	蓋を開ける 蓋を閉める
マグカップ	飲む
電動ポット	ボタンを押す
財布	開ける 閉める

導出した。

正答受理： ユーザが与えた操作区間に対して，学習パターンによって得られた操作区間が重畳している場合，その結果は正答であるとする。

正答棄却： 実際に操作が行われている区間であるにも関わらず，学習パターンがその操作を弁別しなかった場合，正答棄却が発生したとする。

誤答棄却： 実際には操作が行われていない区間において，入力された誤答サンプルを学習パターンが誤って受理しない場合，誤答棄却が発生したとする。

誤答受理： 実際には操作が行われていない区間であるにも関わらず，誤答サンプルを学習パターンが受理することで操作が弁別されてしまった場合，その弁別結果は誤答受理であるとする。

正答受理率と誤答棄却率： 正答を正しく受理できた割合を表す正答受理率および，誤答を正しく棄却できた割合を表す誤答棄却率は式(37)および(38)で求める。

$$\text{正答受理率} = \frac{\text{正答受理数}}{\text{正答受理数} + \text{正答棄却数}} \quad (37)$$

$$\text{誤答棄却率} = \frac{\text{誤答棄却数}}{\text{誤答受理数} + \text{誤答棄却数}} \quad (38)$$

4.2. 結果

実験結果を表3に記載する。各物体，各操作に対して学習された単位動作区間セグメントセンサ群(図5)と，正答受理数，正答棄却数誤答棄却数，誤答受理数，正答受理率，誤答棄却率を示す。それぞれの操作の弁別精度を考察するために，操作を正答受理率と誤答棄却率のそれぞれが0.80以上を示したか否かで分類した。

正答受理率，誤答棄却率ともに0.80以上の操作：

ボールペン：ボタンを押す
ホッチキス：紙を留める
インスタントコーヒーの瓶：開ける
インスタントコーヒーの瓶：閉める

正答受理率，誤答棄却率のいずれかが0.80未満の操作：

鍵：開錠する 鍵：施錠する
スプーン：混ぜる 水道の蛇口：開ける
財布：開ける

正答受理率，誤答棄却率ともに0.80未満の操作：

スプーン：すくう ドアロック：施錠する

また以下の操作は，学習サンプル同士で抽出された単位動作の数が均一になるようなセンサチャンネル集合を得ることができなかったために，学習パターンを作成できなかった。

ボールペン：書く ドアロック：開錠する
マグカップ：飲む スプーン：食べる
財布：閉める 水道の蛇口：閉める

冷蔵庫：ドアを開ける
冷蔵庫：ドアを閉める
電動ボット：ボタンを押す

4.3. 考察

正答受理率，誤答棄却率がともに0.80を上回る操作のうち，「ボールペンのボタンを押す」，「ホッチキスで紙を挟む」操作は，動作する指の関節の数が少なく，それらの関節がほぼ同時に動いたために高精度な弁別が行えたと考えられる。また，「インスタントコーヒーの瓶を開ける」，「インスタントコーヒーの瓶を閉める」操作は，手指関節動作に特徴が出にくい操作であると考えられたが，親指の付け根の関節の屈伸動作や，親指と人指し指の間の開閉動作が特徴的に現れることによって操作が弁別できたと考えられる。

正答受理率が高いが誤答棄却率が低い，または誤答棄却率が高いが正答受理率が低い操作が多数存在した。これらは，正答と誤答を正しく分けられるような動作特徴を学習させる必要がある。

また，操作によっては学習サンプル同士で抽出された単位動作の数が一致するセンサ群を抽出することができず，学習パターンを作成できなかった。これらは以下の理由からなるものであると考えられる。

動作の複雑性： 「ボールペンで字を書く」，「スプーンで食べる」等の，動く指の関節が多く複雑な操作は，操作区間に単位動作区間が非常に多く抽出され，操作を弁別する上で特徴的な単位動作が得られなかったこと原因だと考えられる。

手指関節動作の特徴の不足： 「ポットのボタンを押す」，「冷蔵庫のドアを閉める」等の操作では，手指関節動作の運動量が少ないために，操作時に特徴的な単位動作区間を切り出すことができなかったと考えられる。このような手指関節動作の運動量が少ない操作は，手指関節動作のみから操作を弁別することは不可能であると考えられる。

5. おわりに

本研究では，ユーザの記憶活動への支援を実現するために，データグローブから取得される時系列データを単位動作と呼ぶ細かな動作に分割することで，ユーザの物体に対する操作を弁別する手法を提案し，その弁別精度を実験によって検証した。今後の課題としては，以下のものが挙げられる。

- 周期性を持つ操作を学習する際に，操作の開始点と終了点を指定するだけで，1周期分の動作を自動的に取り出して学習できるようにする。
- 「ペンで字を書く」，「キーボードをタイプする」等の動作に多様性のある操作は，学習サンプルをあらかじめ共通した動作の特徴がでるようにクラスタリングして別々に学習できるようにする。
- 手首に位置方向センサを取り付けることで，姿勢動作，移動動作を抽出し，より精度の高い操作弁別を実現する。

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] 河野恭之, 河村竜幸, 上岡隆宏, 村田賢, 浮田宗伯, 木戸出正継, “ウェアラブル日記の実現に向けて - 日常記憶の検索・編集・整理・共有機構 -,” 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解 (PRMU) 研究会, pp.55-60, Jan. 2003.
- [2] B. Rhodes, “The Wearable Remembrance Agent: a System for Augmented Memory”, In Proc. of The First International Symposium on Wearable Computers, pp.123-128, 1997.
- [3] M. Lamming and M. Flynn, “Forget-me-not: Intimate Computing in Support of Human Memory,” Proc.FRIENDS21: International Symposium on Next Generation Human Interface, pp.125-128, 1994

- [4] T. Kato, T. Kurata and K. Sakaue, “VizWear-Active: Towards a Functionally-Distributed Architecture for Real-Time Visual Tracking and Context-Aware UI,” Proc.ISWC2002, pp.162-163, 2002
- [5] 佐川浩彦, 竹内勝, “手話認識における手動作セグメンテーション方式,” ヒューマンインタフェースシンポジウム'99 論文集, pp.745-754, 計測自動制御学会, 1999.
- [6] 山中晋爾, 浜本隆之, 半谷精一郎, “ペンの傾きを利用した署名照合方式の改良,” 電子情報通信学会情報セキュリティ研究会, ISEC2000-18, pp.65-72, 2000

表 3. 実験結果

物体	操作	単位動作 セグメントセンサ群	正答 受理数	正答 棄却数	誤答 受理数	誤答 棄却数	正答 受理率	誤答 棄却率
ボールペン	ボタンを押す	012--6---B--	9	1	6	64	0.90	0.91
	書く	-----	-	-	-	-	-	-
ホッチキス	紙を留める	-1-----9ABC-	8	2	2	10	0.80	0.83
鍵	開錠する	----4--7--A---	10	0	45	61	1.00	0.58
	施錠する	--23--6-8-----	10	0	42	62	1.00	0.60
ドアロック	開錠する	-----	-	-	-	-	-	-
	施錠する	-----89--C-	7	3	5	3	0.70	0.38
水道の蛇口	開ける	-1--4-6-8--B-D	2	8	0	10	0.20	1.00
	閉める	-----	-	-	-	-	-	-
冷蔵庫	ドアを開ける	-----	-	-	-	-	-	-
	ドアを閉める	-----	-	-	-	-	-	-
スプーン	すくう	----4-6-89----	6	4	4	13	0.60	0.76
	混ぜる	0---5-7-----D	7	3	2	9	0.70	0.82
	食べる	-1--4567--A-C-	-	-	-	-	-	-
インスタント コーヒーの瓶	蓋を開ける	-1-----B--	10	0	11	95	1.00	0.90
	蓋を閉める	0-234-67--B-D	10	0	17	85	1.00	0.83
マグカップ	飲む	-----	-	-	-	-	-	-
電動ポット	ボタンを押す	-----	-	-	-	-	-	-
財布	開ける	--2--5--9--C-	3	7	2	30	0.30	0.94
	閉める	-----	-	-	-	-	-	-



図 4 . データグローブ概観 (右手, 甲側)

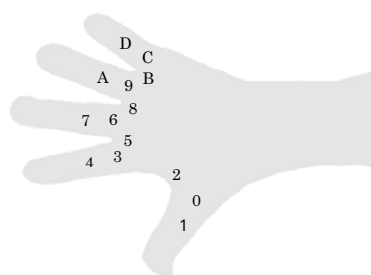


図 5. センサ配置図(右手, 甲側)