

# 3次元行動からの増減符号解析による個人識別手法の検討

## A Study on Personal Identification Method by Increase/Decrease Code Analysis from 3D Behavior

高橋 大介\*\* 平野 晃昭\*\* 立野 玲子\*\* 中村 納\*\*

TAKAHASHI Daisuke, HIRANO Teruaki, MINAMIKAWA-TACHINO Reiko and NAKAMURA Osamu

### 要旨

空中での行動を対象とした従来の個人認証手法では、平面の情報が主であり、奥行や高さといった3次元の動き情報を利用した検討は十分に行われていない。認証手法で大きな問題として、別人が本人の行動をまねて認証を突破することがある。そこで我々は、まねのしにくい空中行動中の3次元動的な動きに着目し、奥や手前への動きから個人差を抽出する手法を考えた。特に個人差が生じると考えられるものに、行動時の「速さの揺らぎ」がある。我々は、行動中から速さの揺らぎに関する大きな変化が発生した個所を変化点とし、変化点間の情報を3次元ベクトルへの変換と符号化による簡便な識別システムの構築を行う。提案システムの精度を検証した結果、同一人物と別人とを識別可能であることが分かった。本稿では、3次元データから個人差のある特徴を抽出する一連の手法の提案と、構築した特徴抽出手法により個人識別が可能かを調査した結果を報告する。

●キーワード：個人識別 (human authentication) / 3次元行動解析 (3D behavioral analysis) / 増減符号 (increase and decrease code)

### I. はじめに

近年、個人識別が必要となる機会が増加してきており、伴って識別装置や手法の精度向上は急務である。既存の行動による個人認証方式は、発話や筆記、タッチタイピング、歩き方など、日常の行動を対象としているものが多い<sup>1)</sup>。日常の行動で個人を識別することができれば、認証されているという心理的負担を軽減することができ、多くの場面で利用することが可能となる。このようなシステムの普及のためには、識別精度が良好、操作が簡便、導入コストが低いことが必要とされる<sup>2)</sup>。

身体的個人認証（身体認証）で虹彩や指紋といった情報を取得するためには、特殊なセンサを搭載した機器を必要とするが、行動による個人認証（行動認証）では、カメラやマイク、キーボードなど日常的に使用されているデバイスを用いることで簡便かつ導入コストを低く抑えることができる。精度に関しては、行動認証は身体認証よりも低めになる傾向がある。しかし、さほど高い精度を求めない、マンション入り口などの共有スペースにおける自動ドアの開閉やオフィス等での共有機器のロック解除などの場合は、利用しやすさといった利便性も重

要な要素となることから、行動認証は有効であると考えられている<sup>3)</sup>。

本研究は、人物の行動的特徴を用いて、個人識別を行うことを目的としている。特に、空中での指先におけるわずかな動きを対象とし、指先の微小行動から速さの揺らぎといった個人の癖に該当する個人差の含まれる情報を抽出し、個人を識別するシステムの構築を目指すものである。本稿では、空中での指先の動きのデータを取得し、3次元での速さの揺らぎを個人特徴量として、符号化して抽出するシステムの構築について述べる。

### II. 従来関連研究と提案手法

#### II-1 従来手法

認証システムにおいて識別精度の低下の原因となる「なりすまし」は、対象の行動を「見まね」（見て覚える）や、対象の行動を記録し写したものを「なぞり」（なぞって練習する）によって、本人になりすまし認証を突破するものである。従来手法ではこの問題解決のため、特徴量の統計的データを基に認証するGlobal情報利用認証方式や、特徴量の動的な振る舞いを用いるLocal情報

\*文化学園大学助教 情報処理

\*\*関東学院大学理工学部工学総合研究所研究員 情報処理

利用認証方式が提案されている。

従来手法を整理したものをTable. 1に示す。

Global情報認証方式<sup>4)</sup>は「行動時間」、「行動回数」、「変化点数」、「加速度」などを用いて認証するものであり、まねのしやすい「軌跡（形）」への依存度を小さくすることで精度向上を行っている。

一方で、Local情報利用認証方式<sup>5)</sup>では、行動の局所的な「曲げ」や「止め」の位置を利用するものがあり、リアルタイム性を持たせたまま、「なりますし」への耐性を得ている。また、上記2種の認証方式を組み合わせたハイブリッド方式<sup>6) 7)</sup>も提案されている。

しかしながら、2次元情報を単独で用いたものは、まねに対しての頑健性を確保することがやはり難しく、平面情報が主であることから、行動のみではなく他のバイOMETRICS（顔や虹彩、指紋といった身体的特徴）とのハイブリッドな手法など複雑化が行われており、処理コストの増大などの問題も起きている。

一方で、平面情報はまねへの対応に限界があると考え、3次元行動は空間上での「なぞり」ができないことから、行動をモーションセンサ等で取得し、「見まね」がし難い特徴量を用いる手法の開発が行われている<sup>8)</sup>。畠中ら<sup>9)</sup>は、赤外線ステレオカメラを用いたモーションセンサであるultraleap社製のLeap Motion (Fig. 1)<sup>10)</sup>を行動データの取得に用い、参照する2つのパターン間の多少の違いに対して頑健に類似度を比較する方法であるDP（動的計画法）マッチングによる認証方式を提案している。Leap Motionについては本研究でも使用しており、詳細はⅢ-2にて後述する。この手法では、空中に仮想的な平面の筆記エリアを設定し、筆記した指先の位置情報に対してGlobal方式を主に利用し解析している。また、A.Chanら<sup>11)</sup>は、手の動きに加え、形状に着目した手法を提案している。取得した3次元データに対して、静的（動かさない）な手の骨や指の形状と動的（ジェスチャー）なデータに対してマッチングを行う手法である。手形状という身体的特徴を利用することで、高精度な手法が報告されている。

3次元情報を用いた場合、取得時に特殊な機器が必要となることや、情報量の多さから特徴抽出や認証処理が2次元情報よりも複雑であること、行動の大きさや、微細な位置等のブレの影響を大きく受けやすいといった問題がある。

以上述べてきたように、2次元の手法では、3種類の方式いずれも数多くの研究が報告されている。一方で3

次元の手法も近年研究が盛んにおこなわれているが、2次元手法の拡張手法の研究が主であり、まだ十分な検討がされていない。

Table.1 Conventional Method Type

Identification method	2D	3D
Global Information	◎	○
Local Information	◎	○
Hybrid System	○	△

◎ : many   ○ : a few   △ : rare

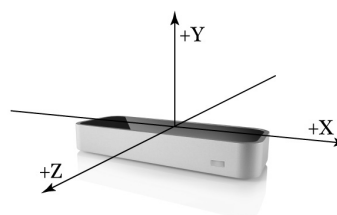


Fig. 1 Leap Motion Controller ©ultraleap

## Ⅱ - 2 提案手法

本研究は、空中での指先の微細な3次元行動を対象とし、個人差は指先の動きの速さの揺らぎにあると考える。本研究での「速さ」とは、決まった行動での指先の位置がある時間から時間経過した後の位置までの変化量の大きさから求めることができる。また、この速さの大きさが特定の行動間で「変化（揺らぎ）」することは、個人の行動の癖に由来する。このため、縦の動き（縦勢）、横の動き（横勢）、奥への動き（奥勢）に対して生じるGlobal情報となる「変化点数」およびLocal情報である「変化点間の位置情報に基づくベクトル」に着目した。Table.1では3次元のハイブリッド方式に該当する。3次元のデータを対象とするため、「なぞり」が困難であり、変化点の間という微細な行動である変化点間の位置情報は、「見まね」することが難しいことから「なりますし」への頑健性も確保できるものである。

指先の行動は、高精度かつ高速なモーションデバイスであるLeap Motionを用いて微細な情報を取得する。得られたデータから、奥行情報を含んだ指先の動き量を表した3次元行動ベクトルを算出する、これは、位置情報が相対的なものとなり、行動時の単純な大きさや行動位置の変動に影響を受け難い特長がある。ベクトルから得た個人差を増減符号によって符号化した特徴量を用いることで、本人と別人の識別を行う手法を提案する。

### Ⅲ. 指先行動を取得するシステム

#### Ⅲ-1 対象となる3次元行動と入力方法

被験者の空中での指先の行動は、本来であれば、自由であることが望ましい。しかし、3次元行動時における個人特徴が不明な状態で、被験者それぞれが異なる行動を行った場合、行動自体の継続性や別人との個人差があるかを判別するのは困難である。そこで本研究ではまず、3次元行動時に生じる個人特徴の判別を行うために、行動判別で良く用いられる基本動作である縦および横の動作中に個人差がある特徴が存在するかを調査する。このため、直線のみで構成されており、行動の時間が比較的長く、複数画であり、言語に極力依存しないという条件から対象行動は「十」という形状を空中表現する時のものとした。この形状は単純な形状であるため、運指や動きの省略が生じ難く、色々な行動の基礎となるため、基本的な解析データを得るのに適している<sup>12)</sup>。

#### Ⅲ-2 使用機器

本手法で用いるLeap Motionは、赤外線ステレオカメラを用いていることでマーカーが必要なく、手指のモーション情報取得に特化しており、デバイス上の認識領域に手をかざすだけで行動取得が可能で、導入しやすいデバイスである。機器の設置位置は、実際の使用方法を想定し、机の上に置き、情報表示用のディスプレイより手前とした (Fig. 2)。座標軸の原点はFig. 1で示したデバイスの中心であり、横方向 (X座標) と奥行方向 (Z座標) は「正負」のデータを持ち、縦方向 (Y座標) は「正」のみのデータとなる。手の位置はデバイス中心を基点とし、認識領域内となる左右、前後に20[cm]程度、高さ (上下) は約15[cm]~30[cm]の範囲とした。

Leap Motionは設定により、60~200[fps]と高速にかつ、1/100[mm]~1/10[mm]の精度で指の位置や角度を取得することができる。今回の実験では、処理速度よりも精度を重視し、1/100[mm]、60[fps]の設定でデータ取得を行った。

空中表現では、2次元平面での行動時と異なり、被験者は視覚や触覚でのフィードバックが少ないことで、行動している大きさや位置が分かり難く、形状の安定が失われやすい。本手法では画面表示を行い、被験者にフィードバックの感覚を与えることで、これらの問題に対応している。

データ取得時に、識別対象となる被験者は椅子に座った状態で、Fig. 2 (b) のように手をLeap Motion上にか

ざす。この時、指先の位置をFig. 3に例示した画面で情報表示を行う。この画面は640×480[pixels]の大きさであり、動かす範囲の目印として中心に矩形を描画している。また、指先の位置は、Fig. 3で示すように「円」と中心に「点」を描画する。この円はFig. 1で示したLeap Motionの中心を原点とした奥行 (Z軸) に応じて、円の色を手前の場合は「青」、中心付近では「黄」、奥にある場合は「赤」に変化するよう設定している。また、視覚的变化をより強くするため、円の大きさも奥行値に応じて変化させ、中心に近いほど「小さく」、離れるほど「大きく」なるように設定した。

#### Ⅲ-3 実験諸条件

データ取得の際、被験者にはできるだけ自由に行動してもらおうが、取得範囲内に収めることと行動の開始と終了をわかりやすくするため制約条件として、

- ・椅子に座った状態で手はFig. 2の位置
- ・開始時と終了時は指先位置を画面中央付近
- ・人差し指のみで行動する
- ・行動の種類:「十」の形状

の4点を伝え、利き手、姿勢などは自由とし、毎回、日時を変えて一人当たり3回のデータを取得した。

本実験は認証を行う際、各個人が別人の行動を特に意識せず入力した時 (通常時) を想定している。通常時における個人差の特徴を調査するため、被験者20人 (右利き18人、左利き2人、20代から60代男女) のデータを用いて識別実験を行う。被験者には、慣熟のために被験者自身が十分と感じるまで本システムと同様のシステムで事前練習を行ってもらおう。その後、先にあげた制約条件を告げ、自由に行動してもらった状態でデータを取得し、提案手法による識別精度を調査した。なお、被験者より得る情報は、氏名 (通し番号等でも可)、年代、性別、利き手、指先の行動データであり、取得方法および保管方法について、2022年度の文化学園大学研究倫理審査を受け、承認番号T22C05にて承認を受けている。

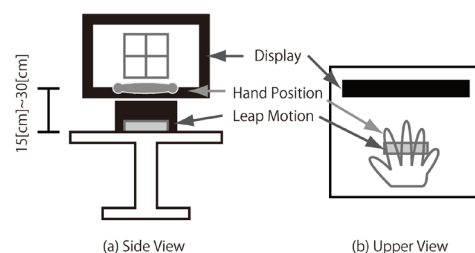


Fig. 2 Location of Leap Motion

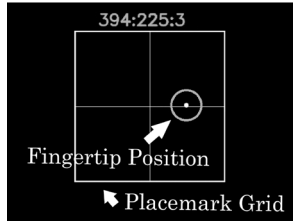


Fig. 3 Display Image

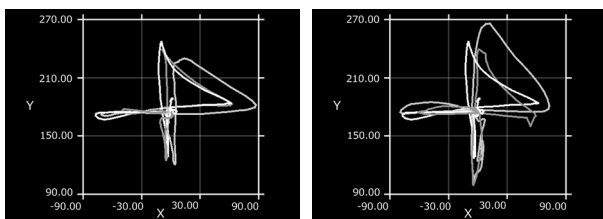
### Ⅲ-4 3次元情報として表れる個人の特徴

取得したデータ例について、Fig. 4ではX軸とY軸のデータを、Fig. 5では加えてZ軸のデータを示している。どちらも (a) は同一人物 (same) の3回分のデータ、(b) は3人の別人物 (other) のデータである。単純な重ね合わせであり、行動の大きさが異なっているが、文字サイズのキャリブレーション等を行っていない。これらを比較すると、平面では同一人物時も別人時も似た軌跡であり、一方で、3次元空間で比較すると、同一人物時は軌跡がほぼ同じ形状をしており、別人時と比較すると一見して差が生じているのが見て取れる。

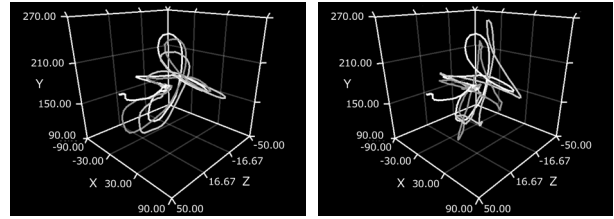
30件 (被験者10人分、各3回) の3次元空間データに対し、Fig. 6に示すようにデータを囲む外接直方体を求め、その直方体の各軸の大きさの平均値と標準偏差を算出した結果をFig. 7に示す。横軸は各座標軸を示し、縦軸は直方体の大きさとなる。単純な比較ではあるが、従来手法で用いられているX、Y軸と同様にZ軸の奥行情報にも大きな差が認められた。

従来手法では、縦と横の動きの2次元情報に射影したため、奥行情報は全て削除されており、使用していない。このことから、X、Y軸情報に加えZ軸情報を加えた特徴抽出を行うことで、より個人の特徴を捉えることが可能であると考えられる。

本稿で提案する手法は、これらの空間情報も加味した特徴量を用いる。具体的には、奥行に関する行動に着目し、被験者が無意識に行っている手前や奥への移動量を従来の平面情報に奥行情報を加味した3次元ベクトルを用いることで、3次元的な速さの揺らぎを表現する<sup>12)</sup>。



(a) Same (3 times) (b) Other (3 person)  
Fig. 4 Projection of X-axis and Y-axis



(a) Same (3 times) (b) Other (3 person)  
Fig. 5 Projection of X-axis, Y-axis and Z-axis

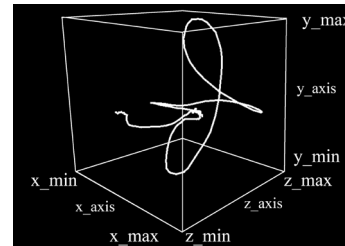


Fig. 6 Bounding Box of Data

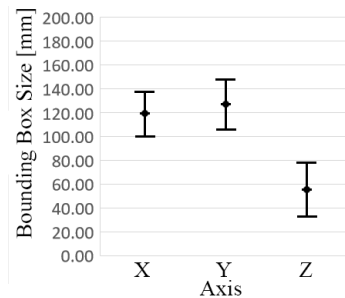


Fig. 7 Variation of Bounding Box Size

## Ⅳ. 3次元ベクトルの角度を用いた個人識別の提案

### Ⅳ-1 変化点の検出

モーションセンサで取得した一回分の行動データ例は、Fig. 8で表したX軸のみ、およびFig. 9で表したXYZ軸のような時系列データとなる。これらのデータを単純に重ね合わせるなどの比較では、行動時の大きさや位置変化により値が大きく変化し、本人もしくは別人を識別することが困難である。このため、取得データから各個人において行動時に不変であり、かつ別人と大きく異なる特徴が必要である。

そこで我々は、Global情報である指の位置が大きく変化する状態の点 (変化点) を基準とした特徴量候補の抽出手法を提案する。変化点は、大きさや位置に変動が生じた場合においても、同一人物が同一の行動をした場合であれば必ず存在し、変化点から変化点までの距離の比率や角度には、変動が生じ難い特長がある。また、変化点間の距離 (大きさ) は速さを表しており、変化点および変化点間の特定位置での速さの変化 (揺らぎ) を調べることで、個人特徴を得ることができる。

提案手法で対象とする変化点は基準とする軸を「十」という行動のどの位置（フレーム）かがわかりやすいX軸とY軸からとしている。Z軸は他2軸に比べてストローク中などで細かく変化しやすく、どの位置に個人差が生じているか、この段階では不明なため、変化点の抽出には使用しない。X軸もしくはY軸で変化点の位置を抽出した後、同じ位置で元データから3軸の情報を改めて抽出し、3次元の変化点情報を得る。

提案手法の変化点は各フレーム値 $F_n$ から求め、開始点 $P_1$ 、X軸とY軸の最大 $P_{max}$ ・最小 $P_{min}$ 、終了点 $P_2$ の6点を対象とする。これらの抽出には、Eq. 1～4を用いる。

まず、最大・最小点の場合は、各フレーム $F_n$ から軸での位置が最大もしくは最小となるフレームを算出する。

軸 $i$ に対して、

$$P_{max}^i = \text{Max}(F_n), \quad P_{min}^i = \text{Min}(F_n) \quad (1)$$

次にレンジ（範囲） $H_i$ から変化点算出に用いる閾値 $Th_h$ を算出する。このとき用いる重み値 $W_{th}$ はレンジの何%以上の変化量とするかを意味しており、予備実験より良好となった0.05（5%）もしくは0.01（1%）を用いる。

$$H_i^i = P_{max}^i - P_{min}^i, \quad Th_h^i = H_i^i W_{th} \quad (2)$$

但し、 $W_{th} = 0.05 \text{ or } 0.01$

開始点、終了点はEq. 3 および Eq. 4で求める。

開始点 $P_1$ は、X軸ではEq. 3、Y軸ではEq. 4を用い、X軸では $P_{min}$ 、Y軸では $P_{max}$ より前フレーム側に走査し、閾値 $Th_h$ 以上の変化が5フレーム以上続いた後、閾値以下の最初のフレームを開始点としている。

終了点 $P_2$ は、開始点とは逆方向の走査となり、それぞれX軸ではEq. 4、Y軸ではEq. 3を用い、X軸では $P_{max}$ からY軸では $P_{min}$ より後フレーム側に走査して求める。

$$C_{fn}^i = \begin{cases} 1, & |F_{n-1} - F_n| \geq Th_h^i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_1^i = \begin{cases} 1, & \sum_{i=n}^{n-4} C_{fn}^i \geq 5 \mid C_{fn-5}^i = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$C_{bn}^i = \begin{cases} 1, & |F_{n+1} - F_n| \geq Th_h^i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_2^i = \begin{cases} 1, & \sum_{j=n}^{n+4} C_{bn}^j \geq 5 \mid C_{bn+5}^i = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

X軸に対する実際のデータから変化点の具体的な抽出例を説明する。最大および最小値は、Fig. 8の波高の最大、最小と同じである。また、開始点 $P_1$ は最小値より前方向に探索した結果求めている。同様に終了点 $P_2$ は、最

大値より後方向に探索して求めた。これにより、Fig. 8の白点位置が抽出される。また同様に、Y軸に対しても4つの変化点の抽出を行う。今回の場合は最後に、Fig. 9で示すようにX軸での最大点とY軸の開始点、Y軸での最大点とX軸の終了点は、対象としている「十」という動作より同じ位置となることからそれぞれ最大点の位置に統合する。これにより今回のデータでの変化点はX軸、Y軸のそれぞれの開始点（ $P_1^x, P_1^y$ ）、最大点（ $P_{max}^x, P_{max}^y$ ）、最小点（ $P_{min}^x, P_{min}^y$ ）終了点（ $P_2^x, P_2^y$ ）の8点のうち、3次元での変化点は、開始点 $P_1^x$ 、終了点 $P_2^y$ 、X軸とY軸の最大（ $P_{max}^x, P_{max}^y$ ）・最小（ $P_{min}^x, P_{min}^y$ ）の6点の位置となる。変化点をFig. 8、9のようなグラフの形状および実データの数値より、目視で急激に変化した箇所（フレーム）を抽出した場合（Manual）と、Eq. 3、4により算出した場合の精度について例として3人分のデータで比較するとTable. 2に示したように、最大でも5フレーム差以内で検出できている。

さらに、行動に含まれる個人差は変化点だけでなく、変化点と変化点間のストローク中にも生じると我々は考えている。そこで、上述した手法で得られた変化点を時間軸方向に二分するか所（Fig. 9の破線）のデータも変化点間情報として抽出する。最終的にXYZの3軸それぞれで変化点と変化点間の位置で情報を抽出すると、変化点6か所（Fig. 9の実線）、変化点間5か所、あわせて11か所となり、3軸で計33点の情報を得る。

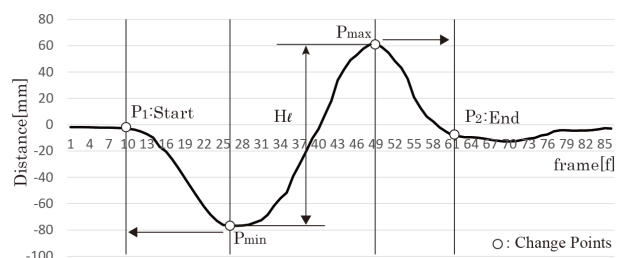


Fig. 8 Finger Location and Change Positions (X axis)

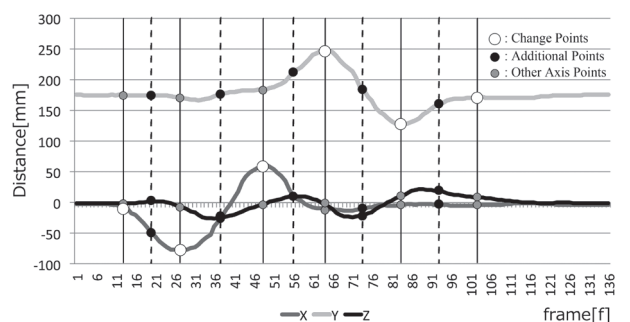


Fig. 9 Change Points Extraction

Table. 2 Manual and Auto Extraction Frame Number

Subjects	A		B		C	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Manual	28	115	18	73	17	66
1%	27	120	18	71	18	65
5%	25	120	18	72	17	65
Manual - 1%	1	-5	0	2	-1	1
Manual - 5%	3	-5	0	1	0	1

#### IV-2 ベクトルおよびベクトル間角度の算出

取得した変化点に対して、それぞれ隣り合う2点の位置情報から、ベクトルを算出する。このベクトルの大きさには、Local情報に相当する行動時の速さの揺らぎや、大きさといった各個人の癖の情報が含まれる。特に本手法では従来からの縦横情報に加えて、奥行値の情報を含んだ3次元のベクトルであり、より詳細に個人の情報を反映したデータとなる。

本手法で用いる変化点はIV-1で述べたように11か所となり、取得したXYZ軸の値に対して、連続する2点の位置情報から、Eq. 5により3次元ベクトルの $L^2$ ノルムをそれぞれ計算することで10個の値を得る。算出したベクトルから行動時の大きさや位置変化の影響を受け難い連続した2つのベクトル間の差の大きさから $\tan^{-1}\theta$ を用いて算出した角度 $D_n$ へ、Eq. 6により変換する。ベクトル間の角度は10個のベクトルから9個の値が得られ、範囲は $-90\sim 90[\text{deg}]$ で算出される。この角度 $D_n$ は変化点11か所それぞれの3軸の動きの大きさと方向を符号と角度に変換したものととなる。

$$\|v_n\| = \sqrt{[x_{n+1} - x_n]^2 + [y_{n+1} - y_n]^2 + [z_{n+1} - z_n]^2} \quad (5)$$

$$D_n = \tan^{-1}(\|v_{n-1}\| - \|v_n\|) \quad (6)$$

#### IV-3 増減符号の算出

IV-2で算出したベクトル間の角度はTable. 3のAngleに例示するように9つあるが、細かな変動が同一人物であっても生じることから、この値をそのまま個人識別に用いると精度低下の要因となる。しかし、ベクトル間の角度を単純な符号列に変換して表現することで、計測やマッチングを簡便にすることが可能となる。そこで、本手法ではベクトル間の角度を増減符号に変換することで符号化を行う手法を提案する。

増減符号 (Increase and Decrease Code : I/D Code) とは、ある点からある点までの増分を調べたとき、増加

もしくは等しければ「+」、減少であれば「-」の符号を付加し、連続した数値データを符号の連続として取り扱うことを可能とするものである。

提案手法では、この増減符号の整合により、個人間の普遍性および別人との間の差異を判定する。今回、用いる増減符号を基本となる2種から3種以上に増やして調査した予備実験の結果より、方向と大きさの情報をある程度担保でき、最も分離度が良く、最低限の個数となったことから、3種 (+, -, =) を用いることとする。角度の情報から、それぞれの符号へ変換するためには、付加する符号に応じた閾値を設定する必要がある。本実験では、Fig.10に示したようにベクトル間の角度の範囲 $90.00[\text{deg}] \sim -90.00[\text{deg}]$ を3等分したものをを用い、符号をつける際の各閾値を「+」:  $30.00[\text{deg}]$ 以上、「=」:  $+29.99 \sim -30.00[\text{deg}]$ 、「-」:  $-30.01[\text{deg}]$ 未満に設定して実験を行った。

増減符号の算出例として、Table. 3のI/D Codeのように一連の角度データに対して9つの増減符号が算出される。なお、IV-1で述べたEq. 2の2つの閾値にて、増減符号を算出するとTable. 4で示すように、Manualと異なる符号 (灰色) は1か所程度と、どちらの閾値でも同様の精度で結果が得られたため、今後の実験では閾値を0.05として得られた増減符号で検討を行う。マッチングでは、Table. 5のように対象人物の増減符号列に対して、同一人物と別人物のときで増減符号の一致数をカウントし、一致率を算出する。

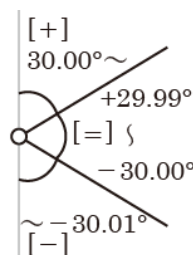


Fig.10 Calculation angle range of I/D Code

Table. 3 An Example of I/D Code Assigned by Angle

Angle[deg]	I/D Code(+, -, =)
-39.38	-
87.45	+
87.84	+
-66.55	-
-88.74	-
87.56	+
-87.98	-
-85.77	-
-1.57	=

Table. 4 Code Matching between Manual and Auto Extraction

A			B			C		
manual	0.01	0.05	manual	0.01	0.05	manual	0.01	0.05
+	+	+	+	+	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+	-
+	+	+	-	-	-	+	+	+
=	=	=	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+	+
+	+	+	-	-	-	-	-	-
-	-	-	+	-	-	+	+	+
-	-	-	-	+	+	-	+	-

Table. 5 Concordance Example of I/D Code

Subject-Same	Same	Subject	Other	Subject-Other
○	+	+	-	×
○	-	-	+	×
○	=	=	=	○
×	-	=	-	×
○	-	-	+	×
○	+	+	+	○
○	+	+	-	×
○	-	-	-	○
○	+	+	+	○

## V. 提案手法による識別精度

提案手法の有効性を確認するため、通常時として取得した被験者20人、各3回のデータに対してIV-3で述べた提案手法による識別精度を算出した。一致率を計測した結果をFig.11に示す。横軸は識別対象の種類として同一人物同士のマッチングおよび別人物とのマッチングを表し、縦軸は増減符号の一致率を算出した結果の平均値および標準偏差を表している。実験結果は、

- ・ 本人受入率 TAR : True Acceptance Rate
- ・ 分離度 Res : Resolution (TAR-FAR)
- ・ 他人受入率 FAR : False Acceptance Rate
- ・ 本人拒否率 FRR : False Rejection Rate  
(100 - TAR)
- ・ 平均誤識別率 AER : Average Error Rate  
{(FAR+FRR)/2}

の慣例に基づく指標を用いて実験結果の精度を検証する (Table. 6)。

理想的な結果は、本人受入率TARが高く、他人受入率FARが低いものであり、平均誤識別率AERが低く、分離度RESが大きな値である。

Fig.11より同一人物同士のTARは73.89[%]と増減符号の一致率は良好な値であり、標準偏差も10[%]程度とばらつきが少ない結果が得られた。別人との比較である

FARは44.44[%]、標準偏差17[%]程度と同一人物時より低い一致率ではばらつきも大きな値となった。

分離度Resは29となり、標準偏差も考慮すると同一人物と別人を誤識別する可能性はあるが、単純なマッチング手法を用いての実験結果としては、同一人物と別人を分けることが可能な分離度を得られていると考える。

一方で本人拒否率FRRは26.11[%]、平均誤識別率AERでは37.22[%]と高めと考える値であり、I. で述べたように行動を対象とした識別手法の精度は低めになる傾向が本手法でもみられた。

また、同一人物時と別人時の一致率に対しての、t検定の結果、有意差があった ( $t(118)=10.50, p<0.001$ )。

実験結果より、空間の指先の動きの速さの揺らぎに着目した本手法にて、速さの揺らぎを表す符号列で個人の指先の動きが特徴づけられた。また、符号をマッチングすることで、同一人物と別人をある程度区別することができた。一方で有意差はあるものの、別人物との分離度やAERが高めであることから、精度向上の検討を重ねる必要がある。

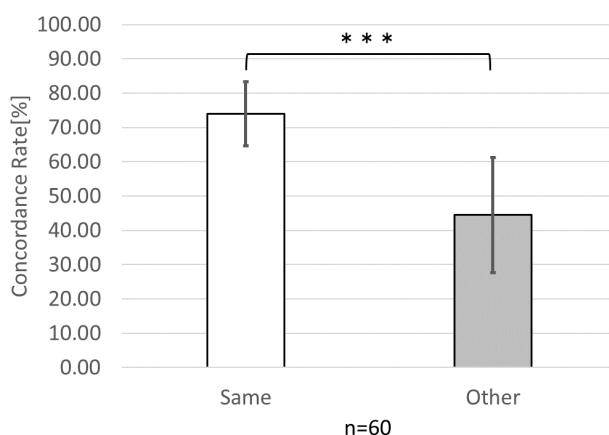


Fig.11 Average of Concordance Rate (Note. \*\*\* p<.001.)

Table. 6 Identification Accuracy

Index	Value[%]
TAR	73.89
FAR	44.44
Res	29.45
FRR	26.11
AER	37.22

## VI. おわりに

本論文では、3次元空間中の指先行動から人物の行動認証を行う手法の構築を目指し、個人差のある特徴量を取得する手法の開発を行った。提案手法では、モーションデバイスから取得した指先の空中行動という微細かつ高速で動く3次元行動の速さの揺らぎに着目し、指位置情報から行動の変化が大きなGlobal情報の変化点を抽出し、得られた変化点間の3次元ベクトルならびにLocal情報のベクトル間角度を算出した。これにより、先行研究で問題となっていた行動時の大きさや位置などの細かい指のブレによる影響を軽減し、個人差を有した情報を指先の3次元行動データから自動的に得る手法を開発した。また、ベクトル間角度に対して3種類の増減符号を算出し符号化することで、上下左右前後の移動タイミングに応じた個人ごとの癖を単純化し、簡便で定量的な特徴として抽出することが可能となった。

識別実験によって速さの揺らぎは、個人の指先の動きを特徴づけることを確かめた。結果の精度は、本人受入率TAR：73.89[%]、他人受入率FAR：44.44[%]、分離度Res 29が得られ、有意差のある差異が認められた。これにより速さの揺らぎによる同一人物と別人との識別可能性が示された。

今後は、より分離度を大きくするため、増減符号の特性に着目したマッチング手法の開発と、「なりすまし」を意図的に行った場合において、本提案手法の精度の検証を行う予定である。また、対象となる行動を、斜めや円などのより複雑なものへ対応し、字や記号の形状に限らない空中表現行動を用いた個人識別手法の確立を目指し検討を重ねる予定である。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり、多大なるアドバイスをいただきました関東学院大学理工学部 岡本教佳名誉教授ならびに中屋敷かほる先生にこの場を借りて御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Y.Komiya, T.Ohishi, T.Matsumoto : "A Pen Input On-Line Signature Verifier Integrating Position, Pressure and Inclination Trajectories", IEICE TRANS.INF & SYSTEMS, Vol.E84-D, No.7, pp.833-838, 2001.
- 2) S.Hangai, S.Yamanaka and T.Hamamoto : "Writer Verification using Altitude and Direction of Pen Movement", Proc. Of ICPR, pp.3483-3486, 2000
- 3) 小山、吉田、和田、半谷 : "オンライン署名認証における3種類の分割手法の偽筆に対する耐性について", SCIS2011, 2011
- 4) W.Nelson, W.Turin and T.Hastie : "Statistical Methods for On-line Signature Verification", Intell. Journal of Pattern Recognition and Artificial Intel., Vol.8, pp.749-770, 1994
- 5) T.Ohishi, Y.Komiya and T.Matsumoto : "On-line Signature Verification using Pen-Position", Pen-Pressure and Pen-Inclination Trajectories, IEEE, pp.547-550, 2000
- 6) J.Fierrez-Aguilar, L.Nanni, J.Lpez-Penalba, J.Ortega-Garcia and D.Maltoni : "An on-line Signature Verification System Based on Fusion of Local and Global Information", Proc. of IACR, AVBPA, LNCS-3546, pp.523-532, 2005
- 7) I.Nigam, M.Vatsa, and R.Singh, "Leap signature recognition using HOOF and HOT features," Proc, ICIP2014.
- 8) 大坪、中井 : "加速度センサの傾き情報を併用した空中手書き文字認証", 信学技報, PRMU2012-112, pp.263-268, 2012
- 9) 畠中、鹿島、佐藤、渡邊 : "指識別情報を用いたフレキシブル空中署名個人認証システムに関する研究", 映像情報メディア学会誌, Vol.70, No.6, pp.J125-J132, 2016
- 10) Leap Motion : <https://www.leapmotion.com/>, 2015.06.03
- 11) A.Chan, T.Halevi, and N.Memon, "Leap Motion Controller for Authentication via Hand Geometry and Gestures," HAS 2015, LNCS 9190, pp.13-22, 2015.
- 12) 坂田、高橋、岡本 : "Leap Motionから取得したデータによる筆跡鑑定のための特徴抽出", 映像情報メディア学会技術報告, ME-2014-24, Vol.38, No.7, pp.331-334, 2014