

身体を圧迫することによる脈波制御を用いた ウェアラブルデバイスインタラクション手法の提案

秋元 優摩¹ 村尾 和哉^{1,2}

概要：スマートウォッチや活動量計などさまざまな種類のウェアラブルデバイスが開発され、広く一般に普及しつつある。情報提示装置としてディスプレイを搭載している機種があるが、身体に装着するという特性上そのサイズは1.5インチ程度と小さい。そのため、スマートフォンと同様のQWERTキーボードやフリック入力による文字入力やタッチによる選択操作だと操作速度の低下や操作ミスが発生し不便さを感じる。また、自分自身の指で画面が見えずに操作がしづらいFat finger問題もウェアラブルデバイスでは顕著である。本研究では、脈拍センサを用いて身体への圧迫による血流変化をセンシングすることで、簡易なコマンドを実行するウェアラブルデバイスとのインタラクション手法を提案する。提案手法は、脈拍計測、ピーク検出、ピーク間の時間間隔計算、コマンド送信の4つの処理から構成される。まず、脈拍センサを用いて、データを取得する。次にそのデータから脈波のピークを検出し、そのピーク間の時間差を計算することで身体を圧迫した時間を計算する。圧迫した時間に応じた2種類のコマンドを組み合わせることで、簡易的なメッセージを送信できるようにした。5名の被験者に、1秒腕を圧迫する動作を連続して10回と、3秒以上腕を圧迫する動作を連続して10回をそれぞれ評価実験として行った結果、認識精度は1秒圧迫を10回行った時は平均100%、3秒以上圧迫を10回行った時は平均76%となった。

1. はじめに

スマートウォッチや活動量計などさまざまなウェアラブルデバイスが開発され、広く一般に普及しつつある。ウェアラブルデバイスは身体に装着するためハンズフリーであり、他の作業に影響を与えずに装着者のデータを取得したり、作業と平行して情報の閲覧などに利用できる。労働者管理や生産性向上につながると考えられており、工場などのビジネスの現場でも活用されている。具体的には、ウェアラブルデバイスで従業員の生体情報を計測することで体調や健康の問題を検知し、重大な事故やミスの発生を事前に防ぐように活用している。倉敷紡績株式会社が開発したSmartfit for work[1]という製品は、下着に搭載されたデバイスで、心拍などを計測し、それら個人の生体情報を解析と自動学習することによって、普段の体調の平常範囲から、当日の体調を3段階で把握することができる。

ウェアラブルデバイスが取得できる生体情報は、加速度、角速度、地磁気、位置などのデバイスの運動に関する情報や、脈波や心拍、体温など装着者の生理的な情報であり、それらは個人や状況によって異なる値となるため、状態推定や本人認証に利用されている。富士通株式会社の製品で

ある、バイタルセンシングバンド[2]は、リストバンド型の健康管理IoTサービスで、脈拍、加速度、ジャイロ、温湿度等を計測することができ、使用者の転倒・転落の検知などができる。

ウェアラブルデバイスには情報提示装置と入力装置を兼ねたタッチディスプレイを搭載している機種があるが、身体に装着する特性上そのサイズは1.5インチ程度と小さい。そのため、スマートフォンと同様のQWERTキーボードやフリック入力による文字入力、タッチによる選択操作ではタッチする領域が小さく、操作ミスが発生しユーザビリティが低下する。また、自分自身の指がブラインドとなりタッチする領域が見えずに操作が困難となるFat finger問題[13]も小型のディスプレイでは影響が大きい。

ウェアラブルデバイス、特にスマートウォッチ向けのインタラクション手法はこれまでに複数提案されている。たとえば、スマートウォッチの周囲に笛のような空洞が空いた枠を取り付けて、息を吹きかけることで吹きかけた方向などを推定する手法[3]や、内蔵のマイクを用いて指パッチンなどの手の動きを認識する手法[4]が提案されている。しかしながら、これらの手法は音や振動を発生させるため、周囲に迷惑がかかる可能性があり、また環境音によって精度が低下するという問題がある。また、腹囲を用いた秘匿入力手法の研究[5]は音や振動は発生しないが、腹囲を取得

¹ 立命館大学大学院情報理工学研究科

² 国立研究開発法人科学技術振興機構さきがけ

するデバイスを追加で身体に装着する必要がある。スマートウォッチやユーザに追加で専用のハードウェアを取り付けるアプローチの場合、製品にそれらのハードウェアが組み込まれたり、追加のハードウェアを装着することが一般的になる社会が来るまで待つ必要がある。

本研究では、スマートウォッチにすでに搭載されている脈波センサを用いて、身体部位の圧迫による血流変化をセンシングすることで、スマートウォッチに対して簡易なコマンドを入力するウェアラブルデバイスインタラクション手法を提案する。本研究の優位性として、音や振動など周囲に影響を与える、また、周囲から影響を与えられる媒体を必要としない点が挙げられる。これにより、混雑したバスや電車などの公共機関、会議中など音を発生させることが困難な状況でも周囲に迷惑をかけることなく、周囲の騒音が大きい状況でも影響を受けず、また周囲の人間に操作内容あるいは捜査していること自体に気づかれることなく、文字入力や選択などの操作を行うことができる。さらに、多くのデバイスに搭載されている脈波センサを用いるため、追加のデバイスを必要としない点も提案手法の利点として挙げられる。市販のスマートウォッチにアプリをインストールするだけで提案手法を利用できる。手で上腕などの身体部位を圧迫することで手首に装着したウェアラブルデバイスとのインタラクションを行うが、圧迫は数秒間軽く握る程度でよい痛みは無く、身体的負担は極めて小さい。

以降、2節では関連研究を紹介する。3節では提案手法を説明し、4節では提案手法の評価実験を行い、最後に5節で本研究をまとめる。

2. 関連研究

本節では、ウェアラブルデバイスやスマートフォンなどの小型デバイスとのインタラクション手法に関する研究と、脈波を用いた研究を紹介する。

2.1 小型デバイスとのインタラクションの手法

ウェアラブルデバイスやスマートフォンなどの小型デバイスへのインタラクションの手法の関連研究として、Hanら[4]は、スマートウォッチのマイクで指パッチンや物体を叩いたときに音の方向を取得して、手の位置を認識する手法を提案した。これを用いることで、スマートウォッチの特定のアプリや操作を画面をタッチすることなく実現できる。しかし、指パッチンなどの音を用いた入力手法は、公共の施設などでは周囲に迷惑をかけたり、環境音の影響を受ける可能性がある。また、何かを操作していることが周囲に明らかになるため、秘匿性の問題もある。

Sumitomoら[5]は、対話中や会議中などの状況でウェアラブルデバイスを操作することは、周囲に迷惑をかけたり、会議に集中していないような悪い印象を与えてしまう

ため、ユーザの腹囲の動きを入力として使用することで秘匿性を高めた入力手法を提案している。腹部に取り付けたデバイスによって腹囲の長さや変化速度を取得して、PCやモバイルデバイス、ウェアラブルデバイスとインタラクションを行う。しかし、この入力手法は、操作したいデバイスの他に腹囲を取得するためのデバイスが必要である。また、入力手法として腹囲を用いることは、呼吸を乱すなどの影響があるため、本研究で提案する身体を圧迫する手法より、身体的負担が大きいと考える。

Reyesら[3]は、スマートウォッチの周囲に長さの異なる複数の空洞が空いた枠を取り付けることで、息を吹きかける動作によって発生する音から、息を吹きかけた場所を推定してデバイスを操作する手法を提案した。船越ら[6]は、外部に接触電極、内部に非接触電極を組み込んだ指輪型デバイスを用いて身体に交流電流を印加し、その位相を測定することでユーザの指の曲がり方を認識したり、画面などをタッチした際の手を識別する手法を提案した。

加藤ら[7]は、スマートフォンの側面に測距センサレイを装着することで、スマートフォンの周辺での手のジェスチャによって端末を操作する手法を提案した。主にゲームなどのエンターテインメントに活用できると考えており、タッチ操作では実現困難な「つかむ」や「投げる」などの直観的な操作で遊ぶことができる。この手法は机上にスマートフォンを置くことを想定しており、複数人でスマートフォンを操作することができる。

Yeoら[8]は、手首装着型のウェアラブルデバイスにカメラを組み込むことで、指を使ったポーズや手のジェスチャを認識する手法を提案している。手全体の撮影を必要とせず、手の甲の形状、腱、皮膚、骨などの動きから、ジェスチャを認識できる。そのため、指を出した本数で特定のアプリを起動させたり、電話をかける際に指の本数で番号を入力することができる。

Sakaら[9]は、スマートウォッチのバンドの部分に専用タッチ基盤を取り付けることで、スマートウォッチ特有の文字入力の際の Fat Finger 問題を解決する手法を提案している。文字入力方式として、取り付けしたタッチセンサでスライドやタップなどの操作を検出し、それらの操作と8つの画面周辺に配置したキーを組み合わせることで、ひらがなを入力することができる。独自の slit という手法を開発した。既存の手法では、この画面周辺に配置したキーをタップや長押しで入力していたが、Sakaらはスライドインを用いた入力に変えることで、タップのように正確にキーを入力する必要がなくなり、画面に表示されるキーボードの画面の占有率を26.4%まで減らすことに成功している。

このように、音声入力以外による小型デバイスとのインタラクション手法はさまざま提案されているが、いずれもウェアラブルデバイスのほかに、専用のハードウェアを取り付ける必要があるため、導入の敷居は高く、また重さ、

大きさが増え、タッチ操作以外面でユーザビリティが低下する可能性が考えられる。

2.2 脈波を用いた研究

ウェアラブルデバイスで脈波を利用する研究として、端ら [10] は、ウェアラブルデバイスなどで脈波などを測定する際に、センサの位置がずれることで計測が正しく行われないことを防ぐため、センサの位置ずれ推定する研究を行った。血圧脈波の特徴量として、振幅や周期などに関連するものを 15 個設定し、血管直上を基準にセンサを 0.5mm 間隔でずらすことで、血圧脈波を計測し、位置ずれ量との相関関係を調べる実験を行った。

堤野ら [11] は、自動車運転時に加減速や車線変更のタイミングで心拍数が上昇することで緊張状態になり、事故の要因になることから、心拍数が上昇した際にファンで風を当てることで、体を冷やして脈拍数を下げる安全運転支援システムを提案している。脈拍が上昇したときに音やメッセージで警告を行うと、運転中のユーザが混乱する可能性があるため、この研究では身体に風を当てることでユーザの脈拍数を下げている。

Takahashi ら [12] は、圧力センサと光学センサを用いて指先の血管から脈波波形を取得し、睡眠状態を判定する睡眠状態監視システムを提案している。圧力センサでは血管を介して、動脈圧の電圧値を測定し、光学センサは皮膚を介して、血管を伝播する脈波の圧力の変化を光学信号を用いて検出することで、電圧値を測定する。一定の間隔で圧力センサの電圧値が閾値より低く、光学センサの電圧値も閾値より低い時、人体が覚醒していないと判断し、圧力センサの電圧値が閾値より高く、光学センサの電圧値が閾値より低い時、人体が覚醒していないと判断する。

このように、脈波を計測する手法や計測した脈波の情報をを用いたシステムはこれまでに提案されているが、脈波を制御することに着目した研究は筆者らの知る限り存在しない。

また、代表的な血圧計測の方法として、オシロメトリック法とコロトコフ法がある。上腕にカフ（腕帯）を巻き、空気を送り込んで血管を圧迫し、血液の流れを止め、その後徐々に圧迫を緩めると血液の圧力が血管を圧迫しているカフの圧力を上回り、血液が心臓の拍動に合わせて断続的に流れ始める。オシロメトリック法はカフを加圧した後に減圧する段階で心臓の拍動に同調した血管壁の振動を反映したカフ圧の変動（圧脈波）を計測することで血圧値を決定する。一般的には、圧脈波が急激に大きくなったときのカフ圧を最高血圧、急激に小さくなったときのカフ圧を最低血圧としている。一方、コロトコフ法はカフを加圧した後に減圧する段階で血液が心臓の拍動に合わせて断続的に流れ始めたときに発生する血管音をコロトコフ音（K 音）と呼び、血管音を聴診器やカフに内蔵したマイクロホンで

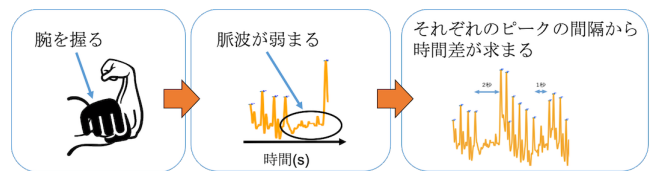


図 1 提案する脈波制御によるウェアラブルデバイスインタラクション手法の概要

検出する。K 音発生開始時のカフ圧を最高血圧、K 音が消えたときのカフ圧を最低血圧としている。現在、電子血圧計はオシロメトリック法のものが主流である。血圧計測時は脈波と止める制御を行っているが、本研究のように動的かつ断続的に脈波を制御するものではない。

3. 提案手法

本節では身体を手などで圧迫して脈波を制御することでウェアラブルデバイスとインタラクションする提案手法について述べる。

3.1 概要

提案手法はウェアラブルデバイスに対するインタラクション手法である。具体的には、図 1 に示すように、ウェアラブルデバイスの装着者が自身の身体を手などで圧迫することによって一時的に脈波を止める制御を行う。一方で、手首などに装着している脈波センサが搭載されたウェアラブルデバイスは脈波を常時計測しているため、脈波が消えた区間を検出できる。脈波を止める時間間隔や回数の組合せによって任意の操作（コマンド）をウェアラブルデバイスに伝えることでウェアラブルデバイスを操作する。

装着者が脈波を制御する過程には計算機は介入しないため、提案手法は脈拍計測、ピーク検出、圧迫状態検出、コマンド発火の 4 つの処理から構成される。身体を圧迫していない状態を通常状態、身体を圧迫している状態を圧迫状態と定義する。通常状態では脈波に一定間隔のピークが出現するが、圧迫状態ではピークが消失するため、ピークが一定時間（通常状態の脈波のピーク間隔）以上出現しない区間を圧迫状態として検出し脈波消失時間を計算する。そして、決められたルールに従って脈波消失時間の組合せからコマンドを発火させる。

3.2 脈波制御

提案手法で想定する脈波の制御手段について述べる。提案手法は人間によるウェアラブルデバイスに対するインタラクション手法であるため、脈波を制御する方法としては右手で左上腕を握るような、肉体に対して外部から直接的に力を加える手段しかないと考えている。また、脈波を消す以外の制御も考えられるが、本研究ではもっとも容易な制御である脈波を消す方法を採用する。

3.3 脈拍計測

本研究では、光電脈波方式脈波センサを搭載したウェアラブルデバイスをユーザの手首に装着していると想定する。光電脈波方式とは、LEDで550nm付近の緑色波長の光を皮膚表面に照射し、体組織によって反射した照射光を皮膚表面のフォトダイオードで受光する方式である。動脈内のヘモグロビンは近赤外光周辺の周波数の光を吸収する性質があるため、脈波到達の瞬間は血液量が増大するため反射光が減少することを利用して脈拍を計測する。脈波センサによって取得される時刻 t における脈波計測値を $x(t)$ とする。

3.4 ピーク検出

LEDやフォトダイオードとユーザの皮膚の接触状況が変化すると計測値にノイズが含まれてしまう。誤った脈波のピークを心拍として検出することを防ぐため、取得した脈波計測値 $x(t)$ に対して次式に従い移動平均フィルタを適用して脈波の波形を滑らかにする。サンプリング周波数は、約746.2Hzとし、移動平均フィルタの長さは50サンプルである。移動平均フィルタ適用後の脈波計測値を $x'(t)$ とする。

$$x'(t) = \frac{1}{50} \sum_{i=t-50}^t x(i) \quad (1)$$

その後、 $x'(t)$ に対してピーク検出を行う。ピークの検出にはPythonのSciPy[14]のパッケージのfind_peaksを使用する。find_peaksではdistanceというパラメータを設定することで、distanceで設定した連続するサンプル数の区間には高々1個のピークしか検出しないようにできる。本研究ではdistanceの値は100とした。検出の条件については、distanceを100としているため、それぞれ連続する100個の要素から単調に増加し続ける脈波の波形が、減少を始めた時に、その点を極大値として、先端を脈波のピークとする。脈波の波形の極大値の凸部が連続して同じ値で平坦となっている場合は、 $x(s)$ が減少を始めるまで $x(s)$ の最大値をキャッシュし続け、減少を始めた時の点をピークとして認識する。

圧迫状態では血流がせき止められるため、脈波が消失し、 $p'(t)$ に大きなピークが出現しなくなる。消失していない脈波のピークのみを検出するために、ピークの高さに閾値を設定して、閾値以下のピークを削除する。閾値は、通常時や圧迫状態など全ての $p'(t)$ を平均した値とし、この閾値を下回るピーク値は削除する。これにより、通常時はピークが1秒以内に必ず出現するが、圧迫状態ではピークが出なくなり、圧迫状態と通常時を判別することができるようになる。

このようにして検出されたピークのうち時間が若い方から k 番目のピークを p_k ($k = 1, \dots$)、ピークの発生時刻を

t_k とする。

3.5 圧迫状態検出

提案手法はユーザが自身の身体部位を圧迫して脈波が消失する時間の長さの組合せによってウェアラブルデバイスとインタラクションを行うため、ピークの出現間隔から圧迫状態の区間と通常状態の区間を判別し、圧迫状態の区間を脈波消失時間として計測する。

検出されたピークのうち、 k 番目と $k-1$ 番目の2つの連続するピークの時刻 t_k と t_{k-1} からピークの時間差 $d_k = t_k - t_{k-1}$ を計算し、 d_k が閾値 d_{th} 以上の長さである場合は圧迫状態と判定し、閾値 d_{th} 未満の場合は通常状態と判定する。 d_{th} の設定方法について説明する。人間の安静時心拍数は年齢とともに減少するが、正常時は60~70bpm以上であるため、通常状態の脈波のピーク間隔は0.85~1秒となる。一方で圧迫状態では脈波のピークが消失するため、少なくともひとつの脈波が消失すればピーク間隔は1秒以上となる。提案手法では、 $d_{th} = 1$ 秒とし、脈波のピーク間隔が1秒以上の区間を圧迫状態として検出する。正常時よりも心拍数が低い場合はほとんどないが、運動などによって心拍数が高い場合は一般的に起こりえて、通常状態のピーク間隔はさらに短くなる。例えば心拍数が120bpmのとき、通常状態の連続する2つのピークの間隔は0.5秒となるが、ユーザが身体を圧迫する時間が1秒であれば、ふたつのピークを消失してピーク間隔が1秒以上となり、正常に動作する。ただし、脈波のピークが圧迫する部位を通過するタイミングによっては圧迫する時間が1秒未満でも脈波が消えて圧迫状態と判定される場合もありうるが、圧迫する時間が短くなる分には大きな問題ではないと考える。また、心拍数が120bpmかつ圧迫する時間がちょうど1秒であれば脈波消失間隔が1秒となり圧迫状態と判定されない場合もありうる。ユーザビリティが低下するが、ユーザには1秒よりもやや長い時間圧迫してもらうことで対応できると考えている。

3.6 コマンド送信

提案手法では検出された圧迫状態の長さに応じて異なる符号を割り当て、一定時間内に入力される符号の組合せによってウェアラブルデバイスにコマンドを送信する。本研究では圧迫状態の長さとしてShort（以下、S）とLong（以下、L）の2種類を定義する。圧迫状態の継続時間が3秒未満である場合はS、3秒以上である場合はLと判定する。ユーザはSとLのどちらかを3回行う組合せで、事前に決められた8種類のコマンドを送信する。

圧迫状態の長さの定義について、本稿では2種類としたが理論上3種類以上でも可能であり、その場合短い入力でも複数のコマンドを送信できるが、圧迫状態の長さを細かに区別して入力する必要があるため、誤入力の割合が増える

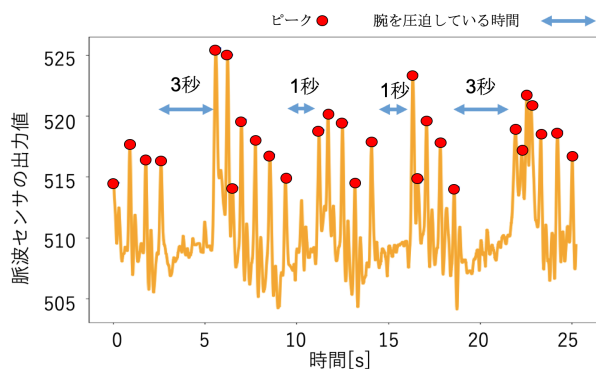


図 2 最初に腕を 3 秒握ってから、1 秒、1 秒、3 秒、圧迫したときの脈波データ

と考える。

4. 評価実験

本節では、提案手法による圧迫状態の検出精度を評価するための実験を行った。

4.1 実験環境

被験者 5 名 (A~E, 全員男性, 平均年齢 22.4 歳) の右手人差し指の指先に pulse sensor.com 製の脈波センサを装着して, Arduino UNO を経由してノートパソコンで脈波を計測した。脈波の計測, 脈波のピーク検出, ピークの時間差計算, 圧迫に関しては, 被験者が自身の左手で右上腕二頭筋と上腕三頭筋の間を押さえた。サンプリング周波数は約 746.2Hz とした。

各被験者は左手で右上腕を 1 秒間以上圧迫する S の動作を 10 回繰り返して行なってもらい, 1 回 S の動作を行うごとに約 4 秒時間を空けて, S の動作を行なってもらうように被験者に指示をした。次に同様に, 右上腕を 3 秒間以上圧迫する L の動作も, 10 回繰り返して行なってもらった。この時も, 1 回 L の動作を行うごとに約 4 秒時間を空けるように被験者に指示をした。

4.2 結果

5 名の被験者から取得した 1 秒以上 3 秒未満の圧迫を 10 回行ったデータおよび 3 秒以上の圧迫を 10 回行ったデータに対する圧迫状態の検出結果を表 1 および表 2 にそれぞれ示す。行は被験者, 列は試行を示しており, 表中の S, L は圧迫状態の検出結果を示す。なお, いずれの試行も圧迫状態として判定されたため, 検出漏れは無かった。表 1 より, 圧迫状態 S の検出精度は 100% であった。表 2 より, 圧迫状態 L の検出精度は, 平均 78% であった。

これらの結果より, 3 秒以上腕を握るときの圧迫状態を S と誤認識する場合が多くみられた。この原因として, 本実験で 10 回連続で腕を押さえたときに, 押さえるのをやめてから再び押さえるまでの間隔が短すぎる点が考えられ

表 1 1 秒以上 3 秒未満腕を圧迫したときの圧迫状態認識結果

被験者	試行										精度
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	100%
B	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	100%
C	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	100%
D	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	100%
E	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	100%

表 2 3 秒以上腕を圧迫したときの圧迫状態認識結果

被験者	試行										精度
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	100%
B	L	S	L	L	L	S	L	L	L	S	70%
C	L	L	L	L	L	S	L	L	L	L	90%
D	L	L	S	L	S	S	L	S	S	S	40%
E	L	L	L	L	L	L	S	L	L	L	90%

る。この点について, 次節で考察する。

4.3 考察

4.3.1 圧迫状態から通常状態に戻ったときに起こる脈波計測値の増大

圧迫状態から腕を離して平常状態になったときの脈波計測値 $x'(t)$ の波形を図 3 に示す。図から, 圧迫状態から腕を離れたときに, 直後に現れるピークの高さが圧迫状態前の通常状態のピークの高さと比較して増大していることがわかる。増大したピークはその後減衰して通常状態のピークの高さに戻る。このように, ユーザが身体の圧迫を開放し, 圧迫状態から通常状態に戻ったとき, 脈波計測値が増大する特徴があることが分かった。これは, 腕の圧迫によって溜まっていた血液が, 圧迫を開放して急激に流れ出すことで, 通常状態よりも多くの血流が流れたためであると考えられる。

圧迫状態の直後に脈波計測値が増大する状態のことを本研究では増加状態と呼ぶ。増加状態において再び腕を圧迫すると, 正しく圧迫状態と認識されないことが分かった。これは, 増加状態において腕を圧迫すると増加した血流を止めることができず, 脈波計測値に閾値を上回るピークが出現してしまい平常状態として判定されたと推察する。

増加状態においても正しく圧迫状態を検出するには, 増加状態に合わせて動的に変化するピークを検出の閾値を採用することが考えられる。増大した脈波計測値に合わせて, 脈波のピークが通常状態と同程度の高さに戻るまでの間は閾値を大きく設定することで, 圧迫状態を認識できると考えている。このアルゴリズムによって, 圧迫状態から次の圧迫状態までの間隔を短くすることができ, 連続してコマンドを入力できるようになり, コマンド送信速度が向上し, 提案手法はより実用的になると考えている。

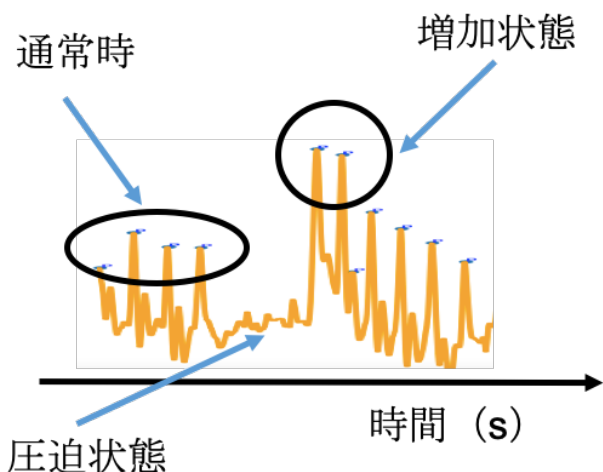


図 3 圧迫状態から腕を開放したときに増大する脈波計測値の例

4.3.2 圧迫状態後に起こる圧迫状態の誤認識

増加状態の時に、通常時でも圧迫状態と誤認識されることがあった。これは、増加状態の時の血流が急激に増加、減少することで脈波の波形が、通常時のように一定の波形を繰り返さず、凹凸の激しい波形となってしまうためである。具体的には、増加状態から通常時に戻る直前に、脈波計測値が大きく減少する現象が見られた。これは、増加状態から落ち着くときに、増大の反動で小さくなりすぎることがあり、それによってピークが検出されずに圧迫状態と認識されてしまうと考えている。そのため、今回は増加状態から通常時に戻るまでの約4秒間は、圧迫状態の判定を行わないようにフィルタリングを行うことで、誤認識が出ないようにした。

4.3.3 握力の低下による不十分な圧迫

表2の被験者B, Dの結果より、連続した10回の試行において前半よりも後半の認識精度が低いことが分かった。これは、ユーザの握力の低下が要因である可能性がある。連続して腕を圧迫する際に、握力が徐々に低下して圧迫が弱くなることで血流を止めることができず脈波計測値のピークが閾値を超えてしまい、「1秒握る(S)」と誤認識されたと考えられる。

1秒以上3秒未満握る場合の認識精度はいずれの被験者でも100%であり、3秒以上握る場合において被験者B, Dは3秒間握り続けることが困難となり力が弱くなったため誤認識が増えていると考えられる。被験者A, C, Eについては、3秒以上握る場合でも誤認識は増えていないが、被験者B, Dと比較して筋肉質であり、握力が弱くならなかった可能性がある。

握力の低下による不十分な圧迫の解決策として、インタラクションデザインの工夫が挙げられる。本稿では圧迫状態をSとLの2種類として、それらの組合せでコマンドを送信することを想定した。このようなデザイン以外にも、圧迫状態は1種類のみとして、圧迫する回数でインタラク

ションする方法が考えられる。これにより1回あたりの圧迫する時間を短くできる。本研究においてSとLの境界を3秒とした理由は、確実に2種類の圧迫状態を区別して入力できるようにするためである。圧迫する時間は考慮せずに、1秒以上圧迫する回数でコマンド入力すると、長時間の圧迫による握力の低下を防ぐことができ、コマンド入力における誤認識を減らすことができると考えている。

このほか、圧迫の回数でコマンド入力する方法として、圧迫状態後の増加状態において脈波計測値が増大する特徴を用いれば、必ずしも1秒以上握る必要はないと考えている。具体的には、1秒未満の圧迫でも、必ず一度大きく脈波計測値は下がって、その後に急増加するため、脈波計測値が一定時間内に急増加した回数を調べることで、連続して圧迫した回数を計測できると考えている。このほか、時間と回数の2次元でコマンド入力することで、多様な入力を実現できると考えている。

ユーザに対して音や振動、ディスプレイによるフィードバックが可能であるならば、握る長さに応じた情報をリアルタイムでフィードバックすることで1回握るだけで多種のコマンドを入力できる。

5. おわりに

本研究では、脈波センサを用いて身体の圧迫による血流変化をセンシングすることで、簡易なコマンドを実行するウェアラブルデバイスとのインタラクション手法を提案した。提案手法は、脈拍計測、ピーク検出、圧迫状態検出、コマンド発火の4つの処理から構成される。手首や指先に装着したウェアラブルデバイスで脈波を計測し、取得したデータからピークを検出する。検出されたピークの時間差を計算することで身体を圧迫した時間を取得し、圧迫した時間の組合せで簡易的なメッセージを送信できるようにした。5名の被験者から、1秒以上3秒未満腕を圧迫する動作を連続して10回、3秒以上腕を圧迫する動作を連続して10回行ったときの脈波計測値を採取する評価実験を行った。結果より、認識精度は1秒以上3秒未満圧迫を行ったときは精度100%、3秒以上圧迫したときは平均精度76%であった。圧迫状態を検出できなかった事例はなく、また圧迫していないときに圧迫状態を誤検出する事例もなかった。また、腕を圧迫してから離れた直後は、溜まった血流が急激に流れ出すため、脈波計測値が急激に増大することが分かった。この増加した状態から通常時に戻るまでには、約4秒かかることが分かった。今後は、脈波計測値の急激な増大に合わせて、ピーク検出の閾値を動的に変化させるアルゴリズムを実装して、圧迫状態の検出精度を改善する。デバイスへのインタラクションの応用として、簡易的なメッセージの送信だけでなく、再生中の音楽の一時停止や次の曲への移行、本をページめくる、などの操作も行えるように検討する。

謝辞 本研究は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業さきがけ(JPMJPR1937)の支援を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 倉敷紡績株式会社 Smartfit for work, <https://www.smartfit.jp>.
- [2] 富士通株式会社 バイタルセンシングバンド, <https://www.fujitsu.com/jp/solutions/industry/manufacturing/monozukuri-total-support/solutions/svuw-aa/spec/fuwv.html>.
- [3] G. Reyes, D. Zhang, S. Ghosh, P. Shah, J. Wu, A. Parnami, B. Bercik, T. Starner, G.D. Abowd, W.K. Edwards, “Whoosh: non-voice acoustics for low-cost, hands-free, and rapid input on smartwatches,” In Proc. of the 20th International Symposium on Wearable Computers (ISWC2016), pp. 120–127, 2016.
- [4] T. Han, K. Hasan, K. Nakamura, R. Gomez, P. Irani, “SoundCraft: Enabling Spatial Interactions on Smartwatches using Hand Generated Acoustics,” In Proc. of the 30th ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2017), pp. 579–591, 2017.
- [5] H. Sumitomo, T. Katayama, T. Terada, M. Tsukamoto, “Implementation and Evaluation on a Concealed Interface using Abdominal Circumference,” In Proc. of the 5th Augmented Human International Conference (AH2014), pp. 1–8, 2014.
- [6] 舩越南斗, 池川航史, 志築文太郎, 高橋 伸, “位相に基づく指輪型入力デバイスの検討,” 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, Vol. 2019-HCI-182, No. 34, pp. 1–6, 2019.
- [7] 加藤花歩, 松村耕平, 杉浦裕太, “スマートフォンの周辺におけるジェスチャ入力手法,” エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2019 論文集, pp. 87–92, 2019.
- [8] H.S. Yeo, E. Wu, J. Lee, A. Quigley, H. Koike, “Opis-thenar: Hand Poses and Finger Tapping Recognition by Observing Back of Hand Using Embedded Wrist Camera,” In Proc. of the 32nd ACM Symposium on User Interface Software and Technology (USIT2019), pp. 963–971, 2019.
- [9] T. Tanaka, K. Saka, K. Akita, Y. Sagawa, “Micro Touch Board Specially Designed for SliT that Is the Japanese Character Input Method for Smartwatches,” In Proc. of 21th International Conference on HCI International (HCII2019), pp. 49–61, 2019.
- [10] 端 智士, 土肥徹次, 堀 正峻, “血圧脈波の特徴量を用いたウェアラブルデバイスの位置ずれ量推定,” 生体医工学, p. S35-2, 2019.
- [11] 堤野理貴, 伊藤淳子, 宗森 純, “脈拍データに基づくファンの風を用いた安全運転支援システムの開発,” 情報処理学会関西支部支部大会 2019 講演論文集, 2019.
- [12] S. Takahashi, S. Chiba, A. Yagi, “Sleep State Monitoring System based on Pulse Wave Measurement,” U.S. Patent Application No. 15/508, 304, 2017.
- [13] K.A. Siek, Y. Rogers, K.H. Connelly, “Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs” In Proc. of the Tenth International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT’05), pp. 267–280, 2005.
- [14] SciPy.org, <https://www.scipy.org/>.