

# 超音波センサーを用いた4点杖の使用者の コンテキスト推定法の提案

高橋 雄太<sup>1</sup> 滝沢 陽三<sup>2</sup> 蓬萊 尚幸<sup>2</sup>

**概要:** 少子高齢化が進む日本社会では、高齢者に焦点を当てたマーケティングが活発に行われている。近年、研究が行われているコンテキスト・ウェア・サービスも高齢者に提供しなければならない。現時点でコンテキスト・ウェア・サービスを受けるためには、スマートフォンのようなデバイスを所持している必要があるが、高齢者の所有率はまだ高くない。高齢者がスマートフォンと同等に日々使用・持ち運びする道具に福祉器具がある。本研究では、福祉器具として広く普及している4点杖に注目し、底面に距離の測定が行える超音波センサーを取り付け、センサーの値から杖の状態を検知し、利用者の状態を推定する方法を考案・評価した。その結果、「歩く」、「階段を上る」、「階段を下りる」、「止まっている」、「杖が倒れている」の5つの状態を超音波センサーのみで推定できることを示した。「歩く」、「階段を下りる」を約9割、「階段を上る」を約8割の正答率で推定することができた。

**キーワード:** 4点杖, 超音波センサー, コンテキスト推定, 差分値

## Context Estimation for Quad Cane User by using Ultrasonic Sensor

TAKAHASHI YUTA<sup>1</sup> TAKIZAWA YOZO<sup>2</sup> HORAI HISAYUKI<sup>2</sup>

**Abstract:** The marketing with a focus on the elderly have been active in the Japanese society with aging population and lower birthrate. We must supply context-aware services that have been studied these days for the elderly. At the moment, we need to have devices like a smart phone to receive those services. However, the ownership ratio of the elderly is not still high. There are welfare equipment that tool are carried and used in day-to-day by the elderly equivalently smart phones. In this study, I paid attention to quad canes which are prevalent as welfare equipment, attached an ultrasonic sensor which is able to measure the distance on the bottom of a quad cane, detected context of the quad cane from the value of the sensor, evaluated and contrived the method of estimating the user context. As a result, we showed estimating five states by using only the ultrasonic sensor: "walking", "going up the stairs", "going down the stairs", "stopping" and "the cane is lying". We estimated "walking" and "going down the stairs" with correct answer rate about 90%, "going up the stairs" with correct answer rate about 80%.

**Keywords:** quad cane, ultrasonic sensor, context estimation, differential value

### 1. はじめに

日本の少子高齢化社会が進むにつれ、高齢者へ向けた

ビジネスが発達している [1]. 例えば、海外旅行ツアー [2], ファッション [3][4], 医療など様々である。今の日本のマーケティングの対象として、高齢者は欠かすことのできない存在となっている。

ユビキタス社会の実現の一つにコンテキスト・ウェア・サービス [5] というものがある。インターネットに接続しているデバイスのセンサーから人間の行動を分析・予想し、サービスを提供するというものである。このサービスの実

<sup>1</sup> 佐賀大学理工学部知能情報システム学科  
Department of Intelligent Information System, Saga University

<sup>2</sup> 茨城工業高等専門学校電子情報工学科  
Department of Electronic and Computer Engineering,  
Ibaraki National College of Technology

現に向けて、加速度センサー、気圧センサーなどを使用したコンテキスト推定の研究などが行われている [8][9].

高齢者へコンテキストウェアサービスを提供するためにはいくつかの課題がある。屋外では、スマートフォンのようなインターネットに接続できる電子デバイスを所持している必要がある。最近では、スマートシニアと呼ばれる IT 社会に適応した能力を持つ高齢者が増えつつある [6] が、まだスマートフォンの所持率は、23.2% [7] と高くなく、多くの高齢者にサービスを提供できる環境は整っていない。全ての高齢者にサービスを提供することは現時点での日本社会では困難である。

高齢者が常に持ち運ぶものの一つに福祉器具がある。杖や車椅子は人によっては欠かすことの出来ないものである。そこで、筆者は杖に着目し、杖にセンサーを取り付け、データの測定・分析が行えれば、使用者の状態が推定できるのではないかと考えた。杖を利用するのは高齢者だけではなく、下肢の身体障害者も利用しており、コンテキスト・ウェア・サービスの対象者を拡張することができる。杖には脚が4本ついている4点杖\*1を使用することにした。4点杖は汎用的な1点杖・T字杖に比べ、4本の脚を繋ぐためのスペースがあるためセンサーやデバイスが取り付けやすく、プロトタイプの製作に適している。また、4点杖の利用者は基本的に屋内で使用することから、利用者が使用する環境を具体的・限定的に想定することができる。

状態推定の要であるセンサーは、杖と地面の距離を測る超音波センサーを使用することにした。このセンサーとマイコンの一つである Arduino を接続し、データの記録・分析を行う。超音波センサーを使用した理由としては、ある一つの動作をしたとき、どのような値を示すのか想像しやすく、推定アルゴリズムの構築・データの分析がしやすいこと、データの分析において扱うデータが距離の値だけなので状態推定のための処理時間が少なくて済むこと、状態推定だけではなく、杖を利用した人物の歩き方の特徴、使用した階段の高さなどデータも得ることが挙げられる。

本研究は超音波センサーで4点杖の使用者のコンテキスト推定を行うことが目的である。

## 2. 4点杖の使用者へのコンテキスト・ウェアサービス

### 2.1 4点杖

図1が今回使用した4点杖である。4点杖(多脚杖, 4脚杖)は、一般的な杖と違い、脚が4本あるのが大きな特徴である。4点杖は安定性が高く [10], 手放しても倒れることはない。体重をかけて使用できることから、下肢が麻痺した、もしくは、下肢が弱い高齢者や身体障害者に使用される。しかし、平らでない地面では逆に安定性が悪く、主に屋内(家、



図1 4点杖

Fig. 1 Quad cane

リハビリステーション, 病院) で使用することが望ましいとされている。リハビリテーションセンターでは、下肢が不自由な患者はまず4点杖を使用し、回復してきたらT字杖に杖を変える [11] という使い方がされている。

### 2.2 超音波センサー

超音波センサー\*2は、対象物との距離を離散的なデータ値として得ることができる。送信部からパルス波を発信し、受信部で壁や物体からの反射波を受信し、受信するまでにかかった時間を測定することで対象物との距離を算出することができ、非接触で対象物との距離を測ることができる。

このセンサーと AVR マイコンボードである Arduino Uno\*3 を接続し、センサーの値を micro SD カードに保存する簡易的なデータロガーを作製した。4点杖の底面にセンサーを取り付け、杖と地面の距離を測定する。Arduinoには、測定したデータを micro SD カードに保存するワイヤレス SD シールド、データ測定の操作・表示を行う液晶モニタシールドが装着してある。最終的には、Arduino 内でプログラムを動かし、センサーの値によって状態の推定を行った。図2が今回使用したセンサーと Arduino である。

### 2.3 コンテキスト推定

コンテキスト推定とは、各種センサーを用いて人が何をしているのかをデータから推定することである。例えば、「歩く」、「立つ」、「座る」のような簡単な動作から、「読書をする」、「料理をする」、「パソコンをする」など細かい動作までで推定可能である [8]。本研究では、「歩く」、「階段を上る」、「階段を下りる」、「止まっている」、「(4点杖

\*1 TH-MLT-D-OT-301 ブティックス社

\*2 HC-SR04 - ELECFreaks 社

\*3 <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>

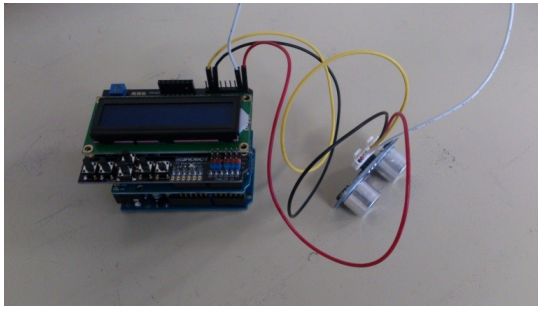


図 2 超音波センサーと Arduino Uno  
Fig. 2 Ultrasonic sensor and Arduino Uno

が) 倒れている」の 5 つの状態を推定する方法を開発することにした。階段での状態推定は、転落の危険を予知・感知するというに繋がり有意義な情報となるため、推定の対象として選んでいる。

## 2.4 提供するコンテキスト・ウェア・サービスの案

本研究のコンテキスト推定法がどのように応用でき、コンテキスト・ウェア・サービスに利用できるのかを述べていく。4 点杖は家や病院などの屋内で使用されることが多いため、屋内での使用を想定としたコンテキストウェアサービスが考えられる。まず、コンテキスト推定によって杖の利用頻度が得られる。利用頻度が少ない場合は 3 つの状態が考えられる。1 つ目は、下肢の症状が悪化、または、上肢に障害が生じたため寝たきりの状態になってしまったこと。2 つ目は、下肢の症状が回復したため 4 点杖が必要なくなった、もしくは 1 点杖に変えたこと。3 つ目は、4 点杖を使うのが恥ずかしい [12] ため、使用を拒んでいること。杖の利用頻度が減った場合は、ケアマネージャーや医師がこれらのことを想定して患者に対応することができる。

コンテキスト推定により階段の利用頻度も得られる。利用頻度が多い住宅に住む利用者に対しては、階段の高さは適切か、手すりはあるか、などの生活環境の確認を優先することができる。階段の移動時間が極端に長い場合では、転倒や健康状態の悪化の可能性があると対応することができる。日頃、階段を利用していれば、階段の段数を把握することができ、その段数に満たないで階段の上り下りから倒れているの推定状態へ推移したならば、転倒した可能性があるということが判別できる。

## 3. 4 点杖の使用者のコンテキスト推定法

### 3.1 予備実験

ある動作を行ったときにセンサーがどのような値を示すのかを調べるために、予備実験を行った。対象の動作は「歩く」、「階段を上る」、「階段を下りる」の三種類である。

図 3 が実験に使用した装置である。超音波センサーが地面を向くように装着してある。電源を入れ、測定開始のボタンを押すと地面とセンサーとの距離を測定する。実験

で得られるデータは、時間、距離のテキストデータであり、それが micro SD に書き込まれる。超音波センサーのサンプリング周波数は動作可能周波数の 40[Hz]<sup>\*4</sup> に設定した。Arduino の電源は 5[V] のモバイルバッテリー<sup>\*5</sup> を使用した。被験者は利き手に杖、空いた手にバッテリーを持つことになる。



図 3 超音波センサーを取り付けた様子  
Fig. 3 Fitted up with an ultrasonic sensor

### 3.1.1 実験方法

5 人の被験者に対して歩きの実験、1 人の被験者に対して階段の上り・下りの実験を行いデータを測定した。実験は以下の流れで行った。

- (1) 被験者に 4 点杖を使用した歩き (階段の上り・下り) の練習を行ってもらい、杖の高さが適切かどうか確認した。適切でない場合は杖の高さを調節し、再度練習を行ってもらった。
- (2) Arduino の電源を ON にし、測定が行えているか液晶モニターで確認を行った。
- (3) 被験者に 5 歩以上歩いてもらい、測定を行った。
- (4) データが取れているか確認を行った。

### 3.1.2 結果と考察

歩く動作を行ったときのデータを図 4 に示す。グラフは縦軸が地面とセンサーとの距離 [mm]、横軸が時間 [sec] を表している。歩く場合では、まず、杖を持ち上げ、進もうとする方向へ動かしながら杖を下すという動作がセンサーの値に表れる。杖を持ち上げる、下すときの速度に大きな差はなく、一步の波形はピーク点を境に対称的となっている。

図 5 は階段を上る動作を行ったときのデータである。階段を上ろうと杖を持ち上げたときに距離が広がり、次の段に差し掛かったときに距離が急に狭まる。そして、杖を下すときは緩やかに距離が小さくなっている。

図 6 は階段を下りる動作を行ったときのデータである。階段を下りようとまず杖を少し持ち上げ、少し距離が広がる。そして、次の下りる段に差し掛かったときに急に距離が大きく離れる。次の段へと杖を下すときは、ある程度の速さを持って距離は縮まっている。

\*4 <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>

\*5 KBC-L2BS SANYO 社

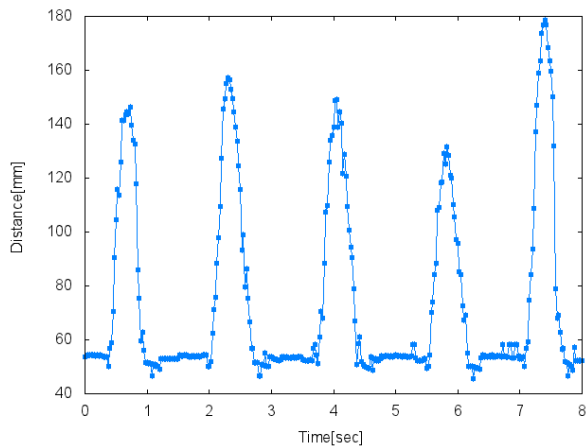


図 4 歩く動作

Fig. 4 Walking motion

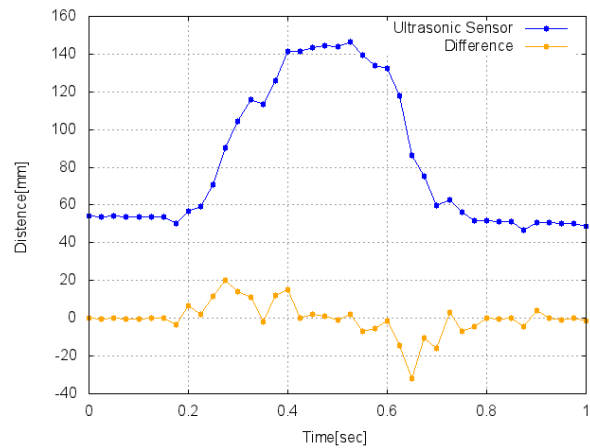


図 7 一歩歩いたときの距離と差分

Fig. 7 Distance and finite difference data with one step walk

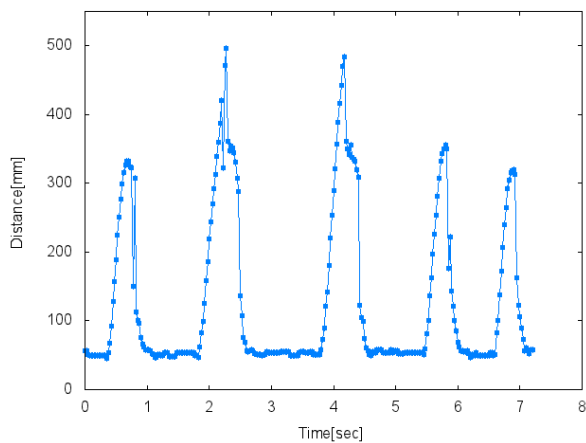


図 5 階段を上る動作

Fig. 5 Motion of going up stairs

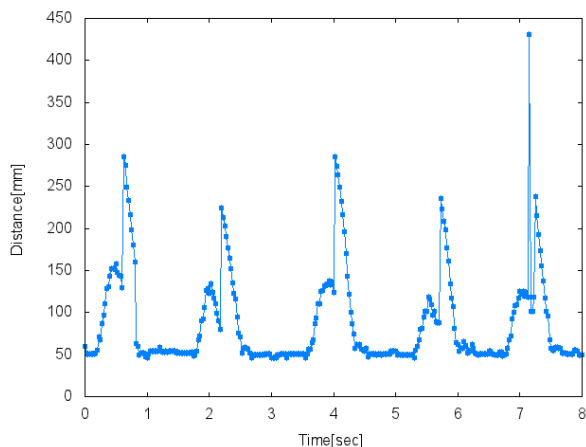


図 6 階段を下りる動作

Fig. 6 Motion of going down stairs

これらの挙動は想定していたものであり、動作に対応するデータに明確な特徴が表れることから、超音波センサーを用いたコンテキスト推定が可能であると考えた。

### 3.2 推定アルゴリズム

予備実験の結果から推定アルゴリズムを考案した。数人の歩く動作のデータには大きな違いは見られなかったため、ユーザー非依存であることを前提としている。データの特徴を検出する方法として、統計的手法、フーリエ変換などが用いられるが、本研究ではデータの差分を取ることでデータの特徴を検出することにした。差分は次の式で求める。

$$\Delta d = d_i - d_{i-1}$$

$d_i$  : 現在のデータ値,  $d_{i-1}$  : ひとつ前のデータ値

差分を取ることで、データ値の増減がわかる。センサー値のブレをカットするため閾値を設け、 $\Delta d > \pm 3[\text{mm}]$  のときは 0 としている。3[mm] は暫定的な値であり、この値を大きくすると、特徴を検出しづらくなるが、推定したときの誤判定は減る。値を小さくすると、センサーの誤差も検出してしまい、推定の精度は落ちるが、特徴を検出し易くなる。

#### (1) 歩く動作

図 7 は一歩歩いたときのセンサーの値と差分値を表している。距離の差分の値は、歩くために杖を持ち上げたときに正、杖を地面に突くときに負の値を示している。データを解析した結果、一歩歩いたときの正の差分値の和  $p$  と負の差分値の和  $m$  の絶対値がほぼ同じであることがわかった。このことから歩くという動作は以下の式を満たしたときに推定することができる。

$$1 - \left| \frac{p}{m} \right| < 0.25$$

ここでの 0.25 は暫定的な値である。実際の  $1 - \left| \frac{p}{m} \right|$  の値は 0.05 程度になるため、もう少し低く設定しても推定結果に大きな支障はない。

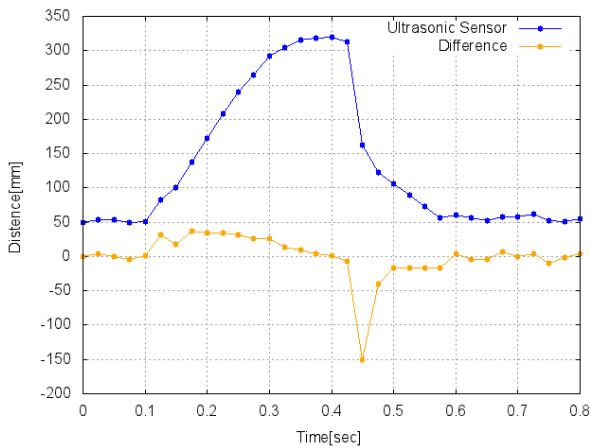


図 8 一段階段を上ったときの距離と差分値

Fig. 8 Distance and finite difference data with one step walk

## (2) 階段を上る動作

一段階段を上ったときのセンサーの値と差分値を図 8 に表わす。差分値は、階段を上ろうと杖を持ち上げたときに正、階段の次の段に差し掛かったとき、約-150[mm]の大きな負の値を示し、その後、杖を地面に突くときに負の値を示し、0に収束している。

図 8 より、負の値の和の絶対値  $m$  より正の値の和の絶対値  $p$  が大きいことがわかる。また、一回の動作において、 $\Delta d$  が  $-100$ [mm] 以下となるデータの個数を  $m_{100}$  と定義する。これは次の階段の上る段に差し掛かったときを検出するフラグとなる。これらより、階段を上るという動作は次の式を満たしたときに推定できる。

$$p > m, \quad m_{100} \geq 1$$

## (3) 階段を下りる動作

一段階段を下りたときのセンサーの値と差分値を図 9 に表わす。差分値は、階段を下りるために杖を持ち上げたときに正の値を示し、階段の次の段に差し掛かったとき、約+160[mm]の大きな正の値を示し、その後、杖を地面に突くときに負の値を示し、0に収束している。

図 9 より、正の値の和の絶対値  $p$  より負の値の和の絶対値  $m$  が大きいことがわかる。また、一回の動作において、 $\Delta d$  が  $+100$ [mm] 以下となるデータの個数を  $p_{100}$  と定義する。これは次の階段の下りる段に差し掛かったときを検出するフラグとなる。これらより、階段を下りるという動作は次の式を満たしたときに推定できる。

$$p < m, \quad p_{100} \geq 1$$

## (4) 止まっている・杖が倒れている状態

止まっている状態のときは差分値が常に 0 の値を示し続けるため、推定方法としては何秒以上  $\Delta d$  が 0 の値を示し続けるかで推定することができる。本研究では 5[sec] 以上差分値が 0 を示し続けるときに止まっていると推定するこ

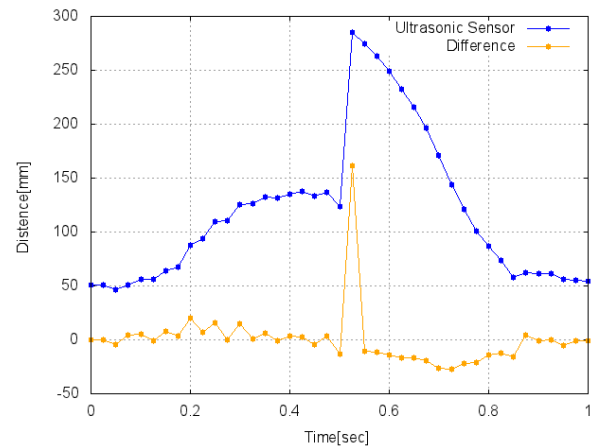


図 9 一段階段を下りたときの距離と差分値

Fig. 9 Distance and finite difference data with one step go down the stairs

とにした。

杖が倒れている状態のときも差分値が 0 の値を示し続ける。止まっている状態と違う点はセンサーの値の大きさである。止まっている状態では、杖が地面に着いている状態のセンサーと地面の距離約 50[mm] の値を示すが、倒れている状態では、センサーのすぐ前に物がある場合を除くと、50[mm] 以上の値を示す。それを考慮して、差分値が 0 を 5[sec] 以上示し続け、かつ、センサーの値が 100[mm] 以上を示すときに倒れていると推定することにした。さらに、センサーからある程度 (1m くらい) 離れた対象物との距離を測る場合、3[mm] 以上のセンサー値のブレが生じやすくなることを考え、センサーの値が 500[mm] 以上を示し続けるときは、差分値が 0 となるようにした。

## (5) 一步の動作を推定する方法

(1)~(3) で、一步の動作の特徴とそれを判別する方法を述べてきたが、一步の動作がどこから始まり、どこで終わるかを検出する必要がある。基本的な方法としては、差分値が 0 なのか、値を持っているかで判別することができる。何らかの動作を行っているときは、センサー値が変動するため、差分値も変動する。これにより、動作の始めを検出することができる。動作が終わったときはほんの少しの間停止するため、差分値が 0 を示し続ける区間がある。本研究では、0.25[sec] 停止したときを動作の終わりとした。この時間を短くすると、リアルタイム性をより追求できるが、反面、誤検出が増える。また、この時間を長くすると、より確実に一回の動作を検出できるが、3[mm] 以上のセンサー値のブレが発生する場合、利用者が早く次の動作に入った場合に推定が出来なくなってしまう。

## 4. 評価

### 4.1 評価実験

前章で考案したことをプログラムに起こし、Arduino Uno

に書き込み、簡易的に実装を行った。そして、推定がどの程度行えるのかを調べるために、評価実験を行った。

評価実験では、被験者1名に対して、歩く(111歩)、階段を上る(105段)、階段を下りる(105段)のデータを測定した。また、他の被験者3名の歩く(10歩)のデータも測定した。なお、今回は歩き方を3点歩行に指定した。3点歩行とは、杖を利用するときに行われる歩き方の一つである。まず、杖を前に出し、杖と反対側の足を前に出す。最後にもう片方の足を前に出す。これの繰り返しで前に進んでいく歩行方法である。最後に、止まっている状態の評価・分析を行うため、4点杖を動かさず10分以上停止させ、そのデータの測定も行った。

データは予備実験同様 micro SD カードに保存される。今回のデータ形式は、時間、距離、距離の差分値、コンテキスト推定結果の4種類となっている。コンテキスト推定結果は、整数で表され、どの状態を推定したのかを数値で対応させている。どの状態がどの値に対応しているのかを表1に示す。

表1 コンテキスト推定結果と対応する値

Table 1 Result of context estimation and corresponding values

コンテキスト推定結果	値
無判定	0
止まっている	1
倒れている	2
階段を上る	3
階段を下りる	4
歩く	5

## 4.2 結果と考察

はじめに、100歩程度、「歩く」、「階段を上る」、「階段を下りる」を行ったときの実験結果を表2に示す。

表2 コンテキスト推定の実験結果

Table 2 Experimental results of context estimation

状態	試行回数	正答数	正答率 [%]
歩く	111	101	91.0
階段を上る	105	99	85.7
階段を下りる	105	99	94.3

結果として、「歩く」、「階段を下りる」の正答率が約9割、「階段を上る」の正答率が約8割となった。どの動作でも推定を失敗するときは、無判定の状態となっており、歩く動作に対して階段を上るを推定するようなことは一切なかった。推定できなかった原因として、センサー値のブレにより、一回の動作が終わったと判断できなかった場合がほとんどである。

3人の被験者に歩く動作を行わせた結果が表3である。

表3 異なる被験者の歩く動作の実験結果

Table 3 Experimental results of the motion of walking different testers

状態	試行回数	正答数	正答率 [%]
被験者 A	10	9	90.0
被験者 B	10	8	80.0
被験者 C	10	9	90.0

どれも8~9割の正答率となった。データ数が少ないが、健常者の歩く動作に関してはユーザー非依存で推定できることがわかる。

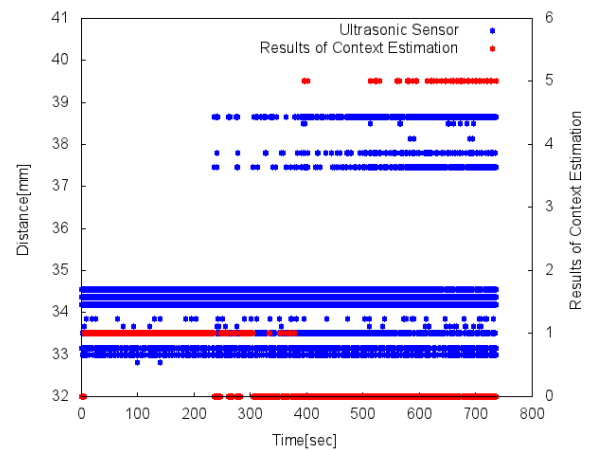


図10 止まっている動作の実験結果

Fig. 10 Experimental results of the motion of stopping

図10は10分程度4点杖を動かさないで測定を行った結果である。200[sec]付近まで「止まっている」の推定状態が保たれているが、それ以降はセンサー値のブレが大きくなり、まともに推定が行えておらず、推定結果が「歩く」となってしまう。今のところ、原因としては、サンプリング周波数が高いということが考えられる。対処方法としては、サンプリング周波数を30[Hz]程度に下げること、数分おきに測定を停止すること、止まるの推定を開始したら差分値の閾値3.0[mm]を上げることが考えられる。他の方法として、振動センサーや加速度センサーを併用すれば、サンプリング周波数を減らさずとも対処できるはずだ。

## 5. まとめと課題

本研究では、4点杖のコンテキスト推定法の考案・実装を行い、超音波センサーのみで5つの状態を推定できることを示した。「歩く」、「階段を下りる」を約9割、「階段を上る」を約8割の正答率で推定することができた。

課題は多く存在する。まずは、ハードウェアの課題で、今回はプロトタイプとしてデータを取れる形にはなっているが、実用的な形とはなっていない。バッテリー、センサーの位置、マイコンの大きさなどの問題について、一つのデバイス内で体積・重さを取らない形でまとめる必要がある。ま

た, 推定データは SD カードに保存していたため, 利便性やデータ収集を考えると無線で送信するよう設計しなければならない. 本研究での被験者は全て健常者であるため, 実際には下肢が不自由な方では同じような推定が行えない可能性もある. アルゴリズムの改善をするためにも, そのような方々のデータも取得していきたい. 特に「歩く」と「止まっている」の推定法の改善は必須となる. 介護, リハビリの立場からこのようなことが行えるデバイスのニーズがあるのかの調査も行いたい.

## 参考文献

- [1] 藤野裕司, 高橋慧, 青木謙治, 戸塚隆行, 米井洋平, 浜田和也. 高齢者向け市場 ~来たるべき「2025年」に向けての取り組みが求められる~. みずほ産業調査 Vol.39, pp. 50-65.
- [2] 黒須宏志. 消費市場のシニア化と旅行マーケティング. 観光文化 218号, pp. 2-8, 2013.
- [3] 『神戸新聞NEXT』播州織×神戸ファッション シャツブランドが誕生, <https://www.kobe-np.co.jp/news/kobe/201403/0006745698.shtml> (2014/03/15 アクセス).
- [4] 『CareStationJapan』 “70歳になったらマダムトモコ”, <http://www.carestationjapan.jp/reading/article/20121107-97r.php> (2014/3/15 アクセス).
- [5] Bill M. Schilit, Norman Adams, Roy Want. Context-Aware Computing Applications. IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 89-101, 1994.
- [6] 総務省「平成 24 年通信利用動向調査」, [http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/130614\\_1.pdf](http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/130614_1.pdf) (2014/3/15 アクセス).
- [7] シニア層のスマートフォンの利用及び、購入意向に関する意識調査-第 3 回- [https://mmdlabo.jp/investigation/detail\\_1231.html](https://mmdlabo.jp/investigation/detail_1231.html) (2013/3/13 アクセス).
- [8] 木村周, 猪俣敦夫, 藤川和利, 砂原秀樹. 加速度センサーによる行動速度に応じたコンテキスト推定. 電子情報通信学会. 信学技報, pp. 181-185, 2011.
- [9] 倉沢央, 川原圭博, 森川博之, 青山友紀. センサ装着場所を考慮した 3 軸加速度センサを用いた姿勢推定手法. 情報処理学会. 研究報告会 pp. 15-22, 2006.
- [10] 相馬俊雄, 久保雅義, 大西秀明, 大山峰生. 杖の種類および杖先の形状の違いが不安定板上での立位姿勢に及ぼす影響. 日本臨床整形外科学会学術集会プログラム・抄録集, pp. 265, 2009.
- [11] 青野雅人, 飯島浩, 村瀬仁, 藤村浩史, 牛久保智宏. 4 点杖使用者の歩行分析, および杖荷重の補正. リハ工学カンファレンス講演論文集, 28th, pp.213, 2013.
- [12] 水野映子. 要介護者の福祉用具入手・利用の現状と課題, 第一生命経済研究所 ライフデザインレポート, 2003.