

平成27年度 卒業論文

和文題目

スマートウォッチによる行動判定方式の
改善と評価

英文題目

**Improvement and evaluation of behavior
determining method by smart watch**

情報工学科 渡邊研究室
(学籍番号: 120430018)

大西 佑弥

提出日: 平成28年2月10日

名城大学理工学部

概要

少子高齢化や核家族化の進行により高齢者の孤立や徘徊行動が問題視されている。そこで、我々は、スマートフォンに搭載されている各センサ機能や通信機能を活用し、見守る側(家族や地域の人など)と見守られる側(高齢者や子どもなど)で位置情報やユーザの行動状態などの情報を共有することにより、誰もが安心して生活できる社会を作るためのシステムとして統合生活支援システム TLIFES(Total LIFE Support system)を提案している。TLIFESはスマートフォンを対象に検討が進められてきたが、近年普及してきているスマートウォッチでも利用できると有用である。しかし、スマートフォン用に開発したアルゴリズムをスマートウォッチで利用した場合、腕の揺れが行動判定に含まれてしまうため誤判定が多く発生する。そこで、本稿では、スマートウォッチで利用できるアルゴリズムを提案し、評価を行った。

目次

第1章 序論	1
第2章 TLIFES	3
2.1 概要	3
2.2 TLIFES で取得する情報の説明	4
第3章 スマートフォンにおける行動判定	5
3.1 行動判定の内容と手順	5
3.2 行動判定の課題	7
第4章 スマートウォッチにおける提案方式	9
4.1 スマートウォッチで取得した加速度センサ情報	9
4.2 フィルタ処理	13
4.3 提案方式のアルゴリズム	15
第5章 評価	16
5.1 評価方法	16
5.2 測定結果	16
5.3 認識率に対する考察と課題	17
第6章 まとめ	18
謝辞	19
参考文献	21
研究業績	23

第1章 序論

我が国では、少子高齢化が社会問題として問題視されており、2060年には65歳以上の高齢者が2.5人に1人、75歳以上の高齢者は4人に1人になると予想されている [1]。また、1998年から2011年の13年間で高齢者の単身世帯の数は、約200万世帯も増加するなど高齢者の核家族化も社会問題として問題視されている。 [2] このような状況から高齢者の孤立や徘徊行動などが深刻な社会問題となっている。そのため、高齢者がどこにいても見守ることができ、かつ地域の住民同士が交流し合えるシステムが求められている。一方で、AndroidやiPhoneに代表されるスマートフォンやウェアラブル端末のスマートウォッチなどの普及により、GPSやWi-Fi、加速度センサ、地磁気センサといった様々なデバイスが搭載された端末が手軽に利用できるようになった。そこで、我々はスマートフォンなどに搭載されているGPSや各センサにより得られた情報を蓄積したデータベースを利用するシステムとして統合生活支援システム TLIFES(Total LIFE Support system) を提案している [3,4]。TLIFESはスマートフォンのセンサ類から収集した情報を利用し、ユーザの行動判定を行う。センサから得られた情報を定期的に管理サーバへ送信し、ユーザごとにデータベースに蓄積する。蓄積されたデータを解析することにより、ユーザの危険を検知し、危険が及んでいると判断した場合、予め登録されているメールアドレスにアラームメールを送り危険を知らせる。

これまで TLIFES では Wi-Fi や GPS を利用し、ユーザの行動判定を行っていた。しかしこの方法では、消費電力が大きく、位置測位のできない場所では誤判定が多く発生していた。そこで現在は加速度センサのみを利用している。この場合、情報を取得するのに場所に依存しないためどこでも利用が可能で、かつ消費電力が小さいという利点がある。判定する行動は、「放置中」、「歩行中」、「静止中」、「乗車中」の4つのみとしている。これまでスマートフォン向けに TLIFES は開発されてきたが、高齢者のスマートフォン利用率は低い。一方で、ウェアラブル端末が増加傾向にあり、その中でも腕時計として利用できるスマートウォッチが注目されている。スマートウォッチでは、難しい操作もいらないため高齢者や子どもに向いていると考えられる。そのため、スマートウォッチで TLIFES の行動判定ができれば有用である考えられる。

スマートウォッチでこれまでの TLIFES の行動判定を行った結果、課題として静止中の行動の場合に乗車中と誤判定されることが多く発生した。これはスマートウォッチにのみ観測される腕特有の振動が判定に含まれることが原因として考えられる。そのためこの課題を解決するために、現在の乗車判定に腕特有の振動を除去するフィルタ処理を追加したアルゴリズムを提案する。この提案方式を行った結果、静止中の認識率が約13%から約93%まで向上することができた。しかし、乗車中の認識率が低下したため、別の研究で検討されている地磁気センサを併用することが望ましい。この方法により、スマートフォンと同じアルゴリズムを活用できる可能性がある。

以下、2章では TLIFES の概要と取得情報、3章でスマートフォンにおける行動判定の処理につ

いて述べる。4章では、スマートウォッチで TLIFES の利用の提案について述べ、5章で提案方式の評価、6章でまとめを述べる。

第2章 TLIFES

2.1 概要

TLIFES では、見守る側の人(家族や友人)、見守られる側の人(高齢者や子ども)が全員スマートフォンを所持することを前提とする。スマートフォンの通信機能や各センサ機能を利用し、ユーザ同士が情報を共有し誰もが安心して生活できる社会を作るためのシステムを実現する。センサ情報の取得には、GPS や加速度センサを利用する。得られた位置情報やセンサ情報を定期的にインターネット上の管理サーバへ送信し、ユーザごとに蓄積し、過去のデータとともに比較することで異常の検出を行う。異常を検出した場合はリアルタイムに家族や保護者などの見守る側の人たちにあらかじめ登録したメールアドレスにアラームメールを送信することで、早期に異常を知らせる。また、蓄積された情報は、許可されたメンバであればいつでも観覧することができる。

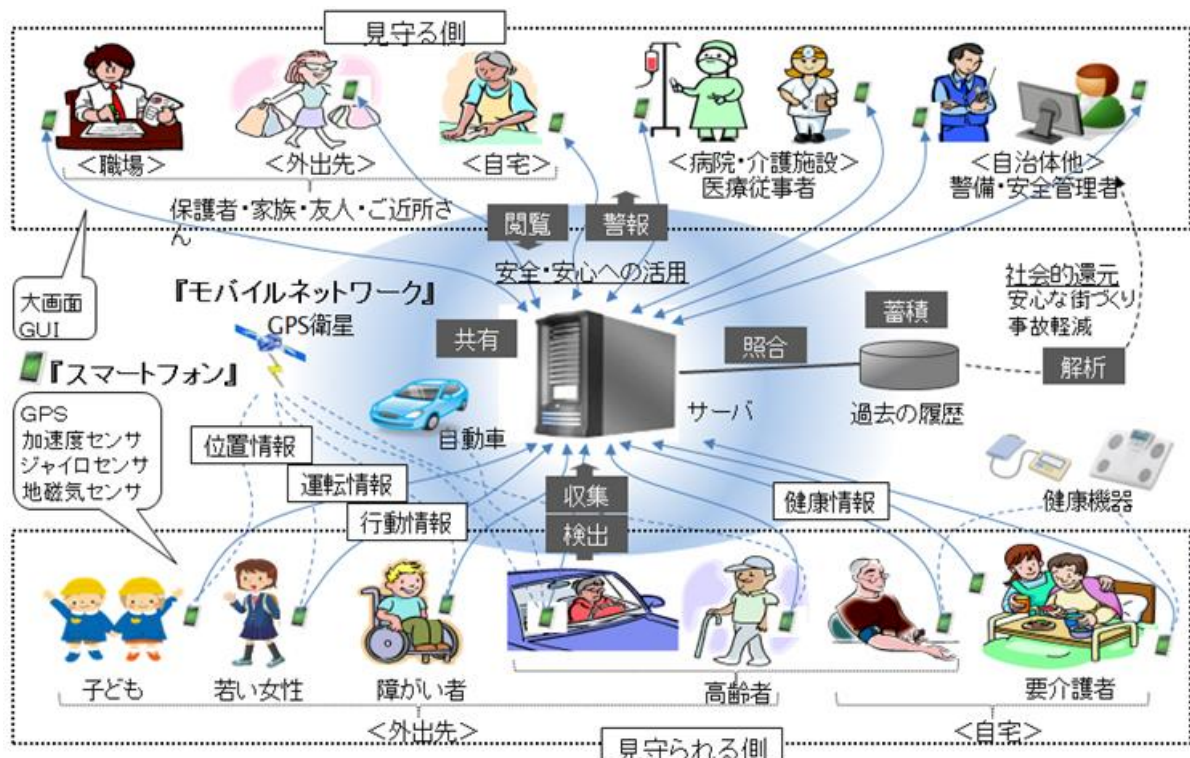


図1 TLIFES の全体像

2.2 TLIFES で取得する情報の説明

TLIFES で取得する情報を (1) から (4) に示す。

(1) 位置情報

ユーザの移動が検出された場合、GPS を利用し位置測位を行う。GPS で取得する情報は緯度経度の他に、移動速度と進行方向の情報も取得する。これらの情報は移動履歴に利用するだけでなく、ユーザの徘徊行動検出などにも利用する。

(2) 行動情報

端末の加速度センサを用いてデータを取得し、ユーザが現在何をしているかを示す情報である。行動情報として放置中、歩行中、乗車中、静止中の判定を行う。

(3) 歩数情報

歩数カウンタにより歩数をカウントし、1 分間に 60 歩以上カウントされた場合ユーザは歩行していると判定される。また、移動が検出された場合は GPS を利用し位置測位を行う。

(4) 健康情報

Bluetooth 機能が搭載された体重計や血圧計などの健康機器から取得する。

第3章 スマートフォンにおける行動判定

行動判定に Wi-Fi や GPS を利用すると消費電力が大きく、位置測位のできない地下鉄などでは誤判定が起こる。そこで TLIFES では、加速度センサのみを利用して行動判定を行っている。この方式は、比較的消費電力が小さく、情報を取得するときに場所に依存しないという利点がある。TLIFES の行動判定は実用性を考慮し、放置中、歩行中、乗車中、静止中の4つのみを出力する。

3.1 行動判定の内容と手順

加速度センサから 20ms ごとに 3 軸合成加速度値を取得し、歩数計の歩数カウントおよび 2 分ごとに行われる行動判定に利用する。GPS は、行動判定の結果によりユーザの移動が検出した場合のみ起動する。図 2 に 2 分間ごとに実行する行動判定のフローチャート、図 3 に乗車判定のフローチャートを示す。放置中、歩行中、乗車中、静止中を決定する際に行う処理、乗車判定の処理を以下に示し、図の番号と説明の番号に対応している。

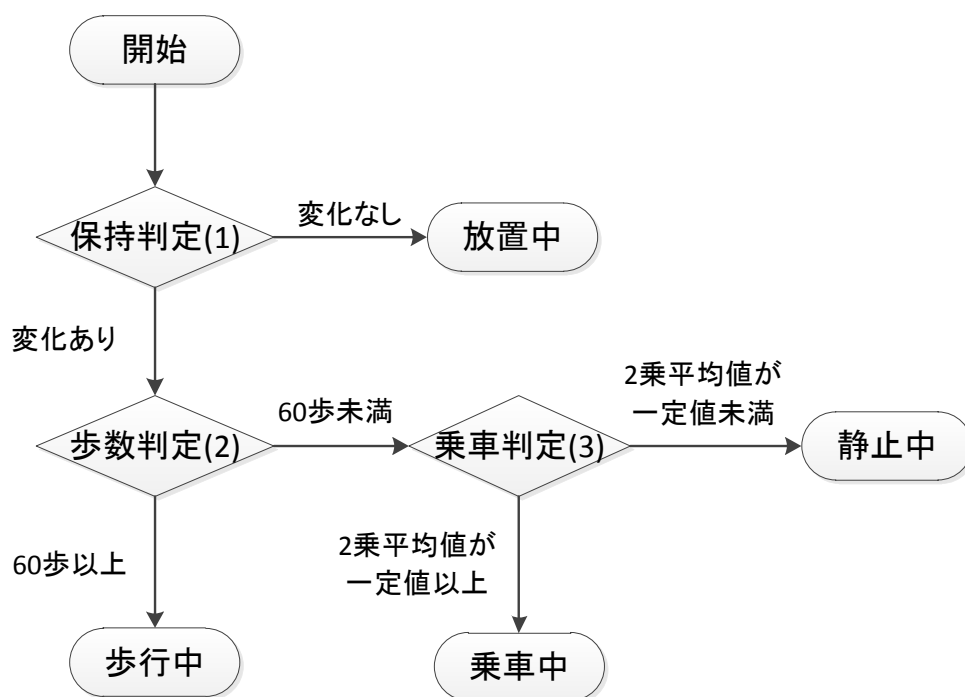


図 2 行動判定のフローチャート

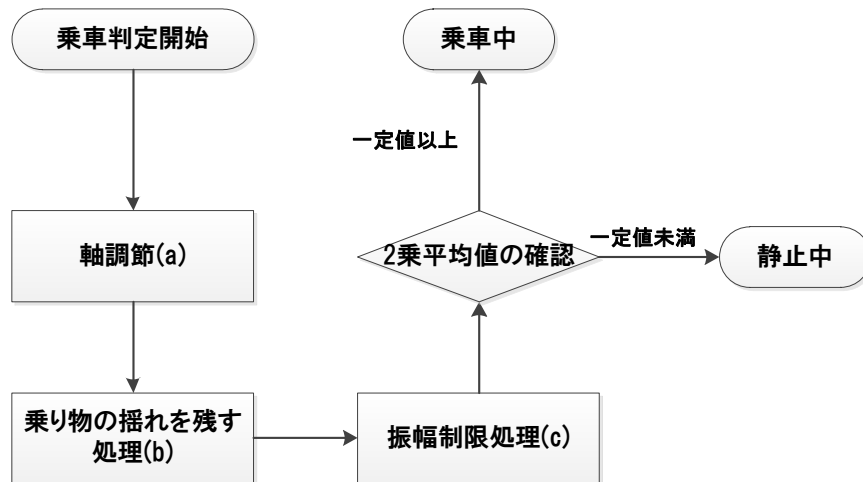


図3 乗車判定のフローチャート

(1) スマートフォンの保持判定

加速度センサから得られる情報を用いて、ユーザがスマートフォンを保持しているかどうかを判定する。サーバへの定期送信間隔である2分間、加速度センサの値に変化がない場合「放置中」と判定し、加速度値に変化がある場合は、ユーザがスマートフォンを保持していると判断し、以下の歩行判定を行う。

(2) 歩行判定

放置中でない場合は歩数計として動作し、歩数をカウントする。1分間の平均歩数が60歩以上の場合は「歩行中」と判定し、60歩未満の場合は以下の乗車判定を行う。

(3) 乗車判定

車や電車などの乗り物に乗車しているときに加速度センサから得られる高周波ノイズを利用して判定を行う。

(a) 軸調節の処理

加速度センサから得られる情報は、スマートフォンの向きや個体差による軸のずれがあるため0軸を中心に振動するように調節する。

(b) 乗り物の揺れを残す処理

車や電車などの乗り物に乗車したときの高周波を観測しやすくするようにHPF(High Pass Filter)を通す。

(c) 振幅制限の処理

端末をぶついたり、立ったり座ったりなどの突発的な振動は、乗車中と静止中を判定する際に誤判定の原因となる。そのため、振幅制限の処理により突発的な振動の前後の情報を除去し加速度2乗平均値の計算には含めない。また、乗車している乗り物によって加速度値が大きく異なるため、振幅制限の閾値は変動型を用いて加速度値のばらつきにより閾値をダイナミックに決定する。

処理した加速度データの加速度 2 乗平均値を求め $0.01[m^2/s^4]$ 以上であれば乗車中と判定し、 $0.01[m^2/s^4]$ 未満であれば静止中と判定する。この閾値は既存研究でスマートフォンの静止時における加速度 2 乗平均値は比較的小さくほとんどが $0.01[m^2/s^4]$ より低く、乗車時は $0.01[m^2/s^4]$ より高いことから $0.01[m^2/s^4]$ と決定されている。

3.2 行動判定の課題

スマートウォッチでスマートフォン用のアルゴリズムを適用し行動判定を行うことで、どのような課題があるのかを検証した。比較のためスマートフォンも同じタイミングで測定を行い、スマートフォンを左前足ポケット、スマートウォッチを左手首に装着した状態で半日測定を行った結果を図 4 に示す。また、本研究で測定に利用するスマートフォンとスマートウォッチを以下に示す。

スマートフォン：AQUOS PHONE SH-01F

スマートウォッチ：SmartGear49

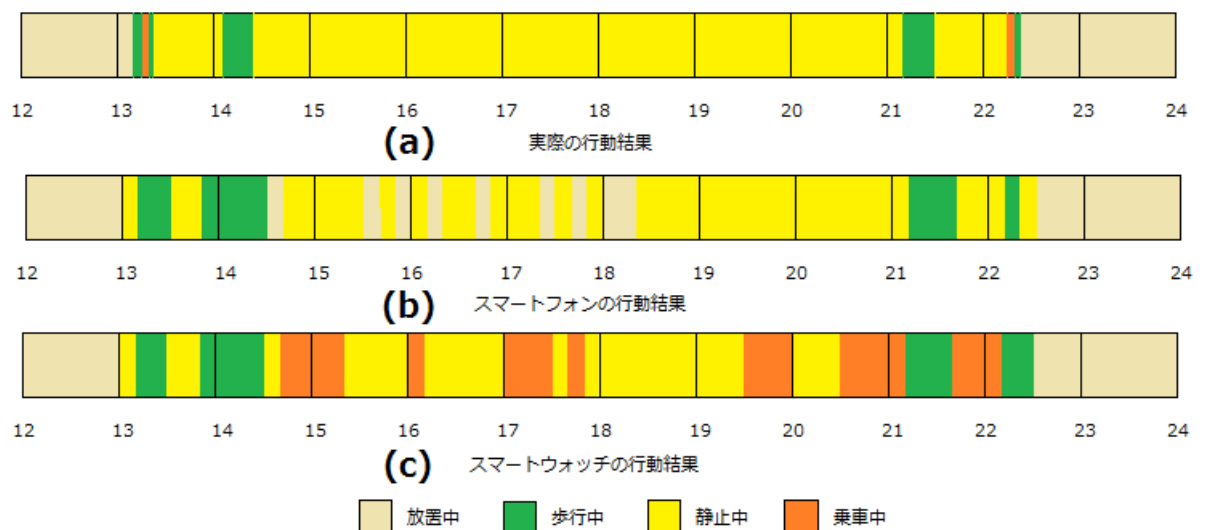


図 4 行動結果

図 4 の (a) が実際の行動結果、(b) がスマートフォンの行動結果、(c) がスマートウォッチの行動結果である。横軸が 12 時から 24 時までの時間を示し、図の色は放置中、歩行中、静止中、乗車中それぞれを表している。スマートフォンでは静止中に放置中と判定されることがあり、また短い間隔での乗車時には誤判定が起きているが高い割合で正しく認識されていることがわかる。一方で、スマートウォッチでは歩行中や放置中は高い割合で正しく認識されているが、静止時に乗車

中と誤判定されることが多くみられる。この誤判定の原因は、スマートフォンには観測することができないが、スマートウォッチを利用した際に観測される腕特有の低周波の振動が行動判定に含まれていると考えられる。その振動を除去することでスマートフォン向けに開発された TLIFES の行動判定を利用できると考えられる。

第4章 スマートウォッチにおける提案方式

3.2節で述べた静止中に乗車中と誤判定される課題を解決するために、腕特有の振動を除去するフィルタ処理を乗車判定に追加し、加速度2乗平均値の閾値を変更する。除去する周波数帯や閾値を決定するため、静止中のときによく行う動作であるタイピング、腕ふり、スマホいじり、乗り物は一般的によく利用する車、地下鉄、名鉄、JRで測定を行いそれぞれのデータを考慮して決定した。

4.1 スマートウォッチで取得した加速度センサ情報

スマートフォンで利用している TLIFES をスマートウォッチに導入し、スマートウォッチを左手に装着し測定を行った。また、比較のためにスマートフォンにおける静止時と乗車時の加速度データとそのデータをフーリエ変換し周波数解析を行った。その結果を図5から図8に示す。以下スマートウォッチの場合と同様に、図9と図10にタイピング時、図11と図12に腕ふり時、図13と図14にスマホいじり時、図15と図16に車乗車時、図17と図18に地下鉄乗車時、図19と図20に名鉄乗車時、図21と図22にJR乗車時の加速度データと周波数解析したグラフを示す。加速度データのグラフは縦軸が加速度データの大きさ、横軸が時間を表している。また、周波数のグラフは縦軸はパワースペクトル、横軸が周波数帯域を表している。また、スマートフォンの静止時のそれぞれの値が低いいため軸を10分の1としている。

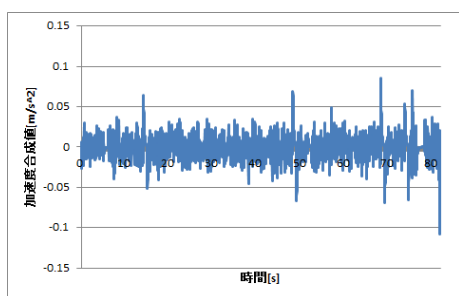


図5 スマートフォンの静止時加速度値

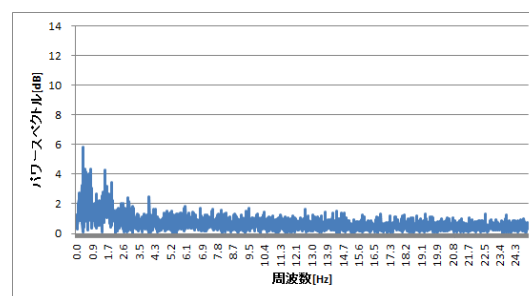


図6 スマートフォンの静止時周波数

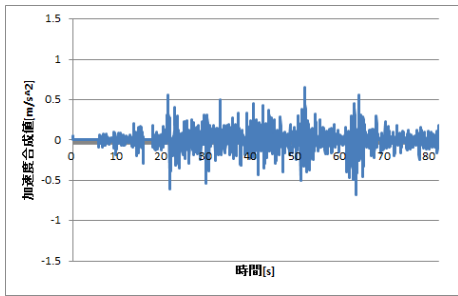


図7 スマートフォンの乗車時加速度値

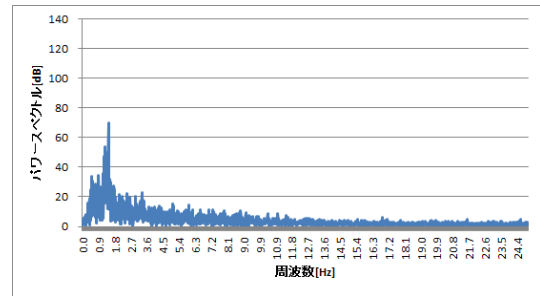


図8 スマートフォンの乗車時周波数

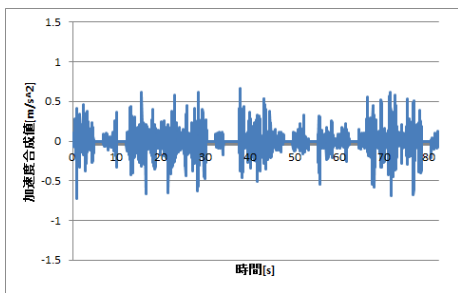


図9 スマートウォッチのタイピング時加速度値

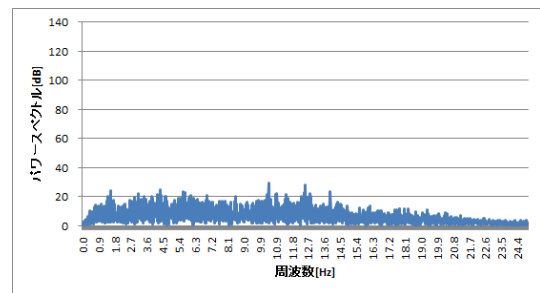


図10 スマートウォッチのタイピング時周波数

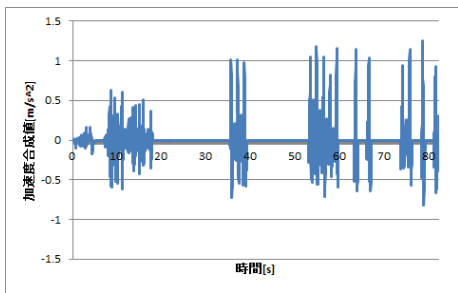


図11 スマートウォッチの腕ふり時加速度値

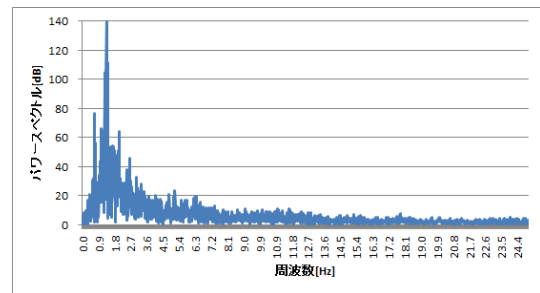


図12 スマートウォッチの腕ふり時周波数

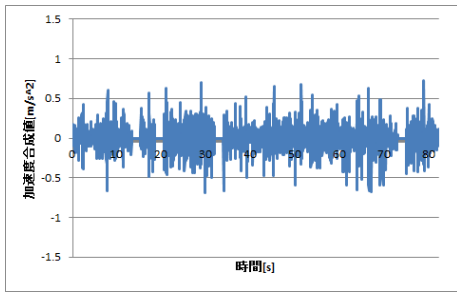


図 13 スマートウォッチのスマホいじり時加速度値

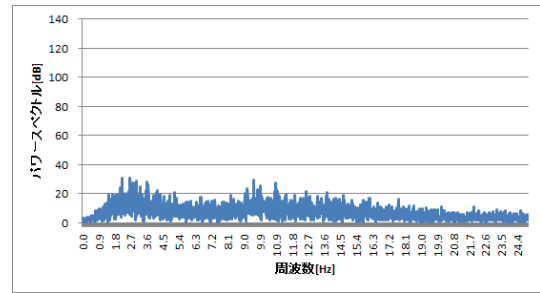


図 14 スマートウォッチのスマホいじり時周波数

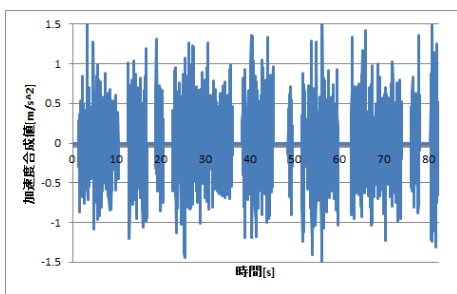


図 15 スマートウォッチの車乗車時加速度値

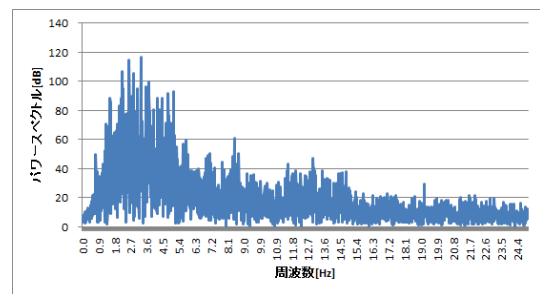


図 16 スマートウォッチの車乗車時周波数

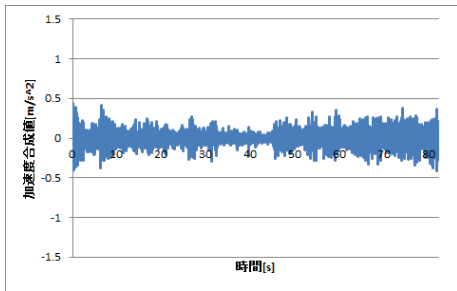


図 17 スマートウォッチの地下鉄乗車時加速度値

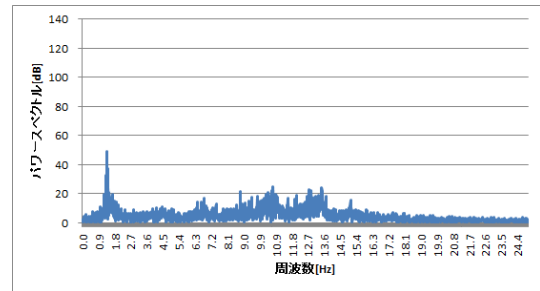


図 18 スマートウォッチの地下鉄乗車時周波数

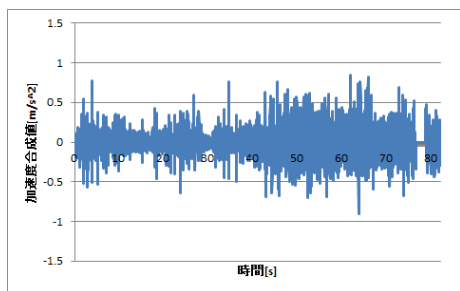


図 19 スマートウォッチの名鉄乗車時加速度値

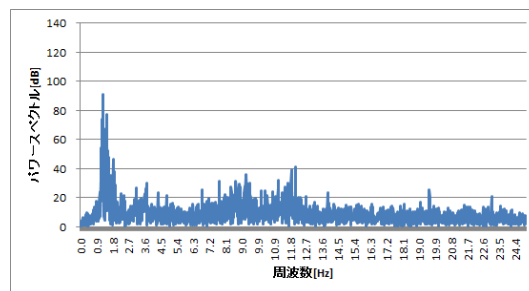


図 20 スマートウォッチの名鉄乗車時周波数

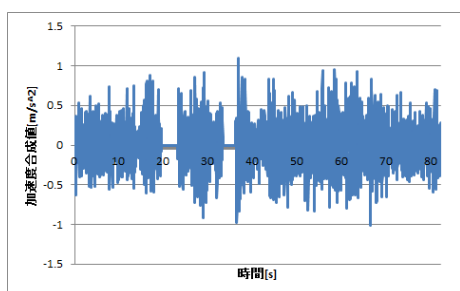


図 21 スマートウォッチの JR 乗車時加速度値

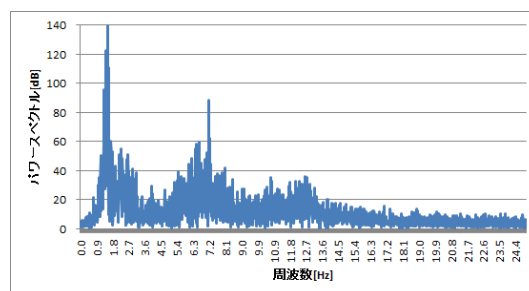


図 22 スマートウォッチの JR 乗車時周波数

加速度値のグラフにおいて加速度値が0となっている部分は振幅制限処理によって突発的な振動を除去を行った部分で、処理後の値は加速度2乗平均値の計算には含まない。図 12 の腕ふり時の測定では低い周波数 (1.5Hz 周辺) で大きな値が得られていたが、図 6 の静止中のスマートフォンでの測定ではスマートウォッチのような大きな値は見られなかった。そのためスマートウォッチで観測できる腕特有の振動がこの周波数帯にあると考えられる。腕特有の振動を除去することができればスマートフォン向けに開発された TLIFES の行動判定が利用できる。また、図 8, 図 18, 図 20, 図 22, から電車に乗車中の周波数は 1.0Hz から 2.0Hz の低い周波数帯で大きな値が得られている。しかし、腕特有の振動の周波数帯と近い領域のため、フィルタ処理を行う適切な周波数の範囲を決定するため、1.0Hz から 0.5Hz 刻みで低周波数成分の除去を行った。

4.2 フィルタ処理

4.1節で述べたフィルタ処理を行う周波数の範囲を決定させるためフィルタ処理を行った。図 23 にフィルタ処理前、図 24 に 1.0Hz 以下の周波数を除去、図 25 に 1.5Hz 以下の周波数を除去、図 26 に 2.0Hz 以下の周波数を除去、図 27 に 2.5Hz 以下の周波数を除去、図 28 に 3.0Hz 以下の周波数を除去を行ったグラフを表している。横軸の 1 から 3 は静止中の動作 (1 タイピング, 2 腕ふり, 3 スマホいじり) を表し、4 から 7 は乗り物に乗車中 (4 車, 5 地下鉄, 6 名鉄, 7 JR) を表している。縦軸は加速度 2 乗平均値を表し、複数個のデータをグラフに載せた。

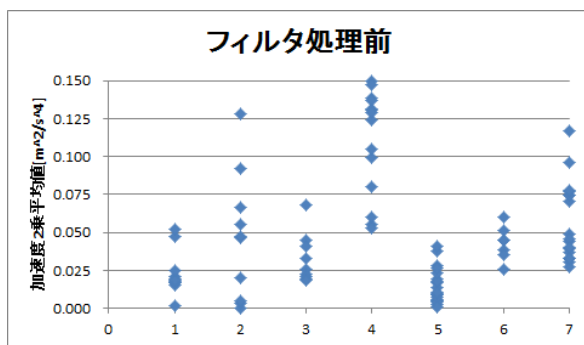


図 23 フィルタ処理前

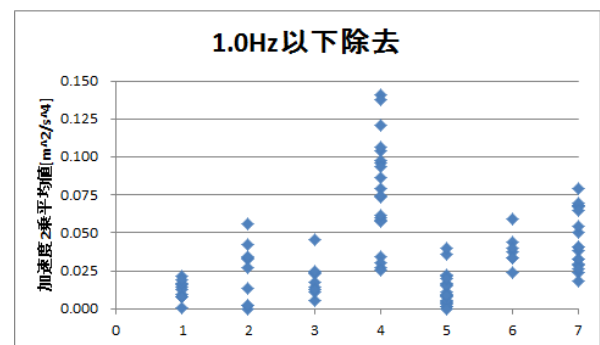


図 24 1.0Hz 以下の周波数除去

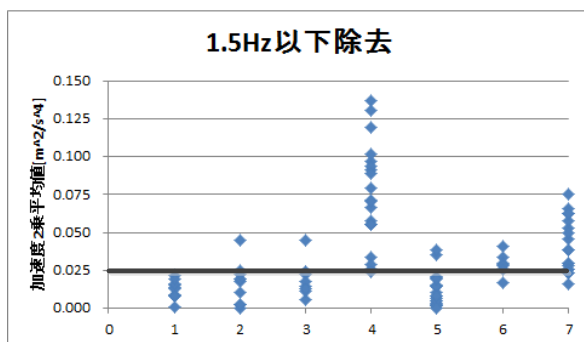


図 25 1.5Hz 以下の周波数除去

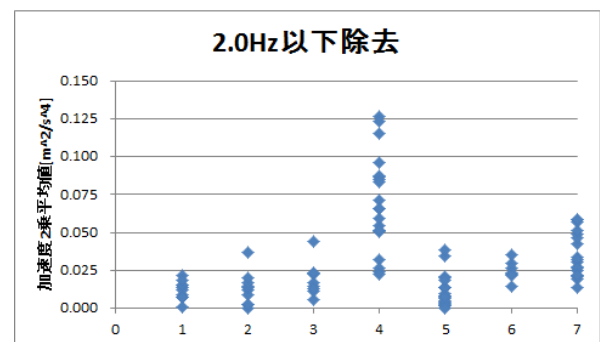


図 26 2.0Hz 以下の周波数除去

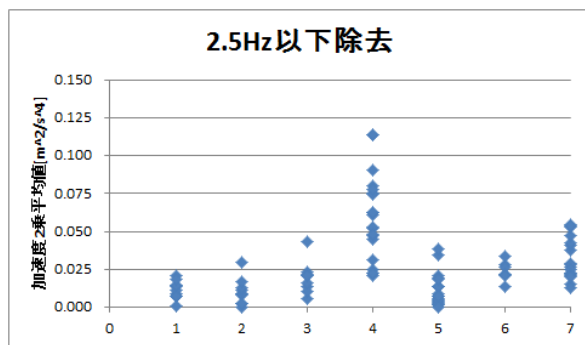


図 27 2.5Hz 以下の周波数除去

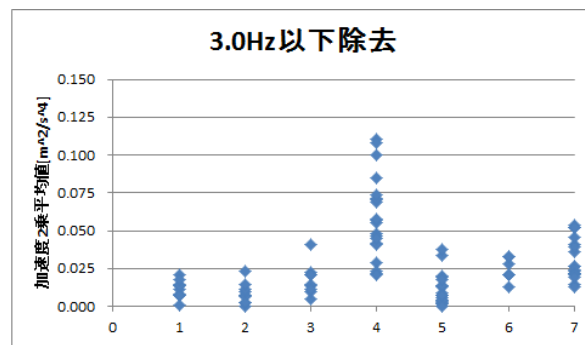


図 28 3.0Hz 以下の周波数除去

図 23 から図 28 で地下鉄乗車時の加速度 2 乗平均値が低いため、乗車判定の閾値 $0.01[m^2/s^4]$ を下回り静止中と誤判定される場合が多く、閾値を変更しても認識率が大幅によくならない。そのため地下鉄では別の研究で検討されている地磁気センサを用いて判定を行うことで認識率が向上されると考えられる。図 23 よりフィルタ処理を行わない場合は、静止中の動作 (1 から 3) と乗り物に乗車中 (4 から 7) を乗車判定の閾値 $0.01[m^2/s^4]$ で判定、また、閾値を変更して判定を行っても区別することができない。図 24 より 1.0Hz 以下の周波数を除去することで静止中の動作のときにばらつきがあった加速度 2 乗平均値が処理前より大幅に下がった。しかし、静止中の動作の加速度 2 乗平均値が大きく判定が困難である。図 25 より 1.5Hz 以下の周波数を除去すると、加速度 2 乗平均値が $0.025[m^2/s^4]$ 未満で静止中の動作、加速度 2 乗平均値が $0.025[m^2/s^4]$ 以上で乗り物に乗車中の判別が高い割合で識別できることがわかった。図 26, 図 27, 図 28 より 2.0Hz 以下の周波数, 2.5Hz 以下の周波数, 3.0Hz 以下の周波数を除去すると、名鉄や JR の加速度 2 乗平均値が周波数を上げていくにつれて少しずつ下がり、静止中の動作の加速度 2 乗平均値と近い値になってしまうため静止中と乗車中の判定が困難になる。そのため、これより大きな周波数帯の除去を行っても同様の結果が得られると考えられる。この結果からフィルタ処理は 1.5Hz 以下の周波数を除去し、乗車判定の加速度 2 乗平均値の閾値を $0.025[m^2/s^4]$ に変更し評価を行う。

4.3 提案方式のアルゴリズム

乗車判定以外の判定は図 2 のスマートフォンと同様の行動判定の処理を行う。スマートウォッチで提案する乗車判定の処理は図 29 の順に判定を行う。図 3 との違いは、振幅制限処理の後に 1.5Hz 以下の周波数を除去するフィルタ処理を追加し腕特有の振動の除去を行う。そして、加速度 2 乗平均値の閾値をスマートフォンのアルゴリズムの場合 $0.01[m^2/s^4]$ であったが、スマートウォッチの場合では $0.025[m^2/s^4]$ に変更し、閾値以上であれば乗車中、閾値未満であれば静止中と判定する。

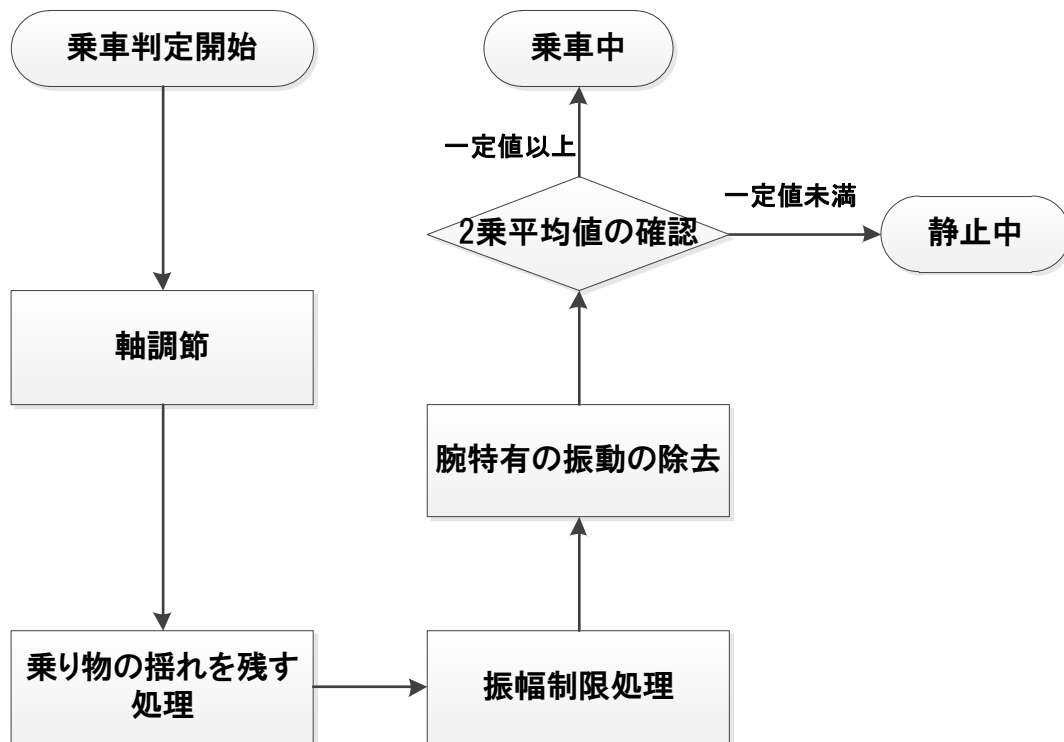


図 29 提案方式の乗車判定のフローチャート

第5章 評価

5.1 評価方法

TLIFES を導入したスマートウォッチをユーザが左腕に装着した状態で提案する乗車判定の認識率を確認する。静止中の動作は、パソコンでタイピング、腕を揺らした状態、左手でスマートフォンを操作した状態を測定し、乗車する乗り物は、車、地下鉄、名鉄、JR に乗車する。

5.2 測定結果

表 1 にそれぞれの状態において提案前の処理、提案する処理後の乗車判定を行った認識率、表 2 に静止中と乗車中の認識率を示す。処理前の認識率は加速度 2 乗平均値が乗車判定の閾値 $0.01[m^2/s^4]$ を超える場合、処理後の認識率は閾値が $0.025[m^2/s^4]$ を超える場合の割合を表している。

表 1 行動の認識率

判定	行動	処理前 (%)	処理後 (%)
静止中	タイピング	9	100
	腕ふり	30	90
	スマホいじり	0	89
乗車中	車	100	95
	地下鉄	50	10
	名鉄	100	86
	JR	100	75

表 2 静止中と乗車中の認識率

判定	処理前 (%)	処理後 (%)
静止中	13	93
乗車中	85	63
電車乗車中 (地下鉄を除く)	100	78

5.3 認識率に対する考察と課題

表 1 より地下鉄乗車時では提案前の乗車判定で 50 %，提案後の乗車判定では 10 %であるため認識率が低い。地下鉄では走行中の揺れが小さく，乗車間隔が短く停車時間が長くなるため加速度 2 乗平均値が低くなり加速度センサによる判定が困難である。地下鉄の乗車判定は別の研究で検討が進められている地磁気センサを利用した方法で対応するのが適切であると考えられる。また，処理後の判定で名鉄では 86 %，JR では 75 %であったが，こちらも地磁気センサを利用することでさらに高い認識率が得られると考えられる。一方で車乗車時では 100 %の認識率から 95 %へ低下したが高い認識率であるため加速度センサでの判定が可能である。静止中の行動は処理前では，タイピングが 9 %，腕ふりが 30 %，スマホいじりが 0 %であり，かなり低い認識率であったが，処理後では，タイピングが 100 %，腕ふりが 90 %，スマホいじりが 89 %になり，大幅に認識率が向上した。表 2 より静止中の認識率がスマートフォンのアルゴリズムを利用した場合は 13 %であったが，提案するフィルタ処理後では 93 %まで向上することができた。しかし，乗車中での認識率が 85 %から 63 %，地下鉄を除く乗車時では 100 %から 78 %へと低下した。フィルタ処理を行う前の乗車時の加速度 2 乗平均値は大きく，閾値が $0.01[m^2/s^4]$ であるため地下鉄以外の判定で乗車中と判定できていた。しかし，フィルタ処理を行った後では加速度 2 乗平均値が小さくなり，閾値が $0.025[m^2/s^4]$ になるため閾値を下回るデータも発生したため認識率が下がったと考えられる。一方で，静止時の判定が 93 %あり，地磁気センサを利用した場合で乗車時の認識率が向上すればスマートフォンと同様に判定できる可能性があると考えられる。

第6章 まとめ

本稿では，TLIFES をスマートウォッチで利用するために加速度センサを用いた行動判定のアルゴリズム改善について提案した．スマートウォッチに TLIFES を導入し，行動判定を行うと静止中に乗車中と誤判定が多く発生した．そのため乗車判定の改善をする必要があった．加速度センサから取得したデータを周波数解析することでスマートフォンでは観測できずスマートウォッチで観測された低周波の腕特有の振動が含まれていることがわかった．そのためスマートフォンの乗車判定のアルゴリズムに腕特有の振動を除去するための処理を振幅制限後に追加し，加速度 2 乗平均値の閾値を $0.01[m^2/s^4]$ から $0.025[m^2/s^4]$ に変更した．その結果静止中の判定が大幅に向上した．しかし，地下鉄での認識率が低いいため別の研究で検討されている地磁気センサと組み合わせることにより，スマートフォン同様に判定を行える可能性があることがわかった．

謝辞

本研究を進めるにあたり，終始にわたりご指導を賜りました，指導教官である名城大学工学部情報工学科の渡邊晃教授に心から感謝いたします。

本研究を進めるにあたり，常日頃からご意見と助言を受け賜りました，TLIFES 関係者の皆様に深く感謝いたします。

最後に，本研究を進めるにあたり，本研究室の皆様にも多くの助言をいただき心から感謝しています。

参考文献

- [1] 総務省 情報通信白書 (平成 24 年度版)
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/html/nc112120.html>
- [2] 総務省 高齢者の社会的孤立を防止する対策
http://www.soumu.go.jp/main_content/000217416.pdf
- [3] 大野 雄基, 他: TLIFES を利用した徘徊行動検出方式の提案と実装, 情報処理学会論文誌コンピュータ・デバイス&システム (CDS), Vol.3, No.3, pp.1-10, July.2013.
- [4] 加藤 大智, 他: TLIFES における省電力化を目的とした位置測位手法の提案と実装, 研究報告コンピュータ・デバイス&システム (CDS), Vol.2013-CDS-6, No.13, pp.1-6, Jan.2013.
- [5] 総務省 情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査
http://www.soumu.go.jp/main_content/000357568.pdf
- [6] MM 総研 日米におけるウェアラブル端末の市場展望 (平成 25 年)
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/nc141330.html>

研究業績

研究会・大会等（査読なし）

- (1) 大西佑弥, 渡邊 晃, 旭 健作 : スマートフォンとスマートウォッチによる行動判定の比較評価, 平成 27 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会論文集, Sep.2015.

