

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 31日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500113

研究課題名（和文） 常時利用可能なウェアラブル身体状態推定システムと  
その応用に関する研究研究課題名（英文） Wearable Computing Systems and Applications by Determining  
the Physical Conditions of the User

研究代表者

松下 宗一郎（MATSUSHITA SOICHIRO）

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・教授

研究者番号：80339209

研究成果の概要（和文）：身体に高精度な運動センサーならびに信号処理用小型コンピューターを装着するウェアラブルシステムにおいて、ユーザーの種々の身体状況を推定する手法の検討を行い、有用なアプリケーションの提案ならびに実証実験を実施した。その結果、身体バランス感覚状態の推定や、特別な運動スキルが必要なギター演奏における運動状態の分析といった身体状態の推定を、ユーザに負担をほとんどかけることなく行えるようになった。

研究成果の概要（英文）：

Wearable computing systems consisting of highly-sensitive motion sensors and low-power microprocessors have been investigated to detect the physical conditions of the user. In addition to the fundamental analysis on the motion parameters, useful applications for the proposed wearable systems have also been examined. As a result, various kinds of estimations about the physical conditions of the user such as the sense of balance while the user is standing still and the musical performance while playing the guitar have been achieved without using obtrusive equipments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：感性情報学、計測工学、神経科学、リハビリテーション

## 1. 研究開始当初の背景

ユーザーの身体に装着した運動センサーからの信号を分析することで身体状態を推定するシステムに関しては、「歩行中である」といったおおまかな状態推定を行う事例が報告されていた。これに対し、より詳細な情報分析を行うためのシステムについては、身体にセンサーを装着することのみにて計測を行え、常時利用可能であるウェアラブル機

器としての事例はほとんど報告がなされていないかった。

## 2. 研究の目的

人間の身体運動について、高感度な小型運動センサー（加速度、角速度）による計測を行うことで有意なアプリケーションを実現することのできる事例を探索するとともに、その有用性を検証することで、いつでもどこ

でも気軽に利用できるウェアラブル身体状態推定システムの実現を目指す。

### 3. 研究の方法

リファレンスとなる高精度な運動計測システムとして、磁気式3次元位置センサを導入し、ユーザーの身体に装着したウェアラブル運動センサによる計測を同時に行うことで、計測結果に対する信頼性を確保する。続いて、ウェアラブル身体状態推定システムにおけるアプリケーション候補の1つである直立静止時の頭部動揺運動解析による身体バランス感覚状態推定について、その信頼性並びに有効性の検証を行う。更には、歩行状況や楽器演奏時の身体運動状況といった、身体状態推定により有用な情報を取得できることが見込まれる応用例について、ウェアラブルコンピュータとして実装することで実証実験を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 直立静止時における頭部動揺運動分析

リファレンスとなる磁気式3次元位置センサによる運動計測結果との比較により、加速度にて重力加速度の0.5%、角速度にて0.03度毎秒の精度にてユーザーの頭部に装着したウェアラブル運動センサーより情報が取得できていることを確認した。続いて、短時間の運動負荷による軽度なバランス感覚失調状態からの回復過程を23名の健常な被験者について観測した結果、加速度ならびに角加速度の運動次元において身体状態の変化を良く反映する運動パラメータの検出に成功した。〈学会発表⑦〉

表1 安静時と軽運動負荷時における運動パラメータの挙動

		PTL	VTL	ATL	ETL	AVTL	AATL	AVrms
at rest	Stability(%)	11.4	7.5	6.0	9.0	8.3	7.8	13.6
	σStability (%)	4.0	3.6	2.6	4.2	2.6	3.4	7.3
physical stress	R <sup>2</sup>	0.42	0.74	0.70	0.75	0.80	0.81	0.75
	σR <sup>2</sup>	0.26	0.14	0.21	0.16	0.12	0.15	0.23

N = 6

表1は、磁気式3次元位置センサ由来の運動パラメータである、PTL（位置軌跡長）VTL（速度軌跡長）、及びETL（オイラー角軌跡長）と、ウェアラブル運動センサー由来であるATL（加速度軌跡長）、AVTL（角速度軌跡長）、AATL（角加速度軌跡長）、AVrms（角速度実効値）の挙動を、安静時（at rest）並びに軽運動負荷時（physical stress）について計測した結果を被験者6人の平均値並びに標準偏差として示したものである。ここでは、位置座標や姿勢角度といった、磁気式3次元位置センサによらなければ計測が困難であるような測

定値を用いたパラメータ（PTL, VTL, ETL）よりも、ウェアラブル運動センサーにより手軽に計測できる測定値によるパラメータ（ATL, AVTL, AATL）の方が、安静時の数値安定性（Stability）及び、軽運動負荷後の回復曲線の単調性（回帰曲線モデルへのフィッティングに対する相関係数の2乗値： $R^2$ ）について、優れていることが見出された。

#### (2) 直立静止時における体重心動揺計測と、頭部動揺運動との関係性

ユーザーの身体に運動センサーを装着せずに、体重計状の装置にて身体バランス感覚状態の推定を行う体重心動揺計と、本研究による頭部動揺計との比較実験を行った。その結果、従来の体重心動揺計では運動負荷による軽度なバランス感覚失調による影響をほとんど捉えられておらず、頭部動揺における比較的周波数の高い（ $> 5 \text{ Hz}$ ）運動成分が身体状態推定にて有効であることが分かった。〈学会発表⑥〉

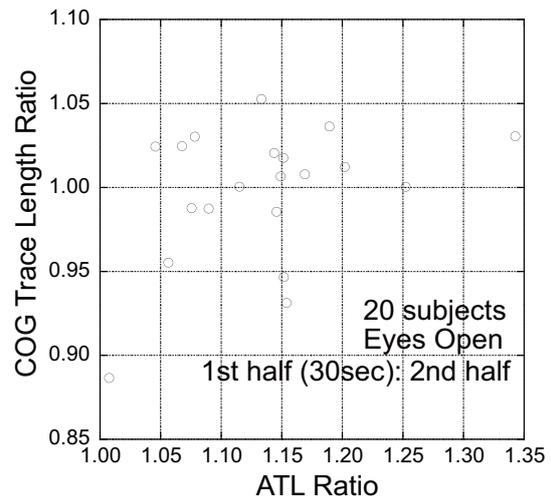


図1 軽運動負荷に対する運動パラメータの変化（運動直後及び30秒後の比較）

図1は、頭部動揺計からの測定値によって計算した加速度軌跡長（ATL）に対し、同時に計測を行った体重心軌跡長（COG-TL）が軽運動負荷に対しどのような応答を示すのかを20人の被験者により調査した結果である。ここでは、運動直後における30秒間の計測値と、その後30秒における計測値との比をプロットしているが、頭部動揺計由来であるATLでは比率が全て1.0を超えており、運動負荷によりATLが一様に増大していたことが分かる。これに対し、体重心動揺由来であるCOG-TLでは、1.0を境に増加する場合と減少する場合とがほぼ相半ばしており、運動負荷に対して有意な応答反応を示していないことが分かった。

一方、頭部動揺計による計測では、角速度センサー由来である角加速度軌跡長（AATL）についてもATLとほぼ同様な結果が得られており、頭部に接触さえしていれば、原理的には装着部位を選ばずに身体状態の推定を行えることが示唆されている。すなわち、頭部が回転運動をしている際に、ATLについては回転中心からの距離によって異なる測定値が得られてしまうことに対し、AATLでは同一剛体上では同じ回転運動が観測されることから同じ値を得ることができ、センサー装着位置の自由度が飛躍的に高まる。

### (3) 歩行状況分析

いわゆるO（オー）脚姿勢での歩行を中心に、ユーザーの足甲部に装着したウェアラブル運動センサーによる状態分析を行った結果、このような特徴的歩行においては足を踏み出す瞬間における外側方向への加速度の信号パターンによる識別が可能であることが分かった。また、歩行周期付近の周波数に通過中心周波数を設定した帯域通過型フィルターを用いることで、特徴的歩行の発現状態をほぼリアルタイムにてユーザーにフィードバックする歩行姿勢改善システムの可能性が示された。〈学会発表⑧、⑨〉

### (4) ギター演奏フォーム分析

ギター演奏においては、フレットを指で押さえることで音程を決定する方の手よりも、弦を弾く手の動きによって奏でられる音響の音楽性が大きく変わってくる。そこで、弦を弾く手（右利きのプレイヤーの場合は右手）の手首位置に腕時計型の6軸（3軸加速度、3軸角速度）運動センサーを装着し、ギター演奏時の運動状態推定を試みた。初心者と中級者におけるコードストローク運動を分析した結果、初心者では全体に運動エネルギーが弱いとともバラツキが大きく、さらには振り下ろした手を元の高さに戻す往復運動において、顕著な非対称性が観測されることが分かった。〈学会発表⑤〉続いて、手を振り下ろす方向について、手首の回転角速度を計測し、角速度が最大となる時刻ならびに回転角度を計算する身体装着型コンピュータの開発を行い、初心者、中級者のそれぞれについて計測実験を行った。その結果、手を振り下ろすリズムについては両者ともに概ね5パーセント以内の偏差に収まっているのに対し、初心者では角速度の最大値における偏差が中級者の2倍以上となってしまうことから、両者の演奏状態を容易に識別することができた。〈学会発表①〉

### (5) ポインティングデバイス操作をキーボード上で行うための手首運動解析

身体まひなどの影響により、コンピュータ

を操作する際にキーボード上から手を動かすことが困難であるユーザーに対し、ほとんど手指を動かさずことなく利用できるポインティングデバイスの開発を試みた。手首に装着した高感度な運動センサーに、小型の信号処理用マイクロプロセッサを組み合わせることで、初めて利用するユーザーであっても直感的にポインティングデバイス操作が行えるようなシステムを提案している。〈学会発表④〉

### (6) 着座静止時の頭部動揺運動分析

本研究による頭部動揺運動分析システムでは、体重心動揺計測システムとは異なり、ユーザーが着座静止状態にある場合にも適用することができる。一方、コンピュータ画面に表示されたコンテンツにより学習を進めるE-Learningにおいては、ユーザーがコンテンツを注視している際には頭部が準静止的な状態となっていることが予見される。そこで、実際にE-Learningを行っている状況下にて頭部動揺運動計測を行ったところ、角加速度の時間変化により計算される運動パラメータにてユーザーの学習への集中度を推定できる可能性が示された。〈学会発表③〉

### (7) 対象物に触れることなく、どのように触れているのかを推定するシステム

対象物の手触り感を、センサーを直接対象物に触れさせることなく推定するシステムの開発を試みた。ここでは、ユーザーの手首に高感度な6軸（3軸加速度、3軸角速度）運動センサーを装着し、対象物にユーザーが手指で触れている際の状況推定を試みた。その結果、対象物の堅さを反映する信号成分が検出できることが分かった。〈学会発表②〉

図2は、被験者の右手首に高感度の3軸角速度センサーを装着し、空中（AIR）、固い机の上（HARD）、柔らかい布状の物体上（SOFT）で手指にて「撫でる」動作をしている際の運動信号を計測した結果である。ここで、X軸は手首の前後方向、Y軸は左右方向、またZ軸は上下方向であり、それぞれの軸まわりの角速度を計測している。また、被験者にはできるだけ同じような感覚で「撫でる」動作を行うよう指示をしているが、対象物の違いにより、一見しただけでは見分けが付きにくい手指運動の違いが、対象物には直接触れていない手首の運動として観測されていることが分かった。このことから運動に関与している部位に直接運動センサーを設置することなく、利用者の身体状況推定を行える可能性があることが示唆された。そこで運動センサーと小型コンピュータを用いたウェアラブル身体状況推定システムの作成を行い、種々の「撫でる」動作の弁別を試みた結果、

個人差等による微妙な違いを運動信号の周波数特徴等により識別できることが分かった。

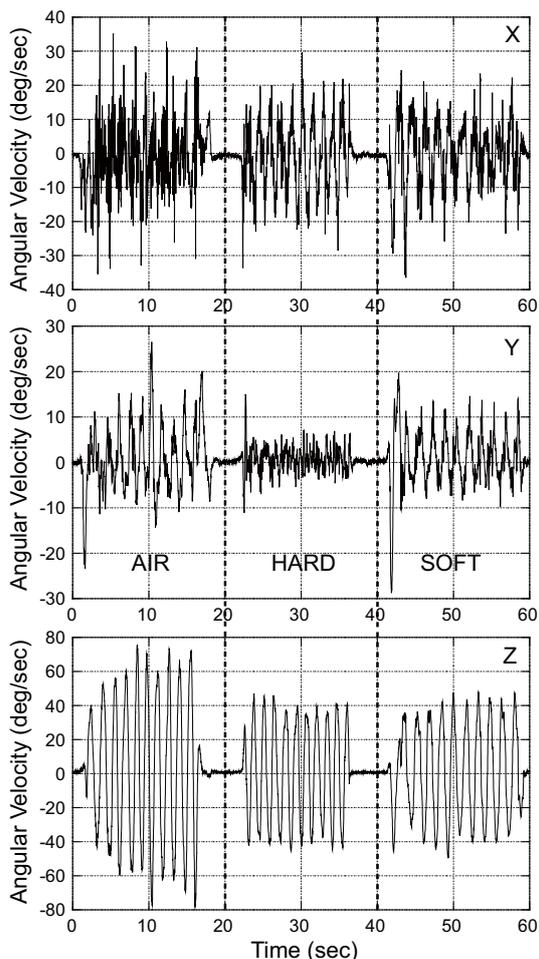


図2 様々な物体を指で触れた際の手首における角速度信号パターン

(8) 大きな計算量を有する信号解析アルゴリズムをウェアラブルコンピューティングの環境下にて実現する手法

身体に装着し、常時利用するといった利用形態から、重量、バッテリー持続時間といった点で大きな制約条件を課されているウェアラブルコンピューターにおいて、多様なアプリケーションを高いレベルにおいて実現するためには、システム自体が可塑的な構造となっている必要がある。そこで、動画像認識といった、より大きな計算量が要求される身体状態分析アルゴリズムの実現を考え、ネットワーク経由にてハードウェア構成を再構築することのできるプラットフォームの開発を行った。その結果、小型のPCカード型デバイスにて、高精細なデジタル動画像の圧縮伸長を実現できたことで、身体状態推定システムにおける計算量の大きな分析アルゴリズム導入への可能性が見出された。

<雑誌論文①>

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

①田向権、松下宗一郎、ほか5名、インターネットブスター: ネットワーク配信可能なhw/sw複合体を用いたWEBアプリケーション、電子情報通信学会論文誌、査読あり、J93-D, No.10、2010、pp.2139-2147

〔学会発表〕(計 9件)

①Soichiro Matsushita and Daisuke Iwase, "Detecting Strumming Action While Playing Guitar", ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC2013), 査読あり、2013年9月発表予定, Zurich (Switzerland), 2013

②平山貴之、松下宗一郎、ほか7名、E-emotional Touch: 手触り感を入力するインタフェース、情報処理学会シンポジウムシリーズ・インタラクション2013、査読なし、東京、2013年3月1日

③古谷萌浩、松下宗一郎、ウェアラブルE-Learning 学習状況モニタ、情報処理学会シンポジウムシリーズ・インタラクション2013、査読なし、東京、2013年3月1日

④木村智之、岩瀬大祐、長岡大地、松下宗一郎、ほか12名、スモールアクションコントローラ、情報処理学会シンポジウムシリーズ・インタラクション2013、査読なし、東京、2013年2月28日

⑤細井祐太郎、松下宗一郎、ウェアラブルコンピュータによるギター演奏習熟度の推定、第11回情報科学技術フォーラム(FIT2012)、査読なし、東京、2012年9月6日

⑥松下宗一郎、直立静止時における健常者の体重心動揺運動と頭部動揺運動の比較、第11回情報科学技術フォーラム(FIT2012)、査読なし、東京、2012年9月4日

⑦松下宗一郎、常時利用可能なヘッドホン型身体バランス状況モニタ、第10回情報科学技術フォーラム(FIT2011)、査読あり、函館、2011年9月8日

⑧細井悠貴、松下宗一郎、ウェアラブル歩行特徴分析センサに関する研究、第10回情報科学技術フォーラム(FIT2011)、査読なし、函館、2011年9月8日

⑨細井悠貴、松下宗一郎、日常生活における

特徴的歩行分析に関する研究、情報処理学会  
全国大会、査読なし、東京、2011年3月3日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松下 宗一郎 (MATSUSHITA SOICHIRO)  
東京工科大学・コンピュータサイエンス学  
部・教授

研究者番号：80339209

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし