

論文審査の要旨及び担当者

No.1

報告番号	① 乙 第 号	氏 名	BROCK Heike
論文審査担当者	主 査	政策・メディア研究科教授	兼環境情報学部教授 仰木 裕嗣
	副 査	政策・メディア研究科委員	兼総合政策学部教授 河添 健
	副 査	政策・メディア研究科教授	兼環境情報学部教授 三次 仁
	副 査	政策・メディア研究科委員	兼環境情報学部教授 中西 泰人
学力確認担当者：			
(論文審査の要旨) BROCK Heike 君の博士論文は、「Development of Signal Processing and Machine Learning Methods for Inertial Sensor Based Motion Information Systems」と題し、4 部 11 章から構成される。 センサの小型化・無線化に伴って、ヒトの運動をヒトに装着したセンサによってセンシングする技術が著しく発展してきているが、センサによって得られる原データから、いかにして必要且つ有用な情報を運動者、観測者、コーチらに提供するのは重要な課題である。スポーツにおけるトレーニングやリハビリテーションなどのヒトの運動を指導する場においては、観測された情報をどのように運動者に伝えるのが重要であり、それは運動スキルの学習にも大きな影響を及ぼす。 BROCK 君が論文中で述べている、augmented motion information、拡張された運動情報は、視覚情報によってヒトの運動が認識され評価される場合には、カメラによる観測に代わるものとして機能させることが必要であり、リアルタイムで運動の様態を知ることには価値がある場合には、センシングされた情報を音声へと変換して聴覚刺激によって運動者の学習に寄与するように働くことが期待される。従って必要且つ有用な情報とは運動者あるいは評価者であるコーチらの目的にあったような情報提示を意味している。 BROCK 君の博士論文では、身体に装着された加速度、角速度、地磁気をそれぞれ三軸方向で観測する慣性センサによって得られた信号を、こうした有用な情報へと加工して提供する信号処理技術の開発と、センサ信号を基にしたコーチングへとつながる機械学習方法の開発の二つの内容が述べられ、その実例がスキージャンプを中心に述べられている。 第 1 部では、慣性センサから得られる運動情報 (Motion Information) とは如何なるものであるのか、スポーツ科学の視座から見た運動情報の定義を確認し、その上で運動者に必要とされる運動情報が何であるのかを解説している。従来、単に運動情報のうち、運動速度や周期、運動のタイミングといった物理量だけがユーザーに提供されたものから抜け出し、それら物理情報が可視化・可聴化され、カテゴライズされ、審判によって評価が下される基準との差異、までもが運動者が期待する運動情報である、ことを提案している。 第 1 部以降でも採り上げる事例であるスキージャンプを事例にして、どのような身体姿勢情報が適切であるのか、姿勢の物理表現である四元数の定義とともに、それが慣性			

センサデータの変換に適切であることの意味を述べ、以降の分析の定式化を行っている。

第2部では、応用事例であるスキージャンプについて、その運動データの獲得方法と信号処理方法を解説している。身体運動の解析を目的とすれば、用いる数理モデルによって解析が可能であるセンサ装着方法でなければならず、身体運動のモデル化と計測は表裏一体である。観測された慣性センサデータによって剛体にモデル化したヒトの姿勢を正しく推定できるのか、という理論モデルと実測データからの推定については実験室において行った光学式モーションキャプチャ装置によって精度検証を行っている。ここではヒトの基本動作である歩行や走行、ジャンプといった試技によって十分に高い精度での推定を導き出した。姿勢推定には、カルマンフィルタを代表とする様々なフィルタを検証し、センサデータの静的特性、動的特性におけるノイズの種類によって、演技される運動の種類によって使用するフィルタを選択した方が良いことを明らかにし、運動の周波数解析とともにノイズの除去方法についても提案している。さらには屋外での観測であっても競技場や建造物における磁場の乱れは推定結果に影響を及ぼすため、屋外環境にあっても演技者の演じる場における地磁気の較正方法も提案し、環境変化にも頑健な姿勢推定方法を確立しそれを提案した。これにより、様々な運動において、小型で可搬性の高い慣性センサによる運動解析があらゆる運動へと適用できることとなった。このようにして緻密に構築した計測データからの身体姿勢推定法を実際のスキージャンプ選手のトレーニングにおいて適用し、トレーニング中の選手の運動情報を獲得しコーチングの有用情報として提供した。

第3部では、第2部において提案した手法によって数多くのスキージャンプ選手の滑走開始から着陸に至る試技データを用いて姿勢推定を行い、その特徴量を可視化・可聴化する方法論を論じている。

どのような姿勢変化が審判の判定に用いられたのか、これを明らかにするために同時に獲得した公式審判員によって判定されたスコアとセンサ信号から抽出した変量間の関係を機械学習によって明らかにした。これにより、主観的な判断によってヒトの運動の優劣が判断される種目特性を持つスポーツ、ひいてはヒトの運動に対して慣性センサによる運動技能評価に道が拓かれたと言える。

第4部は、第3部によって確立された慣性センサ信号によるヒトの運動技能評価における将来の展望を議論している。小さく身体に装着したうえでネットワークとの親和性の高い、慣性センサを基盤とした運動のモニタリングと選手へのフィードバックは今後スポーツのみならず、あらゆるヒトの運動解析への展開も期待されることで本論文は結ばれている。

BROCK 君の論文内容はスポーツ科学のみならず、高度な信号処理技術、機械学習の方法論をヒトの運動解析へと展開し、計算機科学の分野に対しての貢献も著しく、新たな研究領域を開拓したと言える。また、**BROCK** 君の研究成果は、スポーツ工学分野における最高の学術組織である国際スポーツ工学会において、本年最優秀学生発表賞を受賞しており、その高い実力が国際的に認められた。さらには、その完成度の高さと応用への期待から欧米諸国の大学、学術機関、特に情報工学を中心とする学術機関からの招

論文審査の要旨及び担当者

No.3

待講演，ワークショップの開催等を数多く受けており，将来の期待の高さが明らかである．成果物である自身の開発したアルゴリズム，ソースコードなどの全てをインターネットを用いて広く一般に公開する啓蒙活動を含めて，**BROCK** 君の研究成果は，まさに **SFC** らしいものであると言える．よって，本論文の著者が博士（政策・メディア）の学位を受ける資格があるものと認める．