HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	デジタルヒューマンモデルと慣性センサを用いた作業動作・負担計測システムの開発［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	宮島, 沙織
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第14144号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78491
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Saori_Miyajima_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（情報科学）　氏名　宮島 沙織

学 位 論 文 題 名

デジタルヒューマンモデルと慣性センサを用いた作業動作・負担計測システムの開発
（Development of Measurement System for Motion and Workload Using Inertial Sensors and Digital Human Models）

近年の少子高齢化により, 労働人口の減少と労働者の高齢化が問題となっている. よって, 若年層から高齢者まで幅広い世代が健康を維持しながら働けるよう, 作業負担の把握と管理が重要である. 本研究では特に様々な職種で現れる労働疾病である腰痛, その一因とされる腰部への負担に着目する.

どの作業にどのような負担があるかを把握するには, 作業内容を識別する, 識別された各作業についての負担を求める, という 2 つの分析を行う必要がある.

本研究ではこれら 2 つを, 計測した作業動作から求めることを考える. 動作計測には作業空間の広さや遮蔽物の影響などを考慮し, 小型の慣性センサを作業者に取り付けて動作を計測することを考える. 本研究で解決する課題は 2 点である.1 点目は, 作業認識と作業負担の解析に必要十分な動作計測システムを構築することである.2 点目は, 作業動作と, 動作以外の情報を組み合わせて作業負担を推定することである.

まず, 慣性センサを用いた動作計測システムの構築を行う.

1 軸周りの回転のみを計測対象とし, 従来の相補フィルタというセンサ統合技術を基に, 相補フィルタの係数を運動の状態に合わせて変動させ, 慣性センサにのるノイズを軽減する手法を開発した. ロボットマニピュレータと人の単純動作の計測を通して, 角速度センサに予期せぬドリフトがのる場合と 1 時間を超える長時間の計測において, 従来の相補フィルタと比較し, 提案する手法の計測精度が高いことが確認された.

また, 実作業現場での作業動作計測を想定すると, 作業の妨げにならないよう, 使用する慣性センサの数は必要最低限であることが望ましい. 慣性センサの数は, 姿勢を計測する身体部位の数によって決まる. そこで, 計測する作業の内容に合わせ, 作業分類と腰部姿勢取得の二つの目的達成のために計測が必要な身体部位の選定手法を, デジタルヒューマンモデルを用いて構築した. 本論文では姿勢計測の対象部位を背部とした. センサ設置部位の選択を機械学習における特徴量選択と考え, 従来の特徴量選択手法である wrapper method に背部姿勢計測精度の評価を組み込んだ, センサ設置部位選択手法を提案した. 作業分類には Support Vector Machine を使用した.

提案手法について, 実験室内での模擬作業計測を用いて選択手法の妥当性を検証した. また, 介護施設における移乗介助作業認識実験で動作の計測に使用する慣性センサの配置を提案手法を用いて決定した. 決定した配置で計測した動作から, 隠れマルコフモデルを用いて移乗介助の認識を行い,1 時間の作業のうち移乗介助を行っている時刻の検出に成功した.

次に作業負担の推定を行う. 作業負担の評価方法として, 作業動作を用いた力学的解析手法, 生体信号の計測を用いた身体的負担の推定方法, 主観的な負担の作業中記録手法の 3 種類の手法について検証を行った.

力学的解析手法では,MU センサで計測した作業動作をデジタルヒューマンモデル上で再現し, 動力学解析によって腰部の関節トルクを求めた. 作業動作をモデルに入力するには, モデルのリンク構造と初期姿勢の設定に合わせ, センサ傾斜角を変換する必要がある. よって, 動作計測前にモデルの初期姿勢を再現した静止姿勢を計測し, 変換式のパラメータを求めた. 光学式モーションキャプチャで計測した動作を用いて計算した腰関節トルクを真値と設定し, 慣性センサで計測した動作から求めた腰関節トルクの有用性を検証した.3 名の被験者の単純動作について腰関節トルクを計算すると, 誤差の平均値は 12[Nm] となっていた. 腰部屈曲時のトルク計算誤差率は 3 名の平均値で 14% となり, 簡易的な動作計測結果を用いても腰部にかかる力が推定された.

生体信号を用いた負担推定では, 実作業中の心拍数を作業動作と合わせて計測し, その変化傾向を比較した. 負担の異なる 4 種類の作業を 1 セットとして,26 セット分の作業を連続して計測した. 計測の結果, 作業中盤の 13 セットでは心拍数が負担の変化と同じ傾向で変動していたが, 終盤の 7 セットではまた心拍数の変動が見られなくなった. このことから, 心拍数変動の傾向は疲労の蓄積や作業の慣れと関係があり, 動作情報と合わせて計測することで, 疲労などをより正確に把握できる可能性が示唆された.

主観的負担の作業中記録手法では, 作業中に痛みや負担を感じた際に口頭で負担を感じた部位を述べ, その音声を記録することで, 作業後の聞き取り調査よりも詳細に負担を感じた瞬間を調査した. また, 負担を感じたタイミングと作業中の筋電位計測値を比較し, 主観的な負担のモデル化を試みた. モデル化により, 約 7 割の確率で筋電位変化から負担を感じるタイミングを推定した.