

論 文 要 旨

申請者氏名 王 超

申請学位 博士(工学)

主論文題目 安心感を与える抱きつき形状による生体計測システムおよび
ニューラルネット構成法に関する研究

主論文要旨 (邦文は4,000字以内
外国語は2,000語以内)

近年の医療技術の進歩により、医用検査装置の高度化はもちろんのこと、日常計測装置が生活の中で幅広く使用されるようになってきた。日常計測装置では、計測の精度とともに計測の容易さや使用感の良否も重要な要素となる。そこには、計測のための医用電子・情報技術的な側面に加えて、工業デザインや感性工学的な側面が必要となる。日常的な計測や、身近な医院における小児医療においては、スムーズな診断や治療のために、患児の不安や症状を和らげることが大切である。小児の不安解消のために、抱っこやスキンシップは有効な手段の1つである。そこで、抱っこやスキンシップの有効性に基づく「抱きつき型」の計測システムならば、不安を解消しつつ医療計測を行うことが可能になると考える。

電子技術の進歩により、さまざまなセンサや小型のコンピュータが開発され、手軽に利用できるようになった。そこで、生体信号を計測できるセンサからのデータをマイコン経由で処理することで、計測のためのシステムのプロトタイプを構成し実験を行うことができる。これにより、実際のシステム開発や製品化に先立って、開発するシステムの有効性や可能性を検証することができるようになった。情報技術の進歩により、機械学習や深層学習による信号判別や画像認識が実用化されるとともに、より身近なものとなった。画像認識の応用として、顔画像から感情を推定する方法が提案された。この方法では、エクマンによる表情と感情の関係に基づいて、顔画像から7種類の感情を推定する。また、画像認識の他の応用として、顔の動画画像から直接医療計測を行うさまざまな方法が研究されている。感情を推定しフィードバックすることや、動画画像から非接触で計測を行うことは、不安を緩和しつつ医療計測を行うために有効と考えられる。機械学習や深層学習は、近年盛んに研究され、さまざまなモデルや手法が提案・実現されてきた。3次元空

間における姿勢や挙動の表現のために高次複素数である四元数を用いることができ、生体計測においては体の動きや姿勢によるデータがしばしば用いられる。四元数を直接取り扱うことができる機械学習や深層学習法が検討されてきた。四元数に拡張した機械学習法は、本研究で対象とする計測システムにも有効と予測する。

以上のような医療技術、電子技術、情報技術等の背景に注目し、本研究では抱きつくことで安心感を与えつつ生体信号を計測する医療計測システムを開発するためのプロトタイプを作成するとともに、画像認識等の技術によって不安感を緩和する機能を追加することでシステムを拡張すること、そのための機械学習・深層学習法を提案することを目的とした。具体的には、バイタルサイン計測のための生体状態評価システムの構成、生体状態評価システムへの機械学習およびニューラルネットの導入、四元数に拡張したニューラルネットと生体状態評価システムへの応用を目的とした。

まずは、バイタルサイン計測のための生体状態評価システムの構成に取り組んだ。医療の分野において、体温・心拍・血圧・呼吸のバイタルサインは重要であり、ウェアラブルセンサや画像による非接触計測など、さまざまな手法が研究されている。特に小児患者においては、不安や症状を和らげつつ計測する必要があり、その解決法として抱きつき型の生体状態評価システムを提案した。マイコンとセンサによる簡便なシステムを構成し、計測の可能性と有効性を検証した。続いて、上記で検討した生体状態評価システムへの機械学習およびニューラルネットの導入に取り組んだ。機械学習やニューラルネットを用いて、顔の画像等から生体状態や感情を推定する方法が研究されている。そこで、患者の不安や症状を軽減するために、抱きつき型の生体状態評価システムに対し、表情認識による感情状態や、顔動画によるバイタル情報の非接触計測の導入を提案した。さらに、表情認識による感情推定と、顔動画による心拍推定の可能性を検証した。さらに、四元数に拡張したニューラルネットと生体状態評価システムへの応用に取り組んだ。3次元空間における幾何学演算や姿勢表現に四元数は有効であり、ニューラルネットの四元数への拡張が提案されている。3次元空間内における、結果から原因の推定手法の1つとして、四元数ニューラルネットによる逆問題解法を提案した。さらに、四元数ニューラルネットを、抱きつき型生体状態評価システムの姿勢推定に適用し有効性を示した。

本論文は6章で構成され、各章の内容は以下の通りである。

第1章「序論」では、本研究の意義や目的などを示した。

第2章「生体信号計測および機械学習、ニューラルネット」では、研究背景として人口動態と高齢化・少子化の傾向について概観し、小児医療や日常計測の重要性を明らかにした。続いて、本研究で対象とする生体信号、特にバイタルサインとその重要性について述べ、その測定に使われる方法およびセンサについて解説した。さらに、生体信号や生体状態の解析、推定に関わる機械学習やニューラルネットについてその特徴を解説した。

第3章「バイタルサイン計測を目的とした生体状態評価システムの構成」では、マイコンとセンサによる生体状態評価システムを構成し精度と有効性を検証した。医療の分野に

において、体温・心拍・血圧・呼吸のバイタルサインは重要であり、ウェアラブルセンサや画像による非接触計測など、さまざまな手法が研究されている。特に小児患者においては、不安や症状を和らげつつ計測する必要があり、その解決法として抱きつき型の生体状態評価システムを提案した。抱きつき型生体状態評価システムの有効性を示すために、マイコンとセンサによって4つのバイタルサインである体温、心拍、血圧、呼吸を測定し感情状態を推定するシステムを、簡便なセンサとマイコンで実現した。体温はサーミスタによる温度センサ、心拍は光電脈波センサ、血圧はもう1つの光電脈波センサによる脈波伝搬速度(PWV)、呼吸は呼気による温度変化をサーミスタ温度センサで測定することとした。実際にマイコンとセンサによる簡便なシステムを構成し、計測の可能性と有効性を検証した。

第4章「生体状態評価システムへの機械学習およびニューラルネットの導入」では、前章で提案、検証した生体状態評価システムへの追加機能として、動画による表情認識や心拍測定のための機械学習やニューラルネット手法の検証を行った。近年、機械学習やニューラルネットを用いて、顔の画像等から生体状態や感情を推定する方法が研究されており、患者の不安や症状を軽減することを目的として、抱きつき型の生体状態評価システムに対して、表情認識による感情状態の推定法や、顔動画によるバイタル情報の非接触計測法を導入することを提案した。具体的には、表情認識による感情推定と、顔動画による心拍推定の可能性と有効性を検証した。表情認識による感情状態の推定では、表情から推定した感情を提示して注意を引き不安を和らげることを目的とし、エクマンによる7種類の表情を深層学習によって学習したモデルを用いて感情推定を行った。実際にWebカメラとLCDディスプレイをRaspberry Piマイコンに接続し、感情に合った顔文字を表示するシステムを構成し、有効性を検証した。続いて、表情認識の応用として、表情認識によるロボットの動作選択を提案して有効性の検証を行った。本学工学部で開発が行われている孤独感軽減ロボットを想定し、表情認識で推定した感情に基づく動作選択法を導入することを提案した。ラッセルの円環モデルに基づき感情を表す物理量を2次元で評価し、感情を中立に誘導することを目的とし動作を選択することとし、仮想空間内で動作するロボットを用いて動作を検証し有効性を示した。さらに、ユーザの快適性と動きの制限を改善するために、抱きつき型生体状態評価システムに非接触計測法を導入することを提案し、顔動画によるバイタル情報の非接触計測法として、顔動画による心拍測定の可能性と有効性を検証した。

第5章「四元数に拡張したニューラルネットと生体状態評価システムへの応用」では、四元数に拡張したニューラルネットによる一つの手法を提案し、生体状態評価システムへの導入の有効性を検証した。3次元空間における幾何学演算や姿勢表現に四元数は有効であり、ニューラルネットの四元数への拡張が提案されている。3次元空間内における、結果から原因の効率的な推定手法の1つとして、四元数ニューラルネットによる逆問題解法を提案しその効果を検証した。さらに、四元数ニューラルネットを抱きつき型生体状態評価システムの姿勢推定に適用することを目的とし有効性を検証した。

第6章「結論」では、本論文の各章で得られた結果を総括した。

以上本研究では、人に安心感を与える計測システムを目指し、抱きつくことで呼吸や心拍、体温、血圧のバイタルサインを測定するシステムの開発を行った。バイタルサインの計測を目的とした抱きつき型の生体状態評価システムの構成の検討および実験を行い、さらにこのシステムへの機械学習およびニューラルネットの導入を提案および計算機実験を行った。その結果として、抱きつき型生体状態評価システムはバイタルサイン計測の形態として有効であること、さらに機械学習やニューラルネットによるさまざまな付加機能が追加可能で拡張性や可能性に優れたシステムであることを示した。加えて、四元数に拡張したニューラルネットの一手法を提案し、抱きつき型の生体状態評価システムへの応用の有効性を検証することで、さらなる拡張性や可能性を示した。本研究で提案・検証したシステムは、人に安心感を与えつつ生体信号を計測するものとして、医療計測や日常計測に寄与するものと期待される。