

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

フリガナ 氏名 (姓、名)	リ ミラン LEE Miran	授与番号 甲 1535 号
学位の種類	博士(工学)	授与年月日 2021 年 9 月 25 日
学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項該当者 [学位規則第 4 条第 1 項]	
博士論文の題名	Pain Facial Expression for Patient Robot based on Musculoskeletal Pain Inference (筋肉関節痛の推論に基づく患者ロボットの疼痛表現)	
審査委員	(主査) 李 周浩 (立命館大学情報理工学部教授)	野間 春生 (立命館大学情報理工学部教授)
	満田 隆 (立命館大学情報理工学部教授)	
論文内容の要旨	<p>本論文では、介護教育において訓練生の介護能力を向上させ、介護環境において患者の痛みと感情に対して即座に対応できる能力を養える介護ロボット・モニタリングシステムを提案・検証している。具体的には、介護作業の Range of Motion (ROM) 運動の教育において、感情や苦痛の強さを実際の人間のように顔の表情から表現できる患者ロボットを開発することを目標としている。この目標を実現するために、「患者ロボット・モニタリングプログラムの開発」、「痛み推論」、「感情変化トラッキング」、「表情アバターの実現」の 4 つの手法が提案される。</p> <p>最初に、「患者ロボット・モニタリングプログラムの開発」において、患者ロボットは高齢者の筋肉収縮や麻痺を再現し、専門家の介護能力データを基にグラフによるモニタリングプログラムが開発された。4 人の訓練生が、このモニタリングプログラムにより 30 分間の介護訓練を実施した結果 (肘運動の例)、ロボットの関節 Torque と手首の把持圧力換算値がそれぞれ訓練前より 5.06Nm と 4.86 減少していることが確認された。また、提案するロボットに対するアンケートにおいて、専門家 4 人の平均点数は親密度 3.25、人間の関節の動きとの類似性 2.75、使用満足度 3.75、有用性 4.5 点と評価され(各項目につき満点は 5 点)、患者ロボットの有用性を確認した。しかし、本モニタリングプログラムによる介護教育は、専門家の意見によると、患者の痛みを即座に知ることができず、訓練生の視線がモニターに集中しているため、患者ロボットの痛みをリアルタイムで知ることができる痛み表現手法が求められる。従って、本論文では患者ロボットの痛み表情を再現すべく「痛み推論」方法を提案した。</p> <p>「痛み推論」の具体的な方法としては、患者ロボットの筋肉関節痛を推論するための技法として Fuzzy Logic を採用し、ロボットの肩と腕に付着した角度、圧力、力センサーから獲得したデータを解析し、専門家の意見を基に 81 個の Fuzzy ルールを生成して痛みを推論する。この自動化方法による結果で、介護教育中にロボットが感じる痛みをリアルタイムで確認することができた。ロボットが感じる痛み(0~10)を推定した結果、特に訓練生グループ(4 人)の結果は専門家グループ(4 人)より平均 0.59 (SED: Shoulder</p>	

	<p>complex elevation and depression)、1.81 (SLM: Shoulder complex lateral and medial rotation)、1.41 (EEF: Elbow complex extension and flexion) 大きく、これは訓練生グループが関節の角度、圧力、関節 Torque において一定範囲を超えてしまい、ロボットに大きな痛みを与えた可能性があるという結果を示す。本手法で、訓練生の介護能力のリアルタイムかつ直観的なモニタリングを達成した。</p> <p>次に、医療マネキンと比較すると患者ロボットの最も主要なメリットは感情表現であるという専門家の意見と参考文献に従い、ロボットの「感情変化トラッキング」方法を提案した。患者ロボットの感情表現は、介護作業をする訓練生の表情に基づき、カメラから訓練生の顔のイメージを獲得して 68 個の特徴ポイントを抽出し、15 個の特徴ベクトルを生成して 7 つの顔の表情について表情強度を測定した。訓練生の表情認識手法を評価するために 41 名の被験者からイメージを獲得し、Precision は 92.3%、Recall は 91.9%となり、全体認識正確度は 91.9%を達成した。また、評価された訓練生の表情認識技法により獲得した表情の強度を使ってロボットの感情変化をトラッキングする方法を提案した。Talkative、Shy、Smiling の 3 つの性格によるロボットの感情変化モデルを生成した結果、訓練生の表情が同じであってもロボットの性格によってロボットの感情変化に有意な差があることを確認した。</p> <p>最後に、先に提案した痛み推論と感情表現をロボットのアバターで表現するために、プロジェクター基盤の「表情アバターの実現」を行なった。本手法における主要なアイデアは、低コストとロボットの顔を容易に変形するため、プロジェクター基盤のロボットアバターを使用することである。アバター生成のため、41 人の被験者から 7 つの顔表情及び痛みの表現イメージを獲得した。特に、41 人の被験者は 20 代、40 代、50 代、60 代と同等に区分された。既存の痛み表現データベースは、アジア人のデータが不足しており、年代が限定的で、痛みや感情表現の両方を含む顔表情データベースが欠如していることから、本論文で生成した顔表情及び痛み表情データベースを公開することで様々な分野に活用できるように貢献ができた。</p> <p>結果として、患者ロボットの開発、痛み推論、感情変化トラッキング、表情アバター生成の手法がすべて統合され、痛み推論手法に基づく患者ロボットを用いた介護教育システムが完成できた。</p>
<p>論文審査の結果の要旨</p>	<p>本論文では、介護教育環境における訓練生の介護能力向上のため、高齢者の関節の動きを再現する患者ロボットを開発し、効果的なフィードバック方法のため患者ロボットの痛みを推定し、感情表現を生成する手法を提案した。さらに、痛みと感情表現をアバターで生成して表現する技法を提案した。</p> <p>本手法を用いることにより、訓練生は介護技術の習得のみならず、フィードバックのない静的な医療マネキンと比較して提案する患者ロボットのアバターから現在の痛みや感情をリアルタイムでモニタリングすることにより、即座に患者さんに対応できる訓練を行うことが可能となる。また、これまで人の手で行った介護能力のモニタリングが、痛みの推論方法によって自動化され、リアルタイムで訓練生の能力を評価することができ、訓練生同士が役割代行として行われた介護教育をロボットが代わりに行うことで介護教育が非対面に行われる可能性があるため、作業効率化にもつながる可能性がある。</p>

	<p>特に結果の部分で、訓練生と専門家のロボットを利用した介護能力に有意差が出た結果と、訓練生がロボットを利用した後に ROM 運動をよく理解し遂行できたという評価結果から、提案する患者ロボットは介護能力を定量的に評価し訓練効果を客観化できる可能性がある。最後に、本論文では 41 名の日本人から痛みや感情を表現した実顔をイメージ獲得し、データベースを生成したことも高く評価でき、これまでアジア人の痛みと感情の顔イメージを含むデータベースがなく、特に 20 代、40 代、50 代、60 代の様々な年代で同等にデータを獲得したことも評価できる。今後、本データベースが顔表情認識、痛みや感情表現認識、イメージプロセッシングの分野で公開データベースとして活用されることが期待される。</p> <p>公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は本研究科の博士学位論文審査基準を満たしており、博士学位を授与するに相応しいものと審査委員会は一致して判断した。</p>
<p>試験または学力確認の結果の要旨</p>	<p>本論文の審査に関して、2021 年 7 月 27 日（火曜日）15 時から 16 時までにオンライン（Zoom）で(新型コロナウイルス感染拡大に対する立命館大学の行動指針に従って)公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明後、審査委員は学位申請者に対する口頭試問を行った。審査委員および公聴会参加者より、ロボットの感情変化と痛みの表現との関係、ロボットサイズ的设计がされた基準データ、人間と比較した際、ロボットの物理的な大きさと重さ、提案する方法を用いた評価実験などについて質問がなされ、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。主査および副査は、公聴会の質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい能力を有することを確認した。</p> <p>以上の諸点を総合し、審査委員会は、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、学位申請者に対し「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。</p>