

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：33603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16468

研究課題名(和文) 誤り動作・注視行動の定量化に基づくMCI早期スクリーニングの基盤技術開発

研究課題名(英文) Development of basic technology for early MCI screening based on quantification of errors and gaze behaviors

研究代表者

山口 武彦 (Yamaguchi, Takehiko)

諏訪東京理科大学・工学部・講師

研究者番号：50713442

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、VR技術を用いて構築されたIADLタスク環境において計測したタスク中の手の振舞、視線(注視行動)情報を用いて、タスク中の誤り行動(Omission error: OE, Commission error: CE, Micro-error: ME)を識別するためのモデル開発を目的とした。提案モデルを実現するための技術的な課題である、IADLタスクにおけるMCI患者のOE, CE, MEの行動、注視行動の定量化、定量化されたOE, CE, MEから有効な特徴量を選定、を解決し、MCI患者と健常者の誤り動作プロセスの識別モデルを開発した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aimed to develop a model to identify error behaviors during VR-IADL task. Specifically, we developed a proposed model using information on hand behavior and gaze behaviors in tasks measured in the IADL task environment constructed using VR technology. In the development of the proposed model, we solved the following two problems. (1) Quantification of OE, CE, ME actions, gaze behaviors of MCI patients in IADL task, (2) Effective feature quantities selected from quantified OE, CE, ME.

研究分野：情報工学

キーワード：MCI早期発見 VR-IADL 行動特徴解析 Virtual Reality Micro-error

1. 研究開始当初の背景

国立社会保障・人口問題研究所の推計によれば、我が国の総人口は減少傾向にある一方、高齢者人口は今後も 2020 年まで急速に増え続ける傾向にある。そのため高齢化率は上昇し続け、2015 年には 26.0%、2050 年には 35.7%に達すると見込まれている。国際的に高齢化率が 14-21%である場合、高齢化社会と定義されるが、我が国の場合、その定義を大幅に超える超高齢化社会の到来が推測されている。従って、それに伴う社会福祉の充実化や、医療分野のさらなる発展が急務とされる。

後期高齢者の急増を迎える超高齢社会における最大の特徴の一つは、認知症高齢者の増加である。厚生労働省の報告によれば、65 歳以上の高齢者における認知症の有病率は推計 15% (平成 22 年度) であり、当時の人口推計から認知症高齢者の推計値は約 462 万人と報告されている。さらに軽度認知障害 (MCI) の推定有病率は 13%であり、2012 年度の高齢者人口に当てはめると約 400 万人が MCI 高齢者と推計されると報告されている。

MCI は正常老化過程と認知症の限界領域として定義され、近年 MCI を対象とした多くの臨床的、疫学的研究が国内外で実施されている。これらの報告によれば、MCI の約半数は 5 年以内に AD に移行することが分かっている。しかし、MCI は、適切なリハビリを行うことで正常な認知機能まで回復する可能性がある。つまり、AD の根本的治療法が確立されていない現状においては、MCI の早期診断および早期介入による治療が、認知症予防の観点から極めて重要な課題であると言える。

MCI の早期診断を行うためには、早期スクリーニングが必須となる。従来のスクリーニング検査は、認知機能の検査に焦点が当てられ、特に fMRI による脳画像診断や、質問紙を用いた記憶検査などが主に用いられてきた。しかし近年、MCI 患者は、ADL (日常生活活動) よりも複雑で高次の動作群である IADL (手段的日常生活活動) において、機能低下が見られることが分かっており、MCI を特定する新たなスクリーニング指標として、行動指標に着目する必要性が示されてきている。実際、IADL は日常生活の大部分を占める軽強度の身体活動など、高齢者の健康状態に関連する運動以外の重要な因子を潜在的に含んでいる。しかし、現状では、IADL における機能低下の性質は明らかになっておらず、また、機能低下を検出する技術も確立されていない。

申請者はこれまで、Virtual Reality(VR)技術を用いて仮想空間上に IADL タスク (コーヒー作成やサンドウィッチ作成など) を実装し、AD 患者の再学習を目的としたリハビリシステムの開発を海外の研究機関と共同

で行ってきた。具体的には、音韻的作動記憶である音韻ループを外部から刺激し活性化させ、IADL タスクの再学習率の向上を促進するシステムや、仮想空間内に自律的に行動する人型エージェントを配置し、エージェントとの協調学習を通してエラーレスラーニングを実現するシステムを開発し、その効果を検証してきた。

これらのシステムは、患者の認知機能を向上させるために設計された訳だが、システムの要求分析を行う過程では、患者が起こす誤りや注視行動の傾向を考慮し、どのような情報提示を行えば効果的に学習を促進できるかを検討している。つまり、必要なことを省く omission error (OE), すべき事と異なることを行う commission error (CE) (CE は、無関係な行為、順序の誤りなど様々な誤りのタイプに分類される) などの誤りの傾向を分析し、それらの誤りが患者に発生する事を防ぐ、あるいは発生したとしても効果的に回避可能な情報提示系の設計を行ってきた。

上述した様に、MCI 患者の IADL における機能低下の性質は明らかになっていないが、OE や CE, Micro-error (ME) などの誤り動作の傾向を分析することで、MCI と健常者の特徴を分離できる可能性がいくつかの研究によって示されている (Giovannetti, 2008; De Vriendt, 2012)。しかし、従来研究の誤り動作の評価法は、観察法によるビデオ映像解析 (IADL タスクをビデオ撮影し、複数の観察者がエラーの生起回数を報告する方法) が用いられているため、解析結果に観察者の主観が影響するという問題があった。

2. 研究の目的

本研究では、VR 技術を用いて構築された手段的日常生活活動 (IADL) タスク環境において計測したタスク中の手の振舞、視線 (注視行動) 情報を用いて、タスク中の誤り行動 (Omission error : OE, Commission error : CE, Micro-error : ME) を識別するためのモデル開発を目的とした。

(1) IADL タスクにおける MCI 患者の OE, CE, ME, 注視行動の定量化

OE, CE, ME とその時の注視行動を定量的に計測するための数理モデルの開発を目指す。IADL タスクは、現実の物理世界を反映させた VR 空間に構築し、タスク中の患者の手の位置・姿勢は 3 次元モーションセンサーを用いて計測する。視線の計測には、視線計測器を用いる。特異スペクトル変換法などの変化点検出技術や異常検知のアルゴリズムを応用し、得られた時系列点から OE, CE, ME とその時の注視行動の特徴量を抽出する。

(2) MCI 患者と健常者の潜在的な誤り動作

プロセスと生起傾向のモデル化

誤り動作の生起パターンは、脳機能障害の程度を推測するための重要な情報を含んでいる。実際、健常者や MCI における OE や CE の生起頻度には統計的有意差があることが分かっている。本研究では、定量的に測定した OE, CE, ME とその時の注視行動の特徴量に基づき、OE, CE, ME と注視行動の生起プロセスの理解とモデル化を進める。また、様々な健常者と MCI 患者の OE, CE, 注視行動を定量的に比較することで、潜在的な誤り動作の生起傾向の原理を抽出し、それを説明可能なモデルを構築する。

3. 研究の方法

本研究では、Virtual Reality 技術を用いて、仮想空間内に IADL 空間を設計し、IADL タスクが実行可能なシステム構築(VR-IADL)を行う。本研究では、基本的な VR-IADL タスクとして、ランチボックスの準備タスクと、コーヒーとトーストの準備タスクを開発した。

(1) VR-IADL タスクの実装、およびシステムのユーザビリティ評価

OE, CE, ME および注視行動を測定する環境の構築を行う。IADL タスクは、これまで開発してきたシステムを応用し、VR 空間内にランチボックス、コーヒー作成のタスクを実装する。タスク内には、妨害刺激を提示可能にし、その提示数を調整することで、OE, CE, ME の生起回数の変化を観察可能なシステムを構築する。タスクの操作系には、タッチパネルを採用し、高齢者が直感的に操作しやすい環境を構築する。タスク中の患者の手の 3 次元位置・姿勢は、3 次元モーションセンサーで取得し、視線は、グラスタイプの視線計測器を用いて測定する。

(2) ビデオ映像解析による OE, CE, ME のコーディング

開発した VR-IADL タスクを用いて、MCI 患者、健常者を被験者としたデータ収集実験を行う。実験中はビデオ撮影を行い、撮影した映像はビデオ映像解析法を用いて解析する。撮影したビデオ映像を解析し、生起した OE, CE の分類、生起回数、生起のタイミング、OE, CE の持続時間、OE, CE からの復帰時間など、またその時の注視行動の分類などを行う。

(3) 定量化された特徴量に基づく、OE, CE, ME, 注視行動のモデル化

収集した被験者のデータを用いて OE, CE, ME と注視行動の特徴量を抽出し、それらの

振る舞いを記述するモデルの構築する。また、構築したモデルの感度評価を行う。正解の指標は、ビデオ映像解析法を用いて解析した結果を用いる。感度評価の結果によっては、モデルの再検討を行い、精度の向上を目指す。

4. 研究成果

(1) Micro-error (ME)の識別モデルに関する研究

VR-IADL タスク中に計測した指の 3 次元位置・姿勢データから速度を求め、指の 2 点間到達運動の性質に基づき速度の時系列データをセグメンテーションする。各セグメント区間から基本統計量、自己回帰係数の算出を行い、各セグメント区間の特徴量とした。事前のビデオ解析により求めた ME のコーディング結果を参照し、ME が発生した区間とそうでない区間の特徴量をソートし、トレーニングデータを作成した。作成したトレーニングデータを用いて機械学習にかけた結果の一部を表 1 に示す。尚、識別モデルは、ME の中の Reach Touch(RT)と Reach No Touch(RNT)の 2 種類のエラーに注目し作成した。

表 1. ランチボックスタスクにおける ME の検出精度

ME	識別精度	感度	特異度
RT と RNT	66.7%	88%	45%
RNT	68.6%	77%	60%
RT	83.3%	78%	89%

結果より、RT のみの検出モデルでは 83.3% と高い精度の識別モデルの作成を行うことができたのに対し、RNT を含む検出モデルでは精度の低いモデルとなった。今後の展望として、特徴量抽出法、セグメンテーション法の見直しを行い検出精度の向上を目指す。

(2) Micro-error (ME)の特徴量抽出のためのルール生成に関する研究

機械学習を用いる一つの利点は、トレーニングデータと教師データの間の関係性を自動的にモデル化する事にあるが、その過程がブラックボックスであるため、ルール生成が不明確となり、特徴量の有効性を議論しづらいと言う問題点があった。本研究では、帰納的論理プログラミング (Inductive Logic Programming; ILP) を用いて ME の発生している区間とそうでない区間から ME 発生過程のルール生成を行った。使用したデータは、VR-IADL タスク中に計測した指の加速度の時系列データを用いた。生成されたルールの一部を以下に示す (MCI 患者の測定データから生成したルール)。

Rule 1 [5.1] +rt(A):- motion(A,B,take), after_event(A, sugar4), speed_diff(A,B,C,upmiddle,long), speed_diff(A,C,D,upmiddle,long)

Rule 2 [5.0] +rnt(A):- motion(A,B,pauses), after_event(A, jelly1)

Rule 3 [6.2] +rnt(A):- motion(A,B,pauses), after_event(A, toast3), speed_diff(A,C,D,downLow,long)

MCI 患者, 健常高齢者の計測データから生成したルールは, それぞれ特徴的なものとなっており, 特徴量の選定にはこれらの違いを考慮した上で行う必要がある事が分かった.

(3) MCI と健常高齢者の識別モデルに関する研究

本研究では, VK システムが出力するデータからタブレット操作時の指のスクリーン位置を抽出し, スクリーンに接触/非接触の 2 状態を表す数理モデルを作成した. これより, タスク達成時間 AT と指のスクリーン非接触時間の比を算出した.

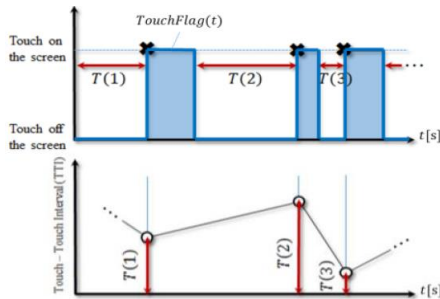


図 1. TTI の概念

また, 各接触タイミング間の変動を表す Touch-Touch Interval (TTI) という量を定義した (図 1). 各被験者の TTI 両軸平均を混合ガウスモデルでクラスタリングした結果を図 2 に示した. さらに, 指の位置データから計算して得られた速度データを用いて 10 次元の自己回帰モデルを構築し, これらの係数と先に求めた量 (26 次元) を特徴量として機械学習にかけた結果, MCI と健常高齢者の識別精度は, 感度: 100%, 特異度: 83%であった. MCI の診断に広く用いられている MMSE (Mini Mental State Examination) の識別率 (感度: 45-60%, 特異度: 65-90%) よりも高い精度が示したことから, 行動特徴量を用いた MCI と健常高齢者の識別モデルの有用性が示唆された.

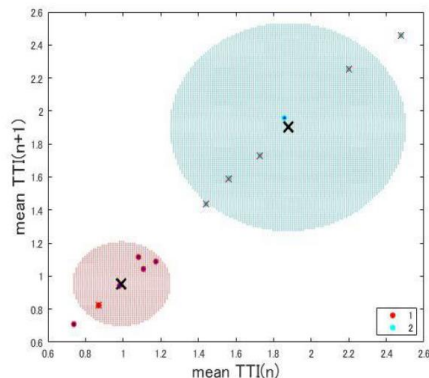


図 2. 平均 TTI のクラスタリング結果

(4) VR-IADL における認知負荷が注視行動に与える影響に関する研究

本研究では健常者を対象とした VR-IADL タスク遂行における眼球運動の解析を行った. 健常者を用いて MCI 患者の状態をシミュレートするため, 被験者には IADL タスクと並行してもう一つのタスク (デュアルタスク) を行ってもらった. 従って, 本研究ではデュアルタスクによる認知負荷の有無によりタスク中視線の動きに差が出るかどうかを調査することで, 認知負荷がある状態の時の注視行動の性質を明らかにすることを目的とした. 実験により, 認知負荷の有無により視線の性質に変化があることが分かった. 結果の一部の例として, 図 3 にベースラインタスク (画面の中心に視線を注視したまま数秒静止する) における中心からの視線のばらつきの違いを示す.

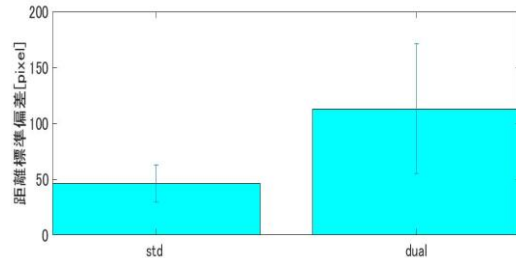


図 3. std (認知負荷なし) と dual (認知負荷あり) の中心点からのばらつきの違い

注視行動から算出した特徴量を用いて機械学習による識別モデルを作成した. 最終的な識別率は, 87% (感度 92%, 特異度 83%) となった. 今後は MCI 患者や健常高齢者のデータも合わせて詳細に研究する予定である.

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 2 件)

- ① N. P. Martono, K. Abe, T. Yamaguchi, and H. Ohwada, 2018, An Analysis of Motion Transition in Subtle Errors using Inductive Logic Programming: A Case Study in Approaches to Mild Cognitive Impairment, International Journal of Software Science and Computational Intelligence, 10(1), 27-37, DOI:10.4018/IJSSCI.2018010103
- ② N. P. Martono, T. Yamaguchi, T. Maeta, H. Fujino, Y. Kubota, H. Ohwada and T. Giovannetti, 2016, Clustering Finger Motion Data from Virtual Reality-Based Training to Analyze Patients with Mild Cognitive Impairment, International Journal of Software Science and Computational

[学会発表] (計 12 件)

- ① N. P. Martono, **T. Yamaguchi**, H. Ohwada, Early diagnosis of mild cognitive impairment: A case study in approaches to inductive-logic programming, 2017 IEEE 16th International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing, 2017, p.p262-267
- ② Y. Kubota, **T. Yamaguchi**, T. Harada, **T. Giovanetti**, 2017, Characterization of Mild Cognitive Impairment Focusing on Screen Contact Data in Virtual Reality-based IADL, Human-Computer Interface International Conference 2017, Vancouver, Canada
- ③ K. Abe, N. P. Martono, **T. Yamaguchi**, H. Ohwada, **T. Giovanetti**, 2017, Discovering Rules of Subtle Deficits Indicating Mild Cognitive Impairment Using Inductive Logic Programming, Human-Computer Interface International Conference 2017, Vancouver, Canada
- ④ N. P. Martono, K. Abe, **T. Yamaguchi**, H. Ohwada, **T. Giovanetti**, 2017, Generating Rules of Action Transition in Errors in Daily Activities from a Virtual Reality-based Training Data, Human-Computer Interface International Conference 2017, Vancouver, Canada
- ⑤ T. Hauser, J. Klein, P. Coulomb, S. Lehman, **T. Yamaguchi**, **T. Giovanetti**, C. C. Tan, Wearable Computing Support for Objective Assessment of Function in Older Adults, Human-Computer Interface International Conference 2017, Vancouver, Canada
- ⑥ Y. Kubota, **T. Yamaguchi**, T. Maeta, Y. Okatda, Y. Miura, M. N.Prasasti, H. Ohwada and T. Giovanetti, 2017, Feature Extraction based on Touch Interaction Data in Virtual Reality-based IADL for Characterization of Mild Cognitive Impairment, HUCAPP 2017 : 1st International Conference on Human Computer Interaction Theory and Applications, Porto, Portugal
- ⑦ Y. Kubota, **T. Yamaguchi**, E. Verhulst, P. Richard and T. Harada, 2017, Association Between Human Error and Heart Rate Variability in Virtual Reality-based IADL The preliminary study for MCI characterization,

International Workshop on Advanced Image Technology 2017, Penang, Malaysia

- ⑧ N. P. Martono, **T. Yamaguchi** and H. Ohwada, 2016, Utilizing Finger Movement Data to Cluster Patients with Everyday Action Impairment, 15th IEEE International Conference on COGNITIVEINFORMATICS & COGNITIVE COMPUTING, California, USA
- ⑨ 窪田雄紀, **山口武彦**, 原田哲也, 2017, VR-IADL 環境における行動特徴量を用いた MCI と健常高齢者の識別モデル, 第 26 回ライフサポート学会フロンティア講演会
- ⑩ 岡田庸佑, **山口武彦**, 前田拓也, 三浦巧人, 原田哲也, **Tania Giovannetti**, 2017, VR-IADL タスクにおける Micro-error 検出のための特徴量抽出に関する基礎的研究, 第 26 回ライフサポート学会フロンティア講演会
- ⑪ **山口武彦**, 2016, 振る舞い・注視行動に基づく認知・運動機能障害者の行動特徴化, 平成 28 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
- ⑫ 窪田雄紀, **山口武彦**, オレリィ バーロスト, ポール リチャード, 原田哲也, 2016, VR-IADL における心拍変動の特徴解析 ~ 軽度認知障害早期発見のための予備的研究 ~, 第 85 回 福祉情報工学研究会

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称: 判定値算出装置, 方法, 及びプログラム, マイクロエラー発生判断装置, 方法
発明者: 山口武彦
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特許願 2018-052167 号
出願年月日: 平成 30 年 3 月 20 日
国内外の別: 国内

名称: 被験者判断装置、方法、及びプログラム
発明者: 山口武彦
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特許願 2017-033899 号
出願年月日: 平成 29 年 2 月 24 日
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.vrdatascience.com/>

6. 研究組織
(1) 研究代表者

山口武彦 (YAMAGUCHI, Takehiko)
諏訪東京理科大学・工学部・コンピュータメ
ディア工学科・講師 研究者番号：50713442

(2) 研究協力者

Tania Giovannetti
テンプル大学・心理学科・准教授