

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：23604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K12118

研究課題名(和文) IADLにおける微かな行動の淀みの工学的モデル化：MCIの早期発見技術への応用

研究課題名(英文) Engineering Modeling of Micro-Error in IADL: Application of MCI to Early Detection Techniques

研究代表者

山口 武彦 (Yamaguchi, Takehiko)

公立諏訪東京理科大学・工学部・准教授

研究者番号：50713442

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、Micro-error(ME)と呼ばれるIADLタスク中の動きの淀みの認識技術を確立するため、その発生条件に関する調査を行った。また、時系列の動作データからMEを認識するために動作プリミティブと呼ばれる動き最小単位に着目し、IADL動作をその単位に分割するためのセグメンテーション手法に関する研究を行った。発生条件では、IADLタスク中の困難度がMEの発生確率に影響を与えていることを明らかにした。また、セグメンテーション手法に関する研究では、93.7%の精度でMEを含む動作プリミティブ単位のセグメンテーションを実現するモデルを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的を達成したことにより、Micro-errorという行動指標に基づいたMCIのリスクやADへの進行度合いを定量的に可視化するための基盤技術が確立した。これにより、医療従事者が多角的な視点からMCIのリスクを判断でき、計測環境の簡易化も可能となるため、認知症の専門家不足に伴う診断の遅れといった問題の解消に貢献できる。さらに、専門家だけでなく介護者や患者自身にもリスクや進行度合いのフィードバックや共有が可能となる。従って、今後さらなる増加が予想される認知症患者に対するケアや予防において、大幅な人的・物理的医療コストの削減につながる。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to establish the recognition technique of the stagnation of movement during IADL task called Micro-error (ME), the generation condition was investigated. And, the segmentation technique for dividing the IADL action into the unit was studied from the viewpoint of motion minimum unit called motion primitive in order to recognize ME from motion data of the time series. In the generation condition, it was clarified that the difficulty in IADL task affected the generation probability of ME. And, in the research on the segmentation technique, the model which realized the segmentation of operation primitive unit including ME at 93.7% accuracy was developed.

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。

近年、軽度認知障 (MCI: Mild Cognitive Impairment) 患者は、日常生活活動 (ADL) よりも複雑で高次の動作群である手段的日常生活活動 (IADL) において、わずかな機能低下が見られることが明らかになってきた。従って、従来の質問紙法を中心とした認知機能のスクリーニング指標に加え、IADL における行動指標に着目する必要性が指摘されている。

MCI の IADL におけるパフォーマンスを評価する行動指標として、神経心理学領域では、微かな動きの淀みの特徴 (タスクに無関係なオブジェクトに手を伸ばしかけて躊躇するなど) をモデル化した micro-error (ME) が着目されており、タスク中の ME の発生頻度は、MCI と健常高齢者間で有意な差がある事が明らかになっている (Seligman & Giovannetti, 2014)。また、ME は、タスクの困難度 (タスクに無関係な妨害刺激の数や、タスクステップ数で調整) の変化に影響を受けやすく、困難度を高くした場合、発生頻度が劇的に増加する性質を持つことも明らかにされている。

申請者はこれまで、Virtual Reality (VR) 技術を用いて、IADL タスクを構築 (VR-IADL) し、タスク実行時の指の 3 次元位置・姿勢から算出した多次元的な行動特徴量を用いて、MCI と健常高齢者を識別するためのモデル構築に関する基礎研究を行ってきており、時系列行動データからの MCI の特徴化技術の確立に寄与してきた。そして、これらの技術を応用し、ME の自動認識技術の基礎研究を行ってきた。しかし、ME の工学的モデル化を進めて行くためには、ME の詳細な発生条件や、時系列のセグメンテーション基準、そして、セグメントレベルでの困難度との関連性についてより深い議論が必要となる。

これらの核心的な問いを解決することで、ME の性質に関する多角的な知見が得られ、ME の自動認識技術の向上に寄与できる。そして、ME と困難度などの環境変数との関連性も含めた、MCI の多次元的な行動プロファイル開発のための基盤技術の確立にもつながる。

2. 研究の目的

本研究では、(1) ME の発生条件のモデル化、(2) ME のセグメンテーション基準のモデル化を通して、VR-IADL における ME の工学的モデル化を実現することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) ME の発生条件のモデル化

VR-IADL タスクは、本質的にポインティングタスクの連続として構造化できる。従って、ME のセグメント基準や発生条件、そしてセグメント単位の困難度がポインティング動作単位でモデル化可能であるかを検証するため、コントロール課題として、Fitts's/Hick's law タスクが実行可能な環境も合わせて構築する。この環境においてタスクの外的要因が Micro-error の発生頻度に与える影響について検証する。

(2) ME のセグメンテーション基準のモデル化

VR-IADL 中の指の動きを 3 次元モーションセンサーで計測し、得られた位置データから速度を算出することで、タスク中の速度の時系列データを得る。このデータを用いて動作プリミティブを識別することを考えるが、そのためには時系列データを動作プリミティブ単位でセグメンテーションしなければならない。そこで、タスク中における動作をセグメンテーションするための基準について整理し、いくつかの基本的な動作にセグメンテーションを行うためのモデルを開発する。

4. 研究成果

(1) ME の発生条件のモデル化に関する研究

開発した VR-IADK には Lunchbox Task と Toast&Coffee Task があり、これらのタスクはタブレットの画面をタッチ、ドラッグして行う。例えば、Lunchbox Task は昼食としてパンにジャムとピーナッツバターを塗って作ったサンドウィッチとクッキー、ジュースを入れた水筒の 3 つを弁当箱に入れるタスクである。このタスクには環境上必要のない道具（妨害刺激）も存在する。

VR-IADL の情報提示は、ME の発生原因と考えられる視覚的要因などの外部要因が複雑に関わっている。そこで、本研究では ME の発生には直接寄与しないだろう視覚情報を取り除き、単純化したタスク環境を開発した。具体的には、VR-IADL のサブタスクを以下の 2 つの基本タスクに分解した。

- ①リーチングタスク：VR-IADL 上にあるオブジェクトをタッチするといった行動
- ②選択タスク：VR-IADL 上にあるオブジェクトから一つ選ぶといった思考・行動

これらの 2 つのタスクはそれぞれ Fitts's law と Hick's law でモデル化できると仮定し、実験用のタスクを開発した。Fitts's law タスクは、マンマシンインターフェースにおける人間の動作をモデル化したものである (Fitts, 1954)。モデル式を以下の式(1)に示す。また、式(2)は Index of Difficulty (ID) と呼ばれる。これはタスク実行時の難しさであり、操作性の困難度である。

$$MT = a + b \log_2(D/W + 1) \dots(1)$$

$$ID = \log_2(D/W + 1) \dots(2)$$

MT, D, W はそれぞれ、

MT = 運動時間 (Movement Time)

a/b = 計測データの推定値

D = ホームポジションからターゲット中心までの移動距離 (Distance)

W = ターゲットの大きさ (Width)

である。

Fitts's law および Hick's law のモデルを適用して開発したタスクを用いて、計測実験を行った。実験は、18 名の被験者の協力を得て行った。図 1 に、実験より得られた ID と ME の発生確率の関係について一般化線形モデルを用いてモデル化した結果を示す。

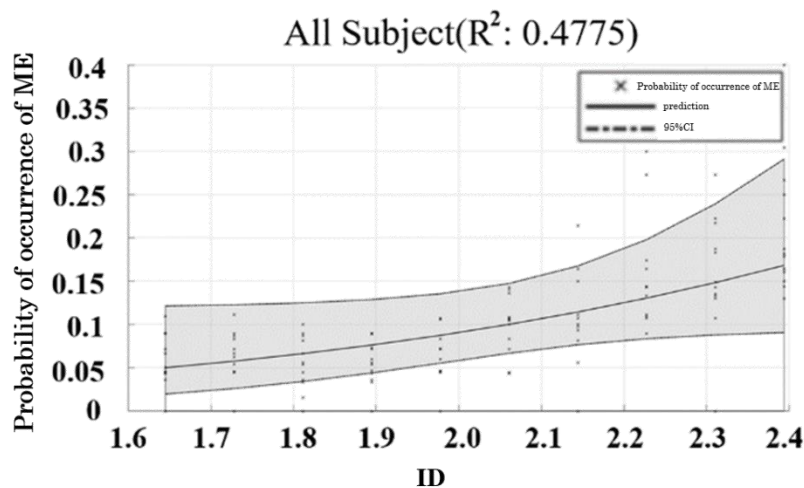


図 1. ID と ME の発生確率の関係 (一般化線形モデル)

この結果より、ID と ME の発生確率の間には、弱い相関関係があることが明らかになった。したがって、Fitts's/Hick's law に基づく困難度を調整することで、ある程度は ME の発生回数をコントロールできることが明らかになった。このことは、IADL タスクの設計において、ID の値に基づいた ME の発生確率の調整や、ME の認識モデルを開発する際の特徴量として利用できる可能性があることを示唆している。

(2) ME のセグメンテーション基準のモデル化

VR-IADL から取得されたデータからタスク中の動作の中から ME の認識モデルを構築する前段階として、動作データのセグメンテーション手法に関する提案を行った。タスク中の動作は、非常に複雑な動きが様々に関連しあい成立している。しかし、基本的なインタラクションに着目すると、タッチ、ドラッグに加え、ポインティング、静止を加えた 4 種類の動作に分類できることが明らかとなった。本研究では、最初の段階として、この基本動作を動作プリミティブと定義し、これらを分類可能なセグメンテーション手法の開発を行った。この研究では、健康な大学生を被験者として基礎的なデータを計測した。計測されたデータは、タスク中の被験者の指の 3 次元位置の時系列データである。この位置情報から速度を算出し、機械学習を用いてセグメンテーション点の識別を行った所、99.4%の精度で動作プリミティブを分類するセグメンテーション点を識別することが可能となった。

先行研究では、機械学習の教師データに健康者大学生のみ利用していた。しかし、この研究で開発したモデルを用いて、新たに、MCI 患者や健康高齢者で構成されたデータを用いて推定を行った結果、セグメンテーション点の識別精度が 64%に低下したことを確認した。原因として、健康高齢者や MCI 患者のデータには、健康大学生の動作には見られない特徴的なデータが含まれていたことが定性的な分析の結果明らかとなった。具体的には、タスク中に動作を決定するまでにさまようような動きをみせるワンダリング動作、そして、移動対象のオブジェクトに到着する寸前で速度が緩やかに低下し、到着位置を調整するかのよう動きが観測された。

ワンダリング動作や調整を含む動作といった高齢者特有の動作にも対応したセグメンテーションの識別モデルの開発を行った。解析データは、健康高齢者 4 名、MCI 患者 3 名のデータを用いた。ワンダリング動作や調整時間を含む動作は、それぞれ動作中の速度波形に特徴的な歪みが発生することが予備的な研究から明らかにされている。また、この歪みが生じるタイミングで誤ったセグメンテーション点が追加されてしまうことも明らかにされている。したがって、このことが全体のセグメンテーションの精度を低下させていると考えた。

誤って分割されてしまう区間の前後において、動作の単位方向ベクトルに何等かの特徴が含まれることを想定し、分割された区間のサンプル点毎の単位方向ベクトルをフォンミューゼス分布でモデル化した。フォンミューゼス分布は、(3)式で表現される確率密度関数である。この分布は、平均値 μ と集中度 κ ($\kappa \geq 0$) の 2 つのパラメータを持つ。集中度 κ の値が高いと平均値 μ に値が集中していることが示す。

$$F(\theta) = \frac{1}{2\pi I_0(\kappa)} e^{\{\kappa \cos(\theta - \mu)\}} \dots (3)$$

図 2 に誤ってセグメンテーションされた区間の例を示す。図の区間は、本来は 1 つの動作プリミティブを表す区間としてセグメントされるべき区間だが、速度波形の歪みが生じた部分で分割されている。図中の中心のセグメント点の前後のセグメント区間に着目し、それぞれの区間においてフォンミューゼス分布を用いたモデル化を行った。図中の赤いベクトルはセグメント区間内の平均方向ベクトルを示しており、青いベクトルはサンプル点毎の単位方向ベクトルを示している。この例では、誤って引かれたセグメント点に対してその前後で同じ向き平均方向ベクトルを示していたことから、調整時間を要する動きをしていたことが予想される。

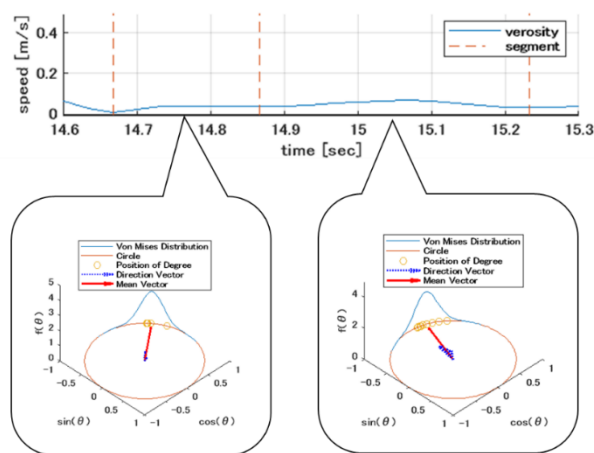


図 2. 調整時間を要する動作における誤ったセグメンテーションの例

一方で、図3に示す例では、誤って引かれたセグメント点の前後の平均方向ベクトルの向きが異なっていた。また、後者の区間の単位方向ベクトルのばらつきが大きく集中度 κ の値が大きくなることから、この区間においてはワンダリング動作が行われていたことが予想される。

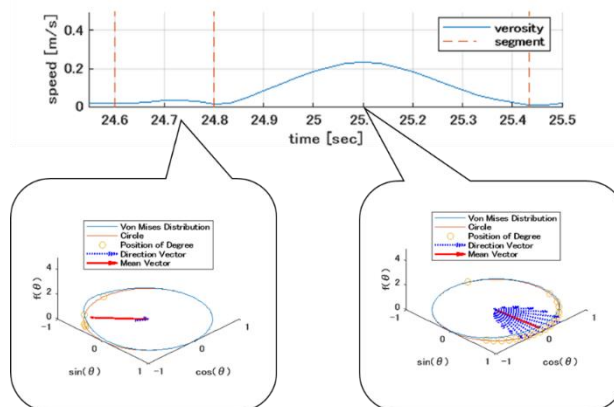


図3. ワンダリング動作における誤ったセグメンテーションの例

以上から、誤ってセグメントされてしまった点の前後にフォンミュゼス分布を用いたモデル化を行い、角度統計量の観点から特徴量を算出した。具体的には、フォンミュゼス分布のパラメータの他に前後の平均方向ベクトルの内積などの特徴量あらたに追加し、先行研究で開発されたセグメンテーションモデルの改良を行った。その結果、セグメンテーションの精度は、93.7%まで向上し、高齢者の特徴的な動きを加えたとしても高い精度でセグメンテーションが可能なモデルを構築することが可能となった。

VR-IADL 中の動作プリミティブを高い精度でセグメンテーション可能になったことから、動作プリミティブ単位での動作の分割が可能となった。ME は、分割された動作プリミティブ内に存在することが明らかになっていることから、動作プリミティブのセグメンテーション精度は、ME の認識精度を向上する上で非常に重要なプロセスとなる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 安藤泰生、小濱徳人、Tania Giovannetti、坂本麻衣子、山口武彦
2. 発表標題 単位セグメント内の平均方向ベクトルの相関性に着目したVR-IADL動作セグメンテーション
3. 学会等名 電気学会 知覚情報研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤泰生、小濱徳人、Tania Giovannetti、坂本麻衣子、山口武彦
2. 発表標題 VR-IADLにおける動作プリミティブのセグメンテーション法に関する基礎的研究
3. 学会等名 情報処理学会 高齢社会デザイン研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taisei Ando, Takehiko Yamaguchi, Tania Giovannetti, Maiko Sakamoto
2. 発表標題 Basic Study on Incidence of Micro-Error in Visual Attention-Controlled Environment
3. 学会等名 Human Computer Interaction International2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩下泰啓, 山口武彦, 坂本麻衣子, Tania Giovannetti
2. 発表標題 VR-IADL環境における動作プリミティブの識別モデルに関する基礎的研究
3. 学会等名 電気学会知覚情報研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮吉兆、山口武彦、坂本麻衣子、Tania Giovannetti
2. 発表標題 ガウス過程回帰モデルも用いたリーチング動作の到達位置推定モデルの開発
3. 学会等名 電気学会知覚情報研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤泰生、山口武彦、坂本麻衣子、Tania Giovannetti
2. 発表標題 視覚的注意を統制した環境下におけるMicro-errorの発生頻度に関する基礎的研究
3. 学会等名 電気学会知覚情報研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Gyoji, T. Giovannetti, R. Mis, C. Vega, L. Silva, A. Shirotori, Y. Nagasawa, M. Sakamoto, T. Harada, H. Ohwada, T. Yamaguchi
2. 発表標題 Statistical Analysis of Micro-error Occurrence Probability for the Fitts' Law-based Pointing Task
3. 学会等名 HCI International 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takehiko Yamaguchi, Atsuya Shirotori, and Tania Giovannetti
2. 発表標題 Micro-error Detection Model and Topic Model-based Clustering for Motion Primitives in VR-IADL: Toward a New Framework for MCI Characterization
3. 学会等名 1st International Conference for Multi-area Simulation (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長澤勇貴, 行事光, 白鳥敦也, Tania Giovannetti, 原田哲也, 坂本麻衣子, 山口武彦
2. 発表標題 マルコフ遷移確率に基づくMicro-errorの発生に関わるIADL動作プリミティブの推定に関する基礎的研究
3. 学会等名 第28回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白鳥敦也, 行事光, 長澤勇貴, Tania Giovannetti, 原田哲也, 坂本麻衣子, 山口武彦
2. 発表標題 トピックモデルを用いたIADL動作プリミティブのクラスタリング
3. 学会等名 第28回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 行事光, 白鳥敦也, 長澤勇貴, Tania Giovannetti, 原田哲也, 坂本麻衣子, 山口武彦
2. 発表標題 一般化線形モデルを用いた操作性困難度に対するMicro-error発生確率の推定モデル
3. 学会等名 第28回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	坂本 麻衣子 (Sakamoto Maiko) (10720196)	佐賀大学・医学部・准教授 (17201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------