

令和元年6月2日現在

機関番号：53203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00364

研究課題名(和文) 視覚運動系の2者間実時間相互作用に関する最適化制御技術の確立

研究課題名(英文) A study on optimization control technology for mutual real time interaction in visual motor system

研究代表者

石田 文彦 (ISHIDA, Fumihiko)

富山高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：20345432

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：2者間実時間動的協調性の実態を明らかにし、コミュニケーションの定量的研究基盤の構築および協調性を操作し最適化するための基礎技術を確立する。低周波領域のフィードバック要素優位の振る舞いと高周波領域のフィードフォワード要素優位による先行運動の振る舞いの再現を目指し、低周波領域モデルと高周波領域モデルとを周波数に応じて接続することにより制御モデルの拡張を実現した。また、追跡運動制御モデルを相互結合し、コミュニケーションモデルを構築し、コミュニケーション状態測定値やその最適化条件探索など実験結果との比較検討した。その結果、コミュニケーション状態を定量的に操作する条件を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、他者との動的協調性(コミュニケーション)についての定量的研究に関する基盤を構築した。これにより、人-人および人-機械のコミュニケーション支援技術を確立するものとする。運動速度に現れるリズム成分と運動先行性との関係が定量的に明らかになり、実験者が実験参加者の運動先行性を制御できる。これを2者間相互作用に応用することで、実験者が2者間相互作用の様相を変え、コミュニケーションの状態をコントロールできる。このことは、コミュニケーションがうまくいっていない状況において、コミュニケーションの状態を最適化するよう支援するインターフェース開発への応用も期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this project is to clarify mutual real-time dynamic interaction, and to construct a quantitative research of communication and to establish a fundamental technology in order to operate and optimize interaction. Aiming at the reproduction of the behavior of the preceding motion by the feedback element dominant behavior at the low frequency domain and the feedforward element dominant at the high frequency domain observed in the visual target tracking motion, we realized the extension of the tracking motion control model by connecting the low frequency domain model and the high frequency domain according to the target frequency. Moreover, we constructed the communication model by mutually connecting the tracking motion control models and compared model results to the experimental results of the communication state measurement value and its optimization condition. As a result, we clarified the condition to operate the communication state quantitatively.

研究分野：生体情報工学

キーワード：生体生命情報学 知能ロボティクス 神経科学 コミュニケーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 今日、社会の中に情報システムが深く進展し、意識しない中でもそれを利用し恩恵を受けており、それなしでは成り立たない状況となっている。さらに情報通信技術などの進展とともに、好む好まざるに関わらず無意識のうちに情報システムに頼る状況は容易に想像できる。それゆえ、情報システムに適合できる人と適合できない人でその恩恵を享受可能が定まり格差が生じるデジタルデバイドが大きな問題となる。現状では、情報通信技術を初めとするテクノロジーの側面が主に強調されている。しかし今後は、そのテクノロジーがどのように人と人とのコミュニケーションに影響を与えているかなどを明らかにする、人サイドからの研究を推進する必要がある。さらに、デジタルデバイド解消のため、情報システムを誰もがストレスなく利用できる環境(設備)を整備することが重要となる。

(2) 情報システムの特徴を考えると、意味内容を含む部分と利用者の操作意思と情報提示間の時間関係を含む部分から構成される。意味内容を含む開発は多く行われてきたが、時間関係に焦点を当てた議論は少ない。

(3) 人の時間関係処理では、他者を含む環境からの情報を実時間処理しつつ能動的に相互作用している。しかし、能動的実時間相互作用を支えるメカニズムに関する定量的実験研究および理論的研究は充分でなく、人の実時間情報処理に関する理解の進展やその特性を活かす情報システムの開発が求められている。

(4) 研究代表者は、「動物の脳は進化の初期において運動情報を優先的に発達させており、コミュニケーションが生存競争を勝ち抜いて獲得されたものと考え、他の個体を含めた環境との実時間同時性がその本質であり、その特徴を明らかにすることが重要である」という視点に立ち、人および動物の実時間情報処理について、感覚運動制御のプロアクティブ制御を提唱し、その定量的特性やメカニズムに関して実験的および数理モデルによる理論的研究を進めている。

(5) 具体的には、人の感覚運動制御について環境に対する動的適応性の最適化に関する知見として、プロアクティブ制御が脳内の予測機構により外部環境に比して運動系を先行させ環境変化で生じる過渡誤差を最小にすることを示してきた。また、他者との動的協調性(コミュニケーション)に関して、「運動速度リズム成分の相互引き込み」を核とする作業仮説を基に、2者間相互作用実験において、相互作用の状態により異なる運動速度相関特性を示すこと、かつ、その運動速度相関特性と運動速度のリズム成分との関係を明らかにし、速度相関特性による2者間協調性の定量的評価値を実験的に見出した。

(6) さらに、予備的な成果として、手の運動に対する追跡運動で、以下の結果を得た。

運動先行性が観測される時、運動速度に視覚目標運動周波数の2倍のリズム成分が生じることを見いだした。

遅延フィードバックフィードフォワード制御モデルの摂動解析により、プロアクティブ制御が動的適応性を最適化していることの普遍性とその限界を示した。

2者間相互追跡運動において、実験参加者に課す条件により異なる運動速度相互相関特性が現れる。協調性評価値(=ゼロ相関時間極大値と1秒付近の極小値との差)が運動速度リズム成分値と強い相関があることを見いだした。

非線形振動子の相互結合により、相互追跡実験で得られた速度相関特性を再現した。

(7) 以上より、社会性動物にとり重要な他者との動的協調性(コミュニケーション)について、研究代表者らが発見した実時間相互作用の動的協調性評価方法および運動先行性を特徴とするプロアクティブ制御を鍵にして、

運動速度リズム成分の自己生成機構に着目した協調性メカニズムの描像、

協調性最適化状態の計測とその条件の導出、

運動速度リズム成分の自己生成機構への介入および協調性の状態操作手法

を実験的・理論的に解明することで、2者間実時間動的協調性の実態を明らかにし、コミュニケーションの定量的研究基盤の構築および協調性を操作し最適化するための基礎技術を確立する申請研究を実施した。

2. 研究の目的

(1) 本研究はコミュニケーションの定量的研究の基盤を構築し、相互作用状態操作を基にするコミュニケーション支援に向けた基礎技術を確立する。2者間実時間相互作用の動的協調性(コミュニケーション)の作業仮説の因果性を段階的に理論および実験的に検証し、運動速度リズム生成機構と協調性メカニズムの描像解明、協調性最適化状態の導出、運動速度リズム生成機構への介入および協調性の状態操作を行うため、相互関係が定義しやすい視覚目標追跡運動を題材にして以下を明らかにする。

運動速度リズム生成機構を解明するため、運動先行性と運動速度のリズム成分との定量的関係を実験的に明らかにする。プロアクティブ制御モデルに非線形振動解が現れるように修正し、実験結果を再現させる。

2者間相互作用の協調性最適状態解およびその条件を導出するため、非線形振動解を有するプロアクティブ制御モデルを相互結合し、2者間相互追跡実験を再現する。運動速度相関特性および運動速度リズム成分に着目し、非線形解析および数値実験により、コミュニケーションを最適化する状態および条件を導く。

2者間実時間相互作用の協調性を制御する手法を開発するため、運動速度リズム成分の制御

実験を行う。追跡運動実験において視覚および聴覚刺激を付加し、運動先行性および運動速度リズム成分の変化を計測する。さらに、相互追跡実験において、運動速度リズム成分変化を促す刺激を付加し、コミュニケーション状態の変化を計測する。より予測されるコミュニケーション最適状態へと操作可能かどうかを実験的に検証する。

3. 研究の方法

(1) コミュニケーションの定量的研究基盤の構築、支援応用の基礎技術の確立を目的に、視覚目標追跡運動を題材に人を対象とした実験と数理モデルによる理論の両面から作業仮説の因果性を検証する。

運動先行性時の運動速度リズム成分の自己生成機構の解明

運動速度リズムの引き込みによる運動速度相関特性発現機構の解明と最適状態解の導出

運動速度リズム成分生成機構の調節によるコミュニケーション状態の制御

により、コミュニケーションメカニズムの描像を明らかにし、コミュニケーション最適状態を定量的に求め、かつ、コミュニケーション状態操作および最適状態への導入支援技術を確認する。

(2) 運動速度リズム成分の自己生成機構の解明にむけて、リズム成分発生時の手動運動制御要素を同定するため、手動運動とともに視線情報を同時測定する。運動速度、リズム成分および運動先行性と視線情報との関係およびその時間発展を明らかにし、運動速度リズム生成機構に関わる制御要素を導出する。

視線情報測定装置と手動運動位置計測装置により、視線と手動運動を同時測定可能な視覚目標追跡運動実験装置を構築する。実験参加者の運動と視覚目標運動との関係を定量的に定義しやすくするため、追跡運動は調和振動的にする。手動運動と視覚目標との位相差、手動運動速度、手動運動スペクトルの関係の時間発展を定量的に求め、視線情報との相関を明らかにする。その関係から運動先行性およびリズム成分生成に強く関連する制御要素を同定する。さらに、手動位置計測装置を兼ねた実験装置により手動運動に摂動を加え、その定量的関係のロバスト性を探る。

遅延フィードバック・フィードフォワード制御系からなるプロアクティブ制御モデルに強制的にリズム成分を導入した数値実験を行ってきた。運動速度リズム成分、運動先行量と強い相関のある視線情報項から同定される制御項を付加し、制御モデルを修正する。修正モデルについて摂動解析および数値解析により非線形振動解を導出し、実験時の視線情報とリズム成分の大きさ、運動先行量との関係について、数値実験と人を対象とした実験結果と比較し、結果を整理する。運動先行性とリズム成分との関連機構および付加非線形項、フィードバック要素とフィードフォワード要素との関係に関連したリズム自己生成機構を明らかにする。

(3) 運動速度リズム成分を自己生成するプロアクティブ制御モデルを相互結合したコミュニケーションモデルの解析および数値実験によりコミュニケーションの理論研究基盤を構築する。

コミュニケーション作業仮説では、相互引き込み時に速度相関係数が相関時間ゼロに最大値をとり、その量からコミュニケーション評価値が定まる非線形振動解をもつリズム生成プロアクティブ制御モデル同士を相互結合する。制御モデルの位相に着目した非線形解析により、モデル同士の相互作用の安定性と制御モデルパラメータとの関係を求める。並行して、相互作用数値実験により、相互引き込み現象、速度相関係数特性を計測し、コミュニケーション評価値と制御モデルパラメータとの定量的関係を求める。相互引き込みおよびその周辺状態に着目し、解析結果と数値実験結果を比較整理し、コミュニケーション理論を定量的に展開する。

(4) コミュニケーションモデルにおいて、速度相関特性によるコミュニケーション評価値を基準にして、コミュニケーション最適状態および制御モデルパラメータについての条件を理論的に求める。人を対象とした相互追跡実験との比較により、コミュニケーション最適状態の普遍性を検証する。

相互結合したリズム成分自己生成修正プロアクティブ制御モデルにおいて、相互作用状態を摂動解析により理論的に求め、コミュニケーション評価値が最大となる運動速度リズムの条件を導出する。最適状態およびその周辺における速度相関特性、運動速度リズムなどの時間発展を求め、コミュニケーション最適状態へ至る制御モデルの振舞を明らかにし、協調性メカニズムの理論予測を行う。

追跡運動実験装置を組み合わせ2者間相互追跡実験装置を構築し、相互作用実験を行う。心理条件として、相手に遅れない、相手に合わせるの2条件を課す。両者運動の位相差、手動運動速度、手動運動リズム成分、速度相関係数の関係を求める。実験結果と理論特性の比較を行い、コミュニケーション最適状態の普遍性と限界を導く。

(5) 運動速度リズムを制御し運動先行性をコントロールすることで、コミュニケーション最適状態へ導くことを検証する。それを通じて、コミュニケーション状態%
操作の基盤技術を確認する。

運動速度リズム成分を制御する手法を開発するため、追跡運動実験において視覚および聴覚刺激の付加により、運動先行性および運動速度リズム成分の変化を計測し、実験者が運動先行性をコントロールする可能性を探る。刺激条件、運動先行量、リズム成分および同時計測した視線情報の解析を通してリズム成分制御に有効な制御項を導く。

リズム成分制御に有効な制御項の調節を相互追跡運動実験に適用する。付加刺激による運動

速度およびそのリズム成分とコミュニケーション評価値との関係への影響を定量的に明らかにする。これを基に最適状態へ実験的に導けるかどうかを検証する。また、同時計測視線情報の解析により相互追跡運動制御項の振舞と協調性メカニズム理論より得られた予測との比較を行う。これを通じて、運動速度リズム成分の相互引き込みを核とするコミュニケーションの実態およびそのメカニズムを明らかにし、コミュニケーションの状態操作基盤技術に資する。

4. 研究成果

(1) プロアクティブ制御観測時の特徴である被験者の運動速度リズム機構を明らかにする研究を実施した。

運動速度リズム生成機構に関わる制御要素を同定するため、視線情報測定装置と手動運動位置計測装置により、視線と手動運動を同時測定可能な視覚目標追跡運動実験装置を構築した。

構築した実験システムを用いて予備的な追跡運動実験を実施した。運動速度、運動範囲、運動種類など視覚目標運動に関する部分と視線推定精度の向上のための被験者頭部運動の制限方法など実験環境に関連する部分など、次年度以降への被験者実験の際の実験パラメータの決定に資した。

(2) 追跡運動制御モデルにより運動先行性とリズム成分との関連機構及び付加非線形項、フィードバック要素とフィードフォワード要素との関係に関連したリズム自己生成機構を明らかにするため、制御モデル中の各情報の時間発展の詳細を追跡し、各制御項の寄与を明らかにするための実験条件の検討を行った。

(3) コミュニケーション状態の計測、解析および制御モデルの数値実験により、コミュニケーションの理論研究基盤の構築を目指した。

前年度に検討した実験パラメータで視覚目標追跡運動実験を実施し、主に運動速度のリズム成分に関わる事項について実験結果と制御モデルからの予測との比較検討を行い、制御モデルの予測性能を調査した。

視覚目標追跡運動実験装置を相互結合し、相互追跡実験装置を構築した。コミュニケーション状態測定の予備実験を実施し、コミュニケーション最適状態測定についての実験条件の検討を行った。

追跡運動制御モデルを相互結合し、コミュニケーションモデルを構築した。構築したモデルでの数値実験を実施し、コミュニケーション状態測定値やその最適化条件探索など実験結果との比較検討準備を行った。

(4) コミュニケーションの理論研究基盤構築のため、制御モデルおよびコミュニケーションモデルの精緻化を目指した。

視覚目標追跡運動実験で観測される低周波領域のフィードバック要素優位の振る舞いと高周波領域のフィードフォワード要素優位による先行運動の振る舞いの再現を目指し、制御モデルの拡張を低周波領域モデルと高周波領域モデルとを周波数に応じて接続により実現した。

修正制御モデルを相互結合し、前年度構築したコミュニケーションモデルを修正した。修正に伴い、仮想相互追跡実験再現のためパラメータ調整し、構築したモデルでの数値実験を実施した。コミュニケーション状態測定値やその最適化条件探索など実験結果との比較検討し、コミュニケーション状態を定量的に操作する条件を明らかにした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

Ishida, F., Wakata, K., Numerical study on adjusting parameters to improve gaze estimation using planar approximations from electro-oculogram signal voltage ratios, Biomedical Engineering Letters, 査読有, Vol. 9, pp. 181-187, 2019. DOI:10.1007/s13534-019-00095-y

[学会発表](計 13 件)

海老秀虎, 石田文彦, 高田英治, 金森滉太郎, 上間康平, 向篤志, 富田英生, 井口哲夫, 河原林順, 3次元再構成されたガンマイメージとカメラ映像との合成に関する研究, 日本原子力学会 2019 年春の学会, 2019. 茨城大学水戸キャンパス(茨城県・水戸市)

石田文彦, 松原翔大, 到達把持運動中の前腕筋電図信号を用いた把持姿勢予測, 生体医工学シンポジウム 2018, 2P-27, 2018, 名古屋工業大学(愛知県・名古屋市)

青木海都, 石田文彦, 画像認識を用いた機器操作システムの構築, 平成 29 年度北陸地区学生による研究発表会, p. 130, 2018. 金沢工業高等専門学校(石川県・金沢市)

渡辺映理, 石田文彦, 両前腕筋電センサ信号からの掌指なぞり位置推定, 平成 29 年度北陸地区学生による研究発表会, p. 124, 2018. 金沢工業高等専門学校(石川県・金沢市)

Ishida, F., Matsubara, S., Posture Estimation from Electromyography Signals Using a Multi-Layered Neural Network, The 6th RIEC Internal Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2018. 東北大学電気通信研究所(宮城県・仙台市)

Ishida, F., Technology connecting biological signals and information systems: Posture prediction from electromyography signals, とやま高専研究推進フォーラム, 2018. 富山県民会館(富山県・富山市)

石田文彦, 松原翔大, 多層ニューラルネットを用いた把持運動中前腕表面筋電信号からの示指角度予測, 平成 29 年度電気関係学会北陸支部連合大会, B-3, 2017. 富山大学五福キャンパス(富山県・富山市)

石田文彦, 藤村佳輝, 若田浩樹, 中田大誠, 平野博靖, 眼電図信号比の直線近似を利用した水平方向視線推定, 生体医工学シンポジウム 2017, 2A-25, 2017. 信州大学上田キャンパス(長野県・上田市)

勝田美優, 石田文彦, ハンドパネルインターフェイスにおける指なぞり位置の検出方法の検討, 平成 28 年度北陸地区学生による研究発表会, p.119, 2017. 福井工業高等専門学校(福井県・鯖江市)

松原翔大, 石田文彦, 表面筋電位信号を用いた多層ニューラルネットワークによる腕の動作予測に関する研究, 平成 28 年度北陸地区学生による研究発表会, p. 104, 2017. 福井工業高等専門学校(福井県・鯖江市)

中田大誠, 石田文彦, 頭部の動きに対応する眼電図信号を用いた視線インターフェースに関する研究, 平成 28 年度北陸地区学生による研究発表会, p. 95, 2017. 福井工業高等専門学校(福井県・鯖江市)

Ishida, F., Wakata, K., Adjusting parameters for gaze estimation to improve the method based on planar approximations of voltage ratios from electro-oculogram signals, 生体医工学シンポジウム 2016, 1P-5-2, 2016. 大雪クリスタルホール国際会議場(北海道・旭川市)

石田文彦, 若田浩樹, 眼電図信号比の平面近似を用いた視線推定改善のための電極配置の検討, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, MBE2016-4, 2016. 富山大学五福キャンパス(富山県・富山市)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ishidaflab.com/home/research-in-japanese/no16k00364>

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。