

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：53203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500246

研究課題名(和文) 視覚運動系を題材にした2者間実時間相互作用の最適化機構の解明

研究課題名(英文) A study on the optimization mechanism of 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・電気制御システム工学科・准教授

研究者番号：20345432

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、他者との動的協調性(コミュニケーション)の定量的研究基盤の確立を目的とする。視覚目標追跡運動実験において、運動先行性と運動速度リズム成分に強い相関があることが示された。さらに、2者間相互追跡運動実験で、心理条件の違いによる運動速度相互相関特性が運動速度リズム成分が関連していることが明らかとなった。この結果は、速度相互相関特性を基にしたコミュニケーションの定量的研究の展開およびリズム成分付加によるコミュニケーションの操作可能性を示唆する。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to establish the quantitative study on dynamic cooperation with others (communication). The visual target tracking and mutual tracking experiments revealed that the rhythmic component of hand-velocity enhanced the proactivity of hand motion and the cross correlation properties of hand velocity according to instruction conditions for the participants were related to the rhythmic component of hand velocity, respectively. These results suggested the establishment of the quantitative study on communication on the basis of the cross correlation properties of hand velocity and operation possibility of the communication with enhancement of the rhythmic component.

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

1. 研究開始当初の背景

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いる。ただ、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が、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。

また、人や動物は外界と能動的に相互作用することで実時間情報処理を可能としているが、能動的相互作用に関する定量的実験研究とそのメカニズムに関する理論的研究は充分ではなく、人の認識や感覚運動制御に関する理解の進展やそのメカニズムを反映した情報システムの開発が求められている。

このとき、人と人との動的相互作用、コミュニケーションをどう定義し、どのように定量的に研究していくかが重要となる。

コミュニケーションが成立するとは、「2者ないし複数者間で言語や運動を通じて相互作用し、自らの主張や意図を伝え、かつ、他者の主張や意図を理解し、互いの他者に関する理解が共有されていること」である。これには、一方への情報の流入や相互に時間をおいた情報処理よりはむしろ、個々の情報処理過程をふまえた複数者間の協調的、かつ、実時間同時的な情報処理が必要である。

人運動制御の実時間情報処理に関して、これまでに明らかになっていることは、以下である。

- (1) 個々の感覚運動系の実時間情報処理についてプロアクティブ制御とよぶ特徴が備わっていること。プロアクティブ制御は、脳内の予測機構により外部環境に比して自らの運動系を先行させ、環境変化によって生じる過渡誤差を最小にする制御様式である。
- (2) 2者間相互追跡運動において、実験参加者に課す心理条件(相手に合わせる / 相手に遅れない)により、運動速度相互相関特性が現れること。
- (3) 人と独立して運動する目標を追跡する場合、運動先行性が観測される時、手の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。
- (4) 位置誤差フィードバック項とターゲット速度フィードフォワード項から構成される個々の感覚運動系のプロアクティブ制御を再現できること。

これらの実験および数理モデル研究結果の理解は、人と人との能動的相互作用、コミュニケーションを定量的に扱い、そのメカニズムを解明する切り口と考えられる。

以上のことから、他者とのコミュニケーションが最適化される条件の解明を目的とした、人同士の実時間相互作用における動的協調性を実験的に計測・評価する方法を明らかにし、かつ、動的協調性の最適化時の脳内表現を理論的に解明するため、プロアクティブ

制御モデルを必要に応じ修正し、非線形解析及び数値実験により、動的協調性におけるプロアクティブ制御の役割を明らかにすることを通じて、「コミュニケーションに関する作業仮説を検証し、コミュニケーションの定量的研究の基盤を確立する」申請研究を実施した。

2. 研究の目的

本研究は、コミュニケーションの定量的研究の基盤を確立するため、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(運動速度の増大 運動速度リズム成分生成 リズム成分の相互引き込み 速度相互相関の増大)をたてる。作業仮説の因果性を検証し、

- (1) コミュニケーションの定量的計測手法の開発
- (2) 協調性における運動先行性の役割の解明のために実験および理論研究を実施する。具体的には、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下記(1)から(4)を明らかにする。
 - (1) 運動先行性と運動速度のリズム成分との定量的関係を明らかにする。
 - (2) 2者間相互追跡課題において、実験参加者への心理条件と速度相関係数との定量的関係を実験的に確立する。実験参加者に異なる心理条件(相手に遅れない / 相手に合わせる)を与え、運動速度相関の違いを明確にし、運動速度相関特性を2者間の動的協調性(コミュニケーション)の定量的評価指標としての可能性を検証する。
 - (3) 2者間相互追跡における運動速度相関係数と運動速度のリズム成分との関連を明らかにする。運動速度にリズム成分がどのように生じ、速度相関で評価されるコミュニケーションの最適化とどのように関連しているかを実験的に検証する。
 - (4) プロアクティブ制御モデルを基に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の理論的研究の基盤を与える。

3. 研究の方法

他者との動的協調性(コミュニケーション)の定量的研究基盤の確立を目的に、コミュニケーションに関する作業仮説の因果性を人を対象とした実験的研究と数理モデルによる理論的研究の両面から検証する。本研究計画では、視覚目標追跡運動を題材に以下を行う。

- (1) 運動先行性と運動速度のリズム成分との定量的関係の確立
視覚目標運動追跡実験系の構築：手動運動位置計測装置(申請備品)により、視覚目標追跡運動実験装置を構築する。
音付加実験：視覚目標運動を円軌道とし、円軌道上の水平2点、垂直2点、ランダム

2点において、視覚目標運動に応じてピープ音を付加する。視覚目標運動との位相差、運動速度スペクトルなどから、運動先行性とリズムとの関係を調査する。

- (2) 2者間相互追跡課題における心理条件と速度相関係数との定量的関係の確立
相互視覚目標運動追跡実験系の構築：独立運動系のシステムに同一の手動運動位置計測装置(申請備品)を加え、相互視覚目標運動追跡実験装置を構築する。
相互追跡実験：実験参加者に心理条件として、相手に遅れない、相手に合わせる、の2種を課し、相互作用実験を行う。両者運動の位相差、手動運動速度、手動運動スペクトル、速度相互相関係数の関係を求める。特に、速度相互相関係数の相関時間ゼロの特性と、運動速度、速度のリズム成分とに着目し、両者の定量的特性を確立する。
- (3) コミュニケーションモデルの構築
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を用いて運動先行性を示す条件を調査する。

4. 研究成果

- (1) 運動先行性と運動速度のリズム成分との定量的関係の確立
手動運動位置計測装置と PC ディスプレイを組み合わせて、視覚目標追跡運動実験装置を構築した。また、制御用 PC から視覚目標運動に応じてピープ音が付加できるように改造した。
円軌道追跡運動実験で、円軌道上の水平2点、垂直2点、ランダム2点において、視覚目標運動に応じてピープ音を与え、視覚目標運動との位相差、運動速度スペクトルを求めた。運動先行性と視覚目標運動周波数の2倍のリズム成分の大きさについて、水平 > ランダム > 音刺激なし > 垂直の結果が得られた。これは、運動速度リズムと先行性とに関連があり、かつ、外部の刺激により運動先行性を制御できる可能性を示した。
先行性が観測される臨界視覚目標運動周波数前後の手動運動のゆらぎの特徴を調査し、ゆらぎの周波数依存成分特性と手動運動の先行性もしくは遅れ運動との関連を見出した。
- (2) 2者間相互追跡課題における心理条件と速度相関係数との定量的関係の確立
制御用 PC を核に2台の手動運動位置計測装置と PC ディスプレイを組み合わせて、2者間相互追跡実験装置を構築した。
基準円運動周波数を 0.3Hz から 0.9Hz、実験参加者への教示を相手に遅れない、相手に合わせる条件で相互追跡運動実験を行った。
円軌道に対する位相に着目し、位相速度のスペクトル解析を行った。基準円運動周波

数が大きくなると、位相速度にリズムが生じ、かつ、その成分は大きくなることわかった。

被験者への教示条件の違いでは、相手に遅れない条件の方が強いリズム成分を生じた。

2者間位相速度相互相関を求めたところ、相関時間ゼロに極大のピークがあるものと極小ピークがあるものの2種類に分かれた。相手に遅れない条件または運動周波数が大きいと前者、相手に合わせる条件または運動周波数が小さいと後者が観測される可能性が高い。相関時間ゼロ時の極値と相関時間ゼロ以外の極値との差と求めると、運動速度リズム成分の大きさと関連していることを見出した。

(3) コミュニケーションモデルの構築

プロアクティブ制御モデルにおいて、視覚目標運動周波数の倍周波数リズム成分と付加したモデルについて、誤差修正項が常に働く、誤差修正項と速度項が相補的に働く、誤差修正項と速度項が同時に働く、条件で数値実験を行った。その結果、手動運動に視覚目標運動周波数の倍周波数リズム成分が含まれ、かつ、フィードフォワード制御要素とフィードバック制御要素が相補的に動作することが運動先行性の発現には必要なことが明らかになった。
手動運動モデルとして、あらかじめリミットサイクル項を解としてもつ非線形振動子ベースのモデルを構築した。さらに、これを相互結合したコミュニケーションモデルにおいて、実験で得られた2者間相互作用運動において得られた運動速度相互相関特性を再現した。

2者間位相速度相互相関特性において、相関時間ゼロに極大ピークがあるときに2者間の運動に対する協調性がよいと考えられる。運動にリズムがあるとき、運動先行性が観測され、かつ、2者間協調性もよいことから、運動先行性と2者間相互作用の良さ、つまり、コミュニケーションの良さとは関連があると考えられる。また、速度相関特性により2者間相互作用の定量評価できる可能性がある。さらに、リズム音付加で運動先行性を制御でき、さらに、2者間追跡状態を制御できる可能性が示唆された。これらの結果は、コミュニケーションの定量的研究が開けるものとして学術的に意義深く、また、コミュニケーションの操作可能性を与えるもので、工学的にも重要な成果であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Ishida, F., Hirano, H., Fujimura, Y.,
Development of a Method for Gaze

Estimation Based on Planar Approximations of Voltage Ratios Calculated from Multiple Electro-oculogram Signals, *Advanced Biomedical Engineering*, 査読有り, Vol. 4, pp. 21-26, 2015.
DOI:10.14326/abe.4.21

Ishida, F., Sawada, Y., Complementarity between the Feedforward and Feedback Mechanisms is Necessary for Anticipatory Activity in Hand Tracking, 2013 International Joint Conference on Awareness Science and Technology and Ubi-Media Computing (iCAST-UMEDIA), 査読有り, pp.310-316, 2013,
DOI:10.1109/ICAwST.2013.6765455

〔学会発表〕(計 9 件)

福澤亮太, 石田文彦, 相対座標系を利用したハンドパネルインターフェース構築に向けた検討, 2015 年電子情報通信学会総合大会情報・システム講演論文集 1, p.144, 2015, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス(滋賀県草津市)

若田浩樹, 石田文彦, 複数電極からの眼電図信号比の近似を用いた視線推定に関する研究, 平成 26 年度北陸地区学生による研究発表会講演論文集, p.42, 2015, 富山高等専門学校射水キャンパス(富山県射水市)

福澤亮太, 石田文彦, 手による擬似タッチパネル上の相対座標を用いたポインティングインターフェースの構築, 平成 26 年度北陸地区学生による研究発表会講演論文集, p.159, 2015, 富山高等専門学校射水キャンパス(富山県射水市)

Ishida, F., Hirano, H., Fujimura, Y., Development of a method for gaze estimation based on planar approximations of the voltage ratio calculated from multiple electro-oculogram signals, 生体医工学シンポジウム 2014, 1P-14, 2014, 東京農工大学小金井キャンパス(東京都小金井市)

石田文彦, 平野博靖, 藤村佳輝, 多点 EOG 信号からの電圧比を用いた視線推定方法の開発, ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2013, pp.131-135, 2013, 慶應義塾大学日吉キャンパス(神奈川県横浜市)

政木勇人, 石田文彦, ハンドパネルイン

ターフェイスの操作性に関する研究, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2013, pp.325-328, 2013, 早稲田大学西早稲田キャンパス(東京都新宿区)

平野博靖, 石田文彦, L 字配置電極から得た眼電圧比を用いた視線推定方法の検討, 平成 24 年度北陸地区学生による研究発表会講演論文集, p.32, 2013, 福井工業高等専門学校(福井県鯖江市)

釣谷慶次, 石田文彦, 聴覚信号刺激による人の知覚および運動特性に関する研究, 平成 24 年度北陸地区学生による研究発表会講演論文集, p.114, 2013, 福井工業高等専門学校(福井県鯖江市)

藤村佳輝, 石田文彦, 多点電極から得た電圧比指標による眼電位を用いた視線推定方法, 生体医工学シンポジウム 2012 講演予稿集, pp.233-237, 2012, 大阪大学基礎工学部(大阪府豊中市)

〔その他〕

ホームページ:

<http://www.ishidafllab.com/home/research-in-japanese/no24500246>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石田 文彦 (ISHIDA, Fumihiko)

富山高等専門学校・電気制御システム工学科・准教授

研究者番号: 20345432

(2) 研究分担者

なし.

(3) 連携研究者

なし.