

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：94301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21824

研究課題名（和文）モダリティ間を漂う注意を制御する：視覚・聴覚にまたがる注意推定・誘導技術の開発

研究課題名（英文）Development of methods for estimating and guiding human auditory and visual attentions

研究代表者

内海 章（Utsumi, Akira）

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・インタラクション科学研究所・研究室長

研究者番号：80395152

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではヒトの注意状態を把握し適切に誘導するために、まずEEG（脳波）に基づく聴覚注意推定手法であるAAD（Auditory Attention Decoding）アルゴリズムの実装・検証を行い、続いて頭部・眼球運動の高精度計測のための個人パラメータの逐次更新機能を持つ深層学習メカニズムの提案および精度評価を行った。さらに、ヒトの注意・認知状態の把握をヒトの行動支援につなげる手法として、注視対象の視認難易度と眼球運動に基づいて視認状態を推定し視覚探索タスクを支援する手法を実装し、その有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトの注意状態の把握は日常生活の様々なタスクの支援において重要である。ヒトの注意資源は限られており、複数の注意対象のうち一方に注意を向ければ他方の情報を認知することが困難となる。本研究で検討した視覚注意・聴覚注意の計測・推定手法を発展させることによって、視覚と聴覚という異なるモダリティ間の注意移動を含むヒトの注意レベルの変化をリアルタイムで推定し、ヒトの注意を適応的に誘導する手法の開発が可能となる。

研究成果の概要（英文）：For detecting and inducing human attentions, we have implemented and evaluated AAD (Auditory Attention Decoding) algorithm, which is an auditory attention estimation method based on EEG signals. We have also proposed and examined a deep learning method with a sequential personalization mechanism for head and eye movement measurements. Furthermore, we have implemented a visual search task assistance method where human visual cognition for a target stimulus is estimated based on the visual cognition difficulty of the target and human gaze behavior.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：視覚注意 聴覚注意 AAD 眼球運動 深層学習

1. 研究開始当初の背景

我々はこれまでに周辺視覚の選択的刺激による視覚注意の誘導、注意対象の視認難易度の差異による注視行動変化の解析、視覚と聴覚を組み合わせた注意誘導効果の検証など視聴覚の注意制御に関する研究を進めてきた。また応用研究として注意誘導手法を自動車運転の場面で活用する研究も併せて行っている。自動車運転などタスク支援を目的とした注意誘導では、本来のタスクを妨げないために誘導刺激の適応的な制御が重要となる。誘導が不要である(既に注意が向いている)場合には誘導刺激を呈示せず、また誘導が成功したら誘導刺激を直ちに停止する、といった注意状態を反映した誘導刺激の制御によってタスク支援の効果が最大限に発揮される。我々は視覚的タスクの支援に向けて注意対象を認知する際の眼球運動を解析し、注意誘導の成功(視覚対象の認知)を判定するための対象の視認難易度と眼球運動の関係モデルを構築した。これにより視覚的注意に関しては一定の誘導制御が実現した。しかし、自動車運転などの実際のタスク支援においては視覚的注意だけでなく視覚と聴覚など複数モダリティに渡る注意の遷移が問題となることが多く、視覚的注意に限定した誘導制御では利用場面が限られることが明らかになった。そこで、モダリティ間の注意遷移を含めてヒトの注意状態(注意の対象、注意レベル)を把握することで複数モダリティ(視覚、聴覚等)の認知が要求されるタスク支援を可能にする、という本研究の着想を得た。

2. 研究の目的

本研究では、視覚と聴覚という異なるモダリティ間の注意移動を含むヒトの注意レベルの変化をリアルタイムで推定し、ヒトの注意を適応的に誘導する手法の開発に向けた基礎検討を行う。ヒトの注意状態の把握は日常生活の様々なタスクの支援において重要である。例えば自動車運転では、運転者は他車両、歩行者、信号機などの視覚的な注意対象(視覚対象)、警報音、ガイド音声などの聴覚的な注意対象(聴覚対象)に対して適切に注意を振り向け続ける必要がある。一方で、ヒトの注意資源は限られており、同一モダリティ内だけでなく異なるモダリティ間であっても一方に注意を向ければ他方の情報を認知することが困難となる。特定の視覚対象に必要な以上に注意を向けたり(脇見)同乗者との会話やラジオ、携帯電話などの聴覚対象に集中するなどによって生じる運転挙動の悪化は大きな危険につながる。情報呈示に基づいた各種のタスク支援システムにおいても、過剰な情報の呈示はその情報自体の認知を困難にさせるだけでなく、それまでの注意対象の認知をも妨害し本来のタスクの遂行を妨げる。認知の妨害を避けて支援効果を高めるためには、ヒトの注意状態を常時把握しながら呈示情報を制御し、ヒトの注意状態を常に適切に保つ仕組みの構築が必要である。ヒトの注意状態の把握は、学習者の学習態度を把握する教育分野での活用、ソフトウェアエージェントやコミュニケーションロボットなど人工システムの対話能力の向上にも直結する。本研究で検討する複数モダリティにまたがる注意状態のリアルタイム推定が確立すればこれら支援システムの性能を飛躍的に向上させることにつながる。

3. 研究の方法

視覚的な注意対象は視線方向によって推定されることが多いが、実際には視線方向と視覚の対象は必ずしも一致しない。さらに、聴覚に関してはそもそも感覚器官の指向性が低く、例えば頭部方向から知覚対象を正確に特定することはほぼ不可能である。一方でマイクロサカードと呼ばれる微小な眼球運動を観測することで視覚および聴覚注意に対する注意レベルについての情報を得ることができる。しかし、現状では精度が十分ではなく、また注意モダリティ間の分離も困難である。

これに対して近年 EEG の観測波形と音源の持つ信号波形の相関からヒトの音響的注意対象を推定する AAD (Auditory Attention Decoding) の研究が進んでいる。ここでは、複数の音源のいずれかに注意を向けているかを EEG の計測によって 95%以上の確率で推定できることが確認されている。本研究では、まず EEG (脳波) に基づく聴覚注意推定手法である AAD (Auditory Attention Decoding) のアルゴリズムを実装し、あらかじめ学習した脳波波形と注意対象音声の関係性を利用し、注意対象音声と高い相関値を持つ波形特徴が推定できることを確認した。次に頭部・眼球運動の高精度計測のための個人パラメータの逐次更新機能を持つ深層学習メカニズムの提案および精度評価を行った。さらにヒトの注意を適切に誘導するために、ヒトが注視対象を認識したかどうかを注視対象の視認難易度と眼球運動に基づいて推定し、推定結果に応じた支援を行う視覚探索タスク支援手法を提案し、評価実験によってその有効性を示した。また、自動車運転等のタスク支援や、日常的なタスクにおいて操作対象の位置把握に影響を与える体性感覚による距離知覚についても検討を加えた。

4. 研究成果

まず、EEG（脳波）に基づく聴覚注意推定手法であるAAD（Auditory Attention Decoding）のアルゴリズムを実装し、あらかじめ学習した脳波波形と注意対象音声の関係性を利用し、注意対象音声と高い相関値を持つ波形特徴が推定できることを確認した。被験者の左右耳に別々の音声刺激（異なる話者による朗読音声）を1試行あたり約60秒間提示し、被験者にはそのうち一方の音声にのみ注意を向けるように教示した。前側頭部（F7, F8）、中側頭部（T7, T8）に装着した4電極で計測した脳波波形と呈示音声波形を同時に記録し、8HzのLPFを適用した上で、250msの区間毎に各時刻における脳波波形から注意対象音声信号の包絡波形を推定する線形回帰を行った。得られた回帰式によって脳波波形から注意対象の音声包絡波形を推定し、提示音声の包絡波形との相関係数を算出した。図1左は左音声（Trial 1）、右音声（Trial 2）にそれぞれ注意を向けた際の相関係数の推移を示している。同図右は、左右それぞれの音声波形との相関係数を基に2次元プロットした結果である。ここにみられるように、AADによって聴覚注意の対象が推定可能であることが確認された。一方で、注意対象が高頻度に変化する条件におけるAADの検討では、十分な推定精度が得られていない。この点については、提示音声の波形特徴に着目しながら、多チャンネルの脳波計測によって引き続き検討を進めている。

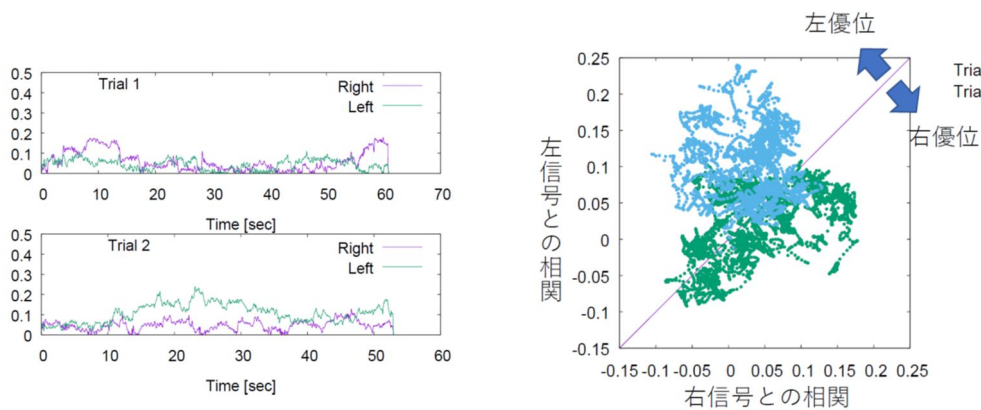


図1 AADによる聴覚注意の推定結果（左：交換係数の時間推移、右：相関値の分布）

続いて、頭部・眼球運動の高精度計測を目的として個人パラメータの逐次更新機能を持つ深層学習メカニズムの提案および精度評価を行った[1]。人間は顔の形状、眼球位置・大きさなど多様な外観を持っており、限られたデータセットによる事前学習でこのような多様性を網羅し、高精度の推定処理を実現することは困難である。一方で頭部・眼球運動計測を行う多くの場面において、観測対象の人物の計測は継続的に一定期間連続して行われるため、それらの連続的な観測を利用して学習モデルをその人物に適応させることができれば有用性が高い。そこで、頭部姿勢推定を行うネットワークと、観測対象個人の顔形状パラメータを推定するネットワークを組み合わせ、観測毎に推定される顔形状パラメータを蓄積・平均化することで形状パラメータを更新しながら、当該パラメータを利用した顔姿勢推定を行うシステムを構築した。図2に提案法における処理の流れを示す。ここにみられるように、提案法では時刻tまでの観測画像による推定値に基づき逐次更新された顔形状パラメータを用いて同時刻における頭部姿勢推定を行っている。毎回ランダムに選択された学習データにより、逐次更新機構を持たない従来型ネットワークと逐次更新機構を持つ提案ネットワークの双方で各10回の学習を行い両者を比較することで、提案手法による推定精度の有意な向上を確認した。同様の手法は、頭部姿勢推定以外に眼球運動推定など多くのタスクに適応可能である。

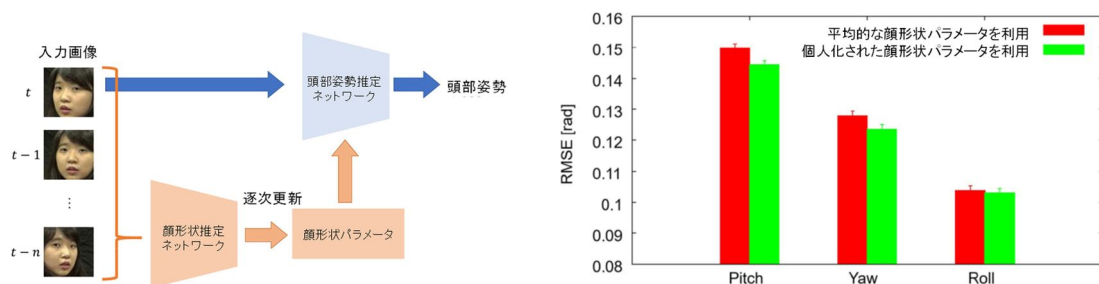


図2 個人パラメータの逐次更新機構を持つネットワークによる顔姿勢推定例（左：顔姿勢推定ネットワークの構成、右：姿勢推定精度の比較（エラーバーは標準誤差））

さらにヒトの注意を適切に誘導するために、ヒトが注視対象を認識したかどうかを注視対象の視認難易度と眼球運動に基づいて推定し、推定結果に応じた支援を行う視覚探索タスク支援手法を提案し、評価実験によってその有効性を示した[2]。

自動車運転時のように注意すべき対象が時々刻々と変化する状況において効率的に注意誘導を行うためには、適切なタイミングで注意誘導を行うことが重要である。そのためには、人（運転手）が注視対象を認識したかどうか（視認）を推定し、それに対応して適切に注意誘導の対象を切り替える必要がある。そこで本研究では、複数の対象を連続して探索し注意を向ける必要がある場面（複数の視覚探索タスクを連続して行う場面）を想定し、視認難易度の違いによる視線挙動の差異を利用した視認推定に基づいて注意誘導を行うことで、効率的な視覚探索タスク支援を実現した。図3左は、実験タスクとして作成したVRゲームであり、実験参加者はアルファベットが表示された大量のオブジェクトが接近してくる場面において、指定されたオブジェクトを発見し、そのオブジェクトのみを選択（ポインティング）する必要がある。図3中央は、タスク支援の例を示している。この例では次に選択すべきオブジェクトの色を変えてヒトの注意を誘導している。ひとつ前のオブジェクトが選択された時点で注意誘導を行うのではなく、ひとつ前のオブジェクトに対する被験者の視認が検知された時点で次のオブジェクトへの注意誘導を行うことで、より早い段階での注意誘導が実現できる。同図右では両条件間での支援開始のタイミングを比較した。ここにみられるように、視認推定を利用することで、有意に早いタイミングでユーザの支援を行えていることが確認された。

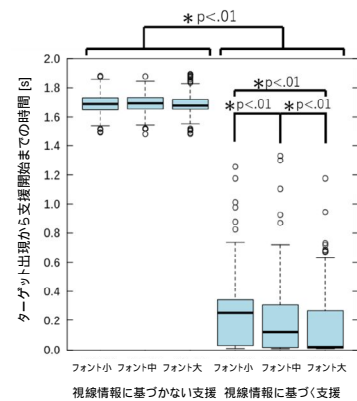
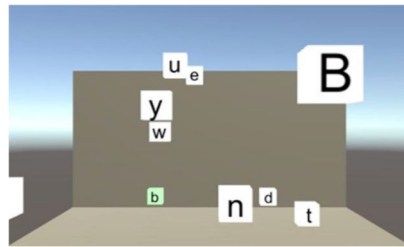


図3 視認推定結果に基づく注意誘導の例（左：実験タスク、中央：タスク支援例、右：支援タイミングの比較）

本研究では、上記以外に、自動車運転等のタスク支援[3]や、日常的なタスクにおいて操作対象の位置把握に影響を与える体性感覚による距離知覚[4]についても検討を加えた。

[1] Makoto Sei, Akira Utsumi, Hirotake Yamazoe, Joo-Ho Lee, “Personalized face-pose estimation network using incrementally updated face shape parameters,” Applied Intelligence, 2022.

[2] 吉田峻亮, 施真琴, 内海章, 山添大文, “視認推定に基づく視覚探索タスク支援のためのVR環境における有効性評価,” 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2021.

[3] Kohei Tatsumi, Akira Utsumi, Tetsushi Ikeda, Yumiko O. Kato, Isamu Nagasawa, Kazuhiko Takahashi, “Evaluation of Driver’s Sense of Control in Lane Change Maneuvers with a Cooperative Steering Control,” System13th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Application, 2021.

[4] 永井 正太郎, 内海 章, 須佐見 憲史, 山下 久仁子, 岡田 明, “姿勢変化が体性感覚に基づく運動パフォーマンスに及ぼす影響,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.24, pp. 63-72, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sei Makoto, Utsumi Akira, Yamazoe Hirotake, Lee Joo-Ho	4. 巻 -
2. 論文標題 Personalized face-pose estimation network using incrementally updated face shape parameters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Intelligence	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10489-021-02888-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 永井 正太郎、内海 章、須佐見 憲史、山下 久仁子、岡田 明	4. 巻 24
2. 論文標題 姿勢変化が体性感覚に基づく運動パフォーマンスに及ぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ヒューマンインタフェース学会論文誌	6. 最初と最後の頁 63 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11184/his.24.1_63	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 吉田竣亮, 施真琴, 内海章, 山添大丈
2. 発表標題 視認推定に基づく視覚探索タスク支援とVR環境における有効性評価
3. 学会等名 第25回一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクシオン2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田竣亮, 施真琴, 内海章, 山添大丈
2. 発表標題 視認推定に基づく視覚探索タスク支援のための VR環境における有効性評価
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田峻亮, 施真琴, 内海章, 山添大丈
2. 発表標題 視認難易度に基づく視認推定と VR環境における視覚探索タスク支援への応用
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウムMIRU2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Tatsumi, Akira Utsumi, Tetsushi Ikeda, Yumiko O. Kato, Isamu Nagasawa, Kazuhiko Takahashi
2. 発表標題 Evaluation of Driver's Sense of Control in Lane Change Maneuvers with a Cooperative Steering Control System
3. 学会等名 13th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------