

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：11601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500146

研究課題名(和文)脳・抹消循環の動的応答解析による3次元映像のわずかな違和感を与える影響評価

研究課題名(英文)The evaluation method for the effect of the various unnatural video components on viewers using physiological indices.

研究代表者

田中 明(Tanaka, Akira)

福島大学・共生システム理工学類・准教授

研究者番号：10323057

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：映像の視聴において、揺れなどの不自然な映像要素によって生じる酔いなどの生体影響を、自律神経指標を用いて推定する方法を開発することを目的とし、新しい自律神経解析手法の開発と、映像要素から不快度を推定する手法の提案を行った。その結果、従来の自律神経指標よりも時間分解能が高い手法として、循環系における血管調節機能に着目し、その有効性が示された。また、映像の揺れの情報から視聴時の酔いを推定するモデルをHammerstein型非線形モデルによって表したところ、相関係数0.74の精度で推定が可能であった。本手法を用いることにより、映像要素が生体に与える影響をより客観的に評価できる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to develop the evaluation method for the effect of the various unnatural video components such as excessive motion on viewers. In order to achieve this object, a new physiological index of autonomic nerve activity relating to vascular regulation was proposed. The model which represents the relationship between video motion and a degree of discomfort was also proposed using non-linear Hammerstein model, in which the discomfort level was estimated by using a multiple regression model whose explanatory variables were several physiological indices including the proposed vascular index. The model could explain the change in a degree of discomfort with a correlation coefficient of 0.74. It seems that these results can contribute to an objective assessment of visual image safety.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学

キーワード：ユーザビリティ 自律神経解析 動揺病 モデル同定

1. 研究開始当初の背景

映画・テレビジョン・テレビゲームの 3D 化が急速に進んでいる。その中で申請者らが参加している研究グループの成果の一部で 2010 年 4 月 19 日、共同で「3DC 安全ガイドライン」(改訂版) [6] を発表している。これは定性的な緩いガイドラインである。その理由は、コンテンツに含まれるリスク要因の特定を行うところまでは未だ研究が進んでいないためである。したがって、上述した問題点を改善した手法による映像の評価が急務である。

2. 研究の目的

本研究では自律神経指標を用いて、従来よりも時間分解能が高い手法を提案し、映像の視聴において、映像中の、過度な揺れ、不自然な視差、左右の画像のズレなどの不自然な映像が生体に与える影響を動的特性に着目して定量的に評価する方法を開発することを目指し、映像とその視聴によって生じた不快度などの影響との関係を明らかにする手法について検討を行う。

3. 研究の方法

本研究は、新たな自律神経機能評価手法の検討とそれらを用いて映像酔いに代表される、映像によって生じた不快感について映像要素との関係を調査することである。以下に具体的な内容について述べる。

(1) 新たな自律神経指標についての検討

従来の生体の循環調節機能に着目した自律神経機能解析の手法は主に心拍変動解析を利用したものであるが、心拍変動は様々な要因によって複雑に調節されているため、これらを映像によって生じた不快度を評価するために用いる場合、個人差や再現性などが問題となっていた。そこで本研究では、血管抵抗の調節に着目した解析方法を提案する。

橈骨動脈圧(RBP)から指尖脈波(PPG)への伝達特性に着目し、両者の関係を以下に示す ARX モデルで表す。

$$PPG(n) = b_1 \{RBP(n-k-1) + RBP(n-k-2)\} + a_1 PPG(n-1) \quad (1)$$

ここで、 n は時刻、 k は遅れ時間、 a_1 は自己回帰項、 b_1 は移動平均項の係数を表わしている。

(1)式における自己回帰項 a_1 を血管運動指標とし、3 拍の時間窓で 1 拍毎に算出した。

本指標の妥当性を検証するために、寒冷昇圧試験等を行い、その変化を他の循環系指標と比較した。

(2) 従来法より時間分解能の高い不快度の評価

生体に影響を与える映像要素の特定や、シーンと生体影響との関係性を調べるためには不快度などの生体影響の連続的な変化を把握することが望ましい。しかし、従来の心拍変動を利用した自律神経指標の多くが定

常状態における評価法であり、かつ算出に数十秒から数分の時間窓を必要とする。さらに、主観評価を利用する場合であっても連続的に計測することは困難であり、主観評価の変化の要因となった映像要素を特定することは難しい。本テーマでは、従来用いられてきた心拍変動を中心とした自律神経系指標に加えて血管運動指標の変化および瞳孔の変化も用いて、主観評価よりも時間分解能の高い不快度の変化を推定するために、生理指標を用いて主観評価値を推定する重回帰モデルを同定し、推定モデルに時間的・量的分解能の高い生理指標を入力することで主観評価の補間を行う。

重回帰モデルでは、目的変数を主観評価値 (SS)、説明変数を複数の生理指標として多項式を定め、解析を行った。

生理指標による主観評価値の推定は、次式で与えられる重回帰モデルを用いた。

$$SS(k) = \sum_{i=1}^N p_i u_i(k) + q_0 \quad (2)$$

ここで、 k は 30 秒毎の離散時間であり、 p_i 、 q_0 は回帰係数、 u_i は説明変数となる N 個の生理指標である。

本研究では、説明変数として、循環系と視覚系における自律神経指標を用いる。まず、循環系の指標として、心拍数(HR)、平均血圧(BP)、心電図の R 波から指尖脈波(PPG)の立ち上がりまでの時間から得られる平均脈波伝播時間(PTT)、心電図 RR 間隔変動係数(CVRR)、心拍数変動の 0.04 ~ 0.15Hz のパワー(LF)、心拍数変動の 0.15 ~ 0.50Hz のパワー(HF)、LF と HF の比(LF/HF)、HR と BP の相互相関係数の最大値(ρ_{max})についてそれぞれ 30 秒の時間窓で 10 秒毎に算出した。周波数解析には不整脈に対応しやすく、比較的短い時間窓でも比較的安定して算出が可能な Lomb-Scargle Periodogram を採用した。さらに、末梢血管抵抗の指標として、前述した血管運動指標 a_1 を算出した。本指標は拍数単位に得られるが、等時間間隔で再サンプリングした後、上記の指標と同様に 30 秒間の移動平均を 10 秒毎に算出した。

瞳孔の指標については、瞳孔径について循環系指標と同様に 30 秒間の移動平均を 10 秒毎に算出した。

本手法の妥当性を検討するために、(4)で述べる実験において取得された各種のデータにおいて、映像視聴中の主観評価を上述した方法で推定しその精度を評価した。

(3) 映像要素と不快度との関係を表すモデル

映像の揺れによって不快度が変化したと仮定し、映像の揺れの大きさを入力として、不快度を出力とするモデルの構築および同定を試みた。この時、出力の不快度は前節で述べた(2)式の出力で得られる生理指標から推定された主観評価値に -1 を乗じた値であ

る。モデル同定では、入出力データを 1s のサンプリング周期で再サンプリングした。

一般に軽微な揺れであれば長時間の視聴であっても大きな影響がないこと、また、視聴の蓄積的な効果や不快状態からの回復など、ダイナミクスが存在することなどを考慮し、本研究では、Hammerstein 型非線形モデルを採用した。本モデルは静的な非線形要素の後に動的な線形要素を結合させたモデルであり、前段の非線形要素はシグモイド関数を含む (3) 式の非線形関数を、線形要素には ARX モデルを用いた。

$$F(x) = a(x-r) + \frac{b}{e^{-c(x-r)+d} + 1} \quad (3)$$

ここで、 r は入力の実平均値、 $a \sim d$ は係数である。

(4) 映像視聴実験

上述の(2)および(3)についての妥当性を検討するため、映像視聴実験を行った。対象は、健常大学生 10 名 (男性 5 名、女性 5 名) であり、実験の実施にあたり大学設置の「研究倫理審査委員会」の審議を経ると共に、被験者への十分なインフォームド・コンセントと実験参加に対する同意書に基づいた被験者の同意を得た。

偏光式の 3D 液晶ディスプレイ (GD-463D10, JVC 製, 46 インチ, 120cd/m², 解像度 1920 × 1080) において、ステレオ映像再生ソフト (Stereoscopic Player) を用いて 3D 映像を提示した。この際、被験者は画面から 114.6cm (2H) の位置 (したがって、画角は 47.9 × 28.1deg) に座り、正面を向いた際の視線が画面中央と合うようにし、椅子やディスプレイの高さを調節した。実験に用いた部屋は、外光を一切遮断し、室内照明と画面の光以外の光源のない状態にした。また、ディスプレイ台での照度を 10lx とした。

生理データの計測は、心電図、脈波、連続血圧、瞳孔径であり、心電図波形は被験者の胸部に貼った電極から、脈波は、左手人差し指先端に装着した光電脈波センサから、血圧は連続血圧センサ (Biopac NIBP100C, Biopac Systems Inc.) を用いて左手橈骨動脈において、瞳孔径はカメラによる非接触眼球運動計測装置 (EyeLink, SR Reserch Ltd.) により右目 (全被験者のきき目) にて測定した。すべての生体計測量は生体計測用アンプ (Biopac MP150, Biopac Systems Inc.) を用いてサンプリング周波数 1kHz で記録された。また、視聴中の快・不快度に対する主観評価値を 7 段階 (-3 ~ +3) のダイヤルによって 30 秒毎に計測した。

映像視聴によって生じた映像酔いの主観評価を得るために、視聴前後に、シミュレータ酔いの評価に用いられるアンケートである SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) を実施した。

視聴 3D 映像は、車で市街地を運転手の視

点で走行するもので、ランダムに縦揺れが発生する。縦揺れの最大揺れ速度は、20.1deg/s、10.1deg/s、5.0deg/s の 3 種類、揺れの継続時間は、7.5s、15s および 30s の 3 種類である。映像視聴は全体で 18 分 (1080s) であり、そのうち映像開始 70 秒後から約 14 分間について被験者はダイヤル入力による主観評価を 30 秒毎に行った。

4. 研究成果

(1) 血管運動指標の妥当性の調査

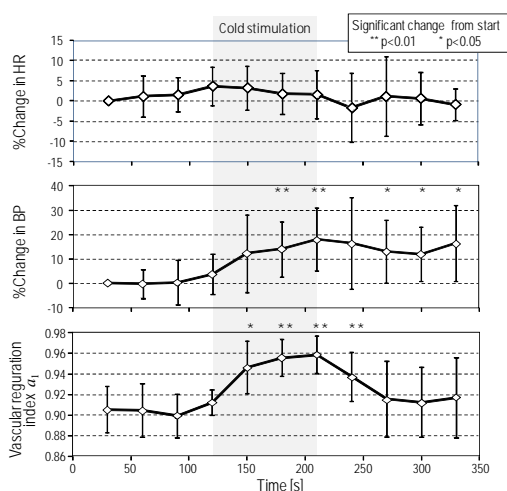


図1 寒冷昇圧試験時の生理指標の変化

図1に寒冷昇圧試験を行った際の心拍数、血圧及び血管運動指標の30秒間の平均値の変化を示す。心拍数と血圧はそのままの値では個人差が大きかったため実験開始からの変化率を示している。心拍数については寒冷刺激に対して優位な変化を得ることはできなかった。また、血圧と血管運動指標において寒冷刺激後に有意な上昇がみられた。特に血管運動指標は寒冷刺激に対してばらつきが少なく明らかな上昇を示しており、交感神経活動による血管抵抗の変化を明確に表している可能性がある。

以上の結果は、血管運動指標が交感神経活動による血管抵抗の変化を表している可能性を示唆するものであり、従来の心拍数変動の周波数解析に比べて時間分解能を大きく向上できる可能性がある。一方、各波形が正しく計測出来ていない場合は指標の信頼度が低くなるため、信頼性の評価も同時に行う必要があることも明らかとなった。

(2) 映像視聴時に生じた不快度の生理指標による推定

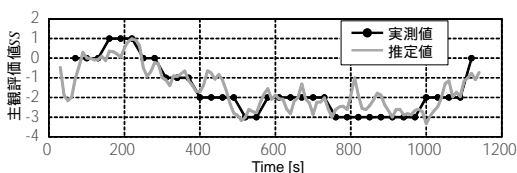


図2 主観評価値 SS の変化と重回帰モデルの出力

図2はある被験者において、生理指標を用いて主観評価値を推定した結果の一例である。推定値と実測値の相関係数は0.87であり、十分な精度で推定できていると考えられる。また、提案方法では推定値は10s毎に得られているため、より細かい時間分解能で算出できている。

以上から、循環系生理指標の重回帰モデルによってある程度不快度の変化を推定できることが明らかとなり、特に明確な自覚症状がない場合の不快度の評価には有効である可能性が示された。

(3) 映像要素による視聴時の不快度の推定

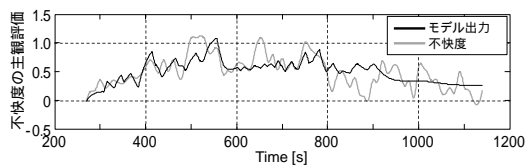


図3 映像の揺れから推定された不快度の変化

図3は映像の縦揺れの大きさを入力、不快度を出力とした際のモデル同定の結果である。ただし、不快度とは映像の快・不快度の主観評価に-1を乗じ、揺れの始まる前30s ($t=210s$)の値を初期値として減じた値である。モデル内の線形要素の時数は移動平均項と自己回帰項ともに3次とした。また、システムのむだ時間は2s(2サンプル入出力間の遅れは不快度とモデルの出力との相関係数は0.69であった。 $t=400, 550, 750$ 付近の不快度の上昇および後半の回復傾向は模擬できている。一方、 $t=650$ 付近の不快度の上昇および $t=900$ 付近の減少は模擬できていない。不快度の増減は映像の縦揺れだけに起因するものではないと考えられるが、不快度の大まかな変化を縦揺れの増減で説明できていると考えられる。

提案した手法は、モデル同定の精度が十分であれば、非線形部の形状およびゲインによって映像が生体に与える影響に対して、閾値や感度に関する客観的な検討が行える可能性がある。

(4) 成果のまとめ

本研究では、時間的かつ量的な分解能が低い主観評価を自律神経指標を用いて補間するとともに、生理指標によって推定される不快度と映像の揺れとの関係についてモデル化を試みることを目的とし、映像に付加した縦揺れの大きさを入力とし、不快度の変化を出力とするモデルを、Hammerstein型非線形モデルとして同定した。その結果、不快度の大まかな変化を模擬できることが示唆された。提案手法の特徴は、生体の自律神経調節の中の、心拍数、血管、瞳孔といった複数の調節系を利用して不快度を推定しているこ

と、その結果従来よりも高い時間分解能で映像視聴中の不快度を推定できる可能性があること、映像-不快度モデルのモデル構造の検討によって映像の生体影響の客観的な評価に寄与できることである。

今後は、得られるモデルの構造や係数などの評価によって、影響を与える映像要素の感度や閾値さらには回復の時定数などについての詳細な考察を行う必要がある。

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3件)

Norihiro Sugita, Makoto Yoshizawa, Akira Tanaka, Makoto Abe, Noriyasu Homma, Shigeru Chiba, Tomoyuki Yambe and Shin-ichi Nitta, Evaluation of temporal relationship between a physiological index and a subjective score using average mutual information, Displays, 32(4), 201-208, 2011.

Makoto ABE, Makoto YOSHIKAWA, Norihiro SUGITA, Akira TANAKA, Noriyasu HOMMA, Tomoyuki YAMBE, Shin-ichi NITTA, Physiological Evaluation of Visually Induced Motion Sickness Using Independent Component Analysis of Photoplethysmogram, Advanced Biomedical Engineering, 2, 25-31, 2013.

Norihiro Sugita, Makoto Yoshizawa, Yoshihisa Kojima, Akira Tanaka, Makoto Abe, Noriyasu Homma, Toshitsugu Kikuchi, Kazunori Seki, and Nobuyasu Handa, Evaluation of Navigation Skill of Elderly People Using the Cycling Wheel Chair in a Virtual Environment., Proc. of IEEE VR 2013, 2013, 125-126, 2013.

〔学会発表〕(計4件)

Yoshizawa M, Tanaka A, Sugita N, Abe M, Homma N, Obara K, Yambe T, A Great Impact of Green Video Signals on Tele-Healthcare in Daily Life, Especially for Rural or Disaster Areas., 32nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2013.7, (Osaka)

A. Tanaka, M. Yoshizawa, T. Yambe, Evaluation of autonomic nervous function by an index of peripheral vascular regulation, 第27回生体・生理工学シンポジウム, pp.412-413, 2012.9, (札幌)

Makoto Abe, Makoto Yoshizawa, Norihiro

Sugita, Akira Tanaka, Noriyasu Homma,
Tomoyuki Yambe, Shin-ichi Nitta,
Physiological Evaluation of
Visually-Induced Motion Sickness
Using Independent Component Analysis
of Photoplethysmogram, 生体医工学シ
ンポジウム 2012, pp.200-206, 2012.9,
(大阪)

田中 明, 吉澤 誠, 山家智之, 血管抵
抗調節系のシステム同定を利用した自律
神経機能評価, 生体医工学シンポジウム
2012, pp.247-249, 2012.9, (大阪)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 明 (TANAKA, Akira)

福島大学・共生システム理工学類・准教授

研究者番号：10323057

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

吉澤 誠 (YOSHIZAWA, Makoto)

東北大学・サイバーサイエンスセンター・

教授

研究者番号：60166931

杉田 典大 (SUGITA, Norihiro)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90396458

山家 智之 (YAMBE, Tomoyuki)

東北大学・加齢医学研究所・教授

研究者番号：70241578