

光電容積脈波の独立成分分析を用いた映像酔いの評価法(3.2 第5回情報シナジー研究会, 3. 研究活動報告)

著者	阿部 誠, 吉澤 誠, 杉田 典大, 田中 明, 千葉 滋, 山家 智之, 仁田 新一, Tnaka Akira
雑誌名	年報
巻	6
ページ	101-106
発行年	2007-07
URL	http://hdl.handle.net/10097/48531

光電容積脈波の独立成分分析を用いた映像酔いの評価法

阿部 誠¹, 吉澤 誠², 杉田 典大¹, 田中 明³, 千葉 滋⁴, 山家 智之⁵, 仁田 新一⁵

¹東北大学大学院工学研究科, ²東北大学情報シナジー機構,

³福島大学共生システム理工学類, ⁴シャープ(株), ⁵東北大学加齢医学研究所

A Method for Estimation of Visually-Induced Motion Sickness Using Independent Component Analysis for Photoplethysmography

Makoto ABE¹, Makoto YOSHIZAWA², Norihiro SUGITA¹, Akira TANAKA³,

Shigeru CHIBA⁴, Tomoyuki YAMBE⁵ and Shin-ichi NITTA⁵

¹Graduate School of Engineering, Tohoku University, ²Information Synergy Center, Tohoku University,

³Faculty of Symbiotic System Science, Fukushima University, ⁴Sharp Corporation,

⁵Institute of Development, Aging and Cancer, Tohoku University

血圧と心拍数の間の最大相互相関係数 ρ_{\max} は、自律神経系活動の状態を反映し、映像酔いの評価などに有用であるとされている。 ρ_{\max} を求めるのに必要な連続血圧の代わりに、容積脈波信号を用いることができれば、計測システムの小型-低コスト化が可能である。しかし、容積脈波信号には、血圧以外の情報も多く含まれるため、容積脈波信号に基づく ρ_{\max} は血圧に基づく ρ_{\max} と必ずしも一致しない。そこで本研究では、容積脈波信号から得られる特徴量に対し独立成分分析を適用することによって、血圧に基づく ρ_{\max} に近い指標を抽出することを目的とする。

提案方法では、一拍ごとに容積脈波波形から 7 個の特徴量を算出し、4 次のキュムラントに基づく FastICA と呼ばれるアルゴリズムを用いることで、4 個の互いに独立な成分を推定した。その後、これらの独立成分の中から最も血圧情報に近いものを選択し ρ_{\max} を算出した。

本研究では、提案方法の妥当性を検証するために、Valsalva 試験による実験および手ぶれ映像を用いた映像の生体影響評価実験を行なった。Valsalva 試験の結果より、提案方法を用いて血圧情報による ρ_{\max} と近い情報が得られることが示された。また、手ぶれ映像提示実験の結果より、提案方法より得られる ρ_{\max} を用いることで、映像酔いの影響と推測される生体反応を検出することが可能であることが示唆された。

光電容積脈波の独立成分分析を用いた映像酔いの評価法

○阿部 誠¹, 吉澤 誠², 杉田 典大¹, 田中 明³, 千葉 滋⁴, 山家 智之⁵, 仁田 新一⁵

¹ 東北大学大学院工学研究科, ² 東北大学情報シナジーセンター, ³ 福島大学共生システム理工学類, ⁴ シャープ株式会社, ⁵ 東北大学加齢医学研究所

Introduction

映像情報の安全性

映像による望ましくない影響

光過敏性発作

ポケモンショック(1997) ← 特定の周波数と色の組み合わせの光点減

映像酔い

松江市の中学校(2003), 四日市市の学校(2006)での事件
← 素人が撮影した手ぶれの多い映像

人工的立体視による眼精疲労

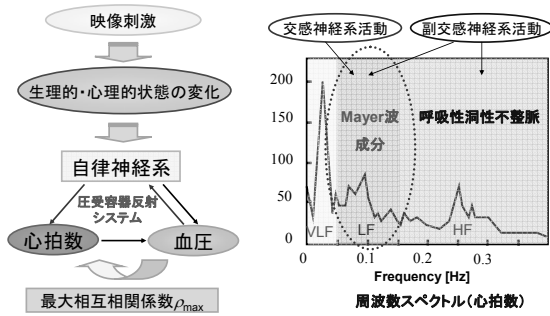
視覚器に対する自然視とは異なる作用

原因の解明や対策は研究段階

客観的, 定量的な評価方法が必要

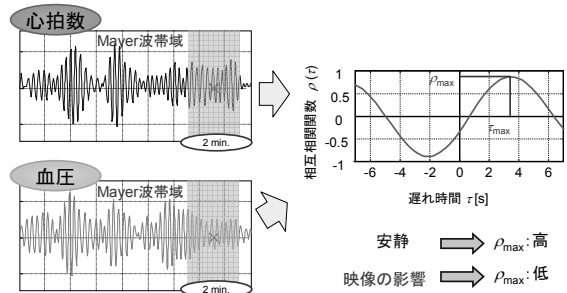
Introduction

自律神経系の活動による指標



Introduction

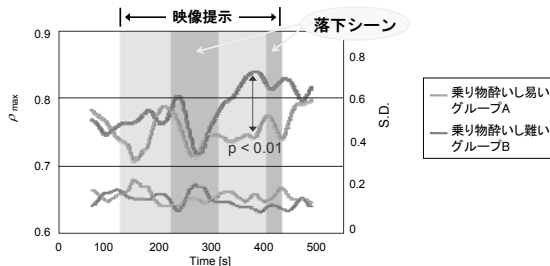
血圧-心拍数間の最大相互相関係数 ρ_{max}



Introduction

血圧-心拍数間の ρ_{max} を用いた解析例

ジェットコースター乗車映像視聴中における ρ_{max} の変化



Introduction

心拍数と血圧の計測上の問題点

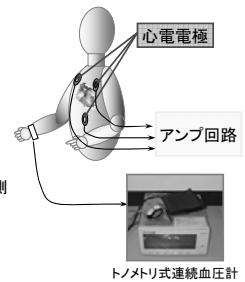
映像の生体影響評価

⇒ 信頼性の高い評価には多くのデータが必要

従来的方法

- 電極の装着を必要とする心電図計測
- 大型で高価な連続血圧計による血圧計測

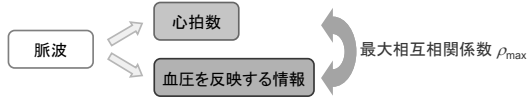
一度に一人の被験者



Purpose

目的

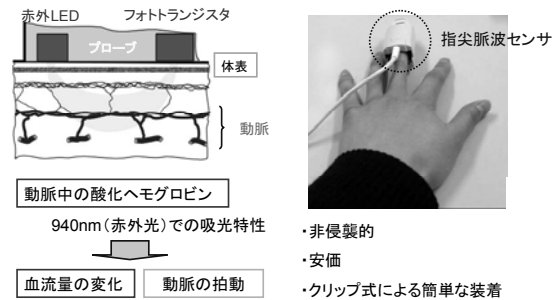
簡易的な計測による映像酔いの生体影響評価法の開発



容積脈波に対する独立成分分析を用いた血圧情報に代わる情報の抽出

Methods

■ 光電容積脈波(Photoplethysmography: PPG)の計測原理



Methods

■ 独立成分分析について

複数の観測される変数を統計的に独立な変数の線形結合として表現するための多変量解析方法

観測変数: x_1, x_2, \dots, x_m が未知の独立変数: s_1, s_2, \dots, s_n の線形結合で与えられると仮定。ただし、独立変数 s_i は互いに統計的に独立かつ平均値が0。

$$\begin{matrix} \mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T \\ \mathbf{s} = [s_1, s_2, \dots, s_n]^T \end{matrix} \Rightarrow \mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s} \quad \mathbf{A}: \text{mixing matrix}$$

Methods

■ 独立成分分析について

離散時間 k において

$$\begin{matrix} \mathbf{x}(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_m(k)]^T \\ \mathbf{s}(k) = [s_1(k), s_2(k), \dots, s_n(k)]^T \end{matrix}$$

と定義すると

$$\begin{matrix} \mathbf{X} = [\mathbf{x}(1), \mathbf{x}(2), \dots, \mathbf{x}(k), \dots, \mathbf{x}(K)] \\ \mathbf{S} = [s_1(1), s_2(1), \dots, s_n(1), \dots, s_n(K)] \end{matrix} \Rightarrow \mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{S}$$

観測変数 \mathbf{X} から独立変数 \mathbf{S} と混合行列 \mathbf{A} を推定する問題

Methods

■ 独立変数 \mathbf{S} と混合行列 \mathbf{A} の推定方法

4次キュムラントに基づく独立成分分析法

Fast ICA

統計量である4次キュムラントが最大(or最小)となる条件

⇒ 独立変数 \mathbf{S} を推定

4次キュムラントが最大(or最小)の条件を不動点法を用いて求める

A. Hyvärinen, First and robust fixed-point algorithms for independent component analysis, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 10(3) (1999), pp. 626-634

Methods

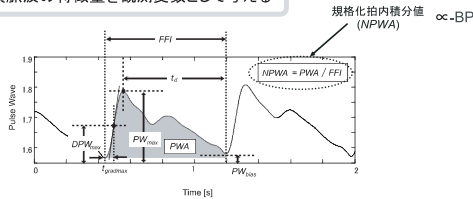
■ FastICAアルゴリズムを用いた分析の主な流れ

1. 観測データ \mathbf{X} を得る
2. 主成分分析を用いて \mathbf{X} を無相関化する
3. 4次キュムラントが最大(もしくは最小)となる条件を、不動点法を用いて求める
4. 独立成分 \mathbf{S} と混合行列 \mathbf{A} を推定する

Methods

■ 観測変数と独立変数

容積脈波の特徴量を観測変数として与える



観測変数 X : $7 \times k$ 行列, 独立変数 S : $4 \times k$ 行列
混合行列 A : 7×4 行列 (ただし k は拍数)

Methods

■ 生体情報におけるICAの問題点

混合行列に汎用性がない

・被験者ごとに異なる血管特性, 圧受容器の感度



血圧情報に近い情報を得るための**混合行列**は被験者ごとに異なる

映像の評価実験を行なう前に、**混合行列**推定のための実験を連続血圧計を用いて行なう

Methods

■ Valsalva試験を用いた混合行列の推定とその応用

Valsalva試験

1. Valsalva試験を行なうことで被験者ごとに混合行列 A を得る
2. 血圧による ρ_{\max} に最も近い情報を得られる独立成分の行 n を確定させる



手ぶれ映像提示実験

3. 手ぶれ映像提示実験のデータに対して、予め求めておいた混合行列 A を用いて血圧による ρ_{\max} に最も近い独立成分 (IC_n) を算出
4. 血圧による ρ_{\max} と独立成分による ρ_{\max} の比較、映像酔いの影響の検出

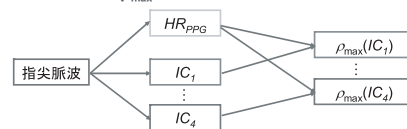
Methods

■ ρ_{\max} を用いた解析方法

血圧による ρ_{\max}



脈波のみによる ρ_{\max}



Experiment

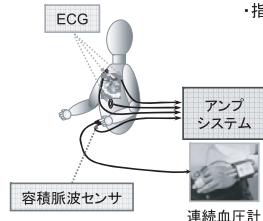
■ Valsalva試験を用いた実験

被験者

23.6 ± 2.6歳の健康者15名
(男性12名, 女性3名)

計測量

・心電図
・連続血圧
・指尖脈波



Analysis

■ 独立成分からの生理的指標の抽出方法

・最も $\rho_{\max}(BP)$ と関係のある成分 $\rho_{\max}(IC_n)$ の抽出

$$n = \arg \min_{1 \leq n \leq 4} \sum_k \{ \rho_{\max}(BP) - \rho_{\max}(IC_n) \}^2$$

被験者ごとに $\rho_{\max}(BP)$ と $\rho_{\max}(IC_n)$ の間の二乗誤差が最小となる $\rho_{\max}(IC_n)$ を選択

・ $\rho_{\max}(BP)$ に近い情報が得られる独立成分が第 n 行であることを決定

・被験者ごとに**混合行列** A を決定

Result

- Valsalva試験におけるICAを用いた生理的指標の抽出
 - 最も $\rho_{\max}(BP)$ と相関関係のある成分 $\rho_{\max}(IC)$ の抽出

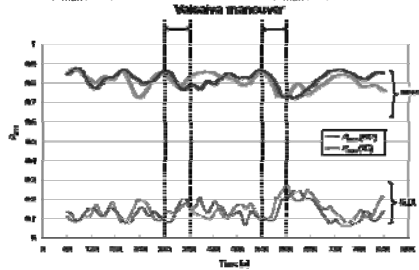


fig. 被験者15名の平均と標準偏差

Discussion

- Valsalva試験における独立成分を用いた生理的指標
 - 独立成分による $\rho_{\max}(IC)$ は $\rho_{\max}(BP)$ に近い値



抽出された独立成分には脈波信号における血圧情報以外の情報の混入が少ない

混合行列 A と血圧情報に近い情報が得られると独立成分が表れる行 n の情報を被験者ごとに決定

Experiment

- 手ぶれ映像提示実験

被験者

23.6±2.6歳の健康者15名
(男性12名, 女性3名)

ECG



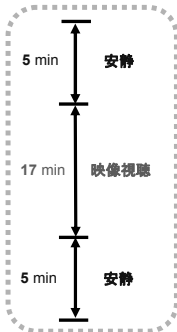
容積脈波センサ

計測量

- ・心電図
- ・連続血圧
- ・指尖脈波

アンプシステム

連続血圧計



Experiment

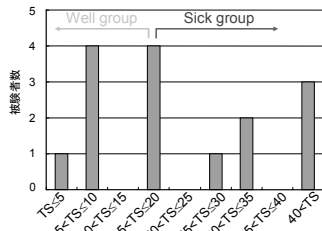
- 手ぶれ映像



Results

- 主観的評価
 - SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) を用いた主観的評価

総合スコアTSが高い被験者ほど強い酔いの症状



TS (Median) = 17.7

Sick group TS>17.7

強い酔いの症状が誘発された被験者群

Well group TS<17.7

さほど症状が誘発されなかった被験者群

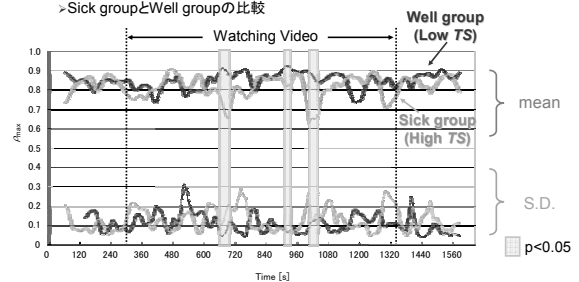
Kennedy R.S. et al., Simulation Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, Int. J. Aviat. Psychol., p.203-220(1993)

Results

- 生理的指標を用いた評価

$\rho_{\max}(BP)$

➢ Sick groupとWell groupの比較

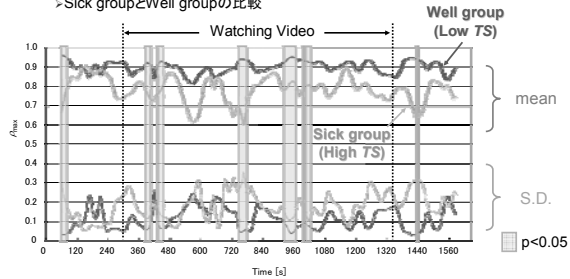


Results

■ 生理的指標を用いた評価

$$\rho_{\max}(IC)$$

> Sick groupとWell groupの比較



Discussion

■ 生理学的指標を用いた手ぶれ映像の生体影響評価

$$\rho_{\max}(BP), \rho_{\max}(IC)$$

映像視聴中において、Sick groupの方がWell groupに比べて有意に低下する時間があった



提案方法を用いて、手ぶれ映像視聴中による映像酔いの影響と考えられる反応を検出することができる可能性

Discussion

■ 生理学的指標を用いた手ぶれ映像の生体影響評価

$$\rho_{\max}(BP), \rho_{\max}(IC)$$

Valsalva試験で得られた混合行列から求められる $\rho_{\max}(IC)$ は、必ずしも $\rho_{\max}(BP)$ と同じ変化をするというわけではなかった



仮説

- ・Valsalva試験で得られた混合行列が映像提示で得られるデータに適用できない被験者が存在する可能性
- ・Valsalva試験で得られた混合行列から、必ずしも血圧情報を独立に抽出できていない可能性

Conclusion

光電容積脈波の特徴量に独立成分分析を適用することで、血圧情報に近い情報を得るための方法を提案

Valsalva試験において、被験者ごとの混合行列を用いることで、独立成分を用いて $\rho_{\max}(BP)$ に近い情報が得られた

独立成分分析を用いた提案方法で、手ぶれ映像提示実験において映像の影響と考えられる反応を検出できる可能性

Problems and Future Works

混合行列

Valsalva試験によって混合行列を求めることの妥当性の検証が必要

➡ Valsalva試験に対する圧受容器反射と、映像の刺激に対する圧受容器反射を同一視してよいか？

ICAのパラメータ設定

観測変数の個数と独立変数の個数について検討が必要

血圧計測

連続血圧計を用いずに混合行列を推定する方法の考案