

映像の動きベクトルと生体信号による映像酔いの評価

Assessment of Cybersickness by the Motion Vectors and Biosignals

木竜 徹¹, 板東武彦²T. Kiryu¹ and T. Bando²¹新潟大学大学院自然科学研究科, ²新潟大学大学院医歯学総合研究科¹Graduate School of Science and Technology,²Graduate School of Medical and Dental Science, Niigata University

Abstract: Virtual reality (VR) is a promising technology in biomedical engineering, but at the same time enlarges another problem called cybersickness. We used the motion vectors to quantize image scenes and measured electrocardiogram, blood pressure, and respiration for evaluating the autonomic regulation. Using the estimated motion vectors, we further synthesized random-dot pattern images as contents-free images. In a test by synthesized images, we surveyed which component of the global motion vector seriously affected the autonomic regulation. The results showed that the zoom component would induce sickness and under unpleasant situation the time-frequency representation of motion vectors revealed the switching behavior of a dominant vibration frequency that was related to camera work.

1. はじめに

映像のデジタル化はハイビジョンなどの鮮明な映像を作り出した一方で、チャンネルの通信容量の制約から滑らかな動きでない映像、色彩の異なる映像等、様々な品質の映像を作りだした。さらに、携帯機器や液晶テレビの出現によって、あらゆる場所に映像を氾濫させてきている。特に、携帯電話で送信される映像の品質は粗くて、滑らかではなく、付属するカメラでとらえた映像は視点が定まり難い。このような映像は生体に酔いを生じさせることが予想される。映像酔いは実用的な場面、例えば仮想現実感 (VR: Virtual Reality) の技術開発が進むにつれても大きな問題となっており、健康や安全の面での議論が進んでいる[1]。

映像要素の特徴は抽象的な構造から意味のあるコンテンツまで幾層にも存在する (図1)。ここで、映像のシーンの流れに依存した成分には、時系列的な映像の構造的要素の変化がある。特に、自己運動感を引き起こす映像は予測を要求する要因を持っており、視覚と前庭感覚に関する不調和から、映像酔いが生じやすいと言われている[2]。

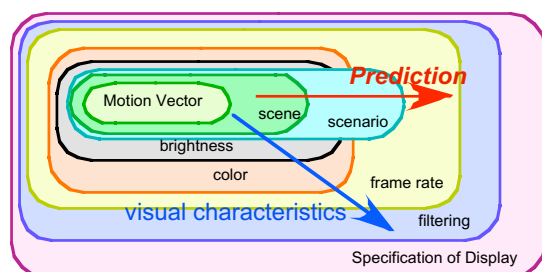


図1 映像要素の階層性

しかしながら、視聴者のすべてが映像酔いを感じるわけ

けではない。つまり、映像が同じであっても視聴者の個人性によって映像から受ける生体への影響の程度に違いがあるだろう。これには、神経生理学的な脳内内部モデルが関係すると思われる。すなわち、運動を伴う経験によって内部モデル形成や機能向上がどれほど図れたのか (適応能力) に関係するだろう。また、個人性の時間変化として、加齢や疾病による感覚系・筋骨格系・自律神経系などの機能変化がもたらす個人性。さらに、体調の変動等がある。そして、これらの変化を様々な時間スケールからなる生体信号から探ることとなる (図2)。

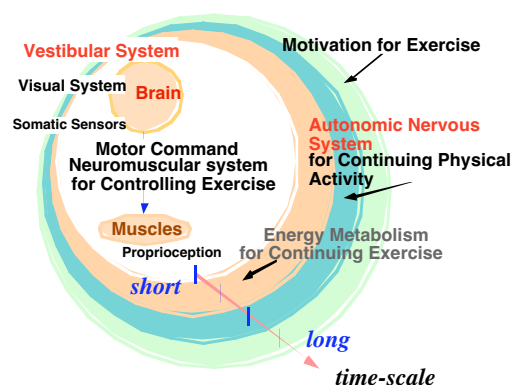


図2 生体信号の時間スケールの違い

著者等は、実写映像に対して映像の動きベクトルと多変量生体信号との関係を調べ、動きベクトルの特徴的な変化が及ぼす影響をすでに示した[3]-[5]。なお、動きベクトルは映像の構造的要素の変化としてデータ圧縮技術に組み込まれている技術である。ここでは、実写映像の影響だけでなく、映像生体影響の現れた実写映像区間での動きベクトルと同じ振る舞いをするシミュレーション映像を制作し、これを映像負荷とする生体影響を調べた。

制作したランダムドットパターンはシーンやシナリオレベルのコンテンツを省いた映像となり、視聴者への映像生体影響を探ることができる。ここで、映像の定量化に基づく研究はオプティカルフローがあるのみで実写映像を対象としたものはない。なお、最近になって空間速度[6]が提案されたが、実写映像向きではない。この様に、カメラの動きを推定する動きベクトルは映像圧縮技術のコアでもあり、より実用的と考えている。

2. 方法

映像酔いの強さを、以下の様なモデル式で考える。

映像酔いの強さ = (自己運動感のある映像で予測を必要とする程度) × (映像コンテンツの身体的理解の程度) × (映像サイズや輝度などによる没入感)

このモデル式は、映像酔いの要因が複数あることを想定している。また、ひとつでも要件が満足されないと、映像酔いが現れ難くなることを意味している。

2.1 動きベクトルによる映像の定量化

MPEG-2 等で用いられる動きベクトルは、ローカル動きベクトル (LMV: Local Motion Vector) とグローバル動きベクトル (GMV: Global Motion Vector) の2種類がある[7]。LMV では、隣接するフレーム間で類似の特徴のマッチングをはかることで、上下左右方向のピクセルの移動量を推定する。さらに、GMV は LMV に共通に見られる動きであるためカメラモーションと関係しており、ズーム (焦点距離の移動)、パン (カメラの横振り)、チルト (カメラの縦振り) の3種類の要素がある。この様に、動きベクトルはカメラの動きやシーンの流れなどの時間的特徴のみの情報からなり、映像コンテンツの影響を受けない。以上の理由で、動きベクトルは映像を定量化するには適していると考えられる。

2.2 シミュレーション映像

映像刺激は視覚刺激システム (VSG2/5, Cambridge Research Systems) を用いて構築し、スキャンコンバータ (DSC-1042HG, SONY) で DV に落とした上でプロジェクタに投影した。視覚刺激映像は、2次元の黒い背景上に配置されたランダムドットとした。ここでは、奥行き感を出すために色と密度、動きを変えた2種類のドットを作成して重ねた。GMV のパン、チルトはそれぞれ水平、垂直方向に移動することで表現し、ズームは座標位置に応じた水平方向と垂直方向に変換した。さらに、セグメント全体に GMV のズームにあわせてドットの大きさを拡大・縮小させた。

3. 実験

被験者は健康な男性8名、女性2名 (22.5±1.5 歳) である。映像刺激として、動きの激しいスポーツを車搭載カメラ、外部の固定カメラの双方で撮影した体感映像を用いた。また、同じ動きベクトルを持ち、ランダムドットパターンで表現したシミュレーション映像を制作した。ここでは、実写映像刺激の中で最も不快感が強かったマウンテンバイクの GMV を使用した。なお、映像を動きベクトルでのみ表現したことにより、マウンテンバイクの映像とは認識できない映像となった。

3.1 実験条件

映像は 80 インチスクリーン上に液晶プロジェクタ (TH-L795J, XGA 対応, 1024×768, 1400ANSI ルーメン, 松下電器) を用いて投影した。被験者とスクリーンとの距離は 2m, 室内の明るさを 10 ルックスとした。

心電図はディスプレイ電極を用い、胸部双極誘導

により計測した。血圧は橈骨動脈圧をトノメトリ法による連続血圧計測装置 (Jentow7700, 日本コーリン) を用いて計測した。また、チューブ式センサを用いて腹部、胸部での呼吸を計測した。さらに、左手母指球表面からの発汗量をカプセル換気法により測定し、左手母指球表面における末梢血流量をレーザードップラー法により測定した。生体アンプで増幅度 26 dB, 0.53 Hz~1 kHz の帯域で差動増幅し、サンプリング周波数 1 kHz, 量子化ビット数 16 bit で A/D 変換し、DAT に記録した。

3.2 映像と映像負荷のシーケンス

実写映像及び実写映像と同じ動きベクトルを持つ CG 映像の画面サイズ (解像度) は 352×288 pixel, フレームレートは 30 frame/sec である。実写映像からは LMV を 8×8 pixel のブロック毎に求め、シフト長を 4 pixel とした。さらに、映像の遠景、中心、近景での動きベクトルを大きく区分するために画面を 5×5 のセクションに分け、そのセクション毎に動きベクトル成分 (上下左右方向) の平均をとり LMV 成分時系列とした。一方、LMV から GMV をボトムアップ的なアプローチで推定した [4]

実写映像に対して、被験者は椅子に座った状態で、まず 5 分間の安静、その後、スクリーンに投影された乗り物体感ビデオ (映像) を 18 分間視聴した後、2 分間安静とした。シミュレーション映像に対しては、目的がそれぞれ異なる 5 種類の実験を行った。映像刺激は、はじめの 3 分間はランダムドットが停止し、その後、2 分間移動、1 分間停止を繰り返すものとした。但し、2 分間の移動では、目的に応じて動きベクトルの条件を変更した。実験の目的は、1. GMV と LMV の比較、2. GMV でのパラメータの比較、3. LMV でのパラメータの比較、4. 周波数の比較、5. 周波数の切り替えレンジの比較である。また、映像視聴前後に 3 分間の安静を行った。実験タスクの組み合わせは、fMRI で用いられている逐次エボック型パラダイム[8]を参考に設定した。

3.3 信号処理

心電図をローパスフィルタで処理しアーチファクトを除去した後、閾値法にて隣接する R 波のピーク時間間隔 (RR 間隔) を求めた。なお、動きベクトルと同じサンプリング周波数 30 Hz でリサンプリングすることで、等間隔 RR 間隔時系列を得た。また、血圧、呼吸も同様にカットオフ周波数 1 Hz となる移動平均で平滑化を施した後、3 次スプライン補間してから映像のフレームレートである 30 Hz でリサンプリングした。なお、自律神経系への影響を推定するため、Gabor 関数を Mother Wavelet とする連続 Wavelet 解析によって、Mayer 波帯域 (0.04–0.15 Hz) を血圧波形から、呼吸性洞性不整脈 (RSA) 帯域 (0.16–0.45 Hz) を呼吸波形から調べた。なお、特徴のみられた区間に対して動きベクトルの時間周波数解析 (Wavelet 変換) を行った。

4. 結果

実写映像ではボブスレー、マウンテンバイク、バイクレースで気分が悪くなる被験者が多かった。ここで、マウンテンバイクの実写映像が気持ち悪いと答えた人が5名、そのうちランダムドットパターン (以下、CG) も気持ち悪かった人は3名であった。逆に、実写映像が気持ち悪くないと答えた5名で CG も気持ち悪くなかった人は2名であった。

例えば、バイクレースの映像において GMV を時間周波数解析した結果によれば、GMV は 8–14 Hz の激しい振動から 0.5–2 Hz のゆっくりとした振動へ急に変化した (図 3)。このことから、動きベクトルの急激な周波数の切り

替えや特定の低い周波数成分が生体に影響を与えている可能性があった。一方、この特徴をマウンテンバイクの映像に対して自律神経関連成分で求めた結果、気持ちが悪い場合に血圧の低周波数成分が増加するか、呼吸の高周波数成分の時間変化が不連続となる特徴が見られた(図4)。次に、CG映像に対して映像の要素の影響を調べた結果、GMVの成分のうちズームとパンはLF成分(0.04–0.15 Hz)やLF/HFを増加させ(HF成分は低下)、

チルトはHF成分(0.16–0.45 Hz)やLF成分を増加させた(LF/HFは低下)。図5に被験者1名での結果をGMVの各成分毎に自律神経系関連指標の変化として示した、また、図6は被験者10名に対するLF/HFで表した結果である。その結果、実写映像に対してLF/HFが高い被験者は同様にランダムドットパターンに対してもLF/HFが高く、さらに、実写映像で酔いを示さなかった被験者でもズームやパンの影響を受けていた。

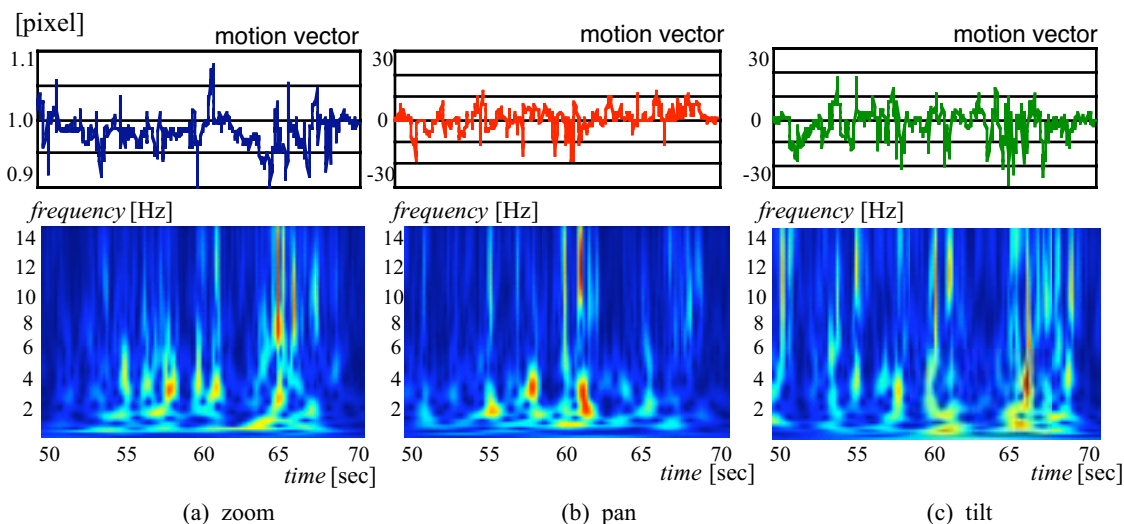


図3 動きベクトルと動きベクトルの時間周波数解析

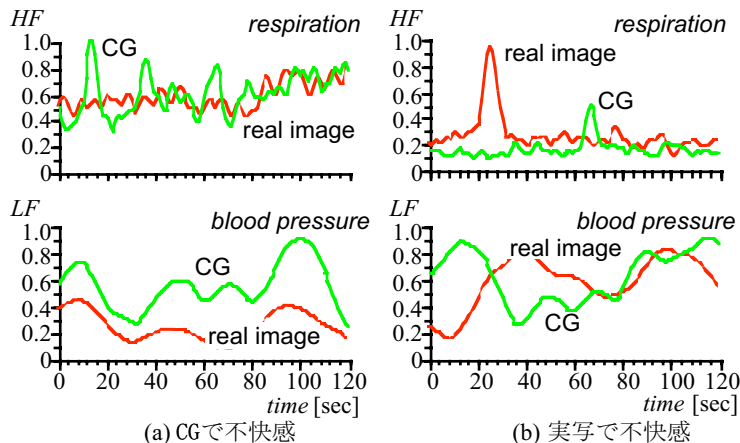


図4 実写映像とCG映像に対する規格化HF, LF成分

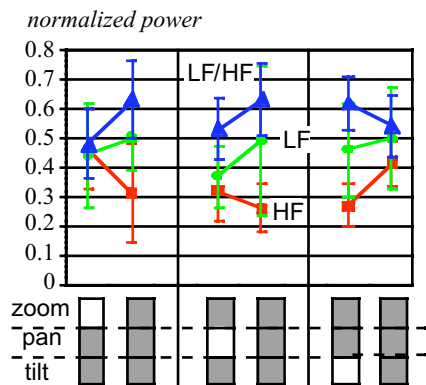


図5 GMV各成分が自律神経系関連指標へ与える影響

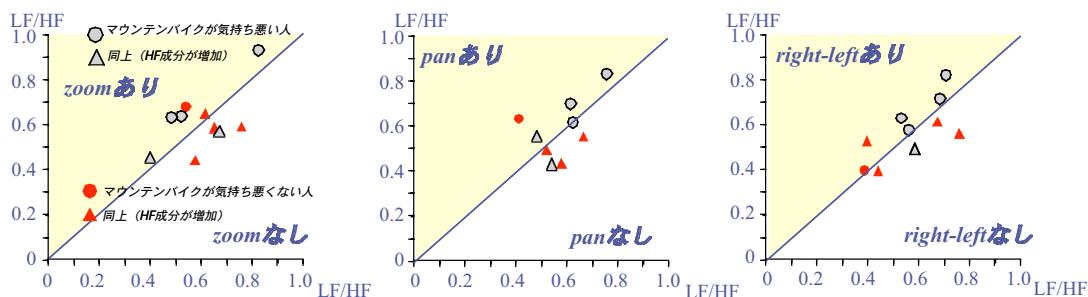


図6 ランダムドットパターンでのGMV成分の有無と自律神経系パラメータ

5. 考察

自己運動感のある映像酔いでは、予測に反して急に映像が変化するため、視覚と平衡感覚との間に情報のミスマッチが起こり、さらに、ある程度その状態が持続した結果、不快感が生じた可能性が高い。しかしながら、従来の評価は傍証的な自律神経系やアンケート調査などが主流であった。ここでは、映像酔いを示した実写映像の情報を動きベクトルとして直接的に定量化した。

その結果、動きベクトルによって、例えば、映像酔いを示したバイクレースの映像において、動きベクトルの 8-14 Hz の激しい振動が 0.5-2 Hz のゆっくりとした振動へ急に変化したとき、また、2-4 Hz の成分が観測された。したがって、この様な、動きベクトルの急激な周波数の切り替えや特定の低い周波数成分が生体に影響を与えている可能性がある。この様に、映像の動きベクトルは、この問題を解決する有効な手段と考えられた。

以上の結果はランダムドットパターンによるスクリーニング映像制作の有効性、さらに新たな客観的データに基づく映像生体影響評価法の手がかりを示唆している。映像生体影響は個人性のレイティングが関係することから同じ映像（同じ動きベクトル）でも、コンテンツや個人性の違いによって影響の程度が異なるだろう。すなわち、映像の動きベクトル推定が制作時に完了するとしても、生体への影響は個人性に関わる様々な条件でその場の対応が必要となる。

今後の対応をまとめると以下ようになる。

1. シミュレーション映像による映像の階層性への対応：映像生体影響の出現が確認されている実写映像から動きベクトルを抽出し、推定した動きベクトルからランダムドットパターンによるシミュレーション映像を制作する。さらに、ランダムドットパターンへのコンテンツや輝度、色彩による肉付け作業を階層的に行う。これによって、映像要素を様々に加えたシミュレーション映像のどのレベルの要素が生体に影響を与えるのかを調べる。

2. 生体信号による個人性の計測：マウンテンバイクやシミュレーション映像などの映像酔いを起こしやすい標準映像に対して、心拍変動、血圧、呼吸、発汗、眼球運動、頭部動揺等を計測し、自律神経系や視覚の特性を推定する。自律神経系においては心拍変動、血圧、呼吸などの時系列を時間周波数解析する。また、アイカメラなどによって注視している部分、注視していない部分での映像の構造的要素との関係を探る（中心視、周辺視との関係）。また、アンケート調査も行い、客観的データでは計測しきれない要素も探る必要がある。

3. 映像生体影響予測式の推定：動きベクトルなどの映像要素とその映像に対して計測された個人性のパラメータとから多変量解析などによって、映像生体影響予測式を推定できる可能性がある。あるいは、映像の動きベクトルを入力とし、自律神経系の概周期的な生体信号（心拍変動や呼吸波形、血圧波形など）を出力とするシステム関数的なアプローチが可能である。この際、動きベクトルには部分部分の特徴を表す LMV とカメラの動きを表す GMV とがあり、様々な動きベクトルの組み合わせを入力とした解析となる。これによって推定されたシステム関数には生体の特徴が埋め込まれる。これによって、映像生体影響予測式推定への条件が整うだろう。

6. まとめ

自己運動感のある映像要素を動きベクトルのレベルで分解し、自律神経系の評価指標から映像酔いとの関連を

調べた。すなわち、実写映像からは自律神経系の指標の影響を及ぼす区間での動きベクトルの時間周波数構造を明らかにし、同じ動きベクトルを持つランダムドットパターンからは動きベクトルの構成要素毎の生体影響を調べた。その結果、実写映像の動きベクトルでは、その周波数の切り替わり、さらに、ランダムドットパターンからはグローバルな動きベクトル成分のうち、ズームとパンが血圧波形にみられる低周波帯域のパワーを増加させていた。

今後、蓄積されたデータをデータマイニングなどの方法により解析することで、どれくらいの年齢（経験）や体調ならば、どの程度の映像までは影響が抑えられるのかを予測できる生体影響予測式が明らかになってくるであろう。また、危険度自動評価システムの具体的な開発も可能になるものと思われる。

謝辞

本研究は社団法人電子情報技術産業協会からの委託によるものである。また、動きベクトルの算出にあたり、NTT サイバースペース研究所 秦泉寺久美氏のご協力に感謝いたします。

参考文献

- [7] Nichols and H. Patel, "Health and safety implications of virtual reality: a review of empirical evidence," *Appl Ergon*, vol. 33, no. 3, pp. 251-71, 2002.
- [2] L. J. Hettinger, K. S. Berbaum, R. S. Kennedy, W. P. Dunlap, and M. D. Nolan, "Vection and simulator sickness," *Mil Psychol*, vol. 2, pp. 171-81., 1990.
- [3] 南保洋子, 木竜 徹, 板東武彦, 小林直樹, "自己運動感を伴う映像の動きベクトルによる生体影響", 第17回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 143-144, 2002.
- [4] T. Kiryu, Y. Nanbo, N. Kobayasi, and T. Bando, "Relationship between Motion Vectors of Vection-Induced Image and Multivariate Biosignals under Visual Tasks," in *Proc. 4th International Workshop On Biosignal Interpretation*, Como, Italy, pp. 517-520, 2002.
- [5] 木竜 徹, 南保 洋子, 板東 武彦, 小林 直樹: "動きベクトルを用いた要素分解による自己運動感のある映像の生体影響評価", 電子情報通信学会技術研究報告, MBE2003-9, pp. 47-52, 2003.
- [6] R. H. Y. So, A. Ho, W. T. Lo, "A metric to quantify virtual scene movement for the study of cybersickness: Definition, implementation, and verification," *Presence*, vol. 10, no. 2, pp. 193-215, 2001.
- [7] 安田浩, 渡辺裕, デジタル画像圧縮の基礎, pp.44-47, 日経BP出版センター, 東京, 1996.
- [8] 鈴木清隆, 木竜 徹, 田中 力, "ブラインド信号分離とfMRI画像解析への応用," *BME*, vol.16, no.5, pp. 24-31, 2002.