

VR空間における 生体情報を利用した感性情報マッピング手法

林 雅樹* 宮下 広夢* 岡田 謙一*

現在、我々はあらゆるところでVRの技術を目にし、実際に利用している。そして、VR空間に入り込んでいる感覚、すなわちPresenceを体験させるために多くのシステムが開発された。しかし、生体情報の有効な利用方法が確立されていないため、ユーザがPresenceを体験しているのかを推定することは困難である。そこで、本研究ではVR空間における生体情報を利用した感性情報マッピング手法を提案する。脳波情報・呼吸情報・脈拍情報から生体マトリックスを定義し、Presenceを体験している時の感性情報と生体情報のマッピングを行う。提案概念を実現するために、生体情報から個人の状態を推定し、生体マトリックスの軸を決定する。また、様々な刺激に対する生体反応を調査し、感性情報とのマッピングを行うための実験を行う。

A Mapping Method for KANSEI Information Using Physiological Information

Masaki Hayashi* , Hiromu Miyashita* , Ken-ichi Okada*

We see the technology of Virtual Reality in all places, and are using it actually now. And, to experience the sense that entered the Virtual Reality space, Presence, a lot of systems have been developed. However, it is difficult to estimate whether the user are experiencing Presence, because the effective use of physiological information isn't established. Then, we propose a mapping method for KANSEI information using physiological information. We define physiological matrix from brain wave information, breath information and pulse information, and conduct the mapping of KANSEI information and physiological information when Presence is experienced. To achieve the proposal concept, we estimate the individual state from physiological information, and decide the axis of physiological matrix. Moreover, we investigate the physiological reaction to various stimulation, and do experiments to conduct the mapping with KANSEI information.

1 はじめに

現在、VR空間はあらゆるシーンに応用されており、より没入可能な環境であることが求められている。物理的な制約を受けずにVR空間に入り込んでいる感覚(Presence)を体験させるために多くの研究が行われている[1][2]。そして、生体情報から導かれる個人の状態と感性情報を結びつけることで、Presenceが推定されている。しかし、生体情報の有効な利用方法が確立さ

れていないため、ユーザがPresenceを体験しているのかを推定することは困難である。

そこで、本研究ではVR空間における生体情報を利用した感性情報マッピング手法を提案する。本手法では、脳波から推定される集中・散漫状態と呼吸や脈拍から推定されるリラックス・緊張状態を軸として生体情報の推移を2次元上に表現した生体情報マトリックスを構築する。このマトリックスの各象限においてブルチックの感情モデルをもとに選定した、生体情報と関連の深い感情とマッピングを行い、マッピングされた特定の感情を引き出す要素を刺激として与えること

* 慶應義塾大学理工学部情報工学科
Department of Information & Computer Science, Graduate
School of Science and Technology, Keio University

で、Presenceの体験を可能とする。実験において、脳波と呼吸、脈拍の関係から生体情報マトリックスにおける軸を決定し、さらに仮想空間内で様々な刺激を与えることで、どのような要素がPresenceを体験させるために必要なかを調査する。

以降、2節、3節では仮想空間と感性情報、生体情報の特徴や関連研究について述べ、4節において、VR空間における生体情報を利用した感性情報マッピング手法を提案する。そして5節では実装、6節で評価実験について述べ、最後に7節にて結論を述べる。

2 VR空間と感性情報

2.1 Presenceとは

VR空間において与えられた刺激をあたかも現実空間で与えられたかのように感じることをPresenceといい、本研究においては、1998年にWitmerらにより提唱された[3]、「物理空間のどこにいても、自分が仮想空間内に入り込んでいる感覚」という定義を利用する。

この感覚を体験するためには物理空間から隔離された仮想空間内に没入し、さらに与えられた刺激に対してインタラクションがとれている必要がある。

2.2 感性情報の推定

VR空間内での刺激に注意を払っているかは、Presenceを体験できているかを推定する上で重要である。そして、Presenceは刺激により人間の内外に表れる反応から感性情報を推定することで評価される[1][2][4]。

人間の外側に出る反応、すなわち表情、声の韻律、発話内容などから感性情報を推定するアプローチがとられている[4]。しかしこれらの方法は、感情の激しさや、各人の個性、インタラクションの内容に依存するため、感性情報を推定するのに十分な指標とは言えない。

一方、脈拍や皮膚抵抗、皮膚温などの生体反応から仮想空間における恐怖反応の分析がされており[1]、人間の内面的な情報を客観的な値として取得できる生体情報は感性情報を推定するのに有効な指標と言える。本研究では、生体情報を活用することでPresenceを体験できているかの推定を行う。

3 生体情報

生体情報とは、脳波、血圧、呼吸など人間の自律神経が支配する活動の中で、人間が意識せず発している情報のことである。生体情報は覚醒度、ストレス、メンタルワークロード、疲労度など、人間の心身状態との関連性があるが、本研究では感性情報の推定に利用されている脳波と呼吸、脈拍に着目する。

脳波は脳の活動に伴って頭皮上に現れる活動電位であり、脳波を測定することで脳の活動状態を知ることができる。脳波はその周波数帯域から、 δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波、 γ 波の5つに分類することができる[5]。本研究ではその中でも前頭部で顕著に観測され、興奮、緊張、集中など意識レベルの高い状態で観察できる β 波を利用する。

呼吸と脈拍は自律神経活動を表す生体情報である。呼吸数の増加は交感神経の活動が、呼吸数の減少は副交感神経の活動が優位と言われており[6]、呼吸数から状態変化を読み取ることができる。また、脈拍における心拍変動の解析方法のひとつであるパワースペクトル分析では、心拍変動は、high-, low-, very low-, および ultra low-frequency 成分に分類される[7]。この中でHFは心臓迷走神経機能を反映する指標、またLF/HFの減少は副交感神経の優位性を表すと言われている[8]。

一方、感性情報はプルチックにより、喜び、受容、驚き、恐れ、怒り、嫌悪、悲しみ、期待の感情がその強度ごとに分類されている[9]。

4 VR空間における生体情報を利用した感性情報マッピング手法

4.1 VR空間と生体情報

2.2節で述べたように、VR空間でのPresenceを推定するためには生体情報が有効である。既存研究においても、生体情報から感性情報を推定することで、VR空間のリアルさやストレス反応が測定されてきた[2]。

しかし、Presenceは仮想空間をあたかも現実空間にいるように捉える感覚のことで、単一感情のみで評価するだけでは不十分と言える。また、任意の感情は複数の生理的な要因から引き起こされるため、複数の感情を推定するためには複数の生体情報が必要である。そのため生体情報を複合的に測定し、より多くの感性情報を推定する手法が必要となる。

4.2 生体情報マトリックス

現状では、VR空間において有効な生体情報の推定がなされていなかった。そこでVR空間において生体情報から感性情報を推定する手法として生体情報マトリックスを提案する。生体情報マトリックスとは、生体情報から導出できる集中や緊張といった個人の状態を軸に配置し、それを2次元的に表現したものである。このマトリックスでは、任意の感情を複数の生体情報から推定することで、今まではできなかった複数の感性情報の推定を可能にしている。本研究では、個人の

状態を推定する生体情報として脳波、呼吸、脈拍情報を用いる。理由は以下の通りである。

- 自律神経の活動を表す呼吸・脈拍は Presence を評価するのに適している。
- 脳波の β 波帯は思考作業時に強く出現し、自律神経とは異なった脳の活発度を測るのに適している。

これらの生体情報を図 1 のようにマトリックス上に配置し、生体情報マトリックスとして仮定する。マトリックスにおける各軸は以下の生体情報から推定される。

- 集中・散漫：集中と関連の深い脳波
- 緊張・リラックス：自律神経の活動と関連の深い呼吸・脈拍

このようにそれぞれの状態と関連の深い指標を用いることで、2 次元的に個人の状態を推定することができる。そして、生体情報から推定できると仮定した感性情報がマトリックス上のどの象限に位置するのかを調査することで、生体情報と感性情報の結び付けを行い、仮想空間において Presence を与える要素を導き出す。

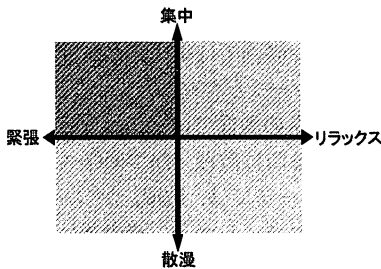


図 1: 生体情報マトリックス

5 実装

5.1 脳波情報

本研究では、脳波を計測する際に、IBVA Technology 社のヘッドバンド型簡易脳波計 IBVA を利用する。

計測した脳波を以下の手順で BA-Level (Brain Activity Level) として 5 段階に数値化する。

1. 得られた脳波に FFT を施し周波数分解する。
2. 筋電などに由来する瞬間的なノイズを除去する。
3. 周波数帯域 14-27 Hz 帯のデータを平均し、これを 1 サンプルの脳波データと定義する。
4. 各瞬間において、最新 N サンプルの脳波データに重み関数を掛けて加算し、その値をその瞬間の BA-Level と定義する。

この BA-Level をリアルタイムに導出するプログラムとして、図 2 左上のようなインタフェースを持つアプリケーションを Java で実装した。我々は先行研究において 14-27Hz 周波数帯が頭の活発度を顕著に表していることを検証実験において確認した [10]。

5.2 呼吸情報

呼吸情報の取得には、図 3 に示した呼吸センサを製作し、使用した。計測した呼吸情報から呼吸回数をリアルタイムに導出するプログラムとして、図 2 右上のようなインタフェースを持つアプリケーションを Java で実装した。導出手順を以下に示す。

1. 測定した呼吸に、電位値として得られた過去 3 サンプルの値を平均してその瞬間の呼吸データとし、呼吸データから波形を導出する。
2. 呼吸データの波形が下降した瞬間を吸気、上昇した瞬間を呼気として吸気、呼気のタイミングを検出し、吸気か呼気かを判定する。
3. 検出した吸気、呼気のタイミングと直前のタイミングから吸気時間を計測し、合計して呼吸時間を導出する。
4. 過去 k 秒間に何回呼吸したかを呼吸情報の波形を監視することにより導出する。

我々はこの k の値を決定するための実験を行い、60 秒が妥当であることを確認した [11]。リラックス時は平常時に比べ呼吸数が減るため、リラックス時の呼吸回数を指標として呼吸の状態を 5 段階で導出する。

5.3 脈拍情報

本研究では、脈拍を計測する際に HeartMath 社の emWaveSensor を用いた。このセンサを用いて以下の手順で LF/HF を導出する。

1. 脈拍のデータを計測し、心拍を測定する。
2. 心拍が生起した時間と振幅(心拍間隔)から、間のデータを直線で補間する。
3. 等間隔にサンプリングしたデータにハニングウィンドウを掛け、128 ポイントで FFT を施す。
4. 得られたパワースペクトルから LF, HF を求める。

図 2 下に Java で実装された脈拍解析アプリケーションを示す。LF/HF の減少は副交感神経の優位性を表すため、リラックス時の LF/HF を指標として脈拍の状態を 5 段階で導出する。

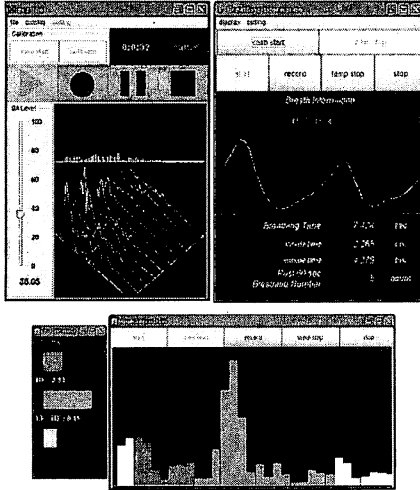


図 2: 生体情報導出アプリケーション (左上: BA-Level 導出, 右上: 呼吸解析, 下: 脈拍解析)

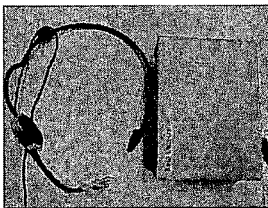


図 3: 呼吸センサ

6 評価実験

6.1 実験環境

本実験においては、生体情報センシングデバイスの他に没入感を高めるために重要である HMD とノイズキャンセリングヘッドホンを被験者に着用してもらい、実験を行った。このような環境では外部の情報が遮断されるため、被験者を Presence を体験しやすい状態にすることができると考えられる。

6.2 実験 1

本実験では様々な種類の映像を鑑賞し、その中で生体情報の変化を観察することで、どのような要因が生体情報に影響を与えるのかを調査する。我々は、映像とは必ず何かしらの意図があって作られており、人間は映像を見ること何かを感じ取り感情が沸き起こると考え、映像鑑賞のタスクを選定した。

被験者 16 名 (男 12 名, 女 4 名) は, (1) ホラー映画 : Dawn of the Dead (ゾンビの出現するシーン), (2) ア

クション映画 : Pirates of the Caribbean (登場人物が剣で闘っているシーン), (3) ジェットコースターシミュレータ, (4) VR ビーチ (単調な映像), の 4 種類の映像を各 5 分程度視聴した。

これらの映像から生体の変化が特徴的なシーンを読み取り, 人間に影響を与える要素について検討をする。また各被験者には, 映像を鑑賞した後, その映像のイメージを質問した。このアンケートによって, 映像がどのような感性情報を引き出していたのかを評価する。そして, 生体情報の変化が感情とどのように結びついていたのかを考察する。

6.3 実験 1 結果

各映像には, 生体反応が特徴的な 30 秒程度のシーンが見られた。表 1 に各映像における特徴的なシーンとその時の生体反応を示す。この表は各映像全体の生体パラメータの平均を生体情報マトリックスの原点として, 特定のシーンの生体パラメータの平均からそのシーンでどのように状態遷移していたのかを示している。検定における p 値は Wilcoxon の符号付順位和検定により比較した。ホラー映画では散漫, かつ緊張状態へ, アクション映画では集中, かつリラックス状態に遷移しているシーンが存在した。また, ジェットコースターシミュレータの映像では, ジェットコースターがカタカタ昇っている時に散漫, かつ緊張への状態遷移が見られた。VR ビーチでは, 散漫, かつリラックス状態への遷移が見られた。しかし, その後は被験者によって生体の変化が一様ではなかった。

これらの結果から, 仮想空間において与える刺激を以下のように決定した。

- 明るさを変化させる
- 突然大きな音を鳴らす
- 動いているものを目で追わせる

明るさを変化させる, 突然大きな音を鳴らす刺激はホラー映画から恐怖・緊張を, 動いているものを目で追わせる刺激はアクション映画から喜び・楽しみの感情を引き出すために与える。ジェットコースターシミュレータから得られた結果より, その場にいる感覚を音で表現することで生体反応は出やすくなると言える。

6.4 実験 2

実験 2 の目的は実験 1 から得られた結果より, VR 空間において与えた刺激が生体にどのような影響を与えるのかを調査する事である。

実験では, 被験者 21 名 (男 17 名, 女 4 名) に VR 空間のナビゲーションのタスクを課した。ユーザは図 4

表 1: 各映像における生体反応とシーンの特徴

映像	脳波	呼吸+脈拍	特徴的なシーン
1	散漫*	緊張**	照明が暗く、突然大きな音が流れたシーン
2	集中**	リラックス*	台詞がほとんどなく、登場人物の動きを目で追わせるシーン
3	散漫***	緊張*	昇っている時の音など、その場の臨場感を表現した時
4	散漫*	リラックス*	開始 60 秒程度経過した時

(* : $p < 0.01$, ** : $0.01 \leq p < 0.05$, *** : $0.05 \leq p$)

に示した VR 空間を遠隔からの指示に従い約 10 分間移動する。被験者には以下のような刺激が与えられる。

1. BGM の再生速度を速くする
2. 暗い→明るい空間へ変化させる
3. 突然大きな音を鳴らす
4. 動いている物体を目で追わせる

本実験は空間による違いが生じないことを検証するため、2 種類の空間で行った。それぞれ Texture, BGM を異なるものにし、空間 A では緊張・恐怖感、空間 B では安静・リラックス感を演出するようにした。

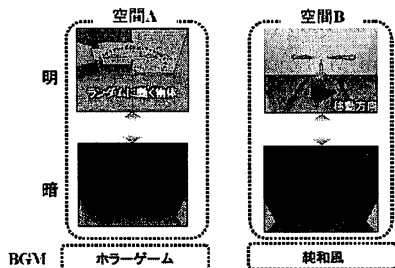


図 4: 実験用 VR 空間

6.5 実験 2 結果

計測した生体パラメータの平均を空間ごとに比較したところ、脳波では差が見られなかったが呼吸+脈拍では空間 A の方が緊張状態であったが分かった ($p < 0.05$)。しかし、各空間におけるナビゲーション全体の生体パラメータを生体情報マトリックスの原点として、各刺激を与えた後の 30 秒間の平均でパラメータがどのように変化したかを調査したところ、どちらの空間においても表 2 のように一様な変化を示した。なお、検定は Wilcoxon の符号付順位検定を用いた。

表 2 より BGM の再生速度を変化させても生体反応はないことが分かる。暗い空間から明るい空間へ変化させた時にも大きな変化は見られなかった。突然大きな音を鳴らした時は両方の空間で散漫、かつ緊張の状態に遷移した。つまり、大きな音などの驚きの刺激を与えることが恐怖・緊張の感情を引き起こすと言える。動く物体を目で追わせた時には、一様に集中、かつリラックス状態へ遷移した。この結果から動く物体を目で追うという行為が、引き込まれる感覚を引き起こし、喜び・楽しみという感情を引き起こすと考えられる。

表 2: 各刺激を与えた時の生体情報の変化 (被験者 21 名)

刺激	脳波	呼吸+脈拍
再生速度を速める	変化なし	変化なし
暗→明	変化なし	変化なし
大きな音を鳴らす	散漫*	散漫*
物体を追う	集中*	リラックス*

(* : $p < 0.01$)

6.6 考察

これまでの実験で、生体マトリックスにおける軸の決定と VR 空間において生体反応を引き起こす要因について調査した結果、図 5 のように生体情報と感性情報はマッピングされる。

集中・リラックス状態は喜び・楽しみの感情と対応しており、動いている物を追うことに専念することで状態遷移し、散漫・緊張状態は恐怖・緊張の感情と対応しており、突然大きな音を鳴らすなどの驚きの要素により遷移する。そして、散漫・リラックス状態は安静・リラックス、もしくは嫌悪・退屈の感情と対応しているが、実験 2 においてどの刺激を与えても遷移しなかったことから、実験 1 における VR ビーチのような単調な映像などの視聴で状態遷移すると言える。

このマトリックスを用いて、VR 空間に没入した状態で刺激を与えることで、特定の感情を引き起こすことができる。例えば、コンテンツに喜び・楽しみの要素を加えたい時は、動いているものを追わせることで実現できる。そのため、このように視覚的に感性情報と生体情報のマッピングを行うことは、双方の情報を結びつけ、Presence を体験させる空間作りのための知見となる。

7 おわりに

本稿では、VR 空間において有効な感性情報の推定方法が確立されていないという問題点を解決するため

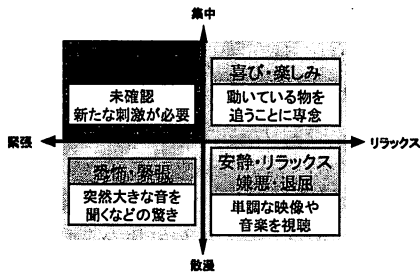


図 5: 生体情報と感性情報のマッピング

に、VR空間における生体情報を利用した感性情報マッピング手法を提案した。本手法では、脳波から推定される集中・散漫状態と呼吸や脈拍から推定されるリラックス・緊張状態を軸として生体情報の推移を2次元上に表現した生体情報マトリックスを構築した。このマトリックスの軸として、複数の感性情報とのマッピングを図っている。

評価実験において、映像鑑賞タスクによってVR空間において与える刺激を決定した。実際にVR空間のナビゲーションタスクを通じて、様々な刺激を与えたところ、(1)集中・リラックス状態は喜び・楽しみの感情と、(2)散漫・リラックス状態は嫌悪・退屈、もしくは安静・リラックスの感情と、(3)散漫・緊張状態は恐怖・緊張の感情と対応していることが分かった。以上より、生体情報マトリックスを用いることで複数の感性情報を推定し、Presenceを体験させるための刺激を決定することができた。

今後は、生体情報マトリックス上で遷移が確認されなかった集中、かつ緊張状態の生体反応を示す刺激についての考察や、本研究より得られた知見をVRのコンテンツに組み込む研究についても検討している。

謝辞

本研究の一部は総務省、SCOPEの支援により行われた。

参考文献

[1] B. K. Wiederhold, D. P. Jang, S. I. Kim, and M. D. Wiederhold: Physiological monitoring as an objective tool in virtual reality therapy.; CyberPsychology and Behavior, Vol.5, No.1, pp.77-82 (2002).

[2] M. Meehan, B. Insko, M. Whitton, and J. Frederick P. Brooks: Physiological measures of presence in stressful virtual environments.; ACM - Transactions on Graphics(ACM-SIGGRAPH), Vol.21, pp.645-653 (2002).

[3] Bob G. Witmer, Michael J. Singer: Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire; Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol.7,pp.225-240 (1998).

[4] S. Kaiser, T.Wehrle, S.Schmidt: Emotional Episodes, Facial Expressions, and Reported Feelings in Human-Computer Interactions; the Xth Conference of the International Society for Research on Emotions, pp.82-86 (1998).

[5] 加藤象次郎, 大久保堯夫: 初学者のための生体機能の測り方; 日本出版サービス (1999).

[6] 日野原重明: バイタルサインの見方・読み方—体温・脈拍・呼吸・血圧・意識; 照林社 (2004).

[7] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use; Circulation, Vol.93, pp.1043-1065 (1996).

[8] Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S., Rimoldi O, Furlan R, Pizzinelli P, Sandrone G, Malfatto G, Dell Orto S, Piccaluga E, Turiel M, Baselli G, Cerutti S and Maliani A: Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympathovagal interaction in man and conscious dog; Circulation, Vol.59, pp.179-193 (1986).

[9] R.Plutchik: The Multifactor-Analytic Theory of Emotion; Psychology, Vol.50, pp.153-171 (1960).

[10] 宮田章裕, 林剛史, 福井健太郎, 重野寛, 岡田謙一: 思考状態と発話停止点を利用した会議の動画ダイジェスト生成支援; 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.3, pp.906-914 (2006).

[11] 山本翔太, 宮田章裕, 林雅樹, 岡田謙一: 生体情報を用いた仮想環境における作業支援; マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2007) シンポジウム, pp.1670-1677 (2007).