

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300059

研究課題名(和文)共感計算機構の構築

研究課題名(英文)Construction of Empathic Computation Mechanism

研究代表者

沼尾 正行 (Numao, Masayuki)

大阪大学・産業科学研究所・教授

研究者番号：30198551

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,200,000円、(間接経費) 4,560,000円

研究成果の概要(和文)：脳波計用に感性解析アルゴリズムを開発し、実験を行った。脳波計以外に、各種生理センサを併用して、比較することで精度の向上を図った。心拍はホラーゲームにおける感情の測定に有用であった。意味差分法のための6つの形容詞対をセンサによる計測の観点から再検討し、感情価(valence)と覚醒度(arousal)の2軸による評価を導入した。

作曲は遺伝的アルゴリズムを用いて行なった。遺伝的アルゴリズムは、染色体表現、遺伝的操作及び適合度関数の実装が非常に重要である。共生進化の手法により、旋律にモチーフ構造を導入して、その影響を調べた。このことにより、より高度な作曲へアプローチすることができた。

研究成果の概要(英文)：We have developed an algorithm for feeling analysis and conducted experiments. As well as brain waves, we employed some sensors to accomplish higher accuracy. For a horror game, heart rate is quite useful. Although we have been using six adjective pairs for evaluation based on questionnaires, we have introduced valence and arousal to evaluate emotion based on sensors.

We use a genetic algorithm for composition, whose chromosome representation, operators and fitness function are important. By using symbiotic evolution, we have introduced motif structure to melody, and have investigated its effect, by which we have approached more sophisticated composition.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：脳-計算機海面 脳波 生体信号 感性と感情 センサーネットワーク 音楽 記号と非記号 帰納

1. 研究開始当初の背景

携帯電話やパソコンなどの情報機器の普及により、コミュニケーションは密になったように見えるが、人に深く共感する機会は却って減っていると言われる。

共感の機会を奪っているのは、受け手の状況を無視した、一方的な情報の流れである。これを避けるため、研究代表者らは、ユーザに適応しながら音楽や個人教育のフィードバックを構成する手法を開発し、構成的適応インタフェース(Constructive Adaptive User Interface: CAUI)と名付けた。そこでの研究の蓄積をベースに共感計算機構を研究した。

受け手の状況検出手法としては、武者らが脳波から感情や精神状態を判定する研究を古くから行っており、BCI(Brain-Computer Interface)の先駆けと考えられる。この研究成果に基づく感性解析システムが市販されており、申請者はすでにこれを一式購入して、音楽に対する感性を調べるための予備実験を行っていた。その不十分な点を改善するため、本研究では、全く新しい手法を開発し、精度を格段に改善した。

神谷らは、fMRI を用いた BCI を構築している。これはヒトの個体差を吸収するため、知覚と脳活動マップの間の関係を機械学習の手法により獲得するようになっている。BCI は、「脳活動パターン 感性」の写像を学習し、CAUI は「感性 コンテンツ」の写像を学習する。これにより、いろいろな心の状態に合ったコンテンツを生成する研究への展望も開ける。

2008 年に Emotiv 社から脳波を活用したより手軽な BCI が発表され、\$299 から販売されるようになった。申請者のグループでは、これをいち早く入手し、テストを開始した。無線(Bluetooth)で接続するため、ケーブルが不要であり、頭部電極の装着も簡単で、従来の脳波計よりはるかに手軽に使用できる。感情を検出するソフトウェアも付属し、ユーザによるソフトウェアの追加開発にも配慮されている。本研究において、複数台購入して、活用した。

研究代表者は 2008 ~ 2010 年に連携研究者の Legaspi 氏を学振外国人特別研究員として受け入れた。研究課題は「種々の形態の感情検出および状況コンテキストへの適応によるポジティブ感情の喚起」である。その中で、各種生理センサおよび脳波計を用いており、その成果を活用した。

CAUI で音楽を扱う場合、楽譜全体を一塊で扱うだけではなく、それを分析して楽譜を構成する情報を抽出せねばならない。そのために、西洋調性音楽の音楽理論を制約条件として用い、調性、終止形、借用和音といった音楽構造を扱えるようにしている。音楽構造の抽出には、機械学習技術を用いている。楽譜は記号で表現されており、記号間の関係も重要であるので、記号や関係表現を学習する手

法を採用した。下記では、状況検出手法に意味差分法のアンケートを用いている。

2. 研究の目的

従来の人工知能は、情報機器が個人に普及する前にその概念が形成されたもので、情報機器の普及が招いた社会のこのような新しい危機をさらに加速させている。本研究では「共感計算機構」実現を目指し、人工知能に共感する能力、すなわち、自身が共感すると同時に、ユーザを共感させる能力を持たせる。センサにより環境を知覚的にする「アンビエント知能」の研究が進んでいるが、センシングの手法に重点が置かれている。人工知能の入出力は、論理的な構造を持つことが期待されている。そのような入出力を扱える共感計算機構を、音楽、個人教育、アンビエント知能等を対象にして、研究する。

3. 研究の方法

構成的適応インタフェース(CAUI)の要素技術として、計測技術、表現技術、生成技術について、総合的な研究を展開した。計測技術では、意味差分(SD)法によるアンケート、生体信号(脳波、脈波、脈拍、血圧など)、行動パターンなどの間の関係を調べて、多くの手がかりから人の共感状況を推定した。種々の手がかりから感情を適切に数値化するため、心理学者 Russell の提案による感情価(valence)と覚醒度(arousal)の2軸による評価を導入した。

構成的適応ソフトウェアとしては、各種の機械学習技術に重みを組み合わせることで、コンテンツとそれへの共感の関係を、楽譜などの高次の記述レベルについても、動的に獲得した。それに基づいて、コンテンツを生成した。編作曲では、和音列の構成アルゴリズムを開発して、使用した。個人教育システムでは、フィードバックのコンテンツを構成するメッセージ、図、顔画像などの組合せ方法を明らかにした。燃料電池、交通などのデータ可視化の経験を生かし、一般的な観点で、ユーザ計測と評価を基に、共感を引き出す方法を検討した。

CAUI の要素技術を音楽の例で説明する。まず、ユーザ(被験者)の種々のコンテンツに対する感性を計測する(計測技術)。これまでの CAUI では、被験者の感性を SD 法によるアンケートで獲得してきた。Web ページをクリックすると、曲が演奏され、それに対する印象を入力する。印象については、6 つの形容詞対について 5 段階の評価をもらった。アンケートを生体信号で置き換えたり、両者を併用したりすることに、見通しがついた。

各曲の楽譜の特徴は、一階述語論理式で表現する(表現技術)。曲全体の特徴として、調性、速さ、調の基本音、演奏楽器などを取り上げ、曲の部分的な特徴として、連続する二和音や三和音の連結形態、曲全体の構造を取り上げた。曲の印象と曲の表現の関係を、構

成的適応ソフトウェアを用いて学習し、ユーザの認知モデルを作り出した。作曲には遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた(生成技術)。GAによるコンテンツの作成法として、インタラクティブ GA がよく知られているが、できあがった曲すべてをユーザに評価してもらう必要があり、ユーザの負担が大きい。本研究課題では、機械学習により生成された認知モデルによって、適応度(fitness)を計算するので、作曲段階ではユーザへの問い合わせを行わなくてよい。原曲がすでにある場合は、それを最小限修正して、ユーザの感性に合わせることも行った。共生進化を取り入れることにより、曲全体のモチーフなどのより複雑な構造を生成することにもアプローチした。

4. 研究成果

(計測技術の研究) 計測部分を BCI に置き換えるため、脳波計と感性解析ソフトウェアを用いて、感性を獲得する実験を行い、詳細なデータを取得した。脳波計以外に、各種生理センサを併用して、比較することで精度の向上を図った。心拍はホラーゲームにおける感情の測定に有用であった。

これまでの CAUI では SD 法のために 6 つの形容詞対を用いてきた。形容詞対の数が少なければ、評価がおおざっぱになる反面、多ければ被験者の負担が増してしまい、適切な形容詞対を選ぶのは至難の業である。これらの形容詞対を BCI 構成の観点から再検討し、感情価(valence)と覚醒度(arousal)の 2 軸による評価を導入した。そのため、Web ページで音楽を聴いて貰いながら、脳波計などのセンサで体の活動パターンを測定した。脳波計の信号を感性解析システムで分析し、被験者の感情を知ると共に、曲終了後に形容詞対を用いた SD 法、または感情価-覚醒度を用いたアンケートを行って、印象を調べた。これらの相関関係をデータマイニングの手法で解析した。以上の作業により、アンケートに頼らずに曲の印象を知ることが可能になった。

被験者実験をフィリピンとベトナムでも行った。脳波計 Emotiv に種々の不具合が見つかり、計画が当初計画通りに進まない可能性がある。それに備えて、医療用の脳波計や種々の生体センサデータの測定も行った。Emotiv と実績豊富な脳波計とのデータ比較も行った。それらを基に、各種センサとアンケートを総合的に組み合わせることで、精度の高い測定を実施した。

(生成技術の研究) 作曲は遺伝的アルゴリズムを用いて行なった。遺伝的アルゴリズムは、染色体表現、遺伝的操作及び適合度関数の実装が非常に重要である。そこで、音楽理論に基づいた最低限度の禁則事項を表現する評価関数と、学習により抽出された個人の感性情報を基に作成した評価関数とを組み合わせることにより、適合度関数を作成した。これにより、楽曲として成り立つ最低限度の曲

の生成を実現すると共に、個人の感性に合わせた楽曲の生成を実現した。また、この遺伝的アルゴリズムで生成した楽曲は和音進行だけで構成されているため、旋律生成システムにより旋律を付加した。すなわち、和音進行や音長規則等を与えることにより確率的に旋律を生成する。共生進化の手法により、旋律にモチーフ構造を導入して、その影響を調べた。このことにより、より高度な作曲へアプローチすることができた。

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 9 件)

Koichi Moriyama, Simon Enrique Ortiz Branco, Mitsuhir Matsumoto, Ken-ichi Fukui, Satoshi Kurihara, and Masayuki Numao, An Intelligent Fighting Videogame Opponent Adapting to Behavior Patterns of the User, IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有、E97-D巻、2014、pp.842-851、DOI:10.1587 / transinf.E97.D.842

Rafael Cabredo, Roberto Legaspi, Paul Salvador Inventado, and Masayuki Numao, Discovering Emotion-Inducing Music Features Using EEG Signals, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有、17巻、2013、pp.362-370

Junya Nakase, Koichi Moriyama, Kiyoshi Kiyokawa, Masayuki Numao, Mayumi Oyama, and Satoshi Kurihara, Effective Awakening Interaction Learning System that Uses Vital Sensing, Sensors Applications Symposium (SAS), IEEE eXplore, 査読有、1巻、2013、pp.104-108、DOI:10.1109/SAS.2013.6493566

Rafael Cabredo, Roberto Legaspi, Paul Salvador Inventado, and Masayuki Numao, Discovering Emotion-inducing Music Features using EEG Signals, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有、17巻、2013、pp.362-370

Paul Salvador Inventado, Roberto Legaspi, and Masayuki Numao, Student Learning behavior in unsupervised learning environment, Proc. 20th International Conference on Computers in Education (ICCE 2012), 査読有、20巻、2012、pp.730-737

Rafael Cabredo, Roberto Legaspi, Paul Salvador Inventado, and Masayuki Numao, An Emotion Model for Music Using Brain Waves, Proc. 13th Interna

tional Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR-2012) 査読有、13巻、2012、pp.265-270

Noriko Otani, Satoshi Kurihara, and Masayuki Numao, Generation of Chord Progression Using Harmony Search Algorithm for a Constructive Adaptive User Interface, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 査読有、7458巻、2012、pp.400-410

Paul Salvador Inventado, Roberto Legaspi, M. Suarez, and Masayuki Numao, Predicting Student Emotions Resulting from Appraisal of ITS Feedback, Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 査読有、6(3)巻、2011、pp.107-133

Rafael Cabredo, Roberto Legaspi, and Masayuki Numao, Identifying Emotion Segments in Music by Discovering Motifs in Physiological Data, Proc. International Society for Music Information Retrieval Conference, 査読有、12巻、2011、pp.753-758

[学会発表](計12件)

大谷紀子, 沼尾正行, 共生進化とハーモニーサーチを用いた和音進行生成におけるモチーフの考慮、進化計算シンポジウム2013、2013年12月14日~2013年12月15日、鹿児島県霧島

Ken-ichi Fukui, Satoshi Ono, Taishi Megano, and Masayuki Numao, Evolutionary Distance Metric Learning Approach to Semi-Supervised Clustering with Neighbor Relations, 25th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI-13)、2013年11月04日~2013年11月06日、Washington DC, USA

Vanus Vachiratamporn, Roberto Legaspi, Koichi Moriyama, and Masayuki Numao, Towards the Design of Affective Survival Horror Games: an Investigation on Player Affect, Proc. 2013 Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII-2013)、2013年09月02日~2013年09月05日、Geneva, Switzerland

Noriko Otani, Ryoko Kamimura, Yu Yamano, and Masayuki Numao, Generation of Rhythm for Melody in a Constructive Adaptive User Interface, Proc. 4th International Workshop on Empathic Computing (IWECC'13) held in conjunction with IJCAI-13、2013年08月04日~2013年08月04日、Beijing, China

Vanus Vachiratamporn, Roberto Legaspi, Paul Inventado, Ken-ichi Fukui, Koichi Moriyama, and Masayuki Numao, An analysis of player affect in survival horror game using physiological signals and player self-reports, Proc. 4th International Workshop on Empathic Computing (IWECC'13) held in conjunction with IJCAI-13、2013年08月04日~2013年08月04日、Beijing, China

Mondheera Pituxcoosuvann, Roberto Legaspi, Rafael Cabredo, Ken-ichi Fukui, Koichi Moriyama, Noriko Otani, Satoshi Kurihara, Masayuki Numao, A Comparison between Genetic and Memetic Algorithm for Automated Music Composition System, 人工知能学会第27回全国大会論文集、2013年06月04日~2013年06月07日、富山県富山市

Junya Nakase, Koichi Moriyama, Kiyoshi Kiyokawa, Masayuki Numao, Mayumi Oyama, and Satoshi Kurihara, Learning system for adapting users with user's state classification by vital sensing, Proc. The 2nd International Workshop on Ambient Information Technologies (AMBIT2013) (held in conjunction with IEEE VR 2013)、2013年03月17日~2013年03月17日、Orlando, Florida, USA

沼尾正行, 共感に生体信号からのヒントはあるか?, 第2回複雑系数理とその応用に関するシンポジウム(招待講演)、2012年11月13日~2012年11月13日、北海道札幌市

Paul Salvador Inventado, Roberto Legaspi, Rafael Cabredo, and Masayuki Numao, Sidekick Retrospect: A Self-Regulation Tool for Unsupervised Learning Environments, Workshop on Computation: Theory and Practice (WCTP 2012)(Proc. Springer PICT)、2012年09月27日~2012年09月27日、Manila, Philippines

Y. Yamano, et. al., Estimating Emotions on Music Based on Brainwave Analyses, The 3rd International Workshop on Empathic Computing, 2012年9月4日、Kuching, Malaysia

Dataipat Sodkomkham, Roberto Legaspi, Satoshi Kurihara, and Masayuki Numao, A Study on Next Location Predictive Modeling using Mined Temporal Sequential Patterns as input to a Decision Tree, Proc. the 26th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence (JSAI2012)、2012年06月12日~2012年06月12日、山口県山口市

Rafael Cabredo, Paul Salvador Inventado, Roberto Legaspi, and Masayuki Numao、Discovering emotion motifs in symbolic music、Proc. the 26th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence (JSAI2012)、2012年06月12日~2012年06月12日、山口県山口市

大阪大学・産業科学研究科・助教
研究者番号：80418772

レガスピ ロベルト (LEGASPI, Roberto)
大阪大学・産業科学研究科・特任研究員(常勤)
研究者番号：10600322

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ
研究分野
<http://www.ai.sanken.osaka-u.ac.jp/ja/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沼尾 正行 (NUMAO, Masayuki)
大阪大学・産業科学研究科・教授
研究者番号：30198551

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

栗原 聡 (KURIHARA, Satoshi)
大阪大学・産業科学研究科・准教授
研究者番号：30397658

森山 甲一 (MORIYAMA, Koichi)
大阪大学・産業科学研究科・助教
研究者番号：10361776

福井 健一 (FUKUI, Ken-ichi)