

柔軟性と周波数応答性を両立した皮膚感覚ディスプレイによる 「生物感」の提示

A haptic device to present a feeling of living matter

1091007



研究代表者	電気通信大学 電気通信学部	准教授	梶 本 裕 之
共同研究者	大阪大学大学院 情報科学研究科	特任研究員	橋 本 悠 希

〔研究の目的〕

現在、玩具やセラピーを目的とした様々なペットロボットが家庭に進出している。しかしこれらは触覚的な側面が重要視されておらず、ロボット独特の硬い感触がユーザとロボットの親和性を大きく損なっていた。愛着という点に限れば、古来の「ぬいぐるみ」に較べて退化したとすらいえる。

本研究は、生物特有の触覚的表象である呼吸・脈動、震え等を、手掌部全体に提示する手法を提案する。提案手法では、非常に幅広い周波数帯域を持つ音響スピーカを用いることで、触覚提示デバイスとして従来にない超高忠実性と柔軟性を両立する。さらに各種のセンサも組み込みインタラクティブ性を確立することにより、人間と機械の新たな関係性を構築する。

〔研究の内容、成果〕

我々はこれまでに、1 Hz 以下～20 kHz というこれまでにない広帯域性を備え、空気圧による間接的な圧力提示により機械由来の固さを感じさせない新たな触覚提示手法を提案した(図1)。本手法は今回の研究における技術的課題である、

- ・1 Hz 以下の呼吸から鼓動、震えまでの幅広い周波数帯域での触覚表現が可能であること
- ・生物独特の柔らかい感触を損なわないこと

を満たす。また、既に国際学会における1000名以上のユーザテストにおいて高い評価を得ており、この手法が本研究の目的に最適なものの一つであると考えられる。以上から、本手法を導入した装置を用いて本研究の課題を実現することとした。本研究では、以下の4点について

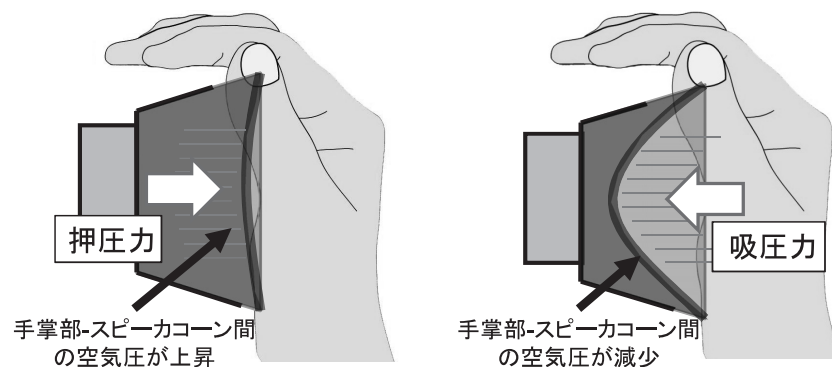


図1 触覚提示手法の原理

研究を行った。

1. 生物感の要素同定

触覚的に生物を感じさせる主な要素として、柔らかさ、毛並み、押されたら押し返すなどの力覚的な抵抗感、心臓の鼓動や筋肉の振動が考えられる。本研究では、これらの要素の中でも生物を感じさせる触覚情報は生体活動を最も分かり易く表しており、複数の先行研究からある程度有効性が実証されている「鼓動運動・呼吸運動の際に生じる生物特有の動的な触覚」に焦点を当てた。そして、鼓動運動・呼吸運動のそれぞれを模した波形を作成すると共に他の波形パターンも含めた比較実験を行い、鼓動運動・呼吸運動における生物感の要素を同定し、触覚提示の基本波形を得ることを試みた。

実験の結果、鼓動運動を模した波形と呼吸運動を模した波形を合成した波形を提示した場合に我々が最も生物らしく感じることを発見した。また、最適な合成比率も実験により求め、これを基本波形と定義した（図2）。先行事例では鼓動運動と呼吸運動を別々に考え、どちらか一方の提示もしくは別々に提示するのみであった。これに対して本研究では、鼓動運動と呼吸運動の両方が生物感にとって重要な要素であり、統合した波形を提示することにより生物らしく感じられる触覚が提示可能であることを示した。

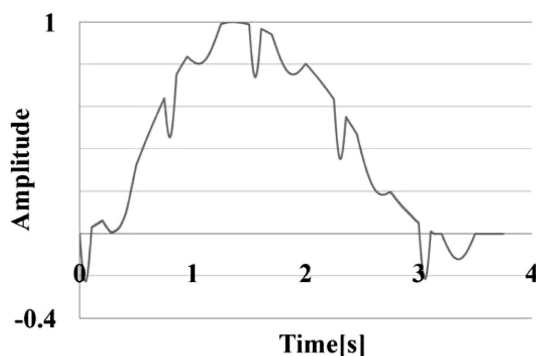


図2 実験から求めた基本波形

2. 波形の変調による生物感の拡張

一言に生物といっても、体長・テクスチャ・重量などの違いによって様々な種類が存在する。その中で鼓動・呼吸運動と密接な関わりがある要素として、動物の体長が挙げられる。動物の体長と鼓動・呼吸周波数の関係は既に方程式化されており（（生物に関係する時間） $\propto$ （体長） $^{3/4}$ ＝（体重） $^{1/4}$ ），生物の体長もしくは体重から生物の鼓動・呼吸周期が算出でき、それに合わせて「1. 生物感の要素同定」にて定義された鼓動・呼吸の合成波形を制御することで想起される生物の体長を操作可能だと考えられる。このことから、実際に基本波形を変調させ、人間の体長知覚の変化を実験により求めた。

実験では、人間（呼吸周期＝0.27 Hz）からネズミ（呼吸周期＝1.47 Hz）までの範囲において方程式から鼓動・呼吸周期を算出し、触覚刺激とした。

実験の結果、ほぼ方程式どおりの体長知覚が可能であることが判明し（図3）、本装置によって幅広い体長の生物を想起させ得る触覚提示が可能であることを示した。しかしながら、方程式から算出される理論値と実際の装置の体長・重量が大きくかけ離れた場合、理論値通りに知覚することは難しくなることも分かった。この問題は、極端に体長が異なる条件に対して装置自体の体長や重量を調整することで解決可能であると考えられる。

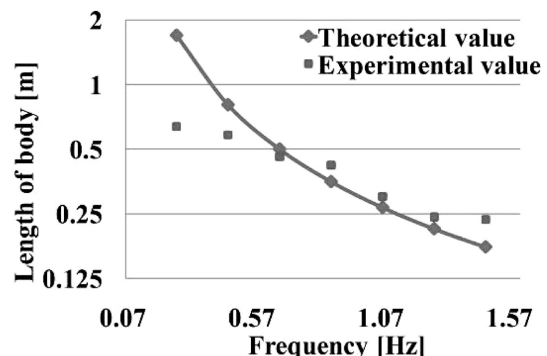


図3 体長知覚の理論値と実験値

3. テクスチャの種類と印象の関係

「2. 波形の変調による生物感の拡張」の冒頭においてテクスチャに言及したが、実際にテクスチャの触覚情報どの程度生物の判別に用いられているのかはこれまで調査されていない。よって、装置に様々なテクスチャ素材を付加し、テクスチャ感と基本波形を同時に知覚させる実験を行い、受ける印象との関係を分析した。

解析の結果、3グループ程度の大まかな分類傾向は見られるものの、上記2つの研究結果ほど明確な関係は認められなかった。このことから、人間は静的な触覚情報よりも動的な触覚情報からより多くの生物の特徴をつかんでいることが分かった。以上から、テクスチャ情報は生物の特徴把握にとって必要であるが、テクスチャ情報を詳細に提示する必要性は薄いと思われる。

4. 聴覚刺激との組み合わせとインタラクションの試験的実装

本研究の主目的は触覚による生物感の提示である。しかしながら、我々は日常的に複数のモダリティから情報を統合して物事を判断している。また「触れ合い」という言葉があるように、人間と他生物はインタラクションによってその

絆を深めてきた。よって本研究においても触覚以外のモダリティ導入およびインタラクションを試験的に実装した。

他モダリティでは、本手法と親和性の高い聴覚を選択し、触覚波形と音声波形を合成して出力する方法を用いた（図4）。また、音声は動物の鳴き声を模したものをを用いた。

インタラクションは、振る、強く押す、傾けるといったユーザからデバイスへの働きかけをセンサによって読み取り、触覚情報に反映させることとした。これらを実装した生物感提示システム（図5、図6）を製作し、実演展示を行った。

実演展示の結果（図7）、外観が生物を模した形をしていないにも関わらず「自分のペットを思い出す」といった報告が聞かれるなど、高い評価を得た。よって、本手法によって高いリ

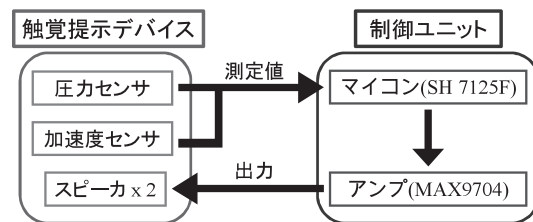


図5 生物感提示システムのブロック図

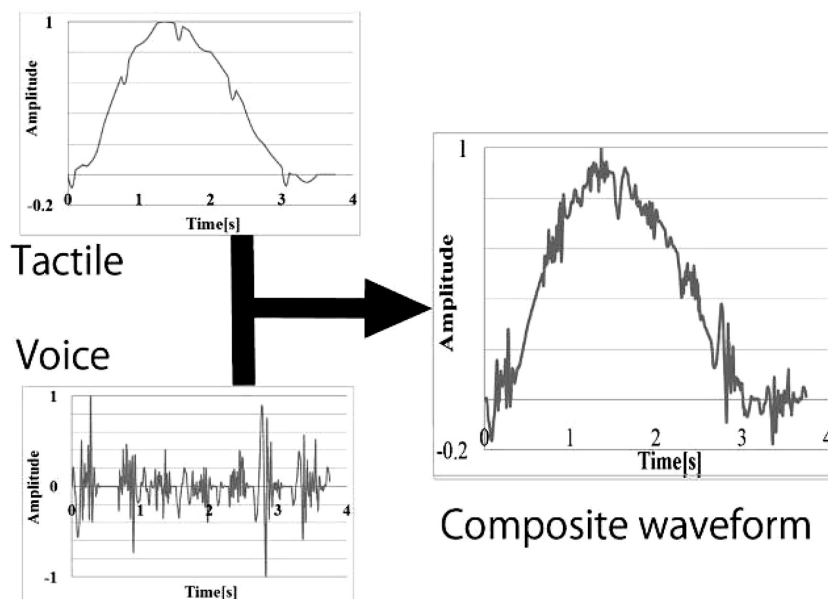


図4 触覚情報と音声情報の合成



図6 生物感提示デバイスの外観



図7 体験の様子

アリティを持った生物感提示が実現できたと言える。聴覚とインタラクションの導入では、聴覚については反響があったものの、インタラクションについては反響が少なく、インタラクションの内容に課題が残った。

[今後の研究の方向，課題]

本研究は、生物感の要素同定、波形変調による生物感の拡張、テクスチャによる印象変化に

関する検討を行い、触覚による生物感のリアリティ向上に寄与する知見を得た。以上から、触覚提示に関わる基礎的な検討課題はほぼ達成された。また、聴覚との組み合わせやインタラクションを導入した生物感提示システムを実装し、実演展示によって効果を確認した。

一方で、インタラクションの最適化、テクスチャや聴覚以外のモダリティ（視覚、温度感覚等）との組合せ、様々な抱き方に対応した触覚提示部の配置設計という、より自然で愛着の湧く装置とするための課題は未達成である。今後はこれらの要素について検討していくと共に、手掌部のみに限定していた触覚提示部位を、腕、胴、背中等にまで広げ、機械と人の関係性を変化させることによる親和性の向上を測ることを考えている。

[成果の発表，論文等]

1. 中田，橋本，梶本：鼓動・呼吸運動を模した触覚刺激による生物感の提示，エンターテインメントコンピューティング2008，金沢 金沢歌劇座（2008.10.29-31）
2. 橋本，中田，梶本：Emotional Touch，インタラクティブ東京2008，東京日本科学未来館（2008.9.13-14）
3. 橋本，中田，梶本：Hi-Fi触覚提示に関する研究：ハードウェアの基礎的検討，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.14，No.4，pp.491-499（2009）
4. 中田，橋本，梶本：空気圧を利用した双方向触覚通信装置，インタラクション2010，学術総合センター（2010）
5. S. Nakata, Y. Hashimoto, H. Kajimoto: A Mutual Tactile Communication Device by Controlling Air Pressure, In Proceeding of IEEE VR 2010 Haptics Symposium, Boston, USA（2010）