

高尾 英邦

香川大学工学部
教授

繊細な触覚を定量的に検知する「ナノ触覚神経網」の開発と
各種の手触り感計測技術への応用」

§ 1. 研究実施体制

(1)「ナノ触覚・応用開発」グループ（香川大学 高尾グループ）

- ① 研究代表者:高尾英邦（香川大学・工学部・教授）
- ② 研究項目: 研究総括と推進

・ナノ触覚技術の開発と改良

1 ナノ触覚デバイスの研究

1.1 高精細型触覚デバイスによるナノレベルの触覚情報抽出

昨年度に実現した、手触りに関する情報を高精細かつ高感度を実現する「ナノ触覚デバイス」を用いて、接触子先端幅1ミクロンで取得した高精細の触覚情報を取得し、その効果を検証した。

1.2 人間指紋型マルチスケール触覚デバイスの評価と検証

人間の指紋の形状と弾性を模倣した先端部を持つ高精細触覚センサと、押し当て荷重の計測機能を一体化したマルチスケール型の触覚センサを新規に開発し、性能と機能を検証した。

1.3 触覚デバイス実装の改良と柔軟素材の触覚測定

導入した「デバイス実装加工装置」を用いて、従来は計測が困難であった柔軟系素材(化繊や不織布)表面で安定に計測が可能な触覚センサの実装を実現した。

2 触覚定量化アルゴリズムの策定

2.1 定量化アルゴリズムに向けた独自の触覚情報抽出

ナノ触覚デバイスで得られる信号波形から、触感を定量化するアルゴリズムを探索するために用いる可能性がある独自の物理的情報を抽出した。

2.2 カオス解析による定量化の検討

ナノ触覚デバイスの信号に対してカオス解析を実施して、フラクタル性の有無に基づく触覚の定量化の可能性を検討した。

・センサ応用事例開拓と実証

3 触覚定量化アルゴリズムの評価

3.1 官能評価による触覚情報の数値化

各種の素材に対して官能評価を実施し、触感覚の情報を数量化した。

3.2 カオス解析による触覚数量化との比較・対比と検証

官能評価によって数値化された触感覚の情報を数値化し、触覚の定量化アルゴリズムに用いる特徴量との相関分析による比較検証を実施した。

・3D2 アルゴリズムの検討と検証

4 センサとハードウェアの実装(有本グループとの共同実施)

有本グループと連携し、触覚センサによる信号取得や評価の効率化を目指した触覚センサ信号処理ボードを開発した。高尾グループが提供した触覚センサのデバイス情報をもとに、有本グループがFPGA信号処理ボードを設計し、製作した。

(2)「神経網アルゴリズム」グループ (岡山県立大学 有本グループ)

① 主たる共同研究者:主たる共同研究者:有本和民 (岡山県立大学・情報工学部・教授)

② 研究項目:神経網アルゴリズムチーム統括・設計評価研究

・3D2 アルゴリズムの検討と検証

1. 触覚センサ挙動及び対象物表面形状の観測評価環境の構築。

1.1 高速度マイクロスコープシステムの導入および周辺環境構築

触覚センサを観測する高速度マイクロスコープシステムの導入整備並びに周辺環境を構築した。

1.2 ディープニューラルネットワーク計算システムの構築

本研究を遂行するためのプラットフォームとして、ディープニューラルネットワークを十分な性能で運用可能な GPU 搭載の計算システムの導入・整備した。

2. 触覚センサ信号処理とその解析・評価のための環境構築及び各種信号処理の基礎検討

2.1 触覚センサ用信号処理ボードによるデジタル信号処理環境の構築(高尾グループとの共同実施)

触覚センサによる信号取得や評価の効率化、手触り感の定量化のための各種信号処理のハードウェアプラットフォーム用に触覚センサ用信号処理ボードを開発した。センサデータのリアルタイムなデジタル化して、センシングと同時にデータを PC に取り込んで各種の信号処理評価を可能とした。

2.2 触覚センサデータ信号処理の基礎検討

信号処理ボードによるデジタル信号処理環境の構築と並行して、信号処理方法の基礎検討を実施した。

2.3 光学観測系による触覚センサの動き解析

光学顕微鏡により、サンプル測定中のセンサの動きを画像処理により解析し、物質形状に対する触覚センサの動きを解析した。

・センサ応用事例開拓と実証

3 3D2 アルゴリズムの実証

3.1 エネルギー評価ボード設計

3D2 アルゴリズム処理のひとつである、Stack 電源の効果をシステムレベルで検証するための評価ボードを設計し、本研究の優位性を次年度評価する。

3.2 3D2 並列処理アルゴリズム(時間・空間パイプライン構成)

3D2 並列処理アルゴリズムを実装するソフトウェア・ハードウェアアーキテクチャ設計に実装環境の基本設計において、SW と HW 処理の API の検討を実施した。

3.3 識別器ハードウェアへのフォーマル検証の適用に関する基礎検討

ナノ触覚神経網の実現のため、手触り感を定量的に評価することを目的として、畳み込みニューラルネットワーク適用の基本検討を実施した。

§ 2. 研究実施の概要

本研究では、ナノ触覚デバイスの実現(ナノ触覚レイヤー)、神経網制御技術(神経網アルゴリズムレイヤー)、手触り感計測の応用技術開発(応用開発レイヤー)に軸足を置く 3 つの研究者チームを構成し、「人間の指先」が持つ繊細な触覚をセンサ技術で再現することで各種の手触り感を数値化できる新しい計測技術の開発に取り組んでいる。

平成 28 年度は開始 2 年目であり、ナノ触覚技術の開発と改良について本格的に推進し、空間解像力の高い高分解能型ナノ触覚デバイス、人間の指紋サイズを模して柔軟な素材の手触り計測を目指したマルチスケール触覚デバイスの改良を進め、柔軟素材の表面などからも安定的な

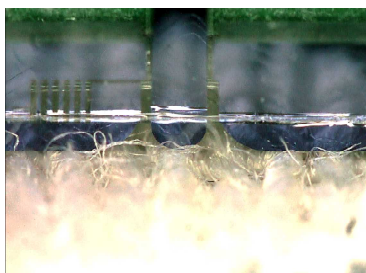


図 1 ナノ触覚による柔軟材表面検知



図 2 触覚定量化に向けた官能評価

触覚情報の取得を可能とした(図 1 参照)。また、本年度は取得した触覚センサ信号を用いた触覚定量化アルゴリズムについての探索を進めた。従来の触覚センサが取得できなかった高解像度領域の表面形状、ならびに摩擦波形の形状をもとに、人間が感じ取る触覚情報(ザラザラ感や滑らかさなど)を数値化するモデルの構築を進めた。そこでは、多変量解析法などの古典的手法を適用する一方で、人間の感覚情報をよく捉えるといわれているカオス解析の手法を取り入れている。官能評価で数値化された様々なサンプルでの人間の触覚評価値に対して、高い相関性を示す触覚アルゴリズムの策定を進めている。また、触覚センサとその定量化過程で生じる情報処理の必要性から、処理アルゴリズムをハードウェア化するための触覚センサ用信号処理ボードによるデジタル信号処理環境の構築を進めた。

本研究は、各種の手触り感を数値化できる新しい計測技術の開発を目指しており、それを応用可能な新分野開拓も重要な課題となっている。触覚定量化技術を活用する「応用開発レイヤー」と、その応用に向けた触覚デバイスを開発する「ナノ触覚レイヤー」が連携することで、繊維産業や先端医療分野における触覚定量化技術の様々な応用技術を開拓している。近年、関心が高まっている超低侵襲型内視鏡手術は触覚の定量化が求められている分野の一つであり、超小型触覚デバイスの埋め込み実装が求められている。我々は軟性内視鏡先端部への超小型センサデバイス実装技術を開発することで、消化管内部での過酷な環境下で微小なセンサが安定して信号取得可能であることを動物実験下における胃の内部で実証することができた【文献:①-2】。また、手触りの異なる複数種類の触覚サンプル(布地など)に対する官能評価(図 2 参照)の結果は、触覚評価モデルの数値と高い相関性を見せており、手触り感定量化の可能性が示された。

代表的な原著論文：①-2 Yusaku Maeda, Kohei Maeda, Hideki Kobara, Hirohito Mori,

and Hidekuni Takao, “Integrated pressure and temperature sensor with high immunity against external disturbance for flexible endoscope operation”, Japanese Journal of Applied Physics, Volume 56, Number 4S, March 2017.