

撫で検知布製タッチパネルの開発とぬいぐるみロボットへの応用

Development of a Touch Panel Made of Tactile Sensing Fabric and Application to Stuffed Animal Robots

藤本 達也 (立命館大) 正 平井 慎一 (立命館大)
正 松野 孝博 (近畿大)

Tatsuya FUJIMOTO, Ritsumeikan University, rr0130ik@ed.ritsumei.ac.jp
Shinich HIRAI, Ritsumeikan University
Takahiro MATSUNO, Kinki University

In recent years, plush robot therapy has been developed and put into practical use. However, these robots have a problem in that actuators and sensors are built-in, compromising the softness of the plush. Therefore, this paper proposes a tactile sensor for soft plush robots. We created a fabric touch panel and an algorithm that can distinguish human stroking motions. By using a capacitive-type fabric touch panel, it is possible to detect where a person has touched the fabric. The algorithm distinguishes stroking motions using frequency analysis. We installed the created fabric touch panel on a plush robot wearing a powered garment and operated the plush robot according to the stroking direction.

Key Words: Sensor, Wearable Device, Communication

1. 緒言

近年、高齢者や精神疾患患者の増加に伴い、メンタルセラピーの需要が高まっている。効果的な療法としてぬいぐるみやぬいぐるみを模したロボットが用いられている。このようなロボットは接触センサやマイクが搭載され、人とのコミュニケーションを取ることが可能である。猫型セラピーロボット「ちょぼにゃん」を用いた実験では、人のロボットに対するインタラクションは心理的ストレスの緩和や活気の向上に効果があることを示した[1]。しかし、コミュニケーションを可能にするセンサ類はぬいぐるみロボットに内蔵されており、部分的、あるいは全体的にぬいぐるみの柔らかさを損なっている。柔らかいロボットは硬いロボットに比べ、心理的、生理的ストレスの緩和効果が高いことから、柔らかいぬいぐるみロボットが望ましい。

そこで本研究では、人の撫でる動作の検知を可能とする布製タッチパネルと撫で検知アルゴリズムを提案する。布製タッチパネルは布と導電糸から構成され、布の柔らかい感触の電子デバイスとして機能する。これらを駆動力のある服を着せたぬいぐるみに搭載し、撫でるとその撫で方ごとに異なる反応を示すぬいぐるみロボットを実現する。

2. 布製タッチパネル

2.1 静電容量式センサによる布製タッチパネルの構成

ロボットとコミュニケーションを取るための電子デバイスとなる、布製タッチパネルを作成する。図1に示すように、静電容量式センサと布製タッチパネルから構成される。

静電容量式センサは、接続される電極に充放電を繰り返すことでグラウンド間に寄生容量を発生させる。そこに人体が接触することで、人体と電極間に擬似的なコンデンサが生成され静電容量が生じる。電極上の静電容量の総量の変化から人体との接触を判別する。本研究の静電容量式センサには、Adafruit社製の「Adafruit 12 x Capacitive Touch Shield for Arduino - MPR121」を使用した。このセンサは12個の電極に対する充放電と静電容量の計測を実施する。また独自アルゴリズムによる接触判定と自動キャリブレーション機能を有する。このセンサをArduinoと接続し制御する。

布製タッチパネルは布に導電糸を格子状に縫い付けること

で構成される。使用する導電糸には株式会社フジックス製のSmart-Xを使用する。

これらの直線上に縫合された導電糸を電極として静電容量式センサと接続する。電極を格子状に配置することで、人体が布に接触した地点を座標データとして取得することができる。

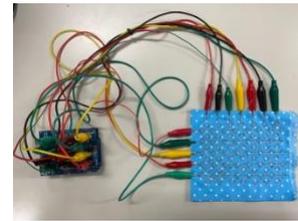


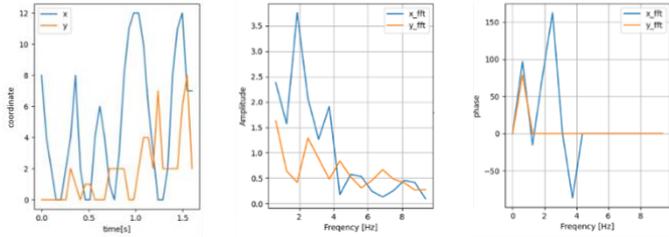
Fig. 1 Capacitive-type fabric touch panel

2.2 上糸調節機能を用いた布製タッチパネルの作成方法

布製タッチパネルの作成において、電極の交差部の接触を避ける必要がある。そこで本研究ではミシンの上糸調節機能を用いた作成方法を提案する。上糸を導電糸、下糸を通常ミシン糸とする。上糸を強く張ることで上糸が布の表面に張り出されるように縫合される。これを布の表裏にそれぞれ行と列の直線を縫合することで、1枚の布のみで交差部での接触を回避することができる。その後、ミシン糸を導電糸に変更し、上糸の張りを戻して菱形を配置する。この作成方法では接触を回避できるほか、糸がほつれた時の修繕が容易である点が挙げられる。

3. 撫で方判別アルゴリズム

布製タッチパネルの左上を原点として、列に並ぶ電極を x 方向、行に並ぶ電極を y 方向とする。一定期間内に布上を撫でた時の座標推移を図2(a)に示す。この座標推移データに周波数解析をかけた結果が図2(b)(c)である。周波数解析には離散フーリエ変換を使用し、周波数に対応する振幅スペクトルと位相スペクトルを取得する。本研究では周波数解析から得られる情報から撫で方を判別する撫で方判別アルゴリズムを提案する。

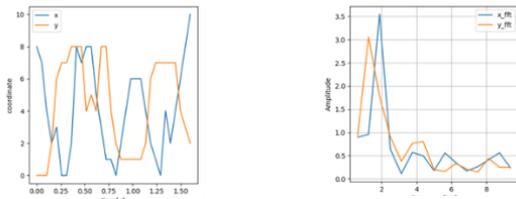


(a) coordinate signals (b) amplitude spectrum (c) phase spectrum

Fig.2 Result of stroking

撫で方判別アルゴリズムでは、撫でる方向、速さ、単純接触、そして円形の撫で方とその向きを判別する。アルゴリズムの実行にはPythonを用いた。

撫でる方向は x , y 方向それぞれの座標推移から、振幅スペクトルが最大となる周波数の大小より判別する。図3に布製タッチパネルを横方向に撫でた時の座標推移と振幅スペクトルの結果を示す。この場合、 x 方向の周波数が y 方向の周波数より大きいため、横方向への撫で動作と判別する。反対に、 y 方向の周波数が大きい場合は布製タッチパネルを縦方向に撫でたと判別する。 x , y 両方向の周波数が一致した場合、斜めへの撫で動作と判別する。



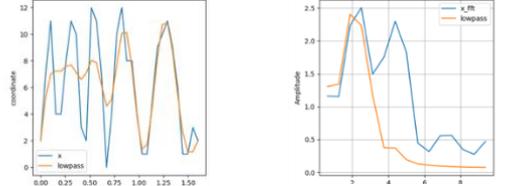
(a) coordinate signals (b) amplitude spectrum

Fig.3 Determining direction

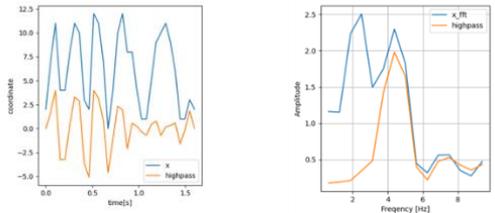
速さの判別にはローパスフィルタとハイパスフィルタ、バンドパスフィルタを用いる。座標推移データに3種類のフィルタをかけることで、3層ごとの振幅スペクトルが最大となる周波数を抽出する。図4に不規則に撫でた時の座標推移データをフィルタリングした結果と周波数解析結果を示す。各フィルタの帯域における、振幅スペクトルが最大となる周波数をそれぞれ抽出し、最も振幅スペクトルが大きい周波数が属する周波数帯から速さを決定する。本研究ではローパスフィルタの帯域を遅い撫で方、バンドパスフィルタの帯域を少し速い撫で方、ハイパスフィルタの帯域を速い撫で方とする。

本研究では布製タッチパネルに接触した際、動作しない状態を単純接触と定義する。座標推移に変化が表れない場合、振幅スペクトルの値は小さくなる。これを利用し、振幅スペクトルが閾値を下回る場合、単純接触とする。

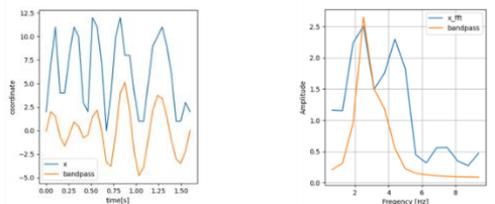
座標平面上における円の座標の位相差は $\pi/2$ である。この位相差の特性を円形の撫で方判別に適用する。時計回りに撫でた時の座標推移と周波数解析結果を図5(a)(b)(c)、反時計回りの結果を図6(a)(b)(c)、各方向の位相と位相差を表1に示す。結果より時計回りでは -90° 、反時計回りでは 90° 程度の値となった。従って、振幅スペクトルが最大となる周波数が x , y 両方向で一致し、かつ位相差が 90° 、 -90° 程度である場合、円形の撫で動作と判別する。



(a) lowpass signals (b) lowpass frequency

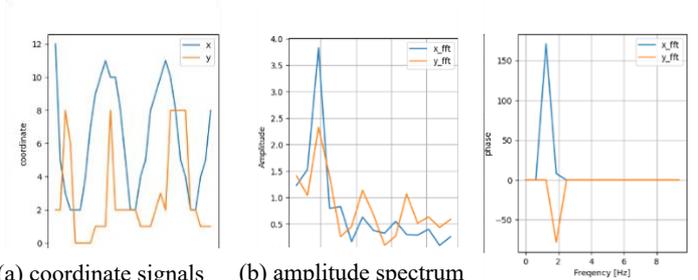


(c) highpass signals (d) highpass frequency



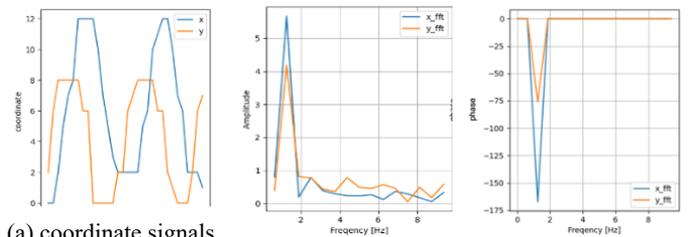
(e) bandpass signals (f) bandpass frequency

Fig.4 Filtered data and frequency analysis



(a) coordinate signals (b) amplitude spectrum (c) phase spectrum

Fig.5 Case of stroked clockwise



(a) coordinate signals (b) amplitude spectrum (c) phase spectrum

Fig.6 Case of stroked counterclockwise

Table 1 phase and phase difference

	時計回り	反時計回り
x 位相	-167.367	8.013
y 位相	-76.048	-78.089
位相差	-91.319	86.102

4. むいぐるみロボットへの応用

4.1 構成

作成した布製タッチパネルと撫で方判別アルゴリズムをむいぐるみロボットに搭載する。柔らかいむいぐるみロボットの実現のため、むいぐるみロボットのためのウェアラブル服より駆動にはワイヤー機構を採用した[2]。むいぐるみ用の服の内外にワイヤーを通し、袖先に固定する。ワイヤーの端はモータとプーリから成る巻き取り機と接続する。使用した巻き取り機を図7、袖先のワイヤー固定の様子を図8に示す。むいぐるみと巻き取り機の間にはチューブを介し、中にワイヤーを通すことで巻き取り機と分離してむいぐるみを動作させる。巻き取り機の制御にはArduinoを用いる。



Fig.7 Winder



Fig.8 Fixing at the sleeve ends

4.2 動作設定

本研究では2種類のむいぐるみ動作を設定した。1つ目はむいぐるみの側面方向に腕を上下させる内転・外転運動である。図9(a)に内転運動、図9(b)に外転運動を示す。2つ目は前方方向に腕を上下させる屈曲・伸展運動である。図10(a)に内転運動、図10(b)に外転運動を示す。この2種類の動作を組み合わせることでむいぐるみの腕を自由に動作させる。



(a) adduction movement



(b) abduction movement

Fig.9 Adduction-abduction motion



(a) bending movement



(a) extension movement

Fig.10 Bending-extension motion

4.3 布製タッチパネル搭載と動作検証

撫で方判別アルゴリズムによって判別された撫で方の情報をむいぐるみロボットの動作用Arduinoに送信する。そして撫で方に応じてむいぐるみロボットを動作させる。動作検証では撫で方に応じてむいぐるみロボットが正しく動作するこ

とを検証する。判別する撫で動作は縦、横方向の遅い、少し速い、速い動作、斜め方向、単純接触、時計回りと反時計回りの計10種類とする。また撫で方に対応した異なる動作をむいぐるみロボットに設定する。内転・外転運動と屈曲・伸展運動を組み合わせることで、腕の水平運動や腕を大きく回す動作を実現した。

動作検証の結果、全ての撫で方に対し、その撫で方に応じた動作を実行させることが確認できた。しかし、ワイヤー駆動ではチューブとワイヤーとの摩擦や服のしわにより、繰り返しの動作に適していないことが判明した。

5. 結言

本研究では布製タッチパネルと撫で方判別アルゴリズムを提案した。そしてこれらを柔らかいむいぐるみロボットに応用した。静電容量式センサと導電糸を用いることで、柔らかい手触りの電子デバイスとなる布製タッチパネルを実現できた。布製タッチパネルの活用例として考案した撫で方判別アルゴリズムでは、周波数解析から撫で方の特徴を判別する手法を用いた。これは布製タッチパネルに限らず、あらゆるタッチパネルなどの電子デバイスで活用できると考えられる。

開発したむいぐるみロボットは服を着せるだけでむいぐるみを動作可能である。またアクチュエータの巻き取り機をむいぐるみから分離する構成により、よりむいぐるみの柔らかさを残して動作させることが可能となった。しかしワイヤーに発生する摩擦や服のしわの影響により、繰り返し安定して動作させることができなかった。

参考文献

- [1] 林里奈, 加藤昇平, “ロボット・セラピーにおける柔らかい触感の重要性” 日本感性工学会論文誌 Vol.18 No.1, 23-29, 2019.
- [2] 長谷川可津, 松野孝博, 平井慎一, “むいぐるみロボットのためのウェアラブルデバイス” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2023, 名古屋国際会議場, June 28 – July 1, 2023