IPMC センサ内蔵ソフトフィンガを用いた把持物体の直径推定における LSTM ネットワークの構成とデータ取得方法に関する提案

○前原 莉子(近畿大学),松野 孝博(近畿大学),杉野 卓司(産業技術総合研究所 ナノ材料研 究部門),物部 浩達(産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門),堀内 哲也(産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門),平井 慎一(立命館大学)

Proposal of LSTM network configuration and data collection method for estimating the diameter of grasped objects using a soft finger with built-in IPMC sensor

ORiko MAEHARA (Kindai University), Takahiro MATSUNO(Kindai University), Takushi SUGINO(AIST NMRI), Hirosato MONOBE (AIST NMRI), Tetsuya HORIUCHI (AIST NMRI), and Shinichi HIRAI(Ritsumeikan University)

1. 緒言

日本では少子高齢化という社会問題から, 今後はよ り労働者の確保が難しくなり、特に食品産業における 人手不足が懸念されている[1]. これらへの対策として 食品産業の自動化が挙げられている[2]. 脆弱性や不均 -性のある食材のハンドリング対して, ソフトグリッ パが提案された. 既存研究ではニューネット式のソフ トフィンガを 3D プリンタにより作成し, 卵やカップに 入った豆などの脆弱性や不均一性のある食材の把持に 成功している. これらのグリッパで食品産業の自動化 を実現するためには、グリッパにセンシングの機能を 追加し,把持物体の大きさの計測やハンドリング状態 の推定をする必要がある.柔軟物の変形形状計測では、 主に導電糸や圧電式センサ、静電容量式センサが用い られてきた[3-4]. しかし、導電糸や静電容量式センサ はセンサの伸長に対してセンサ値が変化する都合上, フィンガの外側部分に取り付ける必要があり、センサ をグリッパに埋め込むことが難しく,また,食材の把持 によりセンサが傷つく恐れがあるため、食品の把持に は適していない. また, 圧電式センサでは形の変化の速 度を検出しているため、フィンガの変形を推定するた めには、積分などの操作を必要とする. それによって、 ノイズが蓄積され推定値の誤差が大きくなる恐れがあ 3

以上の問題点を踏まえ、本研究では IPMC センサに 着目した[5-7]. IPMC センサは、曲げ変形によって一 定の電圧を発生し、その応答性にも優れている. 先行研 究ではフィンガの変形に対して電圧が出力される IPMC センサ内蔵ソフトフィンガが提案された[8]. ま た、先行研究ではこのフィンガを用いて、曲率推定に基 づく把持物体の直径推定が試みられたものの、推定誤 差が1割,推定に要する時間が15秒と、精度と時間で 大きな課題があった[9].

これらの課題を解決するために,本研究では LSTM(Long Short Term Memory)ネットワークを用い たモデルによる把持物体の直径推定方法を提案した. 本稿では IPMC センサ内蔵ソフトフィンガの構成, LSTM ネットワークを用いた推定モデルの構築,教師 データの取得方法と学習方法,提案した推定方法の精 度検証について述べる.

2. IPMC センサ内蔵ソフトフィンガを用いた 把持物体の直径推定

 1 IPMC センサ内臓ソフトフィンガの構成 はじめに、本研究で用いる IPMC センサについて述べる. IPMC センサは、イオン導電性高分子ゲルの両面 に金メッキがほどこされており、センサに対して曲げ 変形をさせると、内部に応力勾配が形成される. その結



Fig.1 IPMC センサ内蔵ソフトフィンガ



Fig.2 教師データの取得および検証に用いる 把持物体と把持方法

果, 陽イオン分布に偏りが生じて電圧が発生する仕組 みになっている. この IPMC センサを図1に示す通り ソフトフィンガに内蔵する.フィンガはニューネット 式のソフトフィンガであり,空気圧を印加することに よってチャンバが膨張し,グリッパが把持動作をする. 圧力印加,把持物体との接触によりフィンガが変形す ると,それに応じて IPMC センサの電圧も変化する.

2. 2 LSTM を用いた把持物体の直径推定

まず,本実験直径推定の計測システムとして用いる, LSTM ネットワークについて述べる.LSTM ネットワ ークとは,長短期記憶ニューラルネットワークともい われ,再帰型ニューラルネットワークの一種である.つ まり最新のデータだけでなく過去に入力した情報を記 憶した上で数値を出力することができる.このネット ワークを推定モデルとして用いることで,把持物体の 直径を予測する.

つづいて, LSTM ネットワークを用いた推定用モデル の構成について述べる.本研究ではフィンガの屈曲開 始から 1 秒間の電圧変化に着目する.LSTM ネットワ ークには,事前に教師データに基づき,屈曲開始から 1 秒間の電圧変化と把持物体の直径の相関関係を学習さ せておく.グリッパの動作開始から 1 秒間の電圧変化 を 5ms のサンプリングタイムで 200 回サンプルし,逐 次的に学習済みの推定用モデルに入力することで,把 持物体の直径を数値的に推定することを実現する.

2.3 教師データの取得方法と学習方法

推定用モデルの学習に用いる教師データの取得方法 とモデルの学習方法について述べる.今回は円筒形の 把持物体を対象とし、この物体の直径を40 mm から90 mm の範囲で推定する.まず、データの取得方法につい て述べる.はじめにソフトグリッパを5秒間待機させ、 その後圧力を印加し10秒間把持動作を行わせる.10秒 経過後にグリッパを開き5秒間待機させる.ここでグ リッパの動作開始から1秒間のセンサ電圧の変化を200 サンプルで離散化する.このとき把持していた物体の 直径を併せて記録し、1つの教師データを作成する.こ れを複数回、各直径の把持物体とグリッパへの印加圧 力ごとに記録し、学習用のデータセットを作成する.こ のデータセットを基にLSTM ネットワークを学習させ



Fig.3 グリッパの把持および解放時における IPMC センサの電圧変化



 Fig.4
 把持開始時から1秒間の IPMC セン サの電圧変化

る. 今回は Adam 最適化法に基づきモデルを設定回数 まで学習させる.

実機実験

本研究で提案した把持物体直径の推定精度について 検証する.実験に用いる IPMC センサ内蔵ソフトフィ ンガは前述の図1に示すものを用いる.また,検証に用 いる把持対象物を図2に示す.把持対象物は直径40mm ~90 mmの円筒であり、10 mm 間隔で6種類用いる. この把持物体を 2.3 節に示す方法で把持したときのセ ンサ電圧の変化の一例を図3に示す.図3では横軸に 時間,縦軸にセンサ電圧を示す.またグリッパの動作開 始から1秒間の電圧変化を抜粋したデータを図4に示 す.この電圧変化のデータを200サンプルに離散化し、 把持物体の直径を併せて記録して教師データを作成す る. この実験では、グリッパに 50 kPa あるいは 60 kPa を印加し、6種の物体を把持した際の電圧変化を、各組 み合わせで 30 回ずつ合計 360 回分のデータを用意す る. このデータの内8割を学習に使用するデータセッ ト,1割を学習中の検証に使用するデータセット,残り 1 割は学習には用いずに最適化後のモデルの推定精度 の検証に用いる. また学習では、 Adam 最適化法に基 づき学習させ、モデルの学習回数は 50000 回とした.



実験結果を図 5 に示す.図 5 では横軸にモデルで推 定した把持物体の直径,縦軸に把持物体の直径の真値 を示す.図5に示す推定結果について、もっとも推定誤 差が大きくなった 50 mm 付近の推定結果の拡大図を図 6に示す. 推定された直径が正しい場合, 推定値は赤の 破線と一致する. また図 5 および図 6 では、学習用デ ータと学習中の検証に用いたデータで推定された把持 物体の直径を,それぞれ黒色の点と緑色の点で示す.こ れらの点は全て赤の破線の一致している. つづいて, 学 習には用いなかった最終検証用のデータで、把持物体 の直径を推定した結果を青い円で示す. 最終検証用の データにおいは, 推定値の平均誤差は 0.0153 mm, 最大 誤差は 0.0903 mm であった. 直径を平均誤差± 0.0235 %, 最大誤差±0.1806 %で推定できており, 真 値に近い値を推定できていることが確認できる。以上 より,本研究で提案した推定方法は,先行研究と比較し て高い推定精度を発揮できた. また, 推定に要する時間 を15秒から1秒に短縮することができた.

4. 結言

本稿では、IPMC センサ内蔵ソフトフィンガのための LSTM ネットワークを用いた把持物体の直径推定を考 案し、これらを実装して提案手法の推定精度を検証し た.検証の結果,推定直径の平均誤差 0.0153 mm,最 大誤差 0.0903 mm となり,先行研究より高い推定精度 を導き出すことが出来た.今後は,提案手法で推定可能 な計測範囲の検証や,把持物体の他の情報の推定方法 などについて検討する.

参考文献

- H. Iwamasa & S. Hirai, "Binding of Food Materials with a tension-sensitive elastic thread", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2015, pp. 4298-4303.
- [2] Z. Wang, S. Hirai Hirai & S. Kawamura, "Challenges and Opportunities in Robotic Food Handling: A Review", Front. Robot. AI, Vol. 8, 2022.
- [3] T. Matsuno, Z. Wang & Shinichi Hirai, "Grasping state estimation of printable soft gripper using electro-conductive yarn", Robotics and Biomimetics, Vol.4, No.13, 2017.
- [4] J. Shintake, Y. Piskarev, S. H. Jeong & D. Floreano,



Fig.6 把持物体の直径推定における最大誤 差付近の推定結果

"Ultrastretchable Strain Sensors Using Carbon Black-Filled Elastomer Composites and Comparison of Capacitive Versus Resistive Sensors", Advanced Materials Technologies, Vol. 3, Issue 3, 2018.

- [5] M. Shahinpoor, Y. Bar-Cohen, J. O. Simpson & J. Smith, "Ionic Polymer-Metal Composites (IPMC) As Biomimetic Sensors, Actuators & Artificial Muscles – A Review", Smart Materials and Structures, Vol. 7, No. 6, 1998.
- [6] T. Horiuchi, T. Mihashi, T. Fujikado, T. Oshika & K. Asaka, "Voltage-controlled accommodating IOL system using an ion polymer metal composite actuator", Optics Express, 2016.
- [7] Z. Zhu, T. Horiuchi, K. Kruusam.AE, L. Chang & K. Asaka, "Influence of Ambient Humidity on the Voltage Response of Ionic Polymer-Metal Composite Sensor ", THE JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY B, 2016.
- [8] 竹林 龍之介, 松野 孝博, 杉野 卓司, 堀内 哲也, 物部 浩達, 平井 慎一, IPMC センサを用いたソフ トグリッパの曲率推定, 第 23 回 計測自動制御学 会システムインテグレーション部門講演会, 2022.
- [9] 竹林 龍之介, 松野 孝博, 杉野 卓司, 堀内 哲也, 物部 浩達, 平井 慎一, IPMC センサ内蔵ソフトフ ィンガを用いた把持物体の大きさ推定, 第41回日 本ロボット学会学術講演会, 2023.

謝辞

本研究は産業技術総合研究所・立命館大学融合シー ズ・スプラウト・プログラムの助成を受けた.