

キャリブレーションされていない分布型触覚センサ の製作と視覚との統合

Development of Uncalibrated Distributed Tactile Sensors and Integration with a Vision Sensor

多田 泰徳[†] 細田 耕[†] 浅田 稔[†]

Yasunori Tada Koh Hosoda Minoru Asada

1 はじめに

ロボットハンドに物体を把持させる場合、従来の多くの研究のように指先や物体を剛体として扱うとロボットハンドは点で物体を支えることになる。したがって3次元座標系にキャリブレーション済の力覚センサが一つあれば、ロボット設計者は簡単な物理学、運動学を使ってタスクを記述できる。しかしこのような方法では設計者が想定していない状況が発生したときに適応的にタスクを実行することができない。

そこで適応的にタスクをこなせるエージェントとして人間を考えてみると、人間は柔軟な皮膚により物体と面接触することで安定な把持を行い、またそのタスクを力覚、触覚、視覚という異なるセンサモダリティを使って観察し、それらを組み合わせることで器用な動作を行っている。

適応性を持たせるために、ロボットハンドにもたくさんのセンサを使うことが考えられる。しかし従来のようにセンサ情報を3次元座標系にキャリブレーションする方法では、センサ数が非常に多い場合や、センサの正確な位置が分からない場合には適用することが難しい。そこで、ロボットにさまざまな動作を行わせ、その時のセンサ信号をたくさん集めることでセンサモダリティ間の関係を発見し、これをロボットハンドに発生した物理現象の表現とすれば、3次元座標系へのキャリブレーションは必要無くなると考えられる。

本研究では、人間の指のように柔軟で複数の触覚センサを持つ指先を作り、視覚センサでこれを観察する。そしてこれらのセンサデータを集めることで、各センサを3次元座標系にキャリブレーションすることなく、指先に発生した滑りという物理現象をニューラルネットワークに表現することを提案する。

ところで、触覚センサに関していくつかの研究があるが、それらはキャリブレーションされたセンサを使うものが多い[1]。キャリブレーションされていないセンサを使った研究として[2]があるが、これは触覚センサのみについて議論しており、複数のセンサモダリティの組合せによる物理現象の表現には言及していない。

2 滑りを表すネットワーク

本研究ではFig.1に示す単純なニューラルネットワークを使用する。このネットワークには触覚センサ層と視覚センサ層という2つの層がある。触覚センサ層には各触覚センサがこれまでに観測した最大のセンサ値で正規化した値が入力される。視覚センサ層には画像上での x, y 方向への滑り量を入力する。

触覚センサ層と視覚センサ層を接続する重みは学習開始時には0であり、これらのセンサ間の関係は未知である。そして指

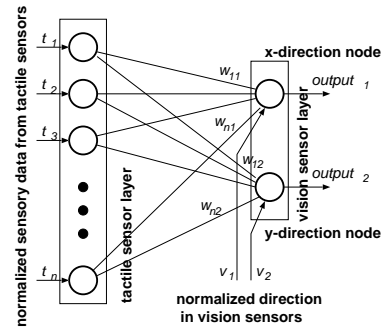


Fig. 1: A network for representation of slip

をある一定の力で物体に接触させ、物体上を滑らせる。この時視覚センサは指と物体上のターゲットを観測しており、発生した滑り量をネットワークへ送る。また同時に触覚センサの情報もネットワークに送られ、ヘップ学習によって接続重みが更新される。

このネットワークの出力は次式で求められる。

$$output_j = \sum_{i=1}^n (t_i w_{ij}) + v_j \quad (j = 1, 2) \quad (1)$$

またヘップ学習による重みの更新式は次式である。ここで η は学習率である。

$$\Delta w_{ij} = \eta t_i v_j \quad (2)$$

学習初期においては滑りの情報は視覚センサから得られるが、学習が進むと視覚センサから滑りの情報が入力されなくとも、触覚センサによって滑りを認識できるようになる。

このネットワークの興味深い点は、一般に解像度の荒いセンサである視覚センサで、解像度の細かいセンサである触覚センサを学習することができ、学習後は視覚センサで認識できないような微少な滑りを触覚センサで認識できることである。

3 実験

3.1 実験装置

本研究では安川電機製の3自由度ロボットハンドを使用する(Fig.2)。ロボットハンドの先端にはFig.3のように作成した

[†]大阪大学, Osaka University

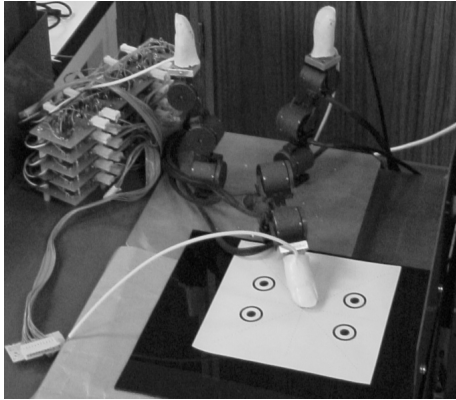


Fig. 2: A robot hand

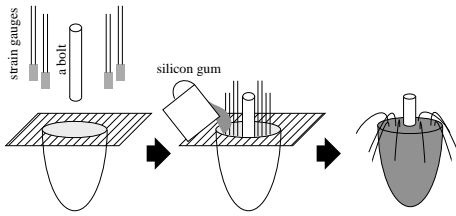


Fig. 3: Making a fingertip

指先を取り付けてある。この指先はシリコンゴム製で柔軟性がある。そして触覚センサとして6枚の歪ゲージをランダムに埋め込んである。歪ゲージの値はアンプで増幅してからホストコンピュータに送られる。また視覚センサとしてビデオカメラを用い、得られた画像を富士通製トラッキングビジョンで処理してからホストコンピュータに送る。

指先に滑りを発生させるときはロボットハンドの姿勢を固定し、接触している物体を人間が動かす。

3.2 実験結果

学習中の触覚および視覚センサの活性度の変化を Fig.4 に示す。活性度の符号は滑りの方向を示し、大きさが1を越えた時に滑りであると判断する。なお、ここで示した図は画像上で x 方向に滑らせた場合の様子である。学習開始直後は接触重みが0なので触覚センサの活性度は0だが、視覚センサが滑りを検出するたびに重みが更新され、触覚センサの活性度が大きくなるのがわかる。

260回学習した後にこのネットワークが滑りを認識できるかを実験した。その結果を Fig.5 に示す。この図では視覚センサが滑りを検出する前に触覚センサの活性度が上昇し、滑りを認識していることが分かる。

4 おわりに

本研究では柔軟な指を作り、視覚と触覚という異なるモダリティを用いてニューラルネットワークに滑りの表現を獲得させた。学習開始時には視覚、触覚センサ間の関係は未知だが、繰り返し滑りを発生させ、その時のセンサ情報を集めることで2

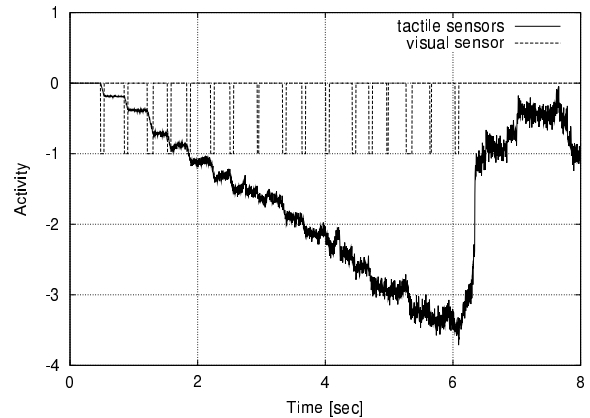


Fig. 4: Experimental result 1

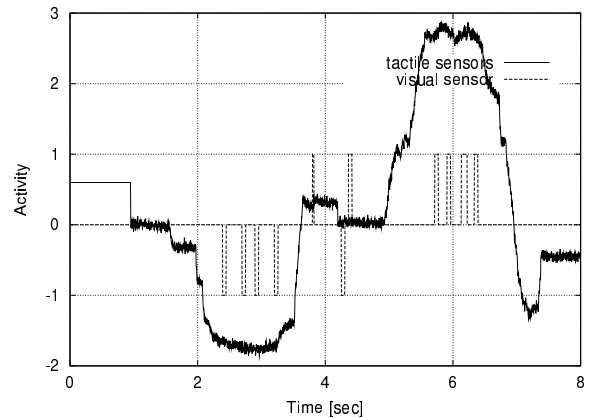


Fig. 5: Experimental result 2

つのセンサ間の関係を獲得させることができた。そして獲得されたニューラルネットワークを用いると、視覚センサでは認識できない微小の滑りを触覚センサで捕らえることができた。

なおこの研究の一部は、日本学術振興会科学研究費、基盤研究A、触覚・視覚・聴覚を持つ多自由度機械に宿る知能の解明、代表者 石黒浩(和歌山大学)の補助を頂いている。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- [1] M.Shimojo, M.Ishikawa, and K.Kanayama: A flexible high resolution tactile imager with video signal output, Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 384-391(1991).
- [2] Mitsuhiro Hakozaiki, Katsuhiko Nakamura and Hiroyuki Shinoda: Telemetric artificial skin for soft robot, Proceedings of TRANSDUCERS '99, pp. 844-847(1999).