

# 機械学習を用いたロボット関連製品の制御技術の開発

(オープンソースを活用したディープラーニング導入手法の確立と技術支援)

電子情報科 主任研究員 堀江 貴雄

本研究では、各種センサからのデータを用いてディープラーニングによりend-to-endで移動ロボットを自律制御することを目的とした。これまで開発してきたニューラルネットワークをベースに、カラー画像、距離画像、方位角による位置推定を行った。次に、RNN(Recurrent Neural Network)を用いて、時系列データによる推定を実現した。この結果、前処理なしの時系列データを用いてAGVの自動走行が実現できることを確認した。

## 1. 緒言

近年ではディープラーニング(深層学習)による画像判別や機械制御の事例も多く報告されるようになった。特に、各種データから特徴量を自動的に抽出できることから、これまで人による設計が困難であった高度な認識システムの実現に期待がかけられている。

これまでの研究において、オープンソフトウェアのNeural Network Console(ソニー社製)<sup>[1]</sup>を用いたディープラーニングによりカラー画像と車両の方位角からAGVの移動制御パラメータを制御して複数の移動経路を自律走行できる移動ロボットを試作した<sup>[2]</sup>。

令和2年度は、距離画像データを入力データに追加し、さらに時間変化を考慮した推定に取り組んだ。

## 2. CNNによる模倣学習(カラー画像、距離画像)

模倣学習によって移動ロボットを制御するために、カラー画像、距離画像、方位センサデータ、ゴール番号、ルート番号からゲームパッド操作量を推定するネットワークを設計する。学習させるデータセットを表1に示す。

表1 自動操縦用データセット

input	output
カラー画像 (3×45×80)	スピード値 (-1 ~ 1)
距離画像 (3×45×80)	平行移動方向値 (-1 ~ 1)
磁気センサ X (-1.0 ~ 1.0)	
磁気センサ Y (-1.0 ~ 1.0)	回転速度値 (-1 ~ 1)
ゴール位置 0 (0 or 1) ~ 9 (0 or 1)	
ルート選択番号 (-1 or 0 or 1)	

昨年度までの研究<sup>[2]</sup>で、カラー画像と方位センサデータ、ゴール番号、ルート番号からゲームパッド操作量を推定するニューラルネットワークを実現している

ため、これを活用することにした。

このネットワークはConvolution層13層、全結合層6層からなるが、これをカラー画像、距離画像それぞれに適用し、出力結果を最後に全結合層に入力して、最終的なゲームパッド操作量を推定するようにした。設計したネットワークを、ソニー社製オープンソフトウェアのNeural Network Console<sup>[1]</sup>の自動探索機能を用いて、より計算量が少なく、性能が劣化しないものを求めた結果、図1に示すネットワークを得た。

また、このネットワークによる屋内移動実験を実施したところ、カラー画像のみのネットワーク同様に移動制御を実現できたことを確認した。

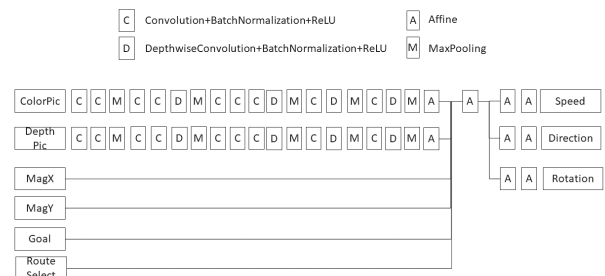


図1 ゲームパッド操作量推定ネットワーク

## 3. RNNによる模倣学習

### 3.1 カラー画像を用いたRNN

屋内廊下に障害物を配置し、回避しながらの目的地移動を確認した。様々な条件で検証をした結果、廊下中央部に障害物を配置した場合、車両後部が障害物に衝突する不具合を確認した。車両前方に配置されているカメラから障害物が視認されている間は障害物回避の動作をとれるが、カメラが障害物を通過した後は障害物を認識できないため、ニューラルネットワークが通常の走行パターンとして車両を急速に廊下中央に戻す制御を行うためであると考えた。

この現象を回避するため、廊下中央から外れた場合、

常に緩やかに廊下中央へ寄せていく制御を教師データにする方法が考えられる。しかしながら、カーブ途中の障害物や連続した障害物の回避など、状況によって舵を大きく切ることが必要なことも多い。

過去の推移を考慮した制御が必要であるため、RNN<sup>[3]</sup>を導入した<sup>[4]</sup>。

最新のデータを含めて1秒ごとにサンプリングしたカラー画像5枚と最新の方位センサデータ、ゴール番号、ルート番号を入力データとし、速度、並進方向、回転方向を推定するネットワークを設計した。データセットを72,679セット用意し、そのうち58,144セットをトレーニング用、残りの14,535セットを検証用としてバッチサイズ512,200Epoch学習させた。Best Validationは0.007060を得た。おおよそ妥当な制御が得られたが、安定性に欠けることが判明した。

### 3.2 カラー画像と距離画像を併用したRNN

安定性向上を狙ってRNNに距離画像を導入し、図2に示すネットワークを設計した。カラー画像のみのRNN学習時に使用したものと同一データセットを同条件で学習させた結果、Best Validationは0.006840を得た。

カラー画像のみのRNNと、カラー画像と距離画像併用のRNNはデータセット上では学習結果に大きな違いはない。しかしながら実機による走行実験を行うと、カラー画像のみに比べ、カラー画像と距離画像を併用したネットワークは、障害物回避と、人などの飛び出しに対応する急停止制御の安定性が明確に高いことが判明した。

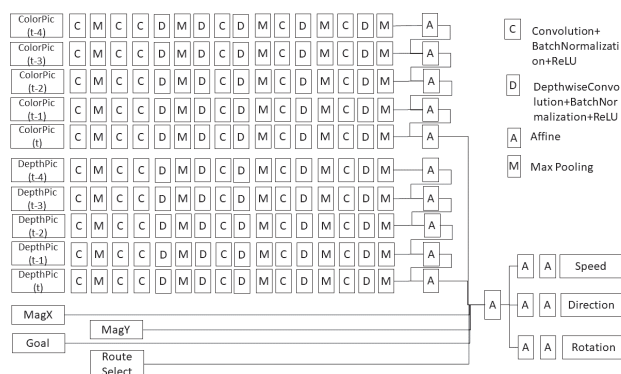


図2 カラー画像と距離画像を併用したRNN

このことから、運用時に学習データセットで網羅する範囲を超える可能性がある場合、距離画像センサは自動走行のロバスト性向上に有効であることが確認できた。

また障害物がない場合には、学習時どおり速やかに廊下中央への修正制御が行われ、障害物がある場合には回避後の操舵は緩やかになり、車両後部の衝突が回避されることも確認した。

## 4. 結言

本研究では、カラー画像と距離画像による移動ロボットの模倣学習を試みた。また、障害物回避時の車両後部の衝突について、これを回避するためにRNNの導入を図った。

学習後に実機で走行実験を行った結果、実験に用いた学習データセットではカラー画像のみで安定した障害物回避が困難であることが判明した。この問題を解決するためRNNに距離画像を導入し、カラー画像と距離画像各5枚を用いて同条件で学習を実施した。その結果、障害物回避後に車両後部が通過するまで待つてから操舵を行うことが可能になり、衝突不具合を解消することができた。

今回の実験では、人が混在する屋内廊下を想定していたため、複雑な障害物回避を想定したが、AGV用に整備された専用道路など、限定された使用条件であれば、カラー画像のみの制御でも十分運用可能であると思われる。

今後は、屋内だけでなく屋外での自動走行、移動ロボットにロボットアームを追加したうえで、エレベータ等を活用した多層階の移動など機能拡張を実施していきたい。

## 参考文献

- [1] “Neural Network Console”, <https://dl.sony.com/ja/>, Accessed 2018.
- [2] 堀江貴雄：“Neural Network Console を使用したメカナム台車制御方法の開発”，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020, 1A1-G10, 2020.
- [3] 小林由幸：“Deep Learning 入門：Recurrent Neural Networks とは？”，<https://www.youtube.com/watch?v=yvqgQ-ZIUAKg>, Accessed 2019.
- [4] 堀江貴雄：“カラー画像と距離画像を用いた模倣学習によるメカナム台車の移動制御”，第38回日本ロボッ学会学術講演会, 3A3-06, 2020.