

ニューラルネットワークを用いた LEGO MINDSTORMS の制御

Control of LEGO MINDSTORMS using Artificial Neural Network

花田一磨*, ○川瀬 拓*

K. Hanada*, H. Kawase*

*八戸工業大学

*Hachinohe Institute of Technology

キーワード：ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network), LEGO MINDSTORMS, 知能ロボット (Intelligent Robot)

連絡先：〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1 八戸工業大学工学部電子知能システム学科
花田研究室

花田一磨, Tel. :(0178)25-8136, Fax. :(0178)25-1430, E-mail :hanada@hi-tech.ac.jp

1. はじめに

人工知能的手法の一つである(人工)ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network: ANN) [1][2]は学習機能を持ち、パターン認識や予測といった能力に優れており、応用分野としては電力需要予測やロボット制御などが挙げられる。一方、LEGO 社の MINDSTORMS [3][4][5]は比較的安価で入手が容易、かつ、マイコンのプログラミングが可能であるため、組み込みソフトウェア開発の教材としても注目されている。そこで、本研究ではマイコンのプログラミングの練習を行いつつ、制御に関しても、単純なプログラムによるものではなく、人工知能を利用し、知的な動作を行う知能ロボットの開発を目的とする。

2. ニューラルネットワーク

ANN は生物の神経回路網をモデル化したもので、入力を受けると伝達関数を介して出力する素子である人工ニューロンを多数集め、その出力が他のニューロンの入力となるように信号が流れる結線でニューロン間を結合してネットワークを構築したものであ

る。図 1 に示したものは結合の形を層状にしたもので、階層型 ANN と呼ばれる。

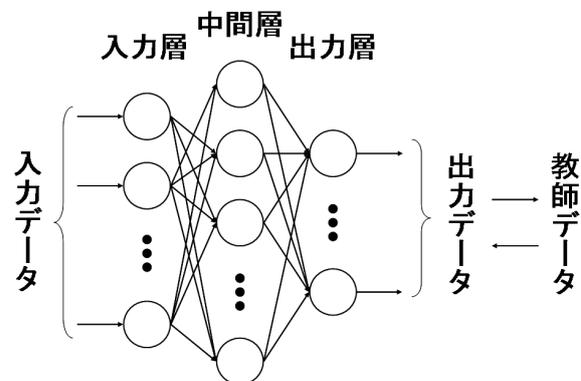


図 1 階層型 ANN

階層型 ANN は、外から入力を受け付ける入力層と、出力を行う出力層、入力層と出力層の間にありデータの加工を行う層の中間層(隠れ層)から構成される。ニューロン間を結合する結線にはそれぞれ荷重が設定されていて、ニューロンの出力はこの結合荷重を乗ぜられて他のニューロンの入力もしくは ANN の出力となっている。この結合荷重は大抵ランダムな値で初期化されるため、入力に対して望ましい出力を得られるように

調整する必要がある。この調整作業を学習と呼ぶ。学習の方法はいくつか存在し、本論文では ANN の学習によく使われるバックプロパゲーション学習を用いている。ANN はその特長である学習を行うことで入力データと出力データとの関係を容易に捉える事が出来る。

3. LEGO MINDSTORMS NXT

3.1 LEGO MINDSTORMS NXT

LEGO MINDSTORMS NXT は LEGO 社がマサチューセッツ工科大学と共同研究して開発した教育用教材である。レゴブロックと写真 1 の NXT と呼ばれるプログラミング可能な 32bitCPU 搭載のマイコン、モーターやセンサーなどから成り、レゴブロックを組み立ててロボットの形を作り、付属のソフトウェアでプログラムを作成することでセンサーからの入力とモーターへの出力を行い、ロボットを動かすことができるものである。



写真 1 NXT マイコン

本研究では、この LEGO MINDSTORMS NXT で写真 2 の重心移動型二足歩行ロボットと写真 3 のライトレースロボットの 2 つのロボットを製作し、それぞれの NXT マイコンに ANN のプログラムを書き込み、制御を行った。

なお、NXT マイコンのプログラミングは付属のソフトウェアでも行うことができるが、ANN を表現することが難しいため、二足歩行ロボットは NBC^[6]、ライトレースロボットは RobotC というプログラミング言語を使用している。

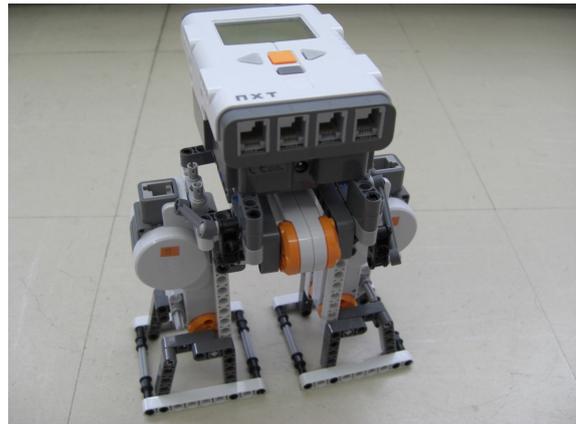


写真 2 重心移動型二足歩行ロボット



写真 3 ライトレースロボット

3.2 NBC

NBC とは、Next Byte Codes の略であり、NXT 用に作られたプログラミング言語である。NBC は計算、記憶、ポートの入力/出力、液晶画面出力、サウンド出力、メッセージ送受信、ファイルの読み書きなど、NXT がサポートしているほぼすべての機能に対応している。

NBC の特徴は、アセンブリ言語に近いためプログラムの書式がシンプルであることである。そのため、1 つあたりのプログラム命令を小さなサイズで済ませることができるという利点がある。しかし、浮動小数点が使えないといった欠点もある。

3.3 RobotC

カーネギーメロン大学が開発した MINDSTORMS のプログラム開発ソフトである。C 言語に近い感覚でプログラミングが可能であり、サードパーティーのセンサーも

サポートしている。アセンブリ言語に近い NBC と比べると、RobotC は C 言語に近いためプログラムを記述しやすい。

4. 重心移動型二足歩行ロボットの ANN による制御

4.1 ロボット製作の流れ

LEGO MINDSTORMS NXT を使用し、写真 2 の重心移動型二足歩行ロボットを製作した。ロボットの形状はロボコンマガジンに掲載されたものを参考にしており^[7]、腰、右足首、左足首に合わせて 3 つのモーターを使用している。NXT マイコンのプログラミングはアセンブリ言語に似た NBC を用いている。プログラミングの作業の流れとしては、まず、MINDSTORMS の付属ソフトウェアで各モーターの回転角度を順番に与え歩行するプログラムを書いて歩行できることを確かめ、歩行に必要な各モーターの回転角度のパラメータを得る。次に、このプログラムを NBC に書き換え、さらに回転角度を与える部分を ANN で表現するようにしている。

本研究で作成した重心移動型二足歩行ロボット用の ANN は図 2 のようになっており、現在の腰モーター、右足首モーターの角度を入力とし、次のステップの腰モーター、右足首モーターの角度を出力としている。なお、左足首モーターの角度は右足首のそれと反対になるため省略している。

ANN の学習に関しては付属ソフトウェアで調整したプログラムにより得られたモーターの角度に関するパラメータをもとに、パソコン上でバックプロパゲーション法を用いて ANN の学習を行い、その結果得られた結合荷重の値を NXT マイコンに書き込んだ NBC のプログラムの ANN の初期値として与え、図 3 の流れに沿って ANN の前向き処理でロボットを歩行させている。ここで、NBC では浮動小数点を扱えないため、ここではシグモイド関数 $f(x)$ に近似した、次式(1)に示すランプ関数付ステップ関数 $g(x)$ を用いている。

$$g(x) = \begin{cases} 100, (32000 \leq x) \\ \frac{1}{1086}x + 71, (13000 < x \leq 32000) \\ \frac{1}{400}x + 50, (-13000 < x \leq 13000) \\ \frac{1}{1086}x + 29, (-32000 < x \leq -13000) \\ 0, (x \leq -32000) \end{cases} \quad (1)$$

また、 $f(x)$ 、 $g(x)$ を図示すると、図 4 のようになる。なお、図 3 の流れの中にある「角度を 0~100 に正規化」という処理は、角度の情報を ANN に入力するために行っているものであり、また、NBC が浮動小数点を扱うことができないため、実数で正規化を行っているものである。

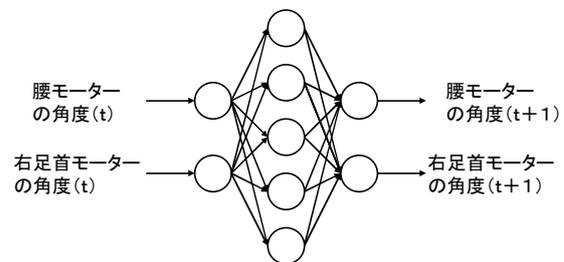


図 2 重心移動型二足歩行ロボット用の ANN

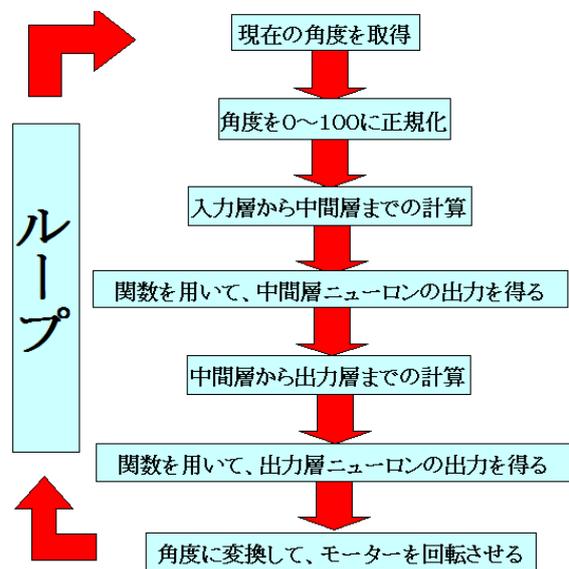


図 3 重心移動型二足歩行ロボットの動作の流れ

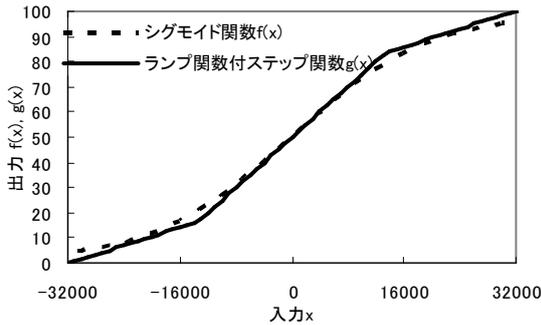


図4 ランプ関数付ステップ関数 $g(x)$

4.2 制御結果

NXT マイコンにプログラムを書き込み、実行したところ、歩行できており、ANN の処理が実行されていることが確認できた。しかし、ANN で制御した場合、ロボットが意図したように動かず、同じ行動を何度も繰り返すことがあった。これは、図2に示したように各モーターの回転角度をフィードバックしてモーターの次の回転角度を求めているため、モーターの回転角度がANNの学習パターンの範囲に含まれていない値になると、ANNから適切な出力がされなくなり、うまく動作できなくなるためである。この点はANNの学習データを増やすことで解決できている。

5. ライントレースロボットのANNによる制御

5.1 ロボット製作の流れ

MINDSTORMS NXT を使用し、写真3のラインレースロボットを製作した。ロボットの前方に伸びたアームの先端に光センサーが2つ設けられており、1つのモーターを使いアームを動かすことで、本体に光センサーを直接取り付けられた場合と比べて、ロボット本体がラインから大きく外れることがないようにしている。このアームの角度の情報をもとに、ロボットの左右にあるモーターのスピードを変化させ、ラインに沿って走行するようにしている。

ラインレースロボットを走行させるコースはETロボコン^[8]のコースを参考としている。ETロボコンのコースのコーナーは最大半径900mm、最小半径300mmであるので、これらコーナーを組み合わせた一周4968mmの図5のコースを作成した。なお、黒ラインの幅はETロボコンでは20mmとなっている

が、今回はその幅のテープが調達できなかったため、作成するトラックでは18mmの幅のアセテートテープを使用している。また、部屋の床に黒ラインを貼るため、その下に48mm幅の白いビニールテープを貼っている。

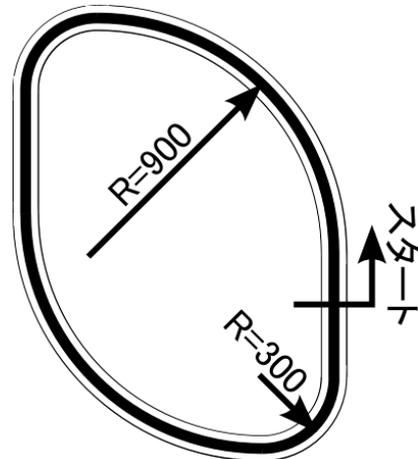


図5 使用するコースの概略

NXT マイコンのプログラミングはRobotCというC言語に似た開発環境のソフトを使用する。プログラミングの作業の流れとしては、まず、光センサーのついたアームの処理に関するRobotCのプログラムを作成した。その後、半径300mmカーブと半径900mmのカーブを実際に走行させ、カーブに進入したときのアームの角度の情報と、速度を出しつつコースをはみ出さないようにするための左右のモーターの出力を求めた。次に、このアームの角度とモーターの出力の関係を図6に示すANNでパソコン上において学習させ、このANNの結合荷重の値をNXTマイコンに書き込んだプログラムのANNの初期値として与え、コースを走行させた。なお、この時のANNの学習方法はバックプロパゲーション法を用いている。また、NBCの場合とは異なり、RobotCでは実数を扱うことができるため、人工ニューロンの伝達関数にはシグモイド関数を使用している。

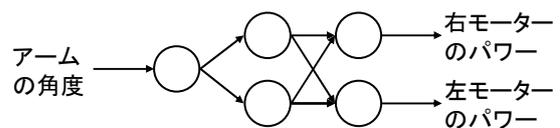


図6 ライントレースロボット用のANN

5.2 制御結果

表 1 に、ANN により制御したライントレースロボットと、その ANN の学習データを収集するために使用したロボットのトラックの周回時間を比較したものを示す。この結果より、ANN でライントレースロボットを制御できていることが分かる。なお、ANN を使用した場合の方が周回時間を短縮できているが、これは、ANN を使用しない場合ではアーム用のモーターの回転角度によって条件分岐させてデジタルにタイヤ用のモーターの出力を変化させている一方、ANN を使用する場合ではアーム用モーターの回転角度に対応した値が出力できるため、ANN を使用した場合の方がカーブをなめらかに曲がることのできるためである。

表 1 ANN を使用した場合と使用しない場合におけるトラックの周回時間の比較

	ANN を使用した場合	ANN を使用しない場合
トラック 1 周に要する時間 (10 回の平均) [sec]	12.6	13.0
トラック 5 周に要する時間 (3 回の平均) [sec]	63.8	64.5

6. おわりに

本論文では、LEGO MINDSTORMS NXT により製作した重心移動型二足歩行ロボットとライントレースロボットに ANN を適用し、両ロボットの制御を行った。ANN のプログラミングにはそれぞれアセンブリ言語の NBC と C 言語と似た構造を持つ RobotC を使用した。オンライン学習は行わなかったものの、両言語により ANN のプログラミングは可能であることが確認できた。以上より、ANN を用いてロボットを制御するという目的は達成できたといえる。しかしながら、制御対象が簡単な構造をしたロボットであっ

たため、ANN の特長を活かした適用ができたとはいいがたかった。この点は今後改善していくことが必要である。

プログラミング言語に関しては、NBC はフリーで使える開発環境であるという長所があるものの、浮動小数点を使用できないという欠点もあるため、知能処理を行わせることが若干難しい。また、アセンブリ言語に似た構造を持つため、プログラミングの初心者向けではないといえる。

今後の展開としては、他のプログラミング言語 (leJOS や Microsoft Robotics Studio など) の使用や、他のロボットの形態への適用、また、LEGO MINDSTORMS NXT 以外のロボットへの ANN の適用を考えている。

参考文献

- [1] 萩原将文, ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム, 産業図書, 1994.
- [2] 森川幸人, マッチ箱の脳, 新紀元社, 2000.
- [3] レゴ マインドストーム公式サイト, <http://www.legoeducation.jp/mindstorms/>, (最終アクセス日 2009/04/15).
- [4] 大庭慎一郎, 入門 LEGO MINDSTORMS NXT, ソフトバンククリエイティブ, 2006.
- [5] 五十川芳仁, LEGO MINDSTORMS NXT オレンジブック, 毎日コミュニケーションズ, 2006.
- [6] 大庭慎一郎, 松原拓也, LEGO MINDSTORMS NXT グレーブック, 毎日コミュニケーションズ, 2007.
- [7] Joe Nagata, 重心移動型二足歩行ロボット 2, ROBOCON Magazine, No.53, オーム社, 2007.
- [8] ET ロボコン 2007 : <http://www.etrobo.jp/ETROBO2007/top.html>, (最終アクセス日 2008/2/19).