

ニューラルネットワークによる外界センサの精度向上に関する研究

井上, 英二
九州大学農学部農業機械学講座

矢田, 恵子
九州大学農学部農業機械学講座

橋口, 公一
九州大学農学部農業機械学講座

崔, 重燮
九州大学農学部農業機械学講座

他

<https://doi.org/10.15017/23643>

出版情報 : 九州大学農学部学藝雑誌. 54 (3/4), pp.141-147, 2000-02. 九州大学農学部
バージョン :
権利関係 :

ニューラルネットワークによる外界センサの 精度向上に関する研究

井上英二・矢田恵子・橋口公一
崔重燮*・田代克己・山中捷一郎

九州大学農学部農業機械学講座

(1999年10月29日受付, 1999年11月5日受理)

Study on Improvement of Measurement Accuracy for External Sensor by Neural Network System

Eiji INOUE, Keiko YADA, Koichi HASHIGUCHI,
Choe JUNG-Seob*, Katsumi TASHIRO and Shoichiro YAMANAKA

Laboratory of Agricultural machinery, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-8581

緒 言

我が国の農業において、近年直面している問題として、農業就業者人口の減少と高齢化による生産効率の低下が挙げられる(寺尾ら 1998)。この問題に対して、農業分野において、様々な解決策の模索、研究等が現在進められている。

一方、農業機械分野では、農作業機械の無人化・自動化等がこの問題の解決策の一つとして提示されている。現在、コンバインやトラクタ等の農作業機械では、収穫や耕耘といった作業の一部については自動化は既に行われている。しかし車両走行全般を含む完全無人化作業については未だ研究段階であり、実用化に向けての早急な進歩・発展が期待されている。

そこで本研究では、圃場を走行する農用履帯車両の自律走行を目的として、自律走行させるために必要不可欠な車両の位置認識システムの精度について検討を行った。なお、車両の位置を認識する外界センサとして比較的安価な超音波センサを使用し、模型履帯車両に搭載、走行実験を行った。一般に、超音波センサにより得られる車両位置データは、センサ自体に誤差が含まれており、センサのみで正確な車両位置データを

得ることが困難であるため、この誤差を軽減、さらには正確な車両位置データを得る方法としてニューラルネットワーク(以下 NN)による学習システムを用いて、センサの精度向上(センサ出力の補正)を試み、NNのセンサに対する有効性を検証した。

ニューラルネットワークシステム

今日、一般に使用されているコンピュータはノイマン型コンピュータと呼ばれており、演算速度において人間の脳のはるか上を行く性能を持つ。しかし、パターン認識や学習、直感などの面では人間の能力に及ばない。ノイマン型コンピュータも脳も双方とも、情報を処理する装置だが、前者は直列情報処理、後者はニューロンのネットワークによる並列情報処理と、両者の情報処理方法は異なっている。よって、この NN を模倣することにより、脳に似た高度な知的情報処理が実現できると考えられる。この考えに基づき、様々な NN が考案され、その成果もあがっている(今井 1990)。本研究では、現時点で実際に応用されている NN モデルであるバックプロパゲーション則(以下 BP 則)を使用した。NN において最も基本となるニューロンモデルは、生物の神経系、すなわちニューロンをモデルにして作られたものであり、様々な機能を持ったものがあることが知られている。現在、工学的レベ

* 尚州産業大学校(韓国)

ルで用いられているニューロンは単純なもので、一般に多入力・一出力の非線形素子が用いられている。図1は工学的ニューロンモデルの模式図であるが、この図における $x_1 \dots x_n$ は他のニューロンからの出力であり、これにニューロン同士の結合、すなわちシナプス結合における伝達効率を表す荷重 $w_1 \dots w_n$ を掛けたものの総和がこのニューロンの入力となる。荷重はこのニューロンが興奮を表す時は正の値、抑制を表すときは負の値と、正負どちらの値もとりのう。そして入力の総和 X を応答関数と呼ばれる関数 f により変換されたものがニューロンの出力 y となる。すなわち

$$y=f(X) \quad (1)$$

となる。神経インパルスの頻度は負にはならないことから、関数 f は非負の関数である。また、神経細胞の興奮を示すパルスの発生は、活動電位が一定のしきい値 θ を越えるか否かによることが知られている(合原1988)。応答関数は初期の頃には単純なステップ関数が使用されていたが、最近の一部で線形に近い応答特性を示す飽和形の応答関数が用いられている。これはシグモイド関数と呼ばれ、その入出力関係は次式で与えられる。

$$f(z)=\frac{1}{1+e^{-z+\theta}} \quad (2)$$

また、BP 則は1986年、米国カリフォルニア大学サンディエゴ校のデビット・ラメルハート教授を中心としたグループが、古典的なパーセプトロンを改良して考案されたモデルで、様々な処理に適用できる汎用性の

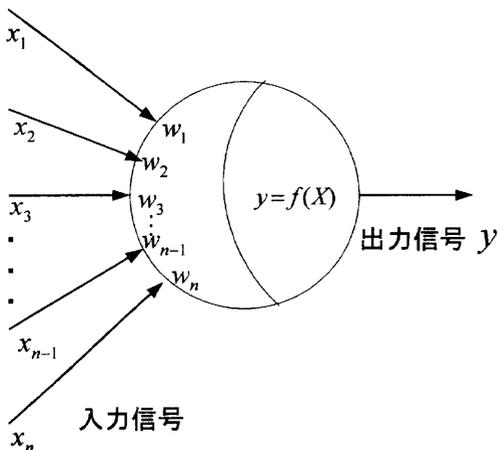


図1 工学的ニューロンモデルの模式図

高い学習則である。BP 則における基本的なアイデア自体は多くの研究者により古くから提案されていた。しかし、有効性が広く認められるようになったのは最近のことである。BP 則は多層の非線形な中間層から形成される NN で使用される学習則で、入力層と出力層の間に任意の個数の中間層を設けることにより任意の入力パターンを任意の出力パターンに変換する。このため様々な処理に活用でき、汎用性が高い。この学習則では、出力と教師信号の誤差が、ネットワークを構成する全てのユニット及び結合から生じていると見なし、それぞれの重みを調整していく。すなわち結合を通じて前の層へさかのぼり、出力の誤差を伝播させることにより誤差の責任を追及する。これが入力層に達するまで繰り返されるために BP 則と呼ばれる(菊池 1990)。

外界センサの精度の検証

1) 概要

本実験では、模型履帯車両に外界センサを搭載・走行実験を行い、収集された位置データ精度の検証を行った。また、得られた車両位置データを NN により学習を行い、NN のセンサに対する有効性を検証した。なお、外界センサとして、超音波センサを使用した。

2) 実験条件・実験装置

走行実験は傾斜角 0° の紙面上(動摩擦係数0.51162)において行った。

模型履帯車両は、接地長280mm、トレッド186mm、履帯幅30mmの金属製の履帯を有するものを使用し、走行制御の精度向上を目的として、動力源として5相ステッピングモータ(オリエンタルモータ製、ユニットUPK545-NAC、モータPK545-NAC、ドライバUDK5107N)を供試し、動力伝達部に25:4の減速歯車を組み込んだ。また外界センサとして使用した超音波センサ(KEYENCE製、センサヘッドUD-320、アンプユニットUD-300)には、センサヘッドの回転制御が必要な為、動力源と同種のステッピングモータを取り付け、車両に搭載した。なお、ステッピングモータの制御については、パーソナルコンピュータ(NEC製、PC-9801BX)からの矩形波信号をコントロールユニットに送信し、その信号をモータの回転数へと変換することにより行った。また、超音波センサの距離の測定制御は、超音波センサからのアナログ信号をパーソナルコンピュータのA/D変換ボード(カノープス製)に送信し、デジタル信号に変換することにより行った。また今回、超音波センサヘッドの回転

速度は3種類設定した。回転速度の詳細を表1に示す。

車両進行区画内に固定設置した超音波反射標識については、超音波の透過性及び反射性を考慮し、塩化ビニール製の円柱パイプ（外径60mm、高さ400mm）を用いた。なお、本実験では固定設置標識座標をA(0, 0)、B(140, 1200)、C(1200, 840)、D(940, 0)とした。実験の概要図を図2に示す。

3) 車両自己位置認識方法

超音波センサは、超音波を発生してから物体に反射して、元の位置まで戻ってくるまでの時間を測定することで、超音波の送受波器から物体までの距離を計算により求めることができる。そこで、車両進行区画に超音波反射標識を4点固定設置して、超音波センサにより車両・超音波反射標識間距離を、超音波センサを駆動するステッピングモータの駆動量により標識間の角度を、そしてこれらの値と、既知である固定設置標識座標により車両の自己位置を三角測量法を用いて算出した。以下に図2における標識ABCを検知した場合

表1 センサの回転速度

センサ回転速度(1)	7.0697 [rad/s]
センサ回転速度(2)	3.5348 [rad/s]
センサ回転速度(3)	1.7674 [rad/s]

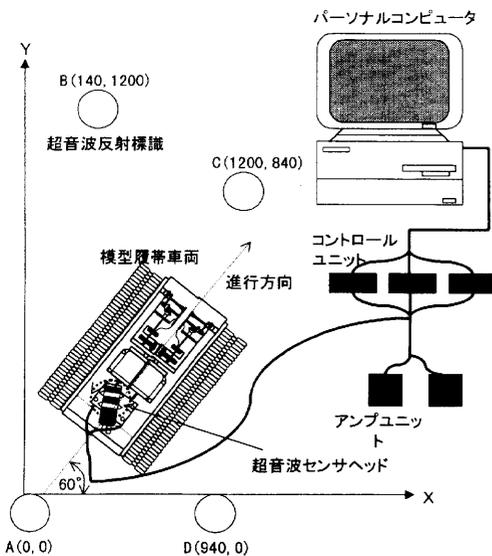


図2 実験の概要図

における算出式を示す。

$$2 \begin{pmatrix} x_2-x_1 & y_2-y_1 \\ x_3-x_1 & y_3-y_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1^2-l_2^2-x_1^2+x_2^2-y_1^2+y_2^2 \\ l_1^2-l_3^2-x_1^2+x_3^2-y_1^2+y_3^2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

この行列式を(X, Y)について展開、車両の位置座標を算出する。また車両の進行速度を極めて遅くすること(速度0.5169cm/s)により、車両の経時的変位による現在位置のずれを無視できるものとした。

4) 実験方法

(1) 直進距離の測定実験

モータ制御用矩形波数を20~30パターン設定して直進させ、その進行距離を測定、その値を元に学習したNNの出力値を求めた。この実験におけるネットワークの構成は、入力層にモータ制御用の矩形波数、中間層については試行錯誤により、第1層目にユニット数4個、第2層目にユニット数3個、第3層目にユニット数2個のものを、出力層に直進距離を使用した。学習則はBP則を適用、ネットワークの学習回数は4万回に設定した。ネットワークの構成図を図3に示す。

(2) 外界センサの精度実験

モータ制御用矩形波数10000、後にデータ処理を行うことを考慮して車両進行方向をX軸から反時計回りに60°方向とし、直進走行を行わせ、走行中に外界センサから車両の自己位置データを取得した。また、センサの誤差軽減のためにネットワークを構成し、NNで学習を行った。ネットワークの構成としては、入力層に得られた車両位置データ、中間層は試行錯誤により、出力値と教師データとの差が小さく、収束状況が比較的良好であった1層目ユニット数8個、2層目ユニット数7個、3層目ユニット数6個のものを、出力層は上記(1)の直進距離における測定実験の学習結果から得られたモータ制御用矩形波数によって計算した車両位置とした。教師データは外界センサが出力された時の矩形波信号を、直進実験の学習結果を使用

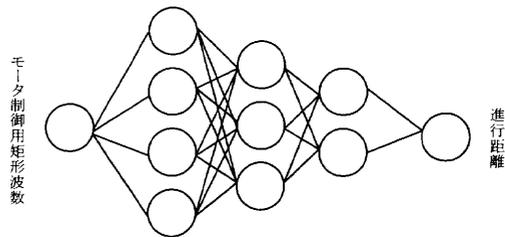


図3 直進距離の測定実験におけるネットワーク構成図

して座標に変換することにより求めた。学習則はBP則を適用，ネットワークの学習回数は4万回に設定した。ネットワークの構成図を図4に示す。

5) 実験結果及び考察

(1) 直進距離の測定実験

結果の一例を図5に示す。横軸に超音波センサヘッド回転用のモータ制御矩形波数を，縦軸に進行距離を示している。また「×」は実際に測定した値，実線は

その値を元に学習したNNの出力値を表す。この図を見ると，良好な精度で学習が行われていることが判る。

(2) 外界センサの精度実験

結果の一例を図6～図8に示す。横軸に現在車両のX座標を，縦軸に現在車両のY座標を示している。また、「×」は学習の際使用した教師データで、「□」は外界センサから出力された現在車両のY座標で、

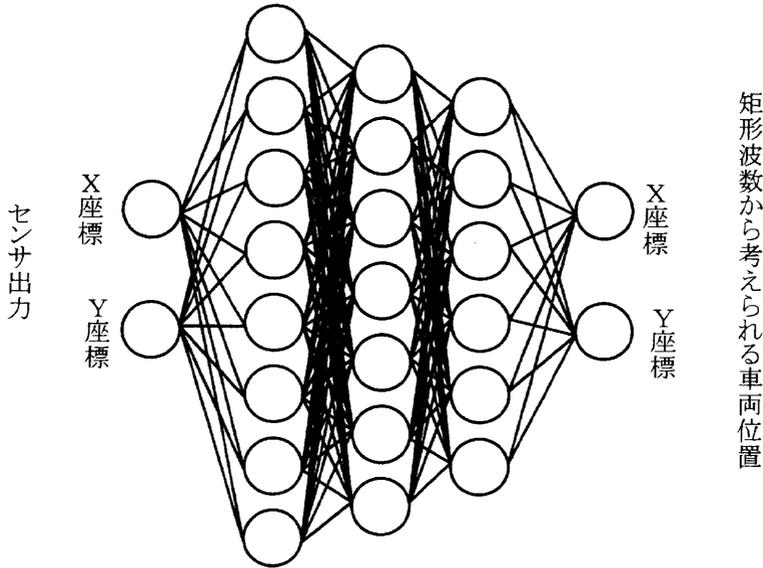


図4 外界センサの精度実験におけるネットワーク構成図

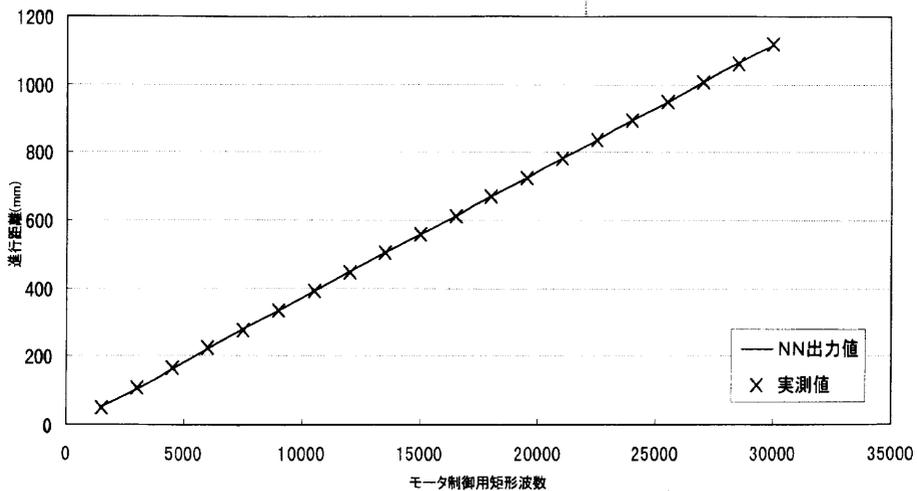


図5 直進距離の測定実験

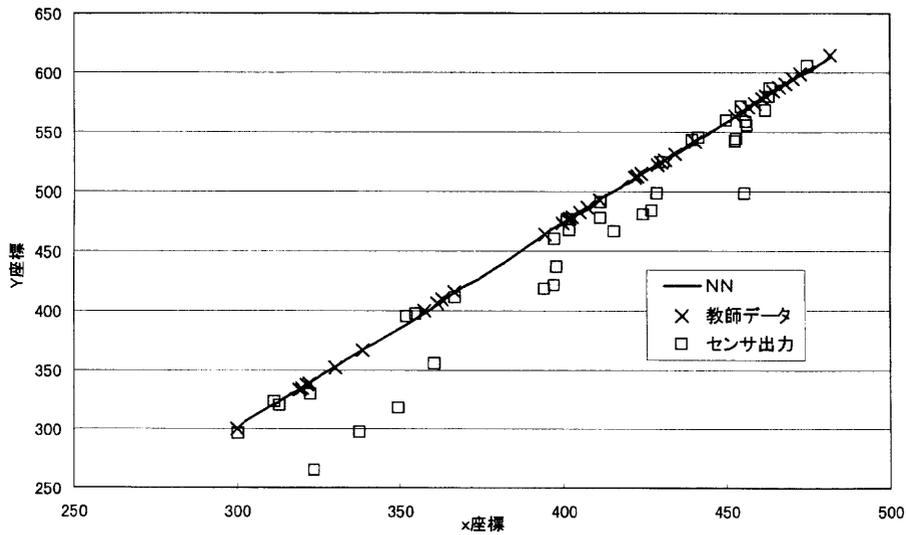


図6 外界センサの精度実験（回転速度1）

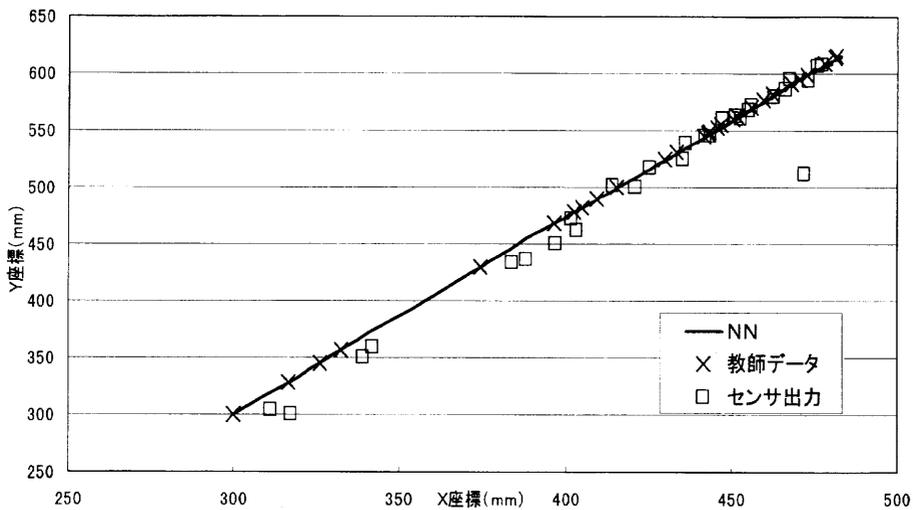


図7 外界センサの精度実験（回転速度2）

実線はNNの出力結果である。この図を見るといずれの場合においても外界センサのみによる車両の自己位置認識は若干の誤差が生じている事が判る。これは超音波センサの出力自体に誤差が含まれることと、A/D変換ボードでセンサからのアナログ信号をデジタル信号に変換する際に誤差が生じることが原因であると思われる。また、超音波センサのセンサヘッドの回転速度が速くなるほどこの誤差が大きくなっている。

これはセンサヘッドの回転が速くなるほど、超音波が超音波反射標識に反射して戻ってくる間に超音波センサのセンサヘッドが移動しているために生じる誤差が増大していく為と思われる。従って、センサヘッドの回転速度を早くすると誤差が大きくなり、センサヘッドの回転速度を遅くすると誤差は軽減されるが、座標の出力が遅れ、リアルタイムに車両の位置認識を

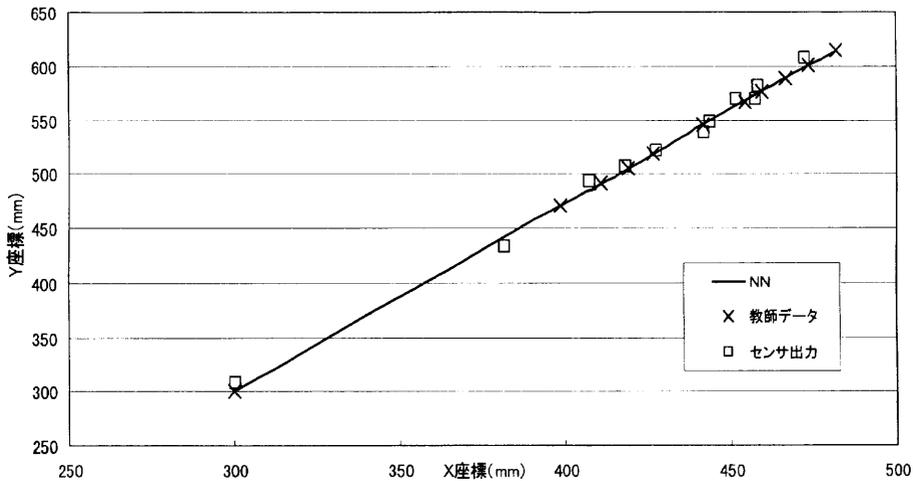


図8 外界センサの精度実験 (回転速度3)

行うことが出来ない問題が生じると考えられる。一方、NNの学習は良好な精度で学習が行われていることが判る。この事より、センサの誤差を軽減するためのNNの学習システムは有効であると考えられる。

要 約

圃場機械を自律走行させるためには、車両位置のリアルタイムの認識が必要不可欠となる。一般に位置認識に用いる外界センサはセンサの出力誤差により正確な位置情報が得られないため、現時点で使用するには実用的でない。そこで、本研究では外界センサの一つである超音波センサの出力誤差の確認を行い、ニューラルネットワーク (NN) の学習システムで出力誤差を軽減させることを試みた。その結果、センサのみでの位置情報ではセンサの回転速度の増加に伴い、誤差や変動が大きくなる傾向を示した。一方、NNにより実際の位置情報を学習させ、センサ出力の補正を行っ

た結果、回転速度の影響によらず正確な安定した位置情報が得られることが検証された。以上より、自律走行車両に用いる外界センサの精度向上には、NNによる学習システムが有効であり、今後の実機への搭載・実用化に向けて寄与しうるものと考えられる。

文 献

- 合原一幸 1988 ニューラルコンピュータ脳と神経に学ぶ 東京電機大学出版局 20-51 138-209
 今井兼範 1990 ニューラルネットワークコレクション 共立出版株式会社
 菊池豊彦 1990 入門ニューロコンピュータ オーム社
 寺尾日出男ら 1998 精密ほ場管理を目指した畑作用多機能移動ロボットシステムに関する研究 平成7年度～平成9年度科学研究費補助金 (基盤研究(B)(2)) 研究成果報告書 1-5

Summary

The real time positioning system is necessary and essential for autonomous agricultural vehicles.

In general, the external sensor used for positioning system equipped with vehicle has no practical use because of being unable to obtain the correct location information of a vehicle due to output error of a sensor.

In this study, accuracy of the supersonic waves sensor which is used as the external

sensor, was estimated, and further, the learning system of neural network (NN) was applied to decrease of output error of the sensor.

As a result, error and fluctuation of sensor output became large according to revolutionary velocity of the sensor unit under the condition of measuring with sensor only. On the other hand, in case of revising a sensor output based on actual vehicles' location by the NN learning system, sensor output was almost in agreement with actual location without the influence of revolutionary velocity of the sensor unit.

Consequently, the learning system of NN is available for improving the accuracy of external sensor as a positioning system of the autonomous vehicles.