

# 複数無人搬送車(AGV)の協調行動の獲得

○倉本航佑(北見工業大学), 渡辺美知子(北見工業大学),

鈴木育男(北見工業大学), 岩館健司(北見工業大学), 古川正志(北海道情報大学)

## 要旨

本研究は、自由に移動可能な無人搬送車 (Automatically Guided Vehicle, AGV) を三次元物理空間内に 4 台モデリングし、一台で運べない様々な大きさや形状の荷物を 4 台の AGV でお互いの仕事を助け合いながら運搬する自律協調行動の獲得を目的とする。この行動の獲得には、機械学習の人工ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network, ANN), この ANN の結合荷重の最適化に粒子群最適化法 (Particle Swarm Optimization, PSO) を採用する。この提案手法の有効性をシミュレーション実験で検証する。

## 1. はじめに

大規模工場や立体自動倉庫などで実用化されている無人搬送車 (Automatically Guided Vehicle, AGV) は自由度が高く倉庫内の作業効率の向上に大きく貢献している。近年では、病院やオフィス、飲食店での単純な運搬作業を、機械化や自動化することにより、省人化も期待されている。

現在、AGV はルールベースで制御されているのが殆どであり、突発的な環境の変化に対応できない。また、運搬する荷物の大きさや形状、重量が変化することによって AGV 自身の大きさも変更しなければならない問題がある。ロボットの制御には、機械自身の学習によって制御方法を獲得する手法がある。学習による制御は、環境の変化に柔軟に対応することが可能であり、膨大なプログラムによるルールベースの制御システムが不要になる<sup>1)</sup>。

本研究では、無人搬送車(Automatically Guided Vehicle, AGV)を三次元仮想空間内に 4 台モデリングし、1 台で運べない大きさや形状の荷物を 4 台の AGV でお互いの仕事を助け合いながら運搬する自律協調行動の獲得を目的とする。自律協調行動の獲得には、人工ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network, ANN)の機械学習を採用し、この ANN のニューロン間の結合荷重の最適化に粒子群最適化法(Particle Swarm Optimization, PSO)を用いる。この提案手法の有効性を確認するために数値シミュレーション実験で検証する。

## 2. 協調行動

協調行動とは、物理的・情報的にも独立した複数の個体または構造物から構成され、それらがお互いに助け合いながら何らかの共通の目的を達成する行動である。本実験では、4 台の AGV が互いの仕事を助け合いながら 1 つの大きな荷物を目的地へ運搬する行動である。AGV 同士はお互いの情報を共有せず、各々が荷物の状態を算出して自律的に荷物のバランスを取り、全体として協調行動を行う。

## 3. 三次元物理モデリング(Anibot)

物理エンジンは、三次元仮想空間内で様々な自然界の物理現象を再現することができる。例えば、三次元空間内に物体をモデリングして等速円運動や慣性の法則など、シミュレーションによって物理現象を確認することができる。

近年、ロボットなどの機械モデルや人工生物モデルを作成し、様々な環境下において目的に沿った自律的な行動を獲得させる研究が盛んに行われている。これらの研究において北海道情報大学の古川ら<sup>2)</sup>は、自律行動の獲得に学習

機能をもたせたモデルをアニボット(Animated Robot, Anibot)と名付けて活発に研究を進めている。

## 4. AGV モデル

図 1 は AGV モデルを示し、(a)に側面図、(b)に上面図、(c)に底面図を示している。モデルは直方体の本体底面に 4 つの球状の車輪が取り付けられている。4 つの車輪は、図 2 に示すように車軸を設定し、その軸周りを前後に回転できるアクチュエータとしている。また、図 2 は AGV の移動原理を示している。AGV の前後左右の移動は、4 輪の回転速度を等速にして、それぞれの回転方向を動く方向に合わせて調節する。車体から 45 度の方向への移動には、その方向を向いている 2 個の車輪を同じ方向に同じ速度で回転させ、それ以外の車輪は空転するようにする。その場で旋回する場合は、4 輪の回転方向を旋回する方向と同じ方向に等速で回転させる。モデル上面には荷台を設置している。この荷台は回転することで荷物の正面を目的地の方向に向ける役割を果たす。モデルと荷物のサイズを表 1、表 2 に示す。

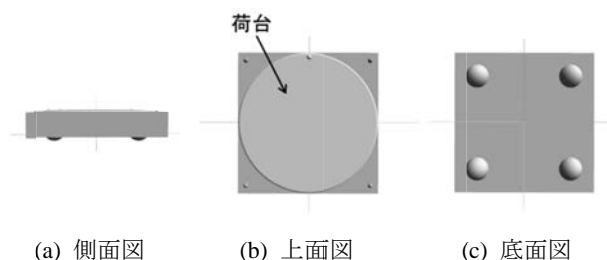


図 1. AGV モデル

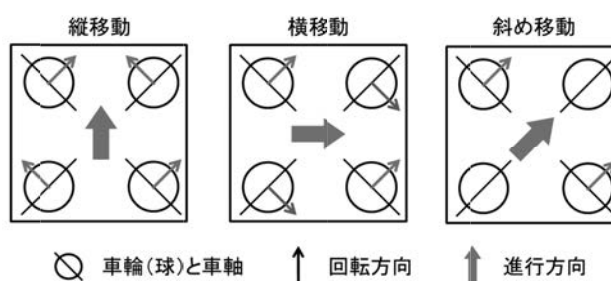


図 2. AGV の移動原理

表 1. モデルの寸法(mm)

ボディ(幅×奥行×高さ)	250 × 250 × 50
4 つの車輪の直径	60

表 2. 搬送物の寸法(mm)

幅×奥行×高さ	100 × 100 × 150
---------	-----------------

## 5. 人工ニューラルネットワーク(ANN)

人工ニューラルネットワーク(ANN)とは、生物の脳の神経回路網の一部を模倣したネットワークモデルである。本研究では、各 AGV にそれぞれ ANN を持たせ制御する。各 ANN は 3 層のフィードフォワード型 ANN を使用している。また、各 AGV の ANN は同一の結合強度を持つものとする。

## 6. 粒子群最適法(PSO)

粒子群最適法(PSO)は、位置と速度情報を持つ複数の粒子が解空間を飛び回り、最良の位置を群全体で共有し、粒子を更新しながら探索を行う手法である。PSO は ANN のニューロン間の重み係数を最適化するために採用する。重み係数  $w$  の初期値にはランダムで発生させた値を代入する。この値の範囲は  $(-1 \leq w \leq 1)$  と設定する。PSO の更新式を式(1),(2)に示す。表 3 に PSO のパラメータを示す。

$$X(t+1) = X(t) + V(t+1) \quad (1)$$

$$V(t+1) = wV(t) + c_1r_1\{X_{pbest}(t) - X(t)\} + c_2r_2\{X_{gbest}(t) - X(t)\} \quad (2)$$

( $X$ : 粒子の位置,  $V$ : 粒子の速度,  $t$ : 時間,  $w$ : 慣性定数,  $c_1, c_2$ : パラメータ,  $r_1, r_2$ : 一様乱数  $[0,1]$ ,  $X_{pbest}$ : 自身の探索過程における最良の位置,  $X_{gbest}$ : 粒子群の探索過程における最良の位置)

表 3. PSO のパラメータ

世代数	100
個体数	100
ステップ数	2000
慣性定数 $w$	0.7
$c_1, c_2$	2.0

## 7. 数値シミュレーション実験

図 3 に実験環境を示す。4 台の AGV と荷物を図 3 のように設置し、運搬実験を行う。各 ANN のニューロン数は入力層 11, 中間層 7, 出力層 2 とした。各 ANN の入力情報は荷物中心から目的地までの角度, 荷物と AGV の位置関係, 荷物の向きと位置を入力している。出力は AGV の駆動輪の回転角速度を出力するように設定した。

評価式  $F$  を式(3)に示す。ステップ毎に荷物中心から目的地までの距離の総和を計算している。また、AGV の荷台と荷物を一体として移動できるように、図 4 に示す荷台の回転角と荷物の回転角の差が大きいほどペナルティを与えた。この評価値が小さいものほど良い評価とする。

$$F = \sum_{t=0}^n d \cdot P \cdot \alpha_i \quad (3)$$

( $n$ : ステップ数,  $d$ : 荷物中心から目的地までの距離,  $P$ : 荷物の落下ペナルティ,  $\alpha_i$ : 荷台の回転角と荷物の回転角の差によるペナルティ,  $i$ : AGV の台数)

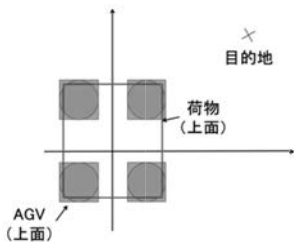


図 3. 実験環境

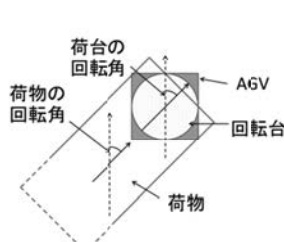


図 4. 荷物と荷台の回転角

## 8. 結果・考察

図 5 は PSO による収束状況を示し、縦軸に評価値、横軸に世代数を示している。20 世代でほぼ収束しているのがわかる。図 6 は、4 台の AGV モデルの初期位置から目的地に向かって協調運搬中の様子を示している。

数値シミュレーション実験の結果、4 台の AGV モデルは初期位置から目的地まで荷物を落下することなく運搬し、自律的な協調行動を獲得できた。また、目的地に到達した 4 台の AGV モデルは目的地付近で留まる様子が確認された。AGV に回転できる荷台を設置したことで荷物の方向転換が可能になり、通路等の曲がり角においても荷物の進行方向を維持しながら曲がることができると考える。

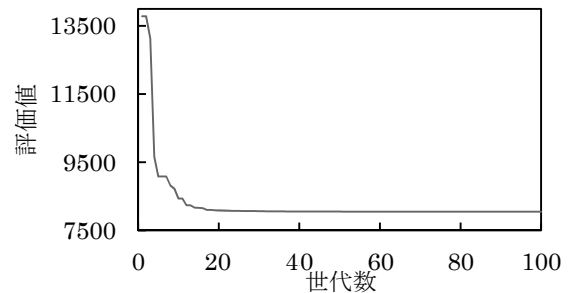
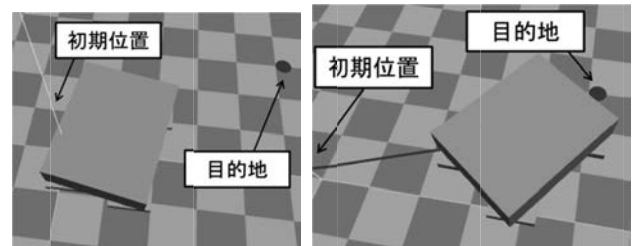


図 5. GA による収束状況



(a) 初期位置付近 (b) 目的地付近  
図 6. 4 台 AGV の協調運搬の様子

## 9. おわりに

本研究では、三次元物理空間内に無人搬送車

(Automatically Guided Vehicle, AGV) を 4 台モデリングし、お互いの仕事を助け合いながら荷物を運搬する自律協調行動を獲得させた。その結果、以下の結果が得られた。

1. モデルは、機械学習の ANN, ANN の進化計算に PSO を用い、お互いの仕事を助け合いながら荷物を運搬する自律協調行動が獲得された。
2. 目的地に到達した 4 台の AGV モデルは、目的地付近で留まる様子が確認された。

今後は、実験環境に通路を作成し、通路内の協調運搬を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 福原隆宏, 渡部美知子, 複数のシステム環境下による協調行動の獲得, 第 12 回システムインテグレーション部門講演会, pp398-399, 2011
- 2) 岩館健司, 米蛇佳祐, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志, Animated Robot の研究 - 剛性体モデルの学習と制御 -, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008, 2PG-G19 (1)-(4), 2008