

パーティカルスウォームを採用した群 AGV の協調行動獲得に関する研究

旭川工業高等専門学校 ○梅田憲二 渡辺美知子 古川正志

要旨

セル型生産システムにおいて、AGV は自由度の高い搬送装置としての位置を得ている。本研究では、多峰性最適化問題の解法として近年注目を浴びているパーティカルスウォーム最適化法をネットワークで結合されたトポロジーエージェントとして定義し、パーティカルスウォームの持つ集団性、社会性、個人性を利用して群 AGV の行動に関する新しい方法を提案し、シミュレーションによってその有効性を検証する。

1. はじめに

現在、自律分散型の生産システムあるいはセル型生産システムの工場が実現する中で、自由度の高い搬送装置として、無人搬送車(Automatically Guided Vehicle, AGV) は重要な位置を占めている。しかし、工場内で AGV を移動するには、1) 複数 AGV の搬送経路を人間によってあらかじめプログラムで作成する、2) GA 等で複数 AGV の搬送経路を事前に計画する、3) Q 学習等をオフラインでシミュレーションし、複数 AGV の移動を獲得させ、オンラインで自律移動させる、等の何らかの方法を用いて経路を獲得する必要がある。また、実際の工場では数台から数十台の AGV を用いるため、個々の AGV の移動だけでなく全体の移動を効率よく運用することが求められている。

本研究では、複数 AGV の個々の AGV を低知能エージェントとみなし、多峰性最適化法の解法として近年注目を浴びているパーティカルスウォーム最適化法 (Particle Swarm Optimization, PSO)¹⁾ をネットワーク結合されたトポロジーエージェントとして定義し、その集団性、社会性、個人性を利用して複数 AGV が自律的に移動を可能とする方法を提案し、そのシミュレーション方法を示す。

2. PSO

2.1 PSO とは

PSO¹⁾ は 1995 年に James Kennedy により提案されたアルゴリズムであり、鳥が群れを成して三次元空間を飛び行動や、魚が群れを成して海や池を泳ぐ行動など、動物の群れを模倣した最適化法である。それぞれの個体は、位置ベクトル、速度ベクトルとその個体が最良の適合度を獲得した場所を記憶し、更に個体全体の中における最良の適合度の場所の情報もそれぞれの個体が共有することが可能である。すなわち、個体は集団の中で優秀な個体を良好な解と見なし、全体の中で最適な解を探索する方法である。

2.2 PSO のアルゴリズム

PSO のアルゴリズムは、以下に示される。

- 1) $t=0$ とし、初期集団 $S = \{S_i; i=1, 2, \dots, n\}$ の位置を n 個ランダムに発生する。ここで、 $S_i = \{x_i, v_i, \bar{x}_i\}$ とし、 x_i 、 v_i 及び \bar{x}_i をそれぞれ個体 S_i の位置ベクトル、速度ベクトル及び個体 S_i の最小値 (最大値) を与える位置ベクトルとする。初期速度ベクトルは 0 とする。
- 2) $t=t+1$ とする。 $F(x_i)$ を計算する。ここで、 $F(\cdot)$ は、各個体の位置による適応関数とする。
- 3) 各個体 S_k について、過去の適応関数の最小値 (最大値) を与える \bar{x}_k と $F(\bar{x}_k)$ を更新する。

- 4) $\{F(\bar{x}_k)\}$ の中で適応関数の最小値 (最大値) を求める。個体の中で最小値 (最大値) を与える位置ベクトルを \bar{x}^* とする。
- 5) 各個体の位置ベクトル及び速度ベクトルを更新する。
- 6) $t = \text{Maxiter}$ ならば、計算を終了する。そうでなければ 2) へ戻る。

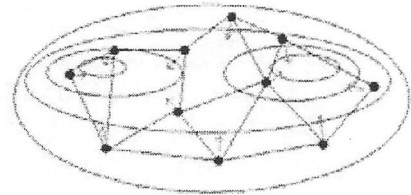


Fig. 1 A concept of PSO

2.2 位置ベクトル及び速度ベクトルの更新

上記アルゴリズムは、すべての個体が世代を重ねて得られた最良の位置と、それぞれの個体が世代を重ねて得られた最良の位置の方向へそれぞれの個体が移動しつつ、最良の解を導く手法である。各個体の位置ベクトルは、以下の式で更新する。

$$x_{i,k} \leftarrow x_{i,k} + v_{i,k} \quad (1)$$

ここで、 $x_{i,k}$ は個体 S_i の m 次元 ($k=1, \dots, m$) における位置ベクトル x_i の k 成分である。また、各個体の速度ベクトル v_i は、以下の式で更新する。速度ベクトル $v_{i,k}$ は、以下の式で更新される。

$$v_{i,k} \leftarrow w \times v_{i,k} + r_1 (\bar{x}_{i,k} - x_{i,k}) + r_2 (\bar{x}_k - x_{i,k}) \quad (2)$$

ここで、 $v_{i,k}$ は各個体 S_i の m 次元における速度ベクトル v_i の k 成分、 $\bar{x}_{i,k}$ は \bar{x}_i の k 成分である。 w は慣性力を示し、以下の式で定義される。

$$w = (w_{\max} - w_{\min}) \times (\text{Maxiter} - t) / \text{Maxiter} + w_{\min} \quad (3)$$

式(2)の r_1 と r_2 は指数乱数であり、範囲は $[0, R]$ ($R > 0$) である。また、 Maxiter は最大繰り返し数とする。 $v_{i,k}$ はあらかじめ定められた範囲 $[-V, V]$ ($V > 0$) から外れた場合は、範囲内に収まるように修正する。更新式より、速度ベクトルは 1) 直前の進行方向、2) 各個体のそれまでの最適値方向、3) 群全体の最適値方向の 3 方向からなることが分かる。

3. 複数 AGV の配送問題

3.1 問題の記述

工作機械の集合を $M = \{M_j; j=1, 2, \dots, J\}$ 、AGV の集合を

$A=\{A_i, i=1, 2, \dots, n\}$ とし, AGVは時間 t_s 毎に M_s から M_t へ被加工物を積載して搬送する要求が生じる. この要求は, ランダムに生じるとする. AGVの搬送経路は, M_s に最も近いAGVが $M_s \rightarrow M_t$ までの最短経路をダイクストラ法⁽²⁾を計算して走行する. この時, 搬送の仕事を行っていないAGVの移動位置を定め, 全搬送要求が終了した時の時間の最小化を行う.

3.2 PSOによるAGVの移動の決定

PSOを上記問題に適応するアルゴリズムは以下に示される.

- 1) $t=0$ とする.
- 2) 時刻 t を1増加し, ステップ $t=5$ の時に, 機械 M_s から機械 M_t への配送要求を出発地点と到着地点として乱数により与える.
- 3) 搬送を行っていない各AGV, A_i から出発地点への可能な経路を含む工場の部分領域を選択する.
- 4) 部分領域において, 各AGV, A_i への最短経路と最短距離をダイクストラ法により求める.
- 5) 最短距離を比較し, 最短距離が最も短いAGVに対して配送要求を発行し, 要求を受けたAGV, A_i^* はダイクストラ法によって求めた経路に従い, 機械 M_s に移動する. 機械 M_t に到着した場合は, 出発地点から到着地点への可能な経路を含む工場の部分領域を選択し, 再度はダイクストラ法により求めた最短経路で搬送を実施する.
- 6) 搬送を行っていない各AGV, A_i は, PSOによる更新式を用いて移動する.
- 7) 2)~6)の処理を繰り返し, 全ての配送要求を満たした時点で終了する.

3.3 ダイクストラ法

ダイクストラ法は, 無向グラフの辺に経路長が与えられた時, ラベル付けを行いながら2頂点間の最短経路を実施する方法である. 今, グラフを $G=(V, E), V=\{v_i\}$ 及び $E=\{e_{ij}\}$ とし, V 及び E をグラフの頂点及び辺集合とする. また, $\{a_{ij}: v_i, v_j \in V\}$ を頂点 v_i と v_j の経路長とする. このとき, ダイクストラ法のアルゴリズムは以下で与えられる.

- 1) $d_s=0, d_j=\infty (j \neq i), i=s, V=V-\{v_s\}$ とする.
- 2) $j \in V$ に対して, $d_j > d_j + a_{ij}$ ならば, $d_j = d_j + a_{ij}, p_j = i$ とする. v_j にラベル (d_j, p_j) を付ける. ここで, d_j と $d_j + a_{ij}$ の比較は $a_{ij} < \infty$ なる辺 e_{ij} についてのみ実施する.
- 3) $\min_{j \in V} d_j = l_{j_0}, j_0 \in V$ となる j_0 を見つける. このとき, d_{j_0} は, v_s から v_{j_0} への最短距離となる. ここで, 永久ラベル (d_{j_0}, p_{j_0}) を付ける.
- 4) V から j_0 を取り除く. $V = \emptyset$ であれば終了する. $V \neq \emptyset$ であれば $i = j_0$ として2)へ戻る.

3.3 PSOパラメータ

PSOをAGVの移動経路決定に適応するには, 式(2)で与える \bar{x}_k, \bar{x}^* 及び式(3)で使用される w_{\max}, w_{\min} を適切に定める必要がある. このためには, 各AGVに対する工場環境を適応関数とする定式化を必要とする. 本研究で

は, 搬送先が決定しているAGVに対しては, \bar{x}^* に終地点を与え, \bar{x}_k にはこれまで移動してきた地点の重心を与える. これによって, 各AGVに搬送分担領域を自律的に分担させる. w_{\max}, w_{\min} は経験的にシミュレーションから求める事とした.

4. シミュレーション方法

シミュレーションは図2の格子状に工作機械が配置されている工場を想定し, その工作機械間をAGVが被加工物を積載して目的の工作機械へ最短経路で搬送するモデルとした. この図において, 四角は工作機械, 丸はAGVを表している. シミュレーションの制約条件と実験条件を以下に示す.

[制約条件]

- 1) 各走行経路は両方向通行が可能であり, すれ違いで走行が可能である.
- 2) 各AGVは一度に1つの仕事の搬送しか行うことができず, 次の仕事を行うには現在の仕事を完了している必要がある.

[シミュレーション条件]

- 工作機械の台数: 40
- AGVの台数: 10
- AGVの移動速度: 1
- 1台のAGVの積載量: 一定
- 配送要求は5ステップ毎に10ヶ所の工作機械で発生

上記の条件でシミュレーション実験を行い, 全ての配送要求を満たした時点のステップ数を計測, 比較を行い最小搬送時間となるパラメータを決定する.

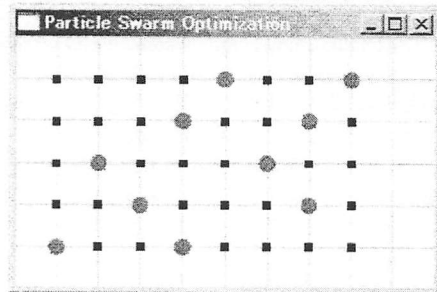


Fig2 A snapshot of simulation. Squares show machine tools and circles show AGV positions

4. おわりに

PSOを利用してAGVの自律行動を集団で行うシミュレーション法を提案した. シミュレーション結果については, 次回に報告したい. PSOを適用するためには, \bar{x}_k, \bar{x}^* が重要であり, \bar{x}_k には重心からのランダムな偏差値を加えた位置ベクトルを採用する方法も考えられる. これらについても今後シミュレーションを通して検討したい.

参考文献

- 1) Guimin Chen, Jianyuan Jia and Qi Han: Performance Optimization of Elliptical Flexure Hinge Using a Modified Particle Swarm Algorithm, School of Electromechanical and Mechanical Engineering, Xidian University, Xi'an, China 710071, (2004)
- 2) 古川正志他, システム工学, コロナ社(2000)