

FMS 工場モデルにおける複数 AGV の自律的行動の獲得

北見工業大学 ○加茂央之 渡辺美知子

要 旨

本研究では、一方向走行レーンと複数の加工機械をもつ FMS 工場を想定し、その工場内を複数 AGV が与えられた仕事を複数加工機械で行い、全作業終了後に操作場へ戻るまでの周回完了時間が最小となるような問題を取り扱う。AGV 自身は、工場内の環境から学習を行って自律的行動を獲得する。

1. 諸 言

多品種少量生産システムを取り扱う FMS 工場において、複数台の自律搬送車(Automatically Guided Vehicle, AGVs)が加工機械の高い稼働率を上げるためには、AGV がどのように走行するかを定めるスケジューリングが大きなウェイトを占めている。このようなスケジューリング問題は、一般に NP 完全問題に属する大規模複雑な組み合わせ最適化問題となり、厳密に解くことが殆ど不可能である。従って、近似解や充足解を求める方法、あるいは自律的に AGV を稼働させるような方法が取られる。

本研究では、一方向レーンを走行する AGV に関して、指定された全加工機械を立ち寄る総 AGV の周回完了時間が最小となるようなスケジューリングを学習に基づいて、各 AGV が自律的に決定する方法を提案する。この学習方法としては、確率的学習オートマトン(Stochastic Learning Automaton, SLA)や Q 学習が考えられるが、ここでは SLA を用いて複数 AGV の自律的行動の獲得方法を採用する。

2. 問題の記述

本研究では、図 1 に示すように一方向走行レーンを持つ FMS 工場モデルを採用する。この FMS 工場モデルにおいて、AGV の行動のアルゴリズムは以下のとおりである。

- 1) 図 1 の左下に AGV の操車場があり、この操車場から出発した AGV は走行レーンを直進し、壁が前に存在する場合に左折する。
- 2) その後、AGV は工場の上方向へ向かって直進し、途中に指定された加工機械が並んでいる作業用レーンに入るために左折する。
- 3) 更に、AGV は作業用レーンを直進し、指定された加工機械の前で止まり、加工機械に被加工物を搬送する。
- 4) 加工機械での作業終了後、AGV は作業用レーンに戻り目の前に壁が存在するまで直進する。
- 5) 壁が目の前に存在したら左折し、操車場の前まで直進する。
- 6) 指定された仕事が全て終了していなければ、(1)へ戻り、同様の手順を繰り返す。
- 7) 指定された全ての加工機械を周回した場合は、速やかに操車場へ戻り待機する。

この工場内では、加工機械が走行レーンに沿って並べられている。ここで、各加工機械を

$$M = \{M_{xy} : x=1,2,\dots,z, y=1,2,\dots,j\} \quad (1)$$

とおき、走行レーンを走る AGV

$$A = \{A_i : i=1,2,\dots,m\} \quad (2)$$

とする。

$$M(A_i) = \{A_{xy} : x \in X(A_i), y \in Y(A_i)\} \quad (3)$$

A_i の AGV が行き先を指定された加工機械の集合を式(3)で定義する。ここで、 $X(A_i), Y(A_i)$ は AGV, A_i の行き先の加工機械の添字集合である。全 AGV が図 1 に示す操車場か

ら出発し、指定されたすべての加工機械を回り、操車場に戻る総 AGV の周回完了時間を $T(A_i)$ 、加工機械を周回する順序を $P(M(A_i))$ としたとき、

$$\min_{P(M(A_i))} F_1(A_i) = T(M(A_i)) \quad (4)$$

を満たすような AGV の周回スケジューリング $P(M(A_i))$ を決定する問題となる。また、全 AGV の周回完了時間 $T(A_i)$ は、各 AGV の出発順序に影響される可能性があるため、各 AGV の出発順序を $S(A_i)$ としたとき、

$$\min_{S(A_i)} F_2(A_i) = T(S(A_i)) \quad (5)$$

を満たす必要がある。

AGV の制約条件は、以下のとおりである。

- 1) 走行レーンは、一方向のみ通行可能である。
- 2) 各 AGV は、走行レーン上で追い越しを禁止する。
- 3) 加工機械は AGV の待機バッファを持ち、一台のみ収容可能である。AGV は加工機械に被加工物を搬入し、加工が終了するまで待機する。
- 4) 待機バッファに入っている AGV については、追い越しを可能とする。
- 5) AGV は、他の AGV との衝突を回避する。
- 6) 移動時間は図 1 に示す 1 マスを AGV が移動した時間を 1 単位時間とする。被加工物の加工時間は、どの加工機械も同一とする。
- 7) 指定された加工機械を全て周回した後、速やかに操車場に戻り、移動を中止する。

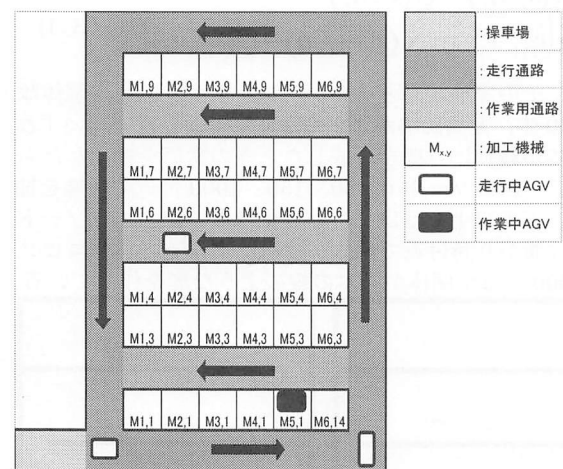


図 1 FMS 工場モデル

3. 確率的学習オートマトンによる AGV 自律走行

確率的学習オートマトンは $S_i, O_i, I_i, \theta_i, \phi_i$ の 5 項組で定義し、それぞれ、状態、出力、入力、状態遷移関数、出力関数である、 A_i をオートマトンで定式化すると、

$$A_i = \{S_i, O_i, I_i, \Theta_i, \Phi_i\}, \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (6)$$

となる。ここで、 i は、AGVの台数である。また、状態遷移関数と出力関数の両方または一方が確率的であるとき、確率的オートマトンと呼ばれる。

3.1 状態 S

AGVの状態を以下のように定める。

S_0 : AGVの前方4単位時間内に他のAGVが存在する。

S_1 : AGVの前方4単位時間内に被加工物を搬送しなければならない加工機械が存在する。

S_2 : 左側に走行経路が存在する。

S_3 : 前方に壁が存在する。

S_4 : AGVの左側4単位時間内に他のAGVが存在する。

S_5 : AGVの左側4単位時間内に被加工物を搬送しなければならない加工機械が存在する。

S_6 : 指定された加工機械を全て回る。

S_7 : AGVは走行中またはバッファで待機する。

$S_{i,j} = \{1,0\} (j=1,2,3,\dots,7)$ となり、 $S_{i,j}$ 以外で真の時1、偽の時0とする。 $S_{i,7}$ では、走行中を1、待機中を0とする。

$$S_i(t) = \{S_i; S_{i,j} \in S_{i,0} \times S_{i,1} \times \dots \times S_{i,j}\} \quad (7)$$

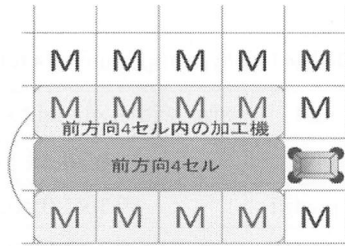


図2 状態 S_0, S_1 の時



図3 状態 S_4, S_5 の時

3.2 出力 O

AGVの各状態 S における行動 O は、以下のように設定する。

O_0 : 直進 O_1 : 左折 O_2 : 待機

O_3 : 加工機械バッファに入る, 出る

O_4 : 操車場に戻る

$$O = \{O_j; j=0,1,\dots,4\} \quad (8)$$

ここで、一方向走行レーンの右折と後退は禁止とする。

3.3 入力 I

入力はオートマトンの行動に対する評価とし、スカラー値 b を評価として以下の式(9)で定義する。

$$b = d(t-1) - d(t) \quad (9)$$

$d(t)$ は、現在の位置から次の目標地点までの移動時間である。

$$d(t-1) - d(t) > 0 : b=1$$

$$d(t-1) - d(t) = 0 : b=0 \quad (10)$$

$$d(t-1) - d(t) < 0 : b=-1$$

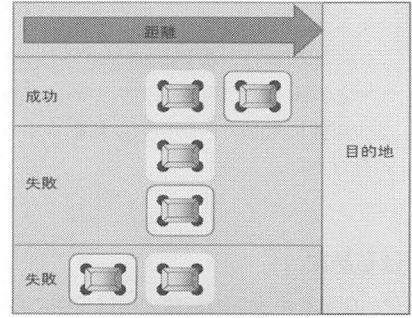


図4 入力の評価 b

3.4 状態遷移関数 Θ

状態遷移行列 Θ は、 $S \times I \rightarrow S$ を写像する関数である。

$$P = [P_{jk}] (j=0,1,\dots,127, k=0,1,\dots,4) \quad (11)$$

3.5 出力関数 Φ

AGVの行動は出力関数で求めることができる。状態 $S_i = S_k$ のときの確率行動行列は、式(12)で定義される。

$$O_i = \text{Prob}(P_{jk}) \quad (12)$$

$\text{Prob}()$ は、行動 O_i を P_{jk} の確率に従って選択する関数である。

3.6 確率的学習オートマトン

確率的学習オートマトンは、最初 P の初期値の総和が1になるように均等に設定する。式(12)によって行動を確率的に決定し、評価 b より P を更新させる。この手法として RPL- ϵ (Linear Reward - ϵ Penalty in S-model) を採用し、以下の手順により学習する。

if $b=1$ then $E=1$ and $F=0$

if $b=0$ then $E=0$ and $F=-1$

if $b=-1$ then $E=1$ and $F=-1$

$$\Delta P_{jk} = \lambda EF + \mu F(1-b)$$

if else (13)

else

$$\Delta P_{jk}(t-1) = P_{jk}(t+1) - \frac{\Delta P_{jk}}{4}$$

end if

また、 λ, μ は $0 < \lambda \ll \mu < 1$ を満たす実数であり、学習係数とも呼ぶ。

4. 結 言

本研究では、一方向走行レーンと複数の加工機械を持つ FMS 工場において、指定された全加工機械を立ち寄る総 AGV の周回完了時間が最小となるようなスケジューリングを学習に基づいて、各 AGV が自律的に意思決定する方法を提案した。

文 献

- [1] 古川正志, 渡辺美知子, 旭川工業高等専門学校研究報 文大4号旭川工業高等専門学校, pp99-109, (1998)
- [2] 古川正志, 渡辺美知子, 嘉数侑昇, 確率的学習オートマトンによる複数AGVの自律走行, 精密工学会誌 vol.62, No2, p260-264, (1996)
- [3] K. S. Naren dra and M. A. L. Thathacher; Learning Automata An introduction, Prentice Hall (1989)