

# Attentive Workbench における自走式トレイ群の形態生成

杉正夫

情報理工学系研究科特任助手 (AE グループ)

## 概要

Attentive Workbench の構成要素である自走式トレイ群の形態生成問題を扱う。本問題は、いわゆる複数ロボットの経路計画問題とは異なり、どのトレイを作業に使用するか、および、各トレイを目標形態内のどこに移動させるかの二点に関して自由度があり、実時間で最適解を求めることは困難である。ヒューリスティックな方法を導入することにより準最適解を実時間で求める方法を提案し、有効性を定量的に検証した。

## 1 はじめに

著者らのグループは、セル生産システムにおいて作業者を情報面、物理面の両方から支援するツールとして“Attentive Workbench(AWB)”を提案している。

AWB の構成要素である自走式トレイ群は、人間作業への物理的支援の中心となるもので、各トレイは、作業台の上を移動して、部品の受け渡しや、製品の搬送などを行う。またトレイ 1 台では搬送不可能な大きさの部品や製品については、複数のトレイが協調して大きな形態を生成し、1 枚のトレイのように振舞うことで搬送を行う。本報告では、このトレイ群の形態生成を扱う。

トレイ群は短時間に目的の形態を生成することが望まれる。形態生成のためには、多数のトレイの中から暇なトレイ（搬送物を載せていないトレイ）を選び、各位置にトレイを移動・整列させることが必要である。このとき

- どのトレイを選択するか
- 選択した個々のトレイを目標形態内のどこに移動させるか

を決定する必要がある。

複数移動ロボットの経路計画問題では、各ロボットがどの目標地点に移動するかは与えられている。すなわちスタートとゴールの対（以下スタート・ゴール対と呼ぶ）は固定されている。それに対し本研究の扱う問題では、スタート・ゴール対を自由に決めることができる。この対の与え方は、生成される経路、およびトレイ群が目標形態

を生成するのに要する時間に影響を与える。

トレイの総数を  $n$  台、目標形態を形成するために必要なトレイを  $m$  台とすると、スタート・ゴール対の組み合わせは  ${}_nC_m \cdot m!$  通りとなる。この組み合わせから最適解を求めることは計算量の観点から現実的とは言えない。

そこで本研究では、ヒューリスティックな手法の導入によってスタート・ゴール対を選び出し、そのスタート・ゴール対に対して最適な経路を求める、という方法を採用する。比較対照としてトレイをランダムに選出する場合も含めてシミュレーションを行い、提案手法の有効性を検証する。

## 2 問題設定

### 2.1 前提条件

自走式トレイの形状は 1 辺 8 cm の正方形であり、2 次元平面上を回転無しの 2 自由度で移動する。トレイには、空の状態（目標形態の形成に使用できる状態）と、空でない状態（目標形態の形成に使用できず、障害物となるトレイ）がある。

なお本研究はこれまで自走式トレイ群の運動制御に自律分散的手法を用いてきたが、実機検証の結果、トレイの動作速度に問題があることが判明したため、本報告では集中制御を採用する。

経路計画には優先度法を用いた。優先度法とは、経路計画に際して移動ロボット（トレイ）に優先度を設定し、優先度の高いロボットから計画を行う方法である。各トレイは、コンフィギュレーション空間に時間軸を付加したコンフィギュレーション時空間において、自分より優先度の高い移動トレイを障害物とみなし、それらを回避する経路を計画する。上記の計画をトレイの数だけ繰り返すため、計算時間はトレイ個数に対してほぼ線形のオーダーとなる。

## 3 スタート・ゴール対の決定手順

スタート・ゴール対は以下の手順で決める。

- (1) 目標形態内の各ゴールに計画を行う優先度を与える。
- (2) 優先度の高いゴールから順に、どのトレイ

イを用いるかを決定する．このトレイ選択にヒューリスティックな方法を用いる．(1)で目標形態内のゴールに優先度を与える方法には様々なルールが考えられるが，本研究では，空のトレイ群の重心セルから最も遠いゴールから順に優先度を与えていく．この方法によって，デッドロックを起こす確率を下げることができる．(2)の目標形態に用いるトレイを選択する方法としては，ゴールから各トレイまでの道のり(図1参照)を調べ，最も近いトレイを選択する．

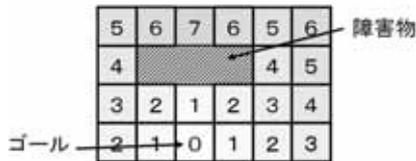


図1 ゴールから各地点までの道のりの計算法

## 4 シミュレーションによる評価実験

### 4.1 下界値との比較

上記で提案した手法の有効性を検証するため，計算機シミュレーションによる実験を行った．作業台として設定したセル平面(20×20)上に，空のトレイと空でないトレイ(障害物トレイ)，そして3×3のセルで構成される目標形態をランダムに配置する．与えられた配置に対し，前述の手順でスタート・ゴール対を生成する．その後，各トレイの経路計画を行い，目標形態を生成するまでにかかる時間を計測する．ここで計測する時間は，トレイが1セル移動するのにかかる時間を単位としている．空のトレイの個数は20個に固定し，障害物となるトレイの数を増加させる．各障害物数に対して500回の試行を行い，目標形態生成までの平均時間を計測した．

それぞれの場合について下界値(トレイ同士や障害物との干渉を考慮しないでスタート・ゴール対を設定できるとした場合の形態生成時間)を求めた．また比較対象として，トレイをランダムに選択する場合の所要時間も同様に調査した．これらの結果を図2に示す．ランダムに選択する場合は下界値に対して2.5倍~2.8倍の時間がかかるのに比べ，適用したヒューリスティックな手法では下界値の1.3倍~1.4倍程度の時間で済んでいる．

### 4.2 形態生成の成功率

選択されたスタート・ゴール対によっては障害物との干渉を回避する経路が見つからず，目標形態を生成することができない場合がある．これを形態生成の失敗とし，障害物数と成功率の関係を

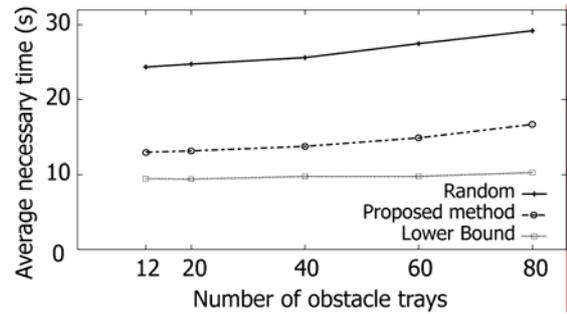


図2 障害物トレイの数と形態形成に要する時間(提案手法，ランダム選択，下界値)

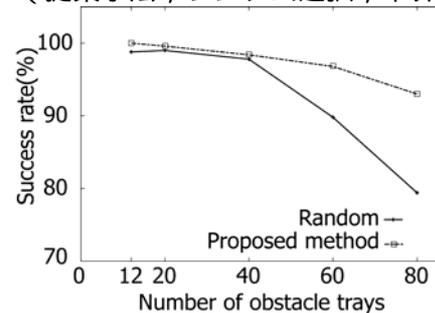


図3 形態生成の成功率

調べた．結果を図3に示す．障害物が増加した場合，提案手法はランダムにトレイを選択する場合に比べ，高い成功率を示している．さらに提案手法では，目標形態の周囲にトレイ一つ分のクリアランスを取るよう制約を入れることで，形態生成の成功率が100%となることも確認された(ランダムな配置で10000回試行)．作業台上は，作業者によって自由に環境整備が可能であるので，このような制約条件は妥当である．

## 5 実機実装

提案手法を自走式トレイ実機に実装した．現状でトレイ実機が3台しか存在しないため，実機検証は十分とは言えないが，これまでに簡単な形態が実際に生成できることを確認している．

## 6 結論

自走式トレイ群の効率的な形態生成のための計画問題を，スタート・ゴール対を決定する問題として捉え，ヒューリスティックな解法を提案した．提案手法が下界値の1.3倍程度の時間で形態生成が可能であること，および，環境にある制約条件を入れた場合には形態生成が確実に行われることを確認した．

今後は本手法の実機実装を進めるとともに，ジエスチャインタフェースや作業者の意図抽出手法と統合し，Attentive Workbenchのプロトタイプを完成させることが目標となる．