

内94-33

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

遺伝的アルゴリズムによる
複数移動体の最適移動戦略生成

申請者

蘇 素珍
Su Suchen

機械工学専攻
生物制御研究

1994年12月

近年の生産システムの複雑化、多様化により、工場内で複数の自律的な搬送装置が動作する必要が生じてきた。これにともない、複数移動機械の協調的制御に関するいくつかの研究が試みられている。

本研究は、その中にあって、複数の移動装置と障害物を含む行動環境全体を、ひとつの系として捉え、移動戦略という観点から、それらの移動制御の最適化を行う手法を提案するものである。最適な移動戦略は、障害物の位置や移動装置の数によって異なる。移動戦略を最適化する方法としては、遺伝的アルゴリズムと呼ばれる手法を応用する。

限られた空間を有効に活用するためには、装置の移動のための空き領域は最小限に留めたい。しかし、小さすぎては搬送効率に悪影響を与えるため、全体の効率が低下してしまう。搬送効率は、移動装置の制御の良否によって大きく上下するため、移動に必要な空間の大きさを見極めるためには、最適な移動規則を効率的に生成することが効果的である。

またレイアウト変更によって、それまでの移動制御の方式が不適当なものとなることがある。このような場合にも、新しいレイアウトによる地形情報に対して最適な移動規則を効率的に生成することが必要である。

このような障害物の位置による、移動戦略の最適化という側面に加えて、移動装置の数による移動戦略の最適化という問題もある。

一般論として、何かの作業を行う場合に単独で行うより複数で並行して行う方が短時間で完了する。しかし、これも無制限というわけではなく、作業者や装置を増やしても、いつかは飽和状態となる。搬送のための移動という作業を考えたとき、同一通路内の往復のような、お互いが交通の妨げとなるような場合に、この傾向は顕著である。

作業のコストは投入した搬送機械の数量に比例するとして試算できるが、その作業量の出来高は移動効率に大きく依存してしまう。また今の台数に新たに機械を投入した時の全体の作業効率を知りたいという要求もあるだろう。ここでも移動規則を効率的に最適化することが要請される。

本研究ではこれらの問題に対するひとつのアプローチを提供する。すなわち、限られた空間の中で、体積を持った複数の移動装置がお互いに邪魔にならないように行動する方法を獲得する系を実現しようとするものである。

有限な空間の地形情報をグラフとして表現する。その上の2点間を複数の移動体が往復する世界を考える。全移動体は单一の移動戦略によって行動するものと想定する。

移動戦略は数値列として表現することが出来る。これを染色体とみなして遺伝的アルゴリズムを用いて最適化する。

筆者は、これらの環境を計算機上に実現し、シミュレーションを行った。その結果、移動体同士が、互いに邪魔にならないように行動する方式の学習が認めら

れ、この方法が移動戦略の最適化に有効であることを確認した。

本論文は6章から構成される。

第1章では、本研究の目的について述べている。

第2章では、本研究で採用した最適化手法である遺伝的アルゴリズムと、本研究に関連した他の研究について述べている。

遺伝的アルゴリズムはJohn Hollandによって1975年に提唱された自然界の進化のメカニズムを応用した最適化手法の一つである。最適化したい問題のパラメータを数値化して組み合わせたものを染色体とする。そして、この染色体を複数生成し、それらに交叉、突然変異といった遺伝的操作をほどこし、より環境に適応した染色体を得ることにより最適化を行なう。

遺伝的アルゴリズムは、解空間中の複数の点を並列に探索できるので、多峰性問題における局所解に陥ることの回避に効果的である。

第3章では、本研究の構成と手順の概要と、それぞれの詳細について述べている。

本研究は、大きく3段階に分けられる。まず第1の段階は、現実の世界の地形情報をグラフとして抽象化することである。ここで、経路グラフという概念を導入した。これは、実際の地形を複数の移動体が同時に行動するときの衝突の問題を反映するように、ノードとブランチにより構成されるグラフに変換したものである。その変換手法を提案した。

第2の段階は、1個の移動体がある状況におけるときにとる行動の判断基準となる移動戦略を数値化して、次の手順である最適化のための便宜をはかることである。ここで、ブランチ係数ベクトルという概念を導入した。これは、ある移動体が行動を起こす際に、他のノードの状況がその移動体が選択可能な行動におよぼす影響をベクトル列として数値化したものである。各移動体はこのブランチ係数ベクトル列を意思決定の基準として用いる。また、これらの抽象化した世界に現実の物理的制約を反映させるために、いくつかの移動規則を設定した。そしてその理論についても述べている。

第3の段階では、遺伝的アルゴリズムを用いて移動戦略を最適化する。経路グラフに対する、ある移動戦略を一個体と考え、それを表すブランチ係数ベクトル列を染色体とする。染色体は、それが示す戦略を使った場合の移動能力を適合度として淘汰を受ける。すなわちより良い移動戦略を示す染色体が生き残る。このような生命の進化をモデルとした手法によって移動戦略を最適化する。

第4章では、計算機上に環境を構築しておこなったシミュレーションの方法、条件および結果を記述する。まず作成したプログラムについて説明し、次に経路グラフ、遺伝的操作のパラメータなどの設定条件について述べ、最後に適応度の世代依存性、各移動体の移動の様子を記述したグラフ、染色体を可視化したものと実験結果としてまとめている。

第 5 章では、第 4 章で得られた結果に関する考察および、それらを説明するための理論的背景について述べている。

経路グラフが単純な場合には、初期生成した個体の中に戦略の最適解が含まれている可能性も比較的高いが、複雑な経路グラフの場合は、世代の進行に伴う突然変異による多様性の生成および、交叉による多様性の有効な結合の末、収束に至る。この過程で適合度は階段状に向上する。これは適合度が変化していない世代においても、最優秀ではない染色体や、最優秀染色体の中の冗長な遺伝子に潜在的な進化現象があるためと考えられる。潜在的な進化は、交叉や突然変異により突然に顕在化する。

複数の移動体が経路グラフ上を移動する様子の時間的な変化を、離散座標を持つ有限な位相空間中における点の移動として説明した。最適化された移動戦略による移動体の移動の様子を観察すると、移動開始後しばらくたつと、ある周期で同じ配置が繰り返し現れるという現象が観られた。これは、地形情報を経路グラフという離散化した有限な広さの空間で表現し、かつ不確定な要素を持たない決定的な移動戦略を採用したことによる。系の状態、すなわち、どのノードにどの移動体が位置し、どのノードを目的地としているかという状態を表す位相空間を考えた場合、この現象はアトラクタ（吸引点）に捕らえられているといえる。

この観点からは、移動戦略の効果は系の状態を表す位相空間での点の軌跡として現れ、戦略の最適化とは、よいアトラクタの生成とその探索であるといえる。よいアトラクタとは、それに沿って点が一周する間に目的地に到達する回数を、一周するためにかかる時間で除した値が大きいこととして定義できる。

最後に、第 6 章では、本研究の結論、残された問題点、今後の展望を述べている。

数値化した移動戦略を遺伝的アルゴリズムを用いて最適化することができた。そして、そのときの移動体の行動様式は、お互いに邪魔にならないように行動する協調的動作の獲得を示した。しかし、本研究の産業的な応用の前には、地形情報の抽象化や移動規則の設定などにおいていくつかの問題点が残されている。また、本研究で有効性が確認された手法や理論を、移動体の協調制御以外の分野に応用することについても考慮しなければならないだろう。

今後の展望として、より柔軟性を持つ移動戦略の生成、いいかえれば戦略プログラムの自動生成、自動チューニングの可能性を示唆した。