

ポテンシャル場によるエージェントの協調作業の導入に関する研究

○牧野 勤 成瀬継太郎 横井浩史 嘉数侑昇
北海道大学大学院 工学研究科

Abstract. 本研究は、複数エージェントによる効率的な協調作業を実現することを目的としている。そこで本論では、この複数エージェントによる協調作業を導入する方法として、ポテンシャル場を用いた手法を提案する。複数エージェントを協調作業させる際に問題となる点は、エージェントの知識データの記述量に関する問題や、学習手法における計算量の問題、コミュニケーションでの通信量の問題などがある。これらの問題に対処し、エージェント間の協調行動を導入するためにポテンシャル場を用いた。このポテンシャル場はデザイナーが設定するのではなく、計算機実験を通して得られるものである。今回対象とした問題は、箱押し問題(Box-Pushing Problem)である。この問題は箱を目的位置まで向きや進行方向を変えながら運ぶ問題である。エージェントに関するポテンシャル場を生成するために、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm : GA)を利用した。本論で提案した手法について、箱押し問題における複数エージェントの協調作業の計算機実験から、協調行動導入に対する有効性が確認された。

A Study on Using Potential Field for Introducing Multiple Agent Cooperative Operation

Tsutomu MAKINO, Keitarou NARUSE, Hiroshi YOKOI, Yukinori KAKAZU
Complex Systems Lab., Faculty of Engineering, Hokkaido Univ.

Abstract. The purpose of this study is to realize an efficient cooperation work by two or more agents. Then, in this paper, we apply the potential field to introduce the cooperation work by these multiple agents. A point which poses a problem in case the cooperation work of multiple agents is carried out has a problem about the amount of description of an agent's knowledge data, a problem of the amount of calculation in any learning methods, and a problem of the amount of communications at each agent, etc. In this study, the potential field is used, in order to cope with these problems and to introduce cooperation behavior between agents. This potential field is obtained through a computer experiment rather than it sets up by a designer. In this study, the target problem is a Box-Pushing Problem. This is a problem which carries a box while changing direction and the direction of movement from the start point to the goal point. In order to generate the potential field on an agent, the Genetic Algorithm(GA) was used. In this paper, we carried out computer simulations using proposed method, and verified a validity of cooperation behavior introduction for multiple agents with potential field method.

1.はじめに

本研究は、複数エージェントが協調作業を行う際に、各エージェントの効率的な振る舞いを導入するための方法について考察するものである。

現在、Robo-Cup サッカーや軍事分野といった、エージェント間の協調作業が不可欠な領域や、Clean-Up Room 問題のような、単独エージェントよりも協調作業の導入により問題解決の効率化を図れるような領域などで、複数エージェントの協調作業導入に関する研究が盛んに行われている。

そこで本研究では、協調作業を導入するためにポテンシャル場を利用した方法を提案する。本手法で用いるポテンシャル場は、エージェント各々についての、対象作業を行う場合の重要なポイント(位置や被作業物など)を表現したものである。このポテンシャル場の情報に基づいて、各エージェントは行動する。作業領域に対するそれぞれのエージェントの役割分担(例えば先回りや待ち伏せなど)についても、ポテンシャル場により実現することを目指す。

本報告では、エージェントの協調作業導入に対する本手法の有効性について計算機実験を通して検証し、議論することとする。

2.複数エージェントによる協調作業の実現

協調作業を前提とした複数エージェントによる問題解決に関する研究は、エージェントの行動プランの設定方法とエージェント間通信の有無との2つの方向からまとめることができる。

エージェントの鼓動プランの設定方法は、

- 1) 事前に全エージェントの振る舞いを作成する方法
- 2) 各エージェントが後天的に獲得させる方法

にまとめられる。前者の方法はトップダウン的なもので、分散人工知能(Distributed Artificial Intelligence : DAI)分野で多く研究されている。一方、後者の方法は、エージェントが行動-評価の学習を通して最適な行動を獲得するような手法が研究されている。具体的なアプローチとして、強化学習手法[Whitehead 93]が挙げられ、Q-Learningを使用したものや、クラシファイヤシステム(Classifier System : CS)を使用したものがある。

これらの手法には、エージェントの知識データ記述の問題や、知識データの問題領域依存に関する問題があるほか、状態遷移の不確実性の影響や計算量の増加などの問題がある。このような問題に対して、工夫を加えることで対処する試みがある[Moore 95]。

一方、実際に複数エージェントが協調作業を行う場合には、お互いの状態に基づいて作業を行うために、エージェント間の通信により現状態を取得する必要がある。しかしエージェント間の通信が増えると、通信量の増大という問題を引き起こす。そこでこの問題を解決法の一つに、エージェント間の通信を利用せずに、協調作業を実現する方法に関する研究がある[Mataric 95]。これは、リアクティブエージェントを複数利用して目的の作業を行うものである。しかし、協調作業がリアクティブエージェントの設計に影響を受けるため、実行確実性が保障されない。そこで協調行動を行うための明確な動機付けに関する研究で、認知科学からアナロジーを取った Focal Point Algorithm をエージェント内部の情報処理系に導入したものがあある[Fenster 95]。しかし、Focal Point Algorithm を利用するためには、被作業対象物などに属性値をデザイナーが事前に設定する必要があり、またその属性値によりエージェントの行動が影響を受けるため、属性値設定の問題が潜在的に存在する。

そこで以上の問題点に対する別のアプローチとして、ポテンシャル場を利用したものがある。ポテンシャル場は、エージェントが作業を行う作業空間中に仮想的に張られるものである。この場を利用することで、エージェントの設計は簡単なものとなり、行動規則もポテンシャル場によって表現されることから、協調作業の動機付けも場で表されることとなる。また、エージェントはポテンシャル場により行動を制御されることから、エージェント間の明示的な通信は必要ないこととなる。

ポテンシャル場を用いた例としては、[Tews 98]などの Robo-Cup Soccer での利用例がある。この場合、デザイナーによってポテンシャル場の設定方法が決定されるため、張られたポテンシャル場の妥当性など試行錯誤の結果から得ることとなる。

よって本手法では、エージェントのポテンシャル場を計算機実験を通して自動的に得る方法を導入する。このことにより、デザイナーでは発見できないような、効率的な協調作業が可能となるポテンシャル場が発見される可能性があるという利点がある。そこで次章では、本提案手法の詳細について述べることにする。

本研究で対象とする問題は、エージェントの協調作業のベンチマーク問題としてよく利用される箱押し問題(Box-Pushing Problem)である。この問題はピアノ問題(Piano Mover's Problem) [Schwartz 83]のサブ問題で、ある物体を向きや進行方向を変えながら初期位置から目的地まで搬送する問題である。

3.ポテンシャル場の設定方法

本手法のポテンシャル場は、箱押し問題の計算機実験を通して設定される。すなわち、エージェントに作業をさせながら、協調作業を実現させるためのポテンシャル場を探索する方法をとる。そこでこのポテンシャル場を探索するために、本手法では遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm : GA)を用いる。これは、解の最適性が保証されない反面、広域的探索が可能であり準最適解を見つけることが可能であるという特徴を有するためである。

ポテンシャル場を設定するために、作業空間を適当な間隔で区切り、そのどのグリッドに位置にポテンシャルのピーク位置を設定するののかについて GA により探索する。すなわち、

- 1) GA の操作により、環境中のどの位置にポテンシャルピーク値を設定するか探索を行う
- 2) ビットストリングに基づいて、ポテンシャルピークを作業空間中に配置する
- 3) 配置されたポテンシャルピーク位置から拡散関数に基づいてポテンシャル場を生成する
- 4) 各エージェントについて 2, 3 の作業を行って、エージェントの行動ルールとしてポテンシャル場を設定する

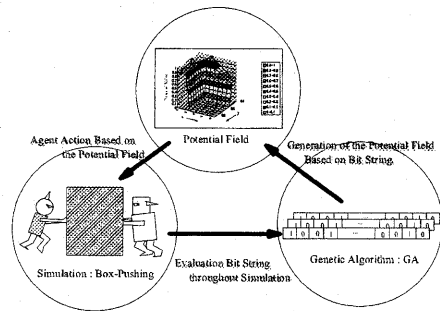


Fig.1 Concept of the Proposed System

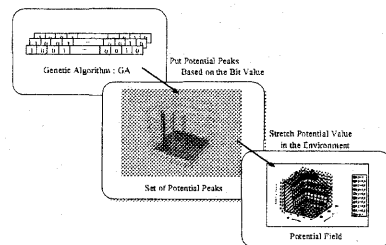


Fig.2 Generate the Potential Field with Bit-Strings

以上の手順から生成された複数のポテンシャル場は、設定された評価関数を通して評価され、評価値の高いポテンシャル場をその環境の構造と作業の特徴を良く反映し、また複数エージェントによる協調行動が最も効率的に実現されているものとする。

以下にポテンシャル場の設定や評価、エージェントの設定といった各段階の設定について述べる。

3.1 ポテンシャル場の生成

エージェントの行動ルールをポテンシャル場で表現することの利点は、対象とする作業空間に直接的にポテンシャル場を設定することができ、尚且つスカラー値表現により観測が容易で理解がしやすいという点にある。

GA のビットストリングから対応するグリッドへポテンシャルのピーク位置を設定し、そのピーク位置から予め設定された拡散関数に基づいて対象空間中のポテンシャル場が設定される。

$$P(i) = Ae^{-x} \dots (1)$$

ここで、式中の A はポテンシャルの広がり方が負方向か正方向かを現すパラメータである。 $P(i)$ は位置 i のポテンシャル値を格納するパラメータであり、 x はピーク位置からの距離に応じて変化するポテンシャルの拡散係数を表す。今回この関数を用いたのは、ポテンシャルの拡散方向に対して必ずピーク値と 0 との間の何らかの実数値を場に設定することが出来るためである。また複数のピーク値が対象空間内に存在する場合は各場に設定されるポテンシャル値を重ね合わせることでした。

ポテンシャル場の評価方法は、箱押し作業を実行する際の作業ステップとエージェントの内部エネルギー消費量の少ないものを良解とする設定とした。この評価は、ポテンシャルピーク位置を表す GA のストリングに対して行われる。ここで得られた最適解は、作業空間と作業構造の特徴をよく表現しているものと見なすことができる。

$$E(i) = \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{Tc(k)} + \frac{1}{Te(k)} \right) \dots (2)$$

式 2 中の $E(i)$ は、ストリング i に関する評価値を表しており、 $Tc(k)$ は箱押し作業にかかったエージェント k の移動ステップ数であり、 $Te(k)$ は作業中に消費したエージェント k のエネルギー量を表している。

以上の設定により、エージェントの協調作業を導入するためのポテンシャル場を探索する。

3.2 作業エージェントの設定

ここでは、環境中に張られたポテンシャル場に基づいて箱押し作業を行うエージェントの設定について述べる。

エージェントは、作業空間中において自己の周囲 8 方向近傍の状態(ポテンシャル場)を観測することできるものとした。今回のエージェントの設定は、8 方向近傍中のもっともポテンシャル値の高い方向へ移動するような Greedy な戦略を持つ設定である。よってエージェントは現在位置から 8 方向への移動が可能である (Fig.3)。また、エージェントの作業状態(単独での箱押し/協調による箱押し/移動のみによってエネルギー消

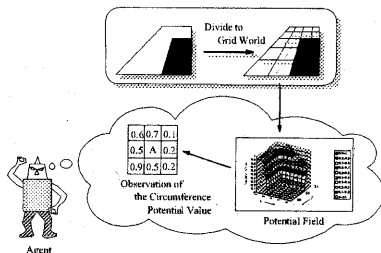


Fig.3 Agent Observes 8 Vicinities in the Circumference of the Self, and then Moves to the Highest Potential Value Grid

費量が異なる設定となっており、また作業の継続状態に応じてエネルギー消費量が変化するものとした。

4. 計算機実験

本章で述べる計算機実験は、ポテンシャル場を利用して複数エージェントの協調作業の実現可能性について、また実験条件の変化が協調作業にどのような影響があるのかについて検証を行った。

エージェントが作業を行う作業空間は、箱が途中で方向転換が必要となる L 字型のものとした。これにより、少なくともこの L 字の折れ曲がる地点で、協調作業を行う機会を設定した。

また探索に用いる GA の設定は、初期個体数を 100 とし、交叉はルーレット選択に基づいて行われ、突然変異率は 20%、子の個体を親の下位個体 10% と入れ替えるものとした。さらにエージェントが箱押しの際に消費するエネルギーは Table.1 のようになる。

Table.1 Energy Consumption Ratio

Work Style	Single	Cooperative	Non Pushing
Energy Consumption	4	2	1

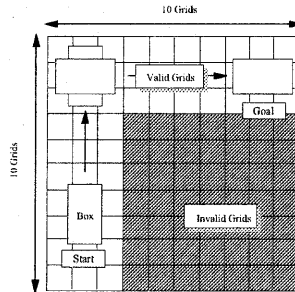


Fig.4 Simulation Environment

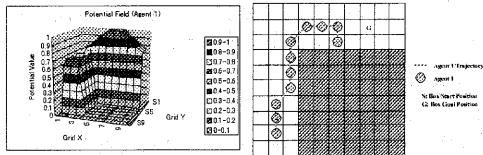
エージェントに関するポテンシャル場だけを情報として利用した場合、解の探索効率が低くまた作業完遂を可能とするポテンシャル場が得られにくいので、箱押しに関するポテンシャル場を情報として付加することでこの問題を解決することとした。

箱に関するポテンシャル場は、箱の移動ステップごとに箱の押すべき位置にピークを有するポテンシャル場を設定することである。この場を用いることから、協調作業を実現するためのポテンシャル場の張り方について着目することが可能となる。

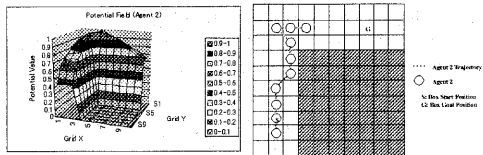
この箱に関するポテンシャル場は環境中に張られたポテンシャル場に付加されるものとしたことから、

$$P(i) = \alpha \times P_a(i) + \beta \times P_b(i, t) \dots (3)$$

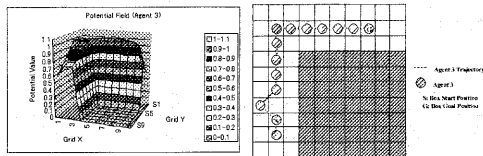
で設定される。ここで、 $P(i)$ はグリッドにおける現ステップでのポテンシャル値を表し、 $P_a(i)$ はグリッド i におけるエージェントのポテンシャル値を表す。 $P_b(i, t)$ は箱のグリッド i における箱押し作業 t ステップ時のポテンシャル値を表す。



(a) Simulation Result – Agent 1

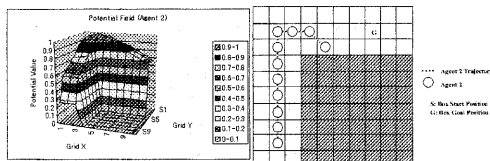


(b) Simulation Result – Agent 2

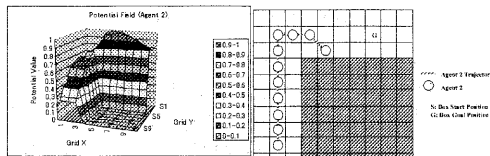


(c) Simulation Result – Agent 3

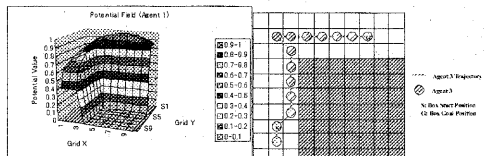
Fig.5 Simulation Results – Case of 3 Agents



(a) Simulation Result – Agent 1



(b) Simulation Result – Agent 2



(c) Simulation Result – Agent 3

Fig.6 Simulation Results – Change Work Conditions

Table.3 Work Conditions

Work Style	Single(First)	Cooperative(First)	Single(Latter)	Cooperative(Latter)	Non Pushing
Energy Consumption	4	2	6	3	1

エージェントと箱に関するポテンシャル場を合成する(3)式で、各パラメータ α および β の値をそれぞれ 0.1, 1.0 とした。この両パラメータは、各ポテンシ

ル場の重視度合いを表したものである。

3 エージェントによる協調作業の場合の結果(Fig.5)から、エージェント間でそれぞれ作業への関わり方が異なることを表す移動軌跡が得られた。この得られた移動軌跡から箱の方向転換をするまでの前半部分で作業に携わるエージェントと、方向転換後の後半部分で作業に携わるエージェントに分かれて、箱押し作業を行っているのが判る。また得られた各エージェントのポテンシャル場の状態から、エージェントの行動は、箱のポテンシャル情報に影響を受けているだけではないことがわかる。

そして、箱押し作業負荷について変更を加えた場合について Fig.6 に示す。各エージェントの軌跡の結果から、作業負荷の変更の影響が現れた結果となり、作業前半部分で作業に携わっていたエージェントは、作業後半部分で作業を止めている。また、後半部分を受け持つエージェントは作業前半部分では、全く作業を行わないということが判る。

よって以上の計算機実験の結果から、ポテンシャル場を利用した複数エージェントの協調作業を実現させることは可能であり、また制約条件の変化に対して、それらに応じたエージェントの行動制御をポテンシャル場により行うことが可能であるということがいえる。

5 結論

今回本論文では、エージェントの協調作業を導入する際に問題点となることについてまとめ、これらの問題点に対処して複数エージェントの協調作業を実現する方法として、ポテンシャル場を用いた手法を提案した。箱押し問題を通して、計算機実験により本手法の基本的な有効性に関して検証を行った。これにより、複数エージェントの協調作業を導入するために、ポテンシャル場を用いたエージェントの制御が有効であることが確認できた。

参考文献

- [Fenster 95] Fenster, M., Kraus, S., Rosenschein, J.S. 1995. Coordination without Communication: Experimental Validation of Focal Point Techniques, ICMAS-95.
- [Moore 95] Moore, A.K. and Atkeson, C.G. Parti-Game Algorithm for Variable Resolution Reinforcement Learning in Multidimensional State-Spaces, Machine-Learning Vol.21, pages 199-233, 1995
- [Mataric 95] Mataric, J.M., Nilson, M. and Simsarian, T.K. 1995. Cooperative Multi-Robot Box-Pushing. In Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems, 556-561.
- [Schwartz 83] Schwartz, J.T. and Sharir, M. 1983. On the Piano Movers Problem, the Case of a Two Dimensional Rigid Polygonal Body Moving Amidst Polygonal Barriers. Comm. on Pure and Applied Mathematics. 36:345-398.
- [Tews 98] Tews, A. and Wyeth, G. Using Centralised Ψ . Ψ * > Control and Potential Field for Multi-Robot Cooperation in Robotic Soccer, In Proc. of PRIMA-98, pages 176-190, 1998
- [Whitehead 93] Whitehead, Jonas Karlsson, and Josh Tenenber. Learning Multiple Goal Behavior via Task Decomposition and Dynamic Policy Merging. In Robot Learning. Kluwer Academic Press, 1993