

琉球大学学術リポジトリ

群行動モデルを用いた最適配置問題の解法に関する 基礎研究

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2010-01-13 キーワード (Ja): キーワード (En): Multi-agent system, Artificial life, Boid model, Collective behavior 作成者: 長浜, 竜太, 遠藤, 聡志, 山田, 孝治, Nagahama, Ryota, Endo, Satoshi, Yamada, Koji メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/14747

群行動モデルを用いた最適配置問題の 解法に関する基礎研究

長浜 竜太* 遠藤 聡志* 山田 孝治*

Dynamic agent arrangement using collective behavior model

Ryota NAGAHAMA* Satoshi ENDO* Koji YAMADA*

Abstract

The boid model proposed by C. Reynolds is one of the famous artificial life model and it performs the collective behavior in the computer world. To solve complex problems using multi-agent system, it is necessary to make coordinated behavior within each agent. Therefore we proposed the boid model based multi-agent system and applied this system to the problem of dynamic agent arrangement. Furthermore we designed some computer simulations to investigate the characteristics of our system. The experimental results show that our system has the ability of environmental adaptation.

Key Words: Multi-agent system, Artificial life, Boid model, Collective behavior.

1. まえがき

A-Life は自然界における生命活動を人工的なシステムにおいて再現することを目的とした研究分野であり、従来工学分野で用いられてきた分析的な方法ではなく、合成的方法論によってモデル構成を行なうことが特徴である [1]。A-Life 研究の代表例に、C.Reynolds の Boid がある。Boid は、複数の行動主体が環境情報に基づいた自律的行動を行なうことにより、ある種の群行動を実現するというモデルである。この群行動形成は、マルチエージェントシステムにおける協調行動の実現と考えることができる。マルチエージェントシステムによる問題解決において共通に内在する問題は、エージェント間の協調動作の実現であり、これは動的な問題空間に各エージェントを如何に効果的に配置するかという動的配置問題に定式化出来る。

本論文では、動的配置問題の一例としてタクシー配置問題を設定し、A-Life モデルである Boid に基づいたタクシーエージェントを設計し、そのタクシーエージェント相互の最適な配置の獲得を目指す。また、計算機シミュレーションにより、群行動モデルの振る舞いの特徴解析と客獲得の効率検証を行なう。

2. Boid モデル

Boid は C.Reynolds によって提案された群行動の振る舞いを実現する A-Life モデルである [2]。このモデルの特徴は、少数の単純な行動ルールの組合せにより、群の秩序を実現する点にある。従って、群を構成する個々の個体の行動を記述することなしに、複雑な群行動モデルを構成する

ことが可能となる。この技術は、映画の特殊効果や、アニメーション映画の作成などに応用されている。

Reynolds は、例えば渡り鳥の群行動を実現するために、各エージェントが幾何学的飛行を維持するためのモデル構成を行なった。さらに、エージェント各々に衝突回避の行動ルールと群に加わろうとする行動ルールを加えることで群行動を実現した。以下に、行動ルール群の詳細を示す。

• 衝突回避ルール

自分と最も近くのエージェントとの間に、最適クルージング距離という距離パラメータを設定し、各エージェントはこのパラメータの値の距離を保つように行動する。具体的には、最も近くにいるエージェントとの距離が最適クルージング距離を下回った場合、衝突の危険に対して、前方のエージェントはスピードを上げ、後方のエージェントはスピードを落とす。ここで、クルージング距離の調節はスピード変化のみで行なわれ、方向の変更は行なわない。衝突回避の行動様式を図 1 に示す。

• 方向調整ルール

自分の最も近くのエージェントの飛行方向と自分の飛行方向が平行に保たれるように自分の方向を調整する。このルールにおいて、スピードの調整は行なわない。

• 群の中心に向かう

群行動実現のためには、集団形成のためのルールが必要である。これに対して、Boid モデルでは各エージェントの位置関係から集団の重心位置を計算する。各エージェントは、その重心に向かう単位ベクトルを算出し、この方向に自分の飛行方向を一致させるように行動する。このルールにおいて、スピードの調整は行なわない。

受理 1998 年 5 月 25 日

*工学部情報工学科

(Dept. of Information Engineering, Fac. of Eng.)

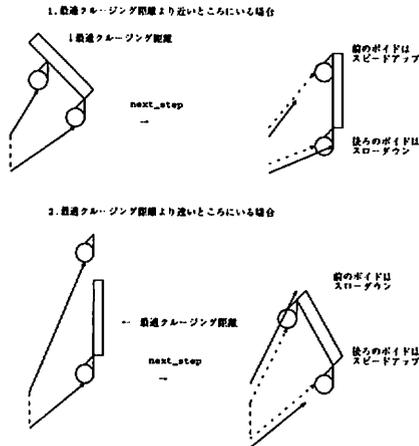


図 1. 衝突回避を行なう状況

・慣性推進

Boid モデルにおいて、各エージェントは現在の飛行方向保持しようとする。このルールにおいて、スピード調整は行なわない。

Boid の各エージェントが各々自分の次の行動を決定するためには、衝突回避、慣性推進、最も近くにいる仲間との協調、そして群の重心に向かうというの4つの単純かつ競争を含むルールを組み合わせることが必要である。特に、方向を決定する慣性推進、最近傍エージェントとの進行方向の調整、重心方向への移動の各ルールの適用結果が同一方向となることは稀であり、このような競争に対する何らかのルール調整が必要となる。

[3]では、3つの異なる方向を合成するという方法を採用している。例えば、Boid の現在の方向を Tan, 最も近くにいる仲間 Boid の方向を Copy, 群の重心（これにはウェイトが与えられている）方向を指す単位ベクトルを Center とすると、その Boid の新しい進むべき単位ベクトルを表す NewTan は図 2 のように、各ベクトルのベクトル和として算出される。

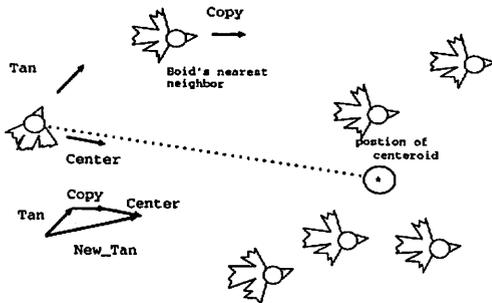


図 2. Boid の単位ベクトルの導出

また、合成される各方向ベクトルに対して、その重要度の割合を示す重みを与えることで、各エージェントの行動決定パターンを調節することが可能である。例えば、現在自分の向いている方向の Tan 以外の方向ベクトルである Copy と Center に 0.0 から 1.0 までのウェイトを設定する。Copy のウェイト変数を Copyweight, Center のウェイト変数を Centerweight とすると、次の Boid の方向ベクトル

NewTan の計算式は (1) 式で表すことができる。

$$NewTan = Tan + (Copyweight \times Copy) + (Centerweight \times Center) \quad (1)$$

図 3 に Boid の行動決定アルゴリズムを示す。

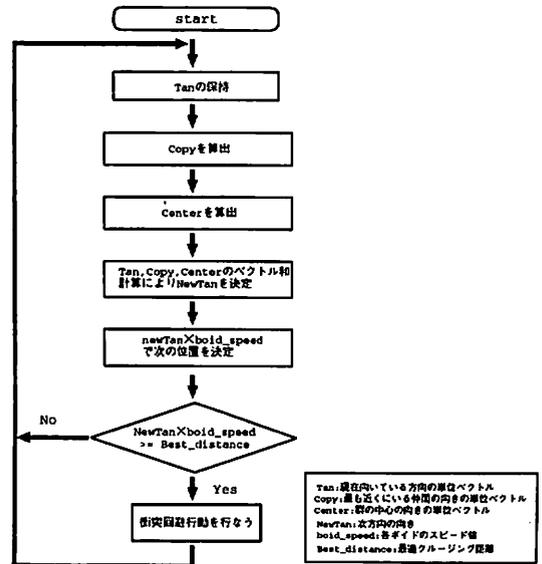


図 3. Boid の行動決定アルゴリズム

3. 動的配置問題

動的配置問題とは、動的に変化する環境の下で、各エージェントを如何に効果的に配置するかを決定する問題と捉えることが出来る。本研究では動的配置問題の一例としてタクシー配置問題を設定する。タクシー配置問題とは、不規則に出現する乗客の存在する空間において、効率良く乗客を獲得するタクシー群を配置・運用し、出来るだけ多くの客を獲得することを目的とした問題と定義される。

3.1 問題設定

本論文で扱うタクシー配置問題は、問題空間を 2 次元トラス空間として実現する。各々のマス目には客の出現確率が与えられ、その出現確率に応じて客が出現・消滅を繰り返す。客の出現中にタクシーエージェントがそのマス目を通じた場合、タクシーエージェントは客を獲得したことになる。

この問題では乗客の出現率によって様々な環境が設定可能である。また時間変化を伴う出現確率を導入することで動的な問題環境を扱うことが可能になる。このような問題環境の上で、タクシーエージェントはあらゆる状況に対応できるように常に周りのタクシーとの協調動作によって、動的に変化する問題に対して、適応的に問題解決を行なうことが要求される。

図 4 は、本研究で作成したシミュレータの環境画面である。

3.2 タクシーエージェントの設計

一般にエージェントは以下のように定義される [5],[6].

- ・エージェント (agent)

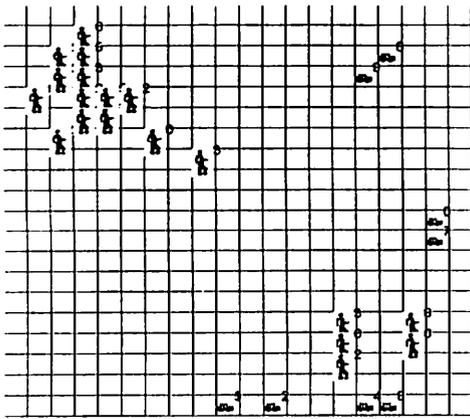


図 4. シミュレータ

センサ (sensor) を通して環境を知覚 (perception) し、エフェクタ (effector) を通して、環境に対して行動 (action) をすることができる行動主体をエージェントという。

エージェントの定義に従い、タクシーエージェントを以下の図 5 のように構成する。

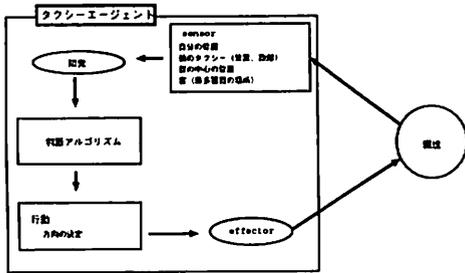


図 5. タクシーエージェントの構成

3.2.1 センサ入力

タクシーエージェントへの入力以下の 4 情報である。

1. 現在の自分の位置と進行方向
2. 他のタクシーエージェントまでの距離とその進行方向
3. 群の中心の位置
4. タクシーエージェントの最多乗客獲得の場所

ここで、第 1~3 のパラメータは Boid モデルと同様である。また、第 4 の入力は Boid モデルに基づいたタクシーエージェントを設計する上で新たに導入したパラメータである。最多乗客獲得ポイントへのバイアスを導入することで、群行動により問題空間の全域をカバーしながら、客出現頻度の高い領域で重点的に行動するマルチエージェントシステムが実現されると考えられる。

3.2.2 判断アルゴリズムと行動

判断アルゴリズムにより、各エージェントの次行動が決定される。タクシーエージェントの判断アルゴリズムを図 6 に示す。

本研究では問題空間としてグリッドマップを採用したことから、タクシーエージェントが移動できる方向は上下左右の 4 方向に制限される。しかし、タクシーの中心の位置への向き Center や、新たに設定した客が頻繁に出現する位置への向き Best は、上下左右の 4 方向で記述できない。

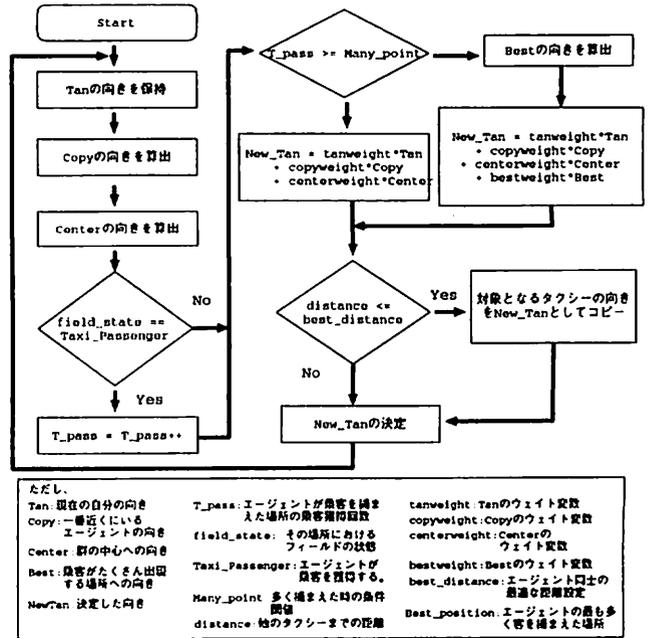


図 6. タクシーエージェントの判断アルゴリズム

よって、タクシーエージェントは、次方向を決定するためのすべての要素を単位ベクトルでベクトル和計算し、計算結果の次方向のベクトル New_Tan の値を上下左右の 4 方向のいずれかに変換する。図 7 はタクシーエージェントの方向決定の概念図である。

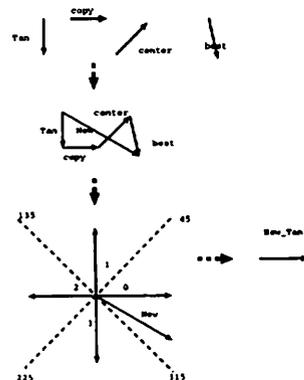


図 7. タクシーエージェントの方向決定

4. 計算機実験

4.3 実験設定

タクシー配置問題に対して、設計したタクシーエージェントモデルを適用し、乗客獲得に関する計算機実験を行なう。

計算機シミュレーションの目的は、以下の 2 点である。

- 作成したタクシーエージェントの振る舞いの観測
- 乗客獲得状況の検証

本研究では、客出現頻度設定の異なる 2 つの実験を行なう。両実験に共通する設定を以下に示す。

- 実験空間: 20 × 20 のトーラス空間

- エージェントの移動:上下左右の4方向に1stepで1マス移動可能

実験1では、客の出現するピークを図8のように一箇所設定する。また、タクシーエージェントの基本的な振る舞いを観測する目的から、戻るべき基地を一箇所設定した。また、実験2では、客の出現するピークを図9のように2箇所設定した。実験2においても実験1と同様に戻るべき基地を一箇所設定した。

客の出現率は、ピークのグリッドで10%、以下同心円状に5%、2.5%、1%とし、それ以外のグリッドでは乗客出現確率を0とした。乗客を獲得したエージェントは、一旦基地に戻り、保持している自身の方向をリセットし、ランダムに新たな自身の向きを決定する。以後行動決定アルゴリズムに従って行動する。

両実験に共通するパラメータ設定を表1に示す。

表1 パラメータの設定

客の出現から消滅までのステップ数	10
タクシーエージェント数	10
many_point	3
tanweight	0.65
copyweight	0.55
centerweight	0.85
bestweight	1.00

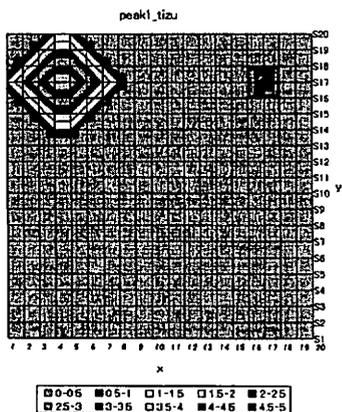


図8. 実験1の客出現率設定

4.4 実験1の実験結果および考察

総ステップ数を1500とし、300ステップ毎の各グリッド上でのタクシーの通過頻度をグラフに示した。

図10は0~300ステップの各グリッドでの通過頻度を示している。エージェント通過頻度の集中が基地付近以外では見られず、比較的広範囲でタクシーが行動していることがわかる。また、客出現頻度がピークとなるグリッドの座標を獲得したタクシーエージェントはこの時点では存在していない。このことから、このステップの間では、各エージェントは目的を持たない単なる群行動を行なっている段階であると見ることができる。図11は、301~600ステップの各グリッドでの通過頻度を示している。0~300ステップのときと同様に、比較的広範囲でタクシーエージェントが行動している。しかし、最初の300ステップに比べて客

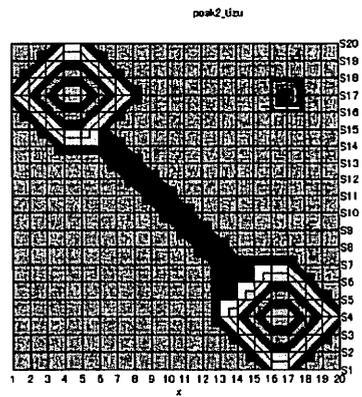


図9. 実験2の客出現率設定

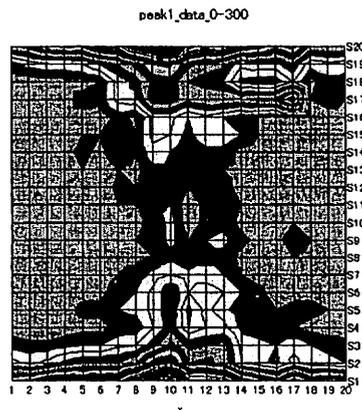


図10. 0-300ステップでのエージェントの各グリッド通過頻度

出現頻度の高い領域への偏りが見られる。この段階においてもまだ、客出現頻度がピークとなるグリッド座標を獲得したタクシーエージェントは存在していない。

図12は、601~900ステップの各グリッドでの通過頻度を示している。基地からピークの方角に向かっている行動が多く見られ始めている。また、この段階で、客出現頻度がピークとなるグリッド座標を獲得したタクシーエージェントが2つ存在した。よって、この段階は、広域的な群行

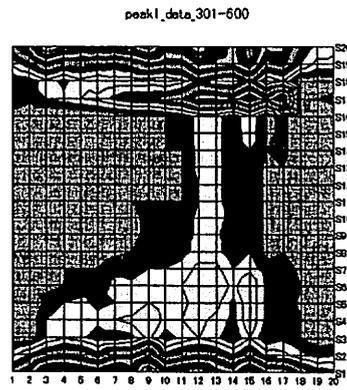


図11. 301-600ステップでのエージェントの各グリッド通過頻度

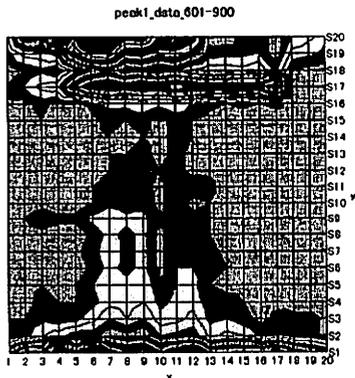


図 12. 601-900 ステップでのエージェントの各グリッド通過頻度

動段階から客獲得の目的行動段階への移行段階と見ることが出来る。図 13は 901~1200 ステップの各グリッドでの通過頻度を示している。基地からピークの方角への行動の収束が見られる。この段階で、ピークのグリッド座標獲得エージェントは5であった。

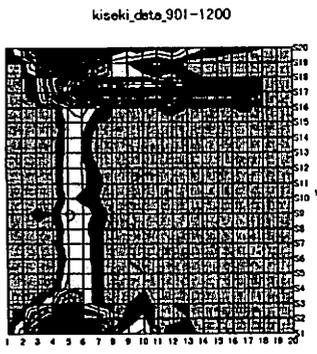


図 13. 901-1200 ステップでのエージェントの各グリッド通過頻度

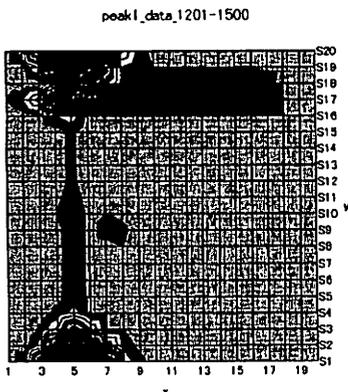


図 14. 1201-1500 ステップでのエージェントの各グリッド通過頻度

図 14は 1201~1500 ステップの各グリッドでの通過頻度を示している。基地とピークの方角への完全な行動の収束が見られる。ピーク付近での衝突回避行動が頻繁に見られ、また、すべてのタクシーエージェントが客出現頻度がピークとなる座標を獲得した。よって、この段階で、目的行動

に収束した段階とみなすことが出来る。

これらのデータから、客出現頻度のピーク箇所を固定した環境設定の実験において、設計したタクシーエージェントモデルが群行動に基づく広域的探索行動から客獲得の目的行動への移行が確認された。

次に各段階における乗客の獲得率の推移を図 15に示す。グラフは 300step 毎の客獲得率の推移を表している。エージェントの行動収束に伴い、客獲得率の上昇が見られた。この結果から、Boid モデルに基づくエージェントモデルによる目的行動獲得が可能であると考えられる。

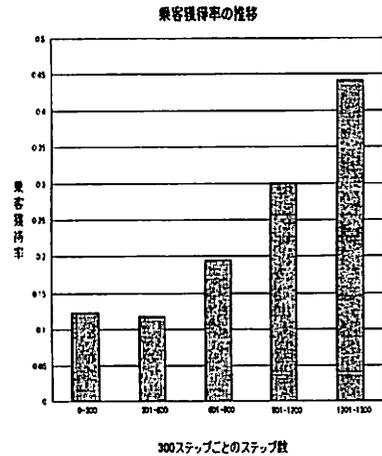


図 15. 各段階における乗客獲得率の推移

4.5 実験 2 の実験結果と考察

総ステップ数を 1000 とし、200 ステップ毎の各グリッド上でのタクシーの通過頻度をグラフに示した。

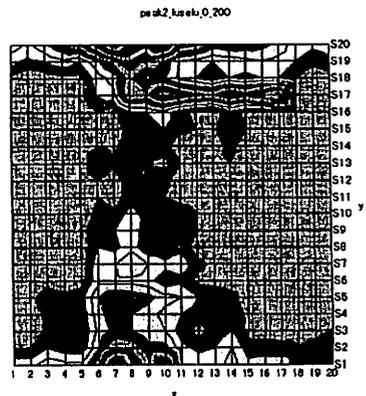


図 16. 0-200 ステップでのエージェントの各グリッド通過頻度

図 16は 0~200 ステップの各グリッドでの通過頻度を示している。グラフでは部分的にピークへの収束が起こっているように見えるが、客出現頻度のピーク座標を獲得できたタクシーエージェントは存在していない。よって、この段階は目的を持たない群行動を行なっている段階であると考えられる。

図 17は 200~400 ステップの各グリッドでの通過頻度を示している。基地近辺以外での行動の収束は見られない。また、比較的広範囲での行動がみられる。この段階で、客

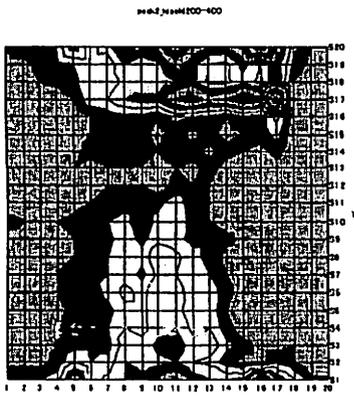


図 17. 201-400 ステップでのエージェントの各グリッド通過頻度

出現頻度のピーク座標を獲得したタクシーエージェントは存在していない。よって、目的を持たない群行動を行なっている段階であると考えられる。

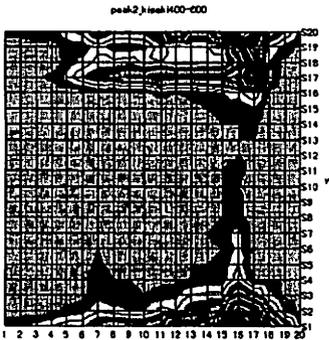


図 18. 401-600 ステップでのエージェントの各グリッド通過頻度

図 18は 401～600 ステップのステップの各グリッドでの通過頻度を示している。この段階では、グラフ右下の客出現頻度のピーク座標への行動が確認された。また、そのピーク座標を獲得したエージェント数は 1 であった。図 19は

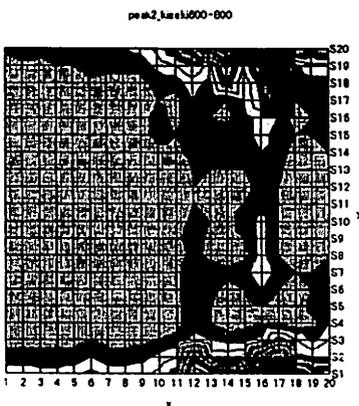


図 19. 601-800 ステップでのエージェントの各グリッド通過頻度

601～800 ステップの各グリッドでの通過頻度を示している。この段階では、基地とグラフ右下の客出現頻度のピーク座標への行動収束が見られる。このとき 3 エージェント

が右下のピーク座標を獲得していた。この段階は、右下のピークに向かう行動収束の初期段階であると考えられる。図 20は 801～1000 ステップの各グリッドでの通過

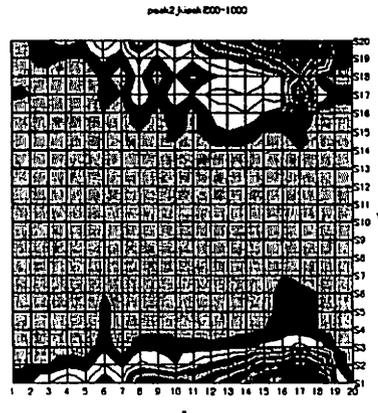


図 20. 801-1000 ステップでのエージェントの各グリッド通過頻度

頻度を示している。この段階では、最短経路での右下ピークへの行動収束が見られた。このとき 7 エージェントが右下ピーク座標を獲得していた。一方、左上のピーク座標を獲得したタクシーエージェントは最終ステップまで存在しなかった。

5. むすび

本研究では、群行動モデルである Boid を動的配置問題の解決手段として取り上げ、動的配置問題の一例であるタクシー配置問題に適用した。また、設計した Boid モデルに基づくタクシーエージェントによる計算機実験を行ない、群行動モデルの振る舞いの観測と検証を行なった。実験から、Boid に基づく群行動モデルでは、単純な問題環境に対しては、広域探索的な群行動から目的行動への移行という、マルチエージェントシステム構成に不可欠な動的配置の性質を示した。一方で、2-ピーク実験のような複雑な環境では、群行動の性質が行動の局所収束を招く場合があることが確認された。このような問題に対して、群の重心計算などの拡張による群分割法の導入などが今後の検討課題である。

謝辞

本研究の一部は、財団法人テレコム先端技術研究支援センターの支援により実施した。

文献

- [1] L. Stephen Artificial Life: The Quest for New Creation, Pantheon, 1992.
- [2] Reynolds, C.W. Flocks, Herds, and Schools, A Distributed Behavioral Model, Computer Graphics, Vol.21, No.4, 1987.
- [3] RUDY RUCKER 著者 日暮 雅通 山田 和子 共訳 ルーディ・ラッカーの人工生命研究室 on Windows 1996.
- [4] 上田 完次 下原 勝憲 伊庭 育志 人工生命の方法 - そのパラダイムと研究最前線 -, 工業調査会, 1995.
- [5] 広田 薫 知能工学概論, 昭晃堂 1996.
- [6] S. Russell, P. Norvig, Artificial Intelligence - A modern approach -, Prentice Hall Inc., 1995.
- [7] 服部 桂 人工生命の世界 オーム社 1994.