

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 24 日現在

機関番号：22604
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22700204
 研究課題名（和文） 共進化手法による家庭内掃除ロボットの高効率・ロバスト行動計画法
 研究課題名（英文） Motion Planning for Effective and Robust Domestic Sweep Robot using Competitive Co-evolution
 研究代表者
 千葉 龍介（CHIBA RYOUSUKE）
 首都大学東京・システムデザイン研究科・助教
 研究者番号：80396936

研究成果の概要（和文）：近年、自律ロボットによる家庭内・オフィス内作業が達成されつつあるが、未だその作業効率には疑問が残っており、適切なロボットの行動計画を行う必要がある。本研究では、家庭内・オフィス内という未知・動的な環境で高効率かつロバストな行動を達成するため、ロボットの行動計画法の提案を行う。家庭内での掃引作業を例に採り、遺伝的プログラミングにより高効率性を、遺伝的アルゴリズムによりロバスト性を獲得する。これらを同時に行うための競争的共進化手法を提案し、シミュレーションによりその有効性を検証する。

研究成果の概要（英文）：Recently, domestic work by the autonomous mobile robot has been achieved. However, it is difficult to achieve their works appropriately with advanced planning in a dynamic and unknown working environment. In this research, a competitive co-evolution algorithm is proposed for composing a robust action planning equipment. With this proposal method, action planning equipment is improved in the style of having been suitable for environment. by contrast, working environment is corrupted so that it becomes difficult environment for a robot. The effectiveness of the proposed method is shown by acquiring a robust action planning equipment against various working environment with simulation.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 1,600,000 | 480,000 | 2,080,000 |
| 2011年度 | 1,500,000 | 450,000 | 1,950,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,100,000 | 930,000 | 4,030,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 知能機械学・機械システム

キーワード：掃除ロボット，掃引作業，競争的共進化

1. 研究開始当初の背景

今後の少子高齢化社会において、家庭内やオフィスの作業を行うロボットの活躍は非常に大きな期待が寄せられている。しかし、導入されているロボットの数は、工場内に比べ圧倒的に少ない。その主な理由として、

家庭やオフィスが未知かつ動的な環境であることが挙げられる。工場では環境整備・事前教示されることで静的環境・既知環境を確保している。しかし、このためには大きな金銭的成本を要すことから、家庭・オフィス環境で作業を行うロボットへの適用は非常

に困難である。こうした背景において、家庭内に導入されている数少ないロボットとして掃除ロボットが挙げられるが、あらかじめプログラムされた反射的行動でありことから、効率性およびロバスト性に多くの問題がある。例えば、単体でも無駄な行動が多いが複数台を導入すると極めて効率が悪い、ある程度広く障害物のない環境である必要がある、等である。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究では、未知で動的な家庭・オフィス内で作業を遂行可能なロボットの行動計画器を設計する手法を提案する。特に、掃除ロボットに着目し、高効率な清掃作業を達成する。同時に、動的物体が存在する環境下においても作業効率の低下を防ぐため、ロバストな行動を生成する行動計画器を設計する。この目的は、競争的共進化の手法を用いることにより、達成可能であるとする。具体的には、ロボットの行動計画器を遺伝的プログラミングにより進化させ、環境を遺伝的アルゴリズムにより改悪する、という手順を繰り返す。また清掃実験を行うことにより、当該提案手法の有効性を示す。

3. 研究の方法

高効率かつロバストな行動計画器の設計という目標に対し、競争的共進化による困難な環境に対応可能な高いロバスト性を有する行動計画器の設計を行う。H22年度では、上記手法の下準備として、遺伝的プログラミングを用いてロボット単体での高効率な行動計画器の設計を可能とする。また、H23年度では、競争的共進化において行動計画器に対戦させる困難な環境を発見するため、遺伝的アルゴリズムによる困難な環境設計法の提案を行う。清掃実験を行い、当該手法の有効性を検証する。

3.1 行動計画器設計における GP の適用

掃除ロボットは反射的行動を必要とするがルールベースの行動計画器の場合、膨大な組み合わせが存在し、それを構築することは容易ではない。そこで、遺伝的プログラミング (GP: Genetic Programming, 以下 GP) により行動計画器を改良することで、高効率な掃引作業を遂行できるロボットの行動計画器を構築する。

このとき、行動計画器はロボットに搭載される距離センサを用いた複数の if-then ルールの組み合わせにより構成されるものとする。if 部にセンサ値または定数値が含まれ、then 部にロボットの左右の車輪出力が含まれる。

3.2 困難な環境探索における GA の適用

ロボットの作業環境を $n \times m$ のグリッドに分割し、その 1 マスに障害物が存在する (1) もしくは存在しない (0) かの 2 通りで表現する。その時、環境のパターンは $2(n \times m)$ 通り存在することになる。この膨大な組み合わせの中から全探索により、行動計画器に最も困難な環境を発見することは膨大な時間を要し、現実的ではない。そこで、遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm, 以下 GA) により世代を重ねるごとにロボットの清掃達成度を低下させることで、行動計画器に対して最も困難な環境の探索を行う。この時、各グリッドにおける障害物の有無を GA における遺伝子情報とし、個体を持つビット列の情報により、グリッドに区分けされた環境が構成される。

3.3 競争的共進化アルゴリズム

行動計画器と環境の関係は、競争的共進化の関係にあたり、工学的応用における競争的共進化の利点は、問題自体が動的に変わることによって、設計対象が特定の問題に特化し進化しなくなる現象を抑制し、高い適応性を持った個体の設計が可能である点である。

本研究では、この考えに基づき、高効率かつロバストな掃除ロボットシステムを達成する手法の提案を行う。

Fig. 1 に本手法のフローチャートを示す。

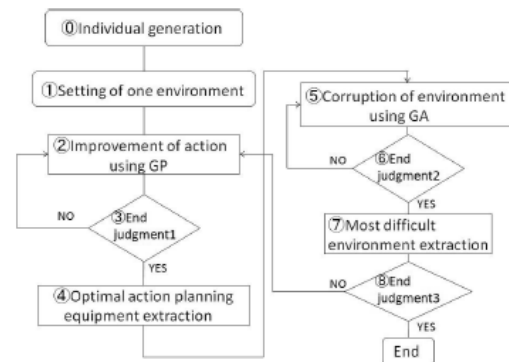


Fig.1 Simulation flow chart

0. Individual generation: 行動計画器, 環境の個体を生成する。
1. Setting of one environment: ランダムに環境を一つ設定する。
2. Improvement of action using GP: GP の行動計画器設計に基づき、行動計画器の改良を行う。
3. End judgment1: 終了条件に世代数を用いる。終えていなければ 2 へ。
4. Optimal action planning equipment extraction: この時点での最適行動計画器を抽出。
5. Corruption of environment using GA: GA の環境の改悪法に基づき、環境の改悪を行う。
6. End judgment2: 終了条件に世代数を用

いる。終わっていないならば5へ。

7. Most difficult environment extraction: この時点での最悪環境を抽出。
8. End judgment3: 行動計画器の改良・環境の改善の一連の流れを共進化数1とカウントし、これをシミュレーションの終了条件として用いる。終わっていないならば2へ戻り、再度進化を繰り返す。

4. 研究成果

4.1 シミュレーション条件

上記の提案手法の有効性を検証するために、シミュレーションによる行動計画器設計実験を行った。本節では、そのシミュレーション条件を記す。

各種パラメータ各種パラメータを以下のように定める。

【行動計画器】

ヒューリスティクスにより、構築した行動計画器を Fig.2 に示す。この行動計画器は、壁・障害物が近くに見当たらない場合、直進動作を行い、壁・障害物が近い事を感知すると、旋回動作を行うような動作を見込んで構築したものである。

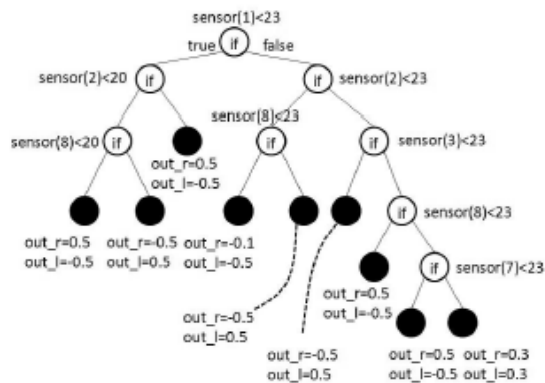


Fig.2 Action planning equipment by heuristics

【環境】

- 作業面積: 7[m] × 7[m]
- 作業点: 縦横 0.1[m] 毎

【ロボット】

- 初期位置: (x, y)=(3.5, 3.5)
- 初期角度: $\theta = \pi / 2$
- STEP 数: 5000[STEP]

【GP・GA パラメータ】

- 世代数: 行動計画器 10 世代進化⇒環境 5 世代進化⇒行動計画器 10 世代進化を繰り返す
- 共進化数: 30 回
- 個体数: 行動計画器, 環境共に 100[個体]
- 交叉率: 0.7
- 突然変異率: 0.01

4.2 シミュレーション結果

本手法により構築された行動計画器を Fig.3 に示す。

また、ランダムに作った様々な環境における、掃除達成率を Table.1 に示す。

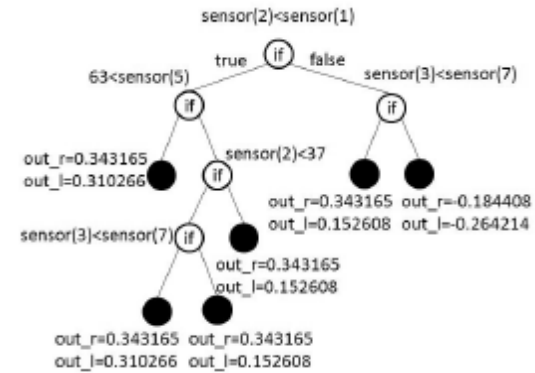


Fig.3 Action planning equipment by proposal method

| 総作業点数 | 獲得作業点数 (ヒューリスティクス) | 獲得作業点数 (競争的共進化) |
|-------|--------------------|-----------------|
| 3700 | 197 | 309 |
| 2300 | 444 | 248 |
| 3100 | 561 | 332 |
| 3100 | 184 | 349 |
| 1400 | 64 | 270 |
| 2000 | 41 | 238 |
| 3900 | 125 | 276 |
| 平均 | 230.9 | 288.9 |

4.3 考察

Table.1 から、本手法により構築された行動計画器を用いた場合、ヒューリスティクスによる行動計画器と比べ、獲得作業点数(掃除達成率)の平均値が高くなっている。また、最低値を比較したとき、ヒューリスティクスによる行動計画器は極端に低い数値を示す事があるが、本手法を用いた場合はそれが見当たらない。そのため、ロバストな行動計画器が構築されたといえる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① Ryosuke Chiba, Tamio Arai, Jun Ota, Flow Path Network Design for Robust AGV Systems Against Tasks Using Competitive Coevolution, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, 4, 2011, 475-484

〔学会発表〕(計13件)

- ① Ryosuke Chiba, Sunao Hashimoto, Tomoki Kazawa, Ryohei Kanzaki, Jun Ota, Neural Network Estimation of

- LAL/VPC Resions of Silkmoth using Genetic Algorithm, International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2010), 査読有, 2010
- ② Ryosuke Chiba, Fumiya Akasaka, Yoshiki Shimomura, Takeshi Tateyama, Tamio Arai Contents Quality Design Considering Corporate Resource with Service Engineering, the 11th International Design Conference, 査読有, 2010
- ③ 千葉 龍介, 橋本 素直, 加沢 知毅, 神崎 亮平, 太田 順, LAL-VPC 領域のモデル化と進化計算によるカイコガの神経回路網の推定, 第 20 回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN2010/iFAN2010), 2010
- ④ 小川 広晃, 千葉 龍介, 高草木 薫, 浅間 一, 太田 順, ヒトの起立姿勢制御に関する多感覚と筋活動との関係の調査, 計測自動制御学会第 10 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2010), 2010
- ⑤ 青木 翔平, 千葉 龍介, 森 泰親, SURF マッチングを用いた物体の三次元位置計測における閾値自動調整法, 計測自動制御学会第 10 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2010), 2010
- ⑥ 千葉龍介, 赤坂文弥, 舘山武史, 渡辺健太郎, 下村芳樹, サービス工学における多目的最適化によるコンテンツパラメータ設計, Designシンポジウム 2010, 2010
- ⑦ Rryosuke Chiba, Fumiya Akasaka, Takeshi Tateyama, Kentaro Watanabe, Yoshiki Shimomura, Contents Parameter Design using Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Service Improvement, the 44th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 査読有,
- ⑧ Yutaro Nemoto, Fumiya Akasaka, Ryosuke Chiba, Yoshiki Shimomura, Establishment of a Function Embodiment Knowledge Base for Supporting Service Design, 2011 Asian Conference on Design and Digital Engineering (ACDDE 2011), 2011
- ⑨ 磯崎雄一, 千葉龍介, 森泰親, 遺伝的アルゴリズムを用いたロボットの家庭内掃引作業における困難な環境の発見, 平成 23 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2011
- ⑩ 青木翔平, 千葉龍介, 森泰親, Homography 分解を用いた画像変化を考慮した生活支援のための物体給仕システム, 第 4 回横幹連合コンファレンス, 2011
- ⑪ 戸塚章一郎, 千葉龍介, 森泰親, 青木翔

平, 太田賢一, 小山愛, 位相シフト法を用いたレーン形状測定システムの提案, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011), 2011

- ⑫ 磯崎雄一, 千葉龍介, 森泰親, 競争的共進化アルゴリズムによるロバストな家庭内掃引作業のための行動計画法の提案, 平成 24 年電気学会全国大会, 2012

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千葉 龍介 (CHIBA RYOSUKE)
首都大学東京・システムデザイン研究科・
助教
研究者番号: 80396936

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: