

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23510178

研究課題名(和文)進化計算とニューラルネットを用いた群ロボットの効率的な制御の研究

研究課題名(英文)Study of efficient control of multi-robot system with evolutionary computation and neural network

研究代表者

山地 秀美 (YAMACHI, Hidemi)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：20327018

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：広域の災害現場や地雷原などのような障害物の存在する未知の領域を、複数のロボットにより効率的に探査するための制御方法をコンピュータシミュレーションによって開発した。ロボットのカメラから見た視覚情報から周囲の障害物を認識し衝突を避けるための手法を提案した。各ロボットが認識した領域の障害物の配置を合成し、マップを作成して共有しながら領域全体を探査する手法を提案した。探査の動作方法について、障害物が様々な配置された領域に対して、ロボットの数を変化させながら比較し、提案手法の有効性を評価した。

研究成果の概要(英文)：We developed the cooperative multi-robot control method for covering a unknown-structured fields by using computer simulation techniques. In order to recognize and avoid obstacles while each robot is moving, we devised the algorithm utilize the visual information from the camera on each robot.

We also proposed the method that the robots cooperatively collect the knowledge of the field and draw the map that is shared by the robots to proceed with the coverage task. We evaluated the ability of the method by using various numbers of robots and various structures of fields in which many types of obstacles are allocated.

研究分野：進化計算、コンピュータグラフィックス

キーワード：群ロボット 未知領域探査 最短経路

1. 研究開始当初の背景

広域の災害現場等のように障害物の存在する未知の領域を探索するために複数のロボットを使用することが試みられている。既知の領域に対する制御方法は数多く提案されているが、未知の領域を対象とした手法の提案は少ない。

そこで、これまでわれわれが提案してきたコンピュータグラフィックスにおける衝突検出手法、進化計算アルゴリズムによる最適化手法、マルチエージェントによるロボット制御法を応用し、未知の領域の効率的な探索手法を開始することとした。

2. 研究の目的

障害物のある未知の領域を、有限の台数のロボットで構成される群ロボットにより短い時間で探索(以下、被覆)するための制御方法の開発を目的とする。災害発生時の建物内の避難誘導を、群ロボットによって効率的に行うことを想定する。経路や障害物の配置を効率的に調べるための群ロボットの制御方法として、より効率的な手法を提案する。

さらに実際のロボットで検証するために、ロボットの視覚情報から障害物を回避する手法を提案する。距離センサとカメラ画像を用いて得られた周囲の距離データから仮想空間を構成しシミュレーションを行って衝突を回避する。

3. 研究の方法

群ロボットによる未知領域の被覆シミュレーションを行うシミュレータを作成し、ロボットの数、初期配置、被覆動作について比較実験を行い、基本的な制御方法を明確にする。その結果に基づき、障害物の多様な配置に対する制御方法の依存性を実験によって明らかにし、効率的な制御を実現するための群ロボットが共有すべき情報とその利用方法を検討する。効率的な被覆を妨げている原因を分析し、問題を回避するためのアルゴリズムを開発する。

実機ロボットで視覚情報に基づく制御を実現するために、視覚情報による障害物・衝突検出手法 CyberRadar のシミュレーション実験を行う。実機ロボットに実装するステレオカメラとしてビデオゲームの入力装置である Kinect を用い、ビデオカメラによる画像と Kinect によって取得された距離情報を用いて、現実世界と 3D モデルの実時間でのインタラクションを行う。

実機ロボットを作成し、開発した手法を実装して検証実験を行う。

4. 研究成果

(1) 視覚情報による障害物・衝突検出手法 CyberRadar のシミュレーション実験を行った。現実世界では多様な形状とたくさんの衝突対象物が存在する。現在主に使用されている空間分割による手法では、こうした環境で

の衝突検出・回避処理をリアルタイムに行うことが困難となる。これに対し提案手法では、対象となるオブジェクトの数 n に対し $O(n)$ のオーダーで処理できることが示された。この成果は、Cyberworlds 2011 にて発表した。

CyberRadar による障害物・衝突検出手法は、GPU による描画を利用した手法であるため、多数のロボットを想定した環境では、実時間性が損なわれる。そこで、本手法をより高速化するために、マルチスレッド化して複数の GPU により並列処理するアルゴリズムを開発するとともに、プログラムを委託開発した。

(2) 実機ロボットに実装するステレオカメラとしてビデオゲームの入力装置である Kinect を用い、ビデオカメラによる画像と Kinect によって取得された距離情報を用いて、現実世界と 3D モデルの実時間でのインタラクションを実現した。当初検討していたステレオカメラシステムより安価で、開発のための情報が多く公開されていることから、Kinect を利用することとした。本研究の成果は、The Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2012) にて発表した。

実世界の複雑で多様なたくさんの障害物に対応するためにマルチ GPU を用いた CyberRadar の並列処理を実装した。多数のオブジェクトを配置した実験では、2 つの GPU を用いることでおおよそ 2 倍のパフォーマンスが得られた。マルチ CPU やマルチコア CPU などの並列化では、タスクを分配するためのオーバーヘッドが負荷となり、 n 個のハードウェアを用いてもパフォーマンスは n 倍にはならない。これに対しマルチ GPU を用いた CyberRadar では、オーバーヘッドがきわめて少ないことが示された。この成果を the 5th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART2013) において発表した。

(3) 群ロボットの制御アルゴリズムについては、シミュレータを作成し基本的な制御アルゴリズムを実装、評価を行った。すなわち、シミュレータによって、障害物が複雑に配置された未知のフィールドを被覆するアルゴリズムの実行効率を実験で検証した。ソフトウェアエージェントによって制御される複数のロボットを未知の領域の端に配置し、センサで周囲の障害物や他のロボットを感知しながら被覆を行う。ロボットは感知した障害物および被覆されていない領域の情報を共有し、領域の地図を作成しながら被覆を進める。効率よく被覆するには、一度被覆した領域を通る距離を可能な限り少なくする必要はある。複数のロボットによる被覆では、ロボット同士の干渉が起こると、被覆済みの領域を通らざるを得ない。ロボットを領域全体に分散して配置できれば干渉を減らすことができるが、未知の領域では困難である。

エージェント同士が共有する領域の状態や他のロボットの位置の情報から、分散して動作するためのアルゴリズムを複数用意し、比較実験を行った。この成果は The 16th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems (IES2012) にて発表された。

(4) ジグザグ、スパイラル、ランダム の 3 つの被覆動作について、障害物が複雑に配置された領域での処理効率を調べた結果、顕著な差はないもののスパイラルが多少優れていることがわかった。同時に、処理効率を引き下げている要因を明らかにするために、単位時間当たりの被覆動作回数の変化を詳細に分析した。この実験で使用した領域には、ロボット 1 台が通れる隘路があり、それによって領域全体は大きく 2 つに分割されている。そのため一方の領域の被覆が終了すると、すべてのロボットが隘路に集中する現象が発生することがある。こうした現象が処理効率を大きく悪化させることが明らかとなった。この結果について、The 17th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems (IES2013) にて発表を行った。

隘路がある領域での問題を受け、隘路がない単純な形状の障害物が配置された領域での 3 つの被覆動作の違いについて同様の実験を進めた。長い壁や離散した矩形の障害物、袋小路上の障害物を配置した領域に対して実験を行った。その結果、いずれの場合も僅かながらスパイラルの効率が良いことが示された。しかし、障害物の配置への明確な依存性は示されなかった。処理効率の低下の主な原因は、被覆作業の終盤で、被覆されていない比較的小さな領域が、ロボットの初期位置から遠く離れて残されることであった。この問題に対応するため、被覆作業の進行に対応したロボットの分散方法を検討する必要が示された。この結果は IES の特集ジャーナル Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII) に投稿し採録された。

(5) 群ロボットによる被覆作業の効率低下をもたらす主要な原因として、ロボットの初期位置から遠く離れた地点に孤立した被覆対象領域が残される、これまでに提案した最短経路を近似的に求める手法では、さらに複雑に障害物が配置された領域では実時間で経路を求められない場合が発生する、の 2 点が明らかとなった。

については、被覆過程で被覆領域が分割されて孤立した領域が発生する際の領域選択方法と、周囲に被覆対象がなくなって次の被覆対象領域に移動するときの領域選択の方法が問題となる。前者についてはより小さい領域を優先的に選択することが効率的であることがシミュレーションによって示された。後者については、初期位置からより遠

い領域を選択する方法を提案した。複雑に障害物が配置された領域では、より遠い領域を判断するには、ロボットが通ってきた経路を利用して、過去の経路に戻る方向にある領域ではなく、ロボットの進む方向にある領域を選択する方法を提案した。

については、で用いたロボットの経路情報を利用する手法を提案した。近似的最短経路計算は深さ優先探索を用いるが、その際実時間で到達できる深さまで探索し、求められない場合は経路を逆に辿ることとした。しかし経路を逆に辿るのは最短とはならないため、近似的最短経路の計算は常に繰り返すこととした。

これらの手法をさまざまに障害物が配置された障害物配置の異なる 5 種類の領域について評価実験を行った。

これらの結果は International Symposium on Artificial Life and Robotics AROB 20st (AROB2015) および情報処理学会第 77 回全国大会において論文発表を行った。

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)

山地秀美、辻村泰寛、神林靖、Influence of field structure on the multi-agent coverage algorithm on unknown fields、Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII)、査読あり、17 巻、2013、883-889

[学会発表] (計 7 件)

山地秀美、辻村泰寛、未知領域探索のための自律ロボットの効率的な移動経路決定法、情報処理学会第 77 回全国大会、2015 年 3 月 19 日、京都大学(京都府・京都市)

山地秀美、辻村泰寛、神林靖、Control Cooperative Multi-robot Systems for Covering Fields with Unknown Obstacles、Proceedings of The 20th International Symposium on Artificial life and Robotics (AROB2015)、2015 年 1 月 22 日、別府国際コンベンションセンター(大分県・別府市)

山地秀美、辻村泰寛、神林靖、山本久志、Structural influence of fields on the performance of the unknown field coverage algorithm by means of multi-agent、Proceedings of the 17th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems (IES 2013)、2013 年 11 月 8 日、ソウル (韓国)

飯田智明、山地秀美、神林靖、辻村泰寛、Comparison and Multi-GPU based

Implementation of a Collision Detection Method with Z-buffer in Cyber Space, 5th International Conference on Agents and Artificial Intelligence,(ICAART2013)、2013年2月15日、バルセロナ(スペイン)

山地秀美、辻村泰寛、神林靖、山本久志
Evaluation of multi-agent simulation for coverage algorithm on unknown field、Proceeding of The 16th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems(IES2012)、2012年12月14日、関西セミナーハウス(京都)

山地秀美、相馬康幸、辻村泰寛、神林靖、
Interaction Method in Augmented Reality Using Z-buffer based Collision Detection Technique、The Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2012)、2012年2月3日、バルセロナ(スペイン)

山地秀美、相馬康幸、神林靖、辻村泰寛、
Evaluation of a Technique for Collision and Object Detection with the Z-buffer in Cyber Space、2011 International Conference on Cyberworlds、(Cyberworlds 2011) 2011年10月5日、バンフ(カナダ)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 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 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山地 秀美 (YAMACHI, Hidemi)
日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：20327018

(2) 研究分担者

辻村 泰寛 (TSUJIMURA, Yasuhiro)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号：80240977

(3) 連携研究者

()

研究者番号：