

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01304

研究課題名(和文) 移動エージェントと群知能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) A Study of Multi-Robot Control System with Mobile Agents Based on PSO

研究代表者

神林 靖 (Kabayashi, Yasushi)

日本工業大学・先進工学部・准教授

研究者番号：40269527

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：複数(9台)の小型で安価な自律型ロボットからなる対象物探索システムを開発した。想定するアプリケーションは、障害物や狭隘な箇所も多い屋内での対象物や遭難者探索である。大域的な情報を利用できないという前提に立って開発を進めた。大域的な情報を利用できない不利益を補うために、群知能アルゴリズムの1つである粒子群最適化手法(PSO)を採用した。これまで研究を進めてきた移動ソフトウェアエージェントを使用して、障害物が多数存在する状況下でPSOを用いた自律型探索ロボットシステムを開発することで、この問題を解決した。また不整地を協働することで乗り越える機構とアルゴリズムの開発も、課題を残しながら成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

わが国は地理的な特性上地震や台風といった災害に見舞われやすい。2011年に起きた東北地方太平洋沖地震や2016年の熊本地震はとりわけ記憶に新しい。このような災害が発生した現場は救助活動を行う際、二次災害が発生する恐れがある。救助現場において人間が立ち入ることが危険と判断された時、ロボットを利用することが望ましい。本研究で作成した群ロボットのプロトタイプは、人命救助と実地探索を主に活動することを念頭において開発した。本プロトタイプを元に実用システムを開発すれば、救助の際、人の負担や二次災害を抑制することができる。また実地探索は、経路探索や画像認識により救助者に最適な選択の補助をすることもできる。

研究成果の概要(英文)：This research presents an approach for controlling multi-cooperative robot exploration in an unknown environment. In order to control multiple robots, we take advantage of multiple mobile agents. Hereby, we report our experience in implementing a mobile multi-agent system and actual multi-robot systems. To construct an efficient search algorithm for multiple mobile robots, we employ an extended particle swarm optimization (PSO) for the robot control algorithm. This algorithm allows robots to avoid obstacles while utilizing the PSO as a basic search algorithm. To demonstrate the feasibility of this research, we implemented an agent platform along with a team of mobile robots controlled by a team of mobile agents on this platform. The imaginary application is a search and rescue operation after disaster in an urban area. We have successfully implemented this prototype system and demonstrated that the combination of mobile agents and mobile robots contributes lifesaving applications.

研究分野：計算機科学

キーワード：移動エージェント 群ロボット 粒子最適化 不整地踏破ロボット

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

わが国は、地理的な特性上地震や台風といった災害に見舞われやすい。2011年に起きた東北地方太平洋沖地震や2016年の熊本地震は、とりわけ記憶に新しい。2019年に発生した台風19号～21号は、土砂災害や浸水によって物的被害だけでなく人的被害を拡大させた。それら災害が発生した現場は救助活動を行う際、二次災害が発生する恐れがある。救助現場において人間が立ち入ることが危険と判断された時、ロボットを利用することが望ましい。災害現場でロボットは、人命救助と実地探索を主に活動する。救助の際、人の負担や二次災害を抑制することができる。また実地探索は、経路探索や画像認識により救助者に最適な選択の補助をすることもできる。

探索の際、単体ではなく複数台で協調して動作することを目標としロボットが開発されている。すなわち複数台で協調して動作を行うマルチロボットシステムである。複数台を用いることで探索する時間の効率化を図れる。また、1台が故障した場合でも探索を継続することが出来る。

探索を行うにあたり、群知能を基にして動作する群ロボットを用いた研究もされている。とりわけ群知能の一種であるアントコロニー最適化手法 (Ant Colony Optimization, ACO) や 粒子群最適化手法 (Particle Swarm Optimization, PSO) に基づく探索アルゴリズムを使用する研究がされている

われわれは、日本学術振興会より科学研究費助成事業の交付を受け、移動エージェントを用いた群ロボット制御の研究に携わってきた。種類が異なる多くのロボットを連携させ、1つのジョブを複数のタスクに分割して短時間で達成することが可能なロボット制御システムの確立を目指してきた。複数のソフトウェアエージェントを合成したり置換したりすることで機能の追加削除ができる枠組みを採用することにより、拡張可能な制御システムを構築することができた。

翻って、ソフトコンピューティングに関する研究の一環として社会性のある生物の行動を模したアルゴリズムの検討にも積極的に携わっており、有力な手法と考えるアントコロニー最適化手法について研究を進めてきた。この研究成果をユビキタス情報システムの構築に応用すると、多数のエージェントに限定的な知能と限定的な知識をもたせることで、全体として高度に知的な作業を行わせることが可能になる。これまで研究してきた移動エージェントとアントコロニー最適化手法 (ACO) を組み合わせることにより、知的なロボットが実現できると考え、実機とシミュレータによる実装を行なった。エネルギーコストを最小に抑えつつ、効率的に移動ロボットを集合させると同時に整列 (座標の計算にACOを使用) させ、かつ目標物を探索 (探索するロボットの選定にACOを使用) させることを実現した。従来のアントコロニー最適化手法では、アントエージェントが環境にフェロモンを付加することによりクラスタリングを行っているが、われわれの研究では、フェロモンを移動エージェントとして実装することにより実際の群ロボット上で超分散処理を実現した。エージェント内にフェロモンをベクトル値としてもたせることにより、ベクトルの選択あるいは合成により、ロボットに最適な振舞いをさせることができています。すなわち集中制御を必要としない自律的な群ロボットによる分散処理である。このようにフェロモンをソフトウェアエージェントとして実装する試みは世界初であり、他に類を見ない独創的な研究と自負している。このフェロモンをソフトウェアエージェントとして実装する試みをPSOへと適用したものが、今回申請する移動ロボットシステムの制御アルゴリズムの中核をなすものである。

2. 研究の目的

原子炉建屋のような狭隘な場所で利用できる群ロボットを開発することを目的とした。群知能を利用した完全自律型ロボットなので、遠隔操縦の必要がない。探索のように長時間の運用が予想される状況では自律型ロボットが有効である。移動ソフトウェアエージェントをロボット制御に用いる研究は、われわれの独創である。とりわけ群知能で使用されるフェロモンを移動ソフトウェアエージェントとして実装する例は他にはない。通常の無線通信でなく、移動ソフトウェアエージェントを使用する理由は、完全な分散処理を目指しているとともに、原子炉建屋のように良好な通信環境を期待できない環境で有効である。

大域的な情報を利用できない不利益を補うために、群知能アルゴリズムの1つである粒子群最適化手法 (PSO) を採用した。PSOは、自律的な探索ロボットの実装で定評のあるアルゴリズムであり、先行研究も多数ある。しかしながらすべて障害物のない環境でのシミュレーションに基づく研究であり、多数の障害物があるという現実での実験研究はない。

われわれは、これまで研究を進めてきた移動ソフトウェアエージェントを使用して、障害物が多数存在する状況下でPSOを用いた自律型探索ロボットシステムを開発することで、この問題を解決することを目的とした。

PSOを採用するロボットシステムでは、各ロボットが座標と速度ベクトルをもち、それぞれ任意の初期値から、センサからの局所的な情報と、ある大域的な情報をもとに確率的に位置と速度ベクトルを更新して自律的に目標物へと近づいていく。ここで大域的な情報とは、目標物から発せられる信号であり、われわれは、放射線、電波発信器あるいは笛のような音波発信器を想定している。

3. 研究の方法

PSOを用いる群ロボット制御のアルゴリズムは、シミュレータ上で実装し理論的な有効性を確認している。また群ロボットの研究を通じて、移動ソフトウェアエージェントのパッケージも完

成している。ここで提案する研究は、シミュレータ上で有効性が確認されたアルゴリズムの実機での有効性の確認である。解決しなければならない問題は、アドホック通信による移動ソフトウェアエージェントの効率的な実装と、障害物のある不整地での走行が可能なハードウェアの製作と実験である。全体を3年計画とした。

モバイルエージェントは自律的にコンピュータ間を移動しながら処理を行うプログラムのことである。各コンピュータに実行されているエージェントサーバを移動しながら処理を行う。われわれは、ロボット制御にモバイルエージェントを用いた。

モバイルエージェントのメリットとして処理を行うプログラムの移動によって、コンピュータ間で行う処理の結果の送受信の削減が挙げられる。またエージェント自身がいるコンピュータ内でしか処理が行われないため、各コンピュータが非同期的にモバイルエージェントを実行できる。自律的に次の移動先を決定することにより、動的な経路変更が行えるため使用者が細かく指示を与える必要がない等が挙げられる。デメリットとして1回の移動に対する通信量が増えると、モバイルエージェントの利点を無効にする恐れがある。エージェントは自律的に動作するため、複数のエージェントが相互に協力してタスクを実行することができる。このようなエージェントをマルチエージェントと呼ぶ。

マルチエージェントシステムに用いられるエージェントは、他のエージェントと協力するというシステムの性格上、問題解決に必要な全機能や全データを持っていない。マルチエージェントシステムは全体を集中的に制御する機能がほとんどないところから一種の群知能システムと見られることもある。

われわれのエージェントシステムの概要は、次のとおり。1) メインシステムがほかの機体の情報を必要としたときに各クライアントを呼び出し、他の機体のサーバにアクセスする。サーバは情報をクライアントに返す。2) メインシステムはクライアントが取得した情報を元にアップデートする。そこから迂回路の作成をしたり、進む方向を変更したりする。

サーバはXMLRPCを用いて役割を担う。また、スレッドを用いているため、サーバとクライアントで単対多の通信を行う事が出来る。これにより、シミュレーション上で有効性が確認されている8台の機体を用いた通信を可能になった。サーバには自身の取得しているグローバルベストと自身のログを送るための関数をそれぞれ用意している。

クライアント側はサーバに定義された関数を呼び出すことができる。その際、関数の処理はサーバ側で行われ、戻り値の取得をクライアントで行う。そのため、メインシステムがそれぞれの値を必要とした場合にクライアントを呼び出すことで相手のサーバから値を取得出来る事ができた。

メインシステムにはロボットを動かすためのプログラムをインポートしている。システムは初期設定、数値の更新、キャリブレーション、直進、答えの判定、迂回できるかの判定、迂回、終了の状態に分かれている。その時の状況に応じてそれぞれの状態に移行することでシステムを実現した。初期設定と数値の更新はそれぞれPSOの数値の更新を行っているが、更新は初回以降に呼び出されるため、グローバルベストに通信を行って得た値を取得している。また、数値の更新では迂回機能の実現のために自身の座標をログとして取得している。それぞれの状態はこれらの処理を行った後、キャリブレーションの処理を行う。キャリブレーションと直進の処理ではロボットを実際に動かす処理を行っている。キャリブレーションは自身の現在の座標とPSOが求めた座標から求めた進むべき方向の角度の値を元にコンパスモジュールを用いてその角度に機体の向きを合わせる。その後、直進の処理に移行する。直進の際、障害物があれば動作を停止して迂回できるかの判定に状態を変える。直進に成功した場合は、答えの判定に移行する。答えの判定では、最初に定義した答えとなる座標と現在の座標を比較して座標が同じ場合に動作の停止を行う。異なる場合、グローバルベストを取得するクライアントを呼び出し、その後数値の更新の状態に移行する。迂回できるかの判定では、自身のログから迂回を行う為のクライアントを呼び出し、可能な場合、迂回の状態に移行し、不可能な場合、キャリブレーションに移行する。迂回の状態では迂回のためのクライアントが取得した座標を元に迂回を行う。その後、数値の更新に移行する。

グローバルベストの更新は、メインシステムが数値の更新を行う前に行った。クライアントは、サーバにグローバルベストを送信するよう要求する。その後、自身の保持するグローバルベストと値を比較し、より良い値を保存する。通信できない場合はなにもせず処理を続ける。

迂回経路の作成はメインシステムが障害物を検知した後に行った。クライアントは、サーバに座標のログを送信するよう要求する。その後、自身のログと相手のログを比較し、交わる部分がある場合、そこから迂回経路を生成する。その後、作成した経路を返す。交わる部分が存在しない場合、空のリストを返す。通信ができない場合は何もせず処理を続ける。

4. 研究成果

開発したシステムの概要について記す。探索ロボットとしては、エージェントシステムを実装するにあたり、マルチロボットを用いる。各ロボットは他のロボットと通信を行うので、無線のネットワークを構築する必要がある。また、センサやモータ制御を行うためにRaspberry Piを搭載した探索ロボットを製作した。製作したロボットを、図1に示す。

Raspberry PiはGPIOピンを使用し、センサからデータを取得する。PSOでは座標の共有が重要であり、正確な位置に移動できる制御が必要である。そのため、角度制御を行うためのコ

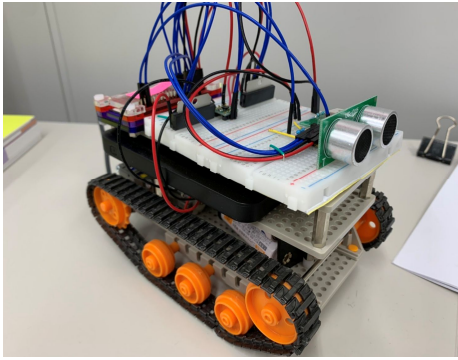


図 1．製作した探索ロボット

ンパスモジュールを搭載し、方角データを取得した。座標データは GPS モジュールを用いて取得する。また、障害物を検知し避けて移動するための超音波センサを搭載した。モータ制御においては WiringPi ライブラリを使用し、GPIO ピンからモータドライバに命令を送信する。貧弱なモータを搭載した機体の軽量化を図るため、Raspberry 3 の代わりに Raspberry Pi Zero WH を用いた。消費電力の減少に伴い、電源に使用していたスマートフォン用のモバイルバッテリーも一回り小さいものを用いた。本研究における機体は不整地での走行を想定し、無限軌道を有している機体である。その為、超信地旋回を行える機体となり、PSO における次点への方向転換を行うことが容易となった。

システム構成としては、次のとおり。拡張 PSO の機能をロボットとして動作させるために、それぞれの機能をマイクロコンピュータにモジュールとして搭載した。

目的地を取得としては、次のとおり。PSO が次の目的地を取得するためには、自身の座標を取得する必要がある。シミュレーションでは仮想的な座標を用いて自身の座標を取得していたが、これを実機上で実現するため、ロボット側で自身の座標を取得する必要がある。そのため、ロボットに GPS モジュールを搭載した。GPS モジュールは自身の緯度、経度を受信することができるが、精度には限界があるため誤差が生じる。同じ場所で座標を計測したとき、最大で 4 メートルから 5 メートルの誤差が生じることが分かった。われわれの機体では誤差が大きすぎるということがわかった。

進行方向の決定としては、次のとおり。シミュレーション上では与えられた機体の座標と目的地の座標を取得し、この二点の距離を求めることで進む方向を決定している。実機上でこれを表現するためには加速度による方向の取得を行う必要がある。進行方向を決定するために、ロボットにコンパスモジュールを搭載した。コンパスモジュールは、実機の向きから自身が向いている方向を受信することができる。しかしシミュレーションとは異なり、コンパスモジュールは磁場強度の値によっては正確な方向を図ることができないという欠点がある。そのため、場所によっては正しい方向を決定できないことがあることがわかった。

迂回機能の実現は、次のとおり。PSO に迂回機能を搭載するためには障害物を検知する必要がある。シミュレーションでは、自身の座標と加速度から障害物が向いている方向にあるかどうかを調べることで検知している。実機上でこれを表現するためには、ロボットが向いている方向に障害物があるかどうかを調べる必要がある。検知するために超音波センサを搭載した。

通信機能は、次のとおり。より最適な探索経路を求める為、GlobalBest を他の機体に送信する必要がある。また、拡張 PSO の機能である迂回を行うため位置情報も送信する必要がある。各機体は自身の座標を求め、Localbest、Globalbest を算出する。その後、機体同士の相互通信は RPC (Remote Procedure Call) を用い、Globalbest と緯度、経度をバイナリとして送信する。受け取った機体は自身の機体以前までの全機体の Globalbest と位置情報をもつ。

拡張 PSO の実現は、次のとおり。迂回を実現するためにそれぞれの機体は自身の座標を記録している。座標を記録するタイミングは、PSO が計算した向かうべき座標に移動した後にしている。迂回のためのログとして用いるため記録した座標は、リストに随時追加している。超音波センサが障害物を検知するタイミングは、キャリブレーションを行った後に、機体が直進する場面で行う。超音波センサが障害物を検知した場合、機体は迂回のための座標がないか調べる機能に移行する。迂回できる座標がないか調べるために、他の機体の座標を自身に送ってもらう。その後、互いの座標に交点がないかを調べるために、自身の座標と他の機体の座標を比較する。見つからない場合は、より良い座標が見つかった場合にそちらに移動できるように PSO を用いた移動を再び行う。見つかった場合、互いの座標と交点の情報をもとに迂回用の新しい座標を生成する。迂回用の座標は、自身の交点から現在の座標までのログを逆順に要素として追加した後、他の機体の交点から現在の座標までのログを順に要素として追加する。その後、製作した迂回用の座標の順に機体を移動させる。移動後、PSO を用いた移動を行う。

ロボットのスタート地点を A, B, C, D とし、プログラムを実行した。各始地点では、1) ロボットをフィールド中心に向ける、2) 外側に向ける、で行いフィールドから 1m 以上離れた場合は、開始地点に戻しプログラムを再度実行した。4 点からプログラムを実行すると、点 D では二回フィールドから大きく外れることを確認したが、機体は北東へむけ右周りをしながら動作した。右回りを行うのは角度調整をする為である。結果としてどの地点から開始した場合も半径 1m の円 E に向かった。円 E を通過後、プログラムが停止する事は確認できなかった。フィールドの中心に機体に向かうのではなく円 E へ向かうのは点 A で座標を取得する際に座標値がずれ、平均の値に偏りが生じてしまったと考えた。また、プログラムが停止しない要因は目的地座標の範囲指定ができていないと考えられる。

迂回機能の実装とその経路の送受信としては、1 台目のロボットの座標のログを 2 台目のロボットに送り、2 台のロボットの座標のログから迂回経路の作成を行った。また、GPS モジュール

を使いロボットの座標を取得した。座標の送信に関しては RPC を用いた。作成手順に関して、2つの座標のリストから同じ値の緯度、経度の座標がないかを調べた。存在した場合、1台目のロボットの座標の末端から交わり合う座標までの値を逆順に新しいリストに取得した。その後、2台目のロボットの交わり合う座標から末端の座標までの値を順にリストに取得した。

以上をまとめると次のとおり。実験結果から PSO を用いて目標地点を算出し、そこへ機体が移動する事を確認でき、また他の機体に対して情報を送信する事も確認できた。その一方で、目的地でプログラムが停止しない事態が頻発した。これは、目的座標の設定と GPS モジュール、コンパスモジュールの精度が悪すぎることを考えられる。これは本研究でシミュレーションを行った拡張 PSO の実機実装にも関わっている。シミュレーションで実行可能性が確認できても実際の実機での運用までには課題が山積していることが確認できた。通信方法においても、機体によっては、他の機体に比べ GlobalBest の精度が低いことがわかった。ハードウェア的な誤差や誤作動が大きいことが確認できた。ハードウェアとしての機体もより頑健で正確な制御のできるものが望ましい。製作した群ロボットが移動エージェントにより制御されている様子を図 2 に示す。

最終年度において、群ロボット上に、PSO に基づく探索アルゴリズムと協働作業のための連結アルゴリズムを搭載し、不整地での対象物の発見する群ロボットシステムを実装し実験することを目的とした。その場合不整地走行時に軽い傾斜でも転倒する恐れがあるので、連結することで不整地での走行を可能にするという目的があった。必要に応じてロボットを呼び寄せるアルゴリズムには、われわれがフェロモンエージェントを実装した方法を援用した。PSO の実装に用いたロボットに連結機能を実装することはできなかったが、別途不整地走行用のロボットを製作し、連結アルゴリズムを確認することができた。その様子を図 3 に示す。

本研究を通じて得た知見は、各ロボットの座標取得の困難さである。この点は、シミュレーションによるフィジビリティスタディでは見過ごされる点である。われわれも、本研究の計画時点では各ロボットの環境内での正確な位置を取得するという要件を計画に入れていなかった。したがって研究計画の遂行という点では問題はないのだが、実用性を考えると問題である。この問題を迂回するために、GPS を用いた位置情報の取得へと研究を進め、誤差を伴いながらも遂行することができた。しかし原子炉建屋のような屋内閉所かつ GPS データの取得がむずかしい環境での利用を考えると実用的ではない。レーザーレンジファインダー等を用いて、地図を作成しつつ探索を遂行するロボットが望ましいことがわかった。マップビルディングの研究は世界中で行われているが、現状標準的なものはない。多くの研究者が試行錯誤を繰り返しているのが現状である。われわれも、図 3 に示したような頑健なロボットを用いて、不整地を協働して進みながらマップビルディングを行う群ロボットの研究を継続して進めたいと考えている。

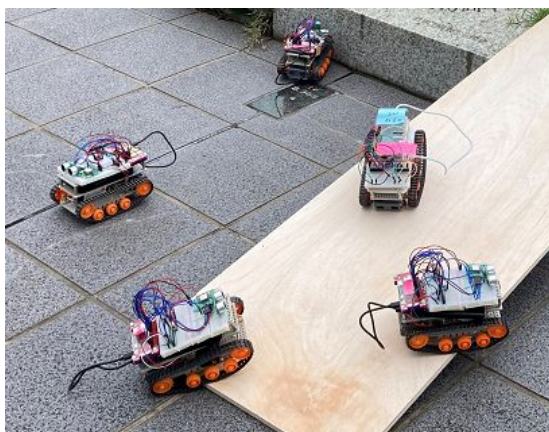


図 2 . 製作した探索ロボット

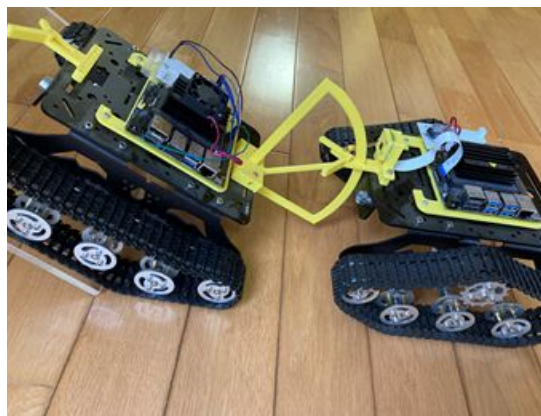


図 3 . 不整地走行のため 2 台のロボットが連結した様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yasushi Kambayashi, Hideaki Yajima, Tadashi Shyoji, Ryotaro Oikawa, Munehiro Takimoto	4. 巻 6
2. 論文標題 Formation Control of Swarm Robots Using Mobile Agents	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Vietnam Journal of Computer Science	6. 最初と最後の頁 193-222
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Tadashi Shoji, Munehiro Takimoto, Yasushi Kambayashi
2. 発表標題 Capture of Multi Intruders by Cooperative Multiple Robots Using Mobile Agents
3. 学会等名 International Conference on Agents and Artificial Intelligence（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasushi Kambayashi, Taichi Sekido, Munehiro Takimoto
2. 発表標題 Capture of Intruders by Cooperative Multiple Robots Using Mobile Agents
3. 学会等名 International Conference on Intelligent Human Systems Integration: Integrating People and Intelligent Systems（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masashi Omiya, Munehiro Takimoto, Yasushi Kambayashi
2. 発表標題 Development of Agent System for Multi-Robot Search
3. 学会等名 International Conference on Agents and Artificial Intelligence（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keita Nakai, Kousuke Yamashima, Tomoki Tanaka, Yasushi Kambayashi, Munehiro Takimoto
2. 発表標題 Multi-Robots Exploring Maze-like Area with Ad-hoc Communications
3. 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideaki Yajima, Tadashi Shyoji, Ryotaro Oikawa, Munehiro Takimoto, Yasushi Kambayashi
2. 発表標題 3D Formation Control of Swarm Robots Using Mobile Agents
3. 学会等名 Joint Conference on Knowledge-based Software Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Oda, Munehiro Takimoto, Yasushi Kambayashi
2. 発表標題 Mobile Agents for Robot Control Based on PSO
3. 学会等名 International Conference on Agents and Artificial Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideaki Yajima, Ryotaro Oikawa, Munehiro Takimoto, Yasushi Kambayashi
2. 発表標題 Practical Formation Control of Swarm Robots Using Mobile Agents
3. 学会等名 Intelligent Systems Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoya Ishiwatari, Yasunobu Sumikawa, Munehiro Takimoto, Yasushi Kambayashi
2. 発表標題 Cooperative Control of Multi-Robot System Using Mobile Agent for Multiple Source Localization
3. 学会等名 International Conference on Swarm Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yasushi Kambayashi, Ryotaro Oikawa, Munehiro Takimoto	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Intech	5. 総ページ数 80
3. 書名 Multi-Agent Systems	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	滝本 宗宏 (Takimoto Munehiro) (00318205)	東京理科大学・理工学部情報科学科・教授 (32660)	
研究分担者	松澤 智史 (Matsuzawa Tomohumi) (20385529)	東京理科大学・理工学部情報科学科・講師 (32660)	