

令和 2 年 7 月 10 日現在

機関番号：25503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12676

研究課題名（和文）多目的自律移動ノードのための経路探索手法

研究課題名（英文）Traveling Path Search Method for The Multi-purpose Mobile Node

研究代表者

山本 眞也 (YAMAMOTO, Shinya)

山陽小野田市立山口東京理科大学・工学部・講師

研究者番号：10552375

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：ホームサーバで様々な目的を持った複数のアプリケーションが自律移動ノードを動作させるようなスマート環境を想定し、少数の自律移動ノードによる効率的なタスク解決の実現を目標に研究を行った。成果として、汎用性の高い環境マップの生成システム、多目的自律移動ノードのための走行経路探索アルゴリズム、効率的なタスク割り当てによる複数の自律移動ノードによる協調動作アルゴリズムを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、掃除ロボットや警らロボットなどの普及をはじめとして、様々なシーンで自律移動ノードが一般的なものとなった。今後、環境モニタリングなどをはじめとして様々な目的を持ったアプリケーションがそれぞれにたくさん自律移動ノードを動作させることが想定される。このような状況について、要件を整理しロボット間で競合のないよう効率良く制御するための基盤としての要素技術を研究するものである。

研究成果の概要（英文）：In the future, we will have many applications on the home server using multi-purpose mobile nodes. The research goal was to solve tasks efficiently using a small number of autonomous mobile nodes in smart environments. In the results, a versatile environment map generation system, a traveling path search algorithm for multi-purpose autonomous mobile nodes, cooperative algorithm with task allocation for multi-purpose autonomous mobile nodes, I proposed.

研究分野：ユビキタスシステム

キーワード：移動経路探索 自律移動センサノード SLAM

1. 研究開始当初の背景

近年、掃除ロボットの普及をはじめとして、ユビキタスコンピューティングやセンサネットワークなどの分野において、自律移動ノードが一般的なものとなった。今後、各種情報家電の自動制御、環境モニタリングをはじめとして、様々な目的を持ったアプリケーションがホームサーバで複数同時に稼働することが予想される。このような環境において、複数のアプリケーションが自律移動ノードを動作させることを想定したとき、アプリケーションごとに動作する自律移動ノードが決まっている場合には、特定のタスクをスケジュール通りに解決するためだけの自律移動ノードが数多く必要になる。これは、待機状態ではノードを持って余し、稼働状態では複数の自律移動ノードがそれぞれの別の目的を持って所せましと一斉に稼働することになる。また、ひとつの自律移動ノードを複数のアプリケーションで共有する場合には、それぞれのアプリケーションが目的を達成するために自律移動ノードを占有して動作させてしまうと、似たような経路を何度も周回することになり効率が悪い。よって、複数のアプリケーションが要求するタスクを集約し、様々なセンサや無線通信モジュールを備えた汎用性の高い少数の多目的自律移動ノードの協調動作によって複数のタスクを効率良く解決するための一度の周回で複数のタスクをできるだけ多く解決する経路を生成する経路探索アルゴリズムが必要になる。

このような多目的自律移動ノードの経路探索アルゴリズムには、従来の掃除ロボットで使われるような逐次的な経路探索アルゴリズムではなく、効率的な経路を事前に探索することが望ましい。また、このような移動経路探索アルゴリズムでは、自律移動ノードの待機位置となるベースステーションからどのように移動し、どのタスクを達成するか、そのためにはどのような経路が存在し、どの経路を選択するかを決定するうえで、自身の位置推定やそのための対象空間の環境マップが必要となる。

現在までに、自律移動ノードが自己の位置推定と環境マップの作成を並列して行う SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) と呼ばれる手法により自律移動ノードの位置推定や環境マップの生成が可能となり、市販の掃除ロボットをはじめとして、広く利用されはじめている。その他にも、加速度センサや無線 LAN の電波強度などの情報を利用したフットプリント型の屋内マップ作成手法も多く提案されている。しかし、これら既存手法の多くは各個人の位置推定を主な目的としているため、作成される環境マップは機能・性能の違う自律移動ノード間で共有したり、他のソフトウェアにそのまま流用したりするのは難しく、汎用性が低い。様々な環境に多様なセンサおよび自律移動ノードが導入されるにともない、様々なソフトウェアで環境マップの需要は高まると考えられるが、それぞれが別々の環境マップを作成するのは効率が悪い。よって、汎用性の高い環境マップを生成できるシステムも必要となる。

2. 研究の目的

本研究では、ホームサーバで複数のアプリケーションが動作するスマートスペースを対象とした少数の自律移動ノードによる効率的なタスク解決の実現を目的として、

- (1) 汎用性の高い環境マップの生成システム
- (2) 多目的自律移動ノードのための経路探索アルゴリズム
- (3) 経路およびタスクの分割による自律移動ノードの協調動作アルゴリズムの実現を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、目標を達成するために、以下の課題を設定した。

まず、汎用性の高い環境マップの生成システムを実現するにあたって課題として以下を設定した。

- (1) レイヤ構造をもつ環境マップを生成する SLAM の実装
- (2) 一般的な SLAM による点集合からなる環境マップデータを線分集合からなる環境マップデータへの変換アルゴリズム

また、多目的自律移動ノードのための経路探索アルゴリズムを実現するため、以下の課題を設定した。

- (3) 環境マップから自律移動ノードが走行可能な経路の算出アルゴリズムの設計・実装
- (4) タスクを効率良く解決するための経路探索アルゴリズムの設計・実装

さらに、経路およびタスクの分割による自律移動ノードの協調動作アルゴリズムを実現するために、以下の課題を設定した。

- (4) 複数ノードによるタスク分割アルゴリズムの設計・実装
- (5) 異種ノード間の協調のためのタスク分割アルゴリズムの設計・実装

4. 研究成果

まず、汎用性の高い環境マップを生成できるシステムを構築するため、図1のような階層構造を持つ環境マップを考案した。これは、間取り図のような共通する環境マップは共有しつつ、解決すべきタスクや用いる自律移動ノードが対象とする要素だけを抽出し利用できるようにするためである。これによって、他のノードが得た環境マップの更新情報も反映しやすいものとするのができると考えた。まず、この階層構造を持つマップを実現するために、現実的なデータを得ることを目的として、研究開発用ルンバに RaspberryPi2, UTM-30LX を搭載し、ICP アルゴリズムを導入した SLAM を実装した。次に、所属する大学のゼミ用の個室を計測し、環境マップを生成した(図2左)。この環境マップは、一般的な測域センサを用いて生成しているため、頂点集合からなる。これを後述するボロノイ図を用いた走行経路算出アルゴリズムで利用できるようにするため、また不要な頂点を削除し、データ量を削減するために線分集合からなる環境

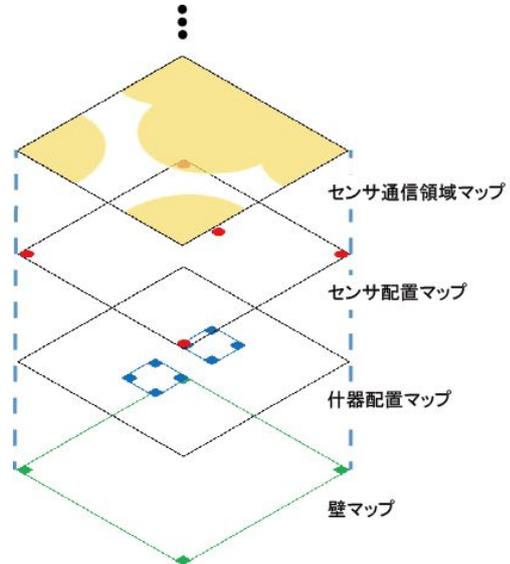


図1 階層構造をもつ環境マップ

マップへと変換するアルゴリズムを考案し実装した。具体的には、まず頂点集合からなる環境マップを画像へと変換する。このとき、変換誤差が小さくなるよう、用いる測域センサの公差を十分に考慮し、1ピクセルあたりのスケールを決める。次に、ハフ変換を用いて線分を抽出する。次に検出された線分を水平成分、垂直成分に分け、線分の

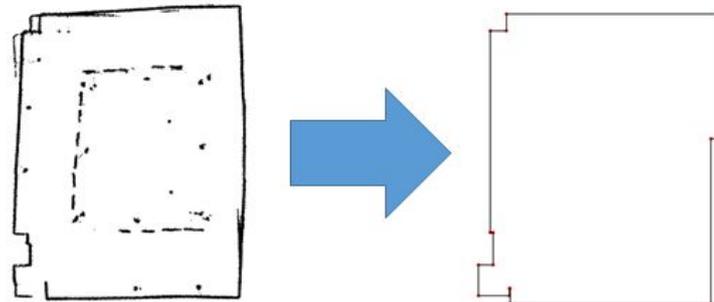


図2 ハフ変換を用いた環境マップのデータ変換

長さ順にソートし、最も長い線分の端点からなる長方形内部に端点が存在する同じ方向成分の短い線分は同一の線要素であるとみなし、すべて削除する。また、長方形内部に完全に属する短い直線も同一の線要素であるとみなし削除する。さらに、十分に短い線分もノイズとして削除する。次に、残った線分をそれぞれ延長し交点を求める。このとき、生成された交点までの距離が元の線分よりも短い場合はそれを採用する。また、2本の線分が平行である場合には、互いの線分の間に垂線を引くことで補間する。これを繰り返し、線分による閉路が生成されるまで繰り返す。閉路に属さない線分はノイズであるとして削除する。これによって十分に少ない線分からなる部屋の壁をあらわす環境マップを生成することができる(図2右)。このアルゴリズムは部屋内部に設置された什器にも利用可能であり、これによって、図1における壁マップと什器配置マップを生成することが可能となる。これを用いることで、後述する自律移動ノードの走行可能路を生成することが可能となる。また、生成された壁マップ、什器配置マップを基準に、センサの配置マップや電波強度マップを重ね合わせることで構造化された環境マップを構築することが可能となる。本研究成果の一部は、主宰する研究室所属学生の学士論文として発表された。

自律移動ノードの走行経路を決定するための準備として、自律移動ノードが走行可能な通路を算出する手法を考案した。提案手法では、まず、壁と什器の配置をあらわす頂点集合と線分集合をフロアマップとして用意する。これは、前述のハフ変換を用いた線分の集合による環境マップを用いる。このとき、計算を簡略化するため、什器が矩形でない場合には、それを内包するAABB(Axis-Aligned Bounding Box)を什器として扱うものとする。また、このアルゴリズムで用いるボロノイ図が母点間の垂直二等分線を用いた領域分割であるという性質上の制約から、什器が配置されていない場合には、対象空間の中央に頂点を置き、仮想的な什器として扱うこととする。次に、フロアマップの頂点集合を母点するボロノイ図を作成し、フロアマップの線分集合と交点を持つボロノイ線を削除する。また、ボロノイ線の削除によってできたどの線分とも接続されていないボロノイ点を削除する。この操作によって残ったボロノイ線とボロノイ点は壁と

什器の間を通る通路の一部である線分集合とそれをなす頂点集合となり、自律移動ノードが走行可能な経路の集合としてみなすことができる。このようにして生成された線分集合を走行経路、これらからなるマップを走行マップと呼ぶ。もし、生成された走行可能路が閉路になっていない場合には、壁や什器を内包する AABB の線分集合について、それぞれの線分の中点を新たに頂点として追加し、閉路が生成されるまで繰り返す（図 3）。このようにして生成された走行可能路は、多数の線分からなるが、連続した 3 点を任意に選び、両端からなる線分が AABB の線分と交点を持たない場合には、中点を削除することが可能であり、十分に少ない線分で再構成が可能である。本研究成果は、国内研究会発表 4 本（1 本のデモ発表を含む）、国際会議発表 1 本をおこない、平成 29 年度 山下記念研究賞を受賞した。

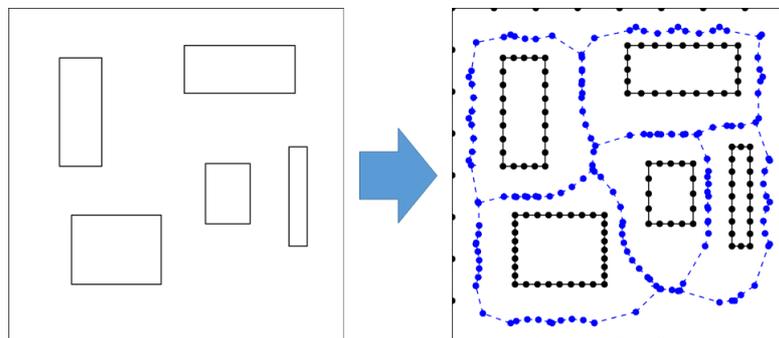


図 3 ボロノイ図による走行経路の算出例

タスクを効率良く解決するための経路探索アルゴリズムでは、まず、先述の走行マップに自律移動ロボットが待機するホームステーションとそこへのパスを追加する。次に稼働させるノードの台数を決める。このとき、ホームステーションからもっとも近い位置で発生したタスク、もっとも遠い位置で発生したタスク、選ばれたタスクからもっとも遠いタスクという風に稼働させるノードにひとつめのタスクを割り当てる。以後はその時点での合計所要時間が短いノードにその時点での位置から近いタスクを割り当てる貪欲法をベースとして順次割り当てていく。このとき、ある特定のノードでしか解決できないタスクが最後まで多く残る場合など最終的に所要時間が偏った場合には、最も所要時間の長いノードから他のノードでも解決するとのできるタスクを割り当て直すことによって所要時間なるべく偏らないよう調整を行うことによって、各ノードの所要時間を平均化する。これによって、発生したすべてのタスクをなるべく短時間で解決する。

実験では、シミュレーションによって、2 台の自律移動ノードがホームステーションから同時に出発し、それぞれのノードに割り振られたタスクを解決し、すべてのノードがホームステーションに帰ってくるまでの所要時間を計測した。仕様した走行経路は、1 辺が 1500mm の 3×3 グリッドからなり、ノードは 1mm 移動するために 2ms、180° 旋回するために 1500ms を要するものと仮定する。また、設定されたタスクは、どちらか一方のノードでしか解決できないタスクがそれぞれ 5 個、どちらのノードでも解決できるタスクが 5 個として、合計 15 個のタスクを経路上にランダムに配置する。比較対象として、タスクをランダムに選び、片方のノードにしか解決できないタスクではそのノードに、どちらでも解決できるタスクを選んだ場合には、その時点での所要時間が短いノードが作業を解決する逐次方式のランダムアルゴリズムを採用した。ただし、簡潔化のため、どちらのアルゴリズムも次のタスク位置までは最短距離を走行できると仮定し、またタスクを解決するための所要時間は発生しないものとした。シミュレーションを 1000 回試行した結果が図 4 である。この結果、タスクを逐次的に割り当てるより十分に短い時間ですべてのタスクを解決することができており、効率的にタスクを割り当てることができている。また、算出された走行経路を実際のロボットに ROS のコードとして実装したところ、ほぼ同様の結果を得ることができ、実際に利用可能であることを確認した。本研究成果の一部は、主宰する研究室所属学生の学士論文として発表された。

実験では、シミュレーションによって、2 台の自律移動ノードがホームステーションから同時に出発し、それぞれのノードに割り振られたタスクを解決し、すべてのノードがホームステーションに帰ってくるまでの所要時間を計測した。仕様した走行経路は、1 辺が 1500mm の 3×3 グリッドからなり、ノードは 1mm 移動するために 2ms、180° 旋回するために 1500ms を要するものと仮定する。また、設定されたタスクは、どちらか一方のノードでしか解決できないタスクがそれぞれ 5 個、どちらのノードでも解決できるタスクが 5 個として、合計 15 個のタスクを経路上にランダムに配置する。比較対象として、タスクをランダムに選び、片方のノードにしか解決できないタスクではそのノードに、どちらでも解決できるタスクを選んだ場合には、その時点での所要時間が短いノードが作業を解決する逐次方式のランダムアルゴリズムを採用した。ただし、簡潔化のため、どちらのアルゴリズムも次のタスク位置までは最短距離を走行できると仮定し、またタスクを解決するための所要時間は発生しないものとした。シミュレーションを 1000 回試行した結果が図 4 である。この結果、タスクを逐次的に割り当てるより十分に短い時間ですべてのタスクを解決することができており、効率的にタスクを割り当てることができている。また、算出された走行経路を実際のロボットに ROS のコードとして実装したところ、ほぼ同様の結果を得ることができ、実際に利用可能であることを確認した。本研究成果の一部は、主宰する研究室所属学生の学士論文として発表された。

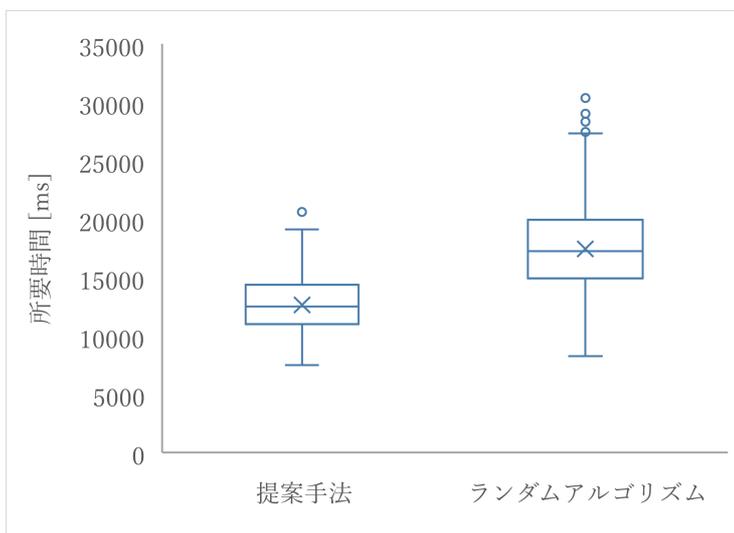


図 4 条件付きタスク割り振りにおけるタスク解決までの所要時間の分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Katsuma, R., Yamamoto, S.
2. 発表標題 Constructing Traveling Route for A Multi-purpose Mobile Node Using the Voronoi Diagram
3. 学会等名 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本 眞也, 勝間 亮
2. 発表標題 ポロノイ図による移動センサノードの走行経路生成
3. 学会等名 第26回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 正岡 汰一, 山本 眞也
2. 発表標題 多目的自律移動ノードのための自動バッテリー交換コンポーネントの提案
3. 学会等名 第84回 コンピュータセキュリティ研究会・第178回 マルチメディア通信と分散処理研究会 合同研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 眞也, 勝間 亮
2. 発表標題 ポロノイ図を用いた移動センサノードのための巡回経路探索アルゴリズムの提案
3. 学会等名 第170回マルチメディア通信と分散処理・第76回コンピュータセキュリティ合同研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本 真也, 勝間 亮
2. 発表標題 移動センサノードのためのポロノイ図による巡回経路生成アルゴリズムの提案
3. 学会等名 第25回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2017)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔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