

モバイルロボット群向け eventual leader election の提案

東原大記[†] Marin Bertier^{††} Xavier Defago[†]
林原尚浩^{†††} Michel Raynal^{††} 滝沢 誠^{†††}

本稿では、自律分散型モバイルロボットのグループ内でリーダーを選出するアルゴリズムの提案をおこなう。モバイルロボット間における協調的動作は、複数台の自律分散型モバイルロボットをグループで利用する場合、重要な問題となる。モバイルロボットをグループとして利用して実行するタスクの中には、特定のモバイルロボットをリーダーとする事で実現が容易になる場合がある。モバイルロボットは、バッテリーの電力が無くなる場合や、事故などにより物理的に損傷し利用できなくなる場合があるため、リーダーは動的に選べる事が望ましい。我々は、各ノードの安定性をもっとも信頼できるノードをリーダーとするアルゴリズムに注目し、モバイルロボット向けのリーダー選出方法へ応用をした。

1. はじめに

本稿では、モバイルロボット向けの eventual leader election に関して述べる。

近年、複数台の自律分散型モバイルロボットをグループとしての利用方法が注目されている。自律分散型モバイルロボットのグループを用いて実行するタスクの中には、特定のモバイルロボットをリーダーとして利用する事が望ましい場合がある。モバイルロボットを用いる環境は、時間とともに動的な変化をするため、モバイルロボットを利用する前に予めリーダーを決めておく事は望ましくない。また、モバイルロボットは、バッテリーが無くなったり事故などの理由で物理的な故障をするなどの理由で利用ができなくなる場合があるため、動的にリーダーを選出できる事が望ましい。

leader election Ω とは、システム内の全てのノードがリーダーノードの情報を持っており、システムが安定している間は、全てのノードが共通のノードをリーダーとするリーダー選出アルゴリズムの1つである。したがって、システムが安定しない間は、ノードごとに違うノードをリーダーとしている場合がある。また、全てのノードが共通のノードをリーダーとした後も、システムの状態によってはリーダーノードが変更する場合もある。

¹⁾は、初期情報と通信経路に前提条件をつけた eventual leader Ω のアルゴリズムである。各々のノードは、初期情報として他のノードの情報を必要とせず、通信経路はメッセージの遅延と消失がある事を前提とする。全てのノードは、メッセージをハートビートし、最もメッセージの遅延と消失の少ないノードを信頼性の高いノードとしてリーダーを選ぶ。また、ノードが故障する可能性がある事も前提としており、モバイルロボットを利用する環境での応用が可能である。しかし、全てのノード間で通信が可能である事が重要であり、物理的に移動をする事が前提であるモバイルロボットに直接利用するためには、モバイルロボットを利用する環境にネットワークのインフラストラクチャを配置する事が重要となる。また、1つのグループがネットワーク的に複数の小さなグループに分裂した場合には、お互いに通信ができないため、リーダーを選出する事はできない。

我々は、¹⁾を基本としたモバイルロボット向け eventual leader Ω の提案をする。

2. システムモデル

本章では、我々が提案する自律分散型モバイルロボット向けの eventual leader Ω のシステムモデルに関して述べる。

モバイルロボットは、自律的に移動することができるが、 Ω がモバイルロボットの移動を制御はしない。各モバイルロボット固有の正の整数型の ID があるが、ID が連続した数値である必要はない。モバイルロボッ

[†] 北陸先端科学技術大学院大学

^{††} Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires.

^{†††} 東京電機大学

ト間は、無線の ad-hoc ネットワークを利用する事でのみ通信可能であり、ID は通信でのみ識別可能である。モバイルロボットはバッテリーが有限であるため、無線ネットワークを用いたメッセージの交換数を少なくし、エネルギーコストを抑える事が望ましい。無線ネットワークは電波を用いるため、特定のモバイルロボットへメッセージを送信する場合と不特定多数のモバイルロボットへメッセージのブロードキャストをする場合もエネルギーコストは同じであるため、メッセージは不特定多数のモバイルロボットへのブロードキャストとする。

モバイルロボットは、任意の位置に配置可能であるが、無線ネットワークの利用可能範囲に対して広すぎない範囲にあるものとする。また、無線ネットワークは、有線ネットワークに比べ通信遅延などが大きい不安定な環境であるため、モバイルロボットの移動速度は無線ネットワークの通信遅延などに対して速すぎない速度で移動する。

モバイルロボットは、初期情報として各々の ID と位置情報のみがある。他のモバイルロボットの総数や ID、位置情報などはない。

モバイルロボットのグループが複数のグループに分裂している状態では、共通のリーダーを選出する事はできない。よって、システムの安定とは、¹⁾で述べられているシステムの安定に次の条件を追加する。全ての正常なモバイルロボットが、ネットワーク的に1つのグループとなり分離されていない状態をシステムの安定とする。

3. システムの概要

前述の通り、本稿で述べるリーダー選出アルゴリズムは、¹⁾を基本とし、グループ内でネットワーク的に最も安定したモバイルロボットをリーダーとする。全てのモバイルロボットが共通のリーダーを示す場合は、システム内の全てのモバイルロボットが出会った後、システム全体が安定した時である。

システムは、2つのタスク T1 と T2 で構成される。T1, T2 それぞれの動作を以下に示す。

T1: 全ての正常なモバイルロボットは、各々が正常に動作している事を他のモバイルロボットへ伝えるためにメッセージをブロードキャストする。ブロードキャストするメッセージは、次の情報を添付する。1) メッセージを送信するモバイルロボットの ID。2) メッセージを送信するモバイルロボットのローカル時計の最新の値。3) メッセージを送信するモバイルロボットが有する全てのモバイルロボットの不安定性に関する情報。4) メッセージを送信するモバイルロボットが最後に受信したメッセージの送信元の ID とローカル時計の値。

T2: T2 は、タイムアウトの監視とメッセージの受信

の2つの動作で構成される。タイムアウトの監視は、受信したメッセージの送信もとに対してのみおこない、最後にメッセージを受信してから、ある時間内に次のメッセージを受信しなかった場合には、モバイルロボットの不安定性を1つあげる。また、他のモバイルロボットの T1 によりブロードキャストされたメッセージを受信した場合の動作を、次に示す。T2-1: メッセージを送信したモバイルロボットのメッセージを初めて受信した場合: 送信元の ID をメンバーリストに登録する。T2-2: 受信したモバイルロボットが持つ各モバイルロボットの不安定性と受信したメッセージが持つ各モバイルロボットの不安定性を比較し、不安定性の高い方の情報を比較対象としているモバイルロボットの不安定性として上書きする。また、ある時間 t_1 でメッセージを受信し、その後タイムアウト状態にあるモバイルロボットの情報と受信したメッセージの4)の情報とを比較し、他のモバイルロボットがタイムアウト中のモバイルロボットから新しいメッセージを受信していないかを確認する。タイムアウト中のモバイルロボットからの新しいメッセージを他のモバイルロボットが受信している場合には、タイムアウト中のモバイルロボットのリストから削除しタイマーを停止する。以上を繰り返し、最も不安定性の低いモバイルロボットをリーダーとする。

4. まとめ

本稿では、複数台の自律分散型モバイルロボットのグループ内でのリーダー選出アルゴリズムの提案の概要に関して述べた。リーダー選出アルゴリズムは、メッセージのブロードキャストを用いる事で、メッセージを受けたモバイルロボットが送信元のモバイルロボットの信頼性を疑うシステムである。リーダーは、最も信頼性を他のモバイルロボットから疑われていないモバイルロボットになる。移動するモバイルロボット間で無線の ad-hoc ネットワークを用いてリーダー選出を行う場合、グループのメンバーはネットワークの有効範囲から遠すぎない場所を各々が移動する前提条件が重要となる。

問題点としては、全てのモバイルロボットが一つのグループとなっている間のみシステムが安定している状態とすると、システムが安定している時間が短い事が考えられるため、実際にシミュレーションなどで実験することが重要である。

参考文献

- 1) Antonio Fernández, Ernesto Jiménez, Michel Raynal: Eventual Leader Election with Weak Assumptions on Initial Knowledge, Communication Reliability, and Synchrony. DSN 2006, pp. 166-pp. 178.