

# 複数ロボット協調動作のための位置と動作タイミングの同期法

## Position and time matching for multiple mobile robot cooperation

学 吉田 智章 (筑波大学) 正 大矢 晃久 (筑波大学) 正 油田 信一 (筑波大学)

Tomoaki Yoshida, Akihisa Ohya, Shin'ichi Yuta, University of Tsukuba

*Key Words* : Multiple Mobile Robots, Cooperation, Ultrasonic Sensor

### 1 はじめに

複数の移動ロボットを協調させて動作させる場合、それぞれのロボット間で動作のタイミングを合わせることで、動作を行う位置の基準を合わせることが重要である。本研究では複数移動ロボットのアプリケーションのうち、あらかじめ矛盾しないように決定された複数のロボットの動作を複数移動ロボットの「コーディネートされた動作」と呼ぶこととし、本稿ではそのコーディネートされた動作を実現するためのフレームワークについて述べる。

このフレームワークでは、例えば2台で1つの剛体を搬送するといった、ロボットの相対位置関係を短いサイクルでフィードバックして動作が決定するアプリケーションは扱わない。

### 2 コーディネータとパフォーマ

コーディネートされた動作を計画、実行する実体として、コーディネータとパフォーマの2つを考える。コーディネータは動作計画を保守するプログラムであり、パフォーマはコーディネータの指示により計画された動作を実行するプログラムである。(Fig.1) コーディネータ、パフォーマのどちらも複数のロボットそれぞれの上で動く。

ロボット群全体がどのような動作をするかを決定するのはコーディネータ群であり、ロボット群の動作の計画や決定のレベルにはパフォーマは関与しない。動作中に計画した動作が実現不可能であることが判明した場合には、コーディネータがロボット間で計画の調停をし、パフォーマに計画の変更、もしくは新たに計画した実行可能な動作を指示する。

本研究では、コーディネータを十分にサポートするパフォーマを開発し、またコーディネータの記述を支援するライブラリを構築する。さらに、その上で一つのコーディネートされた動作の一例として、複数移動ロボットの隊列走行を実現するコーディネータの作成を試みる。

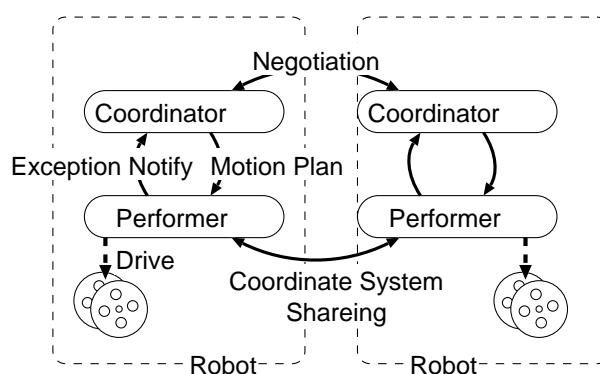


Fig. 1: Coordinators and Performers

#### 2.1 パフォーマ

パフォーマは、複数のロボット間での一つの座標系を共有する機能と、コーディネータの指示に従い動作計画を実行する機能の2つをもつ。ロボット間で一つの座標系を共有することにより、コーディネータは動作指示を行うロボット間で座標系ずれ(誤差)を考慮せずに動作を計画することができる。動作計画は、ロボットの走行経路と同時に、位置と到達目標時刻で定義される「同期ポイント」によって表現される。パフォーマは、指示された走行経路を同期ポイントの到達目標時刻を満たせるようにロボットを走行させる。複数のロボットで、それぞれのパフォーマがコーディネータの計画した動作を実行することにより、ロボット群全体としてのコーディネートされた動作が実現する。

##### 2.1.1 ロボット間での座標系の共有

複数のロボットは一つの座標系を共有し、コーディネータは共有した座標系上で動作を指示する。複数のロボットが行動中に生じるロボット間の座標系の誤差はパフォーマが以下の方法により吸収(修正)する。

各ロボットに搭載した超音波距離センサで環境中の壁

を探し、各ロボットが発見した壁が同一のものであった場合観測データの差からロボット間の座標系の定義の誤差を検出する。環境中の壁の検出はロボットが移動しながら超音波距離センサによって複数回環境を測定し、測定した位置と測距データから超音波の反射点を推定し、複数の推定反射点から平面の壁を検出する手法 [1] を用いる。検出した誤差は、ある 1 台のロボットの座標系に一致するように他のロボットが座標系を定義し直すことで修正する。

この手法では複数のロボットが環境中の同じ壁を観測できる必要があるものの、あらかじめ環境地図等の知識を必要としないため広い用途に応用でき、フレームワークに用いる手法として適している。

### 2.1.2 動作記述の実行

パフォーマンスは、走行に関連する、経路を構成する線分と円弧の終端検査および乗り換え、同期ポイントの目標時刻を満たす走行速度設定、経路上の障害物検査を行う。

動作計画実行中に同期ポイントに到達できないことがわかった場合、パフォーマンスはコーディネータに同期が不可能であることを通知し、コーディネータに実現可能な行動の再計画を依頼する。コーディネータは同期ポイントを再設定するかジオメトリ情報を含めて行動を再計画する。

#### 同期ポイントを目標とした速度設定

パフォーマンスは同期ポイントに至る経路は与えられるがその経路を走行する速度は与えられず、同期ポイントに適切に到着する速度を動的に設定する。各ロボットのパフォーマンスが同期ポイントまでの道のりと時間から走行速度を設定して走行することで、すべてのロボットが同時に同期ポイントに到達する。

#### 同期できない場合の対処

走行すべき速度がロボットの最高速度を越えてしまった場合、ロボットは指定時刻までに同期ポイントに到着できないことになる。この場合はパフォーマンスは個別のロボットのレベルで対処することはできない。そこで、コーディネータに計画が実行不可能であることを通知し、ロボット群のレベルでの行動計画の変更を依頼する。

#### 行動記述の変形 (時間軸方向のスケール/シフト)

指定時刻までに同期ポイントに到着できないことが判明した場合コーディネータは新規に行動を再計画して指示することもできるが、同期ポイントの目標時刻を遅らせることで計画が実行可能になる場合は再計画するよりも簡単に行動を再開できる。

パフォーマンスはコーディネータの指示により、同期ポイントの時刻をオフセットの追加によって遅らせる、もしくは同期ポイント間の時間を定数倍することで、全体の進行速度を落として実行不可能であった行動を変形して実行する。このとき、オフセット量やスケール率はコーディネータがロボット群全体

で実行可能になる値を選択し、すべてのロボットに同じ値を適用する。

このような時間軸方向の変形による対処は、経路の定義とその数がロボット間で共通である必要はないが、同期ポイントについてはすべてのロボットの目標時刻が同じである必要がある。

## 2.2 コーディネータ

コーディネータはパフォーマンスに動作計画を指示し、必要ならば実行時に計画を追加、変更、もしくは中止の処理を行う。

動作計画は、走行すべき経路の定義リストと、他のロボットと動作を同期するための同期ポイントの位置と時刻の定義リストによって記述する。同期ポイントでは定義した位置と時刻にロボットが到着している保証があるが、到着できない場合には、それがわかった時点でパフォーマンスから通知される。ロボットは同期ポイント間では定義した経路を走行するが、走行する速度はパフォーマンスが決定するのでコーディネータがあらかじめ知ることはできず、同期ポイント以外のある時刻の各ロボットの位置をあらかじめ仮定することはできない。そのため、各ロボットが十分に同期して動作するにはある程度細かく同期ポイントを設定する必要がある。

コーディネータはパフォーマンスから動作計画が実行不可能であると通知を受け取った場合、他のロボットで動作しているコーディネータ群と交渉し、ロボット群の全体としての動作計画の中止、もしくは変更を決定し、それぞれがパフォーマンスに通知して対応する。

コーディネータが指示するコーディネートされた動作としては、例えばロボット群の隊列走行があげられる。同じ経路で、同期ポイントを前後にずらして設定したロボット群は縦列を形成して走行し、経路を平行に並べて設定したロボット群は横列を形成する。

## 3 まとめ

本稿ではコーディネートされた複数移動ロボットの動作を実現するフレームワークについて述べた。コーディネートされた動作は、動作計画の指示と保守を行うコーディネータと、その計画を実行するパフォーマンスの 2 つのシステムによって実現する。フレームワークとしてはコーディネータの記述を支援するライブラリとパフォーマンスを用意する。

今後は一つのコーディネータの例として隊列行動を実現する隊列コーディネータを実装し、このフレームワークの実用性を検証していく予定である。

## 参考文献

- [1] 山本 貴志, 前山 祥一, 大矢 晃久, 油田 信一, ”超音波センシングによる壁面検出に基づく自動位置修正システム”, 第 16 回日本ロボット学会学術講演会, vol.3, pp.1581-1582, 1998-09, 札幌