

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目： 基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号： 19560262
 研究課題名（和文） J A U S を用いた群システム協調のためのミドルウェア開発
 研究課題名（英文） Development of RT-Middleware for Multi-Robot Systems using JAUS

研究代表者
 橋詰 匠（HASHIZUME TAKUMI）
 早稲田大学・理工学術院・教授
 研究者番号：90103621

研究成果の概要：群無人システムのための通信規格を中心としたアーキテクチャ仕様である JAUS を実用化されている無人機に導入することで、システムの流用性を含めた柔軟な運用手法を開発した。無人機を2台用いてプラトーン走行を実施し、先頭車両を基地局からの遠隔操縦によって操縦し、その軌跡を後方車両に追従させる試験を行い、従来では困難であった制御動作中の前後車両の入れ替えも、遠隔基地局から伝送するコマンドを変更するだけで対応ができ、システムの運用変更を容易に実現することが可能となった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：ロボティクス、移動ロボット、群システム、協調行動

1. 研究開始当初の背景

情報処理、通信技術の飛躍的進歩により、自律システムの実用化が促進され、様々な移動システム、移動ロボットの開発が行われている。現在、このロボティクス技術を大きく超えた機器・システム間の協調行動が可能な自律分散システムに関する研究が盛んに行われている。例として、高速道路における車両のプラトーン走行、危険区域に適用する搬送システム、ロボカップにおける最適行動等の研究開発などが挙げられる。こういった情報処理技術や情報通信技術を組み合わせることで活用することによる、高度で多様な目的を有

する大規模な分散システムが構築され、実用化が非常に期待されている。

現在の自律分散システムに関して、最も盛んに研究が行われている分野は、搬送システムにおけるような情報処理技術を利用したアルゴリズム開発である。人工知能や群知能をより高度にすることによって、より効率的な動作を実現しようといったものである。しかし、研究レベルではシミュレーションでの研究例が多いのが現状である。災害地利用の研究では、災害用に開発されたロボットやセンサなど大規模にシステムを複合させ、共通プロトコルとデータベースにより相互に情

報を共有することが可能な、大規模分散システムを構築している。しかし、各機器による災害地での情報収集が主目的のシステムであり、主にデータベースを經由し情報を共有しているために、時々刻々と変化する環境にも対応可能なリアルタイム環境情報を共有することにはまだ対応しきれていない。最も大規模で実用化に近いものとして、ITSを応用した乗用車のプラトーン走行がある。これによって高速道路等での自動運転等が期待できるが、現状ではテストフィールドでの整備された環境下での実験であり、他に外乱的要素は含まれておらず、条件が限定的であると言える。さらに、実際に運用されることを想定すると、様々な物が混在する任意環境にも対応可能な柔軟なシステムを構築する必要がある。

これらの問題点の解決には、相互情報の活用のため、オープンなプラットフォームを導入しつつ、周辺環境情報をリアルタイムに相互交信し、個々のシステムが自律的に判断しながら、柔軟な運用が可能なシステムアーキテクチャを構成する必要がある。

2. 研究の目的

そこで本研究では、現在アメリカ国防総省が主導となって推進し、アメリカの産学官の連携によって標準化が進んでいる主に移動システムなどの無人システムのためのオープンアーキテクチャ J AUS (Joint Architecture for Unmanned Systems) を、無人システムとして実用化されている屋外自律監視システムに適用する。複数台の自律走行車両が協調し、動作するシステムを通して、限定条件が少なく、柔軟な運用が可能となる汎用的な自律分散システムを構築し、分散システムの有用性、さらにこのようなシステムアーキテクチャの有効性を明らかにする事を本研究の目的とする。

具体的には、J AUS を、実用化が達成されている構内自律監視システム内の自律走行車両にまず適用する。そして複数台の自律走行車両によって協調行動を実現することによって、柔軟な運用が可能となる自律分散システムを構築する。この分散システム構築の確認を行うために、基本的な協調動作であるプラトーン走行 (前方の車両の軌跡を後方の車両がリアルタイムに追従可能とする) の開発を行い、そしてさらに、前方/後方と役割をシームレスな交換を可能にすることを目標とする。これが実現されることにより、状況によってそれぞれのプラットフォームがハードウェア・ソフトウェアの改修を行わなくとも、役割を柔軟に変化し、様々な状態に適応可能な運用が可能となる。さらに、J AUS を利用した群システム協調のためのミドルウェアを開発することで、従来からの通信ア

ーキテクチャの資産を引きつづることが可能であり、加えて、自律移動システムの流用性が高まると考えられる。

3. 研究の方法

(1) J AUS の無人機への導入

J AUS とは、アメリカ国防総省が提唱している、主に移動システムなどの無人システムにおけるオープンアーキテクチャである。無人システム間における内部・外部コミュニケーションを可能とする共通言語の役割を持ち、J AUS を導入する事によって、システムのライフサイクルコストを軽減させ、無人システムの導入を容易にする。これまで作成してきたフレームワークも再利用し、システムに挿入することも可能となる。具体的に、J AUS では、 subsystem、 node、 component/instance で構成される階層が各 H/W、S/W に対して定義される (図 1)。また、階層間での通信プロトコルが規定されているため、開発資源の相互流用および機器の入れ替えが容易になる。つまり、J AUS を導入する事で、ライフサイクルコストの軽減、開発期間の短縮を図ることができることに加え、共通化プラットフォームの導入により、サブシステム自体の入れ替えまでも含んだ、システムの柔軟な運用が可能となる。

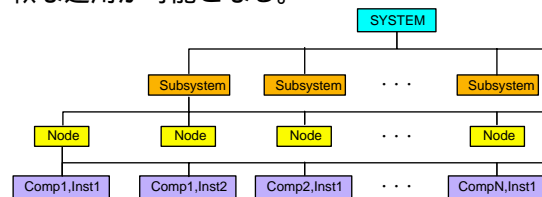


図 1 J AUS アーキテクチャ構造

本研究では、J AUS を実用化されている無人機に導入することで、システムの流用性を含めた柔軟な運用を実現する。まず、本研究で用いる無人機は、移動監視システムとして実用化されている、高精度な自律制御が可能な複数の車両を用いる。この車両は、GPS/DR (Dead Reckoning) 複合により、位置精度 2 ~ 3 [cm]、姿勢誤差 0.1 [deg] 以下で位置・姿勢標定が可能である。そして、各無人機および遠隔基地局を subsystem に割り当て、各 subsystem 間を規定されたプロトコルに則り通信することで、J AUS が規定した Level 1 での自律分散システムを構築する。

(2) J AUS による自律分散システムの実現

J AUS を利用して、基本的な無人機の協調動作であるプラトーン走行が実現可能なことを確認する。具体的には、無人機のステータスを J AUS プロトコルに変換し、無人機間でリアルタイムに相互通信することで、前方の無人機の軌跡を後方の無人機が高精度に

追従することを可能にする。また、プラトーン走行における前方・後方車両をシームレスに交換することで、各 subsystem 間での機能入れ替えが可能なことを示す。以上を実現するために、まず操作情報、位置・姿勢情報を送受信可能な JAUS コンポーネントのメッセージを選定する。システム内において使用される機器を JAUS 規定のコンポーネントと照らし合わせ、プラトーン走行のためのシステムの JAUS 化を行う。

以上の自律分散システムの評価のために、実環境における走行試験を行い、これによって、無人機に JAUS を導入することで、煩雑な H/W、S/W の改修を行わなくとも、システムの柔軟な運用が可能となることを示す。

4. 研究成果

(1) JAUS 対応無人車両プラトーン走行システムの構築

図2に JAUS に対応した無人車両のプラトーン走行システム図を示す。ここでは理解が容易になるように、前方車両と後方車両の役割分担を明確に分割したシステム図となっている。

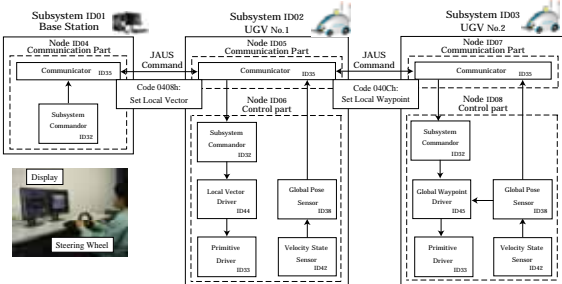


図2 JAUS アーキテクチャ構造

このシステムの特徴として、実際の両車両サブシステム内の Subsystem Commander 以下の制御は両方とも同じになっており、送信されてきた JAUS メッセージによって Subsystem Commander が、Local Vector Driver を起動させ遠隔操縦を行うか、Local Waypoint Driver を起動させ前方車両の追従を行うかを判断するシステムとなっている。これによって、従来は困難であった前方後方という Master-Slave 関係のシームレスな入れ替えを可能としている。このように JAUS では、コンポーネントを拡張し、メッセージでそのコンポーネントの起動条件を与えることにより、システム全体の拡張性も高める事が可能となる。

また、本研究では現有の2台の自律走行車両を対象とするが、前方の車両を“認識”して追従しているわけではなく、あくまで送信されてくる位置情報を元に移動制御を行っているため、3台、4台と走行車両が増加しても、そのサブシステム ID が分かれば、さ

らに多くの自律走行車を連結したプラトーン走行が可能となる。

(2) プラトーン走行によるシステムの評価

プラトーン走行の確認

JAUS に対応した自律走行車両にて分散システムが構築され、2台の車両の連携による実際のプラトーン走行を確認するために試験を行った。試験条件としては、車両速度は一定で 4[km/h]、高精度自己位置を取得するために GPS 衛星数は5個以上で常に Fix 解が得られていることを条件とした。

図3に、プラトーン走行による走行試験の様子を示す。立っている人間の間に縫うように前方車両が移動し、その経路を後方の車両が高精度に追従している。急旋回を繰り返しているが、人に衝突することなく走行している様子がわかる。人間が移動し巡回するルートが突然変化しても、リアルタイムに Waypoint を送受信し走行しているために、このような瞬時の対応が可能となる。この結果より、2台の自律走行車両によるプラトーン走行が実現した事がわかる。

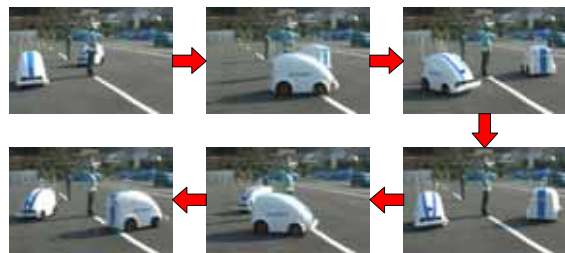


図3 プラトーン走行実験

プラトーン走行中の前後車両の入れ替え

図4では、プラトーン走行を行い、一旦停止後、後方で追従を行っていた車両を操縦し、停止中の前方車両を追い抜き、追い抜かれた元前方車両が今度はその操縦されている車両を追従している様子がわかる。従来では、このような機能変更を行うにはハードウェアかソフトウェアの変更を余儀なくされていた。しかし、本試験により、本システムではシームレスな入れ替えが可能となっていることがわかる。このように本システムの特徴でもある JAUS メッセージの送受信により、その内部機能を瞬時に変更することが可能となる事がわかる。



図4 プラトーン走行中の車両の入れ替え

走行軌跡評価

追従中の自律走行車両の自己位置データのログを取得することで、追従性能を確認す

る。図5において、プラトーン走行を10[min]行った際の2台の車両軌跡を示す。赤い線が前方の車両の軌跡であり、青い丸が後方車両の軌跡を現している。この図より、時間が経過しても、複雑な走行を行った際でも、追従機能は低下しておらず、長時間の運用も可能であることを示した。

次に、追従が高精度に実現されている事を確認する。図6、図7にプラトーン走行時の直線、旋回時における追従性を示す。直線時の軌跡を詳細に見ていくと、 ± 5 [cm]以下の精度で追従している事がわかる。自律走行車両に単体の走行試験において、走行前に予め設定した経路との走行軌跡との精度が ± 5 [cm]であった。そのためリアルタイムに前車両の追従を行っても、同程度の性能を得られている事が確認できた。

また旋回時の軌跡を見ていくと、直線走行時と比較すると、精度としては劣っているが、経路から一旦外れても次には復元しており、本研究にて開発を行った JAUS を用いた手法でのプラトーン走行はロバスト性が非常に高いことを確認した。

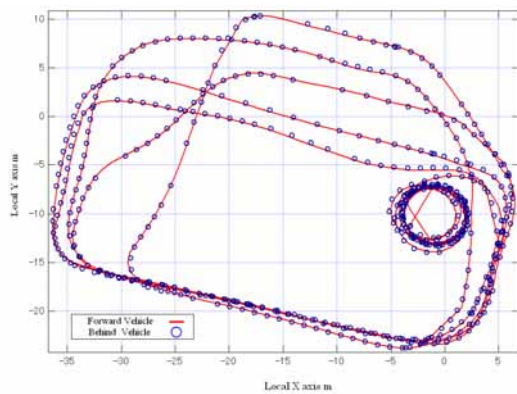


図5 プラトーン走行軌跡

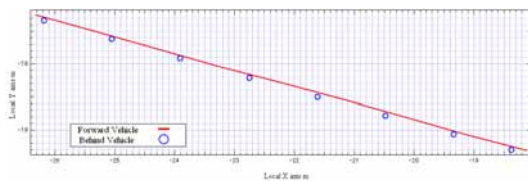


図6 追従性能評価(直線時)

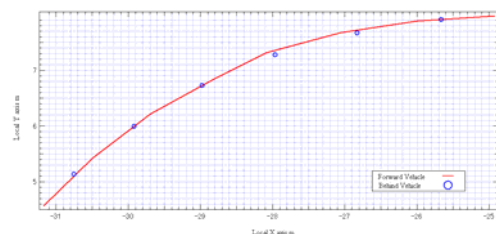


図7 追従性能評価(旋回時)

以上のことから、従来の自律走行車両を分散システム化するために JAUS を用い、アー

キテクチャによってシステムを再構成することにより、システム間で情報を交換し合うことで従来の単体のシステムで可能なことよりも多くのアプリケーションを生み出す事が可能となる。本研究では、高精度なプラトーン走行という機能が付加を行った。このように、JAUS を用いることにより、一からのシステムの再構成を行わなくすむために、容易にシステムの分散化が可能であり、さらにメッセージ毎にまだ多くのアプリケーションも追加可能であり、汎用性、柔軟性を確認し、本提案のシステム構築が有効であることを確認した。将来、無人機を ITS のような大規模なシステムに応用する場合においても、周囲環境の総合情報をリアルタイムに相互通信可能なように拡張することで、限定条件が少なく柔軟な運用システムの構築が可能であることを示した。

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)

[学会発表](計 2件)

中村敦, 鈴木太郎, 目黒淳一, 天野嘉春, 橋詰匠, 瀧口純一, 屋外環境下で用いる自律移動システムに関する研究(第51報 環境の三次元点群情報を用いた車両の遠隔運転に関する研究), 第9回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI 2008), 2008

西岡甲太郎, 中村敦, 鈴木太郎, 天野嘉春, 橋詰匠, 曾根久雄, 瀧口純一, 屋外環境下で用いる自律移動システムに関する研究(第52報 環境の三次元地図情報を用いた車両の運転支援に関する研究), ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009(ROBOMECH 2009), 2009

6. 研究組織

(1)研究代表者

橋詰 匠 (HASHIZUME TAKUMI)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号: 90103621

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

天野 嘉春 (AMANO YOSHIHARU)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号: 60267474

瀧口 純一 (TAKIGUCHI JUN-ICHI)
早稲田大学・理工学術院・准教授
研究者番号: 50449344