

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：23800032

研究課題名（和文） 環境情報の不確かさを考慮した複数移動体のフォーメーション制御

研究課題名（英文） Multi-vehicle formation control with the uncertainty of environmental information

研究代表者

根 和幸 (KON KAZUYUKI)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80614297

研究成果の概要（和文）：

本研究では複数移動体のフォーメーション走行に関する研究を実施した。その成果としては、モデル予測制御に基づく自己位置推定の不確かさを考慮した制御系設計を行った点とフォーメーション制御に基づく協調探索問題への応用を図った点が挙げられる。前者では、位置推定に誤差がある中でも、移動体同士の衝突回避の保証を与える制御系を提案した。また、後者ではフォーメーション走行により協調的に環境を探索し逃亡者捕獲を行う手法を提案した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, the multi-vehicle formation control problem is addressed. The research results are categorized into 2 parts; multi-vehicle formation control with localization uncertainty and collision avoidance, and cooperative formation control method for pursuit-evader problem. In the former part, we proposed the MPC based controller which ensures the collision avoidance among vehicles even under localization uncertainty. In the latter part, we applied the formation control method to the pursuit-evader problem, and proposed the method in which the vehicles explore the environment cooperatively.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2012年度	1,300,00	390,000	1,690,000
2013年度	1,200,00	360,000	1,560,000
総計	2,500,00	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：知能情報処理・知能ロボティクス

キーワード：移動ロボット、フォーメーション制御、衝突回避、モデル予測制御、Pursuit-Evader問題

1. 研究開始当初の背景

近年、パーソナルモビリティに関する研究開発が盛んに行われている。立ち乗り型や座り乗り型のモビリティなど用途・利用者に応じて様々なものが開発されている。これらは、従来の公共交通機関が苦手とする短区間で

の移動や、個人へ特化したサービスを実現する可能性があるため今後の普及が期待されている。また、パーソナルモビリティの安全性や利便性を向上するため、パーソナルモビリティに“自律機能”を付加することを目的とした研究も報告されている。例えば、自律

移動機能や歩行者のパーソナルスペースを考慮し、歩行者との衝突回避を行う研究、パーソナルモビリティと歩行者との親和性について報告した研究などがある。

このようなパーソナルモビリティの研究開発の進展やパーソナルモビリティを取り巻く環境・制度の改善に伴い、今後その普及が進むものと考えられる。パーソナルモビリティが普及すると、多数のパーソナルモビリティが歩行者や自転車などと同じ環境を走行することになり、様々な問題が生じると考えられる。実際、電動車いすを中心としたパーソナルモビリティの利用が広く普及している欧州諸国の一部の福祉施設では、昼食時など大勢の車いす利用者が一度に移動する際、廊下などで渋滞し身動きがとれないなどの事象が報告されている。また、複数の電動車いすが同時に移動する際、前方の急停車した電動車いすに気づかずに、衝突してしまったなどの事象も報告されている。日本においては、歩道に歩行者、自転車、車いす、電動車いす、電動三輪・四輪車など多様なモビリティが混在する環境下にある。走行速度の異なるそれぞれのモビリティと、衝突から保護する手段を持たない歩行者との間での重大な事故が想定される。今後、上記のような「統率のとれないモビリティ」が町中や公共施設にあふれる事が予想される。

以上のように、「安全な共存移動の問題」の解決を図ることが今後、重要となると考えられる。このような背景のもと、複数のパーソナルモビリティが安全で効率的に移動ができるようにする必要がありと考え、フォーメーション走行機能の研究開発を行うこととした。

2. 研究の目的

フォーメーション走行機能とは、複数のモビリティが協調して集団で移動するための機能であり、各自がバラバラに走行するのと比較し安全で効率的な移動ができるものと期待される。これまで、著者らはモビリティ同士の衝突回避を考慮したモデル予測制御に基づくフォーメーション制御手法を提案してきた。本研究では、これまで提案してきた、パーソナルモビリティ同士の衝突や障害物回避を統一的に取り扱うことができるモデル予測制御手法に基づく手法を発展させ、実環境で適用可能な手法を提案する。これにより、複数のモビリティ同士が安全な共存走行を実現するフォーメーション制御手法を構築することを目的とする。さらに、“移動”だけでなく、よい上位のタスクである“作業”に応用も目指す。

3. 研究の方法

モデル予測制御に基づく手法では、制御対象の入力制約や衝突回避制約などシステム自体の持つ制約条件や障害物回避制約など環境に由来する制約条件を陽に取り扱うことができるため、衝突回避・障害物回避を含めた統一的なフォーメーション制御を実現できると考えられる。実際、これまで提案してきた制御手法は移動体同士の衝突回避を考慮したものであった。その一方で、実験室環境での運用しか考えられておらず、パーソナルモビリティが運用される実環境への応用を考えた場合には解決しなくてはならない課題が多数存在している。特に、障害物情報といった環境情報はあらかじめ与えるという仮定、モビリティの自己位置は外部から与えられるという仮定などは実環境では満たすことが困難な条件である。現実には不確かさを含むセンサ情報から環境情報を構築しなくてはならず、この不確かさの影響も陽に考慮しなくてはならない。このような不確かさを衝突回避・障害物回避に付加し、より安全性の高いロバストなフォーメーション制御を実現することが必要である。

以上のように、実環境でのフォーメーション走行機能を実現するには、「環境情報の構築」および「環境の不確かさを考慮したロバストな制御系設計」が必要であると考えられる。本研究では、これらの点に着目し、まず構築した環境情報に基づき、その不確かさと衝突回避を考慮した制御系設計を行い、その有効性を確認する。次に、“移動”タスクだけでなく、“作業”に応用した問題に対してフォーメーション制御系の適用を図るという手順により研究を進める。

4. 研究成果

本研究の成果は主に2つに分けられる。それぞれについて以下にその詳細を記す。

(1) 「衝突回避と自己位置推定の不確かさを考慮した複数移動体のモデル予測編隊制御」

本項目では、ロバストモデル予測制御手法に基づき、これまで著者らが提案してきた編隊制御手法の拡張を行った。図1に示すように自己位置に不確かさが存在する場合でも移動体同士の衝突回避を保証しながら目標の編隊形状を達成する制御手法を提案し、より現実的な環境に適用可能な編隊制御系の構築を行った。

提案手法では、図1で表される自己位置推定の誤差に上界が存在するという仮定の下、制御系の設計および衝突回避の保証について議論を行った。まず、自己位置の不確かさがモデル予測制御で用いる予測モデルに与える影響の上界値を求め、その上界値に基づ

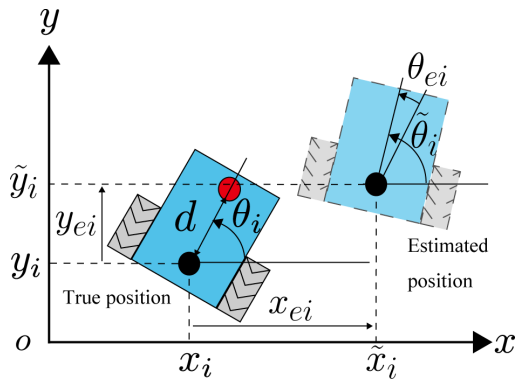


図1 自己位置推定の不確かさ

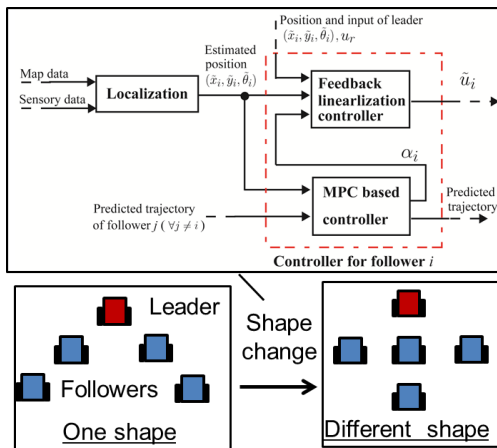


図2 提案手法の制御器構成

き衝突回避を考慮した最適制御問題を構成した。その制御器の構成は図2に示すものであり、各移動体に対して適用される。これにより、従来手法では保証されなかった自己位置に不確かさが存在する場合でも、最適制御問題の可解性と移動体同士の連続時間上での衝突回避の保証を実現した。

提案手法の有効性は数値例によっても確認された。図3,4は移動体が4台の場合についてのシミュレーション結果を示したものである。図3は提案手法による結果、図4は従来手法による結果であり、移動体の軌跡を示している。なお、このシミュレーションでは、移動体の自己位置推定はパーティクルフィルタに基づく手法により行い、自己位置に不確かさが含まれる状態とした。図4,5のように従来方法では衝突が生じ、目標の形状が達成できていないことが確認できる。一方、提案手法では不確かさがあるなかでも衝突回避を行い目標の形状を達成できていることが確認できる。

今後の課題としては、以下の点が挙げられる。まず、提案手法では制約条件を厳しくすることによって、ロバスト性を確保しているため、軌道の保守性は高くなり、実現可能な編隊の形状が制限されてしまうという問題

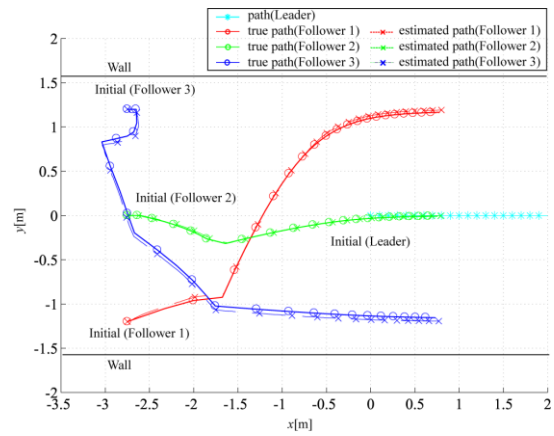


図3 移動体の軌跡(提案手法)

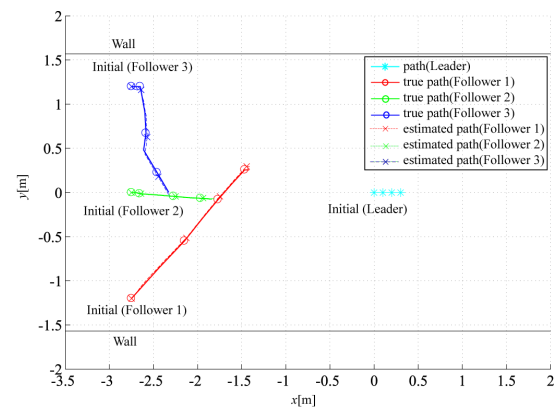


図4 移動体の軌跡(従来手法)

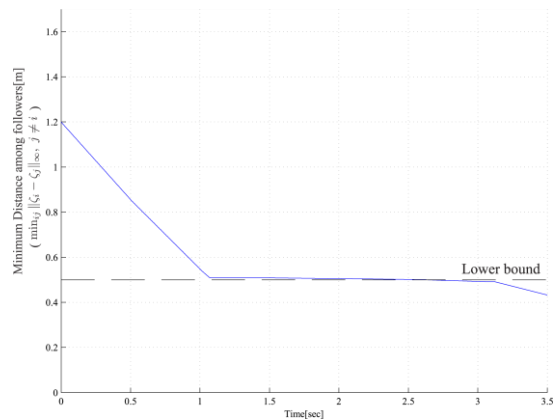


図5 移動体間の距離(従来手法)

が存在する。この保守性を低減化するためには、適切に不確かさの上限を設定する必要がある。そのためには、複数台の移動体が協調して自己位置推定を行うことで精度を高めるなどの方策も必要であると考えられる。また、収束性についての議論や、未知環境への適用を図ることも必要である。

なお、本項目に関する研究成果を発表した論文 (IEEE/SICE SII2012) では Young Authors Award を受賞するなどの成果も挙げた。

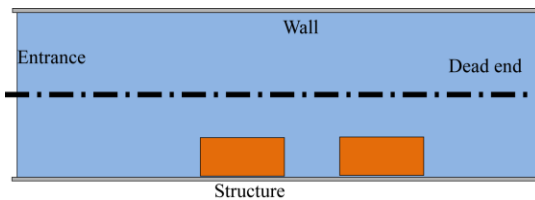


図 6 対象とする環境

(2) 「未知障害物のある環境における複数ロボットによる移動体の協調追い込み」

(1)では、“フォーメーション”を複数台での集団移動に用いた研究を実施した。一方、フォーメーション走行は移動機能だけでなく、より上位のタスクへの応用も可能である。本項目ではこの点に着目し複数台の移動体による協調探索タスクへの応用を行った。具体的には、図 6 に示すような環境中を複数台の移動体(追跡者)が協調して、環境中に存在する対象(犯人)を探索する問題(Pursuit-Evader 問題)にフォーメーション走行を適用することを行った。

本研究で、取り扱った問題の特色としては、探索対象が非協力的で、移動速度が追跡者に対して十分大きいという点が挙げられる。これは追跡者である移動体が迫ったとしても逃亡可能な隙間さえが存在すれば、追跡者を回避して逃亡を行うような非協力的な対象であることを意味する。このような対象を確保するには、フォーメーション走行を行い、協調的に環境を探索することが求められる。

この問題に対し、衝突回避を考慮したフォーメーション走行に基づく複数台の移動体による探索手法を提案した。提案手法では、各ロボットが持つ有限範囲のセンサ情報を共有し、協調的な行動をとることによって一度探索した範囲に対象が再び入ることを防ぎながら全域を探索し、対象を捕獲する。この方法は環境に応じて、モードを切り替える手法であり、「基本隊形」、「分岐・合流」、「引き返し」、「再分配」、「反転」モードから構成される。また、その特徴としては、明示的に衝突回避プロセスを組み込む必要がない点、追跡者側が逃亡可能かどうかを考慮する必要がない点、協調的な行動をとることにより追い込みタスクにとって不要な動きが抑えられる点が挙げられる。

提案手法の有効性は、図 7 のように 10 台の移動体を用いたシミュレーションを行い、従来報告されている手法との比較により提案手法の有効性を確認した。この結果、提案手法が従来手法と比較し探索効率が優れていることが示された。

今後は、提案した手法を完全な未知環境に拡張すること、必ずしも通路を封鎖できない環境下で有限速度を持つ対象を追い込む問題に拡張するなどが挙げられる。

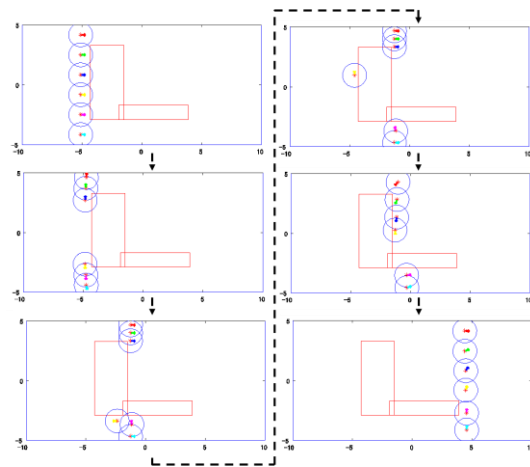


図 7 シミュレーション結果例

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)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- (1) Hiroaki Fukushima, Kazuyuki Kon, Fumitoshi Matsuno, Model Predictive Formation Control Using Branch-and-Bound Compatible with Collision Avoidance Problems, IEEE Transaction on Robotics (採録決定)

〔学会発表〕(計 2 件)

- (1) Kazuyuki Kon, Shohei Habasaki, Hiroaki Fukushima and Fumitoshi Matsuno, Model predictive based multi-vehicle formation control with collision avoidance and localization uncertainty, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Dec. 16, 2012, Fukuoka, Japan
- (2) 根和幸, 幅崎昌平, 福島宏明, 松野文俊, 衝突回避と自己位置推定の不確かさを考慮した複数移動体のモデル予測編隊制御, 第 55 回自動制御連合講演会, 2012 年 11 月 17 日, 京都

6. 研究組織

(1) 研究代表者

根和幸 (KON KAZUYUKI)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80614297

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし