

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：23901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16K00430

研究課題名(和文)フレキシブル車群協調による高効率走行に関する研究

研究課題名(英文)The Research on high-efficiency running by flexibly cooperating among vehicle groups

研究代表者

田 学軍 (Tian, Xuejun)

愛知県立大学・情報科学部・准教授

研究者番号：70305514

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：フレキシブルに自動車群の協調走行を実現するために利用可能な無線分散システムの通信方式を中心に研究を行い、利便性、高スループット、低遅延などの面で優れた新型通信方式を提案でき、成果が得られた。そして車群グループの結成と管理に関してOR(オペレーションズ・リサーチ)理論を用いて、数学的・統計的モデル、アルゴリズムの利用などの面から、最も効率的な方法を検討して車群管理に利用できる成果が多く得られた。また、自律移動型ロボットを用いて並進運動に着目し、ロボットの並進運動のみならず、旋回運動も考慮した場合、既報との差異である結果が得られた。これらの結果は車群のフレキシブルな走行制御に寄与するものと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は交通効率を向上するためにフレキシブルに走行中の自動車群の協調走行を実現し、ソフト一体化することを目的とし、新型高効率情報通信方式及び走行方式に関する研究である。制御方式、通信方式、OR理論による走行原則などの部分を整合して、車個体の相違を吸収して、道路状況への適応、省燃費、高い安全性を向上できる協調走行に関連する課題を幅広く検討した。ソフト一体化(自動車群は仮想的に一体となり、各自動車は車群全体の一部として全体または関連の一部から合意、協力を得て行動する)の優位性は本研究で明らかにした。本研究により交通事故の削減、渋滞緩和、省エネなどの面において大いなる意義をもたらすことができる。

研究成果の概要(英文)：The research focuses on the communication method of the distributed wireless system without control station, which can be used to realize cooperative driving of a group of running vehicles flexibly. The communication method is suggested to have characters of convenience for using, high throughput, low delay, etc. We were able to obtain good results and proposed a new communication method. Using OR (Operations Research) theory regarding the formation and management of vehicle groups, the most efficient methods can be examined from the aspects of mathematical/statistical models. In addition, we also focused on the translational motion using an autonomous mobile robot, and obtained the result that different from the previous report in the case of that not only the translational motion of the robot but also the turning motion was taken into consideration. The research results can contribute to cooperation running of the vehicle group.

研究分野：情報通信

キーワード：無線通信ネットワーク 通信プロトコル アクティブ型通信 意図合意 最適化 協調走行 走行制御

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) ITS 研究に関しては世界各国で積極的に推進されている。米国では ITS における協調システムのアプリ選定、プロトタイプ開発、フィールドテスト、安全性、受容性評価等の後、協調システムの搭載是非の政策決定が予定されている。

(2) 日本では交通事故対策、交通サービスの向上を図るため、情報通信技術を活用して、交通システムの各面においてマルチ展開で ITS を推進している。今までの ITS 研究において走行中の車両群を連携システムとする研究は未だなされていない。

(3) 現状では、車単体の自動運転、車々間通信、路車間通信、運転支援などの研究が主流で主に受動的な方式である。

2. 研究の目的

(1) 本研究は交通効率を向上するためにフレキシブルに走行中の自動車群の協調走行を実現し、ソフト一体化することを目的とし、新型高効率情報通信方式に関する研究である。

(2) 主流の研究—単体車がパッシブ的（受動的）に環境変動へ適応する対応策に関する研究の現状に対して本研究は発想の視点を変え、走行中の複数車からなる自動車群はアクティブ型通信により、追い越しなどの意図を事前に複数の関連自動車に伝達して合意の上で協調しながら走行する方式の可能性を検証する。

(3) 分散システム上で最適規則に基づいて制限時間内に合意を形成し、リアルタイムにドライバーまたは制御システムに合意情報を提供する。

3. 研究の方法

本研究をいくつかのサブテーマに分けて行った。

(1) 通信形態と方式の検討、関連車両から意図を受信する多対多通信形態と方式の検討、リアルタイム性を保証するプロトコルの設計

(2) 関連車両の状況に基づいた共通の最適化規則とアルゴリズムの研究

(3) 新型測位システムの開発

(4) 走行路線の計画、走行の制御アルゴリズム

(5) 実模型（実車サイズの 1/10 ロボカー）とコンピュータシミュレーションによる性能評価

4. 研究成果

(1) 協調走行に利用可能な無線分散システムの通信方式を中心に研究を行った。利便性、高スループット、低遅延などの面で優れる通信方式を検討した。協調走行を中心に幅広く研究の展開ができた。本研究は交通効率を向上するために自動車群の協調走行を実現することを目的とし、

追い越しなどの意図を事前に複数の関連自動車に伝達して合意の上で協調しながら走行する方式に適応できる通信方式、通信プロトコルの性能を評価し、伝送遅延、接続速度のなどの面から、タイムクリティカル通信を保証できるように新しい通信方式の提案をした。

(2) 車群グループの結成と管理に関して OR (オペレーションズ・リサーチ) 理論を用いて、数学的・統計的モデル、OR 理論を用いて、車群個体の特性の差別に着目して利己的な行動が存在した場合に車群全体への影響を調べた。数学的・統計的モデルとシミュレーションで提案の有効性、改善方法を確認し、アルゴリズムの利用などの面から、最も効率的方法を検討した。得た成果が車群管理のルール作成に役に立つ。

(3) 協調走行において車両の路線の決定と制御は重要となる。ロボットは通常の車両と走行性能の相違があるが、モデル予測制御に基づく軌道追従コントローラを提案した。走行ルートの設定と制御を中心に研究を行い、自律移動型ロボットを用いて並進運動などに着目し、実験結果などでモデル予測制御に基づく軌道追従コントローラを設計する方法を検討した。また、ロボットの並進運動のみならず、旋回運動も考慮している点が既報との差異である結果が得られた。これらの成果は、車群のフレキシブルな走行制御に寄与する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Y. Adachi, M. Ito, and T. Naruse	4. 巻 58
2. 論文標題 Online strategy clustering based on action sequences in RoboCupSoccer Small Size League	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Robotics, 8(3):58	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/robotics8030058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 M. Ito, R. Suzuki, S. Isokawa, J. Du, R. Suzuki, M. Nakayama, Y. Ando, Y. Umeda, Y. Ono, F. Kashiwamori, F. Kishi, K. Ban, T. Yamada, Y. Adachi, and T. Naruse	4. 巻 2019
2. 論文標題 RoboDragons 2019 Extended Team Description	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RoboCup 2019 Soccer Small-Size League, 8 p., Sydney, Australia	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 M. Nakayama and M. Ito	4. 巻 2020
2. 論文標題 Visual Feedback Interception of A Moving Ball by An Omni-Wheeled Mobile Robot with An On-Board Camera	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control and Optimization	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 N. Inagaki, T. Sasaki and Y. Kamiya	4. 巻 2019
2. 論文標題 A New Simple Approach Signal Analysis Suitable for Non-Contact Vital Sensing Using Doppler Sensor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 4th International Conference on Biomedical Imaging, Signal Processing (ICBSP2019), N2007	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R. Kokubo and Y. Kamiya	4. 巻 2019
2. 論文標題 A Novel Period Estimation Method for Periodic Signals Suitable for Vital Sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 4th International Conference on Biomedical Imaging, Signal Processing (ICBSP2019), N2008	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森 友哉, 宇都宮陽一, 田 学軍, 奥田隆史	4. 巻 139
2. 論文標題 混合整数線形計画法によるフォグクラウドコンピューティングシステムの最適設計	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 648-657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.648	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Santong Li, Xuejun Tian and Takashi Okuda	4. 巻 E101-B, 11
2. 論文標題 Adjusting Holdoff Algorithm Dynamically According to Network Conditions for Improving Performance of Wireless Mesh Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE	6. 最初と最後の頁 pp.2250-2258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二井 克, 奥田 隆史	4. 巻 139 巻 1号
2. 論文標題 機械学習を用いた一般トラヒック型待ち行列システムの性能評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 p. 98-105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.98	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 井手広康, 奥田隆史	4. 巻 vol.59, no.11
2. 論文標題 トランプにおける最適なシャッフルの組み合わせ	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 pp.2054-2062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 林秀和, 宇都宮陽一, 田学軍, 奥田隆史	4. 巻 7
2. 論文標題 マルチコプターを活用した遅延耐性ネットワークの提案被災地における情報伝達の安定化・効率化を目指して	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B	6. 最初と最後の頁 480-491
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yano and Y. Kamiya	4. 巻 11
2. 論文標題 A new approach for joint parameter estimation of continuously and non-continuously phase-varying multiple periodic signals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 81-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 三賀本直也, 宇都宮陽一, 奥田隆史	4. 巻 136
2. 論文標題 DTNシステムにおけるユーザの社会的行動の検証	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 1636-1642
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計36件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Xuejun Tian
2. 発表標題 A Novel MAC Protocol in Multi-hop Wireless Networks Through Dynamically Optimizing Backoff
3. 学会等名 WISATS 2019 - 10th EAI International Conference on Wireless and Satellite Systems (WISATS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Ito
2. 発表標題 RoboDragons 2018 Extended Team Description
3. 学会等名 RoboCup 2018 Soccer Small-Size League, 10 p., Montreal, Canada, June 2018; (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Ito
2. 発表標題 Trajectory tracking controller based on linear model predictive control for Omni-wheeled mobile robots with velocity command limits
3. 学会等名 IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control and Optimization, No. V1-7, V1: Video and Interactive Session 1, Chiba University, Chiba, 6 March 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Okuda
2. 発表標題 A Performance Evaluation of General Traffic Systems by Machine Learning
3. 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics TAIWAN (IEEE 2018 ICCE-TW), Taichung, Taiwan, A1-5, 19-21 May 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田隆史
2. 発表標題 機械学習による有限長待ち行列システムGI/G/s(K)の性能評価
3. 学会等名 信学技報, vol. 118, no. 408, IN2018-75, pp. 19-24
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥田隆史
2. 発表標題 強化学習を用いたフォグクラウドコンピューティングにおける分散処理制御手法
3. 学会等名 信学技報, vol. 118, no. 408, IN2018-74, pp. 13-18
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kamiya
2. 発表標題 A Simple Non-Contact Vital Sensing Method Using Doppler Sensors Applicable to Multiple Targets
3. 学会等名 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Yano, G. Kondo and Y. Kamiya
2. 発表標題 A new non-contact measurement of heartbeat variations for car drivers using Doppler sensors
3. 学会等名 2017 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Kamiya
2. 発表標題 A new simple preprocessing method for MUSIC suitable for non-contact vital sensing using Doppler sensors
3. 学会等名 10th International KES Conference on Intelligent Interactive Multimedia: Systems and Services (KESIIMSS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Tsuji and Y. Kamiya
2. 発表標題 A new simple estimation method of the number of persons by footsteps sounds
3. 学会等名 Proceedings of Life Engineering Symposium 2017(LE 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Kamiya
2. 発表標題 A simple space-time parameter estimation method suitable for non-contact vital sensing by Doppler sensors
3. 学会等名 Proceedings of Life Engineering Symposium 2017(LE 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Imai and Y. Kamiya
2. 発表標題 An image cancelling scheme for parameter estimation applicable to randomly phase-varying signals
3. 学会等名 Proceedings of Life Engineering Symposium 2017(LE 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 R. Takao, C. Miyajima, G. Kondo and Y. Kamiya
2. 発表標題 A signal processing scheme for vital sensing using a Doppler sensor to detect multiple bodies
3. 学会等名 Proceedings of Life Engineering Symposium 2017(LE 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤 源, 神谷 幸宏
2. 発表標題 複数のドップラーセンサを統合した生体計測システムの提案
3. 学会等名 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤 源, 矢野 邦哲, 神谷 幸宏
2. 発表標題 ドップラーセンサを用いたドライバ異常検出のための簡易生体計測アルゴリズムと性能検証実験
3. 学会等名 自動車技術会春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神谷 幸弘
2. 発表標題 ドップラーセンサを用いた学生の多次元状態モニタリング
3. 学会等名 第161回教育工学研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 日下部 宏幸・伊藤 正英・成瀬 正
2. 発表標題 速度制約のあるオムニホイール型移動ロボットに対するモデル予測制御コントローラ的设计と実験的評価
3. 学会等名 計測自動制御学会第5回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoya Mori, Yoichi Utsunomiya, X. Tian and Takashi Okuda
2. 発表標題 Queueing Theoretic Approach to Job Assignment Strategy Considering Various Inter-arrival of Job in Fog Computing
3. 学会等名 The 19th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森友哉, 宇都宮陽一, 田学軍, 奥田隆史
2. 発表標題 ジョブの多様な到着間隔を考慮したフォグコンピューティングにおけるジョブ割り振り戦略の検討
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2017) シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森友哉, 宇都宮陽一, 田学軍, 奥田隆史
2. 発表標題 待ち行列モデルを用いたIoTシステムのアーキテクチャに関する検討
3. 学会等名 SSOR中部支部
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Mori, Y. Utsunomiya, X. Tian and Takashi Okuda
2. 発表標題 Performance Evaluation of a Queueing Network for Job Assignment Problem on Fog Computing
3. 学会等名 平成29年度電気電子情報関係学会東海支部English Session
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三賀本直也, 宇都宮陽一, 奥田隆史
2. 発表標題 悪意を持つユーザの行動がDTNシステムに与える影響の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告(情報ネットワーク)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森 友哉, 宇都宮陽一, 田 学軍, 奥田隆史
2. 発表標題 フォグクラウドコンピューティングシステム最適設計のための一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告(情報ネットワーク)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Adachi, H. Kusakabe, R. Suzuki, J. Du, M. Ito, and T. Naruse
2. 発表標題 RoboDragons 2017 Extended Team Description
3. 学会等名 RoboCup 2017 Soccer Small-Size League (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 日下部 宏幸, 伊藤 正英, 成瀬 正
2. 発表標題 速度制約のあるオムニホイール型移動ロボットに対するモデル予測制御コントローラ的设计と実験的評価
3. 学会等名 計測自動制御学会第5回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Santong Li, Xuejun Tian and Takashi Okuda
2. 発表標題 Adjusting holdoff algorithm dynamically to network conditions for improving performance of wireless mesh networks
3. 学会等名 International Conference on Advanced Technologies Enhancing Education (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Yano and Y. Kamiya
2. 発表標題 A Simple Signal Detection and Waveform Estimation for Biometrics using Doppler Sensors
3. 学会等名 the 13th IEEE International Conference on Signal Processing (ICSP2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 K. Yano and Y. Kamiya
2. 発表標題 A new approach for joint parameter estimation of multiple phase-varying periodic signals in white Gaussian noise
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三賀本直也, 宇都宮陽一, 田学軍, 奥田隆史
2. 発表標題 ユーザの社会的行動を利用したDTNシステムの性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会、IN研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森友哉, 小林敏也, 宇都宮陽一, 奥田隆史
2. 発表標題 VCHS型待ち行列ネットワークの形態分析
3. 学会等名 電気学会「高臨場感マルチメディアのための情報通信と信号処理」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森友哉, 宇都宮陽一, 田学軍, 奥田隆史
2. 発表標題 フォグコンピューティングにおけるジョブ割り振り戦略の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 IN研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三賀本直也, 宇都宮陽一, 田学軍, 奥田隆史
2. 発表標題 社会的行動を考慮したDTNシステムにおける寛容な行動の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会 IN研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森友哉, 宇都宮陽一, 田学軍, 奥田隆史
2. 発表標題 フォグコンピューティングにおける多様なフォグノードを用いたクラウドの分散処理手法の検討
3. 学会等名 OR学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森友哉, 宇都宮陽一, 田学軍, 奥田隆史
2. 発表標題 VCHS型待ち行列システムの形態分析
3. 学会等名 平成28年度電気電子情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 宇野颯人, 林 秀和, 宇都宮陽一, 田 学軍, 奥田隆史
2. 発表標題 モバイル端末ユーザにより構成されるDTNシステムへのマルチコプターノードの導入
3. 学会等名 情報処理学会 第79回全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森友哉, 宇都宮陽一, 田 学軍, 奥田隆史
2. 発表標題 フォグコンピューティングにおけるジョブ割り振り戦略の定量的評価
3. 学会等名 情報処理学会 第79回全国大会
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
研究 分担者	神谷 幸宏 (kamiya yukihiro) (10361742)	愛知県立大学・情報科学部・准教授 (23901)	
研究 分担者	奥田 隆史 (okuda takasi) (20204125)	愛知県立大学・情報科学部・教授 (23901)	
研究 分担者	伊藤 正英 (ito masahide) (60459237)	愛知県立大学・情報科学部・准教授 (23901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------