

自動運転車・手動運転車混在環境における大局的隊列制御戦略と 通信妨害攻撃の影響

Global platooning control strategy for auto-drive and manual-drive mixed environment and
the effect of radio jamming attack

2171003



研究代表者

静岡大学学術院工学領域

教 授

石 原 進

[研究の目的]

自動隊列走行には快適性・安全性・省エネルギー効果が期待できるが、自動運転の普及にあたっては手動運転車両と自動運転車の共存時期が避けられない。車間距離の協調動作にあたっては、通信妨害攻撃を含む無線通信の信頼性に関する影響調査が欠かせない。本研究は、将来的に発生する自動運転車両と手動運転の車両が混在した状況での車列の走行制御において、混在する手動運転車両をまたいだ自動運転車両間の通信による大局的な制御戦略の設計と、それに伴う車車間通信への通信妨害攻撃への影響を定量的に明らかにすることを目指したものである。

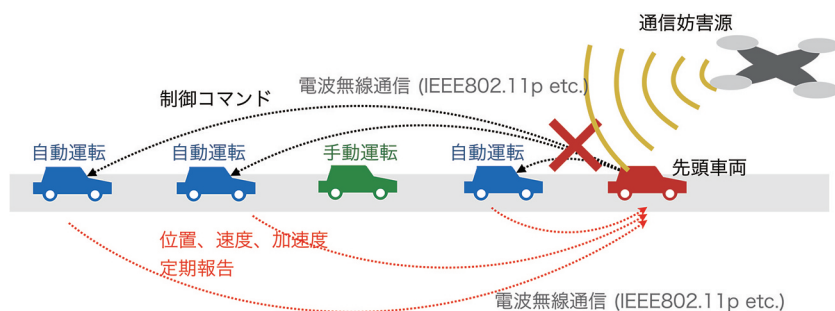
[研究の内容, 成果]

1. はじめに

協調型の自動隊列走行 (Cooperative Adaptive Cruise Control) は自動運転の利用形態として、特に大型トラック等の長距離運転において、運転者の負担軽減あるいは無人化、車間距離の短縮による道路利用効率の向上・空気抵抗の減少による省エネルギー化という効果をもたらすものとして期待されている。これまで、自動隊列走行の研究分野では、手動運転車両が隊

列に割り込んできた場合には、その隊列が手動運転車両に分断されたものとして扱われてきた。しかしながら、手動運転車を間に挟んだ状態でも自動運転車両車間で制御情報をやりとりできれば、分断された後方の自動運転車両群では前方の車両群の挙動に合わせた運転制御が可能になるため、より加減速が少ないスムーズな運転が可能になることが見込める。うえ、事故を未然に防ぐことも可能となる。

Chin らは手動運転車両のドライバモデルを利用し、モデル予測制御に基づいた手動運転車両を含む CACC (以下、混合型 CACC) を開発している [1]。しかしながら、Chin らの研究も含め、CACC に関する研究においては、電波を用いた無線通信による通信障害の影響を含めた評価が十分に行われていないのが現状である。これに加え、電波による無線通信を用いて隊列制御を行う場合、通信妨害攻撃による通信障害リスクが避けられない。このような通信妨害の影響を含んだ混合型 CACC の性能評価、ならびに実用的な制御手法に関する検討は我々の知る限り行われていない。本研究では、Chin らのモデル予測制御に基づく混合型 CACC のモデルを現実的な車々間無線通信シミュレーションシステム上に組み込み、図 1 に示すような無線通信上の障害ならびに意図的な攻撃の影響を考慮したシミュレーション評価を



行った。さらに、これらのシミュレーション結果から、手動運転車両を含んだ自動隊列制御における制御指針を導出した。

2. モデル予測制御に基づく手動運転車両を含む自動隊列走行制御

モデル予測制御とは、現在の制御の内部状態と目標値から未来の制御量の動きを制御対象のモデルに基づいて予測しつつ、未来のある時刻における内部状態をできるだけ目標値に従った状態に近づけられるような制御入力を最適化計算によって求める制御手法である。本研究では、手動運転車の挙動モデルとして、複数の Auto-Regressive with eXogeneous (ARX) モデルを確率的に重み付けした非線形モデル PrARX モデルに基づく人間の運転者の曖昧さを含むモデルを使用した。具体的には [1] に基づき、2つの ARX に基づく PrARX を用いた。当モデルでは、入力として前方車との車間距離、相対速度、全ステップでのモデル出力を用い、次ステップの加速度を出力する。本モデルで使用するパラメータは、運転シミュレータによる実験を通して得たものである。隊列の先頭車両は手動運転車を含む隊列内車両から現在位置、速度、加速度を取得し、これらと PrARX モデルの出力に基づいて自動運転車両の加速度を出力する。

3. 車々間電波通信・通信妨害を含む自動隊列システムシミュレーションシステム

陳らの混合型 CACC のシミュレーション評価を、電波による車々間無線通信での障害を含

めて行うため、現実的な電波無線通信のシミュレーションが可能な無線ネットワークシミュレータ Scenargie [2] を使用することとし、この Scenargie 用に混合型 CACC のモデルを実装した。もともとの混合型 CACC のモデルでは、常に先頭車両が手動運転車両を含む隊列内車両の状態（位置、速度、加速度）を知っていると仮定されていた。また、先頭車両から隊列内の自動運転車両への制御コマンド、つまり、次に与えるべき加速度は確実に隊列内車両に与えられるものとされていた。しかしながら、実際にはこれらの情報を伝えるメッセージは通信障害によって欠落することがある。本研究では、通信障害によって車両の状態情報および制御メッセージが失われた場合、最後に受け取った状態、制御情報をそのまま適用して動作するものとした。隊列内車両からの状態メッセージは、各車両から IEEE802.11p を用いてブロードキャストによって 50 Hz で送信されるものとした。先頭車両からの全車両への制御メッセージは、10 Hz でブロードキャストによって送られるものとした。メッセージサイズはいずれも 200 バイトとした。

通信妨害のモデルには、Punala によって実証実験が行われた攻撃効果の高い妨害手法 Periodic Jammer を使用した [3]。この妨害手法では、 $64 \mu\text{sec}$ の妨害信号を 10μ 秒の空白期間を挟んで連続的に送信する。妨害信号は IEEE802.11p 車々間通信用無線 LAN における適正な信号の先頭部分を取り出したものとなっており、受信側ではこの妨害信号を受け取るよ

うに動作するが、信号は全体として適切な通信フレームの体をなしていないので、受信には失敗する。また、この信号と干渉した適正な通信フレームの受信は妨害されることになる。なお、車両、妨害源からの電波信号はそれぞれ無指向性アンテナを用いて出力 20 dBm で送信されるものとした。

4. シミュレーション評価と考察

平均速度 100 km/h で走行する先頭車両に 5 台の車両が追従し、5 台のうち真ん中の 1 台が手動運転車両である場合を想定したシミュレーションを実施した。各車両の全長は 4.5 m とし、車間距離は車頭時間 0.5 秒における車間距離に 5 m を足した距離を維持するようにした。この隊列が道路上に浮遊するドローンに置かれた妨害信号源の下に向かって走行する。妨害がない場合には、大部分の車両で車間距離は目標車間距離と一致しているが、妨害がある場合には、目標車間距離から外れるものが増え、中には車間距離 3 m と極めて短くなる場合も見られた。

先頭車両が用いる手動運転車両のモデルパラメータの全てに誤りが含まれた場合の影響についても調査した。先頭車両が周期 16 秒で速度を 80 km/h から 120 km/h に増減させながら、妨害限近くを走行した場合の車間距離の変化を図 2 に示す。全パラメータの誤差が 10% ある場合においても、通信妨害がない場合には車間距離の悪化に関して顕著な違いは見られない。これはモデルパラメータの誤差の影響が、各車両からの状態のフィードバックによって緩和されていることを意味している。しかしながら、妨害がある場合には、誤差が大きくなるにつれて車間距離の変化が大きく変化することが観察される。これより、通信妨害にたいする対策として、モデル誤差をできるだけ小さくするか、通信妨害が合っても車々間通信の信頼性を維持するための仕組みを導入することが考えられる。後者の方法としては、[4] で提案されているよ

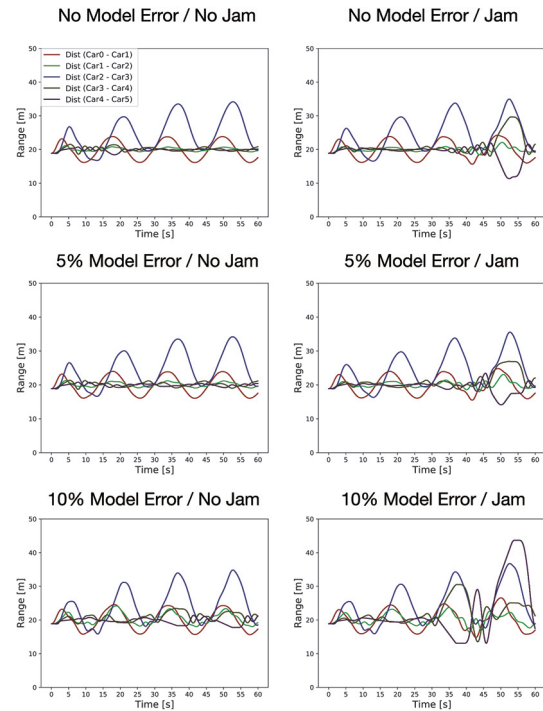


図 2 先頭車両が加減速を繰り返した場合の隊列配置の変化

うに可視光通信やミリ波通信等、通信の指向性が高く、遠隔からの攻撃を受けにくい通信媒体を用いることが有効と考える。

5. まとめ

モデル予測制御に基づく手動運転車両を含む自動隊列走行制御手法を通信妨害攻撃を含む現実的な車々間無線通信を想定したシミュレーションを通して評価し、その効果を確認した。自動隊列走行をする車両と同等の電波出力による電波通信妨害によって、隊列制御に大きな乱れが生じる事を確認した。特に、手動運転車両のモデルパラメータに誤差がある場合、通信妨害がない場合には自動運転車両からのフィードバックによってモデルパラメータの誤差の影響は無視できる程度であるが、通信妨害がある場合には、顕著な隊列の乱れが生じることを確かめた。これより電波妨害攻撃に対する対策として妨害攻撃を受けにくい可視光やミリ波帯電波による通信の必要性を示した。

[参考文献]

- [1] H. Chin, H. Okuda, Y. Tazaki and T. Suzuki, "Model Predictive Cooperative Cruise Control in Mixed Traffic," Industrial Electronics Society, IECON 2015, pp. 3199-3205, 2015.
- [2] Space Time Engineering, <https://www.space-time-eng.com/jp/>
- [3] O. Punal, C. Pereira, A. Aguiar, and J. Gross, "Experimental Characterization and Modeling of RF Jamming Attacks on VANETs," IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 64, No. 2, pp. 524-540, 2015.
- [4] S. Ishihara, R. Rabsatt, M. Gerla, "Improving Reliability of Platooning Control Messages Using Radio and Visible Light Hybrid Communication," IEEE Vehicular Networking Conference, pp. 96-103, 2015.

[成果の発表・論文等]

- 1) 石原進：自動協調運転における大局的危険回避行動のための生物群行動に基づく通信・車両制御と攻撃対策の検討，情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ，pp. 221-221, 2017.
- 2) 濱崎福平，陳ヒョン兌，奥田裕之，石原進：自動運転車・手動運転車の混在環境における隊列制御への通信妨害攻撃の影響，情報処理学会研究報告，高度交通システムとスマートコミュニティ研究会，vol. 2017-ITS-71, No. 7, pp. 1-2, 2017.
- 3) 濱崎福平，陳ヒョンテ，奥田裕之，鈴木達也，石原進：自動運転車・手動運転車の混在環境における隊列制御への通信妨害攻撃の影響調査，情報処理学会研究報告，高度交通システムとスマートコミュニティ研究会，vol. 2018-ITS-72, No. 1, pp. 1-7, 2018.