

1. はじめに

交通渋滞の解消や運転負担の軽減・燃費向上などを目的に、車車間通信を利用した隊列走行が提案されている。



図1^[1] 車間距離一定の隊列走行

- 隊列走行の基礎問題である通信遅延を伴う2重積分器型マルチエージェントシステム(MAS)の合意制御は、**収束性が十分に検討されていない。**

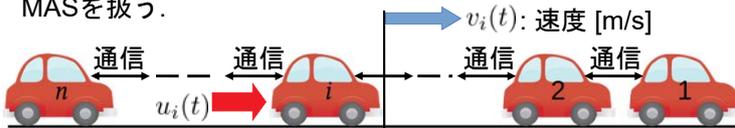
システムが収束しない→車間距離が発散→**車両同士が衝突**

研究目的 割り込み車の可能性: **ネットワーク構造の切替**

- 隊列走行を視野に2重積分器型MASの合意制御について、ネットワーク構造の切替を考慮した収束性の判別方法を検討する。

2. 制御対象と手法

つぎの車車間通信を用いた隊列走行を例に、2重積分器型MASを扱う。



加速度入力 [m/s²] $p_i(t)$: 位置 [m]

図2: 情報交換する2重積分器型システム

- i 番目のエージェントの動特性 (2重積分器型構造)

$$\dot{x}_i(t) = f x_i(t) + g u_i(t), x_i(t) = [p_i(t) \ v_i(t)]^T, x_{i0} = x_i(0)$$

$$f = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, g = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} p_i: \text{車両の位置 [m]}, v_i: \text{車両の速度 [m/s]} \\ u_i: \text{車両への入力加速度 [m/s}^2\end{array}$$

3. シミュレーション

つぎのネットワーク構造A・Bが切り替わる2重積分器型MASについてシミュレーションを行い、2節の方法による収束性解析と比較・評価する。

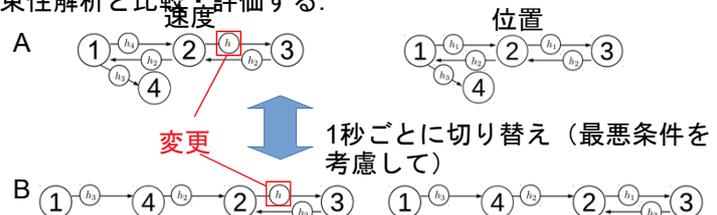
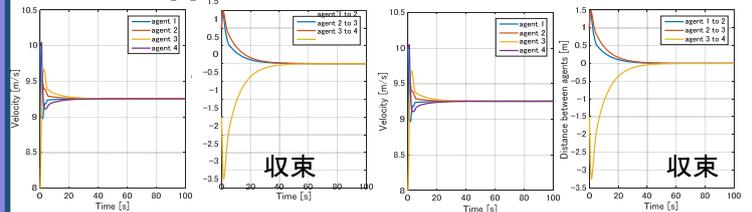


図3 検討するネットワーク系

条件 (共 $k_p = 0.1, k_v = 1, h_1 = 0.01, h_2 = 0.02, h_3 = 0.1, h_4 = 0.015$)
通) $h = 0.97$ [s] まで提案法で収束性を確認できた。



(a) Velocity (b) Error of inter-vehicle distance
 図4 $h = 0.97$, 収束条件を満たす

(a) Velocity (b) Error of inter-vehicle distance
 図5 $h = 0.98$, 収束条件を満たさない

収束性判別法の提案

- 変換行列 W, W^{-1} でシステムを収束/発散するモードと合意値のモードに分解 → リアプノフの安定論で収束性を調べ

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 0_{1 \times (n-1)} \\ -1_{(n-1) \times 1} & I_{(n-1)} \end{bmatrix}, W^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0_{1 \times (n-1)} \\ 1_{(n-1) \times 1} & I_{(n-1)} \end{bmatrix}$$

- 分解後のシステム

$$\text{収束/発散モード: } \dot{\tilde{x}}(t) = A^{(\alpha)} \tilde{x}(t) + \sum_{k=1}^m A_k^{(\alpha)} \tilde{x}(t - h_k) \quad \dots (1)$$

$$\tilde{x} = [\tilde{p}^T \ \tilde{v}^T]^T, \tilde{p} = [p_2 - p_1 \ p_3 - p_1 \ \dots \ p_n - p_1]^T$$

$$\tilde{v} = [v_2 - v_1 \ v_3 - v_1 \ \dots \ v_n - v_1]^T$$

- 各エージェントの位置・速度の差分に注目

$$\text{合意値のモード: } \dot{\hat{x}}_1(t) = \tilde{f} \hat{x}_1(t) + \sum_{k=1}^m \tilde{F}_k \hat{x}_1(t - T_k)$$

- この変形により、従来の安定条件を広く適用できるようになる

- 式(1)の収束条件 (十分条件)

$$\begin{bmatrix} M_{11}^{(\alpha)} & M_{12}^{(\alpha)} & M_{13}^{(\alpha)} \\ M_{12}^{(\alpha)T} & M_{22} & 0 \\ M_{13}^{(\alpha)T} & 0 & M_{33} \end{bmatrix} < 0, \quad \alpha = 1, 2, \dots, N,$$

3. シミュレーション

つぎのネットワーク構造A・Bが切り替わる2重積分器型MASについてシミュレーションを行い、2節の方法による収束性解析と比較・評価する。

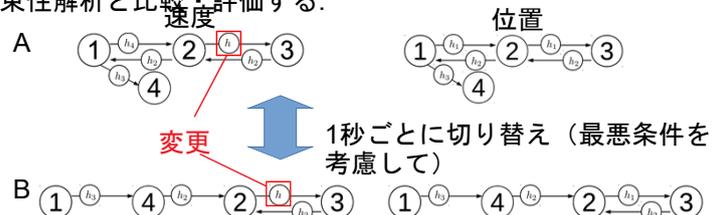
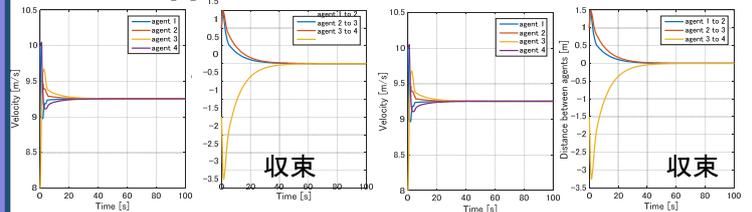


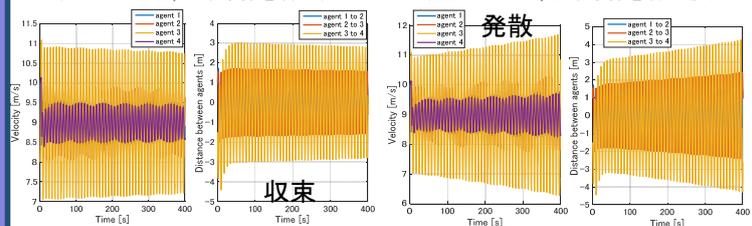
図3 検討するネットワーク系

条件 (共 $k_p = 0.1, k_v = 1, h_1 = 0.01, h_2 = 0.02, h_3 = 0.1, h_4 = 0.015$)
通) $h = 0.97$ [s] まで提案法で収束性を確認できた。



(a) Velocity (b) Error of inter-vehicle distance
 図4 $h = 0.97$, 収束条件を満たす

(a) Velocity (b) Error of inter-vehicle distance
 図5 $h = 0.98$, 収束条件を満たさない



(a) Velocity (b) Error of inter-vehicle distance
 図6 $h = 2.64$, 収束条件を満たさない

(a) Velocity (b) Error of inter-vehicle distance
 図7 $h = 2.65$, 収束条件を満たさない

- 収束条件を満たす場合、システムは合意を得る。
- 条件は保守的で、条件を満たさなくても収束する場合があります。

4. まとめと今後の予定

- 2重積分器型マルチエージェントシステムの収束性をシステム分解とリアプノフの安定論で確認する方法を提案した。
- 収束条件を満たす場合、システムが合意を得ることを数値例で確認した。
- 設計法の提案 車群安定性の検討

参考文献

[1] 浜口 雅春, 星名 悟: 大型車隊列走行向け車車間通信の開発, OKI テクニカルレビュー, 第220号, Vol. 79, No. 2 (2012)
 [2] M. Negishi and A. Kojima: A consensus analysis for the networked double-integrator systems with communication delays, the SICE Annual Conference 2018, pp. 423-426 (2018)