

令和元年6月12日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04380

研究課題名(和文) 制御リアプノフ関数を用いた入力分配制御

研究課題名(英文) Input allocation control using control Lyapunov function

研究代表者

山下 裕 (Yamashita, Yuh)

北海道大学・情報科学研究院・教授

研究者番号：90210426

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：冗長入力系で安定性等を保証する制約の下で最適入力を選ぶ問題は入力分配問題と呼ばれ、その良し悪しは省エネルギーに直結する。状態の時間微分を指定する従来法の代わりに、本研究では制御リアプノフ関数を用いて状態依存の一般的な集合値で入力候補を与える方法を採用し、様々な要求仕様を満足する柔軟で実用的な入力分配手法を開発した。動的拡張系に対し拡張ポテンシャルを構成する方法では、連続な拘束集合の導出、2段階制約、コスト係数設定、オフセット関数の省略、車両系への適用等に関して成果を得た。また、線形改計画・二次計画を毎時刻解く方法では、スパース安定化、ベストエフォート型制御、チャタリング防止機構等の成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、これまでばらばらに考えられてきた入力に関する要求事項・制約・コストを統一的に考えることを可能にする枠組みを与えたことで、動特性を指定する状態依存の制約も他と統一的に扱えることを示したことである。それによって生じる社会的意義は、しばしばロジックで考えられていた入力分配を直観的設計で省エネルギーを考慮したうえで簡単に実現することができ、制御系設計に掛かる設計期間短縮に寄与することである。

研究成果の概要(英文)：The problem of selecting the optimum input under the constraint of guaranteeing the stability in redundant input systems is called the input allocation problem, and its quality is directly linked to energy saving. Instead of the conventional method of specifying the time derivative of the state, this research adopts the method of giving a state-dependent general input-candidate set using a control Lyapunov function, and gives a flexible and practical input allocation method to satisfy various requirements. In the method of constructing an additional potential function for the dynamic extended system, we got results on the derivation of continuous constraint set, two-stage constraints, setting of cost coefficients, omission of offset function, application to vehicle system etc. In addition, in the method of solving linear and quadratic programming problem every instance, we got results of sparse-input stabilization, best-effort-type control, chattering prevention mechanism etc.

研究分野：システム制御理論

キーワード：入力分配制御 非線形制御理論 制御リアプノフ関数 省エネルギー

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) これまでの海外等での研究

冗長入力系などで、安定性を保証する制約(状態の時間微分など)が与えられた時に、ある評価に関し最適な入力を選ぶ問題を入力分配問題(control allocation problem)という。冗長ロボットアームのトルク最適化はわかりやすい例であるが、それだけではなく、入力分配問題は実は多くの実システムに存在し、その良し悪しは省エネに直接影響する。また、同じような効果をもたらす入力変数のいくつかは副作用を持つことがあり、また様々な理由により非常時のみ印可されるべき入力変数も存在する。エネルギー効率・入力制約上限がまちまちな複数の冗長入力系の入力分配問題は簡単な問題ではない。

従来の入力分配問題においては、動的な制御系設計は既に与えられ、状態の時間微分が厳密に指定される。その上で冗長入力の選択という静的な問題を(状態量更新に従って)毎時刻解く。しかし、もし動的な制御系設計の自由度を許すならば、「入りに余裕がないので収束を遅らせる」あるいは「コストが安い入力成分に余裕があるので速く収束させる」のような、柔軟性を持たせることが可能になる。また、従来法では、オンラインで最適化問題を毎時刻解くことになるので、線形計画あるいは二次計画に帰着できる問題しか実質上扱えなかった。

(2) 研究代表者のグループの事前研究

一方、研究代表者のグループでは、従来法の「状態の時間微分を指定する」方法(input affine系では許容入力は冗長入力空間で超平面)の代わりに、より一般的な(状態依存の)集合値で入力候補を与える方法のラフなアイデアを発表していた。

2. 研究の目的

本研究課題の目的を一言でいえば、冗長入力系において、ダイナミクスを指定する制約をより柔軟に与え、様々な要求仕様を満足する実用的な入力分配手法を開発することである。本研究の特徴として、ダイナミクスを指定するために制御リアプノフ関数(CLF)を用い、CLFを減少させる入力の集合を用いることがある。望ましいダイナミクスに対応する入力を集合として与えることで、柔軟な入力分配が可能になる。

(1) 動的拡張に基づく方法

オンラインで最適化問題を解くのではなく、システムの状態依存の付加ポテンシャルを構成し、入力をその勾配に従って動かすことで漸近的に最適化を行う手法の開発を目指す。

- CLFを基にした望ましいダイナミクスに対応する入力集合の具体的な与え方を考察する。これは企画段階では容易にできると考えていたが、研究を進めると一工夫(4. 研究成果の(4)式)が必要なことが明らかになった。
- オフセット関数の計算を省略する方法の開発
- 入力空間に付与する付加ポテンシャルの設計において重要度に応じてポテンシャルの係数を調整する方法を確立し、二段階入力制約などの問題設定を可能にする。
- 実際の複雑なシステムの制御に応用する。

(2) 複雑な入力分配問題を線形計画・二次計画として定式化する方法

動的拡張アプローチと同様に CLF を使うことで、入力分配の自由度を増やした柔軟な方法を目指す。複雑な入力分配を、オンラインで求解可能な線形計画・二次計画問題に帰着させる方法を開発することで、ハイブリッド系の挙動を実現する。

- 入力の待機パワー削減のためのスパース入力漸近安定化手法の開発。
- 簡単な場合においてスパース入力漸近安定化する explicit な制御則を求め、上記の入力との同一性を明らかにする。
- ベストエフォート型制御を実現するための評価関数の条件を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 動的拡張に基づく方法

- CLFを基にした入力集合の具体的な与え方を考察する。まず、CLFの時間微分に関する制約集合を考え、状態原点近傍でのその集合のふるまいについて研究する。さらに状態原点近傍で制約集合が連続的に変化するために必要な付加制約を導き出す。
- Sontag型制御則の収束速度を速めることにより、オフセット関数の時間微分の影響を消去できる。そのような方法を開発する。
- 入力空間に付与する付加ポテンシャルの設計において二段階入力制約などの問題設定をきちんと明確化し、重要度に応じたポテンシャルの係数の与える規範を提案する。
- 車両のヨーレート制御など、実際の複雑なシステムの制御に応用する。

(2) 複雑な入力分配問題を線形計画・二次計画として定式化する方法

- 入力の待機パワー削減のためのスパース入力漸近安定化入力を線形計画法の範疇で定式化し、さらに簡単な場合においてスパース入力漸近安定化する explicit な制御則を Sontag 型

制御則に類似した形で求める。

- ベストエフォート型制御を実現するため、ラグランジュ乗数の評価をを行い評価関数の条件を明らかにする。

4. 研究成果

(1) ポテンシャル法による入力分配

① 本課題の前提

予備的研究で得られた成果をまず説明する。制御対象を

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u \quad (1)$$

とする。ここで、 $x \in \mathbb{R}^n$ は状態で $u \in \mathbb{R}^m$ は状態で $f(0) = 0$ と仮定する。この系に対し制御リアブノフ関数(CLF) $V(x)$ が既に設計されているものとし、小入力特性を持つものとする。CLF $V(x)$ を減少させる入力の(一部)からなる集合を $\bar{Q}(x) \in \mathbb{R}^m$ とする。その中に含まれる非空な凸集合 $Q(x) \subset \bar{Q}(x)$ を望ましい入力集合として定義する。その集合 $Q(x)$ に対し、連続かつ区分的に C^1 級のポテンシャル関数 $U(x, u)$ を以下のように定める。

- 入力 u に関して準正定かつプロパー
- $U(x, u) = 0$ ($u \in Q(x)$), $U(x, u) > 0$ ($u \notin Q(x)$), $U(0, u)$ は正定
- 固定した x に対し、 $Q(x)$ 以外の停留点を持たない。
- 固定した x に対し、 $Q(x)$ からの距離に関して $Q(x)$ 近傍で2次以下のオーダー、かつ $Q(x)$ の「平らな」境界近傍ではそのオーダーは均一。

すると、拡大系

$$\dot{X} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{u} \end{pmatrix} = F(X) + Gv = \begin{pmatrix} f(x) + g(x)u \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} v, \quad X = (x^T, u^T)^T \quad (2)$$

に対する拡大 CLF $W(X) = V(x) + U(x, u)$ が構築できる。ここで $v \in \mathbb{R}^m$ は新しい入力である。ポテンシャル関数の設計次第で、様々な要求事項に沿った入力分配が可能になる。 $\bar{Q}(x)$ として点ではなく集合と考えることで、フレキシブルな入力の選択が可能になっている。

② 集合 $\bar{Q}(x)$ の設計

この項以降が本研究課題の成果である。簡単のため、ここでは、入力は適切にスケールされているものとし、入力に関しての重み行列は陽に考えないものとする。CLF $V(x)$ を減少させることができる入力の条件として、例えば

$$-L_f V(x) - k_1 \sqrt{L_f V(x)^2 + \|L_g V(x)\|^4} \leq L_g V(x) \cdot u \leq -L_f V(x) - k_2 \sqrt{L_f V(x)^2 + \|L_g V(x)\|^4} \quad (3)$$

のようなものが考えられる。ここで、 $L_f V(x)$ および $L_g V(x)$ はリー微分で、 k_1, k_2 は $0 < k_1 < 1 < k_2$ を満たす定数である。(3)式は入力空間に帯状の領域(strip と呼ぶ)を定義する。

(3)式の入力の係数がゼロのとき、CLF の定義より strip は入力空間全体となる。しかし、状態の原点周りでは strip の向きや大きさが大きく変化し、連続的に変化する $\bar{Q}(x)$ は(3)式のみでは定義できない。そこで本研究では追加的条件

$$\|u\| \leq k_3 (1 + k_2) \sqrt{L_f V(x)^2 + \|L_g V(x)\|^4} / \|L_g V(x)\| \quad (4)$$

を考えた。正の係数 k_3 は十分大きいものとする。(4)式は strip の広がり方向にも制約を掛けるものである。小入力特性より、(4)の分母により発散することは無い。(3)および(4)式を満たす u の集合を $\bar{Q}(x)$ とおく。これにより、 $\bar{Q}(0) = \{0\}$ となり、状態の原点近傍で連続的に変化する。拡大系(2)の状態量の u が与えられたとき、 $\bar{Q}(x)$ との距離に係数 K_{1a} を掛けたものを $U_{1a}(x, u)$ とし、ポテンシャルを構成する一要素とする。また、 $0 < k'_1 < k_1$ および $k_2 < k'_2$ なる k'_1, k'_2 で k_1, k_2 を置き換えた $\bar{Q}(0)$ を $\bar{Q}'(0)$ とし、 $\bar{Q}'(x)$ との距離に係数 K_{1b} を掛けたものを $U_{1b}(x, u)$ とする。

③ 2段階入力制約と入力コスト

アクチュエータの制約により通常制御入力には大きさの制約が存在する。通常運転時における凸の制約集合を C 、絶対守るべき凸の制約集合を C' ($\supset C$)とする。これらの集合は状態に応じて可変でも構わないが、ここでは簡単に固定とした。 C からの距離に係数 K_{2a} を掛けたものを $U_{2a}(u)$ 、 C' からの距離に係数 K_{2b} を掛けたものを $U_{2b}(u)$ とする。ここで、係数を

$$0 < K_{1a} < K_{2a} < K_{1a} + K_{1b} < K_{2a} + K_{2b} \quad (5)$$

のように選び、 $C', C, \bar{Q}'(x), \bar{Q}(x)$ の順に優先度が低くなるようにする。最小ギャップ $L = \min(K_{1a}, K_{2a} - K_{1a}, K_{1a} + K_{1b} - K_{2a}, K_{2a} + K_{2b} - K_{1a} - K_{1b})$ を定義し、次に追加する入力コスト項の傾きがそれを超え優先度の順番が変わらないようにする。付加入力コストを $U_3(u)$ とする。これらは各アクチュエータの物理的な特性をもとに作られたサブコストの和であり、 $|\partial U_3(u) / \partial u| < L$ となるように設計される。サブコストは、例えば以下の形式である。

- 入力が小さいときのコストが無視できるので積極的に使用したい入力成分に対しては例えば、 $\kappa_1/2(|u - u_L| + |u - u_U| - |u_U - u_L|)$ とすれば、 $u_L \leq u \leq u_U$ の区間ではコストゼロになる関数を表現できる。

- 小さな領域では2次コストになり、かつ傾きが有界になる例として $\kappa_2 u^2 / \sqrt{u^2 + p^2}$
- 通常非アクティブで非常時のみアクティブになる入力に対し、 $\kappa_3 |u|$

このように設計した各コストを合成し $U_{pre}(x, u) = U_{1a}(x, u) + U_{1b}(x, u) + U_{2a}(u) + U_3(u)$ を得る。

$$U(x, u) = U_{pre}(x, u) - U_{ofs}(x), \quad U_{ofs}(x) = \min_u U_{pre}(x, u) \quad (6)$$

が求めるポテンシャル関数で、拡大系に対して例えば Sontag 型の制御則を用いることで、冗長入力の最適化を自動的かつ漸近的に解くのと等価な制御が実現できる。

④ オフセット関数計算の省略

(6)式のオフセット関数 $U_{ofs}(x)$ の計算を省略したい。なぜならこれが明示的に計算できるのであれば、入力分配の最適化は元々解けていることになるからである。オフセット関数を除いた疑似 CLF を $W_p(X) = V(x) + U_{pre}(x, u)$ とおく。 $L_G W_p(X) = L_G W(X)$ であることに注意する。一方、

$$|L_F W(X) - L_F W_p(X)| \leq \max_{u \in C'} \left\| \frac{\partial U_{pre}}{\partial x} \right\| \cdot \|\dot{x}\| \quad (7)$$

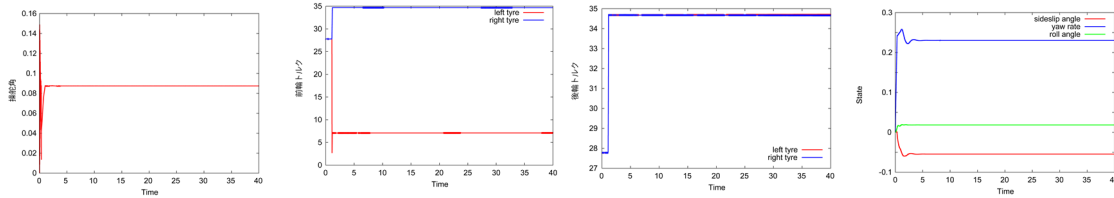
で、右辺の $\|\dot{x}\|$ の係数の上界は(3),(4)式から見積もれるのでそれを $P(x)$ とおく。よってオフセット関数の計算をすることなく、Sontag 型制御則において

$$L_F W(X) \Rightarrow L_F W_p(X) + P(x) \|f(x) + g(x)u\| \quad (8)$$

のように置き換えればよい。現実的には $P(x)$ は「十分大きな正定数」で置き換えても差し支えない場合が多いであろう。

⑤ 車両のヨーレート制御への適用例

車両のヨーレート制御へ適用した例を以下に示す。停止状態からハンドルを切ったまま急発進した場合である。スピンを防ぐために最初の段階でのみハンドル角操作のオーバーライドが行われている。



(2) スパース入力による安定化

① 入力制約がない場合のスパース入力安定化

(1)式と同じ制御対象を考え、小入力特性を持つ CLF $V(x)$ の存在を仮定する。冗長入力系を考えるとアクチュエータの待機パワーを削減するために、状況に応じて一部のアクチュエータを非アクティブにすることは有効であると考えられ、省エネに寄与する。本研究では、以下のコントローラがスパース入力安定化を実現することを示した。

$$u = -\beta(x) K^{-1} \mu (L_g V(x) \cdot K^{-1})^T, \quad K = \text{diag}(k_1, \dots, k_m), \quad k_i > 0 \quad (i = 1, \dots, m),$$

$$\mu(l) = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{(\text{sgn}(l_1)|l_1|^p, \dots, \text{sgn}(l_m)|l_m|^p)}{|l_1|^p + \dots + |l_m|^p}, \quad \beta(x) = \frac{\zeta(L_f V + W(x))}{\|L_g V \cdot K^{-1}\|_\infty^2}, \quad (9)$$

$$W(x) = \eta \sqrt{L_f V(x)^2 + \|L_g V \cdot K^{-1}\|_\infty^4}, \quad \zeta(p) = (p + |p|)/2, \quad 0 < \eta < 1$$

関数 $\mu(l)$ は絶対値最大の要素のみ ± 1 を返し(符号は維持)それ以外はゼロを返す関数であり入力はスパース性を満たす。この制御則は

$$J_1(u) = k_1 |u_1| + \dots + k_m |u_m| \rightarrow \min \quad (10)$$

subject to $V(x) + L_g V(x)u \leq -\eta W(x)$

なる最適化問題の解と同値であることも示した。

② 入力制約下でのスパース入力安定化

入力制約 $\bar{u}_{i,-} \leq u_i \leq \bar{u}_{i,+}$ ($i = 1, \dots, m$) がある場合のスパース入力安定化手法も明らかにした。その解は以下の最適化問題をオンラインで解くことによって得られる。

$$J_2(u, \gamma; x) = \tilde{k}_1(x)|u_1| + \dots + \tilde{k}_m(x)|u_m| + \xi(x)(1 - \gamma) \rightarrow \min$$

$$\tilde{k}(x) = \begin{cases} k_i \{1 - \exp(-L_{g_i} V(x)/k_i)\} & (L_{g_i} V(x) \neq 0) \\ k_i & (L_{g_i} V(x) = 0) \end{cases}, \quad (i = 1, \dots, m)$$

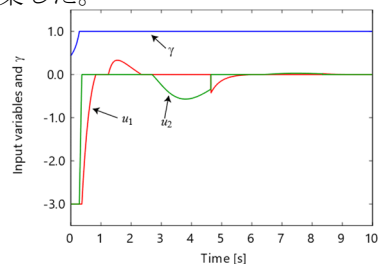
$$\text{subject to } L_f V(x) + L_g V(x)u \leq -\gamma W(x), \quad \gamma \leq 1, \quad \bar{u}_{i,-} \leq u_i \leq \bar{u}_{i,+} \quad (i = 1, \dots, m)$$

$\xi(x) > W(x)$ と選べば、入力制約によって漸近安定化が不可能な状態の領域においても、できる限り CLF の値を小さくするような ベストエフォート型制御則 になる。この最適化問題は線形計画法に帰着でき、オンラインで毎時刻高速に解くことができる。

③ さらに改良

本研究ではこの制御則に以下のような更なる改良を加え、提案した。

- チャタリング防止機構の追加。非アクティブな入力変数の重みを増すことでその入力を選ばれにくくする機構。この機構を加えた後のシミュレーション例を右図に示す。
- 原点近傍で 1 つの入力のみを選択し続ける機構。負荷の少ない定常状態でアクチュエータ切り替えを抑止し 1 つの入力のみで安定化するための機構。条件は S-procedure によって導かれる。
- 入力グルーピングによる複数入力アクティブ化機構。



5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Ryosuke Adachi, Yuh Yamashita, Koichi Kobayashi, 'Distributed estimation over delayed sensor network with scalable communication,' *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E102-A(5), 712-720, 査読有, 2019. DOI: 10.1587/transfun.E101.A.678
- ② Wataru Hashimoto, Yuh Yamashita, Koichi Kobayashi, 'Asymptotic stabilization of nonholonomic four-wheeled vehicle with steering limitation,' *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E102-A(1), 227-234, 査読有, 2019. DOI: 10.1587/transfun.E102.A.227
- ③ Ryosuke Adachi, Yuh Yamashita, 'Delay-compensated maximum-likelihood-estimation method and its application for quadrotor UAVs,' *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E101.A(4), 678-684, 査読有, 2018. DOI: 10.1587/transfun.E102.A.712

[学会発表] (計 27 件)

- ① 隅田遥香, 山下裕, 足立亮介, 小林孝一, 'ランダム通信を行うコンセンサスフィルタに基づく分散オブザーバ,' 第6回SICE制御部門マルチシンポジウム, 熊本, 2019.
- ② 足立亮介, 山下裕, 小林孝一, '動的ネットワークシステムの重み付き次数に基づく安定解析,' 第6回SICE制御部門マルチシンポジウム, 熊本, 2019.
- ③ Motoi Igarashi, Hisakazu Nakamura, 'Collision avoidance assist control for two-wheel vehicle robots by control barrier function,' *The 2018 Int. Automatic Control Conf.*, Taoyuan, Taiwan, 査読有, 2018.
- ④ Hisakazu Nakamura, Yasuyuki Satoh, 'Etale synergistic hybrid control design for asymptotic stabilization on manifold via minimum projection method,' *57th IEEE Conf. on Decision and Control*, Miami Beach, 査読有, 2018. DOI:10.1109/CDC.2018.8619075
- ⑤ Ryosuke Adachi, Yuh Yamashita, Koichi Kobayashi, 'Observer Design for Distributed Network Systems with Communication Delays,' *IFAC PapersOnLine; 5th IFAC Conf. on Analysis and Control of Chaotic Systems*, 51(33), 115-125, Eindhoven, The Netherland, 査読有, 2018. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.12.103
- ⑥ Maki Takai, Hiroki Shudai, Hisakazu Nakamura, Yu Kunori, 'Input correction control of state constrained nonlinear system by using revived transformation,' *The 44th Ann. Conf. of the IEEE Industrial Electronics Society*, Washington D.C., USA, 査読有, 2018. DOI: 10.1109/IECON.2018.8591615
- ⑦ Sheng Hao, Yuh Yamashita, Koichi Kobayashi, 'Active nonlinear tuned mass damper via IDA-PBC,' *2018 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics*, Miyazaki, 査読有, 2018.
- ⑧ 足立亮介, 山下裕, 小林孝一, '確率伝搬法を用いた遅延センサネットワーク上のリアルタイムデータアグリゲーションの分散最適化,' 第61回自動制御連合講演会, 名古屋, 2018.
- ⑨ 坂野龍命, 山下裕, 小林孝一, '非線形系に対するスパース入力安定化と原点近傍での挙動改善,' 第61回自動制御連合講演会, 名古屋, 2018.
- ⑩ 東野晃尚, 山下裕, 小林孝一, '通信遅延のある異構造バイラテラルテレオペレーターの制御,' 第62回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都, 2018.
- ⑪ Yuh Yamashita, Kiminori Sakano, Koichi Kobayashi, 'Asymptotically stabilizing controller generating sparse input for nonlinear systems,' *The 23rd Int. Symp. on Math. Theory of Networks and Systems*, Hong Kong, 査読有, 2018. <http://mnts2018.ust.hk/media/files/0220.pdf>
- ⑫ Masaki Takase, Hisakazu Nakamura, Soki Kuga, 'Local Minimum Connection for Static Smooth Control Lyapunov Function,' *IFAC-PapersOnLine; 2nd IFAC Conf. on Modelling, Identification and Control of Nonlinear Systems*, 51(13), 272-278, Guadalajara, Mexico, 査読有, 2018. DOI:10.1016/j.ifacol.2018.07.290
- ⑬ Sheng Hao, Yuh Yamashita, Koichi Kobayashi, 'Vibration suppression of Hamiltonian systems with velocity and force disturbances using IDA-PBC,' *IFAC PapersOnline; 2nd IFAC Conf. on Modelling, Identification and Control of Nonlinear Systems*, 51(13), 285-290, Guadalajara, Mexico, 査読有, 2018. DOI:10.1016/j.ifacol.2018.07.292
- ⑭ 足立亮介, 山下裕, 小林孝一, '巡回路を含むグラフ上のスケラブルリアルタイム同期通信による分散状態推定,' 第5回制御部門マルチシンポジウム, 東京, 2018.

- ⑮ Kazuya Nomura, Yuh Yamashita, Koichi Kobayashi, 'Nonlinear system identification by affine coordinate unification of locally identified MIMO linear systems,' *2018 SICE Int. Symp. on Control Systems*, Tokyo, 査読有, 2018. DOI:10.23919/SICEISCS.2018.8330179
- ⑯ 太田 励, 中村 文一, '外乱オブザーバを使用した埋込磁石同期電動機の電流制御,' *第50回計測自動制御学会北海道支部学術講演会*, 札幌, 2018.
- ⑰ Wataru Hashimoto, Yuh Yamashita, Koichi Kobayashi, 'Asymptotic stabilization of nonholonomic four-wheeled vehicle with hysteresis mechanism,' *2017 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications*, Cancun, Mexico, 査読有, 2017.
- ⑱ 橋本 航, 山下 裕, 小林 孝一, 'CLF 補間を用いた四輪車両系の障害物回避制御,' *第60回自動制御連合講演会*, 調布, 2017.
- ⑲ Kazuya Nomura, Yuh Yamashita, Koichi Kobayashi, 'A unification method of locally identified linear systems and reconstruction of nonlinear dynamical model,' *IFAC PapersOnLine; Proc. of the 20th IFAC World Congress*, 50(1), 14004-14009, Toulouse, France, 査読有, 2017. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.2422
- ⑳ Natsuki Hamano, Hisakazu Nakamura, 'Global dynamic maximum torque per ampere control of interior permanent magnet synchronous motor by using nonsmooth control Lyapunov function,' *IFAC PapersOnLine; Proc. of the 20th IFAC World Congress*, 50(1), 2657-2664, Toulouse, France, 査読有, 2017. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.471
- ㉑ Ryosuke Adachi, Yuh Yamashita, Koichi Kobayashi, 'Data aggregation based estimation for sensor network with communication delay,' *IFAC PapersOnLine; Proc. of the 20th IFAC World Congress*, 50(1), 2488-2493, Toulouse, France, 査読有, 2017. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.417
- ㉒ Yuh Yamashita, Ryosuke Matsukizono, Koichi Kobayashi, 'Asymptotic stabilization of nonlinear systems with convex-polytope input constraints and its inverse optimality,' *IFAC PapersOnLine; Proc. of the 20th IFAC World Congress*, 50(1), 1397-1402, Toulouse, France, 査読有, 2017. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.244
- ㉓ 安達 直人, 山下 裕, 小林 孝一, 'Quad ロータ UAV の大域的 CLF の構築について,' *第4回 SICE 制御部門マルチシンポジウム*, 岡山, 2017.
- ㉔ 鈴木 大基, 山下 裕, 小林 孝一, '動的拡張と制御リアブノフ関数を用いた四輪車両に対する入力分配制御,' *第4回 SICE 制御部門マルチシンポジウム*, 岡山, 2017.
- ㉕ 安達 直人, 野中 涼, 小林 孝一, 山下 裕, '入力制約付き多重積分系の大域的な Implicit Control Lyapunov Function 設計,' *第59回自動制御連合講演会*, 北九州, 2016.
- ㉖ Wataru Hashimoto, Yuh Yamashita, Ryo Nonaka, Koichi Kobayashi, 'Asymptotic stabilization of nonholonomic four-wheeled vehicle with steering limitation based on Lyapunov function approach,' *IFAC PapersOnLine; 10th IFAC Symp. on Nonlinear Control Systems*, 49(18), 235-240, Monterey, USA, 査読有, 2016. DOI:10.1016/j.ifacol.2016.10.169
- ㉗ Daiki Suzuki, Yuh Yamashita, Koichi Kobayashi, 'Backstepping for set-valued upper control laws and its application to control allocation problem,' *Proc. of the 2016 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics*, Budapest, Hungary, 査読有, 2016.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：小林 孝一

ローマ字氏名：Koichi Kobayashi

所属研究機関名：北海道大学

部局名：情報科学研究院

職名：准教授

研究者番号 (8 桁)：50452115

研究分担者氏名：中村 文一

ローマ字氏名：Hisakazu Nakamura

所属研究機関名：東京理科大学

部局名：理工学部電気電子情報工学科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁)：70362837

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。