

京都大学教育研究振興財団助成事業
成果報告書

平成27年 4月10日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会長 辻 井 昭 雄 様

所属部局・研究科 情報学研究科 複雑系科学専攻

職名・学年 ポストドクトラルフェロー

氏名 若生 将史

助成の種類	平成26年度 ・ 若手研究者在外研究支援 ・ 在外研究長期助成	
研究課題名	モードの切替を含むシステムの量子化制御	
受入機関	カリフォルニア大学サンタバーバラ校	
渡航期間	平成26年4月7日 ～ 平成27年9月30日 (現在渡航継続中)	
成果の概要	タイトルは「成果の概要／報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有()	
会計報告	交付を受けた助成金額	3,000,000円
	使用した助成金額	3,000,000円
	返納すべき助成金額	円
	助成金の使途内訳	航空賃, 空港使用料, 燃油サーチャージ: 77,620円 バス賃: 5,700円 宿泊料, 日当: 2,916,680円
当財団の助成について	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) 在外研究を行う上で十分な助成をしていただき、金銭的に不自由なく研究活動に励むことができました。また助成金を利用する上で煩雑な手続きもなく、柔軟な使用が認められていたため、とても扱いやすかったです。本助成のおかげで、海外にて様々な研究成果が得られただけでなく、多くの研究者と交流する機会を得ることができました。深く感謝いたしております。 今後もこのような助成が継続されて、若手の研究者に対してのびのびと海外で研究する機会が与えられることを願っております。	

成果の概要 / 若生 将史
モードの切替を含むシステムの量子化制御

1. 研究目的

古典的な制御理論では、入出力信号が連続値であるシステムを対象としてきた。しかし、現実のシステムは、アクチュエータ・センサの物理的な特性やデジタル制御通信路のデータレート限界のために、入出力信号が離散値とあることが多い。

量子化制御とは離散値信号を含むシステムの制御のことをいい、その基礎理論は近年になってようやく線形かつ時不変のシステムなどの単純な場合に対してできあがったといえる。一方で、化学プラントや歩行ロボットなど、制御が応用されるシステムの多くは、離散的に切り替わる複数のモードを有している。そのようなシステムに対してモード毎にコントローラを設計する場合、量子化誤差が原因で制御対象とコントローラの間でモードのミスマッチが起こる可能性がある。このため、モードの切替を含むシステムに対して量子化制御はほとんど研究されてこなかった。

本研究では、モードの切替を含むシステムとして、切替システムと区分的アフィンシステム(それぞれ 時刻とシステムの状態変数 に依存してモードが切り替わるシステム)を考え、システム全体の安定性を保証する量子化器の解析・設計を行うことを目的とした。

2. 研究成果

【量子化器を含むサンプル値切替システムの安定性解析】

本研究では静的な量子化器を含むサンプル値切替システムの安定性解析を、確率的アルゴリズムにより達成した。静的な量子化器はコストや実装の容易さのために、実システムでよく用いられているものの、原点近傍での解像度が粗いため状態変数が原点に収束しないという理論的な困難がある。そのため、状態変数がどの程度原点に近づきうるのかという点が問題となる。また量子化器の非線形性が原因で解析が保守的になってしまう。本研究では、この非線形性のもとでも精度の高い安定性解析を効率よく行うために、確率的アルゴリズムを用いた。そして各々のモードの安定性を保証するリアプノフ関数を計算し、この関数によって制御対象とコントローラの間におけるモードのミスマッチがどの程度安定性に影響を及ぼすのか明らかにした。その結果、状態変数が到達しうる原点近傍の大きさを求めることができた。さらにシステム全体の安定性を、制御対象のモードが変化しない時間の最小値(滞留時間)によって特徴づけすることができた。

本成果を、システム制御に関する最大規模の国際会議の一つである IFAC World Congress 2014 で発表した。そして国際論文誌への投稿の準備を現在行っている。

【量子化された出力を用いた切替システムの安定化】

従来の切替システムの量子化制御では、制御対象の状態変数が全てコントローラに伝達さ

れると仮定されていた。しかし、現実のシステムではコスト・構造の制約のために全ての状態変数を測定することができるとはかぎらない。本研究では、状態変数の一部しか制御対象の出力として得られない切替システムに対して安定化を達成する時変の量子化則を提案した。

制御対象が状態変数の情報を一部しか送信できない場合、量子化された出力を用いてコントローラ側で残りの状態変数を推定する必要がある。このとき問題となるのは、推定している間にモードの切替が起こることである。これは推定中に切替が起きてしまうと、それまでに蓄えた情報が活用できなくなるため、推定をやり直す必要があるからである。これにより一部の状態変数しか測定できない場合、定常状態に落ち着くまでに時間がかかってしまう。そこで高い応答性を達成するために、推定を開始してから切替が起きるまでの時間に依存して量子化幅と量子化範囲を柔軟に調整する量子化器を設計した。さらにそれを用いてシステム全体の安定化が達成できることを示した。

本成果を、制御工学のトップカンファレンスである 53rd IEEE Conference on Decision and Control で発表した。また国際論文誌へ投稿するための準備を進めている。

【離散時間区分的アフィンシステムを安定化する量子化器の設計】

切替システムと異なり、区分的アフィンシステムの場合、伝達された状態変数の情報から、量子化器において制御対象が現在どのモードであるのかを判別することができる。そこで、制御対象・コントローラ間でのモードのミスマッチを許容してその悪影響を解析するのではなく、ミスマッチそのものが起こらないような量子化器を設計した。

ミスマッチに由来する困難の解決は比較的容易であったものの、区分的アフィンシステムに対して、量子化誤差を考慮したコントローラの設計法に関する研究が依然として進んでいない。そのため量子化誤差を有界外乱とみなし、有界外乱のもとでの区分的アフィンシステムの安定化問題の研究を行った。効率的に安定化コントローラを設計するためには、システムの状態変数が1ステップ後に到達しうる領域を求める必要がある。しかし1ステップ後の状態変数はコントローラに依存するため、コントローラを設計しながら到達領域を精度良く求める手法はこれまでに提案されていなかった。本研究では、S-procedureによって、与えられた集合に到達領域が含まれるための十分条件を求めることで、精度・計算量の面で優れた手法を考案した。

上記の成果を、システム制御に関するトップカンファレンスである 54th IEEE Conference on Decision and Control に投稿した。