

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19760286
 研究課題名（和文）環上のシステムに対するMPUM理論の構築：Kernel表現アプローチ
 研究課題名（英文）On MPUM theory for dynamical systems defined by the rings：Kernel representation approach
 研究代表者
 金子 修（KANEKO OSAMU）
 金沢大学・電子情報学系・准教授
 研究者番号：00314394

研究成果の概要（和文）：本研究では、多項式環などにより誘導された数式で動特性が表現されるシステムを対象として、データや軌道に非反証なモデルの中で最も適合するモデルであるMost Powerful Unfalsified Model (MPUM) に関する理論の基礎研究を行った。Kernel 表現をベースとして、MPUM の一つの生成方法である補間問題について不安定なシステムのモデル構成法を与えたこと、環上のシステムの一つの重要なクラスである多次元システムの制御性能解析の基礎を与えたこと、そして、MPUM の一つの核である Unfalsification (非反証) を応用したデータ駆動型制御器設計に関する新しい結果を与えたことが主な成果としてあげられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we address fundamental issues on the theory of most powerful unfalsified model (which is abbreviated to MPUM) defined on the rings, which is the model unfalsified by the data or trajectories and is the closest model to the actual dynamical system. Particularly, based on a mathematical model which is called a kernel representation, we mainly obtained the following. We have provided the method and theoretical issues on the problem for unstable systems to be interpolated by using the given data. We have also provided the fundamentals on achievability analysis for multi-dimensional system, which is also one of the important classes of the system defined by the ring as well as conventional 1 dimensional system. We have also provided some new results on data-driven controller synthesis in the unfalsified control framework.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	0	900,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,900,000	300,000	2,200,000

研究分野：制御理論・システム理論

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：環上システム, MPUM, kernel 表現, 補間問題, 多次元システム, 非反証

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、ビヘイビアアプローチの枠組みで多次元システム・符号システム・むだ時間システムなど、多項式環に代表される環上の数式により誘導されるシステムについての理論的研究が、主に欧州で活発に展開されてきた。とくに、このアプローチでは、Kernel 表現という形式の数式により、理論的整合性のとれた成果が得られていた。

一方で、研究代表者は、以前より MPUM という数式モデル構築手法に目を向け、いくつかの成果を得ていた。特に古典解析学の補間問題との関連に着目し、古くから知られているネバンリナ・ピックやカラオドリ・フェイジャーの補間問題などが、MPUM の構築に対応することに目をつけ、それをもとにした制御系設計への応用や、消散システムの設計、データに適合したモデリング、そして、それらの計算方法など、いくつかの成果を得ていた。確かに、MPUM 自体は、モデリングに直接に関連しているが、これらの一連の研究により、モデリングのみならず制御系設計や解析にも深く関連していることがわかった（これは、1984年にKimuraにより明らかにされた、ロバスト制御器の設計にネバンリナ・ピックの補間問題が活用されていることから想像することができる）。また MPUM の重要な核である「データに非反証 (Unfalsified)」である性質を制御器設計問題に応用することで、データ駆動型制御に関する研究も行ってきた。

これらのことより、ここでは、システム理論的に重要な役割の一つをになう MPUM を、冒頭で述べたさまざまな環上のシステムについて研究することで、新たな理論的シーズ、また、実用的ニーズにこたえる研究成果を得られないであろうか、ということから本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

ここでは、上のような背景から、環上で定義された動的システムにおける MPUM の基礎理論の構築を行う。とくに Kernel 表現がその構造から、軌道またはデータと数式モデルの代数的構造を非常に素朴な形で表しており、MPUM の理論の構築には非常に適している。この理由から、おもに Kernel 表現に基づくことで、上記の基礎理論の構築に関する研究をおこなう。

まず、MPUM は補間問題と非常に密接な関連をもつことから、一番簡単な環である、1D システムの MPUM について、これまで明らかにされていない性質を導く。

同時に、多次元システムについていくつかの制御問題が解かれているが、MPUM と関連す

る立場から考えると、未解決な問題も多い。したがって、多次元システム、そして符号システムなどにおいて、MPUM に関連した新しいシステム論的考察を行う。

そして、MPUM の一つの重要なキーである非反証性を活用した制御について、データ駆動型制御の新しいシーズを展開する。特に、このようなデータ駆動型制御がモデリングに逆に活用することを考え、もって MPUM の一つのモデルクラスの構築方法を与えることを考える。

以上のことを統合して、環上で定義された動的システムを対象として、Kernel 表現からアプローチすることで、MPUM に関する理論的性質を明らかにすることが本研究の目的である。

3. 研究の方法

まず、上記の方針に沿って、1D のシステムについての補間問題について、まだ明らかにされていない、不安定なモデルクラスも補間することで Kernel 表現の数式モデルを構築できるか否かについて検討した。これは古典解析学の立場では「高木補間問題」と呼ばれるものであり、ここでは、MPUM の立場から検討を行う。成果は次章で述べる。

次に、環上のシステムの代表である、むだ時間、多次元システム、符号システムの3種類について、MPUM の性質に関連するであろうシステム論的性質を明らかにすることを試みる。特に、MPUM は、ビヘイビアアプローチの意味での可制御性、そして安定性、表現の最小性などに関連する。一方で、1D では成立する性質がこれらのクラスでは成立しない場合も多く存在する。そこで、これらの問題点に着目し、MPUM が構築できるような性質を明確にすることを試みる。

同時に、これら上記のクラスで必要となる計算手法についても検討する。特に、グレブナ基底と呼ばれる、多変数多項式の既約理論を活用することで、計算機援用も容易とするような MPUM 構成アルゴリズムの構築を試みる。なお、これには、研究代表者の以前の研究成果も活用する。

ノルム条件つき MPUM の構成法もこれらの一般の環上のシステムについても拡張することを試みる。ノルムを定義することが最初の難関であるが、むだ時間システム、符号システム、多次元システム、のおのおの特徴を生かしたノルムを誘導し、ノルム制約つきの MPUM の構築を試みる。

そして、非反証性を応用した制御器設計としてデータ駆動型制御に関する研究も行う。具体的には、データから直接的に制御を構築する問題は、そのまま制御器のモデリングを行う問題でもありから、「制御器の同定」

という概念のもと、いくつかの実用的設計手法の導出を試みる。また、制御器とモデルを同時に得る手法なども試みる。そして、これらの問題を、多次元システムやむだ時間システムなどにも適用を試みる。

以上でおこなったことを有機的に統合することで、MPUM理論の構築を試みる。

4. 研究成果

上記で述べた方法により、本研究課題では以下の成果を得た。

(1). 補間問題における新たな理論的成果：

ネバンリナ・ピックなどの古典解析学の補間問題においては、補間される数式モデルが安定である必要があるが、より一般の場合に対応するためには、不安定である場合も含む必要がある。これは古くから知られている高木補間問題であるが、ここではMPUMの立場から、新しい構成法を与えた。そして、kernel表現と呼ばれる数式表現をベースとして、補間データから数式を構築する高木補間問題における新しい解釈とアルゴリズム、基礎的なくつかの成果を得た。

(2). 多次元システムに着目し、その制御可能性について、いくつかの理論的解釈を与えた。そして、実用の場で問題になる、多次元システムを1次元システムで制御するために必要な性質を明らかにし、与えた制御性能を達成可能であるための必要十分条件を得た。これをベースとして、多次元システムのみならず、一般のシステムを1次元システムで制御可能であるための必要十分条件を与えた。MPUMは制御問題とも深く関連することから、ここで得られた成果は環上のシステムのMPUM理論に貢献するものと思われる。

(3). 多次元システムのノルムについて、考察を行った。結果として、これらのシステムでは、独立変数を展開させる方向によって、ノルムの定義が異なってしまう問題がある。よって現在はまだ検討中である。

(4). 非反証性を応用したデータ駆動型制御について、その得られた制御器の最適性を明らかにし、より効率的な設計計算法などを与えた。また、擬似制御器という新しい概念を導入し、データ駆動型制御をUnfalsifiedモデルとして「同定」することで、対象のモデルと制御器を同時に設計する「制御とモデルの同時設計」という新しい手法を生み出した。これは従来のロバスト制御でも問題となるモデルと制御の相関性にも深くかかわる興味深い成果でもある。その他、データ駆動型制御を非線形システムにも拡張をした。

以上、環上のシステムのMPUMに関連したいくつかの重要な主題を明らかにしたことが本研究の成果である。

今後は、まず、これらの関連した成果を統合化することで、MPUMの理論の構築を進めていきたい。特にむだ時間や符号システムについては着手できなかったもので、これらのシステムについても展開を試みる。とくに、多次元システムについての研究は、今後の研究代表者のテーマとして継続して研究される予定である。

なお、いくつかの成果は投稿中で、以下では成果としては挙げられていないが、近いうちに採録決定が出ることを期待している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

1. 金子 修, ビヘイビアアプローチに基づく制御仕様の達成可能性解析, システム/制御/情報, 51(2008), 414-420, 査読無解説
2. 金子修, 宮地誠, 藤井隆雄, Fictitious Reference Iterative Tuningの最適性に関する考察, 計測自動制御学会論文集, 44(2008), 541-543, 査読有
3. Kaneko, O., Rapisarda, P., On the Takagi interpolation problem, Linear Algebra and Its Applications, Issue 425(2007), 453-470, 査読有

[学会発表] (計10件)

1. Kaneko, O., Yamamoto, S., On Control of n-D plant with 1-D controller in a behavioral framework, European Control Conference 2009, 2009.8.24, The Hotel Intercontinental Budapest, (Republic of Hungary)
2. Kaneko, O., Identification of Hammerstein Model with VRFT in the virtual two-degree of freedom control system, ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2009.8.21, Fukuoka International Congress center (福岡県)
3. Kaneko, O., The parameterization of Stabilizing Canonical controllers: The observable case, ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2009.8.20, Fukuoka International Congress center (福岡県)
4. Kaneko, O., Miyachi, M., Fujii, T., Simultaneous updating of model and a controller based on the data-driven fictitious controller, 44th IEEE Conference on Decision and Control, 2008.12.9, Fiesta Americana Grand Coral Beach Cancun (Mexico)

5. 金子修, 線形時不変システムに対するデータ駆動型正準制御器について, 第 37 回計測自動制御学会制御理論シンポジウム, 2008. 9. 17, 霧島いわさきホテル (鹿児島県)

6. 金子修, 宮地誠, 藤井隆雄, 擬似制御器と擬似参照信号を用いたモデルと制御器のデータ駆動型同時更新, 第 37 回計測自動制御学会制御理論シンポジウム, 2008. 9. 17, 霧島いわさきホテル (鹿児島県)

7. Kaneko, O., Yamamoto, S., The implementability analysis of hybrid controlled behavior with discrete event controllers in the 2D system theoretic framework, 2008 International Symposium on Nonlinear Theory and its applications, 2008. 9. 10, Danubius Health Spa Resort Helia Budapest, (Republic of Hungary)

8. Kaneko, O., On canonical controllers within the unfalsified control framework The 17th IFAC World Congress, 2008. 7. 10 COEX Convention Center Seoul, (Korea)

9. 金子修, 山本哲史, ビヘイビアアプローチに基づくハイブリッドシステムの仕様の達成可能性解析 -2D システム理論的アプローチ-, 第 43 回離散事象システム研究会, 2008. 6. 2, 名古屋大学野依記念学術交流館 (愛知県)

10. 山本哲史, 金子修, ビヘイビアアプローチに基づく nD/1D システムの相互結合について, 第 8 回計測自動制御学会制御部門大会, 2008. 3. 7, 京都大学吉田キャンパス (京都府)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子 修 (KANEKO OSAMU)

金沢大学・電子情報学系・准教授

研究者番号: 00314394