

機関番号 : 22604

研究種目 : 基盤研究 (C)

研究期間 : 2008 ~ 2010

課題番号 : 20560423

研究課題名 (和文)

後続工程と後続ジョブの資源非競合性を考慮したハイブリッドシステム制御手法の開発

研究課題名 (英文)

A Development of a Control Method for Hybrid Systems Considering Resource Conflict with Subsequent Processes and Subsequent Jobs

研究代表者

増田 士郎 (Masuda Shiro) 首都大学東京・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号 : 60219334

研究成果の概要 (和文) :

複数工程からなる生産システムを適切に動作させるためには、一つの工程が他の工程に影響を与えることを考慮して設計を行う必要がある。本研究では、このような観点から後続工程や後続ジョブ(後続の部品の加工)における生産資源の競合を考慮したハイブリッド制御システムの開発を目指し、max-plus 代数を用いた再遅加工開始時刻の設計法や max-plus 線形システムの効率的な設計法、後続工程の性能評価を考慮した先行工程の最適制御系の設計法とその鉄鋼プロセスモデルへの応用に成果を得た。

研究成果の概要 (英文) :

An adequate management and control of production systems consisting of plural processes requires system design considering dependent relations among processes. The research aims at developing a method for hybrid control systems considering resource conflict with subsequent processes and subsequent jobs. The main results from the research is to a calculation method for the latest parts start time using max-plus algebra, an efficient calculation method for max-plus-linear systems, and a design method for the optimal control considering the performance evaluation of the subsequent behavior and its application to a steel making process.

交付決定額

(金額単位 : 円)

	直接経費	間接経費	合計
20 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
21 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
22 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野 : 工学

科研費の分科・細目 : 電気電子工学・制御工学

キーワード : max-plus 代数, システム制御, 工程計画, 資源非競合性

1. 研究開始当初の背景

複数工程からなる生産システムを適切に制御するためには、一つの工程が他の工程に影響を与えることを考慮して設計を行う必要がある。しかし、これまでの制御理論では、単一のダイナミクスで支配さえるシステム

モデルに対して研究されていることが中心であった。これに対し制御対象にモード切替変数などの離散変数を導入したハイブリッドシステムモデルに対する研究が注目され、様々なシステムモデル表現およびその表現に基づく制御系設計手法が提案されてきた。

ハイブリッド制御の研究には、連続量の動的な変化を記述する微分方程式に動作モードなどを表現する離散変数を導入した手法やオートマトンやペトリネットなどの事象駆動の離散変数のダイナミクスに時間駆動の変数を導入したハイブリッドオートマトンやハイブリッドペトリネットに関する研究などがあり、システム表現やその表現モデルに対する制御系設計法に対する体系的な研究は進められている。それらのシステムモデルは一般的なシステム表現であり、汎用性があるが、製造工程などでよく見られる生産ラインに適しているとはいえず、ハイブリッドシステムとしてモデル化し、そのモデルに基づいて制御系設計を行うことによって一定の効果が期待できるが、ハイブリッドシステム制御の適用は十分には進んでいない。

2. 研究の目的

先に述べた研究背景に基づき、本研究では複数工程からなる生産システムを適切に制御するためには、一つの工程が他の工程に影響を与えることを考慮して設計を行うハイブリッドシステム制御系設計法を開発することを目的とした。具体的には、後続工程や後続ジョブ(後続の部品の加工)における生産資源の競合を制約条件として各工程の制御系設計を行う手法の開発を目指す。このような制御系設計は、工程間の関係性を表す離散変数と個々の工程の性能を表す連続変数が混在したハイブリッドシステムに対する制御系設計とみなすことができる。

より詳細には、以下のことを研究目的とした。

- (1) 後続工程、後続ジョブを考慮した最遅加工開始時刻の計算を max-plus 代数を用いて効率的に計算する手法が申請者によって提案しているが、この手法を多段階の後続ジョブに拡張し、基本となる手法の拡張を行うとともに、以前に申請者によって研究を進めてきた max-plus 線形システムによるモデル予測制御手法との関連について明確にする。
- (2) 後続工程、後続ジョブを考慮した最遅加工開始時刻の計算値をフィードバック制御によってオンライン修正できるように、計算効率を向上させることを目指す。
- (3) 事象駆動システムの記述に適した max-plus 代数によるシステム表現を時間駆動で記述できるように修正し、オンラインフィードバック制御や個々の工程のダイナミクスを考慮できるような拡張を行う。
- (4) 後続工程を考慮する設計としては、シーケンシャルに作業が連続する場合が

例が考えられる。そこで、シーケンシャルに動作モードが移行する場合に限定したハイブリッドシステム制御手法について与える。

3. 研究の方法

研究の目的に応じて、つぎのような方法を用いた。

- (1) 繰り返しジョブが多段階にわたる場合への max-plus 代数の線形性を活用し、1 段階先のジョブの考慮するときを用いた計算式を多段階に拡張した。また、現在の工程の進捗状況を付加した計算法を新たに導入することによって、max-plus 線形システムによるモデル予測制御手法との関連について明確にする。
- (2) 複数工程からなる製造プロセスを max-plus 線形システムモデルを構成する場合に用いる構造式を活用し、無駄な計算をできる限り排除する方を検討する。
- (3) Max-plus 線形システムでは、独立変数が事象で変数が事象の発生時刻をあらわしているため、現時刻の状況を把握することは、モデル式からは難しくなり、オンラインフィードバックが困難となる。そこで、max-plus 代数で表現されるモデル式を時間駆動で表現する式に変換する手法を与え、その式に基づいた制御系設計手法を与える。
- (4) シーケンシャルな動作を行う工程において、後続工程の性能評価を先行工程の制御系設計に活用するため、後続工程を最適制御で実施したときの評価を考慮した先行工程の最適制御問題を設計する手法を与える。
- (5) 開発した手法を鉄鋼プロセスや鉄道システムのスケジューリングや様々な対象への適用を検討する。

4. 研究成果

研究目的にそって、主な研究成果は雑誌論文 9 件、学会発表 20 件である。具体的には、下記のとおりである。

- (1) 後続工程、後続ジョブを考慮した最遅加工開始時刻の計算法においてジョブの多段階化を行った。また、max-plus 線形システムによるモデル予測制御との関連を明らかにした。
- (2) 工程進捗スケジュール問題を Max-plus 線形システムでモデル化するとき用いるシステムの構造式の特徴を利用して最遅加工開始時刻の計算を効率化する手法を与えた。
- (3) max-plus 線形システムモデルを時間駆動型で表現する方法を与え、実時間で

フィードバックする手法を与えた。また、各工程にダイナミクスが含まれる場合への拡張を試みた。

- (4) シーケンシャルな動作を行う工程において、後続工程を最適制御で実施したときの評価を考慮した先行工程の最適制御問題を設計する手法を与え、鉄鋼プロセスの熱間圧延プロセスモデルへの適用を行った。

さらに、本研究の成果を応用展開するうえで、実システムから得られるデータに適合したモデルの構成およびそのデータを用いた制御器設計が重要となる。そこで、今後の取組みの準備のため、実システムから得られたデータからシステムモデルを得るための研究として灰色理論を用いたモデリングに関する研究やデータからの直接的制御器調整を行う研究も並行して行い成果が得られている。

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 9 件)

- ① S. Masuda, K. Asano, K. Imai, A MPC for Start-up Phase Tension and Looper Control in Hot Strip Finishing Mills Using Continuation Approach, Proc. of 17th IFAC World Congress, Seoul, Korea. 査読有, (2008), pp. 7282-7287
- ② H. Goto, An Optimal Portfolio of Shelf Inventory for SPA Shops, IJISLM (International Journal of Information Systems for Logistics and Management) 4., 査読有, 2008, pp. 19-29
- ③ H. Goto, Efficient Calculation of the Transition Matrix in a Max-Plus Linear State-Space Representation, IEICE Transactions on Fundamentals E91-A., 査読有, 2008, pp. 1278-1282
- ④ 増田, 浅野, 今井, モード切替え時刻の最適条件を用いたハイブリッドモデル予測制御による熱延仕上ミル張力・ルーパ系のスタートアップ制御, 査読有, 96 巻, 2010, pp. 443-450
- ⑤ 平田, 江田, 古屋, 児島, 増田, 浅野, コイラー巻き取り装置のモデリングと制御, 鉄と鋼, 査読有, 96 巻, pp. 451-458
- ⑥ H. Goto, H. Takahasi, Transferring Progress Control Policies in Scheduling Problems for a Class of Repetitive Discrete Event Systems, International Journal of Control, 査読有, Vol. 83, 2010, pp. 421-431
- ⑦ H. Goto, H. Takahasi, Fast Computation

Methods for the Kleene Star in Max-Plus Linear Systems with a DAG Structure, IEICE Transactions on Fundamentals, 査読有, E92-A, 2009, 2794~2799

- ⑧ H. Goto, H. Takahasi, Monitoring and Prediction Methods for a Class of Railway Systems Based on State-Space Representation In Dioid Algebra, International Journal of Computational Science, 査読有, Vol. 3, 2009, pp. 233-250
- ⑨ H. Goto, High-speed Computation of the Kleene Star in Max-plus Algebraic System Using a Cell Broadband Engine, IEICE Transactions on Information & Systems, 査読有, E93-D, 2010, pp. 1798-1806

[学会発表] (計 20 件)

- ① 田中, 増田, 五島, 多段階出力条件が存在する場合の繰返し処理システムに対するMax-Plus代数を用いた工程進捗スケジューリング, 第 43 回離散事象システム研究会” 第 43 回離散事象システム研究会. (20080602). 名古屋大学
- ② 田中, 増田, 五島, Max-Plus代数による多段階出力条件を考慮した工程進捗スケジューリングのリスクスケジューリング計算, 第 44 回離散事象システム研究会. (20081219). 宮崎大学
- ③ 高橋, 五島, 笠原, Application of a Critical Chain Project Management based Framework on Max-Plus Linear Systems” The Second International Workshop on Adaptive Systems in Heterogeneous Environments (ASHEs). (20090317). 福岡国際会議場
- ④ 五島, 川南, 高橋, Scheduling Method for Repetitive Discrete Event Systems in which Each Job Uses a Different Set of Facilities” 2009 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing (NCSP' 09). (20090303). ホノルル(ハワイ)
- ⑤ 高橋, 五島, 笠原, Application of the Framework Based on Critical Chain Project Management to Max-Plus Linear Systems” The 9th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference (APIEMS '08). (20091203). バリ(インドネシア)
- ⑥ 五島, 笠原, 田中, Efficient Calculation Method of the Transition Matrix for Max-plus Linear Systems with Buffer Constraints” The 4th IEEE International Conference on Management of Innovation & Technology

- (ICMIT' 08). (20090925)
- ⑦ A. Tanaka, S. Masuda, and H. Goto, Process Progress Scheduling for Repetitive Systems Using Max-plus Algebra under Multiple Output Constraints, ICROS-SICE International Joint Conference 2009 (20090819) 福岡国際会議場
- ⑧ S. Masuda, K. Asano, An Optimal Start-up Phase Tension and Looper Control in Hot Strip Finishing Mills with Sequential Mode Transition Using Decoupling Control, ICROS-SICE International Joint Conference 2009 (20090821) 福岡国際会議場
- ⑨ 五島, 笠原, Efficient Computation Methods for the Kleene Star in Max-Plus Linear Systems, The 9th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA '09), (20091202), ピサ (イタリア)
- ⑩ 五島, 坪川, Transferring the Progress Control Policy for a Class of Discrete Event Systems, The 9th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA '09), (20091201), ピサ (イタリア)
- ⑪ 五島, 川南, An Efficient Solver for Scheduling Problems on a Class of Discrete Event Systems Using CELL/B. E. Processor, The 9th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA '09), (20091201), ピサ (イタリア)
- ⑫ 笠原, 高橋, 五島, On the Buffer Management Policy for CCPM Based on MPL, ICROS-SICE International Joint Conference 2009, (20090820), 福岡国際会議場
- ⑬ 増田, 五島, 計画変更にともなうダイナミクス特性を考慮した工程進捗スケジュール, 第 47 回離散事象システム研究会, (20100802), 金沢学院大学 サテライト教室
- ⑭ S. Masuda, H. Goto, On-line Calculation of the Latest Starting Time for Repetitive Process Progress Schedule Based on Feedback Control Approach, SICE Annual Conference 2010 August 18(Wed.)-21(Sat.) 2010, (20100818), Taipei
- ⑮ 増田, 五島, 時間駆動表現による最遅加工開始時刻のフィードバック制御, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2010, (20101124), 京都
- ⑯ 五島, 境, Efficient Computation of a Schedule for a Class of Discrete Event

Systems with Sparse Adjacency Matrices, The 2011 International Conference on Data Engineering and Internet Technology, (20110317), バリ島 (インドネシア)

- ⑰ 五島, 善積, Reduction in Computation Complexity of Scheduling Problems for a Class of Repetitive Discrete Event Systems, The 2011 International Conference on Data Engineering and Internet Technology, (20110317), バリ島 (インドネシア)
- ⑱ 吉田, 高橋, 五島, Modified Max-Plus Linear Representation for Inserting Time Buffers, The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, (20101209), マカオ (中国)
- ⑲ 吉田, 高橋, 五島, クリティカルチェーン法のMax-Plus線形システムへの適用-新たな時間バッファの挿入法, 計測自動制御学会 第 47 回離散事象システム研究会, (20100803) 金沢学院大学
- ⑳ 笠原, 高橋, 五島, CCPM法におけるバッファ管理手法のMPLシステムへの適用, 日本経営工学会, (20091019) 愛知工業大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等 なし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

増田 士郎 (Masuda Shiro)

首都大学東京・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号 : 60219334

(2) 研究分担者

五島 洋行 (Goto Hiroyuki)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号 : 00398950