

機関番号：13102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760386

研究課題名(和文) 厳密な入出力ゲイン解析による切り換えシステムの解析と制御系設計に関する研究

研究課題名(英文) Control Design and Performance Evaluation for a class of Switched Systems

研究代表者

平田 研二 (HIRATA, KENJI)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：40314364

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：連続、離散特性の混在するハイブリッドダイナミカルシステムは、理論面および広範な応用を有する実用面の双方から大きく注目されている。また切り換えシステムは、ハイブリッドダイナミカルシステムの表現する代表的な数理モデルとなっている。不連続な特性を活用した制御系の設計は、標準的な制御系設計の枠組みでは取り扱いが困難な問題に解を与える大きな可能性を有する。本研究では、切り換え特性を活用した制御系設計法およびその制御性能解析法を議論するとともに、これらを通信の利用を前提としたネットワーク制御系、センサーネットワークの起動、停止制御問題に適用し、その有効性を検証する。

研究成果の概要(英文)：Hybrid dynamical systems whose behavior can be described using mixture of event-based logic and differential or difference equations have been attracting significant interest. Switched systems typically arise in the context of hybrid dynamical systems when it is possible to describe the behavior in each mode through a differential or difference equation and the event-based transitions as discontinuous switchings. Control design with discontinuous characteristics has significant potential that can not be achieved by ordinal design technique. This research project discusses control design techniques with discontinuous switchings. The effectiveness of the proposed design techniques is evaluated through applications to networked control systems and an energy efficient control problem of wireless sensor networks.

研究分野：制御工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：ハイブリッドシステム 切り換えシステム 入出力ゲイン

1. 研究開始当初の背景

連続、離散特性の混在するハイブリッドダイナミカルシステムは、理論面および広範な応用を有する実用面の双方から大きく注目されている。また切り換えシステムは、ハイブリッドダイナミカルシステムを表現する代表的な数理モデルとなっている。切り換え特性を活用した制御系設計法およびその制御性能解析法を議論することは、大きな実用的意義を有する。本研究では、切り換え特性を活用した制御系設計法およびその制御性能解析法を議論するとともに、これらを通信の利用を前提としたネットワーク制御系、センサーネットワークの起動、停止制御問題に適用する。また実際のインターネットを利用した遠隔制御系、斜面災害の監視を想定した無線センサーネットワークを構築し、提案する制御系設計法の有効性を実験的にも検証可能とする。

2. 研究の目的

不連続な切り換え特性を積極的に採用することにより、連続な特性を持つコントローラでは実現困難な特性を有する制御系の設計法およびこれらの制御系の性能解析法を議論する。またこれら設計、解析法を切り換え制御系の安定化問題、通信の利用を前提としたネットワーク制御系、無線センサーネットワークを構成する個々のセンサーノードの起動、停止制御問題に適用する。さらに提案する制御系設計法の有効性を実際のインターネットを利用した遠隔制御系、斜面災害の監視を想定した無線センサーネットワークに利用することで、その有効性を実験的にも検証する。

3. 研究の方法

1. コントローラの切り換えを活用した制御系は、アクチュエータの性能制限下における安定化など、連続な特性を有するコントローラでは実現困難な利点を有する一方、その切り換え特性から、制御の性能指標を与えることが困難となっている。本研究では、各コントローラに対する滞留時間に着目することにより、切り換え制御系の性能指標を与える。
2. 通信を利用したネットワーク制御系では、通信遅延、伝達情報の欠落により、制御系の安定性など議論することが困難となっている。本研究では、複数のコントローラの切り換え、および外部からの目標値参照入力 of 整形機構を活用することで、通信遅延、伝達情報の欠落が生じる場合でも制御系の安定性を保証する制御系の設計法を提案する。
3. 実際のインターネットを利用した遠隔制御実験環境を構築する。提案する制

御系設計法をこの実験環境に適用した実際の遠隔制御実験により、その有効性を実験的にも検証する。

4. 災害監視などに代表される大規模な無線センサーネットワークの利用では、省消費エネルギー化によるネットワーク全体の長寿命化が重要となっている。センサーネットワークを構成する個々のノードの起動、停止制御問題は、標準的な制御系設計法の枠組みでは取り扱いが困難な問題となっている。本研究では、不連続な特性を積極的に活用することで、新たな制御系設計法を提案する。これにより、観測データの精度と省消費エネルギー化のトレードオフ達成を可能とする起動、停止制御方策を提案する。
5. 斜面災害の監視を想定した無線センサーネットワークシステムを構築する。提案するセンサーネットワークノードの起動、停止制御方策をこの実験環境に適用することにより、観測データの精度と省消費エネルギー化のトレードオフ検証を可能とする実験環境を構築する。

4. 研究成果

1. スイッチングコントローラを利用した制御系の安定化問題では、制御系に存在する信号の大きさに関する物理的な制限をみたしたうえでの制御系の動作を可能とすることができている。ここでは、状態空間上に構成される集合の不変性を利用し、スイッチングコントローラを構成する個々のコントローラの設計手順を提案することができている。また、コントローラの具体的な切り換え則を導出することが可能となっている。
2. 切り換え制御系の制御性能は、その切り換え特性から、適切な性能指標を与えることが困難となっている。本研究では、切り換え制御系の性能解析問題に対して、切り換え制御系の動作状態を規定する状態変数が特定の不変集合の内部に留まる滞留時間着目し、制御系の性能を規定する評価関数の値を計算可能とした。また提案する解析法をアクチュエータの性能限界に起因する制限を有する制御系に適用し、この拘束条件化での制御系の性能解析が可能であることを明らかにした。
3. 通信の利用を前提としたネットワーク制御系に対し、コントローラの切り換えおよび外部から制御系に加えらるる目標値参照入力 of 整形機能を利用した

制御系設計法を与えることができている。提案する制御系により、ネットワーク制御系では不可避となる通信の遅延、伝達情報の欠落が生じる場合でも、制御系の安定性を保証することが可能となる。また実際のインターネットを利用した遠隔制御実験環境を構築した。このネットワーク制御実験環境に提案する制御系設計法を適用することにより、その有効性を実験によっても検証することができる。

4. 大規模な無線センサーネットワークを想定し、個々のセンサーノードの起動、停止制御方策を提案することができる。ここでは、切り換え型の制御方策を採用することにより、センサーネットワークにより取得される情報の精度とネットワーク全体での消費エネルギーのトレードオフを計ることを可能とする新たな制御系設計法を提案することができる。また提案する制御系を斜面災害の監視を想定して構築した実際の無線通信ネットワークに実装することにより、その有効性を実験的に検証することもできている。

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 4 件)

小木曾 公尚, 平田 研二, 伝達情報の変換による遠隔制御法と検証実験, システム制御情報学会論文誌, Vol.26, No.5, 156/164, 2013.

小泉 圭吾, 藤田 行茂, 平田 研二, 小田 和弘, 上出 定幸, 土砂災害監視のための無線センサネットワークの実用化に向けた実験的研究, 土木学会論文集 C, Vol.69, No.1, 46/57, 2013. Keigo Koizumi, Kenji Hirata, Kazuhiro Oda, Yukishige Fujita, Sadayuki Kamide and Tohru Watanabe, Slope Disaster Detection System using Sensor Networks and its Field Experiment Evaluations, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.5, No.1, 41/47, 2012.

Kiminao KOGISO and Kenji HIRATA, Worst-case Performance Analysis of Multi-mode Switching Control Systems with a Strategy Consisting of Maximal Output Admissible Sets, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.4, No.5, 365/371, 2011.

[学会発表](計 10 件)

和田 匡平, 平田 研二, 小泉 圭吾, 斜面災害監視用センサーネットワークの起動・停止制御方策とその収束性に関する考察, 第 1 回 制御部門マルチシンポジウム, 5A5-4, 2014.

Kenji HIRATA, Keigo KOIZUMI and Joao P. HESPANHA, Probabilistic Management of Slope Disaster Detection Systems for Reduced Energy Consumption and its Convergence Property, The 4th IFAC Workshop on Distributed Estimation and Control in Networked Systems, Koblenz, Germany, 253/260, 2013.

Kenji HIRATA, Keigo KOIZUMI and Msahiro YOSHITAKE, Probabilistic Management of Slope Disaster Detection Systems for Reduced Energy Consumption, 2013 American Control Conference, 5048/5055, Washington, DC, 2013.

Kenji HIRATA, Msahiro YOSHITAKE and Keigo KOIZUMI, Probabilistic Sensor Management Strategy for Slope Disaster Detections, International Workshop on ICT in Geo-Engineering 2012, 99/106, Kyoto, Japan, 2012.

Keigo KOIZUMI, Kenji HIRATA, Yukishige FUJITA and Sadayuki KAMIDE, Slope Disaster Monitoring System using Wireless Mesh-type Network, International Workshop on ICT in Geo-Engineering 2012, 107/115, Kyoto, Japan, 2012.

Takeshi HATANAKA, Kenji HIRATA and Masayuki FUJITA, Cooperative Estimation of 3D Target Object Motion via Networked Visual Motion Observers, The 50th IEEE Conference on Decision and Control, Orlando, 4979/4984, 2011.

Keigo KOIZUMI, Kenji HIRATA, Kazuhiro ODA, Yukishige FUJITA and Sadayuki KAMIDE, Slope Disaster Monitoring System using Battery-operated Wireless Sensor Network, The 2nd World Landslide Forum, Rome, Italy, WLF-0263, 2011.

吉武 将浩, 平田 研二, 小泉 圭吾, 斜面災害監視用センサーネットワークの確率的起動・停止制御, 第 54 回 自動制御連合講演会, 1865/1867, 2011.

平田 研二, 吉武 将浩, 小泉 圭吾, 斜面災害監視用センサーネットワークの起動・停止制御方策, 第 40 回 制御理論シンポジウム, 33/36, 2011.

平田 研二, 吉武 将浩, 小泉 圭吾, 斜面災害監視用センサーネットワークの起動・停止制御に関する考察, 第 49 回 離散事象システム研究会, 25/28,

2011.

〔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

<http://csl.nagaokaut.ac.jp/~hirata>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平田 研二 (HIRATA, Kenji)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：40314364