T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	エネルギーと制御性能のトレードオフ問題に着目したネットワーク化および階層化モデル予測制御方式に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	飯野穣
Author(English)	Yutaka Iino
出典(和文)	学位:博士（工学）, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9767号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤田　政之,三平　満司,山北　昌毅,井村　順一,早川　朋久
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9767号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械制御システム　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　工学　） Doctor of
学籍番号： Student ID Number		指導教員（主）： Academic Advisor(main)	藤田　政之
学生氏名： Student's Name	飯野　穣	指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は，「エネルギーと制御性能のトレードオフ問題に着目したネットワーク化および階層化モデル予測制御方式に関する研究」と題し，エネルギー最小化と各種制御指標のトレードオフ問題に着目した予測制御方式を提案する．まず，ネットワーク化モデル予測制御において無線センサのバッテリ消費低減のために通信レートと制御性能のトレードオフ最適化によるモデル予測制御方式を提案する．また通信レート制約下のネットワーク信頼性確保のために静的，動的トポロジー変化による確率的信頼性最大化手法を提案する．さらに，データ量と予測精度のトレードオフとして JIT モデル（Just In Time Model）と物理モデルのハイブリッド需要予測方式，エネルギーと品質，安定化のトレードオフとして，階層型モデル予測制御方式を提案し，ビルの需要予測や工業プロセス省エネ制御の事例で有効性を示す．

第１章「序論」では，本研究の背景についてまとめ，その動機と目的を述べる．制御システムの実応用における課題として，エネルギー最小化と各種制御指標のトレードオフ問題に着目し，第一にネットワーク化モデル予測制御において無線センサのバッテリ消費低減のために通信レートと制御性能のトレードオフ問題，第二に通信レート制約下のネットワーク信頼性の問題，第三に，エネルギー管理システムにおいて，センサデータ量と需要予測精度のトレードオフ問題，第四にエネルギー管理システムにおけるエネルギーと品質，安定化のトレードオフ問題を挙げる．これに対し，本研究では，ネットワーク化制御における通信コストを考慮したネットワーク化モデル予測制御，制御システムの信頼性を考慮したネットワークトポロジーの最適化，需要予測のためのデータ型モデルと物理モデルのハイブリッド構成法， 多目的最適化を目指した階層型モデル予測制御，を提案する．

第２章「通信コストを考慮したネットワーク化モデル予測制御」では，設置・運用の利便性から産業界で注目されているセンサネットワーク無線伝送情報量の制約，無線端末の電源供給の制約（バッテリ寿命）の課題を明確化する．その一つの対策として，無線端末間の通信レートを低くし，スリープモードにより通信タイミング間の消費電力を節約する通信方法に注目し，ネットワーク化制御として問題設定する．これに対し，第一にモデル予測制御をベースに，通信コストと制御性能のトレードオフ問題としての制御方式を導出する．そこでは，制御性能ペナルティと通信量ペナルティを併せた評価関数の最適化による，制御系と通信サンプリング周期の同時最適化制御方式を Receding Horizon 型評価関数によるモデル予測制御方式として定式化する．第二に，「イベント予測型制御によるネットワーク化制御」では，self-triggered control 方式の一種である状態予測型イベントトリガ制御(Event Predictive Control 方式)を提案する．ここでは，制御ループに相当するネットワークの通信スリープ期間中の制御系の開ループ予測軌道が安定化回復可能な軌道許容集合から離脱する限界点を予測イベントと定義し，予測イベントに連動してネットワークの通信復帰を制御する方式を提案する．また，状態推定問題についても同様の通信コストとのトレードオフ問題として定式化を試みる．

第３章「信頼性を考慮したネットワーク化制御系」では，通信制約下でのセンサネットワークの信頼性最適化問題を定義する．センサネットワークのトポロジーに着目し，確率的な事前信頼性(事故の未然防止)と事後信頼性(回復可能性維持)を両立させたリスクボトルネックアルゴリズムを提案する．まず，静的な最適化問題として最適な通信トポロジーの設計法，次に動的にトポロジーを変化させる通信制御手法を定式化し，確率的にセンサネットワークの通信信頼性を最適化する手法を提案する．

第４章「ハイブリッドモデルに基づく需要予測手法」では，ビルのエネルギーマネジメントシステム（ＢＥＭＳ）において，無線センサの普及，センサリッチ化に伴う多量の計測データの利用と物理モデルの利用のトレードオフを考慮したデータベースモデル（Just In Time Model）と物理モデルのハイブリッドモデルに基づく需要予測手法を提案する．

第５章「階層型モデル予測制御によるエネルギー最適化制御」では，エネルギーマネジメントシステム（ＥＭＳ）において，エネルギーと品質管理，安定化などの多目的な制御指標の優先順位を動的に考慮し柔軟に対応する階層型モデル予測制御方式のコンセプトを提案し，工場向けのエネルギーマネジメントシステムＦＥＭＳ（Factory Energy Management System）への応用技術として具体的に定式化する．適用事例として，エネルギー多消費型産業の一代表であるセメント産業セメントキルンプロセスを対象とし，提案手法の有効性を示す．

第６章「結論」では，本論文の研究成果をまとめ，今後の研究の方向性について考察を述べる．

備考 ： 論文要旨は，和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか，もしくは英文 800 語を 2 部提出してください．
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 2 copies of 800 Words (English).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械制御システム　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	飯野　穣	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	藤田　政之
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

This dissertation proposes new predictive control methods considering trade-off between energy and some kinds of control performances.
First, new control methodologies for wireless sensor network based control system named 'networked model predictive control', minimizing communication energy consumption are discussed. Then a heuristic control method based on the Model Predictive Control strategy with a receding horizon cost function including control performance and communication cost is proposed. A sufficient condition to keep asymptotical stability of the closed loop system is obtained. Next, a heuristic concept of 'predictive event' is introduced, which is pre-determined as a cross-point of future predictive response of the controlled system and the stable region trajectory named 'admissible set trajectory' to ensure recoverability to stable region. Then the sleep and wake mode of the wireless node is controlled according to the predictive events.
Second, wireless sensor network (WSN) topology optimization problem for dependability of control system is considered, where two metrics 'reliability' and 'integrity' for WSN are defined. First, static topology optimization problem for reliability, integrity and combination of them are investigated and some trade-off relationships are clarified. Then, dynamic topology optimization problem is proposed, where some node connections to their parents' nodes change dynamically with a stochastic distribution rate. Then a heuristic decentralized optimization method for each node to maximize the total WSN dependability is proposed.
Thirdly, focusing on the Building energy management system (BEMS), a hybrid modeling approach with physical model and Just-in-Time (JIT) model for load prediction method in BEMS is proposed, where trade-off between big data acquisition and physical modeling is discussed.
Finally, a model predictive control method as an EMS with hierarchical structure in proposed. It optimize different objective function such as stability, quality and energy cost in each layer. It was applied to a FEMS of cement process as a typical industrial process with large energy consumption, and effective result of actual experiment was obtained.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).