HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	自動車駆動系における非線形性と制御周期制約を考慮した振動制御手法に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	米沢, 平成
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14437号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81379
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Heisei_Yonezawa_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　米沢　平成

審査担当者　主　査　教　授　梶原 逸朗
副　査　教　授　佐々木 克彦
副　査　教　授　東藤 正浩
副　査　教　授　近野 敦　（情報科学研究院）

学位論文題名

自動車駆動系における非線形性と制御周期制約を考慮した振動制御手法に関する研究
(A Study on Vibration Control Considering Nonlinearity and Control Period Constraint in Automotive Drive System)

自動車駆動系はエンジンからタイヤまでトルクを伝達するパワートレインであり, 特にトルク急変時に発生する振動が快適性を著しく劣化させる. この振動に対して, アクチュエータからパワーを付与することで低減を図るアクティブ制御は, 今や必須の基盤技術である. これは車両重量の増加を伴わずに, 高性能の振動低減を可能にするため, 燃費改善を補助しつつ生産車に重要な付加価値を与えるものである. 以上より, 自動車駆動系の制御は近年盛んに研究されているが, 性能向上を阻む二つの課題がある. 一つは非線形特性を持つギヤのバックラッシである. バックラッシは機械系全般に渡る課題でもあるため, これに対処する様々な補償が提案されているが, 制御系の構造が複雑でかつ計算負荷も大きい. 二つ目の課題は, アクチュエータとして用いるエンジンの制御周期制約である. エンジンが発生トルク値を更新する機械的メカニズムについて, その動作速度は遅い. よってデジタル制御器と同期したタイミング, つまり短く一定の周期で制御入力を更新できないという問題がある. しかし, 関連先行研究の対策は不十分であり, 特に長い制御周期で実行される離散化の影響が陽に考慮されていない. また, バックラッシと制御周期制約を全て同時に補償する簡便な制御系は未だ存在しない.

以上より, 本研究はバックラッシによる影響を簡便に補償しつつ, アクチュエータの制御周期制約も考慮した自動車駆動系のアクティブ振動制御系を提案する.

本研究では, まず, 制御対象として用いる基礎実験装置を開発した. これは自動車駆動系の基本構造を反映しつつも, バックラッシの影響に焦点を当てるために, 実車を抽象化した並進駆動位置決め系として構成される. 次に, 物理機能モデルの手法に基づき, その時変線形状態方程式を導出した. 実験装置のアクチュエータはリニアモーターである. そのため, エンジンと等価な制御周期制約のみを, デジタルシグナルプロセッサ内のプログラム処理によってモーターに付与する実験システムを構築した.

次にバックラッシの補償を検討した. これは簡便な制御モード切換えアルゴリズムであり, バックラッシで駆動側と被駆動側が切断している状態に対処する. 具体的には, 目標値の切換えと制御器に対するアンチワインドアップを含む 4 つのモードを切り換えることで, 偏差の蓄積回避と衝突時のショック低減を図る. 提案手法は, 従来手法と比較して, 構造が簡便でかつ計算負荷も軽く, 線形モデルベース制御器に対して汎用的に適用できる.

さらに, 制御周期制約による課題の一つである離散化の影響に対処した. エンジンの制御周期は非常に長いため, この周期で制御器を実装する際に伴う離散近似誤差が特性を劣化させる. 本研究はこの課題に対して, サンプル値制御理論を適用した. サンプル値制御は実装の際に離散化を伴わないため, サンプル点間応答が陽に考慮される. 本研究はこの優位性に着目し, 自動車駆動系の振動抑制にサンプル値制御を応用した.

最後に, 制御周期制約による二つ目の課題である時変周期への対処を検討した. シミュレーション結果から, 時変制御周期が引き起こす悪影響は, 制御入力の位相遅れである点を示した. これを補償するために, 本研究はサンプル値制御器を用いた 1 ステップ先に対する予測処理を提案した. また, 予測に必要となる状態量は, 物理機能モデルを活用した時変線形カルマンフィルタによって推定した. 本研究は以上のアプローチを全て組み合わせることで, バックラッシと制御周期制約を同時に補償するとともに, 提案した制御系を実験によって検証した. その結果, 上記の課題全ての悪影響を抑制した良好な制御性能が確認された.

これを要するに, 本研究は, 自動車駆動系の振動制御について, バックラッシとアクチュエータの制御周期制約を同時に補償した簡便な制御手法を提案し, 実車の課題をより一般化した基礎実験装置を用いてその有効性を明らかにしたことから, より実用的なモデル化および制御手法の概念を提示するとともに, 不感帯や遅れ要素を有するさまざまなシステムの性能向上に寄与すると考えられ, 自動車工学分野および制御工学分野の発展に対して貢献するところ大なるものがある. よって著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める.