

論文内容の要旨

博士論文題目： 切替え型オブザーバによる不規則遅延の補償とその応用に関する研究

氏名： 中村 幸紀

(論文内容の要旨)

近年のイーサネット機器の低価格化により、産業用計装機器にもネットワークポートが標準装備されるようになってきた。これを背景に、汎用ネットワークを用いたネットワーク化制御系(NCS: Networked Control Systems)の研究が注目されており、遠隔操作ロボットによる救援活動や、da Vinci や Zeus に代表される遠隔医療などへの応用が期待されている。

しかしながら、ネットワークの利用状況に応じて伝送遅延は不規則に変動するため、制御性能の劣化を引き起こし、最悪の場合、フィードバック系の不安定化を招きかねない。このため、不規則遅延の影響をいかにして抑えるかが課題であった。

通常、NCS においては伝送遅延が未知の事変要素としてモデル化されることが多い。一方、パケットの送信時にタイムスタンプを付加し、受信時に遅延時間を求める方法が知られている。これにより、予め遅延時間を知ることはできないにせよ、少なくとも信号の受信時に計測することができる。

そこで、本論文では、タイムスタンプ情報を用いた不規則遅延の保証方法について述べる。

まず、遅延時間に応じてゲインを切替えるオブザーバ(切替え型オブザーバ)を提案する。オブザーバの設計問題は、切り替えを伴う推定誤差系の安定化問題へ帰着される。また、ジッタバッファを用いたものに比べて推定誤差の収束速度が改善される。

つぎに、実ネットワーク上での遅延補償問題に対する提案方の有効性について議論する。ここでは、タイムスタンプの実装で要求される送受信側の計算機時刻について検討し、クロックスキューに対する補正や NTP (Network Time Protocol) により必要な精度内で同期できることを確認する。また、NCS の一例として、通信路を解した複数機器による連動作業を取りあげ、提案法が実際のネットワーク上で動作することを実験により検証する。

氏名	中村 幸紀
----	-------

(論文審査結果の要旨)

ネットワーク通信技術の爆発的な進歩と普及により、汎用のネットワーク回線を用いたフィードバック制御が注目されつつある。これは既存のインフラを活用してシステムを構築できるというメリットがあるため産業界においても実用化が待たれている。しかしながら共有の資源による通信では不規則な遅延が避けられないが、フィードバック制御ではリアルタイム処理が要求されるため、この点が大きな課題となっている。ジッタバッファによって遅延を平滑化する方法も考えられるが、観測信号をバッファリングせず直ちに利用できればより望ましい。

そこで本研究では、ネットワーク通信において普遍的に用いられているタイムスタンプ情報を受信側において遅延時間の算出に用い、それを元に制御対象の状態を推定するという自然な、しかし従来になかったアイデアを制御系の設計に利用する。算出される遅延時間に応じてオブザーバのゲインを切り替える必要があるため、近年盛んに研究されている共通リアプノフ解を用いた切替え系の安定化法を援用し、どのような不規則な遅延時間の変動に対しても誤差系の安定性を保証する手法を提案する。具体的には線形行列不等式(LMI)を全ての許容遅延時間について連立させ、数値最適化手法によって切替えゲインを計算する。さらに、LMIは H_∞ 評価規範とも整合性が良いことからロバスト性も考慮することができ、指定した耐ノイズ特性を持つオブザーバの設計も可能となった。

さらに、本研究では提案手法の有効性を検証するため、ネットワーク制御として実装する際の諸問題、特にクロックスキューに対する補正について検討し、また複数機器による連動作業を取り上げて実験的検証を行った。

このように本研究はシステム制御の分野における新しいテーマに取り組み、従来にないアプローチを提案するだけでなく有効性を実験により検証するなど、基礎理論と実証の両面で学術上および実用上、意義ある成果である。よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。