

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：52501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820171

研究課題名(和文)クラウド型リアルタイムフィードバック制御における静・動特性の向上手法の提案

研究課題名(英文)Improvement Method Proposal of Static and Dynamic Characteristics with Cloud-Type Real Time Feedback Control

研究代表者

浅野 洋介 (ASANO, Yosuke)

木更津工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：70390416

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：無線通信環境におけるフィードバック制御システムを構築するときに、通信遅延はむだ時間となり、制御系に悪影響を与える。むだ時間の影響を補償するために可変スケーリング通信外乱オブザーバと線形で制御系設計が容易であるハイパスフィルタ通信外乱オブザーバを提案した。実機実証実験により、提案手法は定常偏差を改善することができた。特にハイパスフィルタ手法では、過渡応答も同時に改善することを確認し、無線ネットワーク制御技術を確立した。

研究成果の概要(英文)：The communication delay became delay time and negatively affects, mainly steady-state deviation, in the control system through the wireless communication network. In order to compensate the steady-state deviation caused by variable delay time, Variable-scaling Communication Disturbance Observer (VSCDOB) and High-Pass Filter Communication Disturbance Observer (HPF CDOB) were proposed. The steady-state deviation was improved with proposed methods. Especially, the transient response was simultaneously improved using HPF CDOB. The wireless communication control technique of actuators was established.

研究分野：制御工学

キーワード：無線通信制御 変動むだ時間 通信外乱オブザーバ 定常偏差抑圧

### 1. 研究開始当初の背景

近年、様々な研究機関においてロボットが開発されているが、それらのロボットは多自由度化の一途をたどっている。このとき、制御器とモータ・モータドライバと、または、各種センサ類との接続は非常に複雑なものとなる。

申請者はマイコンとアクチュエータ・センサを1つのユニットととらえ、アクチュエータユニットとし、PCを制御装置としたリアルタイム無線通信フィードバック制御システムについて研究してきた。無線制御システムは、PCにて制御計算を行い、制御入力を無線伝送する。また、フィードバックされる制御量もPCへ無線伝送される。これを応用すると、産業用ロボットの配線レスが実現出来る。しかし、解決すべき問題点として無線化に伴う通信経路におけるむだ時間の影響がある。制御入力やフィードバックを無線化するため、システムの特長である速応性・精度・安定性に大きな影響を与える。この問題を解決するために、通信外乱オブザーバ(CDOB)が考えられている。この手法は、むだ時間の同定をせずに補償することが出来るという大きな利点を持つが、むだ時間が可変であり、かつ、制御ループに積分項がある場合(つまり1形システム)、モデル化誤差の影響を受け、定常偏差が発生するという課題があった。

### 2. 研究の目的

本研究では提案制御方式によるクラウド型リアルタイムフィードバック制御システムの実現を目指す。シミュレーションによる検討は既に行っているため、研究期間内には主に実機実験を行い、以下の点を明らかにする。

- (1) 位置制御における制御性能の向上・実験検証
- (2) クラウド型多軸ロボットの制御手法の確立

### 3. 研究の方法

上述の本課題における2つの具体的な研究テーマについて、平成26年から27年までの2年間の研究期間において実際に遂行した研究方法の概要について述べる。

- (1) 位置制御における制御性能の向上・実験検証

平成26年度においては、実環境における無線通信モデルの解析結果をもとに、シミュレーションモデルに適用し提案制御方式である「可変スケールリング通信外乱オブザーバ」の実機実証実験を行った。

無線通信モデル解析については、無線スペクトルアナライザにより無線通信によるむだ時間の時間的推移を計測することができた。その結果、Bluetoothにおける無線通信のむだ時間は10~40msの範囲で周期性を持つことが確認できた。この解析結果をもとに

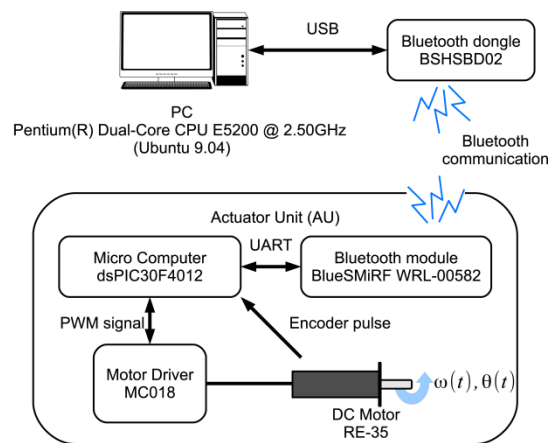


図1 無線制御システムの構成

シミュレーションシステムのむだ時間変動モデルの再構築を行った。そして、提案手法をシミュレーションにより検証し、有効性を確認することができた。

次に、図1に示すような実験システムを構築し、実機実験により、提案手法の有効性を確認した。制御対象をDCモータ、無線通信デバイスをBluetoothとしてリアルタイムフィードバック制御系を構築し、実験を行った。前述のように、むだ時間が変動するため、通信外乱オブザーバのみの場合、モデル化誤差の影響から定常偏差が発生していた。これは、通信外乱オブザーバの出力部に残差が発生してしまい、等価的に目標値に変更が加わったためであると考えられる。通信外乱オブザーバの出力に指令値とフィードバック値の偏差に基づいた可変スケールリングを加える提案手法により、定常偏差を解消することができた。また、これまでに、通信外乱オブザーバと外乱オブザーバの併用は困難であるとされていた。提案手法を用いることで外乱オブザーバの併用が可能となることがシミュレーションにより検証された。

平成27年度においては、前年度の研究成果を受け、制御系設計が容易であり、安定性を確保することが出来る「ハイパスフィルタ通信外乱オブザーバ」の実機実証実験を行った。

スケールリング手法では、通信外乱オブザーバの出力を非線形なスケールリング項を用いて減少させ、定常偏差を改善した。しかし、非線形項のため制御系設計が困難であるという問題点があった。そこで、定常偏差の原因がCDOB出力の直流成分であることに着目し、スケールリング項にハイパスフィルタ(HPF)を適用した。結果として、定常偏差が改善するとともに、過渡応答も改善が見られた。また、位相余裕・ゲイン余裕や $H_{\infty}$ ノルムに基づいて制御系を設計することが可能となった。

- (2) クラウド型多軸ロボットの制御手法の確立



図 2 小型ヘリコプター

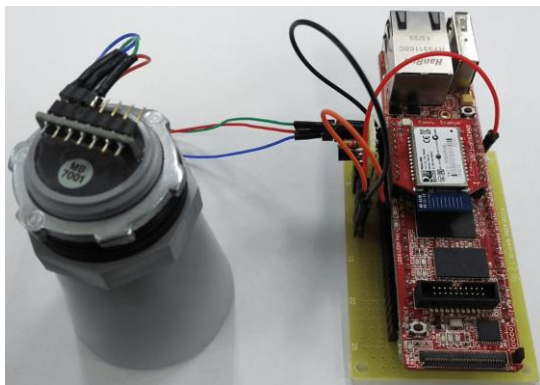


図 3 コントローラおよび超音波距離センサ

平成 27 年度において、前年度の研究結果を受けて、有効性が確認されたスケリング手法のロボットアプリケーションへの適用を検討するためにロボットの設計、製作を実施した。

ロボットアプリケーションとして、図 2 に示すような小型ヘリコプター型ロボットの高度制御を行うために、図 3 のようなロボットの下部に超音波距離センサ、胴体部にコントローラを搭載したものを開発した。ロボットの開発はほとんど完了しているが、安全に飛行させるためのガイドや屋外飛行許可について未申請であるため実機実証実験までには至っていない。今後、継続して実証実験を行う。

#### 4. 研究成果

これまでに十分に考えられていなかったむだ時間の特性やシステム定常偏差が抑圧されたことは優れていると考えられることから、この成果を主に述べる。

##### (1) 主たる成果

無線スペクトルアナライザを用いてむだ時間の計測を行った。入力むだ時間の分布を図 4 に、フィードバックむだ時間の分布を図 5 に示す。入力むだ時間とフィードバックむだ時間のむだ時間分布が異なっていることを知見として得ることができた。また、これらの分布には周期性があることも確認す

ることができた。

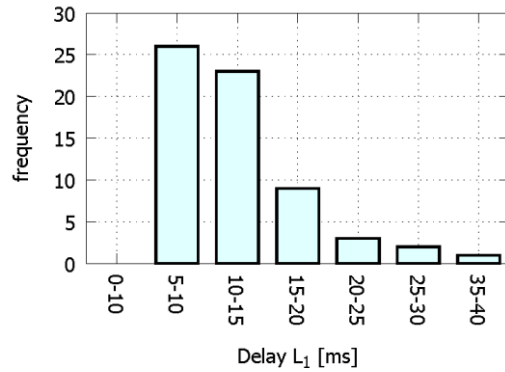


図 4 入力むだ時間の分布

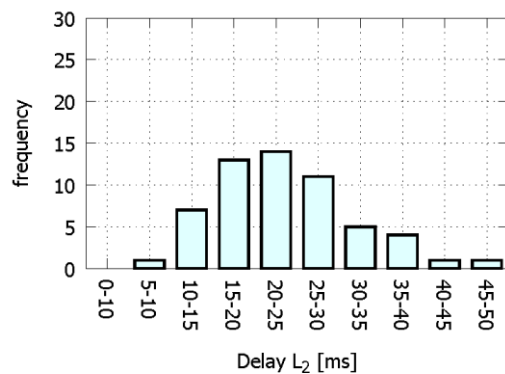


図 5 フィードバックむだ時間の分布

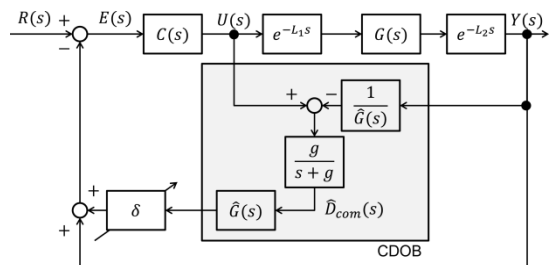


図 6 可変スケリング通信外乱オブザーバのシステム

この特性を考慮して、図 6 に示すような CDOB の出力部に、制御偏差に従って変化するスケリング項  $\delta$  を追加したシステムを提案した。シミュレーションによる有効性の検証はすでに実施されているため、制御対象を DC モータとして、実機実験による実証を行った。実験結果を図 7 に示す。CDOB のみの場合、定常位置偏差が発生してしまっていたが、スケリング項を加えることで定常偏差なく指令値に追従することが可能となった。定常偏差は 0.154% となり、十分な性能を持つことが確認できた。本提案手法は、従来の定常偏差抑圧手法に比べて、同定が不要でありシンプルに構築することができる。以上の成果について、雑誌論文を投稿中である。

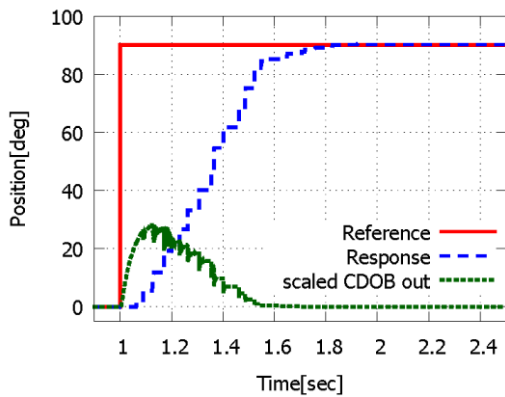


図 7 可変スケーリング通信外乱オブザーバによる DC モータの位置制御

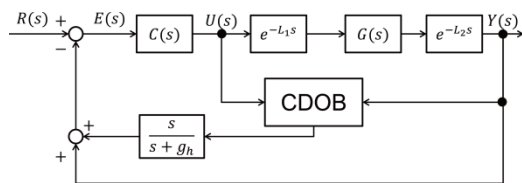


図 8 HPF 通信外乱オブザーバのシステム

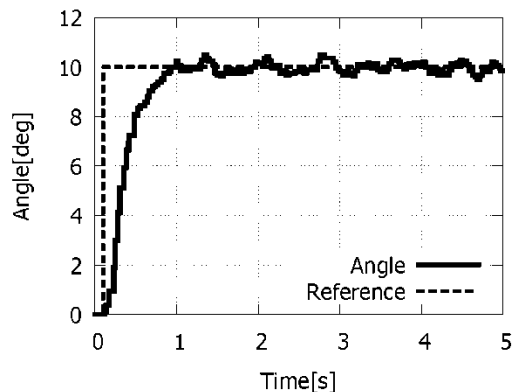


図 9 HPF 通信外乱オブザーバによる DC モータの位置制御

可変スケーリング通信外乱オブザーバはシンプルな構成ではあるが、スケーリング項  $\delta$  が非線形であるため設計が難しかった。そこで、定常偏差が直流成分であることに着目し、CDOB 出力に HPF をかける手法を提案した。図 8 に HPF 通信外乱オブザーバのシステムを示す。実験結果を図 9 に示す。このとき、HPF のシャ断周波数を  $400\text{rad/s}$  とした。定常偏差は  $0.714\%$  となり、可変スケーリング手法よりは精度が落ちるものの、十分な性能を持つことが確認された。また、線形システムとして考えられるため設計が容易になり、ロバスト安定であることも証明することができた。

#### (2) 今後の展望

現在、インダストリー4.0 (第 4 次産業革命) が提唱され、生産工場内のすべての産業

ロボットのネットワーク化が進むと考えられる。そこで本研究課題で得られた知見の活用が予想される。ロボットアプリケーションにとどまらず、複数のロボットアプリケーションのネットワーク制御の実現を目指し、今後も継続的に研究を推進する。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)  
なし

〔学会発表〕(計 4 件)

① 岡本帆乃実, 小山昌人, 浅野洋介, “無線通信制御における通信外乱オブザーバ出力の直流成分除去手法のロバスト安定性検証”, 平成 28 年電気学会全国大会, Vol. 4, pp. 328-329, 東北大学 川内北キャンパス (宮城県仙台市), 2016 年 3 月 18 日

② 岡本帆乃実, 小山昌人, 浅野洋介, “無線通信制御における通信外乱オブザーバ出力の直流成分除去による定常偏差の改善”, 平成 27 年電気学会産業応用部門大会, p. Y-86, 大分大学 (大分県大分市), 2015 年 9 月 3 日

③ 浅野洋介, 小山昌人, “出力スケーリング型通信外乱オブザーバによる無線通信フィードバック制御における安定性と外乱抑圧に関する検討”, メカトロニクス制御研究会, MEC-15-011, pp. 59-64, 芝浦工業大学豊洲キャンパス (東京都江東区), 2015 年 8 月 5 日

④ 浅野洋介, 小山昌人, “通信外乱オブザーバの出力スケーリング手法における外乱抑圧の検討”, 第 57 回自動制御連合講演会, pp. 619-622, 群馬伊香保 ホテル天坊 (群馬県渋川市), 2014 年 11 月 10 日

〔図書〕(計 0 件)

なし

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

なし

○取得状況 (計 0 件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

<http://beam.kisarazu.ac.jp/~asano/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

浅野 洋介 (ASANO, Yosuke)

木更津工業高等専門学校・電気電子工学科・准教授

研究者番号: 70390416

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし