

作業機械の智能化インタフェースに関する研究

研究代表者 菅野 重樹
(創造理工学部 総合機械工学科 教授)

1. 研究課題

自動車や手術支援ロボット、建設機械などの人間機械システムにおける作業パフォーマンスは、操作者の熟練度や機械システムの性能だけでなく、操作者と機械を繋ぐインタフェース(HMI: Human Machine Interface)によっても大きく影響を受ける。有用なHMIのデザインには、機構や配置などのハードウェアに関する考察だけでなく、操作入力に対するアクチュエータ出力、以下、I/O ゲインと呼ぶ(図1(a))、などのソフトウェアに関する考慮が重要となる。細かな操作が必要となるタスク(ブロックの正確な積上げなど)では、I/O ゲインを下げることによって、低い速度領域のレンジが広がるため、操作者は、精神的負荷を軽減させつつ、細かなマニピュレータ操作が可能となる(図1(b))。一方、大きな移動が伴う作業(瓦礫撤去作業など)では、I/O ゲインを増加させることによって、高い速度領域が低い操作量で実現されるため、身体的な負荷を減らしつつ、効率的なマニピュレータ操作が可能になる(図1(c))。これら2つの例示から分かるように、I/O ゲインの調整は、操作性の改善だけでなく作業パフォーマンスの向上に効果的といえる。

しかしながら、多くの人間機械システムにおけるI/O ゲインは、作業内容や操作者によらず固定されており、その値は、客観的・定量的な基準というよりは、主観的な経験に基づいて決定されているのが現状である。このことは、一般的な制御システムにおけるゲイン調整にも同様にいえることである。高度な技能をもつ操作者であれば、I/O ゲインと使用条件とのミスマッチをある程度まで補えるものの、作業内容や操作者に合わないI/O ゲインは、身体的・精神的疲労を増大させ、時間効率や安全性などの作業パフォーマンスを低下させる原因となってしまうことが懸念される。この問題を解決するために、本研究では、I/O ゲインを調整する知的システムを導入する。

2. 主な研究成果

本研究で提案する調整システムにより調整されるゲインを、従来のゲインと区別するために、BIOG (Basic Input-Output Gain)と呼ぶこととする。本年度は、BIOG 調整システムに必要な機能を明らかにした上で、基本的なシステム設計を行った。

2.1. 機能的要求

多くのゲイン調整手法が提案されているのだが、それらは大きく2つのアプローチに分けられる。1つはゲインチューニングである。このアプローチでは、プラントやロボットアームの動特性、およびそれらの作業内容に適したゲインの組み合わせが計算され、システムに事前に組み込

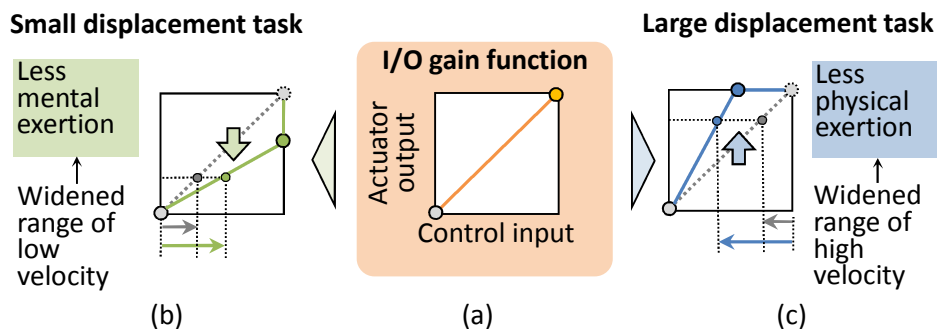


Fig. 1 I/O gain tuning and its effectiveness for improving workability and operability

まれる。I/O ゲインは、想定されたシステムや作業において基本的に固定となる。PID チューニングをはじめとする種々の制御パラメータ調整に利用されている。もう 1 つはゲインスケジューリングである。このアプローチでは、外乱や変化する環境要因などの条件に応じて、ゲインが実時間に連続的に変化するものである。タンクの水位調整や化学プラントなどの非線形システムの制御に広く用いられている。上記 2 つのアプローチは、多くの自動制御システムに実装されている。

一方、本研究では、人間機械システムを対象とすることから、人間機械システムに適した I/O ゲイン調整に対する要求仕様を考慮する必要がある。考察の結果、操作者の操作性と作業性を確保するための 2 つの機能的な要求が浮かび上がった。

- **大局的特性に基づく調整**。人間機械システムの多くは、さまざまな環境における多様な作業への適用を目的としている。また、人間は強い非線形性やばらつきを持つだけでなく、習熟や飽き、疲れなどの要素も含む。上記の特性に起因して、使用条件が時々刻々と変化するため、短期間のデータを用いた I/O ゲインの決定は、局所解に陥ってしまう可能性が高い。また、不確定の条件が多いことから事前の決定も難しい。これらの特性を踏まえると、長期間データから導出された大局的な作業特性に基づく調整が実際的かつ有用になると考えられる。
- **緩やかに馴染ませる調整**。I/O ゲイン調整によって、機械システムの動特性は見かけ上変化する事となる。人間は、システムの動特性を理解することで、機械操作に習熟していくといわれている。この点を踏まえると、頻繁かつ大幅な I/O ゲイン調整は、機械操作への習熟・なじみを阻害する要因となってしまう（これは、人間の操作が介在しない自動制御部では問題にならないことが多い）。そこで、操作者が違和感を覚えない程度に、緩やかに馴染ませていく調整が重要になると考えられる。その上で、最大の調整効果を提供することがポイントとなる。

以上の分析結果を踏まえると、大局的な作業傾向に応じて緩やかに馴染ませていくという考え方は、頻繁なゲイン調整を行うゲインスケジューリング、システム動特性を事前にモデル化するゲインチューニングの直接的な利用が難しいことがわかる。

2.2. 基本入出力ゲインという考え方

人間機械システムにおける I/O ゲインは、大局的な作業特徴に基づき、操作者が違和感を覚えないように、その作業特性に徐々に馴染ませていくべきといえる。これまでの調整が局所的な特徴に基づく対症的調整であるのに対して、提案するアプローチに基づく調整は、機械システムのベース

となる I/O ゲインを導出する根本的調整といえる。従来のゲインの概念と明確に区別するために、これを基本入出力ゲイン(Basic Input-Output Gain: BIOG)と呼ぶこととする。手動制御系においては、パワーアシスト車椅子におけるパラメータ調整や自動車用操縦レバーの粘性要素の調整、人間機械システムを解析するための Crossover Model など、多くの手法が提案されている。しかしながら、これらの研究では、作業内容や操作者は既知であることが多く、BIOG という観点のゲイン調整は考慮されていない。人間機械システムにおいては、短期的かつ瞬間的な調整も重要となることから、本研究で提案する大局適応的 I/O ゲイン調整をベースに、その上位に局所適応的 I/O ゲイン調整(危険動作に応じたゲインの切替など)を位置付ける階層的な I/O ゲイン調整システムを提案する。長さの異なる識別時間を有する調整モジュール群により、より効果的な調整が可能になると考えている。

3. 共同研究者

亀崎 允啓 (理工学術院総合研究所(理工学研究所)・次席研究員(研究院講師))

岩田 浩康 (創造理工学部 総合機械工学科・教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- [1] 亀崎允啓, 佐藤隆哉, 楊俊傑, 岩田浩康, 菅野重樹, “遠隔操作オペレータの環境把握性を高める非映像化情報の可視化と推奨注視映像への誘導”, 第 21 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 50-55, 2016 年 3 月.
- [2] 亀崎允啓, 岩田浩康, 菅野重樹, “操作入力量ヒストグラムの波形整形に基づく基本入出力ゲインの自動調整システム”, 日本ロボット学会誌, vol. 34, no. 1, pp. 56-64, 2016 年 1 月.
- [3] 亀崎允啓, 佐藤隆哉, 楊俊傑, 岩田浩康, 菅野重樹, “複数画面を使った遠隔操作における注視映像と作業パフォーマンスの関連性分析”, 第 16 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集(SI2015), pp. 2354-2355 (3G2-6), 2015 年 12 月.
- [4] 亀崎允啓, 三矢隆史, 森島洋忠, 峰田健司, 岩田浩康, 菅野重樹, “識別性能の粒度を高める操作・運動・負荷情報を用いた拡張基底作業状態の提案”, 第 16 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集(SI2015), pp. 1021-1022 (1N4-4), 2015 年 12 月.
- [5] 亀崎允啓, 佐藤隆哉, 楊俊傑, 岩田浩康, 菅野重樹, “無人化施工における視覚情報の強化に関する研究—作業状況に応じた環境カメラの自動制御と拡張現実技術を用いた注視支援—”, 第 15 回建設ロボットシンポジウム論文集(SCR2015), paper no. O-24, 2015 年 9 月.
- [6] 亀崎允啓, 楊俊傑, 岩田浩康, 菅野重樹, “被覆率とコスト評価に基づく 3 次元異方性センサ群の実用的配置手法の提案”, 第 33 回日本ロボット学会学術講演会論文集(RSJ2015), paper no. 3H1-06, 2015 年 9 月.
- [7] 亀崎允啓, 小坂拓未, 岩田浩康, 菅野重樹, “BIOG 調整システムにおける入出力情報を用いた作業および操作者の特性分析”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 論文集(Robomec'15), paper no. 2P1-P05, 2015 年 5 月.

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

4.4 受賞・表彰

[8] Finalists of Best Paper Awards in IEEE-CYBER 2015, 2015 年 6 月.

4.5 学会および社会的活動

5. 研究活動の課題と展望

次年度は、2015 年度の分析結果に基づき、各モジュールの具体化を行う。特徴量に関しては、操作傾向と作業傾向を大局的に把握できること、判断手法に関しては、複雑な使用条件に依存しない共通性を有し、かつシンプルであること、変更量の算出手法に関しては、効果を高めつつもオペレータの混乱を招かない変更方法や変更量を出力することをそれぞれ考慮して開発を行う。