

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

建設機械等に代表される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。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。そこで、この問題を解決するために、本プロジェクト研究では、I/O ゲインを調整する知的システムを導入することを提案している。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であることを鑑み、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を行う。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。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。2017 年度は、2016 年度に具体化されたモジュール群を統合し、被験者実験からシステムの評価を行った。

2. 主な研究成果

実機実験から、BIOG調整によってヒストグラム波形が目標基準波形に整形されること、作業効率が向上すること、主観的な使いやすさが向上することを確認した。

2.1. 実験の概要

(1) タスク： 本実験は、3つのピッチ軸を有する油圧駆動マニピュレータをスレーブ、関節角速度指令型のばね復帰型レバーをマスタとして利用する。本研究では、手先の位置決めに支配的に利用されるピッチ軸第1関節(+/-)と第2関節(+/-)における4つのBIOGマップ(合計12個のBIOGパラメータ)の調整を行う。評価タスクは、高速動作が求められるボールの運搬と微細操作が要求されるブロックの積み上げとした。ボール運搬タスク(タスクA)では、機体の前に設置されたボールプールからできるだけ多くのボールを掴み手前の収集領域まで運ぶものである。被験者には、決められた時間内でできる限り多くのボール運ぶように指示した。ブロック積み上げタスク(タスクB)では、環境に、2つの角柱と1から8まで番号付けされた8つのブロックが設置されている。被験者は、6つのブロックと2つの角柱を使用して、5段の構造物を構築する。積み上げ領域の余裕を縦横ともに1[cm]

と狭く設定することで、微細操作要求を非明示的に付与した。被験者には、できる限り早くかつ、環境への誤接触を避け、構造物を崩さない丁寧な作業を行うように指示した。

(2) 実験手順・評価方法： 被験者は6名、本実験機の操作に十分に慣れた操作者を利用した。すべての被験者は、まずタスクAを4セット行う(1日につき、20分×2セット)。初期BIOGには、中庸なデフォルトBIOG(G_{def})を利用する。BIOGは、施行日ごとに収集された操作量ヒストグラムを用いて調整される(合計3回の変更： $G_{A1} - G_{A3}$)。次に、タスクBを10回×2セットを1日とし、5日間連続で行う。1日目は各自のタスクAへの適応後BIOG(G_{A3})で作業を行う。次に、この1日目の作業結果を参照し、グループ間の作業時間の平均と分散が等しくなるように、被験者6名を3名ずつのグループに分ける。グループ1(以下、支援ありG)では、調整システムを用いたBIOG変更を行い($G_{B1} - G_{B3}$)、グループ2(以下、支援なしG)では、調整を行わない(G_{A3} のまま)。BIOG調整は、当該日の全施行データを用いて終了時に行う。最終5日目には、支援ありGは、 G_{def} で再試行し、支援なしGは、4日目の作業データを用いて調整したBIOG(G_{B1})にて作業を行う。なお、調整システムに関する説明は、被験者には一切しない。変更規範の波形整形能力の評価として、操作量ヒストグラムと正規分布波形の面積差分、作業パフォーマンスの評価として、ボールの運搬個数(タスクA)・作業遂行時間(タスクB)を計測する。また、操作者の主観的な使いやすさを評価するために、NASA-TLXを用いたアンケートを1セット、4セット、5セット終了後にそれぞれ行う(タスクBのみ)。

2.2. 基本性能評価

運搬したボールの個数と面積差分の推移をFig. 1(a)に示す。面積差分は各関節(4枚分)における差分の合計値であり、最大値を100、最小値を0に基準化した。BIOGを調整することで、4日目のボールの個数は1日目に比べ1.5倍に増加した。また、面積差分が減少するにつれてボール個数が増加していることが分かる。タスクAは、大きな操作が繰り返し必要となるため、BIOGマップは大きな操作入力がしやすいように急峻な傾きに調整されている。軸ごとのBIOGマップの違いを分析すると、ブームのBIOGは、操作者に応じて大きく変化しており、特に、ブーム上げはすべての操作者で異なっている(Fig. 1(b))。これは、タスクAにおけるブーム上げ操作が操作者の操作技能によって影響を受けやすい(高難易度である)ことを示している。一方、アームのBIOGは、ほとんど同じであることから、アーム操作は操作者によらず同様であった(低難易度であった)ことが分かる。

2.3 支援有無比較評価

(1) 面積差分： Fig. 2(a)に、各グループにおける面積差分の推移を示す。支援ありGでは、1日目から4日目にかけて確実に面積差分が減少しているが、デフォルトBIOGに戻した5日目では増加している一方、支援なしGでは、面積差分の減少はほとんど見られなかった。しかしながら、4日目の作業データへ適応したBIOGマップで行った5日目では、面積差分の減少が確認された。BIOG調整を行うことで操作量ヒストグラム波形が、正規分布波形に近づくように整形されるのが分かる。また、面積差分の増減に対応して、作業時間が増減していることも分かる。以上より、本BIOG調整システムは、操作量ヒストグラム波形を基準波形(正規分布)に近づけられる可能性が示唆された。

(2) 作業効率： Fig. 2(b)に、各グループにおける遂行時間の推移を示す。両グループともに減少傾向はあるものの、支援ありGのほうが、支援なしGに比べ大きく減少し続けていることが分かる。支援なしGでは、3日目以降に作業時間の減少が見られず、自己改善が頭打ちになったものと予想される。調整支援の有無を切り替えた5日目において、支援ありGでは、すべての被験者でタスク時間が増加し、支援なしGでは、すべての被験者で減少することが分かった。4日目において支援ありG-支援なしG間で t 検定を行った結果、統計的な有意差($t=4.98$, $p<0.05$)が得られた。これは、BIOG

調整の支援効果により，初日には確認されなかった作業時間差がグループ間に現れたことを示している．また，支援なしGの4-5日目間で t 検定を行った結果，統計的な有意差($t=4.31$, $p<0.05$)が確認されたことから，調整されたBIOGを利用することで，自己改善以上の作業効率性を引き出せることが分かった．その一方で，支援ありGの4-5日目間は，統計的な有意差が確認されなかった．これは，オペレータの効率的な動作イメージの習熟が大きく起因していると考えられる．動作イメージが未習熟であれば，BIOG調整の効果は大きい，習熟すれば，BIOG調整の効果は相対的に小さくなると考えられる．これは，今後の調整戦略の再考に活用できる．

(3)精神的作業負荷： Fig. 2(c)に，NASA-TLXを用いた精神的作業負荷の定量化結果を示す．支援ありGでは，BIOG変更に伴い，使いやすさが向上しているが，5日目のデフォルトBIOGでは評価が悪化している．支援なしGでは，慣れの影響(自己適応)により多少の改善はあるものの，4日目の作業結果に適応を行った5日目では，使いやすさが向上することが示唆された．

ヒアリングの結果，BIOG調整に気付いた操作者はおらず，調整によって操作に違和感を覚えるものはいなかった．以上より，提案したBIOG調整手法が，人間機械システムにおけるI/Oゲイン調整の要求機能を満たし，作業性・操作性の改善に寄与することが示唆された．

3. 共同研究者

亀崎 允啓

(理工学術院総合研究所・主任研究員)

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] K. Chen, M. Kamezaki, T. Katano, T. Kaneko, K. Azuma, T. Ishida, M. Seki, K. Ichiryu, and S. Sugano, "Compound Locomotion Control System Combining Crawling and Walking for Multi-Crawler Multi-Arm Robot to Adapt Unstructured and Unknown

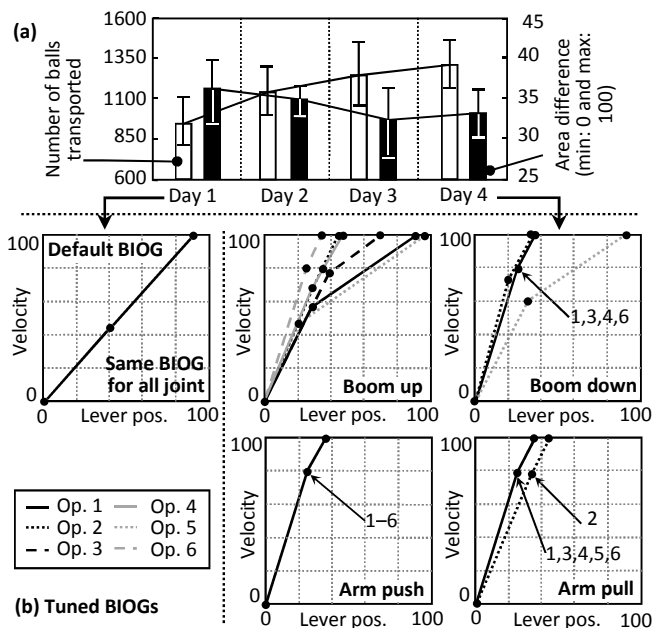


Fig. 1 The number of balls transported and tuned BIOG (Task A)

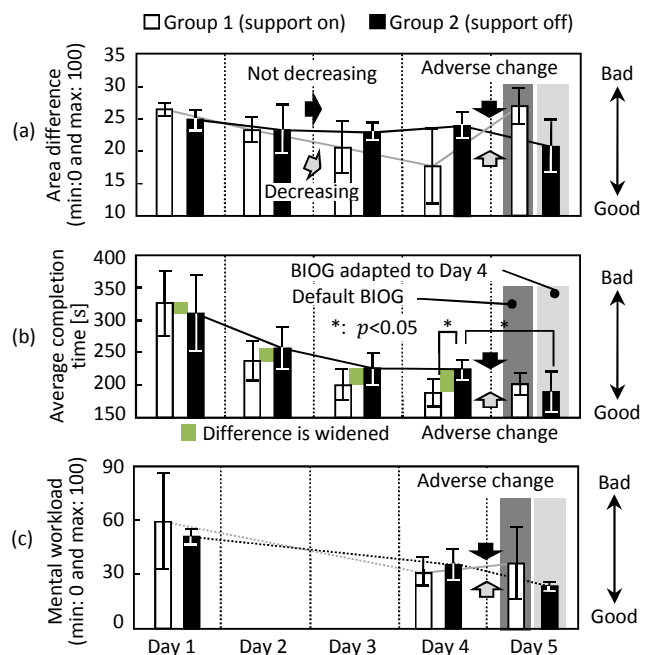


Fig. 2 Improvement of work performance by BIOG tuning (Task B)

- Terrain,” ROBOMECH Journal, 5 (2), pp. 1-17, Jan. 2018.
- [2] 宮田雅博, 亀崎允啓, 菅野重樹, “マルチ飛行カメラを用いた遠隔操作用映像提示システム～映像の連続性と映像間の相補性を考慮したカメラの動的配置～”, 第 18 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(SI2017), pp. 2120-2123, 2017 年 12 月.
 - [3] R. Sato, M. Kamezaki, S. Niuchi, S. Sugano, and H. Iwata, “A Pre-offering View System for Teleoperators of Heavy Machines to Acquire Cognitive Maps,” Proc. IEEE Int. Symp. Safety, Security, and Rescue Robotics 2017 (SSRR 2017), pp. 61-66, Oct. 2017.
 - [4] K. Chen, M. Kamezaki, T. Katano, T. Kaneko, K. Azuma, T. Ishida, M. Seki, K. Ichiryu, and S. Sugano, “A Semi-Autonomous Compound Motion Pattern Using Multi-Flipper and Multi-Arm for Unstructured Terrain Traversal,” Proc. of 2017 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS 2017), pp. 2704–2709, Sept. 2017.
 - [5] Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, “Condition-Based Less-Error Data Selection for Robust and Accurate Mass Measurement in Large-Scale Hydraulic Manipulators,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 66 (7), pp. 1820-1830, July 2017. (Impact Factor: 2.456) 10.1109/TIM.2017.2669759
 - [6] Kui Chen, Mitsuhiro Kamezaki, Takahiro Katano, Taisei Kaneko, Kohga Azuma, Tatsuzo Ishida, Masatoshi Seki, Ichiryu Ken, and Shigeki Sugano, “Usability Test in Different Types of Control Authority Allocations for Multi-Operator Single-Robot System OCTOPUS,” Proc. Int. Conf. Applied Human Factors and Ergonomics, pp. 675-685, July 2017.
 - [7] 亀崎允啓, 佐藤淳平, 三矢隆史, 岩田浩康, 菅野重樹, “機械操作者のプランニング技能の定量化に関する研究～操作手順と操作意識に着目した特徴量の抽出～”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 論文集(Robomec'17), paper no. 1P2-A03, 2017 年 5 月.

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

4.4 受賞・表彰

- [8] SI2017 優秀講演賞, 第 18 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, 2017 年 12 月.
- [9] SI2017 優秀講演賞, 第 18 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, 2017 年 12 月.

4.5 学会および社会的活動

5. 研究活動の課題と展望

基本的な考え方は, その他の HMI においても応用できると考えている. 今後は, 被験者数の増加および被験者特性の多様化(技能など)を行うとともに, 調整システムのパラメータ(ヒストグラム階級数や BIOG マップ形状など)と調整効果の関係性を整理する.