

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

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。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。2016 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。

2. 主な研究成果

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、効果を高めつつも操作者の混乱を招かない変更量を出力することをそれぞれ考慮して開発した。

2.1. BIOGパラメータ群

(1)出力・BIOG マップ : BIOG マップを以下のようにモデル化する。操作入力 x とアクチュエータ速度 y を用いた単調増加関数 $y = G(x)$ で表す(図 1)。 $x=0$ からある始動点(P_{dx})までを不感帯、最大速度となる飽和点(P_{sx})から $x=100$ までを飽和帯とする(図 1(a))。本研究では、2 つの区分を有する 1 次関数で表現し、区分の接続点を変傾点 P_b (P_{bx} , P_{by})と呼ぶ。本研究では、変傾点の 2 次元位置

$P_g(P_{bx}, P_{by})$ と飽和点 P_{sx} を調整する(図 1(b)).

(2) 入力・レバー操作量ヒストグラム: システムの入力には, 操作者や作業内容を大局的特徴として捉えられる物理量を利用し, 使用条件やスレーブシステムの仕様に依存しない共通の特徴量化手法を適用する必要がある. そこで, 操作傾向を直接的に表現できること, 作業傾向としてフロント動作を間接的に表現できること, スレーブ仕様に依存せず利用できる物理量として, 操作レバーの入力量を用いる. さらに, 大局的特徴を作業時間や使用条件に非依存に把握するために, 操作量の全滞在時間が全作業時間に対して占める割合, つまりヒストグラム化を行う.

(3) 変更規範・基準波形への波形形成: 微操作の多い作業ではレバー入力量の小さい範囲に操作が集中する一方, 大操作の多い作業では大きい範囲に集中すると考えられる. 前者では, 低速度領域が狭く応答が敏感(慎重な操作が必要), 後者では, 応答が鈍い(頻繁に大きな操作が必要)と感じてしまう. このように, 身体・精神的に負荷がかかる操作の場合, 操作量ヒストグラムの頻度が一部の領域に偏ってしまう. そこで, 操作者や作業内容によらず, 操作頻度の偏りをなくし, ヒストグラム波形を平準化する共通制御側を考える. 作業内容によらずレバーの全帯域を満遍なく利用させることで, 操作感覚が統一化され, 作業へのスムーズな適応が期待できる. ばね復帰型の操作レバーでは, 操作力に応じてレバー位置が変位する. 満遍なく利用することを表すランダムな(均等分布となる)操作力をレバーに入力すると, レバー位置の応答波形は正規分布となる. 以上より, 正規分布波形 $n(x)$ を基準波形(目標値)とする.

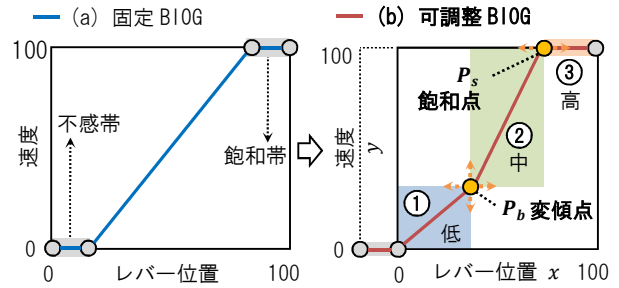


図1 可調整 BIOG マップとパラメータ

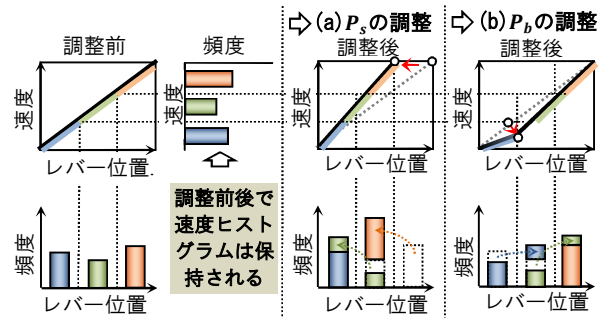


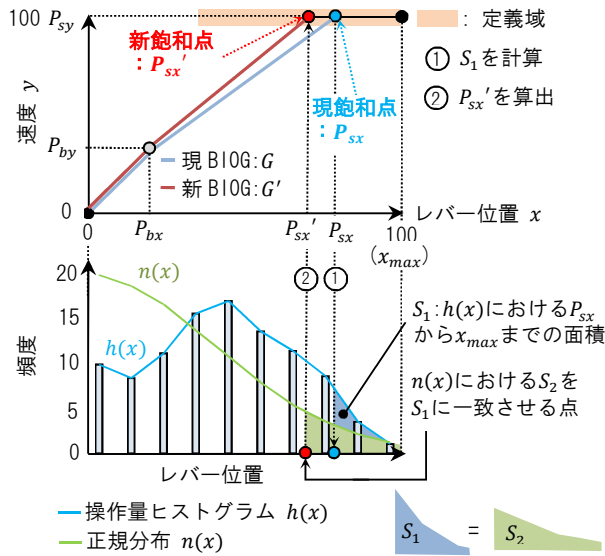
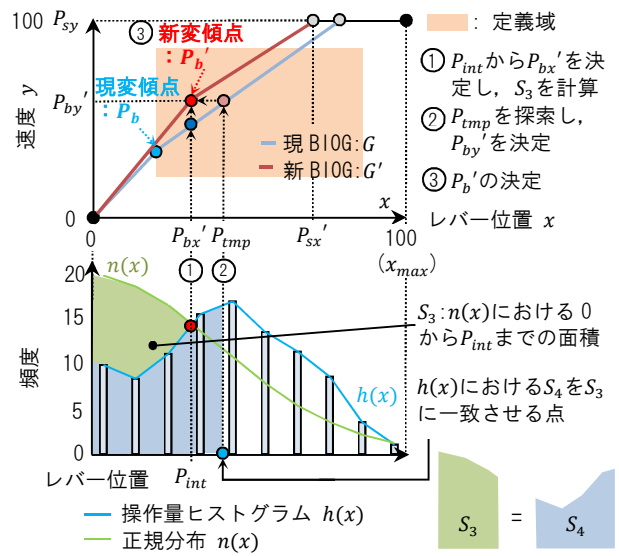
図2 調整によるヒストグラムの平準化(整形)

2.2. BIOG変更規範の開発規範演算の設計パラメータの設定

P_b および P_b は, 100×100 のグリッド上で調整される. ヒストグラムの量子化は 10%ごとで全 10 階級とする(計算時には線形補間により 100 階級). ヒストグラム縦軸の分解能は 100 とする. 急な傾きを避けるために, 定義域を, $35 \leq P_{sx} \leq 100$, $20 \leq P_{bx} \leq 89$, $20 \leq P_{by} \leq 80$ と設定した. さらに, 変傾点前後の急激なゲイン変化による違和感を低減するため, $P_{bx} + 10 < P_{sx}$ という条件を設定した. この条件を満たせない場合, 操作の難しい低速度領域を調整する P_{bx} を優先させる. 利用する操作レバーにおける位置応答波形から, 平均値 0/標準偏差 0.4 の正規分布波形を基準波形に設定した. 波形の右半分を階級数 100 のヒストグラムとし, 半波形で合計が 100%となるように設定した.

2.3 BIOG 変更規範

ヒストグラム波形整形の基本となる頻度移動の概念図を図 2 に示す. ヒストグラム波形は, 長時間データにより構成されるため, 局所的特徴に起因した短期間での大きな変化は生じにくい. また, 作業結果は BIOG の出力に相当する速度ヒストグラムに現れる. この 2 点から, BIOG の調整前後で操作量ヒストグラムが整形されても速度ヒストグラムは保持されるという仮説が立てられる(図 2 中央). この条件により, BIOG パラメータ($P_s \cdot P_b$)の調整量に応じた操作量ヒストグラム移動量が定

図3 P_s の調整規範図4 P_b の調整規範

量的に推定できる(図2右下). 以下に, 変更規範について詳述する.

(1) 飽和点 P_s の計算(図3): P_s は, 飽和領域における偏りを平準化するために利用される. $h(x)$ において, 現飽和点 P_{sx} から x_{max} までの面積 S_1 を計算する. 次に, $n(x)$ 上で, S_1 と同じ面積になる S_2 を満たす x 座標を式(2)により算出し, この点を新飽和点 P_{sx}' とする. これにより, 過不足のあった飽和領域を $n(x)$ に近づけることができる.

(2) 変傾点 P_b の計算(図4): P_b は, 低速度領域における偏りを平準化するために利用される. 2つの波形($h(x)$ と $n(x)$)が完全に一致しない限り, 常に1つ以上の交点が存在する. 交点の両側領域では必ず頻度の不足/過剰の逆点現象が生じるため, この交点を基準にそれぞれ逆方向へ傾きを調整することが効果的となる. そこで, 交点(P_{int})が P_{bx} の定義域に存在する場合, 低速度領域の調整を重視して最も原点に近い点を新変傾点 P_{bx}' とする. 交点が P_{bx} の定義域外にしか存在しない場合は, 定義域の末端を P_{bx}' とする. 次に, $n(x)$ において, レバー位置0から P_{bx}' の区間で積分した面積を S_3 を算出する. $h(x)$ における0からの積分値 S_4 が S_3 と等しくなるレバー位置 P_{tmp} を算出する. 不飽和帯域において, 操作量ヒストグラムは速度ヒストグラムに対して全単射となることから, P_{tmp} と現BIOGマップ $G(x)$ との交点 y 座標は, P_{bx} を調整した際の変傾点以下の速度頻度を保持させる点となる. 以上より, $G(x)$ における y 座標より算出し, その点を新変傾点 P_{by}' とする.

以上の規範により算出された P_{sx}' , P_{bx}' , P_{by}' を直線で結んだものが, 新BIOGマップ $G(x)'$ となる.

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] 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, Feb. 2017. (Impact Factor: 1.808)

- [2] 佐藤隆哉, 亀崎允啓, 菅野重樹, 岩田浩康, “ウォード法を用いた複数映像提供型遠隔操作における視線パターンのクラスタリング”, 第 17 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(SI2016), pp. 2592–2595, 2016 年 12 月.
- [3] 亀崎允啓, 佐藤 淳平, 小坂 拓未, 岩田浩康, 菅野重樹, “操作型作業機械の知能化に関する研究～第 11 報: 操作量ヒストグラムを用いた操作者の技能分析～”, 第 17 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(SI2016), pp. 1900–1901, 2016 年 12 月.
- [4] Ryuya Sato, Mitsuhiro Kamezaki, Shigeki Sugano, and Hiroyasu Iwata, “Gaze Pattern Analysis in Multi-Display Systems for Teleoperated Disaster Response Robots,” Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2016), pp. 3534–3539, Oct. 2016.
- [5] Mitsuhiro Kamezaki, Junjie Yang, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, “Visibility Enhancement using Autonomous Multicamera Controls with Situational Role Assignment for Teleoperated Work Machines,” Journal of Field Robotics, vol. 33, no. 6, pp. 802–824, Sept. 2016. (Impact Factor: 2.747)
- [6] 亀崎允啓, 峰田健司, 橋本諭, 岩田浩康, 菅野重樹, “手先位置頻度マップを用いた作業傾向の分析と操作技能の推定”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 論文集 (Robomech' 16), paper no. 2A2-08b1, 2016 年 6 月.

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

4.4 受賞・表彰

- [7] SI2016 優秀講演賞, 第 17 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, 2016 年 12 月.
- [8] SICE 論文賞, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI), vol. 7, no. 6, Sept. 2016.
- [9] Best Conference Paper in IEEE/ASME AIM 2016, July 2016.

4.5 学会および社会的活動

5. 研究活動の課題と展望

最終年度である 2017 年度は, 2016 年度の分析結果に基づき, BIOG 変更システムの評価および, 評価結果に基づく改良を行う. 速度制御型のマスタスレーブを利用した実機実験を行い, BIOG 調整によって適切に波形整形されること, 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する予定である.