

令和元年6月9日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06196

研究課題名(和文) 操作型機械における基本入出力ゲインの自動調整手法に関する研究

研究課題名(英文) An Auto-Tuning System of Basic Input-Output Gain for Human-Operated Machines

研究代表者

亀崎 允啓 (Kamezaki, Mitsuhiro)

早稲田大学・理工学術院総合研究所(理工学研究所)・主任研究員(研究院准教授)

研究者番号：30468863

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：人間の操作入力に対する機械の動作出力を規定する操作ゲインは、人間機械システムの作業性能を左右する極めて重要な要素である。適切な操作ゲインが異なると考えられる操作者や作業内容に応じて適合させていくことが望ましいが、人間機械系においては、事前の最適化および頻繁な切り替えが難しい。そこで本課題では、長期間の利用履歴から抽出した特性に徐々に適応させていく基本入出力ゲインの自動調整手法を開発した。操作型移動マニピュレータにおける実験から、作業性能・使いやすさ等の向上が図れることが分かり、人間機械系の馴染み技術に関する基盤的設計論構築への大きな一歩となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

操作型機械の分野において経験的・固定であった操作ゲインを、作業履歴から導出した大局的作業傾向に基づき馴染ませるように適応させていく「自動適応技術」を構築する点が本研究の特色である。操作型機械は一般的に熟練技能が要求されている現状(特に、災害対応ロボット分野では熟練操作者不足が表面化している)を鑑みると、誰でも簡単に使えるようになることを目指すBIOG調整システムの社会的な意義は極めて高いと考える。本研究の成果は、人間・機械・環境系が内包する特性に徐々に馴染む知的インタフェースの基盤技術として、災害対応ロボットだけでなく、遠隔医療や次世代モビリティなどの人間機械系への応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：Operational gain to define the actuation output of a machine to the operation input of a human will be important factors to largely affect the performance of human-machine systems. The operational gain should be adapted by operators and work contents where the suitable operational gains might be different among them, but it is essentially difficult for human-machine systems to be optimized the operational gain beforehand and change it frequently. In this study, an automatic tuning system of basic input-output gain (BIOG), which is gradually tuned based on characteristics extracted from long-term work data, was therefore developed. The experimental results using human-operated manipulators indicated that the proposed tuning system could improve work performance and usability, and this study can be regarded as a big step to contribute to construct a fundamental design of fitting technology for human-machine systems.

研究分野：ヒューマンマシンインタフェース

キーワード：ヒューマンマシンインタフェース 操作型機械システム 操作支援 操作ゲイン 人間機械システム
操作性 使いやすさ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自動車や手術支援ロボットなどの人間機械系における作業パフォーマンスは、操作者の熟練度や機械の性能だけでなく、操作者と機械を繋ぐヒューマンマシンインタフェース(Human-Machine Interface: HMI)によっても大きく左右される。有用なHMIの設計には、ハードウェアに関する考察だけでなく、操作入力に対する動作出力(以下、操作ゲイン)に関する設計が重要となる。例えば、細かい(大きな)操作が支配的な作業の場合、ゲインの傾きを事前に減少(増大)させておくことで、低速(高速度)領域が大きくなるため、微(大)操作がしやすくなる。このように、使用条件に応じた操作ゲインの調整が作業結果の向上に効果的と考えられるが、人間機械系における操作ゲインは、作業内容や操作者によらず固定であり、その値は主観的経験に基づき決定されているのが現状である。使用条件に不適合な操作ゲインは、身体・精神的疲労を増大させ、時間効率や安全性を悪化させる原因となってしまう。以上から、客観的基準に基づく可変操作ゲインを提供する知的システムの導入が有用と考えられるが、人間機械系への導入には、以下を考慮する必要がある。

- 使用条件の時変性(課題): 人間は強い非線形性や分散(習熟・飽きなど)を有する。また、作業環境や対象物などは時々刻々と変化していくため、短期間のデータを用いた操作ゲインの決定は局所解に陥る可能性が高い。また、不確定要素が多いことから事前の最適化も難しい。

- 人間の機械操作に対する学習機序(課題): 人間は動特性の理解により機械操作に習熟していくといわれている。操作ゲイン調整によって機械の動特性は見かけ上変化することになるため、頻繁かつ大幅な調整は、機械操作への習熟を阻害し、操作を混乱させる要因となってしまう。

課題を鑑みると、従前より提案されているゲインチューニング技術(システム動特性に適したゲインの事前実装)、ゲインスケジューリング技術(外乱や変化する環境要因に応じて実時間に連続的にゲインを変更)の適用は、根本的に難しいことが分かる。以上より、人間機械系に適した操作ゲインの調整手法に関する研究開発は国内外ともに行われていない現状である。

2. 研究の目的

本課題では、長期間データから導出された大局的作業特性に基づき、操作者が違和感を覚えないうちに緩やかに馴染ませていく操作ゲインの自動調整システムを開発する。申請者が今までに培ってきた操作型機械の知的インタフェース設計論を応用展開させて取り組む。従来の調整(ゲインスケジューリングなど)が局所的特徴に基づく対症的調整であるのに対し、提案手法は大局的特徴に基づく根本的調整といえる。この調整により出力されるゲインを、従来のものと明確に区別するため、基本入出力ゲイン(Basic Input-Output Gain: BIOG)と呼ぶ。

3. 研究の方法

調整システムの具体化のために必要な基本的な概念について述べる。これは、人間機械システムによらない共通の概念として利用できるものと考えている。

(1) 操作領域の偏りの解消と操作感覚の保持

1で挙げた2つの作業例を利用すると、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、低速度領域が狭いため慎重な操作が必要となり、後者では、高速度に対応するレバー位置が遠いため頻繁に大きなレバー入力が必要となる。このように、身体的・精神的に負荷がかかる操作の場合、操作量のヒストグラム(度数分布)の頻度が一部の領域に偏ってしまう現象が生じる。この場合、速度領域の調整が効果的になるが、作業内容が既知であればこのような調整も可能である。これらの調整を、操作者の特性や作業内容に関する事前知識がなく、かつ、操作者や作業内容によらずに一般化することが調整システムには必要となる。これらに共通する調整法則を読み取ると、いかなる状況であっても操作頻度の偏りを解消し、操作量ヒストグラム波形を平準化するということが根幹にあると考えられる。つまり、調整規範としては、常に操作頻度が同じになるように、BIOGパラメータを調整するという共通の基本調整規範である。使用条件が変わっても常にレバーの全操作帯域を満遍なく利用させることで、操作感覚が保持され、未習熟・未経験作業へのスムーズな適応が期待できる。

(2) BIOG調整のための基本概念

前節の分析から、BIOG調整システムを以下に示す制御問題として捉えることができる。図1に示すように、大局的傾向を捉えられる「制御量」を、操作性・作業性が改善されると考えられる「目標値」へ近づけるための「調整規範」に基づき、「操作量(BIOG)」を調整する。研究手法としては、まず、A.調整システムにおける操作量となるBIOGマップの仕様、制御量となる大局的傾向を示す特徴量、汎用性を考慮した目標値を設定する。制御量には、操作レバーの入力量ヒストグラムを利用する。次に、B.調整システムにおける調整規範を開発する。速度分布が保持される性質を利用して、操作量ヒストグラムと基準波形間における頻度の過不足調整を行い、BIOG操作量を一意に決定する。最後にCでは、実機を用いた長期間作業にてBIOG調整システムの評価実験を行う。

4. 研究成果

(1) 操作量・制御量・目標値

制御量: BIOG調整システムの制御量には、操作者や作業内容の特性を大局的に捉えられる物理量を利用し、作業時間や作業環境、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。手先の速度や負荷などの利用が考えられるが、操作傾向を直接的に表

現できること、作業傾向としてマニピュレータの動作を間接的に表現できること、スレップ仕様に依存しないことを重視し、操作レバーの入力量を特徴量に用いる。また、大局的特徴を作業時間や使用条件によらずに把握するため、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 $h(x)$ を行う(図 1 (b))。不感帯を除き、操作量の正負それぞれでヒストグラムを生成する。BIOG マップの横軸と一致していること、人と機械をつなぐ物理的媒体の情報であること、ヒストグラム化が任意の作業に適用できることから、適当と考えた。

目標値： 本研究で対象とす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(図 1 (c))。以上より、正規分布波形 $n(x)$ を基準波形(目標値)として設定する。調整規範は、任意の基準波形でも機能するように設計する。

操作量： 調整する BIOG マップを、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。レバーの傾きがない位置($x=0$)からある点(P_{dx} : 始動点)までを不感帯、速度が最大となる点(P_{sx} : 飽和点)からレバーの最大傾きの位置($x=100$)までを飽和帯として設定する。従来の I/O ゲインでは、これらの点を結び単純な線形関数であった。可変 I/O ゲイン(BIOG)においては、 $G(x)$ の次数が高いほど、作業特性への適応性が高くなることが予想される一方で、理想的な次数や曲線形状は現時点で分からない。そこで本研究では、2つの区分を有する 1 次関数で表現する。区分を接続する点を変傾点 $P_b(P_{bx}, P_{by})$ と呼ぶ。始動点は、システムの安全性に関わるパラメータであるため、変傾点の 2 次元位置 $P_b(P_{bx}, P_{by})$ と飽和点 P_{sx} を調整する。以上より、3つの速度領域(R_A, R_B, R_C)が定義される(図 1 (a))。BIOG マップは、当該アクチュエータにつき、正および負方向の 2 枚定義されることになる。

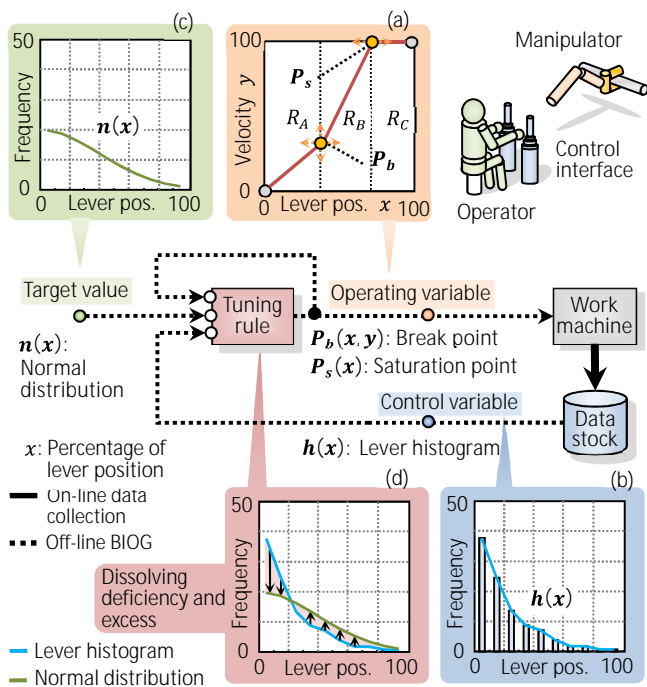


Fig. 1 BIOG tuning system based on lever histogram

(2) BIOG パラメータの調整規範

操作量ヒストグラム波形 $h(x)$ を正規分布波形 $n(x)$ に近づける調整規範を開発する。

波形整形のメカニズム： 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、局所的な変化には大きく影響を受けにくい。また、作業の特性は、BIOGの縦軸であ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、速度ヒストグラムは保持されるという仮説を立てられる(図 2)。これを踏まえ、操作量ヒストグラムの波形整形のメカニズムを説明する。現在の BIOG マップと取得したヒストグラム波形を図 2 (a) に示す(操作量および速度ヒストグラム(図 2 (b))を3階級とする)。飽和点 P_s を図 2 (c) のように左に移動させた場合、速度(階級3)は、操作(階級2)の一部でも操作できるようになるため、操作(階級3)の一部の頻度が操作(階級2)に移動する。移動量は、操作領域の変化幅に応じて一意に決まる(例示では、約1/3)。同様にして、操作(階級2)の約1/3の頻度が操作(階級1)に移動する。また、変傾点 P_b を図 2 (d) のように右下に移動させた場合、速度(階級1)は操作(階級2)の一部でも操作できるようになるため、操作(階級1)の約1/3の頻度が操作(階級2)に移動する。同様にして、操作(階級2)の約1/4の頻度が操作(階級3)に移動する。このように、BIOGを調整しても速度分布が保持されることを利用して、BIOGパラメータの調整量に応じた操作量ヒストグラム移動量を定量的かつ一意に推定できる。

規範演算のパラメータ設定： 調整規範を設計するにあたり不可欠となる、BIOGパラメータの粒度、定義域、正規分布波形の設定について述べる。本研究では、変傾点および飽和点を、100

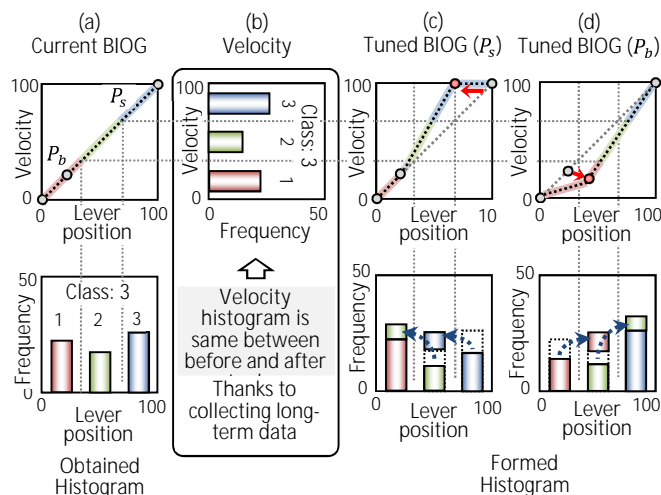


Fig. 2 Leveling mechanism of histogram by BIOG tuning

×100のグリッド上で調整する。ヒストグラムの量子化粒度は10%とし全10階級とする。BIOGの計算時には線形補間を行って全100階級として扱う(縦軸の分解能も100として設定)。極端に急峻な傾きを避けるために、定義域を図3および4のように、変傾点前後の急な傾き変化による違和感を低減するため、 $P_{bx} + 10 < P_{sx}$ というマージンを設けた。算出されたBIOGパラメータがこの条件を満たせない場合、操作の難しい R_A を調整する P_{bx} を優先し、 P_{sx} を補正する。さらに、利用するばね復帰型

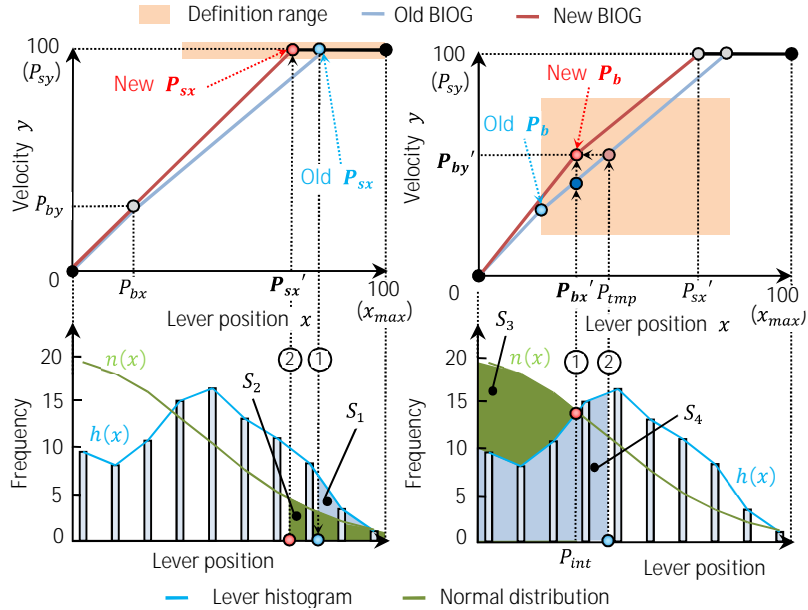


Fig. 3 Tuning rule for P_{sx}

Fig. 4 Tuning rule for P_b

操作レバーにおけるランダムな操作力に対する位置応答シミュレーションから得られた波形を算出し、その近似波形である平均値0で標準偏差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。

BIOG変更規範：飽和点および変傾点調整手法について述べる。

飽和点 P_s の計算(図3)： P_s は、飽和領域(R_C)における偏りを平準化するために利用される。まず、操作量ヒストグラム $h(x)$ において、現飽和点 P_{sx} から x_{max} (最大操作量位置)までの面積 S_1 を計算する。次に、正規分布波形 $n(x)$ 上で、 S_1 と同じ面積になる S_2 を満たす x 座標を式(1)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の伸長・圧縮による調整から、目標波形 $n(x)$ に近づけることができる。

$$S_1 = \int_{P_{sx}}^{x_{max}} h(x) dx = S_2 = \int_{P_{sx}'}^{x_{max}} n(x) dx \quad (1)$$

変傾点 P_b の計算(図4)： P_b は、低速度領域(R_A)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・過剰の逆転現象が生じるため、BIOGの傾きは、この交点の前後でそれぞれ逆方向へ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} の定義域内に存在しない場合は、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} を式(2)から算出する。

$$S_3 = \int_0^{P_{bx}'} n(x) dx = S_4 = \int_0^{P_{tmp}} h(x) dx \quad (2)$$

不飽和帯域(R_{A+B})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 座標を式(3)より算出し、その点を新変傾点 P_{by}' とする。

$$P_{by}' = G(P_{tmp}) \quad (3)$$

中速度領域(R_B)における頻度は、飽和領域(R_C)と低速度領域(R_A)における過不足の調整に利用される(出し入れされる)ため、 R_C と R_A の調整から付帯的に調整されることとなる。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を、新BIOGマップ $G(x)'$ として出力する。本規範は、現飽和点および変傾点を利用して得られた操作量ヒストグラム波形と基準波形とのずれ(面積差分)を用いる単純な規範であるため、いかなる基準波形であっても適用できる。

(3) 評価実験

実験概要： 本実験は、3つのピッチ軸を有する大型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(タスクA)と微細操作が要求されるブロックの積み上げ(タスクB)とした。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、制限時間内で行える限り多くのボール運ぶように指示した。タスクBでは、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。積上げ領域の余裕を縦横ともに1cm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、構造物を崩さないように指示した。部材の落下や構造物の崩落は、失敗とみなした。

実験手順： 固定ゲインと調整システムによる可変ゲインとを比較する。被験者は、実験機の操作に十分に慣れた6名とした。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、デフォルトBIOG(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。

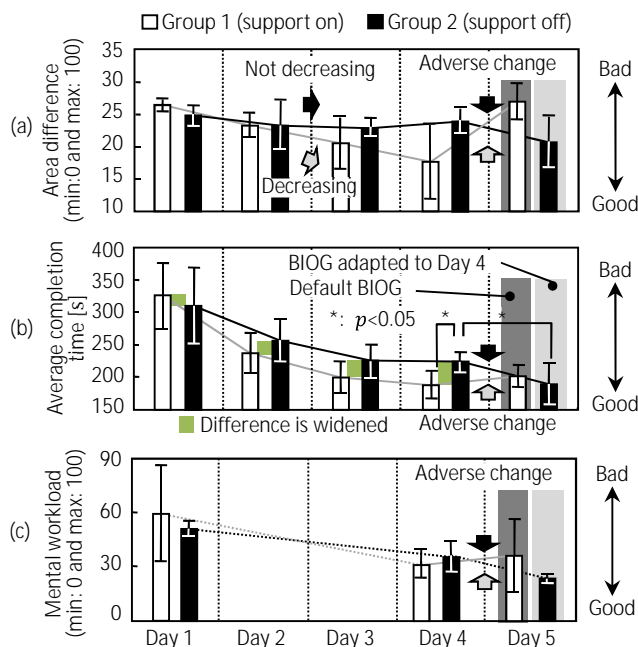


Fig. 5 Improvement of work performance (Task B)

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、デフォルトBIOG(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。

(4) 実験結果と考察

ここでは、タスクBの結果について、調整規範の波形整形能力、作業時間、精神的作業負荷(操作性)を定量的に評価し、未調整の場合と比べた優位性を評価する。

面積差分(図5(a))： 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のが分かる。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。また、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ことが分かった。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。

作業効率(図5(b))： 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。

精神的作業負荷(図5(c))： 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。また、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調整手法は簡易的であるもの、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、作業性および操作性の改善に寄与することが示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計27件)

亀崎, マナワドウ, 河野, 石川, 菅野: 高度自動運転車における半自動制御のための相互作用型力触覚インタフェースの提案. 日本機械学会論文集, 査読あり, 84 (864), 1-13, 2018年7月. 10.1299/transjsme.18-00008

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 Terrain. ROBOMECH J, 査読あり, 5 (2), 1-17, Jan. 2018. 10.1186/s40648-018-0099-5

U. Manawadu, T. Kawano, S. Murata, M. Kamezaki, and S. Sugano: Estimating Driver Workload with Systematically Varying Traffic Complexity Using Machine Learning: Experimental Design. Part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC, 722), 査読あり, 106-111, Jan. 2018. 10.1007/978-3-319-73888-8

Y. Huang, M. Kamezaki, T. Mori, U. E. Manawadu, T. Ishihara, M. Nakano, K. Koshiji, N. Higo, T. Tubaki, and S. Sugano: Machine Learning Based Skill-level Classification for Personal Mobility Devices Using Only Operational Characteristics. Proc. 2018 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS2018), 査読あり, 5469-5476, October 2018. 10.1109/IROS.2018.8593578

U. E. Manawadu, T. Kawano, S. Murata, M. Kamezaki, J. Muramatsu, and S. Sugano: Multiclass Classification of Driver Perceived Workload Using Long Short-Term Memory based Recurrent Neural Network. Proc. 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV 2018), 査読あり, 2009-2014, June 2018. 10.1109/IVS.2018.8500410

M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano: Condition-Based Less-Error Data Selection for Robust and Accurate Mass Measurement in Large-Scale Hydraulic Manipulators. IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, 査読あり, 66 (7), 1820-1830, July 2017. (Impact Factor: 2.456) 10.1109/TIM.2017.2669759

M. Kamezaki, J. Yang, H. Iwata, and S. Sugano: Visibility Enhancement using Autonomous Multicamera Controls with Situational Role Assignment for Teleoperated Work Machines. J. Field Robotics, 査読あり, 33 (6), 802-824, Sept. 2016. (Impact Factor: 4.882) 10.1002/rob.21580

〔学会発表〕(計24件)

森, 亀崎, 佐藤, 河野, 菅野, 石原, 中野, 矢野, 越地, 肥後, 椿, “パーソナルモビリティの運転評価手法に関する研究～操作入力と動作出力に係る調和性指標の提案～” 第19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(SI2018), 2018年12月

亀崎, 江馬, 石川, 河野, マナワドゥ, 菅野, “タクティカルレベル入力に基づく自動運転システムとの協調運転～タッチパネルインタフェースを用いた位置変化入力～”, 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), 2017年5月

亀崎, 佐藤, 三矢, 岩田, 菅野, “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), 2017年5月

亀崎, 佐藤, 小坂, 岩田, 菅野, “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), 2016年12月

亀崎, 峰田, 橋本, 岩田, 菅野, “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), 2016年6月

〔その他〕

【ホームページ】(計3件)

早稲田大学 研究者データベース, 教員氏名/亀崎允啓
https://www.wnp7.waseda.jp/Rdb/app/ip/ipi0211.html?lang_kbn=0&kensaku_no=4978

【アウトリーチ】(計4件)

重機ロボットののための操作インタフェース, ROBOMECH2017 ImPACT プログラム合同ワークショップ「ロボットイノベーションのためのヒューマン・インタフェース」, 2017年5月
Design of Intelligent Human-Machine Systems focusing on Human-Machine Interfaces, Invited Lecture in University of Moratuwa, Moratuwa, Sri Lanka, May, 2016.

【受賞】(計8件)

論文賞(日本ロボット学会誌 Vol. 34, No.1), 日本ロボット学会, 2018年7月

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 亀崎 允啓
ローマ字氏名: KAMEZAKI Mitsuhiro
所属研究機関名: 早稲田大学
部局名: 理工学術院
職名: 准教授
研究者番号(8桁): 30468863

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。