

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月10日現在

機関番号：11501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22650036

研究課題名（和文）

予測運動表示によるスキル向上

研究課題名（英文）

Skill Improvement by the Predictive Motion Display

研究代表者

妻木 勇一 (TSUMAKI YUICHI)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：50270814

研究成果の概要（和文）：

これまで我々は、加速度指令を用いたフリーフライング宇宙ロボット用マニュアル遠隔操作において、操作者のスキルを向上させる予測運動表示と呼ぶ新しいインタフェースを提案してきた。これは、視覚情報を与えることで人間の制御方法を変更するものである。そこで、本研究では、予測運動表示が他の不安定な作業にも効果があるかどうか検証するとともに、効果的な新しいインタフェースを確立することを目指す。そこで、倒立振り子、自動車の運転、鉄棒渡りを対象に検証を行った。予測運動表示はこれらの作業においてほとんど効果を示さなかったが、倒立振り子作業において、効果的なインタフェースを発見し、複数の被験者を用いた実験によりその効果を検証した。また、自動車の運転作業については、周囲の状況を把握しやすい新しいインタフェースの開発も行った。

研究成果の概要（英文）：

In our previous work, we proposed a novel operator support technique named “Predictive Motion Display, PMD” for a free-flying space robot. The PMD dramatically improves human operational skill by showing future position of the free-flying space robot. In other words, the operator changes his own control input by watching the PMD. In this research, we apply the PMD to other unstable tasks like inverted pendulum, driving car and ropewalking task. Unfortunately, the PMD didn’t work well for these tasks, but we have found a new method to improve skill for the inverted pendulum task. Its effectiveness is confirmed through the dynamic simulation with several subjects. In addition, we have also developed a new intuitive operational interface for driving car task.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	0	900,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	570,000	3,370,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：感覚行動システム, スキル向上

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、これまで“予測運動表示”と呼ぶ宇宙ロボットの操作支援手法を提案、検証してきた。これは、加速度指令によるマニュアル遠隔操作の操作性を向上させる手法である。なお、本手法は、宇宙遠隔操作における通信時間遅れに起因する作業性劣化を補償するための「予測表示」とは異なることに注意されたい。すなわち、通信時間遅れが無い状況において、操作対象の予測位置という視覚情報を提示することで、人間の制御則を無意識のうちに変更させ、不安定な対象を安定に操作することができる手法であり、視覚情報により人間のスキルを向上させる方法である。宇宙ロボットだけではなく、不安定な系を扱う様々なスキルに対しても有効である可能性があるため、本研究によりこれを検証し、人間の技量（スキル）を向上させるインタフェース技術を確立する。

2. 研究の目的

本研究の目的を以下に示す。

- (1) 不安定な対象を扱う複数の作業において、これまで提案してきた「予測運動表示」の効果を検証する
- (2) 得られた知見から、人間のスキルを向上させる方法を確立する

3. 研究の方法

予測運動表示の効果を検証するため以下の作業を選定した。

- ① 倒立振り作業（手先スキル）
- ② 遠隔自動車運転スキル
- ③ 鉄棒渡り作業（全身運動スキル）

倒立振り作業は、手先のスキルに関わる作業と考えられる。市販のハプティックインタフェースに独自に開発した倒立振子のダイナミクスシミュレータを組み合わせ検証実験を行う。システム外観を図1に示す。ハプティックインタフェースとして PHANToM Premium 6DOF を用い、シミュレータは C++ で開発した。

一方、遠隔自動車運転スキルは、手先だけでなく、アクセル操作等の下半身の動きも含まれる全身協調作業である。図2に示すよう



図1 倒立振りシミュレータ



図2 遠隔運転システム



図3 鉄棒渡り支援システム

に、ZMP社のRoboCarを対象とした遠隔運転システムを構築した。また、2軸のジンバルを搭載し、カメラの動きを頭部に追従できるようなシステムも構築した。

三番目の作業である鉄棒渡り作業は、全身を使ったバランス作業である。対象者の姿勢をOptiTrackを利用して取得し、プロジェクターを用いて支援情報を提示できるシステムを構築した。図3にシステムの概観を示す。

これらの三つのシステムを利用して、従来の予測運動表示の効果を検証するとともに、それぞれの作業スキルを向上させる新しいインタフェースの検討を行った。

4. 研究成果

(1) 従来の予測運動表示の効果

遠隔運転において予測運動表示の効果が見られたが、不安定な動作を安定化する本来の効果とは異なり、車両感覚を得るために利用された。これは、搭載カメラからの画角が十分ではなく、カメラからの画像だけでは車両感覚を得ることがほぼ不可能な状況に起因している。

一方、他の二つの作業においては、予測運動表示による作業性の向上は確認できなかった。これは、倒立振り作業と鉄棒渡り作業は、どちらも周期的運動であることに起因し

ている。例えば、周期的であるために、支援画面と入力動作が相反する場合が見られ、逆に操作性の劣化が見られた。また、鉄棒渡り作業に関しては、全身のバランス運動であることから、体性感覚等も影響を与える。このため、視覚情報だけで全身のバランス運動に強い影響を与えることは困難であることがわかった。

(2) 倒立振り作業における支援システム

予測運動表示の効果が見られなかったため、いくつかの支援システムを構築し、実験的な検証を行った。その結果、図4に示すように、実際の振子の角度の4倍の角度を表す支援画面を提示した場合、顕著な効果が見られた。倒立振り作業は慣れが必要であり、初心者には倒立振子を10秒以上保持することは困難である。一方、熟練者になると20秒以上倒立振子を保持できる。

発見した支援システムは、熟練者に対しても、初心者に対してもスキルを向上させることができた。図5は、熟練者に行った際の加えた力と時間のグラフである。倒立振子を安定に保持し続けるためには周期的な入力が必要となる。支援なしの場合でも、熟練者はこれを実現しているが、支援有りの場合には、その周期が早くなり、より安定な作業を実現していることがわかる。一方、図6に初心者の場合を示す。図より明らかなように、まったく周期的な入力ができなかった初心者が、支援により自然に周期的な入力を行っていることがわかる。このように、発見した支援手法は、自然に倒立振りスキルを発現させた。

さらに、15名の被験者に対しその効果を検証したところ、支援なしと支援有りの場合で、それぞれ倒立振子の保持時間が平均で9.5秒と23.4秒となり、有意な差が見られた。図7にその結果を示す。

以上より、倒立振り作業に有効な支援方法であることが検証できた。

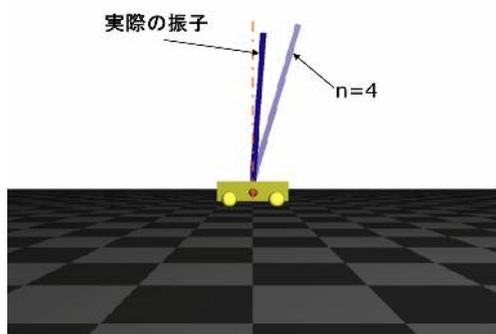
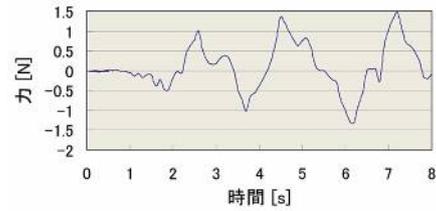
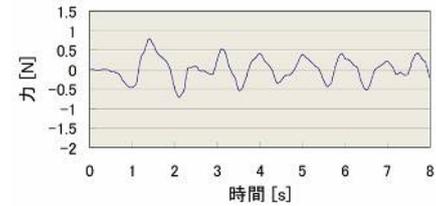


図4 新支援システム

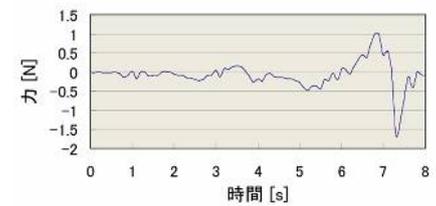


(a) 支援なし

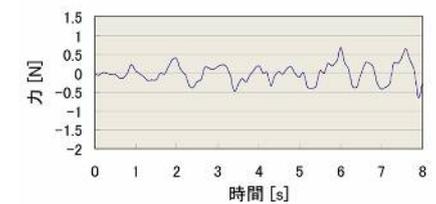


(b) 支援有り

図5 熟練者の場合



(a) 支援なし



(b) 支援有り

図6 初心者の場合

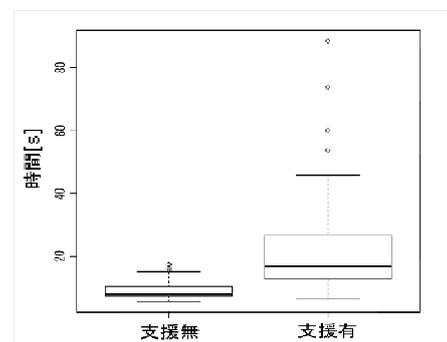


図7 15名の被験者による結果

(3) 遠隔運転における支援システム

まず、予測運動表示を行った様子を図8に示す。赤いワイヤフレームが未来位置である。

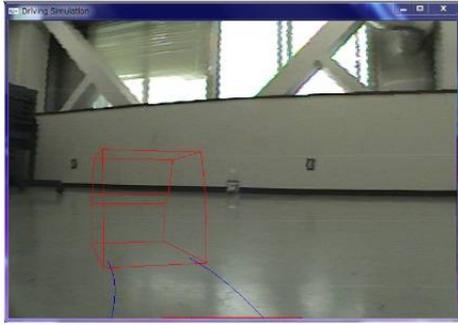


図8 予測表示

これにより、車両感覚を掴みやすくなり、複数の被験者に対しての実験から、予測運動表示がある方が運転しやすいという結果を得た。

一方、予測表示を行うことで、未来の位置にある車両感覚を掴むことは可能となったが、現時点における車両感覚を掴むことは困難であった。固定カメラを用いていることが一つの大きな要因と考えられたため、2軸のジンバルを導入し、操作者の頭部運動と同期させるようにした。外観を図9に示す。操作者の頭部運動は OptiTrack により計測する。しかし、ジンバルの可動範囲には制限があり、周囲の状況を把握するためには、更なる改良が必要であることがわかった。

そこで、過去画像を利用した、周囲画像提示システムを提案し、実際にこれを開発した。提示映像を図10に示す。図に示すように、画面中央の長方形部分がリアルタイムで送信されてくる映像である。車両の進行に合わせて、過去の映像を拡大、回転、移動することで、過去に撮影した景色も周囲に提示する。周囲の映像は解像度が悪く、正確に一致していないところもあるが、正確な車両位置・姿勢が同定できれば、より正しい映像を提示できることが期待できる。また、人間の特性上、周辺視野の解像度は高くないことから、もっとも注意しなければならない注視点付近の映像が鮮明であることは理に適っている。このように、解像度の高い注視点と広い範囲の映像を両立させることが可能な点が大きな特徴である。

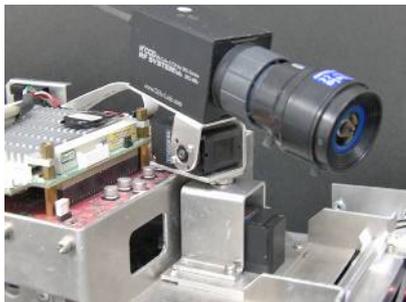


図9 2軸ジンバルカメラシステム

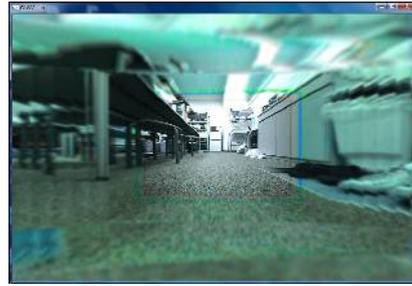


図10 過去画像を用いたオーバーレイ画像

なお、似た例では、過去画像上にグラフィックスの車両を重畳させる方法が提案されているが、本手法は、過去画像上に現在の画像を重畳させている点が大きく異なる。リアルタイムの映像を使用するため、素早い対応が可能な点が大きなメリットである。

以上まとめると、予測運動表示の効果を三つの作業について検証し、周期的な作業においては大きな効果が得られない事を明らかにした。また、倒立振り作業において効果的な支援手法を確立した。遠隔運転システムにおいては、過去画像を用いた新しい支援システムの開発を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

① 五十嵐 渉, 妻木 勇一, 視覚情報呈示による倒立振りスキルの表出, 第30回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2N2-2, 2012年9月18日, 札幌コンベンションセンター(北海道)。

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

〔その他〕なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

妻木 勇一 (TSUMAKI YUICHI)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 50270814

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし