T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	移動支援機器の協調学習操作系における人の学習習熟を評価する手法の提案
Title(English)	Proposal of a Method to Evaluate Human Learning Abilities in Collaborative Learning Operation System of Mobility Devices
著者(和文)	服部智也, 西畑智道, 二瓶美里, 鎌田実, 菅原雄介, 松浦大輔, 武田行生, 遠藤央, 金天海
Authors(English)	Tomoya Hattori, Tomomichi Nishihata, Misato Nihei, Minoru Kamata, Yusuke Sugahara, Daisuke Matsuura, Yukio Takeda, Mitsuru Endo, Kim Chyon Hae
出典(和文)	日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会2020講演論文集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2020, 5

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

移動支援機器の協調学習操作系における人の学習習熟を評価する手法の提案

Proposal of a Method to Evaluate Human Learning Abilities in Collaborative Learning Operation System of Mobility Devices

○学　服部智也（東京大）　学　西畑智道（東京大）　正　二瓶美里（東京大）
正　鎌田 実（東京大）　正　菅原雄介（東工大）　正　松浦大輔（東工大）
正　武田行生（東工大）正　遠藤央（日大）正　金天海（岩手大）

Tomoya HATTORI, Tomomichi NISHIHATA, Misato NIHEI, Minoru KAMATA,
The University of Tokyo, hattori.tomoya@atl.k.u-tokyo.ac.jp
Yusuke SUGAHARA, Daisuke MATSUURA, Yukio TAKEDA, Tokyo Institute of Technology, Mitsuru ENDO, Nihon University, Kim Chyon Hae, Iwate University

Mobility device is important for the people with disabilities. In the previous research, we developed a hands-free mobility, a nonholonomic mobility, which included the operation system using interactive learning system between human and robot, and found that when discussing interactive learning system between human and robot, we need to consider the individual motor learning ability and its stage. The purpose of this study is to suggest a simple parameter related to human motor learning ability and the stage of the motor learning. we proposed two parameters related to motor learning and its stage and assessed these parameters through the experiment in the virtual space. From the results, it is confirmed that the proposed parameters are related to the stage of motor learning and motor learning ability.
Key Words: Motor Learning, Mobility Device

1.　緒言

著者らは、ペダリング動作から搭乗者の操作意図を推定するハンズフリー移動支援機器の開発を行ってきた[1]．この移動支援機器は，複数のセンサを用いて搭乗者の挙動を検知してノンホロノミック車両を操作するシステムであり，操作意図を推定するために，Deep Binary Tree を用いた人-機械系の協調学習操作系である[2]．この移動支援機器の操作性の評価において，走破時間・逸脱度の推移を確認したところ，収束過程に個人差があることが明らかになった．また，この要因として操作者の操作学習能力が影響することが示唆された．これらのことから，人－機械系の協調学習を検討する際には，個人の運動学習能力やその段階を考慮する必要があることが明らかになった．先行研究では，人が機械等を操る場面での運動学習を促進する人―機械操作系の協調学習手法がいくつか提案されているが[3][4]，人と機械の学習状況を分離して評価することや，人の学習能力等による影響についてはこれまでほとんど検討されてこなかった．

そこで，本研究では，電動車椅子などのノンホロノミック車両を操作する際に，人の運動学習を協調学習の手法を用いてアシストするために，人の運動学習能力や運動学習の段階と関連する簡便な指標を提案することを目的とした．

2.　運動学習段階や学習能力の指標の提案

本研究では，複数のセンサや入力を用いて車両を操作する多入力系に対して操作出力を旋回方向もしくは旋回角速度とする移動支援機器の操作系を前提とする．一つ目の指標としては，入力に対する出力の予測誤差を用いることとした．学習習熟が進むにつれて，予測誤差が収束することが考えらえたためである．そこで，先行研究にある運動プリミティブモデル[5]における式(1)に示す予測誤差 e_t を参考にすることとした．

$$e_t = p_t - x_t \qquad (1)$$

ここで，p_t は実際の操作出力と操作入力時に意図した操作出力との差，x_t は目標となる方向に対応する出力量である．例えば，操作出力を旋回方向とする際，x_t は目標への角度と現在向いている角度の差で表される．また，予測誤差 e_t が極大値をとる時間の値を $e_{\max_i}$ とし，極大値の変化を指数関数でフィッティングすることで学習速度 b （指標 I ）を式(2)として定義する．

$$e_{max_i} \cong a\,exp(-bi) \qquad (2)$$

学習速度を用いることで，不定周期の振幅が生じる予測誤差の変化を，これらの極大値が収束する傾向を捉えることによって判断することができると考えた．例えば，図 1 に示すように，学習速度が小さい時間帯 A では，予測誤差の周期的な振幅の最大値の変化が小さく，運動学習が停滞している状態と考えられる．一方，学習速度が大きい時間帯 B では，運動学習が促進されている状態と考えられる．また,このモデルにおける学習率の汎化関数がガウス分布に近似できる[5]ことから，式(3)における忘却率 $\lambda\,(0 \le \lambda \le 1)$ と式(4)に示す学習率 D は学習能力と関連していると考えた．

$$x_{t+1} = \lambda x_t + D e_t \quad (3)$$

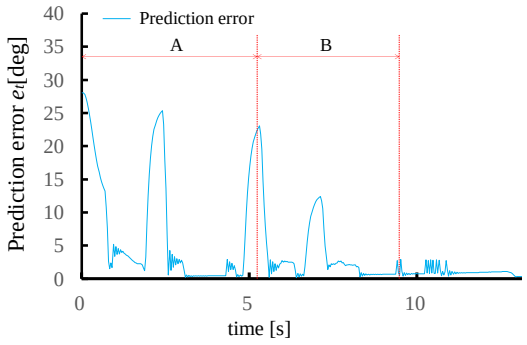


Fig. 1 Relationship between prediction error and learning speed

$$D = \sum_{l=1}^{P}\left(e_t\sqrt{\frac{1}{\pi}}\exp\left(-\frac{1}{4}(\theta_l-\theta)^2\right)\right) * \eta_l\sigma_l\exp(\sigma_l{}^{-2}) \quad (4)$$

ここで，θ は目標角度，θ_l は学習した角度，η は最急降下法における係数（学習率）である．なお，式(4)において $\eta_l\sigma_l\exp(\sigma_l{}^{-2})$ は練習段階での学習に依存する項で数十秒といった短時間ではほとんど変化しない項である.しがたって，学習率 D における学習に依存する項と忘却率 λ に着目し，式(5)，式(6)に示す主成分分析を行った結果の第一主成分 Q を指標IIとした．

$$Q = A_0\lambda + \sum_{l=1}^{P} A_l f(\sigma_l) \quad (5)$$

$$f(\sigma_l) = \sigma_l\exp(\sigma_l{}^{-2}) \quad (6)$$

3. 提案した指標の評価

3.1 実験方法

シミュレータを用いた仮想空間（UNITY）においてノンホロノミック車両を，ジョイスティック（Spark Fun Joystick Shield）を用いて操作する試行を行う．図 2 に実験の様子を示す．0.5[m]先のディスプレイの表示される課題は，図 3 に示すスタート地点から10[m]の地点に立っているポールを目指して最短距離で走行するものである．また，画面には自車とポールの方向である目標指令方向と，操作入力によって得られた自車両が向いている方向がそれぞれ矢印で示され，それらのなす角は θ で表される．画面に表示される車両の動きは操作者視点で表され，並進速度 v と角速度 ω がジョイスティック操作入力 (x_j, y_j) の 2 入力により得られる．

通常，しばらく操作をすると，操作入力と車両の運動の関係は簡単に学習されるため，慣れさせないため入力角度 θi に対して①単純視覚回転外乱[6]：30[deg]と 45[deg]の回転外乱[6] [7]，②さらに習熟難易度が高いと考えられる複雑回転外乱：$30 + 10cos(kt)$ [deg] $(k = 0.5, 2)$ を与えることで不慣れな操作系を模擬するための視覚回転外乱を与える手法を用いた．

対象は若年健常者 7 名（22±0.9 歳）で，実験参加者は利き手で操作を行った．手順は，操作に慣れるため走行練習を行った後に，視覚回転外乱を与える条件を条件①から②の順で走行した．

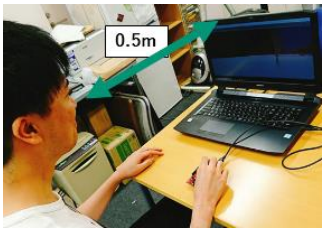
3.2 実験結果

参加者 A と B の学習速度 b（指標I）の平均値を図 4 に示す．条件①単純視覚回転外乱と②複雑視覚回転外乱における学習速度の比較を行った結果，学習速度の平均値は，条件①単純視覚回転外乱と②複雑視覚回転外乱で有意な差が認められた．

次に，走行練習で学習した方向を $\theta = 0$ [deg]（$P = 1$）とし，各条件の第一主成分 Q（指標II）を図 5 に示す．学習後期における条件①と②のQ 値の比較，及び条件②内でのQ 値の比較を行ったところ，回転外乱を予測し易く学習能力を発揮しやすい条件の Q 値は，相対的に発揮しにくい条件の Q 値に比べ有意な差が認められた．

3.3 考察

学習が容易な条件①と学習が難しい条件②における学習速度の平均値に有意な差があったことから，学習速度により学習の習熟段階を判断可能であると考えられた．また，学習能力に関連すると考えられる指標 Q によって，①と②の条件，および②の 2 条件に有意な差があったことから，Q の値から発揮できる運動学習能力を分離可能であると考えられた．



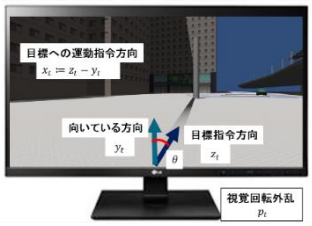


Fig. 2 State of experiment Fig. 3 Visual information presented to the participant

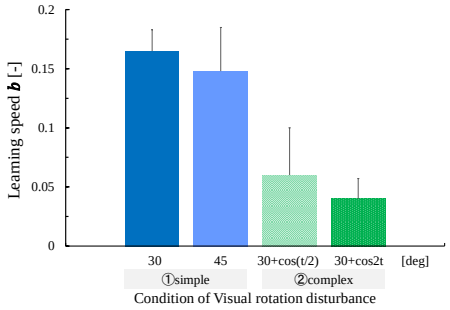


Fig. 4 Comparison of learning speed under condition ①②

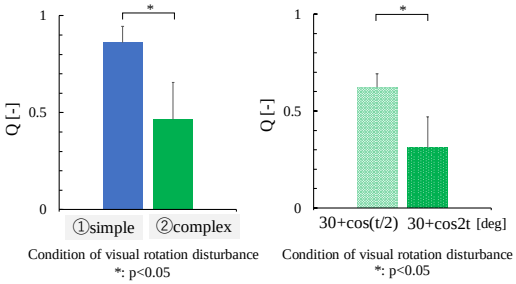


Fig. 5 Comparison of Q under each condition

4. 結言

本研究では，人の操作の学習段階や学習能力を評価するための 2 つの指標を提案した．ジョイスティック操作において，単純視覚回転外乱と複雑視覚回転外乱を与えた場合で仮想環境での走行実験を行い，提案した指標が運動学習段階と学習能力と関連があることを示した．今後は，多入力の操作系における指標の評価，高齢者と若年者による比較実験，この指標を用いた新しい協調学習の手法の提案を行う予定である．

参考文献

[1] 二瓶ら，“高齢者向けハンズフリー下肢操作式モビリティの提案—開発コンセプト—”，ROBOMEC，2018.
[2] 西畑ら，“ハンズフリーモビリティの提案 —個人のメンタルモデルに合わせた人・機械相互学習型操作系—”，LIFE2018， pp.425-428，2018.
[3] Tom Carlson, Yiannis Demiris, “Collaborative control for a robotic wheelchair: evaluation of performance attention and workload”, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part B (Cybernetics) 42(3), pp. 876-888, 2012
[4] 安藤ら，“重度脳性まひ児の残存機能を利用した人・機械相互学習型電動車いすの開発”，日本ロボット学会誌 30(9)，pp.873-880，2012.
[5] 後藤ら，“非ホロノミック系における手動制御の学習過程”，計測自動制御学会第 225 回研究集会，2005.
[6] Sylvie Abeele, “Sensorimotor adaptation to rotated visual input: different mechanisms for small versus large rotations”, Exp Brain Res 140, pp.407–410, 2001.