

Iterative Feedback-basierte Korrekturstrategien beim Bewegungslernen von Mensch-Roboter-Dyaden

Marco Ewerton¹, Gerrit Kollegger², Guilherme Maeda¹, Josef Wiemeyer² & Jan Peters¹

¹Technische Universität Darmstadt, Intelligente Autonome Systeme ²Technische Universität Darmstadt, Institut für Sportwissenschaft

Schlüsselwörter: Bewegungslernen, Dyadisches Lernen, Haptisches Feedback, Visuelles Feedback, Mensch-Roboter-Interaktion

Einleitung

Von Emken et al. (2005) wurden iterative Methoden entwickelt, die Menschen dabei unterstützen, einzelne Bewegungsziele, z.B. Erreichen einer festgelegten maximalen Höhe des Fußes in der Schwungphase beim Gehen, zu erreichen. Diese Methode optimiert lediglich einen Parameter und keine vollständigen Bewegungstrajektorien.

In unserer Arbeit untersuchen wir ebenfalls, wie Roboter Menschen beim Bewegungslernen durch iterative Feedback-Strategien unterstützen können. Ist es Robotern möglich, ihre Korrekturstrategien so anzupassen, dass der Bewegungslernprozess des Menschen effizienter gestaltet wird?

Methoden

In unserer Arbeit haben wir versucht, eine iterative Methode zu entwickeln, um Menschen beliebige Bewegungstrajektorien mit Unterstützung eines Roboters erlernen zu lassen (siehe Abb. 1): Zunächst führt der Roboter den Menschen entlang einer vorgegebenen Referenztrajektorie τ_H^{des} . Dabei steigen die vom Roboter erzeugten Führungskräfte F_k proportional zur Abweichung von der Referenztrajektorie $(\tau_H^{des} - \tau_H^k)$ an (Iteration k in Abb.1), d.h. $F_k = \beta \cdot (\tau_H^{des} - \tau_H^k)$.

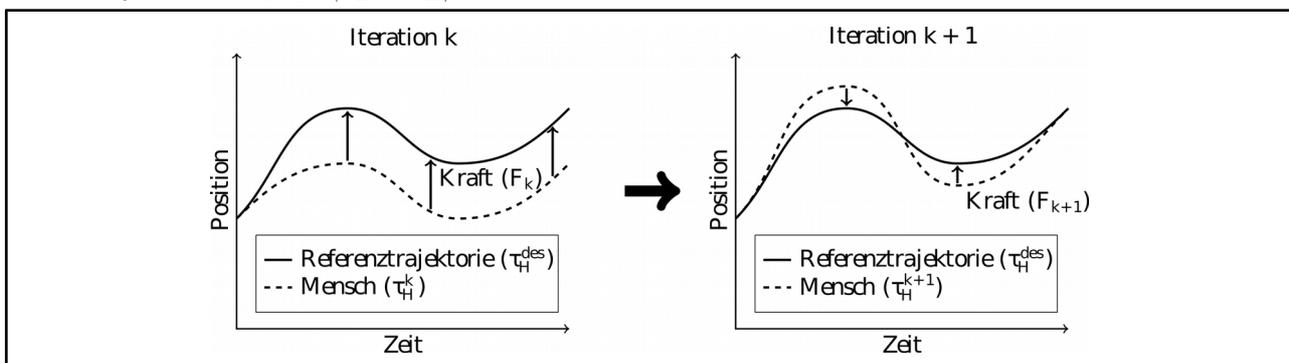


Abb. 1. Iterative Methode beim Bewegungslernen von Mensch-Roboter-Dyaden. Die durch den Roboter erzeugten Kräfte sind von der Differenz zwischen der Bewegungstrajektorie und der Referenztrajektorie sowie der Anpassung des Menschen in der vorherigen Iteration abhängig. Es wird angenommen, dass die Änderung der Bewegungstrajektorie von Iteration k zu Iteration k+1 proportional zu den vom Roboter in der Iteration k erzeugten Kräften erfolgt.

Der Mensch erhält durch die Roboterführung eine haptische Information über die zu erlernende Bewegungstrajektorie. In der folgenden Iteration (Iteration k+1 in Abb.1) soll der Mensch den Roboter entlang der Referenztrajektorie τ_H^{des} führen, ohne dass Abweichungen vom Roboter korrigiert werden müssen. Die vom Menschen erzeugte Trajektorie τ_H^{k+1} wird vom Roboter aufgezeichnet und mit der Trajektorie der vorherigen Iteration

τ_H^k verglichen. Die Ausprägung des haptischen Feedbacks des Roboters in der folgenden Iteration ist abhängig von der durch den Menschen realisierten Anpassung. Eine starke Anpassung führt zu einem weniger ausgeprägten Krafteinsatz des Roboters und umgekehrt. Folgt der Mensch exakt der Referenztrajektorie, werden vom Roboter keine Kräfte erzeugt.

Diese iterative Methode geht von der Annahme aus, dass der Mensch die vom Roboter erzeugten Korrekturkräfte – evtl. mit einem Dämpfungs- oder Verstärkungsfaktor – direkt für die Korrektur der nächsten Bewegung nutzt, d.h. $\tau_H^{k+1} = \tau_H^k + \alpha \cdot F_k$, was kompatibel mit dem Modell von Müller und Blischke (2001) ist. Die Parameter α und β können durch lineare Regression berechnet werden.

In allen Iterationen ist auf Seiten des Roboters eine Regelung aktiv, die das Gewicht des Roboters kompensiert. Der Regler erfasst die Gelenkwinkel des Roboters mit einer Auflösung von weniger als 0,5 Grad und berechnet Motor-Befehle mit einer Frequenz von 500 Hz.

Ergebnisse

Exploratorische Experimente mit vier Probanden haben gezeigt, dass die von uns konzipierte iterative Methode von den Lernenden nicht für das Lernen einer beliebigen Bewegungstrajektorie eingesetzt werden kann. Der zu erlernenden Trajektorie in diesen Experimenten entspricht eine Bogen-Bewegung von der Mitte nach links, nach rechts und zurück zur Mitte. Die Veränderung in der vom Menschen durchgeführten Trajektorie scheint nicht, wie wir angenommen haben, proportional zu den vom Roboter eingesetzten Kräften zu sein.

Diskussion

In der Zukunft wollen wir andere iterative Methoden für menschliches Bewegungslernen mit Roboter-Unterstützung entwickeln, die weniger starke Annahmen als die lineare Proportionalität zwischen Führungskräften und Anpassung der Trajektorien benötigen.

Einen möglichen Ansatz bietet die Anwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie. Ein Lehrer führt eine Reihe von Beispielbewegungen aus. Anschließend kann eine Wahrscheinlichkeitsverteilung an die Trajektorien der Beispielbewegungen angepasst werden. Das Framework der „Probabilistic Movement Primitives“ (Paraschos et al., 2013) kann benutzt werden, um diese Wahrscheinlichkeitsverteilung zu berechnen. Diese Verteilung kann im Lernprozess dazu genutzt werden die Leistung der Lernenden zu bewerten. Der Lernende kann zusätzlich ein visuelles Feedback erhalten, durch welches Teile der Bewegungen hervorgehoben werden, die nicht korrekt ausgeführt wurden.

Literatur

- Emken, J. L., & Reinkensmeyer, D. J. (2005). Robot-enhanced motor learning: accelerating internal model formation during locomotion by transient dynamic amplification. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 13(1), pp. 33-39.
- Mueller, H., Brückner, S., Panzer, S., & Blischke, K. (2001). Correcting errors in the presence of noise in the motor system: a formal model and first data. *6th Annual Congress of the European College of Sport Science - 15th Congress of the German Society of Sport Science*, p. 129.
- Paraschos, A., Daniel, C., Peters, J. R., & Neumann, G. (2013). Probabilistic movement primitives. In *Advances in neural information processing systems*, pp. 2616-2624.