

Multimodale Unterstützungssysteme für Leistungssport im Taktilen Internet

Esther Lapczynai¹, Lars Engeln¹, Jens Krzywinski², Rainer Groh¹

Professur für Mediengestaltung, Technische Universität Dresden¹

Juniorprofessur für Technisches Design, Technische Universität Dresden²

vorname.name@tu-dresden.de

Zusammenfassung

5G verspricht eine energiesparende Kommunikation zwischen vielen Geräten mit hohem Datendurchsatz bei niedriger Latenz, sodass das *Taktile Internet* möglich wird. Die herkömmlichen Szenarien für 5G sind Telechirurgie und Car-to-Car Kommunikation. Insbesondere Car-to-Car Kommunikation ist ein zukunftssträchtiges Gebiet innerhalb des Internet of Things (IoT). In dieser Arbeit wird als weitere Anwendungsdomäne für 5G das zeitkritische Training beim Leistungssport innerhalb des IoT vorgestellt. Dafür werden Unterstützungssysteme für das *Motorische Lernen* zweier exemplarischer Sportarten beleuchtet, bei denen niedrige Latenzen multipler Datenströme nötig sind.

1 Einleitung

Das *Taktile Internet* zeichnet sich durch niedrige Latenz bei hohem Datendurchsatz, hoher Erreichbarkeit, Zuverlässigkeit, und Sicherheit aus. So ist es unter anderem wegbereitend für das *Internet of Things* (IoT) - der unmittelbaren kabellosen Kommunikation vieler Endgeräte (Simsek et al., 2016), wie zum Beispiel beim autonomen Fahren. Nach Simsek et al. wird das Taktile Internet nicht mehr nur *Inhalte*, sondern insbesondere *Fähigkeiten* übertragen, wie es bei latenzfreier Telechirurgie der Fall ist. Zusätzlich werden Virtuelle und Augmentierte Realitäten als Anwendungsgebiet skizziert. Weiterhin wird dargelegt, dass sich das Taktile Internet weiteren Domänen behaupten wird. (Simsek et al., 2016)

Im Hochleistungssport werden technische Systeme vorrangig genutzt, um die Leistungsdiagnostik in Wettkampf- und Trainingssituationen zu unterstützen (Weidner et al., 2015). Die erhobenen Daten werden also meist zur Analyse des Trainings im Nachhinein ausgewertet. Das heißt, dass womöglich eine falsche Ausübung trainiert wird, welche im Nachgang korrigiert werden muss. Ohnehin steigert eine simultane Abbildung der Daten die Performanz des Sportlers (vgl. Schaffert et al., 2011). Die Daten sollten daher latenzfrei für Sportler und Trainer vorliegen, um ein direktes Überwachen wichtiger Kenngrößen zu gewährleisten.

Entscheidend für die Akzeptanz und Zweckmäßigkeit im Technik- und Konditionstraining sind präzise Messdaten, welche so in ein zeitsynchrones multimodales Feedback übersetzt werden, damit dieses intuitiv vom Nutzer verstanden wird. Eine optimale Unterstützung des Trainingsprozesses ist nur gesichert, wenn diese auch Dokumentation und Analyse der erhobenen Parameter umfasst. (Weidner et al., 2015)

Der Paradigmenwechsel, von der Übertragung von reinen Inhalten zu Fähigkeiten, mit dem das Taktile Internet verknüpft ist, erschließt neue Formen der Assistenz für das Motorische Lernen im Leistungssport. Neben den neuartigen technologisch motivierten Möglichkeiten ist die Frage nach einer Interaktionsgestaltung, welche die begreifbare Vermittlung dieser Fähigkeiten effektiv unterstützt, zu stellen. An den exemplarisch gewählten Sportarten *Contemporary Dance* und Rudersport wird nachfolgend ein erster Ansatz skizziert. Ein Tänzer (*Replacement*, siehe Kapitel 3.1), welcher dezentral eine unbekannte Choreographie, ohne Choreograph oder Ensemble, in kürzester Zeit einstudieren muss, bildet das Szenario für Virtuelle und Augmentierte Realitäten. Das Replacement benötigt Rückgriff auf das *implizite Wissen* des Choreographen bzw. des zu ersetzenden Tänzers, um Ausdrucksweise und Charakteristik des Tanzes richtig zu interpretieren. Im Gegensatz dazu, ergänzt das Rudertraining (siehe Kapitel 3.2), mit mehreren synchronen Akteuren und hoher Datenvielfalt (Anzahl der Sensoren), das Spektrum um ein IoT-Szenario. Auf Grundlage *objektiver Daten* benötigen die Ruderer Feedback zu Synchronität und der korrekten Ruderbewegung. In Kapitel 3 wird für beide Szenarien ein multimodaler Unterstützungsansatz vorgestellt. Dafür wird zunächst kurz auf Motorisches Lernen und Unterstützungssysteme eingegangen.

2 Motorisches Lernen

Das *Motorische Lernen* wird im sporttechnischen Kontext als Aneignung von Verhaltensweisen beschrieben (Meinel und Schnabel, 2007). Es existieren verschieden motivierte Modelle den Lernprozess zu beschreiben. Da das motorische Lernen eng mit dem kognitiven Lernen verbunden ist, werden im Folgenden die Phasenmodelle von Fitts und Posner (Fitts und Posner, 1967), sowie Meinel und Schnabel (Meinel und Schnabel, 2007) genauer ausgeführt.

Beide Modelle weisen eine ähnliche Struktur auf, aber unterscheiden sich im Detail durch einen psychologischen (Fitts und Posner, 1967) bzw. phänomenologischen (Meinel und Schnabel, 2007) Erklärungsansatz des Lernprozesses. Vor dem Hintergrund der vorliegenden Fragestellung erlaubt die Betrachtung beider Modelle sowohl die äußerlich sichtbare Entwicklung des motorischen Lernens, als auch dessen kognitive Dimension zu berücksichtigen.

Der Lernprozess wird in drei Phasen gegliedert, deren Übergänge sind fließend (siehe Abbildung 1). Das Erfassen der Aufgabe und die Aneignung elementarer Bewegungsabläufe (*Grobkoordination*) sind für den Beginn des Prozesses charakteristisch. Die bewusste Kontrolle von unbekanntem Bewegungsdetails erfordert ein hohes Maß an Aufmerksamkeit (*Kognitive Stufe*). Eine ineffizientes Vorgehen mit einer hohen Fehlerrate ist hier typisch. Die anschließende Phase beschreibt die stete Verfeinerung der Bewegung (*Feinkoordination*), bis hin zur nahezu fehlerfreien Wiedergabe. Der Lernende hat die *Assoziative Stufe* erreicht. Teilweise automatisierte Muster brauchen weniger Aufmerksamkeit, die Bewegungskoordination und -präzision nehmen zu. Hat der Lernende die Bewegungsmuster so verinnerlicht, dass diese auch bei stö-

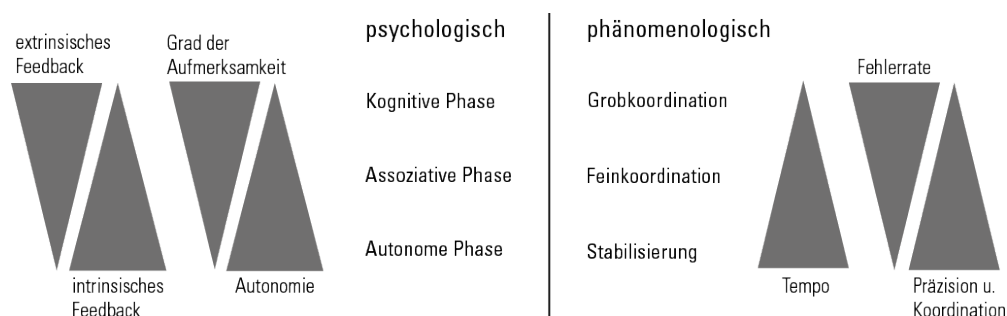


Abbildung 1: Lernprozess neuer motorischer Fertigkeiten mit psychologischen (nach Fitts und Posner, 1967) und phänomenologischen (nach Meinel und Schnabel, 2007) Erklärungsansatz.

renden Einflüssen sicher beherrscht werden, befindet er sich nach Meinel und Schnabel in der abschließenden Phase des Lernprozesses (*Stabilisierung*). Die Bewegungsabläufe können schnell und automatisiert ausgeführt werden (*Autonome Stufe*).

Motorisches Lernen wird durch Augmentierung der realen Welt gefördert (vgl. Sigrist et al., 2013). Neue Technologien in Sensorik und Aktorik ermöglichen die objektive Erhebung von bewegungsrelevanter Informationen. Diese bilden eine neue Qualität bei der Vermittlung von extrinsischem Feedback, jenseits des Experten oder Trainers. Unabhängig ob es sich dabei um ein simultanes oder finales Feedback handelt, identifiziert Sigrist et al. es als entscheidende Strategie zur Optimierung des motorischen Lernens und formuliert Kriterien für ein gelungenes Feedbackdesign. Im Gegensatz zu klassischen Ansätzen, wird das Vorgehen primär für die Unterstützung komplexer Bewegung in realen Situationen und der Orientierung an den individuellen Fertigkeiten des Lernenden motiviert. (Sigrist et al., 2013)

3 Echtzeitkritisches Training im Leistungssport

Multimodales Feedback wird bereits in komplexen Szenarien des Motorischen Lernens verwendet (siehe Sigrist, 2014). Ein visuelles Feedback steigert die Körperwahrnehmung (Park und Lee, 2016), um somit nachhaltig eine bessere Bewegungskontrolle zu erreichen. Allerdings besteht die Gefahr, dass der Sportler zu stark von der Unterstützung abhängig wird (Anderson et al., 2013). Das heißt, dass ohne Visualisierung eine schlechtere, oder sogar keine Leistung erbracht wird. Ein Unterstützungssystem muss daher adaptiv mit fortschreitendem Lernerfolg das extrinsische Feedback immer weiter minimieren (vgl. Abbildung 1).

Mit Experten der entsprechenden Domänen wurden die Anwendungsfelder Replacement und Rudertraining, sowie die fachspezifischen Probleme und Wünsche analysiert. Auf dieser Basis ist die folgende Konzeption und prototypische Umsetzung der beiden Unterstützungssysteme *Modern Replacement* (Kapitel 3.1) und *LYNE Rowing Suit* (Kapitel 3.2) entstanden.



Abbildung 2: *Modern Replacement* (links), *LYNE Rowing Suit* (rechts), (1) Vibrationsgürtel, (2) Armband, (3) visuellen und haptischen Feedback durch Eingabe in App, (4) Bodenprojektion mit Richtungsindikation, (5) *SoftExosuit* mit Force-Feedback, (6) Funktionsstudie

3.1 Modern Replacement

Spontane Verletzung oder Mehrfachbuchungen der Originalbesetzung machen es notwendig, dass ein Replacement (Ersatz) innerhalb weniger Tage eine unbekannte Choreographie erlernen muss. Ensemble wie Choreograph sind dezentral und kommen meist erst einen Tag vor der Premiere zu einer gemeinsamen Generalprobe zusammen. Anders als im Ballett, gibt es im *Contemporary Dance* keine Tanznotation oder präzise Beschreibung der Bewegungsabläufe. Als wichtige Charakteristika einer Contemporary Choreographie sind, neben dem richtigen Timing der Tänzer untereinander und deren räumlichen Positionierung, vor allem die sogenannten *Qualitäten* - die Charakteristik von Bewegungssequenzen - zu nennen. Als einziges Hilfsmittel steht dem Tänzer aktuell die visuelle Aufzeichnung der Proben zur Verfügung. Stellvertretend für andere Sportarten besteht die Herausforderung ein Unterstützungssystem zu konzipieren, das zum einen den Tänzer individuell in seinem Lernprozess begleitet und dabei implizites Wissen des dezentralen Ensembles verfügbar macht. Der entwickelte Lösungsansatz *Modern Replacement* (siehe Abbildung 2) orientiert sich an den bereits eingeführten Phasen-Modellen des Motorischen Lernens (siehe Kapitel 2) und stellt analog dazu drei Modi bereit (*Screening* - *Practise* - *Remember*). Diese zeichnen sich durch verschiedene Feedback-Strategien aus. Gesteuert per interaktiver Tablet-App (*Screening*), sowie flach anliegende Silikon-Wearables (*Practise*, *Remember*), erlauben es dem Tänzer ein echtzeitkritisches, simultanes und selbst-gesteuertes Feedback, das sich an seinen Fähigkeiten orientiert.

Der *Screening-Mode* ermöglicht die individuelle Annotation (textuell, auditiv oder visuell) der verfügbaren Videodokumentation und unterstützt so die analytisch kognitive Auseinandersetzung mit der motorischen Aufgabe. Nicht nur das Replacement, auch Choreograph und Originalbesetzung können ihr implizites Wissen aus den bisherigen Proben durch ihre Annotationen für den Tänzer verfügbar machen. Trackingdaten des gesamten Ensembles erweitern die herkömmliche Dokumentation. Die Position im Raum von Replacement und Ensemble stehen so als wichtige bewegungsrelevante Informationen zur Verfügung. Der *Practise-Mode* unterstützt die Feinkoordination von Bewegungssequenzen. Die im ersten Modi strukturierten

Sequenzen können nun gezielt wiederholt und die spezifischen Annotationen simultan abgerufen werden. Durch Richtungsimpulse unterstützt ein speziell entwickelter Vibrationsgürtel als haptisches Feedback die richtige Positionierung des Tänzers. Zusätzlich wird die räumliche Orientierung als Bodenprojektion über eine weitere Modalität unterstützt. Darüber hinaus aggregiert diese Visualisierung ergänzende Informationen. Zwei Armbänder zur Steuerung der unterschiedlichen Feedback-Strategien komplettieren das technische System und ermöglichen individuelle Lernniveaus der Tänzer zu adressieren. Die Modi Screening und Practise sind in einem ersten Funktionsmodell prototypisch umgesetzt. Das selbst-kontrollierte Überprüfen des individuellen Lernfortschritts bietet der *Remember-Modi*. Das System gleicht die originalen Trackingdaten mit dem Replacement ab. Da es keine exakten Positionen und Bewegungen im Contemporary Dance gibt, erhebt die nachfolgende Analyse des Lernerfolges nur grobe Fehler und Indizien.

Während das Screening sich an der etablierten Videoanalyse der Choreographie orientiert, sollen Practise und Remember den Tänzer während des gesamten Prozess des motorischen Lernens unterstützen. Für eine objektive Einschätzung des Lernfortschritts müssen die vom System erhobenen Trainingsdaten sowohl dem Replacement, als auch dem dezentralen Choreographen zur Verfügung stehen. Das Taktile Internet erlaubt neue Formen der Teilhabe.

Im Hinblick auf die Vision eines *Virtuellen Ensembles* verlieren räumliche und zeitliche Grenzen an Bedeutung. Die Aufbereitung der erhobenen Trainingsdaten in der virtuellen Welt, erlaubt dem dezentralen Choreographen eine umfangreiche Analyse des Lernniveaus. Basierend auf dieser Diagnostik stehen dem Choreograph verschiedene Strategien zur Verfügung, wie er mit seinem Feedback den Lernprozess möglichst effizient gestalten kann. Seine Rückkopplung kann dem Tänzer wiederum simultan zur Verfügung stehen. Ein weiteres Szenario, welches das Virtuelle Ensemble ermöglicht, wäre die virtuelle (General-)Probe, da die vorhandenen Daten eine Visualisierung des jeweils fehlenden Parts in Echtzeit erlauben.

3.2 LYNE Rowing Suit

Im Gegensatz zum Replacement ergänzt das Konditions- und Techniktraining im Rudersport die Überlegungen für neuartige multimodale Unterstützungssysteme. Die Akteure sind ähnlich zum Replacement (Experte - Team - Sportler). Allerdings erweitern spezifische Anforderungen die bisher skizzierten Betrachtungen. In einem separaten Boot begleitet der dezentrale Trainer den Trainingsdurchlauf in Blickweite zum Mannschaftsboot. Rudern besitzt einen komplexen Bewegungsablauf, der viele Muskelpartien im Körper beansprucht. Die Teilbewegungen müssen in einer exakten Abfolge und synchron durchgeführt werden, um einen bestmöglichen Durchzug zu erzeugen. Die Anspannung der Muskeln wird akkumuliert zu einer Kraftkurve, welche an der Paddelaufhängung des Bootes abgenommen wird (siehe Schaffert et al., 2011). Die Aufgabe des Trainers besteht darin, die Rudertechnik des einzelnen Sportlers so abzustimmen, dass alle gemeinsam als eine Einheit die optimale Geschwindigkeit erreichen. Dafür wird die physische Leistungsfähigkeit der Sportler genutzt, ohne diese zu überfordern. Bisher beschränken sich Unterstützungssysteme auf die Sportgeräte. Dow et al. ermöglicht ein kabelloses Abnahmesystem der Paddelkräfte (Dow et al., 2013). Speziell für das indoor Techniktraining entwarfen Frisoli et al. einen Rudersimulator, der das Training für einen einzelnen Ruderer in der VR ermöglicht (Frisoli et al., 2008). Für die effektive Einflussnahme auf den Trainingsprozess sind sowohl Daten des Trainingsgerätes und der einzelnen Sportler nötig.

Das Trainingssystem *LYNE Rowing Suit* (siehe Abbildung 2) versucht dagegen einen integrativen Ansatz. Die Diagnose des aktuellen Trainingsdurchlaufs unter realen Bedingungen basiert auf der Sensorik am Trainingsboot bzw. den Rudern und berücksichtigt gleichzeitig die Vitalfunktionen der Ruderer. Verschiedene Komponenten des Systems ermöglichen die Transformation der echtzeitkritischen Analyse der Trainingsdaten in ein simultanes extrinsisches Feedback. Zentraler Akteur zur aktiven Steuerung der Assistenz ist der Trainer. Eine App ermöglicht die simultane Analyse wichtiger Kenndaten für das gesamte Team, ebenso wie für einzelne Sportler. Die Sportler erhalten ein simultanes Feedback mittels einer *AR-Datenbrille* (visuell) und dem *LYNE-Suit* (Force-Feedback). Hierbei handelt es sich um einen speziell für den Ruderbereich entwickelten Soft-Exosuits. Dieser Soft-Exosuits liest mittels EMG-Sensoren die Muskelkontraktion aus (vgl. Ferris und Lewis, 2009; Kawamoto et al., 2003), die die Grundlage der Bewegungsdiagnose bildet. Abhängig vom Trainingsziel kann der Trainer die Parameter des Anzuges individuell auf den Sportler vor Trainingsbeginn bzw. in Echtzeit abstimmen. Je nach Einstellung werden Bewegungen erleichtert oder erschwert. In Analogie zum Prozess der Motorischen Lernens (siehe Abbildung 1) liegt der Fokus dieses Szenarios vor allem auf der zweiten und letzten Phase. Zur Unterstützung des Techniktrainings können Muskelgruppen gezielt unterstützt werden. Diese Entlastung ermöglicht einen hohen Grad an Präzision und reduziert bereits in einer frühen Phase des Lernprozesses die Fehlerrate. Dagegen optimiert eine bewusste Belastung bestimmter Muskelgruppen das Konditionstraining. Die synchrone Erhebung der Vitalfunktion soll dabei eine Überlastung des Sportlers verhindern. Ausgewählte Informationen stützen die Selbstbeobachtung der Ruderer. Das System visualisiert via *AR-Datenbrille* wichtige Kenngrößen des eigenen Körpers und des Teams in dessen peripheren Blickfeld. Die App und ein erster erlebbarer Funktionsprototyp für das Ellenbogengelenk samt dessen Muskelgruppen wurde umgesetzt.

4 Zusammenfassung

Das Taktile Internet ermöglicht, sowohl für den Sportler als auch einen (dezentralen) Trainer, die simultane Verfügbarkeit vieler und zugleich präziser Messdaten. Die hier vorgestellten Lösungen in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Experten verstehen sich als Designstudien. Die entwickelten Funktionsprototypen, erlauben eine schnelle iterative Überprüfung der Lösungsansätze. Die Evaluation erlaubt die gezielte Weiterentwicklung, um das motorische Lernen im Leistungssport positiv zu beeinflussen. Die vorgestellten Konzepte erlauben die Überwachung und Diagnose des Lernprozesses, der Aneignung und Automatisierung motorischer Fähigkeiten. Sie erzeugen eine zeitsynchrone Schnittstelle zwischen Trainer und Sportler, welche die Anleitung der Sportler ermöglicht. Beide Trainingssysteme sollen das Motorische Lernen durch ein simultanes, extrinsisches Feedback, das je nach Lernphase in Modalität und Parametern auf die Aufgabenstellung abgestimmt werden kann, unterstützen. In einer weiteren Iteration mit den Experten und einer anschließenden Studie sollen die Trainingssysteme auf deren Potential zur Unterstützung untersucht werden. Die mentale und physische Belastung von Trainer und Sportler sollte dabei einen wichtigen Stellenwert einnehmen. Die Ergebnisse bilden die Basis für Kriterien einer echtzeitkritischen Interaktionsgestaltung.

Danksagung

Wir danken Lenard Opeskin, Paul Judt, Duc Anh Trinh, Tom Kopp (*Modern Replacement*) und Marie Schwarz, Florian During, Fabian Neumüller, Robert Menger, Joshua Sadlowski (*LYNE Rowing Suit*) für Konzeption und Demonstrator, sowie Christoph Schreiber für Betreuung.

Literaturverzeichnis

- Anderson, F., Grossman, T., Matejka, J. & Fitzmaurice, G. (2013). YouMove: Enhancing Movement Training with an Augmented Reality Mirror. *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '13*, 311–320. doi:10.1145/2501988.2502045
- Dow, D., Andrews, R., Garcia, A., Dryer, B. & Bonney, S. (2013). Rowing Training System for on-the-Water Rehabilitation and Sport. *Proceedings of the 8th International Conference on Body Area Networks, 1*, 3–6. doi:10.4108/icst.bodynets.2013.253697
- Ferris, D. P. & Lewis, C. L. (2009). Robotic lower limb exoskeletons using proportional myoelectric control. In *2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (S. 2119–2124). doi:10.1109/IEMBS.2009.5333984
- Fitts, P. M. & Posner, M. I. (1967). Human performance.
- Frisoli, A., Ruffaldi, E., Bagnoli, L., Filippeschi, A., Avizzano, C. A., Vanni, F. & Bergamasco, M. (2008). Preliminary design of rowing simulator for in-door skill training. *Proceedings of the First International Conference on Ambient Media and Systems*, 9:1–9:8. doi:10.4108/ICST.AMBISYS2008.2911
- Kawamoto, H., Lee, S., Kanbe, S. & Sankai, Y. (2003). Power assist method for HAL-3 using EMG-based feedback controller. In *Systems, Man and Cybernetics, 2003. IEEE International Conference on* (Bd. 2, 1648–1653 vol.2). doi:10.1109/ICSMC.2003.1244649
- Meinel, K. & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre - Sportmotorik: Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt*. Meyer & Meyer.
- Park, H. K. & Lee, W. (2016). Motion Echo Snowboard: Enhancing Body Movement Perception in Sport via Visually Augmented Feedback. *Proceedings of the 2016 ACM Conference on Designing Interactive Systems - DIS '16*, 192–203.
- Schaffert, N., Mattes, K. & Effenberg, A. O. (2011). Examining effects of acoustic feedback on perception and modification of movement patterns in on-water rowing training. *Proceedings of the 6th Audio Mostly Conference (AM '11)*, 122–129.
- Sigrist, R. (2014). *Multimodal augmented feedback in complex motor learning* (Diss., ETH Zurich).
- Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R. & Wolf, P. (2013). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(1), 21–53. doi:10.3758/s13423-012-0333-8
- Simsek, M., Aijaz, A., Dohler, M., Sachs, J. & Fettweis, G. (2016). 5G-Enabled Tactile Internet. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(3), 460–473. doi:10.1109/JSAC.2016.2525398. arXiv: 1602.06925
- Weidner, R., Redlich, T. & Wulfsberg, J. P. (Hrsg.). (2015). *Technische Unterstützungssysteme*. Berlin: Springer Vieweg.