



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

FAKULTÄT
FÜR MATHEMATIK, INFORMATIK
UND NATURWISSENSCHAFTEN

Exposé

Adapting human behavior

Melanie Budde

2budde@informatik.uni-hamburg.de

Studiengang Informatik

Matr.-Nr. 6494505

Version 2

A distributed system is one where the failure of some
computer I've never heard of can keep me from getting my work done.
– *Leslie Lamport*

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	2
1.2.1	Studie	2
1.2.2	Bachelorarbeit	3
1.3	Eingrenzung des Themas	3
1.4	Gliederung	4
2	Hauptteil	5
2.1	Ball-Game	5
2.1.1	Analytisch	5
2.1.2	Technisch	7
2.2	Bisherige Umsetzung	8
2.2.1	Socket	8
2.2.2	Agent	10
2.3	Resultierende Fragestellungen	11
2.4	Zeitplan	11
3	Schluss	13
	Literaturverzeichnis	15

1 Einleitung

1.1 Motivation

Das Institut für Neurophysiologie und Pathophysiologie des Universitätsklinikums Eppendorf (UKE), führt unter Leitung von Prof. Dr. med. Andreas K. Engel derzeit eine Studie mit dem Thema „Die Rolle sensomotorischer Kontingenzen bei sozialer Kopplung“ durch. Mit Sensomotorik ist hierbei das Zusammenspiel von sensorischen und motorischen Leistungen des Menschen gemeint und Kontingenz stellt die Verknüpfung von verschiedenen Ereignissen, z.B. einer Reaktion oder eines Verhaltens mit einem Verstärker oder eines Verhaltens mit einem anderen Verhalten her, wodurch eine Wechselbeziehung entsteht. Zielsetzungen und Zweck des Forschungsvorhabens ist es, neuronale und Verhaltenskorrelate sozialer Interaktion und interpersonaler Kopplung zu untersuchen. Theoretische Grundlage der Experimente ist ein handlungsorientierter Zugang zu sozialer Kognition, der selbst komplexe Modi menschlicher Interaktion zurückführt auf basale sensomotorische Interaktionsmuster, so genannte sensomotorische Kontingenzen (sensorimotor contingencies, SMCs). Als grundlegend für soziale Interaktion wird hierbei die Fähigkeit zur Vorhersage von Handlungen und Handlungskonsequenzen anderer Akteure angesehen. Die Untersuchungen widmen sich konkret der Frage, ob das Erlernen und Beherrschen dieser SMCs im Rahmen eines zu zweit zu absolvierenden Geschicklichkeitsspiels auch zu einer veränderten sozialen Interaktion zwischen den Spielern führt. Der Frage nach dem Zusammenhang von sensomotorischer und sozialer Kopplung wird durch die Analyse von Bewegungs- und hirnelektrischen Parametern sowie Fragebogen-Daten, Probanden-Ratings zum subjektiv empfundenen Involviert-Sein, „Wir“-Gefühl und der Qualität der Interaktion zwischen den Akteuren, nachgegangen. Die neuronale Aktivität des Gehirns wird durch Elektroenzephalographie(EEG) gemessen. Zusätzlich wird die Rolle sozial relevanter SMCs bei Patienten mit Autismus-Spektrum-Störung (ASS), die massive qualitative Beeinträchtigungen in sozialer Interaktion aufweisen, erörtert.

Das hier beschriebene Vorhaben umfasst 2 Studien, die in 3 (erste Studie) bzw. 2 (zweite Studie) Teilexperimente unterteilt sind. Mit den laufenden Studien sollen folgende übergreifende Hypothesen getestet werden:

1. Das Erlernen und Beherrschen von SMCs in einem dyadischen Geschicklichkeitsspiel ist assoziiert mit dem sozialen Interaktionsmuster zwischen den beiden Spie-
-

lern.

2. Soziale Kopplung bzw. Ratings zum subjektiven Involviert-Sein und der Qualität der Interaktion spiegeln sich wider in neuronaler Kopplung und in Korrelationen zwischen den erhobenen Bewegungsparametern der beiden Akteure.
3. Sozial-kognitive Defizite bei Patienten mit ASS sind assoziiert mit Defiziten im Erwerb und der Beherrschung von SMCs. Primärer Endpunkt in beiden geplanten Studien ist eine Quantifizierung des Zusammenhangs zwischen sensomotorischer und sozialer Kopplung in dyadischer Interaktion sowie eine Darstellung der neuronalen Korrelate kooperativen Verhaltens. Sekundärer Endpunkt in beiden Studien ist eine Beschreibung dieses Zusammenhangs beim pathologischen Fall der ASS, sowie die Formulierung formaler Modelle zur Rolle von SMCs bei ASS-charakteristischen sozialen Defiziten.

1.2 Zielsetzung

1.2.1 Studie

Theoretischer Hintergrund der Studie ist die Theorie der Sensomotorischen Kontingenzen, bzw die sg. 4E (embodied, extended, embedded & enacted) cognition. Grundannahme ist hier, dass der Körper (über das Gehirn hinaus), Werkzeuge/Dinge die wir benutzen, unsere Bewegungen und unsere Umgebung, insbesondere die soziale, eine wichtige (konstitutive) Rolle für unsere Wahrnehmung und Intelligenz spielen. In diese Studie wird konkret untersucht, ob das subjektive Erleben der Probanden mit dem Zusammenspiel ihrer Bewegungen (WLCC, Windowed-Lagged-Cross-Correlation und CRQA, Cross-Recurrence-Quantification-Analysis der Finger und Augenbewegungen) sowie den neurophysiologischen Daten die erhoben werden (EEG) in Verbindung gesetzt werden kann. Um einen besseren Eindruck davon zu gewinnen, wie die Probanden das Spiel erleben, wird regelmäßig im Experiment nach ihrer Involviertheit und ihrer Bewertung des Zusammenspiels gefragt und ein offenes Interview mit beiden Probanden einzeln durchgeführt, nachdem das Experiment abgeschlossen ist. Als mögliche Auswirkung auf die Gesellschaft wird folgendes erwartet:

1. Mögliche alternative Therapien bzw ein informierterer Umgang mit Autismus im Alltag: sollten wir Unterschiede zwischen gesunden Probanden und Autisten feststellen, ist das ein Hinweis darauf, dass Übungen der Bewegungskoordination, insbesondere zwischen autistischen und gesunden Menschen, dabei helfen könnten, sich im sozialen Austausch miteinander besser zurecht zu finden.
-

2. Für die Erforschung der Grundlagen sozialer Interaktion: wie oben bereits angedeutet, können die Ergebnisse dieser Studie Stellung nehmen zur Relevanz von Bewegung (der einzigen Austauschmöglichkeit während des Spiels) und sozialem Erleben/sozialer Koordination. Es wird zum Beispiel spannend sein, ob das über die Probanden unterschiedlich stark ausgeprägte subjektiv erlebte Phänomen, dass das alleine Spielen am Ende, nachdem lange gemeinsam gespielt wurde, schwierig bzw. ‚komisch‘ ist. Es entsteht das Gefühl, man würde nicht alleine Spielen und die Steuerung funktioniert nicht richtig. Es wird geschaut ob dies durch die Komplementarität (CRQA) oder die Koordiniertheit (WLCC) der Bewegungen zwischen den Spielern erklärt werden kann.

In der Auswertung wird untersucht, ob Unterschiede im Erleben, sowie in der Spielart (individuelle Strategie, Finger- & Augenbewegungen) und der Koordination zwischen den beiden Probanden vorliegen. Die Annahme die überprüft wird ist, dass Autistische Probanden größere Schwierigkeiten haben, ihre Bewegungen dynamisch an die ihres Spielpartners anzupassen.

1.2.2 Bachelorarbeit

Ziel der Arbeit soll es sein, einen Agenten für dieses Geschicklichkeitsspiel zu entwerfen, der sich parametrisiert auf unterschiedliche Spielweisen einstellen lassen kann:

1. Initiative ergreifen: Dominanz vs. völlige Passivität in Bezug auf Spielverhalten vom Spieler.
2. Geschwindigkeit beim adaptiven lernen
3. Randomness/noise: in den von dem Bimetall erzeugten Daten.
4. Fingerbewegungsgeschwindigkeit: Geschwindigkeit in der sich der Controlleroutput ändert.

Wobei Punkt 2 vernachlässigbar ist und nicht Teil der Arbeit werden soll.

Dieser Agent soll in einer erneuten, Verhaltens-Datenerhebung (ohne EEG) zum Einsatz kommen. Probanden werden im Wechsel mit einem Menschen und gegen den Agenten spielen (unterschiedlich parametrisiert). Es wird beobachtet, wie die Testpersonen ihre Partner wahrnehmen/bewerten, und ob sie erkennen, dass es sich um einen Agenten handelt. Er sollte also den Turing-Test bestehen, ist aber kein Muss, eine Annäherung reicht aus und wird auch als realistisch eingeschätzt.

1.3 Eingrenzung des Themas

Es soll nicht Teil der Arbeit sein, sich mit der eigentlichen Studie, Datenerhebung, so wie dessen Auswertung auseinanderzusetzen. Auch die Eyetracker, sowie EEG Daten

werden nicht analysiert.

1.4 Gliederung

Noch nicht vorhanden

2 Hauptteil

Hier werden Fragen zur Umgebung des Agenten und der genauere Versuchsaufbau erläutert. Ebenso die damit zusammenhängenden technischen Details sowie die bereits geleistete Umsetzung.

2.1 Ball-Game

2.1.1 Analytisch

Bei dem Ball-Game sitzen zwei Probanden die gegeneinander ein 3-D Geschicklichkeitsspiel am Computer spielen, in zwei verschiedenen Räumen und somit auch an verschiedenen Bildschirmen. Die Spielfeld Größe entspricht der Auflösung 1024 x 768 px. Sie müssen gemeinsam einen Ball mittels eines Bimetalls, welches um beide Zeigefinger gelegt wird, lenken. Der linke Zeigefinger steuert die y Koordination, der Rechte die x Koordination. Der Ball unterliegt den gängigen physikalischen Gesetzen und besitzt Trägheit. Es gibt an 4 Stellen Münzen die eingesammelt werden müssen. Wird eine Münze vom Ball berührt, erscheint an der gleichen Stelle nach einer kurzen Zeit ein neuer. Es gibt 9 Hindernisse von denen nur 7 sichtbar sind. Die Verteilung der Hindernisse ist bei beiden Spielern gleich, jedoch sind nicht alle für beide gleich sichtbar. Außerdem sind die Hindernisse nicht blockierend, sondern mit einem Brems-Faktor versehen.

Ein Spiel besteht aus mehreren Runden die jeweils 1 Minute lang sind. Die Objekte in dem Spielfeld werden per Zufall vor jeder Runde anders plziert. Während der Spielphase werden die Hirnströme und Augenbewegungen der Mitspieler gemessen, auch das eigentliche Spiel wird aufgezeichnet.

Das BallGame berücksichtigt folgende Ansprüche:

1. Beide Spieler sollen in ihrem Verhalten möglichst autonom bleiben. Deswegen gibt es während des Spiels immer drei Münzen die als nächstes eingesammelt werden könnten. Hierbei wird redundante Kontrolle dadurch erreicht, dass beide Spieler jeweils beide, die X- und die Y-Achsen steuern.
 2. Es soll einen Grund zum Austausch geben, deshalb gibt es einseitig, für nur einen der beiden Spieler sichtbare Bremsregionen eingebaut. Die Spieler wollen vermeiden, in diese Regionen zu fahren
-

So zählt es sich aus, auf die Hinweise in den Bewegungen des Spielpartners zu hören. Zusätzlich ist man unkoordiniert deutlich langsamer, somit lohnt es sich, sich zu einigen. Nebensächlich ist hier außerdem relevant, dass das Spiel interessant ist, und bis jetzt allen Probanden zumindest streckenweise deutlich Spaß macht – sie sind also ‚bei der Sache‘, involviert, engagieren sich.

Für die Methoden wurde sich aus folgenden Gründen entschieden:

- **Fingersteuerung:** alternativ zu zB Maus, Tastatur, oder Joystick, ist die Fingersteuerung über die Bimetalle eine kontinuierliche und ‚leichte‘ Bewegung, die keine zu großen Muskelartefakte (fortlaufendes Aktivitätsmuster) im EEG erzeugt. Dies ist wichtig um über sensomotorische Kontingenzen Aussagen treffen zu können.
- **Augenbewegungen:** sehen als wichtiger und ‚motorischer‘ Sinn
- **EEG:** wird benötigt um die neurophysiologischen Grundlagen von interaktiver Koordination und interaktivem Erleben zu erforschen. Das EEG wurde gegenüber dem MEG(Magnetoenzephalographie) bevorzugt, da dem Institut nur eines zur Verfügung steht und es zusätzlich massiv die Bewegungsfreiheit der Probanden einschränkt. Beim EEG können 2 Systeme gleicher Art bei den beiden Probanden genutzt werden.
- **Likert-Skala Fragen:** Dieses Verfahren wird zur Messung persönlicher Einstellungen während des Spiels genutzt. Diese Fragen sind schnell zu beantworten – ideal wäre es, nach jeder Runde zu fragen. Um jedoch den Spielfluss nicht allzusehr zu unterbrechen, wird alle 3-4 Spieldurchläufe mit einer Dauer von jeweils 3-4min befragt.
- **Offenes Interview:** das offene Interview am Ende des Experiments bietet die Möglichkeit, einen direkten Eindruck vom Erleben des Probanden während des Experiments zu gewinnen. Die Antworten der Probanden können die – in diesem Experiment sehr explorative – Datenanalyse informieren, und auf interessante Unterschiede zwischen den Paaren hinweisen.

Es findet kein verbaler oder sonstiger Austausch während des Experiments statt, nur über die Fingerbewegungen bzw. deren Auswirkung im Spiel. So können alle am Austausch beteiligten Parameter gemessen werden. Außerdem gibt es das offene Interview, hierdurch können etwaige ‚Ausreißer‘ in der Interpretation oder im Erleben entdeckt werden und in der Analyse berücksichtigt werden. Primär wurde hier der Fokus darauf gelegt, dass der Charakter einer ‚Interaktion‘ erhalten bleibt. Daher die oben genannten berücksichtigten Prinzipien.

2.1.2 Technisch

Realisiert ist das Ball-Game mittels LabVIEW. LabVIEW ist eine system-design Plattform und Entwicklungsumgebung für visuelles programmieren und läuft unter Windows. Sowohl für die Nutzung von LabVIEW sowie für sämtliche Abhängigkeiten wird eine 'Lehrenden-Lizenz' der Universität Hamburg benötigt.

Derzeit genutzte Versionen:

- NI LabVIEW 2017 (32-bit)
- Windows 10 (64-bit)

Abhängigkeiten:

- LabVIEW Robotics Module 2017
- ZeroMQ Socket Library v3.4.1.107
- MATLAB R2017b

Von dem weiteren Set-Up sind für diese Arbeit nur die Bimetalle zur Steuerung des Balls interessant, da der Agent diesen input simulieren muss um einen der zwei Spieler zu ersetzen.

Folgende Daten werden vom Spieler erzeugt und an die physics engine weiter geleitet.

```
1  % 1 - bimetal deflection 'raw' X
2  %   mean of AI_x_Samples
3  % 2 - bimetal deflection 'raw' Y
4  %   mean of AI_y_Samples
5  % 3 - bimetal deflection 'medium' X
6  %   norm_avrg, i.e. after calibration
7  % 4 - bimetal deflection 'medium' Y
8  %   norm_avrg, i.e. after calibration
9  % 5 - bimetal deflection 'reshaped' X
10 %   norm_avrg_reshaped, i.e. after reshaping to 0.8 ==> 1
11 % 6 - bimetal deflection 'reshaped' Y
12 %   norm_avrg_reshaped, i.e. after reshaping to 0,8 ==> 1
```

Punkt 1/2 behandelt die 'rohe'Inputspannung der Bimetalle Diese ist für das hier beschriebene Vorhaben am relevantesten. Um unterschiedliche Krafteinwirkungen auf den Ball zu erzeugen, je nachdem wie stark die Fingerneigung ist, werden die Inputwerte linear addiert und dann mit einem maxForce Parameter multipliziert.

Punkt 3/4 ist der Input nach der Kallibrierung

Für die initial Kallibrierung werden die Fingerbewegungen der Probanden in einem kurzen Zeitraum, während sie die Finger bewegen, aufgezeichnet. Davon werden 90% der

Spannung des Vollausschlags in beide Richtungen als Maximalwerte für die Steuerung übernommen. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis empirisch/subjektiv für die Probanden eine gute Steuerungsumsetzung durch die Fingerbewegungen vorliegt.

Punkt 5/6 ist der normalisierte Kraftvektor, der auf den Ball gegeben wird

Der Startvektor wird vom Zielvektor abgezogen und daraus wird der absolute maximal Wert berechnet. Dieser wird wiederum durch das Substrat der ersten beiden Vektoren dividiert:

```
1 def resp_normalized(start, goal):
2     x_s, y_s = start
3     x_g, y_g = goal
4
5     x_r = x_g - x_s
6     y_r = y_g - y_s
7
8     m = abs(max(x_r, y_r))
9
10    x_rn = x_r / m
11    y_rn = y_r / m
12
13    return x_rn, y_rn
```

2.2 Bisherige Umsetzung

2.2.1 Socket

Um die Vorteile von Linux in der Softwareentwicklung wie z.B Paket-Manager und Entwickler Werkzeuge mit dem Windows basierten LabVIEW nutzen zu können, muss der Datentyp 'cluster' von LabVIEW an eine python Application übergeben werden. Um die Daten zwischen den beiden Programmen auszutauschen und zu typecasten, wird eine Socket Verbindung benötigt. Für die Implementation des Sockets wurde Python 3.6 mit folgenden Bibliotheken benutzt:

- socket
- json

Set-Up

Auf einem Linux host System wurde eine virtuelle Maschine mittels VirtualBox erzeugt in der Windows 10 läuft. Die komplette Installation und Einrichtung hat 3 Tage gedau-

ert. Um eine Verbindung zwischen der virtuelle Maschine und dem Host herzustellen, wurde ein host-only Adapter konfiguriert. Dieser erzeugt auf der VM und dem Host ein virtuelles network-interface welches die Kommunikation mittels IP realisiert. Dieses set-up ist nötig um einen geeigneten Socket zum Datenaustausch zu implementieren.

Datenaustausch

Die Kommunikation ist als client-server Modell realisiert, wobei LabVIEW als Server, die Python Applikation als Client angesehen wird. Um vernünftig typecasten zu können, werden die Daten als JSON formatiert und mittels TCP Sockets vermittelt.

Hier ist die Implemetation des Sockets:

```
1 import socket
2 import json
3
4 class LabViewConnector:
5     def __init__(self, ip, port):
6         self.sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
7         self.sock.connect((ip, port))
8
9     def receive_fr(self):
10        byteA = bytearray()
11        while True:
12            data = self.sock.recv(1)
13            if data[0] == 10:
14                break
15            else:
16                byteA.append(data[0])
17            print(byteA)
18            str = byteA.decode("utf-8")
19            a = json.loads(str)
20            return a
21
22        def send_fr(self, obj):
23            str = json.dumps(obj).encode()
24            str += b"\r\n"
25            self.sock.send(str)
26
27        def close(self):
28            self.sock.close()
```

.

2.2.2 Agent

Der erste Ansatz war es, eine künstliche Intelligenz (KI) zu erstellen, welche mittels Neuronalen Netzen das Verhalten der ASS Spieler erlernt. Da von beiden Probandengruppen jeweils nur 25 Datensätze vorliegen, lässt sich dies jedoch nicht realisieren. Um das Problem mit den geringen Datensätzen zu umgehen, war die Idee einen Agenten zu programmieren gegen den die KI trainieren kann. Dies erwies sich schwieriger als gedacht, da auch hierfür die Datensätze nicht ausreichen um eindeutige Ergebnisse bezüglich der Verhaltensunterschiede zu machen. Es kann also keine fundierte Aussage darüber getroffen werden, ob der Agent gegen den die KI trainiert, tatsächlich gewisse Verhaltensmuster aufweist. Im Zuge dessen wurde bereits ein suboptimaler Spieler in Ansätzen implementiert. Der hier zu besprechende Ansatz wurde mit Python 3.6 realisiert, unter Einbindung folgender Bibliotheken:

- heapq
- numpy
- scipy

Erste Implementation eines Agenten

LabVIEW übermittelt sämtliche Kontextinformationen die die jeweiligen Runden definieren, wie Ball Position, Koordinaten, Größe und Lage der Hindernisse und Münzen. Da der Datenstrom aus der Pythonanwendung vor die physics engine von LabVIEW gehängt wird, muss sich nicht um Beschleunigung etc gekümmert werden. In jedem weiteren Schritt wird abwechselnd mit 360 FPS die entsprechende Krafteinwirkung, des jeweiligen Spielers, auf den Ball gesendet. Um die Implementation zu vereinfachen werden sämtliche Formen in 2-D umgewandelt und das Spielfeld wird mittels eines 2-D Arrays dargestellt.

Der Algorithmus tut folgendes:

1. Ein 768×1024 2D Array wird erstellt und die Positionen der Münzen und Hindernisse markiert.
 2. Die einzelnen Hindernisse werden durch bounding-box gesliced und mittels Matrixrotation an die entsprechende Position gelegt.
 3. Agent kann mittels seiner aktuellen Position auf dem Spielfeld entscheiden welche Münze am dichtesten für ihn liegt.
 4. Agent wendet A* Algorithmus mit Manhattan-Distanz als Heuristik an um den kürzesten Pfad zu bekommen, der die Hindernisse umgeht.
 5. Agent arbeitet seinen Stack für den kürzesten Pfad ab und sendet diese im Wechsel mit dem Response, solange bis die Liste leer ist.
-

Probleme an der Implementation

Diese aktuelle Implementation beinhaltet zwei Fehler

1. Der Agent sendet nur die Koordinaten seines nächsten Schrittes, ohne dabei Rücksicht auf den Response des Gegenspielers zu nehmen.
2. Der Agent gibt lediglich x,y Koordinaten zurück, erwarten tut LabVIEW jedoch die Krafteinwirkung auf den Ball mittels eines normalisierten Wertes zwischen -1 und 1. Die Normalisierung funktioniert, kann allerdings nicht zusammen mit dem A*-Algorithmus angewendet werden, da die Hindernisse nicht mehr umgangen werden können.

2.3 Resultierende Fragestellungen

- Wie lässt sich oben genanntes Problem der gegenseitig einwirkenden Kräfte auf den Ball lösen. Evtl. durch Differenzbildung?
- Da der Ball träge ist, ist nicht jede Entscheidung des Agenten optimal für seine Situation. Da eine Münze die von der Distanz her dichter ist, durch eine ungünstige Kurve die gefahren werden muss um sie zu erreichen, nicht unbedingt dem günstigsten Fall entspricht, bedarf es einer Lösung welche die Trägheit der Objekte mit einbezieht.
- lässt sich aus der Spielanalyse ableiten wie der ASS Agent sich zu verhalten hat? Kann dies statisch umgesetzt werden?
- lässt sich ein unter Berücksichtigung der oben genannten Punkte ein parametrisierter Agent erstellen der die Spezifikation erfüllt?

2.4 Zeitplan

Noch nicht vorhanden.

3 Schluss

Es gilt nun erst einmal heraus zu finden, was die genaue Fragestellung sein wird. Die Lösung mit Neuronalen Netzen entfällt aufgrund mangelnder Daten und Zeit. Ich würde gerne an das bereits geleistete anknüpfen und den Agenten weiter ausbauen. In die Implementation des Sockets und des Agenten inkl. des set-up's, auch auf den Systemen im UKE, hat bereits ca 170 St. gebraucht. Im kommenden Iterationsschritt möchte ich klaren Titel und Fragestellung formulieren können. In Zukunft werden mir min. 3 Stunden täglich Zugang zu den Laborrechnern, auf denen die Application im Endeffekt laufen wird, gewährleistet.

Literaturverzeichnis

- [Cormen et al.(2001)Cormen, Leiserson, Rivest, and Stein] Cormen, Leiserson, Rivest, and Stein. *Introduction to Algorithms, Second Edition*. MIT Press, 2001.
- [Duran and Fusaroli(2016)] Nicholas D. Duran and Riccardo Fusaroli. Conversing with a devil's advocate: Interpersonal coordination in deception and disagreement. 11 2016. URL <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178140>.
- [Jaegher and Paolo(2007)] Hanne De Jaegher and Ezequiel Di Paolo. Participatory Sense-Making An Enactive Approach to Social Cognition. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 2007.
- [Jaegher et al.(2016)Jaegher, Pieper, Clénin, and Fuchs] Hanne De Jaegher, Barbara Pieper, Daniel Clénin, and Thomas Fuchs. Grasping intersubjectivity: an invitation to embody social interaction research. 07 2016. URL <https://doi.org/10.1007/S11097-016-9469-8>.
- [Paxton and Dale(2017)] Alexandra Paxton and Rick Dale. Interpersonal Movement Synchrony Responds to High- and Low-Level Conversational Constraints. 07 2017. URL <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2017.01135>.
- [Poole and Mackworth(2010)] David Poole and Alan Mackworth. *Artificial Intelligence: foundations of computational agents*. Cambridge University Press, 2010.
-

