

# Auge-Hand-Koordination (AHK)

# Einleitung

- trainiertes motorisches Verhalten:
  - Fähigkeit die Konsequenzen eines Verhaltens vorherzusagen
- motorisches Lernen:
  - Aneignung von neuen Routen („Maps“), die motorische Kommandos und erwünschte sensorische Ergebnisse verbinden
- Sakkade:
  - schnelle und ruckhafte Bewegung, mit der ein Auge bewusst von einem Fixationspunkt zum nächsten bewegt wird

# Einleitung

- anfangs ist Performance in unbekannten Aufgabe unkoordiniert und anstrengend
- Entscheidungsfällung und Ausführung von Bewegungen fällt schwer
- zunächst müssen grundlegende Mapping-Regeln entdeckt werden, die in Beziehung zu motorischen und sensorische Signalen stehen
- dann Implementierung der Regeln in eigene Verhaltensmuster
- erst danach Performance Verbesserung möglich
- Bsp. Kind lernt Fahrradfahren
  - erstmal muss es Koordinationsabläufe verinnerlichen um Stabilität zu erreichen
  - erst dann kann es anfangen das Fahren zu erlernen und sich zu verbessern

# Einleitung

- Erlernen einer neuen visomotorischen Aufgabe erfordert
  - Veränderung des Beobachtungsverhaltens
  - Veränderung der Auge-Hand-Koordination
  - also Aneignung eines neuartigen Mappings zwischen bimanueller Handlung und der daraus resultierenden sichtbaren Konsequenzen

# Untersuchung

- es ist wenig bekannt über die Rolle von Blicken beim Erlernen von visuell geleiteten manuellen Aufgaben
- Schwerpunkte der vorliegenden Untersuchung:
  - Untersuchung von AHK während dem Erlernen einer Aufgabe, die Explorationsverhalten zur Performanceverbesserung benötigte
  - Untersuchung des Einsatzes von Blickfixation während Lernen
  - Untersuchung der Veränderung der AHK bei Verbesserung der Performance

# Versuchsaufbau

- 10 Probanden
- Studenten
- 6 Männer, 4 Frauen
- davon 9 Rechtshänder, 1 Linkshänder
- besaßen normale Sehfähigkeit



# Versuchsaufbau

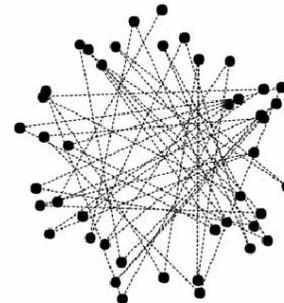
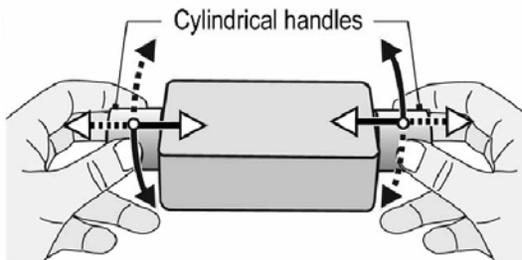
- Ellbogen wurde auf dem Tisch aufgestützt
- Probanden saßen vor einem vertikal aufgestellten Monitor
- Kopf wurde fixiert
- Blickposition des rechten Auges wurde durch ein Videosystem aufgezeichnet
- die angewandten Kräfte auf den Controller wurden 200 Mal pro Sekunde gemessen

# Annahmen im Vorfeld

- Erwartetes Verhalten nach erfolgreicher Lernphase  
→ Blickausrichtung auf Ziel ohne Beachtung der Cursorbewegung
- Mögliche Beobachtungen:
  - a) zielgerichtetes Blickverhalten bereits während der Lernphase  
→ Beobachtung der Konsequenzen der Handaktionen, also der Cursorbewegung, nur auf peripherer Netzhaut
  - b) in frühen Lernstadien wird Blick auf den schwach kontrollierten Cursor fixiert  
→ dabei Betonung der Wichtigkeit des fovealen Sehens und Blickwechsels beim Erlernen neuer mappings

# Aufgabe

- Probanden sollten mit dem Controller den Cursor bewegen, um ein auf dem Display angezeigtes Ziel zu treffen
- horizontale Bewegung des Cursors, in dem sie Kräfte entlang der Längsachse ausübten
- vertikale Bewegung des Cursors, indem sie Drehkräfte anwendeten
- das Ziel konnte an 44 vorher per Zufall festgelegten Positionen auftauchen



# Aufgabe

- Treffer wurde gewertet, wenn Cursor und Ziel für mindestens 100ms einen Abstand von weniger als 5mm zueinander hatten
- Treffer wurde durch Klickgeräusch gekennzeichnet
- darauf verschwand das Ziel und sprang zu einer für den Probanden unvorhersehbaren neuen Position

# Mapping Regeln

- Probanden mussten 2 Durchgänge mit verschiedenen Mapping Regeln durchlaufen
- Mapping-Regeln beeinflussten
  - manuelle Handlung (Drücken/Drehen)
  - Cursorbewegung (am Monitor)

## 1. Mapping-Regel:

Cursorbewegung nach links

→ beim Reindrücken („Druckkräfte“)

Cursorbewegung nach unten

→ Drehmomenten im Uhrzeigersinn

## 2. Mapping-Regel:

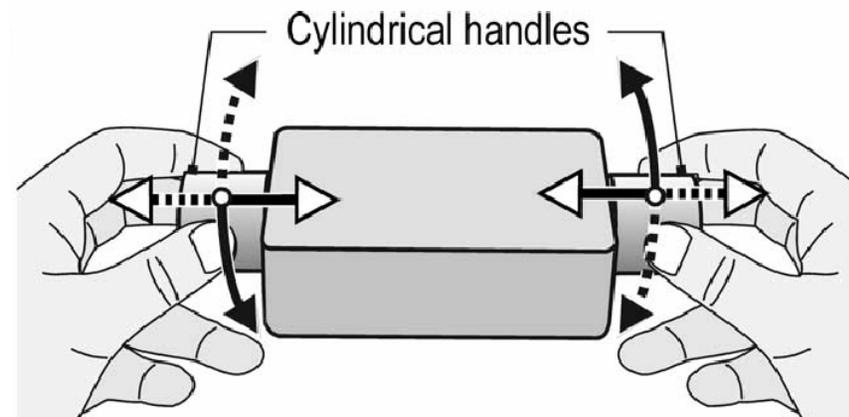
→ umgekehrt

Cursorbewegung nach rechts

→ beim Reindrücken

Cursorbewegung nach oben

→ Drehmoment im Uhrzeigersinn



# Aufgabe

- 5 Probanden starteten mit der ersten Mapping-Regel, die anderen mit der zweiten
- sie wussten aber nicht, welche Mapping-Regel gerade gültig war
- sie sollten die Ziele so schnell wie möglich treffen
- Pause von 5 Minuten zwischen den Durchgängen

# Aufgabe

- Verstärkung der Motivation durch Belohnung:
  - 0,02 € für jeden Treffer
  - zusätzlich 0,2 €, wenn sie es schafften, in einer 100s Periode ihren in der vorherigen 100s Periode selbst aufgestellten Trefferrekord zu brechen
  - alle 100s gab es eine 30s Pause
  - in diesen Pausen wurden ihnen ihre Ergebnisse präsentiert:
    - gelandete Treffer in der vergangen 100s Periode
    - maximale Trefferzahl über alle Perioden hinweg
    - bisher eingenommener Geldbetrag

# Datenanalyse

- Ermittlung der direkten Trefferquote für jeden Zielwechsel
- Berechnung des Wegindex  
→ Verhältnis zwischen der Distanz, die der Cursor zwischen den Treffern zurückgelegt hat und der tatsächlichen Distanz zwischen den Zielen
- Bewertung der Anzahl der Sakkaden und der Anzahl der Cursorunterbewegungen, die während des Zielwechsels aufgetreten sind

# Datenanalyse

- Feststellung, ob Blickfixation den Cursor geführt oder verzögert hat
- 2 Ansätze:
  1. für jede Blickfixation, schaute man nach dem Zeitpunkt, wann die Distanz zwischen Blick und Cursorpositionen minimal war
  2. Berechnung des Wechsels der Distanz zwischen Cursorposition und Blickpunkt, der während jeder Sakkade auftraf

# Datenanalyse

- es wurde beobachtet, dass die Performance im Bereich Trefferrate nicht durch die Mapping-Regel oder ihre Auftretensreihenfolge beeinflusst wurde
- Gesamtanstieg der Trefferrate während der Durchgänge ist Indiz dafür, dass alle Probanden die neue visomotorische Aufgabe stufenweise gelernt haben
- trotz unterschiedlichem Zeitverlauf des Lernens pro Proband, zeigt die Datenanalyse aller 20 Durchgänge, dass Lernen typischerweise in 3 Stufen stattgefunden hat

# Stufen des Lernens

- I. Explorationsphase:
  - in dieser Phase zeigten Probanden häufige aber schwach kontrollierte Cursorbewegungen („Zittern“)
  - dabei verfolgten sakkadische Blickfixationen typischerweise den sich bewegenden Cursor
  - d.h. Probanden zeigten nicht einen auf das Zielobjekt gerichteten Blick, wie es in natürlichen und gut gelernten Aufgabensituationen der Fall ist
  - es fand keine nennenswerte Verbesserung der eigentlichen Aufgabenperformance
  - aber Probanden eigneten sich hier Basiswissen über die sensomotorische Mappings an
    - Übergangsmoment zur nächsten Phase

# Stufen des Lernens

- II. Fähigkeitsaneignungsphase:
  - während dieser Phase steigt die manuelle Performance rapide an
  - Probanden beginnen räumlich deckungsgleiche Auge und Hand Aktionen mit Blickfixationen zu programmieren und markieren so zukünftige Cursorziele
- III. Phase der Fähigkeitsverfeinerung
  - stufenweiser Anstieg der Performance
  - Blick wechselt nun konsequent zum aktuellen Ziel
  - Indiz für erfolgreiche Implementierung des neuen Mappings, das eine Verbindung zwischen motorischen Befehlen und sensorischen Ergebnissen herstellt

# Stufen des Lernens

- Insgesamt 20 Durchgänge, davon zeigten 13 alle 3 Phasen
- von den 7 restlichen Durchgängen zeigten 5 keine klare Explorationsphase und 2 keine deutliche Verfeinerungsphase
- Probanden zeigten unterschiedliche Durchlaufzeiten
- Erklärungsansätze:
  - Transfer aus früheren Experimenten mit bestimmten visomotorischen Aufgaben
  - unterschiedliche Lernkapazitäten der einzelnen Probanden

# Stufen des Lernens

- Fokussierung auf Durchgänge mit allen 3 Lernphasen
- Verwendung nur des ersten Durchgangs pro Proband
- 8 der Probanden zeigten mindestens einen Durchgang mit den 3 Lernphasen
- Zusammenfassend:
  - trotz der Unterschiede zwischen den Probanden und den Durchgängen tritt Lernen typischerweise in 3 aufeinanderfolgenden Phasen auf

# Ergebnisdiskussion

- Untersuchung von Mustern der AHK, die während des Erlernens von komplexen visomotorischen Aufgaben auftraten
- Ergebnis:
  - unterschiedliche Blickverhaltensmuster sind mit verschiedenen Lernphasen verbunden

# Ergebnisdiskussion:

## I. Erforschungsphase

- I. Erforschungsphase:
  - am Anfang jeder der beiden Experimentaldurchgänge wurden Probanden mit einer neuen Mapping-Regel konfrontiert
  - dadurch Herstellung einer neuen Beziehung zwischen den eigenen Handaktionen und den Cursorbewegungen am Monitor
- Probanden versuchten nun während der Explorationsphase die neue Mapping-Regel zu erlernen
  - aktive Erforschung der Freiheitsgrade der Aufgabe, um zwischen effektiven und ineffektiven Strategien zu unterscheiden

# Ergebnisdiskussion:

## I. Erforschungsphase

- Beobachtung:
- Probanden verfolgten während der Explorationsphase mit ihrem Blick die Cursorbewegungen
  - Blickunterstützung kann das Erlernen des Mappings zwischen manuellen Aktionen und Cursorbewegungen auf verschiedene Arten unterstützen
- 1. Proband kann so foveales Sehen benutzen, um die Bewegung des Cursors zu beobachten
  - foveale Sicht scheint besser geeignet zu sein, um Veränderungen in lokalen Bewegungsrichtungen festzustellen
  - dies kann der Grund sein, warum Probanden ihren Blickfixationspunkt an den Cursor annähern

# Ergebnisdiskussion:

## I. Erforschungsphase

2. Probanden versuchen vielleicht mit der Verfolgung des Cursors zu erreichen, dass der Blick so nah wie möglich am Cursor klebt

→ Zweck:

- nachfolgende Cursor- und Augenbewegungen haben dann gleichen Startpunkt auf dem Monitor
- Blick wird auf diesen wandernden Punkt fokussiert
  - Erleichterung des Erlernens von Mapping zwischen Auge- und Handbewegungen
  - dadurch effektivere Kontrolle des Cursors

# Ergebnisdiskussion:

## I. Erforschungsphase

3. → Blickwechsel bei der Verfolgung des Cursors erleichtern vermutlich das Erlernen von grundlegenden Beziehungen zwischen Auge-Motor- und kürzlich abgelaufenen Hand-Motor-Abläufen

→ Blickwechsel bei der Verfolgung der sich bewegenden Hand sind wichtig beim Erlernen von visomotorischen Transformationen

# Ergebnisdiskussion:

## I. Erforschungsphase

- Erwachsene fixieren selten ihre Hand oder gehaltene Objekte bei visuellen Aufgaben
- Neugeborene hingegen zeigen Anstrengungen ihre Hand beim Greifen anzuschauen
  - Schließen des visuell-manuellen Kreislaufs
  - Kind lernt die Beziehung zwischen Kommandos und Bewegungen und zwischen Sehen und Tiefenwahrnehmung herzustellen
  - es entdeckt so die Möglichkeiten und Einschränkungen manueller Bewegungen
  - Koaktivierung von neuronalen Prozessen, die Blick und Handbewegungen repräsentieren
  - Erstellung von Verbindungen und dadurch Befähigung des Gehirns Blick und Cursorbewegungen zu spezialisieren
  - das ist die Charakteristik von gut gelernten visomotorischen Aufgaben

# Ergebnisdiskussion:

## II. Fähigkeitsaneignungsphase

- Performance beginnt plötzlich rapide besser zu werden
- Blickverhalten ändert sich von primärer Verfolgung des Cursors zu Fixation zukünftiger Cursorziele
  - Kompromiss zwischen fovealer Beobachtung des Cursors und Fixierung eines zukünftigen Ziels wird gefunden
  - das Auge-Hand Verhalten in dieser Phase reflektiert womöglich den Versuch, das angeeignete Wissen über die sensorische Map anzuwenden, um längere Bewegungen zu erzeugen, ohne auf den Cursor zu achten

# Ergebnisse:

## II. Fähigkeitsaneignungsphase

- am Ende dieser Phase:
  - stabile Blickstrategie
  - Probanden brauchten nur ein/zwei Sakkaden um Blick auf Ziel zu lenken
  - obwohl Blick nun auf Ziel gerichtet, weiterhin dauerhafte Verbesserungen der manuellen Fähigkeiten, was zeigt, dass die periphere Sicht ausreichend Informationen bietet, um Handbewegungskontrolle in dieser späten Phase des Lernens zu präzisieren
  - Entwicklung von speziellen Mappings, die mithilfe peripherer Sicht live Korrekturen der Handflugbahn ermöglichen
    - dient der Elimination von fehlerhaften Handkoordinationsmustern
    - trägt so zum Lernen bei

# Ergebnisdiskussion:

## III.Phase der Fähigkeitsverfeinerung

- Performanceverbesserung setzt sich deutlich langsamer fort
- Zusatzexperiment:
- Probanden übten jeweils 20 Minuten an 5 aufeinanderfolgenden Tagen
  - Performanceverbesserung fand statt
  - aber die Rate der Verbesserung hatte sich mit Übung verringert

# Zusammenfassung

- Proband versucht während Erforschungsphase grundlegende Kartographierungsregeln zwischen manueller Handlung und Auge Bewegungskommandos zu erstellen
- Probanden bilden Beziehungen
  - zwischen Hand-Motor-Kommandos und ihren sichtbaren Effekten
  - und zwischen kürzlich abgelaufenen Hand-Motor-Kommandos und Auge-Motor-Kommandos
- erstellte Mapping-Regeln werden dann während der Fertigungsaneignung und der Verfeinerungsphase implementiert

# Zusammenfassung

- Blickverhalten in Bezug auf Handbewegungen verändert sich drastisch entlang der verschiedenen Lernstufen einer komplexen visomotorischen Aufgabe
- es konnte gezeigt werden, dass das Erlernen von neuen und komplexen manuellen Aufgaben ein anderes Handlungsschema bedarf, als das Ausführen der gemeisterten Aufgabe
- Augenbewegungsmuster, die die manuelle Handlung unterstützen, können sich in Abhängigkeit von der Lernphase beträchtlich ändern