

# **Kraftbasierte dreidimensionale Wegintegration bei Laufrobotern mithilfe von künstlichen neuronalen Netzen.**

*Stock, Alina; Schlögl, Barbara; Seidl, Tobias*

*Westfälisches Institut für Bionik, Westfälische Hochschule, 46395 Bocholt,*

*E-Mail: tobias.seidl@w-hs.de*

## **Summary**

Desert ants *Cataglyphis spec.* monitor inclination and distance covered through force-based sensing in their legs. To transfer this mechanism to legged robots, artificial neural networks are used to determine the inclination angle of an experimental ramp from the motor data of the legs of a commercial hexapod walking robot. It is possible to determine the inclination angle of the ramp based on the motor data of the robot legs read out during a run. The result is independent of the weight and orientation of the robot on the ramp and hence robust enough to serve as an independent odometer.

## **Zusammenfassung**

Wüstenameisen *Cataglyphis spec.* messen Steigung und Entfernung durch kraftbasierte Sensorik in ihren Beinen. Für eine Übertragung auf Laufroboter, werden künstliche neuronale Netze verwendet, um den Neigungswinkel einer experimentellen Rampe aus den Motordaten der Beine eines kommerziellen Hexapod-Laufroboters zu bestimmen. Es ist möglich, den Neigungswinkel des Bodens anhand der ausgelesenen Motordaten der Roboterbeine zu bestimmen. Das Ergebnis ist unabhängig von Gewicht und Ausrichtung des Roboters auf der Rampe und damit robust genug, um als eigenständiger Odometer zu dienen.

## **Einleitung**

Ameisen der Gattung *Cataglyphis* leben in trockenen Wüsten. Wegen des unvorhersagbaren verteilten Futterangebots können sie klassische Techniken wie Pheromonspuren nicht nutzen und orientieren sich bei Abwesenheit visueller Landmarken mithilfe von egozentrischer Vektornavigation [1]. Sie nutzen die integrierte Weginformation, um auf

direktem Weg zum Nest zurückzulaufen, ohne den vorher gelaufenen längeren Weg nehmen zu müssen [2].

Dazu integriert die Ameise den zurückgelegten Weg mittels eines weitläufig untersuchten Sonnenkompass [3, 4] und der Erfassung von Entfernung (Odometrie) und Steigung (Inklinometrie) mehrheitlich über Beinkräfte [5] und geringfügig über visuelle Reize [6]. In der Nähe der Gelenke befinden sich Kraftsensoren (kampaniforme Sensillen, Abb.1), welche die Belastung an jedem Bein messen. Mithilfe dieser Beinkräfte können effektive Schrittlängen und Steigungen wahrgenommen werden [3].

Es konnte gezeigt werden, dass die Kraftmuster an den Beingelenken hinreichende Informationen zu Odometrie und Inklinometrie liefern aber eine analytische Lösung in der Robotik sehr rechenaufwändig ist [7].

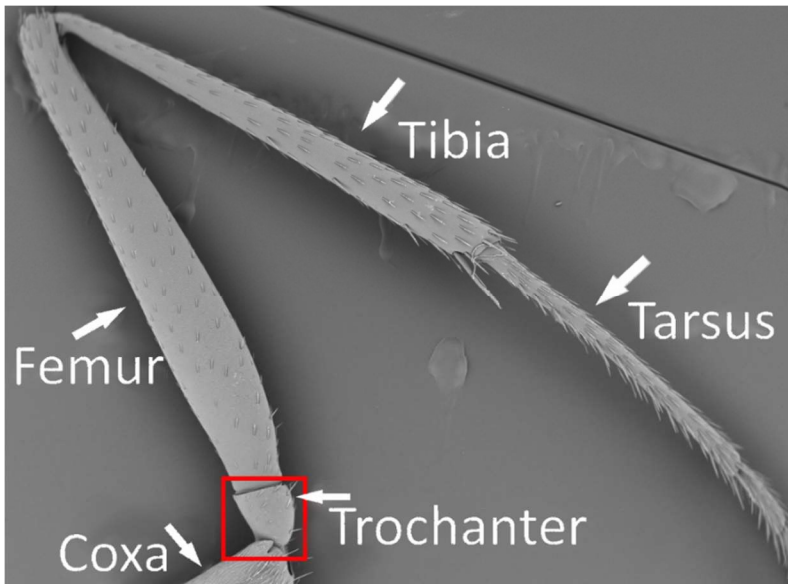


Abbildung 1: Ameisenbein bei 40-facher Vergrößerung unter dem Elektronenmikroskop. Die kampaniformen Sensillen befinden sich hauptsächlich in dem markierten Bereich [7].

Künstliche Neuronale Netze (KNN) jedoch können darauf trainiert werden, Muster in den Eingabedaten zu erkennen und sie einem bestimmten Ergebnis zuzuordnen [8]. Mechanismen der Odometrie der Wüstenameise werden auf einem hexapoden Laufroboter implementiert. Es werden die

internen Drehmomentsensoren der Motoren als idiothetische Hinweise zur Bestimmung der Untergrundneigung verwendet.

Für eine möglichst große Menge an Steigungsdaten, wird der Versuchsaufbau zusätzlich als Simulation realisiert und die Mechanismen zur Odometrie und Inklinometrie reproduziert.

## **Material und Methoden**

### *3.1 Kraftmessungen am Roboter*

Es wird ein hexapoder Roboter (PhantomX AX Metal Hexapod MK-III, Trossen Robotics, Abb. 2) mit dreigliedrigen Beinen und insgesamt 18 AX-18A Dynamixel Motoren verwendet. Die Motoren sind seriell verbunden und kreuzen sich auf dem ArbotiX-M-Robotercontroller und dem 6 Port AX/MX Power Hub, der über USB2Dynamixel mit dem verwendeten Laptop (Dell Latitude E5550 Laptop mit Ubuntu 16.04) verbunden ist. Als Energiequelle dient ein 11,1 V 5 300 mAh Lithium-Polymer Akku.

Im Versuch läuft der Hexapod auf einer in der Steigung verstellbaren Rampe (Länge 2,73 m, Breite 1,0 m) mit einer Gummimatte als Oberfläche. Die Messwerte der internen Lastsensoren aller 18 Motoren werden kontinuierlich in jedem Lauf aufgezeichnet und über die ROS-Schnittstelle exportiert.

### *3.2 Simulierte Beinkräfte*

In der Simulationsumgebung CoppeliaSim (Coppelia Robotics) wird das Modell des Roboters auf einer in SolidWorks modellierten Rampe mit vergleichbaren Versuchsbedingungen unterzogen und mit identischen Steuerbefehlen beaufschlagt.

Es werden drei verschiedene Simulationskonfigurationen durchgeführt, um „realen“ Daten näher zu kommen: (1) es werden zufällig zwischen 0 g und 400 g zum Gesamtkörpergewicht des Roboters addiert; (2) es wird zufällig die anfängliche Ausrichtung des Roboters auf der Rampe zwischen  $\pm 35^\circ$  zur Steigungslinie variiert; und (3) eine Kombination aus (1) und (2).

### *3.3 Flache vorwärtsgerichtete künstliche neuronale Netze*

Die KNN werden mit der Neural Net Fitting App der Deep Learning Toolbox in MATLAB R2021a implementiert. Es wird die Last bzw. das Drehmoment der Motoren eingegeben und die vorhergesagte Rampensteigung ausgegeben.

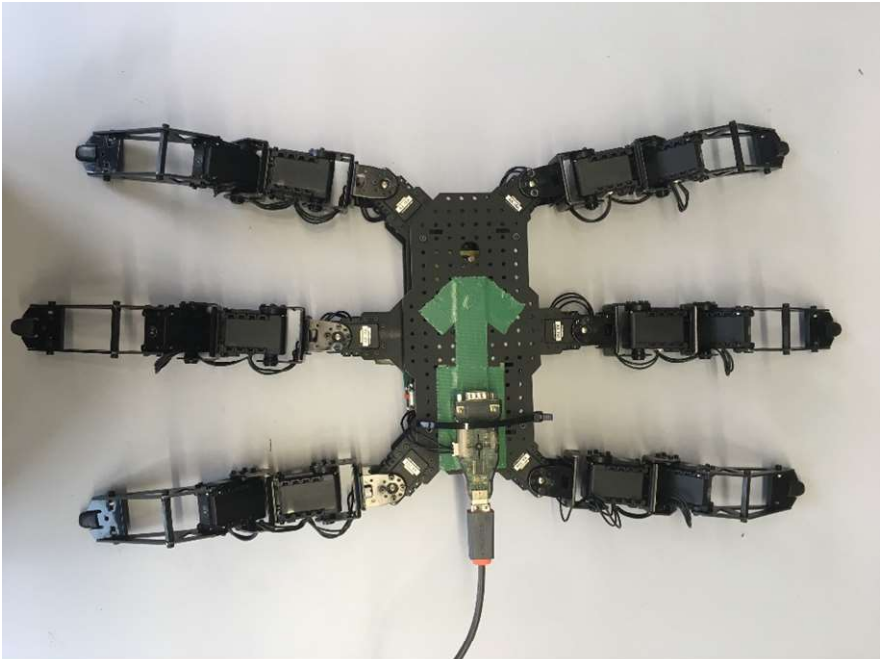


Abbildung 2: Der hexapode Laufroboter. Der Roboter ist 5382 x 4960 x 1700 mm groß.

Die Größe der verborgenen Schicht wird von 1 bis 150 Neuronen variiert. Die Konfiguration mit dem niedrigsten Root Mean Square Error (RMSE) wird anschließend voll austrainiert. Diese KNN werden bei den simulierten und realen Datensätzen anhand ihrer Performance und linearen Regression bewertet.

## **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Am Roboter werden Beinkräfte bei 15 verschiedenen Steigungen (vgl. Abb. 4) mit je  $n=10$  Wiederholungen und dabei je 10 Einzelschritten mit jeweils 20 Datenpunkten registriert und damit etwa 540 000 Datenpunkte erzeugt. Es werden die gleichen 15 Steigungen simuliert. Jede der drei Konfigurationen beinhaltet je Steigung 1.000 Wiederholungen mit 40 Zeitschritten von jeweils 0,25 s Dauer. Für alle 18 Motoren werden somit jeweils 600 000 Datenpunkte je Simulationskonfiguration für das Training und Testen der KNN verwendet.

Allein die Motordaten im Roboterbein erlauben die verschiedenen Steigungen zu unterscheiden (Abb. 3), da das 95%ige Konfidenzintervall der verschiedenen Motorpositionen innerhalb einer Gelenkposition selten überlappt.

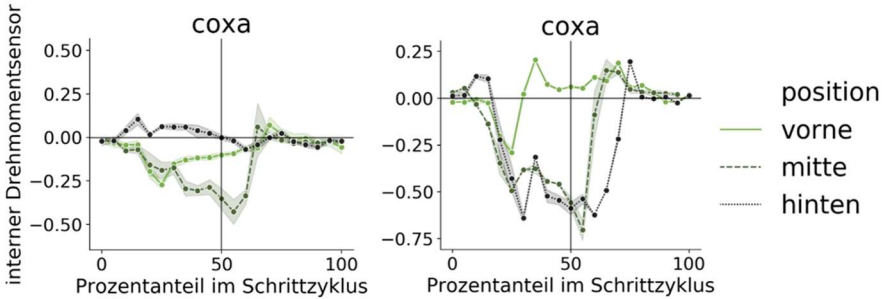


Abbildung 3: Interner Drehmomentsensor des oberen Beingelenks (coxa) bei  $0^\circ$  (links) und  $20^\circ$  (rechts) Neigung der Rampe.

Die trainierten KNN sind in der Lage, den Neigungswinkel des Untergrunds anhand der idiothetischen Hinweise des Hexapods zu unterscheiden (Abb. 4). Dies ist möglich, da der RMSE kleiner ist als die Differenz der getesteten Neigungen.

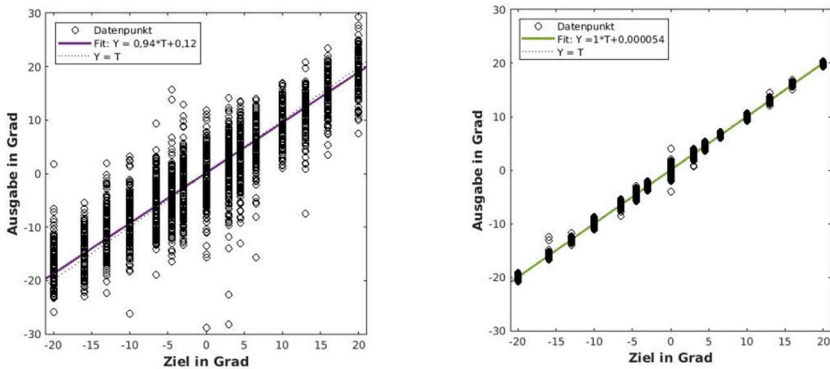


Abbildung 4: Reaktion der vollständig trainierten KNN auf die reale (links) und simulierte (rechts) Steigung. Die durchgehende Linie stellt die lineare Regressionsanpassung (Fit) dar, die gestrichelte die Gleichheitslinie ( $T$ : Ziel,  $Y$ : Ausgabe).

## Fazit

Ein flaches neuronales Netz mit Vorwärtskopplung und lediglich einer verborgenen Schicht reicht aus, um Neigungen des Untergrundes zu unterscheiden. Die KNN sind robust gegenüber Einflüssen wie Belastung, abgewandelte Laufwege oder Rauschen. Die KNN mit den simulierten Datensätzen erkennen die Neigungswinkel der Rampe besser als die KNN mit den realen Datensätzen.

Laufroboter werden zunehmend leistungsfähig und erschwinglich. Sie werden häufig in unbekanntem Gebieten eingesetzt und müssen sich selbstständig orientieren. Der vorliegende Ansatz erlaubt eine robuste Navigation ohne die Notwendigkeit zusätzlicher Hardware allein mit den vorliegenden internen Signalen des Roboters.

## Literatur

- [1] B. Ronacher und R. Wehner. Desert ants *Cataglyphis fortis* use self-induced optic flow to measure distances travelled. *J Comp Physiol A* 177 (1995), S. 21-27.
- [2] M. Müller und R. Wehner. Path integration in desert ants, *Cataglyphis fortis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 85.14 (1988), S. 5287-5290.
- [3] B. Schlögl u. a. Odometrie bei Laufrobotern nach Vorbild der Entfernung- und Steigungsmessung von Wüstenameisen *Cataglyphis spec.* IFToMM D-A-CH Konferenz (2018).
- [4] T. Seidl. Insect navigation and path finding. *Acta Futura* 3 (2009), S. 125-130.
- [5] T. Seidl und R. Wehner. Walking on inclines: how do desert ants monitor slope and step length. *Front Zool* 5.8 (2008).
- [6] M. Wittlinger und H. Wolf. Homing distance in desert ants, *Cataglyphis fortis*, remains unaffected by disturbance of walking behaviour and visual input. *Journal of Physiology-Paris* 107.1-2 (2013), S. 130-136.
- [7] B. Schlögl. Force based inclinometry for navigation in legged robots inspired by the desert ant *Cataglyphis spec.* Diss. Universität Duisburg-Essen, Mai 2021.
- [8] MathWorks. Was ist ein neuronales Netz? 2021. <https://de.mathworks.com/discovery/neural-network.html> [12.06.2023].



*Alina Stock*

*Westfälisches Institut für Bionik, Westfälische Hochschule*

*Alina-Stock@w-hs.de*

**2016**

Bachelor Bionik, Westfälische Hochschule Bocholt

**2019**

Master Maschinenbau Robotik, Westfälische Hochschule Bocholt

**2020 - 2023**

Wissenschaftliche Mitarbeiterin beim  
Westfälischen Institut für Bionik an der  
Westfälischen Hochschule, Campus Bocholt