

Row-Bot: Roboter essen Dreck auf

Simon Hüning

Universität Leipzig - Fakultät für Mathematik und Informatik
Augustusplatz 10, 04109 Leipzig - Deutschland

Zusammenfassung. Rossiter et al. zeigen mit ihrem Row-Bot ein autonomes System mit der Fähigkeit, selbst Energie zu produzieren. Inspiriert von der Nahrungssuche und Fortbewegung der Ruderwanze wurde der Row-Bot für eine aquatische Umgebung entwickelt. Für die Energiegenerierung entnimmt eine mikrobielle Brennstoffzelle Biomasse aus ihrer Umgebung und treibt damit die Fortbewegung an, welche wiederum dafür sorgt, dass die Brennstoffzelle neue Biomasse aufnehmen kann. Dabei wird mehr Energie produziert als für die Nahrungsaufnahme benötigt wird. Die Arbeit könnte neue Wege für weitere Roboterentwicklungen mit eigenständiger Energieversorgung öffnen.

1 Einführung

Die Robotik steht vielen Herausforderungen gegenüber. Die Zeitdauer eines robotischen Systems autonom zu agieren zu verlängern, ist eine davon. Die meisten Roboter sind auf menschliche Hilfe angewiesen, um weiterhin funktionieren zu können. Es muss etwa die Batterie gewechselt oder der Treibstoff muss nachgefüllt werden, wenn dieser verbraucht ist. Dies ist in lebensbedrohlichen Umgebungen besonders schwierig.

Bisherige Entwicklungen zeigen vielversprechende Ergebnisse, wie die Symbiotic Machine und der Eco-Bot. Diese Roboter nutzen eine Betankungstechnik analog zur Futtersuche biologischer Organismen. Die schwimmende Symbiotic Machine entnimmt Algen aus ihrer flüssigen Umgebung und erzeugt daraus Elektrolyte für die Redoxreaktion¹ in einer galvanischen Zelle. Aufgrund der Reaktion nimmt die Qualität der Zelle mit der Zeit ab. Der Eco-Bot nutzt im Gegensatz eine mikrobielle Brennstoffzelle (MBZ). Der Eco-Bot besitzt mehrere gestapelte mikrobielle Brennstoffzellen, um Energie für Navigation und Bewegung zu gewinnen. Jedoch ist der Eco-Bot nur innerhalb der Reichweite der Futterstation operabel. Die gestapelten Brennstoffzellen erhöhen Größe und Komplexität des Roboters sowie Schwierigkeiten, die durch diese Technik verbunden sind.[2, S. 3888] Die MBZ beherbergt Mikroorganismen, die durch ihren Stoffwechsel Biomasse verarbeiten können. Die dadurch entstehende Redoxreaktion ermöglicht eine Energiegewinnung, die für spätere Aktionen gespeichert werden kann.[3] In vorangehenden Forschungen wurden Proben natürlicher Gewässertypen (Meer-, Süß-, Abwasser) als Quelle für Biomasse (Algen, Petrochemikalien) genutzt. Die möglichen Einsatzumgebung für auf Futtersuche befindliche Roboter ist daher vielseitig. Ebenso hat sich gezeigt, dass mikrobielle Brennstoffzellen auch in abgelegenen Umgebungen für eine längere Zeitdauer funktionsfähig bleiben. Die

¹„Eine Redoxreaktion (eigentlich: Reduktions-Oxidations-Reaktion) ist eine chemische Reaktion, bei der ein Reaktionspartner Elektronen auf einen anderen überträgt.“ [1]

Ruderwanze (Abb. 1) bietet ein biologisches Vorbild für ein MBZ-betriebenes System mit autonomer Energieversorgung, den Row-Bot.[2, S. 3888]



Abbildung 1: Ruderwanze Quelle: <http://greensteps-assets.rec.org/organisms/insects/734-illustration-small.png>

2 Row-Bot

An den Row-Bot sind zwei Anforderungen gebunden.

1. Er muss selbstständig Energie gewinnen und speichern können.
2. Er muss sich bewegen und selbstständig neuen Treibstoff aufnehmen können.
Der Vorgang darf nicht mehr Energie verbrauchen als vorher gewonnen wurde.

Die erste Anforderung erfüllt die mikrobielle Brennstoffzelle. Die Höhe der generierten Energie ist davon abhängig, wie viel Biomaterial in der Arbeitsumgebung vorhanden ist. Die zweite Anforderung erfüllt ein Mechanismus, der dafür sorgt, dass durch die Bewegung neue Biomasse in die MBZ eingeführt wird. Um die Komplexität und Größe des *Row-Bots* möglich gering zu halten, wird nur eine MBZ verwendet.[2, S. 3889]

2.1 Aufbau

Das Design des Row-Bots wurde von der Ruderwanze abgeleitet. Die Ruderwanze findet sich hauptsächlich in kleinen Binnengewässern wie Teiche oder kleinere Seen mit einer hohen Dichte an Wasservegetation wie Algen. Algen gehören unter anderem zu der Nahrungsquelle der Ruderwanze. Sie zeigt auch eine effektive Fortbewegungsmethode, indem sie ihre mit Schwimmhaaren versehenen Hinterbeine als Ruder nutzt. Die Schwimmhaare sind so an den Beinen angebracht, dass sie während eines Schwimmzuges den Antrieb maximieren. Während sich die Beine nach einem Schwimmzug wieder in die Ausgangsposition bewegen, ziehen sich die Schwimmhaare zusammen, um einen Gegenantrieb zu minimieren.[2, S. 3891] Um an der Wasseroberfläche zu treiben, schließt sie Luft in eine Kammer innerhalb ihres Halsschildes ein. Das ermöglicht ihr auch die Atmung unter Wasser.[4]

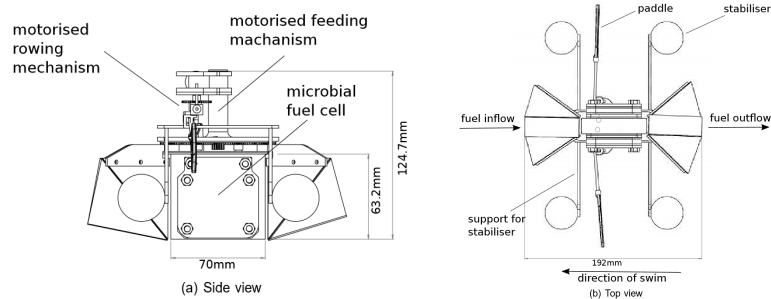


Abbildung 2: CAD-Modell des Row-Bots mit geöffneten Durchlässen[2]

Die seitliche Ruderbewegung der Ruderwanze wurde ausgewählt, da diese im Vergleich zu anderen Käferarten mit Flachwasserhabitaten am besten mit der Form der MBZ verbinden lässt. Die MBZ ist zentral im Row-Bot platziert und übernimmt die Funktion des Verdauungstraktes. Seitlich an der MBZ sind jeweils mit einem Motor verbundenen Paddel angebracht, die für die Vorwärtsbewegung sorgen. Damit neue Nahrung die MBZ passieren kann, sind vorne und hinten schließbare Öffnungen angebracht, welche auch jeweils durch einen Motor bewegt werden (Abb. 2). Ähnlich wie bei der Ruderwanze benutzt der Row-Bot auch Luftkammern, um an der Wasseroberfläche treiben zu können (Abb. 3). Die Luftkammern geben auch Sauerstoff an die Kathode ab für die Redoxreaktion. Zur Stabilisierung der Konstruktion sind seitlich jeweils zwei Styroporkugeln angebracht.[2, S. 3889 f.]

2.2 Energiegewinnung

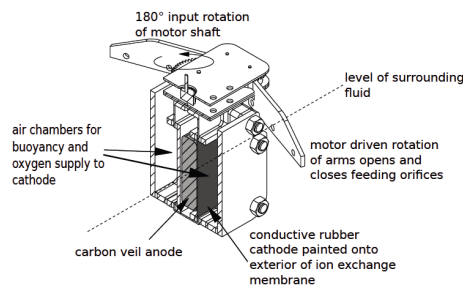


Abbildung 3: CAD-Modell der MBZ

In eine mikrobielle Brennstoffzelle wurde mit Nährbrühe angereichertes Abwasser injiziert. Die Flüssigkeit in der Anodenkammer wurde täglich nach und nach mit einer Acetat-Stammlösung ausgetauscht. Nach fünf Tagen wurde der gesamte Inhalt der Anodenkammer erneut durch eine Acetat-Lösung mit einem

anderen Pepton-Hefe-Beigemisch ausgetauscht.[2, S. 3890]

Nach dem Vorgang setzte man die MBZ in das Row-Bot-Gehäuse mit den motorisierten Öffnungen ein. Das Gehäuse wurde in ein kleines Wasserbecken gesetzt und an einer Angelschnur befestigt. Die Angelschnur war an einem motorisierten Zugmechanismus gekoppelt, welches das Gehäuse durch das Becken ziehen konnte. Das Becken wurde mit de-ionisiertem Wasser und einer geringen Menge Acetatlösung befüllt.[2, S. 3890]

In dem Becken öffnete man über manuelle Schalter die Futterdurchlässe über eine Dauer von 17 Sekunden. Nach drei Minuten zog man das Gehäuse entlang der Angelschnur 20cm mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 2,5cm/s durch das Becken. Dann wartete man eine Minute, bevor die Durchlässe wieder geschlossen wurden. Dies dauerte erneut 17 Sekunden.[2, S. 3890]

Da Energieoutput der MBZ gering ist (ungefähr 160mV), wird dieser durch ein Spannungswandlermodul (EH4295 Micropower Step Up Low Voltage Booster Module) auf 5,5V verstärkt. Durch die Effizienz des Spannungswandlers würde die MBZ über zehn Nahrungsaufnahmen hinweg 5J generieren. Die gewonnene Energie wurde in einem Kondensator gespeichert. Durch die Formel $E = CV^2/2$ lässt sich eine Kapazität von 330mF berechnen. Folgende Messungen haben gezeigt, dass der Spannungswandler eine Wandlungseffizienz von 30% besitzt. So war der 330mF Kondensator mit 4,1V geladen. Unter Rücksicht der Wandlungseffizienz wurde eine neue Kapazität von 180mF berechnet, damit eine gewünschte Spannung von 5,5V erreicht wird.[2, S. 3890]

2.3 Nahrungsaufnahme und Schwimmen

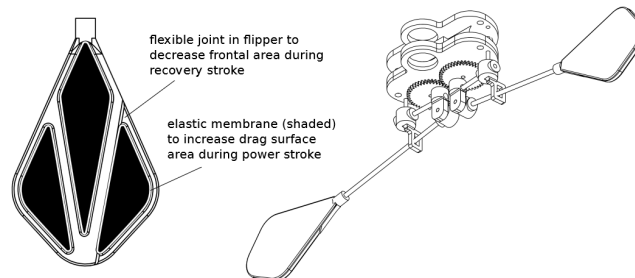


Abbildung 4: CAD-Modell des Ruders[2]

Um die Schwimmhaare der Ruderwanne (s. Kap.2.1) zu imitieren, sind die Ruder teilweise mit einer flexiblen Membran versehen. Diese vergrößert während eines Schwimmzuges ihre Oberfläche und sorgt so für einen größeren Vorderrantrieb. Bei einem Schwimmzug befinden sich die Ruder unterhalb der Wasseroberfläche. Wenn die Ruder sich wieder in die Ausgangsposition zurückbewegen, werden die Paddel zu einem Großteil über Wasser gehoben, um einen Gegenantrieb zu minimieren. Die Fläche der Paddel, die sich noch unter Wasser befindet,

ist mit einem Gelenk versehen. Das Gelenk klappt bei einem Rückführungszug ein und minimiert die Widerstand des Paddels. Das verkleinert ebenfalls einen Gegenantrieb.[2, S. 3890 f.]

Die Nahrungsaufnahmebewegungen (sequentiell: Durchlässe öffnen, Rudern, Durchlässe schließen) wurden ohne MBZ in einem Wasserbecken getestet. Die Gleichstrommotoren wurden nacheinander mit einem $330mF$ Kondensator mit einer Ladung von $4,1V$ und einem $180mF$ Kondensator mit einer Ladung von $5,5V$ betrieben (s. Kap. 2.2) und über manuelle Schalter angesteuert.[2, S. 3891]

3 Ergebnisse

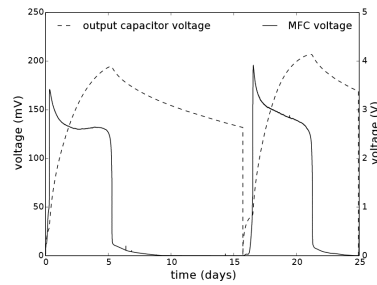
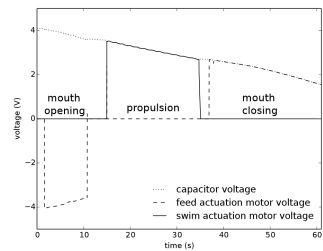


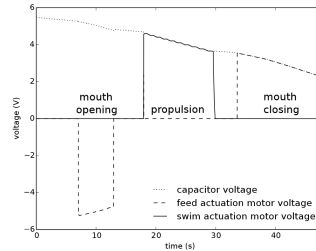
Abbildung 5: Ladungsverlauf des $330mF$ Kondensators[2]

Messungen der Ladung des $330mF$ Kondensators zeigten nach zwei aufeinanderfolgenden Fütterungen der MBZ eine Wandlungseffizienz von 30%. Der durchschnittliche Energieausstoß der MBZ betrug $8,82J$.

Die zwei Durchläufe über eine Ruderdistanz von $20cm$ mit dem $330mF$ und dem $180mF$ Kondensator wiesen folgende Messwerte auf:



(a) Actuation of the Row-bot powered by a $0.33F$ capacitor charged to $4.1V$



(b) Actuation of the Row-bot powered by a $0.18F$ capacitor charged to $5.5V$

Abbildung 6: Messdaten Nahrungsaufnahmebewegungen[2]

Die Messwerte zeigen, dass nach dem Durchlauf der Bewegungen in beiden Fällen noch eine Restladung in den jeweiligen Kondensatoren verbleibt. Dabei stellt sich der $180mF$ Kondensator mit $900mJ$ Restenergie als am besten ge-

Kapazität	Ladung	Öffnen	Rudern	Schließen	Restenergie
330mF	4,1V	600mJ	810mJ	710mJ	580mJ
180mF	5,5V	410mJ	700mJ	690mJ	900mJ

Tabelle 1: Energiewerte Nahrungsaufnahmebewegungen[2, S. 3892]

eignet heraus. Jedoch lag die Schwimmleistung in beiden Fällen weit hinter der Ruderwanze zurück.[2, S. 3891 f.]

4 Fazit und Ausblick

Rossiter et al. zeigten mit ihrem Row-Bot Proof-of-Concept eine potentielle Möglichkeit für eine autonome Energieversorgung nach dem Vorbild der Nahrungssuche der Ruderwanze. Der Row-Bot könnte in Schwärmen zukünftig für Einsätze als Umweltsensor oder Säuberung von Umweltverschmutzung konfiguriert werden.[5] Jedoch ist der Energieausstoß der MBZ mit synthetischen Futter höher ist, als mit rohem umweltschädlichem Nahrungsmaterial.[2, S. 3892] Spätere Entwicklungen des Row-Bots sollen ebenfalls die Antriebs-effizienz steigern, indem der Körperaufbau der Ruderwanze weiter imitiert wird. Dazu gehört z.B. eine hydrophobe Haut.[2, S. 3893]

Im derzeitigen Stand der Entwicklung besteht der Row-Bot hauptsächlich aus Kunststoff. Würde es so zu einem Einsatz in abgelegenen Umgebungen kommen und dem Row-Bot ein Unfall widerfahren, wäre der Row-Bot selbst eine Quelle für Umweltverschmutzung. In einer späteren Präsentation stellte Rossiter den Plan vor, zukünftig biologisch abbaubare Materialien zu benutzen.[5][6]

Die in Kap. sec:rowbot erwähnten Anforderungen wurden von Rossiter et al. Entwicklungen erfüllt und die verbleibende Restenergie kann für weitere Aktionen verwendet werden. Somit bietet der Row-Bot eine Grundlage für weiterführende Forschungen.

Literatur

- [1] Wikipedia. Redoxreaktion. <https://de.wikipedia.org/wiki/Redoxreaktion>, Juni 2017. Zuletzt besucht: 30.06.2017.
- [2] Hemma Philamore, Jonathan Rossiter, Andrew Stinchcombe, and Ioannis Ieropoulos. Row-bot: An energetically autonomous artificial water boatman. In *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2015, Hamburg, Germany, September 28 - October 2, 2015*, pages 3888–3893. IEEE, 2015.
- [3] Wikipedia. Mikrobielle Brennstoffzelle. https://de.wikipedia.org/wiki/Mikrobielle_Brennstoffzelle, November 2016. Zuletzt besucht: 30.06.2017.
- [4] Wikipedia. Ruderwanze. <https://de.wikipedia.org/wiki/Ruderwanzen>, Dezember 2016. Zuletzt besucht: 02.07.2017.
- [5] Jonathan Rossiter. A robot that eats pollution. https://www.ted.com/talks/jonathan_rossiter_a_robot_that_eats_pollution, März 2016. Zuletzt besucht: 03.07.2017.
- [6] Jonathan Rossiter, Jonathan Winfield, and Ioannis Ieropoulos. *Here today, gone tomorrow: biodegradable soft robots*. Proceedings of SPIE. SPIE, Bellingham, 4 2016.