



FORSCHUNGSPROJEKT

„Maschinelles Lernen für Molekularkommunikation“

JAN-LUCAS DEINHARD

Elitestudiengang Advanced Signal Processing and Communications Engineering

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Dezember 2018

Maschinelles Lernen für Molekularkommunikation

Jan-Lucas Deinhard studiert im Elitestudiengang „Advanced Signal Processing and Communications Engineering“ (ASC) an der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen-Nürnberg. Das Masterprogramm legt den Fokus auf führende Forschungsthemen der Kommunikationswissenschaft. Das hier beschriebene Projekt untersucht die Möglichkeiten, moderne Verfahren aus dem maschinellen Lernen auf Probleme im Bereich der Molekularkommunikation anzuwenden.

Kommunizierende Nano-Maschinen

Nano-Maschinen werden allen Vorhersagen zufolge Einfluss auf verschiedenste Forschungsfelder und Wissenschaftsdisziplinen nehmen. Am meisten wird dies in der Medizin zu spüren sein. Zum ersten Mal werden heutzutage ernstzunehmende Bemühungen unternommen, solche Maschinen auf molekularer Ebene auch tatsächlich zu realisieren. Mit Fortschritten in diese Richtung drängt sich die Frage der Kommunikation auf: Auf welche Weise können Molekularmaschinen untereinander Information austauschen? Dieses Problem kann nicht durch bereits bekannte Methoden der Kommunikationswissenschaft gelöst werden, vor allem weil Kanäle in der Molekularkommunikation – der Bereich welchen ein Signal auf dem Weg vom Sender zum Empfänger durchläuft – nicht analytisch modelliert werden können. Einfache Modelle existieren zwar und können gewisse, unter kontrollierten Laborbedingungen erzeugte Kanäle beschreiben; in der Praxis zeigt sich aber, dass in Molekularkanälen zu viele zufällige und nicht lineare Signalverzerrungen auftreten, welche spezifisch für den untersuchten Kanal unter den gegebenen Umständen sind und nicht in ein generelles Modell verallgemeinert werden können. Genau solcher Modelle bedarf es aber in der Kommunikationswissenschaft wie wir sie bisher kennen.

In diesem Projekt sollen also moderne Methoden aus dem maschinellen Lernen (CNNs, LSTMs und GANs) verwendet werden, um aus Kanalmessungen trotzdem ein Modell extrahieren zu können, auch ohne den Molekularkanal dabei auf physikalischer Ebene zu beschreiben.

Kanaldekodierung durch Neuronale Netze

Eine binäre Nachricht, bestehend aus Nullen und Einsen, kann auf einem Molekularkanal durch Trägerpartikel signalisiert werden. Diese Partikel werden an der Ursprungsquelle der Nachricht entweder in die Umgebung abgegeben um eine Eins zu repräsentieren, oder eben nicht für den Wert Null. Verbreiten sich die informationstragenden Teilchen nun durch die Umgebung und in Richtung Empfänger der Nachricht, so unterliegen sie nicht-linearen und von hohem Rauschen geprägten Verzerrungen. Diese Verzerrungen können unter anderem folgende Ursachen haben: Trägerpartikel können oft bereits im Kanal vorhanden sein ohne in direktem Zusammenhang mit der gegenwärtigen Kommunikation zwischen Sender und Empfänger zu stehen; häufig treten auf der molekularen Ebene nicht vorhersagbare chemische Reaktionen zwischen verschiedenen Partikeln auf; zusätzlich können Teile des Kanals oder der ganze Kanal einem von außen erzeugten Fluß unterliegen, welcher das Kanalverhalten verzerrt. Der Empfänger muss diese verzerrenden Effekte invertieren, um die ursprünglich gesendete Nachricht erfolgreich zu rekonstruieren. Neuronale Netze sind nun dafür bekannt, dass sie die Möglichkeit bieten, beliebig nicht-lineare Verzerrungsfunktionen nachzubilden zu können. Dies ist sogar bei hohem Rauschen möglich, die einzige Voraussetzung ist ein ausreichendes Set an Trainingsdaten. Durch diese Art lässt sich der Molekularkanal auf datengetriebene Weise modellieren. Das neuronale Netz lernt es, verzerrte Signale zu entzerren und kann schließlich als Decoder auf Empfängerseite verwendet werden. Die Umsetzung dieses Konzeptes

erfolgte im Projekt einerseits durch ein CNN (Convolutional Neural Network), und andererseits zu Vergleichszwecken mittels der LSTM-Architektur (Long Short-Term Memory). Ein LSTM kann im Gegensatz zum CNN noch zusätzlich die Zeitkomponente des Kanalverhaltens nachbilden.

Kanalmodellierung durch generatives Lernen

Neben der Kanaldekodierung war auch noch ein zweites Thema von Interesse für das Projekt, nämlich die Simulation von Molekularkanälen: Design von Algorithmen und Systemen, theoretische Überlegungen und viele andere Probleme erfordern nach wie vor robuste und allgemeine Modelle zur skalierbaren Simulation des Kanalverhaltens unter realistischen Bedingungen. Die GAN-Konfiguration (Generative-Adversarial Network) kann verwendet werden, um einen Konkurrenzkampf zwischen zwei neuronalen Netzen zu erzwingen. Eines von beiden Netzen wird dabei belohnt, wenn es immer besser wird in dem Versuch, das Verhalten des Molekularkanals nachzubilden. Der Kanal wird dabei ausschließlich durch gemessene Beispiele des Kanalverhaltens beschrieben. Solche Beispiele, die Trainingsdaten, müssen dabei selbstverständlich wieder in ausreichend großer Zahl vorhanden sein. So entsteht schließlich ein neuronales Netz, welches den Kanal überzeugend simulieren kann, ohne dabei jemals ein analytisches Modell zu erfordern. Die einzige Einschränkung bestand hier in einem Mangel an echten Daten und Messungen des Kanalverhaltens. Darum wurden die Trainingsdaten aus einem Simulator erzeugt, welcher auf einem der bekannten Kanalmodelle basierte. Ein Übertragen des Konzeptes auf einen echten Kanal sollte ohne weitere Probleme möglich sein.

Ein Multidisziplinäres Thema

Das Thema „Maschinelles Lernen für Molekularkommunikation“ ist offensichtlich multidisziplinär angesiedelt und beschäftigt sich mit dem Überschneidungsbereich zweier führenden Forschungsthemen. Damit fügte sich das Projekt auch ideal in den ASC-Studienplan ein. Forschungsprojekte sollen hier den Studenten nämlich explizit das selbständige Arbeiten an interdisziplinären Forschungsthemen in einer modernen akademischen Umgebung vermitteln. Die Arbeit am Projekt war höchst interessant, wurde gut betreut und war vor Allem lehrreich sowohl auf theoretischer sowie auf praktischer Ebene.