

KI-basierte Echtzeit-Bieterstrategie für Speichersysteme im Schweizer Regelenenergiemarkt

Studiengang : MAS Data Science

In dieser Masterarbeit wurde mit künstlicher Intelligenz eine Echtzeit-Bieterstrategie für den tertiären Regelenenergiemarkt (TRE) entwickelt. Themensponsor war die Axpo Solutions AG, welche sich mit ihren Pumpspeicherwerken profitabel an diesen Auktionen der Swissgrid beteiligt.

Swissgrid benötigt Regelenenergie als Reserve, um jederzeit das Übertragungsnetz stabilisieren zu können. Wenn durch Ausfälle von Kraftwerken oder durch hohen Konsum zu wenig Strom eingespeist wird, aktiviert die Swissgrid sogenannte positive Regelenenergie. Das Bereithalten dieser Regelenenergie wird in Auktionen im Internet ausgeschrieben. Die Axpo und viele weitere Kraftwerksbetreibende beteiligen sich mit ihren eigenen elaborierten Strategien an diesen Auktionen. Inhalt dieser Arbeit war die Umsetzung dieser Strategie mit Algorithmen aus dem Bereich von Reinforcement Learning (RL).

Für diese Arbeit hatte ich Auktionsdaten der Swissgrid ab dem Jahr 2020 bis heute zur Verfügung, welche für jede volle Stunde vorliegen. Anhand dieser Daten trainierte ich mit einem Deep Reinforcement Learning (DRL)-Algorithmus ein Modell, welches eine Bieterstrategie erlernte, um in Echtzeit an den Auktionen der Swissgrid profitabel mitzubieten. Der erzielte Profit auf Echtzeiten wurde mit einer deterministischen Strategie als Benchmark verglichen. Dazu implementierte ich diverse Agenten, welche die Preise ihrer Gebote mit einem dedizierten Verhältnis an den Strompreis koppelten und berechnete für mein Modell sowie für diese deterministischen Agenten Kennzahlen wie kumulierter Profit oder Profit pro MWh. Ziel war es zu evaluieren, ob und wie gut sich der DRL-Algorithmus an eine sich stark verändernde Umgebung anpasste im Vergleich zum Benchmark.

Ich implementierte einen Prototyp mit einem Double Deep Q-Learning (DDQN)-Algorithmus, der für jede Stunde ein Gebot mit einem optimierten Preis absetzte und verglich die Resultate mit dem Benchmark. Es stellte sich heraus, dass der kumulierte Profit problemlos darüber lag. In einem zweiten Schritt implementierte ich die Bieterstrategie mit einem «Branching Dueling Q-Network» (BDQ)-Algorithmus, der Volumen und Preis mehrerer Gebote

pro Stunde berechnete, wie es in der Realität von den Energietrader gemacht wird. Dabei musste das Merit Order-Prinzip, welches von Swissgrid bei der Aktivierung der Gebote verfolgt wird, simuliert und eingehalten werden. Es zeigte sich, dass mein Modell für das Jahr 2020 deutlich besser abschnitt als der Benchmark (+20%). Für das Jahr 2021, das ab Mitte August 2021 einem sehr hohen Anstieg des Strompreises und extremen Schwankungen ausgesetzt war, musste ich diverse Anpassungen vornehmen, um über dem Benchmark zu liegen. Dennoch konnte ich mit einer Anpassung des Action Spaces an die aktuellen Marktgegebenheiten, einer Umrechnung der strompreisabhängigen Variablen in «log returns» und weiteren Optimierungen erreichen, dass die Resultate des RL-Algorithmus 15% über dem Benchmark lagen.

Solange genügend relevante Daten zugänglich sind, wenig oder keine Bedingungen erfüllt werden müssen und es eine exakte Vorstellung gibt, welche Kennzahl maximiert werden soll, ist Reinforcement Learning einer herkömmlich dynamisch programmierten Strategie überlegen. Für das Gelingen der Bieterstrategie war jedoch eine genaue Analyse der Entwicklung der Strompreise unumgänglich. Der hohe Preisanstieg ab Mitte August 2021 musste erkannt und für das Trainieren des Modells berücksichtigt werden.

Relevante Änderungen, die den Strommarkt beeinflussen, wie die angespannte geopolitische Lage oder die schwindende Verfügbarkeit von Gas können nur indirekt mit einer Anpassung des State Space antizipiert werden, indem beispielsweise Prognosedaten über Produktion von Gas aufgenommen würden. Der TRE-Markt wird bald für ganz Europa homogenisiert, so dass der Schweizer TRE-Markt nicht mehr aktuell sein wird. Mein vorgeschlagener DRL-Algorithmus könnte jedoch angepasst und für diesen Markt weitergeführt werden.



Dominique Friedli