

Datadriven modellering av storskaliga reglersystem på European Spallation Source (ESS)

Modellering av Cryogenic Moderator System (CMS) och Target Helium Cooling System (THCS) med hjälp av Transformers och LSTMs

Storskaliga reglersystem är ofta så komplexa att traditionella modelleringsmetoder blir otillräckliga. I detta arbete användes moderna "AI-tekniker" som Transformers och LSTMs för att bygga datadrivna modeller av två stora reglersystem på ESS. Resultaten visar att modellerna kunde simulera systemens dynamik över flera minuters tidshorisont med lovande precision.

European Spallation Source (ESS) i Lund håller på att bli världens mest avancerade neutronforskningsanläggning. Genom att studera hur neutroner växelverkar med olika material kan forskare undersöka bland annat nya material, kemiska processer, biologiska system, energiforskning och grundläggande fysik.



Flygbild över ESS tagen av Skanska

För att anläggningen ska fungera krävs stora och avancerade kyl- och kryosystem som håller delar av anläggningen vid extremt låga temperaturer och höga tryck. Två av dessa system är CMS och THCS.

På ESS accelereras protoner i en partikelaccelerator som sedan kolliderar med ett mål av volfram för att spallera¹ neutroner, som därefter leds vidare till olika forskningsinstrument. CMS använder flytande väte vid omkring 17 K och 11 bar tryck för att bromsa, moderera, de spallerade neutronerna så att de blir användbara för forskning. THCS används för att kyla målstationen med helium.

När protonstrålen träffar målstationen uppstår stora och snabba värmelaster i systemen. Eftersom systemen innehåller många samverkande variabler, långa tidsfördröjningar och olinjära dynamiker är de mycket svåra att modellera med traditionella metoder. Detta har skapat ett behov av datadrivna modeller som kan lära sig systemens beteende direkt från mätdata.

Målet är att skapa modeller som med god noggrannhet kan förutspå systemens utveckling flera minuter framåt i tiden. Dessa modeller skulle kunna användas för att träna operatörer, simulera nya styrprogram och i framtiden kanske även användas för smartare styrning av systemen.

Arbetet visar att moderna "AI-tekniker" som Transformers² och LSTMs³ kan användas även i avancerade reglertekniska miljöer och inte enbart för språkproblem.

För att modellerna skulle fungera i ett slutet regelsystem behövde de struktureras som iterativa enstegsprediktorer. Varje prediktion motsvarade 30 sekunder och genom att upprepa flera steg kunde modellerna simulera systemens utveckling flera minuter framåt i tiden. Modellerna behövde samtidigt kunna hantera både flertalet styrsignaler och systemets interna variabler. I arbetet utvecklades även en särskild iterativ träningsstrategi där modellerna tränades på att prediktera längre sekvenser. Träningsstrategin förbättrade modellernas prestanda över längre tidshorisonter och gjorde att simuleringarna förblev mer realistiska och stabila.

Resultaten visar att approachen verkar vara fullt möjlig eftersom modellerna visade på förmåga att lära sig systemen och göra bra prediktioner upp till 15 minuter framåt i tiden. Detta gällde framförallt när modellerna testades på THCS och simulerade testsystem, men för CMS var prestandan begränsad, vilket troligen berodde på brist på tillräckligt mycket högkvalitativ och varierad data.

Eftersom liknande tillämpningar inom reglerteknik saknas i tidigare forskning, bidrar detta projekt med ett nytt perspektiv på modellering. På längre

¹ [Wikipedia: Spallation](#)

² [Wikipedia: Transformer](#) eller originalartikeln [Attention Is All You Need](#), Vaswani et al. (2017)

³ [Wikipedia: LSTM](#) eller originalartikeln [Long Short-Term Memory](#), Hochreiter och Schmidhuber (1997)

sikt skulle modellerna kunna användas för smartare styrning av systemen. Genom att först beräkna hur systemet sannolikt kommer att utvecklas flera minuter framåt i tiden skulle styrsystemet kunna välja styrsignaler som ger stabilare och mer effektiv drift. Det skulle kunna bidra till kortare nedkylningstider, lägre energiförbrukning och effektivare drift på ESS.