GÖTEBORGS UNIVERSITET

Spintronic oscillator networks for unconventional computing accelerators

Victor H. González
Institutionen för fysik
Naturvetenskapliga fakulteten

Akademisk avhandling för filosofie doktorsexamen i Naturvetenskap, inriktning fysik, som med tillstånd från Naturvetenskapliga fakulteten kommer att offentligt försvaras fredagen den 25.04.2025 kl. 10:00 i PJ-salen, Institutionen för fysik, Origovägen 6B, Göteborg.

ISBN: 978-91-8115-212-8 (TRYCKT)
ISBN: 978-91-8115-213-5 (PDF)

GÖTEBORGS UNIVERSITET

Svensk summering

Nätverk av kopplade oscillatorer är grundläggande för många naturliga och tekniska processer. Till exempel är nätverk av oscillerande biologiska neuroner avgörande för kognitiva funktioner, minne och perception. Hjärnvågor, som uppstår när många neuroner synkroniserar sin aktivitet, spelar en central roll vid beslutsfattande och inlärning. Därför finns det ett stort intresse för oscillatornätverk och deras förmåga att utföra komplexa beräkningar genom kollektiv dynamik.

Denna avhandling fokuserar på oscillatorer baserade på spinntronik och magnonik. De har flera fördelar jämfört med traditionella elektroniska oscillatorer, eftersom de utnyttjar magnetiseringsdynamik istället för laddningsströmmar. Oscillatorerna är mindre, potentiellt mer energieffektiva och kan kopplas samman i stora nätverk för att skapa nya typer av beräkningsarkitekturer. Genom att utnyttja oscillatorernas icke-linjära egenskaper demonstrerar vi två olika metoder för att implementera sådana nätverk.

Den första metoden fokuserar på fysiska nätverk, där matriser av spin Hall-nanooscillatorer (SHNO:er) studerats som ett konceptest av spinntroniska Ising-maskiner. Genom experimentella, teoretiska och numeriska studier visar vi att det är möjligt att med hjälp av elektrisk spänning kontrollera den lokala magnetiska anisotropin. På så sätt kan både enskilda SHNO:ers beteende och deras kopplingar kontrolleras och programmeras, vilket möjliggör flexibla och skalbara arkitekturer för spinntroniska Ising-maskiner.

Den andra metoden bygger på ett tidsmultiplexat oscillatornätverk där spinnvågspulser lagras i en fördröjningsledning av yttrium-järn-granat (YIG). Detta experiment utgör ett konceptuellt bevis på potentialen hos magnoniska system. Metoden vidareutvecklas genom numerisk modellering för att optimera prestandan, och den beräkningsmässiga komplexiteten utökas genom att införa en global biaseringsterm i det experimentella systemet.

Resultaten som presenteras i avhandlingen visar tydligt potentialen hos spinntroniska oscillatorer och hur de kan användas i framtidens okonventionella beräkningssystem.

Keywords:

Spinntronik, magnonik, oscillatorer, okonventionella beräkning, neuromorfisk beräkning, kondenserade materiens fysik