



# Rapport

## Maskininlärning - & med kvantdatorer



*Författare:* Einar van de Velde

*Handledare:* Sergej Ivanov

*Termin:* HT 2018

*Ämne:* Programvaruteknik inom  
Datavetenskap

*Kurskod:* 1DV510

## **Sammandrag**

Syftet med rapporten är att undersöka möjligheterna med kvantdatorn för att se om den nya teknologien kan förbättra vår befintliga system och tankesätt inom maskininlärning. Inom kvant-mekaniken och kvant-datorn har intresset för forskning ökat exponentiellt det senaste decenniet, med nya regelbundna upptäckter inom området. Då det potentiellt har förmågan att, förändra vår vardag och förstå hela vårt utforskade universum på en djupare nivå som aldrig varit möjligt förut. Om en kan kombinera maskininlärning och kvantmekanik på ett sådant sätt som gör att vi kan snabbt lösa svåra beräkningar, känna igen extremt komplexa mönster och kortare inlärnings tider, så kan A.I. ta det steget det behöver för att göra alla viktiga uppgifter i vardagen, då de redan visat sig prestera på samma nivå, om inte bättre än professionella inom specifika områden. Däremot så kräver denna nya teknologien fortfarande mycket forskning och effektivisering för att göra kvantdatorn till en praktisk teknologi, som faktiskt kan utföra dessa avancerade uppgifterna inom maskininlärning.

**Nyckelord: Datavetenskap, Kvantdator, Kvantmekanik, Maskininlärning, Maskininlärningsalgoritm, Qubits, Quantum Entanglement**

## **Abstract**

The aim of the rapport is to explore the possibilities of the quantum computer and to see if the new technology can improve our current systems and our understanding within the field of machine learning. Research in the field of Quantum Mechanics and Quantum Computers has increased exponentially the last decade. With new discoveries regurairly within the field it has the potential to change our everyday life and expand our understanding of the known universe in a way we never could have before. If you could combine Machine Learning with the potential wonders of Quantum Mechanics it could quickly solve unsolvable calculations, recognise extremely complex patterns, and rapidly shorten learning time for Machine Learning A.I. This could be the revolutionary step A.I. needs to solve all our every day tasks that are too demanding for humans, as it already has proven itself capable of performing at the same level or higher than professionals within their specific fields. However this new technology still requires a lot of research and streamlining before Quantum Computers can become a practical technology, that can perform these advanced tasks within machine learning.

**Keywords: Computer Science, Quantum computer, Quantum Mechanics, Machine Learning, Machine Learning Algorithms, Qubits, Quantum Entanglement**

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Syfte & frågeställningar . . . . .	1
1.2	Metod & avgränsningar . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Resultat</b>	<b>2</b>
2.1	Kvantdatorn jämfört med traditionella datorer . . . . .	2
2.2	Fördelar med kvantdatorer . . . . .	3
2.3	Kvant-maskininlärning med kvantdatorer . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Diskussion</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Slutsats</b>	<b>5</b>
	<b>Referenser</b>	<b>6</b>

# 1 Inledning

I dagens samhälle har nästan alla en Artificiell Intelligens (A.I.) i våra mobiltelefoner. Ofta förekommer dessa i form av assistenter som Siri, Alexa och Cortana som kan hjälpa dig med uppgifter som att söka en sökning på nätet och svara på frågor, men de kan även lära sig från användarens beteende mönster och data, som den därefter kan skraddarsy förslag och förbrukning som kan hjälpa användaren med att optimera sin tid på mobiltelefonen och därmed gör att din mobil känns mer personlig [1]. Detta görs genom en process som kallas för maskininläring. Maskininläring har funnits länge, men är fortfarande en relativt ny teknologi där vi ännu inte riktigt vet vart gränserna för vad vi kan uppnå går. Eftersom maskininläring är en form av A.I. som är designad för att simulera mänsklig intelligens genom att lära sig från sina misstag och omgivningen finns det fortfarande utforskade fronter inom området som kan visa sig leda oss in i framtiden [2].

Några sådana tillämpningsområden som har visat sig vara framgångsrikt med maskininläring är att det har bevisats vara ett effektivt verktyg för till exempel ansiktsigenkänning, biologi, rymdfarkostteknik [3]. OpenAI är en maskininlärningsalgoritm som använder sig av Reinforcement Learning och har vunnit i 1 mot 1 match mot världens bästa Dota 2 spelare (The International 2017), Dendi [4]. Även om Dota 2 är ett datorspel visar det sig vara en av de mest strategiskt avancerade online spel på dagens marknad, och för en A.I. att vinna över världens bästa spelare är ett stort kliv för maskininläring.

Bara i det senaste decenniet har det varit en enorm utveckling inom kvantdator tekniken. En relativt bra jämförelse mot kvantdatorn är lasern. Innan dens utveckling hade vi elden, lyktan och glödlampan. Alla områden som hade teknologiska framsteg under sin tid, som härledes från sin föregångare [5].

Trots dessa framgångar är det generellt tänkt att traditionella datorer inte behandlar dessa maskininlärningsalgoritmer särskild effektivt. Däremot har en börjat titta på kvantdatorer och deras kraft som, potentiellt, en dag kan förändra hur vi använder teknologi och mjukvara för maskininläring [6].

Vi har bara börjat förstå vad kvantteknologin kan åstadkomma. Vi utforskar hur det potentiellt skulle kunna lösa och skapa olösbara koder, och framför allt, snabba upp svåra beräkningar något enormt [7].

## 1.1 Syfte & frågeställningar

Syftet med rapporten är att undersöka möjligheterna med kvantdatorn för att se om den nya teknologien kan förbättra vår befintliga system och tankesätt inom maskininläring. Följande frågor besvaras så väl som möjligt med dagens förståelse inom området:

1. Hur fungerar en kvantdator?
2. Vad kan kvantdatorer göra som traditionella datorer inte kan?
3. Hur kan kvant-maskininläring förbättra dagens maskininläring?

## 1.2 Metod & avgränsningar

För att besvara ovanstående frågeställningar används metoden litteraturstudier genomgående i denna rapport. Det är ett generellt fokus på frågorna och ingen specifik kvantdator, eller maskininlärningsalgoritm. Då det för närvarande är en någorlunda ny teknologi därför hanteras frågorna därefter. Rapporten belyser även särskilda för och nackdelar mellan traditionella datorer och kvantdatorer.

## 2 Resultat

Resultatet hanterar frågeställningarna i numerisk ordning från Syfte & frågeställningar sektionen. Först kommer en kort sammanfattning om hur en kvant dator opererar och hur kvant datorer skiljer sig från traditionella datorer, som sedan följs av hur kvant datorer kan förbättra maskininlärningsalgoritmer jämfört med idag.

### 2.1 Kvantdatorn jämfört med traditionella datorer

En kvantdator fungerar förhållandevis ganska likt en traditionell dator som använder sig av ett makroskopiskt system [7]. I vanliga datorer så sparas informationen i trådar med bits, som i sin tur är binära tal som har värdet 1 eller 0 [8]. En kvantum dator räknar på liknande sätt, den har också en variant bits som har ett värde på 1 eller 0, men istället för att använda traditionella bits, har den något som kallas för Qubits, som istället för ett makroskopiskt system använder sig av ett mikroskopiskt system som är oerhört känsligt mot omgivningens influenser, i jämförelse med makroskopiska system [7]. Det mikroskopiska systemet som används för Qubits är mycket känsligare och kan därför göra mycket mer exakta beräkningar. Så exakta att en påstår att en kvantumdator, dels, tack vare denna känslighet, att de kan utföra kvantsystemssimulationer mycket mer effektivt [8]. En viktig egenskap hos en Qubit är att precis som en bit så har den ett värde, 1 eller 0, men den kan även anta att den har båda värdena samtidigt. Detta kallas för Superpositions. Ett par med Qubits som befinner sig på olika ställen, var som helst i världen (hypotetiskt sett även i universum), kan ha fyra olika booleska värden samtidigt (illustreras under denna paragraf) [7].

00, 01, 10, 11

Detta skiljer sig från det traditionella sättet booleska värden hanteras. Ett traditionellt booleskt värde kan endast vara sant eller falskt (1 eller 0), medan i Qubits kan den innehålla båda värdena samtidigt, alltså, sant, falskt och båda. Detta innebär att ett par Qubits som är Quantum-Entangled kan ha fyra olika booleska värden [7].

Förutom att kvantdatorn kan ha fyra booleska värden, så kräver de andra förutsättningar än en traditionell dator. En av dessa, kanske även den viktigaste förutsättningen inom kvantteknik är att medan den är igång måste maskinen hållas helt och hållet isolerat från resten av "universum" då den minsta lilla störning kan påverka de Kvantmekaniska vågorna som påverkar hur kvantdatorn tolkar information. Exempel på sådana störningar är mikro-svängningar av atomer och elektroner i all materia [9]. Detta kan då leda till en process som kallas för decoherence [5]. Decoherence innebär, kortfattat, att informationen från kvantdatorn läcker ut till omgivningen och går förlorad [8]. Detta är en av de ledande orsakerna till att kvantdatorn är så avancerad [5]. Då dennes Qubit även behöver kunna interagera med sin närliggande Qubit medan den är i Superpositions och motsägelsefullt måste den interagera med omgivningen när det behövs för att kunna förmedla information. Detta kräver extrem balans och är än idag inte fullständigt självklart hur det fungerar [8].

En av motgångarna i kvantberäkningar är att tolka och rätta möjliga fel i datan som kommer fram. Det har varit mycket forskning och många försök för att skapa en felfri-Qubit, men en har än idag inte lyckats bygga en kvantdator som ej kräver korrigering av data Qubiten [10].

## 2.2 Fördelar med kvantdatorer

Som kort nämndes tidigare, så har kvantdatoren mycket högre noggrannhet än en traditionell dator, och kan därför snabbt utföra exakta beräkningar, köra kvantsystemssimulationer [5], [8].

Traditionella information kan kopieras och skickas, bokstavligen, framåt i tiden, till mottagaren. Medan Quantum Entanglement tillåter ett helt annat sätt att förmedla information på. Då kan du skicka informationen samtidigt mellan dessa två punkterna i universum. Det vill säga mellan två Qubits [7].

En kvantdator kan med dagens förståelse tillåta att fånga information om molekyler och material, som inte är möjligt idag, på ett så exakt sätt som tillåter att läsa av deras fundamentala naturliga kvantpositioner [8]. En annan form av tillämpning för kvantdatoren är att kunna hitta beteendemönstren i hos artificiell nanoteknologier och kan fundamentalt förändra vår förståelse inom biologisk nanoteknologi [5].

Idag omöjliggörs denna formen av information då traditionella datorer förstör Quantum Entanglement. Medan kvantdatoren kan skapa Quantum Entanglement för att utföra olika operationer. Så som att snabba upp vanliga beräkningar som vi är bekanta med idag, och vidare behandla denna information mellan två punkter i universum [7].

## 2.3 Kvant-maskininlärning med kvantdatorer

Möjligheterna med exponentiellt snabbare datorer är förmågan och möjligheten att snabbare optimera kvant-maskininlärningsalgoritmen [10].

Traditionell maskininlärning har ofta förmågan att känna igen, skapa och återskapa statistiska mönster. Det många hoppas på är att om kvantdatoren kan skapa statistiska mönster som är svåra för den traditionella datorn, så kanske den även kan känna igen dem, trots kvantmekanikens kända förmåga att skapa atypiska mönster i data [6].

De områden som låter absolut mest lovande för kvant-maskininlärning, idag, är områden som fysiologi, tolkning av avancerad information, lösa svåra problem som Higgs-boson och Schrödinger teorin, snabbt och effektivt [5], [10], [11].

### 3 Diskussion

Då nivån för maskininlärning idag är väldigt imponerande, framgångsrik och kan analysera och förutspå många avancerade beräkningar med hög noggrannhet, så tar det alldeles för lång tid för teknologien som hindrar den från att nå nya höjder och teknologiska framsteg [8], [10]. Då en ofta vill använda maskininlärning för att göra uppgifter som människan inte vill göra eller kan utföra särskild säkert eller noggrant är det viktigt att den kan tränas snabbt och effektivt sådan att en vid ett tidigare stadie i algoritmens lärningskurva kan korrigera dålig data.

Det är här kvantdatoren kommer in i bilden. Vi har bara nyligen börjat förstå hur kvantmekaniken fungerar i praktiken och med det har det uppstått många hinder och problem som behöver lösas innan vi kan utforska dem verkliga fördelarna som kvantdatoren kan medföra. Idag är vi väldigt nära att se få se om kvantdatoren verkligen kan förbättra nuvarande maskininlärningsalgoritmer på ett sådant sätt som effektiviserar själva processen i utveckling av datan. Exempelvis att kunna beräkna Higgs boson [11].

Vi behöver först och främst lista ut hur vi förebygger decoherence av data, först då skulle kvantmaskininlärning kunna revolutionera IT industrin och den teknologiska utvecklingen skulle kunna nå nya höjder. Vi skulle kunna lösa uppgifter, som skulle ta flera timmar att genomföra på en traditionell dator, på bara några minuter [10].

Potentiellt sett skulle kvantdatoren vara den teknologiska utvecklingen som gör att datorer äntligen kan lära sig lika, om inte snabbare, än den mänskliga hjärnan. Samtidigt som den kan träna på samma sak flera gånger samtidigt, till skillnad från oss människor [9]. Detta har möjligheten att utveckla maskininlärningsalgoritmer bortom vår nuvarande förståelse för A.I. och är endast en fråga om när datoren har utvecklats bortom den mänskliga intellektuella förmågan [5], [8].

## 4 Slutsats

Då kvantberäkningar och kvantdatorn är potentiellt framtidens datorer så återstår det en hel del forskning och problemlösning innan en kan börja tillämpa maskininläring på ett effektivt och problemfritt sätt. Däremot finns det mängder med potential i att kvantdatorns maskininlärningsalgoritmer en dag ska eliminera särskilda arbetsuppgifter som datorer löser mer effektivt och med högre noggrannhet än människan, samt utföra avancerade beräkningar som kan vidare vidga vår förståelse för hur världen och universum fungerar. För att propellera Kvantdatorer framåt i tiden skulle en större investering i utbildad personal som i fokus kan lägga sin tid på att utveckla system som kan hantera flera Qubits och därmed öka prestandan per kvantdator exponensiellt jämfört med traditionella datorer. Med detta skulle kvantdatorn kunna ta sin plats som den framtida datorn och finnas i bruk i alla större forskningscentrum, som exempelvis NASA skulle då kunna använda maskininlärningsalgoritmer för att förutspå kollisioner på asteroider flera år innan vi hade gjort det idag, vilket i sin tur kan förhindra eventuell global förintelse.



## Referenser

- [1] H. Chung, M. Iorga, J. Voas, and S. Lee, “Alexa, can i trust you?” *Computer*, vol. 50, no. 9, p. 100, 2017.
- [2] L. Shamir, A. Holincheck, and J. Wallin, “Automatic quantitative morphological analysis of interacting galaxies,” *Astronomy and Computing*, vol. 2, pp. 67–73, 2013.
- [3] I. El Naqa and M. J. Murphy, “What is machine learning?” in *Machine Learning in Radiation Oncology*. Springer, 2015, pp. 3–11.
- [4] OpenAI, “Dota 2,” 2017. [Online]. Available: <https://blog.openai.com/dota-2/>
- [5] T. D. Ladd, F. Jelezko, R. Laflamme, Y. Nakamura, C. Monroe, and J. L. O’Brien, “Quantum computers,” *Nature*, vol. 464, no. 7285, p. 45, 2010.
- [6] J. Biamonte, P. Wittek, N. Pancotti, P. Rebentrost, N. Wiebe, and S. Lloyd, “Quantum machine learning,” *Nature*, vol. 549, no. 7671, p. 195, 2017.
- [7] C. H. Bennett and D. P. DiVincenzo, “Quantum information and computation,” *Nature*, vol. 404, no. 6775, p. 247, 2000.
- [8] P. Ball, “2020 computing: Champing at the bits,” 2006.
- [9] A. Steane, “Multiple-particle interference and quantum error correction,” *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 452, no. 1954, pp. 2551–2577, 1996.
- [10] K. T. Butler, D. W. Davies, H. Cartwright, O. Isayev, and A. Walsh, “Machine learning for molecular and materials science,” *Nature*, vol. 559, no. 7715, p. 547, 2018.
- [11] A. Mott, J. Job, J.-R. Vlimant, D. Lidar, and M. Spiropulu, “Solving a higgs optimization problem with quantum annealing for machine learning,” *Nature*, vol. 550, no. 7676, p. 375, 2017.