

I denne lille note skal vi først se hvordan en traditionelt programmeret computer løser et meget simpelt problem. Problemet består blot i at undersøge, om der i en stribe på 10 cifre bestående af lutter 0'er og 1-taller forekommer to et-taller ved siden af hinanden.

I de følgende afsnit diskuterer vi derefter hvordan en biologisk hjerne virker og kigger så på hvordan de såkaldte kunstige neurale netværk, der til en vis grad simulerer hjernens virkemåde, kan løse problemet på en helt anden måde.

Konventionel programmering

Den elektroniske computer har siden sin fremkomst vist sig som en imponerende talknuser, der ved hjælp af kun to tal - nemlig nul og et - har løst umådeligt mange problemer for ingeniører, fysikere, biologer og forskere kloden rundt. Selv om en computer kan klare imponerende beregninger på næsten ingen tid, er der dog ingen tvivl om vores vurdering af en computers intelligens: den er dum som et bræt! Man kan nærmest betragte en computer som en fuldstændig hjernelam slave der blot gør nøjagtig som den får besked på - om det så er at hive stikket ud på dens egen strømforsyning.

Følgende programstump viser hvordan en traditionelt programmeret computer undersøger om der i en stribe på 10 cifre bestående af lutter 0'er og 1-taller forekommer to et-taller ved siden af hinanden. Programmet er skrevet i pseudoFORTRAN men det kunne lige så godt være nyeste version af Pascal eller C++.

```

Program er_der_11
For i = 1 to 10 do
  Read x(i)      *Indlæsning af den binære talstreng
Enddo

Y = 0 * variabel der fortæller hvor mange 11- kombinationer der findes i serien

For i = 1 to 9 do
  If ( x(i) = x(i+1) and x(i) = 1 ) then
    Write " der står to ettaller efter hinanden på plads nummer ", i
    Y = 1
  Enddif
Enddo

If Y = 0 then
  Write " Der stod ikke to ettaller efter hinanden noget sted i denne serie"
Else
  Write " Der var kombinationer med to ettaller lige efter hinanden"
Endif

Stop

```

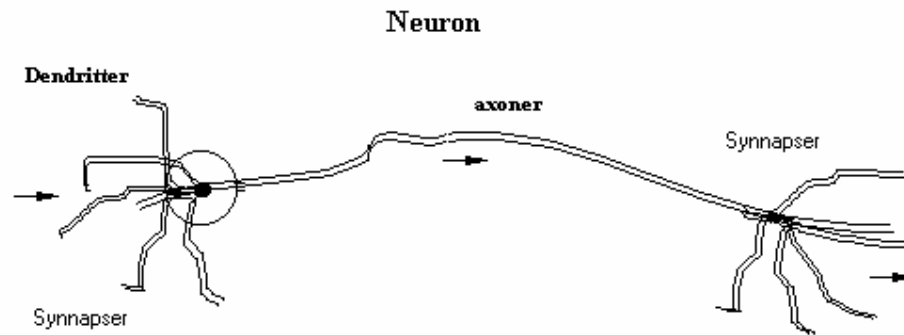
Opgave 1 Prøv at forklare hvordan programmet virker.

Naturlige og kunstige neurale netværk

Et naturligt neuralt netværk er det netværk af celler – neuroner – som en dyrehjerne (herunder naturligvis også mennesker) består af. En hjernes virkemåde er på én gang både nogenlunde simpel og umådeligt kompliceret. Det simple består i, at de enkelte neuroners virkemåde er forholdsvis let at forstå, ud fra ganske elementære begreber fra el-læren og (bio)kemien. Det komplicerede ligger i hjernens enorme kompleksitet (sammensathed) og de fænomener der opstår (emergerer) på grund af denne.

Neuronen

Lad os starte med at kigge på en enkelt neuron:



En biologisk neuron består af et cellelegeme med to typer udløbere, hvoraf den ene type (dendritterne) modtager og den anden type (axonen) udsender elektrokemiske impulser. For enden af både dendritter og axoner sidder synnapsene. Synnapsen er kontaktpunkt mellem andre neuroner i det neurale netværk. Afstanden mellem synnapsen og den næste neurons synnaps er typisk 0,1 mikrometer dvs. 10^{-7} m, og det tager det elektrokemiske signal ca. 0,1 millisekund at passere det synaptiske gab.

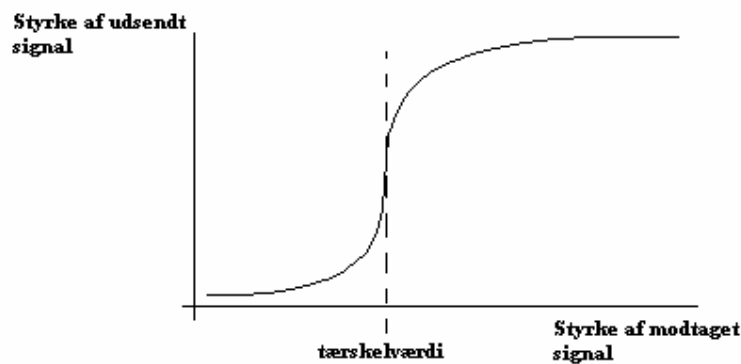
Kommunikation mellem neuroner

Neuronerne kommunikerer med hinanden ved at udsende elektrokemiske impulser til hinanden. Ved en neurons aktivitetsniveau forstås den hyppighed hvormed den udsender disse impulser. Naturlige neuroner har tendens til at have enten meget høj eller lav aktivitet, men sjældent en aktivitet der ligger midt imellem. Man taler hhv om, at de "fyrrer" eller "ikke fyrrer" alt efter om de er aktive eller inaktive.

Hvis man skulle beskrive hele netværkets aktivitetstilstand kunne man altså gøre dette ved at lave en (meget lang) liste over hvilke neuroner der fyrrer og hvilke der ikke fyrrer. Efter kort tid vil dette billede selvfølgelig være ændret radikalt fordi man hurtigt tænker på noget nyt, og aktivitetsmønstret kan altså opfattes som en slags snapshot af netværkets tilstand til et bestemt tidspunkt. Hvis man tildeler de neuroner der fyrrer et 1-tal og de neuroner der ikke fyrrer et 0, kunne man altså beskrive netværkets fyrringsmønster ved en lang række 0 og 1-taller.

Dynamikken

Den enkelte neuron bestemmer ikke selv om den vil fyre eller ej. Man kan, måske lidt dramatisk, sige, at den enkelte neuron ikke har nogen fri vilje. Det der afgør om en neuron sender de impulser den modtager videre, er simpelthen hvor kraftigt det signal den modtager er. Enhver neuron har nemlig en vis tærskelværdi eller tolerancetærskel, der afgør, om den viderebringer signalet. Hvis styrken af det signal den modtager overstiger denne tærskelværdi, bliver neuronen provokeret til selv at blive aktiv og ”fyre” signalet videre til de neuroner som dens axoner er i forbindelse med. Tærskelværdien og styrken af det signal den enkelte neuron udsender under firing afhænger af, i hvor god ”træning” neuronene er. Den enkelte neuron kan altså karakteriseres ved et diagram som følgende:



Model af neuralt netværk

Lad os nu se hvordan vi som rigtige fysikere kan lave en model af et neuralt netværk. En sådan model kaldes også for et kunstigt neuralt netværk og kan udformes på flere forskellige måder. Man kan forestille sig en rent matematisk model, en elektrisk/computer-model eller måske ligefrem en mekanisk model med vægtstænger, lodder, trisser og tandhjul. I praksis viser det sig at være smartest (som det for det meste er) at lave en matematisk model og så evt. indbygge den i en computer.

Lad os først starte med at overveje hvordan vi kan beskrive neuronernes placering og hvordan de er forbundet med hinanden i netværket. Det er klart at der her for en rigtig hjerne med milliarder af neuroner der hver har mange dendritter og axoner er ufatteligt mange muligheder. Hver af disse kombinationsmuligheder resulterer i et netværk med en bestemt **arkitektur**. For at gøre modellen så simpel som mulig kunne man f.eks. nøjes med at kigge på et netværk med kun nogle få neuroner der hver kun havde et lille antal forbindelser til andre neuroner. Men selv i dette tilfælde vil der være mange forskellige mulige arkitekturer. Man kunne så beskrive netværkets arkitektur ved at tegne en såkaldt **graf**¹ dvs. en række punkter der hver især symboliserer en neuron samt en række linjestykker eller kanter der hver repræsenterer en forbindelse (se figur 3). Man skal selvfølgelig så

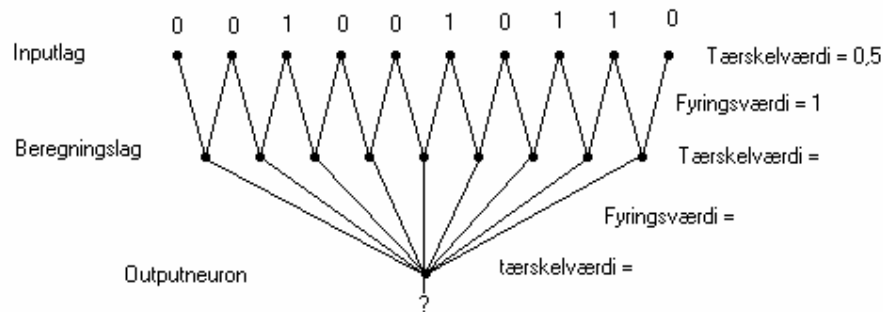
¹ Grafteori er en forholdsvis ny matematisk disciplin der altså ikke har noget med vores almindelige funktionsgrafer at gøre. I grafteorien består en graf af en mængde af punkter og kanter, hvor hver kant forbinder to punkter.- et dejligt emne til 3.årsopgave i matematik på højt niveau!

også angive for hver forbindelse om det er en dendrit eller axon. Dette kan f.eks. gøres ved at tegne pile på hver kant i grafen der viser hvilken vej det elektrokemiske signal går.

Nu mangler vi så bare at finde ud af, hvad der skal til for at modellere den enkelte neuron. Hvis vi kigger på figur 2 kan vi se, at hvis vi kunne finde en funktion hvis graf havde den rigtige facon så ville vi have en god model. Men lad os som sædvanligt prøve at overforsimple tingene for at se om vi har fat i noget af det rigtige.

I stedet for at vi for hver neuron opstiller en hel funktion, nøjes vi med bare at angive to tal: dels hvad tærskelværdien skal være og dels hvad fyringsstyrken eller aktivitetsniveauet er. Når neuronene ikke fyrer sætter vi aktivitetsniveauet til 0. Når vi så skal afgøre om den enkelte neuron fyrer eller er inaktiv ser vi på den samlede strøm ind i neuronene og undersøger om den er over tærskelværdien. Er den det, fyrer neuronene signalet videre med det aktivitetsniveau vi har tillagt den og vi kan så regne os videre igennem de næste neuroner og finde ud af hvad netværket "tænker på".

Lad os prøve at se på et neuralt netværk der kan løse det samme problem som vores konventionelle computerprogram i afsnit 1:



Figur 3

I netværket her går alle signaler nedad, så vi har ikke sat pile på for at angive strømretningerne. Den øverste række af neuroner kalder vi inputlaget, idet vi her fodrer netværket med et signal der svarer til om vores ti tal er nuller eller et-taller. Tærskelværdien for alle inputneuronerne er 0,5 så de fyrer altså, med værdien 1, hvis de modtager et 1-tal og ellers forbliver de tavse. På figuren er der ikke angivet tærskelværdi for det næste neuronlag – et såkaldt beregningslag eller skjult lag, ligesom der heller ikke er angivet hverken fyringsværdi for lagets axoner eller tærskelværdi for den sidste neuron.

Opgave 2

- Vælg en fælles tærskelværdi for beregningslaget i figur 4, således, at beregningslagets neuroner fyrer hvis de modtager signal fra to 1-taller.
- Vælg en fyringsværdi for beregningslagets axoner, og vælg endelig en tærskelværdi for outputneuronen således at den fyrer hvis der findes to 1-taller ved siden af hinanden oppe i inputlaget.
- Kunne opgaven være løst med andre tærskel- og fyringsværdier ?
- Kan du finde et netværk med en anden arkitektur der løser samme problem ?