

Neuralink BCIs framtid

Åbo Akademi

Kandidatprogrammet i datateknik

Kandidatavhandling

Vår 2022

Roope Paajanen

INNEHÅLL

Inledning

1 Det Neurala nervsystemet

1.1 Biologi bakom nervsystemet

2 BCI teknologi

2.1 BCI teknologis historia

2.2 BCI Datorer idag

2.3 Invasiv BCI-dator

3 Vad är Neuralink?

4 Neuralink idag.

5 Var är BCI teknologi och Neuralink idag?

5.1 Neuralinks framtid

Konklusion

Referat

Den här avhandlingen ger en grundläggande information inom BCI teknologi, BCI branschen, neurala nätverket och dess funktioner och Neuralink företaget. Avhandlingen jämför olika konkurrenter i branschen och deras framgångar med Neuralinks och hittar tydliga för- och nackdelar inom dem. Avhandlingen fokuserar sig på inmatnings teknologi med BCI-system, och spekulerar dess tekniska aspekter.

Nyckelord:

BCI, BMI, Neuralink,

Inledning

Sedan mänskligheten började bygga och använda maskiner, har vi varit tvungna att fysiskt mata in data i dessa apparater. Många skulle säga att maskiner och datorer har blivit smartare och duktigare på att lösa mer komplicerade problem och frågor. De har delvist rätt. Maskiner kan i dagens läge göra fantastiska saker och lösa komplicerade frågor inom tidsramar en människa aldrig skulle kunna uppnå. Men oberoende av användaren kommer en dator alltid förstå sig enbart på ett och nollor.

Det är sällan bekvämt att använda en maskin som bara förstår maskinspråk. Därför har alla maskiner ett användargränssnitt där användaren kan sköta inmatningen. Ofta börjar inmatningen med klick på tangentbordet och musen. Den inmatade data samlas och modifieras av mjukvaran. Den egentliga inmatningen går genom olika protokoll och processer, i slutet översätts data till maskinkod som datorn kan förstå.

Vi människor har blivit vana vid den fysiska rörelse som krävs för att mata in data i datorn. Men hur kan data matas in ifall man tar bort den fysiska rörelsen? Hur ska en dator kunna förstå användarens kommando när inmatningen sker enbart i användarens hjärna?

Neuralink är ett företag som håller på att utveckla en BCI-dator (Brain-computer-interface computer) vars uppgift är att möjliggöra användning av en dator enbart med hjälp av neuron signaler, det vill säga tankekraft. Datorn samlar ihop signalerna som skickas mellan användarens neuroner och översätter denna trafik till data.

Denna avhandling fokuserar på tekniken bakom BCI-datorer, skillnader mellan olika konkurrenter samtidigt som den fokuserar på Neuralink och företagets teknologi. Syftet med avhandlingen är att hitta konkreta skillnader i inmatningsprocessen med de olika systemen och att kartlägga de svårigheter de

kan ha. Avhandlingen försöker svara på frågan om BCI-teknologin och Neuralink är före sin tid eller om det är den typen av teknik som bör tas på allvar redan idag.

1. Neurala nervsystemet

För att kunna förstå tekniken bakom BCI bör man ha en allmän förståelse av det mänskliga nervsystemets funktion och neuronernas biologi. Den här delen av avhandlingen täcker det tidigare nämnda området på en grundläggande nivå.

Nervsystemet är ansvarigt för all kommunikation som sker i en människokropp. Nervsystemet består av flera olika komponenter men neuronerna betraktas oftast som det mest grundläggande elementet. En neuron eller en nervcell är en celltyp i nervsystemet som är ansvarig för att ta emot och överflytta nervimpulser. Varje medveten och omedveten tanke, fysisk rörelse, kommando och reaktion är en notifikation som tas emot och sänds vidare av miljontals neuroner tills den når sin destination. En vanlig människas hjärna innehåller ungefär 100 miljarder neuroner, och varje cell varierar i diameter från 4 till 100 mikrometer. [1]

Som sagt all kommunikation i en människa kropp sker via nervsystemet. Det vill säga, varje medveten och omedveten tanke, fysisk rörelse, kommando och reaktion är en notifikation som tas emot och sänds vidare av miljontals neuroner tills den når sin destination.

1.1 Biologi bakom nervsystemet

Neuroner är mycket specialiserade för bearbetning och överföring av cellulära signaler. Med tanke på deras mångfald av funktioner som utförs i olika delar av nervsystemet, finns det en stor variation i deras form, storlek och elektrokemiska egenskaper. Även de finns skillnader mellan de olika neuronerna så fungerar de på ganska samma sätt och består av samma bas komponenter. På en grundläggande nivå består neuroner av tre huvuddelar: en cellkropp, eller soma, som innehåller cellens kärna och håller cellen vid liv, en förgrenad trädliknande

fiber känd som dendriten, som samlar in information från andra celler och skickar informationen till soma och en lång, segmenterad fiber känd som axoner, som överför information bort från cellkroppen mot andra neuroner eller till musklerna och körtlarna.

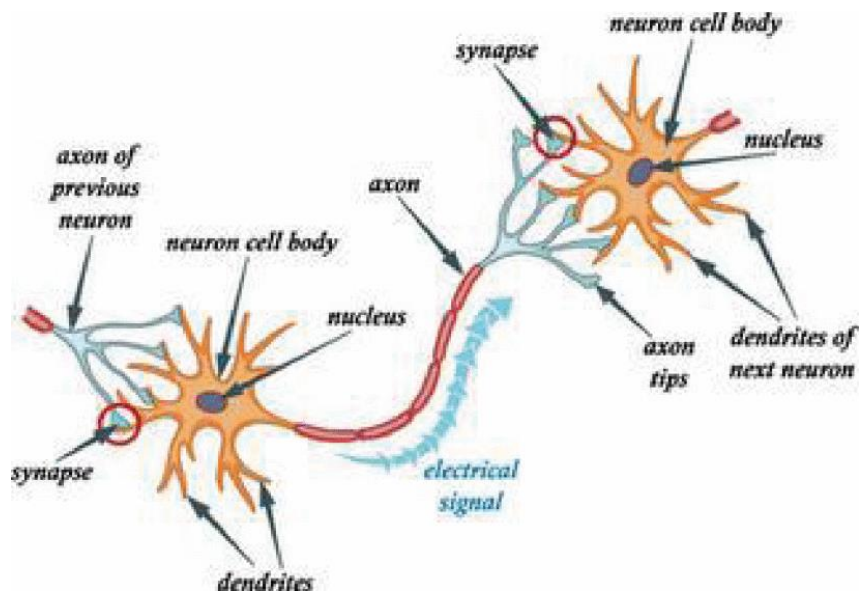


Bild 1. En grafisk representation av två neuroner och dess viktigaste komponenter.

Neuroner rör inte varandra men i stället kommunicerar de med hjälp av en elektrokemisk process. Om man tar en närmare titt på neuronerna så förs informationen fram på följande vis, en signal tas emot av dendriten i form av en elektrisk signal som förs vidare till somnan och sedan via myelinskidor över axonet till nästa dendrit, mellan axonets nervända och dendriten finns synapsen. Överföringen mellan nervändan och dendriten görs i synapsen men denna process är kemisk och möjliggörs av neurotransmittor. Laddningen av denna elektriska signal i synapsen kallas för aktionspotential som används för att skicka information mellan nervändan och dendriten o synapsen. När tillräckligt mycket aktionspotential är laddad skjuter axonet en kemikalisk signal till mottagande dendrit via synapsen. Denna kemiska signal kallas för signalsubstans, engelskspråkiga ordet neurotransmittor används också. En neurotransmitta är en kemikalie som vidarebefordrar signaler till synapsen och sedan vidare mellan neuronerna. Se bild 2 för en grafisk representation av neurotransmittorer. När den

elektriska impulsen från aktionspotentialen når slutet av axonet signalerar synapsen att släppa ut neurotransmittorer. Neurotransmittorer färdas över det synaptiska utrymmet. När aktionspotentialen skjuts ut leder det till ett utbrott av ett magnetiskfält runt synapsen, denna reaktion möjliggör en sådan information som en BCI dator kan samla in som inmatning.

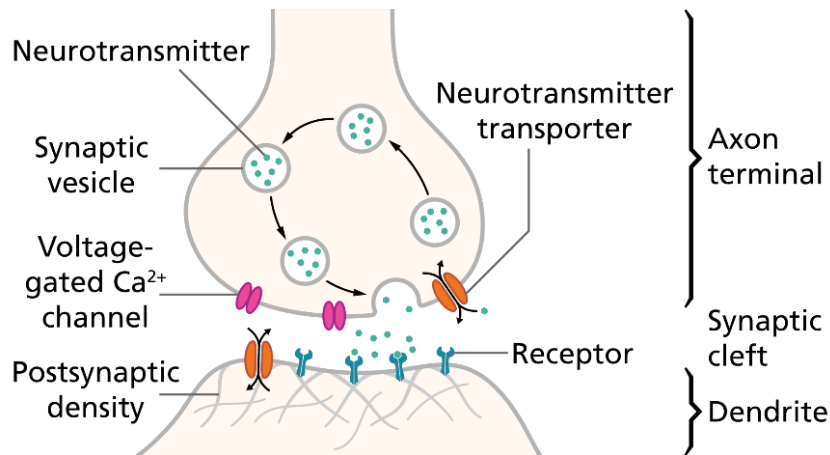


Bild 2. Mer exakt presentation av en synaps. I bilden ser man flöde av signalsubstans mellan två neuroner.

2 --- BCI teknologi

I den här sektionen kommer tekniken bakom BCI teknologin förklaras. En brain-computer interface (BCI), även kallat brain-machine interface (BMI) är i allmänhet länken mellan hjärnan och maskinen, dens uppgift är att följa med hjärnans aktivitet. Detta kan låta som framtidens teknik men BCI teknologin har faktiskt en lång historia, det finns olika exempel av forskning på apor som når ända bak till 1960-talet. [3] Ett vanligt utvecklings skede inom varierande it teknologi är att datorer blir allt mindre, starkare och effektivare, denna utveckling berör även BCI datorer. Ett bra exempel av framsteg inom branchen är företaget Neuralink. Neuralink har en möjlighet att ta dagens teknik till nästa nivå och potentiellt förkorta mellanrummet mellan människan och datorn.

2.1 BCI teknologis historia

Under senaste seklet har det funnits många slags av olika BCI datorer som har olika målgrupper och egenskaper. Många forskare säger att BCI datorers historia började på 1920 talet när en psykiater Hans Berger från Jena universitet från Tyskland publicerade sitt arbete om människors elektroencefalogram (EEG) 1929.[4] EEG tekniken är ofta sett som första kopplingen mellan en hjärna och en maskin. Den sjätte i juli 1924 utförde Hans Berger en operation var han lyckades för första gången någonsin bevisa elektriska aktiviteten i den mänskliga hjärnan. Under operationen placerade Berger nålelektroder med lerspets på plats för trepanation och kopplade till en galvanometer på en 17 år gammal tonåring med en misstänkt hjärntumör. En galvanometer är ett gammalt mätinstrument inom elektroteknik och elektronik som mäter elektrisk ström. Berger kunde också påvisa fluktuationer av elektrisk ström som kunde registreras med elektroder placerade på huden ovanför gapet i skallen hos en man med bendefekt i pannan på grund av en krigsskada. Med dessa tester kunde Berger bevisa att det var möjligt att kunna följa hjärnans elektriska spikar både utanför och innanför hjärnan. Bergers forskningar skapade botten för alla BCI relaterade datorer och samma filosofi används fortfarande idag som man kan märka från BCI dator kategorisering Rajesh P. N. Rao använder i sina studier.

Som vanliga datorer har också BCI datorers utveckling gått framåt de senaste hundra åren. Forskningshistorien har dock skillnader eftersom BCI teknologin är starkt beroende av framstegen inom kognitiv psykologi. Enligt många är den mänskliga hjärnan det mest komplicerade mänskliga organet, vilket skulle kunna jämföras med en mycket kraftfull och komplex dator. Ingen har ännu i dagens läge lyckats att återskapa och simulera hela dess struktur. Många ingenjörer och företag har försökt bygga datorer som skulle hjälpa forskare att förstå detta komplexa organ bättre.[2] Under en lång tid har tekniken fungerat som ett verktyg för forskare att följa tidigare nämnda elektriska impulser som sker i hjärnan. Data som forskare har fått ut från hjärnan har använts till att försöka förstå hur hjärnan reagerar till olika situationer som till exempel psykiska sjukdomar.

2.2 BCI Datorer idag

Som tidigare nämnt i avhandlingen kan BCI teknologi och dess framsteg kännas som framtidensteknologi för många. Ett bra exempel på vilken nivå vår teknologi är idag är en undersökning ” Volitional control of single cortical neurons in a brain-machine interface”gjort av Chet T Moritz och Eberhard E Fetz från University of Washington i 2011. Målet med forskningen var att bestämma graden av frivillig kontroll över godtyckliga neuroner som registrerats från primära motoriska och sensoriska cortex. Att komma fram till resultatet användes två apor som testdjur i forskning. Apornas uppgift i forskning var att lära manipulera sina hjärnsignaler på ett önskat sätt. I de båda aporna implementerades en registreringskammare centrerad över vänster hand som registrerade handens rörelse. Sessionen började med handledsspårning och avslutades med en hjärnkontrollsession (Bild 2). Under handledsspårningssessionen kontrollerade aporna markören på skärmen med handledens vridmoment, medan aktivitet från varje cell registrerades, för att dokumentera riktningsinställning. Apornas uppgift var att röra markören på en en-dimensionell plattform med åtta mål. Under hjärnkontrollsessionen kontrollerade aporna samma markör på samma plattform med sina hjärnsignaler, apornas hand håller fortfarande fast vid kontrollen, kontrollen är dock bortkopplad så styrningen sker enbart med hjälp av apornas hjärnaktivitet inte handledens vridmoment. I hjärnkontrollsessionen presenterades mål för aporn slumpmässigt för att framkalla antingen höga eller låga urladdningshastigheter i hjärncellen. Med höga och låga urladdningshastigheter menas aktivitetsnivån inom olika områden i apornas hjärnor som är ansvariga för att röra deras händer. Under dessa sessioner kontrollerade apor aktivitet hos 246 hjärnceller för att förvärva mål som krävde tidigare nämnda höga eller låga urladdningshastigheter. Målen förblev på skärmen tills aporn bibehöll utsläppshastigheten inom varje mål för åtminstone en sekund. Efter en kort belöningsperiod presenterades nästa mål för aporn.

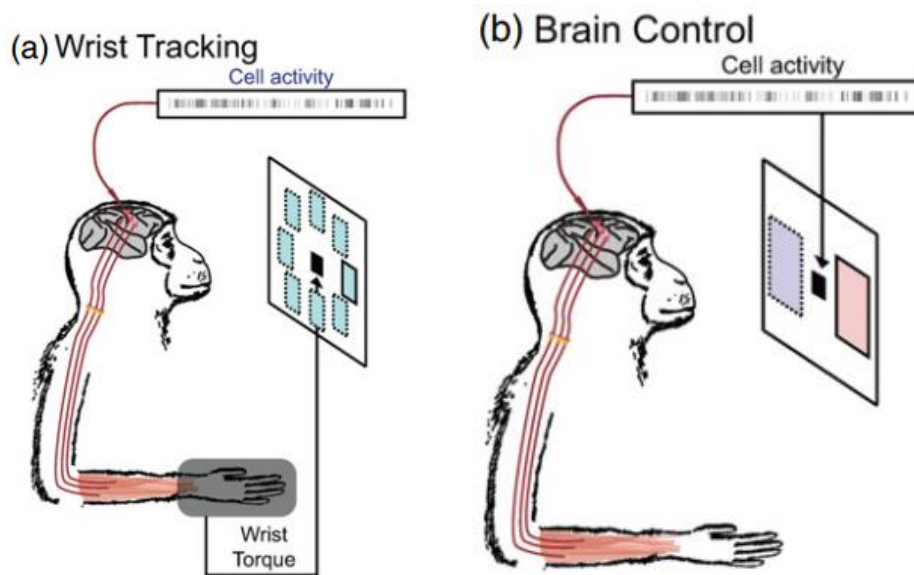


Bild 3. Grafisk representation av testdjuret i handledsspårning session och hjärnkontrollsessionen.

Undersökningen genomfördes framgångsrikt med intressanta resultat. Aporna lyckades att röra markören på skärmen med och utan att använda sin kontroll. Men det som var mest intressant var hur snabbt aporna lärde sig att röra markören utan den fysiska rörelsen (kontrollen). Enligt forskningsresultatet så ökade mängden förvärvade mål per minut med enbart användning av hjärnkontroll från $6,4 \pm 4,5$ mål per minut till $13,3 \pm 5,6$ mål per minut efter bara i genomsnitt 24 ± 17 min träning. Det vill säga efter ungefär 24 minuter träning hade aporna redan fördubblat sin hastighet med apparaten. Forskare märkte också att för alla celler under hjärnkontroll producerade aporna i genomsnitt endast 36 % av vridmomentet som användes under handledsspårning. Kolla bild 2 för grafisk representation.

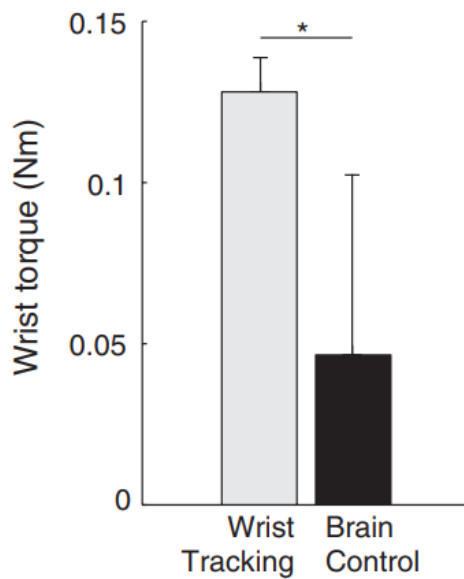


Bild 4. Jämförelse av apornas handledens vridmoment mellan handledsspårning session och hjärnkontrollsessionen.

Från forskningen kunde det dras en tydlig slutsats, även detta fynd var positivt så hade det ingen större inverkan på teknologins utveckling. Denna forskning bevisar i grund och botten hur enkelt det är att lära sig använda en BCI dator, om ett djur kan lära sig så här snabbt, hur snabbt kan då inte en människa lära sig?

2.3 Invasiv BCI-dator

Semi-invasiva och icke-invasiva BCI datorer har sina unika egenskaper och egen avsedd användning som betjänar en viss målgrupp, men denna avhandling koncentrerar sig på en specifik BCI-dator som faller inom kategorin av invasiva BCI-datorer. Invasiva BCI-system involverar elektroder som penetrerar hjärnvävnad i ett försök att registrera aktionspotentialer (även kända som spikar) från enskilda, eller små grupper av neuroner nära elektroden. Kolla 1.1 Biologi bakom nervsystemet.

Invasiva BCI-datorer har sina nackdelar och fördelar. Till skillnad från icke-invasiv och semi-invasiv BCI-dator som har en lägre rumslig upplösning, har invasiv BCI-potential att registrera aktiviteten hos enskilda neuroner. Men samtidigt är invasiva BCI-dators hårdvara inte placerad på cortexytan utan sätts

in i hjärnan för att nå djupare strukturer, som kan leda till flera olika komplikationer som infektion och vävnadsskador. Installation processens komplexitet och hjärnans bräcklighet utsätter patienten för olika risker som bör tas i beaktande. Detta gör det såklart svårare för forskare att testa och utveckla tekniken. Trots de olika problemen så har forskande inom invasiva BCI-datorer gjort framstegen inom invasiva BMI-system och förväntas gå ännu snabbare framåt under de kommande åren. På kort sikt kommer BMI att förbättra livskvaliteten för miljontals människor genom att återställa kommunikation och sensomotorisk funktion hos patienter som lider av ryggmärgsskador och andra neurologiska störningar. Framsteg inom dessa områden kan dessutom lätta på några av de begränsningar och risker som är förknippade med invasiv BMI-teknik, vilket gör invasiviteten värd risken för den slutliga användaren. Ett företag som spelar stor roll inom invasiva BCI-systems utveckling är Neuralink.

3 Vad är Neuralink?

Det finns märkbara skillnader mellan olika BCI-system och Neuralink. Neuralink är ett neurotekniskaföretag grundat av Elon Musk som bygger nästa generations invasiva BCI-dator som kallas Link. Precis som andra Elons företag skiljer sig Neuralink från sina konkurrenter med sina ambitiösa mål. Elon Musk har gjort det klart för resten av världen sedan starten av företaget i 2016 att deras mål inte slutar med medicinska tillämpningar. Elon har öppet kommenterat och till och med skämtat om möjligheter med Neuralink som mänskliga cyborgs och telepatisk kommunikation för att nämna några. Elon är duktig på att manipulera media och berätta om deras projekt som om de vore nära framgång. Trots kritik från andra yrkesverksamma inom branschen, Neuralink lyckats ta itu med problem som andra har inte löst tidigare.

Tekniken bakom Link datorn är mycket likadan som används med andra BCI-system. Datorn mäter nervimpulsernas aktivitet att med elektroder insatta i patients hjärna. Företagets verkställande direktör Elon Musk beskriver Neuralinks teknologi och prestationer i texten ” An Integrated Brain-Machine Interface

Platform With Thousands of Channels” i 2019. I texten skriver Musk att Neuralink systemet består av tre huvudkomponenter som skiljer dom från andra konkurrenter: ultrafina polymersonder, en neurokirurgisk robot och anpassad högdensitetselektronik. Neuralink har utvecklat en unik process att tillverka bästa möjliga neurala sonder att minimera förskjutandet. Sonder består delvist av polyimid, som kapslar in ett spår av en tunn guldfilm. Varje tunnfilmarray består av ett trådområde som har elektrodkontakter och spår och ett sensorområde där den tunna filmen gränsar till anpassade chips som möjliggör signalförstärkning och insamling. Fyra till sex mikrometer breda trådar överför insamlade data från elektroder placerad nära nervceller till en förpackad sensorenhet som fungerar som kärnan för allt teknologin runt datorn. Neuralink systemet innehåller totalt 96 polymertrådar, varje tråd innehåller 32 elektroder, vilket ger totalt 3072 elektroder som blir implementerade i patients hjärna med hjälp av Neuralinks neurokirurgisk robot. Denna neurokirurgiska robot spelar stor roll i processen. Med roboten har företaget lyckats nå 87,1% framgångsfrekvens för insättning och insättningshastighet på 29,6 elektroder per minut i snitt under 19 operationer med hjälp av neurokirurgiska roboten. Dessa resultat är oerhört viktiga för företaget eftersom målet är att bygga en produkt som ska vara enkel att installera och avinstallera.

Fyra till sex mikrometer breda trådar överför insamlade data från elektroder placerad nära nervceller till en förpackad sensorenhet som fungerar som kärnan för allt teknologin runt datorn. Denna kärnar består av fyra 256-kanals chip, vilket ger upp totalt till 1024 kanaler.

Nyckelproblem som andra har brottats med har varit komplikationer med att operera hårdvara under skallen så att operationen kan utföras säkert ur patientens perspektiv. Neuralink har lyckats att bygga ett flexibelt system tack vare storleken och sammansättningen av tunnfilmssonderna och neurokirurgiska robots som tillåter möjligheten att välja var våra sonder infogas. Med denna process möjliggör Neuralink användning av anpassade arraygeometrier för att rikta in sig på specifika hjärnregioner. Fördelningen av elektroder kan anpassas efter uppgiftens krav, vilket gör att Neuralink kan uppnå funktionen att skapa ett effektivt gränssnitt mellan hjärnan och maskinen.

3.1 Neuralink idag

Neuralink har jobbat hårt att kunna hålla sina företagshemligheter inom företaget. Källor använt att utforska Neuralinks system och senaste framgångarna är baserade på artiklar företaget har själv skrivit. Allt information som har läckts under senaste två år är antingen rakt från företagets webbsida och artiklar eller live presentationer företaget har hållit. Detta skulle man kunna ifrågasätta varför inte mer forskningsdata är öppet för andra. Men denna del kommer att berätta om de konkreta prestationerna företaget har lyckats med.

Neuralink har fortsatt att utveckla prototyper av Link datorn, neurokirurgiska roboten och mjukvara. Senaste prototypen heter N1 Link som består av likadana komponenter som tidigare nämnda versioner. Kolla bild 5 att se nyste prototypen av Link datorn. Utseendemässigt har företaget utvecklat maskinen till ett mer kompakt och användarvänligt system. Nya Link prototypen är ungefär samma storlek som 50 cents mynt som använder Bluetooth signaler att kommunicera med huvudenheten. Denna trådlösa fullimplanterade BCI datorn har blivit testade och presenterad i aktion på sommaren 2020 och våren 2021. På presentationen 2020 bevittnade publiken Link datorn streama 1 024 kanaler med aktionspotentialer trådlöst och i realtid. Link streama somatosensoriska signaler hos grisar som utforskar sin miljö. Det somatosensoriska systemet producerar uppfattningen av beröring, såväl som temperatur, kroppsposition och smärta. Denna demonstration var inget genombrott inom branschen men de visade för första gången för offentligheten hur deras produkt ser ut och lite hur den fungerar i dagens läge.

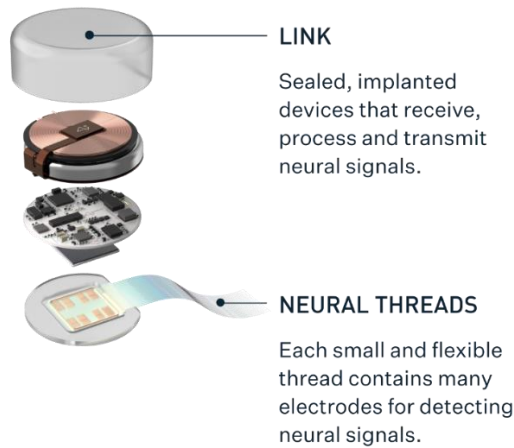


Bild 5. Nyaste Link prototypen.

På våren 2021 höll Neuralink deras hittills andra presentation. Denna presentation hölls online och allt material streamades från Neuralinks egna kanaler. Även publiken inte kunde bevittna demonstrationen på plats, var den mer tekniskt imponerande. I demonstrationen spelar en apa som heter Pager två olika tv-spel på en två dimensionell plattform med två Link datorer placerad i hans hjärna. Neuralink visar under presentationen hur dom registrerar och förutsäger Pagers neuralaktivitet med hjälp av 2048 elektroder och anpassad avkodningsprogramvara. Denna mjukvara tar in alla nervimpulsernas spikar från senaste tidsfönstret som är 25 millisekunder till 250 millisekunder. Mjukvaran använder denna data för att göra antaganden som syns som uppträder som rörelse på spelplanen.

4 Inmatning med Neuralink

I Neuralinks presentation i 2021 såg vi Pager apan utföra två olika uppgifter med användning av två implanterade Link datorer. Första uppgiften var utfört ungefär på samma sätt som Chet T Moritz och Eberhard E Fetz testade BCI teknologi i 2011. Pager rör en joystick-liknande kontroller att röra en markör på en tvådimensionell plattform. Pager rörde markören och fick belöning när den nådde sitt mål. Link datorn samlar in data från olika områden från hjärnan som är ansvariga att röra musklerna i armen avfyrningshastigheterna från tusentals neuroner. Dessa data används att kalibrera avkodaren och matematiskt modellerar

förhållandet mellan mönster av neural aktivitet och de olika joystickrörelserna de producerar. En stund senare utför Pager samma rörelse med kontroller, men den här gången är kontrollen inte kopplad till spelet. Link datorn rör markören på skärmen med insamlad och avkodad neural aktivitet från Pagers hjärna. Ett annat spel som Pager spelade var Pong spel, där han flyttar plattorna i spelet bara med att tanken på att flytta sin hand. I bilden 6 kan läsaren se Pager under spelets gång och en monitor som skickar live data från Pagers hjärna. Pager har inga problem att röra sina muskler, så hur ska någon som är förlamad kunna använda Link datorn? Neuralink hänvisar till en forskning som tidigare utförts av BrainGate-konsortiet som har visat att nervceller i den motoriska cortex förblir riktningstillda till rörelseavsikt även hos personer med förlamning. Detta betyder att en förlamad person kan kontrollera avkodaren med enbart hans tankekraft, för att ta ett exempel, kontroll personen tänker att hen flyttar på musen. Denna tanke att hen flyttar musen är tillräckligt för att följreaktionen skall ske.

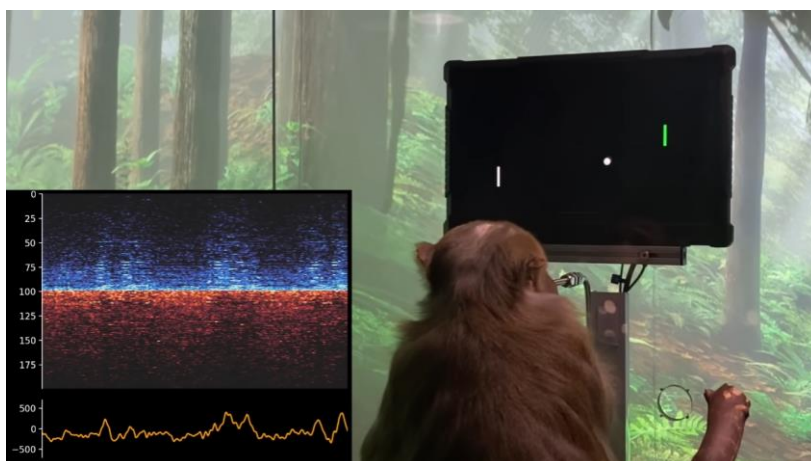


Bild 6. I vänstra hörnet syns neuralaktivitet i Pagers hjärna som spikar på skärmen. Data som elektroder insamlar presenteras som rad i den övre panelen. Blåa pixlar representerar de översta 100 elektroder med de starkaste uppåtriktade föredragna riktningarna. Råda pixlar representerar 100 starkaste nedåtriktade elektroder. Ljusare färger indikerar högre brännhastighet. Gula spikar stiger varje gång Pager rör plattan.

4.1 Links hastighet

Linkande teknik som Link har funnits länge. Redan 2002 lyckades en grupp av fyra forskare i USA få en apa att röra en markör på en skärm med BMI teknologi [8]. 2008 i en annan forskning matade en apa sig själv med hjälp av en robotarm [9]. 2012 första hjärnkontrollerade robotarm för en människa [10]. 2017 en människa kontrollerade en markör med sin hjärna för att skriva ut ord och meningar [11]. I 2018 styrde en människa med sin hjärna en surfplatta för att göra dagliga uppgifter som att surfa på webben, använda e-post och spela spel [12]. Vad är det som är då så speciellt med Neuralink och deras Link dator? Skillnaden är helt enkelt de hastigheter som Link kan uppnå.

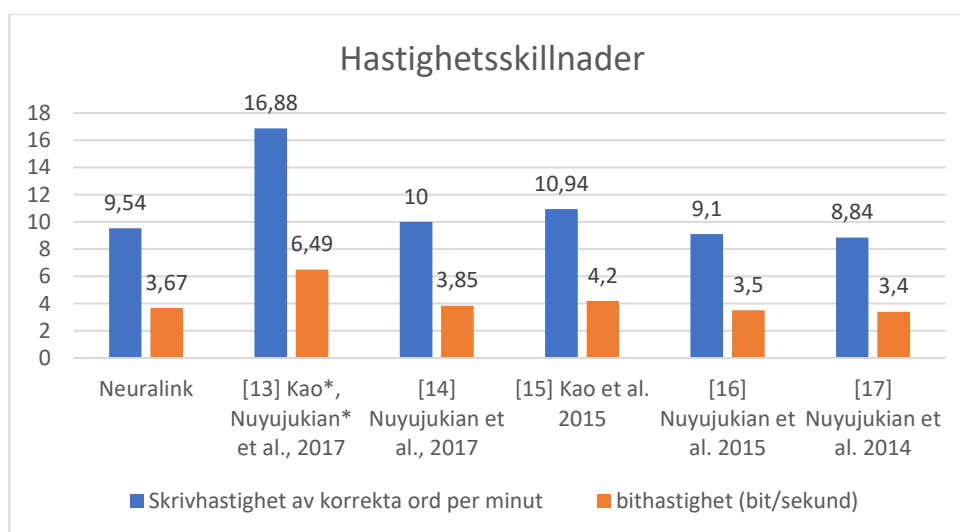
Joseph O'Doherty, en neuroingenjör på Neuralink och chef för dess hjärnsignalteam beskriver Links kunskaper och tekniken bakom systemet i en artikel skrivet på IEEE Spectrums webbsida. Den maximala bandbredden Link datorn är kapabel att nå med sina 1024 kanaler är 2500 kilobytes per sekund, men systemet kräver bara 20 kilobytes per sekund att kunna samarbeta med ett externt system. Link datorn upptäcker spikar mellan neuroner inom ett tidsfönster på 25 millisekunder, det vill säga externa systemet får input från Link datorn 400 gånger per sekund att till exempel röra en kursor på en skärm. Kombination av tätt packade kanaler och snabb avkodare möjliggör Pager att spela Pong spelet i imponerande hastigheter. Joseph är väldigt medveten om andras vetenskapliga framgångar på området, och kommenterar i intervjun på följande sätt "Vi har ett internt mål att försöka slå världsrekord när det gäller informationshastighet från BMI. Vi är extremt nära att överträffa vad vi vet är det bästa resultatet". Det vill säga att Link är inte ens den snabbaste BCI systemet ännu. Men enligt Joseph Neuralink har så utvecklat teknologi att det är bara en tidsfråga innan de blir överlägsna i branschen.

5 Var är BCI teknologi och Neuralink idag?

Förväntningar för teknologin inom olika användare kan vara mycket annorlunda. Här jämför vi Neuralinks Link dator med olika motståndare inom branschen och tar i beaktande vad andra experter inom detta område har att säga. "Bästa

resultatet” som Joseph refererar till är från en forskning ”Performance Considerations for General-Purpose Typing BCIs, Including the Handwriting BCI” gjort i 2021 gjort av fyra forskare från Stanford universitet. I undersökning jämförde forskare fyra olika funktioner inom olika BCI datorer, dessa funktioner var skrivhastighet av korrekta tecken per minut (ccpm, ”correct characters per minute”), skrivhastighet av korrekta ord per minut (cwpm, ”correct words per minute”), bithastigheter (bps, ”bits per second”) och informationsöverföringshastigheter (ITR, ”information transferrate”). Den här avhandlingen koncentrerar sig på skrivhastighet av korrekta ord per minut (cwpm) och bithastigheter (bps).

I forskningen märkte dom flera skillnader mellan Neuralink och deras konkurrenter. Som Joseph sa på IEEE:s webbsida är Neuralink inte den snabbaste BCI-datorn på marknaden. Om man jämför värden man kan hitta från tabell ett, märker man att bithastighet hos den snabbaste BCI-datorn var 177% snabbare jämfört med Link datorn Neuralink använde med Pager. Användaren var kapabel också att skriva korrekta ord med samma BCI-dator 177% snabbare än Pager. Från Formell ett och två kan man hitta matematiska bakgrunden för statistiken. När man tittar på statistiken är det viktigt att komma ihåg att sambandet mellan elektroder och prestanda är olinjärt. Med flera kanaler kan man få exaktare data eller data från en större område. Kolla tabell 2 för att se skillnader mellan mängden elektroder använt i olika forskningar.



Tabell 1. Hastighetsskillnader bland olika BCI datorer.

$$T = \frac{\max(S_c - S_i, 0)}{5 t} \text{ cwpm}$$

Formel 1. skrivhastighet av korrekta ord per minut (cwpm)

T = skrivhastigheten av korrekta ord per minut

S_c = det korrekta antalet symboler som sänds på en minut under tidsperiod t.

S_i = är det felaktiga antalet symboler som överförs på en minut under tidsperiod t.

t = mätintervallet

$$B = \frac{\log_2(N-1) \times \max(S_c - S_i, 0)}{t} \text{ bps}$$

Formel 2. Bithastighet (bps)

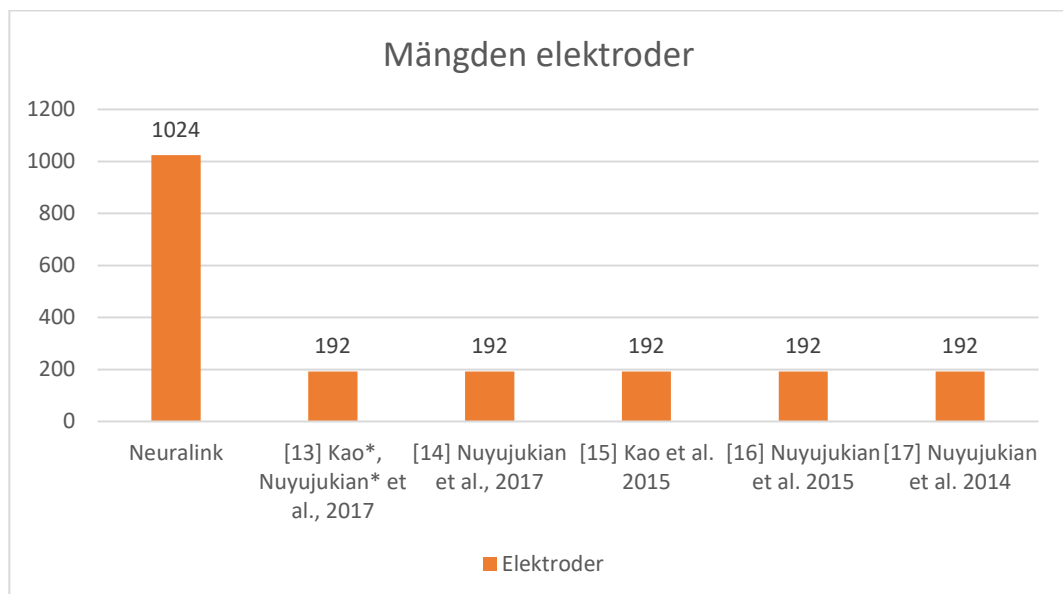
B = den uppnådda bithastigheten i bitar per sekund

N = antalet valbara symboler på gränssnitt

S_c = det korrekta antalet symboler som sänds på en minut under tidsperiod t.

S_i = är det felaktiga antalet symboler som överförs på en minut under tidsperiod t.

t = mätintervallet



Formel 2. Mängden elektroder per BCI-system.

5.1 Neuralinks framtid

Neuralink är helt tydligt inte den snabbaste BCI-datorn idag på marknaden, med framtiden ser ljus ut enligt många. Paul Nuyujukian är en assisterande professor i

bioingeniering och neurokirurgi och leder hjärna gränsitt-laboratoriet i Stanford universitet. Paul har jobbat som forskare inom branschen för senaste 15 år, och har följt Neuralink mycket noga sedan det startade. Paul är inte på något sätt kopplad till Neuralink, men har öppet tala om sina åsikter som expert inom det neurovetenskapliga området. Paul ser mycket bra med Neuralink och Link prototypen och deras framtid.

Det som skiljer Link datorn från sina konkurrenter är dess unika egenskaper. Link är en liten trådlös dator som innehåller nästan tio gånger mer elektroder än andra datorer inom branschen. Varje elektrod fungerar som en kanal mellan huvudenheten och spikar som uppstår mellan neuroner som Link vidareför som digitala ettor och nollor. Med denna kapacitet bör prestanda kunna överträffa allt som har uppnåtts tidigare. Dessutom när andra system som Link jämfördes med tidigare som innehöll bara 192 elektroder. Trots att systemet är cirka 20 år gammalt är det fortfarande ett populärt system inom forskningen då det för närvarande är det senaste kliniskt godkända systemet, vilket innebär att du kan testa systemet med människor.

Konklusion

Neuralink har inte ännu börja med sina kliniska tester med människor, så det blir svårt för läsaren att dra en slutsats av Neuralinks läge idag. Alla saker tidigare sagt, är BCI teknologin inte ännu någonting som en vanlig människa borde ta i beaktandes. Men Neuralink drar branschen snabbare framåt än någon annan förut. Vi kommer knappast att se vanliga människor med Link datorer kopplade till deras hjärna snart. Men Mål som företaget har satt och dessa framsteg dom har tagit under senaste 5 år, kan vi förvänta oss en maskin som hjälper dom som behöver hjälp mest. Det vill säga människor som har blivit förlamade efter en olycka eller lider av psykiska sjukdomar. Neuralink har stor potentiell att förändra världen med deras användarvänligt gränssnitt och apparat. Denna apparat kan positivt förändra livskvaliteten för många människor.

Det finns ännu öppna frågor angående operationen, användares inlärningskurva, systemets livslängd hos en patient och många andra. Men till allt det får vi säkert

svaret efter Neuralink får lov att börja kliniska prövningar med mänskliga patienter. Som sagt tidigare, om en apa lärde sig använda BCI-dator efter några minuter, hur länge kan det ta för en människa att vänja sig?

Källor:

Böcker:

[5] Rao, R. (2013). *Brain-Computer Interfacing: An Introduction*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139032803

Artiklar:

[1] Nervous System. (2021, February 28).

<https://bio.libretexts.org/@go/page/46315>

[2] Kawala-Sterniuk A, Browarska N, Al-Bakri A, et al. Summary of over Fifty Years with Brain-Computer Interfaces-A Review. *Brain Sci.* 2021;11(1):43.

Published 2021 Jan 3. doi:10.3390/brainsci11010043

[3] Kübler, A. The history of BCI: From a vision for the future to real support for personhood in people with locked-in syndrome . *Neuroethics* 13, 163–180 (2020).

<https://doi.org/10.1007/s12152-019-09409-4>

[4] https://pure.mpg.de/rest/items/item_2281721/component/file_2281720/content

Berger, H. 1929. Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten* 87 (1): 527–570

[5] Rao, R. (2013). *Brain-Computer Interfacing: An Introduction*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139032803

[6] Musk E, Neuralink, An Integrated Brain-Machine Interface Platform With Thousands of Channels. *J Med Internet Res* 2019;21(10):e16194. URL:

<https://www.jmir.org/2019/10/e16194> DOI:10.2196/16194

[7] <https://spectrum.ieee.org/elon-musk-brain-neuralink#toggle-gdpr>

[8] Serruya, M., Hatsopoulos, N., Paninski, L. *et al.* Instant neural control of a movement signal. *Nature* 416, 141–142 (2002). <https://doi.org/10.1038/416141a>

[9] Smith, K. Monkeys move paralysed muscles with their minds. *Nature* (2008).
<https://doi.org/10.1038/news.2008.1170>

[10] Hochberg LR, Bacher D, Jarosiewicz B, Masse NY, Simeral JD, Vogel J, Haddadin S, Liu J, Cash SS, van der Smagt P, Donoghue JP. Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm. *Nature*. 2012 May 16;485(7398):372-5. doi: 10.1038/nature11076. PMID: 22596161; PMCID: PMC3640850.

[11] Gilja V, Pandarinath C, Blabe CH, Nuyujukian P, Simeral JD, Sarma AA, Sorice BL, Perge JA, Jarosiewicz B, Hochberg LR, Shenoy KV, Henderson JM. Clinical translation of a high-performance neural prosthesis. *Nat Med*. 2015 Oct;21(10):1142-5. doi: 10.1038/nm.3953. Epub 2015 Sep 28. PMID: 26413781; PMCID: PMC4805425.

[12] NUYUJUKIAN P, ALBITES SANABRIA J, SAAB J, PANDARINATH C, JAROSIEWICZ B, BLABE CH, ET AL. PLOS ONE 13(11): E0204566

[13] Kao, J. C., Nuyujukian, P., Ryu, S. I. & Shenoy, K. V. A high-performance neural prosthesis incorporating discrete state selection with hidden Markov models. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 64, 935–945.
<http://dx.doi.org/10.1109/TBME.2016.2582691> (2017).

[14] Nuyujukian, P., Kao, J. C., Ryu, S. I. & Shenoy, K. V. A nonhuman primate brain–computer typing interface. *Proc. IEEE* 105, 66–72.
<http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2016.2586967> (2017)

[15] Kao, J. C., Nuyujukian, P., Ryu, S. I., Churchland, M. M., Cunningham, J. P. & Shenoy, K. V. Single-trial dynamics of motor cortex and their applications to brain-machine interfaces. *Nature Communications* 6, 7759.
<http://dx.doi.org/10.1038/ncomms8759> (2015)

[16] Nuyujukian, P., Fan, J. M., Kao, J. C., Ryu, S. I. & Shenoy, K. V. A high-performance keyboard neural prosthesis enabled by task optimization. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 62, 21–29. <http://dx.doi.org/10.1109/TBME.2014.2354697> (2015).

[17] Nuyujukian, P., Kao, J. C., Fan, J. M., Stavisky, S. D., Ryu, S. I. & Shenoy, K. V. Performance sustaining intracortical neural prostheses. *J. Neural Eng.* 11, 066003. <http://dx.doi.org/10.1088/1741-2560/11/6/066003> (2014).

Bilagor

Bilder

1 Thomas Spletstoesser (<https://www.scistyle.com/>)0

2 <https://ieeexplore.ieee.org/document/8974470>

3 & 4 Volitional control of single cortical neurons in a brain–machine interface, Chet T Moritz och Eberhard E Fetz 2011

(<https://depts.washington.edu/fetzweb/assets/moritz---fetz-jne-2011.pdf>)

5 <https://neuralink.com/blog/monkey-mindpong/>

Formler:

Formel 1:

P. Nuyujukian, J. M. Fan, J. C. Kao, S. I. Ryu and K. V. Shenoy, "A High-Performance Keyboard Neural Prosthesis Enabled by Task Optimization," in *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 62, no. 1, pp. 21-29, Jan. 2015, doi: 10.1109/TBME.2014.2354697.

Formel 2:

P. Nuyujukian, J. C. Kao, S. I. Ryu and K. V. Shenoy, "A Nonhuman Primate Brain–Computer Typing Interface," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 105, no. 1, pp. 66-72, Jan. 2017, doi: 10.1109/JPROC.2016.2586967.

