

# Bilag 2 - Journal: Transformer i realtid med klassifikation af bevægelser, koblet til robotarmen

*Udført af: Tobias Bendix Nielsen*

*Formål: Test af Transformer-model i realtid på multimodal biosignaldata – og kobling til robotarm*

*Før eksperimentet*

## Indledende idéer og hypoteser

(Hvilke spørgsmål kan undersøges, hvilke(n) sammenhæng(e) forventer I at se og hvorfor og hvilke eksperiment(er) kan I så lave for at besvare disse spørgsmål)

Eksperimentets indledende spørgsmål var:

- Kan bevægelser forudsiges af en transformer-model, der er trænet på intentionen om en bevægelse, baseret på EEG-, EMG og IMU-data fra en enkelt testperson?

Det forventes modellen med høj præcision kan forudsige og klassificere ens bevægelser som binære-talværdier, da modellen er trænet på en enkelt person, samt forskellige bevægelses-målinger er foretaget. Yderligere er flere forskellige armbevægelser udført, mens initieringen af bevægelser er markeret i data, således Bereitschaftpotentialer kan identificeres.

Modsat Bilag 3, der benytter offentlig datasæt, beskriver dette bilag realeitdsmålinger foretaget på mig med egenudviklet udstyr. Formålet er at undersøge praktisk anvendelse og robusthed af modellen i virkelige situationer

## Metodebeskrivelse

(Beskriv hvordan I vil udføre eksperimentet, brug meget gerne en tegning. Argumenter for variabelkontrol. Dette afsnit skal gøre at I kan lave en tabel i Excel med en kolonne til jeres uafhængige variabel og en kolonne til jeres afhængige variable, sådan at I er klar til at notere måleresultater)

Jeg vil først bygge et fungerende EEG/EMG/IMU måleinstrument, som skal synkroniseres til at måle de nævnte signaler samtidig. Jeg skal sikre at instrumenterne har samme samplingrate, da ellers vil blive downsamplet. Jeg vil også lave signalfiltrering på rådata ved båndpas og notch-filter, for at fjerne irrelevante bølgeområder og frekvenser fra dataet. Således sikres mest mulig støjfrit og rent data. Et wearable EEG-headset, til målinger, skal også bygges, hvor elektroder på mastoid, ground, C3, C4 og Cz skal placeres efter det internationale 10 / 20 system. Jeg planlægger at bruge en badehat som headset.

EMG elektroder skal placeres på: *M. biceps brachii*, *M. triceps brachii lateral*, *M. triceps brachii long head* og *M. flexor digitorum superficialis*, og ground/reference

Samtidig skal 3 Inertial Measurements Units (IMU) placeres ved håndleddet, underarmen og overarmen på mig, så jeg simultant kan måle bevægelsen af min arm. Hver bevægelse skal kodes til en binærtalværdi, som er output fra min Transformer-model. Dermed kan modellen forudsige en bevægelse, ved at forudsige en specifik binærværdi. Forneden vises en tabel med bevægelsestyperne og deres tilsvarende binæreværdier.

Bevægelse	Ingen bevægelse (baseline)	Sammentrækning af underarm	Udstrækning af underarm	Hævning af arm	Sænkning af arm	Supination af håndled	Pronation af håndled
Billede af bevægelse							
Binærværdi	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110

Figur 1: Tabel med de forskellige bevægelser.

Så skal jeg opsamle data, hvor jeg gemter det på min PC som enten .txt eller .csv filer, som derefter skal behandles og analyseres, til at træne Transformer-modellen på.

## Materialer/apparatur

(Skriv en liste over de ting I vil bruge til forsøget)

- EMG-udstyr
  - o 6 EMG overfladeelektroder til *M. biceps brachii*, *M. triceps brachii lateral*, *M. triceps brachii long head* og *M. flexor digitorum superficialis*, og referencen der placeres ovenpå en knogle, f.eks. albuen, samt en ground elektrode
  - o Muskelsensor, elektroder og forstærker: [https://dk.farnell.com/seeed-studio/101020058/sensor-board-emg-detector/dp/3932088?gross\\_price=true&CMP=KNC-GDK-GEN-Shopping-Pmax-Low-ROAS-Test-1333&mckv=\\_dc|pcrid||&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiA5Ka9BhB5EiwA1ZVtvGMhEqB8ZbBU5WmGhVmRffqmNQTLqKzPfbhK8RBB1TypUqhiFAYBlBoC0PAQAvD\\_BwE](https://dk.farnell.com/seeed-studio/101020058/sensor-board-emg-detector/dp/3932088?gross_price=true&CMP=KNC-GDK-GEN-Shopping-Pmax-Low-ROAS-Test-1333&mckv=_dc|pcrid||&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA5Ka9BhB5EiwA1ZVtvGMhEqB8ZbBU5WmGhVmRffqmNQTLqKzPfbhK8RBB1TypUqhiFAYBlBoC0PAQAvD_BwE)
- 3 IMU'er til at opfange ændringer v. underarm, overarm og håndled, LoggerPro
- Sprit og vat tilrens af arm
- Software til EEG og EMG
- En komfortabel stol og bord
- Et mørkt, still og roligt rum → så få stimuli og artefakter som muligt
- 3 / 4 kameraer, til optagelse af eksperiment

## Sikkerhedsmæssige overvejelser

(Er der nogle sikkerhedsaspekter der skal tages hensyn til, enten over for deltagende personer, udstyr eller for eksperimentets resultat)

Udstyret er selvbygget og dermed ikke af bedste kvalitet samt en smule skrøbeligt. Derfor skal det behandles nøjsomt og forsigtigt. Det skal sikres elektroder placeres helt korrekt, da jeg ellers vil optage forkert data. EEG-badehatten skal sidde behageligt og fast på testpersonen, således mindst-støjfyldte EEG-signaler optages. Det er vigtigt at vaske håret, smøre EEG-elektroderne med elektrodegel, smøre armen med sprit, for at sikre præcise datamålinger. Al udstyres skal forbindes og startes samtidig, sikret med et synchroniseringsboard. Der må ikke foregå andre bevægelser bag personen, da IMU'er kan opfange forkerte målinger. Det skal sikres alle ledninger sidder stramt.

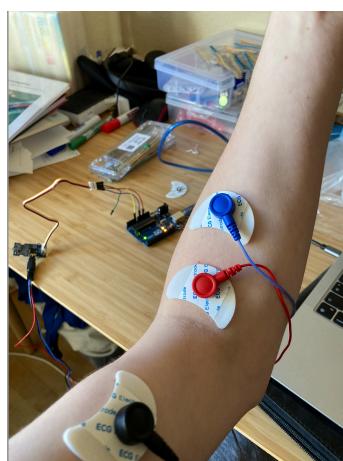
Efter eksperimentet:

## Fremgangsmåden

(Forklar med tekst og tegninger/billeder præcis hvad I gjorde)

Jeg skal først bygge mit EEG og EMG setup og teste deres koder hertil, for at sikre systemet virker. Derefter vil jeg montere EEG-hatten på mit hoved, hvor jeg opmåler hovedet efter det internationale 10 / 20 EEG system, så elektroderne er placeret helt korrekt. Disse placeres på C3, C4, Cz, AFz og FCz, hvor jeg først skal vaske mit hår og smørre elektroderne i elektrodegel, for at reducere impedansen. Bagefter vil jeg tape hatten helt fast på mit hoved, så elektroderne ikke flyttes ud af sted, hvorefter EMG udstyret opsættes. På figurerne forneden vises elektrodeplaceringerne og færdige EEG opsætning.

Jeg vil først vanske min højre arm, og spritte den da, for at fjerne flest urenheder som muligt. Elektroder skal placeres på *M. biceps brachii*, *M. triceps brachii lateral*, *M. triceps brachii long head* og *M. flexor digitorum superficialis*, og referencen ovenpå en knogle i armen. Figuren forneden viser hvorhenne:



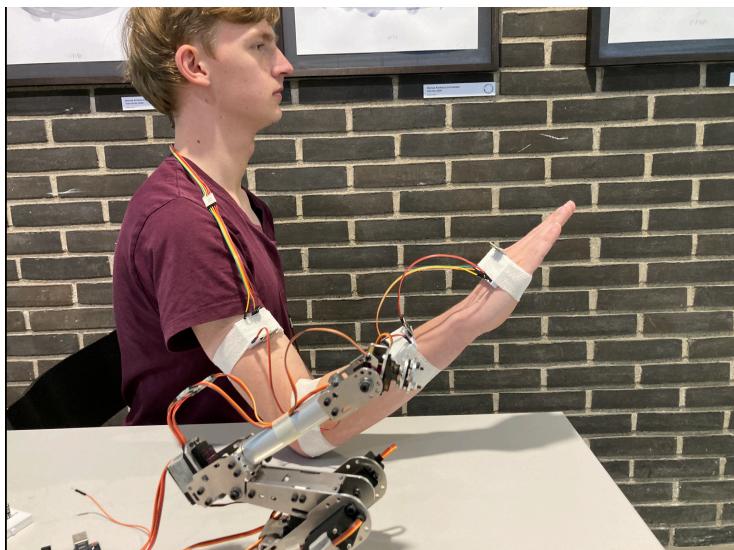
Figur 2: EMG-setup, m. elektroder på min arm<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Eget værk

Derefter forbindes begge systemer til strømforsyningen og min computer, så dataindsamlingerne kan påbegyndes. Jeg skal sidde på en komfortabel stol i et stille og roligt rum uden mange stimuli, for at sikre så få artefakter som muligt. Med øjnene skal jeg kigge hele tiden på et sort kryds på væggen foran mig, så jeg kun er koncentreret om bevægelserne og krydset.

Samtidig skal IMU'er monteres på min underarm, overarm og håndled på højre arm. Disse skal tændes samtidig med EMG og EEG udstyret, og indsamle data om bevægelserne af min arm. Disse data kan bruges til at krydskorrelere EMG-dataet, da EMG ofte kan være støjfyldt. IMU'er fortæller også om hvordan og hvilken retning bevægelsen sker. Jeg kan altså få informationer om hastighed, acceleration, vinkelændringer samt intensitet af bevægelsen. På figuren forneden er IMU-placeringerne vist.



Figur 3: Placeringen af IMU'er på min arm<sup>2</sup>

Med min højre arm skal jeg udføre bevægelserne nævnt i tabellen før (f.eks. sammentrækning, udstrækning, pronation og supination), men kun 2 modsvarende bevægelser i hver datamåling, f.eks. at trække armen sammen og trække den ud. Dette gøres for bedst muligt at identificerer Bereitschaftspotentialet<sup>3</sup> bag disse bevægelser. Hver datamåling skal være 3 minutter, hvor jeg laver en bevægelse hver 20. sekund, som skal være cirka 5 sekunder. Hertil skal et LED lys tændes, for at markere startpunktet for bevægelsen, og slukkes igen når bevægelsen skal stoppe. Dette interval skal markeres inde i både EEG og EMG-signalerne

Efter hver fuldendt dataopsamling, vil jeg holde 5 minutters pause for at slappe efter bevægelserne, og aflaste mine muskler. Herefter påbegyndes nye datamålinger på præcis samme måde, blot hvor 2 nye bevægelser udført.

---

<sup>2</sup> Eget værk

<sup>3</sup> En ændring i amplituden af EEG, som opstår i en intentino, der typisk er 0,5 sekunder til 2,0 sekunder før en bevægelse.

Med alt data indsamlet, er jeg klar til at lave databehandling over disse. Dette data blev signalbehandlet og derefter brugt til at træne min udviklet Transformer-model<sup>4</sup>.

Udover at måle på mig selv, vil jeg i fremtiden lave samme målinger på min far, som har Parkinsons, og få ham til at lave bevægelser som mig. En anden transformer-model (samme kode), skal derfor trænes på hans data, og ligeledes vurderes dets evner til at klassificerer forudsagte bevægelser som binære-talværdier.

## Observationer/Måleresultater/Databehandling

(Opskriv observationer og måleresultater opnået under eksperimentet. Hvilke sammenhænge viser jeres observationer og/eller måleresultater? Hvad viste undersøgelsen?)

*Dette gør man ved at indsætte tabel og graf med tendenslinje fra Excel, grafen skal have aksetitler. Har man målt en størrelse i en enhed der ikke er SI-enheden, er det en god ide at lave den om, så alle data på grafer er i SI-enheder.*

*Under grafen skrives ligningen man finder ved regressionen, og man skal huske at udskifte x og y med de rigtige symboler for den afhængige og den uafhængige variabel, og tallene i ligningen skal have enheder. Har man en tabelværdi for størrelsen man ønsker at bestemme med eksperimentet beregnes også den procentvise afvigelse.)*

Her kommer resultaterne fra forsøget i fremtiden, hvor der blev udført signalbehandling, i form af båndpas filtre, notchpas m.m. Evalueringstrikkerne skal være: F1-score, AUC, præcision, confusion-matrix og inferenstid.

Det forventes på baggrund af resultaterne at Transformer-modellen har høj klassifikationspræcision, og kan dermed nøjagtigt forudsige og identificere en bevægelse baseret på den målte intention i EEG, som skal trænes sammen med EMG/IMU-data. Modellen kan derfor effektivt forudsige ens bevægelser baseret på ens tanker.

## Belæg

(Hvilke resultater og fortolkninger kan I bruge som argumentation for jeres konklusioner. *Her skal man gentage de vigtigste resultater, sådan at det er tydeligt hvad man er kommet frem til og hvor gode ens resultater er, dette gør at man nemmere kan gå til diskussionen)*)

Det forventes Transformer-modellen opnår høj klassifikationspræcision af både offline og realtid-datasæt. Evalueringen forventes at en gennemsnitlig F1-score på X, en AUC-score på Y, og lav inferenstid, hvilket betyder, at modellen kan forudsige bevægelser i realtid. Confusion-matrix forventes at vise en klar adskillelse mellem de binære bevægelsesklasser, og ROC-kurven kan også bekræfte modellens klassifikationsevne.

Det forventes robotarmen reagerer på de binære signaler fra modellen med korrekt bevægelsesrespons i realtid, hvilket viser at pipelinen: intention → Transformer → aktuator, fungerer i praksis. Jeg har altså et solidt fundament at videreudvikle projektet på.

---

<sup>4</sup> Se bunden af bilag for modellens kode.

## Diskussion

(Svarer jeres resultater til det som andre (forskere, tabelværdier, naturkonstanter) har fundet? Inddrag eventuelle usikkerheder og fejlkilder der har haft betydning for eksperimentet)

Det forventes at resultaterne stemmer overens med tidligere forskning i bevægelsesforudsigtelse med EEG/EMG (Kueper, et al., 2024), (Silva-Acosta & et al., 2021), (Mahmoodi & et al., A new method for accurate detection of movement intention from single channel EEG for online BCI, 2021), som viser, at EEG- og EMG-signaler rummer tilstrækkelig information til at forudsige bevægelser.

En vigtig styrke af dette eksperiment, er at jeg introducerer en tredje modalitet, IMU, da disse understøtter EMG i at finde bevægelser, og reducerer risikoen for fejlklassificering. Tidligere forskning, (Silva-Acosta & et al., 2021) har også vist muligheden for at måle EEG/EMG og IMU samtidig, for at øge kvaliteten af det neurale netværks forudsigelsesevne.

Eksperimentet har også begrænsninger og usikkerheder:

- EEG-data kommer fra hjemmelavet udstyr, hvilket potentielt kan reducere signalets kvalitet
- Der kan være variabilitet i elektrodernes kontaktkvalitet - især under bevægelses, da disse kan risikere at blive flyttet utilsigtet rundt, og måle forkerte signaler
- Da data kun er indsamlet fra "én rask", er generaliserbarheden endnu begrænset
- Modellen er kun testet på seks bevægelsestyper, hvilket gør det svært at vurdere skalerbarhed til frie bevægelser.

Alligevel peger forsøget tydeligt på, at transformer-arkitekturen kan generalisere velkendte intentionelle bevægelser, selv under let støj.

## Refleksion

(Hvad er svaret på de(t) stillede spørgsmål. Hvad har I lært, såvel eksperimentelt som teoretisk?)

Projektet forventes at vise, at det er muligt at bruge kunstig intelligens – specifikt en transformer-arkitektur – til at forudsige motoriske intentioner ud fra EEG-, EMG- og IMU-data. Systemet kan omsætte intentioner til mekaniske bevægelser i realtid, hvilket åbner nye muligheder for assisterende teknologier til personer med bevægelsesforstyrrelser.

### Transformer-koden

Kan findes i: [https://github.com/TobiasBN1005/From-thought-to-movement/tree/main/Main\\_AI\\_model](https://github.com/TobiasBN1005/From-thought-to-movement/tree/main/Main_AI_model)

### Arduino-robotarm-kode

Kan findes i: <https://github.com/TobiasBN1005/From-thought-to-movement/tree/main/Robotarm>