

Populärvetenskaplig sammanfattning

Signalmodellering och datareducering för trådlösa gränssnitt mot hjärnan

(Signal modeling and data reduction for wireless brain machine interfaces)

Palmi Thor Thorbergsson

Att ta reda på vad det är som styr våra beteenden och känslor har länge varit en drivande faktor inom neurovetenskapen. Genom att titta på hjärnans neurala aktivitet på olika detaljnivåer i samband med beteende, så kan man så småningom få fram en bild av de bakomliggande systemen och således kan man bygga modeller som kan användas för att studera t.ex. minne, inlärning och smärta. Den uppmätta aktiviteten kan variera från att representera den samlade elektriska signalen som uppstår som följd av informationsbehandlingen hos ett stort nätverk av nervceller, till att representera de elektriska strömmar som uppstår när enstaka nervceller aktiveras. Dessa metoder resulterar i signaler vars upplösning skiljer sig i både tid och rum. Kunskapen som uppstår genom denna typ av studier kan ge upphov till nya behandlingsmetoder för patienter med neurologiska sjukdomar, så som Parkinsons sjukdom och epilepsi. Den uppmätta signalen kan även användas för att generera kontrollsignaler för proteser, rullstolar och andra hjälpmedel som kan behövas för att öka livskvalitén hos patienter med nervskador.

En viktig mätmetod som används inom neurovetenskapen är extracellulära mätningar med implanterade mikroelektroder. Denna typ av mätning bygger på att den uppmätta spänningen i det extracellulära rummet som omger nervcellerna påverkas av strömmen genom cellernas membran som uppstår när cellerna aktiveras och genererar aktionspotentialer. Den extracellulära signalen består därför bl.a. av summan av spänningarna som uppstår som följd av membranströmmar hos ett mycket stort antal nervceller.

För celler som ligger tillräckligt nära den implanterade elektroden kan aktionspotentialen ge upphov till en tillräckligt stor spänningsändring för att man ska kunna detektera denna i bakgrundsbruset, som till störst del representerar aktiviteten hos celler som ligger längre bort. Den extracellulära representationen av en aktionspotential kallas för en "spik". Eftersom spikens utseende beror dels på det spatiella förhållandet mellan elektroden och nervcellen och dels på nervcellens typ, så finns det ofta små skillnader mellan utseendet hos spikar från olika nervceller. Detta gör att de detekterade spikarna kan sorteras och tilldelas identiteter utifrån vilken nervcell de uppstod ifrån. Med spikdetektering och spiksortering kan man alltså dela upp den uppmätta spik-aktiviteten mellan cellerna, vilket gör att de enstaka cellernas aktivitetsmönster kan karakteriseras och t.ex. kopplas till ett visst beteende eller användas för att generera kontrollsignaler för en protes.

Genom att implementera trådlösa gränssnitt för att genomföra mätningarna som har beskrivits hittills, så undviker man några av begränsningarna som trådbundna mätsystem medför. Trådbundna gränssnitt kan t.ex. begränsa patientens rörelsefrihet, vilket är en stor nackdel, både i kliniska sammanhang och vid studerandet av normalt beteende. En annan faktor som gör trådbundna

gränssnitt mindre attraktiva är risken för infektioner och andra komplikationer som kan uppstå pga. trådar som passerar genom huden.

Det trådlösa gränssnittet behöver förmedla enorma mängder information. Dessutom ställer vi kravet att den implanterade delen av gränssnittet inte ska behöva avlägsnas eller bytas ut t.ex. pga. tomma batterier. Detta, i kombination med den förhållandevis begränsade kapaciteten hos trådlösa kommunikationssystem, gör att vi behöver enkla metoder för att reducera eller komprimera informationen innan den skickas över den trådlösa länken för att sedan analyseras i en extern dator. Enkla datareduceringsmetoder gör att man med små energiresurser kan försäkra att den trådlösa kanalens kapacitet utnyttjas på bästa möjliga sätt.

Datareduceringen får dock inte minska informationsinnehållet i den transmitterade datan på ett sätt som påverkar resultaten i den neurofysiologiska analysen, som oftast utgörs av spikdetektering och –sortering. Det är därför i högsta grad viktigt att man väljer datareduceringsmetoder med hänsyn till hur prestandan i dessa analyssteg påverkas. Därför behövs det tillgång till test signaler vars informationsinnehåll är känt i förväg, så att man på ett objektivt och kvantitativt sätt ska kunna utvärdera prestandan i den neurofysiologiska analysen när den utförs på reducerad data. Modellerna som används för att ta fram test signalerna måste, på ett realistiskt sätt, fånga upp de karakteristiska egenskaperna hos riktiga signaler och de måste vara tillräckligt flexibla för att tillåta kontrollerade experiment under olika mätförhållanden. Dessutom är låg beräkningskomplexitet att föredra eftersom denna ofta leder till enklare användning och snabbare resultat.

Det är modelleringen av den extracellulära signalen samt utvärderingen av enkla datareduceringsmetoder som är huvudämnen i denna avhandling. Olika signalmodeller med olika realistiska egenskaper har tagits fram och visat sig vara användbara för att generera test signaler med realistiska egenskaper. Modelleringsdelen har resulterat i en beräknings- och minneseffektiv metod för att simulera flerkanalregistreringar där det spatiella beroendet av uppmätta spikar representeras med hög noggrannhet.

Modellerna har använts för kvantitativ utvärdering av spikdetekterings och –sorteringsalgoritmer under olika registreringsförhållanden och med enkla datareduceringsmetoder. Datareduceringsmetoderna har omfattat minimering av rådata genom minimering av samplingsfrekvens och –upplösning, samt kompression med fixerade kompressionsbaser som kräver minimal beräkningsintensitet hos implantatet. Detta har resulterat i framtagandet av riktlinjer för valet av samplingsparametrar under givna omständigheter, vilket är användbart vid dimensioneringen av mätsystem av den typen som behandlas här; i synnerhet trådlösa system. Våra resultat tyder på att det stereotypiska utseendet hos spikar gör att man kan lämna beräkningsintensiva steg som optimering av en kompressionsbas åt sidan utan signifikant förlust i prestanda i den följande neurofysiologiska analysen. Modellerna har även använts för att studera hur fysiska elektrodrörelser översätts till ändringar i morfologin hos detekterade spikar.