

ELABORAREA UNUI BRAȚ ROBOTIC CONTRALAT PRIN POTENȚIALE ELECTRICE COLECTATE PRIN EEG

Mihai BRÎNZĂ*, Cristian LUNGU

Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Mihai Brînză, mihai.brinza@mib.utm.md

Rezumat. Această lucrare prezintă o integrare a unui sistem de manipulare prin modul bluetooth declanșat de EEG (electroencefalografic) și a unui sistem motor cu un corp realizat din PLA (poliacid lactic) având mișcări realizate prin intermediul a câtorva servomotoare. Corpul PLA a fost asamblat pentru a forma un braț robot, unde fiecare articulație a fost controlată de un servomotor. Folosind un modul Bluetooth pentru transmiterea datelor, prin colectarea EEG, rezultatul ne-a arătat că mișcările simple și planificate sunt obținute printr-un singur impuls. Rezultatele obținute și alte numeroase experimente arată potențialul excelent de combatere a problemei dizabilităților motorii și integrarea acestei tehnologii atât în medicină, în industrie, dar și în domeniul didactic.

Cuvinte cheie: braț robotic, EEG, bluetooth, model, motorică, bucle.

Introducere

Vindecarea dizabilităților motorii la diferiți pacienți depinde de nivelul traumei după accident sau de orice alt motiv al dizabilității motorii. Există deja diferite cercetări pe această temă referitoare. Controlul direct al creierului al sistemelor robotice avansate promite îmbunătățiri substanțiale în îngrijirea sănătății, de exemplu, pentru a restabili controlul intuitiv al mișcărilor mâinilor necesare pentru activitățile din viața de zi cu zi [1]. Deși sunt cercetări unde s-a dezvoltat un algoritm de antrenament recursiv pentru a genera modele de recunoaștere din semnale EEG [2], în proiectul dat s-a decis utilizarea unor filtre prestabilite în modulul de citire a EEG. Brain Computer Interface (BCI) ar putea fi folosită ca un instrument eficient pentru implicarea activă a pacienților în reabilitarea motorie, permițându-le să inițieze mișcarea trimițând comanda către BCI direct prin creierul lor [3]. În acest scop în proiectul dat lucrează interfața prestabilă pentru citire a datelor. Nu se propune o soluție definitivă, sau altfel spus „un sistem de reabilitare neuro-motorie a membrilor superioare la supraviețuitorii unui accident vascular cerebral” [4], dar un machete pentru cercetările ulterioare. Alături de acest studiu trebuie să se stabilească încă de la început că aceste elaborări sunt un pas important pentru implementarea în educație a structurilor bionice specifice în cadrul disciplinelor ingineriei biomedicale, deci este doar începutul unui studiu îndelungat, cu atât mai mult că „astfel de sisteme robotizate integrate, controlate de creier sau de neuroni, încă nu au intrat în utilizare clinică mai largă sau în medii de viață de zi cu zi” [2].

Pentru acest proiect a fost pregătită o tehnologie mai accesibilă cunoscută sub numele de „Neurosky’s Mindwave Mobile 2”. Aceasta implică deja o serie de senzori specializați și o interfață Brain-Computer [5].

Desigur, această problemă a fost cercetată mai în detaliu și s-a observat o tendință atât în lumea științei, cât și pe piața mondială, dar bineînțeles cu mici neajunsuri. Problema de fiecare dată se arată a fi selectivitatea pacientului, sau cu alte cuvinte, lipsa unui standard funcțional universal de tehnologie pentru tratarea persoanelor cu dizabilități motorii. Brațele robotizate sunt de obicei folosite în industrie, dar se regăsesc și în sectorul medical fiind folosite pentru diverse operații de înaltă precizie. Astfel, rezultatul obținut face ca un proaspăt-inginer să evolueze această tehnologie pentru a fi mai precisă și mai sigură.

Scopul propus a fost de a folosi fragmente din mai multe tehnologii deja dezvoltate, și de a obține un sistem mult mai accesibil, cu mișcări mult mai simple, dar oferind liber arbitru utilizatorului.

Importanța acestei lucrări constă în accesibilitatea resurselor și atribuirea lor în locurile potrivite. Rezultatele obținute au îndeplinit scopul propus și au permis extinderea gradului de utilizare în mai multe domenii. Astfel, în încercarea de a obține o soluție pentru dizabilitățile motorii, am determinat calea de dezvoltare pentru operarea de la distanță pentru diverse procese, atât medicale, cât și industriale.

Materiale și metode

Conceptul lucrării date a fost conectarea unui braț robotizat la creierul uman cu transmiterea datelor fără fir (wireless) prin intermediul unui modul de transmitere a datelor (bluetooth). Mișcările brațului se efectuează prin intermediul motoarelor servo cu buclă închisă.

În acest tip de sistem, un microcontroler sau alt dispozitiv este conectat la intrarea de comandă a servomotoarelor. Un semnal PWM (Pulse Width Modulation) este trimis peste această conexiune, lățimea impulsului determină poziția dorită a motorului. Acest semnal este trimis controlerului intern al servomotoarelor. Controlerul acționează motorul, care este un motor DC cu o mulțime de angrenaje pe arborele său de ieșire. Majoritatea servomotoarelor limitează cantitatea de rotație pe arborele de ieșire, de obicei la 180 sau 270 de grade de rotație. Arborele de ieșire este, de asemenea, cuplat la un potențiomtru, care măsoară poziția arborelui. Ieșirea potențiometrului este trimisă înapoi către controlerul intern, pentru a-i anunța poziția motorului. Controlerul folosește aceste informații pentru a muta arborele în poziția corectă.

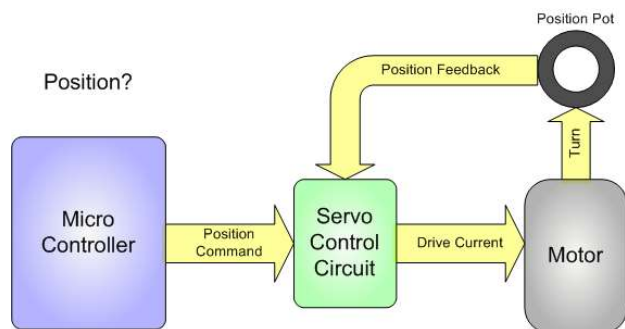


Figura 1. Schema bloc al servo(buclă închisă) [6]

Oferind informații despre poziție, obținem o serie de avantaje față de sistemul „cu buclă închisă” utilizat într-un servomotor obișnuit: Ieșirea destinată citirii răspunsului (feedback) vă oferă o citire dinamică, „în timp real” a poziției arborelui motorului. Aceasta permite să utilizați convertorul analog-digital (ADC) din microcontroler pentru a regla fin poziția motorului. Aceasta fiind adesea de o precizie mai mare decât cea din controlerul intern al servomotoarelor. În multe modele, este obișnuit de introdus o întârziere după acționarea servomotorului, pentru a permite motorului să se așeze în poziție. Cu un servomotor ce are canal de răspuns (servomotor with feedback) analogic, puteți citi poziția motorului și puteți determina exact când a ajuns la destinație. Se poate utiliza și servomotorul ca dispozitiv de intrare, deoarece ieșirea semnalului de feedback va varia odată cu rotirea arborelui motorului. Desigur, încă nu este perfect, semnalul de răspuns (feedback) provine de la același potențiomtru de poziționare și este încă afectat de toleranța poturilor. În esență, un servomotor de feedback analogic aduce controlerul extern în bucla de feedback.

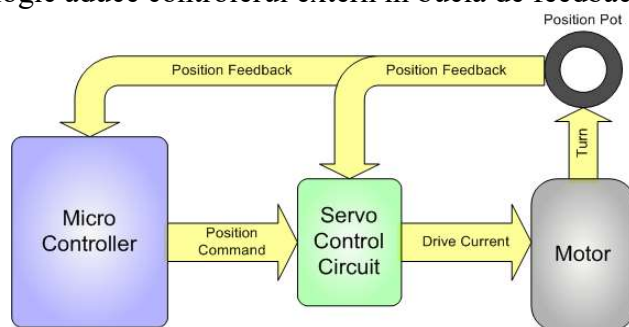


Figura 2. Schema bloc al servo(buclă deschisă) [6]

Pentru a obține acest feedback este nevoie de dezasamblat capacul de la servo motor, de extras placa principala. Vizual se caută traseul care se duce la potențiometrul. Pentru a confirma că s-a găsit pinul necesar se utilizează un multimetru. S-a scris un cod care va schimba la limitele maxime și minime al unghiului servo motorului și se va verifica ce cădere de tensiune se obține. Pentru lucrarea dată s-a obținut 0,40V și 1,87V la fiecare extremă. Urmează lipirea cablului la pinul determinat. Acest proces se efectuează pentru toate servo motoarele utilizate în mișcările brațului robotic.

Tehnologia Bluetooth este utilizată pentru a transfera date între două dispozitive care se află foarte aproape unul de celălalt, fără a fi necesară o linie de vedere. Tehnologia Bluetooth oferă o imunitate bună la interferențele în bandă largă, permițând mai multor dispozitive din aceeași locație să comunice între ele în același timp, fără a interfera reciproc. Această tehnologie este utilizată pe scară largă în telefoane, tablete, laptopuri. Una dintre cele mai bune soluții pentru organizarea comunicării Bluetooth bidirecționale este modulul Bluetooth HC-05, care poate funcționa ca master (căutați dispozitive Bluetooth și inițiază o conexiune) și slave (dispozitiv sclav) [7].

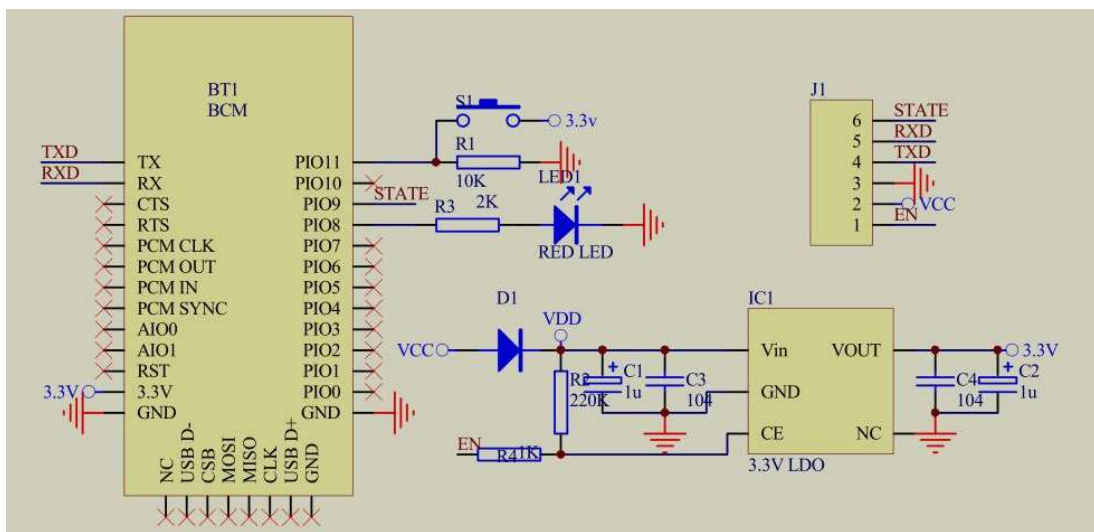


Figura 3. Schema electrica a modului Bluetooth HC-05 [7]

MindWave Mobile de NeuroSky este un sistem Brain Computer Interface (BCI) într-o carcasă mică pe cap care captează undele EEG și clipirea ochiului unui utilizator [5]. Acest dispozitiv este util pentru dezvoltatori deoarece pot programa algoritmi puternici cu o interfață conectată la mobil dispozitive ușor și fiind capabil să-l folosească în aplicații de cercetare. Biosenzorul EEG al NeuroSky digitalizează și amplifică semnalele cerebrale analogice brute pentru a furniza succint datele culese.

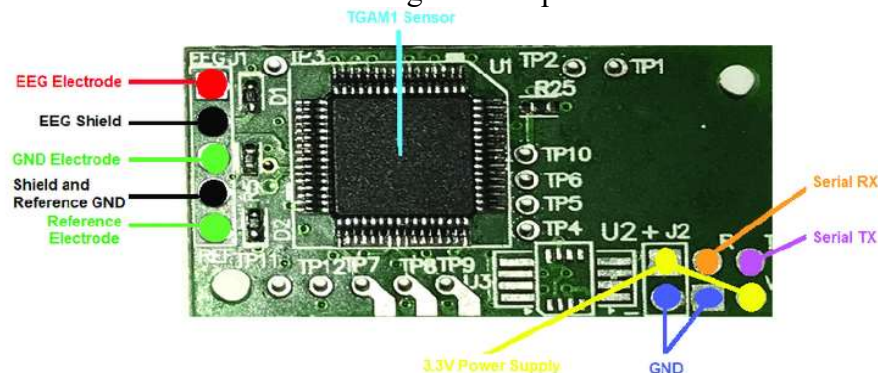


Figura 4. Biosenzor EEG TGAM1 cu modul de comunicare [8]

Frecvența filtrului notch TGAM1 poate fi configurată cu pad-urile de configurare. Se folosește pentru a selecta 50 Hz sau 60 Hz pentru a reduce zgomotul alternativ specific unei piețe vizate. Așa cum este indicat în Figura 4, placa superioară este GND, iar placa inferioară este VCC. Se interconectează pad-urile pentru a selecta 60 Hz, și la pad-ul GND pentru a selecta frecvența de filtrare a notchului de 50 Hz. Cea mai obișnuită opțiune pentru aceste tampoane de configurare este un simplu electrod.

Biosemnalele achiziționate de TGAM1 sunt reprezentate în datele RAW. Gama de date brute variază de la -32.768 la 32.767, semnat cu precizie de 16 biți. Primul electrod polar frontal eșantionează în discretizarea tensiunii în timp real. Această relație de date RAW-Volți este definită de ecuația (1). Figura 5 prezintă reprezentarea datele RAW în μV [8].

$$\text{Volts} = \text{RAWdata} \times \frac{1.8}{\frac{4096}{2000}} [\mu\text{V}] \quad (1)$$

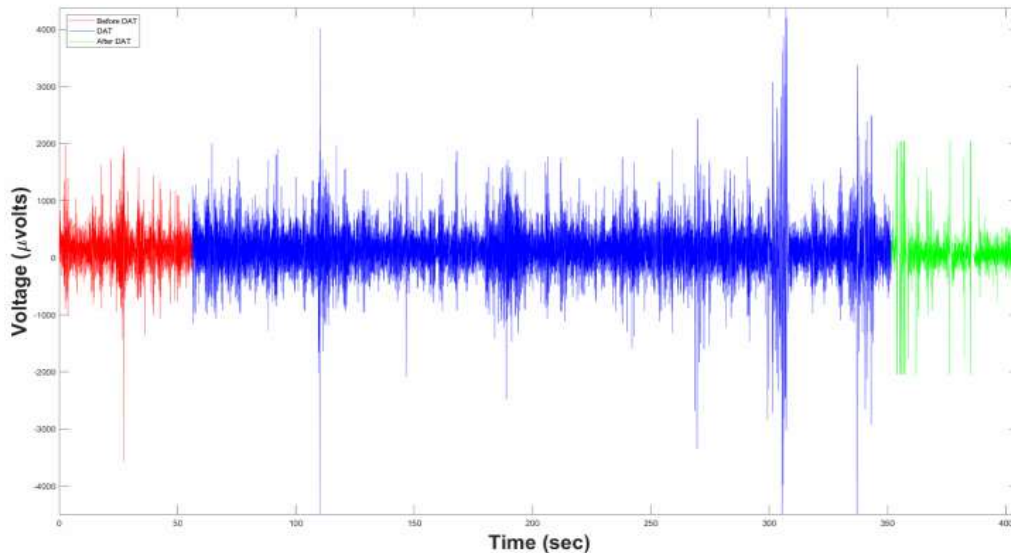


Figura 5. Reprezentare datelor în μV [8]

Doi dintre cei trei parametri principali detectați de Mindwave Mobile sunt realizați de eSense Metru - atenție și meditație. Atenția se referă la nivelul de concentrare al utilizatorilor, în timp ce meditația se referă la nivelul de relaxare. Nivelul de atenție crește atunci când o persoană se concentrează pe un singur gând, cum ar fi rezolvarea unei probleme de matematică și scade atunci când el este distras.

Nivelurile de meditație, pe de altă parte, cresc atunci când o persoană își relaxează mintea și scade când devine stresat. În ceea ce privește algoritmul, Neurosky folosește pentru a traduce datele brute ale undelor cerebrale într-un domeniu de valori. Nu există documentația în acces liber care descrie specificul modului în care Neurosky face acest lucru. Aceasta poate fi din motive de confidențialitate și drepturi de autor intelectuale.

Pașii finali ai proiectului care constau în configurarea simultană și funcționarea echilibrată dintre impuls EEC și servo motor constă în câteva etape. Codul brațului începe cu declararea librăriilor Wire, pentru a putea comunica prin interfața I2C cu driverul pentru servo motoare, urmează însuși librăria pentru driver realizată de adafruit. Urmează definirea lungimii fiecărui segment. Se face inițializarea a celor 6 servo motoare utilizate. A fost programat ca prin tastele “p” și “o” se execute mișcările programate. Pe tastele “0” și “1” are loc activarea și dezactivarea servo motoarele de la alimentare de pe placa driver pentru servo motoare.

Casca Mindwave Mobile 2 a fost conectată prin bluetooth la aplicație de la Android unde foarte bine se observa în figura (a) un șir de clipiri obișnuite și (b) o clipire forțată.

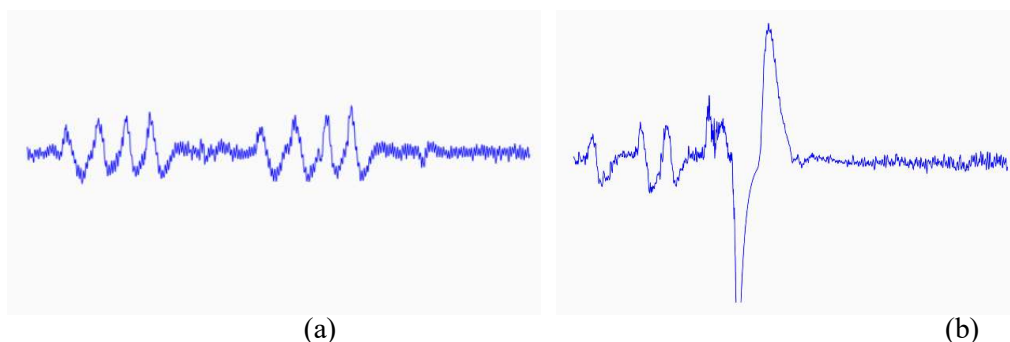


Figura 6. Reprezentarea grafică a clipirii obișnuite (a) și a unei clipiri forțată (b)

În baza rezultatelor date, se obține utilizarea brațului robotic, acesta executând mișcări preprogramate în dependență de nivelul de tensiune colectat, produs de undele electrice ale creierului.

Scopul și utilizarea

Deși acest dispozitiv nu poate fi considerat la nivelul unuia medical, scopul acestuia de fapt este încercarea, testarea și implementarea câtorva module deja dezvoltate pentru crearea unui model funcțional adresat persoanelor angajate în însușirea disciplinelor ingineriei biomedicale. Acesta are drept scop motivarea viitorilor ingineri biomedicali de a se adânci în ramurile biomedicale ale bionicii pentru a dezvolta tehnologii de remediere și de tratare a diferitor boli sau traume care rezultă în pierderea unor proprietăți locomotorii.

Machetul dat trebuie perfectat în orice mod posibil pentru a fi dezvoltat la o treaptă mai avansată ce va rezulta în utilizarea controlabilă doar prin EEC.

Concluzii

În acest articol este descris dispozitivul realizat în cadrul tezei de licență. Machetul brațului robotic, codul de conectare între acesta și restul componentelor(modul Bluetooth și cască de colectare a EEC) a prezentat un rezultat reușit la începutul unei căi lungi de dezvoltare a bionicii. Rezultatul obținut a fost satisfăcător și a lăsat mai multe căi de dezvoltare care vor urma prin schimbarea brațului robotic și dezvoltarea acestuia la mișcări mult mai precise. Rezultatele obținute de la casca de colectare a EEC, deși prezintă utilizarea unei singure derivații, a prezentat potențial de utilizare și de individualizare a mișcărilor în dependență de diferite derivații precise.

Mulțumiri. Mihai Brînză și Cristian Lungu acordă sincere mulțumiri Universității Tehnice a Moldovei pentru asigurarea materialelor de învățământ necesare în dezvoltarea ca ingineri. De asemenea mulțumiri speciale clubului ingineresc MicroLab și fondatorului acestuia Andrei Bragarencu pentru acordarea resurselor tehnice în dezvoltarea acestui proiect. Mulțumiri deosebite conducătorului tezei de licență, Iavorschi Anatolie și șefului departamentului Inginerie Biomedicală și Microelectronică, Oleg Lupan pentru îndrumarea și sfaturile acordate pe parcurs.

Referințe

1. S. R. SOEKADAR M. WITKOWSKIC. GÓMEZE. OPISSOJ. MEDINAM. CORTESEM. CEMPINIM. C. CARROZZAL. G. COHENN. BIRBAUMERAND N. VITIELLO; „*Exoscheletul hibrid al creierului/mâinii neurale bazat pe EEG/EOG restabilește activitățile zilnice complet independente după tetraplegie*” [2016][accesat 10.01.2022]; <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/scirobotics.aag3296>
2. K. TANAKA; K. MATSUNAGA; H.O. WANG; „*Controlul pe bază de electroencefalogramă al unui scaun rulant electric*” [2005][accesat 12.02.2022]; <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1492493/references#references>
3. MAITREYEE WAIRAGKAR; IOANNIS ZOULIAS; VICTORIA OGUNTOSIN; YOSHIKATSU HAYASHI; SLAWOMIR NASUTO; „*Interfața computerului creierului bazată pe intenția de mișcare pentru reabilitarea în realitate virtuală și robotică moale folosind o nouă analiză de autocorelare a EEG*” [2016][accesat 20.02.2022]; <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7523705>
4. MARTIN STEINISCH; MARIA GABRIELLA TANA; SILVIA COMANI; *A Post-Stroke Rehabilitation System Integrating Robotics, VR and High-Resolution EEG Imaging*” [sept. 2013], [accesat. 15.01.2022]; <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6542751/authors#authors>
5. TGAM1 Spec Sheet[online article] [accesat 12.05.2021] <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/tgam1.pdf>
6. Servo feedback hack [online article] [accesat 05.04.2021] <https://www.instructables.com/Servo-Feedback-Hack-free/>
7. Bluetooth module HC-05[online article] [accesat 11.02.2022] <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-and-hc-05-bluetooth-module-tutorial/>
8. *Brain-Computer Interfaces in Medicine* 2012 Mar [online article] [accesat 14.05.2022] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3497935>