

Grau en Enginyeria Informàtica de Gestió i Sistemes d'Informació

Experimentació amb BCI (Brain Computer Interface)

Memòria

ALEJANDRO HARO MEDINA
TUTOR: ALFONS PALACIOS

CURS 17-2018

Agraïments

Vull agrair l'ajuda i recolzament ofert pels meus companys més propers de classe així com a familiars i amics. També vull agrair la feina realitzada pel meu tutor i l'ajuda aportada.

Resum

Aquest projecte aprofundeix en l'estudi del BCI (*Brain Computer Interface*), implementant un exemple d'ús enfocat en la transformació d'una ona cerebral en un moviment mecànic.

La motivació de la realització d'aquest treball es basa en dos pilars fonamentals, la creació d'un producte que millori la qualitat de vida d'un objectiu de persones concret i realitzar una aportació a la branca del BCI en la tecnologia ja sigui nova o una aportació a un tema ja estudiat per aquesta branca.

Índex

Índex	III
Glossari de termes	V
1. Introducció.....	1
2. Marc teòric.....	3
2.1. BCI.....	3
2.1.1. Evolució	5
2.1.2. Usos i tècniques.....	6
2.1.2.1. BCI per comunicar-se.....	6
2.1.2.1.1. Sí/No.....	6
2.1.2.1.2. Lletrejar (Spell)	7
2.1.2.2. BCI pel control de l'entorn.....	8
2.1.2.2.1. Cadira de rodes.....	9
2.1.2.2.2. Robòtica	10
2.1.2.3. BCI per l'oci.....	11
2.1.2.3.1. Jocs	11
3. Objectius i abast.....	13
4. Anàlisi de referents	15
5. Metodologia	16
6. Desenvolupament	19
6.1. Material	19
6.2. El cotxe.....	21
6.2.1. Funcions del cotxe.....	22
6.3. El casc	23

6.3.1. Emotiv Xavier Emokey.....	24
6.3.2. Emotiv Xavier Controlpanel	25
6.4. Laboratori BCI.....	26
6.4.1. Hardware i software necessari	26
6.4.1.1. Possible hardware	27
6.4.2. Protocol d'ús del casc Emotiv EPOC+	28
7. Conclusions	30
10. Bibliografia.....	31

Glossari de termes

BCI Brain Computer Interface

EEG Electroencefalografia

HCI Human Computer Interaction

TLS Total Lock Syndrome

P300 potencial evocat que pot ser registrat mitjançant electroencefalografia

IDE Integrated Development Environment

TFG Treball Final de Grau

1. Introducció

Aquest projecte aprofundeix en l'estudi del BCI (*Brain Computer Interface*), implementant un exemple d'ús enfocat en la transformació d'una ona cerebral en un moviment mecànic.

La motivació de la realització d'aquest treball es basa en dos pilars fonamentals, la creació d'un producte que millori la qualitat de vida d'un objectiu de persones concret i realitzar una aportació a la branca del BCI en la tecnologia ja sigui nova o una aportació a un tema ja estudiat per aquesta branca.

2. Marc teòric

2.1. BCI

El BCI es basa en l'adquisició d'ones cerebrals que posteriorment són tractades i interpretades per un ordinador. D'alguna manera permet a la nostra ment interactuar amb l'exterior ja que amb les interpretacions d'aquestes ones, i després d'una presa de decisions, es poden transformar en accions com el control d'un aparell, accions dintre d'un propi ordinador i similars.

La tecnologia consta de tres fases de desenvolupament:

- Prova de concepte que demostra la funcionalitat bàsica d'una tecnologia.
- Emulació: es fa servir tecnologia per emular tecnologies existents.
- Maduresa: la tecnologia agafa maduresa i té un objectiu propi. En aquesta fase els dissenyadors entenen i exploten els intricats de la nova tecnologia per a construir experiències úniques proveïdes amb capacitats que anteriorment no estaven disponibles.

Actualment s'espera que el BCI es trobi en la primera fase i tot just estigui sortint de la seva primera etapa quedant així oportunitats de moure'l de la prova de concepte i l'emulació a la maduresa.

Fins ara la comunitat HCI no s'ha enfocat en trobar noves i revolucionàries aplicacions. Aquesta comunitat s'ha dedicat a buscar escenaris en els quals la tecnologia pot millorar la vida d'alguna manera.

Gràcies a les recerques fetes en el món BCI s'ha refutat la creença popular que diu que el cervell és l'ordinador central del nostre cos. S'ha demostrat que el cervell és una recopilació de subsistemes, cadascun especialitzat en una tasca concreta.

El cervell es divideix en dos parts molt diferenciades:

- Regions subcorticals: s'encarreguen de funcions bàsiques, vitals tals com respirar o controlar la temperatura, instintives com pot ser tenir por o la memòria, l'aprenentatge i els reflexes.
- Còrtex cerebral: suporta majoritàriament processament sensorial i motor i funcions d'alt nivell com el llenguatge, l'enteniment, planificació i reconeixement de patrons.

El cervell consta de tres regions. Té dues regions principals que són:

- Occipital: és la part posterior, s'encarrega majoritàriament de la visió.
- Temporal: memòria, reconeixement de patrons, orientació, processament del llenguatge, processament del so, etc.

I d'altres encarregades del processament i representació espacial, el moviment voluntari dels músculs, el raonament i inclús el sentit de la moralitat o les ambicions.

Actualment hi ha dos tipus de tecnologies de representació d'imatges del cervell, tècniques intrusives i no intrusives.

Per una banda, les tècniques intrusives o invasives que són implantades directament al cervell. Proveen d'imatges de molta resolució però com a contrapartida són imatges de parts molt petites i requereixen d'una intervenció quirúrgica.

Després hi ha les tècniques no intrusives o no invasives en les quals es fa ús de sensors externs amb el qual no necessiten una operació. Ofereixen imatges de zones més grans del nostre cervell però amb una resolució menor degut a les diferents capes que es troben entre els sensors i el cervell.

2.1.1. Evolució

Per arribar als orígens d'aquesta tecnologia es pren com a punt de partida el descobriment realitzat per Richard Caton al 1875 en el qual va determinar la naturalesa elèctrica del cervell ja que va observar impulsos elèctrics a la superfície del cervell viu d'alguns animals.

Al 1924 Hans Berger va continuar amb el treball de Caton on va aconseguir enregistrar l'activitat del cervell en una electroencefalografia sent el primer en enregistrar un EEG d'un cervell humà.

Mitjançant l'anàlisi d'aquest EEG Berger va aconseguir classificar les ones cerebrals. Per aquest motiu, les ones alfa (8 – 12 Hz) també es diuen ones Berger.

Així, al 1969 Fetz del centre de recerca de primats i el departament de fisiologia i biofísica de la universitat de Washington van mostrar per primera vegada que els micos podien aprendre a manegar un braç robòtic mitjançant l'activitat neuronal.

Va ser al 1970 quan, a la universitat de Califòrnia, es va iniciar la recerca dels primers dispositius BCI.

El BCI s'ha centrat bàsicament en la medicina, amb la implantació de pròtesis neuronals per recuperar l'audició, la vista o mobilitats reduïdes. Al 1990 es van desenvolupar les primeres pròtesis.

Entre el 2000 i el 2010 aquest camp s'ha introduït també en la indústria del videojoc posant-se a la venda les primeres interfícies BCI no invasives.

Actualment aquesta tecnologia també es troba en camps com el neuromarqueting la domòtica i a l'entrenament cognitiu.

2.1.2. Usos i tècniques

La motivació inicial i que avui dia segueix respecte al BCI és la de proveir tecnologia assistiva per a persones amb discapacitats severes com una paràlisi completa, inhabilitat per parlar, etc. Gràcies a la millora en potència, experimentada per la computació en els darrers anys, s'han millorat les possibilitats que té el control neuronal.

El BCI s'ha convertit en una tecnologia assistent que ajuda a restablir l'habilitat de comunicar-se, controlar l'entorn i la mobilitat. Aquests problemes que intenta resoldre el BCI són assumptes crítics per a persones amb discapacitats físiques severes.

2.1.2.1. BCI per comunicar-se

Una de les necessitats més crítics per a persones amb discapacitats físiques severes és restaurar la capacitat comunicativa.

La qualitat de vida amb una persona amb TLS millora substancialment si se'ls dona la capacitat de comunicar-se amb familiars, amics, cuidadors, etc.

2.1.2.1.1. Sí/No

La manera de comunicació més bàsica que trobem és el “Sí” i el “No”. Al llarg del temps hi ha hagut diferents tècniques per a solucionar aquest problema.

Una de les inicials és coneguda com el *paradigma de la caixa dreta justificada* en el qual els usuaris aprenien a modular el seu ritme “mu” fent servir imaginació motora per seleccionar un objectiu entre dos.

La tècnica més nova es tracta de *Kokoro Gatari* que en japonès vol dir alguna cosa similar a “caixer de cors”. Aquest sistema basat en fNRI mesura canvis en la oxigenació de la sang sobre el centre del llenguatge del cervell.

2.1.2.1.2. Lletrejar (Spell)

Donat que lletrejar és una part essencial de la comunicació, hi ha hagut milers d'implementacions amb BCI.

Una de les tècniques més senzilles per fer el lletrejat és fent servir un dels sistemes de Sí/No dividint l'alfabet en la meitat progressivament fins que s'arriba a la lletra desitjada. D'aquesta manera tenim una mitjana de dos minuts per a cada lletra que es vol lletrejar. En aquest àmbit hi ha diferents tècniques sent la matriu de Farwell-Donchin una de les més ràpides. Mesura la resposta provocada de P300 quan es mostren lletres de l'alfabet disposades en una matriu que es ressalten en un ordre aleatori. Originalment s'aconseguia amb aquesta tècnica 2,3 caràcters per minut amb una exactitud del 95%.

La recerca actual se centra a reduir el nombre de ressaltats necessaris per fer una selecció tenint com a objectiu un sol ressaltat per a cada caràcter. Es milloraria significativament aplicant algorismes de predicció com els trobats en els teclats dels Smartphones avui dia.

2.1.2.2. BCI pel control de l'entorn

El control de l'entorn resulta un tema de vital importància per persones amb discapacitats físiques severes. Controlar la televisió, el termòstat, el vídeo, etc. són simples tasques que milloren quantitativament la qualitat de vida d'una persona discapacitada. Al 2002 es descriu una solució BCI que permet als usuaris fent servir la selecció discreta escollir uns números amb la intenció de realitzar una trucada.

A part dels àmbits anteriors com podria ser el control d'electrodomèstics, trobem recerca en la mobilitat dels discapacitats.

La comunitat BCI ha destinat molts recursos i temps a la "restauració" de la mobilitat d'aquelles persones que tenen discapacitats motores severes tals com paraplegia o tetraplegia. Les aplicacions més destacades són el control d'una cadira de rodes o el control de robots "remots".

2.1.2.1. Cadira de rodes

Les cadires de rodes són essencials per aquelles persones que pateixen de tetraplegia o paraplegia. Els hi permet realitzar un desplaçament però en el cas de discapacitats de tetraplegia no poden realitzar un desplaçament de manera autònoma, aquí és on entra el BCI. Captant i classificant les ones cerebrals d'una persona es pot obtenir el control d'una cadira de rodes motoritzada.

Inicialment aquesta recerca va començar amb petits dispositius que permetien simular la navegació d'una cadira de rodes.

Al llarg del temps han existit diferents aproximacions tals com controlar directament el moviment de la cadira en un entorn controlat o una cadira que té l'entorn directament programat i les úniques comandes que rep són les de "vés a un lloc concret" com podria ser anar a la cuina, anar al menjador, etc.

També existeix el projecte d'una cadira de rodes més intel·ligent que s'adequa als hàbits de la persona com per exemple seria oferir-li l'opció d'anar al menjador just abans que comenci el seu programa preferit o oferir anar a la cuina a les hores a les que acostuma prendre els àpats, etc.

Una de les aportacions més recents és la presentada per Toyota, una marca japonesa generalment de cotxes, que al 2009 el Toyota Central R&D lab va proposar una cadira de rodes controlada per ones neurològiques que era capaç de ser operada en casi temps real amb una exactitud del 95%.

2.1.2.2. Robòtica

Tot i que el fet de controlar un robot amb el cervell ha estat sempre una cosa més pròpia d'una pel·lícula de ciència ficció, els avenços en BCI han demostrat que no és una cosa impossible.

Actualment, les aplicacions de robots controlats neuronalment estan centrades en tecnologies assistents, és a dir, robots assistents.

Una de les primeres incursions en el control de robots per BCI és un robot configurat per realitzar totes les passes que formen el procés de fer cafè. Moldre el gra, sucre, llet i barrejar-ho tot conjuntament amb una cullera.

Els resultats que es van extreure van ser positius, mostrant que els usuaris podien atendre a les reaccions donades pel món real mentre es controla un BCI basat en l'atenció.

Una altra proposta va ser la de un humanoide controlat per un BCI basat en P300. L'usuari seleccionava comandes senzilles mitjançant el BCI que feien que el robot realitzés tasques tals com agafar un objecte i canviar-lo de lloc. L'exactitud reportada per aquesta implementació va ser del 95%.

2.1.2.3. BCI per l'oci

La tecnologia BCI s'ha anat fent cada vegada més efectiva i els nous sistemes oferien major amplada de banda, això ha permès que el BCI es faci servir en entorns més comuns com poden ser els videojocs i la realitat virtual.

2.1.2.3.1. Jocs

Dintre del BCI per a jocs trobem diferents estratègies:

- BCI Actiu: requereix que l'usuari generi senyals cerebrals de manera activa amb la finalitat d'usar-les com a control. El BCI actiu es pot adoptar per al control directe del joc.
- BCI Reactiu: a diferència de l'actiu, no necessita que l'usuari generi senyals de manera activa. L'usuari respon a estímuls mostrats per pantalla obtenint així la informació necessària per a desenvolupar les accions dintre del joc.
- BCI Passiu: el rol primari del sistema és no donar control a l'usuari i no requereix un esforç per part de l'usuari. En aquest cas es monitoren els estats emocionals de l'usuari per a facilitar la interacció entre el sistema i l'usuari.

3. Objectius i abast

- Realitzar un estudi previ i de l'estat de l'art del BCI.
- Obtenir una sèrie de requeriments de software i de hardware per a la instauració d'un laboratori de BCI al TecnoCampus.
- Desenvolupar un hardware que demostrï la transformació de les ones cerebrals en moviment mecànic.
- Realitzar la vessant comunicativa del projecte.

El projecte, com es veu, disposa de quatre objectius diferenciats. Referent al hardware que es desenvolupa, té com a objectiu transformar una ona cerebral en un moviment mecànic. La idea principal és controlar una cadira de rodes i millorar la mobilitat d'una persona discapacitada. Donat que aquest projecte es quedarà curt per al desenvolupament esmentat, es realitzarà una versió més senzilla i petita. Controlar un cotxe teledirigit és el projecte seleccionat. Igualment és una tècnica aplicable a projecte més grans.

4. Anàlisi de referents

En l'àmbit del BCI es poden trobar diferents exemples d'aplicacions exitoses. Al 2012 es va aconseguir que una dona amb tetraplegia pugues beure cafè gràcies a un braç robòtic controlat per BCI.

Això va ser fruit de de l'ús de "BrainGate".

BrainGate és un sistema d'implant cerebral construït per Cyberkinetics. Actualment es troba en desenvolupament. Es tractaria d'un sistema invasiu, disposa de 100 elèctrodes i un descodificador que es connecta a altres dispositius com, en el cas que s'exposa, un braç robòtic.

5. Metodologia

La metodologia seleccionada no serà la mateixa per tot el projecte.

La part de recerca estarà basada en la metodologia *waterfall* ò cascada.

Prèviament, es farà recerca sobre l'estat actual de la tècnica exposada, cercant informació per paraules o temes claus. Posteriorment aquesta informació trobada serà contrastada entre diferents fonts.

La síntesi de la informació és una part crucial, aquest treball vol mostrar els punts claus de la tecnologia en la qual es vol aprofundir el coneixement.

La cerca de informació útil per al desenvolupament del hardware objectiu és una de les parts importants per a la correcta finalització del treball.

Una vegada redactada la vessant teòrica del treball, la metodologia canvia a una metodologia àgil com l'Scrum. Aquesta metodologia permetrà realitzar una feina acumulativa tenint així sempre versions, d'alguna manera, funcionals del hardware que es vol desenvolupar.

El pas inicial és la obtenció de dades del casc neuronal. Aquesta fase requereix un aprenentatge personalitzat en base al casc utilitzat, serà necessària la síntesi i l'enteniment de la documentació oficial del fabricant.

A continuació es fa una categorització de les ones enregistrades i es guardaran en una base de dades o fitxer per una posterior comparació amb nous registres i així prendre decisions en base a unes comparacions prèvies.

La següent iteració és la creació del cotxe que es controlarà amb el casc neuronal. Es tracta del muntatge, programació i les proves del cotxe.

La part més delicada del muntatge resideix en la integració dels dos sistemes, el de recaptació de dades (casc neuronal) i el sistema actuator mecànic (cotxe). Així tindrem una transformació completa de les ones neuronals en moviment mecànic.

La següent fase es tracta de la documentació de tot el hardware així com del codi que el controla. S'explicarà la tipologia de les ones detectades, la classificació de les mateixes així com el procés de transformació en el moviment reproduït pel cotxe.

6. Desenvolupament

6.1. Material

El material fet servir per dur a terme aquest projecte ha estat primerament un kit Arduino que permet muntar un cotxe controlat remotament. Aquest cotxe simula la cadira de rodes i serveix per fer el prototipatge del projecte.

Seguidament és necessari el ús d'un casc EEG per enregistrar les ones cerebrals que, una vegada tractades permetran el moviment del cotxe.

Un portàtil que tingui el software controlador del casc i una altra Arduino que enviarà les comandes al cotxe per moure'l.



Fig. 6.1.1. Placa Arduino

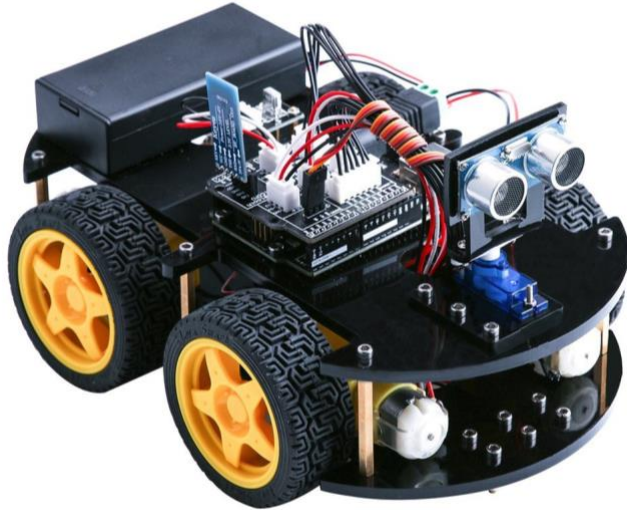


Fig. 6.1.2. Cotxe Arduino (1)

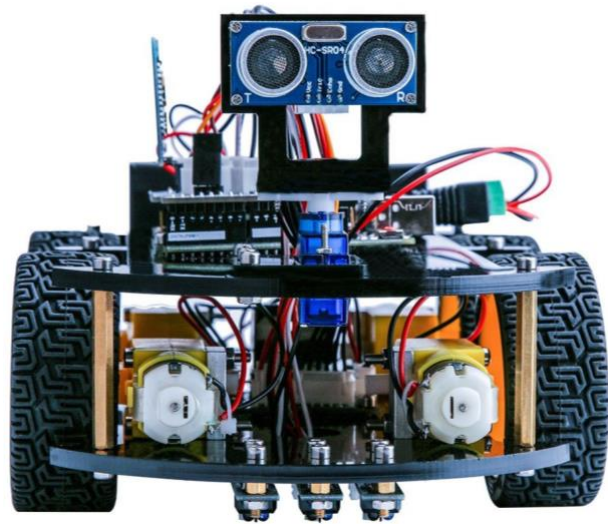


Fig. 6.1.3. Cotxe Arduino (2)



Fig. 6.1.4. Casc EEG EPOC+

6.2. El cotxe

El cotxe es tracta d'un kit Arduino que consta de les següents peces:

- 1x placa Arduino
- 1x cable USB
- 1x shield
- 1x motor-shield
- 1x sensor ultrasònic
- 1x suport pel sensor ultrasònic
- 1x servomotor
- 1x mòdul Bluetooth
- 1x receptor d'infrarojos
- 3x mòduls de seguiment de línies
- 4x motors
- 1x comandament IR
- 1x carregador
- 1x caixa per les piles
- 2x bateries 18650
- 2x peces acríliques
- 4x rodes
- 57x cargols
- 37x femelles
- 4x blocs d'alumini
- 10x columnes de coure
- Cables
- Tornavisos

El cotxe es programa amb la pròpia IDE d'Arduino.



Fig. 6.2.1. IDE Arduino

El casc EEG es connecta al PC i envia unes comandes a una placa Arduino directament connectada al PC que, mitjançant un mòdul Bluetooth, es comunicarà amb el cotxe i li diu quines funcions ha de dur a terme.

6.2.1. Funcions del cotxe

El cotxe consta de cinc funcions principals associades a una lletra que arribarà a través del Bluetooth. A continuació es pot veure una taula que les resumeix:

D	Anar endavant
R	Anar endarrere
L	Girar a la esquerra
R	Girar a la dreta
S	Aturar-se

6.3. El casc

El casc que s'ha fet servir per a la realització d'aquest TFG ha estat el emotiv epoc+ com es pot veure a la figura 6.1.4. Aquest casc permet la sonorització del cervell i captar les ones cerebrals a més de captar les expressions facials.

Gràcies al casc i a un entrenament previ de l'usuari es pot categoritzar les ones i en base a les ones que es capturen enviar al cotxe una instrucció o una altra de diferent.

A continuació es veu el diagrama de flux del procés seguit per l'adquisició de les ones, el processat de les mateixes i com es transformen en comandes.

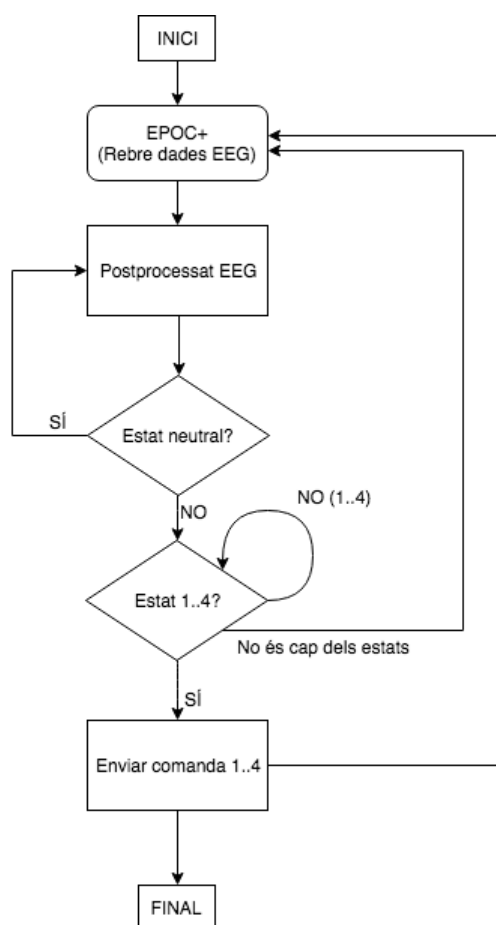


Fig. 6.3.1. Diagrama de flux EEG

6.3.1. Emotiv Xavier Emokey

Aquest software permet mapejar les accions prèviament entrenades al Emotiv Xavier Controlpanel.

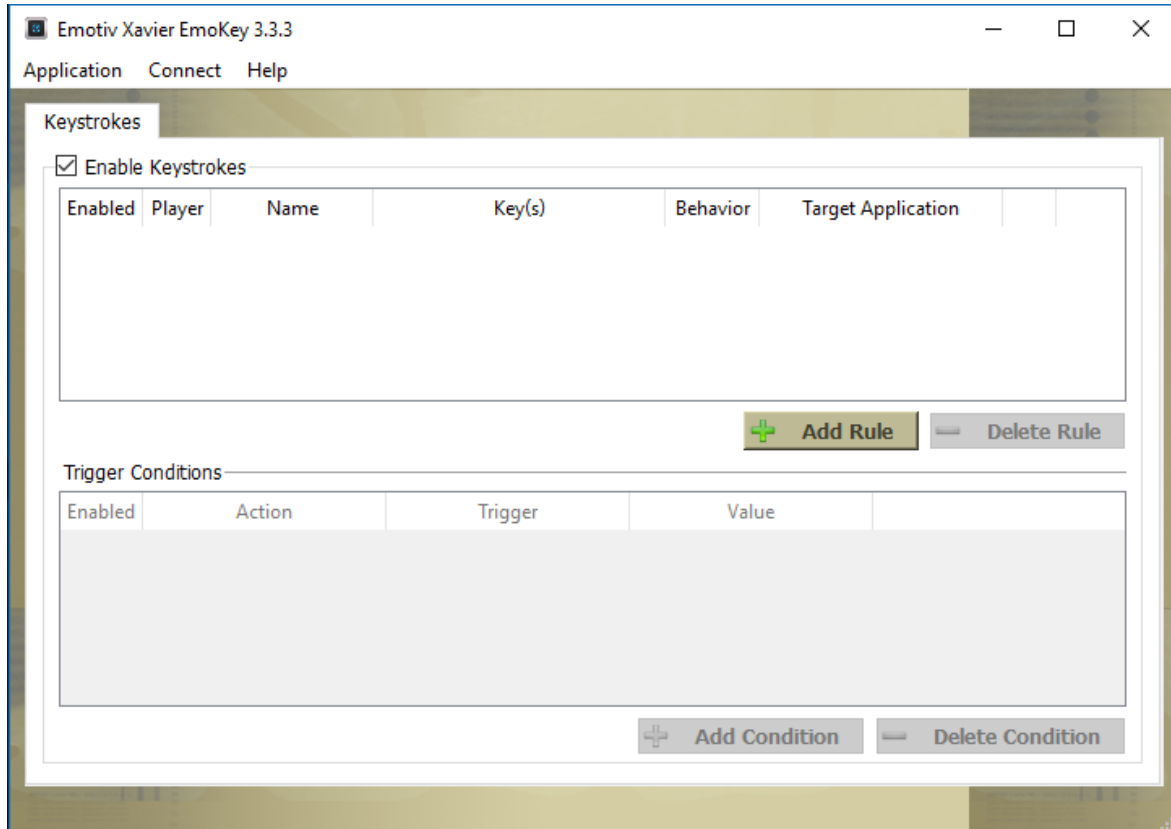
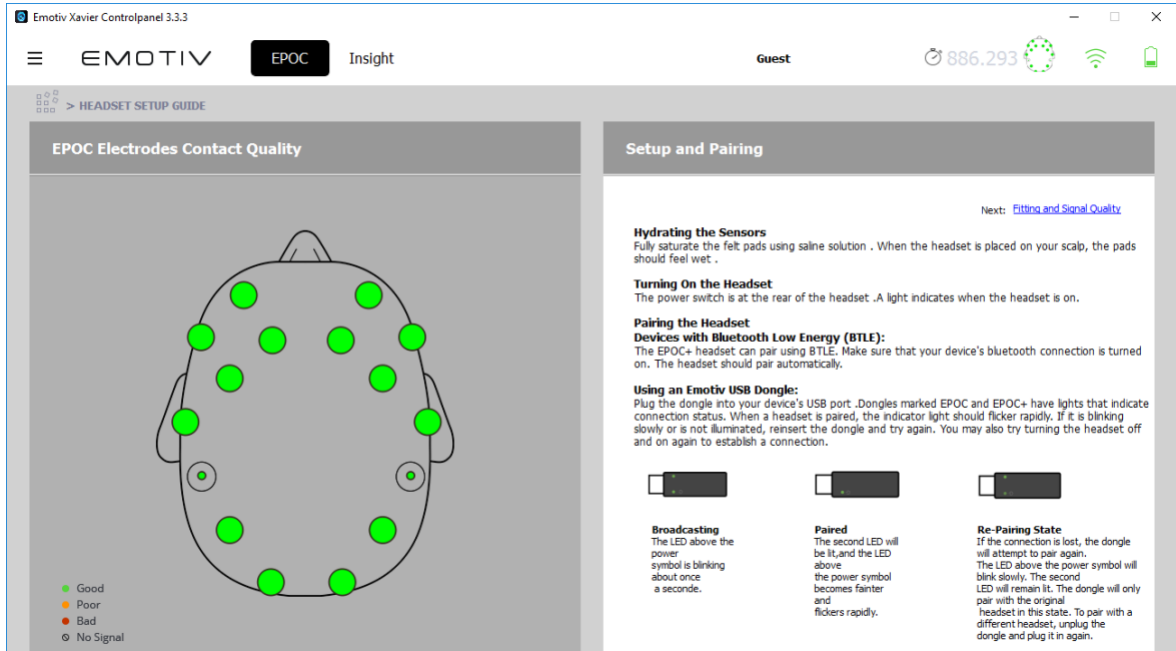


Fig. 6.3.1.1.

Permet afegir regles i quines condicions s'han de complir per a que s'apliquin les regles prèviament definides.

6.3.2. Emotiv Xavier Controlpanel

En aquest software es pot veure l'estat del casc, la qualitat de la recepció així com entrenar les diferents funcions.



6.4. Laboratori BCI

Un dels objectius del projecte és la definició d'un laboratori BCI al TecnoCampus. En aquest apartat es poden veure els requisits de hardware així com bones pràctiques pel manteniment, en aquest cas, del casc emprat en la realització del projecte.

6.4.1. Hardware i software necessari

El hardware i software necessaris per la realització del laboratori és:

- Ordinador (segons requeriments mínims del software):
 - o Processador Pentium 4 a 2.4Ghz o superior.
 - o 2GB de memòria RAM.
 - o 200 MB d'emmagatzematge disponible al disc dur.
 - o Windows XP (SP2) o superior.
 - o Un o dos ports USB sense ús.
- El casc que s'ha fet servir és un Emotiv EPOC+
- Software:
 - o Emotiv Xavier Emokey
 - o Emotiv Xavier Controlpanel

6.4.1.1. Possible hardware

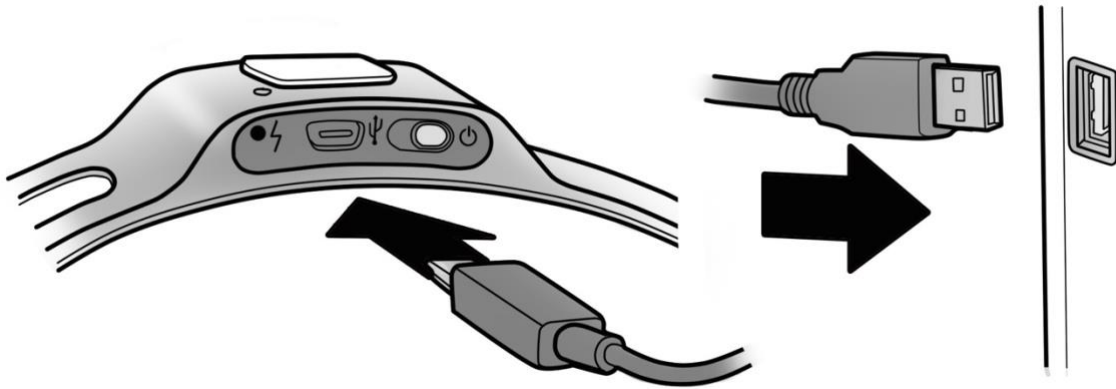
Durant la recerca d'informació per a la realització del treball s'ha trobat el casc EEG "mindwave MOBILE 2". Es tracta d'un casc més assequible que l'EPOC+ ja que té un preu de 99.99\$. Pertany a la companyia NeuroSky i una de les avantatges respecte al Emotiv és l'enfocament que té cap a l'ensenyament.



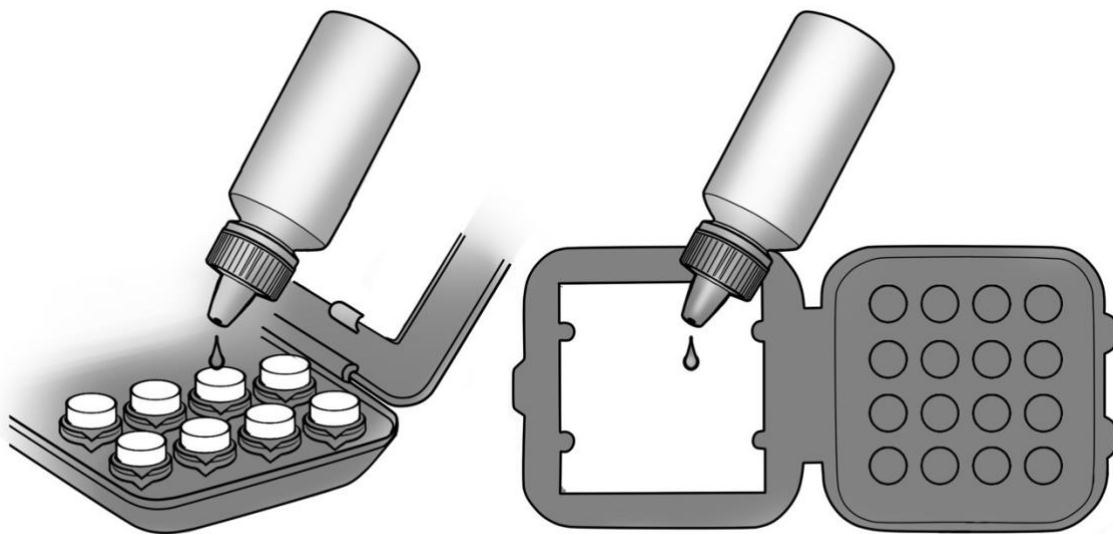
Fig. 6.4.1.1. Casc mindwave mobile 2

6.4.2. Protocol d'ús del casc Emotiv EPOC+

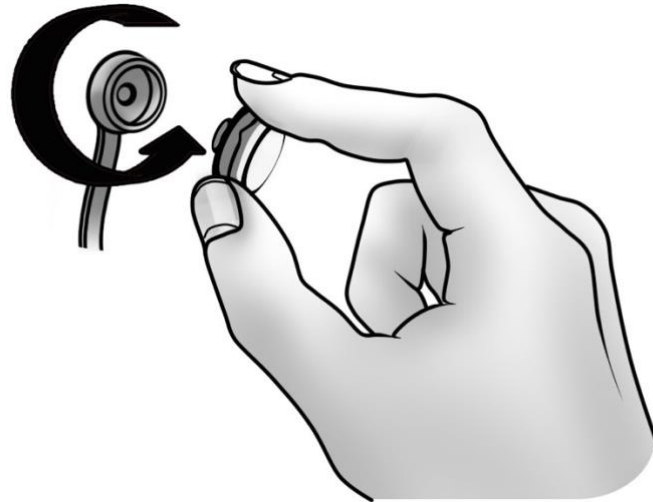
El que primer s'ha de tenir en compte a l'hora de fer servir el casc EEG és carregar-lo amb el seu carregador USB.



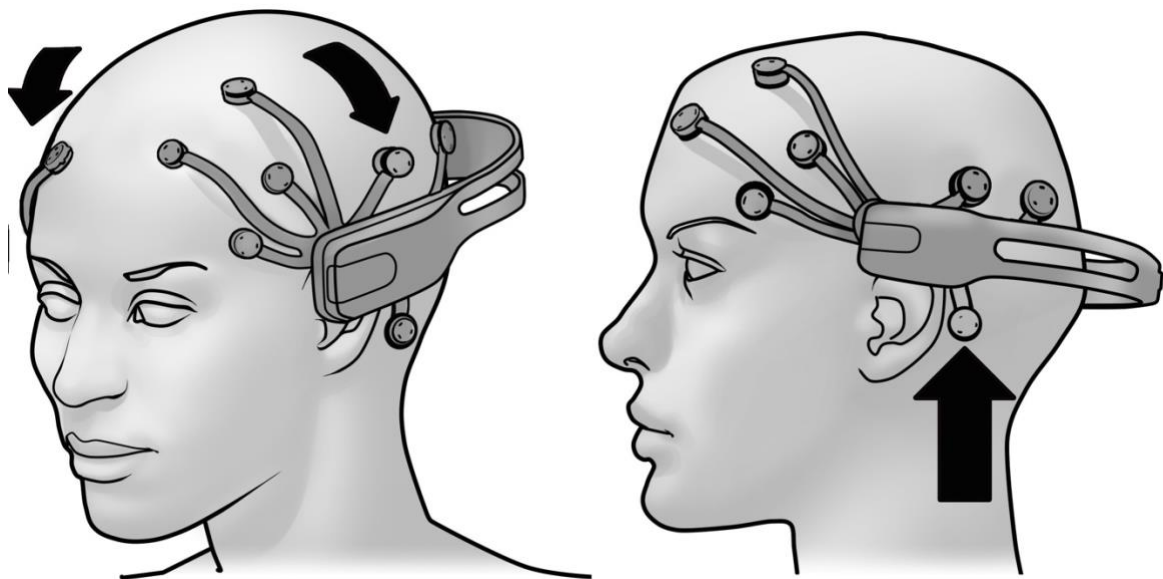
Una vegada ha estat carregat s'han d'humidificar els sensors amb la solució salina que es troba a la caixa així com la esponja blanca dintre del "porta sensors".



Una vegada correctament humidificats, el següent pas és col·locar els sensors al casc.



Ara que s'han col·locat els sensors al casc queda encendre'l, connectar el rebedor de senyal al USB del pc i col·locar el casc sobre el cap de l'individu seguin la imatge que es troba a continuació:



7. Conclusions

Com a conclusions es poden extreure tres molt definides.

Primerament, el món del BCI/HCI es troba en un moment d'ebullició. Enfocar el BCI cap a la millora de la qualitat de vida de les persones és la millor opció .

Hi ha tot un món de possibilitats darrere de cada projecte BCI i cadascuna d'aquestes possibilitats amb més darrere d'elles sempre amb visió de millorar algun aspecte de la vida com la coneixem actualment.

La idea de donar la possibilitat de realitzar tasques quotidianes a persones que per diverses raons han perdut la mobilitat és un dels aspectes més importants d'aquest treball.

També s'extreu la necessitat de difondre aquesta branca de la tecnologia i existeix una necessitat real d'impartir-la a les escoles/universitats, d'aquí que el TecnoCampus estigui interessat en implantar un laboratori BCI per a la futura impartició d'una assignatura relacionada amb el tema del projecte.

10. Bibliografía

[1] Emotiv System [consulta: 13 de noviembre de 2017].

Disponible a : <https://www.emotiv.com/>

[2] Neurosky [consulta: 13 de noviembre de 2017].

Disponible a : <http://neurosky.com/>

[3] GTEC [consulta: 13 de noviembre de 2017].

Disponible a : <http://www.gtec.at/>

[4] OCZ Technology [consulta: 13 de noviembre de 2017].

Disponible a : <https://www.ocz.com/us/>

[5] Interactive Productline [consulta: 13 de noviembre de 2017].

Disponible a : <https://www.mindballplay.com/>

[6] Researchgate [consulta: 13 de noviembre de 2017].

Disponible a : <https://goo.gl/4vmcMg>

[7] Interfaz cerebro ordenador [consulta: 13 de noviembre de 2017].

Disponible a : <https://goo.gl/NhC68d>

[8] Fundación General CSIC [consulta: 26 de enero de 2018].

Disponible a : <https://goo.gl/zCCr4a>

[9] Desney S. Tan, Anton Nijholt: *Brain-Computer Interfaces*. Springer