



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

TESIS

“DETECCIÓN E INTERPRETACIÓN DE MOVIMIENTOS DE DEDOS,
MANO Y ANTEBRAZO POR ELECTROMIOGRAFÍA Y UNA UNIDAD DE
MEDICION INERCIAL, COMO APOYO A LA COMUNICACIÓN DE
PERSONAS CON CAPACIDADES AUDITIVAS Y VOCALES
DIFERENTES, BASADO EN UN SISTEMA EMBEBIDO Y UN
DISPOSITIVO MOVIL “

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
SISTEMAS COMPUTACIONALES

PRESENTA

ING. JORGE CRUZ SALAZAR

ASESOR:

DR. JORGE MARIO FIGUEROA GARCÍA

MISANTLA, VER.

DICIEMBRE DE 2016



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN MAESTRÍA

FECHA: 09 de Febrero de 2017.

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN
DE TESIS.

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente se hace constar que el (la) C:

JORGE CRUZ SALAZAR

estudiante de la maestría en SISTEMAS COMPUTACIONALES con No. de Control 142T0786 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el Lineamiento de Posgrado para la obtención del grado de Maestría mediante Tesis.

Por tal motivo se Autoriza la impresión del Tema titulado:

DETECCIÓN E INTERPRETACIÓN DE MOVIMIENTOS DE DEDO Y MANO POR ELECTROMIOGRAFÍA Y UNA UNIDAD DE MEDICIÓN INERCIAL, COMO APOYO A LA COMUNICACIÓN DE PERSONAS CON CAPACIDADES AUDITIVAS Y VOCALES DIFERENTES BASADA EN UN SISTEMA EMBEBIDO Y UN DISPOSITIVO MÓVIL

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del examen para la obtención del grado de maestría.

ATENTAMENTE

M.G.C. Eduardo Gutiérrez Almaraz
Presidente



M.C. Saúl Reyes Barajas
Secretario

M.I.A. Roberto Ángel Meléndez Armenta
Vocal

Archivo.

VER. 01/03/09

F-SA--39

Agradecimientos

Agradezco a dios que me ha permitido cumplir un objetivo más en mi vida, dándome la fortaleza, paciencia y sabiduría necesaria para lograrlo.

A mi familia por su apoyo incondicional en todo momento.

A mi amada hija y seres queridos, que con sus palabras de ánimo me llenan de energía para cumplir este objetivo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo recibido para cursar los estudios de Maestría en Sistemas Computacionales.

A mi asesor, Dr. Jorge Mario Figueroa García por el tiempo dedicado y sus consejos para la culminación de la tesis.

Dedicatoria

A mis padres, por brindarme la oportunidad de estudiar y ser los cimientos y fortaleza de mi formación de los cuales solo he aprendido lo bueno y correcto que existe en mí.

A mi familia y en especial a mi hija Ashly Karen por ser mi fuente inagotable de inspiración.

Resumen

Las diferentes partes del cuerpo y su posición son controlados por señales eléctricas en forma de pulsos que se comunican con el sistema nervioso central del cerebro, este trabajo expone cómo es posible censar y obtener estas señales eléctricas por una técnica conocida como electromiografía superficial no invasiva, empleando ocho sensores de grado médico, en conjunto con una unidad de medición inercial, de tal forma que cada movimiento del dedo, mano y antebrazo generan señales únicas, formando así, un gran conjunto de señales para estos movimientos, donde los datos obtenidos de las señales se ingresan a un clasificador Naive Bayes, para la validación de los datos y el clasificador se usa el software weka, y se desarrolla una aplicación para Android 4.3 o superior usando una conexión bluetooth 4.0 Smart, para comunicar el sistema embebido que contiene los sensores con un dispositivo móvil, donde es transmitida esta información para su procesamiento.

En México el Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) en su último censo 2010, encontró que existen 1 millón 171 mil 568 personas con capacidades auditivas y vocales diferentes en diversos grados, así también el consejo para la prevención de la discriminación (CONAPRED) informa que son víctimas de algún tipo de discriminación. Por lo que la intención de esta tesis es que en trabajos futuros pueda brindar la oportunidad de apoyar a la comunicación de personas con capacidades auditivas y vocales diferentes, utilizando los recursos de un sistema embebido y un dispositivo móvil.

ÍNDICE

Capítulo I Generalidades	11
1.1. Introducción.....	11
1.2. Descripción del problema.	13
1.3. Hipótesis.....	15
1.4. Objetivos.....	15
1.4.1. Objetivo general.	15
1.4.2. Objetivos específicos.	15
1.5. Justificación.	16
1.6. Propuesta de solución.....	17
1.7. Metodología.	18
1.8. Alcances y limitaciones.	19
1.8.1. Alcances.....	19
1.8.2. Limitaciones.....	19
1.9. Organización de la tesis.....	20
Capítulo 2 Estado del arte.	21
2.1. Estado del arte.....	21
Capítulo 3. Desarrollo.	30
<i>Desarrollo de la metodología</i>	31
3.1. Seleccionar el sistema embebido que contenga los acoplamientos de sensor transductor de grado médico para electromiografía y la unidad de medición inercial para obtener las señales de los dedos, mano y antebrazo. 31	
3.2. Comunicar el sistema embebido inalámbricamente con protocolo Bluetooth hacia el dispositivo móvil.....	41
3.3. Definir el conjunto finito de señales obtenidas, que se utilizará como base para la interpretación de la aplicación de Android.....	59

3.4. Implementar el algoritmo de Naive Bayes que permita asociar la señal entrante al conjunto definido de señales.....	61
3.5. Implementar la aplicación que adquiera la señal para poder procesarla y responder a través de los recursos del dispositivo móvil con Android 4.3 o superior.....	65
Capítulo 4. Resultados.....	68
Capítulo 5. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	83
5.1. Conclusiones.....	83
5.2. Trabajos futuros.....	84
<i>Referencias.....</i>	<i>86</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferentes modelos y marcas de sistemas embebidos.....	34
Tabla 2. Conjunto de gestos para clasificador Naive Bayes.	61
Tabla 3. Conjunto de 50 muestras de las 871 del Gesto 1.	69
Tabla 4. Conjunto de 7748 muestras obtenidas en 8 gestos.	71
Tabla 5. clasificación de instancias con solo los 8 atributos EMG.	73
Tabla 6. Clasificación con 8 atributos EMG y atributo time.	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Ejemplo de unidad de medición inercial.	35
Figura 2.Ejemplo de sensor electromiográfico.	35
Figura 3.Ejemplo de aplicación de un sensor electromiográfico a un músculo del brazo.	36
Figura 4.Brazalete MYO que contiene la unidad de medición inercial, los sensores de grado médico, y el sistema Bluetooth 4.0 Smart.....	37
Figura 5. Componentes básicos del brazalete MYO.	38
Figura 6.Conexiones internas del brazalete MYO.	39
Figura 7.Orden de los sensores EMG en el brazalete MYO.	39
Figura 8.Cinco gestos patentados para MYO.	40
Figura 9.Lectura de gesto realizado por la mano.	41
Figura 10.Módulos bluetooth.	42
Figura 11.Gesto de la mano.	44
Figura 12.Lectura de los 8 sensores EMG graficando el gesto de la mano.	44
Figura 13.Lectura de la IMU unidad de medición inercial (Giroscopio, Acelerómetro, Magnetómetro) del gesto de la mano indicado.	45
Figura 14.Instrucciones de instalación de MyoMex.	48
Figura 15.Conexión con el sistema embebido a través de Matlab.	51
Figura 16.Monitor para modo gráfico en matlab del Myo.	52
Figura 17.Acceso al monitor de datos Myo.	52
Figura 18.Interface completa en Matlab.	53
Figura 19.Gráfica de matlab del giroscopio integrado en la unidad de medición inercial.	54
Figura 20.Gráfico en matlab en los ocho sensores electromiográficos.	55

Figura 21. Gesto tipo tijera.....	56
Figura 22. Muestra de los datos obtenidos por los ocho lectores electromiográficos.	57
Figura 23. Muestra de los datos obtenidos por el giroscopio de la unidad de medición inercial.....	58
Figura 24. Conjunto de datos.	62
Figura 25. Thomas Bayes matemático inglés.....	62
Figura 26. Android estudio 2.2.3	66
Figura 27. APP Myo EMG Visualizer en Play Store.....	66
Figura 28. Grafica de la APP Myo EMG Visualizer.....	67
Figura 29. Gesto 1.	68
Figura 30. Software Weka utilizado para el análisis del algoritmo clasificador Naive Bayes	71
Figura 31. Filtro de discretización de los datos.	72
Figura 32. Clasificador Naive Bayes.	72
Figura 33. Gráfico de clasificación con solo los 8 atributos EMG.	73
Figura 34. Conjunto de 7748 instancias con nueve atributos donde se agrega el atributo tiempo.	74
Figura 35. Gráfico de clasificación con 8 atributos EMG y atributo time.	75
Figura 36. Desarrollo de la pantalla de presentación.....	76
Figura 37. Desarrollo de las ocho gráficas para cada uno de los lectores EMG.	77
Figura 38. Smartphone Xiaomi, modelo Redmi Note 3.....	77
Figura 39. Características y arquitecturas del Smartphone Xiaomi, modelo Redmi Note 3.	78

Figura 40.Pantallas de bienvenida y localización del dispositivo Myo.	79
Figura 41. Pantallas de localización y de graficación.....	80
Figura 42.Pantallas donde se gráfica un gesto de la mano.	81
Figura 43.Pantallas donde se indica se ingrese un nuevo gesto a grabar.....	81
Figura 44.Pantalla donde se detecta un gesto con respecto a los grabados con anterioridad.	82

Capítulo I Generalidades

1.1. Introducción.

En la actualidad, muchas personas con capacidades diferentes auditivas y vocales tienen como medio de comunicación el lenguaje de señas, llamado dactilológico, sin embargo, aunque es cierto que este lenguaje habilita la comunicación entre sus similares, el comunicarse con el resto de la sociedad que no conoce este lenguaje resulta muy complicado.

En el último censo realizado por el INEGI en el año 2010, las personas que presentan algún tipo de discapacidad son 5 millones 739 mil 270, que representa el 5.1% de la población total.

De esos, 694 mil 464 tienen algún problema para escuchar y 477 mil 104 algún problema para hablar o para comunicarse, dando un total entre ambos de 1 millón 171 mil 568 personas. [1]

La gente que conoce el lenguaje de señas, conocido como intérprete, es capaz de tener comunicación entre ellos y personas que lo desconocen, su ayuda es indispensable, pero no siempre se puede contar con ellos.

Los avances tecnológicos de nuestros días, han permitido el desarrollo de tecnologías con costos relativamente bajos, las cuales, pueden ser utilizadas para reconocer diferentes partes del cuerpo y a partir de ahí, intentar dar interpretación, usos y significados a diferentes tipos de movimientos, como puede ser la interpretación de señas de manos y del brazo. Un ejemplo sobresaliente es el Kinect de Microsoft®, que resulta ser uno de los dispositivos más eficientes para la lectura de señas corporales, esto a costa de un tamaño

relativamente grande, consumo de energía alto y requerir que el usuario este justo en la parte frontal a una distancia que los sensores puedan leer los señas y movimientos, además de requerir un sistema de cómputo que pueda procesar la información.

Derivado de las observaciones de que el movimiento y la posición del cuerpo son controladas por señas eléctricas que permiten la comunicación bidireccional entre los músculos y el sistema nervioso central y periférico, entonces es posible mediante un sistema embebido de electromiografía superficial y una unidad de medición inercial, leer los pulsos eléctricos y movimientos generados por los dedos, mano y brazo con independencia de cables y con conectividad a un Smartphone o tableta.

La electromiografía es una técnica que permite leer los pulsos eléctricos, entre las diferentes partes del cuerpo y el cerebro, existe la invasiva donde es necesario introducir agujas hipodérmicas y la no invasiva que es superficial como lo aplicado en nuestro caso de estudio.

Una unidad de medición inercial es un dispositivo que permite realizar mediciones e informar acerca del movimiento, orientación y fuerzas gravitacionales, usando para ello respectivamente los siguientes sensores, acelerómetro, giroscopio y magnetómetro.

Un sistema embebido, cuenta con un microprocesador dedicado a cubrir funciones específicas, habitualmente en tiempo real, no requieren necesariamente de monitor o teclado y actualmente han alcanzado un grado de miniaturización que se encuentran comúnmente en teléfonos móviles.

Los teléfonos móviles en los últimos 10 años se han expandido a nivel mundial, permitiendo ser programados a través de diferentes lenguajes de programación, siendo el sistema operativo android el más usado globalmente.

Dentro de la inteligencia artificial existen diferentes tipos de clasificadores, siendo Naive Bayes uno de los más utilizados por su rapidez en sistemas móviles cuando se trabaja en tiempo real, es un clasificador supervisado que predice la probabilidad de posibles resultados, basado en el Teorema de Naive Bayes.

1.2. Descripción del problema.

Uno de los principales problemas que enfrentan las personas con capacidades diferentes auditivas y vocales, es que el lenguaje de señas, es su principal modo de comunicación. Sin embargo, la persona normal promedio desconoce este lenguaje lo que le impide lograr una comunicación aceptable, por lo que no pueden ser entendidos, provocando limitaciones en su desarrollo social, de educación, laboral y negocios.

Un intérprete no puede estar en todo momento con este tipo de personas, por lo que se requiere de algún otro medio que permita una comunicación con el resto de la sociedad.

El emplear un sistema embebido como detector de señas realizadas por los dedos, mano y antebrazo, por electromiografía superficial, trabajando en conjunto con una unidad de medición inercial que informe sobre los movimientos de los dedos, la posición de la mano y del antebrazo presentan los problemas que se detallan a continuación:

- ❖ La electromiografía superficial usada en este trabajo, es no invasiva pero menos precisa que la electromiografía intramuscular o invasiva debido a que en la primera el área de detección es mayor, a diferencia que en la segunda la aguja hipodérmica insertada directamente en el músculo o nervio brinda gran precisión en el proceso de censado.
- ❖ Se censan varios músculos, no solo uno, específicamente los que controlan los dedos, la mano y el antebrazo lo que aumenta la complejidad, a pesar de que se usan ocho sensores de grado médico estos deben ser ubicados siempre en la misma posición.
- ❖ La unidad de medición inercial y los sensores de grado médico para electromiografía deben ser calibrados para cada diferente individuo.
- ❖ El sistema embebido genera una gran cantidad de señales al mover simultáneamente dedos, mano y antebrazo, por lo que requieren ser clasificados con gran rapidez.
- ❖ La comunicación entre el sistema embebido ubicado en el antebrazo o muñeca, debe ser capaz de adaptarse a los recursos de comunicación de un dispositivo móvil, específicamente con un Smartphone con sistema operativo android 4.3 o superior debido a que se usa comunicación Bluetooth 4.0 Smart y es soportado solo de esta versión en adelante.

1.3. Hipótesis.

Es posible lograr la detección de un conjunto finito de gestos de la mano, por electromiografía superficial y una unidad de medición inercial, e interpretarlos a través de un sistema embebido y un dispositivo móvil utilizando un clasificador Naive Bayes.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Desarrollar una aplicación que detecte un conjunto finito de gestos de la mano por electromiografía superficial y una unidad de medición inercial, empleando un sistema embebido y un dispositivo móvil utilizando un clasificador Naive Bayes para su interpretación.

1.4.2. Objetivos específicos.

- ❖ Detectar los movimientos de los dedos, mano y antebrazo con electromiografía superficial de grado médico, y una unidad de medición inercial.
- ❖ Transmitir las señales generadas por los movimientos, desde el sistema embebido hacia el dispositivo móvil con Android 4.3 o superior por Bluetooth 4.0 Smart en tiempo real.
- ❖ Definir el conjunto finito de señales para los movimientos, que brinden la oportunidad de poder ser usados para el apoyo de la comunicación de las personas con capacidades auditivas y vocales diferentes.
- ❖ Validar el algoritmo de clasificación Naive Bayes, que permita clasificar los movimientos hacia el conjunto finito definido.

- ❖ Desarrollar la aplicación compatible con el sistema Android 4.3 o superior y el sistema embebido.

1.5. Justificación.

Según CONAPRED (Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación) dependiente de la Secretaría de Gobernación existe una barrera que padecen las personas con discapacidad y que debido a sus características se ha generado una mentalidad que a traído consecuencias graves durante lustros, ya que en lugar de que se establezcan las condiciones necesarias para sus desarrollo, por el contrario se les margina y rechaza al marcarlos o estigmatizarlos como incapaces de formar parte de una sociedad normal.

Este trabajo va dirigido a brindar la oportunidad de poder apoyar a la comunicación de las personas con capacidades auditivas y vocales diferentes proporcionándoles un medio que pudiera mejorar la oportunidad a esta comunidad que ha sido históricamente relegada, empleando tecnología actual como la aprendida durante el estudio de la maestría, lo que justifica plenamente el desarrollo de este trabajo.

El uso de electromiografía superficial es más aceptada al ser de tipo no invasiva solo se pone sobre los músculos, y con el uso de inteligencia artificial aplicando un clasificador Naive Bayes, el sistema embebido y un dispositivo móvil, se prevé que en conjunto puedan interpretar los gestos que en trabajos futuros pueden brindar la oportunidad de ser útil a este grupo de personas en su comunicación, con el resto de la sociedad a través de imágenes, texto y/o audio.

El usar un dispositivo que lea los pulsos eléctricos y los transmita inalámbricamente permite gran autonomía de movimientos ya que no requiere cables.

1.6. Propuesta de solución.

En este trabajo se plantea una solución basada en la elección de un sistema embebido y dispositivo móvil que se comuniquen inalámbricamente por bluetooth smart para evitar el uso de cables, empleando sensores utilizados en medicina para electromiografía superficial y una unidad de medición inercial que no representen riesgo para el usuarios, definiendo un conjunto de gestos que proporcionen las instancias, atributos y clases para un clasificador Naive Bayes, desarrollando una aplicación que permita interpretar cada gesto y asociarlo a texto y/o imagen y/o audio.

1.7. Metodología.

1.- Seleccionar el sistema embebido que contenga los acoplamientos de sensor transductor de grado médico para electromiografía superficial y la unidad de medición inercial para obtener las señales de los dedos, mano y antebrazo.

2.-Comunicar el sistema embebido inalámbricamente con protocolo Bluetooth hacia el dispositivo móvil como smartphone o tableta.

3.-Definir el conjunto finito de señales obtenidas, que se utilizará como base para la interpretación de la aplicación de Android.

4.-Implementar el algoritmo del clasificador Naive Bayes que permita asociar la señal entrante al conjunto definido de señales.

5.- Implementar la aplicación que adquiera la señal para poder procesarla y responder a través de los recursos del dispositivo móvil con Android 4.3 o superior.

1.8. Alcances y limitaciones.

1.8.1. Alcances.

Desarrollar la aplicación para un dispositivo android 4.3 o superior que se sincronice correctamente con el sistema embebido a través de bluetooth Smart, detectando las señales provenientes de los dedos, mano y antebrazo, así como el correcto funcionamiento del clasificador Naive Bayes implementado en el sistema embebido y/o dispositivo móvil para poder brindar el apoyo en trabajos futuros la comunicación de personas con capacidades auditivas y vocales diferentes.

1.8.2. Limitaciones.

La lectura de los pulsos eléctricos solo puede ser tomada en la muñeca o en el antebrazo bajo la técnica de Electromiografía (EMG) superficial, y no intramuscular. Una de las limitaciones de la electromiografía superficial, es que solo se puede usar para medir los potenciales provenientes de músculos superficiales y es sensible a la actividad eléctrica en un área demasiado amplia [2]. Los individuos candidatos a usarla no deben tener marcapasos, o dispositivos bioelectrónicos que puedan ser interferidos por la comunicación bluetooth, para pacientes que ingieran medicamentos que afecten el sistema nervioso central, anticoagulantes o con Síndrome de Parkinson o similares deben seguir un estricto protocolo de vigilancia médica o debe omitirse si se detecta algún tipo de riesgo a su integridad. La comunicación y autonomía dependen de la batería del dispositivo Android y del sistema embebido que se prevé que tenga una duración aproximada a las 6 a 8 horas. Por el momento es exclusivo del sistema operativo Android 4.3 Jelly Bean o superior porque a partir de este se tiene compatibilidad bluetooth 4.0 Smart .

1.9. Organización de la tesis

Este trabajo consiste en 5 capítulos, y se encuentra dividido de la siguiente forma. El capítulo 1 contiene la introducción, hipótesis, objetivos, propuesta de solución, metodología, alcances y limitaciones. El capítulo 2 consiste en el estado del arte acerca de electromiografía y unidades de medición inercial para aplicaciones similares. El capítulo 3 se detalla la metodología para realizar el objetivo propuesto. El capítulo 4 muestra los resultados obtenidos de la metodología propuesta, finalmente en el capítulo 5 se dan a conocer las conclusiones sobre los resultados obtenidos y los posibles trabajos futuros para la tesis elaborada.

Capítulo 2 Estado del arte.

2.1. Estado del arte.

Algunos textos y trabajos relacionados al estado del arte con electromiografía para censar partes del cuerpo humano y utilizarlos como medio de control o interpretación se describen a mayor detalle.

Merletti [2] en su literatura menciona que la electromiografía consiste en el registro y estudio de las señales bioeléctricas involucradas en la activación y contracción muscular. Las señales eléctricas que controlan el funcionamiento del cuerpo humano son utilizadas para realizar mediciones en el área médica como lo son la electrocardiografía (ECG), la electroencefalografía (EEG) y la electromiografía (EMG), la información que entregan estas señales es de vital importancia en el diagnóstico de diferentes enfermedades, dado que pueden revelar el estado o desempeño de la fuente que las genera por ejemplo el corazón, el cerebro y los músculos.

El conocimiento de la naturaleza y principios que gobiernan éste tipo de señales junto con su correcta interpretación puede ayudar a resolver problemas relacionados con la salud de las personas o para este caso lograr la comunicación de personas con capacidades auditivas y vocales diferentes.

Actualmente la EMG es una técnica de investigación y diagnóstico médico que permite detectar y evaluar enfermedades neurológicas-musculares. Si los nervios involucrados en la generación y transmisión de los comandos de activación muscular están afectados, pueden variar las características de generación de los potenciales de acción (frecuencia, amplitud, entre otras);

mientras que si son los músculos los que están afectados, varían las características de transmisión de los impulsos (velocidad de conducción, amplitud, entre otras). La información extraída de las señales mioeléctricas superficiales permite analizar el comportamiento global de los músculos estudiados y sus parámetros.

La ventaja de éste método es que no es invasivo y la desventaja es que solo puede ser aplicado a músculos superficiales, el espectro de frecuencias esperado de la señal EMG de superficie comprende la banda entre 10 y 400Hz.

Mesin en [3] refiere que Los electrodos son transductores que convierten las corrientes iónicas y corrientes de desplazamiento, presentes en el cuerpo y en la interfaz entre el cuerpo y el electrodo, en corrientes de electrones, permitiendo la detección de biopotenciales.

Shroffe D. et al., en [4] cita que la electromiografía puede ser utilizada en diversas aplicaciones, incluyendo la identificación de las enfermedades neuromusculares, señales de control para dispositivos protésicos, el control de máquinas, robots, etc. Ya que al aplicar EMG en manos para detectar movimientos puede ayudárseles desarrollando una buena interfaz en computadora que aumente la calidad de vida de las personas con discapacidad o de edad avanzada. El objetivo principal del este trabajo es identificar los gestos de la mano que están predefinidos utilizando la red neuronal artificial que es particularmente útil para fines de clasificación. Los patrones EMG se extraen de las señales para cada movimiento y las características extraídas de las señales se envían a la red neuronal para el entrenamiento y la clasificación ya que es buena técnica para la clasificación de las señales biológicas. Las

características como el valor absoluto medio, raíz cuadrada media, la varianza, la desviación estándar, la frecuencia media, cruce por cero y el cambio de signo de pendiente son elegidos para entrenar la red neuronal.

Xu Zhang et al., propone [5] un reconocimiento de gestos de mano basado en un acelerómetro de tres ejes (ACC) y electromiografía superficial a través de los modelos ocultos de Markov. Para el reconocimiento del lenguaje de signos, los resultados experimentales sobre la clasificación de los 72 signos del lenguaje chino demuestran la funcionalidad complementaria de los sensores. Además, el reconocimiento de las 40 frases del lenguaje chino, presentan un sistema interactivo en tiempo y está construido como juego de cubo de Rubik virtual con 18 tipos de gestos con las manos.

El reconocimiento de gestos de la mano proporciona una manera inteligente, natural y conveniente de la interacción persona-ordenador. El reconocimiento del lenguaje de signos y el control basado en gestos son las dos principales aplicaciones de las tecnologías de reconocimiento de gesto de la mano. Esto pretende interpretar palabras automáticamente por un ordenador con el fin de ayudar a las personas sordas a comunicarse con la sociedad. El reconocimiento del lenguaje de signos se basan en modelos ocultos de Markov que se emplean como herramientas eficaces para el reconocimiento de las señales que cambian con el tiempo.

Wheeler. (2005) et al., En [6] el trabajo se presenta dos novedades probabilísticas para su uso con electromiografía (EMG). La primera es una interfaz neuro-eléctrica para el control de un dispositivo virtual, basado en el reconocimiento de gestos. El segundo es el desarrollo de un método bayesiano

para la descomposición de la señal EMG. Esta técnica más compleja pero permitir una mayor resolución en la separación de los grupos de músculos para reconocimiento de los gestos. Los ejemplos que presenta se basan en el muestreo de datos EMG desde el antebrazo de un sujeto. El reconocimiento de gestos basados utiliza software de reconocimiento de patrones que ha sido entrenado para identificar los gestos de entre un conjunto dado de gestos. El software de reconocimiento de patrones consiste en modelos de Markov que se utilizan para reconocer los gestos, ya que se realiza en tiempo real a partir de los promedios de EMG en movimiento. Se realizaron dos experimentos para examinar la viabilidad de esta tecnología de interfaz. La primera replica virtual interfaz de un Jostick, y el segundo replica un teclado, para distinguir mejor entre diferentes grupos musculares y destrezas motoras finas se envían a un algoritmo bayesiano para EMG superficial.

Singh, Jishant et al., [7] propone los gestos de la mano utilizando señales electromiográficas. La señal se toma como una entrada diferencial a partir de dos posiciones en el mismo músculo. Las señales son refinadas en el reconocimiento de patrones utilizando algoritmos de aprendizaje automático.

Así mismo, crea un prototipo capaz de realizar un reconocimiento de gestos de la mano, usando electromiografía. La electromiografía (EMG) es una técnica de medicina de electrodiagnóstico para evaluar y registrar la actividad eléctrica producida por los músculos esqueléticos. Los fundamentos de la EMG se utilizan para diseñar un circuito que lleva las señales diferenciales a partir de dos electrodos colocados en el mismo músculo en diferentes ubicaciones, con un electrodo de referencia de los huesos. El circuito pre-amplifica la señal de entrada, filtra la señal resultante para el ruido, y finalmente la amplifica. Esta

señal de salida alimenta a un algoritmo de aprendizaje automático, que asocia las señales de diferentes datos gestos, y esto se puede utilizar para controlar mediante el sistema de reconocimiento de gestos.

Villamizar Pinzón et al., en [8] describe la construcción de un brazo robótico controlado por señales Electromiográficas EMG, las cuales son tomadas por los electrodos que son conectados al brazo del paciente. Esas señales, son controladas por unos sensores superficiales de EMG. Los biopotenciales que pasan por los músculos del brazo son controlados por el dispositivo microcontrolador de plataforma Arduino, en el cual dependiendo de la diferencia de potencial que circule por el músculo, va activar los servomotores que controlan el brazo robótico. Se utilizan 4 servomotores y sensores de EMG para darle 8 grados de libertad al brazo robótico.

La Rota et al., en [9] propone un sistema de generación de comandos de control de prótesis multifuncional basado en la clasificación de patrones de la señal EMG. Se realizó un análisis de diferentes características de la señal EMG para evaluar su capacidad de discriminación. Se estudiaron diferentes métodos para reducir la probabilidad de error del sistema. También se evaluó la estabilidad del sistema con un gran número de señales. El resultado fue muy satisfactorio: se logró disminuir la probabilidad de error del sistema en gran medida con métodos muy sencillos de implementar.

Raurale , en [10] menciona que las prótesis de mano robótica son altamente benéficas, ya que permiten reproducir los diferentes gestos con las manos con en base de la muñeca y movimientos de dedos. En el campo de

procesamiento de señales biomédicas, el desarrollo de una interfaz avanzada hombre-máquina ha sido un tema de investigación interesante en el campo de la rehabilitación, en los que las señales de electromiografía (EMG), tienen un papel vital que desempeñar. La señal de EMG es una actividad eléctrica de los músculos y por lo general representa como una función del tiempo, se define en los términos de amplitud, frecuencia y fase. La señal EMG de reconocimiento para los gestos de la mano es confiable y eficiente, esto puede ayudar a desarrollar una buena interfaz computadora-humano, que a su vez aumentará la calidad de vida de las personas con discapacidad o de edad avanzada. Este artículo revisa la investigación reciente y desarrollo de prótesis de mano para múltiples gestos con las manos en base a la movilidad de la muñeca-mano usando señales EMG. Para identificar la efectividad de la prótesis de mano y los músculos del antebrazo están siendo considerados para un mejor aprovechamiento de las señales EMG y clasificación de movimientos se realiza a través de la transformada wavelet de tiempo-frecuencia con apoyo en Redes Neuronales Artificiales (RNA).

Graupe et al., en [11] describe un sistema en tiempo real para la separación entre las varias funciones de las extremidades, con el fin de proporcionar un control multifuncional de una prótesis de extremidad superior para amputados por encima del codo. El sistema emplea como hardware un microprocesador y se basa en la identificación de señales mioeléctricas voluntarias que resultan de contracciones isométricas de los músculos de la extremidad.

El sistema requiere sólo dos electrodos. (Contrariamente a la colocación habitual de varios pares de electrodos directamente sobre zonas musculares específicas, para eliminar la diafonía, prefiere colocar el par de electrodos entre los músculos con el fin de adquirir las diferentes señales débilmente correlacionadas asociadas a cada uno de varias diferentes funciones voluntarias.) El sistema satisface las diversas limitaciones prácticas de peso, volumen y velocidad, de la prótesis. Pruebas preliminares sobre amputados han dado como resultado del sistema una tasa de éxito del 85 por ciento para el uso de microprocesador de 8 bits como hardware.

Frisoli et al., en [12] introduce una nueva herramienta de registro cinemático de datos a la biomecánica de rehabilitación de pacientes con secuelas causadas por accidentes cerebrovasculares. El diseño y desarrollo de sensores portables de bajo costo y comunicación telemétrica permite la adquisición de datos cuantitativos que pueden utilizarse como biofeedback durante las rutinas de terapia de rehabilitación convencional o asistida por robótica. Se utilizaron en esta investigación Unidades de Medición Inercial (IMUs) como sensores principales embebidos en conjunto con los dispositivos de comunicación telemétrica por sistemas ZigBee basados en norma IEE 802.15.4. Cada dispositivo final de la red funciona como una unidad segmento en la Red Corporal de Sensores, comandada por un dispositivo coordinador que administra la transferencia de datos. Los sensores IMU a través de acelerómetros, giroscopios, magnetómetros y la aplicación de una Matriz de Cosenos Directores permiten obtener en cada instante las variables biomecánicas en Sistema Coordenados Locales que serán convertidos a un Sistema Coordenado Global. En el experimento realizado se registró el gesto

de alcanzar y agarrar un objeto en una población sana de voluntarios. A modo de validación, el sistema de sensores ZigBee desarrollado y un sistema de videografía 3D registraron en forma simultánea diferentes individuos durante consecutivas repeticiones del movimiento. En esta primera etapa de verificación del sistema, el cálculo del ángulo del codo, obtenido a través de ambos métodos de registro muestran amplitud y fases correlativas, con alta repetitividad inter e intra sujetos.

Vidal Moreno, en [13] propone en su literatura que el Reconocimiento Gestual es el proceso de registrar un gesto del mundo real, de analizar los parámetros capturados y de dar como resultado qué gesto humano se ha realizado.

El Sistema de Captura de Movimiento es la solución electrónica o mecánica que se encarga de transformar el movimiento puramente físico en información de tipo digital. Hoy en día, los Sistemas de Reconocimiento Gestual se encuentran en el punto de mira de la mayoría de compañías importantes relacionadas con el software de alguna manera. Nos encontramos en una batalla comercial por ver qué sistema de reconocimiento o dispositivo de captura de movimiento es más usable, intuitivo, barato... o dejando de lado las características del propio dispositivo y del sistema, cuál tendrá más éxito a nivel comercial. El primer paso lo dieron las empresas relacionadas con los videojuegos, buscando mejorar sus animaciones gráficas, añadieron los movimientos registrados directamente de un cuerpo humano a la animación. Luego se buscó dar un cambio radical a la interfaz humana de las videoconsolas y se añadieron mandos inalámbricos con sensores inerciales. Actualmente, todos los fabricantes de videoconsolas se han subido al carro de las nuevas interfaces que relacionan al ser humano con las máquinas de una manera más

natural. Día a día, se ven más alejados los antiguos sistemas de interacción: tarjetas perforadas, ratón, teclado, gamepads, botones, joystick... los cuales han perdido su papel dominante en ciertos contextos. El proyecto se centra en el desarrollo de un Sistema de Reconocimiento de Gestos, utilizando una solución empresarial de captura de movimientos. En este proyecto no se buscará mejorar, investigar o analizar el funcionamiento de la electrónica del dispositivo sino simplemente se usará como medio para obtener los valores, nada más. Cabe destacar que más allá que buscar un desarrollo dedicado puramente al entretenimiento, al software que nos ocupa se le buscan aplicaciones relacionadas con la medicina y el ser humano, en este caso su primera aplicación será en la rehabilitación de personas con problemas de movilidad. Para su desarrollo se ha usado una plataforma tipo PC, una IMU de captura de movimiento; como software se han usado el Visual Studio 2008, el 3ds Max para las animaciones y el 3d GameStudio para el desarrollo de la interfaz gráfica. El resultado es, pues, una librería con las capacidades de reconocer patrones predefinidos de movimiento y, además, con capacidades para la gestión de su memoria de gestos.

Capítulo 3. Desarrollo.

Primero debemos tener muy claro el concepto de electromiografía, este término es usado con precisión para referirse a todas las técnicas utilizadas en los estudios referentes al sistema neuromuscular. Éste se fundamenta en la parte eléctrica que toma como base la recepción de potenciales bioeléctricos por parte de un conjunto de sensores y aparatos con características muy específicas. Estos pulsos bioeléctricos son tomados a través de electrodos, es común para la mayor parte de los usuarios experimenten un mayor agrado por la técnica externa conocida como electromiografía superficial, los electrodos situados sobre la piel deberán estar fijados a un músculo o nervio. Existe una gran diversidad de sensores que habitualmente es por medio de cables que las señales son enviadas a unos amplificadores con un sistema de depuración de filtrado, convirtiendo la señal análoga en señal digital para poder ser tratada y procesada; allí se visualizan y se toman los biopotenciales eléctricos, para ser estudiados según cada caso, debemos considerar a la electromiografía como una prolongación de la exploración neurológica, por lo que no existe una estandarización estricta de la misma. Habitualmente en la mayor parte de los casos de estudio, se parte de una hipótesis diagnóstica, donde se planifica el estudio a realizar, de tal manera que permita confirmar o rechazar la hipótesis planteada. Así mismo, se depende de los hallazgos neurofisiológicos que vayan apareciendo, para ir modificando el estudio inicial y ampliarlo a otras técnicas. Esta es una prueba poco agresiva y con escasos efectos secundarios. Pero los estudios realizados con anterioridad sugieren tener en cuenta dos variantes que pueden imposibilitar las pruebas con éxito: la existencia de un marcapasos o la toma de anticoagulantes orales, en ambos casos se deben seguir

protocolos clínicos previos a la realización de cualquier estudio de electromiografía [14].

Desarrollo de la metodología

3.1. Seleccionar el sistema embebido que contenga los acoplamientos de sensor transductor de grado médico para electromiografía y la unidad de medición inercial para obtener las señales de los dedos, mano y antebrazo.

Para poder seleccionar un sistema embebido, es necesario considerar los factores y arquitecturas que definen su rendimiento, debemos entender que un sistema embebido es un sistema de computación diseñado para realizar tareas dedicadas habitualmente en tiempo real, es muy diferente a lo que ocurre con las computadoras de propósito general que son diseñadas para cubrir un amplio rango de necesidades, los sistemas embebidos se diseñan para cubrir necesidades muy específicas. De forma general la mayoría de ellos tienen componentes dentro de su tarjeta madre como son: vídeo, audio, conectividad, conectores, etcétera. Y un dispositivo como este, no tiene el aspecto de los que habitualmente se suele asociar a una computadora. Ahora existen una gran diversidad de marcas y dentro de esas marcas existen aún más modelos, por lo que elegir la placa que cumpla con la tarea fue bastante difícil a continuación se muestra en la tabla 1, los diferentes modelos y marcas existentes en el mercado, con venta al público.

1. Raspberry Pi 2 Model B
2. BeagleBone Black
3. Raspberry Pi Model B+
4. Odroid-C1
5. DragonBoard 410c
6. Odroid-XU3
7. Parallella
8. Arduino TRE
9. Edison Kit for Arduino
10. Odroid-U3
11. Cubieboard4
12. Raspberry Pi Model A+
13. Arduino Yún Mini
14. Banana Pi M2
15. MinnowBoard Max
16. Banana Pro
17. Wandboard Quad
18. HiKey
19. Udo0 Quad
20. A20-OlinuXino-Micro
21. HummingBoard
22. Galileo Gen 2
23. Creator CI20
24. Cubieboard3
25. Arndale Octa Board
26. A10-OlinuXino-Lime

27. Cubieboard2
28. Orange Pi Plus
29. 86Duino
30. Firefly-RK3288
31. USB Armory
32. PCDuinoNano
33. Udo Neo
34. PCDuino3B
35. Black Swift
36. BD-SL-i.MX6 (SABRE Lite)
37. Gizmo 2
38. Radxa Rock Pro / Lite
39. SAMA5D4 Xplained
40. Z-turn Board
41. CloudBit
42. Orange Pi 2 / Pi Mini 2
43. Radxa Rock 2 Square
44. Domino.IO
45. LinkSprite Arches
46. Riotboard
47. Warpboard
48. Viola SBC
49. Rico Board
50. MarsBoard RK3066
51. LinkSprite Acadia
52. DPT-Board

Tabla 1. Diferentes modelos y marcas de sistemas embebidos.

Así que antes de tomar la decisión de cuál emplear después de haber analizado las diferentes características, se decidió buscar los elementos como los sensores transductores y la unidad de medición inercial y ya una vez analizado cada uno de ellos hacer la elección que cumpliera con las necesidades propuestas en la hipótesis de esta tesis.

Para seleccionar la unidad de medición inercial conocida por sus siglas en inglés IMU (inertial measurement unit) es necesario entender cómo funciona, se trata de un dispositivo electrónico que hace varias mediciones de diferentes magnitudes como son la velocidad, orientación respecto al planeta, fuerzas gravitacionales, valiéndose para ello de una combinación de aparatos conocidos como acelerómetros, giroscopios, magnetómetros, barómetros, las unidades de medición inercial son componentes principales de sistemas de navegación empleados en aviones, drones, etcétera. Pero para este caso entregan la información sobre los movimientos de la mano en un eje X, Y, Z y su inclinación, estos datos pueden contribuir a mejorar la precisión de la interpretación de los gestos de la mano, la rapidez con que se mueve, etcétera.

Existen en el mercado de venta varias unidades de medición inercial diferentes marcas y modelos, precios bastante elevados y algunos relativamente económicos a continuación se muestra en la figura 1 un ejemplo.

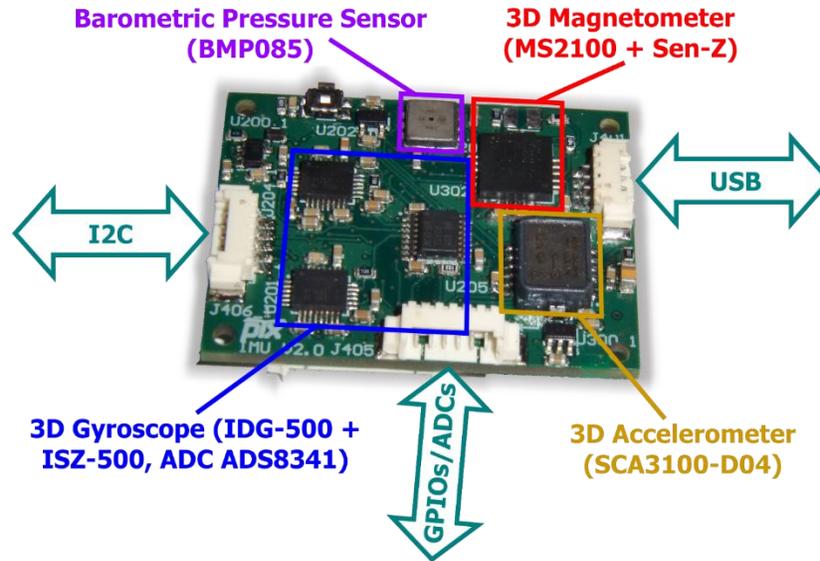


Figura 1. Ejemplo de unidad de medición inercial.

Ahora llegó el turno de elegir los sensores y transductores para tomar las muestras por electromiografía, se hizo una búsqueda intensiva en diferentes páginas de comercios electrónico que ofertarán sensores de electromiografía superficial, se encontraron diferentes tipos, algunos compatibles con arduino, raspberry, beagle bones, etc. Se ejemplifica uno muy popular en la figura 2.



Figura 2. Ejemplo de sensor electromiográfico.

la complejidad de instalar un sensor electromiográfico convencional en el antebrazo puede observarse en la figura mostrada donde se requiere de nueve cables para poder transmitir la información desde el transductor hasta el sistema de procesamiento, para poder hacer una lectura fiable se requieren cuando menos seis sensores, en este contexto entonces habría que transmitir a través de 54 cables lo cual haría impráctico el dispositivo.

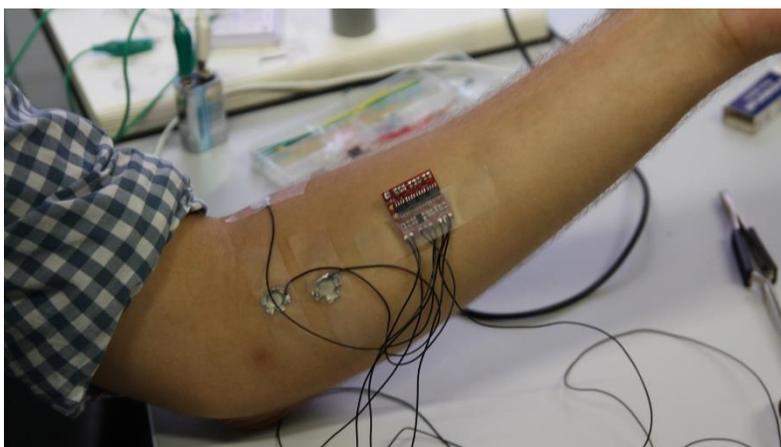


Figura 3. Ejemplo de aplicación de un sensor electromiográfico a un músculo del brazo.

Por eso al analizar la mayor parte de estos, se estaba ante un gran reto, aparte resultó que la mayoría de ellos no eran de grado médico, lo que representa un riesgo a personas con marcapasos o dispositivos similares por lo que no resultarían fiables y por lo tanto útiles, era necesario tener sensores de grado médico los cuales eran difíciles de hallar, este fue el proceso más laborioso en la búsqueda de los componentes hasta que se ubicó una compañía llamada THALMIC LABS en 24 Charles St. W Kitchener, Ontario Canadá que ofertaba estos sensores en acoplamiento con un sistema embebido, pero no era venta al público ya que este producto no se puede encontrar en supermercados, tiendas de autoservicio, almacenes, sólo se vende a desarrolladores de

programación con interés en la electromiografía directamente en su página en línea, actualmente su política ha cambiado y están disponibles a través de amazon.com Canada, en ese momento se decidió que ese era el dispositivo que cumplía con los requisitos para comprobar o rechazar la hipótesis, así que se contacto a la compañía para poder realizar la compra directamente en línea y con un precio aproximado de \$5500 pesos mexicanos más 1000 de envío y derechos de aduana, se concretó la compra en Mayo de 2016 y fue así como esto dio inicio a este trabajo en la parte práctica, a continuación describo los componentes de este dispositivo el cual está formado por varias partes, una contiene el sistema embebido, otra contiene los ocho transductores y ocho sensores de grado médico, la unidad de medición inercial, otra un sistema de comunicación Bluetooth 4.0 Smart, la empresa decidió conjuntar todo en un brazalete(armband en inglés), que puede ser montado en cualquiera de las dos manos o brazos, por omisión se utiliza la mano izquierda, y puede colocarse ya sea en la muñeca o en el antebrazo de acuerdo a cada usuario y las lecturas obtenidas en él, a continuación en la figura 4 se muestra el brazalete.



Figura 4. Brazalete MYO que contiene la unidad de medición inercial, los sensores de grado médico, y el sistema Bluetooth 4.0 Smart.

En la figura 5 se puede apreciar el exterior del sistema debido en forma de brazalete podemos ver que tiene material flexible capaz de expandirse para ajustarse, un puerto para cargar tipo micro USB 2.0, un diodo emisor de luz LED que indica el estado de dispositivo, el logo de la compañía y lo principal los sensores que permiten la lectura eléctrica del bio potencial humano.

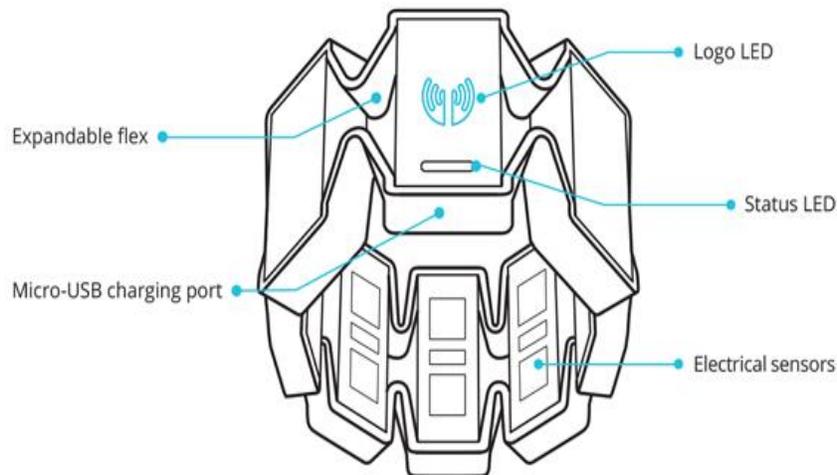


Figura 5. Componentes básicos del brazalete MYO.

En la parte de abajo en la figura 6, se puede apreciar claramente como el brazalete está constituido por ocho segmentos donde cada uno contiene un sensor para electromiografía, y todas las conexiones y cableado se realizan internamente disminuyendo de esta forma la carga de trabajo, siendo entonces una forma práctica de poder tener la certeza de ocho sensores de grado médico que permiten la fiabilidad en las lecturas realizadas en la muñeca o el brazo, todo conjuntado en un brazalete.



Figura 6. Conexiones internas del brazalete MYO.

Algo que es muy importante de mencionar, es el orden en que se encuentran instalados los sensores de electromiografía del brazalete MYO, requirió tiempo encontrar la forma en que están ordenados ya que la empresa en sus datos técnicos no hace referencia al orden de cada uno de los sensores, de tal forma que si se desea obtener datos es necesario saber que lectura corresponde a qué sensor, después de hacer una búsqueda exhaustiva por fin quedó clara la forma en que trabajan estos se muestra en la figura 7 continuación:



Figura 7. Orden de los sensores EMG en el brazalete MYO.

La empresa entrega el dispositivo previamente preparado para reconocer cinco gestos los cuales se ilustran a continuación en la figura 8, con ello se puede tener control de diferentes programas como son power point, reproductores de música, reproductores de vídeo, prezzi, lectores de PDF, diapositivas de Google, etcétera.



Figura 8.Cinco gestos patentados para MYO.

Estos cinco gestos patentados por la empresa, si bien son útiles, no son los suficientes para esta tesis, la empresa liberó un SDK para que los usuarios interesados en la manipulación y procesamiento de la información obtenida de los sensores de electromiografía pudiese ser utilizadas en diferentes ámbitos, podemos encontrar que algunos usuarios han desarrollado sistemas de control de drones, vehículos a control remoto, incluso enlaces con arduino, para nuestro caso particular es de interés el poder hacer lecturas, interpretarlas, procesarlas a través de un algoritmo clasificador, la siguiente figura muestra el concepto de la lectura de los gestos de la mano.

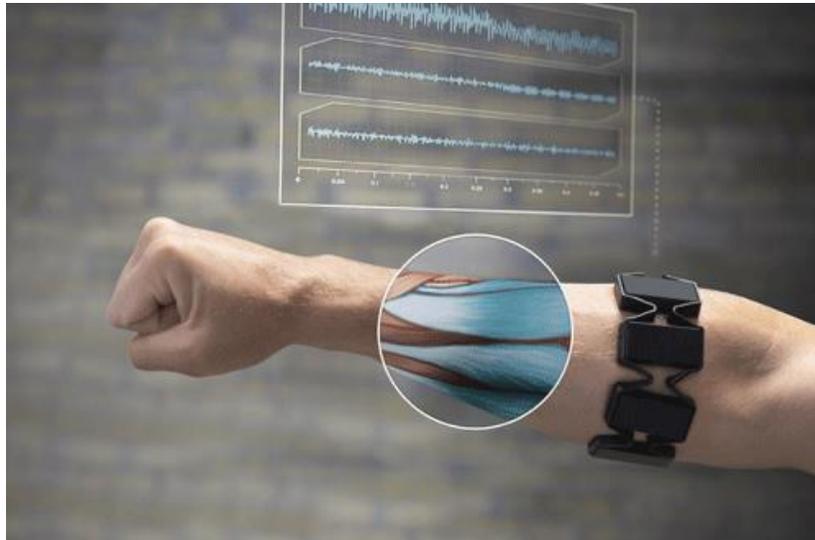


Figura 9. Lectura de gesto realizado por la mano.

3.2. Comunicar el sistema embebido inalámbricamente con protocolo Bluetooth hacia el dispositivo móvil.

Para lograr la comunicación entre el sistema embebido que envía la información obtenida desde los sensores de electromiografía y la unidad de medición inercial, hacia otro dispositivo como un Smartphone, el sistema está equipado con un sistema Bluetooth 4.0 Smart el cual es denominado inteligente, derivado de que a diferencia de sus antecesores, este es capaz de ahorrar energía, activándose sólo cuando se requiere la transmisión o recepción de información, contribuyendo con esto a un uso más eficiente de la batería, es importante conocer la frecuencia y la potencia de salida de funcionamiento del sistema embebido en forma de brazalete, el rango de funcionamiento estándar para este bluetooth (entre 2.402 a 2.480 GHz) ahora la potencia de salida del dispositivo es de 30 dBm a 4 dBm. El sistema incluye un adaptador USB donde está incluido otro módulo bluetooth, éste a su vez

maneja una mínima potencia de transmisión pero tiene como sensibilidad del receptor 93 dBm.



Figura 10. Módulos bluetooth.

Ahora para obtener un mejor rendimiento, es necesario mantener una distancia máxima de 15 m siempre y cuando se tenga un campo de visión sin obstáculos entre el sistema embebido en forma de brazalete y el teléfono celular o dispositivo con el que está comunicando.

Es importante conocer la comunicación por Bluetooth con tecnología Smart Wireless, esta nueva especificación utiliza una tecnología mejorada, que ayuda al sistema embebido a permanecer sincronizado más tiempo utilizando menos energía, la tecnología bluetooth se divide en dos grandes grupos, el bluetooth smart Ready y el bluetooth Smart, los dos tienen como objetivo disminuir el

uso de la batería y mantener un vínculo constante de comunicación solo cuando se requiera o en su defecto reconectarse de forma autónoma cuando se haya perdido la conexión, esta nueva generación de bluetooth pone menos énfasis en el mantenimiento de un flujo constante de información, en su lugar, se centra en el envío de trozos pequeños de datos cuando sea necesario y luego pone la conexión a dormir durante períodos donde no se utiliza. Cuando se conectan los dispositivos Bluetooth 4.0 se desperdicia menos energía ahorrando batería esto debido a que la conexión está inactiva a no ser que se estén compartiendo datos críticos, las nuevas computadoras, teléfonos inteligentes, altavoces, tablets, manejan esta tendencia.

Para lograr la comunicación, y poder obtener datos de los ocho sensores de electromiografía, y la unidad de medición inercial, la empresa que produce el sistema embebido, muestra una interface la cual es gráfica, que permite ver el comportamiento en tiempo real de las señales y gestos de la mano, es un desarrollo hecho JavaScript, lo único que se requiere es tener conectado el sistema embebido a la computadora directamente a través de su módulo Bluetooth, pudiendo identificar algunos gestos como lo muestra la siguiente figura.



Figura 11. Gesto de la mano.

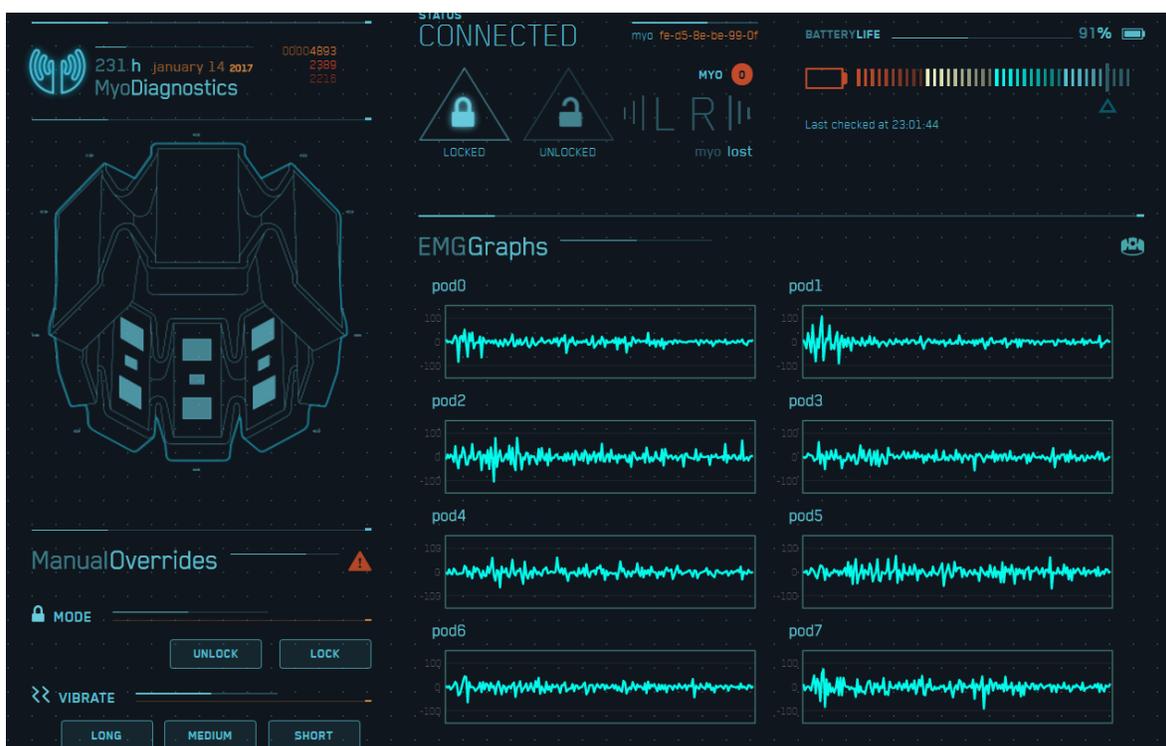


Figura 12. Lectura de los 8 sensores EMG graficando el gesto de la mano.

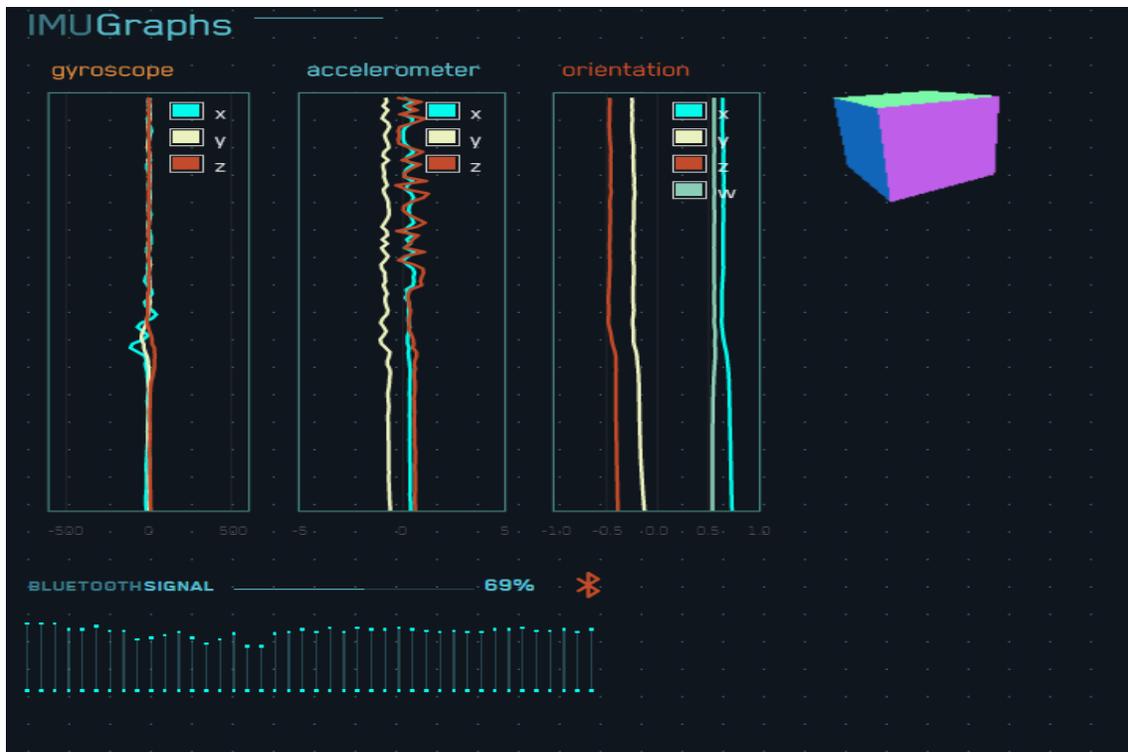


Figura 13. Lectura de la IMU unidad de medición inercial (Giroscopio, Acelerómetro, Magnetómetro) del gesto de la mano indicado.

Inicialmente esta interfaz era muy prometedora, donde se muestran un conjunto de líneas onduladas, convertidas a bits y datos vectoriales, mostrando la belleza y compleja biología de la comunicación que existe entre el cerebro y la mano, la figura también muestra los tres instrumentos y los datos recibidos por el giroscopio, acelerómetro y magnetómetro, pero después de realizar análisis acerca de ella, se tomó la decisión de dejarla de lado, buscando otra solución, ya que esta, a pesar de estar muy bien diseñada, su codificación en algunas partes del código se hacen llamados a funciones, que básicamente tienen una complejidad de tal forma que parecen cajas negras, esto llevó a la decisión de buscar nuevas formas de obtener la información, no omito comentar que para trabajos futuros donde la

comunicación sea directamente con un equipo de cómputo y no con un dispositivo móvil, esta interfaz puede resultar muy útil, y que la empresa sea un poco más abierta al código que utiliza para esta interfaz.

Una alternativa que fue útil es una librería que fue desarrollada para MATLAB, en un paquete que contiene una clase llamada MyoMex, y permite a través del programa recibir datos, pero tiene restricciones muy específicas por lo que se sugiere usar las siguientes características para evitar problemas de compatibilidad

- 1) MATLAB R2013a; 8.1 de Windows de 64 bits; VS2012 Pro.
- 2) R2013a MATLAB; Windows 7 de 64 bits; VS2010 y Microsoft SDK 7.1

para un desarrollador esto permite acceder los datos, pero debe tener en cuenta la siguiente información, la unidad de medición inercial transmite a una frecuencia de 50 Hertz, y los sensores de electromiografía transmiten a 200 Hertz, es necesario cumplir con los requisitos por lo que dentro de este paquete se pueden encontrar los siguientes archivos :,

- LÉAME.txt - Paso a paso las instrucciones para la configuración
prerrequisito
- install_myo_mex () - herramienta de instalación
- build_myo_mex) (- herramienta de construcción MEX-archivo
- MyoMex_Quickstart - secuencia de comandos de inicio rápido guía con el ejemplo de código y comentarios libres.

- MyoMexGUI_Monitor - aplicación GUI de flujo de datos con la visualización de todos los datos disponibles.
- Comience por descargar algunos recursos que se requieren de los laboratorios en Thalmic <https://developer.thalmic.com/downloads>.
- Específicamente, necesitará la aplicación Myo Connect y el SDK de Windows, Puede que tenga que registrar una cuenta de desarrollador gratuita con Thalmic Labs para descargar el SDK.
<https://s3.amazonaws.com/thalmicdownloads/windows/1.0.1/Myo+Connect+Installer.exe>
- Debe descargar el SDK de Windows 0.9.0 en <http://developer.thalmic.com/login/redirect/?next=/downloads>

Siga las indicaciones de la figura de abajo para finalizar la instalación, las cuales se presentan en el idioma inglés, pero han sido traducidas para mayor comodidad de algún usuario con limitantes en este idioma.

```
#####
# MATLAB PACKAGE INSTALLATION

Navigate to the location where you have extracted the contents of this
package. Add the required directories to MATLAB's search path by typing,

>> install_myo_mex

Alternatively, you may choose to have this command save the path so that
you don't have to repeat this step in every new MATLAB session,

>> install_myo_mex save

#####
# BUILDING MEX

Before you can build the mex file, you need to have a valid C++ compiler
installed on your system and configure mex to use this compiler. Assuming
that the former is already taken care of, type the following command and
follow the prompts to configure your C++ compiler.

>> mex -setup

To build the mex interface, you need to specify the location of the Myo
SDK. Recall your location for SDK_PATH from above and type the command,

>> build_myo_mex SDK_PATH

Which in this example look like,

>> build_myo_mex C:\myo-sdk-win-0.9.0\

Now hopefully this completes without error. Upon success, you'll see
command window output similar to the following,

>> build_myo_mex c:\myo-sdk-win-0.9.0

Changing directory to build directory:
'C:\path\to\matlab\package\Myo_SDK_MEX_Wrapper\MyoMex\myo_mex'

Evaluating mex command:
'mex -Ic:\myo-sdk-win-0.9.0\include -Lc:\myo-sdk-win-0.9.0\lib -lmyo64 myo_mex.cpp'

Changing directory to original directory:
'C:\path\where\you\started'

MEX-file 'myo_mex' built successfully!
```

Figura 14. Instrucciones de instalación de MyoMex.

PAQUETE DE INSTALACION DE MATLAB

Navegar a la localización de dónde has extraído los contenidos de este paquete. Agregar los directorios requeridos para la búsqueda de la ruta MATLAB escribiendo,

```
>>install_myo_mex
```

Alternativamente, puedes elegir para tener este comando save la ruta así que no tienes que repetir este paso en cada sesión nueva de MATLAB,

```
>>install_myo_mex_save
```

CONSTRUYENDO MEX

Para que puedas construir el archivo mex, necesitas tener un compilador valido instalado de C++ en tu sistema y configurar mex para usar este compilador. Asumiendo que el comando anterior ya se ha ejecutado, escribe el siguiente comando y sigue las indicaciones para configurar tu compilador C++.

```
>> mex -setup
```

Para construir la interface mex, necesitas especificar la localización de Myo SDK. Recuerda la ruta del SDK_PATH de arriba y escribe el comando,

```
>>build_myo_mex SDK_PATH
```

La cual en este ejemplo luce así,

```
>>build_myo_mex C: /myo-sdk-win-0.9.0/
```

Ahora se espera que esto complete sin error. Después del éxito, verás comandos salida similares a los siguientes:

```
>>building_my_mex c: /myo-sdk-win-0.9.0
```

Cambiando la dirección para construir la dirección original:

```
`C:/path/to/matlab/package/Myo_SDK_MEX_Wrapper/MyoMex/myo_mex`
```

Evaluando el comando mex:

```
`mex -lc: /myo-sdk-win-0.9.0/include -Lc:/moy-sdk-win-0.9.0/lib -lmyo64  
myomex.cpp`
```

Cambiando la dirección por la dirección original:

```
`C:/path/where/you/started`
```

MEX-file `myo_mex` se ha construido exitosamente!

Ya realizado todos los pasos, y checado que no exista ningún problema podemos entrar directamente al modo comando de matlab , teniendo como primer comando en la siguiente línea mm=MyoMex, este comando mostrará las propiedades de la conexión con el sistema embebido tal como se muestra en la siguiente figura, ahora ejecutamos el siguiente comando mm=MyoData el cual responde entregando la información acerca de todos los dispositivos de la unidad de medición inercial y de los ocho sensores de electromiografía, así como las frecuencias utilizadas

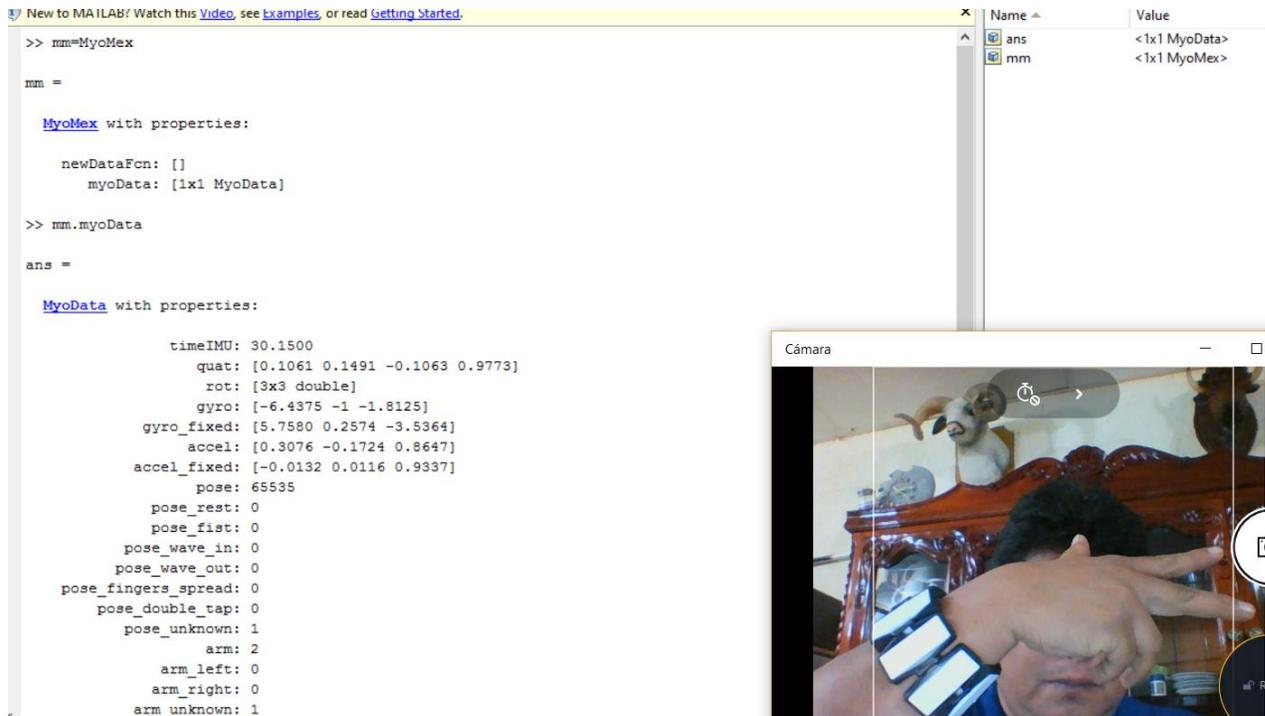


Figura 15. Conexión con el sistema embebido a través de Matlab.

Quando la conexión se ha asegurado entonces, podemos pasar a la parte gráfica para ello es necesario ingresar el siguiente comando MyoMexGUI_Monitor , en respuesta matlab abrirá una ventana que permite el control y la conexión con el sistema embebido, donde solamente se debe iniciar a través del botón el modo gráfico, estos se muestra en la siguiente figura.

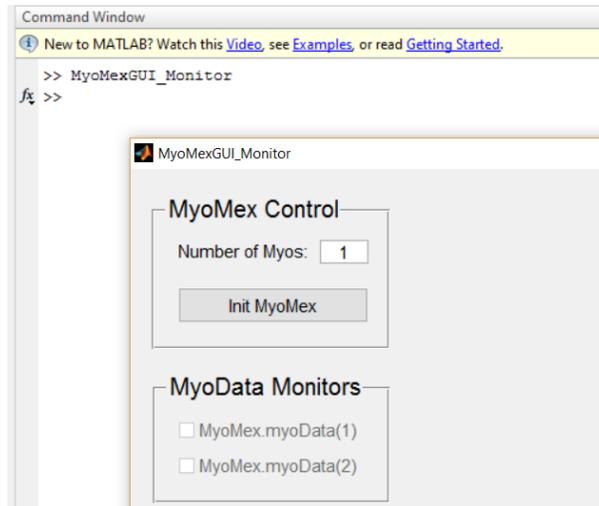


Figura 16. Monitor para modo gráfico en matlab del Myo.

Si la respuesta es exitosa entonces puede verse cómo se activa la opción en el monitor de datos del dispositivo Myo, aquí es necesario dar un clic en el cuadro rotulado como MyoMex.myoData(1).

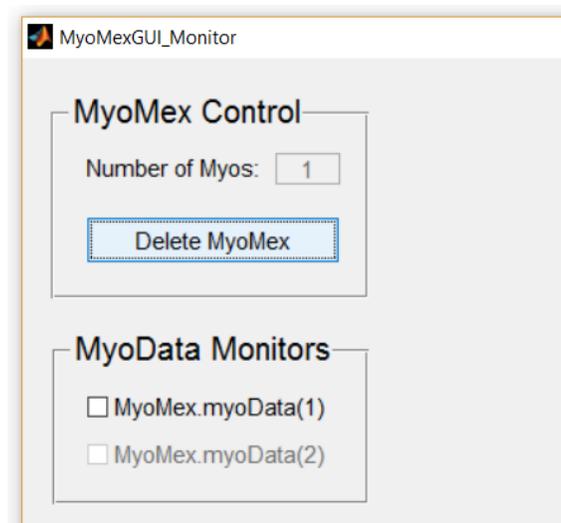


Figura 17. Acceso al monitor de datos Myo.

de no existir ningún error entonces matlab responde con el entorno gráfico directamente en pantalla, de inmediato aparece la interfaz que permite censar

la unidad de medición inercial, mostrando en la parte superior los datos del magnetómetro, en la parte media los datos del giroscopio, en la parte baja los datos del acelerómetro, y en la parte inferior se muestra la gráfica de los ocho sensores electromiográficos cada uno de un color distinto, en la parte izquierda aparece un cilindro con tres ejes en colores azul rojo y verde que representa en los ejes X, Y, Z tal como es indicado en la figura abajo mostrada.

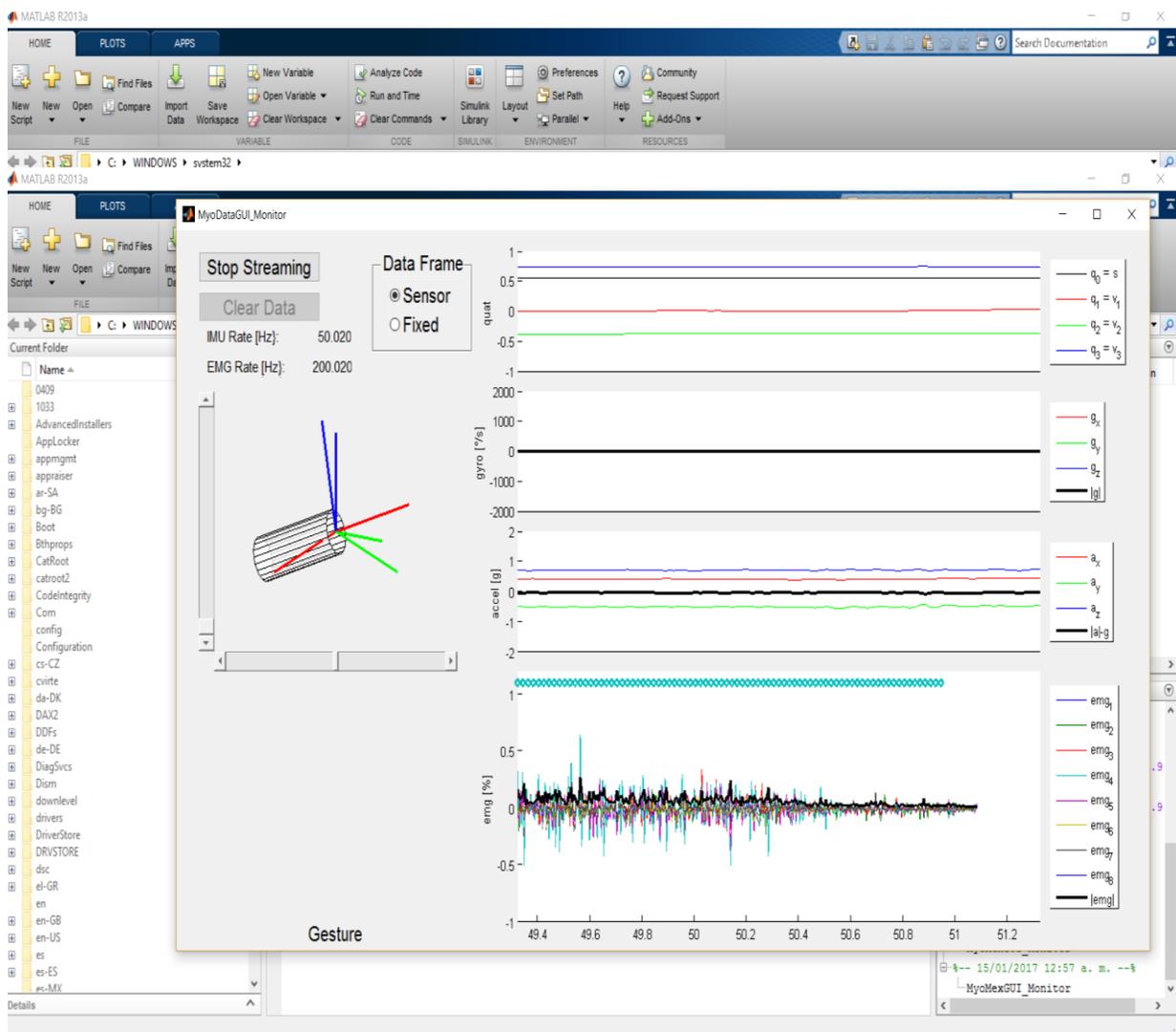


Figura 18. Interfaz completa en Matlab.

si queremos ser más específicos, se puede acceder a gráficos más especializados, todos ellos están documentados en la librería, para que cada

desarrollador puede hacer uso de acuerdo a sus necesidades o capacidad, como ejemplo se muestra una instrucción o comando que permite el gráfico en tiempo real usando los comandos de matlab de la función que controlan giroscopio, el comando es el siguiente `plot(mm.myoData.timeIMU_log,mm.myoData.gyro_log)` y el resultado se muestra en la gráfica a continuación:

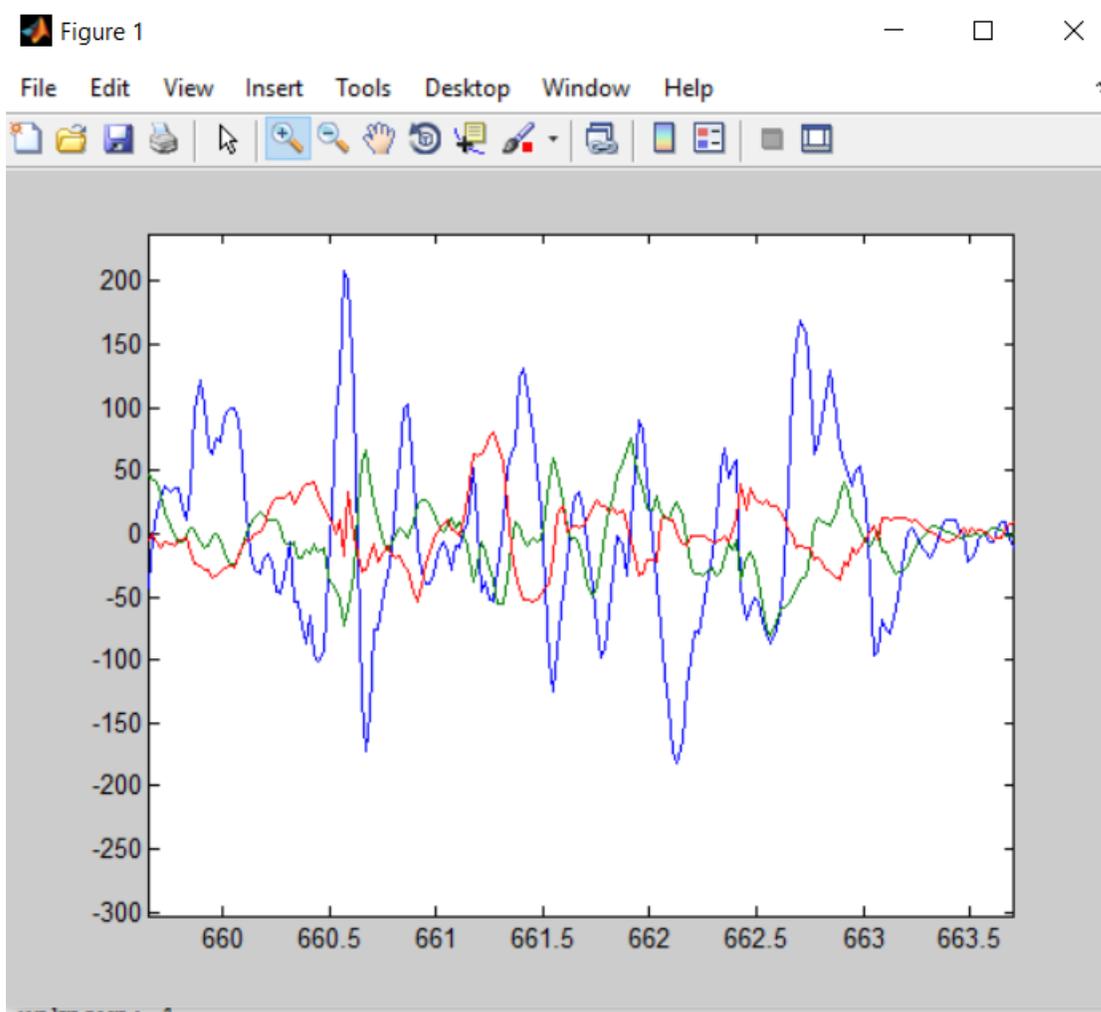


Figura 19. Gráfica de matlab del giroscopio integrado en la unidad de medición inercial.

Con esta interfaz también se puede profundizar en los ocho sensores electromiográficos y graficarlos a través de alguno de los comandos de matlab, para ello es necesario aplicar el siguiente comando `plot(mm.myoData.timeEMG_log,mm.myoData.emg_log)`, el resultado será el mostrado en la parte inferior, donde puede observarse ocho diferentes representaciones siendo cada color correspondiente a cada uno de los ocho sensores electromiográficos

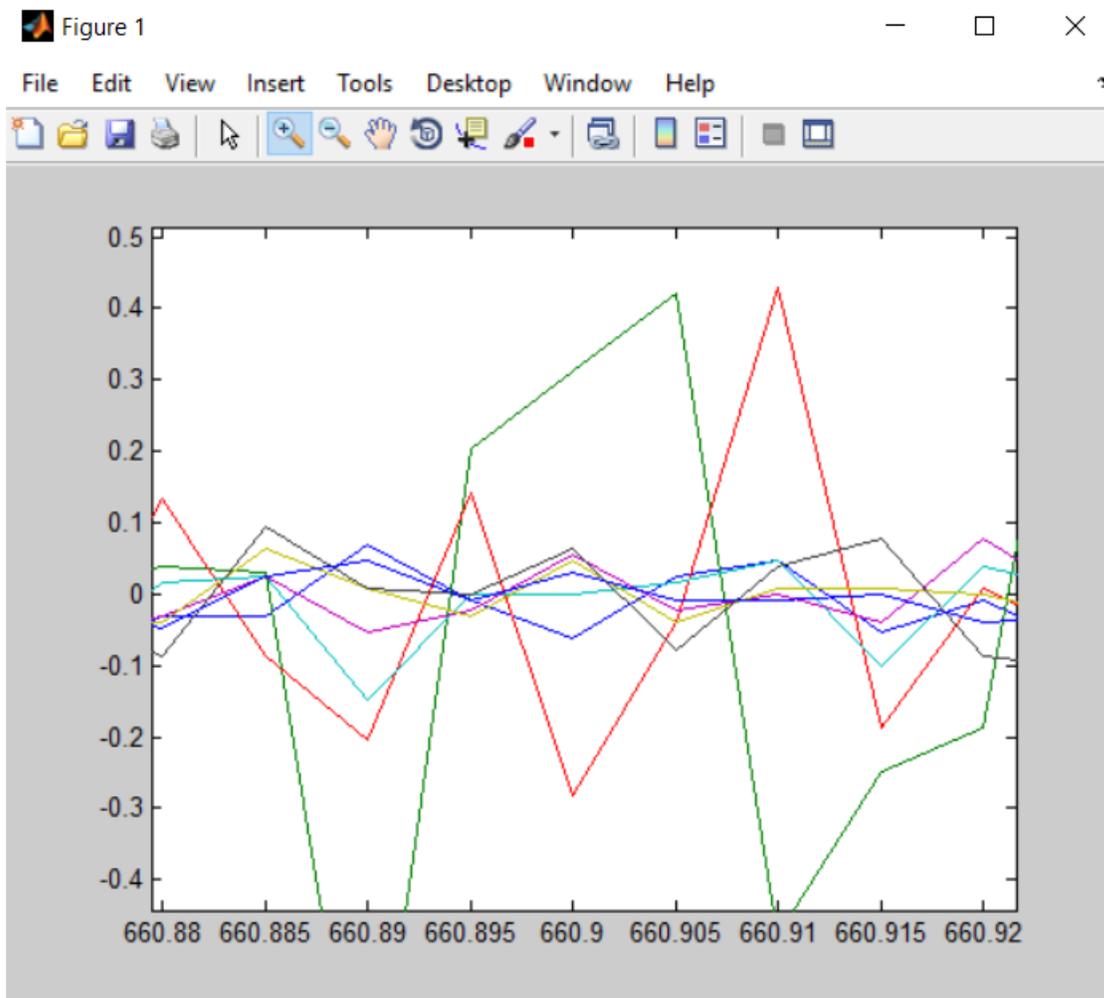


Figura 20. Gráfico en matlab en los ocho sensores electromiográficos.

Una herramienta fundamental para el desarrollo de esta tesis, fue precisamente la liberada por la empresa que permite obtener los datos en bruto directamente de la unidad de medición inercial y de los ocho sensores electromiográficos, llamada Myo Data Capture Windows, que puede obtenerse desde la página de la empresa, a continuación se muestra los datos correspondientes al gesto de la mano mostrado en la figura.

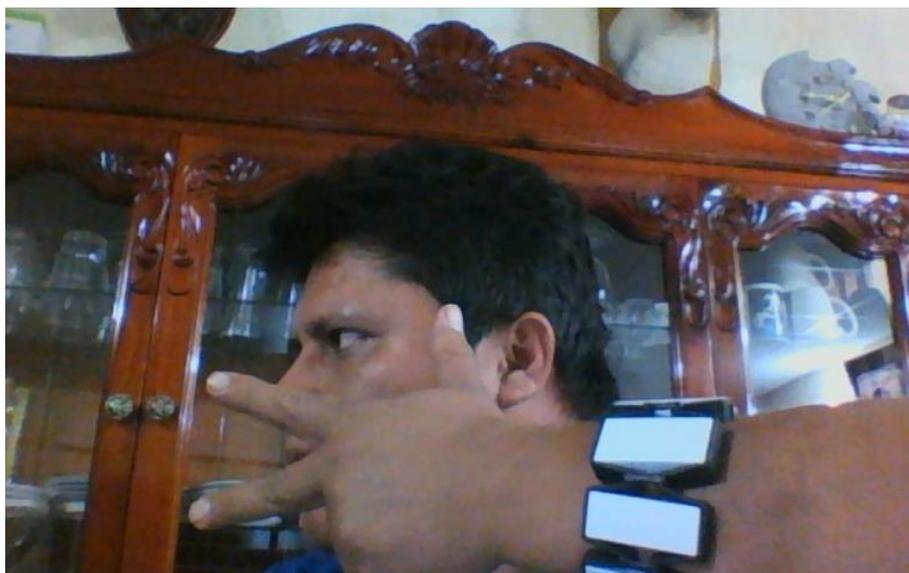


Figura 21. Gesto tipo tijera.

la siguiente tabla muestra los datos obtenidos por los ocho lectores de electromiografía y los intervalos de tiempo para el gesto de la mano en forma de tijera, por la frecuencia utilizada en el dispositivo, el resultado es de 1441 muestras en la lectura de un gesto, esto debido a la complejidad de la comunicación bioeléctrica que existe entre el cerebro y la mano, son estos datos los que son analizados para esta tesis, queda claro que son una cantidad grande de datos para un solo gesto, pero que son utilizados para entrenar al clasificador Naive Bayes.

1412	1.4845E+15	-5	-4	-21	-32	-9	-2	-2	-1	Tijera
1413	1.4845E+15	-3	-4	-1	4	-2	-3	2	-2	Tijera
1414	1.4845E+15	1	2	-6	-8	-4	-4	-5	1	Tijera
1415	1.4845E+15	1	1	12	6	0	-4	-2	-1	Tijera
1416	1.4845E+15	0	4	11	10	0	0	-1	-1	Tijera
1417	1.4845E+15	1	10	15	6	9	9	-1	-2	Tijera
1418	1.4845E+15	-6	-18	-26	-2	0	0	2	-3	Tijera
1419	1.4845E+15	-3	-5	-8	-14	-6	-7	-1	-2	Tijera
1420	1.4845E+15	9	12	7	3	-8	-11	-7	-2	Tijera
1421	1.4845E+15	7	2	7	-6	-10	-6	-1	1	Tijera
1422	1.4845E+15	-5	-1	4	12	10	5	3	-2	Tijera
1423	1.4845E+15	0	4	-21	-24	-7	0	-6	-2	Tijera
1424	1.4845E+15	-4	-6	6	9	-6	-6	1	-2	Tijera
1425	1.4845E+15	3	3	-9	-10	-6	-5	-2	1	Tijera
1426	1.4845E+15	1	5	14	7	2	5	-2	-3	Tijera
1427	1.4845E+15	-4	-3	-3	-7	-2	-5	0	0	Tijera
1428	1.4845E+15	0	-3	2	5	1	1	1	-1	Tijera
1429	1.4845E+15	1	-1	-3	-1	-1	-1	-1	-2	Tijera
1430	1.4845E+15	-1	1	-2	0	5	3	1	0	Tijera
1431	1.4845E+15	-1	-8	-1	-1	30	19	4	0	Tijera
1432	1.4845E+15	1	-3	-2	3	-46	-12	-3	-2	Tijera
1433	1.4845E+15	-11	-7	4	-3	-3	-14	-4	-5	Tijera
1434	1.4845E+15	-1	-7	-24	-7	6	-5	0	-1	Tijera
1435	1.4845E+15	5	8	6	-3	-14	-3	1	0	Tijera
1436	1.4845E+15	-5	-7	4	5	26	7	3	0	Tijera
1437	1.4845E+15	-1	-3	-9	0	0	2	0	1	Tijera
1438	1.4845E+15	2	7	8	-6	-6	-4	-7	0	Tijera
1439	1.4845E+15	4	1	4	2	3	8	0	4	Tijera
1440	1.4845E+15	0	-3	-5	-5	8	8	3	-1	Tijera
1441	1.4845E+15	5	8	-1	1	-2	-2	-8	0	Tijera
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8	GESTO
2	1.4845E+15	-12	-11	-8	0	0	-4	-11	-8	Tijera
3	1.4845E+15	0	0	8	20	5	0	0	-3	Tijera
4	1.4845E+15	7	-15	-16	-16	-7	-2	3	17	Tijera
5	1.4845E+15	6	4	6	-8	2	4	5	11	Tijera
6	1.4845E+15	-2	0	-4	-11	-8	-5	-6	-12	Tijera
7	1.4845E+15	-3	-9	-5	7	6	0	-4	0	Tijera
8	1.4845E+15	-2	3	-7	-11	-9	-4	-3	5	Tijera
9	1.4845E+15	5	4	10	0	5	3	7	15	Tijera
10	1.4845E+15	-3	-1	6	19	17	8	2	-13	Tijera
11	1.4845E+15	-10	-5	9	-10	-22	-8	-6	-12	Tijera
12	1.4845E+15	4	18	-9	-10	8	2	-1	-3	Tijera
13	1.4845E+15	-11	-25	-18	-9	-18	-8	-8	-22	Tijera
14	1.4845E+15	7	3	-2	-15	-11	-5	0	12	Tijera
15	1.4845E+15	6	6	7	46	37	13	6	2	Tijera
16	1.4845E+15	9	-2	-2	-36	-27	-3	13	35	Tijera
17	1.4845E+15	-4	5	-2	7	-1	-4	-10	-19	Tijera
18	1.4845E+15	2	3	9	6	5	4	5	8	Tijera
19	1.4845E+15	0	0	-2	0	-13	-6	-5	-5	Tijera
20	1.4845E+15	-7	5	9	13	34	12	-3	-15	Tijera
21	1.4845E+15	5	-1	-18	-25	17	6	11	19	Tijera
22	1.4845E+15	-8	-4	-12	-42	-47	-24	-28	-16	Tijera
23	1.4845E+15	-18	-23	-8	0	1	-2	-8	-14	Tijera
24	1.4845E+15	7	10	15	6	4	2	4	5	Tijera
25	1.4845E+15	3	2	-2	3	5	3	3	3	Tijera
26	1.4845E+15	3	3	-1	1	-2	2	4	2	Tijera
27	1.4845E+15	5	4	1	14	10	4	4	2	Tijera
28	1.4845E+15	-9	-10	2	-26	-9	-5	-5	-6	Tijera
29	1.4845E+15	0	7	18	4	3	3	4	-6	Tijera
30	1.4845E+15	18	12	30	35	15	6	17	54	Tijera
31	1.4845E+15	1	1	-16	-21	-17	-9	-5	-15	Tijera
32	1.4845E+15	2	-16	-23	-9	-7	-1	2	23	Tijera

Figura 22. Muestra de los datos obtenidos por los ocho lectores electromiográficos.

Ahora se muestran los datos obtenidos de la unidad de medición inercial a través del giroscopio, pero debido a que la frecuencia es diferente a la de los sensores electromiográficos aquí sólo se tienen 371 muestras para el gesto de la mano conocido como tijera a diferencia de las 1441 de los sensores EMG.

	A	B	C	D	
1	timestamp	x	y	z	
2	1.4845E+15	-0.75	0	-0.125	348
3	1.4845E+15	0.5625	-1.3125	-1.75	349
4	1.4845E+15	1.3125	-1.75	-2.375	350
5	1.4845E+15	0.375	-1.5	-1.625	351
6	1.4845E+15	0	-1.25	-1	352
7	1.4845E+15	0	-1.375	0.0625	353
8	1.4845E+15	0.0625	-1.1875	0.8125	354
9	1.4845E+15	-0.8125	-0.25	1.25	355
10	1.4845E+15	2.5625	0.0625	0.1875	356
11	1.4845E+15	2.25	-0.5	1.3125	357
12	1.4845E+15	-1.625	-0.25	1.25	358
13	1.4845E+15	-1.1875	-0.6875	1.5	359
14	1.4845E+15	1.4375	-0.9375	1.125	360
15	1.4845E+15	0.5	-1.0625	1.25	361
16	1.4845E+15	-3.5	-0.125	0.3125	362
17	1.4845E+15	-1.0625	-1.125	0.5	363
18	1.4845E+15	1.9375	-1.5	-0.25	364
19	1.4845E+15	3.625	-2.1875	1.25	365
20	1.4845E+15	-1.375	-1.0625	1.0625	366
21	1.4845E+15	-0.1875	0	0.125	367
22	1.4845E+15	3.3125	-0.0625	0.3125	368
23	1.4845E+15	-0.625	-0.6875	0.5	369
24	1.4845E+15	1.8125	-0.375	-0.5	370
25	1.4845E+15	0.5	-1.3125	0.5	371
26	1.4845E+15	-0.625	-0.3125	-0.625	
27	1.4845E+15	1.625	-0.25	-1.875	
28	1.4845E+15	5.0625	-0.3125	-2.25	
29	1.4845E+15	3.25	-0.8125	-0.875	
30	1.4845E+15	-2.8125	-0.875	-0.25	

Figura 23. Muestra de los datos obtenidos por el giroscopio de la unidad de medición inercial.

3.3. Definir el conjunto finito de señales obtenidas, que se utilizará como base para la interpretación de la aplicación de Android.

Ahora que sabemos que cada gesto de la mano, nos envía aproximadamente 1000 muestras definimos con fines de probar la hipótesis un conjunto de ocho gestos los cuales se muestran en la siguiente tabla, entendiendo que tenemos más de 8000 muestras que se utilizaran para el entrenamiento del algoritmo.

	Imagen del Gesto	Identificación del gesto
1		Gesto 1
2		Gesto 2

3		Gesto 3
4		Gesto 4
5		Gesto 5
6		Gesto 6

7		Gesto 7
8		Gesto 8

Tabla 2. Conjunto de gestos para clasificador Naive Bayes.

3.4. Implementar el algoritmo de Naive Bayes que permita asociar la señal entrante al conjunto definido de señales.

Para definir el conjunto de datos, es necesario conocer la base del clasificador Naive Bayes, no es la intención de esta tesis hacer la demostración formal del clasificador, pero si mostrar el enfoque necesario para su aplicación, el uso de clasificadores es muy común en Machine Learning y que esencialmente se refiere a agrupar o etiquetar un conjunto de datos que pueden ser adquiridos de alguna fuente como puede ser una aplicación web, algún instrumento equipo, máquina o sensor, podemos imaginar estos datos graficados en un plano como se muestra en la siguiente figura.

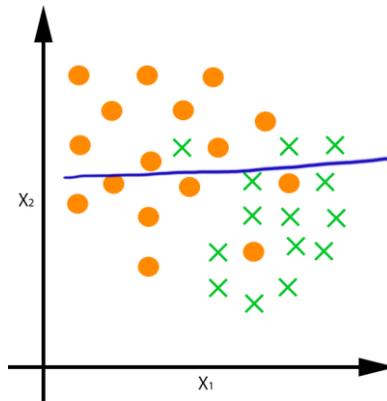


Figura 24. Conjunto de datos.

aquí podemos ver dos grupos de datos, el grupo de los círculos y el grupo de las X y están separados por una función de clasificación que acota a ambos grupos. Es necesario hablar del teorema de Naive Bayes que es el fundamento teórico para esta técnica de clasificación, este teorema se ajusta al proposito de clasificar.

Thomas Bayes fue un matemático inglés del siglo XVIII su legado más importante es el teorema de Bayes.

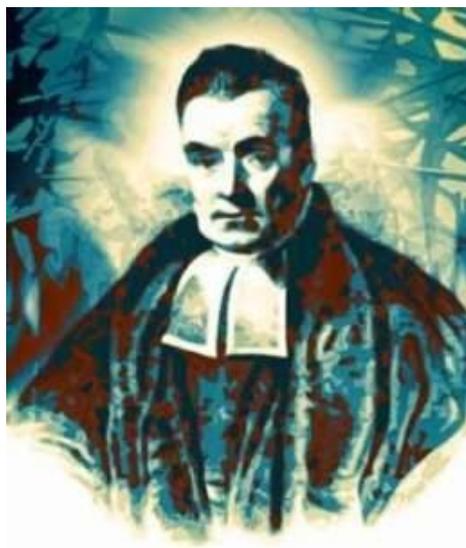


Figura 25. Thomas Bayes matemático inglés.

Este teorema se utiliza para realizar probabilidades previamente calculadas cuando se posee nueva información en otras palabras el teorema permite inferir la probabilidad de un suceso con base al conocimiento que se tiene de sucesos relacionados, la fórmula del teorema es bastante sencilla como se muestra.

$$P(A / B) = \frac{P(B / A) P(A)}{P(B)}$$

A y B son dos sucesos aleatorios

$P(A)$ y $P(B)$ es la probabilidad de cada uno de ellos suceda, visto por separado

$P(B/A)$ es la probabilidad de ocurrencia del evento B dado que A es verdadero

$P(A/B)$ se le denomina probabilidad a posteriori o probabilidad condicional indicando la probabilidad de observar el evento A dado que B es verdadero.

Es importante mencionar que aunque hablamos de probabilidades a priori y a posteriori no es necesario que A y B tengan un orden temporal dictado por la relación de condicionalidad, es decir que no necesariamente A tiene que ocurrir antes que B o viceversa, simplemente se está verificando que el otro suceso es verdadero.

$$P(C / X) = \frac{P(X / C) P(C)}{P(X)}$$

Fórmula para clasificadores Naive Bayes.

X Es una entrada nueva de datos de la cual queremos saber qué tan probable es su pertenencia a una clase C.

C Es la clase contra la que evaluaremos los nuevos datos.

P(X/C) Se interpreta como grado de presunción (likelyhood en inglés) de que nuestros datos pertenecen a la clase C.

P(C) Es la probabilidad completa de que ocurra C es decir todos los posibles escenarios en los que ocurre o puede ocurrir C.

P(X) se le llama evidencia es decir que en forma similar P(C) es lo que sabemos de por medio de eventos pasados sobre la ocurrencia de X.

El término Naive se traduce como “INGENUO”, en este contexto lo usamos para indicar que estamos suponiendo que las probabilidades de los datos de X son INDEPENDIENTES de otros valores para la clase C.

Es decir que para cualquier elemento x' que esté relacionado con C, a su vez éste debe ser independiente de todas las demás entradas de datos X, estos muy importante para cualquier cosa que se vaya a trabajar con el teorema de Bayes no sólo con el clasificador.

3.5. Implementar la aplicación que adquiera la señal para poder procesarla y responder a través de los recursos del dispositivo móvil con Android 4.3 o superior.

La empresa fabricante del dispositivo Myo tiene en su servidor una área llamada MARKET donde permite que los diferentes desarrolladores puedan guardar sus proyectos, y los estimula para que comenten su experiencia y poder atraer un mayor número de desarrolladores que trabajen con sus dispositivo, esto lo hace para las diferentes plataformas, como Windows, OSX, iPhone, iPad, Android, Linux, es decisión de cada desarrollador si los pone a disposición en el play store tratándose de Android, u otras, es común que estos desarrolladores habitualmente hospeden sus desarrollos en <https://github.com>.

Para la plataforma Android no existe nada similar a lo que se está realizando en esta tesis en el play store usando el clasificador Naive Bayes, lo más parecido es una aplicación que muestra en un solo gráfico las lecturas electromiográficas, si bien es bastante básica, es un inicio para no empezar de cero, para el desarrollo se emplea Android Studio, para este caso es la versión 2.2.3

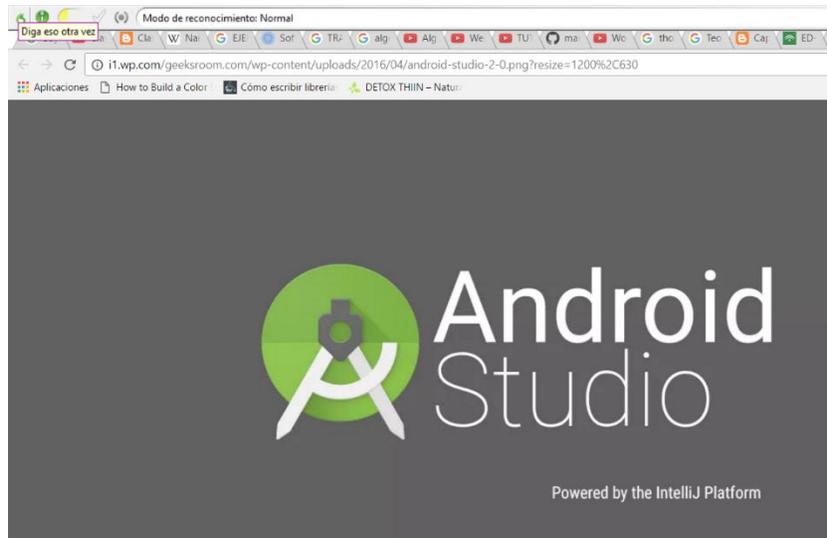


Figura 26. Android estudio 2.2.3

La aplicación existente en el play store, que está ubicada también en el servidor de la empresa se llama Myo EMG Visualizer y consiste en comunicarse con el dispositivo Myo y empezar a recibir los datos provenientes de los lectores electromiográficos, y de la unidad de medición inercial, todos ellos en forma de una ráfaga, muy básica se muestra en la siguiente figura.



Figura 27. APP Myo EMG Visualizer en Play Store.

si bien en el play store aparecen las aplicaciones del dispositivo Myo estas son utilizadas para otros fines, como control de diapositivas, control de reproductor de música, control de reproducción de vídeo, y varias más, tomando como base la aplicación anterior que muestra una única gráfica que visualiza los ocho sensores electromiográficos con diferente color pero de una forma muy rudimentaria como se muestra en la figura de abajo.

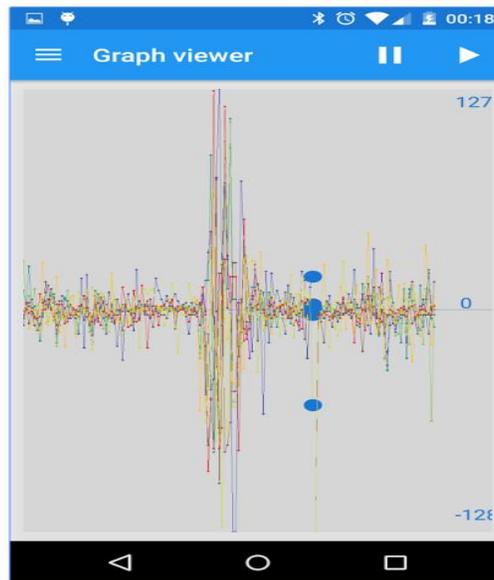


Figura 28. Grafica de la APP Myo EMG Visualizer.

podemos observar que es muy difícil ver y comprender los gráficos puesto que éstos saturan la pantalla, pero como aclara su desarrollador, se trata de una interfaz básica que puede ser el punto de partida para proyectos mayores, aclarado esto, entonces se inicia el desarrollo con la intención de mejorar la aplicación, haciendo que sea capaz de mostrar en tiempo real ocho gráficas, una para cada lector electromiográfico, y poder obtener los datos para una clasificación con Naive Bayes.

Todos los desarrollos y modificaciones que se hagan se listan en los anexos.

Capítulo 4. Resultados.

Se inicia obteniendo las muestras del gesto 1, la cantidad de información obtenida por cada uno de los 8 sensores electromiográficos.



Figura 29.Gesto 1.

Estas son las primeras 50 muestras de las 871 muestras obtenidas de la lecturas del Gesto 1 que se convertirán en instancias, no se muestran todas en esta sección de resultados, ya que se requieren muchas páginas para mostrarlas, pero el total aparece en anexos, podemos observar que se tienen 8 atributos cada uno corresponde a la lectura de cada sensor, recordemos que son 8 sensores electromiográficos, y la clase Gesto1.

emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8	
-29	-44	-8	4	19	22	6	-10	Gesto1
17	17	8	6	-3	8	60	35	Gesto1
-3	2	2	4	6	10	6	-10	Gesto1
-32	-16	-7	-5	-10	-37	-44	-50	Gesto1
10	13	-8	-7	-3	-2	-1	6	Gesto1
0	-1	5	1	9	31	-20	-2	Gesto1
-2	-5	3	-9	-16	-18	19	-11	Gesto1
2	-15	-24	-3	0	4	26	10	Gesto1
-3	2	4	-1	7	7	-13	-5	Gesto1
5	0	-18	2	-1	1	41	25	Gesto1
-5	-9	-8	-1	4	14	-21	-19	Gesto1
9	19	27	10	0	-15	10	24	Gesto1
-11	-27	-4	-2	-12	3	-13	-4	Gesto1

0	17	15	-11	-20	2	21	-15	Gesto1
-9	-15	43	14	25	30	-15	4	Gesto1
18	4	-51	-17	-27	-50	-19	-11	Gesto1
-6	-1	-18	-7	-6	12	1	-26	Gesto1
4	8	-14	-26	-6	-5	-38	0	Gesto1
-21	-26	-1	8	-13	-15	24	-1	Gesto1
9	15	31	2	9	42	31	17	Gesto1
3	1	-36	-18	4	13	1	18	Gesto1
0	-3	18	0	2	-9	-48	-31	Gesto1
-12	-8	-19	1	11	-8	-19	-19	Gesto1
7	11	51	16	-4	-8	-10	2	Gesto1
-10	-9	-36	-18	-14	12	-23	-17	Gesto1
-3	0	-7	2	20	21	67	21	Gesto1
10	17	27	21	29	51	3	11	Gesto1
-29	-45	-75	-33	-36	-86	-44	-29	Gesto1
18	21	45	8	-13	-5	-9	-5	Gesto1
5	6	25	3	17	31	3	31	Gesto1
-8	-5	-42	-12	-12	0	2	-27	Gesto1
15	16	-15	-13	-10	41	23	10	Gesto1
1	-7	3	10	7	-29	13	2	Gesto1
-5	-31	-24	-12	-15	-16	-22	-14	Gesto1
-6	3	30	-3	-28	-10	-7	2	Gesto1
-2	-2	-11	4	4	-14	31	1	Gesto1
25	29	-1	0	10	17	-13	8	Gesto1
-7	-5	44	16	3	-6	-24	-2	Gesto1
8	-3	-73	-33	-36	-10	25	22	Gesto1
4	2	-3	7	25	22	-22	3	Gesto1
0	3	32	14	15	-3	12	17	Gesto1
22	34	52	18	23	-1	-53	-25	Gesto1
-43	-44	-32	-4	-18	-35	73	-17	Gesto1
-3	6	28	19	27	16	-22	-7	Gesto1
19	28	-9	-6	2	-8	4	4	Gesto1
-25	-20	-38	-22	-27	16	6	-11	Gesto1
-10	-17	21	7	10	0	-8	6	Gesto1
7	9	15	-4	-23	2	33	-3	Gesto1
-10	3	26	-8	-13	12	-7	-19	Gesto1
8	-16	-69	-16	-16	-5	47	22	Gesto1

Tabla 3. Conjunto de 50 muestras de las 871 del Gesto 1.

Ahora es necesario obtener las muestras de cada uno de los 8 gestos, para tener una idea general de lo que esto representa se obtuvieron 7748 muestras, distribuidas como se muestra en la tabla de abajo.

Gesto	imagen	datos	No. De muestras																																																																																																																																																																																																																																																
1		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> <th>H</th> <th>I</th> </tr> <tr> <th>timestamp</th> <th>emg1</th> <th>emg2</th> <th>emg3</th> <th>emg4</th> <th>emg5</th> <th>emg6</th> <th>emg7</th> <th>emg8</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.4845E+15</td><td>-29</td><td>-44</td><td>-8</td><td>4</td><td>19</td><td>22</td><td>8</td><td>6</td><td>-10</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.4845E+15</td><td>17</td><td>17</td><td>8</td><td>6</td><td>-3</td><td>8</td><td>60</td><td>35</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>1.4845E+15</td><td>-3</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>10</td><td>6</td><td>-10</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>1.4845E+15</td><td>-32</td><td>-16</td><td>-7</td><td>-5</td><td>-10</td><td>-17</td><td>-44</td><td>-50</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>1.4845E+15</td><td>10</td><td>13</td><td>-8</td><td>-7</td><td>-3</td><td>-2</td><td>-1</td><td>6</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>1.4845E+15</td><td>0</td><td>-1</td><td>5</td><td>1</td><td>9</td><td>31</td><td>-20</td><td>-2</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>1.4845E+15</td><td>-2</td><td>-5</td><td>3</td><td>-9</td><td>-16</td><td>-18</td><td>19</td><td>11</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>1.4845E+15</td><td>2</td><td>15</td><td>-24</td><td>-3</td><td>0</td><td>4</td><td>26</td><td>10</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>1.4845E+15</td><td>-3</td><td>2</td><td>4</td><td>-1</td><td>7</td><td>7</td><td>-13</td><td>-5</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>1.4845E+15</td><td>5</td><td>0</td><td>-18</td><td>2</td><td>-1</td><td>1</td><td>41</td><td>25</td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>1.4845E+15</td><td>-5</td><td>-9</td><td>-8</td><td>-1</td><td>4</td><td>14</td><td>21</td><td>19</td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>1.4845E+15</td><td>9</td><td>19</td><td>27</td><td>10</td><td>0</td><td>-15</td><td>10</td><td>24</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>1.4845E+15</td><td>-11</td><td>-27</td><td>-4</td><td>-2</td><td>-12</td><td>3</td><td>-13</td><td>-4</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>1.4845E+15</td><td>0</td><td>17</td><td>15</td><td>-11</td><td>-20</td><td>2</td><td>21</td><td>-15</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>1.4845E+15</td><td>-9</td><td>-15</td><td>43</td><td>14</td><td>25</td><td>30</td><td>-15</td><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>1.4845E+15</td><td>18</td><td>4</td><td>-51</td><td>-17</td><td>-27</td><td>-50</td><td>-19</td><td>-11</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>1.4845E+15</td><td>-6</td><td>-1</td><td>-18</td><td>-7</td><td>-6</td><td>12</td><td>1</td><td>-26</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>1.4845E+15</td><td>4</td><td>8</td><td>-14</td><td>-26</td><td>-6</td><td>-5</td><td>38</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>1.4845E+15</td><td>-21</td><td>-26</td><td>-1</td><td>8</td><td>-13</td><td>-15</td><td>24</td><td>-1</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>1.4845E+15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		A	B	C	D	E	F	G	H	I	timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8		1	1.4845E+15	-29	-44	-8	4	19	22	8	6	-10	2	1.4845E+15	17	17	8	6	-3	8	60	35		3	1.4845E+15	-3	2	2	4	6	10	6	-10		4	1.4845E+15	-32	-16	-7	-5	-10	-17	-44	-50		5	1.4845E+15	10	13	-8	-7	-3	-2	-1	6		6	1.4845E+15	0	-1	5	1	9	31	-20	-2		7	1.4845E+15	-2	-5	3	-9	-16	-18	19	11		8	1.4845E+15	2	15	-24	-3	0	4	26	10		9	1.4845E+15	-3	2	4	-1	7	7	-13	-5		10	1.4845E+15	5	0	-18	2	-1	1	41	25		11	1.4845E+15	-5	-9	-8	-1	4	14	21	19		12	1.4845E+15	9	19	27	10	0	-15	10	24		13	1.4845E+15	-11	-27	-4	-2	-12	3	-13	-4		14	1.4845E+15	0	17	15	-11	-20	2	21	-15		15	1.4845E+15	-9	-15	43	14	25	30	-15	4		16	1.4845E+15	18	4	-51	-17	-27	-50	-19	-11		17	1.4845E+15	-6	-1	-18	-7	-6	12	1	-26		18	1.4845E+15	4	8	-14	-26	-6	-5	38	0		19	1.4845E+15	-21	-26	-1	8	-13	-15	24	-1		20	1.4845E+15										871
	A	B	C	D	E	F	G	H	I																																																																																																																																																																																																																																										
timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8																																																																																																																																																																																																																																											
1	1.4845E+15	-29	-44	-8	4	19	22	8	6	-10																																																																																																																																																																																																																																									
2	1.4845E+15	17	17	8	6	-3	8	60	35																																																																																																																																																																																																																																										
3	1.4845E+15	-3	2	2	4	6	10	6	-10																																																																																																																																																																																																																																										
4	1.4845E+15	-32	-16	-7	-5	-10	-17	-44	-50																																																																																																																																																																																																																																										
5	1.4845E+15	10	13	-8	-7	-3	-2	-1	6																																																																																																																																																																																																																																										
6	1.4845E+15	0	-1	5	1	9	31	-20	-2																																																																																																																																																																																																																																										
7	1.4845E+15	-2	-5	3	-9	-16	-18	19	11																																																																																																																																																																																																																																										
8	1.4845E+15	2	15	-24	-3	0	4	26	10																																																																																																																																																																																																																																										
9	1.4845E+15	-3	2	4	-1	7	7	-13	-5																																																																																																																																																																																																																																										
10	1.4845E+15	5	0	-18	2	-1	1	41	25																																																																																																																																																																																																																																										
11	1.4845E+15	-5	-9	-8	-1	4	14	21	19																																																																																																																																																																																																																																										
12	1.4845E+15	9	19	27	10	0	-15	10	24																																																																																																																																																																																																																																										
13	1.4845E+15	-11	-27	-4	-2	-12	3	-13	-4																																																																																																																																																																																																																																										
14	1.4845E+15	0	17	15	-11	-20	2	21	-15																																																																																																																																																																																																																																										
15	1.4845E+15	-9	-15	43	14	25	30	-15	4																																																																																																																																																																																																																																										
16	1.4845E+15	18	4	-51	-17	-27	-50	-19	-11																																																																																																																																																																																																																																										
17	1.4845E+15	-6	-1	-18	-7	-6	12	1	-26																																																																																																																																																																																																																																										
18	1.4845E+15	4	8	-14	-26	-6	-5	38	0																																																																																																																																																																																																																																										
19	1.4845E+15	-21	-26	-1	8	-13	-15	24	-1																																																																																																																																																																																																																																										
20	1.4845E+15																																																																																																																																																																																																																																																		
2		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> <th>H</th> <th>I</th> </tr> <tr> <th>timestamp</th> <th>emg1</th> <th>emg2</th> <th>emg3</th> <th>emg4</th> <th>emg5</th> <th>emg6</th> <th>emg7</th> <th>emg8</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.4845E+15</td><td>-7</td><td>-5</td><td>-3</td><td>-13</td><td>-12</td><td>-8</td><td>-6</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>1.4845E+15</td><td>0</td><td>5</td><td>-9</td><td>-3</td><td>-4</td><td>0</td><td>6</td><td>-1</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>1.4845E+15</td><td>-2</td><td>2</td><td>53</td><td>22</td><td>3</td><td>-3</td><td>-4</td><td>-2</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>1.4845E+15</td><td>3</td><td>7</td><td>-31</td><td>-15</td><td>-4</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>1.4845E+15</td><td>3</td><td>4</td><td>41</td><td>2</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>1.4845E+15</td><td>-3</td><td>-19</td><td>-45</td><td>8</td><td>4</td><td>-3</td><td>-3</td><td>-1</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>1.4845E+15</td><td>2</td><td>16</td><td>1</td><td>-17</td><td>-11</td><td>-4</td><td>-3</td><td>-1</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>1.4845E+15</td><td>-1</td><td>-6</td><td>-38</td><td>-19</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>1.4845E+15</td><td>-2</td><td>5</td><td>6</td><td>-4</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>-3</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>1.4845E+15</td><td>0</td><td>-4</td><td>-19</td><td>12</td><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>1.4845E+15</td><td>-2</td><td>-7</td><td>14</td><td>10</td><td>8</td><td>3</td><td>3</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>1.4845E+15</td><td>-12</td><td>-6</td><td>7</td><td>22</td><td>3</td><td>-3</td><td>-3</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>1.4845E+15</td><td>14</td><td>-3</td><td>-20</td><td>-34</td><td>-8</td><td>4</td><td>0</td><td>-4</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>1.4845E+15</td><td>-2</td><td>-8</td><td>-7</td><td>-13</td><td>-9</td><td>-13</td><td>-6</td><td>-2</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>1.4845E+15</td><td>9</td><td>1</td><td>-3</td><td>1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>1</td><td>-2</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>1.4845E+15</td><td>-14</td><td>3</td><td>25</td><td>11</td><td>5</td><td>4</td><td>1</td><td>-6</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>1.4845E+15</td><td>-22</td><td>-5</td><td>-6</td><td>15</td><td>8</td><td>-6</td><td>-4</td><td>-5</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>1.4845E+15</td><td>8</td><td>10</td><td>17</td><td>-18</td><td>-24</td><td>1</td><td>3</td><td>-12</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>1.4845E+15</td><td>31</td><td>-11</td><td>-54</td><td>-9</td><td>-6</td><td>-6</td><td>-5</td><td>11</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>1.4845E+15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		A	B	C	D	E	F	G	H	I	timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8		1	1.4845E+15	-7	-5	-3	-13	-12	-8	-6	0		2	1.4845E+15	0	5	-9	-3	-4	0	6	-1		3	1.4845E+15	-2	2	53	22	3	-3	-4	-2		4	1.4845E+15	3	7	-31	-15	-4	1	3	3		5	1.4845E+15	3	4	41	2	0	-1	0	1		6	1.4845E+15	-3	-19	-45	8	4	-3	-3	-1		7	1.4845E+15	2	16	1	-17	-11	-4	-3	-1		8	1.4845E+15	-1	-6	-38	-19	-2	-2	-1	2		9	1.4845E+15	-2	5	6	-4	1	1	1	-3		10	1.4845E+15	0	-4	-19	12	4	1	0	2		11	1.4845E+15	-2	-7	14	10	8	3	3	0		12	1.4845E+15	-12	-6	7	22	3	-3	-3	0		13	1.4845E+15	14	-3	-20	-34	-8	4	0	-4		14	1.4845E+15	-2	-8	-7	-13	-9	-13	-6	-2		15	1.4845E+15	9	1	-3	1	-2	-2	1	-2		16	1.4845E+15	-14	3	25	11	5	4	1	-6		17	1.4845E+15	-22	-5	-6	15	8	-6	-4	-5		18	1.4845E+15	8	10	17	-18	-24	1	3	-12		19	1.4845E+15	31	-11	-54	-9	-6	-6	-5	11		20	1.4845E+15										939
	A	B	C	D	E	F	G	H	I																																																																																																																																																																																																																																										
timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8																																																																																																																																																																																																																																											
1	1.4845E+15	-7	-5	-3	-13	-12	-8	-6	0																																																																																																																																																																																																																																										
2	1.4845E+15	0	5	-9	-3	-4	0	6	-1																																																																																																																																																																																																																																										
3	1.4845E+15	-2	2	53	22	3	-3	-4	-2																																																																																																																																																																																																																																										
4	1.4845E+15	3	7	-31	-15	-4	1	3	3																																																																																																																																																																																																																																										
5	1.4845E+15	3	4	41	2	0	-1	0	1																																																																																																																																																																																																																																										
6	1.4845E+15	-3	-19	-45	8	4	-3	-3	-1																																																																																																																																																																																																																																										
7	1.4845E+15	2	16	1	-17	-11	-4	-3	-1																																																																																																																																																																																																																																										
8	1.4845E+15	-1	-6	-38	-19	-2	-2	-1	2																																																																																																																																																																																																																																										
9	1.4845E+15	-2	5	6	-4	1	1	1	-3																																																																																																																																																																																																																																										
10	1.4845E+15	0	-4	-19	12	4	1	0	2																																																																																																																																																																																																																																										
11	1.4845E+15	-2	-7	14	10	8	3	3	0																																																																																																																																																																																																																																										
12	1.4845E+15	-12	-6	7	22	3	-3	-3	0																																																																																																																																																																																																																																										
13	1.4845E+15	14	-3	-20	-34	-8	4	0	-4																																																																																																																																																																																																																																										
14	1.4845E+15	-2	-8	-7	-13	-9	-13	-6	-2																																																																																																																																																																																																																																										
15	1.4845E+15	9	1	-3	1	-2	-2	1	-2																																																																																																																																																																																																																																										
16	1.4845E+15	-14	3	25	11	5	4	1	-6																																																																																																																																																																																																																																										
17	1.4845E+15	-22	-5	-6	15	8	-6	-4	-5																																																																																																																																																																																																																																										
18	1.4845E+15	8	10	17	-18	-24	1	3	-12																																																																																																																																																																																																																																										
19	1.4845E+15	31	-11	-54	-9	-6	-6	-5	11																																																																																																																																																																																																																																										
20	1.4845E+15																																																																																																																																																																																																																																																		
3		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> <th>H</th> <th>I</th> </tr> <tr> <th>timestamp</th> <th>emg1</th> <th>emg2</th> <th>emg3</th> <th>emg4</th> <th>emg5</th> <th>emg6</th> <th>emg7</th> <th>emg8</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.4845E+15</td><td>8</td><td>9</td><td>5</td><td>-1</td><td>-1</td><td>4</td><td>12</td><td>17</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>1.4845E+15</td><td>5</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>-25</td><td>-12</td><td>-3</td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>1.4845E+15</td><td>-3</td><td>3</td><td>10</td><td>-9</td><td>12</td><td>14</td><td>4</td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>1.4845E+15</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-8</td><td>-7</td><td>-20</td><td>-21</td><td>-6</td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>1.4845E+15</td><td>-4</td><td>-6</td><td>2</td><td>-8</td><td>-1</td><td>7</td><td>4</td><td>-7</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>1.4845E+15</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>2</td><td>-2</td><td>-5</td><td>0</td><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>1.4845E+15</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>-1</td><td>-7</td><td>5</td><td>-3</td><td>-3</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>1.4845E+15</td><td>-1</td><td>3</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-15</td><td>-13</td><td>-7</td><td>-4</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>1.4845E+15</td><td>-1</td><td>-1</td><td>1</td><td>7</td><td>15</td><td>5</td><td>-1</td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>1.4845E+15</td><td>-4</td><td>-3</td><td>-6</td><td>-8</td><td>-15</td><td>0</td><td>4</td><td>-3</td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>1.4845E+15</td><td>-3</td><td>-8</td><td>-7</td><td>-6</td><td>-7</td><td>11</td><td>-1</td><td>-2</td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>1.4845E+15</td><td>-10</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-4</td><td>-3</td><td>-9</td><td>-16</td><td>-29</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>1.4845E+15</td><td>-4</td><td>-4</td><td>-10</td><td>-10</td><td>-8</td><td>-8</td><td>-8</td><td>-3</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>1.4845E+15</td><td>-7</td><td>-2</td><td>6</td><td>15</td><td>24</td><td>5</td><td>0</td><td>-9</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>1.4845E+15</td><td>2</td><td>7</td><td>-1</td><td>-8</td><td>-5</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>1.4845E+15</td><td>3</td><td>-8</td><td>-1</td><td>-1</td><td>6</td><td>12</td><td>8</td><td>17</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>1.4845E+15</td><td>-9</td><td>-5</td><td>-9</td><td>-15</td><td>-14</td><td>-6</td><td>-2</td><td>-17</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>1.4845E+15</td><td>2</td><td>1</td><td>-1</td><td>-10</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-3</td><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>1.4845E+15</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-3</td><td>29</td><td>24</td><td>0</td><td>-4</td><td>-1</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>1.4845E+15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		A	B	C	D	E	F	G	H	I	timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8		1	1.4845E+15	8	9	5	-1	-1	4	12	17		2	1.4845E+15	5	2	3	3	-25	-12	-3	5		3	1.4845E+15	-3	3	10	-9	12	14	4	7		4	1.4845E+15	-1	-3	-8	-7	-20	-21	-6	2		5	1.4845E+15	-4	-6	2	-8	-1	7	4	-7		6	1.4845E+15	1	0	-1	2	-2	-5	0	3		7	1.4845E+15	2	3	2	-1	-7	5	-3	-3		8	1.4845E+15	-1	3	-2	-2	-15	-13	-7	-4		9	1.4845E+15	-1	-1	1	7	15	5	-1	1		10	1.4845E+15	-4	-3	-6	-8	-15	0	4	-3		11	1.4845E+15	-3	-8	-7	-6	-7	11	-1	-2		12	1.4845E+15	-10	-2	-1	-4	-3	-9	-16	-29		13	1.4845E+15	-4	-4	-10	-10	-8	-8	-8	-3		14	1.4845E+15	-7	-2	6	15	24	5	0	-9		15	1.4845E+15	2	7	-1	-8	-5	0	2	0		16	1.4845E+15	3	-8	-1	-1	6	12	8	17		17	1.4845E+15	-9	-5	-9	-15	-14	-6	-2	-17		18	1.4845E+15	2	1	-1	-10	-3	-1	-3	4		19	1.4845E+15	-1	-2	-3	29	24	0	-4	-1		20	1.4845E+15										1109
	A	B	C	D	E	F	G	H	I																																																																																																																																																																																																																																										
timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8																																																																																																																																																																																																																																											
1	1.4845E+15	8	9	5	-1	-1	4	12	17																																																																																																																																																																																																																																										
2	1.4845E+15	5	2	3	3	-25	-12	-3	5																																																																																																																																																																																																																																										
3	1.4845E+15	-3	3	10	-9	12	14	4	7																																																																																																																																																																																																																																										
4	1.4845E+15	-1	-3	-8	-7	-20	-21	-6	2																																																																																																																																																																																																																																										
5	1.4845E+15	-4	-6	2	-8	-1	7	4	-7																																																																																																																																																																																																																																										
6	1.4845E+15	1	0	-1	2	-2	-5	0	3																																																																																																																																																																																																																																										
7	1.4845E+15	2	3	2	-1	-7	5	-3	-3																																																																																																																																																																																																																																										
8	1.4845E+15	-1	3	-2	-2	-15	-13	-7	-4																																																																																																																																																																																																																																										
9	1.4845E+15	-1	-1	1	7	15	5	-1	1																																																																																																																																																																																																																																										
10	1.4845E+15	-4	-3	-6	-8	-15	0	4	-3																																																																																																																																																																																																																																										
11	1.4845E+15	-3	-8	-7	-6	-7	11	-1	-2																																																																																																																																																																																																																																										
12	1.4845E+15	-10	-2	-1	-4	-3	-9	-16	-29																																																																																																																																																																																																																																										
13	1.4845E+15	-4	-4	-10	-10	-8	-8	-8	-3																																																																																																																																																																																																																																										
14	1.4845E+15	-7	-2	6	15	24	5	0	-9																																																																																																																																																																																																																																										
15	1.4845E+15	2	7	-1	-8	-5	0	2	0																																																																																																																																																																																																																																										
16	1.4845E+15	3	-8	-1	-1	6	12	8	17																																																																																																																																																																																																																																										
17	1.4845E+15	-9	-5	-9	-15	-14	-6	-2	-17																																																																																																																																																																																																																																										
18	1.4845E+15	2	1	-1	-10	-3	-1	-3	4																																																																																																																																																																																																																																										
19	1.4845E+15	-1	-2	-3	29	24	0	-4	-1																																																																																																																																																																																																																																										
20	1.4845E+15																																																																																																																																																																																																																																																		
4		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> <th>H</th> <th>I</th> </tr> <tr> <th>timestamp</th> <th>emg1</th> <th>emg2</th> <th>emg3</th> <th>emg4</th> <th>emg5</th> <th>emg6</th> <th>emg7</th> <th>emg8</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.4845E+15</td><td>-1</td><td>-2</td><td>4</td><td>-5</td><td>1</td><td>5</td><td>14</td><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>1.4845E+15</td><td>5</td><td>13</td><td>46</td><td>14</td><td>8</td><td>12</td><td>16</td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>1.4845E+15</td><td>-8</td><td>-20</td><td>-79</td><td>-22</td><td>-11</td><td>-10</td><td>-20</td><td>-1</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>1.4845E+15</td><td>-1</td><td>-6</td><td>27</td><td>-13</td><td>-4</td><td>2</td><td>19</td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>1.4845E+15</td><td>0</td><td>2</td><td>34</td><td>30</td><td>0</td><td>-9</td><td>-26</td><td>-7</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>1.4845E+15</td><td>2</td><td>1</td><td>25</td><td>-21</td><td>0</td><td>3</td><td>-5</td><td>-4</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>1.4845E+15</td><td>4</td><td>12</td><td>60</td><td>25</td><td>5</td><td>5</td><td>19</td><td>6</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>1.4845E+15</td><td>1</td><td>-6</td><td>-39</td><td>4</td><td>7</td><td>8</td><td>15</td><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>1.4845E+15</td><td>1</td><td>6</td><td>36</td><td>2</td><td>-2</td><td>-12</td><td>-28</td><td>-2</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>1.4845E+15</td><td>-6</td><td>-15</td><td>-51</td><td>1</td><td>-21</td><td>-17</td><td>-22</td><td>-5</td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>1.4845E+15</td><td>2</td><td>2</td><td>-7</td><td>-33</td><td>-5</td><td>6</td><td>8</td><td>-5</td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>1.4845E+15</td><td>1</td><td>5</td><td>-1</td><td>-3</td><td>0</td><td>8</td><td>19</td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>1.4845E+15</td><td>5</td><td>3</td><td>-2</td><td>4</td><td>5</td><td>22</td><td>21</td><td>15</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>1.4845E+15</td><td>-3</td><td>2</td><td>32</td><td>23</td><td>12</td><td>-26</td><td>-49</td><td>-13</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>1.4845E+15</td><td>-2</td><td>-4</td><td>-3</td><td>-10</td><td>-12</td><td>-11</td><td>12</td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>1.4845E+15</td><td>-5</td><td>-2</td><td>-4</td><td>3</td><td>-4</td><td>-5</td><td>-18</td><td>-8</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>1.4845E+15</td><td>0</td><td>5</td><td>27</td><td>24</td><td>8</td><td>4</td><td>2</td><td>-2</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>1.4845E+15</td><td>-2</td><td>-8</td><td>-25</td><td>-41</td><td>-13</td><td>7</td><td>27</td><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>1.4845E+15</td><td>-2</td><td>-7</td><td>-6</td><td>-9</td><td>-4</td><td>3</td><td>-6</td><td>-6</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>1.4845E+15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		A	B	C	D	E	F	G	H	I	timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8		1	1.4845E+15	-1	-2	4	-5	1	5	14	4		2	1.4845E+15	5	13	46	14	8	12	16	2		3	1.4845E+15	-8	-20	-79	-22	-11	-10	-20	-1		4	1.4845E+15	-1	-6	27	-13	-4	2	19	2		5	1.4845E+15	0	2	34	30	0	-9	-26	-7		6	1.4845E+15	2	1	25	-21	0	3	-5	-4		7	1.4845E+15	4	12	60	25	5	5	19	6		8	1.4845E+15	1	-6	-39	4	7	8	15	3		9	1.4845E+15	1	6	36	2	-2	-12	-28	-2		10	1.4845E+15	-6	-15	-51	1	-21	-17	-22	-5		11	1.4845E+15	2	2	-7	-33	-5	6	8	-5		12	1.4845E+15	1	5	-1	-3	0	8	19	1		13	1.4845E+15	5	3	-2	4	5	22	21	15		14	1.4845E+15	-3	2	32	23	12	-26	-49	-13		15	1.4845E+15	-2	-4	-3	-10	-12	-11	12	7		16	1.4845E+15	-5	-2	-4	3	-4	-5	-18	-8		17	1.4845E+15	0	5	27	24	8	4	2	-2		18	1.4845E+15	-2	-8	-25	-41	-13	7	27	4		19	1.4845E+15	-2	-7	-6	-9	-4	3	-6	-6		20	1.4845E+15										951
	A	B	C	D	E	F	G	H	I																																																																																																																																																																																																																																										
timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8																																																																																																																																																																																																																																											
1	1.4845E+15	-1	-2	4	-5	1	5	14	4																																																																																																																																																																																																																																										
2	1.4845E+15	5	13	46	14	8	12	16	2																																																																																																																																																																																																																																										
3	1.4845E+15	-8	-20	-79	-22	-11	-10	-20	-1																																																																																																																																																																																																																																										
4	1.4845E+15	-1	-6	27	-13	-4	2	19	2																																																																																																																																																																																																																																										
5	1.4845E+15	0	2	34	30	0	-9	-26	-7																																																																																																																																																																																																																																										
6	1.4845E+15	2	1	25	-21	0	3	-5	-4																																																																																																																																																																																																																																										
7	1.4845E+15	4	12	60	25	5	5	19	6																																																																																																																																																																																																																																										
8	1.4845E+15	1	-6	-39	4	7	8	15	3																																																																																																																																																																																																																																										
9	1.4845E+15	1	6	36	2	-2	-12	-28	-2																																																																																																																																																																																																																																										
10	1.4845E+15	-6	-15	-51	1	-21	-17	-22	-5																																																																																																																																																																																																																																										
11	1.4845E+15	2	2	-7	-33	-5	6	8	-5																																																																																																																																																																																																																																										
12	1.4845E+15	1	5	-1	-3	0	8	19	1																																																																																																																																																																																																																																										
13	1.4845E+15	5	3	-2	4	5	22	21	15																																																																																																																																																																																																																																										
14	1.4845E+15	-3	2	32	23	12	-26	-49	-13																																																																																																																																																																																																																																										
15	1.4845E+15	-2	-4	-3	-10	-12	-11	12	7																																																																																																																																																																																																																																										
16	1.4845E+15	-5	-2	-4	3	-4	-5	-18	-8																																																																																																																																																																																																																																										
17	1.4845E+15	0	5	27	24	8	4	2	-2																																																																																																																																																																																																																																										
18	1.4845E+15	-2	-8	-25	-41	-13	7	27	4																																																																																																																																																																																																																																										
19	1.4845E+15	-2	-7	-6	-9	-4	3	-6	-6																																																																																																																																																																																																																																										
20	1.4845E+15																																																																																																																																																																																																																																																		
5		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> <th>H</th> <th>I</th> </tr> <tr> <th>timestamp</th> <th>emg1</th> <th>emg2</th> <th>emg3</th> <th>emg4</th> <th>emg5</th> <th>emg6</th> <th>emg7</th> <th>emg8</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.4846E+15</td><td>-6</td><td>-4</td><td>5</td><td>13</td><td>-5</td><td>-3</td><td>-4</td><td>-9</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>1.4846E+15</td><td>-3</td><td>-4</td><td>-6</td><td>-4</td><td>-3</td><td>-4</td><td>0</td><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>1.4846E+15</td><td>1</td><td>-1</td><td>-7</td><td>1</td><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>-2</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>1.4846E+15</td><td>0</td><td>6</td><td>3</td><td>-4</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>6</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>1.4846E+15</td><td>0</td><td>-4</td><td>10</td><td>23</td><td>9</td><td>2</td><td>16</td><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>1.4846E+15</td><td>-16</td><td>-13</td><td>-24</td><td>-55</td><td>-24</td><td>-16</td><td>-28</td><td>-30</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>1.4846E+15</td><td>-2</td><td>-6</td><td>1</td><td>1</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-7</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>1.4846E+15</td><td>-3</td><td>-27</td><td>-44</td><td>-11</td><td>6</td><td>5</td><td>1</td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>1.4846E+15</td><td>8</td><td>34</td><td>31</td><td>8</td><td>-7</td><td>-5</td><td>-1</td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>1.4846E+15</td><td>4</td><td>13</td><td>42</td><td>15</td><td>12</td><td>10</td><td>10</td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>1.4846E+15</td><td>6</td><td>11</td><td>-12</td><td>-7</td><td>3</td><td>1</td><td>7</td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>1.4846E+15</td><td>-6</td><td>-10</td><td>-12</td><td>-6</td><td>-14</td><td>7</td><td>-5</td><td>-11</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>1.4846E+15</td><td>1</td><td>-7</td><td>1</td><td>-10</td><td>12</td><td>5</td><td>-1</td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>1.4846E+15</td><td>13</td><td>26</td><td>10</td><td>13</td><td>0</td><td>2</td><td>6</td><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>1.4846E+15</td><td>-10</td><td>-21</td><td>-25</td><td>-3</td><td>2</td><td>-2</td><td>-4</td><td>-7</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>1.4846E+15</td><td>17</td><td>27</td><td>57</td><td>36</td><td>8</td><td>7</td><td>10</td><td>18</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>1.4846E+15</td><td>-27</td><td>-43</td><td>-94</td><td>-52</td><td>-25</td><td>-15</td><td>-17</td><td>-28</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>1.4846E+15</td><td>1</td><td>15</td><td>13</td><td>18</td><td>5</td><td>1</td><td>3</td><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>1.4846E+15</td><td>2</td><td>23</td><td>52</td><td>-5</td><td>-2</td><td>1</td><td>-4</td><td>-9</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>1.4846E+15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		A	B	C	D	E	F	G	H	I	timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8		1	1.4846E+15	-6	-4	5	13	-5	-3	-4	-9		2	1.4846E+15	-3	-4	-6	-4	-3	-4	0	3		3	1.4846E+15	1	-1	-7	1	4	1	0	-2		4	1.4846E+15	0	6	3	-4	0	3	1	6		5	1.4846E+15	0	-4	10	23	9	2	16	8		6	1.4846E+15	-16	-13	-24	-55	-24	-16	-28	-30		7	1.4846E+15	-2	-6	1	1	-1	-3	-7	0		8	1.4846E+15	-3	-27	-44	-11	6	5	1	2		9	1.4846E+15	8	34	31	8	-7	-5	-1	2		10	1.4846E+15	4	13	42	15	12	10	10	5		11	1.4846E+15	6	11	-12	-7	3	1	7	7		12	1.4846E+15	-6	-10	-12	-6	-14	7	-5	-11		13	1.4846E+15	1	-7	1	-10	12	5	-1	1		14	1.4846E+15	13	26	10	13	0	2	6	8		15	1.4846E+15	-10	-21	-25	-3	2	-2	-4	-7		16	1.4846E+15	17	27	57	36	8	7	10	18		17	1.4846E+15	-27	-43	-94	-52	-25	-15	-17	-28		18	1.4846E+15	1	15	13	18	5	1	3	4		19	1.4846E+15	2	23	52	-5	-2	1	-4	-9		20	1.4846E+15										1127
	A	B	C	D	E	F	G	H	I																																																																																																																																																																																																																																										
timestamp	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8																																																																																																																																																																																																																																											
1	1.4846E+15	-6	-4	5	13	-5	-3	-4	-9																																																																																																																																																																																																																																										
2	1.4846E+15	-3	-4	-6	-4	-3	-4	0	3																																																																																																																																																																																																																																										
3	1.4846E+15	1	-1	-7	1	4	1	0	-2																																																																																																																																																																																																																																										
4	1.4846E+15	0	6	3	-4	0	3	1	6																																																																																																																																																																																																																																										
5	1.4846E+15	0	-4	10	23	9	2	16	8																																																																																																																																																																																																																																										
6	1.4846E+15	-16	-13	-24	-55	-24	-16	-28	-30																																																																																																																																																																																																																																										
7	1.4846E+15	-2	-6	1	1	-1	-3	-7	0																																																																																																																																																																																																																																										
8	1.4846E+15	-3	-27	-44	-11	6	5	1	2																																																																																																																																																																																																																																										
9	1.4846E+15	8	34	31	8	-7	-5	-1	2																																																																																																																																																																																																																																										
10	1.4846E+15	4	13	42	15	12	10	10	5																																																																																																																																																																																																																																										
11	1.4846E+15	6	11	-12	-7	3	1	7	7																																																																																																																																																																																																																																										
12	1.4846E+15	-6	-10	-12	-6	-14	7	-5	-11																																																																																																																																																																																																																																										
13	1.4846E+15	1	-7	1	-10	12	5	-1	1																																																																																																																																																																																																																																										
14	1.4846E+15	13	26	10	13	0	2	6	8																																																																																																																																																																																																																																										
15	1.4846E+15	-10	-21	-25	-3	2	-2	-4	-7																																																																																																																																																																																																																																										
16	1.4846E+15	17	27	57	36	8	7	10	18																																																																																																																																																																																																																																										
17	1.4846E+15	-27	-43	-94	-52	-25	-15	-17	-28																																																																																																																																																																																																																																										
18	1.4846E+15	1	15	13	18	5	1	3	4																																																																																																																																																																																																																																										
19	1.4846E+15	2	23	52	-5	-2	1	-4	-9																																																																																																																																																																																																																																										
20	1.4846E+15																																																																																																																																																																																																																																																		

6		<table border="1"> <thead> <tr> <th>1</th><th>instanci</th><th>emg1</th><th>emg2</th><th>emg3</th><th>emg4</th><th>emg5</th><th>emg6</th><th>emg7</th><th>emg8</th><th>emg9</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>2</td><td>1.4886E-15</td><td>14</td><td>8</td><td>18</td><td>20</td><td>4</td><td>29</td><td>55</td><td>37</td><td>37</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.4886E-15</td><td>-6</td><td>-6</td><td>-28</td><td>-5</td><td>2</td><td>-30</td><td>-66</td><td>-9</td><td>-9</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.4886E-15</td><td>-14</td><td>-10</td><td>-14</td><td>-11</td><td>6</td><td>-2</td><td>-7</td><td>-21</td><td>-21</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.4886E-15</td><td>-2</td><td>-5</td><td>22</td><td>34</td><td>-16</td><td>-3</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.4886E-15</td><td>-13</td><td>0</td><td>4</td><td>14</td><td>11</td><td>3</td><td>-13</td><td>-34</td><td>-34</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.4886E-15</td><td>10</td><td>3</td><td>11</td><td>32</td><td>22</td><td>19</td><td>37</td><td>19</td><td>19</td></tr> <tr><td>8</td><td>1.4886E-15</td><td>4</td><td>-3</td><td>-8</td><td>7</td><td>-35</td><td>-12</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.4886E-15</td><td>0</td><td>3</td><td>15</td><td>14</td><td>10</td><td>-5</td><td>-35</td><td>-13</td><td>-13</td></tr> <tr><td>10</td><td>1.4886E-15</td><td>2</td><td>-3</td><td>-25</td><td>-22</td><td>-8</td><td>-7</td><td>21</td><td>13</td><td>13</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.4886E-15</td><td>-6</td><td>-13</td><td>-8</td><td>-4</td><td>-5</td><td>15</td><td>21</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>12</td><td>1.4886E-15</td><td>6</td><td>3</td><td>9</td><td>21</td><td>22</td><td>-3</td><td>-33</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>13</td><td>1.4886E-15</td><td>7</td><td>16</td><td>21</td><td>7</td><td>15</td><td>35</td><td>29</td><td>-6</td><td>-6</td></tr> <tr><td>14</td><td>1.4886E-15</td><td>-4</td><td>-8</td><td>2</td><td>-13</td><td>-20</td><td>-27</td><td>-17</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>15</td><td>1.4886E-15</td><td>-8</td><td>-9</td><td>-11</td><td>8</td><td>2</td><td>-16</td><td>-41</td><td>-19</td><td>-19</td></tr> <tr><td>16</td><td>1.4886E-15</td><td>14</td><td>10</td><td>1</td><td>-14</td><td>-2</td><td>12</td><td>41</td><td>30</td><td>30</td></tr> <tr><td>17</td><td>1.4886E-15</td><td>-5</td><td>-6</td><td>-22</td><td>-8</td><td>-7</td><td>15</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td></tr> <tr><td>18</td><td>1.4886E-15</td><td>-8</td><td>-5</td><td>-15</td><td>-47</td><td>-2</td><td>5</td><td>-3</td><td>-18</td><td>-18</td></tr> <tr><td>19</td><td>1.4886E-15</td><td>-1</td><td>8</td><td>41</td><td>26</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-19</td><td>-8</td><td>-8</td></tr> <tr><td>20</td><td>1.4886E-15</td><td>-3</td><td>-7</td><td>-33</td><td>-8</td><td>-4</td><td>4</td><td>12</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	1	instanci	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8	emg9	2	1.4886E-15	14	8	18	20	4	29	55	37	37	3	1.4886E-15	-6	-6	-28	-5	2	-30	-66	-9	-9	4	1.4886E-15	-14	-10	-14	-11	6	-2	-7	-21	-21	5	1.4886E-15	-2	-5	22	34	-16	-3	1	0	0	6	1.4886E-15	-13	0	4	14	11	3	-13	-34	-34	7	1.4886E-15	10	3	11	32	22	19	37	19	19	8	1.4886E-15	4	-3	-8	7	-35	-12	5	5	5	9	1.4886E-15	0	3	15	14	10	-5	-35	-13	-13	10	1.4886E-15	2	-3	-25	-22	-8	-7	21	13	13	11	1.4886E-15	-6	-13	-8	-4	-5	15	21	4	4	12	1.4886E-15	6	3	9	21	22	-3	-33	-1	-1	13	1.4886E-15	7	16	21	7	15	35	29	-6	-6	14	1.4886E-15	-4	-8	2	-13	-20	-27	-17	8	8	15	1.4886E-15	-8	-9	-11	8	2	-16	-41	-19	-19	16	1.4886E-15	14	10	1	-14	-2	12	41	30	30	17	1.4886E-15	-5	-6	-22	-8	-7	15	11	11	11	18	1.4886E-15	-8	-5	-15	-47	-2	5	-3	-18	-18	19	1.4886E-15	-1	8	41	26	-2	-3	-19	-8	-8	20	1.4886E-15	-3	-7	-33	-8	-4	4	12	1	1	995
1	instanci	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8	emg9																																																																																																																																																																																																																					
2	1.4886E-15	14	8	18	20	4	29	55	37	37																																																																																																																																																																																																																					
3	1.4886E-15	-6	-6	-28	-5	2	-30	-66	-9	-9																																																																																																																																																																																																																					
4	1.4886E-15	-14	-10	-14	-11	6	-2	-7	-21	-21																																																																																																																																																																																																																					
5	1.4886E-15	-2	-5	22	34	-16	-3	1	0	0																																																																																																																																																																																																																					
6	1.4886E-15	-13	0	4	14	11	3	-13	-34	-34																																																																																																																																																																																																																					
7	1.4886E-15	10	3	11	32	22	19	37	19	19																																																																																																																																																																																																																					
8	1.4886E-15	4	-3	-8	7	-35	-12	5	5	5																																																																																																																																																																																																																					
9	1.4886E-15	0	3	15	14	10	-5	-35	-13	-13																																																																																																																																																																																																																					
10	1.4886E-15	2	-3	-25	-22	-8	-7	21	13	13																																																																																																																																																																																																																					
11	1.4886E-15	-6	-13	-8	-4	-5	15	21	4	4																																																																																																																																																																																																																					
12	1.4886E-15	6	3	9	21	22	-3	-33	-1	-1																																																																																																																																																																																																																					
13	1.4886E-15	7	16	21	7	15	35	29	-6	-6																																																																																																																																																																																																																					
14	1.4886E-15	-4	-8	2	-13	-20	-27	-17	8	8																																																																																																																																																																																																																					
15	1.4886E-15	-8	-9	-11	8	2	-16	-41	-19	-19																																																																																																																																																																																																																					
16	1.4886E-15	14	10	1	-14	-2	12	41	30	30																																																																																																																																																																																																																					
17	1.4886E-15	-5	-6	-22	-8	-7	15	11	11	11																																																																																																																																																																																																																					
18	1.4886E-15	-8	-5	-15	-47	-2	5	-3	-18	-18																																																																																																																																																																																																																					
19	1.4886E-15	-1	8	41	26	-2	-3	-19	-8	-8																																																																																																																																																																																																																					
20	1.4886E-15	-3	-7	-33	-8	-4	4	12	1	1																																																																																																																																																																																																																					
7		<table border="1"> <thead> <tr> <th>1</th><th>instanci</th><th>emg1</th><th>emg2</th><th>emg3</th><th>emg4</th><th>emg5</th><th>emg6</th><th>emg7</th><th>emg8</th><th>emg9</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>2</td><td>1.4886E-15</td><td>5</td><td>2</td><td>8</td><td>-8</td><td>4</td><td>1</td><td>11</td><td>23</td><td>3</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.4886E-15</td><td>2</td><td>14</td><td>42</td><td>20</td><td>6</td><td>-19</td><td>-17</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.4886E-15</td><td>-9</td><td>-8</td><td>-41</td><td>-9</td><td>-5</td><td>10</td><td>-22</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.4886E-15</td><td>3</td><td>-3</td><td>-13</td><td>8</td><td>12</td><td>12</td><td>7</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.4886E-15</td><td>-2</td><td>6</td><td>2</td><td>8</td><td>7</td><td>-7</td><td>-27</td><td>-14</td><td>-14</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.4886E-15</td><td>-5</td><td>-7</td><td>-9</td><td>-6</td><td>-6</td><td>10</td><td>31</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>8</td><td>1.4886E-15</td><td>8</td><td>28</td><td>114</td><td>40</td><td>13</td><td>0</td><td>-13</td><td>-8</td><td>-8</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.4886E-15</td><td>-5</td><td>-26</td><td>-86</td><td>-55</td><td>-23</td><td>-5</td><td>-29</td><td>-2</td><td>-2</td></tr> <tr><td>10</td><td>1.4886E-15</td><td>0</td><td>-4</td><td>-13</td><td>-11</td><td>-5</td><td>2</td><td>-16</td><td>14</td><td>14</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.4886E-15</td><td>3</td><td>3</td><td>8</td><td>-10</td><td>-10</td><td>-1</td><td>-15</td><td>-5</td><td>-5</td></tr> <tr><td>12</td><td>1.4886E-15</td><td>1</td><td>21</td><td>78</td><td>22</td><td>14</td><td>3</td><td>-13</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>13</td><td>1.4886E-15</td><td>-7</td><td>-16</td><td>-54</td><td>3</td><td>-5</td><td>-11</td><td>-32</td><td>-8</td><td>-8</td></tr> <tr><td>14</td><td>1.4886E-15</td><td>-1</td><td>10</td><td>36</td><td>-9</td><td>10</td><td>6</td><td>4</td><td>7</td><td>7</td></tr> <tr><td>15</td><td>1.4886E-15</td><td>-4</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-15</td><td>-21</td><td>-12</td><td>-26</td><td>-5</td><td>-5</td></tr> <tr><td>16</td><td>1.4886E-15</td><td>-2</td><td>-23</td><td>-2</td><td>3</td><td>6</td><td>19</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>17</td><td>1.4886E-15</td><td>6</td><td>25</td><td>53</td><td>16</td><td>-4</td><td>-18</td><td>-8</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>18</td><td>1.4886E-15</td><td>-8</td><td>-19</td><td>-64</td><td>-41</td><td>-11</td><td>-2</td><td>-8</td><td>-15</td><td>-15</td></tr> <tr><td>19</td><td>1.4886E-15</td><td>3</td><td>5</td><td>13</td><td>-3</td><td>5</td><td>21</td><td>5</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>20</td><td>1.4886E-15</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-39</td><td>-8</td><td>-3</td><td>-8</td><td>33</td><td>11</td><td>11</td></tr> </tbody> </table>	1	instanci	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8	emg9	2	1.4886E-15	5	2	8	-8	4	1	11	23	3	3	1.4886E-15	2	14	42	20	6	-19	-17	-3	-3	4	1.4886E-15	-9	-8	-41	-9	-5	10	-22	-1	-1	5	1.4886E-15	3	-3	-13	8	12	12	7	-3	-3	6	1.4886E-15	-2	6	2	8	7	-7	-27	-14	-14	7	1.4886E-15	-5	-7	-9	-6	-6	10	31	10	10	8	1.4886E-15	8	28	114	40	13	0	-13	-8	-8	9	1.4886E-15	-5	-26	-86	-55	-23	-5	-29	-2	-2	10	1.4886E-15	0	-4	-13	-11	-5	2	-16	14	14	11	1.4886E-15	3	3	8	-10	-10	-1	-15	-5	-5	12	1.4886E-15	1	21	78	22	14	3	-13	2	2	13	1.4886E-15	-7	-16	-54	3	-5	-11	-32	-8	-8	14	1.4886E-15	-1	10	36	-9	10	6	4	7	7	15	1.4886E-15	-4	-2	-5	-15	-21	-12	-26	-5	-5	16	1.4886E-15	-2	-23	-2	3	6	19	3	0	0	17	1.4886E-15	6	25	53	16	-4	-18	-8	6	6	18	1.4886E-15	-8	-19	-64	-41	-11	-2	-8	-15	-15	19	1.4886E-15	3	5	13	-3	5	21	5	2	2	20	1.4886E-15	-3	-1	-39	-8	-3	-8	33	11	11	785
1	instanci	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8	emg9																																																																																																																																																																																																																					
2	1.4886E-15	5	2	8	-8	4	1	11	23	3																																																																																																																																																																																																																					
3	1.4886E-15	2	14	42	20	6	-19	-17	-3	-3																																																																																																																																																																																																																					
4	1.4886E-15	-9	-8	-41	-9	-5	10	-22	-1	-1																																																																																																																																																																																																																					
5	1.4886E-15	3	-3	-13	8	12	12	7	-3	-3																																																																																																																																																																																																																					
6	1.4886E-15	-2	6	2	8	7	-7	-27	-14	-14																																																																																																																																																																																																																					
7	1.4886E-15	-5	-7	-9	-6	-6	10	31	10	10																																																																																																																																																																																																																					
8	1.4886E-15	8	28	114	40	13	0	-13	-8	-8																																																																																																																																																																																																																					
9	1.4886E-15	-5	-26	-86	-55	-23	-5	-29	-2	-2																																																																																																																																																																																																																					
10	1.4886E-15	0	-4	-13	-11	-5	2	-16	14	14																																																																																																																																																																																																																					
11	1.4886E-15	3	3	8	-10	-10	-1	-15	-5	-5																																																																																																																																																																																																																					
12	1.4886E-15	1	21	78	22	14	3	-13	2	2																																																																																																																																																																																																																					
13	1.4886E-15	-7	-16	-54	3	-5	-11	-32	-8	-8																																																																																																																																																																																																																					
14	1.4886E-15	-1	10	36	-9	10	6	4	7	7																																																																																																																																																																																																																					
15	1.4886E-15	-4	-2	-5	-15	-21	-12	-26	-5	-5																																																																																																																																																																																																																					
16	1.4886E-15	-2	-23	-2	3	6	19	3	0	0																																																																																																																																																																																																																					
17	1.4886E-15	6	25	53	16	-4	-18	-8	6	6																																																																																																																																																																																																																					
18	1.4886E-15	-8	-19	-64	-41	-11	-2	-8	-15	-15																																																																																																																																																																																																																					
19	1.4886E-15	3	5	13	-3	5	21	5	2	2																																																																																																																																																																																																																					
20	1.4886E-15	-3	-1	-39	-8	-3	-8	33	11	11																																																																																																																																																																																																																					
8		<table border="1"> <thead> <tr> <th>1</th><th>instanci</th><th>emg1</th><th>emg2</th><th>emg3</th><th>emg4</th><th>emg5</th><th>emg6</th><th>emg7</th><th>emg8</th><th>emg9</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>2</td><td>1.4886E-15</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-74</td><td>-16</td><td>-25</td><td>-13</td><td>-5</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.4886E-15</td><td>21</td><td>29</td><td>46</td><td>-7</td><td>16</td><td>8</td><td>3</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.4886E-15</td><td>-21</td><td>-28</td><td>-72</td><td>-5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.4886E-15</td><td>-9</td><td>-25</td><td>-25</td><td>-27</td><td>-10</td><td>-2</td><td>6</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.4886E-15</td><td>3</td><td>0</td><td>36</td><td>20</td><td>12</td><td>4</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.4886E-15</td><td>-5</td><td>-9</td><td>-20</td><td>-12</td><td>-6</td><td>1</td><td>3</td><td>-6</td><td>-6</td></tr> <tr><td>8</td><td>1.4886E-15</td><td>22</td><td>40</td><td>35</td><td>-49</td><td>-12</td><td>4</td><td>-5</td><td>13</td><td>13</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.4886E-15</td><td>-6</td><td>-10</td><td>18</td><td>32</td><td>9</td><td>1</td><td>7</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>1.4886E-15</td><td>-4</td><td>-5</td><td>-13</td><td>-10</td><td>1</td><td>2</td><td>5</td><td>-2</td><td>-2</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.4886E-15</td><td>-5</td><td>-7</td><td>-6</td><td>19</td><td>9</td><td>-4</td><td>-6</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>12</td><td>1.4886E-15</td><td>-4</td><td>-2</td><td>6</td><td>13</td><td>-45</td><td>18</td><td>-2</td><td>-6</td><td>-6</td></tr> <tr><td>13</td><td>1.4886E-15</td><td>6</td><td>9</td><td>-33</td><td>-80</td><td>-51</td><td>-7</td><td>-11</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>14</td><td>1.4886E-15</td><td>-4</td><td>1</td><td>16</td><td>4</td><td>-3</td><td>1</td><td>11</td><td>-8</td><td>-8</td></tr> <tr><td>15</td><td>1.4886E-15</td><td>4</td><td>4</td><td>34</td><td>65</td><td>42</td><td>10</td><td>1</td><td>25</td><td>25</td></tr> <tr><td>16</td><td>1.4886E-15</td><td>-4</td><td>-9</td><td>38</td><td>-33</td><td>-24</td><td>-12</td><td>-7</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>17</td><td>1.4886E-15</td><td>1</td><td>-15</td><td>-85</td><td>-5</td><td>7</td><td>3</td><td>0</td><td>-9</td><td>-9</td></tr> <tr><td>18</td><td>1.4886E-15</td><td>-1</td><td>13</td><td>43</td><td>18</td><td>-6</td><td>-1</td><td>1</td><td>-13</td><td>-13</td></tr> <tr><td>19</td><td>1.4886E-15</td><td>5</td><td>1</td><td>-23</td><td>-2</td><td>64</td><td>17</td><td>-2</td><td>-6</td><td>-6</td></tr> <tr><td>20</td><td>1.4886E-15</td><td>-8</td><td>2</td><td>-24</td><td>8</td><td>7</td><td>-14</td><td>-4</td><td>-9</td><td>-9</td></tr> </tbody> </table>	1	instanci	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8	emg9	2	1.4886E-15	-1	-3	-74	-16	-25	-13	-5	-3	-3	3	1.4886E-15	21	29	46	-7	16	8	3	2	2	4	1.4886E-15	-21	-28	-72	-5	4	3	2	0	0	5	1.4886E-15	-9	-25	-25	-27	-10	-2	6	-1	-1	6	1.4886E-15	3	0	36	20	12	4	-1	0	0	7	1.4886E-15	-5	-9	-20	-12	-6	1	3	-6	-6	8	1.4886E-15	22	40	35	-49	-12	4	-5	13	13	9	1.4886E-15	-6	-10	18	32	9	1	7	0	0	10	1.4886E-15	-4	-5	-13	-10	1	2	5	-2	-2	11	1.4886E-15	-5	-7	-6	19	9	-4	-6	-1	-1	12	1.4886E-15	-4	-2	6	13	-45	18	-2	-6	-6	13	1.4886E-15	6	9	-33	-80	-51	-7	-11	8	8	14	1.4886E-15	-4	1	16	4	-3	1	11	-8	-8	15	1.4886E-15	4	4	34	65	42	10	1	25	25	16	1.4886E-15	-4	-9	38	-33	-24	-12	-7	6	6	17	1.4886E-15	1	-15	-85	-5	7	3	0	-9	-9	18	1.4886E-15	-1	13	43	18	-6	-1	1	-13	-13	19	1.4886E-15	5	1	-23	-2	64	17	-2	-6	-6	20	1.4886E-15	-8	2	-24	8	7	-14	-4	-9	-9	979
1	instanci	emg1	emg2	emg3	emg4	emg5	emg6	emg7	emg8	emg9																																																																																																																																																																																																																					
2	1.4886E-15	-1	-3	-74	-16	-25	-13	-5	-3	-3																																																																																																																																																																																																																					
3	1.4886E-15	21	29	46	-7	16	8	3	2	2																																																																																																																																																																																																																					
4	1.4886E-15	-21	-28	-72	-5	4	3	2	0	0																																																																																																																																																																																																																					
5	1.4886E-15	-9	-25	-25	-27	-10	-2	6	-1	-1																																																																																																																																																																																																																					
6	1.4886E-15	3	0	36	20	12	4	-1	0	0																																																																																																																																																																																																																					
7	1.4886E-15	-5	-9	-20	-12	-6	1	3	-6	-6																																																																																																																																																																																																																					
8	1.4886E-15	22	40	35	-49	-12	4	-5	13	13																																																																																																																																																																																																																					
9	1.4886E-15	-6	-10	18	32	9	1	7	0	0																																																																																																																																																																																																																					
10	1.4886E-15	-4	-5	-13	-10	1	2	5	-2	-2																																																																																																																																																																																																																					
11	1.4886E-15	-5	-7	-6	19	9	-4	-6	-1	-1																																																																																																																																																																																																																					
12	1.4886E-15	-4	-2	6	13	-45	18	-2	-6	-6																																																																																																																																																																																																																					
13	1.4886E-15	6	9	-33	-80	-51	-7	-11	8	8																																																																																																																																																																																																																					
14	1.4886E-15	-4	1	16	4	-3	1	11	-8	-8																																																																																																																																																																																																																					
15	1.4886E-15	4	4	34	65	42	10	1	25	25																																																																																																																																																																																																																					
16	1.4886E-15	-4	-9	38	-33	-24	-12	-7	6	6																																																																																																																																																																																																																					
17	1.4886E-15	1	-15	-85	-5	7	3	0	-9	-9																																																																																																																																																																																																																					
18	1.4886E-15	-1	13	43	18	-6	-1	1	-13	-13																																																																																																																																																																																																																					
19	1.4886E-15	5	1	-23	-2	64	17	-2	-6	-6																																																																																																																																																																																																																					
20	1.4886E-15	-8	2	-24	8	7	-14	-4	-9	-9																																																																																																																																																																																																																					

Tabla 4. Conjunto de 7748 muestras obtenidas en 8 gestos.

Para poder realizar el análisis de los 7748 instancias y poder determinar la efectividad y validar el clasificador Naive Bayes, se procede a utilizar el software Weka en la versión 3.8.1 que trabaja en conjunto con la máquina virtual de Java 1.8 o superior.



Figura 30. Software Weka utilizado para el análisis del algoritmo clasificador Naive Bayes .

En el software weka se realiza el preprocesamiento de datos, para convertirlos en discretos utilizando un filtrado por discretización.

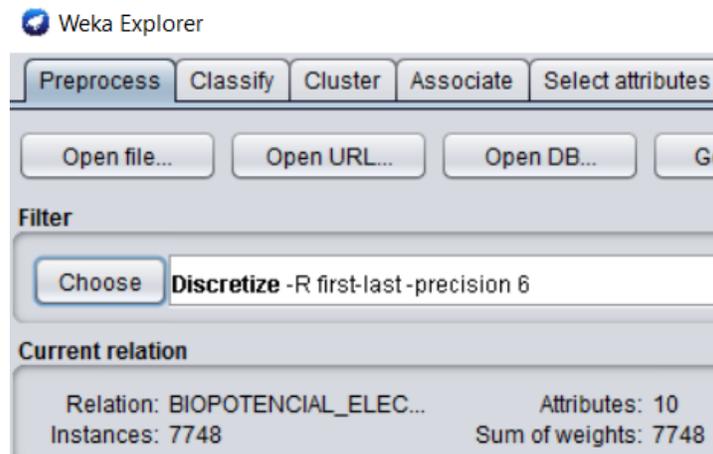


Figura 31. Filtro de discretización de los datos.

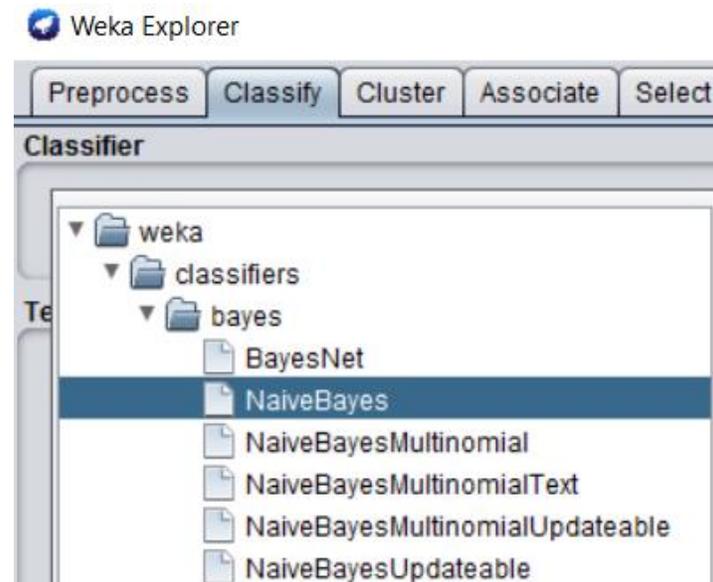


Figura 32. Clasificador Naive Bayes.

Manejando inicialmente 8 atributos que corresponden a los ocho sensores electromiográficos, y las clases gesto1, gesto2... gesto8, sin considerar el

atributo tiempo (time), los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente, donde puede observarse que no son satisfactorios, por lo que debe reconsiderarse más adelante el manejo de un atributo más.

Porcentaje de entrenamiento	Instancias a clasificar	Instancias correctamente clasificadas	Instancias Incorrectamente clasificadas
33 %	5191	24.4076 %	75.5924 %
66 %	2634	23.3485 %	76.6515%
90 %	775	23.2258 %	76.7742 %

Tabla 5. clasificación de instancias con solo los 8 atributos EMG.

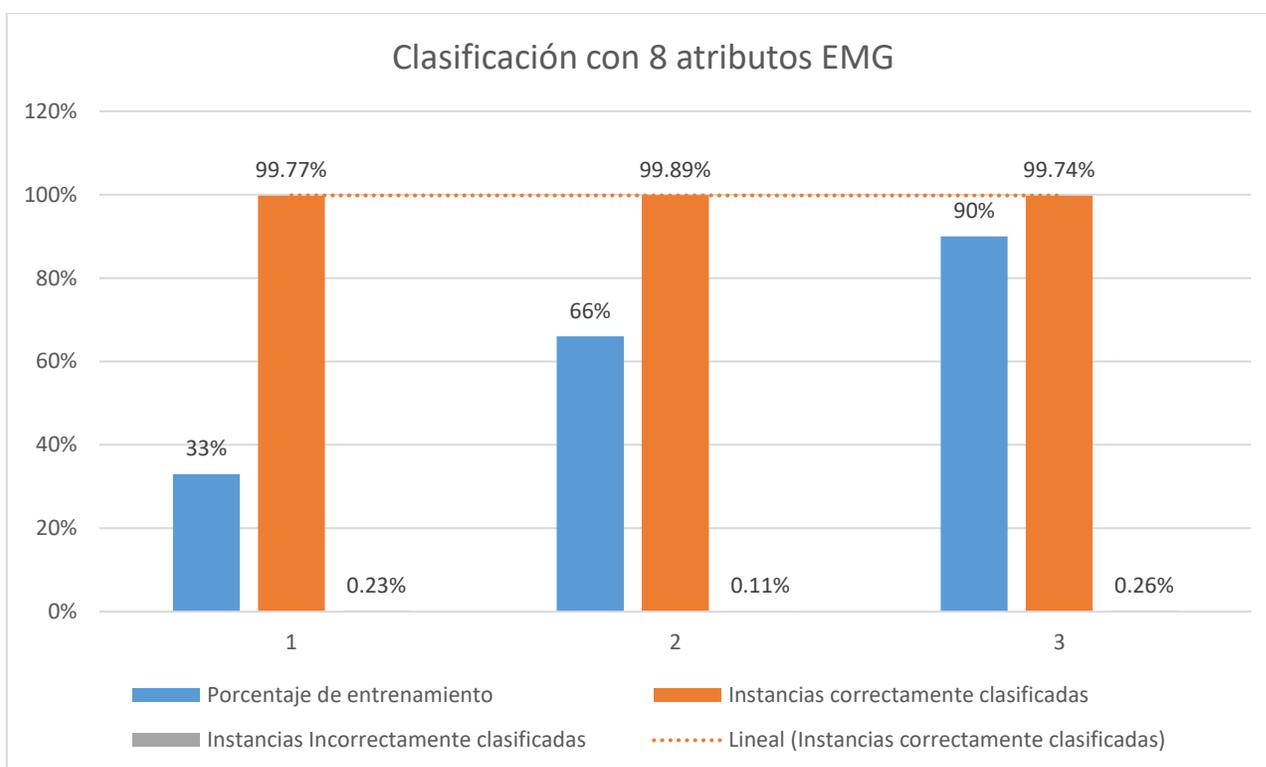


Figura 33. Gráfico de clasificación con solo los 8 atributos EMG.

Se inicia un periodo de reflexión, para poder entender qué es lo que está sucediendo, después de un análisis profundo sobre el problema, se recuerda que los sensores electromiográficos trabajan a una frecuencia fija de 200 Hertz, tomando una lectura biométrica cada 5 milisegundos, entonces queda claro que es necesario considerar como atributo el tiempo en el que se realiza cada lectura, que afortunadamente se puede extraer y se agrega como un atributo más, logrando un cambio radical en los resultados de clasificación, asegurando el éxito del clasificador.

```

2
3 @ATTRIBUTE time REAL
4 @ATTRIBUTE emg1 REAL
5 @ATTRIBUTE emg2 REAL
6 @ATTRIBUTE emg3 REAL
7 @ATTRIBUTE emg4 REAL
8 @ATTRIBUTE emg5 REAL
9 @ATTRIBUTE emg6 REAL
10 @ATTRIBUTE emg7 REAL
11 @ATTRIBUTE emg8 REAL
12 @ATTRIBUTE class {"gesto1","gesto2","gesto3","gesto4","gesto5","gesto6","gesto7","gesto8"}
13
14 @DATA
15
16 1484549438368890,-29,-44,-8,4,19,22,6,-10,gesto1
17 1484549438368890,17,17,8,6,-3,8,60,35,gesto1
18 1484549438372910,-3,2,2,4,6,10,6,-10,gesto1
19 1484549438372910,-32,-16,-7,-5,-10,-37,-44,-50,gesto1

```

Figura 34. Conjunto de 7748 instancias con nueve atributos donde se agrega el atributo tiempo.

Porcentaje de entrenamiento	Instancias a clasificar	Instancias correctamente clasificadas	Instancias Incorrectamente clasificadas
33 %	5191	99.7688 %	0.2312 %
66 %	2634	99.8861%	0.1139 %
90 %	775	99.7419 %	0.2581 %

Tabla 6. Clasificación con 8 atributos EMG y atributo time.

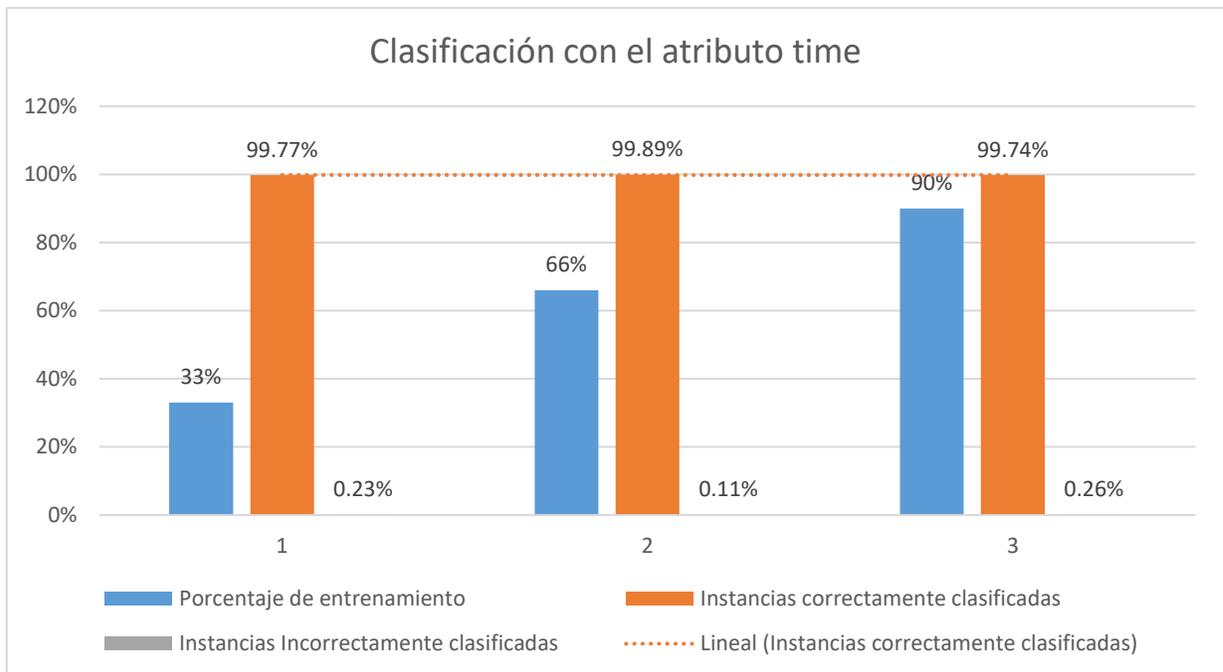


Figura 35. Gráfico de clasificación con 8 atributos EMG y atributo time.

Una vez validado el clasificador Naive Bayes, toca el turno de la elaboración de la aplicación para el sistema operativo Android, se toma como base un código fuente presentado por un desarrollador, cuya aplicación, si bien es limitada, permite una buena conexión Bluetooth 4.0 Smart, mencionada en la metodología, aclarando que no tiene nada que ver con Naive Bayes, donde el autor especifica que la licencia es libre y puede ser modificada a gusto de cualquier otro desarrollador, por lo que se inicia el proceso de programación y ajustes adecuados al trabajo que se está realizando, es necesario tener instalado Android estudio, y el SDK que proporciona para Android la empresa Thalmics Lab, creadora del Myo.

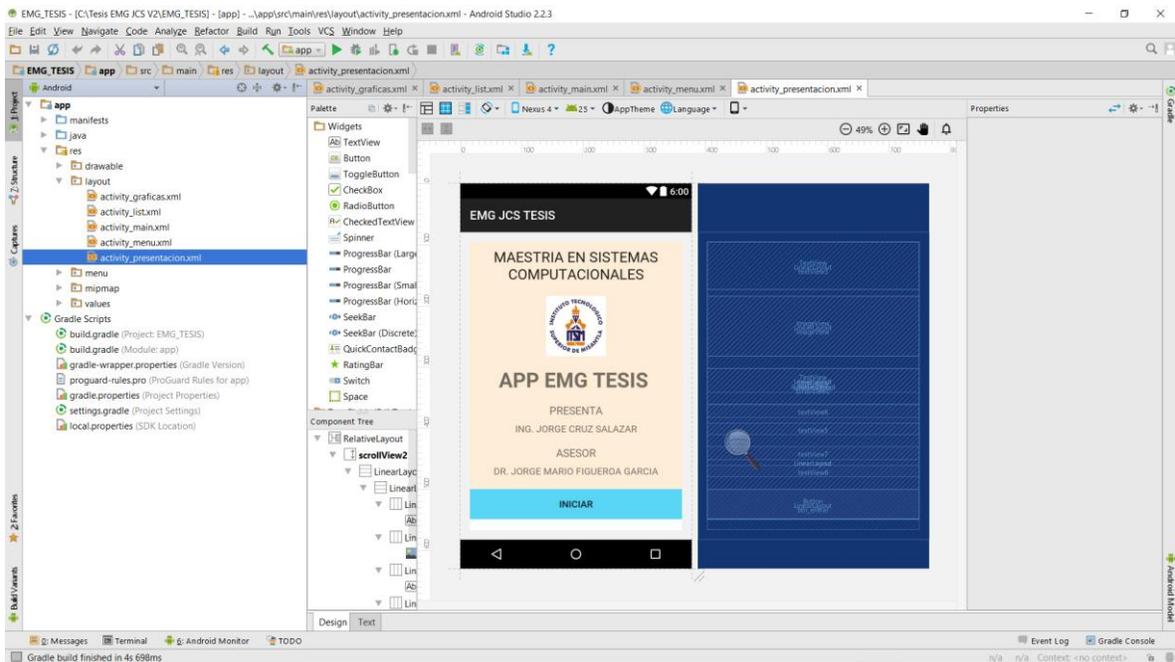


Figura 36. Desarrollo de la pantalla de presentación.

Ahora se presenta una de las dificultades que requirieron más tiempo para poder resolverse, la aplicación tomada como base de licencia libre, sólo realiza una gráfica donde reúne la información de los ocho lectores electromiográficos, presentados de una forma que saturan la gráfica, y no permite tener una idea clara de lo que pasa en cada lector, por lo que se procede a generar ocho gráficos donde en cada uno de ellos se presente cada sensor EMG por separado, logrando exitosamente realizarlo, debo aclarar que varios métodos son provenientes directamente del SDK proporcionado por la empresa Thalmics Lab, y que se decidió mantenerlos por la utilidad que representan dejando para un trabajo futuro la adecuación de los métodos mencionados.

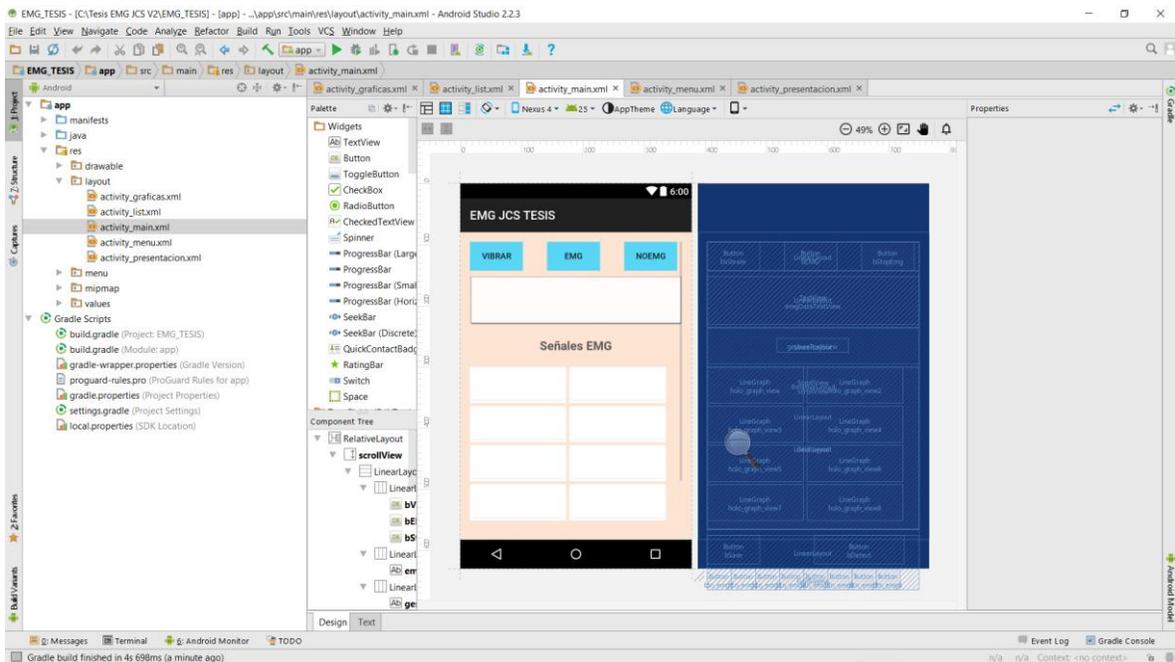


Figura 37. Desarrollo de las ocho gráficas para cada uno de los lectores EMG.

Una vez avanzada la aplicación para Android es necesario probarla, para esto se utilizó un smartphone marca Xiaomi, modelo Redmi Note 3, con 3 GB de RAM y 32 de EEPROM procesador Qualcomm MSM8956 Snapdragon 650 y GPU Adreno 510 a 180 GFLOPs y sistema operativo MIUI 8.1.1.0 compatible con la versión Android 6.0.1



Figura 38. Smartphone Xiaomi, modelo Redmi Note 3.

Las especificaciones técnicas completas, de este dispositivo como son el tipo de red, la fecha de lanzamiento, las dimensiones, el tipo de pantalla, la plataforma, la memoria, la Cámara, y el sonido se muestran en la figura siguiente.

NETWORK	Technology	GSM / HSPA / LTE	COLLAPSE ▲
	2G bands	GSM 850 / 900 / 1800 / 1900 - SIM 1 & SIM 2	
	3G bands	HSDPA 850 / 900 / 1700(AWS) / 1900 / 2100	
		HSDPA 850 / 900 / 1900 / 2100 - Special edition; India	
	4G bands	LTE band 1(2100), 2(1900), 3(1800), 4(1700/2100), 5(850), 7(2600), 8(900), 38(2600), 39(1900), 40(2300), 41(2500)	
		LTE band 1(2100), 2(1900), 3(1800), 4(1700/2100), 5(850), 7(2600), 8(900), 20(800), 28(700), 40(2300) - Special edition	
		LTE band 1(2100), 3(1800), 5(850), 7(2600), 8(900), 38(2600), 39(1900), 40(2300), 41(2500) - India	
	Speed	HSPA 42.2/5.76 Mbps, LTE-A Cat6 300/50 Mbps	
GPRS	Yes		
EDGE	Yes		
LAUNCH	Announced	2016, January	
	Status	Available. Released 2016, February	
BODY	Dimensions	150 x 76 x 8.7 mm (5.91 x 2.99 x 0.34 in)	
	Weight	164 g (5.78 oz)	
	SIM	Dual SIM (Micro-SIM/Nano-SIM, dual stand-by)	
DISPLAY	Type	IPS LCD capacitive touchscreen, 16M colors	
	Size	5.5 inches (~72.4% screen-to-body ratio)	
	Resolution	1080 x 1920 pixels (~403 ppi pixel density)	
	Multitouch	Yes - MIUI 8.0	
PLATFORM	OS	Android OS, v5.1.1 (Lollipop), upgradable to v6.0.1 (Marshmallow)	
	Chipset	Qualcomm MSM8956 Snapdragon 650	
	CPU	Hexa-core (4x1.4 GHz Cortex-A53 & 2x1.8 GHz Cortex-A72)	
	GPU	Adreno 510	
MEMORY	Card slot	microSD, up to 256 GB (uses SIM 2 slot)	
	Internal	16 GB, 2 GB RAM - Standard version 32 GB, 3 GB RAM - High version, Special edition	
CAMERA	Primary	16 MP, f/2.0, phase detection autofocus, dual-LED (dual tone) flash, check quality	
	Features	Geo-tagging, touch focus, face/smile detection, HDR, panorama	
	Video	1080p@30fps, check quality	
	Secondary	5 MP, f/2.0, 1080p	
SOUND	Alert types	Vibration; MP3, WAV ringtones	
	Loudspeaker	Yes	

Figura 39. Características y arquitecturas del Smartphone Xiaomi, modelo Redmi Note 3.

Los resultados obtenidos en este dispositivo, son favorables respondiendo con una velocidad adecuada por lo que se presentan, las pantallas resultantes capturadas directamente desde el dispositivo de la aplicación realizada.

Se muestra la pantalla inicial de presentación la cual al oprimir el botón iniciar, lleva directamente al menú de opciones, donde se debe pulsar sobre buscar dispositivo Myo para realizar la búsqueda vía Bluetooth del sistema embebido, estas son estables, pero pudo detectarse que si se está cerca de una fuente emisora Wi-Fi, se presenta interferencia que no permite una conexión exitosa del dispositivo, por lo que se sugiere mantenerse distante de cualquier fuente de emisión Wi-Fi.

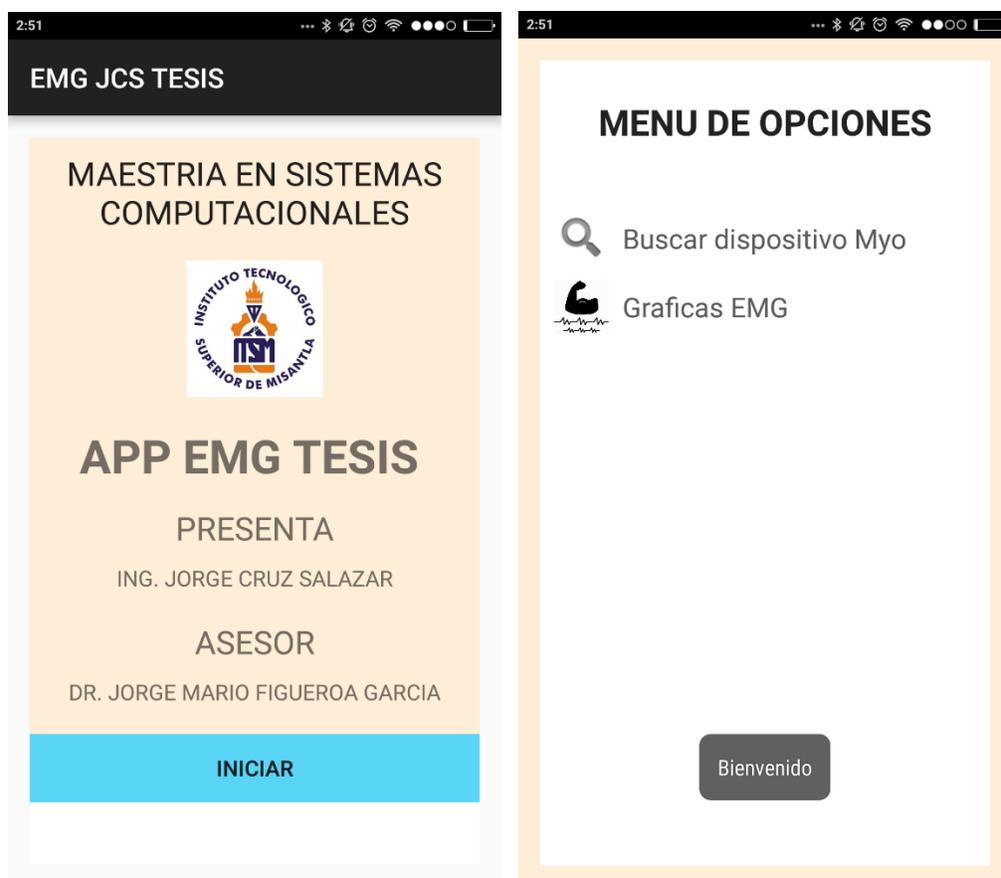


Figura 40. Pantallas de bienvenida y localización del dispositivo Myo.

Una vez localizado el dispositivo Myo este se muestra en la pantalla identificada como lista de dispositivos, debe oprimirse sobre el dispositivo detectado, para lanzar la pantalla identificada como EMG JCS TESIS, donde se mostrará la dirección Mac, teniendo tres botones el de vibrar es para hacer una prueba de conexión con el dispositivo Myo, el cual responde con una vibración, una vez superada esta etapa se puede pulsar el botón EMG para iniciar la recolección de datos de cada uno de los ocho sensores electromiográficos, el botón NOEMG detiene la comunicación con el dispositivo.



Figura 41. Pantallas de localización y de graficación.

Si todas estas etapas se han superado entonces se pueden ver en las ocho gráficas las señales electromiográficas, siendo estable la aplicación.



Figura 42. Pantallas donde se gráfica un gesto de la mano.

Al oprimir el botón guardar la aplicación envía el mensaje de que realices un gesto con la mano y lo mantengas para que pueda ser grabado y comparado, este será grabado como gesto1, y así sucesivamente.



Figura 43. Pantallas donde se indica se ingrese un nuevo gesto a grabar.

Cuando se ha terminado de ingresar los gestos, entonces se oprime el botón detectar gesto, ahora habrá que repetir movimiento dos de la mano de los diferentes gestos grabados o muy similares a ellos, para que puedan ser clasificados y enviados a pantalla.



Figura 44. Pantalla donde se detecta un gesto con respecto a los grabados con anterioridad.

Capítulo 5. Conclusiones y Trabajos Futuros.

5.1. Conclusiones.

En este trabajo se planteó la posibilidad de poder extraer lecturas electromiográficas de los dedos y mano, lo cual se logró realizarse con éxito, a través de un sistema embebido que contiene ocho lectores electromiográficos EMG y una unidad de medición inercial, de la cual también se extrajo información, pero derivado de que trabajan a diferentes frecuencias, se decidió trabajar finalmente solo con las muestras electromiográficas.

Otro logro fue poder comunicar el sistema embebido usando Bluetooth 4.0 Smart con un dispositivo Android, para poder obtener la información de los ocho sensores electromiográficos y la unidad de medición inercial para enviarla exitosamente al Smartphone, planteando un conjunto de ocho gestos obteniéndose 7748 muestras, con un promedio de 968.5 instancias por cada gesto enviadas en tiempo real.

Se concluye que es fundamental considerar la frecuencia a la que trabajan los sensores electromiográficos para este caso 200 Hertz, dando razón a obtener muestras cada 5 milisegundos, que deben agregarse estos valores de tiempo como atributo para la clasificación, ya que si no es considerado el tiempo de muestreo el clasificador tiene un rendimiento menor al 25% de efectividad.

Otro logro de mucha importancia fue poder validar el clasificador Naive Bayes donde ya agregando el atributo de tiempo de muestreo o censado y las ocho lecturas de los sensores electromiográficos se pudo obtener con datos no

procesados un rendimiento no mayor del 79% y que a mayor porcentaje del conjunto de entrenamiento, disminuía su efectividad, pero al compararse con los resultados obtenidos con datos preprocesados a través de un filtro de discretización, como lo sugieren las literaturas al trabajar con datos numéricos y probándose con el 33%, 66% , 90% como conjunto de entrenamiento de las 7748 instancias, en todas se logró un rendimiento mayor al esperado con un 99% por ciento de efectividad en la clasificación correcta y un error menor al 1% tal como se muestra en los resultados, todo esto demostrado a través del software Weka.

Otro logro es el poder desarrollar la aplicación que se comunica de forma estable, y es capaz de obtener en tiempo real los datos enviados por el sistema embebido, para ser procesados e iniciar el proceso de identificación de gesto.

Debe mencionarse que el sistema embebido no debe estar cerca de una fuente emisora de Wi-Fi como son antenas o routers, ya que la interferencia provocada en la comunicación Bluetooth durante la transferencia de datos provoca desconexiones inesperadas por lo que se recomienda mantenerse al menos 15 metros de distancia.

5.2. Trabajos futuros.

Para trabajos futuros se deja la opción de poder trabajar toda esta información a través de la programación de una PC usando el software MATLAB, desarrollando las librerías, o los Scripts necesarios para la obtención y comunicación con el sistema embebido Myo.

Otro trabajo futuro es el de cambiar el tipo de clasificador y validarse uno diferente al Naive Bayes, dejando de forma discrecional al desarrollador la elección de uno o más clasificadores.

Otro trabajo futuro puede ser el uso de dispositivos móviles con sistema operativo OS de la marca Apple, como son el iPhone, iPad.

Se deja como trabajo futuro el uso de la unidad de medición inercial ya sea usando giroscopio y acelerómetro o la combinación de ellos que en conjunto con los sensores electromiográficos permitan una clasificación eficiente.

Como trabajo futuro puede iniciarse las pruebas con personas con capacidades diferentes en el habla, y oído que les brinden la oportunidad de apoyarles.

Como trabajo futuro puede mejorarse la aplicación realizada en Android, para enriquecerla o hacer una interfaz más intuitiva hacia el usuario, aumentando el número de detección de gestos manteniendo una alta efectividad en la clasificación con Naive Bayes.

Referencias.

- [1] J. G. Webster, "Medical Instrumentation", Ed., Houghton Mifflin, Boston, 1978, pp. 215–272
- [2] R. Merletti y P. Parker, "Electromyography: Physiology, Engineering and Non-Invasive Applications". IEEE Press and John Wiley Publishers, 2001.
- [3] L. Mesin y D. Farina, "An analytical model for surface EMG generation in volume conductors with smooth conductivity variations," Biomedical Engineering, IEEE Transactions on, vol. 53, pp. 773-779, 2006.
- [4] Eldin Henry Shroffe D. et al. "Hand gesture recognition based on emg signals using ann". International Journal of Computer Application. Issue 3, Volume 2 (April 2013) Available online on http://www.rpublication.com/ijca/ijca_index.htm ISSN: 2250-1797.
- [5] Zhang, Xu et al. "Framework for Hand Gesture Recognition Based on Accelerometer and EMG Sensors". November, 2011.
- [6] Kevin R. Wheeler et al. "Gesture Based Control and EMG Decomposition". November, 2011.
- [7] Singh, Jishant et al., "EMG: Hand Gesture Recognition"
- [8] Javier Villamizar Pinzón et al. "Brazo robótico controlado por electromiografía". Scientia et Technica Año XVII, No 52, Diciembre de 2012. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- [9] Camilo La Rota et al. "Limb function discrimination for EMG controled prostheses" <https://www.researchgate.net/publication/228812135>

[10] Sumit A. Raurale. "Acquisition of EMG signals to recognize multiple Hand Gestures for Prosthesis Robotic Hand-A Review" 2014 International Journal of Current Engineering and Technology E-ISSN 2277 – 4106, P-ISSN 2347 - 5161

[11] Daniel Graupe. "A multifunctional prosthesis control system Based on time series identification of emg signals Using microprocessors" Department of Electrical Engineering Colorado State University.

[12] Melisa A. Frisoli. "Sensor Portable para Registro Cinemático por Comunicación ZigBee" Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos.

[13] Vidal Moreno. "Sistema de Reconocimiento Gestual para una Unidad de medición inercial" Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática. Universidad politécnica de valencia.

[14] Gutiérrez Rivas E.; Jiménez Fernández, M.D.; Pardo Fernández J.; Romero Acebal, M. Col: Chamorro Muñoz. Manual de electromiografía clínica 2ª edición. Ergón. Madrid. 2008.

[15] Teresa Talamillo García. Manual de procedimientos en electromiografía y electroneurografía.

Anexos

Debido a que se requieren aproximadamente un promedio de 120 hojas de anexo para presentar el total de instancias o muestras obtenidas, estas se omiten pero están a disposición a través del correo institucional jcruzs@itsm.edu.mx para quien las requiera.