



تصميم وتنفيذ ذراع روبوتيك ذكية باستخدام خوارزمية MFCC وشبكات الذكاء الصناعي

إعداد: م. مصطفى عفارة
إشراف: د.م عبد القادر غزال

مقدمة:

إن الحاجة الملحة لإنشاء وتطوير الأطراف الصناعية تتزايد يوماً مع كثرة الحروب والحوادث التي يتعرض لها البشر بمختلف البقاع على وجه الأرض، وتعتبر من أهم الحلول لتعويض الجنس البشري خسائره الحيوية لأعضاء الجسم بشكل عام، وتتعدد هذه الخسائر إلى أعضاء الأجهزة المختلفة في جسم الإنسان من أعضاء في الجهاز الهضمي كالمعدة أو الجهاز التنفسي كالقصبات والرئتين وحتى الجهاز الدوري كالقلب والشرابين، وإن ما تقوم به الشركات من أعمال جتارة لتعويض هذه الخسائر الجسمية الجسيمة وتكاليف باهظة إلا أنها لم تتوصل إلى حلول جذرية تتطابق جودتها وفعاليتها مع أعضاء الجسم الأساسية؛ ولكن تعتبر هذه الأعمال مدخل إلى محاولة الوصول لأجهزة (ذات بنى بسيطة جداً مقارنة مع البنى المطلوب تعويضها) تقوم مقام العضو المراد تعويضه نسبياً، ذكرت إيليني في أنتونيادو (Eleni V. Antoniadou) وهي رئيس قسم العلوم الحيوية في مؤسسة Transplants Without Donors LLC في خطابها في الاجتماع السنوي لعام 2012 في جمعية تجديد الطب وهندسة الأنسجة ما يلي: "من منظور بشري الهدف الرئيسي لإنشاء عضو صناعي هو وضع نهاية لعمليات التجارة في الأعضاء البشرية والجرائم المنظمة التي تتخطى الحدود والتي تنتشر في دول العالم الثالث"، ومن هذه المشاريع إنشاء أطراف صناعية ذكية (ذراع - ساق - مرفق - ركلة - الخ) التي وصل التقدم التقني بها مقام القيام بأعمال الأطراف الحيوية الأساسية ولكن بكفاءة وشعور أقل نسبياً من الأطراف المراد تعويضها، سنقدم إليكم تفاصيل إنشاء وتجهيز نموذج مبدئي لذراع روبوتيك ذكية ذات كفاءة جيدة للقيام ببعض الأعمال الأساسية لليد البشرية بمستوى لا بأس به، ولكن لتبسيط هذا النوع من الأعمال سنقوم بتجزئته إلى جوانب يسهل دراستها وفهمها وتوزيع مهامها إلى كل صاحب اختصاص على حدة.



الشكل (1): صورة توضيحية لنوع من أنواع الأطراف الصناعية (الرجل الصناعية)

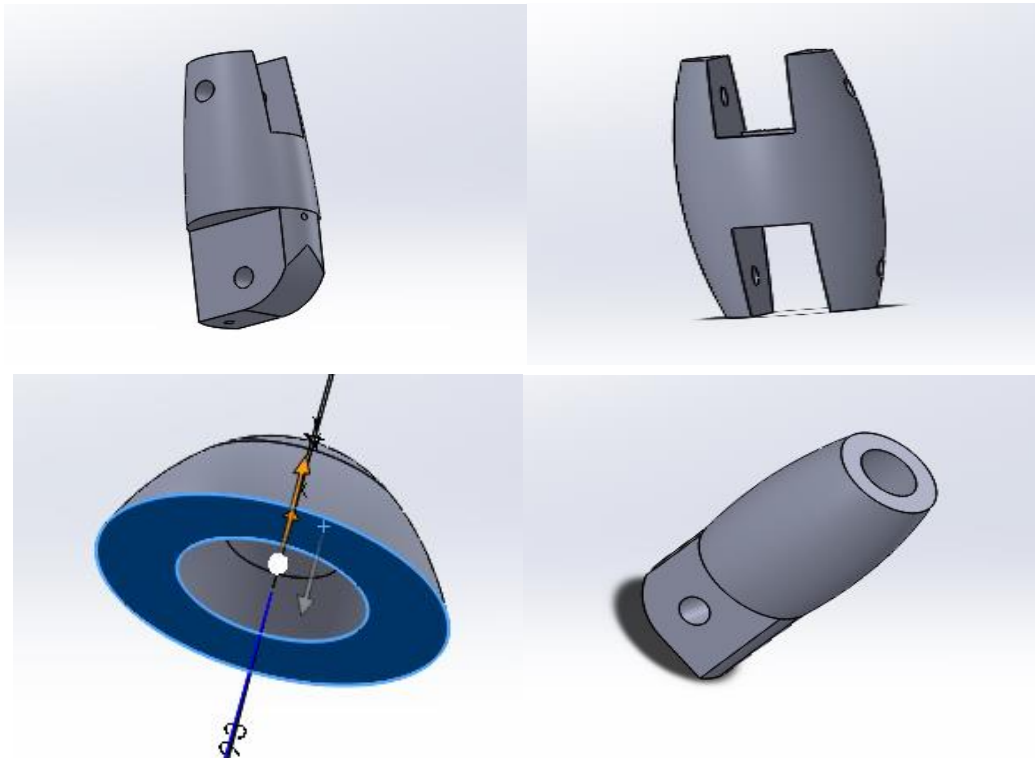
الجانب الميكانيكي:

إن الذراع الصناعية تخضع لمتغيرات ميكانيكية وحركية عديدة مثل:

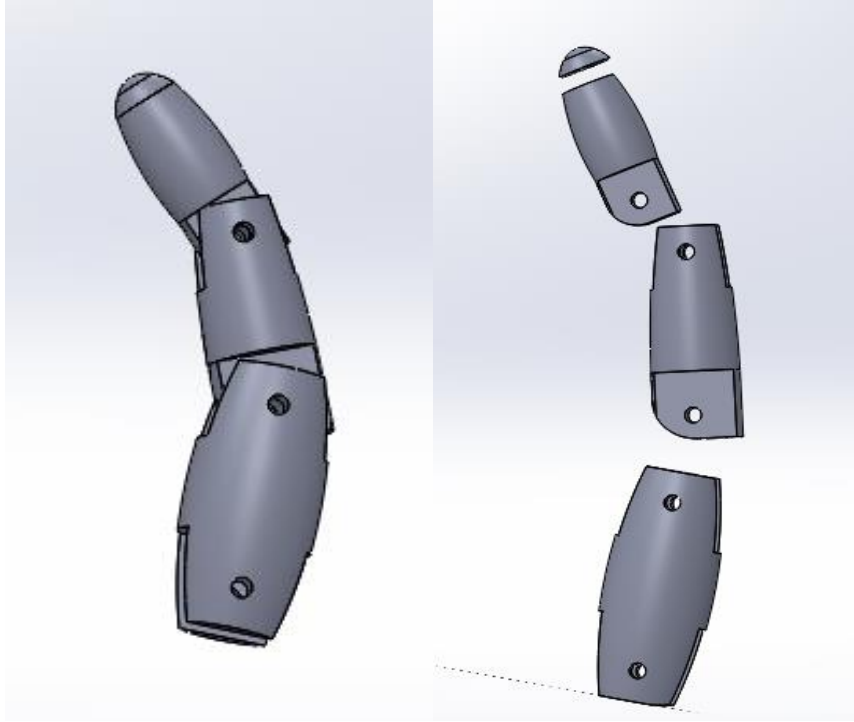
1. نوع المادة المستخدمة لطباعة الذراع وكثافتها والعوامل التي تخضع لها هذه المادة في المتغيرات الخارجية (حرارة، ضغط، درجة الصدا، الخ) والمتغيرات الداخلية (ناقلية التيار الكهربائي).
2. كيفية التثبيت للمفاصل وأجزاء الذراع (أوتار، حبال رفيعة، سوائيل لاصقة، الخ).
3. فضاء الحركة للذراع؛ بحيث يجب تحديد هذا الفضاء هل هو مطابق لفضاء الحركة لليد الطبيعية أم لا، بالإضافة لفضاء حركة المفاصل وأجزاء الذراع.

:Solid works

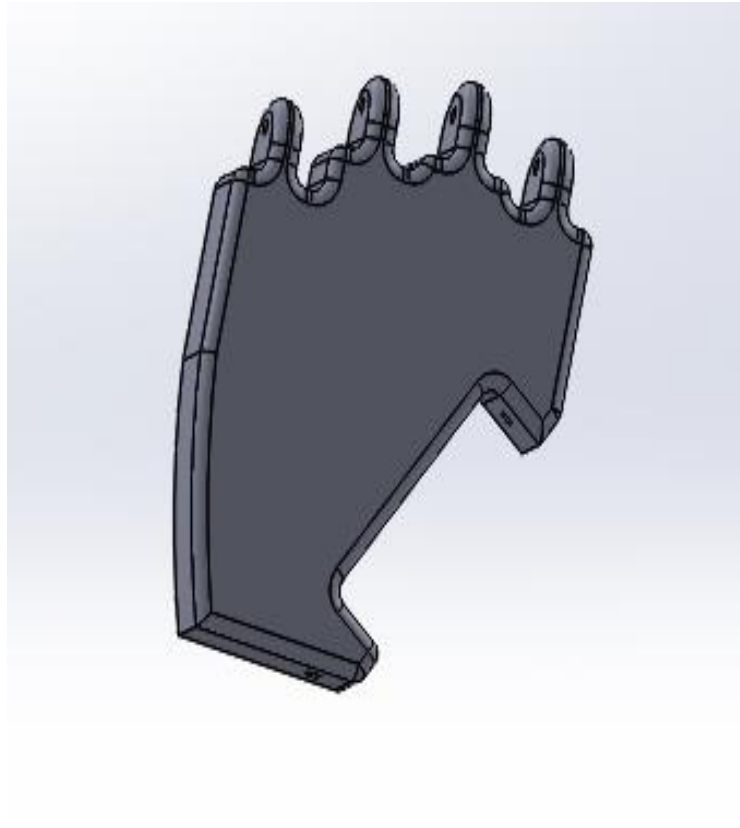
هو برنامج تصميم ميكانيكي ثلاثي الأبعاد، يعمل على بيئة Windows، ويمتاز بسهولة النمذجة والتحريك والاختبار وهو واقعي جداً بحيث يساعد على خلق تصور واضح للتصاميم الميكانيكية، ويمكن طباعة هذه التصاميم ودراستها بشكل ملموس من خلال الطابعات ثلاثية الأبعاد ذات الأبعاد والأحجام والمواصفات المتعددة.



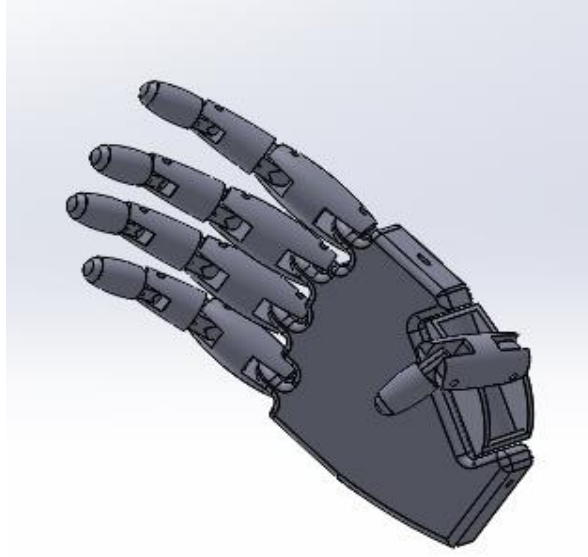
الشكل (2): يوضح أجزاء الإصبع الواحد وتفاصيل مفاصلها



الشكل (3): يوضح تراكب أجزاء الإصبع الواحدة



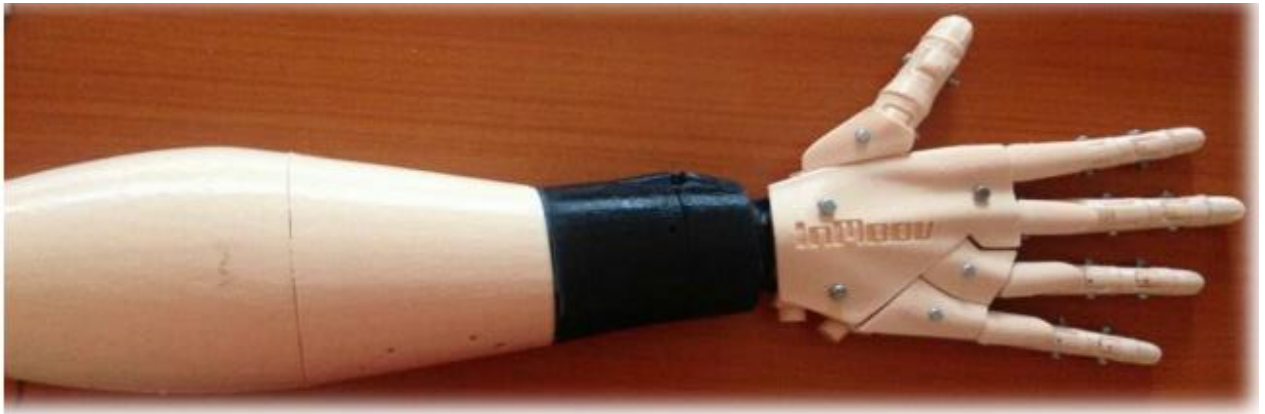
الشكل (4): يوضح غطاء الكف



الشكل (5): يوضح تركيب الكف بشكل كامل



الشكل (6): نموذج مطبوع مختلف قليلاً



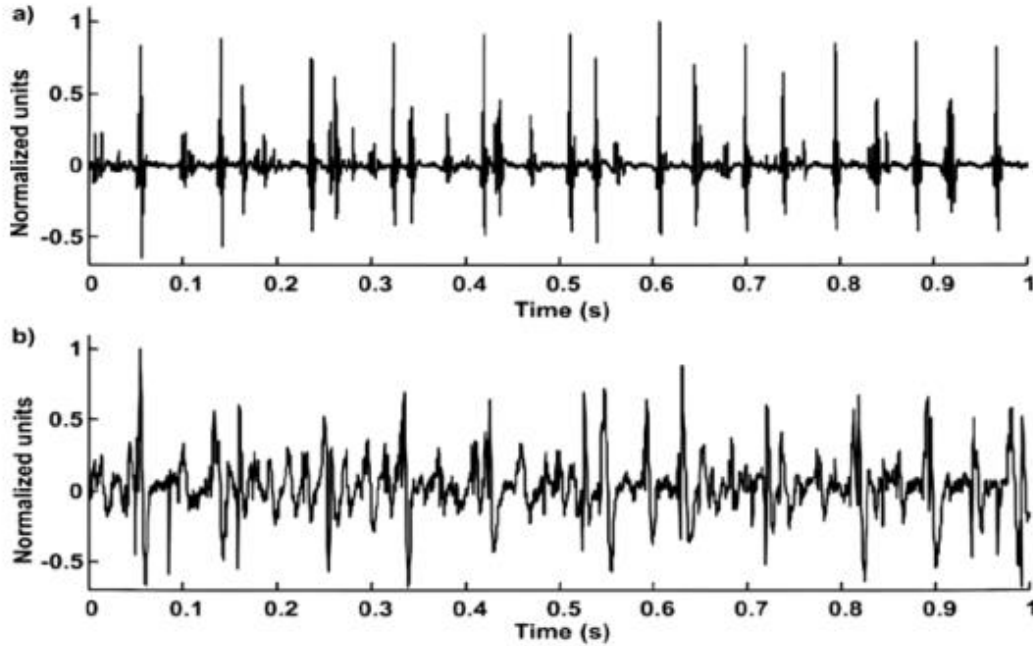
الشكل (7): الذراع بشكل كامل بعد الطباعة

الجانب الكهربائي والإلكتروني:

إن هذا النوع من المشاريع يحتاج لكثير من الدقة في التحكم بالتيار الكهربائي وتوجيهه للقيام بالأداء المطلوب من هذه الأداة، ولتوفير هذا النوع من الأعمال نحتاج إلى الأدوات التالية (كنموذج أولي):

(1) إلكترود (Electrode):

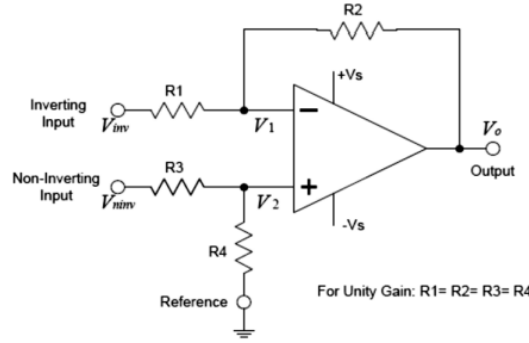
هي أداة لالتقاط إشارة EMG (والتي سنتكلم عنها في الجانب البرمجي بالتفصيل) عن طريق وضع هذا الإلكترود على موضع الدراسة وهي عبارة عن معدن كهروكيميائي ناقل للإشارة وتمثل العنصر الأساس لهذا النوع من الدراسات، يتم وضعها على السطح المراد دراسته بحيث يحدث انحلال بين سطح الإلكترود والسطح المثبت عليه وتنتقل الشوارد على السطح المدروس إلى معدن الإلكترود فنحصل على محلول مليء بالشوارد، ولتسجيل الإشارة الحيوية نقوم بوضع الكترودين أحدهما على السطح المدروس لالتقاط إشارته والآخر على سطح آخر مستقر ليستقبل إشارة مرجعية أخرى، ولها عدة أنواع كإللكترودات الإبرية التي تقوم بوخز الإبرة داخل العضلة ومن ثم استخراجها ليبقى هذا السلك مزروعا فيها ويقوم باستخراج الإشارة المطلوبة بدون تعب أو ألم للعضلة والإللكترودات السطحية التي توضع على الجلد مباشرة ويستخدم الذهب والفضة لصنع هذه الإللكترودات كما يوضع عليها جل منحل كهربائيا أو جل هيدروجيني ناقل للتيار.



الشكل (8): يوضح الفرق بين إشارتين ملتقطتين بإللكترود سطحي (a) وآخر إبري (b)

(2) دائرة التضخيم الأولي (Primary Amplification):

تعتبر من أهم المراحل المعتمد عليها في مشاريع التعامل مع إشارة EMG، بحيث تعمل على التخلص من جزء كبير من الإشارات غير المرغوب بها (الضجيج) والتي قد تتراكب على إشارتنا المراد تحصيلها كحركة الإلكترودات، أو ضجيج العضلة أو غيرها، كما توفر معدل تضخيم أولي للإشارة تمهيداً للتضخيم الثانوي.



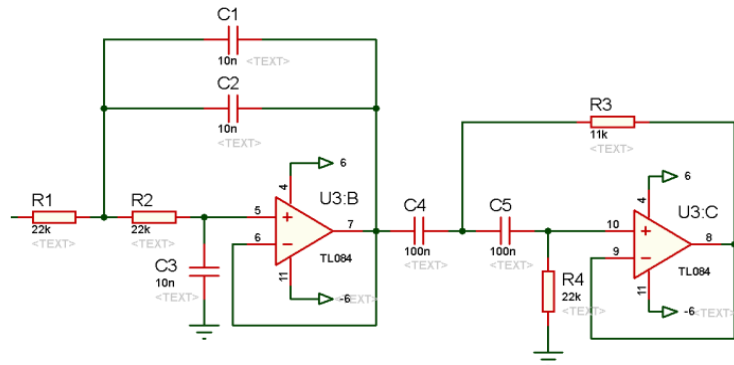
الشكل (9): يوضح دائرة التضخيم الأولي للإشارة

$$V_0 = (V_{ninv} - V_{inv}).R1/R2.$$

وتعطى معادلة التضخيم الأولي بالعلاقة:

(3) دائرة ترشيح الإشارة (Filtering):

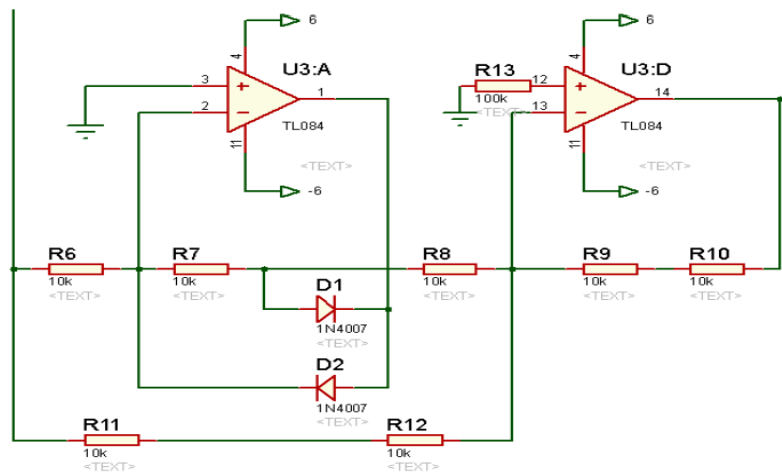
تعتبر هذه الدارة من العمليات الهامة أيضاً لترشيح إشارة EMG بحيث نحصل على إشارة خالية من الضجيج قدر الإمكان، ويتمثل ضجيج الإشارة المراد ترشيحه في هذه الدارة بالإشارات الحيوية الأخرى المتضاربة مع إشارة التخطيط العضلي الكهربائي EMG كإشارة تخطيط القلب ECG أو الإشارات الناتجة عن تأثير البيئة المحيطة بجهاز التخطيط (كتردد التغذية الكهربائية 60 HZ)، وتتكون هذه الدارة من مرشحي التمرير العالي الفعال ومرشح التمرير المنخفض الفعال والذي سنتكلم عنهما في الفصل التالي.



الشكل (10): مرشح التمرير الفعال لحزمة الإشارة المستقبلية

4) دارة تقويم الإشارة (Rectification):

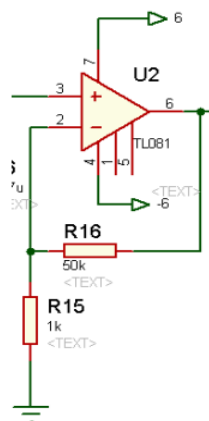
نقوم في هذه المرحلة بتقويم إشارة EMG باستخدام دارة تقويم موجة كاملة؛ والتي تعمل على تمرير الموجات الموجبة وعكس الموجات السالبة إلى موجات موجبة يُجمع مطالها مع مطال الإشارة الموجبة، وإن مبرر استخدام هذه الدارة يكون بسبب أن تموضع الإلكتروادات على العضلة وتقلص هذه العضلة سوف يولد كمونات سالبة بالنسبة للإلكتروادات، كما أننا بشكل عام نحتاج إلى تقوية الإشارة المستحصلة لأن عملية معالجة هذه الإشارة وترشيحها يؤدي إلى تخامدها بشكل تدريجي وفنائها في الخطوات الأخيرة من خوارزمية العمل المستخدمة كما سنرى لاحقاً.



الشكل (11): يوضح دائرة تقويم الموجة السالبة

5) دائرة التضخيم الثانوي (Secondary Amplification):

بعد الحصول على إشارة مرشحة ومضخمة ومقومة نريد نقلها إلى الحاسب لدخولها في خوارزمية العمل للمعالجة؛ لذا سنقوم بتضخيمها باستخدام مضخم خطي غير عاكس وهو المضخم الأساسي للدائرة الكاملة.



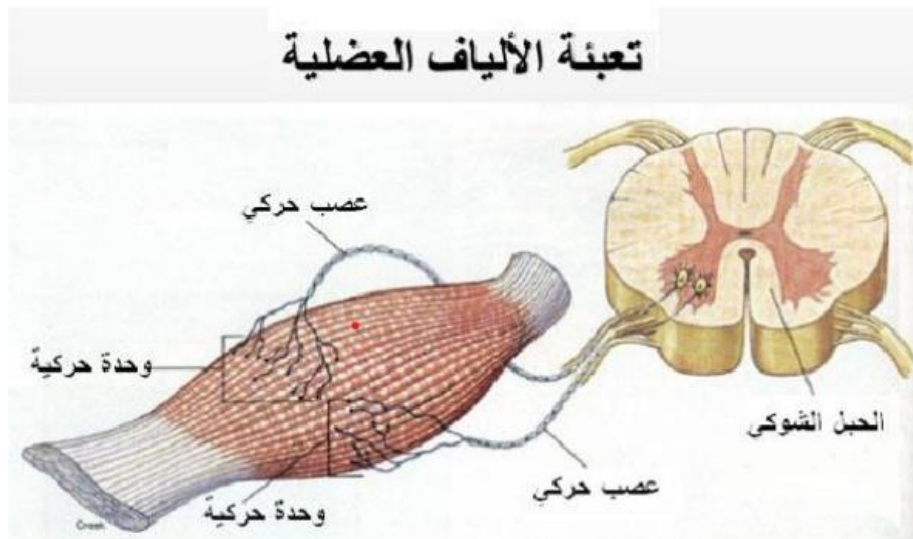
الشكل (12): دارة المضخم الثانوي

الجانب الخوارزمي:

تعتبر الإشارات من بنوية هذا الكون الدقيقة وهي تعبر عن التغيرات الحاصلة في أجزائه ومكوناته، ولها أنواع عديدة ومهام متنوعة؛ منها الإشارات الحيوية الموجودة في جسم الإنسان والتي يديرها الدماغ في الجسم وتعرف باسم السيالة العصبية وتنتقل عبر الأعصاب إلى كافة أنحاء الجسم، وتعمل على إصدار الأوامر الحسية والحركية والتفاعلية بين مكونات الجسم لغايات محددة، ومن أنواع هذه الإشارات: الإشارة الكهربائية القلبية Electrocardiography (ECG)، الإشارة الكهربائية العضلية Electromyography (EMG)، الإشارة الكهربائية الدماغية Electroencephalography (EEG)، الإشارة الكهربائية العصبية Electroneuralgraphy (ENG)، الإشارة الكهربائية العينية Electroophthalmimyography (EOG)، الإشارة الكهربائية لشبكية العين Electroretinography (ERG).

ما هي إشارة EMG؟

إشارة التخطيط العضلي الكهربائي Electromyography (EMG): هي إشارة طبية حيوية تقيس التيارات الكهربائية المتولدة في العضلات أثناء تقلصها والتي تمثل الأنشطة العصبية العضلية. وهي إشارة معقدة يتم التحكم بها بواسطة الجهاز العصبي في الجسم وتعتمد على الخصائص البيولوجية والفيزيولوجية للعضلة بحيث تنتج تقلصات الألياف العضلية عن توليد كمون العمل الذي يمثل الإشارة المقصودة وهي إشارة إرادية في الغالب بعكس عضلة القلب (إشارة لا إرادية)، ولكن هذا الكمون غير دائم بحيث توجد مراحل لا يمكن توليد هذا الجهد بسبب ما يسمى بالتعب العضلي ومطالاتها تحسب برتبة الميلي فولت.



الشكل (13): يوضح توزيع واتصال الأعصاب الحركية الإرادية بالعضلة وانتقال إشارة EMG

الموصل الحجمي: وهي مجموعة الأنسجة والطبقات بين الإلكترود السطحي والعضلة المراد تسجيل إشارتها وله تأثير متباين على عملية تسجيل الإشارة بحيث أن عدد الطبقات ومكوناتها وتجانسها وبعد الإلكترود عن العضلة وغيرها من العوامل تؤثر بشكل كبير في عملية تسجيل الإشارة من العضلة، ولتبسيط عملية التسجيل اصطلح بشكل افتراضيا أن هذا السطح هو إيزوتروبي متجانس وبناء عليه لم يبق لنا إلا احتساب بعد الإلكترود عن العضلة المرادة.

العوامل المؤثرة في عملية التقاط الإشارة:

تتسم الإشارة الحيوية أنها ذات ضجيج مرتفع مقارنة بباقي الإشارات الأخرى وهذا يعرقل عملية تسجيل الإشارة واستخلاص ميزاتها، ومن هذه الإشارات الضجيجية:

- 1) ضجيج ناتج عن شوائب أجهزة القراءة.
 - 2) **الضجيج البيئي:** كوكب الأرض له مجال كهرومغناطيسي محيط به بشكل دائم والجسم البشري أيضا له مجال آخر بدوره متأثر بالمجال الأول وبالتالي من الممكن أن يكون لهذا المجال إشارة مطالها أكبر من إشارة EMG المستحصلة أساسا.
 - 3) حركة أعضاء الجسد وخاصة القلب والدماغ والذي يؤثر بشكل كبير على الإشارة.
 - 4) توضع أجهزة القياس وتثبيتها بالإضافة لتواجد أجهزة أخرى في بعض الأحيان.
- ولحل هذا النوع من المشاكل لجأ الباحثون إلى ما يعرف بنظم الملاءمة الإلكترونية أو المرشحات.

معالجة إشارة EMG واستخلاص ميزاتها:

تعتمد عملية التحليل على فرز الإشارات من خلال طرق وخوارزميات مبتكرة من الباحثين، وإن إشارة EMG هي إشارة متراكبة بين عدة إشارات أخرى تمثل الضجيج لها كما هو مذكور سابقا، يتم تحليل إشارة EMG بواسطة مطابقة طيف الموجة وتحليل معاملاتها بحيث تكون الكمونات الناتجة عن عمل العضلة متداخلة مع بعضها البعض وخصوصا عن تقلص العضلة بشكل قوي، ففي عام 1997 تم تطوير تقنية تستخدم تستخدم تحويل الموجة لتصنيف كمونات العمل للوحدات المتحركة وتحليل إشارة EMG على أجزاء كمونات الوحدات المحركة للعضلة وتعتمد هذه التقنية على الطيف المقابل للموجة وغالبية التقنيات المستخدمة في هذا المجال تمر ب4 مراحل هي: تنقية الإشارة من الضجيج، كشف الزيادة المفاجئة، تصنيف الزيادة، فصل الزيادة.

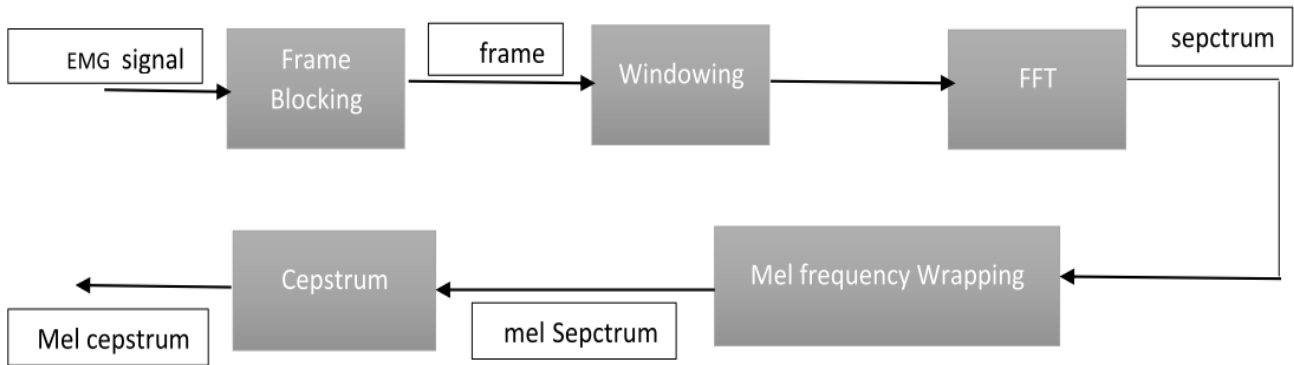
هناك عدد من الخوارزميات المستخدمة في هذا المجال ومن هذه الخوارزميات ال PAC خوارزمية تحليل المكونات الرئيسية والمعقدة والتي تعمل بالخطوات التالية:

تقطيع الإشارة، تحويل الموجة إلى المجال الترددي، PAC، تجميع الإشارة.

وهنا سوف نستخدم خوارزمية معاملات تردد ميل الطيف المعكوس **Mel frequency cepstrum coefficients (MFCC)**:

تعمل الخوارزمية على عدة خطوات قمنا بتبسيطها ليسهل شرحها وتطبيقها:

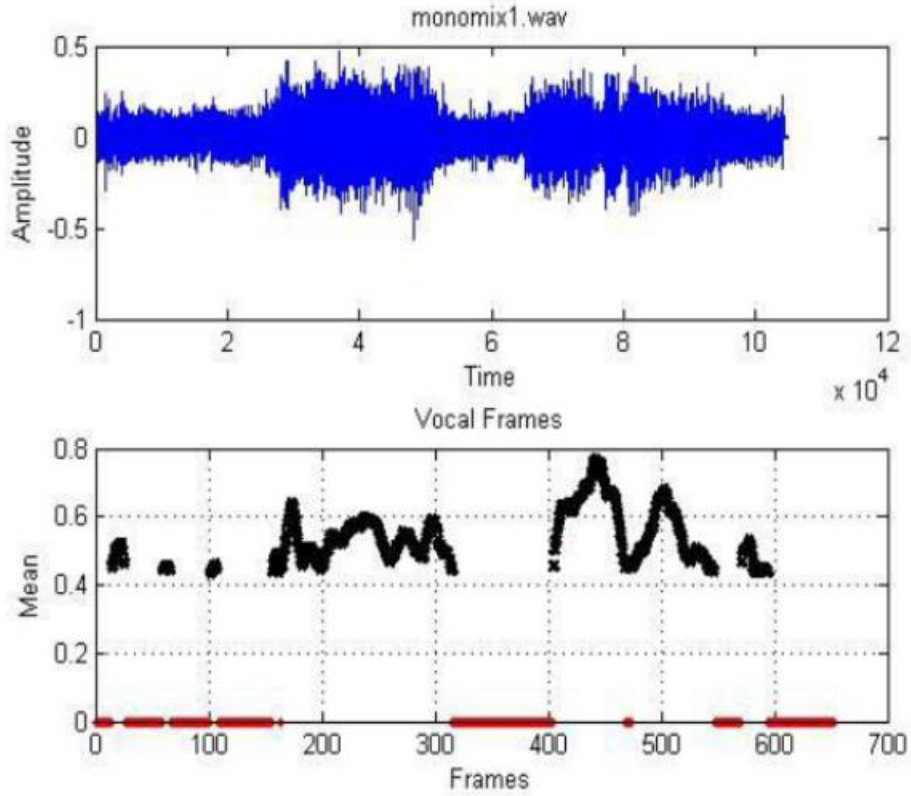
1. تقطيع الإشارة إلى عدة بلوكات للتعامل معها.
2. استخدام نوافذ محددة من الإشارة.
3. تحويلات فورييه.
4. عمل غلاف للإشارة الناتجة وهو ما يدعى غلاف الميل الترددي.
5. استنتاج الطيف العكسي للإشارة.



الشكل (14): مخطط خوارزمية العمل

1. تقطيع الإشارة **Frame blocking**:

تقوم الخوارزمية بهذه المرحلة بعملية عيننة للإشارة الملتقطة لعدة أسباب منها أن بعض ميزات الإشارة تحوم حول قيم معينة وثابتة في الأماكن الأكثر جدوى للإشارة من العضلة ولفترات زمنية قصيرة، ولهذا سنلتزم بهذه الفترة وسنقوم بتقطيع الإشارة إلى إطارات بمعدل 30-100 ميلي ثانية؛ بحيث أن كل إطار يتداخل مع الذي يليه بفترة تحقق تنعيم المنطقة التي ستنقل من إطار إلى آخر.



الشكل (15): يوضح عملية تقطيع الإشارة (ولكن بالنسبة للإشارة الصوتية)

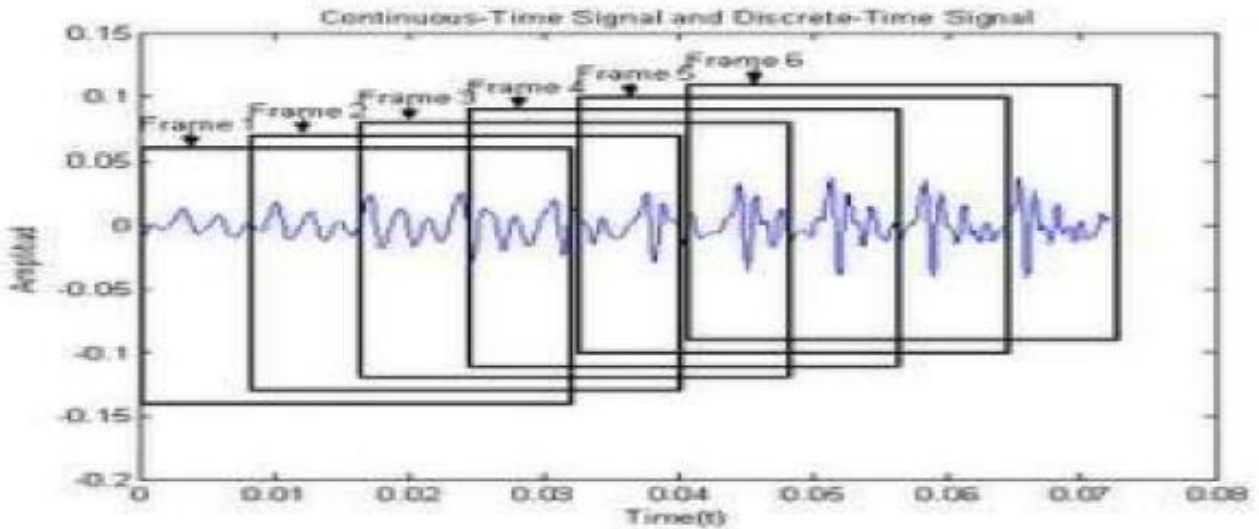
2. عملية الـ Windowing:

هي استخدام النافذة لجميع الإطارات بحذف بعض مكوناتها، وتكون معادلة التحويل لـ N إطار كالتالي:

$$Y(n) = x(n).w(n); \quad 0 \leq n \leq N-1.$$

حيث x : دخل التحويل، Y : خرج التحويل، w : تابع التحويل.

هناك العديد من خوارزميات النافذة منها نافذة هامينغ التي سنستخدمها في هذا البحث.

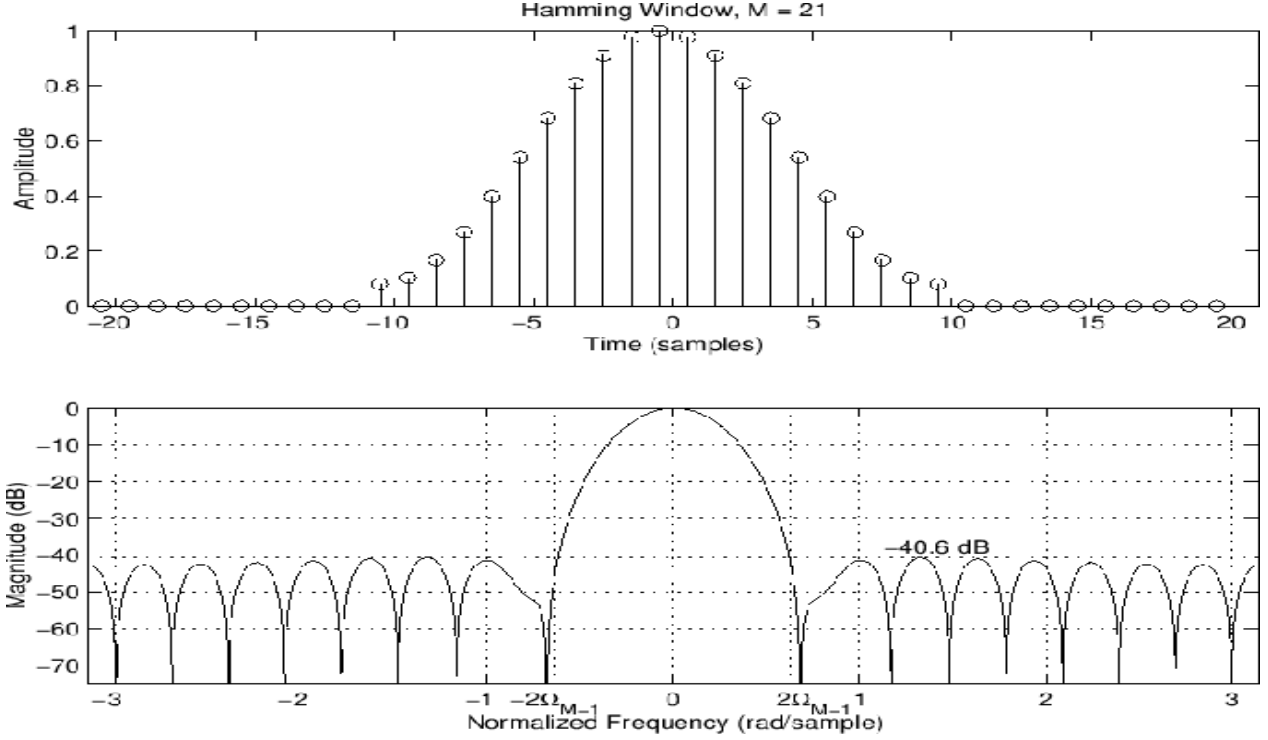


الشكل (16): يظهر عملية تداخل القيم المفيدة في الإشارة في عملية النافذة

3. تحويل فورييه السريع:

سوف نقوم بتحويل الإشارة التي تم تشريحها وتقطيعها وتفرمها من المجال الزمني إلى المجال الترددي بواسطة تحويل فورييه السريع عوضا عن تحويل فورييه المتقطع لتحقيق سرعة أكبر في عمل الخوارزمية، والتي يمكن وصفه بالمعادلة التالية:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) e^{-i2\pi x f} dx$$



الشكل (17): يظهر نتائج تحويل فورييه المطبق على الإشارة واستخدام نافذة هامينغ

4. إنشاء غلاف الميل الترددي للإشارة (Filter Bank):

خطوة هامة جدا في عمل الخوارزمية، سنقوم بعمل ترشيح للإشارة عن طريق بنك التصفية (مرشح البنك) بتطبيقه من 20-40 مرة على الإشارة فينتج لدينا عدد من المعاملات المثلثية يسهل التعامل معها.

مرشح البنك: هو مرشح مكون من عدة طبقات من مرشحين آخرين هما مرشح التمرير العالي المنخفض على التوالي (أو عدة طبقات من مرشحات تمرير النطاق المحدد)، ولهذا سميت بمرشحات البنك (الوافرة) وهي تقوم بإعادة هيكلة الإشارة من جديد.

مرشح التمرير المنخفض: يقوم بتصفية الإشارة من الترددات العالية وتمرير الترددات المنخفضة التي تكون ذات تردد أقل من تردد القطع cutoff المحدد، معادلته من الدرجة الأولى:

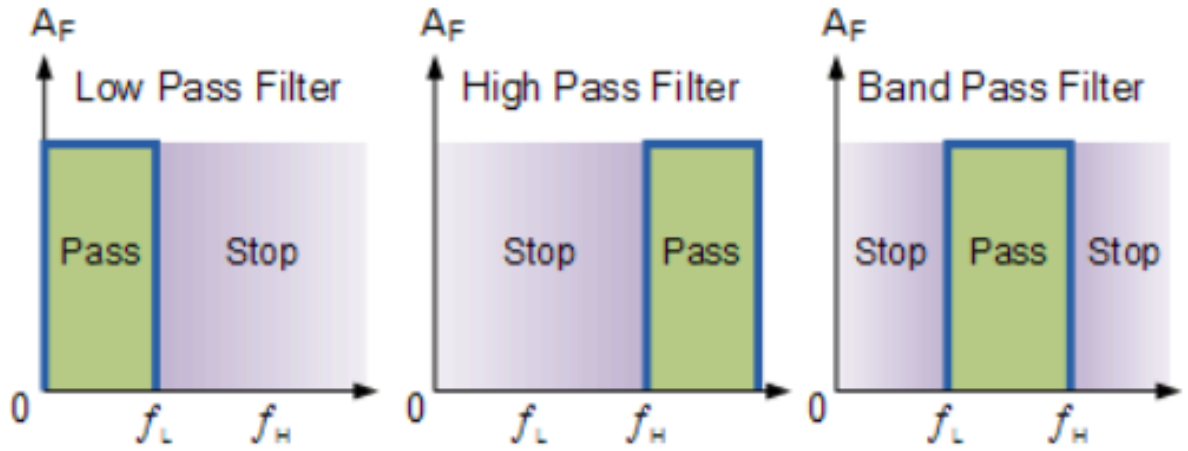
$$v_{out}(t) = v_{in}(t) - RC \frac{dv_{out}}{dt}$$

مرشح التمرير العالي: نفس المرشح السابق ولكن للترددات العالية للإشارة. وهكذا نعرف مرشح تمرير النطاق: بأنه يقوم بتصفية الإشارة ضمن مجال محدد بمرشحي التمرير العالي والتمرير المنخفض. معادلته من الدرجة الأولى:

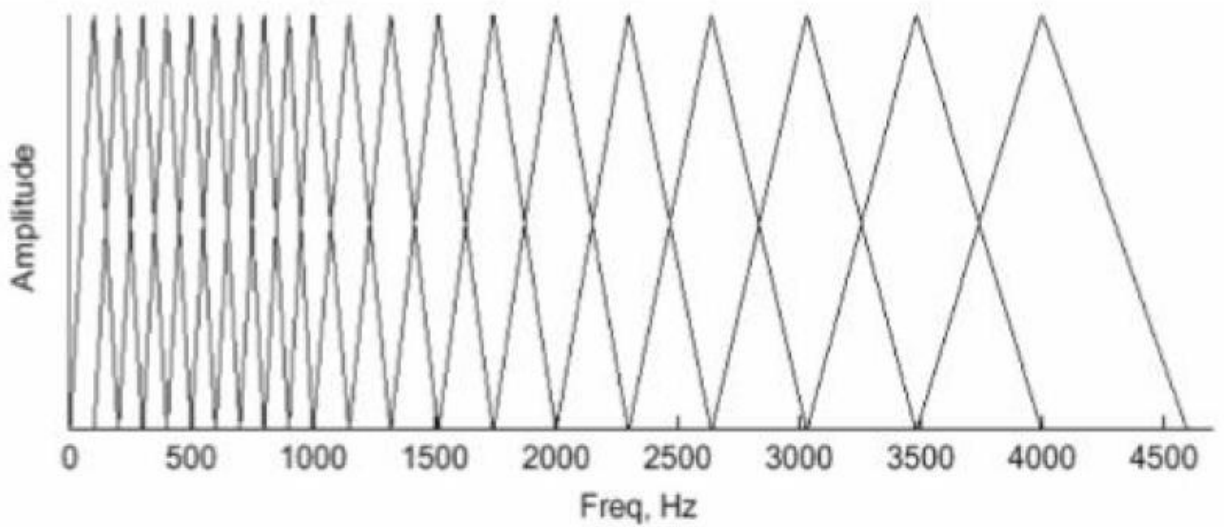
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega \cdot C})^2}}$$

ومعادلة كل من المرشحات السابقة بعد تحديد السعة والمقاومة من الدرجة الأولى:

$$f_c = 1 / (2\pi RC)$$



الشكل (18): يظهر منحنيات تمرير الحزمة لكل من المرشحات المذكورة



الشكل (19): خرج الإشارة بعد تطبيق مرشح البنك

5. إنشاء الطيف المعكوس للإشارة Cepstrum:

إن كلمة cepstrum هي غير إنجليزية ولكن اصطلاحاً هي معكوس أول 4 حروف من كلمة spectrum والتي تعني الطيف؛ فبذلك تصبح كلمة cepstrum كلمة الطيف المعكوس وهي تعبر عن عملية رياضية تقوم بما يلي:

القسم التخليي لتابع اللوغاريتم: $M: \text{Ceps} = FT^{-1}(\log(FT(\text{the signal} + 2jIIM)))$

القسم الحقيقي للتابع Ceps يعبر عن شدة وطور إشارة الطيف الرئيسية، أما القسم التخليي يعبر عن قيمة الزاوية لمثلث الإشارة الناتج عن العملية السابقة في الخطوة (4).

ذكرنا أن إشارة الـ EMG تتغير بسرعة مع مركباتها؛ لذلك سوف نقوم بحساب تابع الاستجابة النبضية لها من المعادلة:

$$s(n) = e(n) * d(n)$$

ولكن عند حساب جداء الإنطواء يصبح من الصعب جدا فصل هذين الجزأين وخاصة بعد أخذ تحويل فورييه لهما واستنتاج طيفهما؛ ولكن بأخذ الطيف المعكوس يصبح التعامل معهما أسهل كما يلي:

$$\text{Ceps} = FT^{-1}\{\log(FT[s(n)])\}$$

لكن عند تحويل الإشارة من المجال الزمني إلى الترددي يصبح جداء الإنطواء كالتالي:

$$S(n) = E(n) * d(n)$$

عندئذ يصبح الإنطواء بعد استخدام خاصية اللوغاريتم بتحويل ما داخله من جداء إلى مجموع اللوغاريتمات:

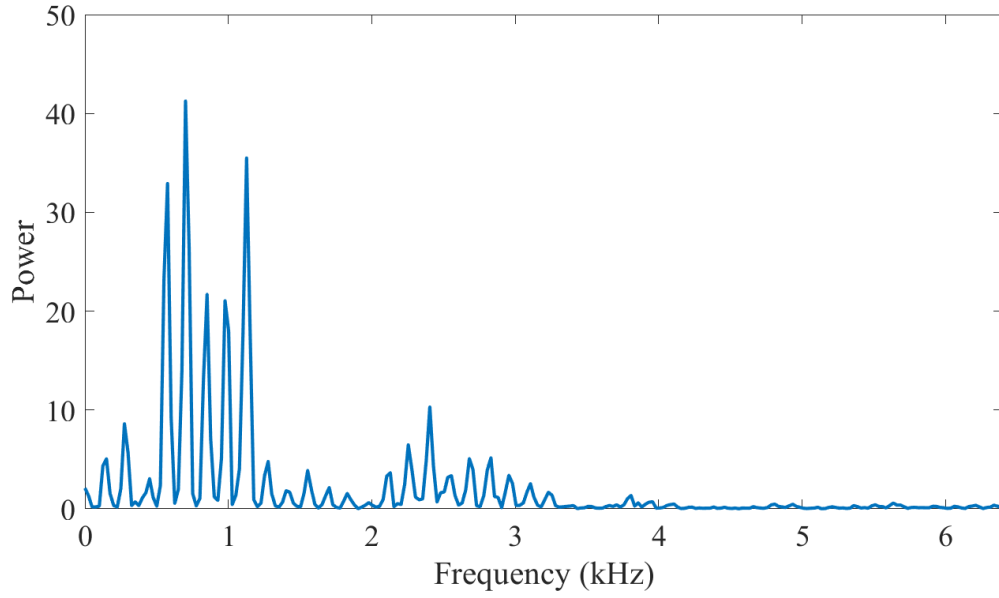
$$\log[S(n)] = \log[E(n) * d(n)] = \log[E(n)] + \log[d(n)] = \text{Ceps}_e + \text{Ceps}_d$$

عندها يقوم تحويل فورييه العكسي بالتعامل مع كل متغير على حدة كالتالي:

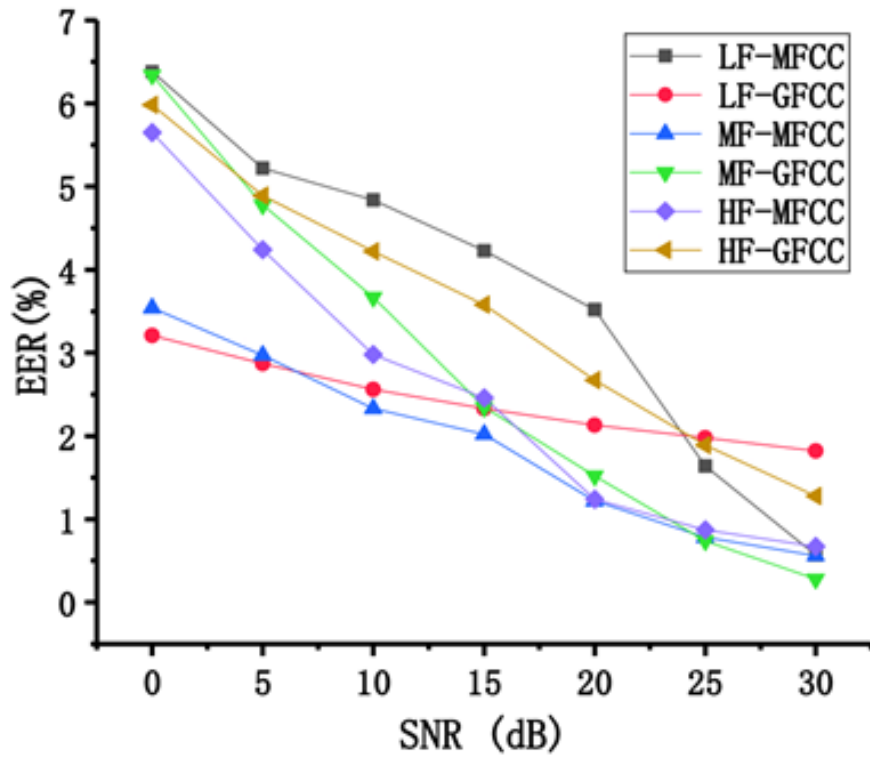
$$C = FT^{-1}(\text{Ceps}_e + \text{Ceps}_d) = FT^{-1}(\text{Ceps}_e) + FT^{-1}(\text{Ceps}_d) = C_e + C_d$$

حيث تنتج الإشارة بالمجال الترددي لها.

تنويه: إن خوارزمية MFCC ابتكرت في الأساس لتحليل ومعالجة الصوت الرقمي واستخراج ميزاته، وقد استخدم فيه تحويل جيب التمام المتقطع بدلا من تحويل فورييه في الخطوة الخامسة كون هذا التحويل يتعامل مع المتغيرات في المجال الحقيقي فقط وذات التسلسل الدوري، ولاستخراج الميزات من الصوت البشري لم يقم الباحثين بتطبيق مرشح البنك بشكله العام ولكن استخدموا ما يسمى بالـ Gammatone filter bank وهو مرشح بنك خاص بالأصوات مشتق من المعادلة العامة للمرشح الأصلي.



الشكل (20): خرج الإشارة بعد المعالجة



الشكل (21): مقارنة بين الخوارزمية الأصلية ونفسها مع مرشح البنك الصوتي بعد تطبيق مرشحات التمرير المنخفض والعالي والمتوسط

كيف يمكن استنتاج الميزات بشكل دوري؟

عن طريق عمل شبكة ذكاء صناعي وتدريبها على استخراج الميزات من الإشارة وتسجيلها ومقارنتها لاحقاً.

نبذة عن الشبكات العصبونية:

هي برامج تعتمد من حيث المبدأ على محاكاة عمل العصبونات الدماغية ولكن بكفاءة أقل من أجل معالجة البيانات في مجالات متعددة وهي من أشهر أنماط وطرق التعلم الآلي والتعلم العميق الهادف إلى توفير خوارزميات قادرة على اكتساب الخبرة، ولها عدة أنواع ولكن سنستخدم هنا الشبكات العصبية الخلفية التي تتضمن المراحل التالية للتعليم:

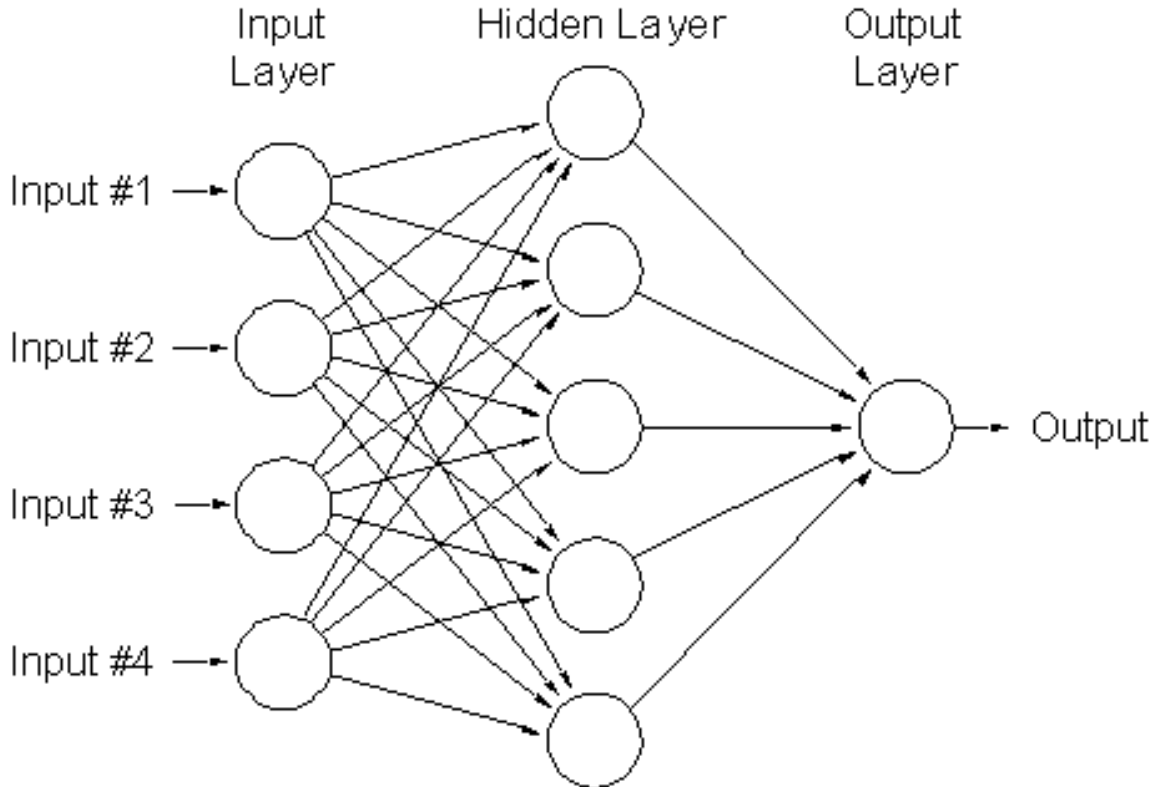
1- التغذية الأمامية لعينات تدريب الدخل.

2- مرحلة الحساب والانتشار الخلفي للخطأ المتعلق بالخرج.

3- مرحلة توليف الأوزان.

وهي مراحل تدريبية للشبكة على الخوارزمية المذكورة، وبعدها تأتي مرحلة الاختبار وهي ما تسمى بمرحلة طور الانتشار الأمامي.

ملاحظة: من الممكن تضمين عدة طبقات لعصبونات الشبكة لتوفير مزايا تدريبية أكثر دقة.



الشكل (22): الشبكة العصبية الخلفية متعددة الطبقات

التنفيذ العملي:

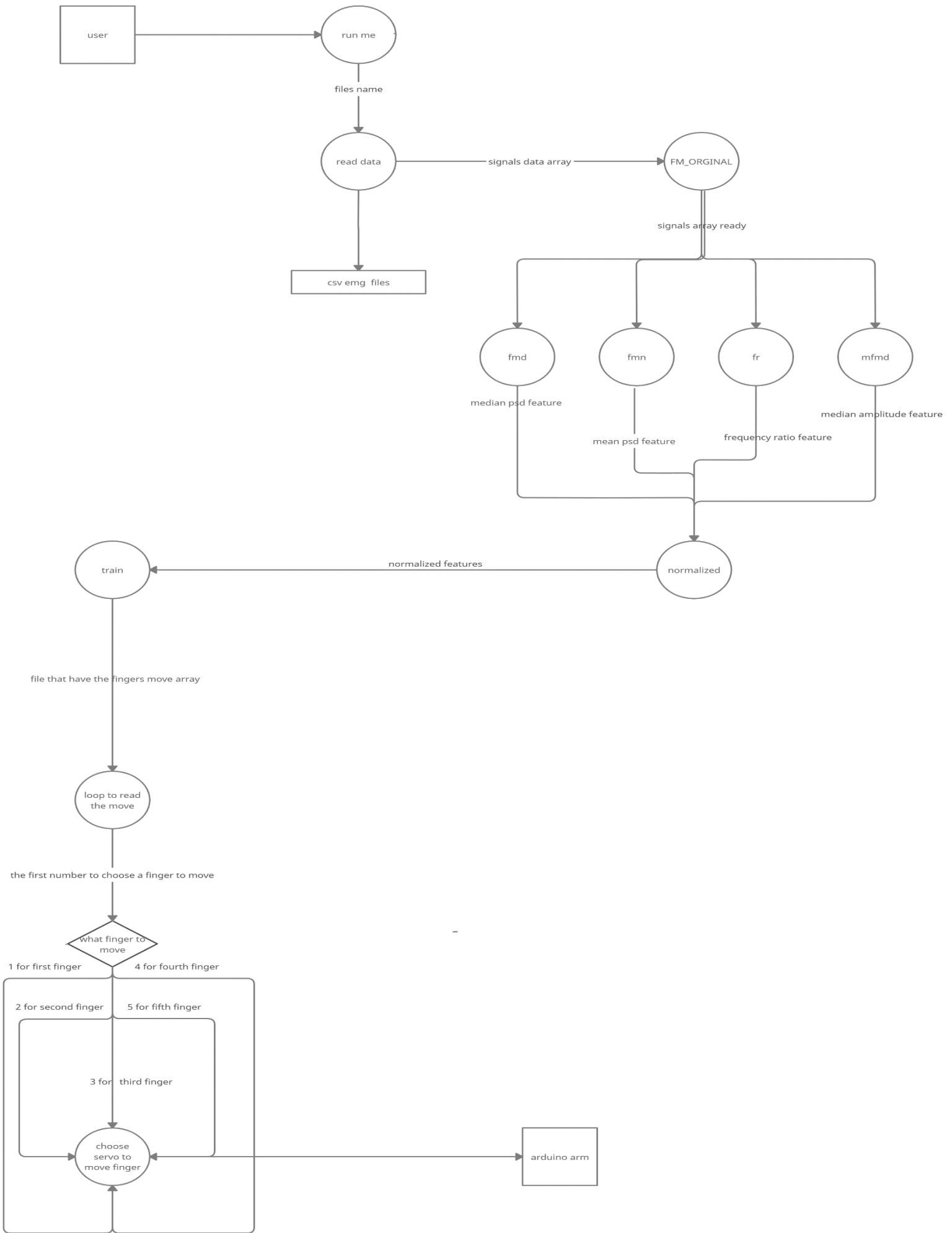
سوف نقوم بتطبيق ما قمنا بتوصيفه بشكل عملي وبخطوات مبسطة قدر الإمكان بعد تجزئة العمل إلى مراحل، وهي:

• مرحلة تجهيز بيانات الحركة والبرمجة:

1. سحب الإشارة من اليد عن طريق إلكتروود وقراءتها براسم الإشارة Oscilloscope.
2. تصدير بيانات الإشارة كملف EXCEL وإدخالها على الحاسب.
3. رسم مخطط تدفق البيانات لكود الخوارزمية.
4. كتابة الكود البرمجي للخوارزمية على بيئة الماتلاب.
5. إنشاء شبكة عصبية خلفية على الماتلاب.
6. تدريب الشبكة حسب خطوات الخوارزمية على البيانات المدخلة.
7. استعراض النتائج وحفظها كملف EXCEL لتكون مرجعية لحركات اليد المدخلة.
8. إرسال نتائج استحصال الإشارة عن طريق الأردوينو الموصل بجهاز إرسال واستقبال للبيانات عن طريق شبكة الواي فاي للموقع المبرمج عليه الخوارزمية / لتطبيق الأندرويد المبرمج بخوارزمية العمل لتطبيق الخوارزمية وتدريب الشبكة وإرسال الأوامر للأردوينو.
9. كتابة كود أردوينو لإعطاء الأوامر لمحركات السيرفو بالعمل حسب نتائج الاستقبال.

• مرحلة تجهيز المعدات والتوصيل:

1. طباعة الذراع باستخدام طابعة 3D.
2. توصيل إلكتروود إيري / سطحي باليد المراد تحريكها من طرف استقبال الإشارة.
3. طباعة دارات الترشيح والتقويم والتضخيم وتوصيل دخل الدارة مع خرج الإللكتروود.
4. توصيل خرج الدارة المطبوعة مع دخل الأردوينو.
5. توصيل جهاز إرسال واستقبال للبيانات على الشريحة.
6. توصيل 5 أرجل خرج للأردوينو على 5 محركات سيرفو لتحريك الأصابع حسب خرج الإشارة المدروسة.



الشكل (23): مخطط تدفق البيانات للخوارزمية على بيئة ماتلاب وأردوينو

المراجع:

كتاب بدلة العضلات الروبوتية تقديم وإعداد: أحمد قباني، أحمد تامر في كلية هندسة الميكاترونكس في جامعة حلب.

https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl081h.pdf?ts=1632331598712&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

<https://arabicprogrammer.com>

<http://practicalcryptography.com/miscellaneous/machine-learning/guide-mel-frequency-cepstral-coefficients-mfccs/>

[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1455479/#:~:text=The%20EMG%20signal%20is%20a,activity%20\(contraction%2Frelaxation\)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1455479/#:~:text=The%20EMG%20signal%20is%20a,activity%20(contraction%2Frelaxation))

<https://link.springer.com/content/pdf/bbm%3A978-3-319-49220-9%2F1.pdf>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918320921>

<https://medium.com/@tanveer9812/mfccs-made-easy-7ef383006040>

https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/41323-continous-fractional-fourier-transform-frft?s_tid=srchtitle

https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/68376-deep-sceen-classification?s_tid=srchtitle

https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/33260-correlated-rayleigh-fading-simulator?s_tid=srchtitle

<https://bio.tools/mfmd>

<https://www.st.com/resource/en/datasheet/tl081.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=FAveZotg8HE&list=PLe2uX-PwYJlyTwKcgTgScMubLtqGmKDVX>

https://www.mathworks.com/help/dsp/ug/filter-banks.html?s_tid=srchtitle

<http://www.airspayce.com/mikem/arduino/RadioHead/>

https://www.youtube.com/watch?v=N_z-Npj4oiA



جامعة الشام
SHAM UNIVERSITY