

## تحليل إشارة EMG واستحصال ميزاتها باستخدام خوارزمية MFCC وشبكات الذكاء الصناعي

### مقدمة:

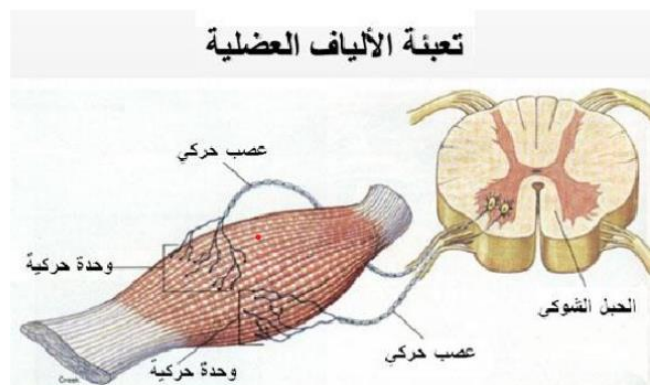
تعتبر الإشارات من بنية هذا الكون الدقيقة وهي تعبر عن التغيرات الحاصلة في أجزائه ومكوناته، ولها أنواع عديدة ومهام متنوعة؛ منها الإشارات الحيوية الموجودة في جسم الإنسان والتي يديرها الدماغ في الجسم وتعرف باسم السيالة العصبية وتنتقل عبر الأعصاب إلى كافة أنحاء الجسم، وتعمل على إصدار الأوامر الحسية والحركية والتفاعلية بين مكونات الجسم لغايات محددة.

أنواع الإشارات الحيوية: الإشارة الكهربائية القلبية (Electrocardiography (ECG، الإشارة الكهربائية العضلية (Electromyography (EMG، الإشارة الكهربائية الدماغية (Electroencephalography (EEG، الإشارة الكهربائية العصبية (Electroneuralgraphy (ENG، الإشارة الكهربائية العينية (Electroophthalmography (EOG، الإشارة الكهربائية لشبكية العين (Electroretinography (ERG).

وسوف نستعرض في بحثنا الإشارة الكهربائية العصبية لتحليلها واستخراج ميزاتها لعدة أغراض منها الكشف عن أمراض أو محاكاة حركة اليد البشرية أو دراسات طبية تتعلق بمعرفة تأثير هذه الإشارة على الإشارات الحيوية الأخرى في جسم الإنسان.

### 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 الميللي فولت.



الشكل (1): يظهر توزيع واتصال الأعصاب الحركية بالعضلة الإرادية

**الإلكترود:** هي تقنية لالتقاط الإشارة عن طريق وضع هذا الإلكترونيد على موضع الدراسة وهي عبارة عن معدن كهروكيميائي ناقل للإشارة وتمثل العنصر الأساس لهذا النوع من الدراسات.

آلية عمل الإلكترودات: 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.

أنواعها: لها عدة أنواع منها:

الكترودات إبرية: تتكون من سطح تثبيت وإبرة بداخلها سلك معزول غير مؤكسد؛ بحيث ينقل الإشارة بنمط أحادي القطبية، وقد تطورت هذه الإلكترودات لتحتوي عدد أكبر من الأسلاك داخل الإبرة، ومن حسنات هذا النوع أن نقوم بوضع الإبرة داخل العضلة ومن ثم استخراجها ليبقى هذا السلك مزرعاً فيها ويقوم باستخراج الإشارة المطلوبة بدون تعب أو ألم للعضلة.



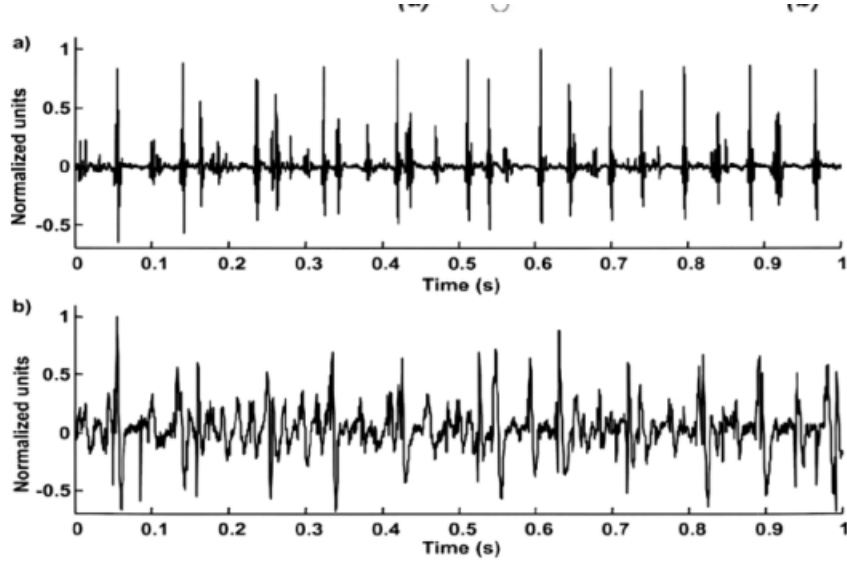
الشكل (2): إلكترود إبري

الكترودات سطحية: يتم وضعها على سطح الجلد ويكون استخدامها قصير الأمد أي لمرة واحدة فقط لقياس تغيرات الإشارة أو طويل الأمد لعدة مرات قياسية، ويستخدم الذهب والفضة لصنع هذه الإلكترودات كما يوضع عليها جل منحل كهربائياً أو جل هيدروجيني ناقل للتيار.



الشكل (3): إلكترود سطحي

**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 افتراضي أن هذا السطح هو إيزوتروبي متجانس وبناء عليه لم يبق لنا إلا احتساب بعد الإلكترود عن العضلة المرادة.



الشكل (4): مقارنة بين إشارتين ملتقطتين بإلكترود سطحي والآخر إبري

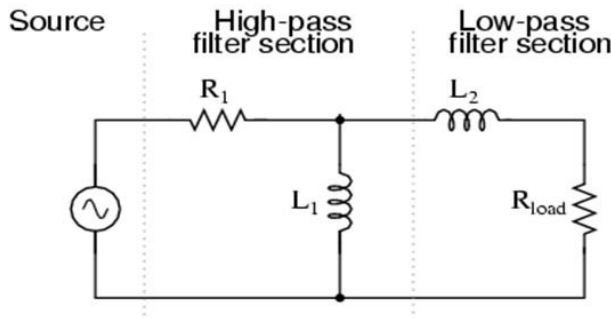
### العوامل المؤثرة في عملية التقاط الإشارة:

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

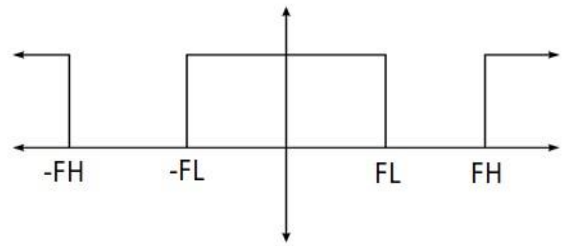
- (1) ضجيج ناتج عن شوائب أجهزة القراءة.
  - (2) الضجيج البيئي: كوكب الأرض له مجال كهرومغناطيسي محيط به بشكل دائم والجسم البشري أيضا له مجال آخر بدوره متأثر بالمجال الأول وبالتالي من الممكن أن يكون لهذا المجال إشارة مطالها أكبر من إشارة EMG المستحصلة أساسا.
  - (3) حركة أعضاء الجسد وخاصة القلب والدماغ 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 الملازمة الإلكترونية أو المرشحات.

### المرشحات:

هو شريحة إلكترونية تعمل على إزالة أو إضافة مكونات للإشارة المدروسة بغرض الإستفادة منها بشكل أكبر، ولها عدة أنواع منها: خاملة/فعالة، تناظرية/رقمية، تمرير كامل/تمرير جزئي، مرشحات التردد المنخفض/العالي.



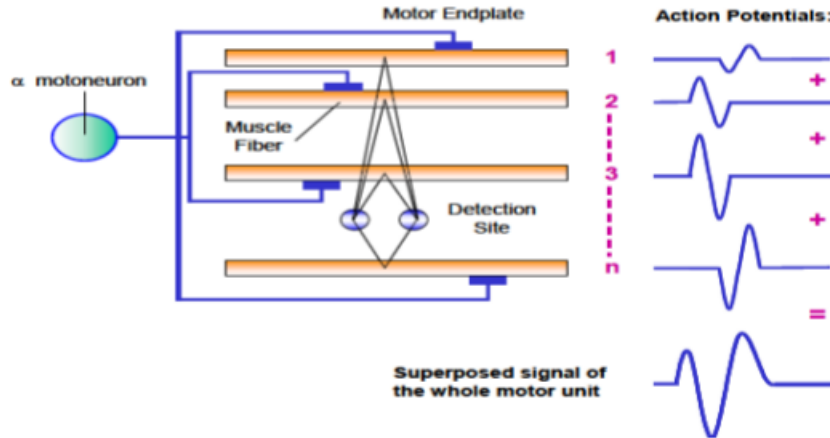
الشكل (6): دائرة مرشحات التمرير المنخفض والعالي



الشكل (5): مرشحات التمرير المنخفض والعالي يتمثل بياني

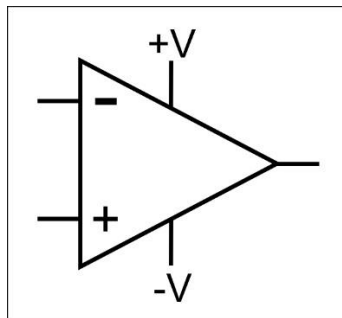
**عملية تسجيل الإشارة:** هي عملية اقتباس إشارة EMG بواسطة الإلكترود المثبت على العضلة لتليها عملية التحليل واستخلاص الميزات، وتتم بالمراحل الآتية:

- 1- الترشيح الأولي للإشارة: تتم بواسطة اقتباس الإشارة عن طريق الإلكترود وترشيحها بعدة عوامل رئيسية تتبع إلى تموضع الإلكترود على الجلد والمساحة التنشيطية له وحجمه وشكله وتركيبته، وإن من أفضل إجراءات التحسين لعملية الاقتباس هي تغيير موضع الإلكترود.



الشكل (7): يوضح أثر تموضع الإلكترود على استقبال الإلكترود

- 2- ترشيح الإشارة الداخلة إلى جهاز التحليل بواسطة مضخم أداتي.



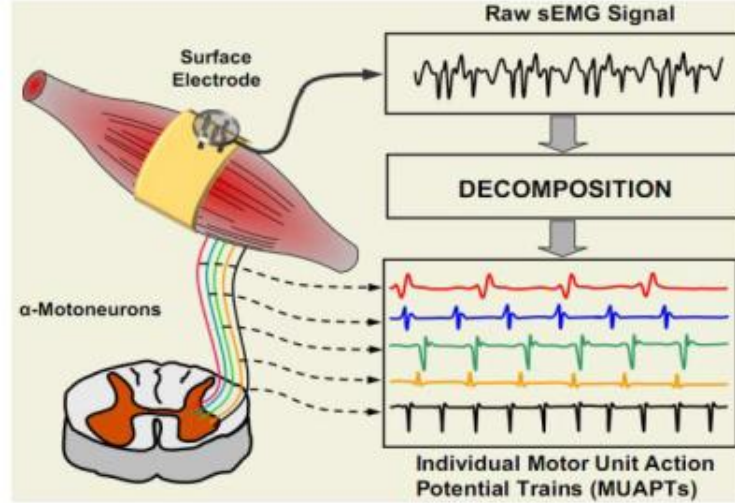
الشكل (8): يظهر دائرة المضخم

### تحليل الإشارة المقتبسة:

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 سابقاً.

يتم تحليل إشارة EMG بواسطة مطابقة طيف الموجة وتحليل معاملاتها بحيث تكون الكمونات الناتجة عن عمل العضلة متداخلة مع بعضها البعض وخصوصاً عن تقلص العضلة بشكل قوي، ففي عام 1997 تم تطوير تقنية 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 بـ 4 مراحل هي:

تنقية الإشارة من الضجيج، كشف الزيادة المفاجئة، تصنيف الزيادة، فصل الزيادة.



الشكل (9): يظهر تراكم الإشارات المقترنة من العضلة

### معالجة إشارة EMG واستخلاص ميزاتها:

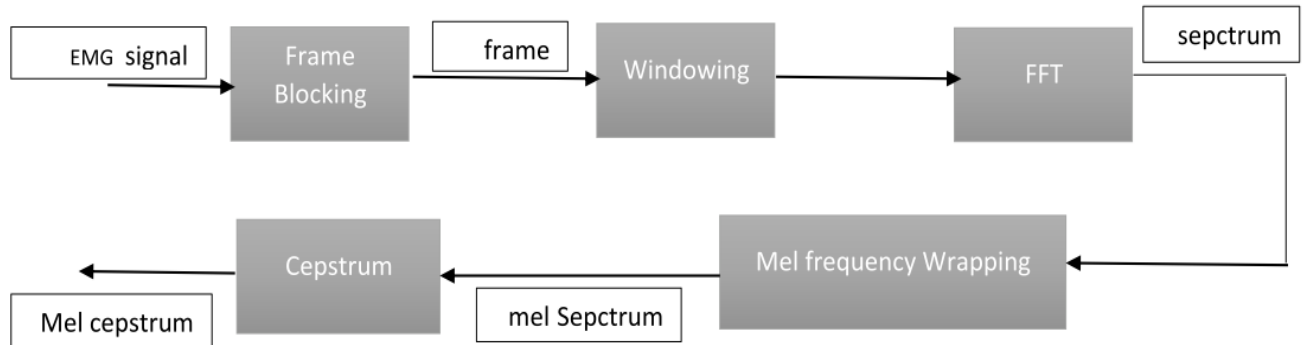
هناك عدد من الخوارزميات المستخدمة في هذا المجال ومن هذه الخوارزميات الـ PCA خوارزمية تحليل المكونات الرئيسية والمعقدة والتي تعمل بالخطوات التالية:

تقطيع الإشارة، تحويل الموجة إلى المجال الترددي، PCA، 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:

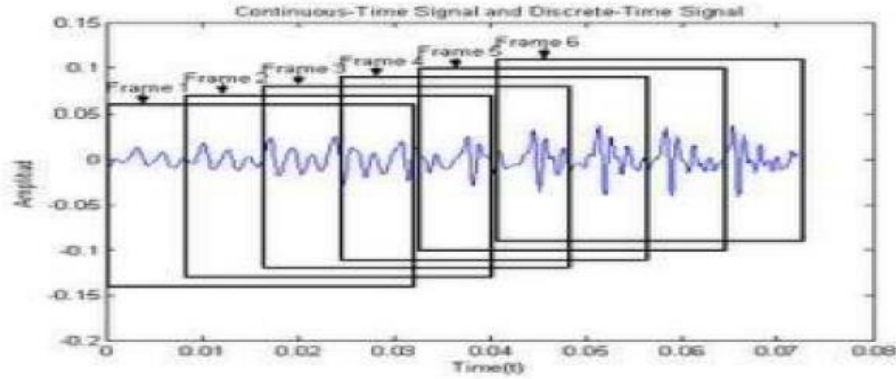
1. تقطيع الإشارة إلى عدة بلوكات للتعامل معها.
2. استخدام نوافذ محددة من الإشارة.
3. تحويلات فورييه.
4. عمل غلاف للإشارة الناتجة وهو ما يدعى غلاف الميل الترددي.
5. استنتاج الطيف العكسي للإشارة.



الشكل (9): مخطط عمل الخوارزمية

## 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 العضة 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 ستنتقل من إطار إلى آخر.



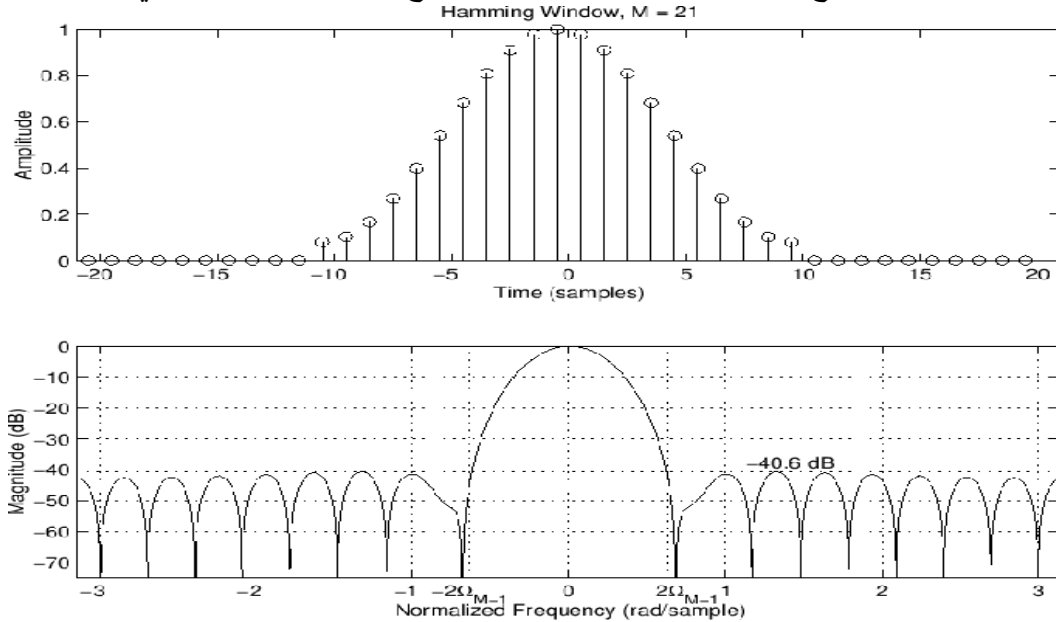
الشكل (10): يظهر عملية تقطيع الإشارة وتداخل الإطارات

## 2. عملية الWindowing:

هي استخدام النافذة لجميع الإطارات بحذف بعض مكوناتها، وتكون معادلة التحويل ل  $N$  إطار كالتالي:  
 $Y(n) = x(n).w(n)$ ;  $Y$ : خرج التحويل,  $x$ : دخل التحويل,  $w$ : تابع التحويل,  $0 < n < N-1$ .  
هناك العديد من خوارزميات النافذة منها نافذة هامينغ التي سنستخدمها في هذا البحث.

## 3. تحويل فورييه السريع:

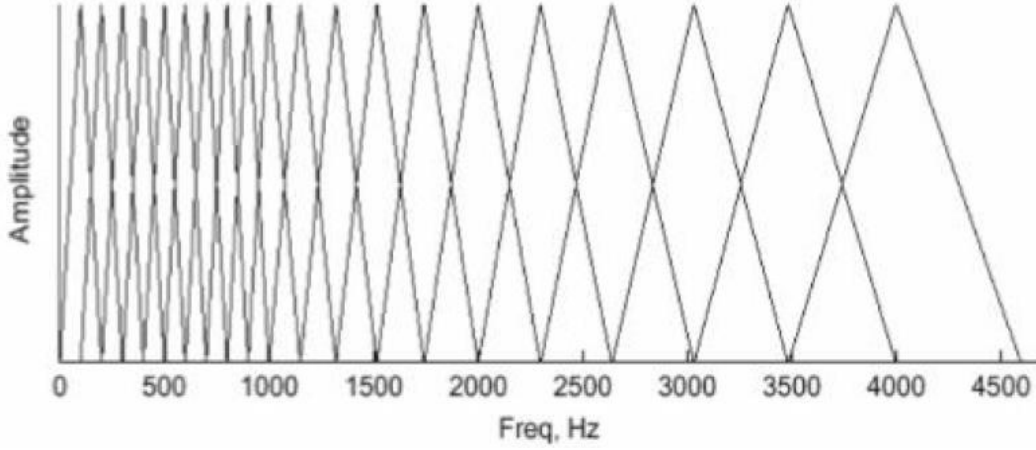
سوف نقوم بتحويل الإشارة التي تم تشريحها وتقطيعها وتفرمها من المجال الزمني إلى المجال الترددي بواسطة تحويل فورييه السريع عوضاً عن تحويل فورييه المتقطع لتحقيق سرعة أكبر في عمل الخوارزمية.



الشكل (11): عملية تحويل فورييه و 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.



الشكل (12): خرج تردد الإشارة من عملية الترشيح المذكورة

#### 5. إنشاء الطيف المعكوس للإشارة Cepstrum:

إن كلمة cepstrum هي غير إنجليزية ولكن اصطلاحا 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 التخيلي 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 التخيلي 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:

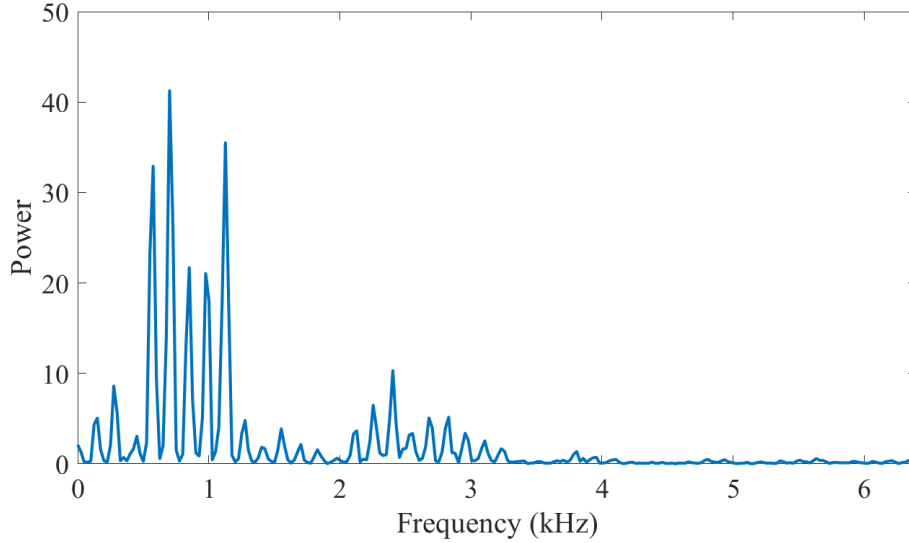
$$\log[S(n)] = \log[E(n) * d(n)] = \log[E(n)] + \log[d(n)] = \text{Ceps}_e + \text{Ceps}_d$$

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



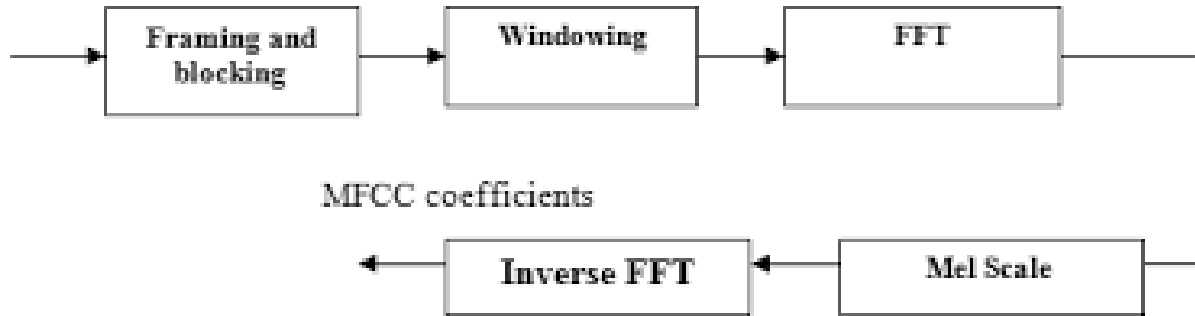
$$\mathbf{C} = \text{FT}^{-1} (\text{Ceps}_e + \text{Ceps}_d) = \text{FT}^{-1} (\text{Ceps}_e) + \text{FT}^{-1} (\text{Ceps}_d) = \mathbf{C}_e + \mathbf{C}_d$$

حيث تنتج الإشارة بالمجال الترددي لها.



الشكل (13): يوضح خرج الإشارة بعد معالجتها

1D signal

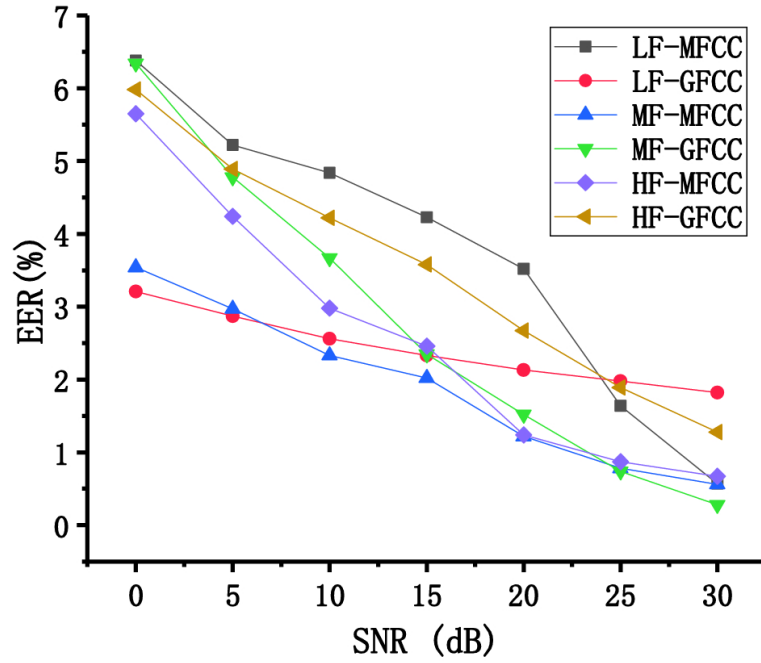


الشكل (14): مراجعة سريعة لخطوات عمل الخوارزمية

**تنويه:** إن خوارزمية MFCC ابتكرت في الأساس لتحليل ومعالجة الصوت الرقمي واستخراج ميزاته، وقد استخدم فيه تحويل جيب التمام المتقطع بدلاً 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 بال-Gammatone filter bank وهو مرشح بنك خاص بالأصوات مشتق من المعادلة العامة للمرشح الأصلي.

وإن من الجدير بالذكر أن بعض الباحثين استخدموا مرشح التمرير العالي والتمرير المنخفض بدلاً من مرشح البنك.





الشكل (15): مقارنة بين الخوارزمية الأصلية ونفسها مع مرشح البنك الصوتي بعد تطبيق مرشحات التمرير المنخفض والعالي والمتوسط

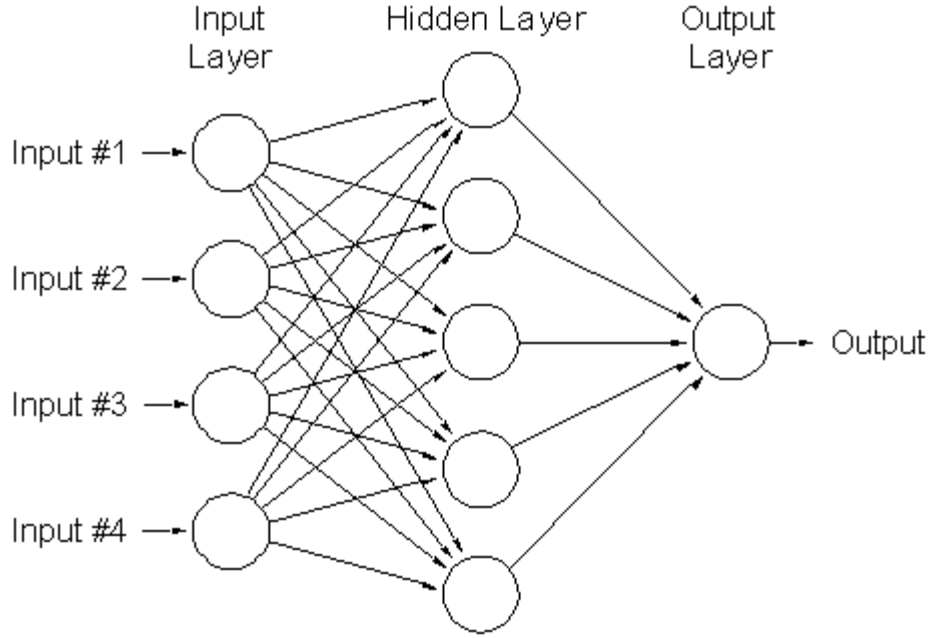
### كيف يمكن استنتاج الميزات بشكل دوري؟

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 العصبونية 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 (16): شكل الشبكة العصبية الخلفية متعددة الطبقات

### التطبيق العملي:

سوف نقوم بتطبيق ما قمنا بتوصيفه بشكل عملي وبخطوات مبسطة قدر الإمكان.

1. سحب الإشارة من اليد عن طريق إلكتروود وقراءتها براسم الإشارة Oscilloscope.
2. تصدير بيانات الإشارة كملف EXCEL وإدخالها على الحاسب.
3. كتابة الكود البرمجي للخوارزمية على بيئة الماتلاب.
4. إنشاء شبكة عصبية خلفية على الماتلاب.
5. تدريب الشبكة حسب خطوات الخوارزمية على البيانات المدخلة.
6. استعراض النتائج وحفظها كملف EXCEL لتكون مرجعية لحركات اليد المدخلة.

### آفاق المشروع المستقبلية:

- 1- دراسة إشارة EMG لاستنتاج علل وأمراض المنطقة المدروسة بعد مقارنتها بالإشارة الصحيحة المرجعية.
- 2- عمل يد صناعية ذكية تقوم مقام اليد البشرية.
- 3- عمل بدلة صناعية ذكية تساعد مرضى الكساح.
- 4- توسيع المشروع ليشمل دراسة إشارة EEG الصادرة عن الدماغ والتحكم باليد الصناعية بشكل أفضل.

### الكود البرمجي:

### المراجع:

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

<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>