

## استخدام الحوسبة العنقودية في شبكات الحساسات اللاسلكية من أجل تجميع الإشارة الصوتية

د. نعمى يونس \*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٤/١٠/٣١ . قُبل للنشر في ٢٠٢٥/١/١٩)

□ ملخص □

لا تعتمد شبكات الحساسات اللاسلكية (Wireless Sensor Network) على وجود بنية تحتية (infrastructure) مقارنة بنماذج الشبكات السلكية الأخرى، وهذا ما يجعلها تعاني من محدودية موارد التخزين والمعالجة والاتصال. يستخدم البناء الهرمي (hierarchical structure) في WSN بهدف تحسين أدائها وخاصة من أجل تطبيقات الوسائط المتعددة (multimedia applications) التي تواجه العديد من المعوقات من ناحية الكثافة المرتفعة لعمليات الحساب ومتطلبات الاستهلاك الزائد لموارد الشبكة المحدودة، لذا كان لابد من تطوير التقنيات المناسبة لتجاوز ذلك.

تم في هذا البحث تطبيق الحوسبة العنقودية (clustering computing) ضمن البنية الهرمية متعددة الطبقات في WSN بهدف تجميع عينات الإشارة الصوتية المستقبلية على نطاق أوسع وأشمل اعتماداً على التباين المكاني لنقاط استقبال إشارة المصدر، مع الأخذ بالحسبان التوزيع العادل للمهام الحسابية بين العقد التابع (slave nodes) والعقد القائد (Cluster head)، وذلك اعتماداً على التصميم المناسب لبنك المرشحات من فرعين (في حالة العنقود الثلاثي)، أحدهما لتمرير الترددات المنخفضة (low frequencies) والثاني لتمرير الترددات المرتفعة (high frequencies) مع تخفيض معدل العينات في كل فرع من فروع بنك المرشحات (باستخدام متطابقة نوبل المستخدمة في مجال معالجة الإشارة الرقمية متعددة المعدل) بهدف تخفيض عرض الحزمة المستهلكة، وذلك ضمن إطار تطبيقات تصنيف الإشارة الصوتية (audio signal) إلى إشارة كلام (speech signal) وإشارة موسيقا (music signal) بحيث يتم تحقيق الاستعادة التامة (perfect reconstruction) للإشارة الصوتية عند قائد العنقود الحسابي قبيل مرحلة التصنيف باستخدام الخوارزميات المناسبة.

**الكلمات المفتاحية:** شبكات الحساسات اللاسلكية، الحوسبة التفرعية، معالجة الإشارة الرقمية، بنك المرشحات الرقمية، معالجة الإشارة الرقمية متعددة المعدل.

\* مشرف على الأعمال في كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات قسم هندسة النظم الحاسوبية والإلكترونية - جامعة طرطوس.

## Using Clustering Computing in Wireless Sensor Networks for aggregation of audio signal

Noama younes\*

(Received 31/10/2024 . Accepted 19/1/2025)

### □ ABSTRACT □

Wireless sensor networks do not rely on infrastructure compared to other wired network models, which makes them suffer from limited storage, processing and communication resources. We used hierarchical structure in WSN to improve its performance, special for multimedia applications that face many obstacles in terms of high computational density and requirements for excessive consumption of limited network resources, so it was necessary to develop appropriate technologies to overcome this.

In our research, clustering computing is applying to the multi-layer hierarchical structure in WSN with the aim of expanding the range of samples of the received audio signal. Then grouping them more comprehensively based on the spatial variation of the receiving points of the source signal, taking into account the fair distribution of computational tasks among the slave nodes and the leader node (Cluster head).

Based on the appropriate design of the filter bank of two branches (in the case of three nodes). One for passing low frequencies and the other for passing high frequencies. The reduction in the sampling rate in each branch of the filter bank (using Noble identity which is used in multirate signal processing) in order to reduce the consumed bandwidth within the framework of applications, for classifying the audio signal into a speech signal and a music signal. The complete reconstruction of the audio signal is achieving at the leader of the computing cluster before applying the classification using appropriate algorithms.

**Keywords:** Wireless Sensor Network, parallel computing, digital signal processing, Filter Bank, Multirate digital signal processing.

---

\*Technical member. In ICTE Faculty- CESE Department – Tartous University.

**1. المقدمة:**

تتألف شبكات الحساسات اللاسلكية من عقد تحسس لاسلكية موزعة عبر مناطق شاسعة بهدف تتبع وتقييم الظاهرة الفيزيائية المدروسة، تعمل هذه العقد بطريقة تشاركية لترحيل المعلومات المكتسبة لاسلكياً إلى مركز الشبكة بهدف إجراء عمليات معالجة لاحقة واتخاذ القرارات المناسبة، لكن بمقابل ذلك تعاني عقد التحسس اللاسلكية من عدم وجود بنية تحتية للشبكة مما يخلق قيود عديدة لعمل هذه الشبكات تتمثل بحجم العقد والتكلفة الاقتصادية والطاقة المستهلكة [1]. تضطر العقد المتباعدة في شبكات الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق إلى استخدام عدد كبير من العقد البينية لتوجيه معطياتها مما يعني استهلاكاً متزايداً للقدرة بسبب عمليات التوجيه وإرسال المعطيات بشكل متكرر، مما يتسبب بزيادة التأخير الزمني المستغرق من أجل تسليم المعطيات وتخفيض زمن حياة الشبكة، اعتمدت الحلول المقترحة لتجاوز ذلك على البنية الشجرية العنقودية وذلك بتجزئة الشبكة إلى مجموعة من الكيانات الإدارية تدعى العناقيد بهدف تسهيل إدارة المشاكل التي تخلقها تعقيدات شبكات الحساسات واسعة النطاق [2].

تمثل العقد القادة المستوى الأعلى وتشكل بقية العقد المستوى الأدنى حيث ترسل العقد في المستوى الأدنى بياناتها دورياً إلى العقد القادة، بدوره يقوم قائد العنقود بتجميع معطيات العقد ومعالجتها مما يقتضي التقليل من تدفق الرزم عبر الشبكة إلى مركز المعالجة إما بشكل مباشر أو بشكل وسيط عن طريق قادة عناقيد أخرى [3].

تحقق البنية العنقودية في WSN فوائد عدة من ناحية تخفيض حجم جداول التوجيه في العقد وعرض حزمة الاتصالات مع تجنب الشبكة رسائل المعلومات الفائضة المتبادلة بين عقد الحساسات [4]. يعد العنقود الحسابي من المجالات الأساسية للحوسبة التفرعية، حيث يتكون هذا النظام من مجموعة حواسيب تشكل معاً نظاماً حسابياً متكاملًا ومستقلًا، يمكن أن يكون العنقود الحسابي متجانساً وفيه تمتلك جميع عقد العنقود مواصفات متطابقة من ناحية العتاد الصلب والنظام البرمجي، كما يمكن أن يكون هجيناً عندما يمتلك قائد العنقود موارد مضاعفة [5]، تنجز العقد التابعة في العنقود الحسابي عمليات حسابية بسيطة وترسل النتائج المطلوبة إلى العقدة السيد لإنجاز مهام حسابية أكثر تعقيداً من أجل اتخاذ القرار المناسب.

على صعيد تطبيق مفهوم الحوسبة العنقودية ضمن إطار البنية الهرمية لشبكات الحساسات اللاسلكية، وبناء على متطلبات تطبيقات معالجة الإشارة الرقمية في WSN من ناحية الكثافة الحسابية العالية لمهام المعالجة، أيضاً عرض حزمة الاتصال اللازمة لنقل معطيات الوسائط المتعددة وضمان مستوى الأداء الحسابي ضمن حدود التأخير المسموحة من قبل شروط التطبيق، إضافة إلى تحقيق زمن حياة عملي مناسب للشبكة دون الحاجة إلى اللجوء لاستبدال البطارية [6]. يكون كل عنقود حسابي معني بإنجاز مهام المعالجة الحسابية بناء على توزيع الحمل الحسابي بشكل متعادل بين العقد وتخفيض كمية المعطيات المتبادلة بين العقد التابع وقائد العنقود إلى الحد الأدنى كما لا بد من أن نفترض أن العقد التابعة قادرة على التواصل مع العقدة السيد وفق بروتوكول اتصال مناسب في طبقة الشبكة من WSN [7].

وضمن إطار تطبيق الحوسبة العنقودية في شبكات الحساسات اللاسلكية الداعمة للوسائط المتعددة فقد استخدم تطبيق التعرف الأتوماتيكي على الإشارة الكلامية نظام العنقود الحسابي من أجل معرفة وتحديد مفردات اللهجة المحكية بهدف المراقبة الخاصة والاكتشاف، حيث تم تجهيز العقد القادة بمعالجات رقمية كأنظمة معالجة مساعدة للإشارة الرقمية من أجل تخفيض كميات المعطيات المتبادلة وذلك حفاظاً على عرض الحزمة وقدرة البطارية [8].

يعد الصوت بمثابة الصيغة الأكثر أهمية للوسائط إلى جانب المعطيات المرئية، إن مواجهة الكم الهائل لمعطيات الوسائط المتعددة ومنها الصوت المتولد من قبل المستخدمين يومياً، قد صعب على الباحثين تنفيذ عمليات المعالجة التي يحتاجون انجازها [9].

تعد كلاً من إشارة الموسيقى التي تصدر عن أداة موسيقية من دون أية تداخلات مع عناصر كلامية أخرى وإشارة الكلام الصادرة عن متحدث ضمن فترة زمنية محددة من الأصناف الأساسية للصوت، أما بالنسبة للإشارة المختلطة (Mixture signal) فهي مزيج بين الإشارة الكلامية الصادرة عن متحدث مع إشارة موسيقا جانبية [10]. لقد عملت العديد من الأنظمة ضمن مجال التصنيف بناء على المحتوى واستعادة الصور، إلا أن نسبة قليلة منها قد أنجزت على حيز الصوت في تطبيقات الوسائط المتعدد، كما أن التركيز على موضوع فصل إشارة الصوت عن إشارة الموسيقى كان قليلاً [11].

تطبق عملية الفصل على الإشارة المختلطة بهدف فصل إشارة الكلام عن إشارة الموسيقى، وبسبب تعقيد المحتوى الصوتي تكون عملية فصل الكلام عن الموسيقى مهمة رئيسية من أجل فهرسة واستعادة محتوى الوسائط المتعددة، وهي خطوة أساسية تسبق عمليات معالجة لاحقة وتحسن من أداء خوارزميات الترميز والضغط التي تحتاج معرفة مسبقة عن محتوى الإشارة [12]، حيث يتم إزالة الإشارة غير المرغوبة، تعتمد معايير الفصل خصائص الإشارتين من (تردد أساسي، تردد مسيطر، عرض الحزمة) ونقاط الاختلاف بينهما فيما يتعلق بالبنية الطيفية والبنية المؤقتة والبنية الدلالية والنحوية [11]، فإنه من المهم تمييز وفصل إشارة الكلام عن إشارة الموسيقى ضمن مجال الوسائط المتعددة، حيث بمقدور الإنسان الطبيعي أن يميز إشارة الكلام عن الموسيقى ذهنياً من دون أي تأثير بتداخلات إشارة الموسيقى [13].

تحتاج العديد من التطبيقات إلى عملية التصنيف السابقة ونذكر منها المراقبة الأتوماتيكية للبث الراديوي من أجل تحديد نوع المحتوى والتعرف على مقاطع الكلام وتصنيف نمط الموسيقى، بهدف تطبيق خوارزميات ضغط وتقنيات ترميز فعالة لإشارة الكلام والموسيقا كل على حدا، كما يتم الاستفادة من هذه الميزة من أجل الفهرسة والاستعادة بناء على المحتوى في قواعد معطيات الوسائط المتعددة [14]. كما تحتاج عملية فصل وتصنيف المحتوى الصوتي إلى عدة متطلبات تتعلق بتقليل التعقيد، الدقة العالية، والتأخير المنخفض الذي يعد جانباً حساساً من أجل بعض السيناريوهات، تعتمد الطرق الأساسية المستخدمة في التصنيف ثلاثة مسارات أساسية من ناحية المجال الزمني، المجال الترددي، المجال الترددي والزمني معاً، كما يمكن تنفيذ هذا التصنيف في تطبيقات الزمن الحقيقي [13].

تساهم عملية تجميع الإشارة المصدر من عدة اتجاهات في تحصيل الطيف الترددي بشكل أدق، والذي يعد كخطوة أساسية مسبقة من أجل عملية التمييز بين إشارة الموسيقى وإشارة الكلام، مما يحسن من جودة الفصل بين إشارة الكلام وإشارة الموسيقى [6].

## 2. أهمية البحث وأهدافه

اقترحنا في هذا البحث طريقة تجميع للإشارة الرقمية اعتماداً على الحوسبة العنقودية في البنية الهرمية لشبكات الحساسات اللاسلكية، بهدف تحقيق متطلبات تطبيقات معالجة الإشارة الرقمية وتجاوز صعوبات توظيفها المباشر في

WSN بسبب محدودية موارد الشبكة، تعتمد التقنية المقترحة على توزيع المهام الحسابية بين عقد التحسس اللاسلكية بهدف ترشيح الإشارة الرقمية محلياً على مستوى العقد خلال فترات زمنية مترامنة، ومن ثم إرسال معطيات الترشيح الناتجة إلى قائد العنقود الذي يعد بمثابة نقطة التجميع للإشارة المصدر، ولأن مسافة الاتصال بين عقد التحسس التابعة والعقدة القائد لن تتجاوز حدود العنقود الحسابي وهذا ما تفرضه البنية الهرمية المعتمدة هنا، لن يتم اللجوء إلى التوجيه متعدد القفزات في هذه الحالة وبناء عليه ينعكس ذلك على تقليل الطاقة المستهلكة في عمليات الاتصال، إضافة إلى تخفيض معدل النقل باستخدام تقنيات معالجة الإشارة الرقمية متعددة المعدل (متطابقة نوبل) مما يوفر من عرض حزمة الاتصال اللاسلكية مما يحسن من زمن حياة الشبكة بشكل عام.

### 3. مواد البحث وطرائقه

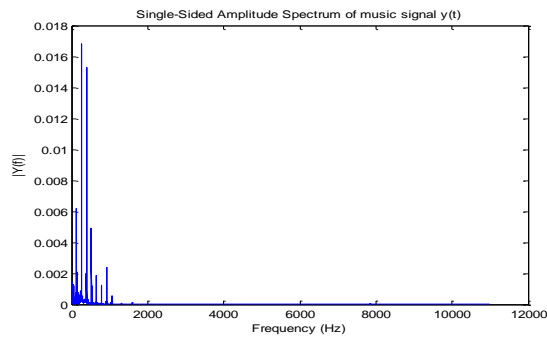
تحتاج عملية فصل الإشارة المختلطة إلى إشارة صوت وإشارة موسيقياً إلى كامل محتوى النطاق الترددي الممتد من حدود الترددات الدنيا إلى حدود الترددات العليا لعناصر الإشارة المصدر، ويهدف ضمان الكشف والتتبع الدقيق لمعطيات الأصوات المنتشرة في الوسط المحيط، تم في هذا البحث تنظيم المهام الحسابية لعملية تجميع الإشارة المصدر وفق عنقود حسابي تقوم فيه وحدات التحسس (الميكروفونات في حالة الإشارة الصوتية) لكل عقدة تابع بالنقاط معطيات الإشارة المصدر من اتجاه محدد ومن ثم توجيهها إلى العقدة السيد للعنقود وهنا يتم تجميع الطيف الترددي.

عند استخدام مرشح رقمي منفرد بخصائصه التصميمية المعتمدة في مجال معالجة الإشارة الرقمية فلن يستطيع أن يحقق المستوى المطلوب من جودة الفصل بين الإشارات بسبب عدم القدرة على تجنب ضياع أجزاء من الطيف الترددي للإشارة الرقمية المصدر والتي قد تكون ضرورية من أجل تصنيف الإشارة وخاصة عندما يكون التداخل بين إشارة الكلام وإشارة الموسيقى شديداً من أجل تحديد هويتها بهدف اتخاذ إجراءات المعالجة المناسبة واللازمة لاحقاً.

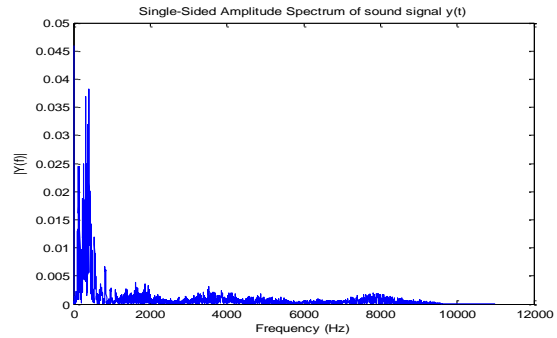
بناء على ما ذكر سابقاً حول أهمية تجميع الإشارة المصدر كخطوة ضرورية بهدف ضمان نجاح تطبيقات معالجة الإشارة الرقمية ضمن مجال التتبع والتصنيف، تمتلك إشارة الموسيقى مجال طيفي عريض النطاق يتخلل المجال الطيفي لصوت الإنسان من 0 Hz إلى 20 kHz، أما عرض حزمة إشارة الكلام فتكون محدودة بالمجال الترددي -50 Hz 7kHz، حيث تكون إشارة الكلام عشوائية مستمرة، يتغير مطالها بمعدل سريع، كما تتركز 95% من طاقتها عند تردد أقل من 4kHz، تهبط هذه الطاقة بصورة متسارعة من أجل قيم الترددات المنخفضة، ومن أجل العناصر الترددية التي تكون أعلى من 8kHz [11].

توضح الأشكال الآتية مقارنة بين الإشارة الكلامية وإشارة الموسيقى من ناحية المطال، توزع طاقة الإشارة وتوزع الطيف الترددي، تم توليد كل من الإشارات المذكورة باستخدام مكتبة المحاكاة في Matlab وتقييم المنحنيات المناسبة.

يوضح الشكل (1-a-b) كل من التوزيع الترددي لإشارة المصدر الكلامية وإشارة الموسيقى، والتي تبين أن العناصر الترددية لإشارة الموسيقى وإشارة الكلام تتركز ضمن نطاق الترددات المنخفضة فمعظم أجزاء الإشارة تمر عبر مرشح التردد المنخفض أما ما تبقى يمر عبر مرشح التردد المرتفع.

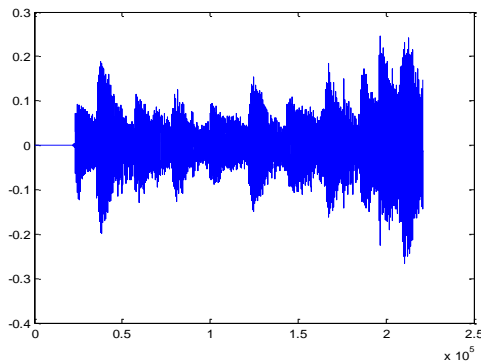


الشكل(1-ب): منحني التوزع الترددي لإشارة الكلام

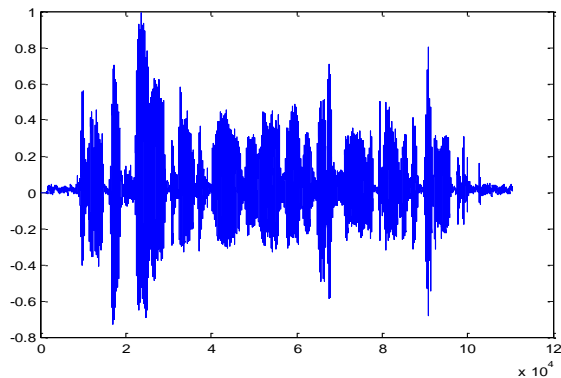


الشكل(1-أ): منحني التوزع الترددي لإشارة الكلام

أما من ناحية مطال الإشارة الكلامية فيكون أكبر من مطال إشارة الموسيقى، بناء على منحني المطال للإشارات الاختبارية في Matlab، كما توضح الأشكال (2-أ-ب).

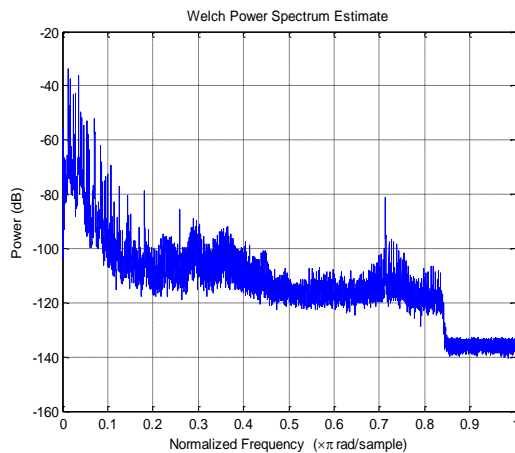


الشكل(2-ب): منحني التوزع الترددي لإشارة الكلام

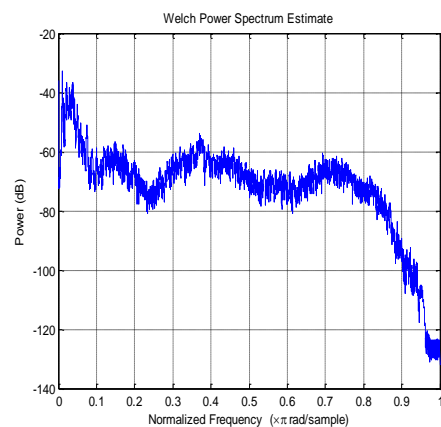


الشكل(2-أ): منحني مطال إشارة الكلام

كما يبين الشكل (3-أ-ب) منحنيات توزع طاقة إشارة الكلام وإشارة الموسيقى للعيننة الاختبارية ذاتها، حيث نلاحظ أن توزع طاقة إشارة يكون منتظماً إلى حد ما على مدى النطاق الترددي لإشارة الكلام، بمقابل إشارة الموسيقى التي تهبط مستويات الطاقة بشكل ملحوظ بازدياد كل ما اتجهنا بالزيادة على منحني الترددات الأفقي



الشكل(3-ب): منحني توزع طاقة إشارة الموسيقى



الشكل(3-أ): منحني توزع طاقة إشارة الكلام

### 1.3 تطبيق بنك المرشحات وتقنيات معالجة الإشارة متعدد المعدل في مخطط الحساب العنقودي

تتعدد تطبيقات المرشحات الرقمية وبنك المرشحات ضمن مجال الاتصالات ومعالجة الإشارة الرقمية، إضافة إلى وظيفة بنك المرشحات بإزالة ضجيج الإشارات الرقمية مما يحسن جودة الإشارة المستقبلية، يضاف إلى ذلك مزايا الخوارزميات متعددة المعدل من ناحية فعاليتها الحسابية العالية، فالنظام متعدد المعدل يزيد أو يخفض من معدل العينات للإشارة الرقمية قبل أو بعد المعالجة [15]، يتكون بدوره بنك المرشحات من مجموعة مرشحات تمرير للترددات المنخفضة أو الترددات المرتفعة أو يمكن أن تكون مرشحات تمرير حزمة والتي تعمل معاً على فصل المجال الترددي لإشارة الدخل إلى مجالات ترددية فرعية تكون بمثابة أجزاء من الإشارة الأصلية [16].

تستخدم العديد من أنظمة معالجة الإشارة الرقمية متعددة المعدل (Multirate systems) بنك المرشحات إما بدخل مشترك أو خرج مشترك، يتم انجاز عملية التجزئة بواسطة مرشحات مرحلة التحليل (analysis)، بالمقابل يتم استعادة الإشارة الأصلية وتجميعها باستخدام مرشحات مرحلة التركيب (synthesis) [17].

تطبق العقدة التابع عملية تحليل الإشارة الرقمية حيث يتم تخفيض معدل العينات وفق العلاقة الرياضية الموضحة لاحقاً، مما يحقق توفيراً في عرض حزمة الاتصال وتخفيض كمية الحساب ومتطلبات الذاكرة التخزينية لعمليات الحساب، إن إشارة الخرج  $y(m)$  ستحتفظ بـ  $M$  عينة وتتجاهل ما تبقى، وبناء عليه يمكن صياغة عملية التخفيض وفق المعادلة (1) التي تحدد العلاقة بين معدل عينات الدخل والخرج وفق الآتي [18,19] :

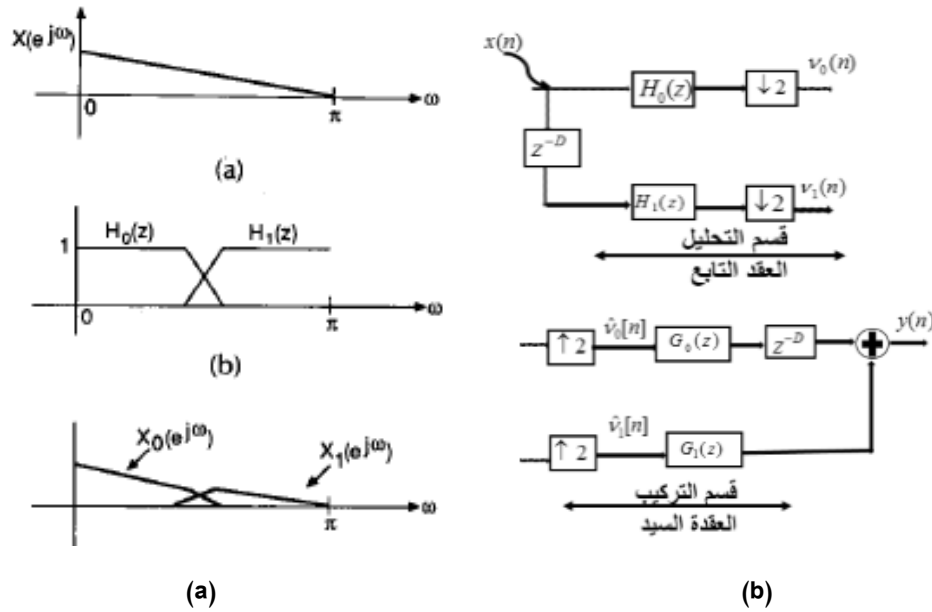
$$y[m]=x[n]_{n=mM} \quad \text{for } n=0,1,2,\dots,N \quad m=0,1,2 \dots \frac{N}{M} \quad (1)$$

حيث  $M$  هي معامل التخفيض أو نسبة معدل الدخل إلى الخرج  $F_{S-L} = F_{S-H/M}$ .

بمقابل ذلك فإن ما يتم في العقدة السيد تنفيذ مرحلة التركيب بحيث يتم رفع معدل العينات للإشارة الرقمية بإحجام عينات ذات قيم صفرية بين العينات الأصلية بهدف زيادة معدل العينات واستعادة التردد الأصلي للإشارة الرقمية. تحدد الصياغة الرياضية لعملية رفع العينات وفق المعادلة (2) وفي هذه الحالة فإن العلاقة بين معدلات العينات للدخل والخرج تكون بواسطة معامل  $L$  الذي هو نسبة الخرج الى الدخل:

$$y[n] = x[m]_{m=n/L} , \quad N = 0,1,2,\dots,N \quad , m = 0,1,2,\dots \frac{N}{L} \quad (2)$$

ماعدًا ذلك تكون  $y[n]=0$ ، وكما يوضح الشكل (4-a-b)، فإنه من الضروري تجميع الحزم الفرعية لإنتاج إشارة مركبة تشغل كامل المجال الترددي باستخدام بنك المرشحات متعدد المعدل مع حفظ الخصائص الترددية والزمنية، حيث تمتلك الإشارة في هذا المثال حزمة ترددية متمركزة ضمن المجال  $0 < |\omega| < \frac{2\pi}{3}$



الشكل (4-a-b): مخطط بنك المرشحات مع التوزيع الطيفي للإشارة الأصلية انطلاقاً من إشارات حزم فرعية  $X_0(n)$  و  $X_1(n)$

### 2.3 التصميم الرياضي لبنك المرشحات

اعتمدنا في مرحلة التصميم الرياضي لبنك المرشحات الخطوات الواردة في المرجع [18] والتي تتعلق بتحقيق إعادة البناء التام (perfect reconstruction) للإشارة المصدر في بنك المرشحات ذو التعامد الثنائي (Bi orthogonal) لتوابع مرشحات التمرير المرتفع والتمرير المنخفض، انطلقنا في عملية التصميم من تابع النقل لمرشح تمرير نصف حزمة ذو طور صفري (zero-phase half-band filter) نطلق عليه هنا التابع  $T(z)$  مع  $2N-1$  معامل والذي يحقق العلاقة الرياضية  $T(z) + T(-z) = 1$ ، فيكون المرشح السببي (causal filter) المقابل له هو  $z^{-(N-1)}T(z)$  ثم انتقلنا إلى مرحلة التحليل الطيفي (Spectral factorization) لتابع النقل والتي تتطلب التعبير الرياضي عن تابع النقل كجداء تابعين لهما نفس الاستجابة المطالبية، يتم هنا تحليل تابع نصف الحزمة السببي عشوائياً إلى عاملين اثنين وفق المعادلة (3):

$$z^{-(N-1)}T(z) = H_0(z) \cdot H_1(-z) \quad (3)$$

يعرف  $H_0(z)$ ،  $H_1(z)$  بتابع النقل لكل من مرشحات مرحلة التحليل، حيث  $H_0(z)$  هو تابع نقل المرشح ذو التمرير المنخفض،  $H_1(z)$  تابع نقل المرشح ذو التمرير المرتفع. يعرف محدد مصفوفة التعديل  $H^{(m)}(z)$  وفق (4):

$$\begin{aligned} \det H^{(m)} &= H_0(z)H_1(-z) - H_0(-z)H_1(z) \\ &= z^{-(N-1)}[T(z) + T(-z)] = z^{-(N-1)} \end{aligned} \quad (4)$$

تعرف مصفوفة التعديل، مع الأخذ بالحسبان أن  $N=2i$  هو دائماً عدد زوجي، يقتضي ذلك أن مرشح نصف الحزمة يمتلك دائماً  $4i-1=2N-1$  معامل، حيث  $i \in N$ ، ومن أجل تحقيق إعادة البناء التام للإشارة يقتضي ذلك  $K=N-1$ . وبناء على المعادلة (5) نستنتج توابع النقل لبنك مرشحات مرحلة التركيب.

$$G_0(z) = 2 \cdot \frac{z^{-k}}{\det H^{(m)}} \cdot H_1(-z) = 2H_1(-z)$$

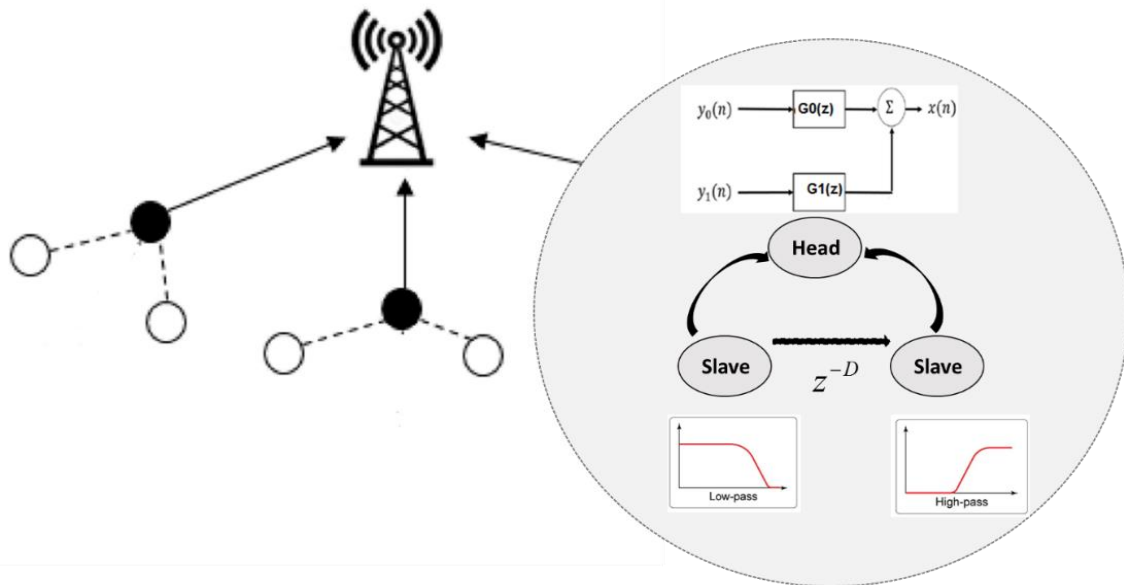
$$G_1(z) = -2 \cdot \frac{z^{-k}}{\det H^{(m)}} \cdot H_0(-z) = -2H_0(-z) \quad (5)$$

لقد تضاعفت فوائد الحساب التفرعي في العديد من المجالات الهندسية بما يتناسب مع متطلبات التطبيقات، لقد أصبح من الضروري تجاوز قيود الحوسبة التسلسلية التي أصبحت تشكل محدودية لمعدل المعالجة في النظام الحاسوبي ذو المعالج المنفرد، حيث ركزت التحسينات البنوية على مفهوم التعدد لأجل وحدات المعالجة ومسار المعطيات ووحدات التخزين [20].

لقد استخدمنا في هذا البحث خاصية التعدد التي ذكرت مسبقاً والمعالجة التفرعية وفق نمط الحوسبة العنقودية في شبكات الحساسات اللاسلكية الداعمة للوسائط المتعددة ضمن إطار تجميع الإشارة الصوتية، لقد تم تجهيز العقد التابع بمرشحات رقمية ذات استجابة ترددية متعاكسة تمثل فرعي بنك المرشحات في مرحلة التحليل، تعمل على ترشيح الترددات المرتفعة والترددات المنخفضة مع تخفيض معدل العينات للإشارة المرسل باستخدام تقنيات معالجة الإشارة متعددة المعدل بهدف تخفيض كميات المعطيات المرسل وبناء عليه تخفيض الطاقة المستهلكة للإرسال مع توفير عرض الحزمة، ينجز لاحقاً قائد العنقود عملية تجميع الإشارات المستقبلية مع مراعاة التفاوت في زمن الانتشار بين الإشارات المستقبلية من عدة اتجاهات مع تطبيق مخطط العنقود الحسابي.

#### 4. التطبيق العملي والمحاكاة

افترضنا أن العنقود الحسابي مكون من ثلاث عقد وهذا ما يعد كافياً في حالة بنك المرشحات المكون من فرعين كما هو موضح في الشكل (5)، إلا أن زيادة عدد العقد التابعة في العنقود الحسابي يستدعي زيادة في عدد أفرع بنك المرشحات، مع تمثيل مقدار زمن تأخير انتشار الإشارة المصدر نتيجة التفاوت المكاني لجهات نقاط الاستقبال بـ  $z^{-D}$  أي زمن تأخير الانتشار للإشارة المصدر عن مواضع العقد التابعة المتباينة مكانياً، حيث تنجز العقد التابعة عمليات ترشيح متعاكسة (ترشيح الترددات المرتفعة بالتزامن مع ترشيح الترددات المنخفضة) وترسل معطياتها الناتجة لاسلكياً إلى العقدة القائد التي تقوم بتجميع الإشارات ودمجها بهدف ضمان الاستعادة التامة لإشارة المصدر، يتم تقييم تأخير انتشار الإشارة المصدر بناء على معامل شدة الإشارة المستقبلية (Received Signal Strength Indicator) RSSI باستخدام هوائي عقدة التحسس اللاسلكية، كما نستطيع إضافة إلى ذلك القيام بمهام أخرى مثل تحديد الموضع النسبي لموقع المصدر، تقييم اتجاه الوصول، دمج ومعالجة الإشارات الواردة من عدة عقد تحسس.



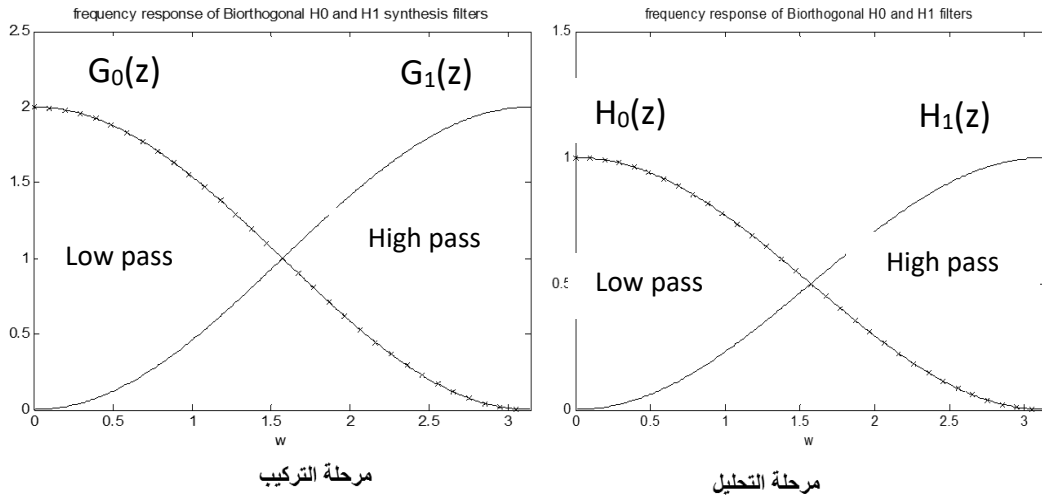
الشكل (5) توزيع عقد الشبكة الهرمية مع وظيفة البنك المرشحات

يوضح الجدول (1) مراحل التصميم النموذج الرياضي المقترح والذي تم بناء عليه استنتاج الاستجابة الترددية لمرشحات مرحلة التحليل في المرحلة الثانية ومرشحات مرحلة التركيب في المرحلة الثالثة من الجدول (1) مع تحقيق الاستعادة التامة للإشارة المصدر في المرحلة الرابعة والخامسة كما توضح المعادلات المضمنة في الجدول [18].

الجدول (1): خطوات التصميم الرياضي لبنك المرشحات ثنائي التعامد [18]

خطوات التصميم الرياضي للمثال التطبيقي		
ترتيب المرحلة	المعادلة	توضيح المرحلة
أولاً	$T(z) = \frac{1}{4}(z + 2 + z^{-1})$	مرشح تمرير نصف حزمة يمتلك ثلاث معاملات
ثانياً	$H_0(z) = \frac{1}{2}(1 + z^{-1}) \quad H_1(z) = \frac{1}{2}(1 - z^{-1})$	يتم تجزئة تابع النقل إلى مرشحات التحليل المجاورة
ثالثاً	$G_0(z) = 1 + z^{-1} \quad G_1(z) = -1 + z^{-1}$	ومرشحات التركيب
رابعاً	$F_1(z) = \frac{1}{2}G_0(z)H_0(-z) + \frac{1}{2}G_1(z)H_1(-z)$	إن استبدال كلتا المعادلتين بالمعادلة ينتج لدينا $F_1(z) = 0$ وهذا ما يؤكد حذف عناصر الإزاحة.
خامساً	$F_0(z) = \frac{1}{2}G_0(z)H_0(z) + \frac{1}{2}G_1(z)H_1(z)$	كما أن استبدال المعادلات الأربعة في المعادلة المجاورة ينتج لدينا $F_0(z) = z^{-1}$ وهذا تحقيق إعادة البناء الكامل.

استخدمنا توابع matlab من أجل إظهار منحنى الاستجابة الترددية (المحور الأفقي للتردد، المحور الشاقولي يمثل المطال) لكل من مرشحات التحليل ومرشحات التركيب كما يوضحها الشكل (6-a-b).

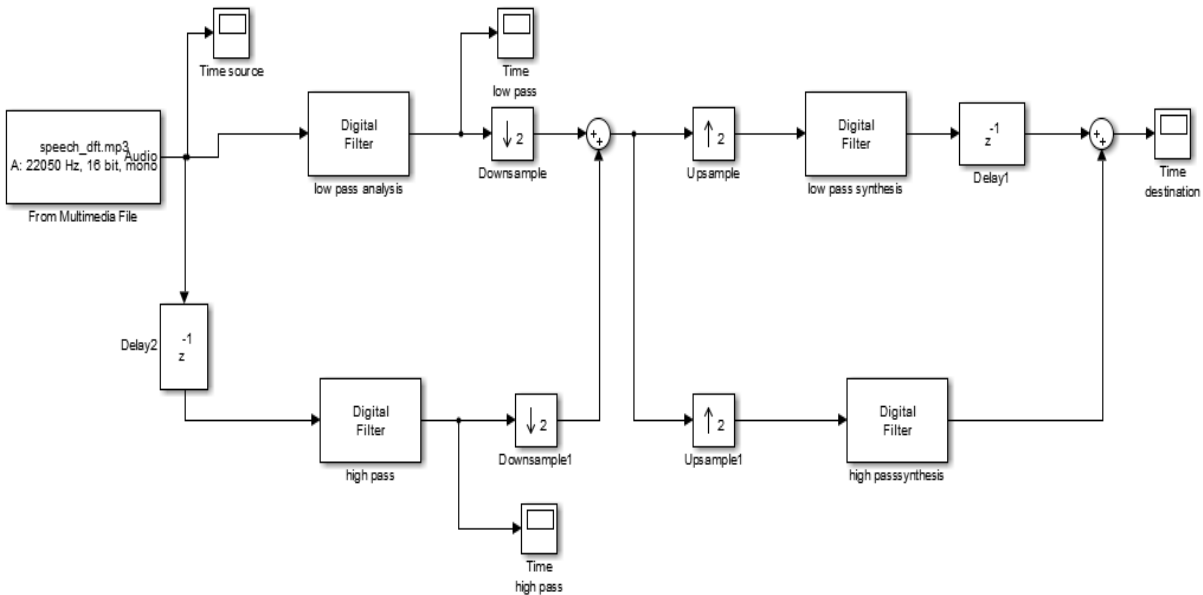


الشكل (6-b): الاستجابة الترددية لمرشحات التركيب

الشكل (6-a): الاستجابة الترددية لمرشحات التحليل

## 5. نتائج المناقشة

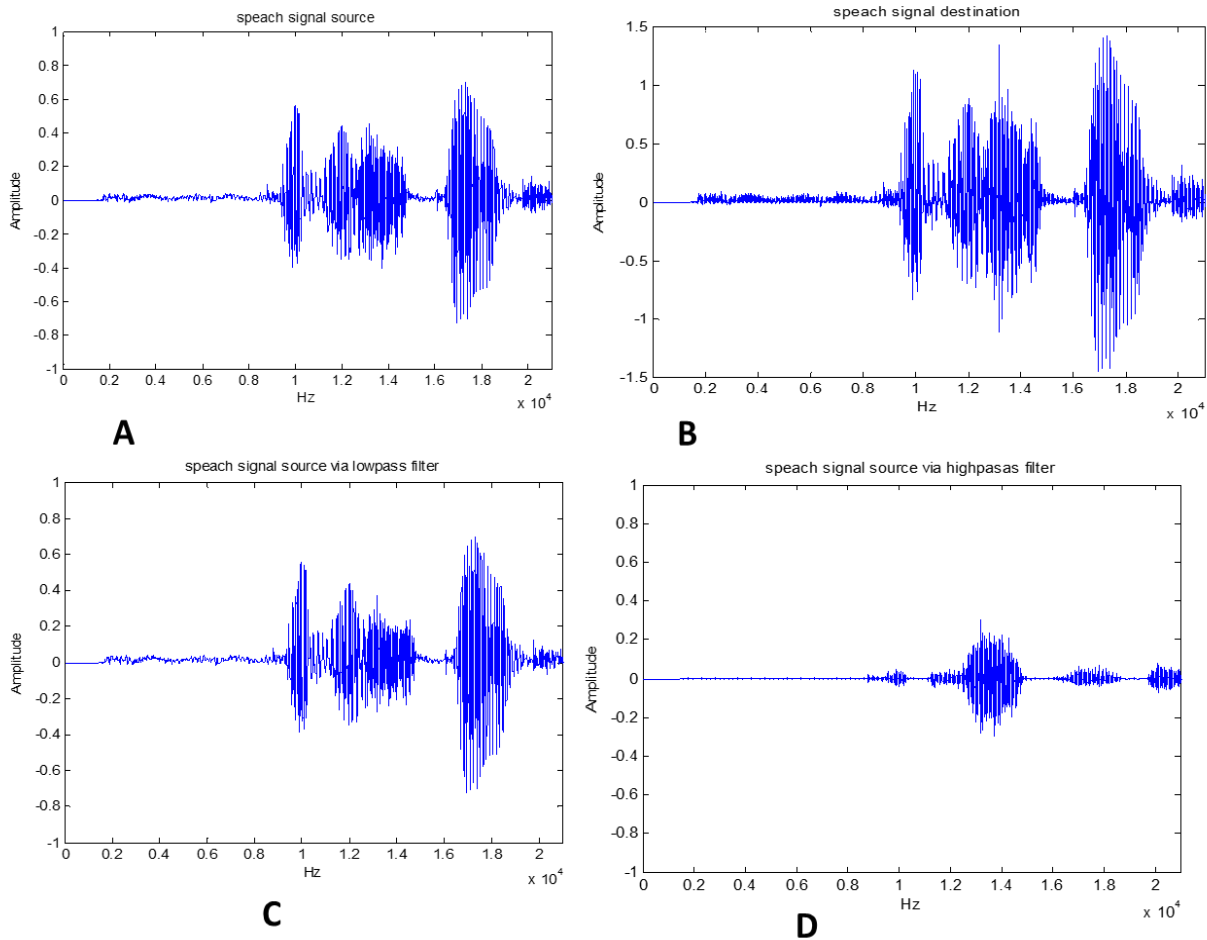
استخدمنا DSP tool في Matlab [21]، وهي مكتبة محاكاة (simulation) خاصة بمعالجة الإشارة الرقمية من أجل تنفيذ التصميم السابق، وتقييم نتائج تجميع الإشارة الصوتية بنوعيتها من ناحية الإشارة الكلامية وإشارة الموسيقى مع إمكانية تحقيق الاستعادة التامة للإشارة المصدر لدى قائد العنقود بعد تجميعها باستخدام العقد التابعة للقائد، يوضح الشكل (7) مخطط المحاكاة لهذا التصميم، حيث تم تطبيق عبارات كلامية منطوقة باللغة الإنكليزية كمصدر إشارة في المرحلة الأولى، أما في المرحلة الثانية استخدمنا إشارة موسيقاً لملف من نوع mp3.



الشكل (7): مخطط المحاكاة بنك المرشحات لمرحلة التحليل ومرحلة التركيب

1.5 السيناريو الأول: يوضح الشكل (8) نتائج تطبيق إشارة الكلام الاختبارية في نظام المحاكاة، حيث يتبين لدينا عند المقارنة بين الشكل (8-A) و (8-B) أن الاستعادة التامة محققة باستثناء أن مطال الإشارة الهدف يكافئ

ضعف مطال الإشارة المصدر ويفسر ذلك بالمعادلة الرياضية لمرشحات التركيب التي تضرب مطال الإشارة بالمعامل 2 والموضحة في المرحلة الثالثة من الجدول (1) السابق.

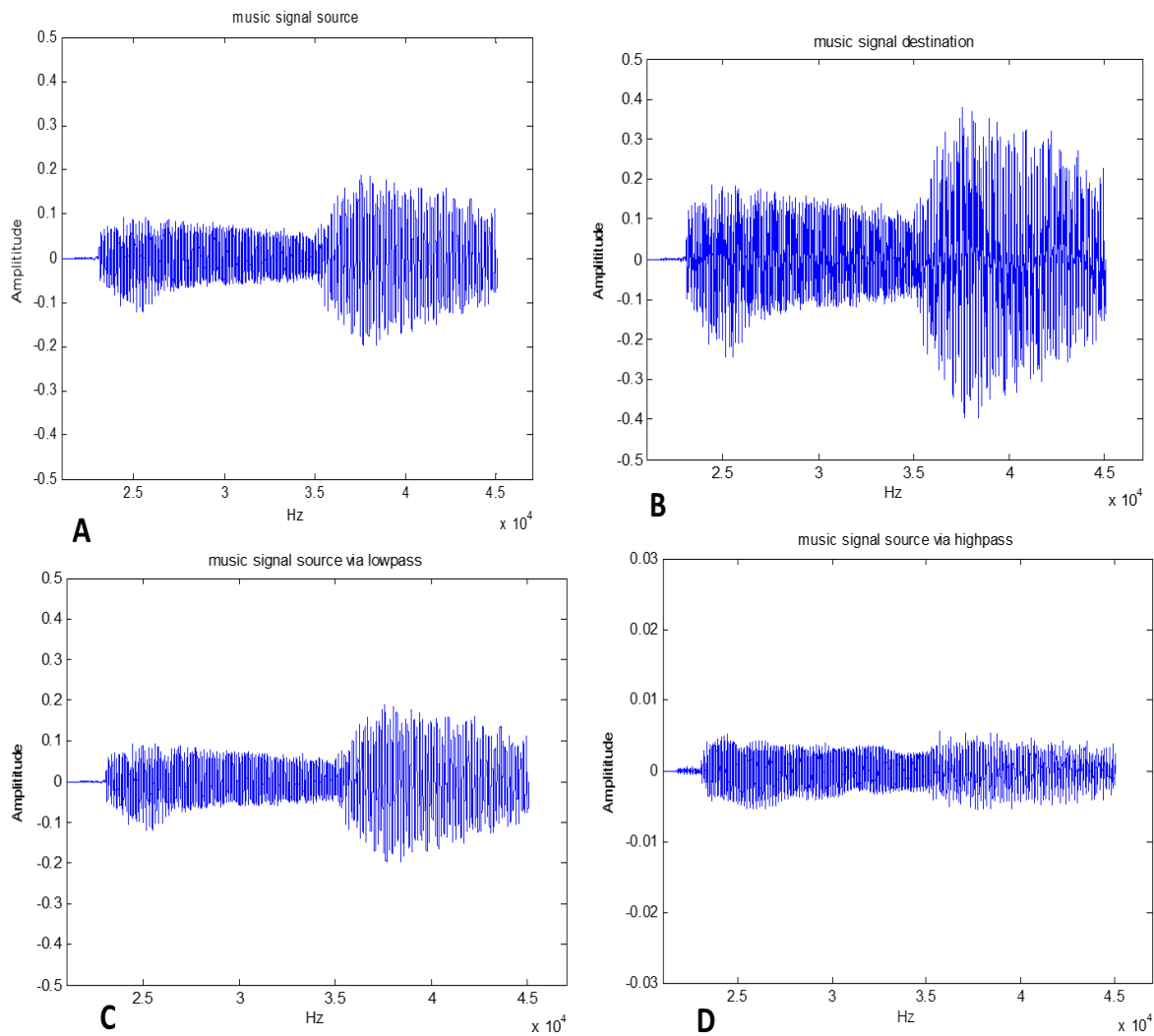


الشكل (8-A-B-C-D): نتائج اختبار الإشارة الكلامية في بنك المرشحات

بناء على منحنى توزيع طاقة إشارة المصدر في الشكل السابق (3-a-b) حيث تتركز ضمن حيز الترددات المنخفضة وعند المقارنة بين الشكل (8-C) والشكل (8-D) نجد أنه يتم تمرير الجزء الأكبر من ترددات الإشارة الكلامية عبر مرشح الترددات المنخفضة (low pass filter) أما ما تبقى من المجال الطيفي يتم تمريره عبر مرشح الترددات العليا (High pass filter).

**2.5 السيناريو الثاني:** يبين الشكل (9) نتائج تطبيق إشارة الموسيقى كمصدر مع إعادة تقييم النتائج التي أثبتت إمكانية تحقيق الاستعادة التامة للإشارة نفسها، كما يوضح ذلك الشكل (9-A) و (9-B) مضاعفة مطال الإشارة المستقبلية بناء على المعادلة الرياضية في المرحلة الثالثة في الجدول (1).

نلاحظ أيضاً أنه تم تمرير الجزء الأكبر من المجال الطيفي لإشارة الموسيقى عبر مرشح الترددات المنخفضة وذلك بسبب توضع معظم طاقة الإشارة ضمن حيز الترددات الدنيا أما الجزء الأقل فيمر عبر مرشح الترددات العليا كما توضح الأشكال (9-C) و (9-D) هذا الجانب.



الشكل (9-A-B-C-D): نتائج اختبار إشارة الموسيقى في بنك المرشحات

## 6. الاستنتاجات

تم في هذا البحث تقديم تقنية جديدة من أجل تجميع الإشارة الصوتية اعتماداً على مفهوم الحوسبة العنقودية كنموذج حساب تفرعي ضمن إطار البنية الهرمية في WSN، وتم ذلك باقتراح نموذج رياضي لبنك مرشحات من فرعين وفق النمط ثنائي التعامد (biorthogonal filter bank) يمتلك خاصية الاستعادة التامة للإشارة المصدر (Perfect reconstruction) بهدف ضمان تجميع كامل الطيف الترددي للإشارة الصوتية، وهذا ما تهدف إليه التقنية المقترحة في بحثنا من أجل ضمان التصنيف الصحيح وتطبيق نوعية المعالجة المناسبة لاحقاً.

## 7. التوصيات

من المتاح تطوير النظام العنقودي السابق ليشمل عدة عقد تابعة لقائد عنقود واحد وليس فقط عقدتين مما ينعكس على التصميم الرياضي لبنك المرشحات فيصبح بنك المرشحات متعددة الفروع، مع ضمان تحقيق إعادة البناء التام للإشارة المصدر، وتقييم تأثير ذلك على نطاق الإشارة المستقبلية لدى نقطة التجميع ويحسن من جودة تصنيف لاحقاً.

## المراجع

- [1] SOHRABY,K.;MINOLI,D.;ZNATI,T.2007,*Wireless Sensor Networks: Technology, protocols, and Applications*. New Jersey.1nd,United States:John wiley & sons.
- [2] BANDARA,H.D.2008, *Top-Down Clustering Based Self-Organization of Collaborative Wireless Sensor Networks* (Doctoral dissertation, Colorado State university).
- [3] MAMALIS,B.;GAVALAS,D.;KONSTANTOPOULOS,C.;PANTZIOU,G.2009, *Clustering in Wireless Sensor Networks. RFID and Sensor Networks: architectures, protocols, security and integrations*,n/a(n/a) 324-353. DOI: 201/9781420077780.ch12
- [4] JIN,Y.; WANG, L.; KIM,Y.; YANG, X. 2008, EEMC: *An Energy-Efficient Multi-Stage Clustering Algorithm for Large-Scale Wireless Sensor Networks*. *Computer Networks*, **52**(3), 542-562.
- [5] EI-REWINI, H.;ABD-EL-BARR, M. 2005, *Advanced Computer Architecture and Parallel Processing*. United States of America: John Wiley & Sons.
- [6] SHAHZAD,K. 2014, *Energy Efficient Wireless Sensor Node Architecture for Data Computation Intensive Applications* (Doctoral dissertation, Mid Sweden university),1-5.
- [7] SHEN, C. C.; PLISHKER, W. L.; KO,D. I.; BHATTACHARYYA,S.S.; CHANDRAN,D.SMAN,N.2010,Energy-Driven Distribution of Signal Processing Applications in Wireless Sensor Networks. *ACM Transactions on Sensor Networks (TSN)*, **6**(3), 1-32. doi.acm.org/10.1145/1754414.1754420
- [8] SHEN, C. C.;PLISHKER , W.; BHATTACHARYYA, S. S. 2008, April, *Design optimization of a distributed, embedded speech recognition system*. In: *national Symposium on Parallel and Distributed Processing*, IEEE,2008.
- [9] HUAYU, X.; QIN , Y., PIN , R., RUISEN R, L. 2021, *Audio Classification Based on Machine Learning*. *Computer Engineering and Design*, **42**(1), 156-160.
- [10] MOWLAEE,P.;SAYADIYAN,A;2013,*Audio Classification of Music/Speech Mixed Signals using Sinusoidal Modeling with SVM and Neural Network Approach*. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, **22**(02), 1250083-8. DOI: 10.1142/S0218126612500831
- [11] HUANG,C.;HEFU,W.2023,*Speech-Music Classification Model Based on Improved Neural Network and Beat Spectrum*. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, **14**(7).

- [12] BIRAJDAR, G. K.; PATIL, M. D. 2020, *Speech/music classification using visual spectral chromagram features*. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 11, 329–347. doi.org/10.1007/s12652-019-01303-4.
- [13] RAMALINGAM,T.; DHANALAKSHMI D, P. 2014, *Speech/music classification using wavelet based feature extraction techniques*. Journal of Computer Science, 34(1), 34. doi:10.3844/jcssp.2014.34.44
- [14] ZHANG, K.; SU,Y.; WANG,J.; WANG,S.; Zhang, Y. 2020, *Environment sound classification system based on hybrid feature and convolutional neural network*. Xibei Daxue Xuebao/Journal of Northwestern Polytechnical University, 38(1), 162–170.
- [15] HARRIS,F.J.; DICK,C.; RICE, M. 2003, *Digital receivers and transmitters using phase filter banks for wireless communications*. IEEE transactions on microwave theory and techniques, 51(4), 1395–1412.
- [16] AHAMMED,K.; ERSHADULLAH, M.; HERU, M. R. I.; Islam, S.; Sazzad, Z. P. 2015, *Design and implementation of digital filter bank to reduce noise and reconstruct input signals*. Signal Image Process (SIPIJ), 6(2), 15–18.
- [17] JAHROMI, O. S. 2007, *Multirate statistical signal processing*. Springer Science Business Media.
- [18] Fliege, N. J. 1994, *Multirate digital signal processing: multirate systems, filter banks, wavelets*. John Wiley & Sons, Inc..2
- [19] GIRON-SIERRA, J. M. 2016, *Digital Signal Processing with Matlab Examples, Volume 2: Decomposition, Recovery, Data-Based Actions*. Springer.
- [20] GOVINDARAJ, V. 2016, *Parallel programming in Raspberry Pi cluster*. A Design Project Report, School of Electrical and Computer Engineering, Cornell University.
- [21] KOHLI, M.; MEHRA, R. 2014, *Design and simulation of two channel QMF filter bank using equiripple technique*. IOSR J. VLSI Signal Process., 4(2), 23–28.