

Design a parallel processing structure of exploration by sound signal in WSN

Yaser Esah Omleh

Noama Ali Younes

Mech. & Elect. Engineering Faculty || Al-Baath University || Syria

Hasan Mohammed Albustani

ICTE Faculty || Tartous University || Syria

Abstract: The aim of the research is to design an energy efficient digital signal processing structure that is a suitable option for application in wireless sensor networks (WSN), which have limited power and processing resources as well as communication, the parallel concept is achieved at several levels. Based on the analytical approach in analyzing the problem into several detailed levels and evaluating the detailed elements with optimal selection for each stage. First, at the node level for hardware within the framework of convertible algorithms into structures by adding a structural modification for FIR based on the concept of parallel processing and Noble identities that achieve an increase in productivity and a reduction in the number of calculations. Then we implement the previous structure to achieve the functional structure of the filter bank for each node, secondly and at the network level in terms of design a local processing system that adopts the balanced distribution of calculation tasks required to perform spectral analysis of the audio signal by FFT for the application of exploration by sound signal in WSN. In other words, we assign a computing role to wireless sensor node for parallel calculation implementation of the application tasks, in order to reduce computation amount required to accomplish the necessary calculation tasks which produce reduction both the time and energy.

Functional testing of the developed structure in the first phase of the results has demonstrated the complete recovery of the audio signal with reduced calculation loads over time. It is preferred and important choice for implementing in resource-limited equipment such as the wireless sensing node in WSN. Subsequently, we obtained numerical results that demonstrate the reduction of parallel execution time versus the serial execution time of the FFT algorithm, which improves the performance of digital signal processing applications for WSN.

Keywords: Wireless Sensor Network, Digital signal processing, Finite Impulse Filter, polyphase, Fast Fourier Transformation, Clustering.

تصميم بنية معالجة تفرعية من أجل الاستكشاف باستخدام الإشارة الصوتية في شبكات الحساسات اللاسلكية

ياسر عيسى عمله

نعمى علي يونس

كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية || جامعة البعث || سوريا

حسن محمد البستاني

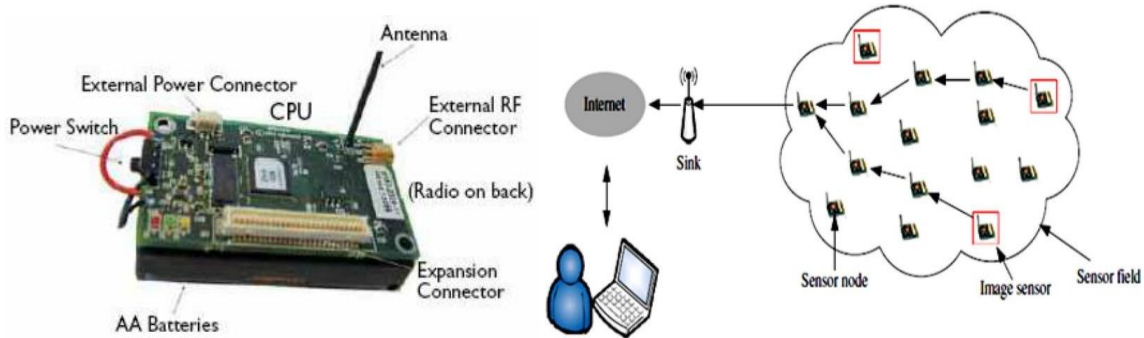
كلية هندسة تكنولوجيا الاتصالات والمعلومات || جامعة طرطوس || سوريا

الملخص: هدف البحث إلى تصميم بنية معالجة تفرعية للإشارة الرقمية، تعد خياراً مناسباً للتطبيق في شبكات الحساسات اللاسلكية (WSN) التي تعاني من محدودية موارد الطاقة والمعالجة والاتصال، يتم فيها تحقيق المفهوم التفرعي على عدة مراحل بناء على المنهج التحليلي في تحليل المشكلة إلى عدة مستويات تفصيلية وتقييم العناصر التفصيلية واختيار الأمثل لكل مرحلة. أولاً على مستوى العقدة الواحدة بالنسبة للعتاد الصلب (Hardware) ضمن إطار الخوارزميات القابلة للتحويل إلى بني، بإضافة تعديل بنيوي على مستوى المرشح FIR قائم على مفهوم المعالجة المتوازية ومتطابقات نوبل التي تحقق زيادة في الإنتاجية وتخفيضاً في عدد العمليات الحسابية، ثم استخدام البنية السابقة لتحقيق بنية وظيفية لبنك المرشحات. ثانياً وعلى مستوى الشبكة من ناحية بناء منظومة معالجة محلية تعتمد التوزيع المتوازن لمهام الحساب اللازمة لإنجاز التحليل الطيفي للإشارة الصوتية بواسطة تحويل فوريير السريع من أجل تطبيق الاستكشاف باستخدام الإشارة الصوتية في شبكات الحساسات اللاسلكية، بمعنى آخر تخصيص وظيفة حوسبة لعقدة الحساس اللاسلكية تحت إطار التنفيذ الحسابي المتوازي لمهام التطبيق، بهدف تخفيض كمية الحساب وبالنتيجة الزمن والطاقة، وقد أثبت الاختبار الوظيفي للبنية المطورة ضمن المرحلة الأولى من النتائج تحقيق الاستعادة التامة للإشارة الصوتية مع تخفيض حمولة الحساب خلال وحدة الزمن، حيث من المفضل والمهم استخدامها في التجهيزات محدودة الموارد التي تعتمد بتغذيتها على البطاريات مثل عقدة التحسس اللاسلكية في WSN، لاحقاً حصلنا على نتائج عددية تثبت تخفيض زمن التنفيذ التفرعي بمقابل زمن التنفيذ التسلسلي لخوارزمية FFT مما يحقق تحسناً في أداء تطبيقات معالجة الإشارة الرقمية من أجل WSN.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية، معالجة الإشارة الرقمية، المرشح محدود الاستجابة، تعدد الطور، تحويل فوريير السريع، العنقودية.

1. مقدمة:

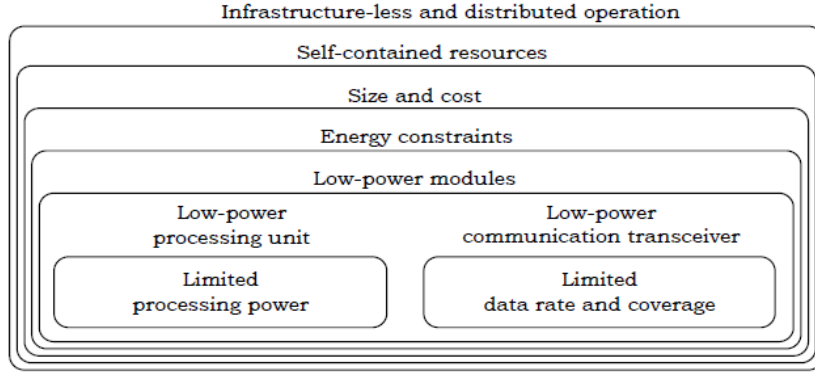
تشير معالجة الإشارة الرقمية (Digital Signal Processing) إلى استخدام العمليات الحسابية المختلفة لمعالجة الإشارة الرقمية، إن تمثيل المجال الترددي للإشارة الرقمية يساهم في اختبار العديد من الخصائص حول طبيعة الإشارة بهدف تخفيض الضجيج، والتصنيف، والتحسين، والضغط، والترشيح وغير ذلك [1]. تعرف WSN (Wireless Sensor Network) على أنها شبكة لاسلكية لا تعتمد وجود بنية تحتية مرتبطة بتطبيق محدد تمتلك خاصية الإعداد الذاتي تتواصل فيما العقد لاسلكياً عبر الحزمة غير المرخصة (ISM (industrial, scientific and medical)، تنشر في الأمكنة التي يصعب الوصول إليها من قبل الإنسان من أجل تطبيقات مختلفة تتعلق بتجميع المعطيات وتحليلها في مركز المعالجة (Sink) والاستكشاف والإنذار... إلخ [2]، تفرض خصائص العتاد الصلب لعقدة التحسس اللاسلكية قيوداً على بيئة العمل والتطبيقات المتاحة تتمثل بمحدودية موارد الطاقة والمعالجة والاتصال [2][3]، حيث يوضح الشكل (1) النموذج العام للشبكة مع العناصر الأساسية المكونة لعقدة التحسس.



الشكل (1) نموذج عام لشبكة WSN (a) بنية عتاد صلب لعقدة التحسس اللاسلكية (b)

لقد كان العمل مستمراً لإيجاد الحلول المناسبة لها وتجاوزها على عدة مستويات حسب متطلبات التطبيق التي وظفت من أجله WSN. فقد شملت الحلول المقترحة جميع طبقات WSN انطلاقاً من العتاد الصلب لعقدة التحسس اللاسلكية [4] إلى تنظيم آلية الوصول إلى الوسط أي طبقة الوصول (Media Access Control) [5][6]، ثم

إلى تطوير البروتوكولات فعالة الطاقة المناسبة على مستوى الشبكة [7]، إضافة إلى العمل على مستوى الخوارزميات التطبيقات [8][9][10]. يجب أن تحقق عقدة التحسس تكاملاً من جميع نواحي الموارد المطلوبة (التحسس، التواصل، وحدة المعالجة، مصدر الطاقة) كما هو موضح في الشكل (2). بمقابل ذلك، من الممكن التفكير بحلول ناجحة على صعيد وحدة المعالجة [11]، من ناحية تطبيقات معالجة الإشارة الرقمية انطلاقاً من مستوى الدرات المتكاملة (VLSI) [12] مروراً بشرائح المعالجة الخاصة [13][14][15] والعامّة، ثم إلى تصميم واقتراح بني ملائمة تحقق متطلبات خوارزمية المعالجة ضمن بيئة عمل WSN من ناحية فعالية الطاقة وزيادة الانتاجية بما يناسب ويلبي متطلبات نجاح التطبيق المفترض [16].



الشكل (2) العلاقة بين الخصائص المرغوبة والقيود الناتجة لعقدة التحسس اللاسلكية النموذجية [8]

إن بناء شبكة WSN فعالة الطاقة وداعمة للوسائط المتعددة يتطلب مجال بحثي إضافي داعم لها خصوصاً فيما يتعلق بمعالجة الإشارة الرقمية، يكون ذلك بسبب كون متطلبات WMSN (Wireless Multimedia Sensor Networks) تفوق WSN، حيث تفرض تطبيقات الوسائط حاملة إضافية على الشبكة من ناحية قدرة المعالجة، فمعطيات الوسائط كبيرة في الحجم وتتطلب عمليات معالجة أكثر تعقيداً [17].

1.1. مشكلة البحث:

تعرف المشكلة الأساسية في هذا البحث انطلاقاً من القيود التي تفرضها الخصائص الفيزيائية للعتاد الصلب لعقد التحسس اللاسلكية من محدودية في إمكانية المعالجة والاتصال والطاقة. لقد تم التركيز على اقتراح الحلول من أجل تجاوز الإمكانيات المحدودة لعقدة التحسس اللاسلكي في تحقيق متطلبات وشروط العمل في WSN من أجل تطبيقات معالجة الإشارة الرقمية، حيث تنقسم الحلول في هذا المجال ضمن إطار خوارزميات المعالجة الحسابية (مستوى الشبكة)، وأيضاً على مستوى العتاد الصلب من أجل العقدة الواحدة. يتمثل التحسين المقترح على عدة مستويات بأن واحد أولاً باتجاه التطوير البنيوي على مستوى العقدة الواحدة، حيث من المتاح استثمار مزايا البنية الفرعية ومتطابقات نوبل في تبديل معدل العينات لتخفيض عدد العمليات الحسابية، وتطبيق تقنية تعدد الطور وتحقيقها على مستوى المرشح الواحد وبنك المرشحات في آن واحد، فعند الانتقال من بنية FIR المباشرة إلى البنية متعدد الطور التي تقسم المرشح إلى M مقطع من المرشحات الفرعية تعمل معاً بطريقة تفرعية، تختلف هذه المرشحات الفرعية فقط بالخصائص الطورية، ثم استخدامها في تصميم بنك مرشحات للتحليل والتركيب بما يخفف من عدد العمليات الحسابية وزمن التنفيذ والإنتاجية على صعيد بنية العتاد الصلب مع تحقيق الاستعادة التامة للإشارة، بما يعنيه ذلك من تجنب الفقد الجزئي اللطيف الترددي للإشارة الصوتية الناتج عن محدودية الاستجابة للمرشحات الرقمية.

لاحقاً اعتمدنا مفهوم الحساب التفرعي من أجل تطبيق نموذج معالجة محلية للإشارة الرقمية في WSN، نظراً لمحدودية مجال الاتصال والتكلفة الكبيرة لعملية إرسال كامل المعطيات إلى مركز الشبكة، فقد أصبح بمقدور كل عقدة حساس معالجة معطياتها الخاصة والتواصل مع العقد الأخرى بجزء صغير من المعطيات من خلال تحقيق المعالجة التفرعية ضمن الشبكة محلياً، بمعنى آخر اقحام الدور الحسابي لعقدة الحساس بحيث تقوم بتنفيذ الجزء الخاص بها من مهام الحساب لتطبيق معالجة الإشارة الرقمية بالتزامن مع العقدة الأخرى ضمن نطاق الاتصال الخاص بها، إن استخدام خوارزمية الحساب التفرعي المناسبة للإشارة الرقمية مع مخطط التواصل الذي تفرضه آلية تخصيص الدور الحسابي للعقد يجعل من عقد الحساسات تعمل وفق نموذج حسابي تفرعي للإشارة الرقمية من ناحية تحسين الأداء.

2.1. أسئلة الدراسة:

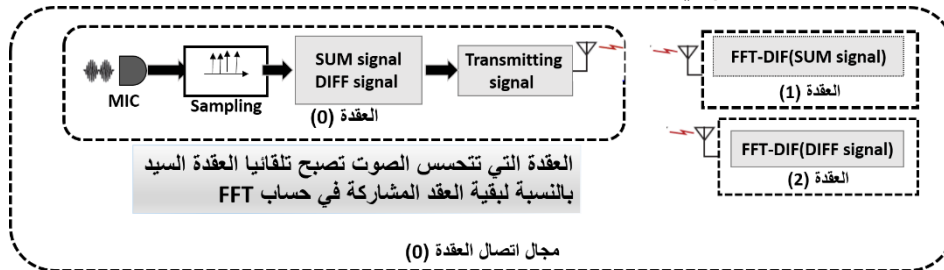
أولاً: هل من الممكن تحقيق بنية تفرعية لبنك المرشحات، باستخدام مفهوم تعدد الطور (polyphase) انطلاقاً من المعادلات الرياضية الخاصة بتوابع النقل FIR للتمرير المرتفع والمنخفض لمرحلة التحليل والتركيب، وتحويل هذه الخوارزمية الرياضية إلى بنية عتاد صلب تضاف إلى عقدة التحسس لإنجاز مهمة التنفيذ التفرعي التي تخفض زمن الحساب والطاقة بالنسبة لعقد الحساسات.

ثانياً: هل نستطيع تخفيض زمن التنفيذ اللازم لإنجاز التحليل الطيفي للإشارة الصوتية باستخدام FFT من خلال الانتقال من التنفيذ التسلسلي إلى التنفيذ التفرعي بتوزيع العمليات الحسابية على مستوى عقد الحساسات بما يحقق تسريعاً في التنفيذ مع التقليل من التواصل بين عقد الحساسات محدودة القدرة.

ثالثاً: هل يمكن إنجاز التنفيذ التفرعي لتحويل فوريير السريع على عقد الحساسات اللاسلكية بحيث تتوزع المهام بشكل عادل على جميع العقد وتجميع النتائج من قبل العقدة السيد (المستكشفة).

3.1. فرضيات الدراسة:

من ناحية الخوارزمية المطبقة اعتمدنا تحويل فوريير السريع، يعد تحويل فوريير من أكثر أدوات التحليل الترددي شيوعاً، قدمنا هنا نموذج معالجة موزع تفرعي للإشارة الرقمية ضمن شبكة WSN مكونة من ثلاثة عقد، وفق السيناريو الذي يحاكي تطبيق استكشاف البيئة الذي فرضاً وظفت من أجله WSN، تعد تلقائياً العقدة التي تستشعر الصوت بواسطة حساسات الصوت المرتبطة بها بالعقدة السيد (master) والتي تقوم على إثر ذلك بتوزيع العينات الزمنية مناصفة بين عقدتين ضمن مجال الاتصال الخاص بها على افتراض مسبق أن الشبكة تتمتع بدرجة اتصالية 2-connectivity أي مع وجود عقدتين على الأقل ضمن مجال اتصال العقدة المتحسسة في أي لحظة زمنية من زمن حياة الشبكة كما هو موضح في الشكل (3).



الشكل (3) النموذج المقترح لتوضع العقد يحاكي سيناريو WSN المقترح

فقد تم توزيع عينات الخرج المطلوب حسابها على العقد التابعة (slave) التي تتواجد ضمن مجال اتصال العقدة السيد، إضافة إلى إشراك العقدة السيد في مرحلة الحساب التفرعي الأولى في إيجاد جمع وفرق العينات لسلسلة الدخل الزمنية مما يلغي تبادل قيم العينات في المراحل الوسطية اللاحقة من حساب FFT. من ناحية التنفيذ: لقد كان البديل عن وحدة المعالجة في العتاد الصلب لعقدة الحساس (الخاصة بتنفيذ المهام الحسابية لتطبيق DSP) هو شريحة الراسبييري بسبب توفرها لأغراض البحث العلمي

4.1. أهمية الدراسة:

لقد حظيت البنى الخاصة بمعالجة الإشارة الرقمية على مستوى العتاد الصلب لعقدة الحساس ضمن إطار متطلبات العمل في شبكة الحساسات اللاسلكية باهتمام واضح من قبل الباحثين، فقد تم في المرجع [15] تحسين نواة DSP خاصة لتطبيقات المراقبة وتتبع الأهداف باستخدام إشارة الصوت بإقحام تعديلات بنيوية تتعلق بذاكر التخزين وزمن الوصول لها، تم أيضاً التطوير على مستوى Multiply Accumulate Unit (MAC) التي تعد بمثابة (main computational kernel) في بنى DSP على اعتبار أنها المحدد لطاقة وسرعة النظام، وبناء عليه فإن حفظ القدرة على مستوى MAC سيحدث تأثير كبيراً على استهلاك القدرة لأجل كل عقدة، وبالنتيجة زيادة زمن حياة الشبكة ومقدراتها الحسابية [18]، إن الخوارزميات المتعلقة بالترشيح الرقمي وتحليل فوريير والتقنيات المشابهة تحتاج إلى عمليات خاصة حيث أنه لا يتم أمثلة المعالجات العامة من أجل أنواع هذه الخوارزميات، والحل يكون هنا بتصميم بنى خاصة لإنجاز الحسابات الرياضية تكون متوافقة على صعيد العتاد الصلب والبرمجي [11]، وبناءً عليه وضمن هذا السياق تم التوجه إلى نمط الخوارزميات القابلة للتحويل إلى بنى. لقد تم تصميم بنية folded-tree جديدة لمعالجة المعطيات على مستوى العقدة باستخدام Blelloch's parallel prefix operations، حيث أن العديد من خوارزميات المعالجة للإشارة الرقمية في WSN من الممكن توصيفها باستخدام عمليات parallel-prefix مما يزيد درجة مرونة عالية، تعد هذه البنية كمعالج رقمي منخفض القدرة (DSP)، يتم تخفيض استهلاك الطاقة بواسطة الحد من المعطيات المخزنة مسبقاً من قبل المعالجة المسبقة لتلك العمليات [19].

من الممكن أيضاً استثمار مفاهيم معالجة الإشارة الرقمية متعددة المعدل (Multirate) في تصميم بنية عتاد صلب لبنك المرشحات (Filter bank)، الذي يتكون من مجموعة مرشحات منخفضة التردد أو عالية التردد أو تمرير حزمة، التي بدورها تفصل إشارة الدخل إلى عناصر متعددة يمثل كل عنصر إشارة رقمية لديها حزمة ترددية فرعية كجزء من الإشارة الأصلية. إن هذه الإشارات عندما يكون لديها معدلات ترددية متباينة سيكون من الممكن معالجتها بالتزامن بواسطة أجزاء مختلفة من النظام متعدد المعدل. يتم انجاز التخفيض بواسطة المخفض (down sampler) في مرحلة التحليل (analysis) من أجل تحقيق الإرسال ضمن عرض الحزمة المخفض، بالمقابل تدعى عملية إعادة البناء بعملية التركيب (synthesis) التي يتم فيها استعادة معدل العينات الأصلي في طرف الاستقبال، تكون الغاية هنا تحقيق إعادة بناء تقريبي أو تام للإشارة في مرحلة التركيب بناء على الطريقة المتبعة في التصميم والتي بدورها تحدد العلاقة بين مرشحات التحليل لكل من فرع التمرير المنخفض المرتفع للترددات [1][20].

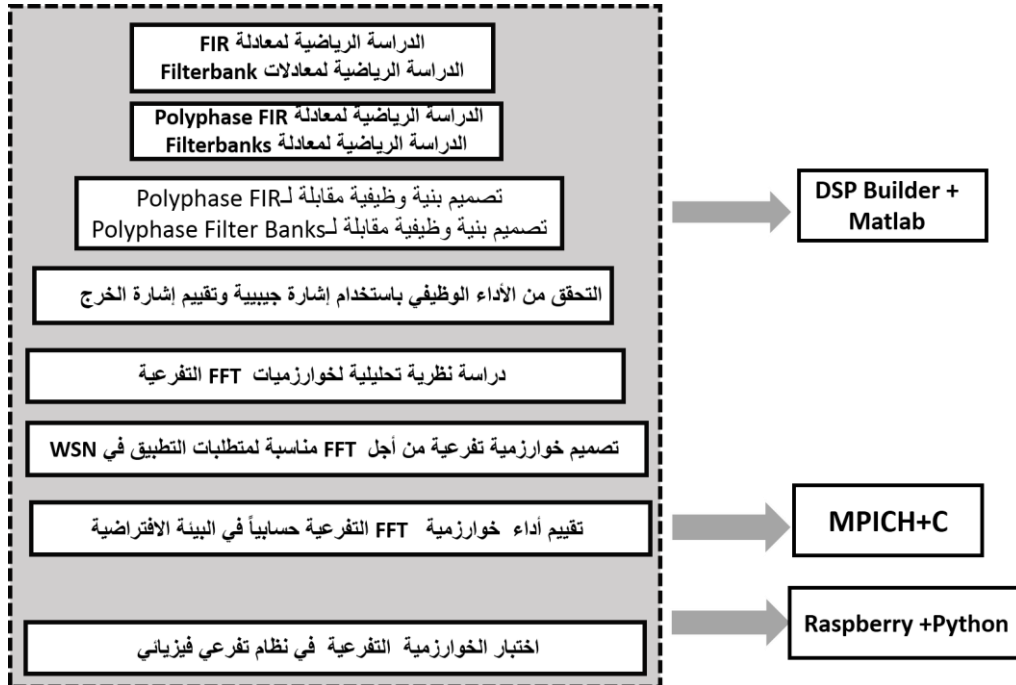
تعتمد اتجاهات أخرى للتطوير في WSN على مفهوم المعالجة المحلية على مستوى عقد الحساسات اللاسلكية ضمن الشبكة، والتي تم عنونها هنا بالمعالجة ضمن العقدة [21]، إن استثمار خوارزمية الحساب التفرعي لموارد الشبكة المتاحة بالصورة الأمثل قدر الإمكان من دون الحاجة إلى اتصالات إضافية غير ضرورية يكون ذلك بمثابة هدف للمعالجة ضمن الشبكة. لا بد من تحقيق تعادل بين حفظ الحساب وحفظ الاتصال حيث تكون دائماً تكلفة الاتصال أكبر من تكلفة الحساب بالنسبة لعقدة تحسس محدودة القدرة. لقد ركز الباحثون على خوارزمية

الحساب السريع لتحويل فوريير بسبب كثافة العمليات الحسابية المنجزة والتطبيق واسع النطاق لها بخصوص الإشارة الصوتية، فقد تم في المرجع [22] إعادة تقييم نموذج حسابي موزع محسن من أجل تطبيق FFT في WSN حيث ركزت الطريقة على تخفيض وإلغاء الفائض في عمليات الإرسال والاستقبال اللازمة للتبادل بين العقد وتقييم النتائج بناء على اعتبارات البحث من ناحية الإنتاجية والتأخير والطاقة، وتقديم خوارزمية حسابية فعالة الطاقة لحساب تحويل فوريير السريع أحادي البعد عبر شبكات الحساسات وحيدة القفزة ومتعددة القفزات، حيث انطوى التحسين على تخفيض عدد عمليات الإرسال وتجنب الفائض الحسابي والتخطيط المنتظم للضرب العقدي عبر جميع عقد الحساسات بإحجام مرحلة تبادل إضافية متممة للبت بعدد $(\log 2N)/2$ من التكرارات. لاحقاً قدم المرجع [23] خوارزمية تفرعية تدعى Computation Oriented Parallel FFT (COPF) تنطلق من الخوارزمية التفرعية-radix-2 FFT التي تركز على بنية butterfly في حساب FFT وتكييف الاستراتيجية المناسبة في النموذج التفرعي في النظام الموزع.

أود أن أشير هنا إلى أن أهمية الدراسة المقدمة في هذا البحث تقوم بشكل أساسي على إضافة تطوير بنيوي على مستوى العقدة الواحدة وإعطاء دور حساب للعقدة يعزز فعالية التطبيق بالإضافة إلى وظيفة الاتصال.

2. منهجية الدراسة المعتمدة في البحث:

تم انجاز البحث وفق المنهج التحليلي بناءً على تجزئة المشكلة إلى وحدات تفصيلية لتسهيل الدراسة، ومن ثمّ دراستها بأسلوب متعمق وتقييم التفاصيل واستخدام النقد لتوضيح جوانب الدراسة واستنتاج الحلول المناسبة. اعتمدنا عدة مستويات للتطوير على عدة مراحل بهدف تحسين أداء منظومة معالجة الإشارة الرقمية ضمن شروط ومتطلبات التطبيق المفترض على صعيد كل من بنية العقدة الواحدة والشبكة عامة. لقد تم تنظيم مراحل البحث وأدواته ودواعي استخدامها كما هو موضح في الشكل الآتي (4):



الشكل (4) خطوات الدراسة النظرية والعملية

في المرحلة الأولى: تم تصميم بنية مرشح محدود الاستجابة متعدد الطور وبنك المرشحات متعدد الطور باستخدام برنامج Matlab 2013 [24] مع مكتبة DSP Builder 15.1 لتصميم البنية، يتضمن DSP Builder مكتبات

عديدة للمحاكاة التي تسمح بتطبيق تصاميم DSP بسهولة وسرعة، وهو مجموعة من بلوكات البناء التي تسهل تمثيل العتاد الصلب لتصميم DSP في بيئة مناسبة للخوارزمية، حيث من الممكن استخدام توابع Matlab وبلوكات المحاكاة كجزء من التصميم، يطبق DSP Builder لغات العتاد الصلب مثل VHDL أو Verilog مع النماذج التي تندمج مع برمجيات المحاكي وتعد هذه المكتبة بمثابة أداة كافية لنمذجة البنية المطورة على مستوى عقدة الحساس واختبار صحة الأداء الوظيفي [25].

وفي المرحلة الثانية تم تصميم وبرمجة الخوارزمية التفرعية لتحويل فورير السريع باستخدام توابع MPI واللغة C، والتحقق من نتائج الحساب العددي عند التنفيذ في بيئة افتراضية متعددة المعالجات، باعتماد بيئة linux mint نسخة 15 بشكل virtual machine تعمل على VMware وتحتوي مسبقاً على مكتبة MPI إصدار mpich، تعد هذه البيئة خياراً جيداً فيما يخص العمل وفق هذه المكتبة، حيث تتضمن مترجماً للغة سي (gcc) وكذلك تعد النسخة خفيفة نوعاً ما (لا تحتوي على برمجيات كثيرة غير مرغوب بها قد تؤدي الى انخفاض أداء النظام)، كما تمتلك التعاريف الخاصة بالتفاعل مع النظام الأصلي الذي يتم تشغيل النظام الوهمي من خلاله مما يمكن من القيام بعمليات تبادل الملفات بسهولة، كما أنها تستخدم واجهة cinnamon التي تعد قريبة من واجهات أنظمة ويندوز.

فقد قمنا هنا باعتماد هذه البيئة البرمجية كأداة في اختبار صحة النتائج الرقمية للعمليات التفرعية افتراضياً والتأكد من مطابقتها لنتائج التنفيذ التسلسلي كمرحلة سابقة للتنفيذ الفعلي على بيئة تفرعية فيزيائية فعلية.

أما المرحلة الثالثة فتتجلى بالتمثيل الفيزيائي لشبكة حساسات لاسلكية افتراضية على هيئة عنقود من ثلاث شرائح راسبيري نموذج (Raspberry Pi 2 Model B) تتواصل لاسلكياً بواسطة موجه (router)، حيث كان الهدف من ذلك تمثيل كل شريحة بعقدة تحسس تتواصل لاسلكياً وتقوم بوظيفة المعالجة المحلية لتطبيق معالجة الإشارة الرقمية المفترض ضمن إطار نظام تفرعي فيزيائي حقيقي وإثبات صحة النتائج بناء على ذلك. إن الجيل المستخدم في التطبيق هو Raspberry Pi 3 model B ولديها الخصائص الفيزيائية للعتاد الصلب [26] الموضحة بالجدول (1):

الجدول (1) الخصائص الفيزيائية لشريحة Raspberry Pi 3

CPU	Quad-core 64-bit ARM Cortex A53, 1.2GHz
GPU	400MHz VideoCore IV multimedia
Memory	1GB LPDDR2-900 MHz SDRAM
USB	4 ports
Video outputs	HDMI, composite video (PAL and NTSC)
Network:	10/100Mbps Ethernet and 802.11n Wireless LAN
Peripherals	17 GPIO, HAT ID Bus
Bluetooth	4.1
Power source	5V via Micro USB or GPIO header.

بناء على مواد البحث المطروحة سابقاً، اعتمدنا المعاملات الاحصائية الآتية في تقييم الأداء من ضمن المرحلة الثالثة للبحث، وهي ملائمة لتقييم نظام الحوسبة التفرعي وتقدم تصوراً جيداً يوفي بالغرض:

- زمن التنفيذ (execution time): يعرف زمن التنفيذ التسلسلي بأنه الزمن المستغرق بين بداية ونهاية الحاسوب التسلسلي ويرمز له T_s ، أما زمن التنفيذ التفرعي فهو الزمن المستغرق من لحظة بداية الحساب التفرعي إلى لحظة إنهاء تنفيذ آخر عنصر تفرعي ويرمز له T_p .
- التسريع في زمن التنفيذ (Speedup): الذي يعرف بأنه النسبة بين زمن الحساب التسلسلي اللازم لإنهاء العمل على عقدة واحدة إلى الزمن التفرعي اللازم لإنهاء العمل على عدة عقد
- الفعالية (efficiency): التي تعرف بأنها النسبة بين زمن التسريع وعدد العمليات التي تنجز المهام على التوازي.

3. الإطار النظري والدراسات السابقة:

اعتمدت خطوات التصميم على عدة مفاهيم نظرية متعلقة بمجال DSP، من ناحية خوارزمية تحويل فورير السريع وخوارزميات التصميم التفرعي الخاصة بها وتقييم إمكانية تحقيقها في بيئة عمل WSN واقتراح نموذج محاكاة تفرعي باستخدام شرائح (Raspberry).

1.3. التجزئة إلى عناصر متعددة الطور: بفرض $H(Z)$ يمثل تابع النقل للمرشح الرقبي FIR [20][1]:

$$H(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)z^{-n} \quad (1)$$

يمكن أن نعيد صياغة المعادلة (1) وفق المعادلة (2):

$$H(z) = [\dots + h(-4)z^4 + h(-2)z^2 + h(0) + h(2)z^{-2} + h(4)z^{-4} + \dots] + z^{-1}[\dots + h(-3)z^4 + h(-1)z^2 + h(1) + h(3)z^{-2} + \dots] \quad (2)$$

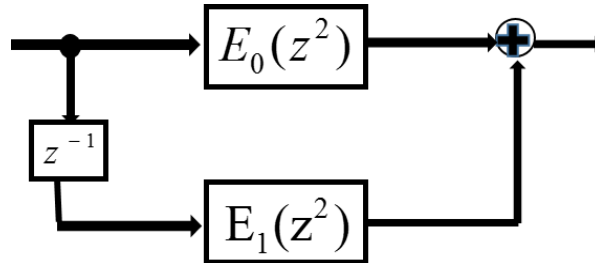
وباعتماد الاختصارات الموضحة في المعادلة (3):

$$E_0(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(2n)z^{-n}, \quad E_1(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(2n+1)z^{-n} \quad (3)$$

يمكن إعادة صياغة المعادلة (2) والاستفادة من (3)، كما في العلاقة (4):

$$H(z) = E_0(z^2) + z^{-1}E_1(z^2) \quad (4)$$

من الواضح أننا قمنا بتقسيم عينات الاستجابة النبضية $h(n)$ إلى عينات القيم الزوجية $e_0(n) = h(2n)$ وعينات القيم الفردية $e_1(n) = h(2n+1)$ وفق $E_0(z)$ ، $E_1(z)$ كما في العلاقة (4)، يدعى هذا بالتمثيل متعدد الطور من عنصرين، تعد $E_0(z)$ ، $E_1(z)$ عناصر متعددة الطور للتابع وهو موضح في الشكل (5).



الشكل (5) نموذج البنية متعددة الطور

2.3. أساسيات المعالجة الرقمية متعددة المعدل: لفهم الأنظمة متعددة المعدل لابد من فهم كيفية تغيير معدل العينات، استخدمنا هنا لأجل تصميم البنية عمليتين أساسيتين وهما تخفيض معدل العينات (decrease the sampling rate) ورفع معدل العينات (increase the sampling rate) وفق معامل M [20][1][27].

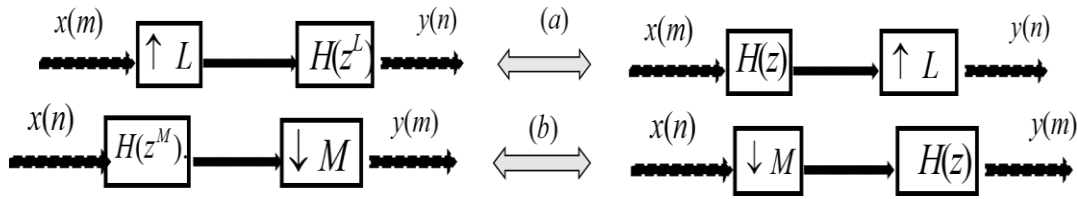
a. تخفيض معدل العينات (Down sampling): إن تخفيض معدل عينات الإشارة يكون مفيداً خصوصاً في العمليات التي يكون فيها معدل العينات أكبر من عرض الحزمة، حيث يكون بمقدورنا أن نخفض كمية الحساب والذاكرة المطلوبة لتطبيق نظام DSP، إن إشارة الخرج $y(m)$ ستحتفظ بكل M عينة وتتجاهل الباقي، وبالتالي من الممكن صياغة عملية التخفيض كما في المعادلة (5):

$$\text{for } n=0, 1, 2, \dots, N, m=0, 1, 2, \dots, N/M. \quad y[m] = x[n]_{m=nM} \quad (5)$$

b. رفع معدل العينات (Up sampling): يتم رفع معدل العينات للإشارة بإقحام عينات ذات قيم صفرية بين العينات الأصلية. إن السبب الأساسي لزيادة معدل العينات على خرج نظام ما من أجل التوافق مع نظام آخر يعمل على تردد آخر لمعالجة الإشارة، يتم صياغة عملية رفع العينات كما يلي:

للدخل والخرج بمعامل L هو نسبة الخرج إلى الدخل: $N=0, 1, 2, \dots, N, m=0, 1, 2, \dots, N/L$. في هذه الحالة فإن تحدد العلاقة بين معدلات العينات

c. تعاريف نوبل (Noble Identities): تمثل خصائص تبديل مواقع المرشح مع رفع أو تخفيض معدل العينات، يبين الشكل (6) أدناه زوج من المخططات الصندوقية المتكافئة التي تصف تعاريف نوبل لزيادة المعدل، إن $H(z^L)$ و $H(z^M)$ هي استجابات ترددية معدلة (up sampled impulse response) العينة للمرشح $H(z)$ [20][28].



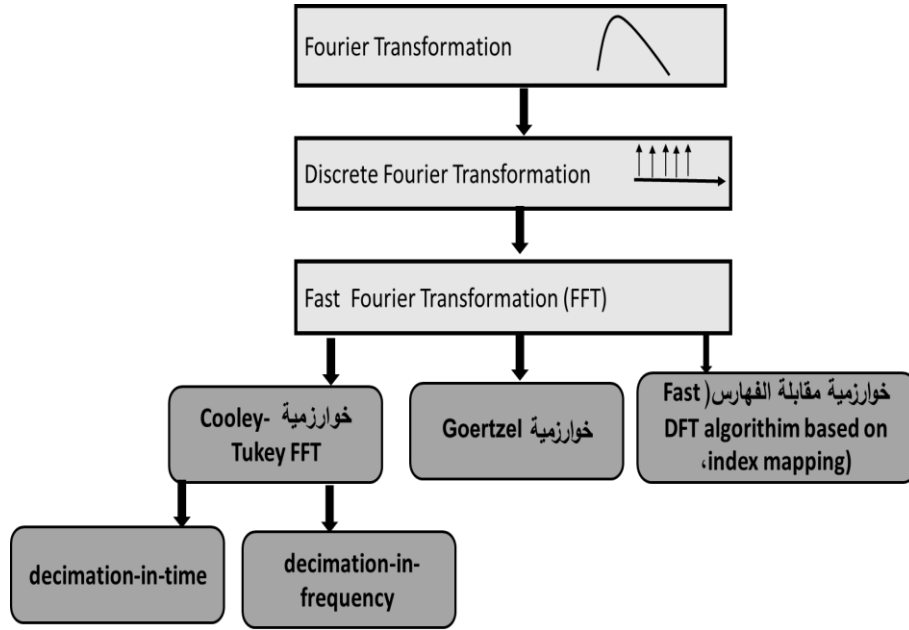
الشكل (6) تعاريف نوبل من أجل الاستيفاء (a) من أجل التخفيض (b)

3.3. تحويل فوريير السريع (Fast Fourier Transform (FFT):

إن تحويل فوريير المستمر هو عبارة عن عملية تحويل تابع لمتغير حقيقي إلى متغير من نوع آخر، يدعى التابع الجديد بالتمثيل الترددي للتابع الأصلي، بالمقابل تختص معالجة الإشارة الرقمية بمعالجة الإشارات المتقطعة زمنياً على فواصل زمنية منتظمة، إن الصيغة المعدلة لتحويل فوريير تعرف بتحويل فوريير المتقطع لأجل الإشارات المتقطعة وهي تستخدم لتطبيق الطي الخطي لسلسلتين والترشيح الرقمي، والتحليل الطيفي، توصف المعادلة (6) التعريف الحسابي له [1] [29]:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i k n}{N}}, k = 0, \dots, N-1 \quad (6)$$

تدعى خوارزميات التسريع لتحويل فوريير المتقطع (DFT) بخوارزميات تحويل فوريير السريع (FFT) التي تعتمد التجزئة المتلاحقة والموضحة بشكل مختصر في الشكل (7).



الشكل (7) مخطط تصنيف خوارزميات فوريير السريع

حيث ينقسم حساب N-point DFT إلى حسابات DFTs من قياس أصغر إما وفق المحور الزمني أو الترددي ويتم استثمار فائدة التكرار والتناظر للحساب العقدي، بما ينتج حفظ كبير في التعقيد الحسابي لأجل العدد الإجمالي من عمليات الضرب والجمع الذي نحتاجه لحساب N DFT عينة، إن التكلفة الحسابية لتحويل فوريير المتقطع ل N عينة من مرتبة $O(N^2)$ ولأجل FFT تكون $O(N \log_2(N))$ [29][1].

4.3. خوارزمية FFT ولغة تبادل الرسائل (message passing interface MPI):

تدعم MPI تنفيذ مهام مختلفة بصورة متزامنة، إن كل عقدة لديها فضاء عنونة خاص بها وتشكل هذه العقد معالجات مستقلة، ينجز التفاعل بين العمليات التي تعمل على عقد مختلفة باستخدام تمرير الرسائل ومن هنا جاءت التسمية message passing، التي تستخدم لنقل معطيات العمل، وتزامن الأحداث بين العمليات، وفي صيغته العامة تدعم مخططات تمرير الرسائل تنفيذ برنامج مختلف لأجل كل عقدة. حيث يتم انجاز التبادلات باستخدام عمليات الإرسال والاستقبال للرسائل (send, receive)، والتي يجب أن تحدد عنوان الهدف، كما يجب تخصيص عنوان فريد ID لكل من العمليات المتاحة ضمن الحاوية التي تنفذ البرنامج الفرعي، يحدد التابع numprocs الذي يحدد عدد العمليات التي تتشارك الفضاء الفرعي، تتضمن الأمثلة حول المنصات الفرعية التي تدعم مخطط تمرير الرسائل IBM SP, SGI Origin 2000 وعناقيد محطات العمل [30, 31]، كما يوضح الجدول (2) عينة مختصرة من صيغ توابع MPI.

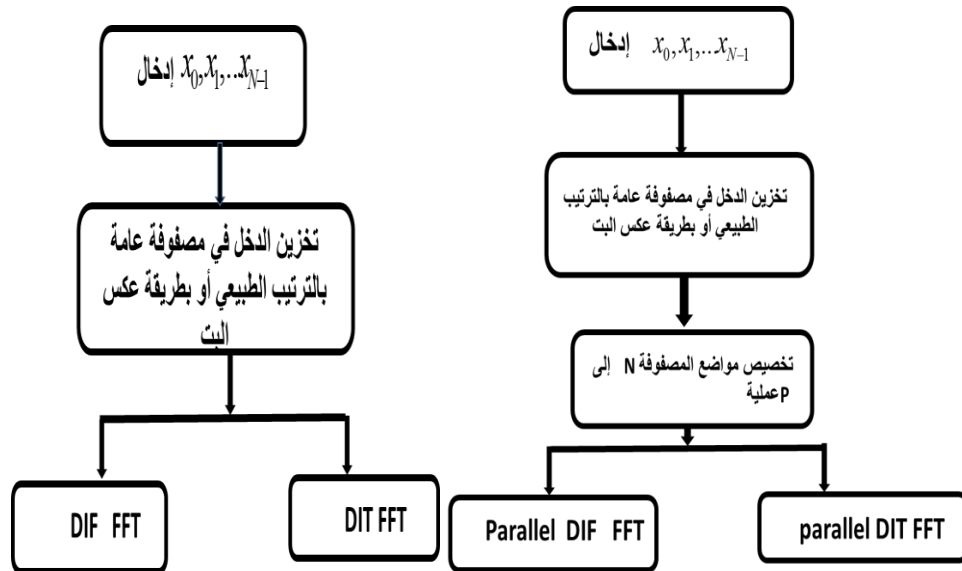
الجدول (2) ملخص مختصر لتوابع MPI الأساسية

تابع التهيئة، الانهاء	MPI_Init (&argc, &argv), MPI_Finalize ()
عدد العمليات الفرعية	MPI_Comm_size (MPI_COMM_WORLD, &size)
تحديد رتبة العملية	MPI_Comm_rank (MPI_COMM_WORLD, &myrank)
تابع الإرسال مع تحديد البارامترات اللازمة	int MPI_Send (void *buf, int count, MPI_Datatype dtype, int dest, int tag, MPI_Comm comm)

تابع التهيئة، الانتهاء	MPI_Init (&argc, &argv), MPI_Finalize ()
تابع الاستقبال مع بارامترات الاستقبال المناسبة	int MPI_Recv (void *buf, int count, MPI_Datatype dtype, int source, int tag, MPI_Comm comm, MPI_Status *status)

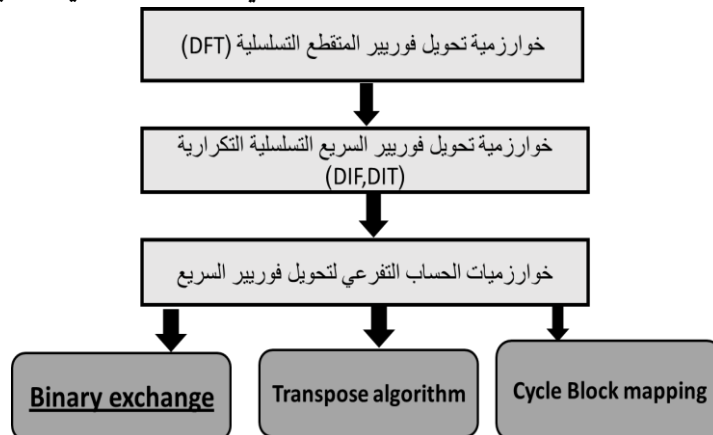
5.3. الحساب التفرعي لخوارزمية FFT:

عند تقسيم عملية حساب DFT على نحو متماثل إلى حسابات أصغر بطريقة تكرارية فإن الصيغة التكرارية لخوارزمية FFT التسلسلية تكون مكلفة أيضاً، وبناء عليه يكون التطبيق التفرعي هو الخيار الأفضل، لكن قبل توصيف الخوارزمية التفرعية لابد من تقييم الصيغة التكرارية للخوارزمية التسلسلية والتي فيها لأجل كل مستوى يتم انجاز N عملية ضرب وجمع عقدي [32]، كما يشير الشكل (8) إلى الفرق بين كل من الاليتين. يتم في النسخة التسلسلية إعادة استخدام نتائج حسابات من مرحلة سابقة، بالمقابل فإن هذه النتائج لا يمكن إعادة استخدامها في النسخة التفرعية بسبب كونها ناتجة عن وحدات معالجة مختلفة فقد يتم انجاز بعض الحسابات مرات عديدة على صعيد المعالجات المختلفة.



الشكل (8) نموذج الحساب التسلسلي لـ FFT (a) نموذج الحساب التفرعي لـ FFT (b)

يشير الشكل (9) إلى ملخص عن خوارزميات الحساب التفرعي لخوارزمية تحويل فوريير السريع [32][31].



الشكل (9) مخطط ملخص تصنيف خوارزميات الحساب التفرعي لأجل FFT

6.3 استخدام شريحة الراسبييري في بناء عنقود Beowulf لتطبيقات الحساب التفرعي:

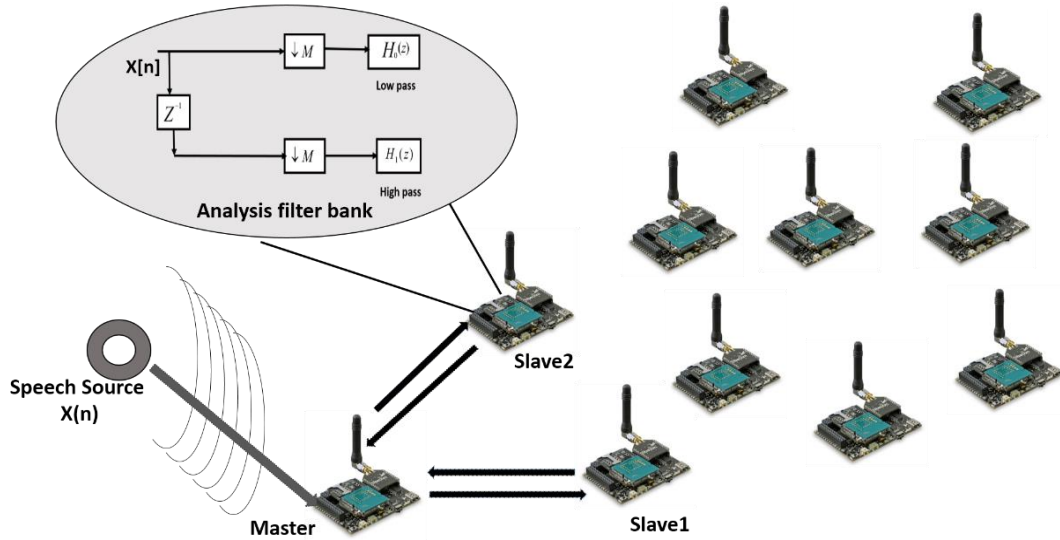
لقد أصبحت عناقيد Beowulf من أكثر نماذج بنى الحساب العنقودي (clustering computation) شيوعاً، حيث يشتق مصطلح Beowulf من ملحمة شعرية من نفس الاسم، ومن هنا انطلق اسم معرف لنظام حسابي تفرعي مكون من حواسيب جاهزة مرتبطة معاً بشبكة لتعمل معاً كحاسوب واحد وتعرف بالعقد، تعتمد على نظام تشغيل مفتوح المصدر كنظام لينوكس كما لديها معالج خاص بها وذاكرة تخزينية ومنافذ ارتباط دخل خرج [33]. يتم اتخاذ عقدة سيد ترتبط بالشبكة الخاصة والشبكات العامة تكون المدير للعنقود أما باقي العقد فهي بمثابة عقد حساب، حيث تعد العقدة السيد مسؤولة عن التحكم بمحتوى العنقود، في معظم الحالات فإن عقد الحساب يتم إعدادها والوصول إليها والتحكم بها باستخدام العقدة السيد، حيث تكون بقية العقد بمثابة موارد إضافية للمعالجة والتخزين، تستثمر العناقيد سرعة المعالج على مستوى العقدة والشبكات السريعة المطورة كبنية تحتية [34]. عندما يتطلب البرنامج الواحد تنفيذ مهام عديدة يمكن تشغيلها بشكل منفصل ومتزامن حينها يمكن تطبيقه على بيئة العنقود، يحدث هنا اختزال في زمن التنفيذ بسبب أن كل عقدة داخل العنقود تستطيع تشغيل مهمة واحدة ضمن بيئة الحساب التفرعي.

أنتج التطور في تكنولوجيا أنصاف النواقل حواسيب مصغرة بمقدورها الارتباط معاً وفق نموذج العنقود مما يشكل أحد الأعمدة الأساسية لتحقيق نظام الحساب التفرعي، هناك عدد كبير من الحواسيب المصغرة المحققة على مبدأ الحاسب على شريحة واحدة، حيث تعد الراسبييري كنموذج لذلك تم إنشاؤه بواسطة فريق من المطورين في بريطانيا لأهداف تعليمية، تمتلك خصائص وميزات على صعيد العتاد الصلب مع إمكانية تحقيق الاتصال بشبكة Ethernet أساساً جيداً لتشكيل العنقود والدعم لأجل الحساب التفرعي [34].

إن تجميع عقد الراسبييري وتحقيق اتصال فيما بينها يشكل حاسوب تفرعي فائق الأداء، إضافة لبعض الفوائد الهامة مثل الحجم الصغير مع تكلفة واستهلاك منخفض للطاقة وعامل توليد حراري منخفض، مما يجعل منها حجر أساس لبناء عناقيد من الحواسيب فعالة الطاقة وقابلة للنقل، تتضمن بعض الفوائد الأساسية مثل سرعة المعالجة، المرونة، الموارد المتاحة بدرجة كبيرة [35]. عند تقييم تطبيق ترشيح سوبل لاكتشاف الحافة (Sobel Filter Edge Detection) من أجل البيئة العنقودية السابقة بينت النتائج فائدة استثمار الحساب التفرعي في تحسين الأداء [36] تمت البرمجة هنا باستخدام اللغة C إلا أنه من المتاح استخدام لغة Python في تحقيق تطبيقات أخرى [37].

4. النتائج والمناقشة:

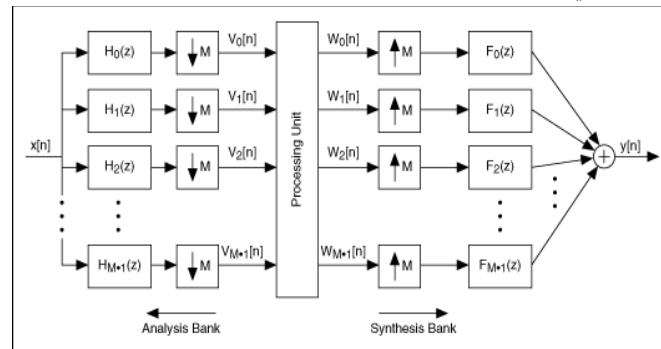
يبين الشكل (10) الآتي تصورا مبدئيا لشبكة WSN مع الإشارة إلى نقاط الدراسة الأساسية في البحث:



الشكل (10) نموذج التطبيق المقترح من أجل WSN مع نقاط العمل على مستوى العقدة والشبكة

1.4. التصميم البنوي على مستوى العقدة:

قمنا بتحقيق نموذج بنية تؤدي وظيفة بنك المرشحات لأجل مرحلة التحليل (الإرسال) والتركيب (الاستقبال). وقد تم ذلك انطلاقاً من الدراسة الرياضية المنجزة مسبقاً في المرجع [38] لبنك المرشحات الخاص بعملية التحليل، وبناء عليه تم استنتاج الصيغة الرياضية لمرحلة التركيب حيث يوضح الشكل (11) نموذج عام لبنك المرشحات لأجل كل من مرحلي التحليل والتركيب.



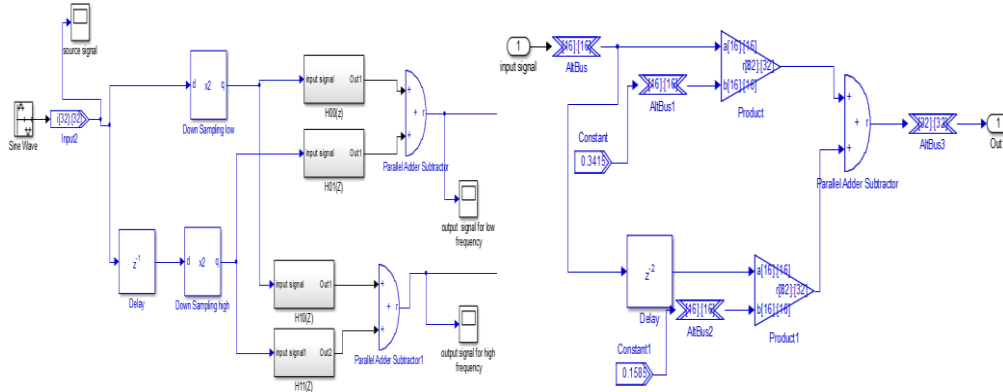
الشكل (11) بنك المرشحات لأجل مرحلة التحليل والتركيب

استخدمنا هنا في المثال العددي التابع lagrange half-band filter مع سبعة معاملات وبالتالي نحصل على توابع الترشيح من أجل بنك المرشحات الخاص بمرحلة التحليل كما في المعادلة (6):

$$H_0(z) = 0.3415 + 0.5915z^{-1} + 0.1585z^{-2} - 0.0915z^{-3} \quad (7)$$

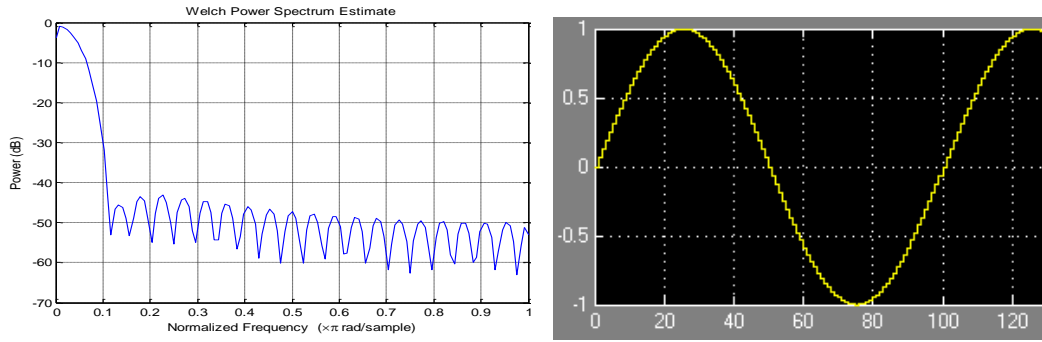
$$H_1(z) = 0.0915 + 0.1585z^{-1} - 0.5915z^{-2} + 0.3415z^{-3}$$

عند تطبيق إعادة صياغة حسابية وفق مفهوم Polyphase من أجل كل من تابع النقل الخاص بتمرير التردد المرتفع والمنخفض، يكون بالإمكان استنتاج مصفوفة عناصر Polyphase من أجل بنك المرشحات للتحليل، تم في البحث [28] تقديم دراسة رياضية تفصيلية حول الخطوات الرياضية لاستنتاج العناصر متعددة الطور وتوابع النقل لمرحلة التركيب ومحاكاة البنية الممثلة لأجل ذلك باستخدام محاكي DSP builder 15.1، يوضح الشكل (12) بنية بنك المرشحات للتحليل مع نموذج بنية العنصر متعدد الطور.

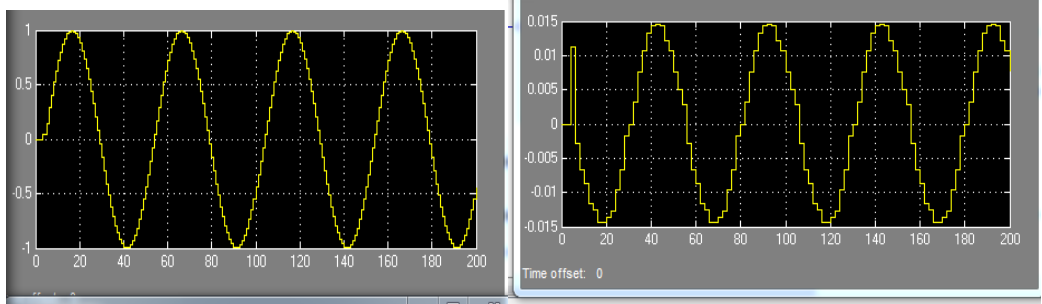


الشكل (12): نموذج المحاكاة لعنصر polyphaser (a) البنية المحاكاة لأجل بنك المرشحات للتحليل (b)

لدى تمرير إشارة مصدر ذات مطال قيمته الواحد يتبين أن معظم طاقة إشارة الدخل ضمن نطاق تمرير الفرع المنخفض في حين أن جزء ضئيل من طيفها يقع ضمن النطاق الترددي المرتفع كما يوضح الشكل (13). أيضاً يوضح الشكل (14) شكل الإشارة لأجل كل من فرع التمرير العالي والمنخفض.

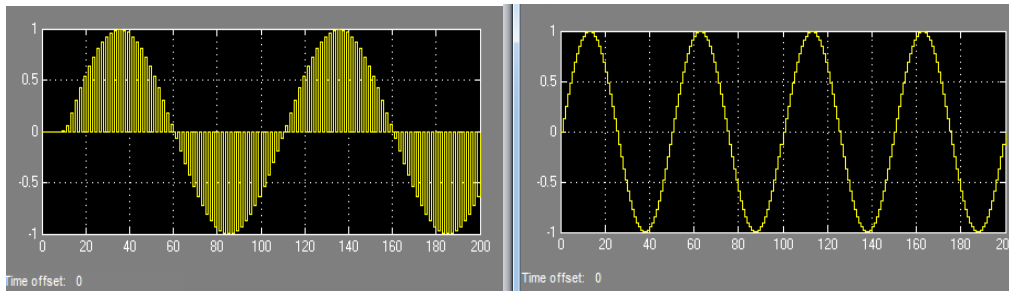


الشكل (13) نموذج إشارة المصدر (a) تقييم طاقة إشارة المصدر باستخدام التابع pwelch (x) (b)



الشكل (14): نموذج الإشارة في فرع التمرير العالي (a) نموذج الإشارة في فرع التمرير المنخفض (b)

تحقق البنية المصممة شرط إعادة البناء التام في مرحلة التركيب للإشارة كما في الشكل (15).

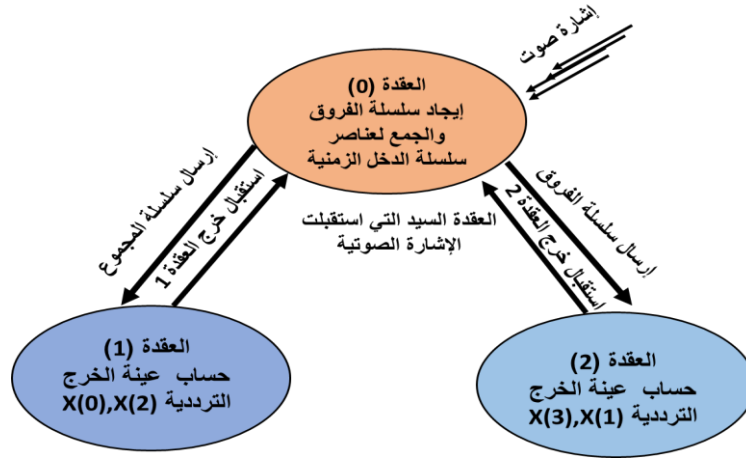


الشكل (15) نموذج إشارة المصدر (a) نموذج الإشارة المستعادة لدى المستقبل (b)

2.4. المعالجة الحسابية التفرعية على مستوى الشبكة:

لقد قمنا هنا بتطبيق تحويل فوريير السريع باستخدام المفاهيم النظرية للحساب التفرعي وتوابع (MPI) الخاصة باللغة C من الجانب البرمجي، كما تم توزيع عمليات الحساب لسلسلة عينات الخرج الترددية إلى عمليتين وتخصيص المهام الحسابية بطريقة عادلة من أجل كل سلسلة.

يشير مصطلح العملية (Process) إلى واجهة المعالجة أو الحساب التي تنجز المهام، استخدمنا هنا ثلاث عمليات لإنجاز مراحل الحساب التفرعي للإشارة الرقمية، فالعقدة المستكشفة للإشارة الصوتية تعد بمثابة العقدة السيد حيث تقوم بإرسال سلسلي الفرق والجمع للعينات الزمنية من الإشارة الرقمية المكتشفة إلى عقدتين تعد كل منهما بمثابة التابع للعقدة المستكشفة للمشاركة بإنجاز حساب FFT تفرعياً، ليعاد لاحقاً تجميع النتائج في العقدة المستكشفة (السيد)، كما يوضح الشكل (16) سيناريو الحساب التفرعي المقترح.



الشكل (16) سيناريو الحساب التفرعي لأجل FFT-DIF

استخدمنا هنا التجزئة التكرارية (recursive decomposition)، من ناحية تكرار عمليات الحساب على مراحل متعاقبة $\log(n)$ حيث n حجم سلسلة الدخل، تتم معالجة الحساب بطريقة فرق تسد (divide-conquer)، حيث تنتج استراتيجية التقسيم والتفريق تزامن تلقائي، وعند تجزئة معطيات الخرج فإن كل عنصر من الخرج يمكن حسابه بصورة مستقلة عن البقية كتابع لعينات الدخل، وبذلك فإن تقسيم معطيات الخرج ينتج أوتوماتيكياً التقسيم إلى مهام حيث يخصص لكل مهمة حساب جزء من عينات الخرج. يتم تخصيص المهام إلى عمليات التنفيذ وفق آلية التخطيط mapping، يلعب هذا التخصيص دوراً هاماً في تحديد فعالية الخوارزمية التفرعية الناتجة. استخدمنا هنا حالتين للحساب التفرعي (4-point FFT, 8-point FFT) ولأجل كليهما اشتركت ثلاث عمليات فقط في انجاز الحساب بما يعني أنه مع تزايد عدد النقاط الواجب حسابها يتزايد الحمل الحسابي لكل عقدة إلا أن التوزيع يبقى عادلاً.

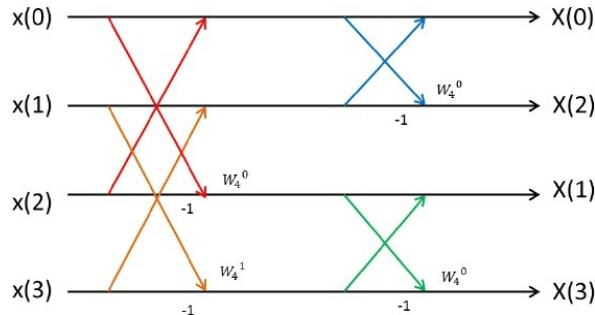
1.2.4. السيناريو الأول: استخدمنا 4-point FFT لسلسلة من عينات إشارة صوتية (أحادية البعد)، حيث

اعتمدنا السلسلة $x[n]$ المكونة من أربع عينات للإشارة الصوتية موضحة في الجدول (3) الآتي:

الجدول (3) قيم عينات الإشارة الصوتية لأجل إشارة الدخل الصوتية

$X[n]$	$X[0]=-0.00616455078125000$	$X[1]=0.0750427246093750$
	$X[2]=-0.0311584472656250$	$X[3]=0.00616455078125000$

وفق الصياغة الرياضية الموضحة في الشكل (17):



الشكل (17): خوارزمية FFT للتقسيم في التردد من 4-points

يوضح الجدول (4) نتيجة الحساب التسلسلي لتابع الماتلاب $\text{fft}(x[n])$ والحساب التفرعي لدى العملية (0):

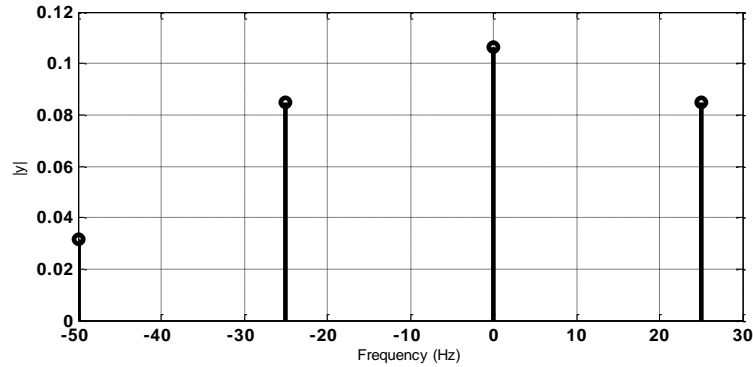
الجدول (4) نموذج الخرج التفرعي والتسلسلي لأجل 4-point

fft (x)		Process (0) results	
FFT[0]	-0.1062-0.0000*i	FFT[0]	-0.106201-0.000000*i
FFT[1]	0.0250+0.0812*i	FFT[1]	0.024994+0.081207*i
FFT[2]	0.0316+0.0000*i	FFT[2]	0.031555+0.000000*i
FFT[3]	0.0250-0.0812*i	FFT[3]	0.024994-0.081207*i

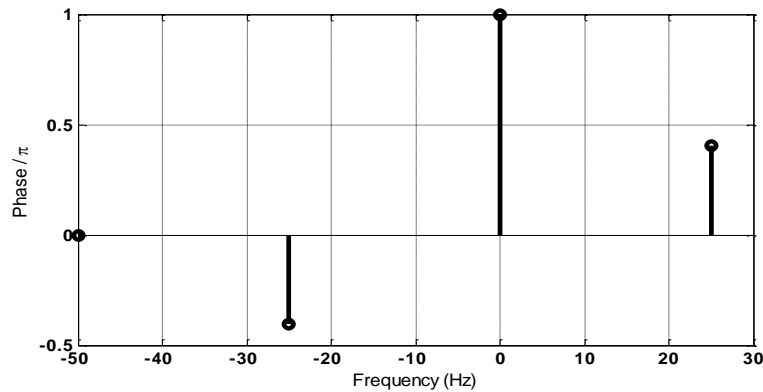
لدى تطبيق سلسلة القيم نفسها من أجل تابع حساب تحويل فوريير السريع التسلسلي $\text{fft}(x)$ نحصل على خرج تقريبي مماثل كما هو مبين في الجدول (4):

من الممكن استعراض منحنى المطالات لعينات الخرج الترددية الشكل (18) مع تردد أخذ العينات $F_s=100$.

أيضاً يوضح مخطط الطور لعينات الخرج كما في الشكل (19):



الشكل (18): مخطط المطال لهذه العينات



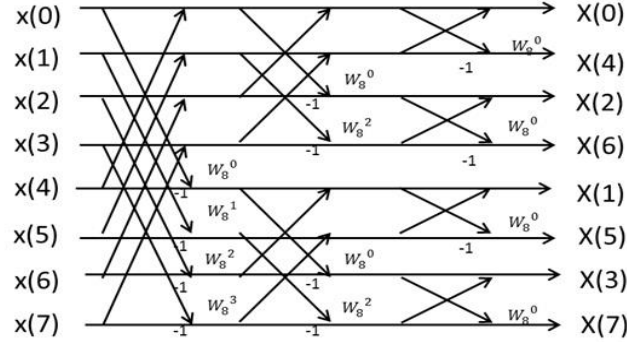
الشكل (19) مخطط الطور لعينات الخرج الترددية

2.2.4 السيناريو الثاني: استخدمنا 8-point FFT لأجل سلسلة من ثمانية عينات للدخل كما في الجدول (5)

وفق الصياغة الرياضية لنموذج Butterfly الموضحة بالشكل (20):

الجدول (5) قيم عينات إشارة الدخل الصوتية

X[n]	X[0]=-0.00616	X[1]=-0.07504	X[2]=-0.03116	X[3]= 0.006165
	X[4]= 0.038086	X[5]= 0.01886	X[6]=-0.02502	X[7]=-0.03116



الشكل (20) خوارزمية FFT للتقسيم في التردد من 8-points

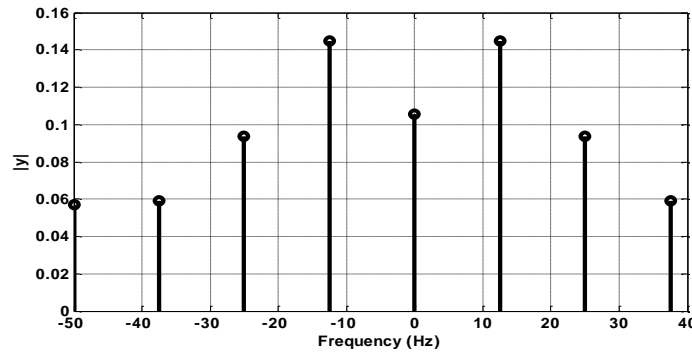
حيث يكون الخرج التسلسلي بواسطة تابع الماتلاب fft(x[n]) والخرج التفرعي النهائي لدى العقدة (0) عند

تخصيص ثلاث عمليات، كما هو مبين في الجدول (6):

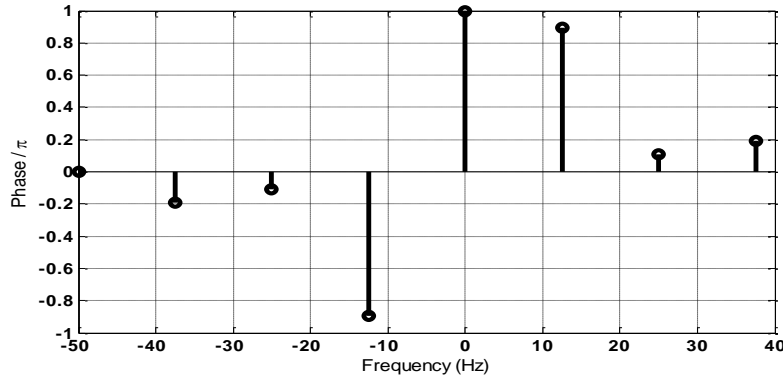
الجدول (6) نموذج الخرج التفرعي و التسلسلي في ماتلاب لأجل 8-pont FFT

fft(x)		Process (0) results	
FFT[0]	-0.1054 + 0.0000i	FFT[0]	-0.105438+0.000000*i
FFT[1]	-0.1370 + 0.0461i	FFT[1]	-0.137041+0.046142*i
FFT[2]	0.0881 + 0.0312i	FFT[2]	0.088104+0.031189*i
FFT[3]	0.0485 + 0.0339i	FFT[3]	0.048540+0.033874*i
FFT[4]	0.0569 + 0.0000i	FFT[4]	0.056915+0.000000*i
FFT[5]	0.0485 - 0.0339i	FFT[5]	0.048540-0.033874*i
FFT[6]	0.0881 - 0.0312i	FFT[6]	0.088104-0.031189*i
FFT[7]	-0.1370 - 0.0461i	FFT[7]	-0.137041-0.046142*i

يوضح الشكل (21) منحنى المطالات لعينات الخرج الترددي، والشكل (22) يوضح منحنى الطور.



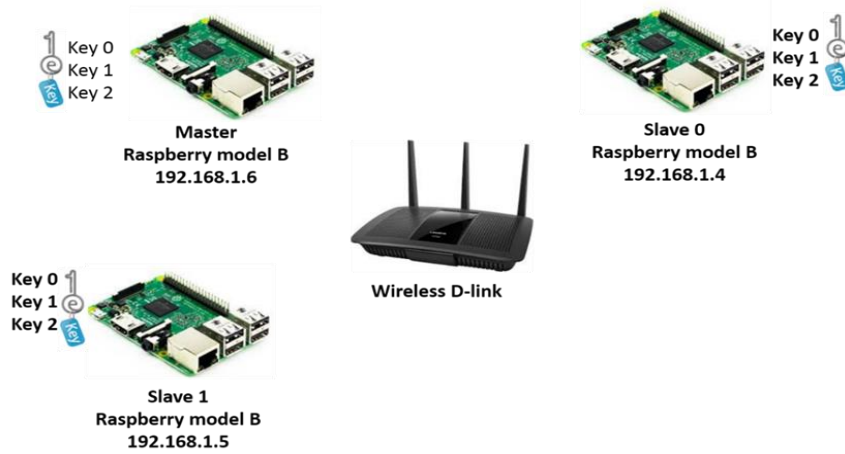
الشكل (21) مخطط مطال عينات الخرج



الشكل (22): مخطط الطور

3.4 اختبار النتائج باستخدام عنقود الحواسيب Beowulf:

تم في البداية إعداد الحزم البرمجية اللازمة من أجل بناء عنقود الحواسيب حيث اعتمدنا اللغة Python التي تعد اختيار مثالي لكتابة البرامج عالية المستوى للتطبيقات العلمية واسعة النطاق وقيادة المحاكاة في البنى التفرعية، كما أنها لغة قوية جداً تسمح للمستخدمين ببناء بيئة برمجية خاصة بهم وتطوير احتياجاتهم. تزود MPI في بايثون حزم لأجل لغة تمرير الرسائل (MPI) ويسمح لأي برنامج بايثون باستثمار العمليات على معالجات متعددة، من التحديثات الأخيرة لتطوير MPI في Python هو حزمة تسمح لمعيار MPI بتشغيل التطبيق على عدة عمليات حيث تمكن بذلك التطبيقات العامة من استثمار المعالجات المتعددة، يوضح الشكل (23) التكوين العام لعنقود الحواسيب باستخدام شريحة الراسبييري.



الشكل (23) نموذج العنقود التفرعي باستخدام شريحة الراسبييري

تمت برمجة خوارزمية الحساب التفرعي لتحويل فورير السريع باستخدام توابع البايثون التفرعي (`send()`, `receive()`) لإنجاز تبادل المعطيات بين العقدة السيد والعقد التابعة الأخرى أثناء تنفيذ المهام التفرعية. لقد أنجز التطبيق من أجل حساب أربع وثمانية عينات ترددية وفق الخوارزمية التسلسلية الخاصة بتحويل فورير السريع التي اعتمدت برمجة المعادلات الرياضية اللازمة التي تمثل وحدة الحساب (Butterfly) لتحويل العينة على المحور الزمني إلى عينة مقابلة من محور التردد والمطبقة على بيئة فيزيائية مكونة من حاسوب مصغر ممثل بشريحة راسبييري واحدة، بمقابل ذلك وفي حال تم تطبيق الخوارزمية التفرعية على بيئة فيزيائية للحساب التفرعي مكونة من ثلاث شرائح راسبييري على هيئة عنقود، تمثل كل شريحة عقدة حساب ضمن النظام التفرعي، فكانت نتائج الحساب التفرعي موضحة في الجدول (7).

الجدول (7) نتائج التنفيذ الزمنية للحساب التسلسلي والتفرعي

عدد العينات المحسوبة	زمن التنفيذ التسلسلي	زمن التنفيذ التفرعي		
		العقد السيد	العقدة التابع الأولى	العقدة التابع الثانية
أربع عينات	0.000233	0.0000470	0.00017940	0.00016662
ثمانية عينات	0.000399	0.0001552	0.0001006	0.0002672672

تشير النتائج من أجل حساب أربع عينات ترددية إلى انخفاض زمن التنفيذ لأجل كل عقدة تفرعية مقارنة بزمن التنفيذ التسلسلي للعقدة الواحدة، أيضاً فإن سبب انخفاض زمن التنفيذ بالنسبة للعقدة السيد مقارنة ببقية العقد هو دورها الحسابي الذي يقتصر على حساب مجموع وفرق عينات الإشارة الصوتية المكتشفة. أيضاً عند تطبيق نموذج مماثل من الخوارزمية التفرعية من أجل حساب ثماني عينات، يعلل انخفاض زمن التنفيذ لدى العقدة التابع الأولى مقارنة بالبقية باختزال الحدود الصفرية من المعادلات الرياضية المستخدمة في حساب عينات الخرج الترددية عند الضرب بتوابع الجيب والتجيب التي تنتج قيماً صفرية، إذاً نجد في كل من الحالتين انخفاض زمن الحساب التفرعي على مستوى العقدة في المنظومة التفرعية مقارنة بزمن الحساب التسلسلي لأجل العقدة الواحدة.

من الممكن تقييم بارامترات أخرى كالتسريع في زمن التنفيذ (Speedup) وهنا تكون (n=2)، يوضح الجدول (8) قيم التسريع والفعالية لحالات الحساب بناء على تطبيق خوارزمية تحويل فورير السريع التفرعية.

الجدول (8) قيم التسريع والفعالية لخوارزمية FFT التفرعية

	$S(n) = T(1)/T(n)$	$E = S(n)/n$
أربع عينات	1.298794367828124	0.649397183914062
ثمانية عينات	1.492595896521123	0.7462979482605614

يشير ذلك إلى تحسن قيم التسريع والفعالية عند تزايد عدد العينات المحسوبة وفق خوارزمية FFT التفرعية.

بالرجوع إلى الأهداف المطروحة في بداية البحث وبالمقارنة مع النتائج الواردة في مراحل الاختبار من إشارات المحاكاة في الدخل/الخرج كمرحلة أولى وقيم الحساب العددي في المرحلة الثانية وبارامترات تقييم الأداء في المرحلة الثالثة نجد توافقاً من ناحية إعادة تحقيق إعادة البناء التام للإشارة الصوتية مع بنية تنفيذ عدد عمليات أقل وبطريقة متوازنة إضافة إلى تخفيض زمن التنفيذ وتحسين التسريع والفعالية مع المحافظة على دقة الحساب العددي من أجل المرحلة الثانية والثالثة، بما يعني ذلك من تحقيق بنية تفرعية فعالة الطاقة على عدة مستويات.

5. الخلاصة:

اعتمد البحث في المرحلة الأولى على تصميم بنك المرشحات باستخدام تقنية تعدد الطور، مع تطبيق التخفيض في عدد العمليات الحسابية المنجزة بواسطة نقل المخفض إلى دخل المرشح في بنك التحليل، ومراعاة الشروط الرياضية لتحقيق إعادة البناء التام لإشارة الدخل.

في المرحلة اللاحقة وبخصوص خوارزمية تحويل فورير السريع التي تعد بمثابة خوارزمية فعالة حسابياً لحساب عينات DFT الترددية لتخفيض تعقيد العمليات الحسابية من n^2 إلى $n \log(n)$ ، وذلك بالنسبة للمصيغة التسلسلية لهذه الخوارزمية التي تم تحويلها إلى الصيغة التفرعية، باستثمار العلاقات الرياضية المعبرة عن نموذج Butterfly وفق مراحل الحساب المتعاقبة وانطلاقاً من كون النظام التفرعي هو تركيبة من خوارزمية وبنية تفرعية

يتم تطبيقه عليها، قمنا في هذا البحث بمحاكاة النموذج الحسابي التفرعي لأجل FFT بالانتقال من الخوارزمية التسلسلية إلى الخوارزمية التسلسلية التكرارية، ثم إلى التخطيط الحسابي التفرعي، مع اعتماد آلية التوزيع المناسبة تم تجنب التبادل بين العمليات التي تقوم بإنجاز المهام الحسابية على التوازي أثناء التنفيذ على حساب إشراك العقدة السيد في عملية إيجاد الفرق والجمع الرياضي لعينات سلسلة الدخل، وتعد بذلك مناسبة للتطبيق في البيئات التي تعاني من محدودية الطاقة مثل WSN.

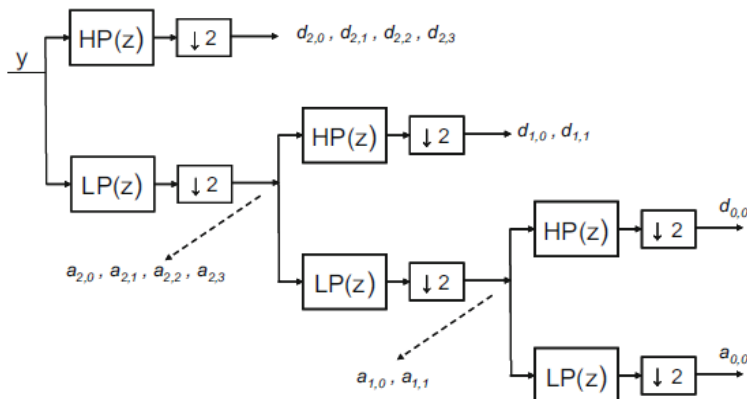
لإثبات نتائج الدراسة النظرية للخوارزمية التفرعية المقترحة في المرحلة الثانية قمنا ببرمجة الخوارزمية التفرعية بلغة البايثون، واستخدام توابع الحساب التفرعي الخاصة بها وتطبيقها وفق عنقود من شرائح الراسبيري من الصنف Beowulf، وتقييم أزمان التنفيذ التسلسلية والتفرعية لأجل المهام الحسابية تلك، وقد أثبتت نتائج التطبيق العملي عن جدوى استثمار الحوسبة التفرعية في تخفيض كل من الزمن والطاقة اللازمة لعمل عقدة الحساس الأمر الذي يعد مناسباً لتجاوز قيود تطبيق الاستكشاف باستخدام الإشارة الصوتية في شبكات الحساسات اللاسلكية.

6. التوصيات:

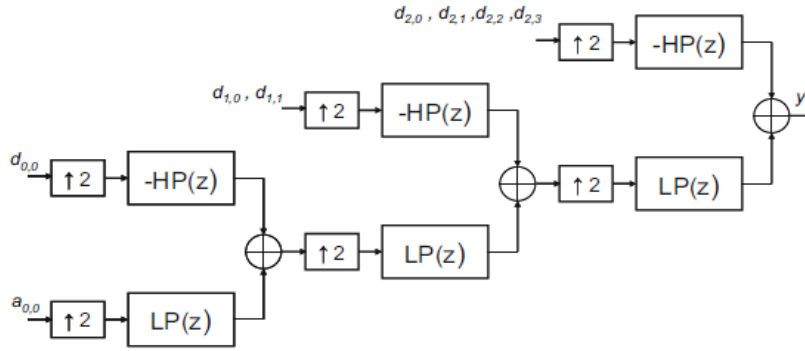
تحقق تقنية تعدد الطور حفظ حسابي لبني المرشحات الرقمية محدودة الاستجابة، وبالتالي بنك المرشحات التي تعتمد FIR، لأن التمثيل متعدد الطور يتيح لنا إعادة ترتيب حسابات الترشيح بحيث يتم تخفيض حمولة الحساب خلال وحدة الزمن، من المفضل والمهم في التطبيقات محدودة الموارد والتي تعتمد بتغذيتها على البطاريات، أن نطبق بنية بنك المرشحات وفق هذا المفهوم لنضمن الاستخدام الفعال للموارد المحدودة المتاحة. إن العمل على تخفيض التبادل بين العمليات في البيئة التفرعية من ناحية تجنب عمليات الإرسال والاستقبال بين عقد الحساسات اللاسلكية التي تعاني من قيد الطاقة بالدرجة الأولى، وإنجاز الحساب على نحو زمني أسرع، بما يعني اختزال في الزمن اللازم لحساب العينات الترددية مقارنة بزمن الحساب التسلسلي وتحقيق التوزيع العادل والمدرّوس لحمولة الحساب بين العقد المشتركة في إنجاز التطبيق التفرعي الأمر الذي يعد مناسباً لمتطلبات بيئة عمل WSN الداعمة للوسائط المتعددة.

7. الأعمال المستقبلية:

إن بنية بنك المرشحات المصممة في هذا البحث، والتي تحقق إعادة البناء التام للإشارة الصوتية تدعى اصطلاحاً 'lazy wavelet'، الذي يتمثل بفصل الإشارة إلى مجموعتين من العينات الزوجية والفردية، ويدعى بنفس الوقت التحويل متعدد الطور [20][39]، من الممكن التعبير عن الطريقة التكرارية لتحقيق التجزئة وفق التحويل wavelet بواسطة بنك مرشحات ثنائي القنوات كما هو موضح في الشكل (24):



الشكل (24) تمثيل بنية wavelet في مرحلة التحليل باستخدام بنك المرشحات ثنائي القنوات أيضاً من أجل عملية التركيب فيتم تحقيقها وفق البنية الموضحة في الشكل (25):



الشكل (25) استعادة المعطيات في مرحلة التركيب وفق wavelet

تستخدم البنية السابقة في الحصول على (Multi resolution image) بحيث تكون خياراً مناسباً لتطبيقات معالجة الصورة.

وهذا على صعيد البنية، أما من ناحية الحساب المحلي على مستوى عقد الشبكة ويهدف تعزيز فعالية زمن الحساب التفرعي من خلال العمل على تخفيض أزمان التواصل بين العقد، يكون من الضروري تسليط الضوء إلى أهمية اعتماد آليات تواصل بين العقد (العمليات الحسابية) ثلاثم متطلبات الاتصال بالتزامن مع اقحام الدور الحسابي لعقدة الحساس، بمعنى أدق أنه عند تصور عقد الشبكة بمثابة وحدات معالجة ضمن منظومة معالجة تفرعية يقتضي الأمر حينئذ تحسين أنماط التواصل (على صعيد البروتوكولات في طبقة التوجيه) فيما بين العقد التي تنفذ المهام التفرعية.

قائمة المراجع:

- [1] Mitra, Kumar S, Kuo Y. Digital signal processing: a computer-based approach, 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 2006.
- [2] Li, Xiang-Yang. Wireless ad hoc and sensor networks: theory and applications. *History* 2008; 1 (1): 1-2.
- [3] Sohraby, Kazem, Minoli D, Znati T. *Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons; 2007.
- [4] El Kateeb, A, Ramesh A, Azzawi L. *Wireless sensor nodes processor architecture and design*. In: 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications-Workshops: IEEE; 2008.
- [5] Anane R, Bouallegue R, Raouf K. Medium access control (MAC) protocols for wireless sensor network: An energy aware survey. In: Proceedings of the Mediterranean Conference on Information & Communication Technologies 2015; Springer ;Cham, 2016. p. 561-569.
- [6] Kumari N, Patel N, Anand S, Bhattacharya PP. Designing low power wireless sensor networks: a brief survey. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering* 2013; 2 (9): 4448-4454.

- [7] Ali A W. Energy efficiency in routing protocol and data collection approaches for WSN: A survey. A survey. In: International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA2015); Noida, India ;IEEE; 2015. p. 540-545.
- [8] Shahzad K. Energy Efficient Wireless Sensor Node Architecture for Data and Computation Intensive Applications PhD thesis. Sundsvall, Sweden: Mid Sweden University;2014.
- [9] Azharuddin M, Jana PK. A distributed algorithm for energy efficient and fault tolerant routing in wireless sensor networks. *Wireless Networks* 2015; 21 (1): 251-267.
- [10] Zeng B, Dong Y. Applied Soft Computing. *An improved harmony search based energy-efficient routing algorithm for wireless sensor networks* 2016; 41 (): 135-147.
- [11] Karray F, Jmal M W, Abid M, BenSaleh M.S, Obeid AM. A review on wireless sensor node architectures. In: *International Symposium on Reconfigurable and Communication-Centric Systems-on-Chip (ReCoSoC)*; 9th 2014; IEEE; 2014. p. 1-8
- [12] Amuthavalli G, Gunasundari R. Analysis and Design of Subthreshold Leakage Power-Aware Ripple Carry Adder at Circuit-Level using 90nm Technology. *Procedia Computer Science*, 2015; 48, 660-665.
- [13] Valverde Alcalá J.FPGA-Based Wireless Sensor Node Architecture for High Performance Applications [PhD thesis]. Industriales;2012.
- [14] Amezzane I, Fakhri Y, El Aroussi M, Bakhouya M. FPGA based Data processing for Real Time WSN Applications: A synthesis. In: Proceeding of the First International Conference of High Innovation in Computer Science (ICHICS). 2016. p. 83-86.
- [15] Ickes N, Finchelstein D, Chandrakasan A. P. A 10-pj/instruction, 4-MIPS micropower DSP for sensor applications. In: IEEE Asian Solid-State Circuits Conference;2008 ; IEEE;2008. p. 289-292
- [16] Kasthuri Devi R, Maniraj kP. Low Power DSP architecture for Wireless sensor nodes using DVFS algorithm. *International Journal of Computer Science and Mobile Applications* November- 2014; 2 (11): 194-200.
- [17] Taner C, Gunagwera A, Cevik N. A survey of multimedia streaming in wireless sensor networks: progress, issues and design challenges. *International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)* September 2015; 7 (5): 95-100.
- [18] Ashwini N, Rao TK, Rao D S. Low power multiply accumulate unit (MAC) for DSP applications. *Int. J. Res. Stud. Sci. Eng. Technol. IJRSET* ;2015; 2 (8): 49-54.
- [19] Walravens C, Dehaene W. Low-power digital signal processor architecture for wireless sensor nodes. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems* 2013; 22 (2): 313-321.
- [20] Giron-Sierra JM. *Digital Signal Processing with Matlab Examples, Volume 2: Model-Based Actions and Sparse Representation*. Madrid, Spain: Springer; 2016.
- [21] Dhand G, Tyagi SS. Data aggregation techniques in WSN: Survey. 2nd International Conference on

- Intelligent Computing, Communication & Convergence (ICCC-2016);India; Procedia Computer Science 92; 2016, p. 378 – 384.
- [22] Canli T, Gupta A, Khokhar A. Power efficient algorithms for computing fast Fourier transform over wireless sensor networks. In: IEEE International Conference on Computer Systems and Applications; 2006;IEE: 2006. p. 549-556.
- [23] Li P, Dong W. Computation oriented parallel FFT algorithms on distributed computer. In: 3rd International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Programming;2010; IEEE; 2010. p. 369-373.
- [24] Tlelo-Cuautle E, de la Fraga L G, Rangel-Magdalen0 J.. Engineering applications of FPGAs. Springer: New York, NY, USA; 2016.
- [25] Al Safi A, Bazuin B. FPGA based implementation of BPSK and QPSK modulators using address reverse accumulators. In: IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON); 2016 7 th; IEEE: 2016. p. 1-6.
- [26] Mitrović D, Marković D, Randić S. Raspberry Pi module clustering and cluster application capabilities. 7th International Scientific Conference Technics and Informatics in Education 25-27th May 2018; (): 310-314.
- [27] Fliege NJ. *Multirate digital signal processing: multirate systems, filter banks, wavelets*. jermamy: Chichester: Wiley; 1994.
- [28] Cadena Pico JE. Perfect Reconstruction Filter Bank Structure Based On Interpolated FIR Filters [PhD thesis]. Virginia Tech;2016.
- [29] Jagtap V. Fast Fourier Transform Using Parallel Processing for Medical Applications[PhD thesis]. University of Akron;2010.
- [30] Gebali F. Algorithms and parallel computing. Hoboken, NJ: Wiley Online Library; 2011.
- [31] Kumar V. Introduction to parallel computing.: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.; 2002.
- [32] Chu E, George A. Inside the FFT black box: serial and parallel fast Fourier transform algorithms. United States of America: CRC Press; 1999.
- [33] Cicirello VA. Design, Configuration, Implementation, and Performance of a Simple 32 Core Raspberry Pi Cluster. arXiv preprint arXiv:1708.05264 2017; (): 1-9.
- [34] Dennis A K. Raspberry Pi super cluster. Birmingham-mumbai: Packt Publishing Ltd; 2013.
- [35] Wilcox E, Jhunjunwala P, Gopavaram K, Herrera J. Pi-crust: a Raspberry Pi cluster implementation. Technical report, Texas A&M University;2015.7p.
- [36] Govindaraj V. Parallel programming in Raspberry Pi cluster, A Design Project Report. School of Electrical and Computer Engineering, Cornell University; 2016.52p.
- [37] Dalcin, L D, Paz RR, Kler PA, Cosimo A. Parallel distributed computing using Python. Advances in Water Resources. 2011; 34 (9): 1124-1139.

- [38] Omleh y, albustany H, younesN. Design Efficient Arithmetic Filter Banks for Multirate Systems using Polyphase Finite Response Filter Architecture. Tartous university journal for research and scientific studies. 2019;3 (01):9-18.
- [39] Misiti M, Misiti Y, Oppenheim G, Jean-Michel Poggi JM. *Wavelet Toolbox™ User's Guide.*: Natick: The Math Works; 2015.