

تحديد هوية أهداف السونارات السلبية

الدكتور نضال كامل*

(قبل للنشر في 2000/8/17)

□ □ الملخص □

تلجأ حديثاً معظم دول العالم إلى حماية حدودها الإقليمية من انتهاك الغواصات والسفن الحربية الغربية لها، عن طريق نشر مجموعة من الحساسات Sensors على امتداد الشاطئ، ومن ثم ربط هذه الحساسات بحاسب مركزي، يقوم بتحليل المعطيات المستقبلية من مياه البحر وتحليلها، ومن ثم تحديد هوية الهدف البحري، كي يصار للتعامل معه.

تم خلال العقود الثلاثة الماضية التعامل مع عدد من خوارزميات التخمين الطيفي (Spectrum Estimation)، وذلك كحل لمسألة تحديد هوية الأهداف السونارية أو الرادارية (السونار جهاز يقوم بكشف وتحديد مواقع الأهداف المائية بواسطة الأمواج الصوتية).

سوف نقوم في هذا البحث باختبار اثنتين من أهم خوارزميات التخمين هذه، مبنيتين على أسس مختلفة عن مبادئ معالجة الإشارة الرقمية. حيث إننا سنقدم خوارزمية التخمين الطيفي المباشر، كممثل لما يدعى بالأساليب التقليدية، وذلك لأنه بالرغم من مرور حوالي العقود الثلاثة على تطوير هذه الخوارزمية، فإنها لاتزال تسيطر على مساحة كبيرة من التطبيقات العملية؛ وذلك نظراً لبساطتها وحملها الحسابي الصغير. أما أساليب التخمين العالية التمييز (High Resolution)، فسوف نمثلها في دراستنا هذه بواسطة الخوارزمية البارامترية Modified-FBLP. لقد تم التوصل إلى الخوارزمية الأخيرة هذه في العام 1985، وتعتبرها الأوساط العلمية من أهم الخوارزميات ذات دقة التمييز العالي في التخمين الطيفي.

قمنا في دراستنا هذه باختبار كلتا الخوارزميتين، والمقارنة بينهما من حيث الأداء والواقع العملي، وذلك في حالة مسجلات معطيات طويلة وقيم منخفضة لنسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR). وهو الواقع العملي للكثير من ظروف العمل السونارية، حيث تعاني الإشارات الصادرة عن الأهداف من الكثير من الضجيج المترافق، الذي يشوه طيف الإشارة المستقبلية، لدرجة تجعل من إعادة بناء هذا الطيف غاية في الصعوبة، وتمثل تحدياً علمياً كبيراً.

تبين النتائج التي توصلنا إليها أنه في حال توافر سجل معطيات كاف عن الإشارات المستقبلية، فإن الأساليب التقليدية تتفوق في أدائها على غيرها، الأمر الذي يبرر هيمنة هذه الأساليب على التطبيقات العملية.

*مدرس في قسم الهندسة الإلكترونية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية - سورية.

Identification of Passive Sonar Sources

Dr . Nidal Kamel*

(Accepted 17/8/2000)

□ ABSTRACT □

Recently, the majority of the coastal countries are trying to protect their regional water by mounting transducers along the coast area. Then the transducers are connected to a central processing unit for underwater source identification.

During the last three decades many estimation algorithms were proposed as a solution to the underwater object identification problem. In this paper two estimation algorithms based on different bases of signal processing were investigated.

The direct algorithm was introduced as a representative of the so called classical or Transform-based methods. Though three decades were elapsed since the proposition of this method as a solution to the spectrum estimation problem, it still dominates a large area of applications. This is due to the simplicity and the small computational burden of the method.

The parametric method is represented by the Modified-FBLP algorithm. The Modified-FBLP was proposed in 1985 and was considered one of the best high resolution spectrum estimation algorithms.

The performance and the practical potential of both algorithms were tested in case of long data records and low SNR values. This frequently occurs in SONAR environment, where underwater propagated waves suffer from different types of accompanying noise, which distorts its spectrum and makes the process of rebuilding it a matter of real challenge.

The results show clearly the superiority of the classical methods to the others in case of long data records. This justifies its domination over a wide area of applications that are concerned with underwater source identification problem.

*Lecturer at Department of Electronics, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

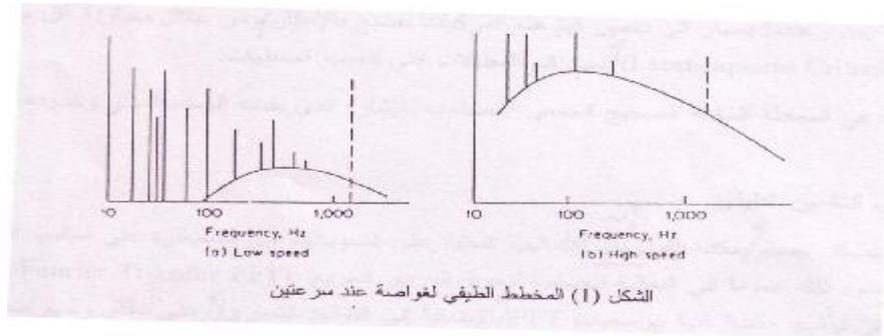
مقدمة:

في أحد أهم استخدامات السونار يتم تجميع المعطيات عن الهدف تحت-مائي، وذلك من أجل تحديد هويته (Source Identification). هذا، ويمكن تقسيم مصادر المعطيات تحت مائة إلى المجموعات الثلاث التالية [1]:

*ضجيج الآلات (Machinery Noise)، ويمثل ذلك الجزء من الضجيج الكلي الذي تتسبب به آلات الغواصة (الاهتزازات الناتجة من محركات الدفع والمحركات المساعدة التي ترسل عن طريق هيكل الغواصة إلى مياه البحر).

*ضجيج المروحة (Propeller Noise)، وهو مزيج من الضجيج الميكانيكي، والضجيج الهيدروليكي الناتج من تشكل فقاعات هوائية ضمن الماء وانفجارها، نتيجة لحركة المروحة ضمن الوسط المائي.

*الضجيج الهيدروديناميكي (Hydrodynamic Noise)، وينتج عن الحركة غير المنتظمة للماء خلف الغواصة، وتسببه من الناحية الفيزيائية جملة من العوامل الهيدروديناميكية. يبين الشكل (1) المخطط الطيفي لغواصة حربية عند سرعتين.



بشكل عام، يمكن القول إن أسلوب تحديد هوية الغواصة يتمثل في تخمين طيفها، أو على الأقل بعض من المركبات الخطية المؤلفة لهذا الطيف. حيث إن الغواصات عموماً تختلف في طيوفها، وذلك نظراً لاختلاف حجمها، وسرعاتها وتقنيات دفعها، والمعدات الكهربائية والميكانيكية التي تحملها على متنها، إضافة إلى أسلوب مناوئتها. عموماً، وبمجرد تخمين مواقع المركبات الخطية لطيف الغواصة الملتقطة، بواسطة حساسات السونار السلبي (Passive Sonar)، فإننا نستطيع تحديد نوعها، وهويتها، إضافة إلى موقعها إذا أردنا.

كما أسلفنا في المقدمة، فقد جرى خلال العقود الثلاثة الفائتة اقتراح العديد من الخوارزميات كحل لهذه المسألة. في هذه الورقة سوف نستعرض أداء كلٍّ من الأساليب التقليدية ممثلة بالخوارزمية المباشرة، والأساليب البارامترية ممثلة بالخوارزمية المعدلة للتنبؤ الخطي الأمامي - خلفي ((Modified Forward Backward Linear Prediction).

ملاحظات:

كي نجعل من التمثيل أوضح ما يمكن، حاولنا دوماً الالتزام بالمصطلحات الرياضية المعيارية. فالحروف العريضة الصغيرة تشير إلى الأشعة، والأحرف الكبيرة تشير إلى المصفوفات. وتشير العلامة $(.)^H$ إلى المرافق العقدي، بينما تشير $(.)^*$ إلى المرافق، و $(.)^T$ إلى المنقول.

المسألة:

لهيكل المسألة دعونا نفترض أن الإشارة المستقبلية بواسطة حساسات النظام، يمكن تمثيلها من خلال مجموع d إشارة عقدية أسية، وذلك بوجود ضجيج جمعي، كما يلي:

$$x(n) = \sum_{i=1}^d a_i e^{j\omega_i n} + w(n) \quad n = 1, 2, 3, \dots, L, N \quad (1)$$

حيث تمثل a_i مجموعة من المطالات العقدية غير المعلومة، و w_1 مجموعة من الترددات الزاوية المجهولة. كما هو معلوم، فإن كل تردد زاوي يقع في المجال $0-2\pi$. عمليا نحن مهتمون أولا بتخمين الأجزاء اللاخطية w_1 ، وعندما يصرار الى تخمين قيم هذه المركبات يصبح بالإمكان، ومن خلال معيارية أقل مربعات الخطأ (Least-Squares Criterion) إيجاد قيم المطالات التي تناسب المعطيات.

تمثل $w(n)$ في المعادلة السابقة الضجيج الجمعي المصاحب للإشارة الذي يقدمه الوسط المائي وحدوده.

أساليب التخمين الطيفي:

بشكل عام، يمكننا القول إن الأساليب المبنية على التحويلات هي المسيطرة على أساليب التخمين الطيفي، ويعود ذلك عموما الى الفعالية الحسابية لتحويل فوريير السريع (FFT، Fast Fourier Transform)، وكذلك إلى توافر مكتبة غنية ببرمجيات FFT، إضافة إلى التواجد التجاري، وعلى نطاق واسع لمعالجات FFT ذات سرعات عالية. لقد بات من المعلوم أنه إذا تباعدت المركبات الجيبية بشكل جيد عن بعضها البعض، فإن الخوارزميات المبنية على تحويل فوريير تكون فعالة في تخمين القيم الترددية لهذه المركبات. لكن إذا اقتربت هذه المركبات بمسافة أصغر من مقلوب زمن مراقبة الإشارة، أو بمعنى آخر إذا لم تكن هذه المركبات الترددية متعامدة (Orthogonal) خلال هذه الفترة، فإن التخمين باستخدام الأساليب التقليدية يصبح غير فعال. وفي هذه الحالة يصبح استخدام الأساليب العالية التمييز (الباراميتريّة) ضروريا.

يعود الباعث الأول على الاهتمام الحالي بالتخمين العالي الدقة (High Resolution Estimation) لبارامترات الإشارة، وذلك من خلال فترة زمنية محدودة للاستقبال، إلى أحد أعمال بورغ [2]. حيث أن أسلوب التخمين العالي الدقة، الذي وصفه في صيغة الانتروبي الأعظمي (Maximum Entropy)، شكل حجر الزاوية في التطورات الحديثة التي لحقت بأساليب التخمين العالية الدقة.

أما العام 1976 فقد شكل نقطة تحول أخرى بالنسبة للأساليب الباراميتريّة، حيث اقترح، وبشكل مستقل، كل من العلماء Ulrich & Clyton & Nuttal ما أسموه بخوارزمية التنبؤ الخطي الأمامي-الخلفي (Forward-Backward Linear Prediction) [3].

وعندما أصبحت الوسيلة الرياضية Singular Value Decomposition (SVD) شائعة الاستخدام، وذلك في نهاية السبعينات، اقترح العالمان Tufts & Kumaresan الخوارزمية المعدلة في التنبؤ الخطي الأمامي - خلفي (Modified-FBLP) [4].

1-4 الخوارزميات المبنية على التحويل Transform Based Algorithms:

تمتلك الخوارزميات المبنية على تحويل فوريير في تخمين كثافة الطيف الطاقوي (Power Spectral Density)، (PSD)، صيغتين اثنتين. يبين الشكل (2) هاتين الصيغتين المتكافئتين. الصيغة الأولى تعتمد على تحويل فوريير لعينات تابع الارتباط الذاتي (Autocorrelation Function)، تدعى هذه بالصيغة أو الخوارزمية غير المباشرة وذلك نظرا إلى كوننا لا نستخدم عينات المتتالية العشوائية بشكل مباشر في عملية التخمين. أما الصيغة الثانية فتعتمد على تحويل فوريير لعينات الإشارة، وتدعى بالخوارزمية المباشرة. تجدر الإشارة هنا إلى أنه لا حاجة إلى أية معلومات مسبقة عن الإشارة ولا عن الضجيج المرافق عند تطبيق الخوارزميات المبنية على تحويل فوريير.

$$r_{xx}[m] = \mathcal{E} \left\{ x[n+m] x^*[n] \right\}$$

$$= \lim_{N \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x[n+m] x^*[n] \right\}$$

$$S_{xx}(f) = \lim_{N \rightarrow \infty} \mathcal{E} \left\{ \frac{1}{2N+1} \left| \sum_{n=-N}^N x[n] \exp(-j2\pi fnT) \right|^2 \right\}$$

2-4 خوارزمية التنبؤ الخطي الأمامي - خلفي (Modified-FBLP) [5]:

يمكن تلخيص الفكرة الأساسية التي يستند إليها هذا الأسلوب بما يلي: بما أن أخطاء التنبؤ الخطي في الاتجاهين الأمامي والخلفي تمتلك خصائص إحصائية متماثلة، فإنه يصبح من المقبول دمج أخطاء كلا الاتجاهين، وذلك لتوليد أخطاء أكثر. ومن ثم استخدام معيارية أقل مربعات الخطأ في إيجاد عوامل التنبؤ الخطي (Linear Predictor). رياضياً يمكن تمثيل أخطاء التنبؤ الأمامي - خلفي على امتداد المعطيات المتوافرة عن الإشارة، كما يلي:

$$(2) \quad \mathbf{e}^{fb} = \begin{bmatrix} \hat{e}^f(L) \\ \hat{e}^f(L+1) \\ \vdots \\ \hat{e}^f(N-1) \end{bmatrix} \mathbf{L} \begin{bmatrix} e^f(N-1) \\ e^{b^*}(L) \\ e^{b^*}(L+1) \\ \vdots \\ e^{b^*}(N-1) \end{bmatrix} \mathbf{U}^T$$

حيث L تمثل مرتبة التنبؤ، و $e^f(\cdot)$ خطأ التنبؤ الأمامي، و $e^b(\cdot)$ خطأ التنبؤ الخلفي. دع \mathbf{w}^{fb} تشير إلى الاستجابة المطلوبة عند خرج التنبؤ، محددة كما يلي:

$$(3) \quad \mathbf{w}^{fb} = \begin{bmatrix} \hat{e}^f(L) \\ \hat{e}^f(L+1) \\ \vdots \\ \hat{e}^f(N-1) \end{bmatrix} \mathbf{L} \begin{bmatrix} x(L+1) \\ x(L) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^*(0) \\ x^*(1) \\ \vdots \\ x^*(N-L-1) \end{bmatrix} \mathbf{U}^T$$

دع الشعاع التالي \mathbf{f} يشير إلى عوامل التنبؤ الأمامي الاتجاه

$$\mathbf{f} = [f(1) \quad f(2) \quad \mathbf{L} \quad f(L)]^T$$

وبالتالي يمكن كتابة شعاع الاستجابة المطلوبة عند خرج التنبؤ وفق صيغة مصفوفية، كما يلي:

$$(4) \quad \mathbf{w} = \mathbf{D}^{fb} \mathbf{f}$$

حيث

$$(5) \quad \mathbf{D}^{fb} = \begin{bmatrix} \hat{e}^f(L) & x(L-1) & \mathbf{L} & x(1) & \hat{e}^f(L) \\ \hat{e}^f(L+1) & x(L) & \mathbf{L} & x(2) & \hat{e}^f(L+1) \\ \vdots & \vdots & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \vdots \\ \hat{e}^f(N-1) & x(N-2) & \mathbf{L} & x(N-L) & \hat{e}^f(N-1) \\ \hat{e}^f(N-L+1) & x(N-L) & \mathbf{L} & x(N-L) & \hat{e}^f(N-L+1) \end{bmatrix}$$

كما هو معلوم، فإنه في الحالة المثالية لمعطيات خالية من الضجيج، تصبح مرتبة المصفوفة \mathbf{D}^{fb} مساوية عدد المركبات الجيبية. وبالتالي، وفي ظل نسبة منخفضة لنسبة الإشارة إلى الضجيج، فإنه من المفيد محاولة العودة الى الظروف المثالية

(حالة اللاضجيج) هذه. والوسيلة الرياضية التي سوف تساعدنا للقيام بذلك هي الـ SVD. يمكن إنجاز ذلك من خلال تجزئة الفراغ الذي تولده الأشعة الذاتية (Eigenvectors) للمصفوفة D^{fb} ، إلى فراغ جزئي للإشارة، وفراغ جزئي للضجيج. ومن ثم تخمين مصفوفة المعطيات المنقوصة المرتبة D^{fb} (Rank Deficient) من خلال الأشعة الذاتية للإشارة، والقيم الذاتية (Eigenvalues) الموافقة لها (مربعات القيم الفردية الناتجة من تطبيق SVD على مصفوفة المعطيات). بعد حصولنا على مصفوفة المعطيات المنقوصة المرتبة هذه، يجري استخدام التعريف العام لمقلوب بسيدو (Pseudoinverse) في إيجاد الشعاع الأوحده لعوامل المتنبئ. هذا وتتبع وحدوية (Uniqueness) هذا الحل من كونه يحقق المطلوبين التاليين:

• يعطينا أقل طاقة خطأ.

• يمتلك أقل نورم اقليدي (Euclidean Norm) ممكن [6]

من الجدير ذكره هنا أنه عند تطبيق الخوارزمية المعدلة للمتنبئ الأمامي - خلفي، فإن تخمين عدد المركبات الخطية للظيف الترددي يجب إنجازه أولاً. وتجدر الإشارة هنا إلى أن مسألة تخمين عدد هذه المركبات، تبقى من أهم وأصعب المسائل التي تواجهنا أثناء محاولة تطبيق خوارزميات البنى الذاتية (Eigenstructure Algorithms) في الأنظمة السونارية. على أن هناك العديد من المعايير التي تم اقتراحها خلال العقد الماضي كحل لهذه المسألة [7].

إضافة إلى عدد المركبات الجيبية d ، فإنه يجب أيضاً معرفة مصفوفة الترابط الذاتي للضجيج (Noise Correlation Matrix)، قبل تطبيق الخوارزمية المعدلة في التنبؤ الأمامي - خطي. يعود ذلك إلى أن الضجيج المحيطي (Ambient Noise) لا يقتصر على مركبات ذات بنية Nondeterministic، بل يكون عادة مصحوباً بمكونات Deterministic تدعى بـ Jammers. والـ Jammers هي أية مركبات محددة تنتشر مع الإشارات المفيدة (السنن البعيدة، المصادر البيولوجية، الريح .. الخ) باتجاه حساسات النظام السوناري. تجدر الإشارة هنا إلى أنه عند إظهار الـ Jammers كجزء من الفراغ الجزئي للإشارة (عند اعتبار Nondeterministic $w(n)$)، فإنها تصبح إشارات عشوائية غير مرغوب فيها ذات بارامترات، يجب تخمينها معاً مع الإشارات المفيدة الصادرة عن الغواصة تتسبب هذه الحالة في تخمين زائد لعدد مركبات الظيف، ويمكن أن تؤدي إلى التحميل الزائد (Overloading)، أي أن عدد الإشارات يفوق طول المتنبئ الخطي (L). من ناحية أخرى، فإن اعتبار الـ Jammers إشارات ضجيجية Nondeterministic، يجعل مصفوفة الترابط الضجيجي مجهولة. وهذه المصفوفة ليست متوافرة دوماً، وخاصة عند حدوث تغيرات سريعة في الوسط الضجيجي أثناء وجود المصدر تحت-مائي. من وجهة نظر عملية يمكن تخمين قيم هذه المصفوفة من خلال تجميع المعطيات من المحيط المائي في غياب المصدر المفيد للإشارة.

نتائج:

لاختبار الخوارزميتين السابقتين، فقد تمت محاكاة واقع انتشار الأمواج الصوتية في الماء، وتأثير الوسط المائي وحدوده فيها، وذلك من خلال توليد مركبات جيبية باستخدام الحاسب مع ضجيج أبيض جمعي، يمثل الضجيج الذي يفرضه الوسط المائي على قيم الإشارات هذه. وبالتالي تعطى الإشارة المستقبلية $x[n]$ وفق الموديل الرياضي التالي:

$$x[nT] = e^{j2\pi(400)nT} + e^{j2\pi(408)nT} + e^{j2\pi(p/6)nT} + w(nT) \quad (6)$$

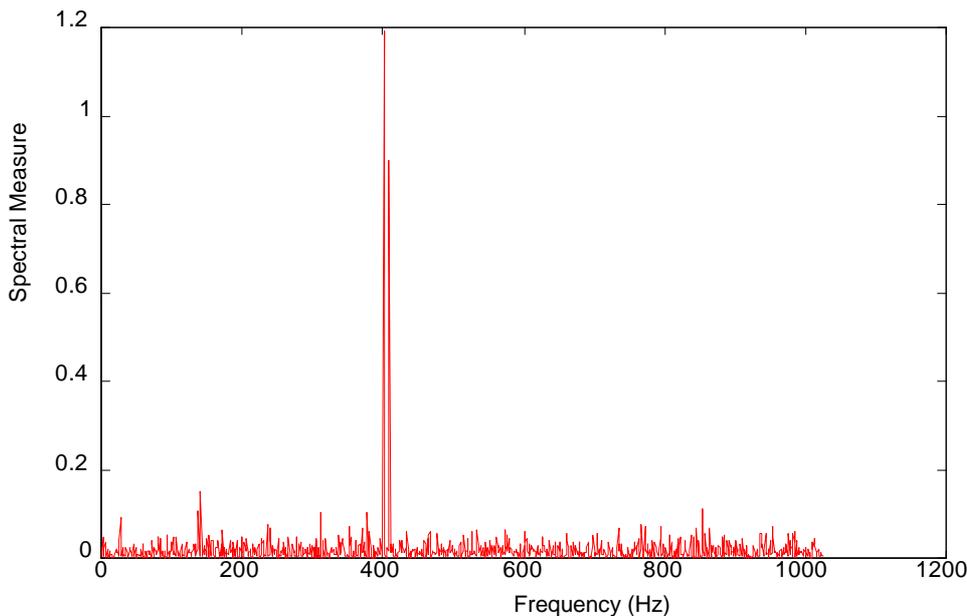
لقد تم اعتبار زمن التقطيع أنه $T = 0.001$ sec، وعدد العينات $N = 1024$ ، وعدد المركبات الجيبية الصادرة عن الهدف اثنان. أما الضجيج فإنه ضجيج عقدي غوسي بنشنت للجزء الحقيقي مقدار S^2 . لقد تم تحديد نسبة الإشارة إلى الضجيج وفق العلاقة التالية:

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{e=1}^E \left(\frac{1}{2} \right) \frac{\sigma_e}{s_w}}{\sigma_e}$$

حيث إن $s_w^2 = 2s^2$

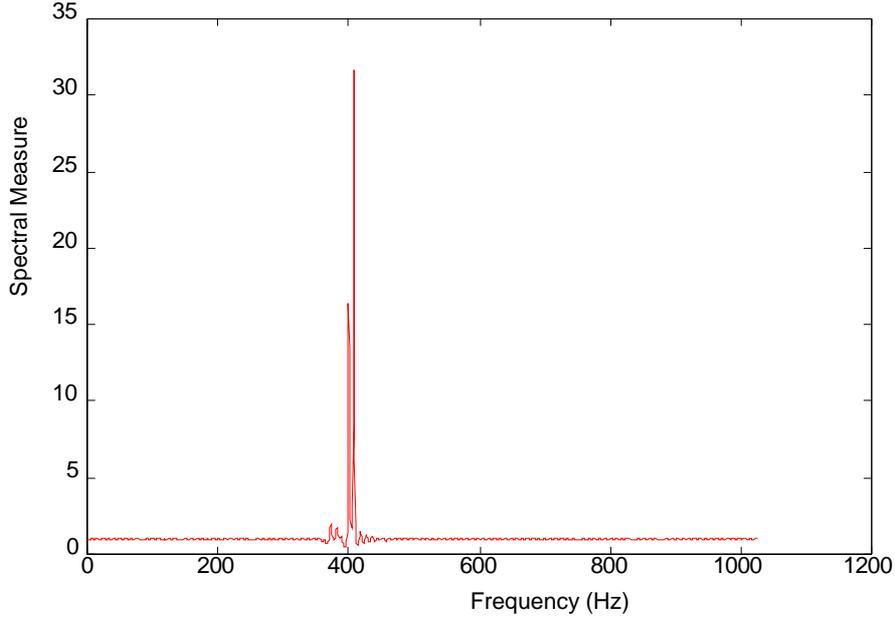
لقد اعتبرنا أن عدد المركبات الحبيبية الموجودة في الطيف d معلومة بشكل مسبق لتطبيق الخوارزمية Modified-FBLP، وأن مصفوفة الترابط الضجيجي قطرية (لأن الضجيج أبيض)، ومركبات قطرية متساوية تمثل الطاقة الضجيجية عند كل عينة معطيات. مع الملاحظ أنه عند وجود ضجيج ملون مصاحب للإشارات المفيدة، تصبح مصفوفة الترابط للضجيج غير قطرية، وعند ذلك نحتاج إلى تخمين مركبات هذه المصفوفة أولاً، ومن ثم إيجاد القيم والأشعة الذاتية للتحويل الذي يقوم بجعل مصفوفتي الارتباط للإشارة والضجيج قطريتين في آن واحد. ويتم عادةً إنجاز ذلك عن طريق الصيغة المعممة للبنية الذاتية للمصفوفتين (Eigenstructure).

تمت برمجة كلتا الخوارزمتين باستخدام MATLAB 5.2، وذلك نظراً إلى ظروف البرمجة المثالية التي توفرها هذه اللغة التقنية من حيث البساطة والموثوقية. وتم تنفيذ البرامج بواسطة كومبيوتر IBM مزود بمعالج Pentium 466 MHz. في التجربة الأولى جرى نقصي استجابة الخوارزمتين عند $SNR = -12$ dB وهي قيمة تعكس بشكل جيد مستوى الضجيج تحت سطح الماء. يبين الشكل (3) أداء الخوارزمية المباشرة



الشكل 3 . استجابة الخوارزمية المباشرة على مركبتين تردديتين واقعتين عند الترددين 400 و 408 هيرتز
عينة $N = 1024$ و $SNR = -12$ dB

هذا، وقد تمت إعادة هذه التجربة 500 مرة، وكان الخطأ في تخمين المركبتين التردديتين حوالي 0.76 Hz، والزمن الحسابي 0.060 sec. ولم تلاحظ أية حالات فشل على امتداد الخمسة حالة. للمقارنة في الأداء جرى اقتطاع 160 عينة من سجل المعطيات السابق، وتم تخمين مواقع مركبات الطيف باستخدام الخوارزمية Modified-FBLP. يبين الشكل (4) استجابة الخوارزمية Modified-FBLP.



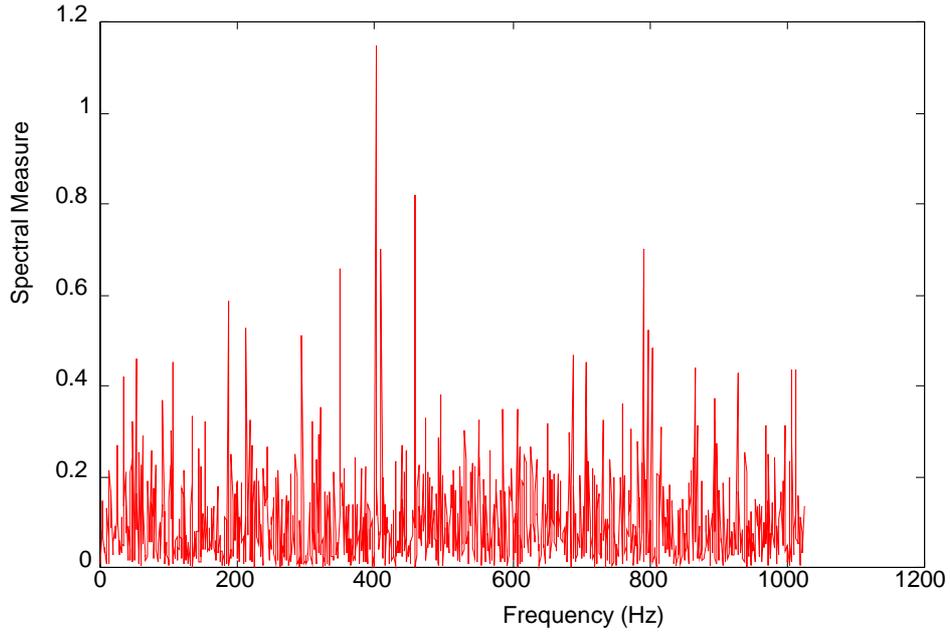
الشكل 4 . استجابة الخوارزمية Modified-FBLP على مركبتين تردديتين واقعتين عند التردد 400 و 408 هيرتز ، SNR = -12 dB و N = 1024 عينة

تمت إعادة هذه التجربة 500 مرة، فكان الخطأ في تخمين المركبتين التردديتين 1.1 Hz، والزمن الحسابي 6.1 sec ومعدل الفشل حوالي 25%.

في تجربتنا الثانية تمت إعادة التجريبتين السابقتين من أجل الحالة SNR = -15 dB، وكانت النتائج كما يلي: لم تظهر الخوارزمية المباشرة في التخمين الطيفي تراجعاً ذا قيمة في مستوى أدائها، حيث بقي معدل الفشل قريباً من القيمة الصفرية، والانحياز (Bias) كان حوالي 0.93 Hz من أجل كلتا المركبتين التردديتين. أما الخوارزمية Modified-FBLP فقد أظهرت تدهوراً كبيراً في أدائها، حيث زاد، وبشكل كبير، معدل الفشل في تخمين المركبتين التردديتين (تجاوز 40%)، كما أن الطيف أصبح أكثر عرضة لظهور مركبات طيفية مزيفة (Spurious Peaks).

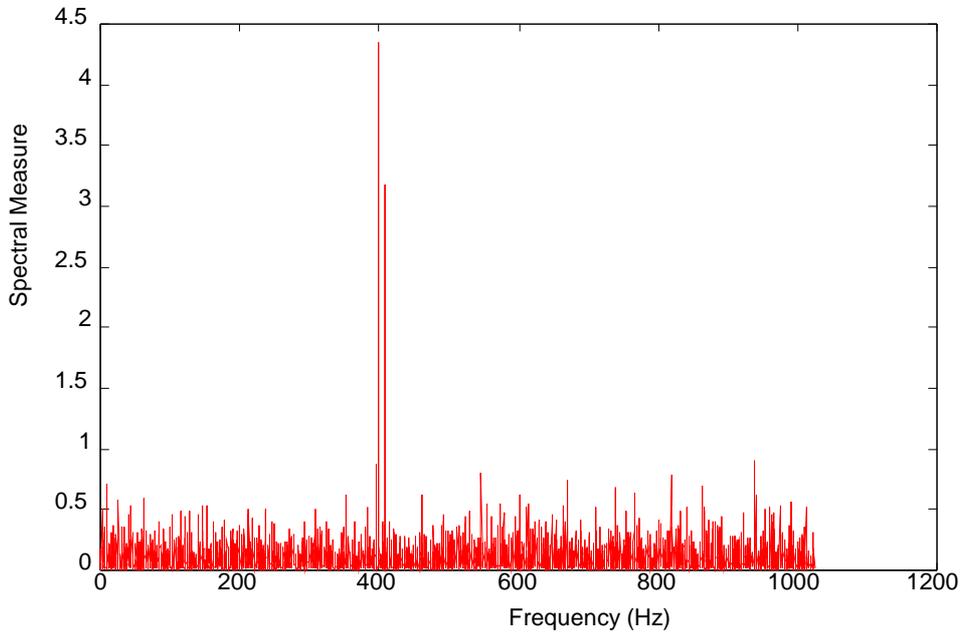
لتحسين أداء الخوارزمية Modified-FBLP عند مثل هذه القيمة المنخفضة لنسبة الإشارة إلى الضجيج، فقد اضطررنا إلى زيادة عدد العينات من 160 إلى 256 عينة. لقد أدت هذه الزيادة إلى تحسين أداء الخوارزمية Modified-FBLP لكن على حساب زمن الحساب، حيث أصبح حوالي 14.8 ثانية.

من أجل الوصول إلى عتبة SNR للخوارزمية المباشرة، فقد قمنا بالتجربة في ظل نسب أخفض من SNR، وقد اخترنا القيمة (SNR = -20 dB). نتج من ذلك تردداً كبير في أداء الخوارزمية، حيث لوحظ وجود كمية كبيرة من القمم الكاذبة على امتداد الطيف. يبين الشكل (5) عينة من هذه النتائج.



الشكل 5 . استجابة الخوارزمية المباشرة على مركبتين تردديتين واقعتين عند الترددين 400 و 408 هيرتز
عينة $N = 1024$ و $SNR = -20$ dB

لتحسين أداء الخوارزمية المباشرة عند هذه القيمة من SNR ، كان علينا زيادة طول سجل المعطيات من 1 KB إلى 4 KB .
يبين الشكل (6) التحسن الكبير الذي يطرأ على أداء الخوارزمية المباشرة نتيجة لزيادة عدد العينات. مع الإشارة إلى أن
زمن الحساب بقي مقبولاً جداً (حوالي 0.10 sec).



الشكل 6 . استجابة الخوارزمية المباشرة على مركبتين تردديتين واقعتين عند الترددين 400 و 408 هيرتز
عينة $N = 4KB$ و $SNR = -20$ dB

خاتمة:

قمنا في دراستنا هذه بتقصي أداء الأساليب البارامترية والكلاسيكية، من أجل حل مسألة التعرف على أهداف السونارات السلبية. تم إنجاز ثلاث تجارب تحت قيم مختلفة من نسب الإشارة إلى الضجيج (-12 dB, -15 dB, -20 dB). تبين النتائج، وبشكل واضح، أنه في حال توافر سجلات معطيات طويلة، ووجود مركبات جيبيية بعيدة عن بعضها البعض بعدا كافيا، فإن الأساليب الكلاسيكية تفوق في أدائها الأساليب البارامترية. ليس هذا فقط بسبب حملها الحسابي المنخفض، بل أيضاً بسبب انحيازها المنخفض، وأدائها الموثوق. تبين النتائج أيضاً أنه من أجل SNR أقل من -20 dB فإننا نحتاج إلى سجلات معطيات أطول، وذلك لجعل أداء الخوارزمية يعمل وفق موثوقية عالية.

.....

- 1- Urick, R. 1983 - Principles of underwater sound, McGraw-Hill, Book company.
- 2- Burg, J. 1967 - Maximum entropy spectral analysis, Proceeding of the 37th Meeting of the society of exploration geophysicists, USA.
- 3- Ulrich, J. & Clyton W. 1976 -Time series modeling and maximum entropy, Phys. earth planet. Inter., Vol. 12, August, USA.
- 4- Tufts, D. & Kumaresan, R. 1982 -Estimation of frequencies of multiple sinusoids: Making linear prediction perform like maximum likelihood, Proc. of the IEEE, Vol. 70,USA.
- 5- Marple, S. 1987 -Digital spectral analysis with applications, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.,J.
- 6- Haykin, S. 1986 -Adaptive filter theory, Prentice-Hall, Inc Englewood Cliffs, N. J..
- 7- Rissanen, J. 1978 -Modeling by shortest data description, Automatica, USA.