

تصميم مصفوفة هوائيات من أجل تشكيل حزمة الإشعاع لتطبيقات GPS

تقديم: سومر جنيد الإختصاص: ماجستير نظم اتصالات
بإشراف: الدكتور علي حسن المعهد العالي للعلوم التطبيقية و التكنولوجيا

ملخص البحث:

لقد تم دراسة ومحاكاة لإحدى تقنيات التحكم بتشكيل وإزاحة المخطط الإشعاعي للهوائيات المصفوفية التكيفية وهي تقنية توجيه الحزمة Beam steering، تم تطبيقها على مصفوفة هوائيات مربعة في مستقبل إشارة GPS باستخدام برنامج MATLAB2020.

تتم هذه العملية بضرب كل عنصر من عناصر مصفوفة الهوائيات عند المدخل بوزن عقدي متكيف، وذلك بتطبيق الخوارزمية الهجينة Hybrid MVDR_LMS بغية زيادة الريح باتجاه محدد مرغوب وإزاحته بما يتوافق مع جهة ورود إشارة GPS، وبالتالي الحصول على مرشح مكاني والحصول على استقبال جيد لإشارة GPS رغم التداخل، وفي ظل انغمار إشارة GPS بالضجيج.

كلمات مفتاحية: نظام تحديد الموضع العالمي GPS، رماز التقدير الخشن للموقع C/Acode، مربع متوسط الأصغري LMS، نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج SNR، متوسط مربع الخطأ MSE، متوسط مربع الخطأ الأصغر MMSE، الحد الأدنى من التباين غير المشوه للإستجابة MVDR، إضافة ضجيج أبيض غوصي AWGN.

Design an Antenna Array for GPS Beamsteering Application

Abstract:

One of the techniques for controlling the formation and displacement of radiation pattern of antennas Controlled reception pattern antenna (CRPA), which is the beam steering technique, has been studied and simulated and applied to a square antenna array in GPS signal receiver using MATLAB2020.

This process is carried out by multiplying each element of the antenna array at the input with an adaptive imaginary weight, by applying the Hybrid MVDR_LMS algorithm in order to increase the gain in a desired specific direction and its displacement in accordance with the direction of arrival of the GPS signal, thus obtaining a spatial filter and obtaining a good receive of the GPS signal despite the interference with the GPS signal overwhelmed with noise.

Keywords: (Global Positioning System)GPS, (acquisition code) C/A, (Least Mean Square) LMS, (Signal -To-Noise ratio)SNR, (mean square error) MSE, (Min mean square error) MMSE, Minimum Variance Distortionless Response(MVDR), add white Gaussian noise (AWGN).

1.1-1 مقدمة

تعتبر تقنيات تشكيل الحزمة ثمرة دمج واستخدام أبحاث معالجة الإشارة في الهوائيات المصفوفية، حيث يقوم الهوائي بالنقاط المعلومات الزمانية والمكانية وتحويلها إلى إشارات كهربائية، وهنا يأتي دور تقنيات معالجة الإشارة التي تقوم باستخلاص المعلومات الزمانية والمكانية من هذه الإشارات، فلا يمكن أن تؤدي الهوائيات المصفوفية الأهداف المرجوة منها دون خوارزميات تشكيل الحزمة سواء في الإرسال أو في الاستقبال، ففي طور الإرسال تقوم الهوائيات بعملية تغيير اتجاه حزمة بث المصفوفة عن طريق قيادة طور ومطال الإشارات التي تغذي كل هوائي، أما في طور الاستقبال فيتم استقبال الإشارات من عناصر المصفوفة المختلفة بطريقة معينة من أجل استخلاص وتحديد زاوية ورود الإشارة المرغوبة، ومرد ذلك أنه عندما ترد الإشارة إلى عناصر مصفوفة فإنها ترد بفروق زمنية مختلفة متزايدة من الأقرب إلى الأبعد أي أنها سوف تصل بفروق أطوار مختلفة.

وتعتبر هذه الخوارزميات بمثابة إجراءات تلعب دور مرشح مكاني، فيتم استقبال الإشارات الواردة المرغوبة من اتجاه معين في حين تخدم الإشارات الواردة من جهات أو زوايا أخرى غير مرغوبة، وتلعب هذه التقنيات خطوة أولى في مسار الاستقبال، ودوراً فعالاً في تخفيض التداخل والتشويش الإتجاهي الغير متعمد الناتج عن تعدد المسارات والتأخيرات الناجمة عنها.

ولتقنيات تشكيل الحزمة العديد من التطبيقات في مجال الاتصالات كونها تزيد سعة الاتصال بشكل كبير وذلك بإسناد كامل الطيف للمستخدم، وأيضاً نتيجة الفصل المكاني يصبح مسار الاتصال المنتشر في الجو أكثر أمناً وذلك باستخدام خوارزميات تشكيل الحزم وخوارزميات تحديد اتجاه الورد الدقيقة مثل Hybrid MVDR&LMS، ونستعرض في بحثنا الدور الأبرز لهذه التقنية في مستقبلات الـ GPS فهي تدخل في هوائياتها، وتُعمد هذه التقنية في الجزء الأول من المستقبل FrontEnd .

2-1-هدف البحث وطريقته

يصف هذا البحث نموذج الإشارة الواردة، واستقبالها بواسطة مصفوفة هوائيات، كما يوصف طريقة من طرائق تشكيل الحزمة مع دراسة تفصيلية لخوارزمية عالية الدقة، بشكل عام تقوم مجموعة من عناصر الهوائي الراديوي المستخدمة لتشكيل الحزمة بزيادة كسب الهوائي في اتجاه ورود الإشارة مع تقليل الكسب في إتجاهات أخرى، أي زيادة نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج (SNR) عن طريق تضخيم الإشارة بشكل متماسك بإتجاه محدد مرغوب وإزاحته حسب تغير جهة ورود إشارة GPS.

3-1-إشارة GPS:

تتكون الإشارة من رماز C/Acode مهمته تعريف كل قمر من أقمار الـ GPS برمز معين، وهذا الرماز محمل على موجة كهرومغناطيسية ذات تردد معين ممزوجة برسالة بيانات تحتوي على معلومات تُستخدم من قبل أجهزة تحديد الموقع لتعيين موقع الرصد بدقة، وتُرسل إشارات GPS المكونة من (الرماز C/Acode و البيانات الملاحية) على عدة ترددات راديوية ضمن الحزمة L-band التي تغطي المجال الترددي [1-2] GHz، ولكن التطبيقات المدنية تهتم فقط بالتردد $f_{L1} = 1575.42$ M Hz لأن هذا التردد متاح ولا يحتاج أي كلفة تشغيلية أو تفعيلية [6][1].

3-1-4-خوارزمية Minimum Variance Distortionless Response(MVDR)

وهي إحدى الخوارزميات عالية الدقة في الإستقبال التي تهدف بالتوصيف العام إلى زيادة القدرة على الفصل بين هدفين الزاوية بينهما أقل من عرض الحزمة [3]، أي أن الهدف من هذه الخوارزمية هو زيادة التمييز، وذلك بكبح استطاعة الإشارات القادمة من زوايا مختلفة مغايرة للزاوية المرغوبة، مع المحافظة على استطاعة ثابتة لمستقبل الإشارات المرغوبة بغية الحصول على ربح ثابت طوال فترة الاستقبال، وقد تم توظيف هذه الخوارزمية في بحثنا كنظام على مرحلتين، الشكل (1) يتمثل دور هذه الخوارزمية MVDR في المرحلة الأولى لتحقيق بداية سريعة لإيجاد الأوزان الأولية المطلوبة لخوارزمية LMS(Least Mean Square) التي تُطبق في المرحلة الثانية، وذلك

لتجنب الوزن الأولي الصفري لخوارزمية LMS ، أي العمل على جعل طاقة الخرج أصغر مايمكن مع الحفاظ على الشرط [5]:

$$w^H a(\theta) = 1 \quad (1)$$

حيث يمثل w شعاع الوزن لإشارة الدخل، ويمثل $a(\theta)$ شعاع التوجيه للإشارة الواردة. ثم نحسب مصفوفة الارتباط R من العلاقة [8]:

$$R = x(t) * x^H(t) \quad (2)$$

$x(t)$: إشارة الدخل

بالإضافة إن شعاع التوجيه للإشارة الواردة $a(\theta)$ يتم تمثيلها بالمعادلة التالية [5]:

$$a(\theta) = \left[\exp\left(\frac{j2(m-1)\pi d}{\lambda} \sin(\theta)\right) \right] \text{ for } m = 1.2. \dots M \quad (3)$$

باختصار نفرض أن إشارة الخرج هي y ، فيتم تقطيع هذه الاشارة بتردد وفقاً لنظرية

نيكويست فتكون عبارة الاستطاعة [7][10]:

$$\begin{aligned} P(w) &= \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M y^H(nT_s) y(nT_s) \\ &= \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M w^H x(nT_s) \hat{x}(nT_s) = w^H \hat{R} w \end{aligned} \quad (4)$$

\hat{R} : هي تقدير لمصفوفة الترابط x وتكتب بالعلاقة:

$$\hat{R} = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M x(nT_s) \hat{x}(nT_s) \quad (5)$$

M : هو عدد عينات التقطيع

و بالتالي يمكننا صياغة العلاقة الأساسية في هذه الخوارزمية كما يلي:

$$\min\{P(w)\} = \min_{w^H a(\theta)=1} \{w^H R w\} \quad (6)$$

إذاً يعطى تقدير الوزن الأمثلي الذي يعطى أقل قيمة خطأ بالعلاقة:

$$\hat{w} = \text{Argmin}(P(w)) = \text{Argmin}(w^H \hat{R} w) \quad (7)$$

أي باستخدام مضارب لاغرانج لحل المعادلة الأخيرة نحصل على الحل الأمثل لشعاع

الوزن والذي يعطى بالعلاقة التالية [5]:

$$w = \frac{\hat{R}^{-1} a(\theta, \varphi)}{a^H(\theta, \varphi) \hat{R}^{-1} a(\theta, \varphi)} \quad (8)$$

و بالتالي بتعويض العلاقة (8) في العلاقة (4) فنحصل على طيف الاستطاعة في

MVDR [10][5]:

$$P_{MVDR}(\theta, \varphi) = \frac{1}{a^H(\theta, \varphi) \hat{R}^{-1} a(\theta, \varphi)} \quad (9)$$

تُستخدم علاقة الأوزان (8) لهذه الخوارزمية لإعطاء أوزان أولية لكل عنصر من عناصر مصفوفة الهوائيات لتجنب البداية الصفرية لأوزان دخل خوارزمية LMS .

5-1- الهبوط الأشد انحداراً وخوارزمية التربيعات الأصغرية (LMS)

تم تطوير العديد من الخوارزميات لحساب أوزان المصفوفات التكميلية، وبسبب حاجتنا للحد من العبء الحسابي، لا بد من اختيار خوارزمية بسيطة وتحقق أقل زمن معالجة، حيث تعد خوارزمية LMS الأكثر انتشاراً بسبب بساطتها، فهي عبارة عن خوارزمية متكررة تعمل على تشكيل الحزم بتقليل الخطأ بين الدخل الموزون والإشارة المرغوبة كما هو موضح في الشكل (1)، ويمكن بداية هذه الخوارزمية بالمعادلة التالية [2]:

$$y(k) = W^H(k)x(k) \quad (10)$$

$W(k)$: شعاع الأوزان

عندها يمكننا حساب الخطأ في الزاوية بين الهوائي المرجعي و الهوائي المساعد بالعلاقة:

$$e(k) = d(k) - y(k) \quad (11)$$

$d(k)$: الإشارة المرجعية المرغوبة والتي تُأخذ عادة من الهوائي الأول والذي يسمى

عندها بالهوائي الرئيسي حيث نفترض أن هذا الهوائي أقل عرضة للتشويش من باقي

الهوائيات وتكون الإشارة المستقبلية منه تمتلك ترابط جيد مع الإشارة المرغوبة بينما تسمى

باقي الهوائيات بالهوائيات المساعدة.

الفكرة هي في ضبط مصفوفة الأوزان لتصغير استطاعة إشارة الخطأ إلى الحد الأدنى،

يمكن حساب متوسط مربع الخطأ (mean square error (MSE)) بين الإشارة

المرجعية وخرج النظام بالشكل الآتي:

$$e^2(t) = [d(t) - w(t)^H x(t)]^2 \quad (12)$$

وبأخذ التوقع الرياضي لطرفي المعادلة السابقة نحصل على [1]:

$$E \{e^2(t)\} = E \{[d(t) - w(t)^H x(t)]^2\} \quad (13)$$

$$E \{e^2(t)\} = E \{d^2(t)\} - 2 w^H r + w^H R w$$

$$E \{e^2(t)\} = \sigma - 2 w^H r + w^H R w$$

$$r = E \{[d(t)x(t)]\}$$

$$R = E \{[d(t)x(t)]\}$$

$$\sigma = E \{d^2(t)\}$$

حيث σ : متوسط الإستطاعة المستقبلية من الهوائي الأول.

R : مصفوفة الترابط لشعاع الدخل.

r : مصفوفة الترابط بين إشارة الدخل والإشارة المرجعية التي تعرف باسم مصفوفة

التغاير.

من أجل حساب مصفوفة الأوزان التي تحقق أقل قيمة لمتوسط مربع الخطأ $\min \text{mean}$

square error (MMSE) يتم حساب شعاع التدرج لمتوسط مربع الخطأ و مساواته

للصفر:

$$\nabla_w (E \{e^2(t)\}) = -2r + 2Rw = 0 \quad (14)$$

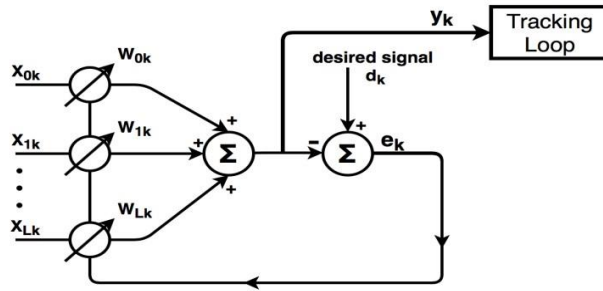
وبالتالي مصفوفة الأوزان المثالية تعطى بالعلاقة التالية:

$$\nabla_{opt} = R^{-1}r \quad (15)$$

يبين الشكل (1) بنية نظام مصفوفة هوائيات متكيفة، كل إشارة هوائي تُضرب بمصفوفة

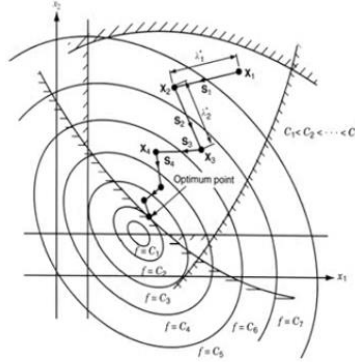
أوزان عقدية قبل أن تجمع مع بعضها لتشكيل الخرج النهائي لمصفوفة الهوائيات، ويتغير

شعاع الأوزان باستخدام خوارزميات متكيفة.



الشكل(1): نظام هوائيات متكيفة وتطبيق خوارزمية LMS عليه.

كما ذكر سابقاً فإن مبدأ خوارزمية Beam steering [3] هو تضخيم الريح في اتجاه ورود الإشارة المرغوبة.



الشكل(2):مخطط يمثل طريقة (Steepest _descent)[4] بالخطوة المتغيرة للتقارب.

بالاعتماد على حل وينر المثالي يمكن الحصول على الأوزان المثالية التي تحقق (MMSE) عن طريق حل جملة معادلات خطية. ولكن عند التنفيذ العملي لهذه الخوارزمية عادة نستخدم الإجراءات العودية وذلك تجنباً لحساب مقلوب المصفوفة ومن أبسط الإجراءات العودية هي طريقة الهبوط الأشد انحداراً (Steepest_descent) كما هو موضح في الشكل (2) حيث يمكن البدء بأي شعاع أوزان وليكن w_0 [4] .

الشعاع w_0 يمثل نقطة على التابع المعياري الذي نحن بصدد إيجاد أمثليته. يحسب شعاع التدرج والذي هو مشتق (MSE) بالنسبة لكافة المعاملات وذلك في النقطة w_0

ومن ثم يتم تغيير كل شعاع في اتجاه معاكس لمركبة شعاع التدرج الموافق للمعامل وفق العلاقة التالية:

$$w_{k+1} = w_k - \mu g_k \quad (16)$$

حيث أن μ معامل سعة خطوة التقارب للإجرائية العودية، وللتأكد من تقارب الإجرائية العودية يجب اختيار الخطوة μ صغيرة موجبة أو كحل أمثلي يجب اختيار خطوة متغيرة كما في المعادلة (40)، و k هو تكرار يبدأ من 0 ويزداد حتى يقترب شعاع التدرج من الصفر بمجرد اقتراب k من اللانهاية، وعندئذ معاملات شعاع التدرج تصبح مثالية، في حالة كان اتجاه ورود الإشارة يتغير مع الزمن فإنه يجب ملاحقة هذه التغيرات وتحديث الأوزان من أجل التقليل من التداخلات وهذا يعني أن شعاع الأوزان المثالي يتغير مع الزمن بسبب تغير المصفوفة R مع الزمن وتؤخذ العلاقات السابقة بعين الاعتبار، فإننا بحاجة لتعديل الطريقة السابقة وذلك باستخدام التقدير وبذلك تصبح علاقة ضبط الأوزان:

$$\hat{w}_{k+1} = \hat{w}_k - \mu \hat{g}_k \quad (17)$$

حيث (\hat{g}_k) تقدير للشعاع (g_k) و (\hat{w}_k) تقدير للشعاع (w_k) .

حيث أن w_k هو قيم أوزان الأخطاء في التكرار رقم k ، و g_k هو شعاع التدرج للمعيار (MMSE) وذلك بأخذ قيمة الخطأ من العلاقة (11) يحسب شعاع التدرج كما يلي [1]:

$$\begin{aligned}
 g_k &= -\nabla MSE & (18) \\
 g_k &= -\frac{d}{dw} MSE = -\frac{d}{dw} E(e_k^2) \\
 g_k &= E\left(-\frac{d}{dw} e_k^2\right) = E\left(-\frac{d}{dw} [d_k - w_k^H x_k]^2\right) \\
 g_k &= -2E(e_k x_k)
 \end{aligned}$$

ويكون تقدير شعاع التدرج وفقاً للعلاقة التالية:

$$\hat{g}_k = -2e_k x_k \quad (19)$$

بتعويض العلاقة (19) في العلاقة (17) يتم الحصول على خوارزمية التكيف وفقاً

للأوزان الأمثلية المعتمدة على المعيار (MSE):

$$\hat{w}_{k+1} = \hat{w}_k + \mu e_k x_k \quad (20)$$

وبسبب استخدام التقدير لشعاع التدرج فإن الخوارزمية تسمى بخوارزمية (LMS) [1].

6-1- تقارب خوارزمية LMS

إن المعامل μ هو الذي يتحكم بتقارب خوارزمية LMS ويوجد نوعان أساسيان لتقارب

الخوارزمية هما [2]:

• التقارب في المتوسط ويتحقق عندما يتقارب متوسط شعاع الأوزان من الحل المثالي في اللانهاية.

$$E[\hat{w}(n)] \rightarrow w_{opt} \text{ as } n \rightarrow \infty \quad (21)$$

• التقارب في متوسط المربع ويتحقق عندما يتقارب متوسط مربع إشارة الخطأ من قيمة ثابتة في اللانهاية.

$$E[e^2(n)] \rightarrow \text{constant as } n \rightarrow \infty \quad (22)$$

1-6-1- التقارب في المتوسط:

نفترض بدايةً عدم وجود أي ترابط بين شعاع الأوزان $\hat{w}(n)$ المحسوب باستخدام خوارزمية (LMS) وشعاع الدخل $x(n)$ أي [1]:

$$E[\hat{w}(n)x(n)] = 0 \quad (23)$$

ونعلم أن:

$$\hat{w}(n+1) = \hat{w}(n) + \mu [d(n) - x^T(n)\hat{w}(n)]x(n) \quad (24)$$

ومنه يكون:

$$\hat{w}(n+1) = [I - \mu x(n)x^T(n)]\hat{w}(n) + \mu x(n)d(n) \quad (25)$$

وبأخذ التوقع الرياضي لطرفي هذه المعادلة نحصل على:

$$E[\hat{w}(n+1)] = [I - \mu R]E[\hat{w}(n)] + \mu r \quad (26)$$

وبوضع:

$$Q^T R Q = A \quad (27)$$

حيث:

A : مصفوفة قطرية بحيث تكون عناصر القطر هي القيم الذاتية لمصفوفة الترابط R .
 Q : مصفوفة متعامدة بحيث تكون أعمدتها أشعة ذاتية لمصفوفة الترابط R . وبالتالي يكون:

$$Q^{-1} = Q^T, \quad Q Q^T = I \quad (28)$$

يمكن إعادة كتابة حل وينر المثالي بالشكل التالي:

$$Rw_{opt} = r \quad (29)$$

وبالتالي نحصل على:

$$Q^T E[\hat{w}(n+1)] = [I - \mu A] Q^T E[\hat{w}(n)] + \mu A Q^T w_{opt} \quad (30)$$

ومن أجل تبسيط هذه المعادلة نعرف الشعاع $V(n)$ بالشكل التالي:

$$V(n) = Q^T (E[\hat{w}(n)] - w_{opt}) \quad (31)$$

وبالتعويض نحصل على الصيغة المبسطة التالية:

$$w(n+1) = [I - \mu A] V(n) \quad (32)$$

باستخدام الطريقة العودية يمكن حساب الشعاع $v_k(n)$ بالشكل التالي:

$$v_k(n+1) = [1 - \mu \lambda_k] v_k(n) \quad k=1,2,\dots,p \quad (33)$$

حيث λ_k القيم الذاتية لمصفوفة الترابط R .

وبأخذ القيمة البدائية للشعاع $v_k(0)$ يمكن إعادة كتابة المعادلة السابقة بالشكل التالي:

$$v_k(n) = (1 - \mu \lambda_k)^n v_k(0) \quad k=1,2,\dots,p \quad (34)$$

فإذا كان:

$$|1 - \mu \lambda_k| < 1 \quad k=1,2,\dots,p \quad (35)$$

يصبح في هذه الحالة:

$$\begin{aligned} v_k(n) &\rightarrow 0 & \text{as } n &\rightarrow \infty \\ E[\hat{w}(n)] &\rightarrow w_{opt} & \text{as } n &\rightarrow \infty \end{aligned} \quad (36)$$

وبالتالي يكون شرط التقارب [1]:

$$0 < \mu < \frac{2}{\lambda_{max}} \quad (37)$$

2-6-1-التقارب في متوسط المربع

بتحليل مشابه يكون شرط التقارب على المعامل μ في هذه الحالة يعطى بالعلاقة [1]:

$$0 < \mu < \frac{2}{tr[R]} \quad (38)$$

حيث $tr[R]$ هو $trace[R]$ وهو أثر المصفوفة R أي مجموع عناصر القطر الرئيسي أويكون [1]:

$$tr[R] = \sum \lambda_k \geq \lambda_{max} \quad (39)$$

3-6-1-دراسة تقارب الخوارزمية بخطوة متغيرة:

من أجل تقارب صحيح وسريع في خوارزمية $Steepest_descent$ لابد من استخدام

خطوة متغيرة كما في الشكل (2)، بحيث يكون حجم الخطوة كبير في بداية التقارب ثم

يتناقص حجم الخطوة حتى تجعل الخطأ أقل مايمكن، وأيضاً عند تطبيق الخطوة المتغيرة

لا يحدث تأرجح لمنحني التقارب مثلما يحدث عند اعتماد خطوة ثابتة، لذا تم اعتماد

نموذج Aboulnasr للخطوة المتغيرة في خوارزمية LMS [9][4]:

تعتمد الخوارزمية التي أجراها Aboulnasr على بارامترات معتمدة من خوارزمية

[9][4] Kwong.

يقترح Aboulnasr حساب تقدير للإرتباط الذاتي بين $e(n)$ و $e(n-1)$ واستخدامه في

التقدير للتحكم بحجم الخطوة بدلا من e^2 ، يمكن حساب التقدير للخطوة المتغيرة من العلاقة التالية:

$$w(n) = \beta w(n-1) + (1-\beta)e(n)e(n-1) \quad (40)$$

حيث $0 < \beta < 1$ هو forgetting factor معامل التسامح وهو معامل وزن

أسي للتحكم بمعدل المعالجة، ثم يجب استخدام التقدير لحساب $\hat{\mu}(n+1)$

$$\hat{\mu}(n+1) = \alpha\mu(n) + \gamma p^2(n) \quad (41)$$

وأخيراً يجب تطبيق نفس الحدود على حجم الخطوة كما في المعادلات التالية [4]:

$$\mu(n+1) = \begin{cases} \mu_{\max} & \text{if } \hat{\mu}(n+1) > \mu_{\max} ; \\ \mu_{\min} & \text{if } \hat{\mu}(n+1) < \mu_{\min} ; \\ \hat{\mu}(n+1) & \text{otherwise;} \end{cases} \quad (42)$$

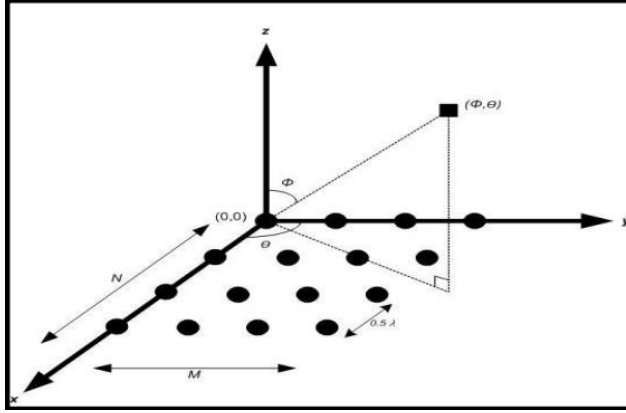
• تم اعتماد α و γ من خوارزمية Kwong :

- حيث أن معاملات الضبط هي $0 < \alpha < 1$ و $\gamma > 0$.
- ولتوفير إمكانية التتبع والإستقرار $0 < \mu_{\min} < \mu_{\max}$.
- بشكل عملي يمكن اعتبار $\alpha = 0.97$ [4].
- أما γ التي تؤثر على سرعة التقارب، يجب أن تكون صغيرة من رتبة $\gamma = 4.8 \times 10^{-4}$ كأفضل قيمة اعتمدها Kwong في مقالته [9].

- يمكن تعديل هذه البارامترات الثلاثة (α و γ و β) للتحكم بتقارب الخوارزمية LMS من أجل الحصول على أداء أمثلي في تصغير الخطأ e بين الهوائي المرجعي و الهوائيات المساعدة إلى أقل حد ممكن.

7-1- مصفوفة الهوائيات المتكيفة

مقدمة: يتم تمثيل نموذج مصفوفة هوائيات مستطيلة الشكل _uniform Rectangular Array (URA) وذلك بـ M عنصر على محور x و N عنصر على محور y يتباعد نصف طول الموجة بين عناصر المصفوفة، واعتماد عدد T من المصادر المختلفة لورود إشارات S_i مختلفة بنفس الوقت، باعتبار $0 \leq i \leq 1$ كما هو موضح بالشكل [5](3) .



الشكل (3): [5] مصفوفة هوائيات مستطيلة (URA)

يتم تمثيل الإشارة المستقبلة بأبعاد (mxn) عنصر من عناصر الهوائيات، بحيث يتحقق

لدينا $1 \leq m < M$ و $1 \leq n < N$ يتم تمثيلها بالمعادلة [5]:

$$X_{m,n} = \sum_{i=1}^T S(i) e^{j((m-1)(\frac{2\pi d}{\lambda})\sin\theta_i + (n-1)(\frac{2\pi d}{\lambda})\cos\theta_i \sin\phi_i)} + W_{m,n} \quad (43)$$

بعد استقبال الإشارة بمصفوفة $M \times N$ يمكن تمثيل هذه الإشارات بمعادلتين [5]:

$$X_u = A_u S + W \quad \text{and} \quad X_v = A_{uv} S + W \quad (44)$$

عندما $S = [S_1, S_2 \dots S_T]^T$ و W تكون مصفوفة الضجيج $M \times N$ و A_u يمثل

مصفوفة التوجيه لزاوية الارتفاع θ ، بينما A_{uv} تحتوي زاويتي السمات و الارتفاع (ϕ, θ) ،

[5] (θ)

$$A_u = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \exp\{ju_1\} & \exp\{ju_2\} & \dots & \exp\{ju_T\} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \exp\{j(M-1)u_1\} & \exp\{j(M-1)u_2\} & \dots & \exp\{j(M-1)u_T\} \end{bmatrix} \quad (45)$$

$$A_{uv} = \begin{bmatrix} \exp\{jv_1\} & \exp\{jv_2\} & \dots & \exp\{j(M-1)v_T\} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \exp\{j((M-1)u_1 + v_1)\} & \exp\{j((M-1)u_2 + v_2)\} & \dots & \exp\{j((M-1)u_T + v_T)\} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \exp\{j(N-1)u_1\} & \exp\{j(N-1)u_2\} & \dots & \exp\{j(N-1)u_T\} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \exp\{j((M-1)u_1 + (N-1)v_1)\} & \exp\{j((M-1)u_2 + (N-1)v_2)\} & \dots & \exp\{j((M-1)u_T + (N-1)v_T)\} \end{bmatrix} \quad (46)$$

ويعطى معامل المصفوفة (AF) لـ M عنصر الموزعة على المحور x بالعلاقة [5]:

$$AF(\theta) = \sum_{m=0}^{M-1} A_{u_m} w_{u_m} \quad (47)$$

وأيضاً يعطى معامل المصفوفة (AF) لـ N عنصر الموزعة على المحور Y بالعلاقة:

$$AF(\varphi) = \sum_{n=0}^{N-1} A_{uv_n} w_{uv_n} \quad (48)$$

فيكون قانون معامل المصفوفة هو [5]:

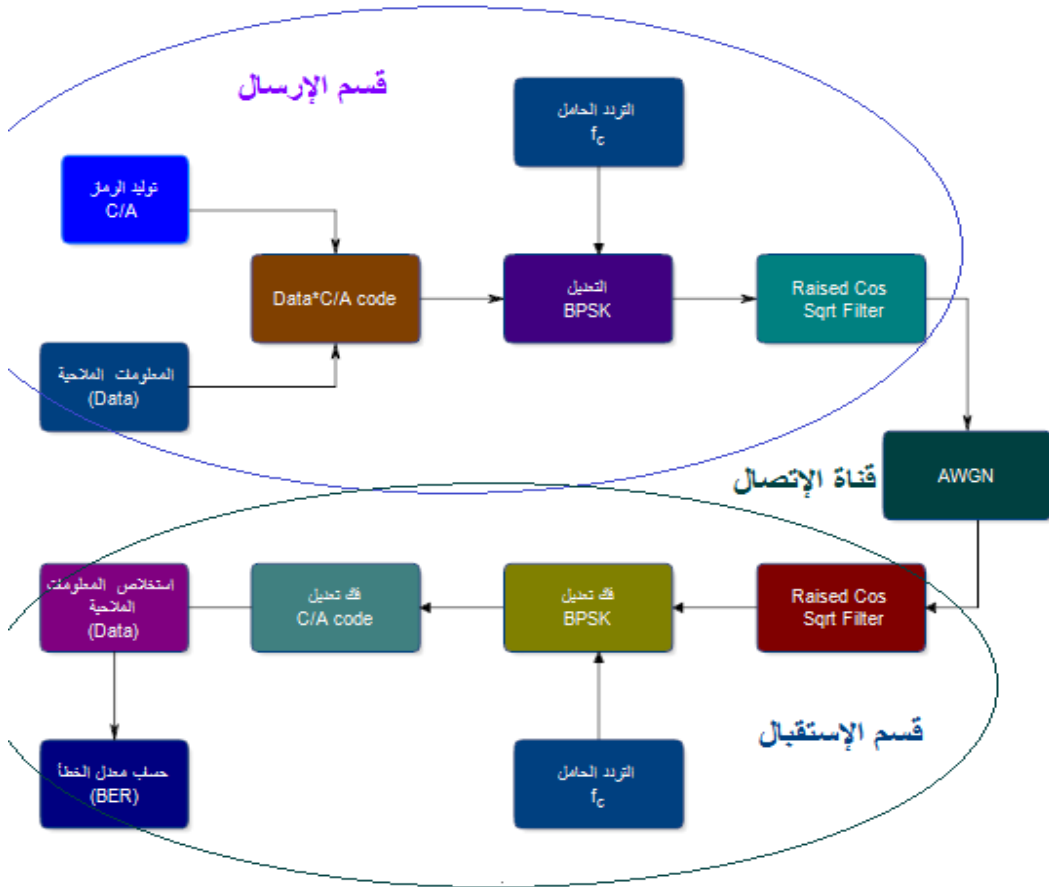
$$AF_{norm} = \frac{AF}{AF_{max}} \quad (49)$$

الجزء العملي

1-2. تصميم النظام

من أجل تصميم النظام قمنا بالمرحلة التالية:

تم في هذا الجزء إجراء نمذجة لإشارة GPS لتُمرّر عبر قناة غوصية (من دون وجود أي مصدر آخر للضجيج أو للنتشويش) إلى مستقبل مهمته فقط استخلاص المعلومات الملاحية والشكل (4) يوضح آلية العمل.



الشكل(4): المخطط الصندوقي للنظام من دون وجود تشويش

1-1-2. المرحلة الأولى: نمذجة إشارة GPS الواردة:

تمت النمذجة لإشارة GPS الواردة باستخدام برنامج MATLAB2020 وفق الخطوات التالية:

• في المرحلة الأولى تم توليد Data عشوائية تمثل المعلومات المراد إرسالها تحاكي بيانات الـ GPS الأصلية.

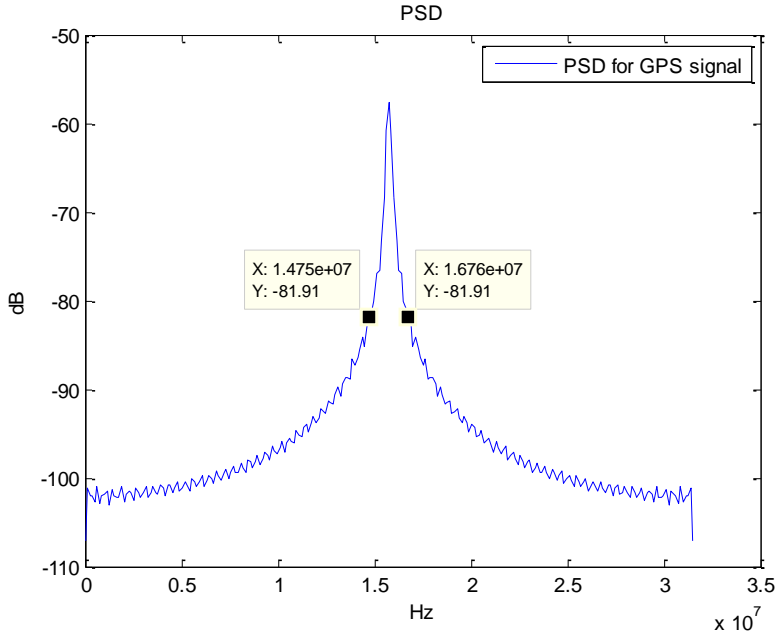
• توليد السلاسل C/A code لجميع أقمار المنظومة GPS

• إجراء عملية نثر طيف للبيانات الملاحية باستخدام سلسلة C/A code نثر الطيف المستخدمة في نظام GPS، والتي تقوم على نثر كل بت من بتات المعطيات على 20 سلسلة نثر طيف وكل سلسلة بطول (1023 chips)، وفي هذه الحالة نحصل على حزمة ترددية بعرض (2MHz) [1] والتي تمثل عرض الحزمة الترددية لإشارة GPS الحقيقية.

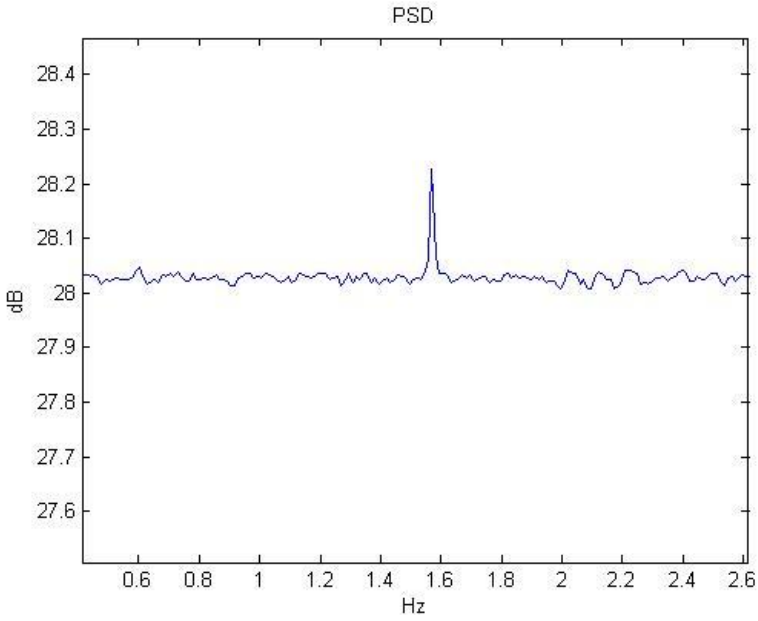
• إجراء التعديل (BPSK) على الإشارة الناتجة.

• إجراء عملية رفع ترددي إلى التردد $L1=1575.420\text{MHz}$ والذي يمثل تردد إشارات GPS المدنية.

- رسم طيف الإشارة الناتجة، حيث حصلنا على إشارة بعرض 2MHz عند التردد L1 وهو مطابق للإشارة المدنية (GPS-C/Acode-L1) وقد تم التأكد من ذلك عند رسم الكثافة الطيفية للاستطاعة (PSD) كما يوضح الشكل (5).
- وأخيرا توليد ضجيج غوسي وإضافته للإشارة الناتجة الذي يمثل وسط الإنتشار (المسار قمر _ مستقبل). تم إضافة ضجيج غوسي عند $SNR = -33dB$ وتم رسم الإشارة الناتجة بعد مرور كما يوضح الشكل (6).



الشكل(5): الكثافة الطيفية لاستطاعة إشارة GPS المرسله



الشكل(6): الكثافة الطيفية لاستطاعة إشارة GPS بعد مرورها بقناة الضجيج عند $SNR=-$

33dB

وحتى يمكن الحكم على أداء النظام أي خرج المستقبل فيما إذا حقق الغاية المطلوبة منه نحتاج إلى طريقة لتقييمه، ومن هنا أتت الحاجة لدراسة BER(Bit Error Rate) للنظام، وهل هو قريب بشكل جيد من المنحني النظري لمنحني BER بدلالة SNR لإشارة GPS التي تستخدم تعديل BPSK بالإضافة إلى استخدام تقنية نثر الطيف.

تم في دراسة الأداء استخدام طريقة Montecarlo لما تقدمه من تسهيل في الحساب، حيث كان عدد البتات 10^5 وفي كل تكرار ضمن حلقة while تم توليد سلسلة بتات عشوائية طولها 5000 بت.

تم رسم منحنى BER لإشارة GPS المولدة ، حيث تم بناء الإشارة وإضافة ضجيج أبيض غوسي (AWGN) add white Gaussian noise ومن ثم فك التعديل وبعدها فك النثر ثم في المرحلة التالية تم استخراج المعلومات، ليتم في المرحلة الأخيرة اتخاذ القرار فيما إذا المعلومات المستقبلية صحيحة أم لا، واعتمادا على ذلك تم حساب الخطأ فكان المنحنى كما في الشكل (7) .

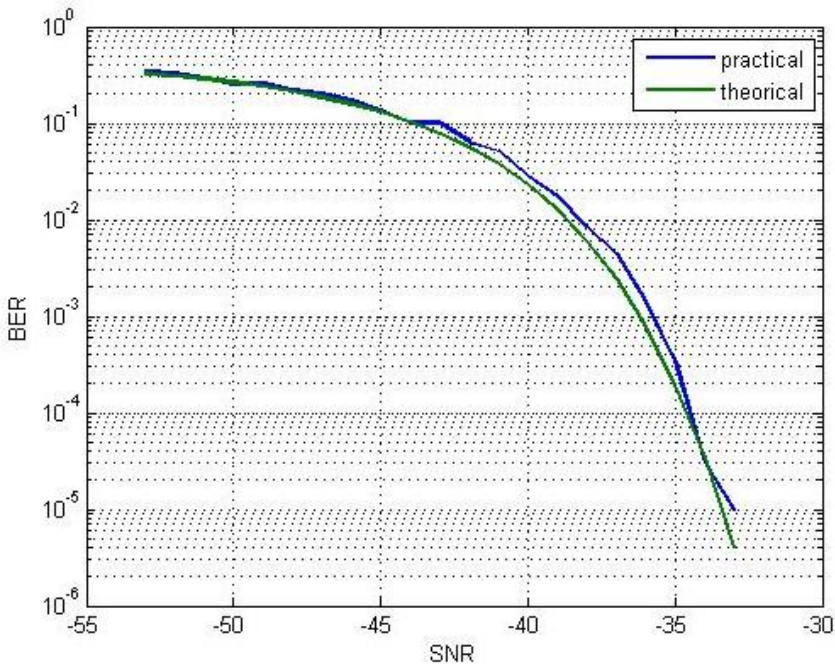
نلاحظ وجود تشابه بين المنحنيين النظري و العملي، ولكن ليس تشابه تام وإنما يوجد فيه بعض الاختلافات، حيث تعود تلك الاختلافات إلى قلة عدد العينات التي تم التجريب عليها، وذلك لأن التجريب على عدد عينات كبير يتطلب قدرات حاسوبية كبيرة وهذا غير متوفر، ولكن هذا التشابه كفيلا باختيار المنحنى العملي كمنحنى مرجعي يمكن الاعتماد عليه في تقييم أداء الخوارزمية في الإستقبال.

حيث نلاحظ أن للنظام مقاومة كبيرة للضجيج وذلك بسبب استخدام تقنية نثر الطيف حيث أن النظام يبقى محافظ على أداء جيد من أجل $SNR \geq -35dB$.

فلاحظ من المخطط أن خطأ البت كبير جداً عند -54dB ، ثم يتحسن الأداء كلما زاد الـ SNR حتى الوصول إلى $\text{SNR}=-35\text{dB}$ فيصبح لدينا بت واحد خطأ كل مليون بت.

إن المخطط النظري المأخوذ من أجل $10^{-k}BER$ من أجل عدد البتات المرسلة

$(10 - 20) \times 10^k$ حيث $k=1000000$ عدد العينات المرسلة



الشكل(7): معدل الخطأ بدلالة نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج

من دون وجود أي مصدر للتشويش

2-1-2. نمذجة الهوائي المستقبل:

- تمت نمذجة مصفوفة هوائيات مربعة ($M \times N$) واستقبال إشارة GPS المنمذجة مسبقاً.
 - تم إجراء عملية خفض ترددي للإشارة المستقبلية.
 - فك التعديل (BPSK).
 - توليد السلاسل العشوائية C/A code لجميع الأقمار وضربها بالإشارة الناتجة عن فك التعديل (BPSK)، وفي هذه الحالة سيتم تصغير إشارات جميع الأقمار ماعدا إشارة القمر ذو الرمز C/A code المراد الإستقبال منه، وذلك بسبب خصائص الترابط للسلاسل الشبه عشوائية PRN
 - مقارنة الـ (DATA) الناتجة مع الـ (DATA) الأصلية التي تم ارسالها ورسم منحنى الخطأ بدلالة نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR ومقارنة النتائج مع مستقبلات الـ GPS الحقيقية.
- حيث تصل إشارات GPS المدنية C/A code إلى سطح الأرض باستطاعة تقدر بحوالي
- (-157dBw).

2-2. التوجيه الإشعاعي:

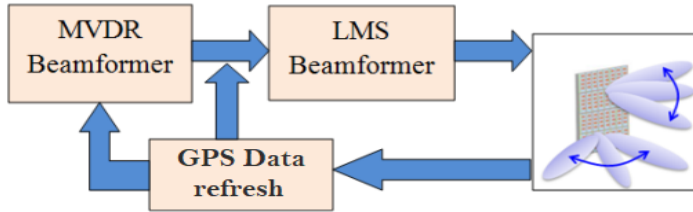
تم في هذا الجزء التحكم بالمخطط الإشعاعي لمصفوفة هوائيات مربعة ($M \times N$) كما في الشكل (3) (البعد بين كل هوائيين مساوٍ لنصف طول موجة إشارة GPS) (حيث d هو البعد بين كل هوائيين أي $d = \lambda/2 = 19.042/2 = 9.521 \text{ cm}$) حيث λ هي طول

موجة إشارة GPS ، بهدف استقبال التردد $f_{L1} = 1575.42$ MHz الحامل لإشارة GPS وأيضاً بهدف توجيه حزمة الإشعاع لهذه المصفوفة بزاويتي سمت وارتفاع (ϕ, θ) مماثلة لزاويتي السمت والارتفاع لإشارة (GPS) الواردة، تم استقبال إشارة (GPS) المنمذجة في الجزء الأول، باستخدام مصفوفة هوائيات مربعة وتم تطبيق الخوارزمية الهجينة (Hybrid MVDR-LMS) لتشكيل حزمة الإشعاع وتوجيهه وإزاحته بالإتجاه الموعوب.

1-2-2. الطريقة المقترحة لتشكيل الحزمة في مصفوفة هوائيات المستقبل هي الخوارزمية الهجينة Hybrid MVDR&LMS :

تجمع طريقة تشكيل الحزمة الهجينة المقترحة بين خوارزميتين متكيفتين لتشكيل حزمة الإشعاع، على شكل سلسلة من مرحلتين، حيث تكون المرحلة الأولى هي MVDR_Beamformer والمرحلة الثانية هي LMS beamformer باختصار تأخذ الخوارزمية الهجينة معلومات التغذية الراجعة من الترابط الذي تقوم بها المرحلة الأولى مع بيانات الأقمار المختلفة الواردة المحملة على التردد $L1$ وذلك لعمل ترابط مع إشارة قمر واحد، في حين ان وظيفة المرحلة الثانية هي تشكيل وإزاحة المخطط الإشعاعي باتجاه الإشارة المرغوبة بعد حساب تابع الخطأ ويوضح الشكل (8) آلية عمل هاتين الخوارزميتين.

ينتمي MVDR إلى خوارزميات توجيه الشعاع العمياء التي لا تتطلب معرفة إشارة مرجعية، وبالتالي ليست هناك حاجة لضبط أوزان المصفوفة مسبقاً، ولكن لديها شرط واحد هو معرفة مسبقة لاتجاه ورود إشارات التداخل، وهذا ما يسبب تشابك في التطبيق لأن اتجاهات إشارات التداخل تختلف بمرور الوقت، للتغلب على هذا النقص، يأتي دور الخوارزمية الثانية التكيفية LMS، تنتمي خوارزمية LMS إلى موجّهات الشعاع غير العمياء، فنحسب بها تابع الخطأ، وستستفيد الخوارزمية الثانية LMS من الأوزان الأولية الثابتة لـ MVDR بغية توفير بداية سريعة في التقاط جهة ورود الإشارة المرغوبة ولتجنب القيمة الصفرية للأوزان w ، بينما سيستخدم LMS لتوفير القدرة على الاحتفاظ بالإشارة الواردة من القمر.



الشكل(8): المخطط الصندوقي لعمل الخوارزمية الهجينة [5] Hybrid MVDR-LMS

يمكن تمثيل الخوارزمية الهجينة في الشكل(9) بمخطط انسيابي بالخطوات التالية[5]:

أ.حساب مصفوفة الارتباط R كما في المعادلة (2).

ب. إيجاد مصفوفة التوجيه A_u و A_{uv} باستخدام (46),(45) .

ج. استخدم الوزن w_u و w_{uv} كما في العلاقة (8) كوزن أولي من خوارزمية

MVDR واعتمادها في التكرار الأول للخوارزمية LMS.

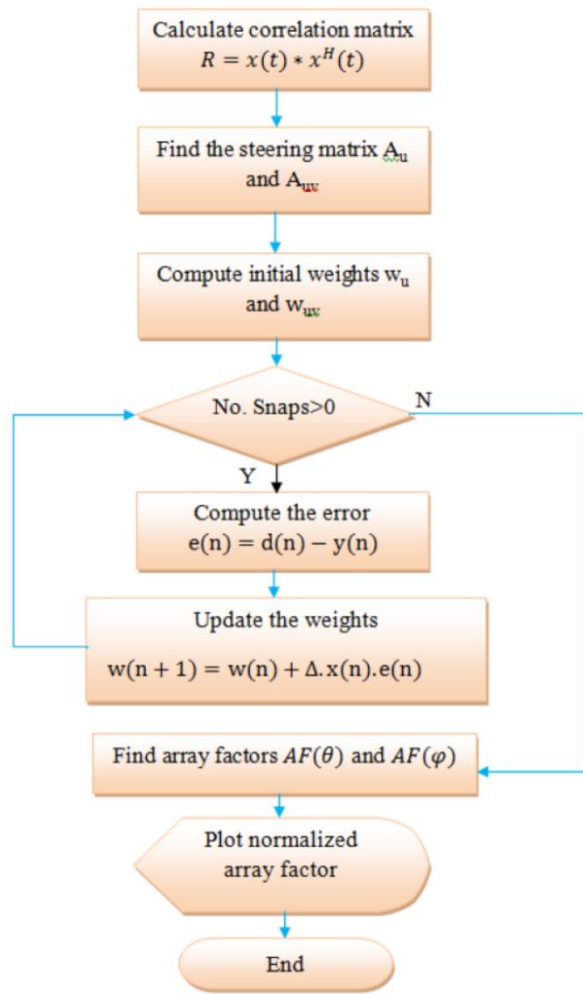
د. حساب الخطأ بين الهوائي المرجعي والهوائيات المساعدة كما في (11).

هـ. استخدم العلاقة (20) لتحديث الأوزان w_u و w_{uv} .

F. كرر الخطوتين د و ه حتى يتقارب الخطأ إلى الصفر بخطوة متغيرة.

ز. أوجد عوامل المصفوفة $AF(\theta)$ و $AF(\varphi)$ في (48) و (47).

ح. ارسم عامل المصفوفة المقيسة في العلاقة (49).



الشكل (9): [5] مخطط انسيابي لخطوات عمل الخوارزمية الهجينة Hybrid MVDR- LMS

LMS

2-3.دراسة تقارب الخوارزمية عند تطبيق الخطوة المتغيرة:

التطبيق العملي لخوارزمية Aboulnasr في لمعادلة (41) في الفقرة (3-6-1) على

تقارب الخوارزمية lms:

- تم اعتماد $\mu_{max} = 5 \times 10^{-4}$ و $\mu_{min} = 5 \times 10^{-14}$

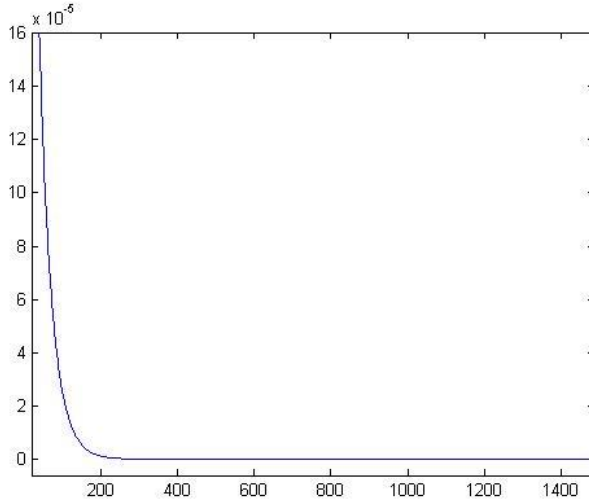
- $\gamma = 4.8 \times 10^{-5}$

- $\alpha = 0.97$

- $\beta = 0.95$

- وتم رسم معدل تقارب μ بعد تطبيق هذه البارامترات موضح في الشكل(14)

نلاحظ أننا حصلنا على تقارب سريع في 220 عينة وهي نتيجة جيدة [9][4]:



الشكل(14): تقارب الخطوة المتغيرة μ

بتطبيق الخوارزمية الهجينة Hybrid MVDR-LMS في المستقبل، لاستقبال إشارة GPS وفق الشروط الآتية:

- بارامترات الإشارة الواردة: زاويتي ورود الإشارة ($\phi = 30^\circ, \theta = 55^\circ$) .
- بارامترات المستقبل: (1 مصفوفة هوائيات بأبعاد (8×8)).

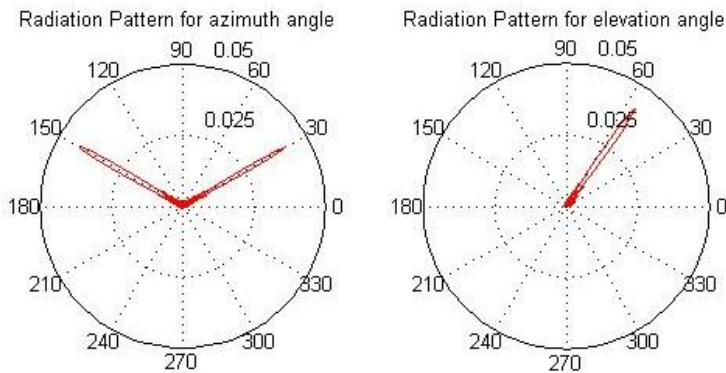
$$\text{SNR} = -50\text{dB} \quad (2)$$

يبين الشكلين (10) و (11) بالترتيب الاستجابة المطالية والمخطط الإشعاعي لمصفوفة الهوائيات لكل من زاويتي السمت والإرتفاع، ويوضح الشكل (12) الإستجابة المطالية بشكل ثلاثي الأبعاد وفق العلاقتين:

$$x = \sin(\phi) * \cos(\theta)$$

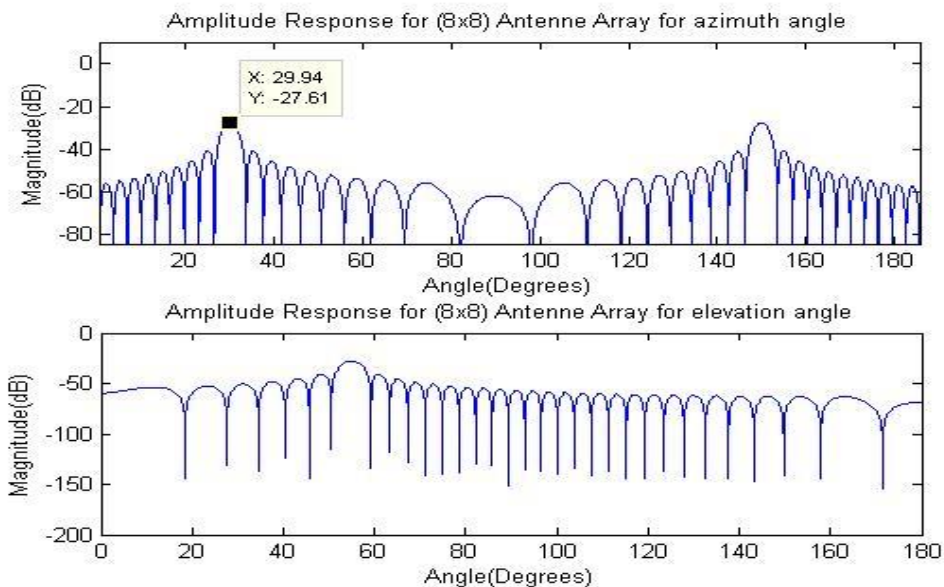
$$y = \sin(\phi) * \sin(\theta)$$

نلاحظ وجود توافقيات في الشكل(11) ، نظراً للإعتاد على هوائيات آيزوتروبية في دراستنا، يمكن حل هذه المشكلة باستخدام هوائيات موجهة مثل هوائيات رقعية.



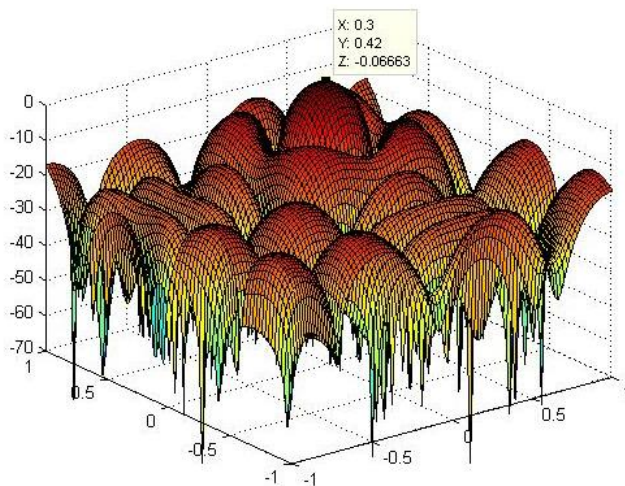
الشكل (10): المخطط الإشعاعي للمصفوفة المربعة لزواوية ورود الإشارة

بمركباتها(السمت والارتفاع)



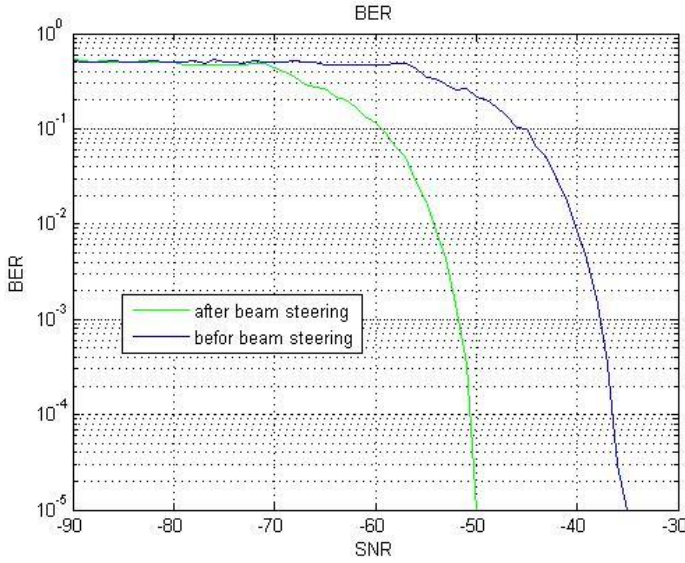
الشكل (11): الاستجابة المطالية للمصفوفة المربعة لزواوية ورود الإشارة

بمركباتها(السمت والارتفاع)



الشكل (12): رسم ثلاثي أبعاد للاستجابة المطالية

وقد تم الإستقبال من هذه الأرقام قبل تطبيق الخوارزمية الهجينة وبعد تطبيق الخوارزمية الهجينة ورسمنا معدل الخطأ BER بدلالة نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج SNR من دون وجود أي مصدر للتشويش كما في الشكل (13)



الشكل (13): معدل الخطأ بدلالة نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج من دون وجود أي مصدر للتشويش قبل تطبيق الخوارزمية الهجينة وبعد تطبيقها

نلاحظ من الشكل (13) أننا حصلنا على ربح بمقدار (14.8dB) عند رسم منحنى الخطأ (BER) بدلالة نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج (SNR) قبل تطبيق الخوارزمية الهجينة وبعد تطبيق الخوارزمية الهجينة، حيث نلاحظ من الشكل أن النظام قبل تطبيق الخوارزمية كان قادر على العمل بشكل مقبول فقط عند (SNR > -35.2dB) وبعد تطبيق الخوارزمية أصبح قادراً على العمل عند (SNR > -50dB) وذلك من أجل مئة ألف عينة أي لدينا ربح في الاستقبال بمقدار (14.8dB) .

4-2. اختبار النظام:

من أجل اختبار النظام ككل تم تحليل صورة بالأبيض والأسود وارسالها بعد تقسيمها إلى وحدات صغيرة (بكسل)، وافترضنا معلومات ملاحية، وقمنا بكل عمليات الإرسال في منظومة الـGPS، ثم تم استقبالها بدون تطبيق الخوارزمية، ثم تم الإستقبال بوجود خوارزمية Hybrid MVDR_LMS في الظروف التالية:

- مصفوفة هوائيات بأبعاد (5×5).
- زاويتي ورود الإشارة ($\theta = 30^\circ, \phi = 50^\circ$)، وتم الإستقبال من القمر 17.
- SNR= -50dB.
- SNR_Ref= -20dB
- فصلنا على الشكل (15) نلاحظ أنه لا يحدث استقبال لإشارة GPS عند SNR= -50dB ، ونلاحظ قدرة خوارزمية Hybrid_MVDR&LMS على تحسين الأداء بشكل ممتاز في ظروف سيئة وقدرة الخوارزمية على العمل في ظروف ضجيج عند SNR= -50dB ، وتأمين استقبال جيد للإشارة.

the Original Data

X=2465.365km

The Data with SNR=-50dB before beam steering



The Data with SNR=-50dB after beam steering

X=2465.365km

الشكل(15): ارسال صورة واستقبالها بحالتين a - قبل تطبيق الخوارزمية الهجينة

b - بعد تطبيق الخوارزمية الهجينة

3. الخاتمة الآفاق المستقبلية:

- تم في هذا البحث توصيف نموذج إشارة GPS، وفي المستقبل تم تطبيق Beam Steering_ وذلك بتطبيق خوارزمية متكيفة هي Hybrid MVDR-LMS لتشكيل وإزاحة حزمة الإشعاع لمصفوفة هوائيات مربعة، وتوظيفها في تطبيقات GPS، وقد حصلنا على ربح بمقدار 14.8 dB وهذه القيمة كافية لعمل الهوائي في بيئة مضججة وإشارة استطاعتها منخفضة جدا - to (-157dBm

163dBm وعند نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج حتى $SNR=-50$

. dB

- هذه النمذجة باستخدام برامج (Matlab2020)، ونأمل في المستقبل أن نتمكن من تطبيق هذه الخوارزمية بشكل عملي وباستخدام مصفوفة هوائيات حقيقية، للتأكد من صحة النتائج التي وصلنا إليها في نهاية هذا البحث.
- يمكن تطبيق خوارزمية Null steering Beamformer على نفس مصفوفة الهوائيات من أجل مكافحة إشارات التشويش، وذلك بتصغير الإشارات الواردة من جهات مغايرة لورود الإشارة المرغوبة.
- تمت هذه الدراسة على هوائيات أيزوتروبية، ولكن عند التطبيق العملي سنستخدم هوائيات رقعية مطبوعة، تقدم الهوائيات المطبوعة خاصية الإتجاهية اللازمة لحذف التوافقيات الناتجة عن دراستنا الماضية في الشكل (11).

8-المراجع العلمية:

- [1] Pedro Manuel Lourenço Marques Ferreira . GPS/Galileo/ GLONASS Software Defined Signal Receiver .July 2012
21wqeeezzcxv
- [2] Shubhra Dixit, and Deepak Nagaria, “LMS Adaptive Filters for Noise Cancellation: A Review”, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 7, No. 5, October 2017, pp. 2520-2529.
- [3] Ivan Zhou, German A. Ramirez, Luca Montero, Sebastian Blanch,
Jordi Romeu, Fellow, IEEE, Luis Jofre, Fellow, IEEE “3D Beamsteering Low Complexity Reconfigurable Multilevel Antenna”
1536-1225© 2020 IEEE. April 15,2020 UTC from IEEE Xplore.
- [4] Dariusz Bismor, Krzysztof Czyz and Zbigniew Ogonowski
Review
and Comparison of Variable Step-Size LMS Algorithms
Institute
of Automatic Control, Silesian University of Technology, ul.
Akademicka 16, 44-100 Gliwice, Poland (pp. 2439) ,2016.
<http://dx.doi.org/10.20855/ijav.2016.21.1392> International
Journal
of Acoustics and Vibration, Vol. 21, No. 1, 2016
- [5] Yasmine M. Tabra , Bayan Sabbar Hybrid MVDR-LMS beamforming for massive MIMO” Indonesian Journal of Electrical
Engineering and Computer Science Vol. 16, No. 2, November 2019, pp. 715~723 ISSN: 2502-4752, DOI: 10.11591/ijeecs.v16.i2.pp715-723
- [6] OEYSTEIN GLOMSVOLL. 09 SEPTEMBER 2014. JAMMING OF
GPS & GLONASS SIGNALS:DEPARTMENT OF CIVIL ENGINE_

- UNIVERSITY OF NOTTINGHAM GEOSPATIAL INSTITUTE 09 SEPTEMBER 2014.
- [7] Sameet Mangesh Deshpande .July 2004. Study of Interference Effects on GPS Signal Acquisition .July 2004.
- [8] Arif Hussain , Arslan Ahmed , Hina Magsi, Jahangeer Badar Soomro, Syed Sabir Hussain Bukhari , and Jong-Suk Ro
“Adaptive Data Length Method for GPS Signal Acquisition in Weak to Strong Fading Conditions” Electronics 2021, 10, 1735.
<https://doi.org/10.3390/electronics10141735>
<https://www.mdpi.com/journal/electronics>
- [9] Dariusz Bismor, Krzysztof Czyz and Zbigniew Ogonowski
Review
and Comparison of Variable Step-Size LMS Algorithms
Institute
of Automatic Control, Silesian University of Technology, ul.
Akademicka 16, 44-100 Gliwice, Poland (pp. 2439) Acoustics
and
Vibration, Vol. 21, No. 1, 2016
- [10] Yuteng Xiao, Jihang Yin, Honggang Qi, Hongsheng Yin, and
Gang
Hua “MVDR Algorithm Based on Estimated Diagonal
Loading
for Beamforming” Hindawi, Volume 2017, Article ID
7904356, 7
Pages <https://doi.org/10.1155/2017/7904356>