

الجمهورية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية العظمى

كلية العلوم الهندسية والتقنية _جامعة سبها

ملخص عمل بحثي تحت عنوان:-

نظام الهوائيات الذكية

Smart Antennas system

اعداد:

وفاء محمد المصراطي

ARWAMINTRA@YAHOO.COM

خريف 2005-2006

ملاحظة: للحصول على البحث كاملا يرجى الاتصال على arwamintra@yahoo.com

• الملخص

هذا المشروع عبارة عن دراسة للهوائيات التكيفية والتي تعتبر أفضل المستويات المستخدمة في أنظمة الهوائيات الذكية والإشارة إلى المستويات المختلفة للذكاء ، وعمل محاكاة باستخدام (Matlab) ، لأحد المستويات في هذا النظام وتحليل نتائجه، وتم استخدام خوارزمية أقل معدل مربع خطأ (LMS) Least Mean Square لاستقراريتها العالية وبساطتها حسابياً، وتم إجراء عملية المحاكاة لنظام الهوائي التكيفي ووجد الأتي:

✚ النظام له مقدرة كبيرة على توجيه القدرة المشعة في اتجاه محدد والتصغير نحو الاتجاهات الغير مرغوبة.

✚ نظام الصف التكيفي يتأثر بعدد صفوف الهوائي ، كلما كانت الصفوف أكثر كلما تم الحصول على توجيه قدرة جيد وتقليل معدل مربع الخطأ.

✚ نظام الهوائي التكيفي يتأثر بمعامل حجم الخطوة حيث تم الحصول على أقل مربع خطأ عند معامل حجم خطوة 0.03 .

• المقدمة

أنظمة اللاسلكي المستخدمة قبل استخدام نظم الاتصالات الخليوية كانت تعاني من مشكلة كبيرة وهي الحاجة إلى أجهزة إرسال ذات قدرات عالية لتغطية منطقة جغرافية كبيرة، هذه المشاكل يمكن تحديدها بثلاث نقاط:-

✚ محدودية الخدمة.

✚ عدم استخدام المدى الطيفي الترددي بكفاءة.

✚ تدني مستوى الأداء.

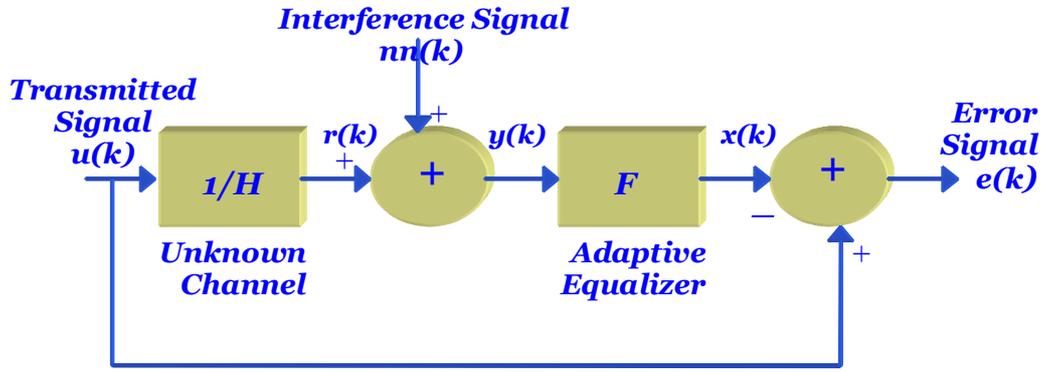
لذلك كانت هناك أمس الحاجة لنظام فعال أكثر من أنظمة الهاتف اللاسلكي وكان هذا النظام هو الأنظمة الخليوية والتي تسمح بإعادة استخدام التردد في منطقة جغرافية واحدة وتلبية رغبة أكبر عدد ممكن من المشتركين. إلا أن الهوائيات المستخدمة في النظام السابق لها نمط إشعاعي ثابت حيث أن أغلب القدرة المرسله بواسطة هوائي تقليدي لا يستلمها المستخدم وتظهر كضوضاء تتداخل مع المستخدمين الآخرين والقواعد الأخرى [1]. كما أن النمط الثابت يعني أيضا أن الهوائي يستلم الإشارات في منطقة واسعة والذي بدوره يزيد من التداخل ومستويات الضوضاء عند الاستقبال لخلية شبكة الهاتف المحمولة، هذه المشكلة في الهوائيات التقليدية يمكن معالجتها جزئيا باستعمال هوائيات متعددة الاتجاهات (Omni directional) والتي لها عدة مساوئ حيث أن الإشارة المرسله تواجهها عدة مشكلات مثل التداخل متحد القناة (Co-Channel Interference) والتأخير الزمني في الانتشار (Delay Spread) وغيرها من المشكلات التي تعاني منها الإشارة المرسله مما يؤدي إلى استقبال غير جيد في الأنظمة الخليوية ، وحيث أنه في أكثر قنوات النقال يوجد أكثر من طريق انتشار بين المرسل والمستقبل وحيث أن الإشارة المستقبله تتكون من عنصرين (Components) أو أكثر وكلها تنتقل عبر طريق يختلف عن الآخر، عناصر الطريق المتعدد المسارات هذه يمكن أن تنتسب في ما يعرف بتداخل الرموز (ISI) Inter-Symbol

Interference، كما أن الخبو (تتضاءل الإشارة) (fading) يعتبر مشكلة أخرى في القناة المتعددة المسارات. كلا من ISI والخبو يمكن تخفيفها باستخدام الهوائيات التكيفية [11].

الهوائيات الذكية اكتسبت اهتمام كبير في السنوات الأخيرة وذلك لتمكنا من زيادة السعة والأداء، حيث تزداد السعة إلى 3 أضعاف سعة نظام TDMA و 5 أضعاف سعة نظام CDMA، كما أظهرت بعض النتائج العملية في دراسات سابقة بالوصول إلى 10dB كمقدار زيادة في متوسط SIR بالمساحات المدنية، زيادة SIR يعني احتمالية إعادة التردد المقل في نظم TDMA حيث تم تقليل المجموعة الخليوية السباعية التقليدية إلى مجموعة خليوية ثلاثية و سيزيد هذا من السعة بمقدار 3/7، وتعتبر نظم CDMA مثل IS-95 و UMTS ذات تداخل محدود بشكل أكبر من نظم TDMA، حيث أن المصدر الرئيسي للضوضاء في النظام هو التداخل من قبل مستخدمين آخرين وذلك لأن الشفرات المنتشرة لا تكون عمودية بشكل مثالي وهذا يعني أن الكسب المتوقع للسعة يكون أكبر بالنسبة لـ CDMA مقارنة بـ TDMA [5]، هذه المنافع تكون بسبب قابلية نظام الهوائي الذكي للإشعاع مباشرة في اتجاه العناصر المتعددة المسارات المرغوبة والتصغير في الاتجاهات المتداخلة، ويتم ذلك عن طريق التعديل التكيفي الذي يتضمن إعادة تهيئة دورية للمعادل حتى يكون قادر على التكيف مع أي تغيرات في قناة الاتصال. الأمر يتطلب إرسال سلسلة محددة من عمليات إعادة التهيئة بواسطة إخماد الصدى (Echo) الناتج من الانتشار المتعدد المسارات، بعد عملية التهيئة بيانات المستخدم ترسل مباشرة [4].

1. خوارزمية LMS القياسية Standard LMS Algorithm

الخوارزمية LMS جاءت من بحث في جامعة Stanford لنموذج التعريف وقد تمت صياغتها بصورة نظامية من قبل Windorw عام 1971 وهي الآن تطبق بمدى واسع لحساب أوزان المرشح التكيفي كما أنها تستخدم تقنيات البحث التدريجي (Gradient search techniques) التي تتقارب باتجاه الحل الأمثل بصورة أكثر كفاءة من الخوارزميات الأخرى [3]، كما أن هذه الخوارزمية تعتمد في حلها على إيجاد أقل معدل لمربعات الأخطاء وتتميز بالاستقرارية في الوصول للحل، إلا أنها بطيئة إذا ما قورنت بخوارزمية RLS (Recursive Least Square) والتي تعتمد في حلها استخدام طرق تكرارية تتميز بسرعة وصولها للحل ولكنها تعاني من مشكلة الاستقرار بسبب احتياجها إلى عدد كبير من العمليات الحسابية، عدد العمليات الحسابية في كل دورة من دورات الحل تتناسب مع مربع عدد معاملات المرشح المتكيف، بينما تتناسب عدد العمليات الحسابية في خوارزمية LMS مع عدد معاملات المرشح المتكيف.



شكل (1.1) حلقة التغذية الخلفية

حيث ان :-

✚ k لحظة أخذ العينات .

✚ إشارة الدخل $u(k)$ تمثل الإشارة المرسله عن طريق المرسل .

✚ إشارة التداخل $nn(k)$ تمثل التداخل عند المستقبل .

الإشارة $r(k)$ تمثل خرج القناة الغير معروفة $1/H$ ، هذا الخرج يضاف مع $nn(k)$ ليعطي شكل الإشارة المستقبلية $y(k)$ ، الإشارة $y(k)$ تمرر خلال المعادل F الذي يعطي الإشارة $x(k)$ ، وأخيراً $x(k)$ تقارن مع الإشارة المرسله الأصلية $u(k)$ ونتيجة المقارنة هي إشارة الخطأ $e(k)$.

المعادل يقوم بتحديد الاتجاه للقناة ويقلل تأثير الضوضاء المضافة عند خروجه من القناة المجهولة $1/H$ ، المعادل مع دالة النقل $H=F$ ينتج معادل دالة النقل العام للقناة اي $F/H=1$ ، هذا تقريباً يدل علي عدم وجود التداخل ، خرج المعادل $x(k)$ سيكون هو الإشارة المرسله الأصلية $u(k)$ [4] .

وبالرجوع للشكل (1) عند افتراض أن القناة المجهولة $1/H$ قناة خطية ذات زمن ثابت و تمثل نموذج المرشح

IIR (Infinite Impulse Response) ذو الزمن المتقطع مع n مركبة دخل.

$$H=[h_0,h_1,h_2,\dots,h_{n-1}] \dots \dots \dots (1.1)$$

حيث مرشح LMS التكيفي FIR له تأخير لقيم الدخل نو تركيب خطي وبطول n قيمة.

$$F(k)=[f_0,f_1,f_2,\dots,f_{n-1}] \dots \dots \dots (2.1)$$

حيث معاملات $F(k)$ توضع لها قيمة ابتدائية صفر:

$$F_i(0)=0. \text{ for } i=0,1,2,3, \dots, n-1 \dots \dots \dots (3.1)$$

بفرض أن إشارة الدخل $u(k)$ وإشارة التداخل $nn(k)$ لها قيم متوسطة ومساوية للصفر ولا يوجد بينها ترابط مع مرور الوقت ، وعند حساب الخرج $r(k)$ للقناة المجهولة $1/H$ ، فان ذلك يتطلب معرفة الـ $n-1$ قيمة الأخيرة لـ r وبذلك يكون المتجه :

$$R(k)=[r(k-1), r(k-2), r(k-3), \dots, r(k-n+1)] \dots \dots \dots (4.1)$$

والذي يستخدم لحساب الخرج:-

$$r(k) = \frac{1}{H(1)}(u(k) - H(2:n)R^T(k)) \dots \dots \dots (5.1)$$

حيث: $H(1) = h_0$ وكذلك $H(2:n) = [h_1, h_2, \dots, h_{n-1}]$

إشارة الخرج ستضاف إليها إشارة التداخل $nn(k)$ ليكونان معا الإشارة المستقبلية.
 $y(k) = r(k) + nn(k) \dots \dots \dots (6.1)$

الإشارة المستقبلية $y(k)$ تضاف بعد ذلك إلى مصفوفة مكونة من آخر $n-1$ إشارة استقبال لتكوين متجه إشارة الاستقبال .

$$Y(k) = [y(k), y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n+1)] \dots \dots \dots (7.1)$$

هذا المتجه يستخدم كدخل للمعادل التكيفي F لينتج $x(k)$ المخمّنة من إشارة الإرسال.

$$x(k) = F(k-1)Y^T(k) \dots \dots \dots (8.1)$$

القيمة المخمّنة لـ $x(k)$ تقارن بعدها مع إشارة الإرسال الأصلية $u(k)$ لتعطي إشارة الخطأ أي :

$$e(k) = u(k) - x(k) \dots \dots \dots (9.1)$$

إشارة الخطأ $e(k)$ يجب أن تكون مساوية لإشارة التداخل $nn(k)$. هذا يشير إلى أن المعادل LMS التكيفي استطاع تخمين H بنجاح ، وبالتالي من الممكن ملاحظة أن أوزان الدخل للمعادل F هي دوال عند لحظة أخذ العينات k ، وهذا يشير إلى أن أوزان الدخل للمعادل التكيفي دالة للزمن ، وبالتالي الخوارزمية LMS تقوم بتعديل أوزان الدخل أو معاملات المعادل FIR في اتجاه تقليل نسبة متوسط مربع الخطأ (MSE) $e^2(k)$ وبذلك تسمى أيضا بخوارزمية معدل مربع الخطأ Mean Square Error ، الـ MSE يتطلب سعة ذاكرة كبيرة وهذا الخطأ اللحظي $e(k)$ يستخدم لتخمين الميل (درجة الانحدار) لسطح الـ MSE [4] .

أخيرا معادلة الـ LMS القياسية للمعادل FIR تعطي بـ:

$$F(k) = F(k-1) + \mu Y(k)e(k) \dots \dots \dots (10.1)$$

حيث $Y(k)$ تمثل متجه الإشارة المستقبلية من (7.1) و μ بارميتر حجم الخطوة.

المعامل الرئيسي الذي يؤثر على استقرارية ونسبة تقارب خوارزمية LMS هو قيمة بارميتر حجم الخطوة μ [3] ، هناك تبادل بين نسبة التقارب والاستقرارية لمعادل LMS التكيفي إذا كانت قيمة μ كبيرة تنتج نسبة تقارب سريعة ، ولكن مقابل هذا التقارب السريع ينتج نقص في الدقة والاستقرارية للمعادل ، ومن الناحية الأخرى القيمة الدنيا لـ μ تعطي دقة واستقرارية عالية لكل نسبة تقارب بطيئة ، μ في العادة تختار ضمن المدى:-

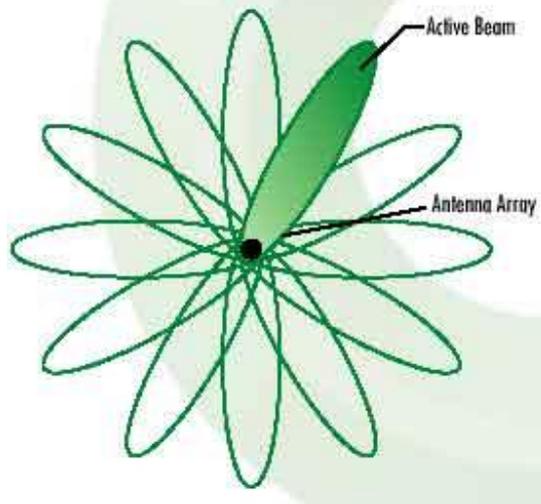
$$0 < \mu < \frac{2}{\sum_{i=k-n+1}^k u^2(i)} \dots \dots \dots (11.1)$$

2. مستويات الذكاء Levels of Intelligence

تم تقسيم الهوائيات إلى ثلاث مستويات هذه المستويات أو الأنواع تختلف إحداهما عن الأخرى بقابلية التوجيه بشكل خاص ،وسيتم هنا التحدث بشكل مبسط عن هذه الأنواع والتركيز على أفضل مستوى وهو الصف التكيفي[5] .

1.2. أنظمة هوائي الشعاع المتبدل Switched Beam Antenna Systems

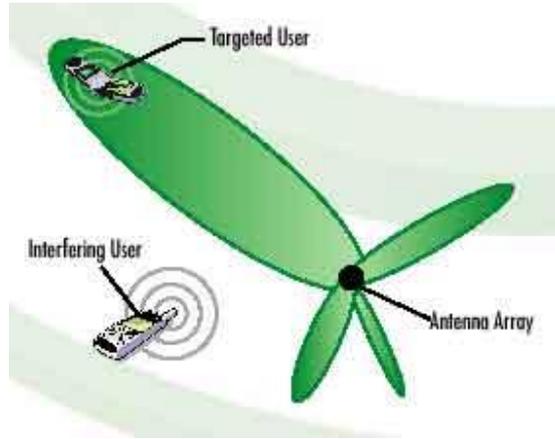
تقنية الشعاع المتبدل إلي حد ما تقسم القطاعات إلي قطاعات ميكروية وكل قطاع ميكروي يحتوي علي نموذج اشعاع ثابت مع كسب أعظمي موضوع في مركز الشعاع. عندما يكون مستخدم النقال قريب من القطاع المايكروي ، نظام الشعاع المتبدل يختار الشعاع ذو الإشارة الأقوى وخلال المحادثة النظام يختبر قوة الإشارة ويبدل الأشعة الثابتة الأخرى عند الحاجة كما هو موضح في الشكل(1.2)[11] ، أحد العيوب الرئيسية لأنظمة هوائي الشعاع المتبدل هو أن النظام غير قادر على توليد الحماية من مركبات الانتشار المتعدد (multipath component) المستقبلية من الاتجاهات القريبة من الإشارة المرغوبة.



شكل(1.2) تقنية الشعاع المتبدل.

2.2. الصف المتغير ديناميكياً Dynamically Phased Array

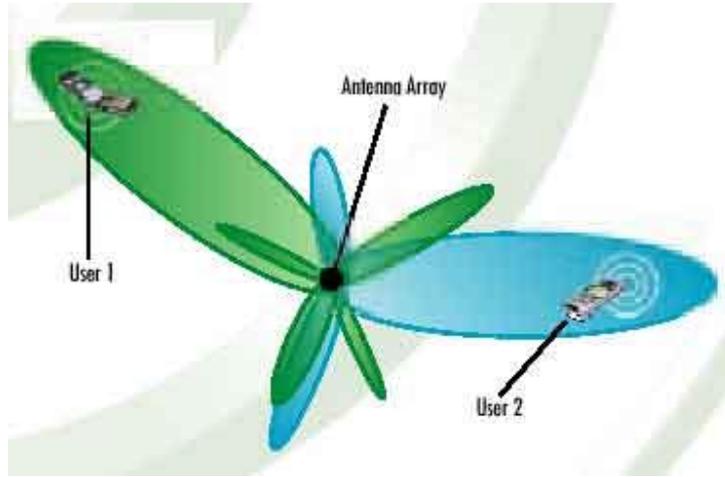
بمعرفة DOA للإشارة المستقبلية من المستخدم يمكن تحقيق التتبع المستمر وملاحظته كحالة عامة من النتوء المتنقل ،وفي هذه الحالة يتم جعل القدرة المستقبلية أقصى ما يمكن نمطه الإشعاعي موضح في الشكل(2.2).



شكل (2.2) الصف المتغير دينامكيا

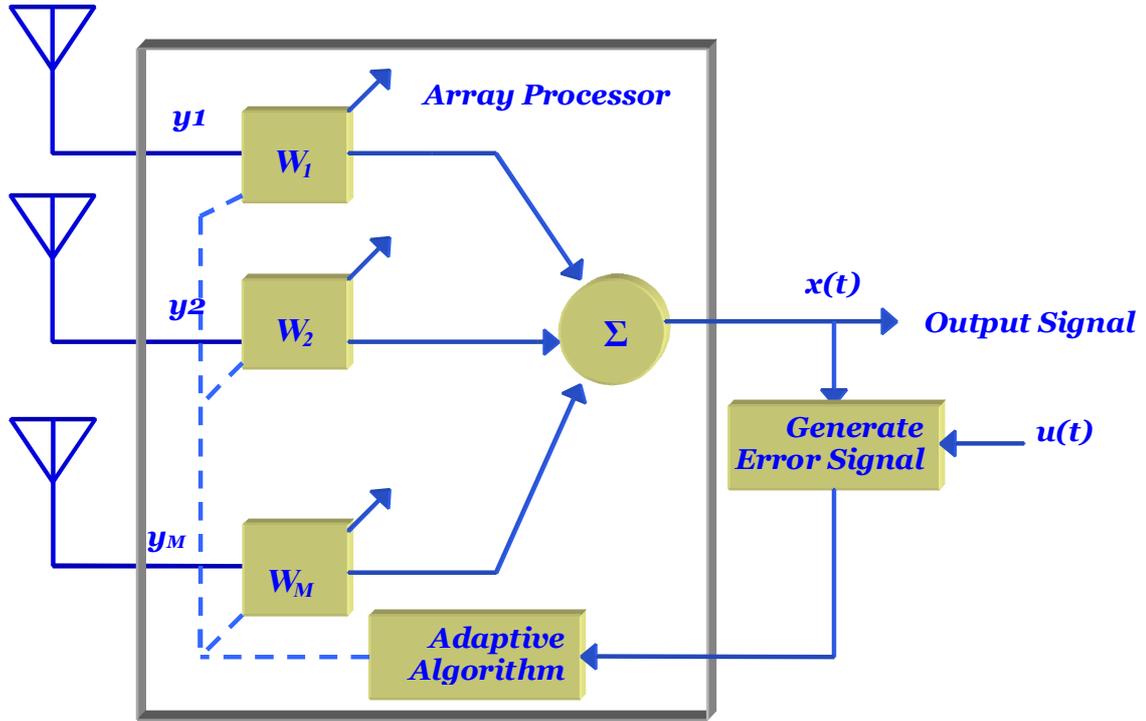
3.2. أنظمة الهوائي التكيفي Adaptive Antenna Systems

صفوف الهوائي التكيفي تمتلك قابلية لتوجيه الأشعة نحو الإشارة المرغوبة كما موضح في الشكل (3.2.2) ، والتصفير نحو إشارات التداخل أثناء تنقل المستخدم داخل القطاع هذه هي الفائدة الرئيسية لأنظمة الهوائي التكيفي مقارنة بأنظمة الشعاع المتبدل .



شكل (3.2) الصف التكيفي.

في المصفوفة التكيفية الطور والاتساع لكل عنصر خرج يتحكم به بواسطة الخوارزميات التي تعدل بشكل تكراري متجه الأوزان للإشارات عند الهوائيات الصفائية. متجهات الأوزان يتحكم بها بالاعتماد على الإشارة والتداخل بالإضافة إلى متطلبات النظام متجهات الوزن هذه معقدة لأنها تولد كلا من معلومات الاتساع والطور . الشكل (4.2) يوضح الطور و/أو الاتساع للأوزان التي تُحدث باستمرار عن طريق التغذية الخلفية لتقليل التداخلات وتحسين الإشارة [4].



شكل (4.2) معالج الصفوف التكيفية.

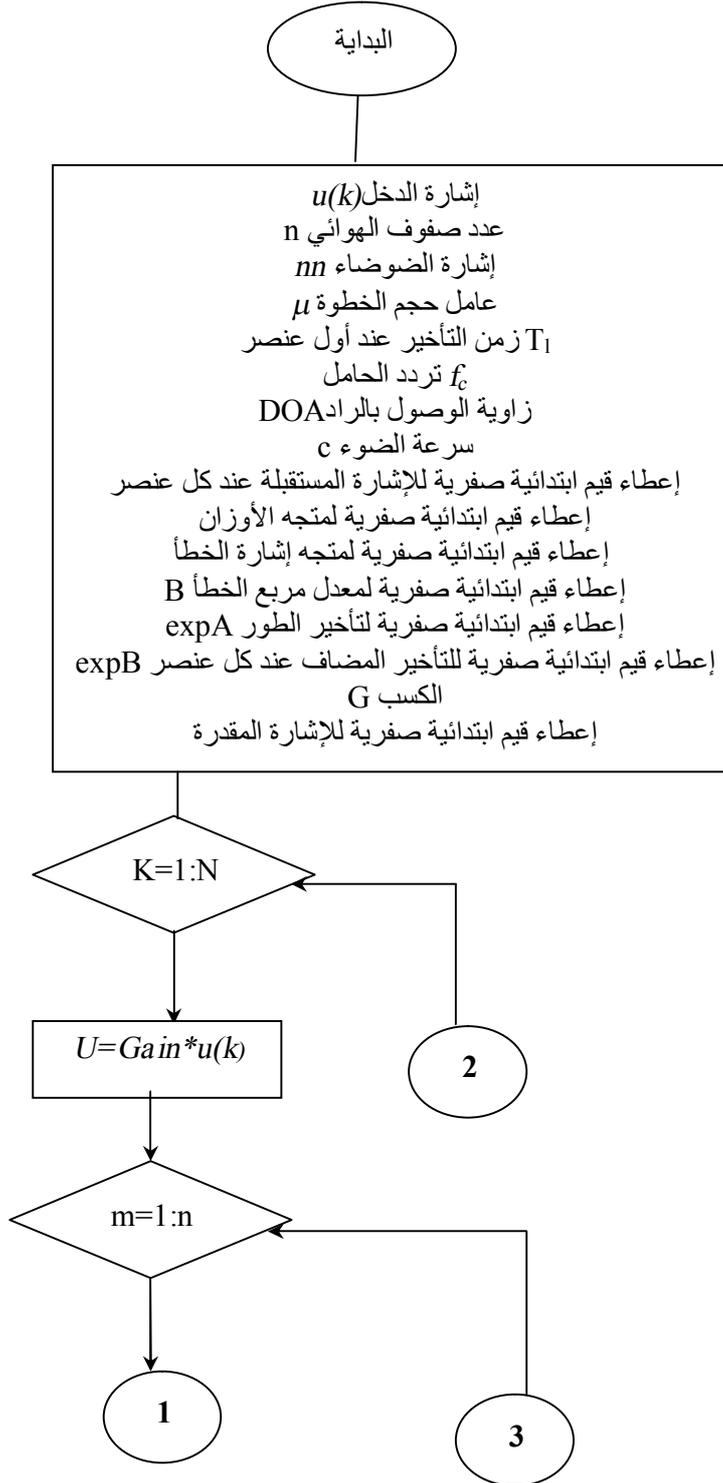
3. تقنية الهوائي التكيفي Adaptive Antenna Technique

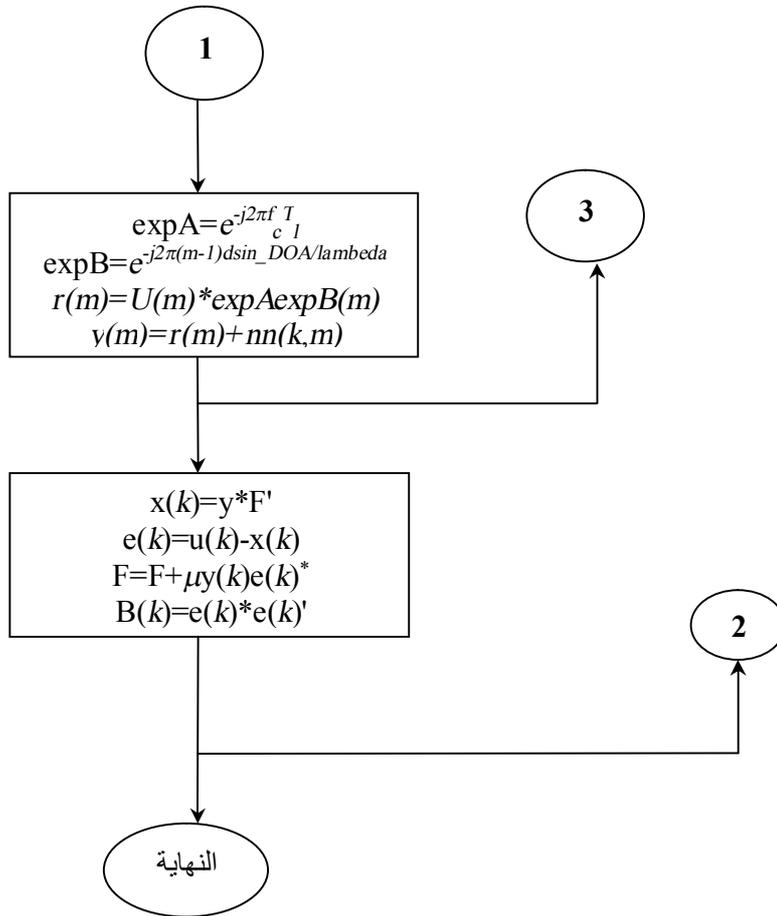
الهوائيات التكيفية تستخدم مصفوفة من الهوائيات ذات الكسب المنخفض و تربط بواسطة شبكة موحدة. لبساطة التحليل لصفوف الهوائي سيتم افتراض أن المسافة بين عناصر الصف صغيرة بما فيه الكفاية حتى تستقبل الصفوف الإشارات بدون تغير في مقدار الإشارات. أيضا للتحليل البسيط يفترض أنه لا يوجد ربط مشترك بين عناصر الهوائي وبذلك يكون هناك عدد محدود من الإشارات الواصلة عند العناصر ، وأخيرا عرض النطاق للإشارة الواصلة يكون صغير مقارنة بتردد الحامل. هوائيات المصفوفة توضع إما في مسافات متساوية خطية أو دائرية منتظمة وهذه المصفوفة مستوية المسافات فراغية منتظمة للتماثل ، متحدة الاستقطاب ، عناصرها ذات كسب منخفض ، بالتالي تكون العناصر الصفائحية موجه في نفس الاتجاه .

4. محاكاة نظام الهوائي الذكي (SAS)

تم عمل محاكاة لـ SAS باستخدام ماثلاب وتم فرض القيم التالية ، عدد إشارات الدخل 5000 لسلسلة تدريب لها القيم 1 أو -1 لمحاكاة المرسل ذو إرسال لقيم ثنائية ، معامل حجم الخطوة 0.008 ، كما كل المسارات المتعددة تعاني كسب مختلف والتي تحتوي على كل من المقدار والطور ، تردد الحامل $f_c = 400M$

Hz، هذا يعني أن الطول الموجي 0.75m ، قيمة d مساوية لـ 0.375m ، تأخير الانتشار من المرسل إلى أن يصل إلى أول عنصر تم فرضه $100 \mu s$ ، الشكل (2.4) يوضح المخطط الانسيابي لبرنامج المحاكاة.





شكل (2.4) المخطط الانسيابي لعمل البرنامج.

5. النتائج والمناقشة:-

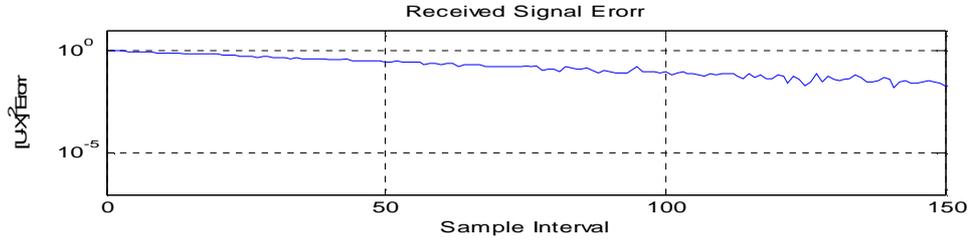
وجد من خلال عمل المحاكاة لنظام الهوائي الذكي ان النظام يتأثر بكل كبير بالأتي:

- معامل حجم الخطوة.
- عدد الهوائيات الصفائفة.

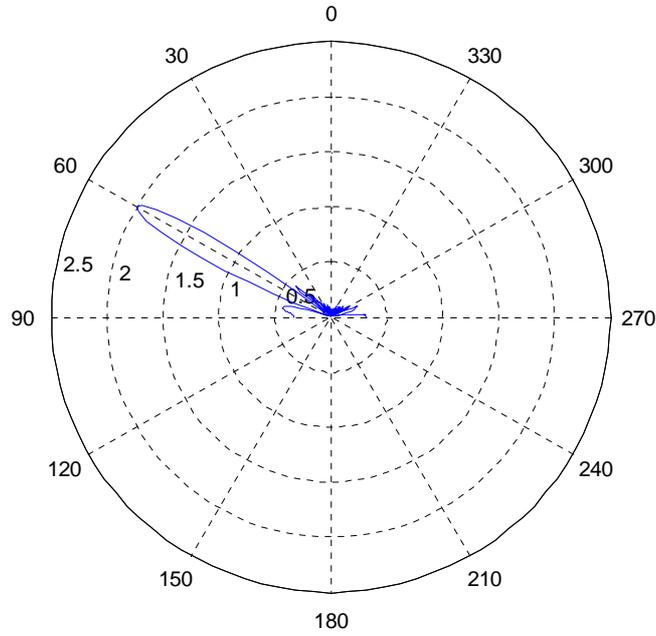
• معامل حجم الخطوة

أولاً: عند اختيار معامل حجم خطوة في حدود 0.00001 فإن قيمة معدل مربع الخطأ تقريبا مساوية للوحدة ولا تنقص عن هذه القيمة .

ثانياً: عند معامل حجم خطوة في حدود 0.002 وما دونها تعطي قيم خطأ أكبر من استخدام معامل حجم خطوة 0.006 وما فوق ، وجد أن متوسط معدل مربع الخطأ 0.0112 ، كما موضح بالشكل (1.5).



(a)



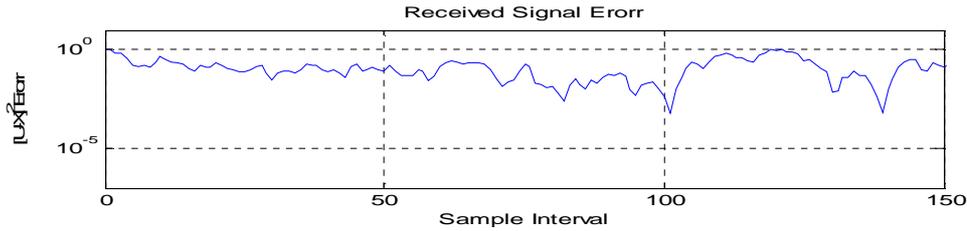
(b)

شكل (1.5) (a) العلاقة بين معدل مربع الخطأ وزمن أخذ العينات

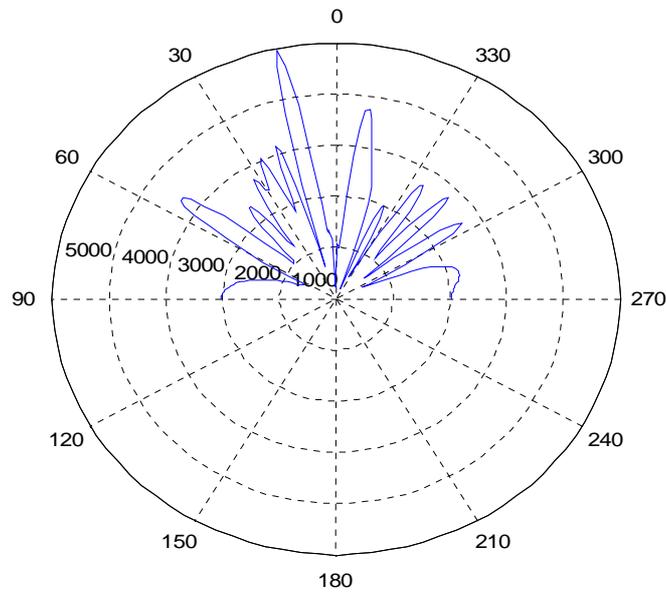
(b) النموذج الإشعاعي لصفوف الهوائي

ثالثاً: عندما معامل حجم خطوة كبير في حدود 0.05 وما فوق وجد أن معدل مربع الخطأ يقل ويصاحب ذلك عدم استقرار في قيمة معدل مربع الخطأ طوال فترة أخذ العينات k ، ووجد أن متوسط معدل مربع الخطأ 0.0042 وذلك عند 25 صف.

رابعاً: عندما يصل معامل حجم الخطوة عند 0.1 يلاحظ نقصان في قيمة القدرة المشعة، ويزداد هذا النقصان عند معامل حجم خطوة 0.2، ويحدث عدم انتظام عند معامل حجم خطوة 0.3 للنموذج الإشعاعي ويصبح معدل مربع الخطأ في حالة عدم استقرار واضح كما موضح بالشكل (2.5).



(a)



(b)

شكل (2.5) (a) العلاقة بين معدل مربع الخطأ وزمن أخذ العينات
(b) النموذج الإشعاعي لصفوف الهوائي

• عدد الهوائيات الصفائية

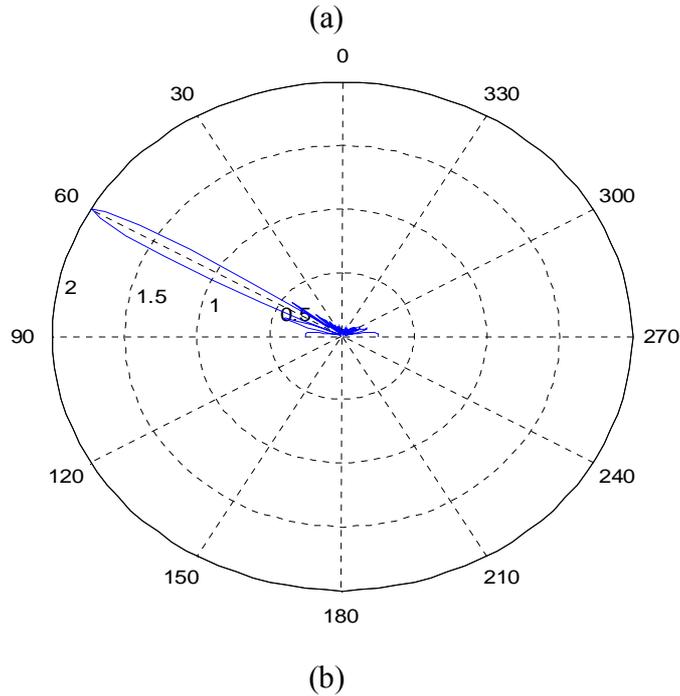
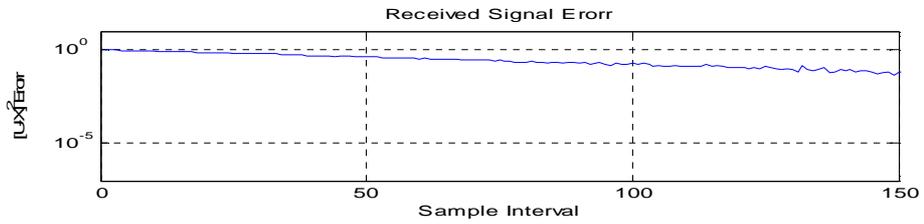
عند تغيير عدد صفوف الهوائيات وجد أن لها تأثير واضح على نظام الهوائي الذكي على نسبة الخطأ حيث كلما زادت عدد الصفوف قل معدل مربع الخطأ كالآتي :

✚ عند معامل حجم خطوة مقداره 0.008 وعدد الصفوف 25 صف ، وجد أن متوسط معدل مربع الخطأ 0.0053.

✚ عند تغيير عدد صفوف الى 27 صف عند معامل 0.008، وجد أن متوسط معدل مربع الخطأ 0.0050.

✚ عند تغيير عدد صفوف إلى 37 صف عند معامل 0.008، وجد أن متوسط معدل مربع الخطأ 0.0037.

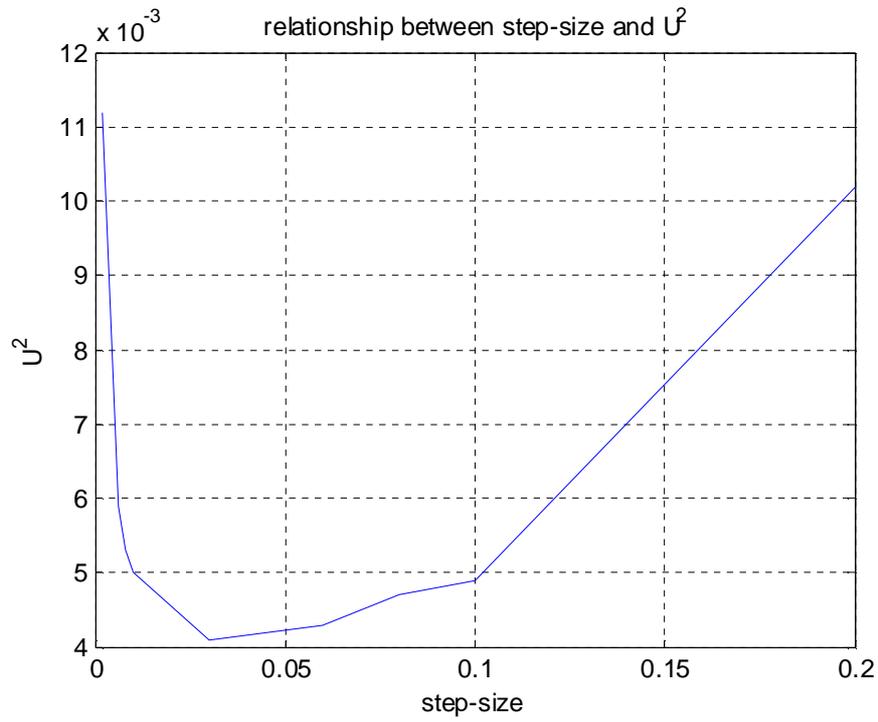
✚ عند تغيير عدد صفوف إلى 37 صف عند معامل 0.001 ، وجد أن متوسط معدل مربع الخطأ 0.0130.



شكل (3.5) (a) العلاقة بين معدل مربع الخطأ وزمن أخذ العينات

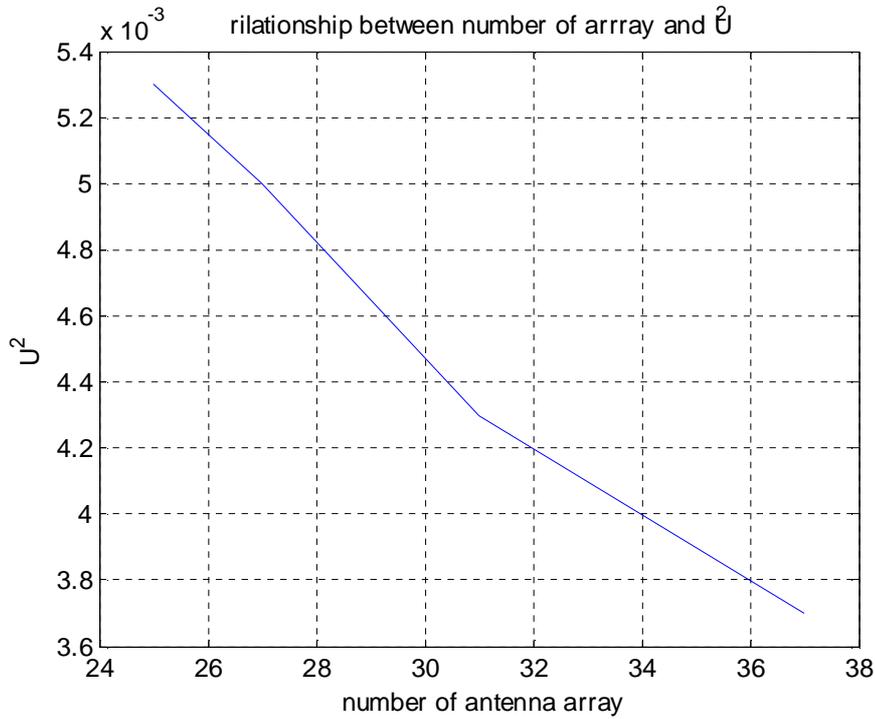
(b) النموذج الإشعاعي لصفوف الهوائي

والشكل التالي يوضح العلاقة بين معامل حجم الخطوة ومتوسط معدل مربع الخطأ.



شكل (4.5) العلاقة بين معامل حجم الخطوة ومعدل مربع الخطأ

والشكل التالي يوضح العلاقة بين عدد صفوف الهوائيات ومتوسط معدل مربع الخطأ.



شكل (5.5) العلاقة بين معدل مربع الخطأ وعدد صفوف الهوائيات.

• الاستنتاجات

- هدف المشروع هو دراسة لأنظمة الهوائيات الذكية لاستخدامها في نظم النقل وتحقيق الزيادة في السعة والمدى عن طريق هوائيات الصف التكيفي التي تم عمل محاكاة لها باستخدام خوارزمية LMS .
ومن خلال استخدام Matlab في إجراء محاكاة في لهذا النظام يمكن استنتاج الآتي:
- ✚ عند تعيين معامل حجم خطوة من 0.002 الى 0.2 كان متوسط معدل مربع الخطأ يساوي 0.006178 بينما الانحراف المعياري مساوي 0.00262.
 - ✚ عند تغيير عدد صفوف الهوائي من 25 الى 37 بخطوات عشوائية ثم الحصول على مربع خطأ بتقدير 0.004575 وانحراف معياري 0.000718.
 - ✚ من خلال النمط الإشعاعي للهوائي عند زاوية 60° كان هناك تغير واضح في كمية القدرة عند تغيير حجم الصفوف ومعامل الخطوة.

المراجع العربية:

- [1] حسن الكمشوشي ، سعيد النوبي ، ”نظم الاتصالات اللاسلكية الخليوية للمتنقلات“ ، دار الراتب الجامعية، لبنان، 1997.
- [2] حسن الكمشوشي، ”انتشار الموجات والهوائيات“، الجزء الثالث ، دار الراتب الجامعية، لبنان، 1996 .

المراجع الأجنبية:

- [3] C.F.C Cowan, P.M.Grant, “ Adaptive Filters”, Prentice-Hall,1985.
- [4] Shannon Liew, “Adaptive Equalisers and Smart Antenna Systems”, The University of Queensland, 2002.
- [5] Per H.Lehne, Magne Pettersen, Telenor Research, <http://www.comsoc.org>, “An Overview of Smart Antenna Technology for Mobile Communications Systems”,IEEE Communications Surveys, Fourth Quarter, vol.2, No.4, 1999.
- [6] Seungwon Choi, Dongum Yun, “Design of Adaptive Array for Array Tracking the Source of Maximum Power and Its Application to CDMA Mobile Communications”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation,vol.45, No.9, 1997.
- [7] http://www.Webproum.com/array_comm/full.html, Array Comm, “Smart Antenna Tutorial” , 1997.
- [8] Robert A.Monzingo,Thomas W.Miller, “Introduction Adaptive Arrays”,John Wiley & Sons,Canada,July,1980.
- [9] MATLAB, “the language of technical computing”, version 7.0.4.365(R14), service pack 2, January 29, 2005.
- [10] Hafeth Hourani, “Adaptive Antenna Systems”, Helsinki University of Technology,July17, 2005.
- [11] Ahmad A.Almhdie, “ Switched Parasitic Antenna Arrays for Indoor Smart Antenna Systems”, McMaster University, 1999.
- [12] K.K.Wong, K.B. Letaief, R.D.Murch, “Investigating the Performance of Smart Antenna Systems at the Mobile and Base Stations in the Down and Uplinks”,The Hong Kong University of Science & Technology.