الجمهورية اليمنية

مدخل إلى الهوائيات الذكية Smart Antennas

م / مطيع السماوي

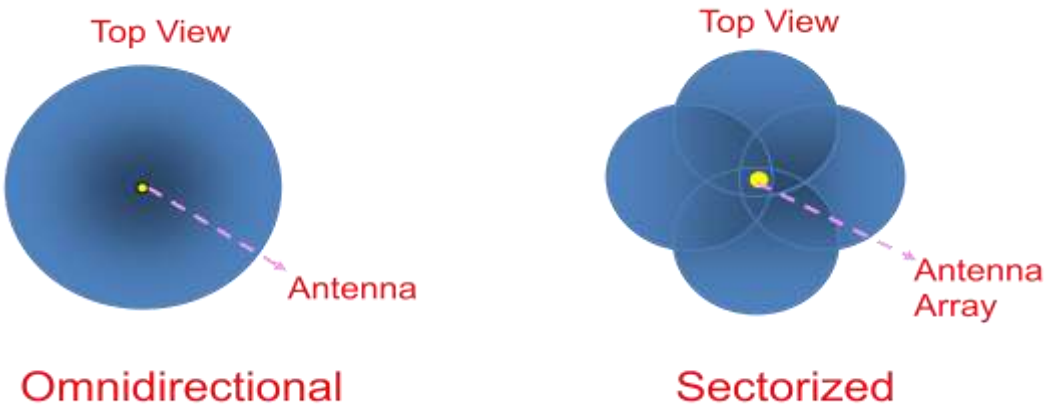
2013

الفهرس

1	مقدمة	2
2	لماذا الحاجة إلى الهوائيات الذكية ؟.....	3
3	أهم التطبيقات التي تستخدم تكنولوجيا الهوائيات الذكية	3
4	الهوائيات الذكية (تعريف).....	4
5	فكرة عمل الهوائيات الذكية.....	4
6	عيوب الهوائيات الذكية	5
7	أنواع الهوائيات الذكية.....	5
7.1	هوائي الشعاع المتبدل Switched Beam Antenna.....	5
7.2	التكيفي (المتلائم) Adaptive Antenna.....	6
8	مكونات منظومة الارسال في الهوائيات الذكية.....	7
9	مكونات منظومة الاستقبال في الهوائيات الذكية.....	8
10	معالجة الاشارة في الهوائيات الذكية	9
11	العلاقة الرياضية للنمط الاشعاعي في الهوائيات الذكية.....	10
12	المحاكاة باستخدام الماتلاب (ملحق).....	11
13	المراجع.....	18

1- مقدمة :

في أنظمة الهوائيات التقليدية مثل نظام (Omni Directional Antenna) كانت هذه الأنظمة تقوم بإرسال واستقبال الاشعاع الراديوي بتوزيع منتظم وبشكل متساوي في كل الاتجاهات كما هو موضح في الشكل (1)



شكل (1): نمط الاشعاع في هوائيات الـ Omni directional

وهذه النوع من الانتشار قد يكون مجديا في الاتصالات من نوع اتجاه واحد (Half-duplex) كما في الارسال الاذاعي أو التلفزيوني الأرضي ، لكن هذا النظام غير مجدي في اتصالات الموبايل حيث تظهر فيه جملة من المشاكل والعيوب التي تقلل من كفاءته وتفقده القدرة التشغيلية المرغوبة وأبرز هذه العيوب أنه يجعل المستخدم قادراً على الارسال ولكنه ليس بالضرورة قادراً على الاستقبال اضافة الى كونه يشع في كل الاتجاهات ويغطي مساحات حتى ولو لم يكن فيها مستخدمين وهذا يعد اهدارا وتبديدا للطاقة ، ناهيك عن أن هذه الطاقة المهدورة قد تصبح مصدراً للتداخل مع مستخدمين آخرين أو مع Base Station أخرى ، حيث وكما نعلم أن هذا التداخل يتسبب في انقاص الـ (SNR) والنتيجة اشارة ضعيفة لا تفي بالغرض. كما تظهر مشاكل أخرى مثل صعوبة اعادة استخدام التردد وهذا يقلل السعة (عدد المستخدمين) ويعيق من استخدام الطيف الترددي بشكل فعّال.

وعليه ظهرت الحاجة الماسة إلى أنظمة هوائية أكثر ذكاء وموائمة بحيث تكون قادرة على توجيه أقصى إشعاع نحو المستخدم المرغوب وتتبع مساره أو خط تحركه ، إضافةً الى إمكانية اعادة استخدام التردد في اطار المنطقة الجغرافية نفسها والقضاء على التداخل أو الحد منه .

ظهرت هذه الأنظمة في مطلع العام 1990 وأطلق عليها اسم الهوائيات الذكية (Smart Antenna)

أو الهوائيات المتلائمة (Adaptive Antenna) وفي حقيقة الأمر فإن الاسم الأول أعمّ والاسم الثاني حالة جزئية كما سنرى لا حقاً.

2- لماذا الحاجة إلى الهوائيات الذكية ؟

- ✓ زيادة السعة (عدد المستخدمين).
- ✓ زيادة رقعة التغطية.
- ✓ معدل أعلى لنقل البيانات.
- ✓ تحسين جودة الاتصال (وضوح صوت ودقة صورة).
- ✓ كفاءة عالية.
- ✓ استغلال أمثل للمدى الترددي.
- ✓ القدرة على التحرك وتتتبع خط السير (M0bility) .

3- أهم التطبيقات التي تستخدم تكنولوجيا الهوائيات الذكية :

- ✓ الاتصالات الخليوية (الموبايل).
- ✓ الرادار RADAR .
- ✓ اتصالات الأقمار الصناعية Satellite Communication System .
- ✓ الحروب الالكترونية والأسلحة الكهرومغناطيسية الموجهة.

4- الهوائيات الذكية (تعريف) :

مصفوفة من العناصر القادرة على البث والإشعاع مرتبطة بمعالج اشارة متعدد المداخل والمخارج

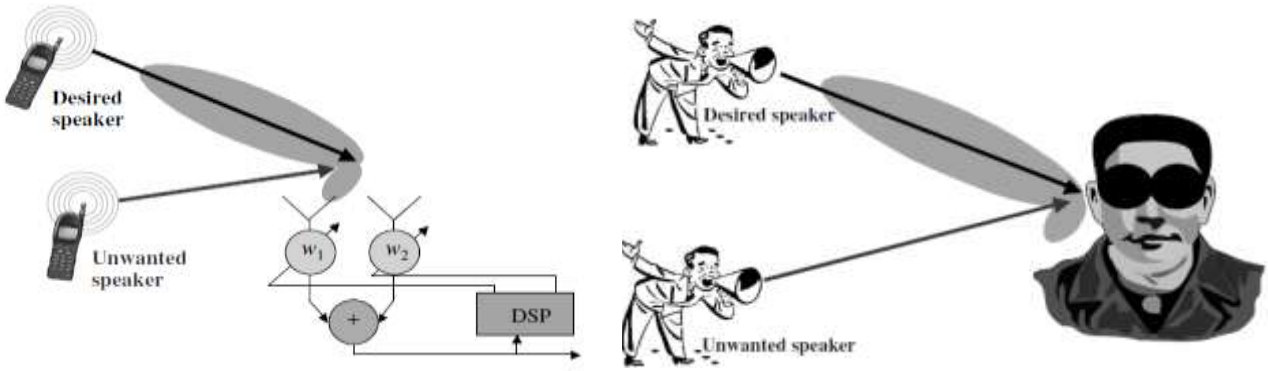
(MIMO) يقوم بمعالجة الاشارات الرقمية الواردة اليه وفقاً لخوارزمية معينة تمكنه من توجيه أقصى اشعاع نحو المستخدم المرغوب وتتبع مساره .

5- فكرة عمل الهوائيات الذكية :

في حقيقة الأمر فإن فكرة عمل الهوائيات الذكية مركبة ومتداخلة وتعتمد على أكثر من علم مثل النظم البرمجية ومعالجة الإشارة الرقمية وانتشار موجة وغيرها لكننا نستطيع اجمال وتبسيط فكرة العمل في النقاط التالية :

- ✓ نمط الاشعاع فيها غير ثابت وإنما يتغير وفقا للإشارة القادمة من المستقبل.
- ✓ بناءً على زواية وصول الاشارة القادمة من المستقبل يقوم الهوائي بإعادة توجيه الشعاع بما يخدم المستخدم .
- ✓ هذه العملية (توجيه الشعاع وتتبع المسار) تعتمد على خوارزميات معينة وأنظمة محوسبة لها القدرة معالجة اشارتي الدخل والخرج ومن ثم التحكم في توجيهها.

يمكن تقريب الصورة أكثر عن فكرة عمل الهوائيات الذّكية كأن تغمض عينيك ثم يُطلب منك تحديد موقع الشخص المتكلم معك في نفس الغرفة وتوجيه اذنك نحوه مهما غيّر مكانه اعتماداً على زاوية الموجة الصوتية القادمة اليك وتجاهل بقية الاصوات غير المرغوبة.شكل (2)



شكل (2): فكرة عمل الهوائيات الذكية

6- عيوب الهوائيات الذكية :

1- تعقيد أنظمة الارسال والاستقبال (زيادة الكلفة).
2- ادارة عملية الارسال والاستقبال أصبحت أكثر صعوبة.
3- بحركة المستقبل ينخفض معدل نقل البيانات.

7- أنواع الهوائيات الذكية :

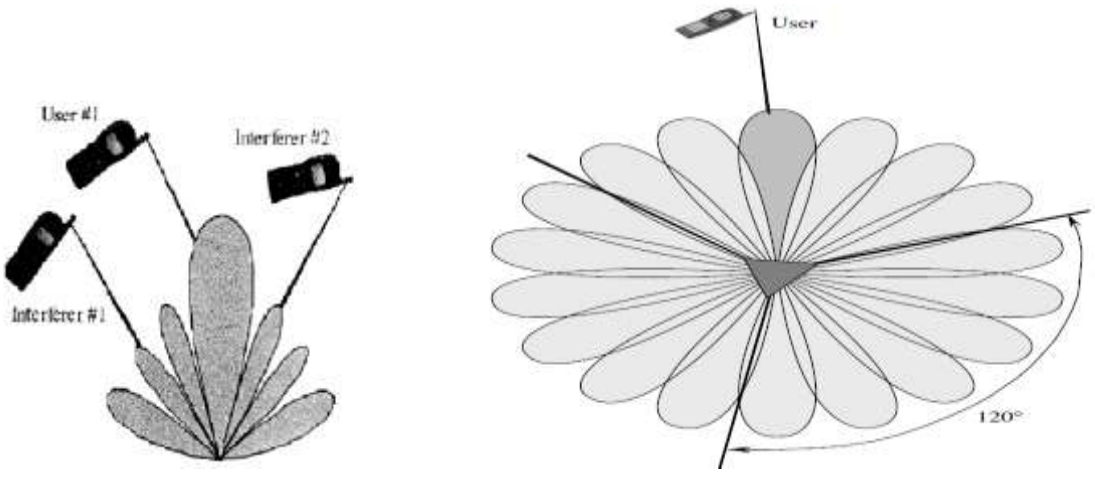
يمكن تقسيم الهوائيات الذكية بالاعتماد على النمط الاشعاعي (Pattern) الذي يولده الهوائي ، اضافة الى قوة القدرة التي تُسلط على المستخدم وكذا معدل التداخل والقدرة على الحد منه ،

حيث تُقسم الهوائيات الذكية الى نوعين أساسيين هما :

- ✓ هوائي الشعاع المتبدل Switched Beam Antenna .
- ✓ الهوائي التكيفي (المتلائم) Adaptive Antenna .

7.1- هوائي الشعاع المتبدل Switched Beam Antenna :

وفيه يتم تقسيم المنطقة التي يغطيها الـ Base Station الى عدة قطاعات Sectors بحيث يغطي كل Sector 120 درجة بعدة أنماط اشعاعية ثابتة ويكون أعظم كسب في مركز الشعاع وتحديداً في (Base Station) شكل (3)



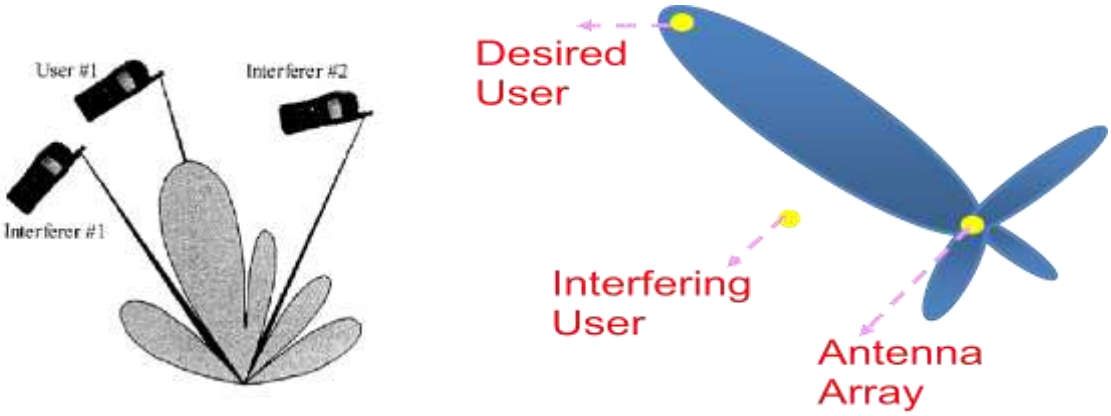
شكل (3): نمط الاشعاع في هوائي الشعاع المتبدل

عندما يقترب المستخدم من ال Sector يعمل هذا النظام على اختيار الشعاع ذي الاشارة الأقوى بالنسبة للمستخدم ومن ثم يبدأ بالربط وتسليم الشعاع للمستخدم ، وتبقى المنظومة في حالة مراقبة واختبار لقوة الاشارة طوال الفترة الزمنية للاتصال ، وفي حال تعرضت قدرة الاشارة للضعف أو الانخفاض بسبب حركة المستخدم داخل نفس الخلية ، فإن نظام الهوائي المتبدل له القدرة على تبديل الشعاع الضعيف وتسليم المستخدم الى شعاع جديد أكثر قوة.

أحد أهم العيوب لهذا النظام عدم قدرته علة توليد الحماية الكافية من مركبات الانتشار المتعدد (Multipath Component) القادمة من الاتجاهات القريبة من المستخدم المرغوب.

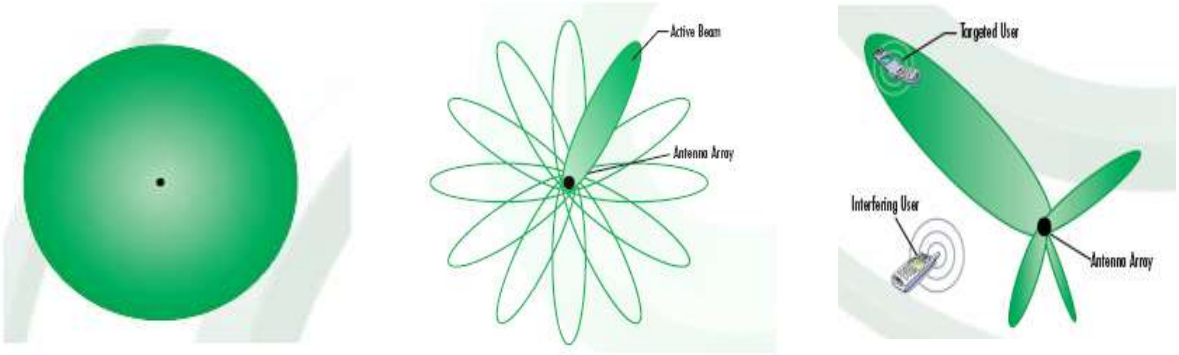
7.2- الهوائي التكيفي (المتلائم) Adaptive Antenna

ويمثل هذا النوع النموذج الأكثر ذكاءً وكفاءة في تكنولوجيا الهوائيات الحديثة حيث وأن هذا النظام من الهوائيات له القدرة كل توجيه كل النمط الاشعاعي أو الـ Power نحو المستخدم المرغوب وتصفير الاشعاع في اتجاه اشارات التداخل أو المستخدمين غير المرغوبين. شكل (4)



شكل (4): نمط الاشعاع في الهوائي التكيّفي (المتلائم)

حيث وأن القدرة على منع اشارات التداخل إضافة الى امكانية جعل المستخدم في مركز النمط الاشعاعي هما أهم ما يميز هذا النظام عن نظام الهوائي المتبدل وهوائي الـ Omni-directional شكل (5).

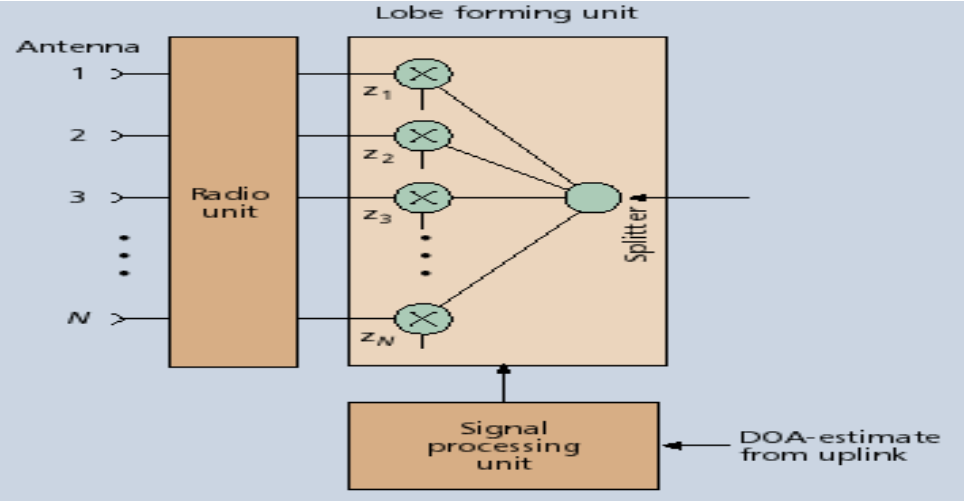


Omni-Directional	Switched Beam	Adaptive Antenna
الاشعاع في كل الاتجاهات	الشعاع المتبدل	الهوائي التكيفي

شكل (5): الأنماط الاشعاعية المختلفة (Patterns) لكل نظام هوائي

8- مكونات منظومة الارسال في الهوائيات الذكية :

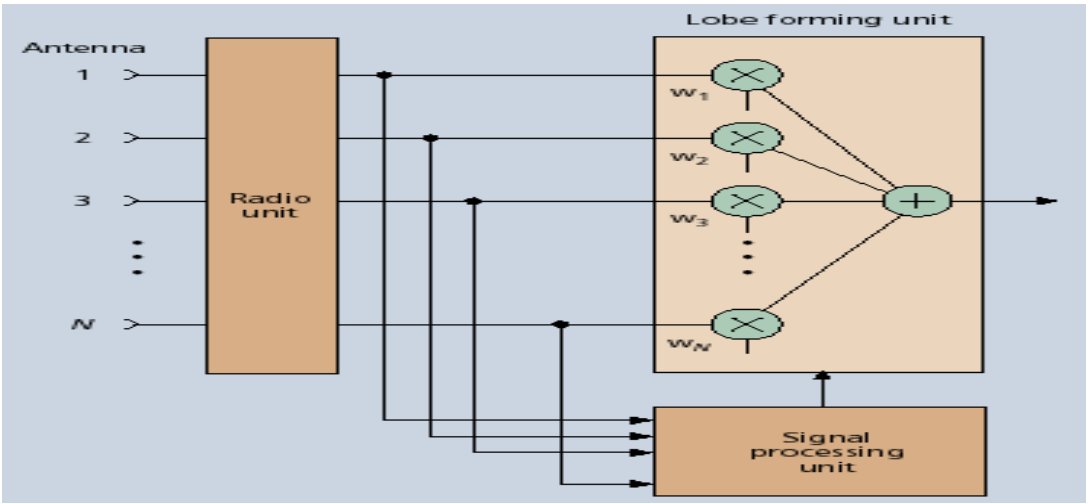
تتكون منظومة الارسال في الهوائيات الذكية من مصفوفة من الهوائيات (N-1) متصلة بوحدة الراديو أو الاشعاع (البث) وتتلقى هذه الوحدة أوامر الاشعاع وتحديد نمطه وتوجيهه نحو المستخدم المرغوب وحجبه عن سواه ، وفقاً للتعليمات القادمة من خوارزمية المنظومة وكذا من نتائج معالجة زاوية الاشارة القادمة من المستقبل المرغوب (Uplink) والتي على ضوئها يمكن تحديد موقعه وخط تحركه ومن ثم توجيه أقصى النمط الاشعاعي نحوه (Downlink) شكل (6).



شكل (6): المخطط الصندوقي لمنظومة الارسال في الهوائيات الذكية

9- مكونات منظومة الاستقبال في الهوائيات الذكية :

تتكون منظومة الاستقبال من مصفوفة من الهوائيات الذكية (1-N) متصلة بوحدة الراديو ووحدة معالجة الاشارة التي تقوم بتحليل زاوية اشارة السقوط (Uplink signal) وشدتها ومن ثمّ تُرسل هذه النتائج الى وحدة المعالجة في المرسل ليقوم بدوره في توجيه أقصى اشعاع نحو المستخدم.



شكل (7): المخطط الصندوقي لمنظومة الارسال في الهوائيات الذكية

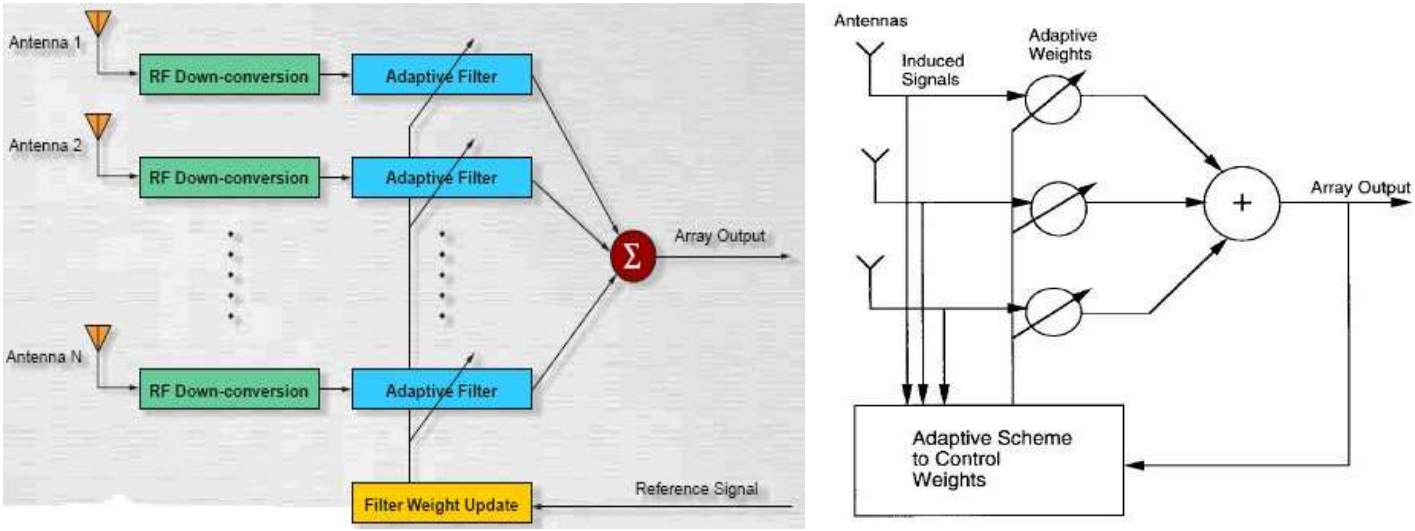
10 - معالجة الاشارة في الهوائيات الذكية :

نظراً لأن المنظومة التركيبية للهوائيات الذكية تتكون من مصفوفة من هوائيات الارسال والاستقبال الأمر الذي يعني زيادة في عملية تدفق البيانات المرسلًة والمستقبلًة ، فإن هذا يستدعي ضرورة أن تكون منظومة المعالجة الرقمية لهذه البيانات سريعة وتفي بالغرض ، وهذا يأتي من خلال زيادة عدد المعدات في منظومة المعالجة الرقمية للإشارة بحيث يُخصص لكل هوائي من مصفوفة الهوائيات منظومة معالجة خاصة به .

بمعنى آخر أن تتناسب مكونات منظومة المعالجة الرقمية مع مصفوفة المنظومة الهوائية.

لأن الأمر يختلف في حال كانت المنظومة الهوائية مكونة من هوائي واحد الذي يتطلب معالجة اشارة بشكل أقل مما هو علي الحال في مصفوفة هوائيات.

كما نلاحظ في شكل (8) لدينا مصفوفة من الهوائيات التي ترسل وتستقبل البيانات عددها N وعليه يلزم معالجتها بنفس العدد N من منظومات المعالجة.



شكل (8): مصفوفة الهوائيات ومنظومة المعالجة

11 – العلاقة الرياضية للنمط الاشعاعي في الهوائيات الذكية :

ان نمط الاشعاع في الهوائيات الذكية (Pattern) تحكمه مجموعة من المتحكمات لعل أبرزها الخوارزمية التي تحدد شكله واتجاهه وفق نظام برمجي محوسب يعتمد على جملة من المعطيات المحددة سلفاً.

إن نمط الاشعاع في الهوائيات الذكية يعطى بالعلاقة :

$$G(\psi) = \frac{1}{n}\left|\frac{\sin n(\pi k \cos\psi + \alpha/2)}{\sin(\pi k \cos\psi + \alpha/2)}\right|$$

حيث أن :

α = Phase shift زاوية فرق الطور

ψ = Angle of arrival زاوية الاشارة القادمة من المستقبل

n = Number of antenna elements عدد الهوائيات

```
---------------------------------------------------------------------------------------- %
%----------------------------------------------------------------------------------------

                        %This Program is Designed To Simulate The Smart
Antenna System  On A BTS Receiver ( Uplink%                    (

                                        %General Constraints For Using This
Software
%

%Antenna Array Of Four Elements Operating On 2 GHz With A Separation
Distance 0.075 Meters%

%Narrowband ( Uncorrelated Or Partially Correlated ) Signals Are Assumed
%

%An Authentication Code Of 10 Bits Is Sent First

%

%Two Users Are Served Only In The Presence Of Additive White Gaussian
Noise Only %

%Operation Is Subdivided Into Three Stages : Angle Of Arrival Estimation (
MUSIC ) , Adaptive Beamforming , Signal Regeneration%

---------------------------------------- ---------------------------------------------- %
%----------------------------------------------------------------------------------------

%Input Received Signals Arrival

P = input ('The Channel Signal To Noise Ratio؛ (' :

for I = 1 : 2

   A ( I ) = input ('The Signal Arrival Phase Angle؛ (' :

   A ( I ) = A ( I ) * pi / 180؛

end

H = randint ( 2 , 10؛ (

%Estimation of The Covariance Matrix

S = zeros ( 4 , 2؛ (

R = zeros ( 4 , 4؛ (
```

```
ZZ = zeros ( 4 , 10؛ (
for K = 1 : 10
    for J = 1 : 2
        for I = 1 : 4
            S ( I , J ) = exp ( i*( pi  * ( I - 1 ) * cos ( A ( J  ؛  ( ( ( (
        end
    end
    S = awgn ( S * H ( : , K ) , P؛ (
    ZZ ( : , K ) = S؛
    R = R + S * S؛ '
end
R = R / 10؛
 ]V , E ] = eig ( R , 'nobalance؛ ( '
%MUSIC Algorithm Estimation
for J = 1 : 4
    for I = 1 : 2
        VV ( J , I ) = V ( J , I؛ (
    end
end
I = 1؛
F = zeros ( 1 , 629؛ (
for T = 0 : 0.005 : pi
    K = 0 : 3؛
    B = exp ( j .* K * pi * cos ( T؛ ( (
    C = B؛ '.
    F ( I ) = ( C' * C ) / ( C' * VV * VV' * C؛ (
    I = I + 1؛
```

```
end
%Plot of The MUSIC Angular Pseudo Spectrum
T = 0 : 0.005 : pi؛
T = ( T * 180 ) / pi؛
FF = 10 * log10 ( abs ( F ) / max ( abs ( F؛ ( ( (
figure ( 1 ) , plot ( T , FF ) , xlabel ('The Direction Angle In Degrees') , ylabel ('The Angular Pseudo Spectrum') , title ('The Spatial MUSIC Spectrum') , grid on؛
%Estimation The Angle of Arrival For The Received Signals
for I = 1 : 629
    if FF ( I ) == 0 FF ( I ) = 1000؛
    end
end
FF = imregionalmax ( FF ) .* FF؛
for I = 1 : 629
    if FF ( I ) == 0 FF ( I ) = -1000؛
    end
end
for I = 1 : 2
    Y = max ( FF؛ (
    for J = 1 : 629
      if Y == FF ( J؛  (
         G ( I ) = ( T ( J ) * pi ) / 180؛
         FF ( J ) = -1000؛
      end
    end
end
%Estimation The Weight Vector of A Null Steering Beamformer
```

```
for I = 1 : 2
  for J = 1 : 4
     SS ( I , J ) = exp ( i*( pi * ( J-1 ) * cos ( G ( I؛ ((( (
  end
end
B = eye ( 2؛ (
for J = 3 : 4
   Z = B ( J-2؛ ( : ،
   W = SS \ Z؛ '
   MM = 0؛
```

% Plot of The Output Radiation Pattern And The Output Valid Digital Data of The Null Steering Beamformer

```
   TT = 0 : 0.005 : pi؛
   for I = 1 : 4
      HH = exp ( i*( pi * ( I-1 )*cos ( TT؛ (((
      MM = MM + ( HH * W(I؛ ( (
   end
   TT = ( TT * 180 ) / pi؛
   MM = 20 * log10 ( abs ( MM )/ max ( abs ( MM؛ ( ( (
   for K = 1 : 10
      OO ( K ) = W.' * ZZ ( : , K؛ (
   end
   OO = abs ( OO / max ( OO؛ ((
   OO ( 11 ) = 0؛
   U = J - 1؛
   UU = J + 1؛
   UUU = J + 3؛
```

```
figure ( U ) , plot ( TT , MM ) , xlabel ('The Direction Angle In Degrees') , ylabel ('The Electric Field In dB') , title ( 'A Choice Radiation Pattern Of A Spatial Beamformer') ,  axis ( [ 0 180 -10 0 ] ) , grid on ؛

figure ( UU ) , stairs ( OO , 'linewidth' , 2 ) , title ('A Choice Output Digital Data') ,  xlabel ('The Bit Transition Period') , ylabel  ('The Output Digital Signal') , grid on؛

%    Comparator Operation

for I = 1 : 10

    if OO ( I ) > 0.5 OO ( I ) = 1؛

    else OO ( I ) = 0؛

    end

end

figure ( UUU ) , stairs ( OO , 'linewidth' , 2 ) , title ('The Output Valid Digital Data') ,  xlabel ('The Bit Transition Period') , ylabel  ('The Output Digital Signal') , grid on؛

end
```

The Channel Signal To Noise Ratio : 5.3

The Signal Arrival Phase Angle : 120

The Signal Arrival Phase Angle : 60

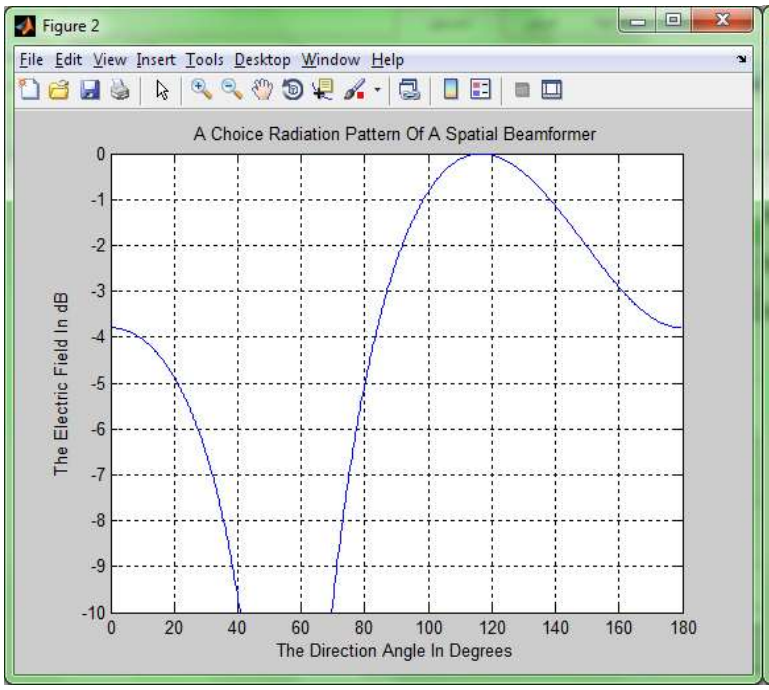


Figure 2
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
A Choice Radiation Pattern Of A Spatial Beamformer
The Electric Field In dB
The Direction Angle In Degrees

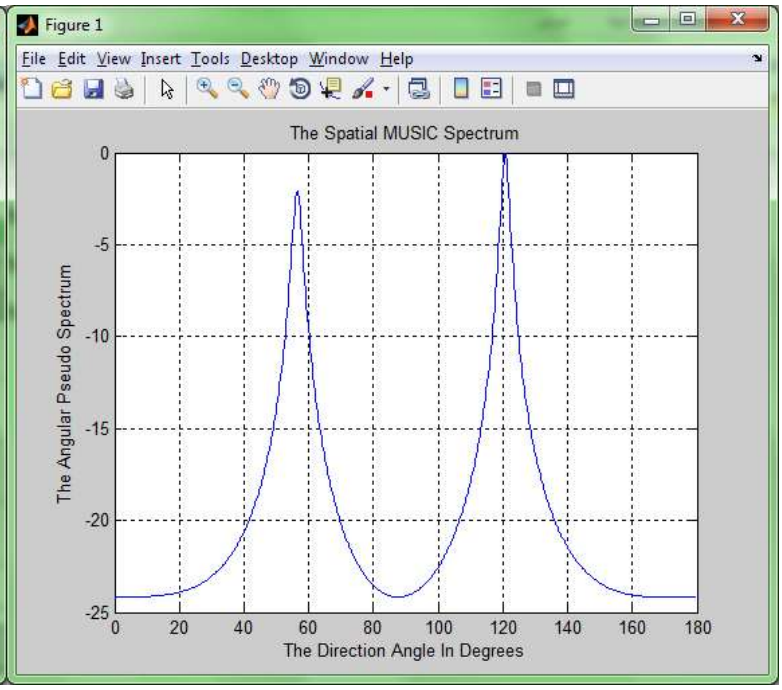


Figure 1
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
The Spatial MUSIC Spectrum
The Angular Pseudo Spectrum
The Direction Angle In Degrees

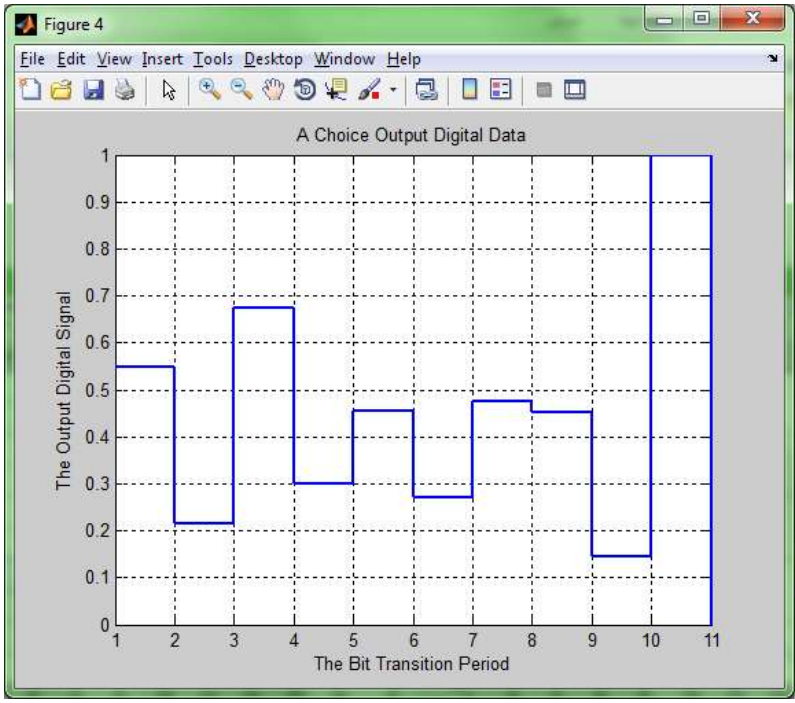


Figure 4
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
A Choice Output Digital Data
The Output Digital Signal
The Bit Transition Period

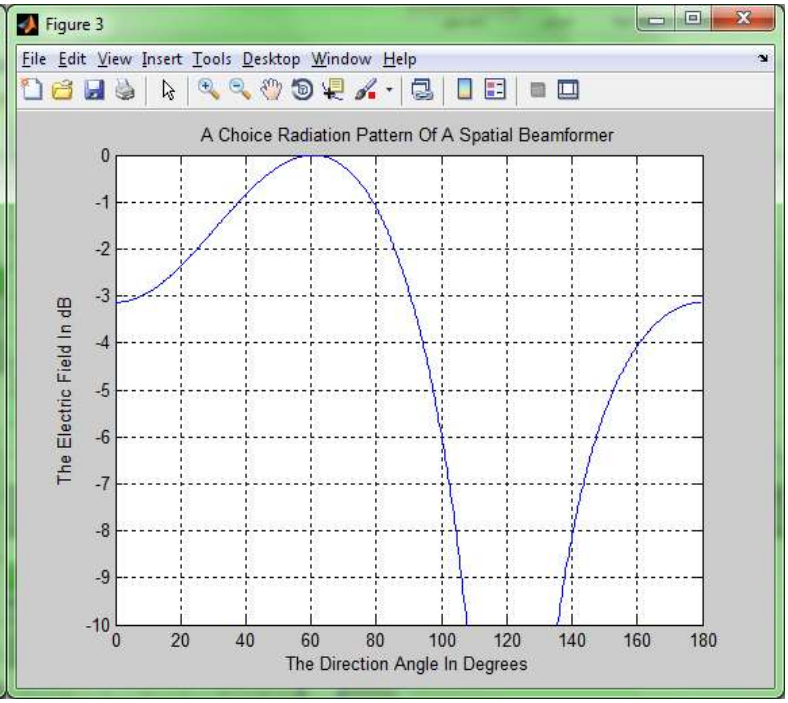


Figure 3
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
A Choice Radiation Pattern Of A Spatial Beamformer
The Electric Field In dB
The Direction Angle In Degrees

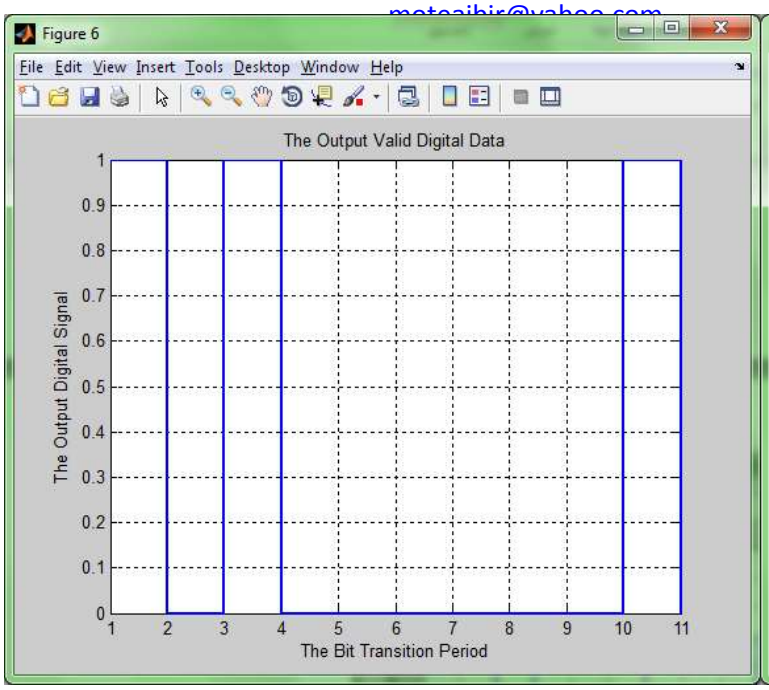


Figure 6
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
The Output Valid Digital Data
The Output Digital Signal
The Bit Transition Period

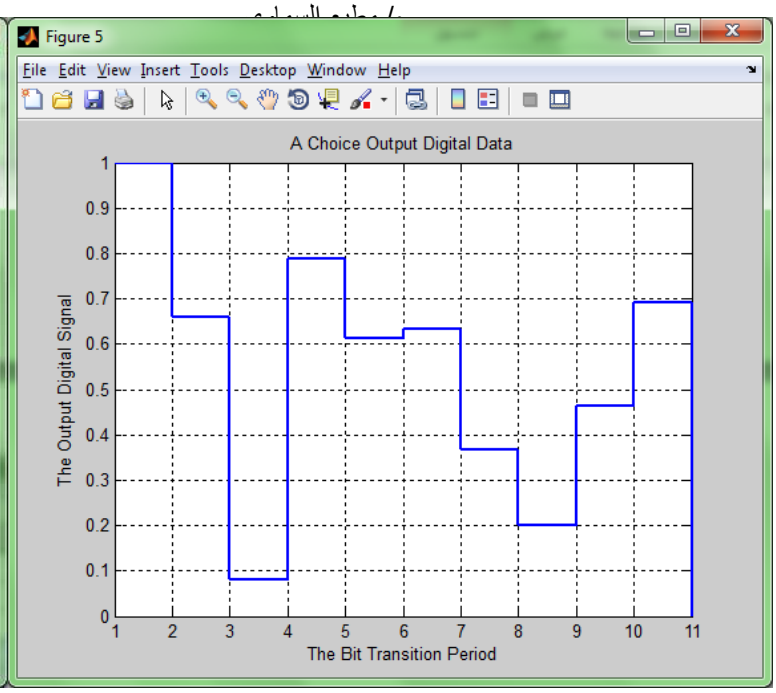


Figure 5
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
A Choice Output Digital Data
The Output Digital Signal
The Bit Transition Period

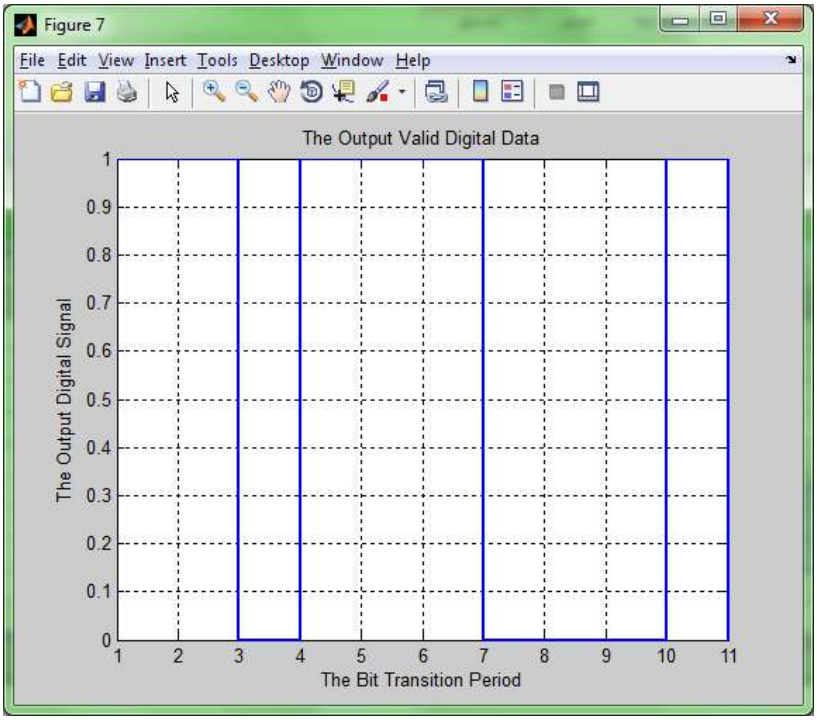


Figure 7
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
The Output Valid Digital Data
The Output Digital Signal
The Bit Transition Period

13- المراجع

- وفاء محمد المصراتي (نظام الهوائيات الذكية) 2005.
- Ahmmed Al-Zoghby (smart antenna engineering) .
- Telecom Basics, PDF form internet
- Some videos files from internet