

## التعرف الآلي على نوع التعديل الرقمي باستخدام الشبكات العصبية الصناعية

محمد بهلول \*

تاريخ الإيداع 10 / 5 / 2010. قُبل للنشر في 27 / 6 / 2010

### □ ملخص □

مع استمرار نمو وتطور تقنيات الاتصالات الرقمية، فإن التطبيقات لهذا التطور المنتظم آخذة بالنمو أيضاً فقد وُلدَ هذا النمو تبعاً حاجة متزايدة للبحث عن طرائق آلية للتعرف و لتصنيف نوع التعديل الرقمي المستخدم في نظام الاتصال، وذلك لما لهذا الأمر من دور مهم وحيوي في الكثير من التطبيقات المدنية والعسكرية. يقترح هذا البحث منظومة تعرف آلي قادرة على تصنيف وفرز أنماط مختلفة ومتعددة من طرائق التعديل الرقمي: (64QAM, 2PSK, 4PSK, 8PSK, 4ASK, 2FSK, 4FSK, 8FSK)، وقد جرى التركيز على محاولة التعرف على نوع التعديل الرقمي باستخدام الشبكات العصبية الصناعية التي تبني خوارزمتها المعقدة لترفع سوية الأداء وتزيد المناعة ضد الضجيج.

نجحت هذه المنظومة في التعرف على نوع التعديل الرقمي لإشارات التعديل قيد الدراسة الحالية من دون أية معلومات مسبقة فقد تم الاعتماد على ثمانية محددات مميزة استخدمت للفصل بين هذه الطرائق الثمانية للتعديل وقد نجحت المنظومة في تحقيق نسبة تعرف لا تقل عن 68% من أجل إشارات تجريبية عند نسبة إشارة إلى ضجيج (SNR (Signal to Noise Ratio) =5dB) ونسبة تعرف 89.1% من أجل إشارات تجريبية عند (SNR=10dB) ونسبة تعرف 91% من أجل إشارات تجريبية عند (SNR=15dB) وذلك من أجل قناة اتصال ذات ضجيج أبيض غوسي (AWGN (Additive White Gaussian Noise).

الكلمات المفتاحية: التعرف الرقمي، الشبكات العصبية الصناعية، المستقبلات الذكية، الراديو البرمجي.

\* قائم بالأعمال - معاون - قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Digital Modulation Recognition Using Artificial Neural Networks (Anns)

Mohammad Bahloul \*

(Received 10 / 5 / 2010. Accepted 27 / 6 / 2010)

### □ ABSTRACT □

The everlasting development of digital communication sector was accompanied by similar progress in application of this technology which called for adopting automated methods to classify digital modulation types due to its significant role in multiple of applications in the world.

This research proposes a signal modulation classifier which is capable of classifying and recognizing different types of digital modulation signal (8 modulation signals types: 64QAM, 2PSK, 4PSK, 8PSK, 4ASK, 2FSK, 4FSK, 8FSK). We focused our efforts on trying to recognize the digital modulation type using the artificial neural networks which build its algorithm to boost the performance and to increase the noise immunity of the system.

This classifier successfully identifies all the modulation types considered without the benefit of a prior information using a total of 8 signal features which are extracted and used to classify these 8 modulation signals types. The system managed to achieve identification rate of 68 % minimum for experimental random signals at SNR=5 dB and identification rate of 89.1 % for experimental random signals at SNR=10 dB and an identification rate of 91 % at SNR=15 dB on an AWGN channel (Additive White Gaussian Noise).

**Keywords:** Digital modulation, Artificial Neural Networks, Intelligent Receiver, Software Defined Radios.

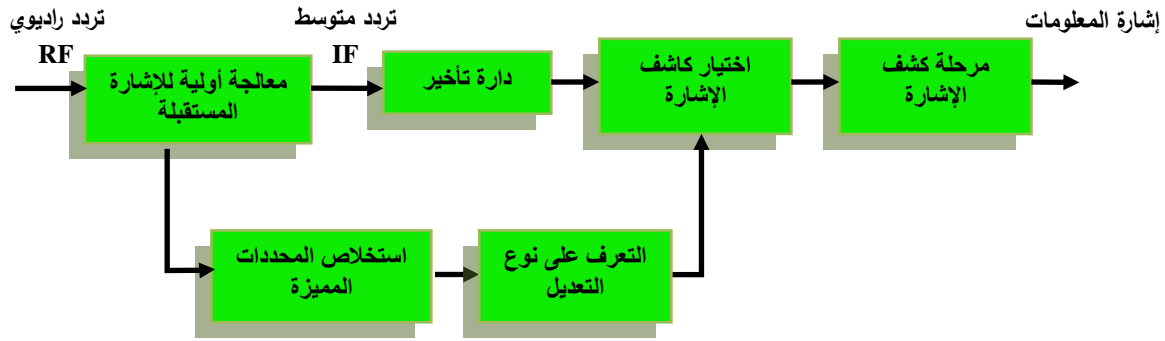
---

\*Academic Assistant, Teaching Staff, Department of Electronics and Communications Engineering, Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

تشكل منظومة التعرف الآلي على نوع التعديل لإشارة مستقبلة ما عملية وسيطة بين عملية المعالجة الأولية للإشارة المستقبلة وعملية اختيار الكاشف المناسب لها وكشفها، إذ تقوم هذه المنظومة بتحديد نوع تعديل الإشارة المستخدم في طرف الإرسال، وذلك بعد استخلاص محددات من تلك الإشارة تساعد في عملية التحديد، الأمر الذي سيمكننا لاحقاً من معرفة المعلومات الموجودة في هذه الإشارة، وذلك عن طريق تمريرها على كاشف الإشارة الملائم كما هو موضح في الشكل (1).

تلعب هذه التقنية دوراً مهماً وحيوياً في الكثير من التطبيقات المدنية والعسكرية، فعملية التعرف الآلي على نوع التعديل يمكن أن تستخدم في المجال العسكري، وذلك في عمليات المسح الإلكتروني والمراقبة إذ يلعب التعرف على نوع التعديل دوراً مهماً في الحفاظ على الأمن الوطني عن طريق كشف تهديد محتمل إذ يمكن عندئذٍ أن يحجب أو يشوش عليه، كما يمكن أن تستخدم في المجال المدني في عمليات إدارة الطيف الترددي وإدارة شبكات الاتصال اللاسلكية وتحديد التداخلات الترددية، كما تلعب هذه التقنية دوراً رئيساً في الراديو البرمجي (Defined Radios SDR, Software) والمستقبلات الذكية (Intelligent Receiver) [1-2].



الشكل 1: مخطط صندوق لمنظومة اتصالات بهدف تحديد نوع تعديل إشارة ومن ثم كشفها.

في السابق كانت عمليات التعرف على نوع التعديل تجري بوساطة مستقبلات عريضة الحزمة صممت لتكون قادرة على مسح كامل الطيف الترددي. وتجري محاولة التعرف على نوع التعديل لإشارة ما من الشكل الزمني للإشارة الذي يتم إظهاره على وحدة خرج وبناءً على هذا الشكل الزمني كان المشغل يخمن نوع التعديل. ومن الواضح أن هذه الطريقة من التعرف تتطلب الكثير من الجهد مقابل أداء ضعيف ويا احتمال كبير للخطأ لأنها تعتمد بشكل كبير على مهارات المشغل وخبرته. حفز هذا الأمر وقاد إلى استخدام وتطوير طرائق تعرف آلي كإدخال الإشارة المعدلة المستقبلة إلى جميع كواشف الإشارة الممكنة ثم التعرف على نوع التعديل بمقارنة قيم خرج الكواشف جميعها. تتضح هنا أيضاً صعوبة هذه الطريقة وأدائها الضعيف كما أنها لم تعد تستخدم خاصة بعد دخول المعطيات الرقمية.

في منتصف وأواخر الثمانينيات ظهرت طريقتان مهمتان في التعرف على نوع التعديل واللذان أدتا إلى تطور واسع مهمّ ضمن هذا المجال وهما: نظرية القرار (Decision Theoretic Approach, DT) ونظرية المحددات الساكنة (Static Pattern, SP) وكلتا الطريقتين تعتمدان على مبدأ استنباط خوارزمية فصل واختيار العتبات المناسبة لها. ويلاحظ هنا أنه في حالة عدم اختيار هذه العتبات بدقة شديدة، فإن ذلك سيؤدي إلى انخفاض أداء الخوارزمية،

خاصةً حين وجود الضجيج، وبذلك برزت الحاجة إلى إيجاد طرائق أخرى للتعرف على نوع التعديل تكون ذات أداء أفضل حتى بوجود الضجيج.

منذ بداية التسعينيات تم التوجه نحو الذكاء الصناعي في عمليات التعرف والتصنيف بشكل عام، الأمر الذي أتاح استعماله لتصنيف أنواع التعديل إذ أدت هذه الخطوة إلى تحسين أداء النظام بشكل كبير عما كان عليه، خاصةً في حال وجود الضجيج [3].

كانت معظم الطرائق التي اقترحت سابقاً مصممة للتعرف على طرائق التعديل التماثلية، إلا أن المساهمات والأبحاث الحديثة فيما يخص هذا الموضوع تركز أكثر على الاتصالات الرقمية بسبب الاستخدام المتزايد للتعديل الرقمي [4].

### أهمية البحث وأهدافه:

تستطيع معظم منظومات التعرف الآلي على نوع التعديل الرقمي الموجودة حالياً أن تتعرف وتصنف أنماطاً قليلة من طرائق التعديل الرقمي وأغلبها يعمل ويكون قادراً على تحديد نوع التعديل الرقمي من أجل إشارات ذات نسبة إشارة إلى ضجيج مرتفعة نوعاً ما، ولكن كلما زاد الضجيج تسوء النتائج فتغدو المنظومة غير قادرة على تحديد نوع التعديل الرقمي.

تكمن أهمية البحث في تسخير الذكاء الصناعي لاقتراح منظومة تعرف آلي على نوع التعديل الرقمي قادرة على تعرف وتصنيف أنماط مختلفة وكثيرة من طرائق التعديل الرقمي، وذلك باستخدام الشبكات العصبية الصناعية التي تبني خوارزميتها المعقدة لترفع سوية الأداء وتزيد المناعة ضد الضجيج حتى الإشارات ذات نسبة إشارة إلى ضجيج منخفضة.

### طرائق البحث ومواده:

- اعتمد هذا البحث طريقة المحاكاة الحاسوبية والنمذجة الرياضية بلغة "Matlab" لذا اتبعت المنهجية الآتية:
- دراسة وتحليل أنواع التعديل الرقمي قيد الدراسة.
- استخلاص أهم المحددات المميزة لأنواع التعديل الرقمي المدروسة.
- تحليل ومقارنة هذه المحددات عند قيم مختلفة لنسبة إشارة إلى ضجيج ودراسة مدى مناعتها لهذا الضجيج.
- إنشاء الشبكة العصبية الصناعية التي ستقوم بفصل أنواع التعديل الرقمي قيد الدراسة ثم تدريب هذه الشبكة عن طريق شعاعي النماذج والأهداف اللذين استخلصا من المحددات المميزة، وذلك من أجل إشارات معدلة مضججة بمستويات ضجيج مختلفة (توافق هذه الإشارة المضججة إشارة عبرت قناة الاتصال) فمن خلال هذين الشعاعين سنقوم بتدريب الشبكة لتصبح قادرة على التعرف على نوع التعديل الرقمي المستخدم وحتى لو كانت نسبة الإشارة إلى الضجيج انخفضت ووصلت إلى قيمة متدنية.
- اختبار الشبكة العصبية الصناعية.
- مناقشة نتائج الدراسة بعد عرضها وصياغة الاستنتاجات والمقترحات المستقبلية.

### طرائق التعديل قيد الدراسة:

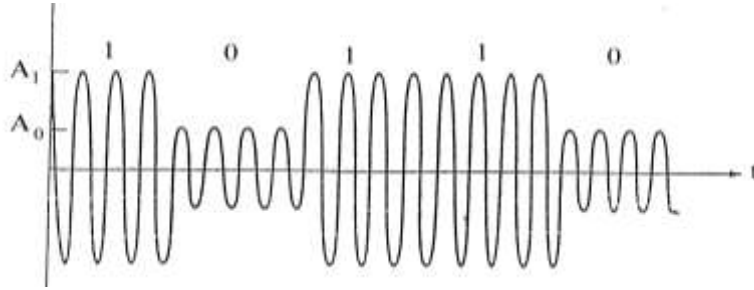
يعد التعديل من أهم العمليات التي تجري في جهاز الإرسال لنظام الاتصالات. وتتعلق عملية التعديل بإشارتين هما الحامل والرسالة. وبما أننا لا نستطيع إرسال إشارة الرسالة راديوياً (لاسلكياً) مباشرة عبر قناة النقل، لأنها تكون عادة ذات ترددات منخفضة أي بأموح ذات أطوال كبيرة ولما كان طول الهوائي يساوي عادة نصف أو ربع طول الموجة، فإن تحقيقه غير ممكن عملياً. كما تقع ترددات مختلف الرسائل ضمن المجال الترددي ذاته. فلو أرسلت مباشرة لتداخل بعضها مع بعض مما يجعل فصلها في جهة الاستقبال مستحيلاً.

لذلك تحمل هذه الرسائل أو الإشارات على أمواج ذات تردد مرتفع ندعو كلاً منها بالحامل (carrier)، ويفترض أن تكون ذات خواص ترددية موافقة لقناة النقل. وتدعى عملية التحميل هذه بالتعديل، وتجري بتغيير أحد بارامترات الموجة الحاملة التمثيلية (مطال أو تردد أو طور) أو أحد بارامترات الحامل النبضي (مطال أو عرض أو موقع) وفقاً لتغير القيمة اللحظية لإشارة الرسالة التي تحوي المعلومات.

سنقوم في البحث بمحاولة التعرف على نوع التعديل الرقمي مستخدمين الذكاء الصناعي، لذلك سنلقي فيما يلي نظرة سريعة على الطرق الأربع للتعديل الرقمي [5].

### 1- التعديل الرقمي بطريقة إبدال إزاحة المطال ASK :

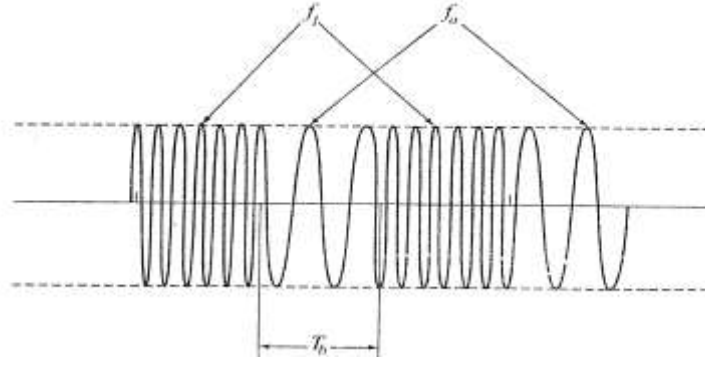
تقابل هذه الطريقة في التعديل الرقمي طريقة التعديل المطالي (AM) في التعديل التمثيلي، ولذا يمكن القول إن ASK هو بمنزلة التعديل المطالي لموجة الحامل الحبيبية ولكن إشارة التعديل هنا رقمية أي تتكون من وحدان وأصفار. وهكذا يتغير مطال موجة الحامل نتيجة للتعديل بين قيمتين إحداهما  $A_1$  وتقابل الوحدان والثانية  $A_0$  وتقابل الأصفار كما هو مبين في الشكل (2):



الشكل 2: إشارة التعديل الرقمي بالإبدال الثنائي لإزاحة المطال 2ASK

### 2- التعديل الرقمي بطريقة إبدال إزاحة التردد FSK :

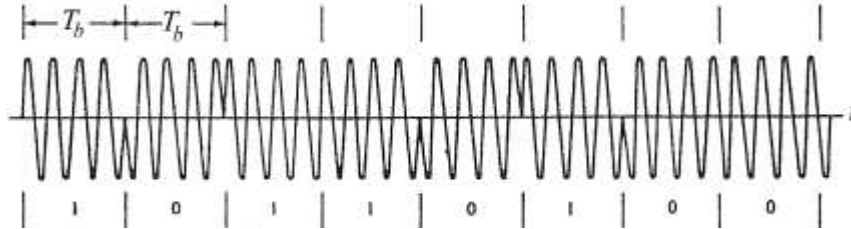
تقابل هذه الطريقة في التعديل الرقمي طريقة التعديل الترددي (FM) في التعديل التمثيلي، وهذا التعديل الزاوي بسيط نسبياً وذو أداء منخفض، ولإشارة الناتجة بعد التعديل غلاف ثابت، ويتغير هنا تردد موجة الحامل بين قيمتين إحداهما  $f_1$  وذلك حينما تكون إشارة التعديل الرقمية واحداً منطقياً، والثانية  $f_0$  حينما تكون إشارة التعديل الرقمية صفراً منطقياً، كما هو مبين في الشكل (3)، وذلك بدلاً من التغيرات المستمرة في التردد التي تعرف FM.



الشكل 3: إشارة التعديل الرقمي بالإبدال الثنائي لإزاحة التردد 2FSK

### 3- التعديل الرقمي بطريقة إبدال إزاحة الطور PSK :

تقابل هذه الطريقة في التعديل الرقمي طريقة التعديل الطوري (PM) في التعديل التمثيلي، فالتعديل بإبدال إزاحة الطور شكل من أشكال التعديل الزاوي، وللإشارة الناتجة بعد التعديل غلاف ثابت إلا أن لطورها عدداً محدوداً من الوضعيات، وحينما يكون عدد أوضاع زاوية طور الخرج اثنين تدعى طريقة التعديل بأنها إبدال ثنائي لإزاحة الطور (binary phase shift keying) الذي يرمز إليه بالمختصر BPSK كما هو مبين في الشكل (4). وقد يكون عدد أوضاع زاوية طور الخرج أربعة فتدعى الطريقة بالإبدال الرباعي لإزاحة الطور ( quaternary phase shift keying) الذي يرمز إليه بالمختصر QPSK، وقد يصبح عدد أوضاع زاوية طور الخرج ثمانية فتدعى الطريقة بالإبدال الثماني لإزاحة الطور الذي يرمز إليه اختصاراً بالرمز 8PSK، ويمكن أن يبلغ عدد أوضاع زاوية الطور ستة عشر وضعاً فيوصف التعديل بأنه الإبدال الست عشري لإزاحة الطور ويرمز إليه بالرمز 16PSK.



الشكل 4: إشارة التعديل الرقمي بالإبدال الثنائي لإزاحة الطور BPSK

### 4- التعديل المطالي المتعامد QAM :

إن التعديل المطالي المتعامد هو نوع من أنواع التعديل الرقمي، حيث توجد المعلومات في كل من مطال الإشارة المعدلة وطورها. ويصعب التمييز بين التعديل المطالي المتعامد الرباعي وبين الإبدال الرباعي لإزاحة الطور، ولكن من السهولة بمكان ملاحظة الفرق بين QAM و PSK حينما يكون عدد المستويات أعلى من أربعة أي ثمانية أو ستة عشر.

### المحددات المميزة Key Features :

إنّ التحدي الكبير في عمليات التعرف والتصنيف لنوع التعديل يكون دائماً في عملية إيجاد مجموعة المحددات المميزة فمن المفترض أن تكون هذه المحددات قليلة العدد بغية إقلال حجم الدخل على المصنّف أو الفارز (الشبكة العصبية الصناعية في بحثنا) إضافةً إلى أنها يجب أن تكون ذات تعقيد حسابي قليل لتكون سهلة الحساب وملائمة لتطبيقات الزمن الحقيقي وللتطبيقات العملية وفي الوقت نفسه يجب أن تشمل كل المحددات الضرورية لتأمين عملية تعرف وتصنيف موثوقة، فالعملية إذاً هي عملية موازنة ومقايضة بين هذين الاعتبارين [6-7-8].

لقد اعتمدنا على ثمانية محددات مميزة قمنا باستخدامها للفصل بين طرائق التعديل الرقمي الأساسية الآتية: (64QAM, 2PSK, 4PSK, 8PSK, 4ASK, 2FSK, 4FSK, 8FSK) اعتمدت ستة من هذه المحددات في [7] واعتمد الاثنان الباقيان في [9] وتعتمد هذه المحددات المميزة بدورها على ثلاث قيم للإشارة المستقبلية  $y(i)$  وهي:

- **المطال اللحظي  $a(i)$  (Instantaneous Amplitude):** ويمثل القيمة اللحظية لمطال الإشارة  $y(i)$  ونذكر هنا أنّ هذا المطال اللحظي يمكن أن يُنتجَ إشارتين مهمّتين هما المطال اللحظي المنسوب  $a_n(i)$  والمطال اللحظي المركزي المنسوب  $a_{cn}(i)$ :

▪ المطال اللحظي المنسوب  $a_n(i)$ :

$$a_n(i) = \frac{\Delta a(i)}{m_a} \quad (1)$$

▪ المطال اللحظي المركزي المنسوب  $a_{cn}(i)$ :

$$a_{cn}(i) = \left[ \frac{\Delta a(i)}{m_a} \right] - 1 \quad (2)$$

إذ تمثل  $m_a$  القيمة المتوسطة للمطال اللحظي.

- **الطور اللحظي غير الخطي  $\phi_{NL}(i)$  (Non-linear Instantaneous Phase):**

يتألف الطور اللحظي للإشارة المعدلة من مركبتين:

▪ مركبة خطية: وهي ناتجة عن الموجة الحاملة.

▪ مركبة غير خطية وهي التي تنتج عن إشارة التعديل (المعلومات).

ونحصل على المركبة غير الخطية  $\phi_{NL}(i)$  لطور الإشارة  $y(i)$  بحذف المركبة الخطية للطور من الطور

الكلي  $\phi(i)$ .

- **التردد اللحظي (Instantaneous frequency):**

يعطى التردد اللحظي بالعلاقة:

$$f(i) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(i)}{dt} \quad (3)$$

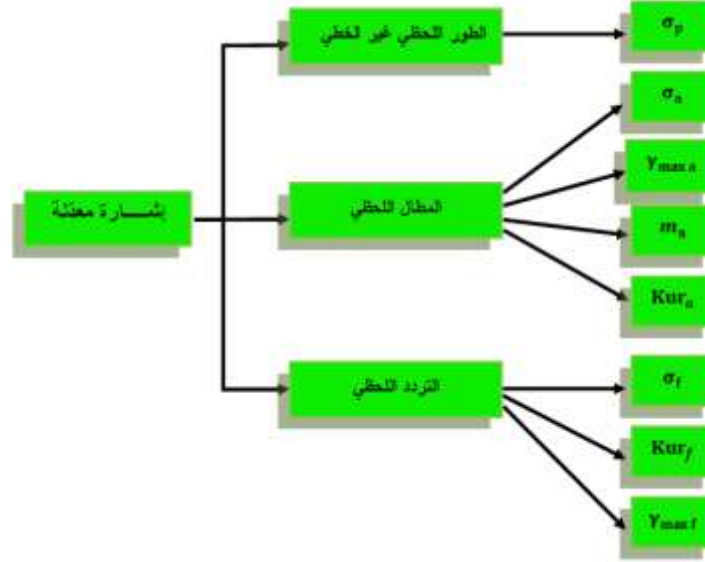
أي أنّ التردد اللحظي هو تغيرات الطور اللحظي. ونذكر هنا أنّ هذا التردد اللحظي يمكن إنتاج إشارة هامة هي

التردد اللحظي المركزي المنسوب الذي يعطى بالعلاقة:

$$f_{cn}(i) = \left[ \frac{f(i) - m_f}{f_d} \right] \quad (4)$$

إذ تمثل  $m_f$  القيمة المتوسطة للتردد اللحظي و  $f_d$  معدل الرموز.

تستخلص من الخصائص اللحظية للإشارة (المطال اللحظي والطور اللحظي غير الخطي والتردد اللحظي للإشارة) المحددات المميزة التالية (شكل 5):



الشكل 5: استخلاص المحددات المميزة

### 1- المحدد الأول: الانحراف المعياري للطور اللحظي غير الخطي $\sigma_p$ :

يساعد هذا المحدد في التمييز بين طرائق التعديل الرقمي التي تحمل المعلومات بالطور عن باقي طرائق التعديل ففي هذه الطرائق سيكون هناك انتقال للطور اللحظي بإنزياحات طورية مختلفة بحسب رتبة التعديل ولذا ستكون قيمة هذا المحدد صغيرة من أجل هذه التعديلات.

### 2- المحدد الثاني: القيمة المتوسطة للمطال اللحظي $m_a$ :

إنّ القيمة المتوسطة للمطال اللحظي من أجل جميع طرائق التعديل قيد الدراسة عدا: (64QAM, 4ASK) قريبة من الواحد. أما بالنسبة للطريقة 4ASK وبما أنّ القيمة المطلقة للإشارة تتغير بين القيمتين  $\{1, 1/3\}$  فإنّ القيمة المتوسطة للمطال اللحظي تساوي  $2/3$  في حين ستكون هذه القيمة أكبر من الواحد بالنسبة إلى طريقة التعديل المطالي المتعامد 64QAM.

### 3- المحدد الثالث: الانحراف المعياري للتردد اللحظي $\sigma_f$ :

إنّ الطرائق التي تحمل المعلومات بالتردد هي: 8FSK, 4FSK, 2FSK ولهذا يتغير ترددها اللحظي إما بين قيمتين من أجل الطريقة 2FSK أو بين أربع قيم من أجل الطريقة 4FSK أو بين ثماني قيم من أجل الطريقة 8FSK مع العلم أنّ الفواصل بين هذه القيم هي نفسها لجميع هذه الطرائق، أما بالنسبة إلى باقي الطرائق فإنّ ترددها اللحظي مساوٍ للصفر. لذلك يستخدم هذا المحدد لتمييز طرائق التعديل الرقمي 8FSK, 4FSK, 2FSK عن باقي طرائق التعديل كما أنّ هذا المحدد يمكن أن يستخدم أيضاً للتمييز بين هذه الطرائق ذاتها (فمجال تغير التردد اللحظي في الطريقة 8FSK هو ضعف مجال تغير التردد اللحظي في الطريقة 4FSK وهو أربعة أضعاف مجال تغير التردد اللحظي في الطريقة 2FSK).



4- المحدد الرابع: الانحراف المعياري للمطال اللحظي  $\sigma_a$  :

وهو محدد مميز آخر يقوم بعمل المحدد  $m_a$  نفسه ويستخدم للحالات التمييزية ذاتها.

5- المحدد الخامس: القيمة العظمى لكثافة الاستطاعة الطيفية للتردد اللحظي المركزي المنسوب  $Y_{\max f}$  :

يساعد هذا المحدد في التمييز بين طرائق التعديل الرقمي: 8FSK, 4FSK, 2FSK عن باقي طرائق التعديل أي كما يعمل  $\sigma_f$ ، وباعتبار أنّ مجال تغير التردد اللحظي لـ 8FSK هو ضعف مجال تغير التردد اللحظي لـ 4FSK و ضعفي مجال تغير التردد اللحظي لـ 2FSK لذلك فإن الطريقة 8FSK تملك قيمة  $Y_{\max f}$  أعلى مما هي عليه في حالتها 4FSK و 2FSK مما يمكّن من التمييز بين الطرائق 8FSK, 4FSK, 2FSK. ويعطى هذا المحدد بالعلاقة الآتية:

$$\gamma_{\max f} = \max |DFT(f_{cn}(i))|^2 \quad (5)$$

إذ يمثل الرمز (Discrete Fourier transform, DFT) رمز تحويل فورييه المنقطع.

6- المحدد السادس: القيمة العظمى لكثافة الاستطاعة الطيفية للمطال اللحظي المركزي المنسوب  $Y_{\max a}$  :

يساعد هذا المحدد في التمييز بين طرائق التعديل الرقمي التي تحمل المعلومات بالمطال أي (64QAM, 4ASK) عن باقي طرائق التعديل. ويعطى هذا المحدد بالعلاقة الآتية:

$$\gamma_{\max a} = \max |DFT(a_{cnt}(i))|^2 / N_s \quad (6)$$

إذ تمثل  $N_s$  عدد العينات في إطار واحد من الإشارة.

7- المحدد السابع: العزم من الدرجة الرابعة للمطال اللحظي المركزي المنسوب  $Kur_a$  :

ويعطى بالعلاقة:

$$Kur_a = \frac{E\{a_{cn}^4(i)\}}{\{E\{a_{cn}^2(i)\}\}^2} \quad (7)$$

إذ يمثل الرمز  $E\{ \}$  القيمة المتوقعة (Expected Value).

فالعزم من الدرجة الرابعة يمثل درجة التحذب (kurtosis) حول المتوسط. وجدنا أنّ هذا المحدد يساعد في التمييز بين طرائق التعديل الرقمي التي تحمل المعلومات بالمطال والتي تكون عندها درجة التحذب صغيرة عن باقي الطرق كما سنلاحظ في الأشكال التوضيحية لاحقاً.

8- المحدد الثامن: العزم من الدرجة الرابعة للتردد اللحظي المركزي المنسوب  $Kur_f$  :

ويعطى بالعلاقة:

$$Kur_f = \frac{E\{f_{cn}^4(i)\}}{\{E\{f_{cn}^2(i)\}\}^2} \quad (8)$$

يساعد هذا المحدد في التمييز بين طرائق التعديل الرقمي التي تحمل المعلومات في التردد عن باقي طرائق التعديل كما سنلاحظ في الأشكال التوضيحية لاحقاً.

#### الشبكات العصبية الصناعية:

البشر هم التجسيد الوحيد الحقيقي للذكاء على هذا الكوكب وإذا أردنا أن نخلق الذكاء أو نجعل أجهزة الكمبيوتر أكثر ذكاءً فمن الأفضل أن نتطلع إلى مملكة البشر طلباً للإلهام والوحي.

أوضح الباحث Watanbe أن هناك إمكانية لاتخاذ القرارات وتمييز الأنماط والتعرف على الصور والأصوات والنماذج ومعالجة اللغات الطبيعية وتشخيص الأمراض وسواها. وأنه من الممكن تطبيق هذه الإمكانيات في مجال العلوم والهندسة والطب وفي المجالات الصناعية والأمنية والعسكرية. أدت هذه الدراسات والأبحاث إلى ولادة علم سمي بعلم الذكاء الصناعي (Artificial Intelligence) AI في عام 1961 بعد أن نشر الباحث منسكي Minsky من معهد MIT في الولايات المتحدة الأمريكية بحثاً بعنوان "خطوات نحو الذكاء الصناعي" أصبح هذا المفهوم حقلاً علمياً متخصصاً يهدف إلى برمجة الحواسيب ليتمكنها من امتلاك القدرة على التفكير والتوصل إلى حل المشاكل واتخاذ القرارات، بطريقة تحاكي قدرات الإنسان، وقد بنيت على هذا العلم الحديث الكثير من التطبيقات الحديثة والمعقدة، من صناعة الروبوتات، ونظم دعم القرار، وأنظمة التحكم الآلي، وأنظمة التعرف والتنبؤ... الخ. وأهم أقسام علم الذكاء الصناعي هي:

✓ الأنظمة الخبيرة. (Expert Systems)

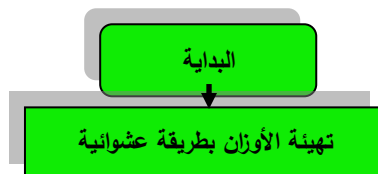
✓ الشبكات العصبية الصناعية (Neural Network)

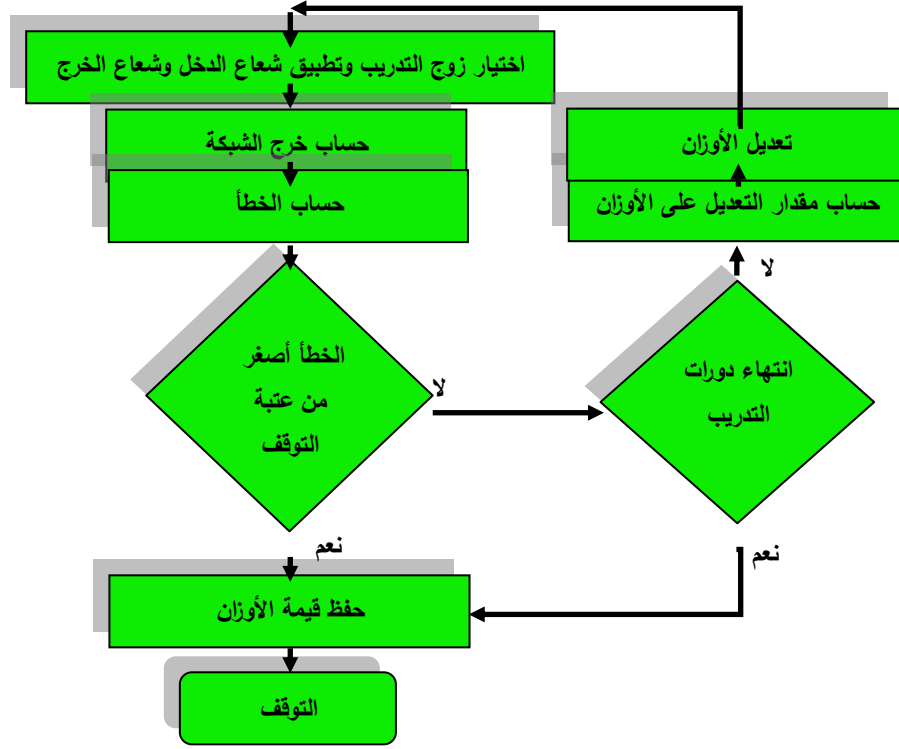
✓ المنطق العائم. (Fuzzy Logic)

✓ الخوارزمية الوراثية (الجينية). (Genetic Algorithm)

فمن أجل عمليات التعرف والتصنيف وجدت تقنيات عديدة [10]، ومن بينها كانت الشبكات العصبية الصناعية التي وجد أنها من أكثر التقنيات ملائمة في تصنيف الإشارة [11] الأمر الذي جعلنا نعتمد عليها لبناء منظومتنا فقمننا باستخدام الشبكات العصبية الصناعية ذات التغذية الأمامية ومتعددة الطبقات كمصنف وفارز واستخدمنا من أجل تحديث أوزان الشبكة، خوارزمية الانتشار الخلفي (Back Propagation Algorithm) BPA باعتبارها أكثر الخوارزميات شيوعاً واستخداماً، وهي تستخدم أسلوب التعلم تحت الإشراف، فيقدم عدد من أزواج التدريب المؤلفة من شعاعي الدخل ويسمى عادةً شعاع النماذج (Patterns Vector) وشعاع الخرج ويسمى عادةً شعاع الأهداف (Vector Targets) بهدف الوصول إلى حالة مستقرة تجعل الشبكة قابلة للاستجابة الصحيحة لأشعة الدخل التي استخدمت في عملية التدريب ولأشعة دخل جديدة وتستمر عملية التدريب حتى يصل الخطأ الموجود بين شعاع الخرج والهدف إلى أصغر قيمة (عتبة توقف) تحدد سلفاً (الشكل 6).

استخدمنا في بحثنا المحددات الثمانية السابقة لبناء أشعة الدخل (حصلنا على أشعة الدخل من استخلاص المحددات المميزة من إشارة معدلة مضججة أي إشارة قد عبرت قناة اتصال وقد عرف نوع تعديلها وهكذا أصبح لدينا أشعة أخرى هي أشعة الخرج) ثم قمنا من خلال أشعة الدخل والخرج بتدريب شبكة عصبية صناعية بهدف تعليمها لتصبح قادرة على التعرف على نوع التعديل الرقمي المستخدم فقمننا بإخضاعها لعدة تجارب تغيير وتعديل في بنيتها (تغيير عدد الطبقات الخفية الموجودة فيها وتغيير عدد العقد في هذه الطبقات أو تغيير خوارزمية التدريب) حتى حصلنا في النهاية على أفضل النتائج الملائمة لتطبيقنا.



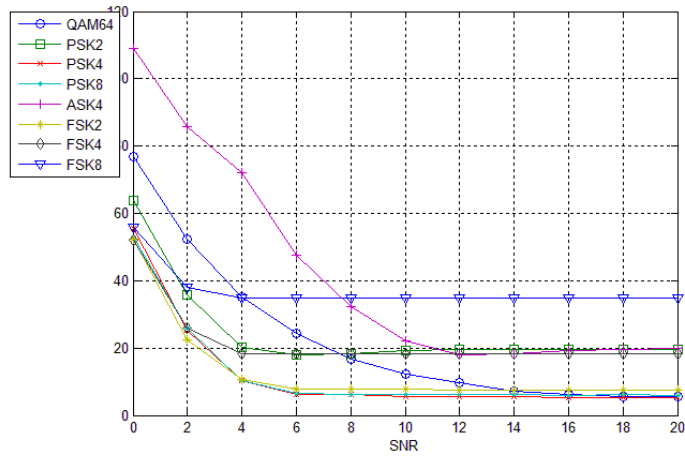
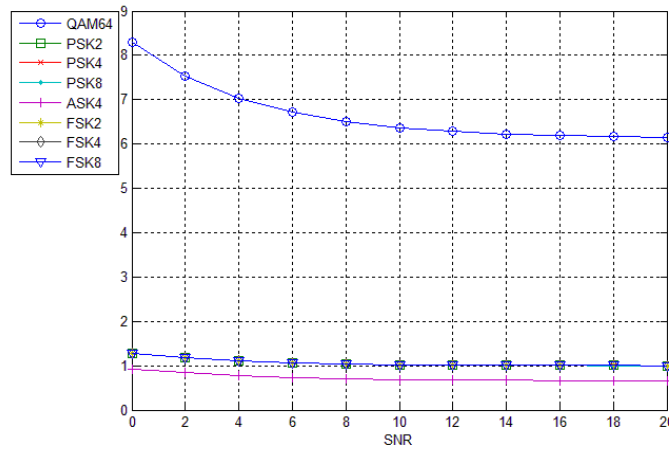
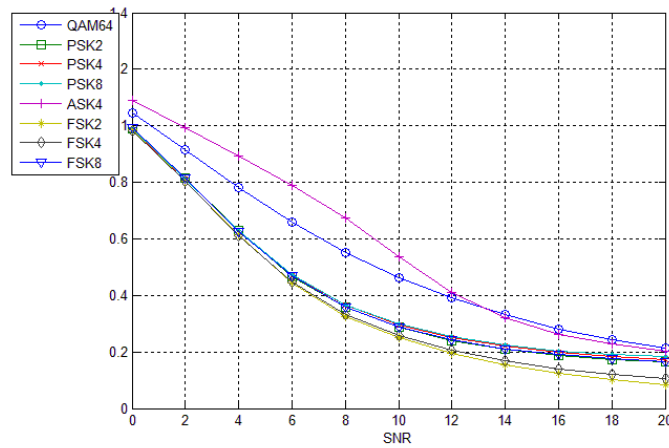


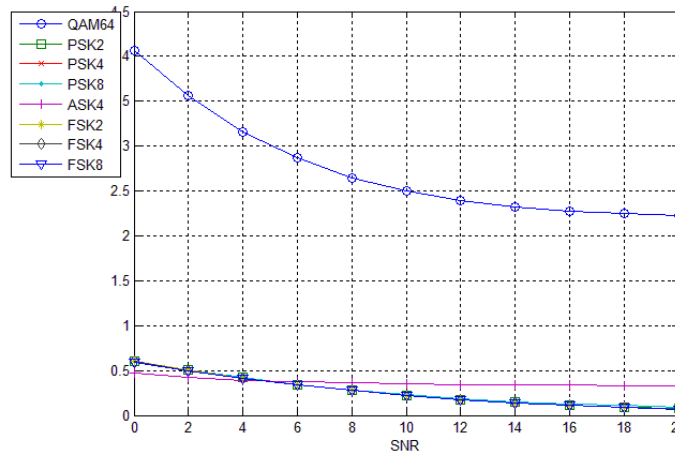
الشكل 6: المخطط الصندوقي لخوارزمية الانتشار الخلفي

## النتائج والمناقشة:

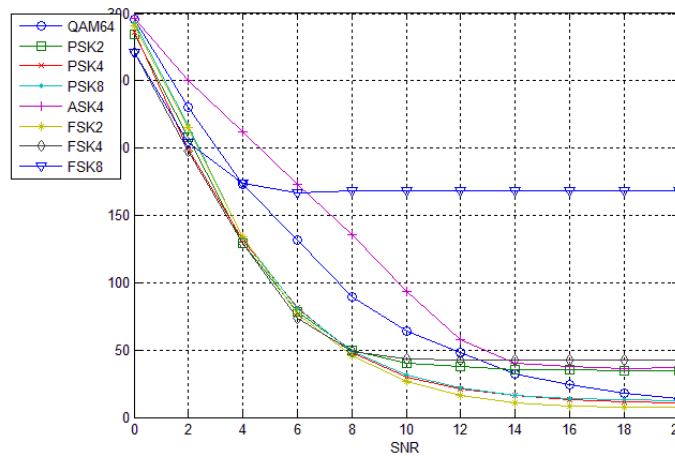
استخدمت بيئة " Matlab " لكتابة برامج المنظومة لأنها لغة عالية المستوى تحوي مكاتب خاصة بنظم الاتصالات ومعالجة الإشارة بالإضافة إلى مكتبة خاصة بالشبكات العصبية [12] فقمنا باستخدام توابع من هذه المكتبة لتصميم وتدريب واختبار الشبكة العصبية الصناعية ذات الانتشار الخلفي المستخدمة في منظومتنا. نفذت محاكاة للبحث النظري المساق سابقاً عبر توليد إشارات التعديل الرقمي قيد الدراسة وذلك عند: تردد تقطيع  $f_s = 1200 \text{ KHz}$  ومعدل رمز  $f_d = 12.5 \text{ KHz}$  بحيث ينتج عدد محدد من الإطارات لكل طريقة تعديل رقمية ومن ثم قطعت الإشارة ضمن إطارات طول كل منها (4096) عينة حُدِّت تجريبياً لتحقيق أفضل النتائج. ثم استخلصت المحددات المميزة الثمانية لكل إطار وجمعت في شعاع واحد ومن أجل أفضل أداء استخدم مرشح توسيط (Median Filter) بنافذة قدرها سبع عينات أي مرشح غير عودي من الدرجة السادسة مررت الإشارة عبره قبل استخلاص المحددات المميزة.

تظهر الأشكال الآتية منحنيات المحددات المميزة لطرائق التعديل الرقمية قيد الدراسة، وذلك حينما تتغير نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR بين [0–20 dB] من أجل قناة اتصال ذات ضجيج أبيض غوسي AWGN ، وقد قمنا بإدراج هذه المنحنيات لإظهار مدى موثوقية هذه المحددات ومدى مناعتها وحصانتها ضد الضجيج.

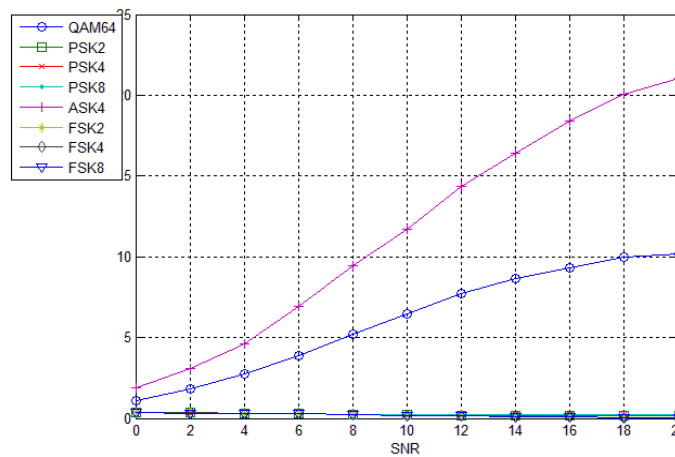
الشكل (7) الانحراف المعياري للطور اللحظي غير الخطي  $\sigma_p$  بتابعة نسبة الإشارة إلى الضجيجالشكل (8) القيمة المتوسطة للمجال اللحظي  $m_2$  بتابعة نسبة الإشارة إلى الضجيجالشكل (9) الانحراف المعياري للتردد اللحظي  $\sigma_f$  بتابعة نسبة الإشارة إلى الضجيج



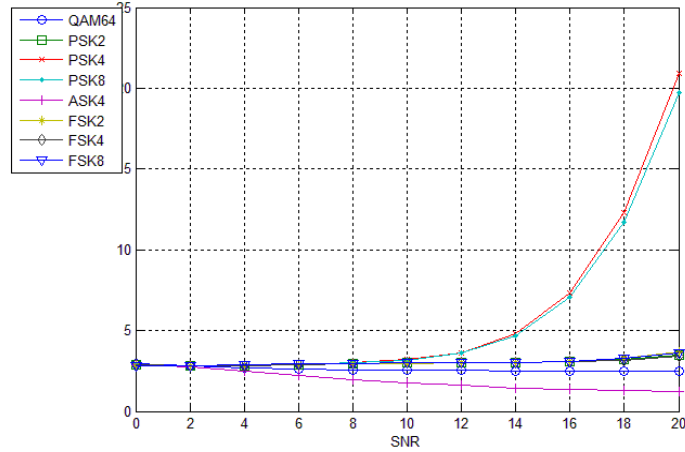
الشكل (10) الانحراف المعياري للمطال اللحظي  $\sigma_2$  بتابعة نسبة الإشارة إلى الضجيج



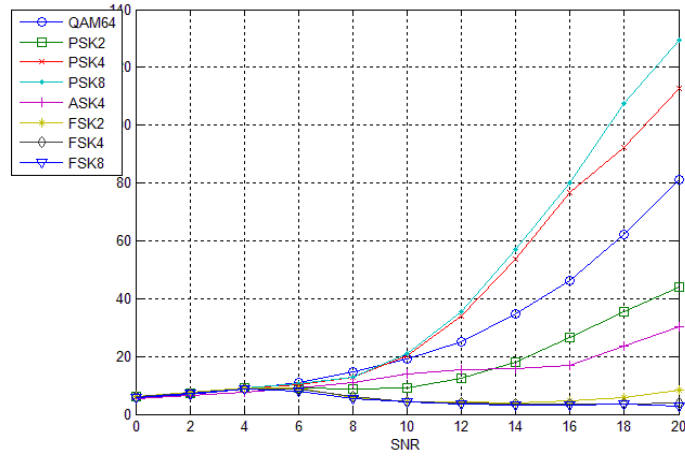
الشكل (11) القيمة العظمى لكثافة الاستطاعة الطيفية للتردد اللحظي المركزي المنسوب  $\gamma_{max f}$  بتابعة نسبة الإشارة إلى الضجيج



الشكل (12) القيمة العظمى لكثافة الاستطاعة الطيفية للمطال اللحظي المركزي المنسوب  $\gamma_{max B}$  بتابعة نسبة الإشارة إلى الضجيج



الشكل (13): العزم من الدرجة الرابعة للمطال اللحظي المركزي المنسوب  $Kur_2$  بتابعية نسبة الإشارة إلى الضجيج



الشكل (14): العزم من الدرجة الرابعة للتردد اللحظي المركزي المنسوب  $Kur_3$  بتابعية نسبة الإشارة إلى الضجيج

أما من أجل تدريب الشبكة العصبية الصناعية فقد حُسبت المحددات المميزة عند قيمتين لنسبة الإشارة إلى الضجيج لتشكل في نهاية المطاف أشعة الدخل (أشعة النماذج) والخرج (أشعة الأهداف) المستخدمة لتدريب الشبكة. وقد استخدمت شبكة عصبية صناعية مؤلفة من طبقة دخل ذات عدد من العقد مساوٍ لعدد المحددات المميزة وطبقتين خفيتين وطبقة خرج ذات عدد من العقد بعدد طرائق التعديل التي جرى التعرف عليها. بعد الانتهاء من تدريب الشبكة العصبية الصناعية وتعليمها قمنا باختبار هذه الشبكة للتعرف على إشارات تجريبية معدلة مرسلتها إليها فكانت النتائج كما هو مبين في الجدول الآتي (الجدول 1):

الجدول 1: نسب التعرف المنوية لكل نوع تعديل عند قيم مختلفة لنسبة الإشارة إلى الضجيج SNR

5 dB	10 dB	15 dB	SNR نوع التعديل
99%	99%	100%	64QAM
75%	99%	100%	2PSK
40%	65%	66%	4PSK
53%	55%	64%	8PSK
95%	99%	100%	4ASK
55%	99%	100%	2FSK
52%	98%	98%	4FSK
75%	99%	100%	8FSK
68%	89.1%	91%	نسبة التعرف الكلية

### الاستنتاجات والتوصيات:

#### الاستنتاجات:

توصلنا من خلال البحث إلى أفضل النتائج باستخدام شبكة عصبية صناعية ذات طبقتين خفيتين وثمانية عقد خرج فقد استطاعت المنظومة تحقيق نسبة تعرف لا تقل عن 68% من أجل إشارات تجريبية عند نسبة استطاعة إشارة إلى استطاعة ضجيج (SNR=5dB) ونسبة تعرف 89.1% من أجل إشارات تجريبية عند (SNR=10dB) ونسبة تعرف 91% من أجل إشارات تجريبية عند (SNR=15dB) وقد كان الضجيج أبيضاً غاوصياً ومما لا شك أن نسبة التعرف المنخفضة نسبياً عند (SNR=5dB) عائدة للحساسية المرتفعة لبعض المحددات المختارة للضجيج المرتفع.

#### التوصيات:

- توسيع المنظومة لتشمل أنواع تعديل ذات درجة أعلى وأنواع تعديل حديثة مثل: التعديل بالتقسيم الترددي المتعامد (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) OFDM، الإبدال بالإزاحة الحلقية (Cyclical Shift Keying) CSK، التعديل المرمز المشبك (Trellis Coded Modulation) TCM وعندها يجب إدخال محددات مميزة جديدة.

- توسيع المنظومة لتصبح قادرة على محاكاة ظروف انتشار أكثر واقعية لتشمل مثلاً بيئة انتشار متعدد المسارات (Multipath Environments) وتأثيرات دوبلر (Doppler effects).  
- السعي للاختبار والتنفيذ العملي للمنظومة على أرض الواقع العملي، ذلك من أجل تطبيقات الزمن الحقيقي.  
- البحث عن محددات أكثر حصانة ومناعة ضد الضجيج المرتفع جداً.

### المراجع:

1. SU, W.; KOSINSKI, J.A.; YU, M. *dual-use of modulation recognition techniques for digital communication signals*. In Systems and applications and Technology Conference IEEE Long Island U. S. A. 2006, 1-6.
2. NOLAN, K.E.; DOYLE, L.; MACKENZIE, P.; O'MAHONY, D. *Modulation Scheme Classification for 4G Software Radio Wireless Network*. in Proceedings of the IASTED International Conference on Signal Processing and Pattern Recognition and Applications (SPPRA 2002) Greece. 2002, 25-33.
3. IVERSEN, A. *Classification of digital modulation schemes using multi-layered perceptron*. Report of the School of Mathematical and Computer Sciences, Heriot-Watt University, 2004, 4-10.
4. NANDI, A.K.; WONG, M.L.D. *Automatic digital modulation recognition using artificial neural network and genetic algorithm*. IEEE Proc. Communications. Vol. 84, N°. 2, 2004, 351-365.
5. شريته، إحسان. *تراسل معطيات (2)*، منشورات جامعة تشرين، 2008، 633.
6. AZZOUZ, E.E.; NANDI, A.K. *Procedure for automatic recognition of analogue and digital modulations*. IEEE Proc. Communications. Vol. 143, N°. 5, 1996, 259-266.
7. YAQIN, Z.; GUANGHUI, R.; XUEXIA, W.; ZHILU, W.; XUEMAI, G. *Automatic digital modulation recognition using artificial neural networks*. IEEE Proc. Neural Networks and Signal Processing, Vol. 1, 2003, 257-260.
8. ARULAMPALAM, G.; RAMAKONAR, V.; BOUZERDOUM, A.; HABIBI D. *Classification of digital modulation schemes using neural networks*. in the proceedings of 'Fifth International Symposium on Signal Processing and its Applications'99', 1999, 649-652.
9. ATTAR, A.R. ; SHEIKHI, A; ABIRI, H.; MALLAHZADEH, A. *The A NEW METHOD FOR COMMUNICATION SYSTEM RECOGNITION*. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering Iran Vol. 30, N°. B6, 2006, 775-788.
10. JAIN, A.K.; DUIN, R.P.W.; MAO, J. *Statistical pattern recognition: a review*. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, N°. 1, 2000, 4-37.
11. ZHANG, G. P. *Neural networks for classification: a survey*. IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol. 30, N°. 4, 2000, 451-462.
12. DEMUTH, H. ; BEALE, M. *Neural Network Toolbox. For Use with MATLAB, User's Guide*. ver. 4, The Math-Works, Inc., U.S.A., 2000, 846.