

التعرف الآلي على التعديل والترميز باستخدام معالج الإشارة الرقمية

الدكتور عادل خضور علي*
كمال حميد**

(تاريخ الإيداع 8 / 7 / 2013. قُبِلَ للنشر في 13 / 11 / 2013)

▽ ملخص ▽

تم في هذا البحث اقتراح خوارزميات للتعرف الآلي على التعديل والترميز الأكثر استخداماً في أنظمة الاتصالات اللاسلكية حيث يمكن استخدامها في الدراسات والتطبيقات العملية في أجهزة الاستقبال وأنظمة التعرف على الإشارات الفضائية وبعض التطبيقات العسكرية.

تمت محاكاة هذه الخوارزميات باستخدام برنامج الماتلاب (Matlab) الذي يمثل بيئة محاكاة سهلة البرمجة كما تم التطبيق العملي لهذه الخوارزميات باستخدام معالج الإشارة الرقمية (Digital Signal Processor) DSP مع مراعاة وجود أو عدم وجود خفوت للقناة (Fading channel), اختبرت نتائج المحاكاة لهذه الخوارزميات وتمت مقارنتها مع نتائج التعرف الناتجة عن معالج الإشارة الرقمية حيث أظهرت نتائج المحاكاة نتائج تعرف جيدة جداً كذلك نتائج التطبيق العملي باستخدام معالج الإشارة الرقمية مما يمكن اعتماده واستخدامه في مختلف دراسات وبحوث معالجة وكشف الإشارات الرقمية.

أجريت القياسات في جامعة دمشق - 2013 م

الكلمات المفتاحية : التعديل, الترميز, معالج الإشارة الرقمية, خفوت القناة.

* مدرس - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.
** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

Automatic Recognition of Modulation and Coding by using Digital Signal Processor

Dr. Adel Khadour Ali*
Kamal Hamid**

(Received 8 / 7 / 2013. Accepted 13 / 11 / 2013)

▽ ABSTRACT ▽

In this research we propose algorithms for Automatic Recognition of Modulation and Coding which are the most commonly used in wireless communication systems where they can be used in studies and practical application in receivers and recognition of spatial signals systems and some military applications.

These algorithms have been simulated using MATLAB which represents an easy programming simulation. Practical application of these algorithms was also made using Digital Signal Processor (DSP), taking into account the presence or absence of channel fading.

The results of these algorithms' simulation were tested and compared with recognition results of the Digital Signal Processor, where the results were very good , as well as the results of the practical application using Digital Signal Processor which can be adopted and used in the different studies and researches of digital signals processing and detecting.

The measures were made in Damascus University – 2013

Keywords: Modulation, Coding, Digital Signal Process, Fading Channel.

* Assistant Professor, Department Of Electronics and Communications Engineering, Faculty Of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus Un, Damascus, Syria.

** Postgraduate student , Department Of Electronics and Communications Engineering, Faculty Of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus Un, Damascus, Syria.

مقدمة:

يزداد اعتماد نظم الاتصالات الحديثة على النظم الرقمية لتطبيق العمليات المعقدة وإجراءات معالجة الإشارة، وأهم ما تحتويه بنية نظام اتصال لاسلكي تقليدي هي وحدة معالج الإشارة الرقمي، حيث يمتاز هذا المعالج بكثير من المزايا عن نظيره التماثلي، فهو قادر على تزويد مستويات معالجة بشكل أفضل، وهو قادر على تمثيل العمليات والمعادلات الرياضية التي تمثل الإشارات الكهربائية والرسوم التخطيطية التي تمثل نظم الاتصالات، ويقوم بوظائف المعالجة والقياس والترشيح، وهو قادر على دعم تطبيقات لا يمكن تنفيذها عن طريق معالج الإشارة التماثلي. يستخدم هذا المعالج بنية خاصة للقيام بوظائف متعددة منها التعديل وكشف التعديل وكشف الترميز والترشيح، بالإضافة إلى هذا فهو قابل للتحديث بسهولة عن طريق تحميل وإضافة برامج جديدة، هذه العمليات تحتاج إلى قدرة حساب فائقة أمكن تحقيقها عمليا منذ فترة قصيرة بفضل تقدم تقانة الـ CMOS، حيث يقلل استخدام المعالجة الرقمية من الضجيج والزمن اللازم للمعالجة والتكلفة واستهلاك الطاقة [1].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى الاستفادة من ميزات وخصائص معالج الإشارة الرقمية في عملية كشف تعديل وترميز الإشارة بنسب عالية جداً، بوجود أو عدم وجود خفوت للقناة ودون معرفة مسبقة لنظام التعديل والترميز أو معدل الرمز، مما يؤدي إلى تخفيض عدد التجهيزات المستخدمة في دارات الاستقبال، وإضافة ميزات وقدرات لاسلكية جديدة لأنظمة الراديو الحالية دون الحاجة إلى أجهزة جديدة.

طرائق البحث ومواده:**1- القنوات:**

قناة الاتصال هي صلة الوصل بين المرسل والمستقبل ويتم نقل المعلومات عبرها، قد تكون من الناحية الفيزيائية وصلة سلكية، ضوئية أو لاسلكية، وتتعرض الإشارة خلال مرورها في القناة إلى نوعين من الضجيج: الأبيض نتيجة العناصر الموجودة، والخفوت نتيجة وجود تداخل مع إشارات خارجية، مما يؤدي إلى انخفاض مستوى الإشارة المرسله وبالتالي يفقد ذلك لحدوث أخطاء في الاستقبال.

يوجد نوعان لخفوت القناة:

الخفوت قصير الأمد: يحدث بسرعة وعلى مسافة قصيرة حيث شدة الإشارة المستقبلية تتغير بسرعة وبشكل مفاجئ ويدعى هذا الخفوت بخفوت رايلي أو الخفوت السريع، في هذا النوع من الخفوت نعتبر أن المركبة المباشرة لاتصل للمستقبل وإنما يصل إليه فقط مركبات تبعثرية سلكت طرق فيزيائية مختلفة فوصلت بفرق في المطال وفرق في الزاوية لذلك تجمع شعاعياً عند هوائي للمستقبل، إن هذا الخفوت يحصل في بيئة المدينة المزدحمة.

الخفوت طويل الأمد: يحصل هذا الخفوت ببطء وعلى مسافات بعيدة، حيث شدة الإشارة المستقبلية تتغير ببطء وبشكل تدريجي، ويدعى هذا الخفوت خفوت ريسان أو الخفوت البطيء، في هذا النوع من الخفوت يصل إلى المستقبل المركبة المباشرة والمركبات التبعثرية، إن هذا الخفوت يحدث في الأماكن غير المزدحمة مثل بيئة الريف [2].

2- التعديل الرقمي للموجات الحاملة (Digital Carrier Modulation):

يعرف التعديل الرقمي بأنه الإجراءية التي تحول الرموز الرقمية لأشكال موجات منسجمة مع مميزات القناة، وتكون أشكال الموجات في حالة تعديل المجال الأساسي (Baseband Modulation) عبارة عن نبضات. بينما في حالة التعديل الرقمي للموجات الحاملة فإن إشارة المعلومات المرغوبة تكون معدلة بإشارة جيبية تسمى إشارة الحامل وتسمى هذه العملية "الإقفال" [3] وأهم أنواعها :

أ- الإقفال بالإزاحة المطالية (ASK (Amplitude Shift Keying):

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_i(t)}{T}} \cos(\omega_0 t + \phi) \quad \begin{matrix} 0 \leq t \leq T \\ i = 1, \dots, M \end{matrix} \quad (1)$$

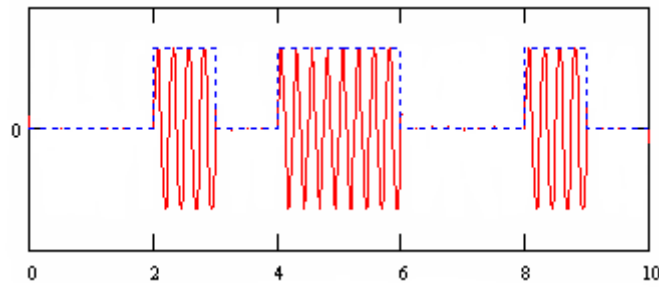
وفيه يتغير مطال إشارة الحامل تبعاً لإشارة للمعلومات ويكون للمطال M قيمة، بينما يكون طور الإشارة ثابتاً وكذلك ترددها. يعبر البارامتر E عن طاقة الرمز و T زمن بقاء الرمز $0 \leq t \leq T$.

باختيار $M = 2$ يكون للمطال قيمتين هما $\sqrt{\frac{2E}{T}}$ و 0 .

وهو ما يسمى الإقفال بإزاحة المطال الثنائي Binary ASK، وهو أبسط أنواع التعديل المطالي، وقد كان مستخدماً في الاتصالات الراديوية القديمة.

ولتحقيق هذا النوع من التعديل نقوم بتمثيل المعلومات الواردة إلينا على شكل إشارة جيبية - كما في العلاقة (1) - ترددها يساوي f_0 ، يأخذ مطالها القيمة $\sqrt{\frac{2E}{T}}$ في حال كانت المعلومة الواردة ممثلة بالبت 1، بينما يكون مطالها مساوياً للصفر في حال كان البت الوارد هو 0.

يبين الشكل (1) تعديل الإقفال بإزاحة المطال لتتابع من البتات (0010110010).



الشكل (1): الإقفال بالإزاحة المطالية

ب- الإقفال بالإزاحة الترددية (FSK (Frequency Shift Keying):

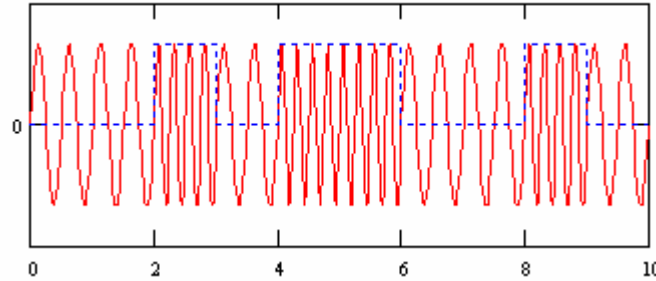
$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(\omega_i t + \phi) \quad \begin{matrix} 0 \leq t \leq T \\ i = 1, \dots, M \end{matrix} \quad (2)$$

وفيه يتغير تردد إشارة الحامل تبعاً للمعلومات المرسله حيث يمتلك التردد M قيمة.

باختيار $M = 2$ يكون التردد مساوياً f_1 في حالة الواحدات بينما يكون مساوياً f_2 في حالة الأصفار وهذا ما يسمى الإقفال بإزاحة التردد الثنائي BFSK.

$$FSK(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t) & \text{for bit 1} \\ \sin(2\pi f_2 t) & \text{for bit 0} \end{cases}$$

وبين الشكل (2) تعديل الإقفال بإزاحة التردد لتتابع البتات (0010110010) حيث تم اعتبار $f_1 > f_2$.



الشكل (2) : الإقفال بالإزاحة الترددية

ت- الإقفال بالإزاحة الطورية (PSK Phase Shift Keying):

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos[\omega_0 t + \phi_i(t)] \quad \begin{matrix} 0 \leq t \leq T \\ i = 1, \dots, M \end{matrix} \quad (3)$$

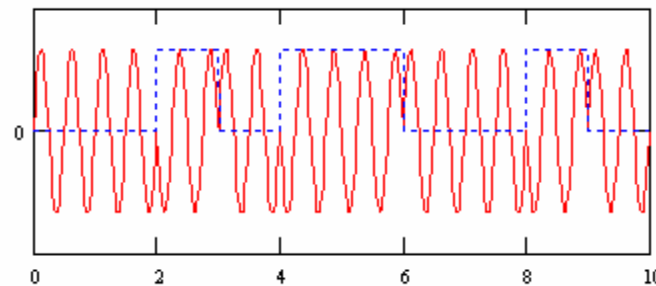
$$\phi_i(t) = \frac{2\pi i}{M} \quad i = 1, \dots, M \quad (4)$$

في حال الإقفال بإزاحة الطور الثنائي BPSK تكون $M = 2$ حيث يأخذ طور الإشارة $s_i(t)$ قيمة من اثنتين 0

أو π وذلك وفق ما يلي:

$$PSK(t) = \begin{cases} \sin(2\pi ft + \pi) & \text{for bit 1} \\ \sin(2\pi ft) & \text{for bit 0} \end{cases}$$

يبين الشكل (3) تعديل الإقفال بالإزاحة الطورية لتتابع البتات (0010110010).



الشكل (3): الإقفال بالإزاحة الطورية

3- ترميز القناة Channel Coding :

في نظم الاتصالات وخاصة عند الإرسال الرقمي يوجد شك بصحة استقبال الصفر أو الواحد، حيث يأخذ المستقبل الإشارة ويتخذ القرار، وهنا يوجد نسبة خطأ على الصفر ونسبة خطأ على الواحد، واحتمال الخطأ P_e يتناسب مع النسبة E_b/N_0 حيث:

E_b : طاقة البت.

N_0 : كثافة الضجيج.

نلاحظ أن احتمال الخطأ يكون ثابتاً تقريباً في النظام المدروس، لإتفاص احتمال الخطأ أي زيادة وثوقية المعطيات وبالتالي تحسين أداء الوصلة الراديوية يتم استخدام ترميز القناة. يعتمد ترميز القناة على مفهوم الفائض حيث يتم إضافة بنات إلى المعلومات المرسل، ليستفيد منها المرسل في عملية كشف وتصحيح الأخطاء [4].

من أهم أنواع ترميزات القناة:

• الترميز الكتلي Block Coding.

وهو نظام بدون ذاكرة يمكن تحقيقه بدارات منطقية بسيطة وفيه يتم تقسيم الرسالة إلى كتل متساوية تشكل كل منها كلمة مؤلفة من K bits، تدخل هذه الكلمات على دارة منطقية لنحصل على كلمات جديدة بطول n bits حيث $n = k + m$ ، تفيد هذه البتات الإضافية Redundancy بتخفيف أثر الضجيج والتشويش والتداخل.

ويعتبر الترميز الدوري Cyclic Coding من أهم أنواع الترميز الكتلية الخطية والذي يتميز بسهولة تحقيقه باستخدام منطق تناوبي Sequential Logic وسجلات إزاحة shift Registers، ويعتمد بشكل رئيسي على ما يسمى بدارات التقسيم فمن خلال دارات التقسيم تصمم دارة الترميز وفق الترميز.

• الترميز الانطوائي Convolutional Coding.

من أهم طرق الترميز المستخدمة في كشف الأخطاء وتصحيحها، يمتاز بسهولة بناء المرمز المعتمد بشكل رئيسي على سجلات الإزاحة Shift Register. يعتمد أداء المرمز على تعقيد مفكك الترميز، أي أن أداءه يتعلق بتصميم المرمز وخوارزمية فك الترميز المستخدمة، فكلما كانت هذه الخوارزمية أعقد كان أداء المرمز أفضل. نذكر أن أداء المرمز يُعبر عنه بمنحني الخطأ الذي يمثل معدل خطأ البت بدلالة نسبة الإشارة للضجيج.

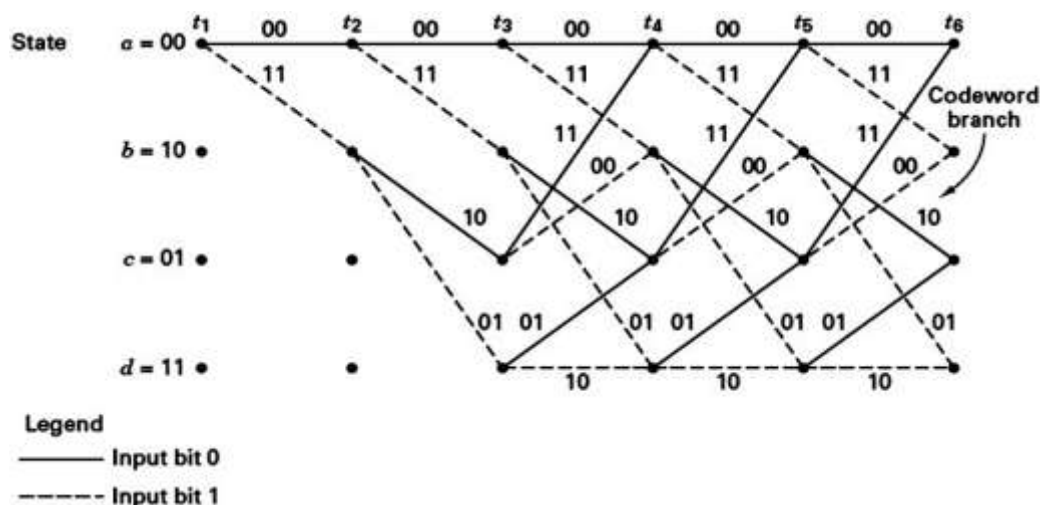
وجدنا أنه في الترميز الكتلي يتم تقسيم المعطيات Data إلى كتل بطول ثابت وليكن k مثلاً ولا يعمل المرمز إلا في حال توافر k بت على دخله. في حين أن المرمز الانطوائي يرمز المعطيات بشكل مستمر Continuous. بمعنى أنه بمجرد ورود بت على الدخل نحصل على ترميزه مباشرة على الخرج.

في الترميز الكتلي كلمة الترميز (خرج المرمز) والتي نرمز لها عادة بـ U تتعلق فقط ببتات كتلة الدخل دون أي ارتباط مع البتات السابقة لهذه الكتلة، في حين أنه في الترميز الانطوائي تكون كلمة الترميز مرتبطة بالدخل الحالي وبقيم الدخل السابقة بعمق k ، وكلما زاد عمق الترميز كان الأداء أفضل.

الفكرة من ربط قيم الدخل الحالي بقيم الدخل السابقة هي التغلب على القنوات ذات الذاكرة Memory، والتي هي النوع الشائع من القنوات اللاسلكية. نقصد بقناة ذات ذاكرة بأن تأثير القناة على الرمز Symbol يتعلق بالرموز السابقة.

إذن كما أشرنا فإن الترميز الانطوائي يتعامل مع سيل من البتات دون تحديدها بكتل وهو مناسب لكثير من التطبيقات العملية مثل الاتصالات الفضائية.

يبين الشكل (4) المخطط الشبكي للمرمز الانطوائي :



الشكل (4) : المخطط الشبكي للمرمز الانطوائي

يعد المخطط الشبكي أساساً لعملية فك الترميز الانطوائي عن طريق مايسمى بخوارزمية فيتربي Viterbi وهي تمتاز بأداء جيد لكن بحاجة إلى دارات معقدة للتنفيذ , وحجم ذاكرة كبير نسبياً , حيث يتم استقبال السلسلة كاملة, ثم البحث عن أقرب مسار للمسار المستقبلي أي أصغر مسافة هامينغ يمكن الوصول إليها (مسافة هامينغ بين كلمتين مرمرتين تساوي إلى عدد الرموز المختلفة بين هاتين الكلمتين) أي أنها تسعى إلى جعل احتمال الخطأ أصغرياً .

النتائج والمناقشة:

1- خوارزمية التعرف الآلي على التعديل الرقمي :

قام عدد من الباحثين باقتراح عدة خوارزميات للتعرف الآلي على التعديل الرقمي . فقد اقترح كل من عزوز و ناندي [5] خوارزمية التعرف على التعديل الرقمي باستخدام محددات أساسية للإشارة مشتقة من قيم رئيسية وهي المطال اللحظي والطور اللحظي غير الخطي والتردد اللحظي , هذه المحددات مبينة في الجدول (1).

المحدد	الرمز
القيمة العظمى لكثافة الاستطاعة الطيفية للمطال اللحظي المركزي المنسوب	γ_{max}
الانحراف المعياري للمركبة الطورية غير الخطية بالقيمة المطلقة فوق عتبة محددة (a_t)	σ_{ap}
الانحراف المعياري للمركبة الطورية غير الخطية المركزية بالقيمة المباشرة فوق عتبة محددة (a_t)	σ_{dp}
الانحراف المعياري للمطال اللحظي المركزي المنسوب	σ_{aa}
الانحراف المعياري للتردد اللحظي المنسوب بالقيمة المطلقة فوق عتبة محددة (a_t)	σ_{af}

الجدول (1): المحددات الأساسية المستخدمة في خوارزمية عزوز وناندي للتعرف الآلي على التعديل الرقمي

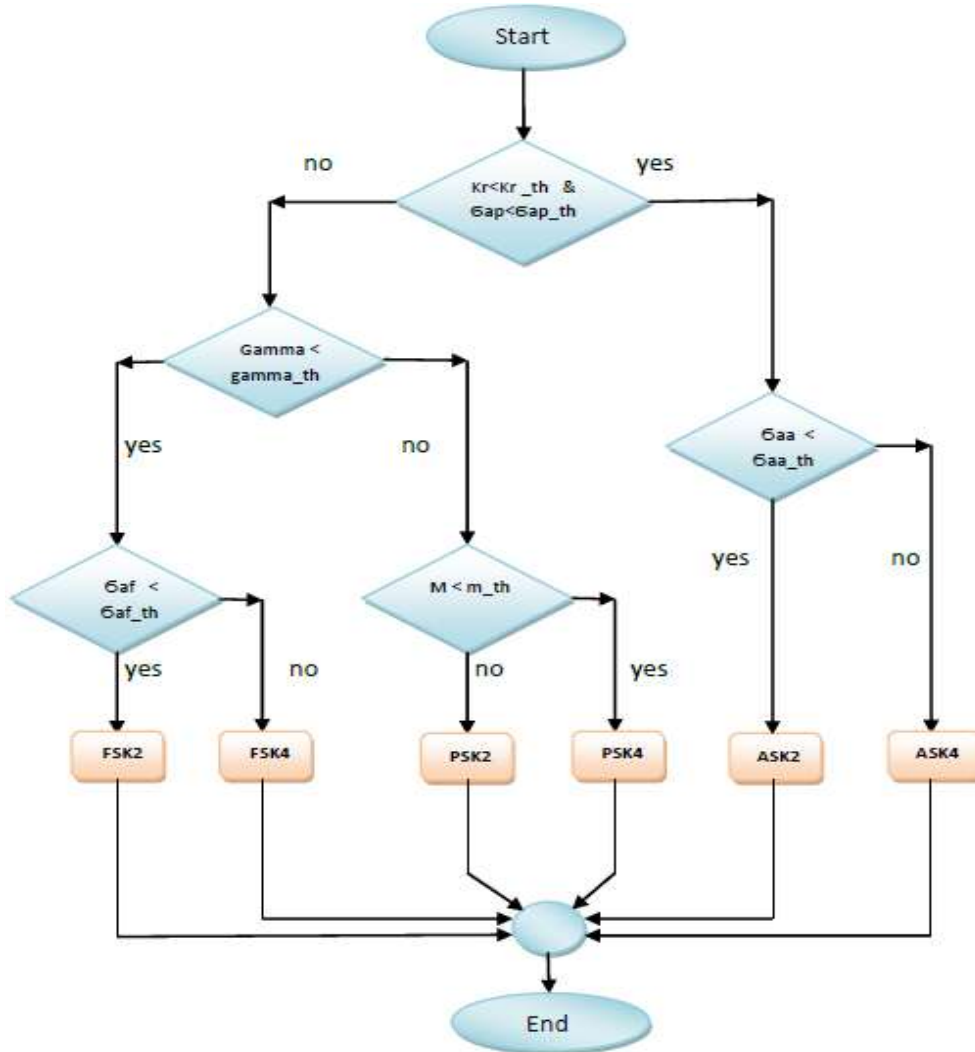
قمنا بتطوير هذه الخوارزمية باستخدام العزوم إلى جانب بعض المحددات المستخدمة من قبل عزوز وناندي والتي كان لها دور بارز في الفصل حتى (SNR=9 dB) وهي العزم المركزي الثالث للمطال اللحظي المركزي المنسوب (M(Moment) وكان مفيداً لفصل إشارات PSK4 والعزم المركزي الرابع المنسوب للطور اللحظي غير الخطي Kr(Kurtosis) وكان استخدامه مفيداً لفصل التعديلات المطالية .

استمدت العتبة المثالية لكل من هذه المحددات والعزوم من 400 عينة لكل نمط تعديل عند SNR=[10:20] dB, وهي مبينة في الجدول (2).

Kr	M	σ_{af_th}	σ_{aa_th}	σ_{dp_th}	σ_{ap_th}	γ_{max_th}	العتبة
2.2	0.1	0.4	0.25	$\pi/5$	$\pi/5.5$	4	القيمة

الجدول (2): قيم العتبات المثالية للمحددات الأساسية والعزوم المستخدمة في خوارزمية التعرف الآلي على التعديل الرقمي

يبين الشكل (5) الخوارزمية المقترحة للتعرف الآلي على التعديل الرقمي باستخدام العزوم:



الشكل (5) : الخوارزمية المقترحة للتعرف الآلي على التعديل الرقمي باستخدام العزوم

المحددات المميزة التي تم استخدامها لتمييز نوع التعديل:

أ- الانحراف المعياري للمركبة الطورية غير الخطية المركزية بالقيمة المطلقة فوق عتبة محددة: ويعطى σ_{ap} بالعلاقة التالية:

$$\sigma_{ap} = \sqrt{\frac{1}{NS} (\sum a_{n(i)} > a_t \emptyset_{NL}(i)^2) - (\frac{1}{c} \sum a_{n(i)} > a_t |\emptyset_{NL}(i)|)^2} \quad (5)$$

NS : عدد عينات الإطار وهي أكبر من قيمة حدية a_t تخفيفاً لأثر الضجيج على الإشارة المستقبلة.

$\emptyset_{NL}(i)$ المركبة غير الخطية للطور.

تتراوح قيمة العتبة المحددة بين [0.9:1.05] . $a_{t \text{ opt}}$

ب- العزم المركزي الرابع المنسوب للطور اللحظي غير الخطي :

وهو يعبر عن انحراف قمة منحني التوزيع التكراري عن قمة المنحني التكراري المعتدل (الطبيعي) وهو في التوزيع الطبيعي يساوي 3 وفي الغالب فإننا نطرح من القيمة المحسوبة 3 فإذا كان الباقي صفراً كانت البيانات طبيعية أو معتدلة أما إذا كانت القيمة أقل من 3 كانت البيانات مفلطحة أما إذا كانت القيمة أكبر من 3 فإن البيانات تكون مديبة.

$$k = \frac{E[\emptyset_{NL}(i)^4]}{\sigma_x^4} \quad (6)$$

$\emptyset_{NL}(i)$ المركبة غير الخطية للطور.

حيث تم استخدام هذا العزم بالنسبة للطور المركزي وكان استخدامه مفيداً لفصل التعديلات المطالية.

المحددان السابقان يستخدمان للتمييز بين إشارتي ASK2 , ASK4 كمجموعة أولية وإشارات PSK2 , FSK2 , FSK4 كمجموعة ثانوية حيث تملك إشارتي ASK2 , ASK4 معلومات مطالية بينما لا تملك إشارات PSK2 , PSK4 , FSK2 , FSK4 معلومات مطالية وبالتالي يمكن استخدام المحددين السابقين للتمييز بين الإشارات التي تملك معلومات مطالية والتي لا تملك معلومات مطالية [5],[6].

ت- الانحراف المعياري للمطال اللحظي المركزي المنسوب بالقيمة المطلقة:

يعطى σ_{aa} بالعلاقة التالية:

$$\sigma_{aa} = \sqrt{\frac{1}{NS} (\sum a_{cn}(i)) - (\frac{1}{NS} \sum |a_{cn}(i)|)^2} \quad (7)$$

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

NS: عدد العينات في الإطار الواحد.

σ_{aa} : يستخدم للتمييز بين ASK2,ASK4 لأن المطال اللحظي المركزي المنسوب لإشارة ASK2 يتغير بين مستويين متساويين بالمطال ومتعاكسين بالإشارة لذلك فإن القيمة المطلقة للمطال اللحظي المركزي المنسوب ثابت وبالتالي فهي لا تملك معلومات مطالية بالقيمة المطلقة ($\sigma_{aa} < t(\sigma_{aa})$) , من ناحية أخرى فإن إشارة ASK4 تملك معلومات مطالية بالقيمة المباشرة والقيمة المطلقة ($\sigma_{aa} \geq t(\sigma_{aa})$) بطبيعتها , لذلك فإن هذا المحدد يمكن استخدامه للتمييز بين ASK2 و ASK4 .

ث- القيمة العظمى لكثافة الاستطاعة الطيفية للمطال اللحظي المركزي المنسوب:

ويعطى γ_{max} بالعلاقة التالية :

$$\gamma_{max} = \max |DFT(a_{cn}(i))|^2 / NS \quad (8)$$

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

NS: عدد العينات في الإطار الواحد.

γ_{max} : يستخدم للتمييز بين FSK2 & FSK4 كمجموعة أولية و PSK2, PSK4 كمجموعة ثانوية وبما أن إشارتي FSK2 & FSK4 لها مطال ثابت فإن المطال اللحظي المركزي المنسوب لها يساوي الصفر لذلك تكون كثافة الاستطاعة الطيفية تساوي الصفر وهي لا تملك معلومات مطالية بطبيعتها ($\gamma_{max} < t(\gamma_{max})$) , من ناحية أخرى فإن إشارتي PSK2, PSK4 تملك معلومات مطال لأن تحديد المجال (band-limitation) يفرض معلومات مطال خاصة عند الانتقال بين الرموز المتتالية (المتتابعة) وبالتالي يمكن استخدام هذا المحدد للتمييز بين الإشارات التي لها معلومات مطالية PSK2, PSK4 والأخرى التي ليس لها معلومات مطالية FSK2, FSK4 .

ج- الانحراف المعياري للتردد اللحظي المركزي المنسوب بالقيمة المطلقة فوق عتبة محددة:

ويعطى σ_{af} بالعلاقة التالية:

$$\sigma_{af} = \sqrt{\frac{1}{NS} (\sum_{a_{cn}(i) > a_t} f_{cn}(i)^2) - (\frac{1}{c} \sum_{a_{cn}(i) > a_t} |f_{cn}(i)|)^2} \quad (9)$$

$f_{cn}(i)$: التردد اللحظي المركزي المنسوب.

NS: عدد العينات في الإطار الواحد.

σ_{af} : يستخدم للتمييز بين FSK2 & FSK4 لأن التردد اللحظي المركزي المنسوب لإشارة FSK2 يتغير بين مستويين متساويين بالمطال ومتعاكسين بالإشارة لذلك فإن القيمة المطلقة للتردد اللحظي المركزي المنسوب لها ثابت وبالتالي فهي لا تملك معلومات ترددية بالقيمة المطلقة ($\sigma_{af} < t(\sigma_{af})$) , من ناحية أخرى فإن إشارة FSK4 تملك معلومات ترددية بالقيمة المباشرة والقيمة المطلقة ($\sigma_{af} \geq t(\sigma_{af})$) بطبيعتها , وبالتالي يستخدم هذا المحدد للتمييز بين FSK2 & FSK4.

ح- العزم المركزي الثالث للمطال اللحظي المركزي المنسوب :

$$m = \text{Moment}(a_{cn}(i), 3) = E[(a_{cn}(i))^3] \quad (10)$$

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

واستخدم بالنسبة للمطال اللحظي المركزي المنسوب وكان مفيداً لفصل PSK4 عن بقية التعديلات .

M: يستخدم للتمييز بين PSK2 كمجموعة أولية و PSK4 كمجموعة ثانوية لأن القيمة المباشرة لطور إشارة PSK2 يأخذ القيم $0, \pi$ لذلك فإن القيمة المركزية المطلقة ثابتة وتساوي $\pi/2$ لذلك فهي لا تملك معلومات طورية بالقيمة المباشرة ($M < t(M)$) بالإضافة لذلك فإن إشارة PSK4 تملك معلومات طورية بالقيمة المباشرة والقيمة المطلقة ($M \geq t(M)$) بطبيعتها , لذلك فإن هذا المحدد يمكن استخدامه للتمييز بين النمط الذي لديه معلومات طورية بالقيمة المطلقة (PSK4) والأنماط التي ليس لها (PSK2).

2-تقييم أداء خوارزمية التعرف الآلي على التعديل الرقمي :

تبين الجداول (3),(4),(5) نتائج أداء تحسين الخوارزمية المقترحة باستخدام العزوم للتعرف الآلي على التعديل الرقمي عند SNR=10,15,20 dB , إن التمييز بين الأنواع المختلفة من التعديلات الرقمية في هذا النوع من أنواع

التعرف الآلي المبين في خوارزمية التعرف الآلي على التعديل الرقمي (DMRA) قد صنفت بنسبة نجاح 99% عند $SNR=10$ dB كما هو مبين في الجدول (3)، حيث نجد على سبيل المثال أن احتمال كشف إشارة ASK2 هو 98.2% بينما احتمال الخطأ في كشف هذه الإشارة هو 1.8% حيث يتم كشفها على أنها إشارة ASK4، وفي بعض الحالات يكون الكشف خاطئ بحيث يعطي إشارة تعديل مغايرة كحالة إرسال إشارة PSK4 فإنه يتم كشفها على أساس أنها إشارة FSK2 باحتمال 0.4%، كذلك الأمر بالنسبة إلى باقي الإشارات.

إن استخدام العزوم إلى جانب المحددات الأساسية يسهم في تحسين كشف إشارات التعديل المختلفة بزيادة SNR، كما هو واضح في الجدول (4) حيث نلاحظ زيادة نسبة الكشف مع زيادة SNR، وعند $SNR=20$ dB تصل نسبة الكشف إلى 100% كما هو مبين في الجدول (5).

Simulated Modulation type	Deduced Modulation type					
	ASK2	ASK4	PSK2	PSK4	FSK2	FSK4
ASK2	98.2%	1.8%	-	-	-	-
ASK4	0.4%	99.6%	-	-	-	-
PSK2	-	-	99.7%	-	0.3%	-
PSK4	-	-	-	99.6%	0.4%	-
FSK2	-	-	-	0.5%	99.5%	-
FSK4	-	-	-	1.2%	-	98.8%

الجدول (3): نتائج أداء الخوارزمية المقترحة للتعرف الآلي على التعديل الرقمي عند $SNR=10$ dB

Simulated Modulation type	Deduced Modulation type					
	ASK2	ASK4	PSK2	PSK4	FSK2	FSK4
ASK2	98.5%	1.5%	-	-	-	-
ASK4	0.3%	99.7%	-	-	-	-
PSK2	-	-	99.8%	-	0.2%	-
PSK4	-	-	-	99.6%	0.4%	-
FSK2	-	-	-	0.1%	99.9%	-
FSK4	-	-	-	0.7%	-	99.3%

الجدول

(4): نتائج أداء الخوارزمية المقترحة للتعرف الآلي على التعديل الرقمي عند $SNR=15$ dB

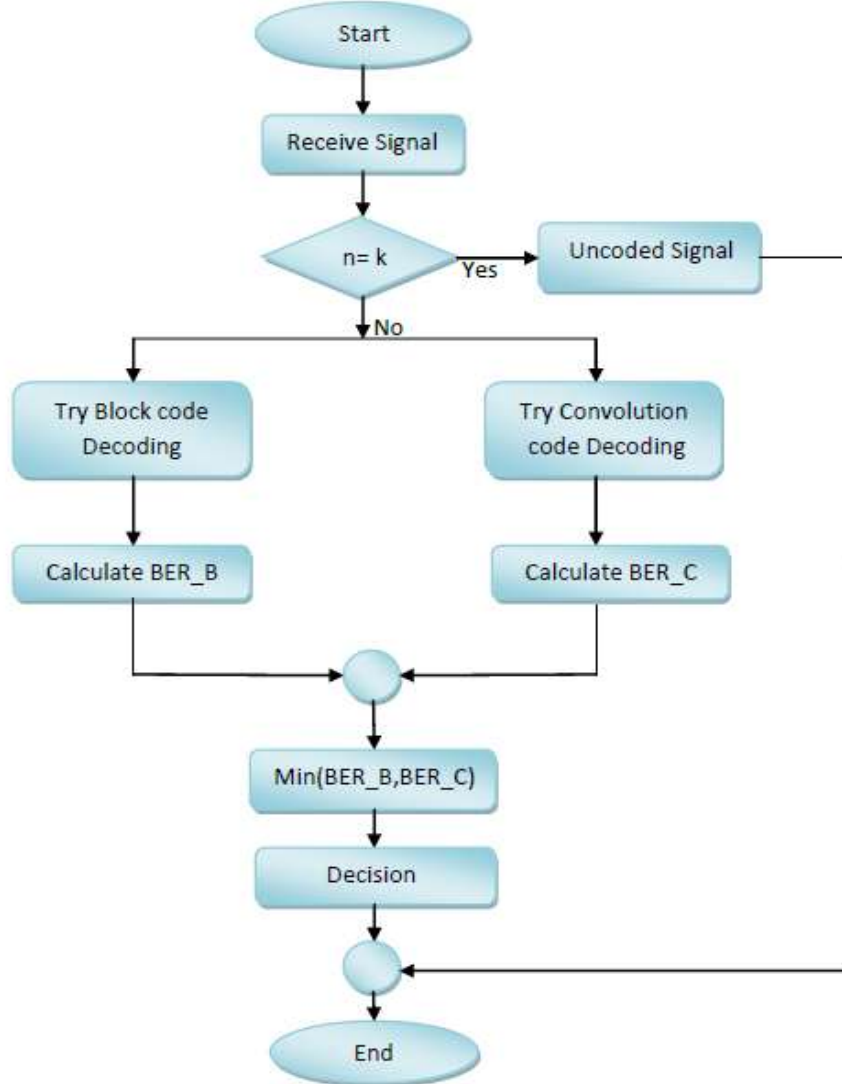
Simulated Modulation type	Deduced Modulation type					
	ASK2	ASK4	PSK2	PSK4	FSK2	FSK4
ASK2	99.9%	0.1%	-	-	-	-
ASK4	0.2%	99.8%	-	-	-	-
PSK2	-	-	100%	-	-	-
PSK4	-	-	-	100%	-	-
FSK2	-	-	-	-	100%	-
FSK4	-	-	-	-	-	100%

الجدول (5): نتائج أداء الخوارزمية المقترحة للتعرف الآلي على التعديل الرقمي عند $SNR=20$ dB

3- خوارزمية التعرف الآلي على الترميز :

في هذه الخوارزمية تمرر الإشارة المستقبلية على كاشف كل من الترميز الكتلي والترميز الانطوائي ثم يتم اتخاذ القرار على أساس منحنيات مقياس الخطأ فكاشف الترميز الذي يعطي نسبة خطأ كشف أقل يكون هو الترميز المستخدم للإشارة المستقبلية ثم يتم فك ترميزها [7].

يبين الشكل (6) الخوارزمية المقترحة للتعرف الآلي على الترميز :



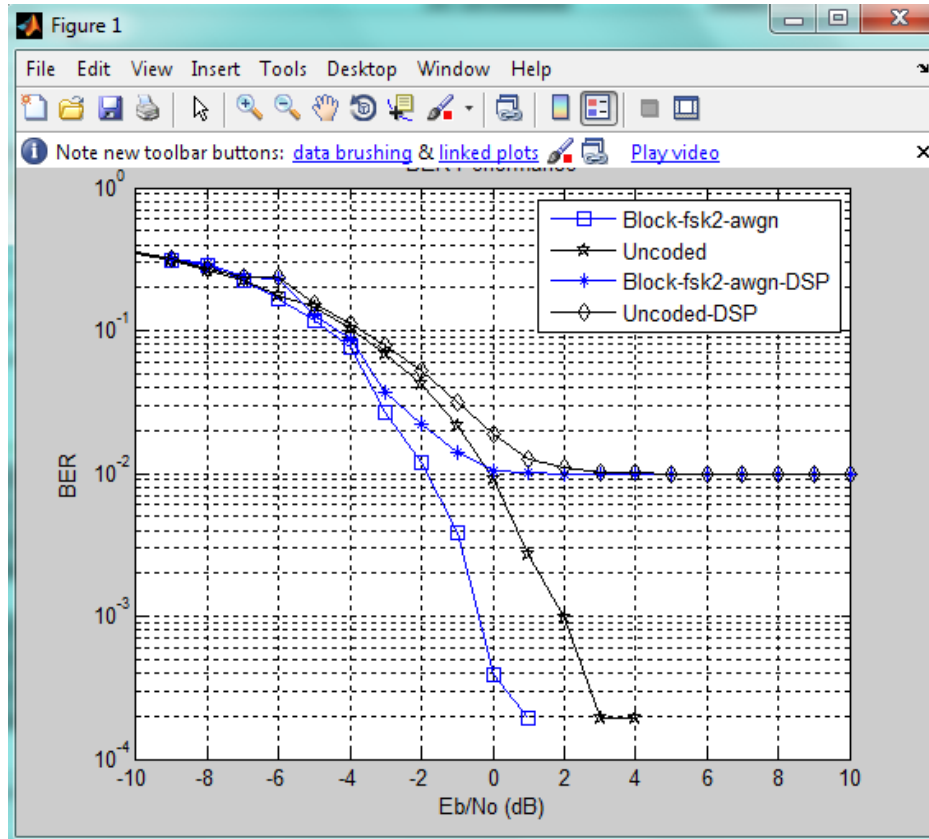
الشكل (6) : الخوارزمية المقترحة للتعرف الآلي على التعديل الرقمي باستخدام العزوم

4- استخدام معالج الإشارة الرقمية في عملية التعرف الآلي :

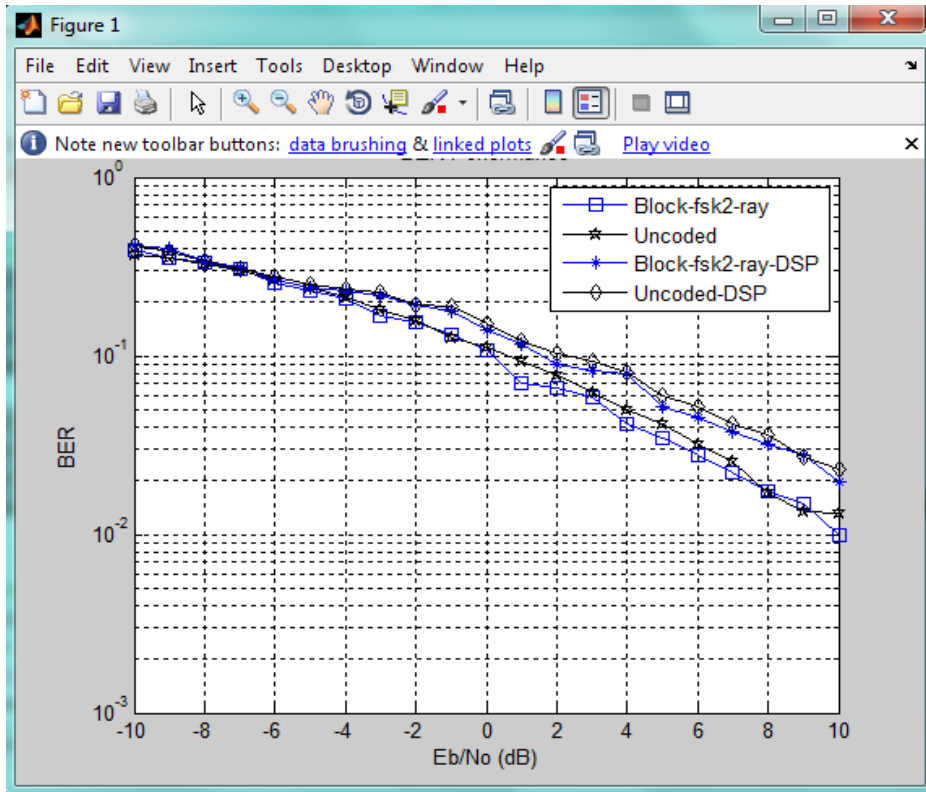
خوارزمية العمل في بطاقة المعالج (TMS320C6713) هي نفسها في الماتلاب كخوارزمية عامة . أما الاختلاف الجوهرى بينهما أنه في المعالج يجب علينا تعريف جميع التتابع التي سوف نستخدمها كون المعالج لا يفهم إلا لغة الC الأصلية . أي أنه يجب بداية تعريف تابع فوربيه وفورييه العكسي وذلك من خلال بناء جدول بالقيم التي تأخذها كل قيمة يُراد تحويلها إلى فوربيه أي بناء جدول : (looking table) ولاننسى أن حساب تحويل فوربيه

الأساسي معقد وطويل جداً حيث نحتاج إلى حسابات حتى اللانهاية , لذلك نقوم بحساب تحويل فورييه السريع لعدد محدد من النقاط حسب الطول المختار لهذا التحويل ونحتاج أيضاً إلى تهيئة معالج الـ DSP وذلك لتحديد الذواكر العاملة وتسمية المتحولات والطرفيات المستخدمة. وتوجد هذه الإعدادات في ملفات config.

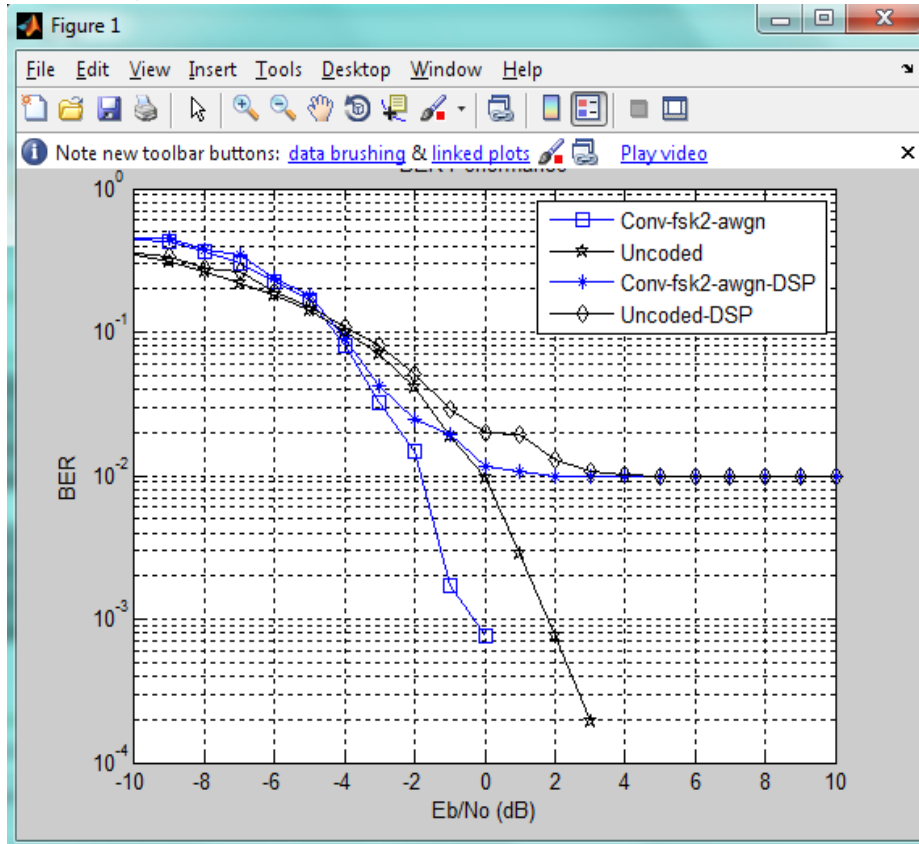
نورد فيما يلي نتائج المحاكاة الحاسوبية والتطبيق العملي باستخدام المعالج (TMS320C6713) لبعض الحالات على سبيل المثال, وذلك بأخذ نوعين من أنواع التعديل (PSK2 و FSK2) بحالة خفوت رابلي وعدم وجود مع كل من الترميز الكتلي والترميز الانطوائي.



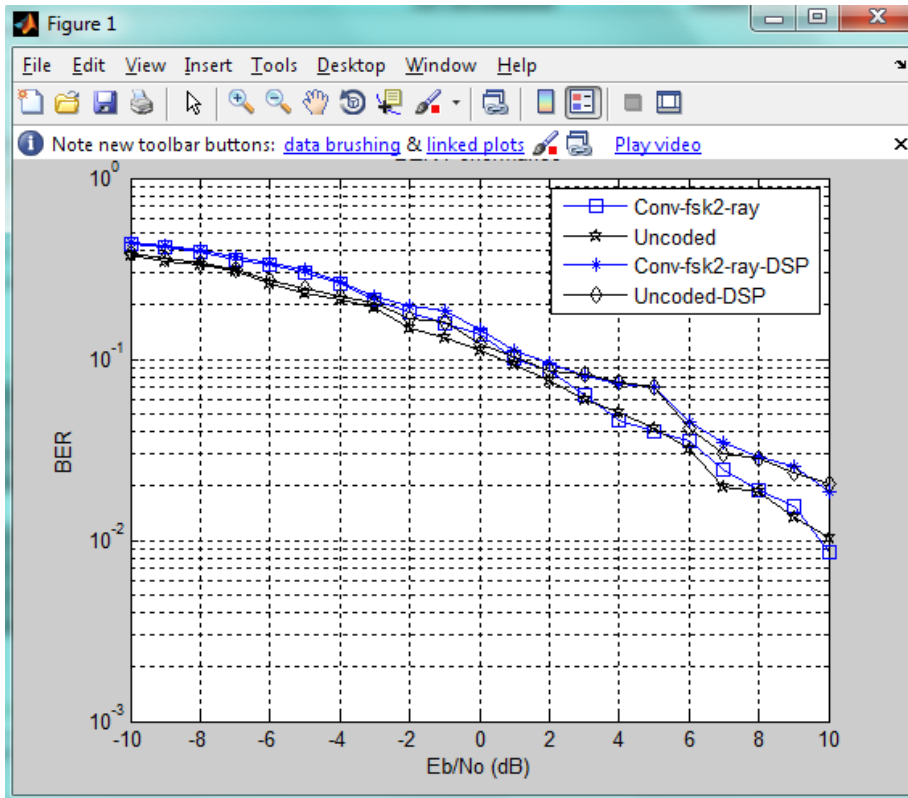
الشكل (7) : حالة تعديل FSK2 وترميز Block code مع عدم وجود خفوت للقناة



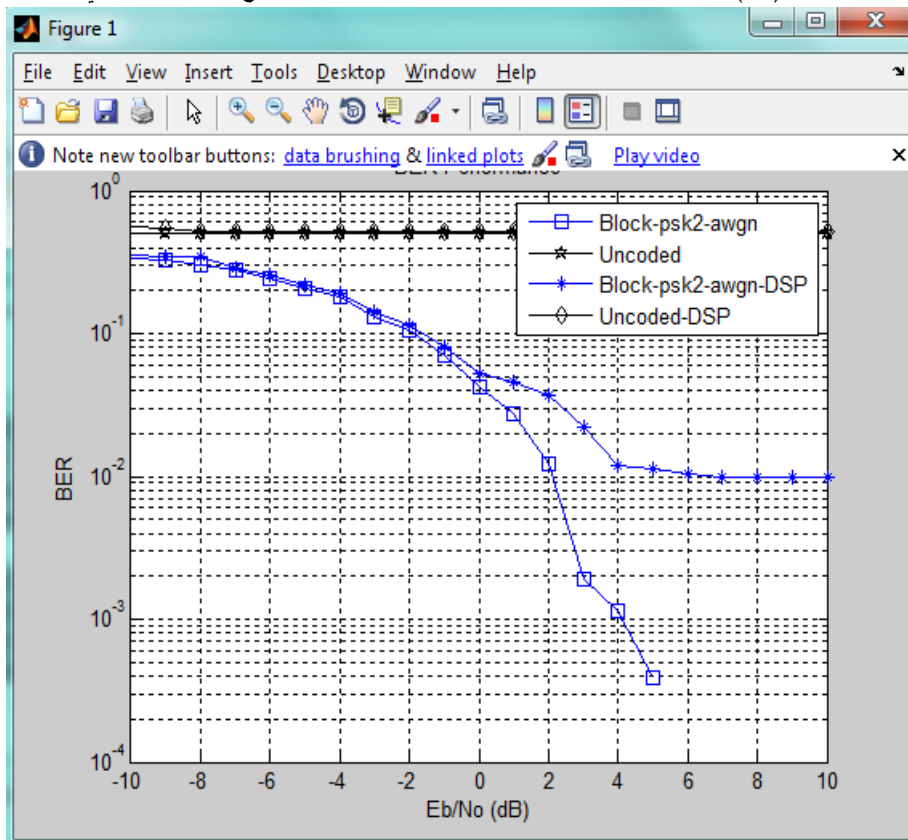
الشكل (8) : حالة تعديل FSK2 وترميز Block code مع وجود خفوت رايلي



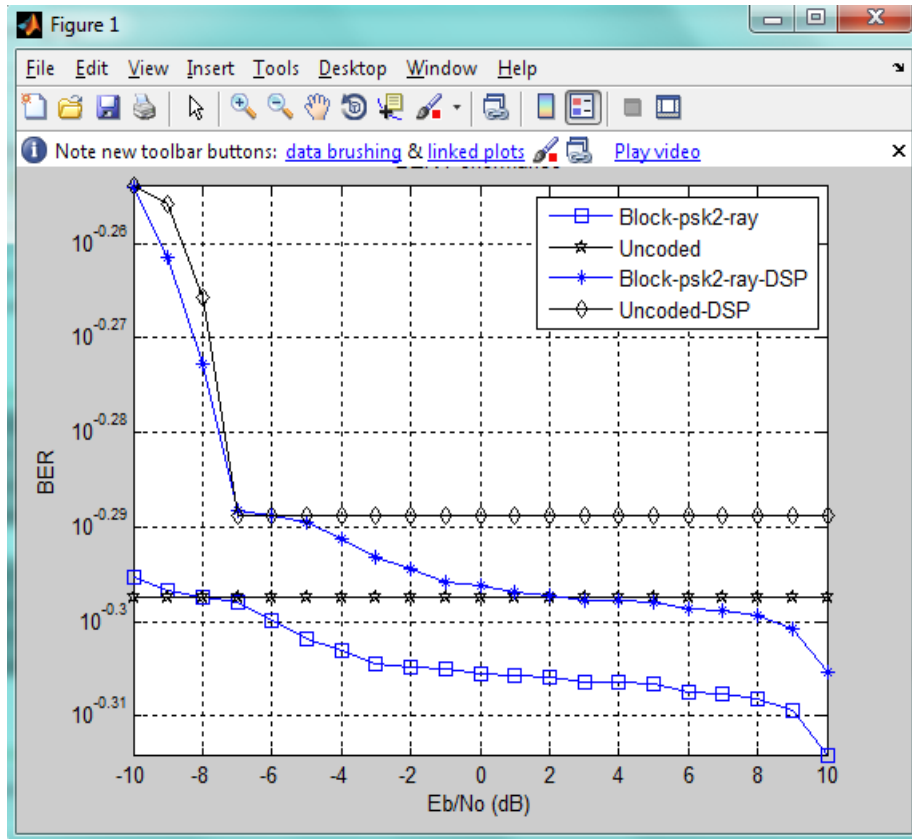
الشكل (9) : حالة تعديل FSK2 وترميز convolution code مع عدم وجود خفوت للقناة



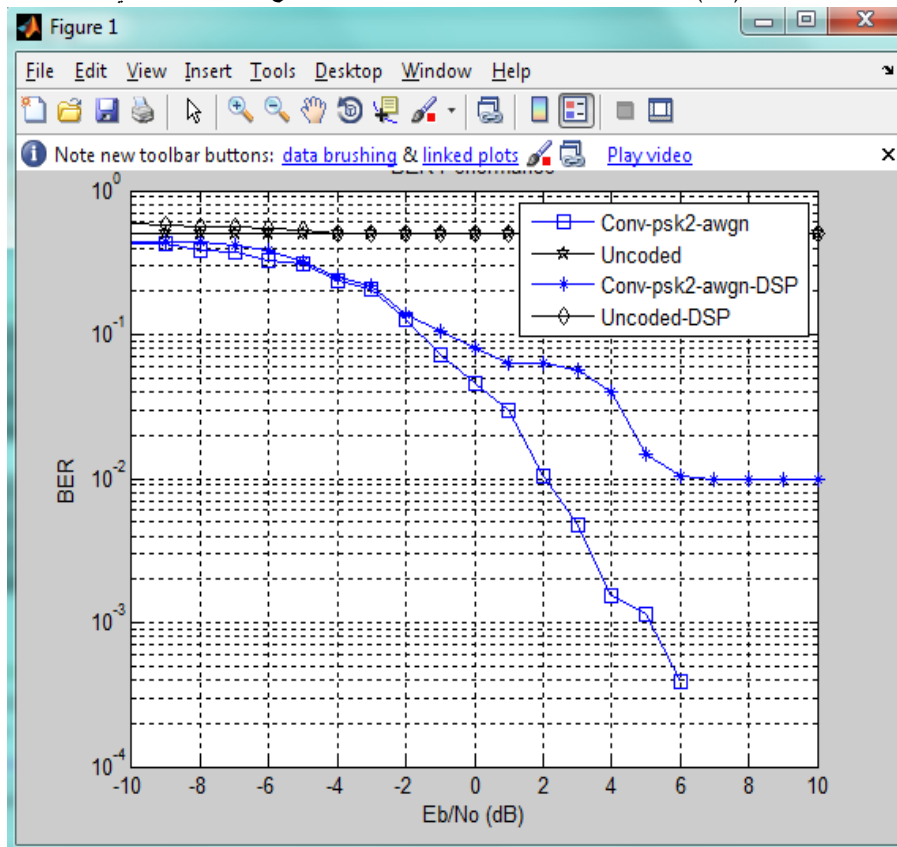
الشكل (10) : حالة تعديل FSK2 وترميز convolution code مع وجود خفوت رايلي



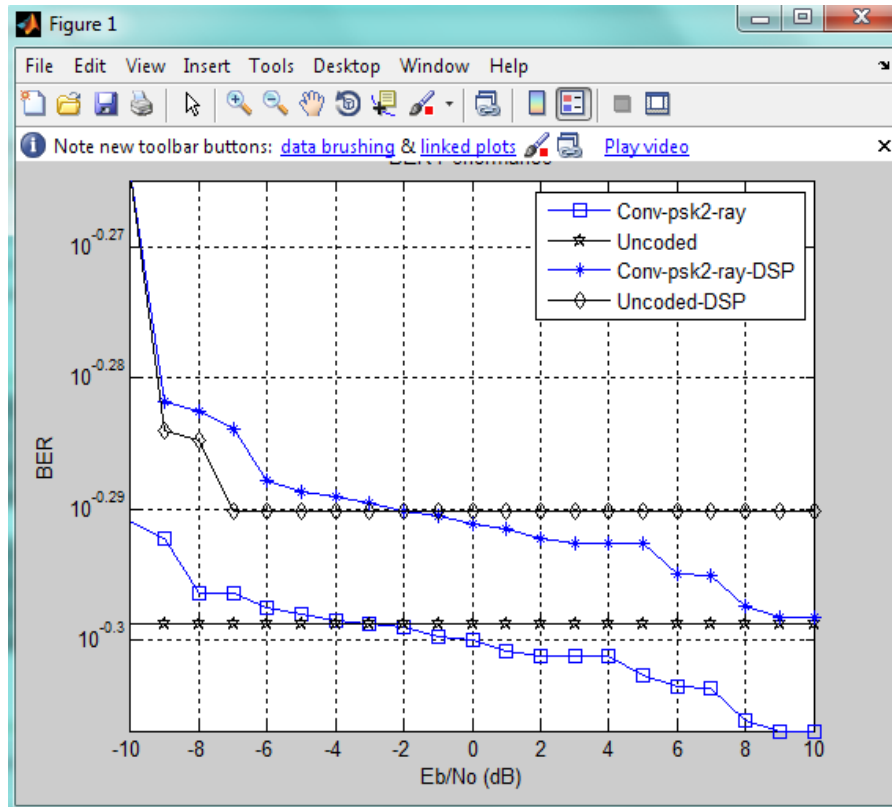
الشكل (11) : حالة تعديل PSK2 وترميز Block code مع عدم وجود خفوت للقناة



الشكل (12) : حالة تعديل PSK2 وترميز Block code مع وجود خفوت رايلي



الشكل (13) : حالة تعديل PSK2 وترميز convolution code مع عدم وجود خفوت للقناة



الشكل (14) : حالة تعديل PSK2 وترميز convolution code مع وجود خفوت رايلي

الاستنتاجات والتوصيات:

نلاحظ من الأشكال السابقة أن منحنيات الخطأ عند استخدام معالج الإشارة الرقمية تكون أعلى منها عند استخدام المحاكاة الحاسوبية وبالتالي قيم العتبات للمحددات المستخدمة في عملية الفصل باستخدام المعالج تكون مغايرة لقيم العتبات المثالية المعتمدة في المحاكاة الحاسوبية وهذا بديهي بسبب الابتعاد عن الحالة النظرية ومحاكاة الحالة العملية لحالة الإشارة المستقبلية عن طريق إدخال إشارة معدلة ومرمزة للمعالج من قبل جهاز توليد الإشارات بينما في حالة المحاكاة الحاسوبية يتم محاكاة الإشارة المعدلة والمرمزة عن طريق تابع توليد عشوائي. فعلى سبيل المثال نلاحظ من الشكل (7) نتائج تعرف ممتازة لمعالج الإشارة الرقمية بحالة تعديل FSK2 وترميز Block code مع عدم وجود خفوت للقناة حيث أنه عند SNR=-2 dB مثلاً تكون قيمة الخطأ بالنسبة لترميز Block code أصغر من قيمة الخطأ بالنسبة للترميز الآخر (Uncoded) والذي هو الترميز الانطوائي، لكن بالمقارنة مع نتائج المحاكاة الحاسوبية عند نفس قيمة SNR نجد أن قيمة الخطأ بالنسبة للترميز الكتلّي تكون أقل بالمقارنة مع قيمتها باستخدام المعالج، كذلك الأمر بالنسبة لبقية الأشكال.

مع ذلك تظهر نتائج التطبيق العملي باستخدام معالج الإشارة الرقمية نتائج تعرف جيدة جداً عند مختلف أنواع التعديل والترميز، بوجود أو عدم وجود خفوت للقناة. مما يمكن اعتماده واستخدامه في مختلف دراسات وبحوث معالجة وكشف الإشارة الرقمية.

إن نتائج هذا العمل تقودنا إلى توقع لقيمة الخطأ وبالتالي اختيار نوع التعديل والترميز المناسبين وفقاً لقناة الاتصال المدروسة، أيضاً يمكن تحسين نسبة الكشف عند نسب منخفضة لنسبة الإشارة إلى الضجيج عن طريق دراسة

العزم المركزي الثالث المنسوب للتردد اللحظي المركزي المنسوب, وتعتبر هذه الدراسة مدخلاً إلى استخدام الشبكات العصبونية للتعرف على الحالات المختلفة دون الحاجة إلى نظام تقليدي لأخذ قرار متكرر.

المراجع :

1. Altera corporation. - DSP Builder Handbook Volume 2 : DSP Builder Standard Blockset" , November 2012, 408p.
2. Charalambous C.D. and Menemenlis N. - A State Space Approach in Modeling Multipath Fading Channels via Stochastic Differential Equations, IEEE International Conference on Communications, Finland, Helsinki, June 2001.
3. Azzouz E. E. and Nandi A. K. - AUTOMATIC MODULATION RECOGNITION OF COMMUNICATION SIGNALS, Kluwer Academic publishers , 1996. 231p.
4. Han Y. S. - Introduction to binary linear block codes , National Taipei university , Taiwan, 97p.
5. Azzouz E. E. and Nandi A. K. - Automatic Modulation Recognition-1, J.Franklin Inst. Vol.334b,No.2, 1997, pp.241-273.
6. Hillenmeyer M. - Applied Statistics, Stanford University, June 2005, 59p.
7. Ziegler J.F. - Automatic Recognition and Classification of Forward Error Correcting Codes, George Mason University , Fairfax, Virginia,2000. 167p.