الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

هندسة الالكترونيات والاتصالات

التعرف الآلي على التعديل والترميز باستخدام معالج الإشارة الرقمية

أطروحة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الاتصالات المتقدمة

إعداد المهندس

كمـــال حميـــــد

إشراف

الدكتور المهندس

ديــب خليفــة

المشرف المشارك

الدكتور المهندس

عادل خضور علي

العام الدراسي:

2012-2013

Syrian Arab Republic

University of Damascus

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Electronics and communications Engineering

Automatic Recognition of Modulation and Coding by Using Digital Signal Processor

Thesis prepared to obtain a master of advanced communication engineering degree

By

Eng. Kamal Hamid

Supervised by

Dr. Eng. Dib Khalifeh **Dr. Eng. Adel Khadour Ali**

Academic Year

2012-2013

أعضاء لجنة الحكم والقرار الناظم بذلك

الأستاذ الدكتور المهندس حسان ريشة **عضواً**

الدكتور المهندس سمير كرمان **عضواً**

الدكتور المهندس ديب خليفة **عضواً مشرفاً**

بموجب قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم /2789/ المتخذ بالجلسة رقم /20/ تاريخ 2013/6/24.

بطاقة شكر

لا يسعني في ختام عملي هذا إلا أن أقف عاجزاً عن إيجاد كلمات تعبر فيها عن شكري وجزيل امتناني وفائق احترامي إلى من أخلص وتفانى في مساعدتي وتقديم العون لي.....

إلى.....

الدُّكتور المهندس ديب خليفة

و الدُّكتور المهندس عادل خضور علي

الذين تكرما بالاشراف على هذا العمل ولم يألوا جهداً ولم يكتموا علماً إلا وزودوني به،فكانوا خير مثال للعطاء والتفاني ....

مع الشكر والتقدير والمحبة....

إلى من كان قدوتي في حياتي ..... إلى من رفعت رأسي عالياً افتخاراً به ...

إلى من كان الدافع والحافز لمتابعة الدرب ومواجهة كل صعب .....

والدي العزيز

إلى التي رآني قلبها قبل عينيها وحضنتني أحشاؤها قبل يديها...

إلى من كان دعاؤها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي ....

حبيبتي أمي

إلى توأم روحي ورفيقة دربي .. إلى صاحبة القلب الطيب...

إلى من شاركتني لحظاتي وعنائي وفرحي .. إلى حاضري ومستقبلي...

زوجتي الغالية لمى

إلى من أدهشتني الأيام بروعة شهامته وحبه للخير ...

إلى من أزال عبء الدنيا بكلماته ومواقفه ودعمه...

عمي آسر فاتح

إلى معنى الحب .... إلى معنى الحنان والتفاني ...

إلى بسمة الحياة وسر الوجود... إلى أمي الثانية ....

سمر فاتح

إلى أخي من غير أبي وأمي... إلى من كان لي الكل في شخص واحد...

إلى من لم يتردد أبداً بالوقوف جانبي ودعمي دائماً وأبداً...

أشكرك على مواقفك النبيلة وقلبك الحنون ويدك الممدودة لمساعدتي ...

أخي وصديقي وسيم فاتح

إلى من كانوا لي مثال الصداقة ...

إلى من رسمت معهم أجمل الذكريات في صفحات هذا الزمان ...

أخوتي

إلى من تحلت بالإخاء وتميزت بالوفاء والعطاء ... إلى ينبوع الصدق الصافي...

إلى من كانت معي على طريق النجاح والخير ...

هدى فاتح

وإلى كل من انتظر هذه اللحظة ...

الفهرس:

فهرس الأشكال.....٣
مقدمة عامة.....٦
الفصل الأول : التعديل والترميز.....٧
١- مقدمة.....٨
٢- أسباب استخدام التعديل.....٩
٣- أنواع التعديل.....٩
٤- التعديل الرقمي.....١٠
٥- أنواع الترميز.....١٨
الفصل الثاني: الأقنية والخفوت.....٢٣
١- مقدمة.....٢٤
٢- أنواع الضجيج.....٢٤
٣- القنوات.....٢٥
٤- النماذج الرياضية للقنوات.....٢٥
٥- الخفوت قصير الأمد والخفوت طويل الأمد.....٣٩
الفصل الثالث: معالجة الإشارة الرقمية ونظرية اتخاذ القرار.....٤٠
١- مقدمة.....٤١
٢- تحويل فوريه.....٤٢
٣- لوحة المعالج.....٤٨
٤- نظرية اتخاذ القرار.....٥٣
الفصل الرابع: خوارزميات التعرف الآلي على التعديل والترميز.....٥٩
١- مقدمة.....٦٠
٢- التعرف على التعديل الرقمي.....٦٠
٣- الخوارزمية المقترحة للتعرف على التعديل باستخدام العزوم.....٧١
٤- تصنيف المرمزات الكاشفة والمصححة للأخطاء.....٧٣

٥- نظرية شانون للأقنية ذات الضجيج.....٧٣
٦- الترميز الزمري.....٧٤
٧- الترميز الدوري.....٩٠
٨- الترميز الانطوائي.....١٠٥
٩- خوارزمية التعرف الآلي على الترميز.....١١٤
الفصل الخامس: خوارزمية العمل المقترحة والنتائج.....١١٥
١- تقييم أداء الخوارزمية المقترحة للتعرف على التعديل.....١١٦
٢- خوارزمية عمل المعالج..... ١١٩
٣- المقارنة بين النتائج الحاسوبية والنتائج العملية.....١١٩
٤- التحسينات والآفاق المستقبلية.....١٢٤
جدول المصطلحات.....١٢٥
المراجع.....١٢٧
الملحق: برنامج المحاكاة الحاسوبية.....١٢٨

فهرس الأشكال:

الشكل (١-١): الإقفال بإزاحة المطال ASK.

الشكل (١-٢) : الإقفال بإزاحة التردد FSK.

الشكل (١-٣): الإقفال بإزاحة الطور PSK.

الشكل (١-٤) : المعدل QPSK.

الشكل (١-٥) : أشكال الرموز والمعادلة الرياضية وزاوية الطور الخاصة بكل رمز.

الشكل (١-٦) : إشارة NRZ.

الشكل (١-٧) : إشارة QPSK.

الشكل (١-٨): إشارة OQPSK.

الشكل (١-٩): مراحل التعديل النبضي المرمز.

الشكل (١-١٠) : الإشارات الناتجة عن بعض أنواع ترميز الخط.

الشكل (٢-١):الضجيج الأبيض والكثافة الطيفية لاستطاعته.

الشكل (٢-٢):القناة ذات الضجيج الجمعي الأبيض.

الشكل (٢-٣): تغيرات مطال الإشارة في المستوي الزمني لأجل تردد دوبلر.

الشكل (٢-٤): أثر دوبلر في المستوي العقدي.

الشكل (٢-٥) : تغيرات $|c(t)|^2$ لأجل $a_1=0.75$ و $a_2=\sqrt{7}/4$.

الشكل (٢-٦) : الكثافة الطيفية للخفوت.

الشكل (٢-٧) : العلاقة بين سرعة المتحرك v والكثافة الطيفية PSD.

الشكل (٢-٨) : تابع كثافة الاحتمال للمطال .

الشكل (٢-٩) : العلاقة بين قيمة معينة للخفوت الذي يمكن أن تسببه القناة واحتمال حدوثه .

الشكل (٣-١): قيم مختلفة لـ W_N^{nk} من أجل قيم مختلفة لأطوال DFT .

الشكل (٣-٢):أثر زيادة عدد العينات في تحويل فوريه المتقطع .

الشكل (٣-٣): أسلوب الفراشة.

الشكل (٣-٤) :خوارزمية FFT من أجل N=4.

الشكل (٣-٥) : خوارزمية FFT من أجل N=8.

الشكل (٣-٦) : المخطط الصندوقي لعمليات حساب FFT(8 points).

الشكل (٣-٧): معالج الإشارة الرقمي (TMS320C6713).
الشكل (٣-٨): مخطط صندوقي لـ C6713 DSK.
الشكل (٣-٩): خريطة الذاكرة Memory Map.
الشكل (٣-١٠):المرمز codec.
الشكل (٤-١): خوارزمية استحصال المحددات المميزة
الشكل (٤-٢): خوارزمية التعرف على التعديل الرقمي
الشكل (٤-٣): علاقة γ_{max} مع SNR
الشكل (٤-٤): علاقة σ_{ap} مع SNR
الشكل (٤-٥): علاقة σ_{dp} مع SNR.
الشكل (٤-٦) : علاقة σ_{aa} مع SNR.
الشكل (٤-٧) : علاقة σ_{af} مع SNR.
الشكل (٤-٨): تحسين خوارزمية التعرف على التعديل الرقمي.
الشكل (٤-٩) : دالة أسية الأخطاء
الشكل (٤-١٠) : التمثيل الهندسي لعملية اختيار كلمات الترميز
الشكل (٤-١١) : عملية إدخال الأخطاء
الشكل (٤-١٢) : تشكيل المصحح في الترميز الزمري
الشكل (٤-١٣) كاشف الترميز الدوري
الشكل (٤-١٤) دارة التقسيم
الشكل (٤-١٥) : دارة التقسيم عند دخل u(x)=i(x)
الشكل (٤-١٦) : الترميز من خلال دارة التقسيم
الشكل (٤-١٧) : كشف الترميز من خلال دارة التقسيم
الشكل (٤-١٨) : دارة كاشف الترميز المطابقة للمرمز
الشكل (٤-١٩) : العمليات التي تتم على بتات الرسالة في الإرسال والاستقبال
الشكل (٤-٢٠) : المرمز الانطوائي
الشكل (٤-٢١) : مرمز انطوائي
الشكل (٤-٢٢): مخطط الحالة للمرمز الانطوائي

الشكل (٤-٢٣): المخطط الشجري للمرمز الانطوائي
الشكل (٤-٢٤): المخطط الشبكي للمرمز الانطوائي
الشكل (٤-٢٥): خوارزمية فيتربي
الشكل (٤-٢٦): خوارزمية التعرف الآلي على الترميز
الشكل (٥-١) : حالة تعديل FSK2 وترميز Block code مع عدم وجود خفوت للقناة.
الشكل (٥-٢) : حالة تعديل FSK2 وترميز Block code مع وجود خفوت رايلي .
الشكل (٥-٣) : حالة تعديل FSK2 وترميز convolution code مع عدم وجود خفوت للقناة .
الشكل (٥-٤) : حالة تعديل FSK2 وترميز convolution code مع وجود خفوت رايلي .
الشكل (٥-٥) : حالة تعديل PSK2 وترميز Block code مع عدم وجود خفوت للقناة.
الشكل (٥-٦) : حالة تعديل PSK2 وترميز Block code مع وجود خفوت رايلي.
الشكل (٥-٧) : حالة تعديل PSK2 وترميز convolution code مع عدم وجود خفوت للقناة .
الشكل (٥-٨) : حالة تعديل PSK2 وترميز convolution code مع وجود خفوت رايلي .

مقدمة عامة:

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 DSP 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 .

ويستخدم 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.

الهدف من البحث :

الاستفادة من ميزات وخصائص معالج الإشارة الرقمية في عملية كشف تعديل وترميز الإشارة بنسب عالية جداً بوجود أو عدم وجود خفوت للقناة وبدون 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.

التعديل والترميز

١-١ مقدمة:

لقد تم استخدام التعديل في أنظمة الاتصالات لتحقيق عدة أهداف أهمها تحميل موجة المعلومات ذات التردد المنخفض على موجة حاملة ذات تردد أعلى وذلك من أجل تحقيق القدرة على إرسالها واستقبالها بالدرجة الأولى حيث يرتبط طول هوائي الإرسال أو الاستقبال بطول الموجة المرسلة بعلاقة محددة لذلك يجب أن يكون طول الموجة ضمن حدود معينة لنتمكن من تصنيع هوائيات قادرة على إرسالها ولذلك تم استخدام التعديل.

تسعى جميع نظم الاتصالات إلى:

- تحقيق كفاءة عرض المجال الترددي.
- كون استطاعة الإرسال أقل ما يمكن.

وحسب التصميم المختار للنظام تزداد إحداهما وتنخفض الأخرى ويتم العمل على إيجاد تصميم يحقق التوازن بينهما قدر الإمكان.

يعد التعديل من العمليات الأساسية في أي نظام اتصال. وتتعلق عملية التعديل عموماً بإشارتين هما:

- إشارة التعديل أو الإشارة المعدِّلة Modulating Signal، وهي تمثل إشارة منبع المعلومات أو إشارة الرسالة Message كالإشارة الصوتية أو السمعية Audio Signal في الإرسال الإذاعي العادي.
- الموجة الحاملة Carrier Wave التي تكون عبارة عن إشارة جيبية في حالة الإرسال اللاسلكي وكثير من نظم الاتصالات السلكية أيضاً، ويمكن أن تكون أيضاً عبارة عن قطار من النبضات في الاتصالات النبضية والرقمية.

تقوم دارة التعديل بضرب الإشارتين السابقتين ببعضهما بحيث يؤدي ذلك إلى تغيير إحدى القيم المميزة للموجة الحاملة (مطال، طور، أو تردد) تبعاً لتغيرات إشارة التعديل. ونحصل نتيجة ذلك على موجة معدَّلة Modulated Wave تحمل المعلومات المحتواة في إشارة التعديل. ويفترض عادة أن عملية التعديل عكوسة بمعنى أن إشارة التعديل الأصلية يمكن أن تستعاد في جهة الاستقبال وبعملية معاكسة تسمى كشف التعديل Demodulation أو باختصار الكشف Detection.

١-٢ أسباب استخدام التعديل في نظم الاتصالات:

أولاً: يعتمد مردود إشعاع الموجات الكهرطيسية في حالة الإرسال اللاسلكي على نسبة طول هوائي الإرسال *l* إلى طول الموجة المرسلة λ. ولكي يكون الإشعاع فعالاً يجب أن يكون *l=λ/4*. فإذا أردنا إرسال الإشارة السمعية مثلاً مباشرة بواسطة إشعاعها على شكل موجة كهرطيسية، فإن طول هوائي الإرسال يجب أن يختار وفق الشرط المذكور، على أن نحدد λ للترددات السمعية ضمن المجال بين 20Hz-20kHz، وهي تكون بين 15km- 15000km. ولو أردنا تحقيق الشرط *l=λ/4* من أجل أعلى تردد سمعي نجد أن الطول المطلوب للهوائي نحو 4km، ومن غير المعقول تحقيقه عملياً. وبالمقابل إذا أرسلنا الإشارة السمعية بعد تحميلها على حامل جيبي ذي تردد 100MHz مثلاً (وهذا التردد من ضمن ترددات FM)، تكون λ=3m وبالتالي يمكن استخدام هوائي قصير بطول *l=λ/4=*75cm.

ثانيا: نحتاج إلى التعديل من أجل إرسال عدة إشارات في آن واحد لاسلكياً أو سلكياً بخط نقل واحد دون حدوث تداخلات بينها. ويتضح ذلك مثلاً عند الحاجة لإرسال عدة إشارات سمعية لها المجال الترددي نفسه، حيث يمكن إرسال تلك الإشارات باستخدامها لتعديل موجات حاملة ذات ترددات عالية يختلف كل منها عن الآخر بمقدار كاف، ويمكن استقبال أي منها دون أن تتداخل معها الإشارات الأخرى وهذا ما يسمى خاصية التقسيم الترددي. ومن أجل ذلك تستخدم دارة انتخاب (عدة دارات رنين) تنتخب فقط الموجة المعدلة المطلوبة، كما هو الحال عندما نقوم بتوليف جهاز راديو على إحدى المحطات الإذاعية. وبالتالي يمكن إرسال عدة إشارات هاتفية بخط نقل واحد، بعد تحميلها على موجات حاملة ذات ترددات مختلفة حيث يمكن فرزها بدارات انتخاب (دارات رنين أو مرشحات تمرير مجال) في طرف الاستقبال.

١-٣ أنواع التعديل:

يصنف التعديل إلى أربعة أنواع أساسية وفق نوع وشكل الموجة الحاملة:

أ- تعديل الموجة المستمرة Continuous Wave Modulation:

وفيه تكون الموجة الحاملة عبارة عن موجة جيبية راديوية ويشمل:

- التعديل المطالي Amplitude Modulation (AM).
- التعديل الترددي Frequency Modulation (FM).

- التعديل الطوري (PM) Phase Modulation.

ب- التعديل النبضي التماثلي Analog Pulse Modulation:

وفيه تكون الموجة الحاملة عبارة عن قطار من النبضات ويشمل:

- تعديل مطال النبضة (PAM) Pulse Amplitude Modulation.
- تعديل عرض النبضة (PDM) Pulse Duration Modulation.
- تعديل موضع النبضة (PPM) Pulse Position Modulation.

ج- التعديل النبضي الرقمي Digital Pulse Modulation:

ويشمل أساساً الطرق التالية:

- التعديل النبضي الترميزي (PCM) Pulse Code Modulation.
- تعديل دلتا (DM) Delta Modulation.
- التعديل النبضي الترميزي التفاضلي Differential Pulse Code Modulation (DPCM)

د- التعديل الرقمي للموجات الحاملة Digital Carrier Modulation:

تكون فيه إشارة الرسالة عبارة عن إشارة رقمية (واحدات وأصفار) تقوم بتعديل موجة حاملة راديوية مستمرة وتسمى هذه العملية الإقفال Keying وتشمل:

- الإقفال بإزاحة المطال (ASK) Amplitude Shift Keying.
- الإقفال بإزاحة التردد (FSK) Frequency Shift Keying.
- الإقفال بإزاحة الطور (PSK) Phase Shift Keying.

١-٤ التعديل الرقمي Digital Modulation:

يعرف التعديل الرقمي بأنه الإجرائية 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 معدلة بإشارة جيبية تسمى موجة حاملة راديوية مستمرة وتسمى هذه العملية الإقفال وأهم أنواعها ASK, FSK, PSK.

ولقد تم استخدام التعديل الرقمي عوضاً عن التعديل التماثلي للأسباب التالية:

- الجودة والكفاءة العالية لنوعية المعلومات في المستقبل الرقمي
- تمتاز أجهزة الاتصال الرقمية بفعالية واستقرارية ووثوقية بالعمل أفضل من أجهزة الاتصال التماثلية
- يكون تأثير التشويش Noise على الأنظمة الرقمية أقل منه في الأنظمة التماثلية لإمكانية تصحيح الأخطاء
- إمكانية دمج عدد من الإشارات على نفس قناة البث في الأنظمة الرقمية باستخدام تقنيات الإرسال الرقمي النتعدد
- تعتمد الأنظمة الرقمية على تشفير البيانات مما يعطيها ميزة عالية بالأمن والحماية
- تعد الأنظمة الرقيمة أكثر اقتصادية من الأنظمة التماثلية
- تستخدم الأنظمة الرقمية التقنيات المحوسبة في معالجة الإشارات الرقمية (تخزين ، تشفير ، تحكم .....)

ويقسم الكشف في التعديل الرقمي إلى نوعين أساسيين:

١. الكشف المتماسك Coherent Detection: وفيه يكون المستقبل بحاجة لمعرفة طور الحامل.

٢. الكشف غير المتماسك Non-Coherent Detection: وفيه لا يكون المستقبل على علم بهذا الطور بل يقوم بتقدير قيمته.

١-٤-١ الإقفال بإزاحة المطال ASK:

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_i(t)}{T}} \cos(\omega_0 t + \phi) \qquad \begin{matrix} 0 \le t \le T \\ i = 1,...,M \end{matrix} \qquad (1-1)$$

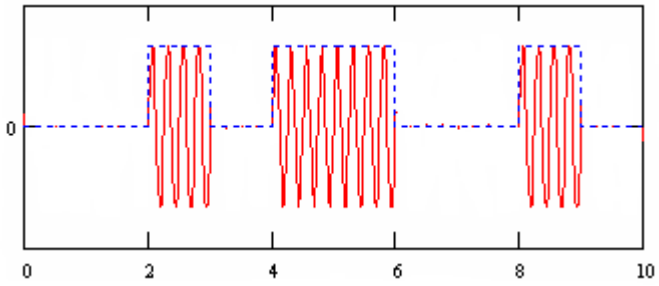
وفيه يتغير مطال إشارة الحامل تبعاً لإشارة للمعلومات ويكون للمطال M قيمة، بينما يكون طور الإشارة ثابتاً وكذلك ترددها.يعبر البارامتر E عن طاقة الرمز و T زمن بقاء الرمز $0 \le t \le T$.

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

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 المعطيات الواردة إلينا على شكل إشارة جيبية كما في العلاقة (1-1) ترددها يساوي f_0 ومطالها يأخذ 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 التالي تعديل الإقفال بإزاحة المطال لتتابع من البتات (0010110010).



الشكل (١-١): الإقفال بإزاحة المطال ASK.

١-٤-٢ الإقفال بإزاحة التردد FSK:

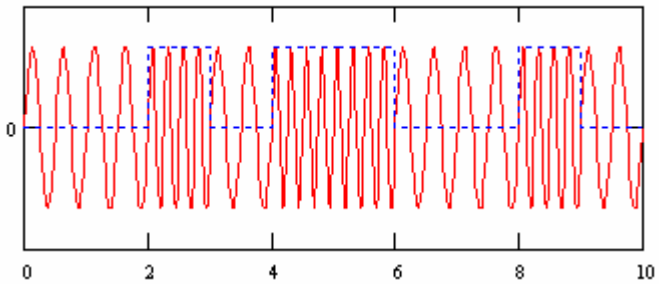
$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}}\cos(\omega_i t + \phi) \qquad \begin{matrix} 0 \le t \le T \\ i = 1,...,M \end{matrix} \qquad (1-2)$$

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

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

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

ويبين الشكل التالي تعديل الإقفال بإزاحة التردد لتتابع من البتات (0010110010) حيث تم اعتبار $f_1 > f_2$.



الشكل (١-٢) : الإقفال بإزاحة التردد FSK.

١-٤-٣ الإقفال بإزاحة الطور PSK:

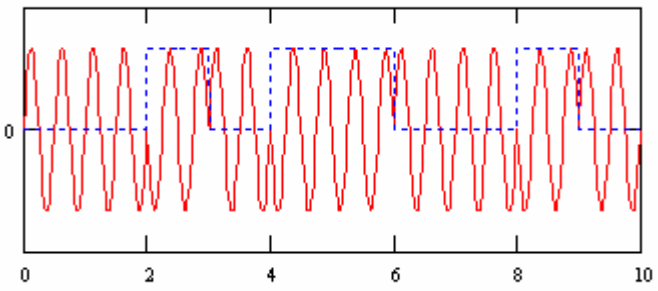
$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos[\omega_0 t + \phi_i(t)] \qquad \begin{matrix} 0 \le t \le T \\ i = 1,...,M \end{matrix} \qquad (1-3)$$

$$\phi_i(t) = \frac{2\pi\, i}{M} \qquad i = 1,..., M \qquad (1-4)$$

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:

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

يبين الشكل التالي تعديل الإقفال بإزاحة الطور لتتابع البتات (0010110010).



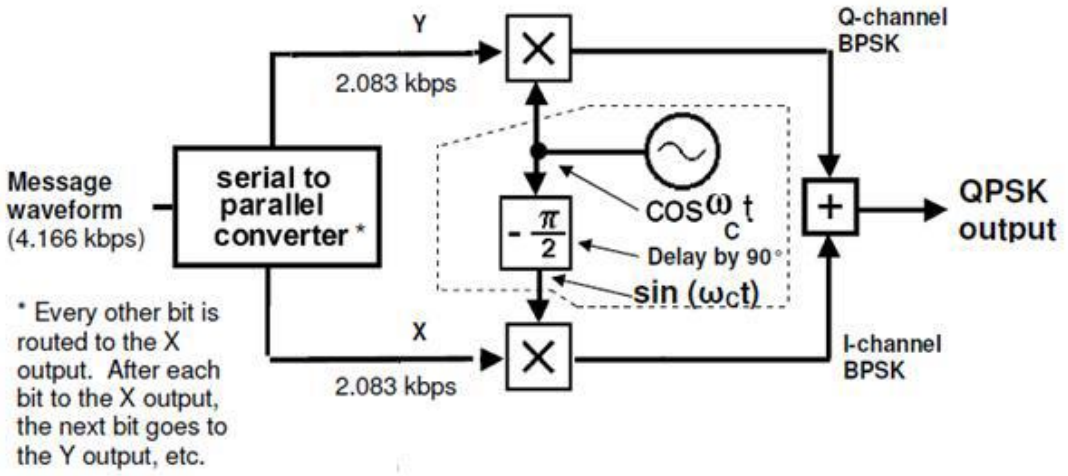
الشكل (١-٣): الإقفال بإزاحة الطور PSK.

١-٤-٤ الإقفال بإزاحة الطور التربيعي QPSK:

وهنا يتم استخدام أربعة إشارات مزاحة عن بعضها 90° حيث تكون $M = 4$ في العلاقة(1-4) وتكون الإشارة الناتجة ذات قيم ممكنة للطور هي (π/2 , π , 3 π/2 , 2π) ، ويكون كل رمز مؤلف من بيتين وبالتالي يكون معدل الرمز مساوٍ لنصف معدل البتات.

وقد يكون في بعض أنظمة الـ QPSK قد تم إزاحة الطور الابتدائي بمقدار ° 45 وتكون زوايا الطور المستخدمة هي (° 45 ,° 135 , ° 255 , ° 315) كماهو الحال في معادلة PSK(t) .

ويعطى المخطط الصندوقي لنظام التعديل QPSK بالشكل (١-٤) الذي يبين آلية عمل هذا المعدل



الشكل (١-٤) : المعدل QPSK.

سوف تدخل الإشارة الرقمية ذات معدل الإرسال 4.166 kbps مثلاً إلى محول من تسلسلي إلى تفرعي حيث يقوم بإعطاء بت إلى الفرع x والبت التالي يتم إعطائه إلى الفرع y وهكذا بالتناوب إلى أن تنتهي الإشارة الرقمية (إشارة الدخل) وبالتالي أصبح لدينا في كل من x و y رسالة رقمية لها نصف معدل الإرسال للرسالة الأصلية ، حيث يتم في x ضرب الإشارة الرقمية الجزئية الواردة بإشارة الحامل التي تكون عبارة عن إشارة (w_c t) cos ذات تردد عالي أي مايحصل لدينا في الفرع x هو عبارة عن تعديل BPSK أصبح موجوداً في القناة Q، أما في الفرع y فيتم ضرب إشارة الرسالة الرقمية الجزئية بإشارة sin(w_c t) التي تكون مولدة من نفس مولد إشارة الـ cos ولكن تم تأخير هذه الإشارة بمقدار 90 درجة للحصول عليها ، وبالتالي نحصل على تعديل BPSK في القناة I ، ثم يتم في النهاية جمع إشارتي القناتين I و Q فنحصل على إشارة تعديل QPSK للإشارة الرقمية المدخلة .

وتعطى الإشارة المعدلة بالعلاقة:

$$s(t)=\frac{1}{\sqrt{2}}d_I(t)\cos(2\pi ft+\frac{\pi}{4})+\frac{1}{\sqrt{2}}d_Q(t)\sin(2\pi ft+\frac{\pi}{4}) \qquad (1-5)$$

$$s(t)=A\cos(2\pi ft+\frac{\pi}{4}+\theta(t)) \qquad (1-6)$$

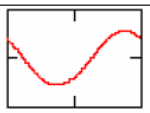
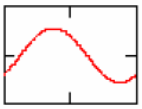
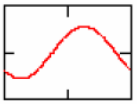
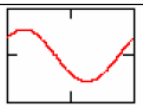
حيث

$$A=\sqrt{(1/2)(d_I^2+d_Q^2)}=1 \qquad (1-7)$$

$$\theta(t)=-\arctan\frac{d_Q(t)}{d_I(t)} \qquad (1-8)$$

$$\theta(t)=(0,\pi/2,-\pi/2,\pi)$$

وإذا اعتبرنا أن كل بتين موجودين على الخرج يشكلان رمز فإن الجدول التالي يبين أشكل الرموز والمعادلة الرياضية وزاوية الطور الخاصة بكل رمز:

Symbol	Bits	Expression	Phase, (Deg.)	Carrier Signal	I	Q
S1	**00**	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(\omega t+\pi/4)$	**45**		$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
S2	**01**	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\sin(\omega t+3\pi/4)$	**135**		$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
S3	**11**	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\cos(\omega t+3\pi/4)$	**225**		$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$
S4	**10**	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}}\sin(\omega t+\pi/4)$	**310**		$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$

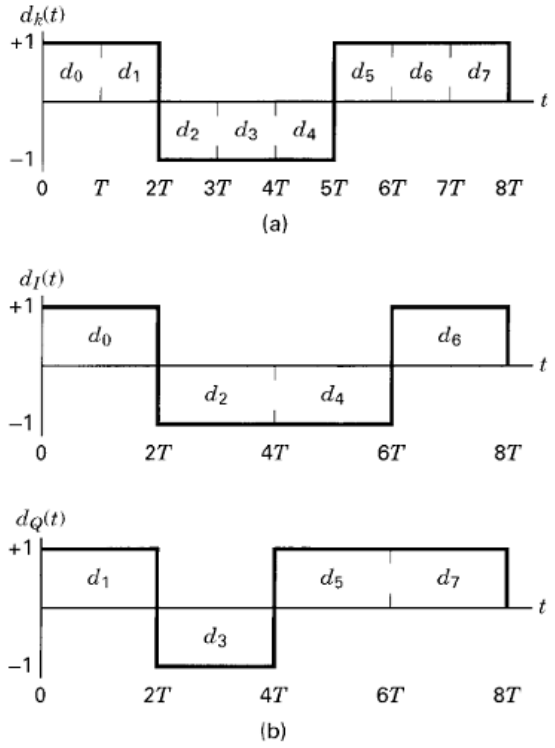
الشكل (١-٥) : أشكال الرموز والمعادلة الرياضية وزاوية الطور الخاصة بكل رمز

ملاحظة:

سوف نتعامل مع إشارة NRZ قطبية بدلاً من إشارة NRZ وحيدة القطبية للأسباب التالية:

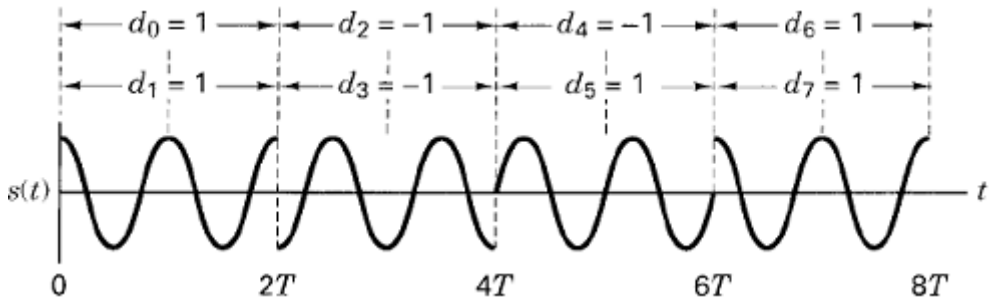
- التخلص من إشارة DC والتي قد تؤذي الأجهزة في قسم الاستقبال.
- إشارة NRZ القطبية تساعد في تحقيق التزامن في حال الكشف غير المتماسك.
- عند احتواء إشارة NRZ وحيدة القطبية على سلسلة متتالية من الأصفار لن يتمكن المستقبل من التمييز بين توقف الإرسال و التتابع الصفري للمعطيات بالتالي سنضطر لإرسال 1 كل 5 أصفار مثلاً.

يبين الشكل (١-٦) إشارة NRZ ذات التتابع 1,1,-1,-1,1,1,1,1 حيث تكون الإشارة *I* هي 1,1-1,-1 والإشارة *Q* هي 1,1,-1,1 كما أن زمن البت في كل منهما يكون مساوٍ ضعف زمن البت لإشارة دخل المعدل.



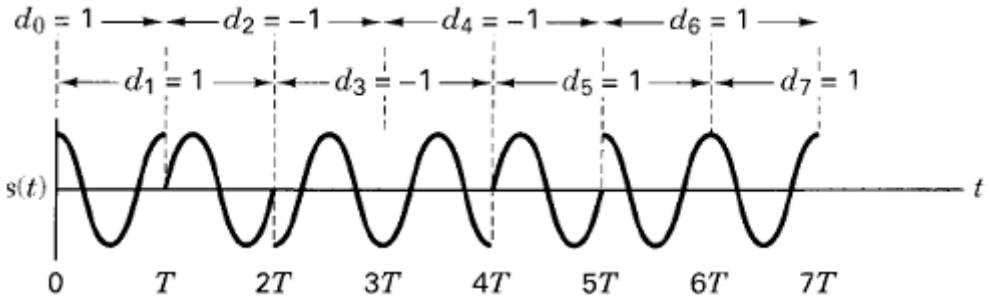
الشكل (١-٦) : إشارة NRZ.

إن طور إشارة الحامل يتغير كل $2T$، حيث أنه عند الانتقال من $2T$ لأخرى إذا لم تتغير إشارة أي من *I* أو *Q* لا يتغير طور الحامل وإذا تغيرت إشارة إحداهما يتغير طور الحامل بمقدار °90 أما إذا تغيرت كلا الإشارتين فيتغير الطور بمقدار °180.



الشكل (١-٧) : إشارة QPSK.

إن التغيرات الفجائية السابقة في طور إشارة الحامل تؤدي لتوليد ترددات كبيرة، كما أن الإزاحة بمقدار $180°$ تسبب عند المرور ضمن مرشحات الإرسال والاستقبال تغيرات في مطال الإشارة المكشوفة مما يعطي أخطاء تراكمية، لذلك تم اقتراح إزاحة الإشارة Q بالنسبة للإشارة I بمقدار بت واحد أي بالمقدار T مما أدى إلى إلغاء الانتقال بمقدار $180°$ وبالتالي التخفيف من المشكلة السابقة وبهذا تم الانتقال إلى التعديل OQPSK المبين في الشكل (١-٨)، علماً أن تلك الإزاحة لا تؤثر على أي من عرض المجال أو معدل خطأ البت BER.



الشكل (١-٨): إشارة OQPSK.

١-٥ أنواع الترميز:

تطلق كلمة الترميز coding في العلوم الهندسية على مختلف القواعد التي تسمح باستبدال جزء من المعلومات مثل حرف أو كلمة أو جملة بحرف أو كلمة أو جملة مكافئة. ويجري ذلك في مواقع مختلفة من نظام الاتصالات الرقمي ولأغراض مختلفة.

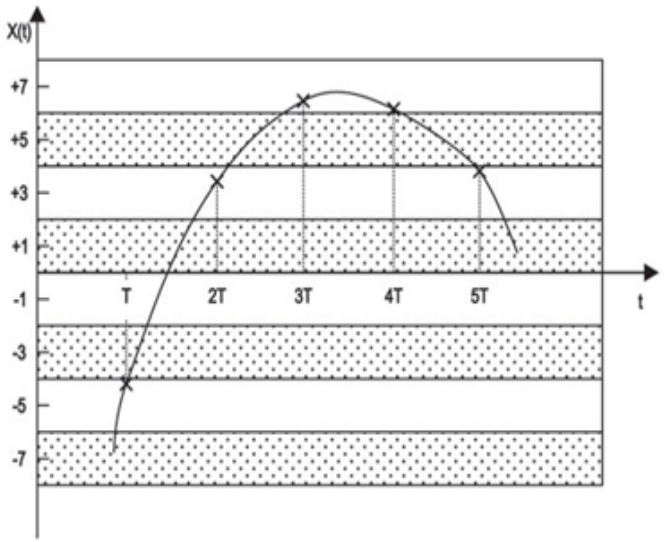
١-٥-١ ترميز المنبع Source Coding:

يمكن أن تكون الإشارة في خرج المنبع تماثلية أو رقمية وتتطلب أنظمة الاتصالات تحويل هذه الإشارة إلى سلسلة من البتات حيث يشترط في هذا التحويل حتى يكون جيداً أن يكون التشويه قليل وأن تكون السلسلة الناتجة أقصر ما يمكن. يهدف ترميز المنبع إلى ضغط معطيات المنبع وحذف الفائض لتقليل متوسط عدد البتات اللازمة لتمثيل خرج المنبع حيث يفضل إرسال البيانات التي تحوي معلومات فقط أما البيانات التي لا تحوي معلومات فتسمى بيانات فائضة.

أنواع ترميز المنبع:

- مرمز التعديل النبضي المرمز Pulse Code Modulation(PCM): وهو النظام الأساسي لتحويل الإشارة التمثيلية إلى رقمية، ويتضمن ثلاث مراحل : الإعتيان، التكميم، الترميز.
- مرمز التعديل النبضي المرمز التفاضلي المتكيف ADPCM: ويختلف عن سابقه بأنه يقوم بتكمية الفرق بين عينتين عوضاً عن تكمية العينة نفسها وفيه تكون خطوة التكمية متغيرة. مما يؤدي لخفض معدل الإرسال أي ضغط الإشارة.
- مرمز تعديل دلتا Delta Modulation : يعتمد على فكرة المرمز DPCM لكن يتعامل مع إشارة الدخل بت بت بدلاً من التعامل معها كإطار من العينات.
- مرمز تعديل دلتا المتكيف ADM : ويختلف عن سابقه بأن خطوة التكمية متغيرة تبعاً لنوع إشارة الدخل وذلك لتخفيض أخطاء التكمية التي تظهر بالنوع الأول(ضجيج ميل التحميل الزائد Overload Noise والضجيج الحبيبي Granular Noise).
- ويبين الشكل التالي مراحل التعديل النبضي المرمز PCM، حيث يعطي المنبع التماثلي (كالمنبع الصوتي) رسالة على شكل موجة مستمرة زمنياً تمثل رياضياً كتابع عشوائي. إذا كان التابع العشوائي ذا عرض مجال ترددي محدود فإنه ووفق نظرية أخذ العينات يتم تمثيل الرسالة بسلسلة من عينات مأخوذة بانتظام بمعدل يساوي ضعف عرض المجال الترددي الذي يشغله طيف التابع وهو يعرف بمعدل نايكويست. بتطبيق نظرية أخذ العينات يحول خرج المنبع التماثلي إلى سلسلة مكافئة من العينات المتقطعة زمنياً. بعد ذلك تُكمَّى مطالات العينات أي أنها تستبدل بعدد منتهٍ من القيم المتمايزة، فيصبح الخرج مكافئاً لخرج منبع متقطع

(أصفار وواحدات). إن عدد البتات المستخدمة بالترميز يتحدد بعدد مستويات التكمية المرغوب، حيث أن عدد n من البتات يسمح بالتعامل مع 2^n مستوى تكمية.



لحظات التقطيع	t=T	t=2T	t=3T	t=4T	t=5T
العينات	-4.2	3.4	6.3	6.1	3.7
العينات المكممة	-5	-3	+7	+7	+3
البيتات المرسلة	1101	0011	0111	0111	0011

الشكل (١-٩) مراحل التعديل النبضي المرمز.

- **الترميز التفاضلي Differential coding :**

ترميز غير خطي ، مناسب للقنوات التي تسبب تشوه في طور الإشارة المرسلة. وتتم قبل عملية التعديل.

عملية الترميز تتم وفق المعادلة:

$$d_k = a_k \oplus d_{k-1} \qquad (1-9)$$

حيث يقوم هذا المرمز بترميز الفرق بين الدخل الحالي والخرج السابق.

أهم تطبيقاته إزالة انعكاس القطبية، وجعل توزع بتات الخرج منتظم.

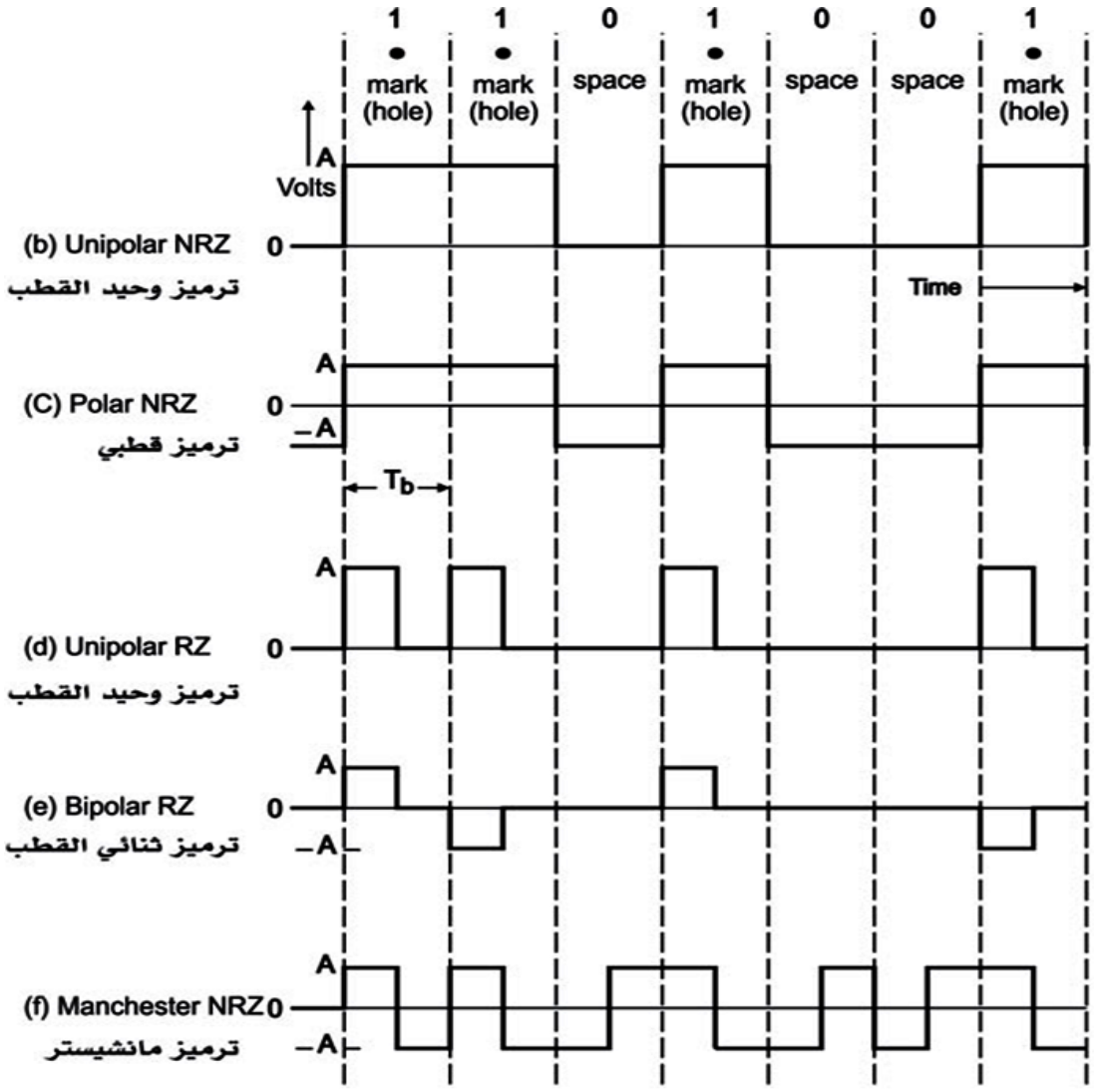
١-٥-٢ ترميز الخط Line Coding:

هو عملية تحويل المعطيات الثنائية (واحدات وأصفار) إلى إشارة رقمية ويهدف إلى ملائمة الإشارة مع قناة الإرسال في مجال الترددات المنخفضة وبحيث تكون الإشارة ضمن مايسمى المجال الأساسي لذلك يسمى هذا الترميز بترميز الخط الذي يُستخدم في المجال الأساسي.

يستخدم ترميز الخط بصورة أساسية للنقل عبر الشبكات الهاتفية وهو يساعد في التزامن وضغط الطيف وتشكيل الطيف المناسب للقناة. وبالتالي فإن الهدف من ترميز الخط هو:

- التـزامن: حيـث يضـيف بتـات تحـوي معلومـات عـن التـزامن وهـذه البتـات قـد تكـون بتـات المعلومات نفسها.
- استخدام الطيف المتاح بشكل جيد: إن قناة الإرسال تكون ذات عرض طيف محدد ومن خلال ترميز الخط نقوم بالملائمة بين معدل البت Bit Rate وعرض المجال المتاح فإذا كان معدل البت أصغر من عرض الطيف المتاح يقوم بزيادته عن طريق إضافة بتات قد تكون مفيدة والعكس.
- الممانعة ضد الضجيج.
- الممانعة لانعكاس القطبية.

يبين الشكل التالي أهم تراميز الخط:



الشكل (١-١٠) : الإشارات الناتجة عن بعض أنواع ترميز الخط.

أ- الترميز NRZ وحيد القطبية (Unipolar NRZ): يقابَل البت 1 بنبضة مطالها A+ ويقابَل البت 0 بنبضة مطالها يساوي الصفر.

ب- الترميز NRZ القطبي (polar NRZ): يقابَل البت 1 بنبضة مطالها A/2+ ويقابل البت 0 بنبضة مطالها يساوي A/2-.

ت- الترميز RZ أحادي القطبية (Unipolar RZ): يقابَل البت 0 بنبضة مطالها يساوي الصفر بينما يقابَل البت 1 بنبضة مطالها A+ لكن تعود الإشارة إلى مستوى 0V قبل نهاية فترة البت وعادة يتم اختيار عرض النبضة الممثلة لـ 1 بحيث يكون مساوٍ لنصف فترة البت فقط.

ث- الترميز RZ ثنائي القطبية (Bipolar RZ): وهنا تتناوب النبضة المقابلة للبت 1 بين قيمتين بحيث تأخذ القيمة A/2+ مرة والقيمة A/2- في المرة التي تليها وهكذا، بينما يقابَل البت 0 بنبضة مطالها يساوي الصفر دوماً.

ج- ترميز مانشيستر Manchester NRZ: يُقابَل البت 1 بنبضة موجبة تليها نبضة سالبة وزمن كل منها يساوي نصف زمن البت، أما البت 0 فتُقابله نبضة سالبة تليها نبضة موجبة وبالأزمنة نفسها.

١-٥-٣ ترميز القناة Channel Coding:

في نظم الإتصالات 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.

ونلاحظ أن احتمال الخطأ يكون ثابت تقريباً في النظام المدروس ولإنقاص احتمال الخطأ أي زيادة وثوقية المعطيات وبالتالي تحسين أداء الوصلة الراديوية يتم استخدام ترميز القناة والذي يعتمد مفهوم الفائض حيث يتم إضافة بتات إلى المعلومات المرسلة، ليستفيد منها المرسل في عملية كشف وتصحيح الأخطاء.

من أهم أنواع ترميزات القناة:

- الترميز الكتلي Block Coding.
- الترميز الإنطوائي Convolutional Coding.

١-٥-٣-١ الترميز الكتلي:

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 $n = k + m$ ، تفيدهذه البتات الإضافية Redundancy بتخفيف أثر الضجيج والتشويش والتداخل.

- **الترميز الدوري Cyclic Codes:**

وهي من أهم أنواع التراميز الكتلية الخطية والذي يتميز بسهولة تحقيقه باستخدام منطق تتابعي Sequential Logic وسجلات إزاحة shift Registers.

١-٥-٣-٢ الترميز الانطوائي:

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

الأقنية والخفوت

٢-١ مقدمة:

يطلق مصطلح الضجيج على جميع الإشارات غير المرغوب بها التي تتراكب مع الإشارات المرسلة في طرف الاستقبال. تتعدد منابع الضجيج في نظم الاتصالات فقد تكون خارجية مثل الضجيج الناتج عن طبقات الجو، أو الضجيج المفتعل من قبل الإنسان، وقد تكون داخلية كالعناصر المكونة للنظام.

٢-٢ أنواع الضجيج :

سنتحدث عن أهم أنواع الضجيج الداخلية الناتجة عن الدارات الكهربائية والالكترونية المكونة لنظام الاتصال.

٢-٢-١ ضجيج الإطلاق Shot Noise :

يظهر هذا الضجيج في الأجهزة الالكترونية والكهربائية كالديودات والترانزستورات بسبب التيار المتقطع المار عبر هذه العناصر.

ويعبر عنه بالعلاقة التالية بالنسبة لديود ضوئي:

$$X(t)=\sum_{-\infty}^{\infty} b(t-\tau_k) \qquad (2-1)$$

حيث b النبضة المولدة عند اللحظة τ_k . ليكن متوسط عدد الالكترونات v خلال زمن t_0 عندئذ:

$$E[v]=\lambda t_0$$

عندئذ عدد الالكترونات المتدفقة يتبع التوزع البواسوني :

$$P(v=k)=\frac{(\lambda t_0)^k}{k!}e^{-\lambda t_0} \qquad k=0,1,2..... \qquad (2-2)$$

وعندما تكون النبضات b متساوية المطال A والزمن T فإن قيمة متوسط ضجيج الإطلاق في هذه الحالة يساوي : λAT .

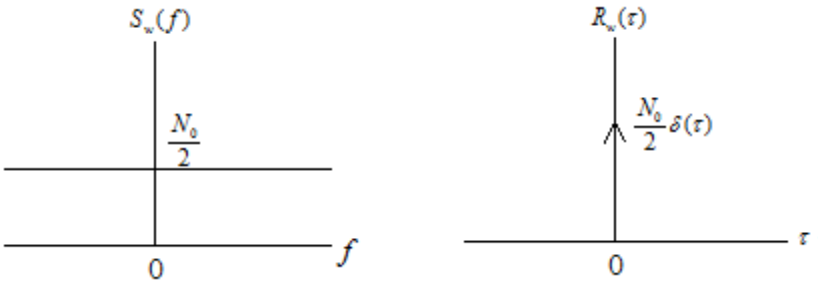
٢-٢-٢ الضجيج الحراري Thermal Noise:

يحدث هذا الضجيج نتيجة الحركة العشوائية للالكترونات داخل العناصر، وقيمة متوسط مربع هذا الضجيج يساوي: $E\left[V_{TN}^2\right]=4kTR\Delta f \quad volts^2$ حيث k ثابت بولتزمان 1.38×10^{-23} J/K و T درجة الحرارة، R قيمة المقاومة. بالتالي يضاف للدارة منبع جهد بالقيمة السابقة مع مقاومة R يمثلان الضجيج الحراري.

٢-٢-٣ الضجيج الأبيض White Noise:

الضجيج الأبيض هو الأشهر في نظم الاتصالات وهو مستقل عن التردد الذي يعمل عليه النظام، فيعطي نفس القيمة عند كل الترددات، وسمي بالأبيض لأن اللون الأبيض يعطي قيمة واحدة لكل الترددات في المجال المرئي.

الكثافة الطيفية لاستطاعة الضجيج تساوي $S_w(f)=\frac{N_0}{2}$ و $N_0=kT_e$ حيث k ثابت بولتزمان و Te درجة حرارة المستقبل المكافئة للنظام وتابع الترابط الذاتي له يساوي $R_w(\tau)=\frac{N_0}{2}\delta(\tau)$. أي أن عينات الضجيج الأبيض مستقلة.



الشكل (٢-١):الضجيج الأبيض والكثافة الطيفية لاستطاعته

٢-٣ القنوات :

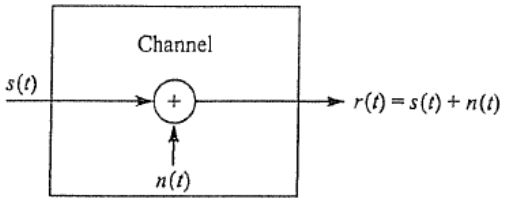
قناة الاتصال هي صلة الوصل بين المرسل والمستقبل ويتم نقل المعلومات عبرها، قد تكون من الناحية الفيزيائية وصلة سلكية، ضوئية أو لاسلكية.

وتتعرض الإشارة خلال مرورها في القناة إلى نوعين من الضجيج : الأبيض نتيجة العناصر الموجودة والمحيط الخارجي، والخفوت نتيجة وجود تداخل مع إشارات خارجية مما يؤدي إلى انخفاض مستوى الإشارة المرسلة وبالتالي يقود ذلك لحدوث أخطاء في الاستقبال.

٢-٤ النماذج الرياضية للقنوات:

٢-٤-١ القناة ذات الضجيج الجمعي الأبيض Additive White Gaussian Noise (AWGN):

وهي من أبسط أنواع قنوات الاتصال حيث لها مدخل وحيد ومخرج وحيد كما هو موضح بالشكل التالي:



الشكل (٢-٢):القناة ذات الضجيج الجمعي الأبيض

حيث: s(t) هي الاشارة المرسلة.

r(t) الاشارة المستقبلة.

n(t) ضجيج أبيض.

من الناحية الفيزيائية فإن الضجيج الأبيض ينتج عن مكونات نظام الاستقبال أو من وجود تداخل خارجي، وهو موجود دائماً في كل أنواع قنوات الاتصال، حيث يمكننا النظر إلى وجود مصادر ضجيج كثيرة على أنها مصدر ضجيج أبيض واحد وذلك وفقاً لمبرهنة النهاية المركزية في نظرية الإحصاء.

في هذا النوع من القنوات إن تابع الكثافة الاحتمالية للرمز العشوائي المستقبل z مشروطاً بالرمز u_k يعطى بالعلاقة التالية:

$$P(z/u_k) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{(z-u_k)^2}{2\sigma^2}) \qquad (2-3)$$

٢-٤-٢ القناة الثنائية المتناظرة Binary Symmetric Channel (BSC):

هي قناة دخلها وخرجها يتألف من أبجدية مكونة من رمزين هما {0,1}، وتكون الاحتمالات الشرطية متساوية أي:

$$p(1/0) = p(0/1) = p$$

$$p(1/1) = p(0/0) = 1-p$$

العلاقتين السابقتين تحددان احتمالات النقل عبر القناة، بمعنى أنه عند إرسال رمز ما عبر هذه القناة فإن احتمال استقباله بشكل خاطئ هو p واحتمال استقباله بشكل صحيح هو $p-1$.

لما كان خرج مفكك الترميز يتألف من أبجدية مكونة من حرفين فقط فإنه مفكك ترميز يعتمد على القرار الصلب hard decision.

وهي إحدى حالات القناة المتقطعة بدون ذاكرة Discrete Memoryless Channel (DMC).

٢-٤-٣ قنوات الخفوت Fading Channels:

إن نقطة البدء في دراسة أنظمة الاتصالات هي الضجيج الغاوصي الأبيض الجمعي AWGN التقليدي وعينات الضجيج الغاوصي المستقل والساكن الذي يخرب عينات البيانات بغض النظر عن التداخل بين الرموز ISI وذلك لفهم علاقات الأداء الأساسية. إن المصدر الأساسي لانخفاض الأداء هو الضجيج الحراري المولَّد في المستقبل، ولكن التداخل الخارجي المُستقبَل عند الهوائي أكثر أهمية من الضجيج الحراري، ومن صفات هذا التداخل الخارجي امتلاكه في بعض الأحيان لطيف واسع Broad Band، ويقاس عادة بمحدد يسمى حرارة الهوائي. يمتلك الضجيج الحراري عادةً تغير طيف استطاعة مسطح على حزمة الإشارة، وتابع تغير احتمالي غاوصي ذو قيمة وسطية صفرية.

كما رأينا فإن القناة الجمعية ذات الضجيج الأبيض هي أبسط أنواع القنوات ولا تكفي لتمثيل قناة الاتصال، لأنها تهمل تداخل الرموز والذي يمثل سبباً أساسياً في أخطاء الاستقبال، حيث عندما يكون عرض مجال الإرسال غير محدود فإن رموز الإشارة المرسلة ستصل إلى المستقبل بدون تشويه، لكن عملياً لاتوجد قناة بعرض مجال لانهائي بالتالي سيحدث تداخل بين الرموز المرسلة. وتهمل أيضاً

الضجيج الناتج عن العوامل الخارجية. لذلك لابد من نموذج آخر للقنوات وهو قنوات الخفوت التي تعتبر من القنوات ذوات المسارات المتعددة.

نهتم بالخفوت الناتج عن الحركة الموجودة في داخل نظام الاتصالات.

- **أثر دوبلر Doppler effect:**

بفرض لدينا مستقبل يتحرك بسرعة v والتردد الحامل للمعلومات المرسلة إليه هو f_0 حيث:

$$f_0=c\ \lambda \qquad (2-4)$$

λ طول الموجة

c سرعة الضوء.

عندها فإن التردد الحامل للمعلومات يصل إلى المستقبل مزاحاً بمقدار ترددي معين يدعى تردد دوبلر ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\nu_{max} = \frac{v}{c} f_0 \approx \frac{1}{1080} \frac{f_0}{\text{MHz}} \frac{v}{\text{km/h}} \text{Hz.} \qquad (2-5)$$

وفي حالة وجود زاوية α بين اتجاه الحركة واتجاه الإشارة المستقبلة فإن انزياح دوبلر يعطى بالعلاقة :

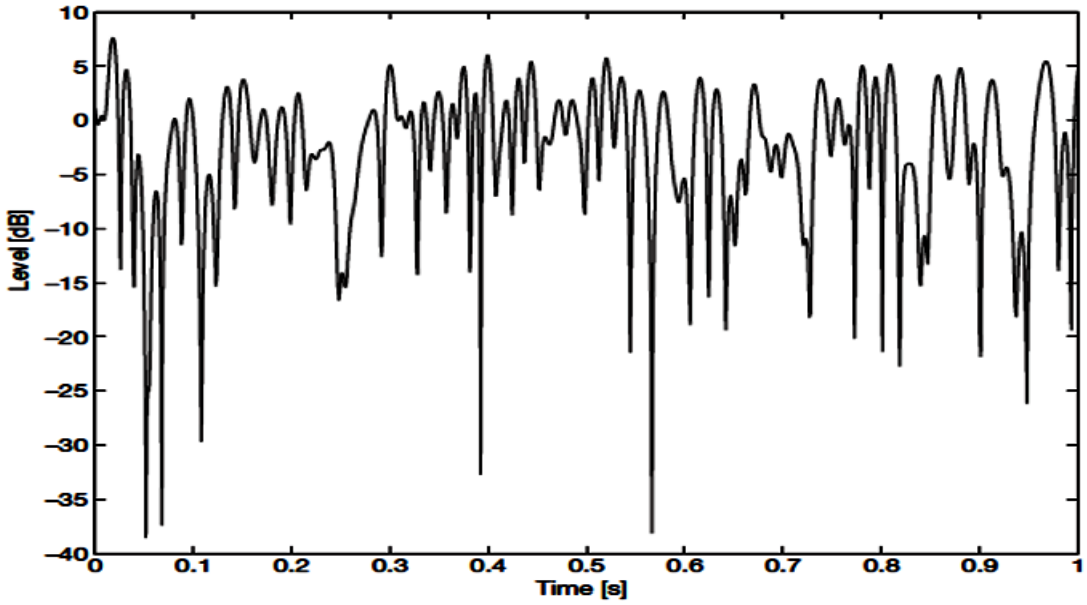
$$v= v_{max} \cos \alpha \qquad (2-6)$$

ويوضح الجدول التالي قيمة تردد دوبلر لأجل ترددات حوامل مختلفة f_0 ولأجل سرعات مختلفة للمتحرك.

Radio frequency	Doppler frequency for a speed of			
	$v = 2.4$ km/h	$v = 48$ km/h	$v = 120$ km/h	$v = 192$ km/h
$f_0 =$ 225 MHz	0.5 Hz	10 Hz	25 Hz	40 Hz
$f_0 =$ 900 MHz	2.0 Hz	40 Hz	100 Hz	160 Hz
$f_0 =$ 2025 MHz	4.5 Hz	90 Hz	225 Hz	360 Hz

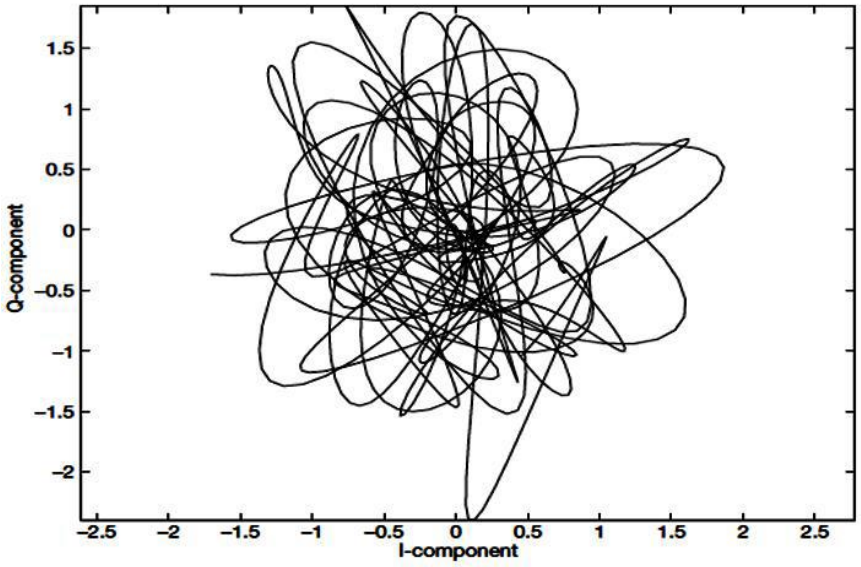
الجدول (٢-١):تردد دوبلر لأجل ترددات حوامل مختلفة f_0 ولأجل سرعات مختلفة للمتحرك.

وتردد دوبلر يكون موجب إذا كان المتحرك يقترب من محطة البث المرسلة وسالب إذا كان مبتعد ، ونلاحظ أن v_{max} (انزياح دوبلر الأعظم) يتغير من قيمة صغيرة إلى قيم كبيرة ومؤثرة حسب قيمة f_0 (التردد الحامل المرسل) وسرعة المتحرك ويوضح الشكل التالي تغيرات مطال الإشارة في المستوي الزمني لأجل تردد دوبلر بقيمة 50Hz وبفرض التردد المرسل هو 900 MHz أي لأجل سرعة للمتحرك 60 km/h.



الشكل (٢-٣): تغيرات مطال الإشارة في المستوي الزمني لأجل تردد دوبلر.

ونلاحظ من الشكل وجود خفوت عميق في مطال الإشارة حيث يصل إلى 40dB- فإذا بقي المستقبل في منطقة الخفوت لفترة معتبرة فحتماً الاستقبال سوف ينقطع أما إذا ابتعد عنها بمقدار $\lambda/2$ على الأقل فإن الاستقبال يمكن أن يستمر دون انقطاع ، بالتالي يمكن القول أن أثر دوبلر يتمثل في إحداث اضطرابات في مطال الحامل f_0 وطوره ونقول أن الإشارة تعدّل مطالياً وطورياً من قبل القناة ولأجل الإشارة السابقة يمكن إيضاح أثر دوبلر في المستوي العقدي (أي للمركبة المتفقة والمركبة المتعامدة بالطور) وذلك بفرض استخدام تعديل طور رقمي Digital Phase Modulation كما يوضح الشكل التالي.



الشكل (٢-٤): أثر دوبلر في المستوي العقدي.

وبالمحصلة نقول أن أثر دوبلر يؤدي إلى حدوث اضطرابات في مطال وطور الإشارة وهذه الاضطرابات دورية تتكرر بدور $t_{corr}=1/v_{max}$ أي بتردد هو تردد دوبلر v_{max} بالتالي t_{corr} هو دور حدوث هذه الاضطرابات أو هو الزمن الذي تحافظ خلاله الإشارة على تماسك في الطور والمطال " لا تتعرض خلاله للخفوت".

يدعى زمن تماسك الإشارة correlation time يجب أن يكون هذا الزمن أكبر بكثير من زمن الرمز حتى لاينقطع الاتصال أي يجب أن يتحقق : $T_s<<t_{corr}$ ، $v_{max}T_s<<1$.

- **التمثيل الرياضي لقناة الخفوت:**

بفرض أن الإشارة المعدّلة تعطى بالعلاقة التالية :

$$\tilde{s}(t)=\sqrt{2}\ R\ \{\ s(t)\ e^{j2\pi fot}\} \qquad (2-7)$$

حيث f_0 هو تردد الحامل و $S(t)$ الإشارة في المجال الأساسي base band وكما ذكرنا سابقاً تردد الحامل سوف ينحرف عن القيمة الأصلية له بفعل أثر دوبلر وانزياح دوبلر يعطى كما تم توضيحه سابقاً بالعلاقة :

$$v=v_{max}\cos\alpha \qquad (2-8)$$

والإشارة المستقبلة سوف تعطى بالعلاقة :

$$\tilde{r}(t)=\sqrt{2}\ R\ \{\ a\ e^{j\theta}\ e^{j2\pi vt}\ s(t)\ e^{j2\pi fot}\ \} \quad (2-9)$$

حيث a : معامل يعبر عن الخفوت الذي تعرضت له الإشارة نتيجة الانتشار .

θ : زاوية طور الحامل .

ولتبسيط الدراسة الرياضية سنقوم بصياغة الفرضيات التالية المقبولة عملياً :

١- α تبقى ثابتة مع الزمن وهذا صحيح عندما المسافة بين المرسل والمستقبل كبيرة كفاية.

٢- الإشارة تشغل مجال ترددي ضيق وبالتالي تردد دوبلر ثابت لجميع مركبات الإشارة الترددية .

وباعتبار أن المستقبل لن يستقبل إشارة واحدة فقط بل سوف يستقبل N إشارة كل واحدة منها تسلك مسار مختلف عن الأخرى وتتعرض بالتالي لخفوت مختلف فيمكن أن نكتب الإشارة المستقبلة كمايلي:

$$\tilde{r}(t) = \sqrt{2} \sum_{k=1}^{N} \Re \left\{ a_k e^{j\theta_k} e^{j2\pi \nu_k t} s(t) e^{j2\pi f_0 t} \right\} \quad (2-10)$$

ويمكن أن نكتب :

$$r(t)=c(t).s(t) \quad (2-11)$$

$$c(t) = \sum_{k=1}^{N} a_k e^{j\theta_k} e^{j2\pi \nu_k t} \quad (2-12)$$

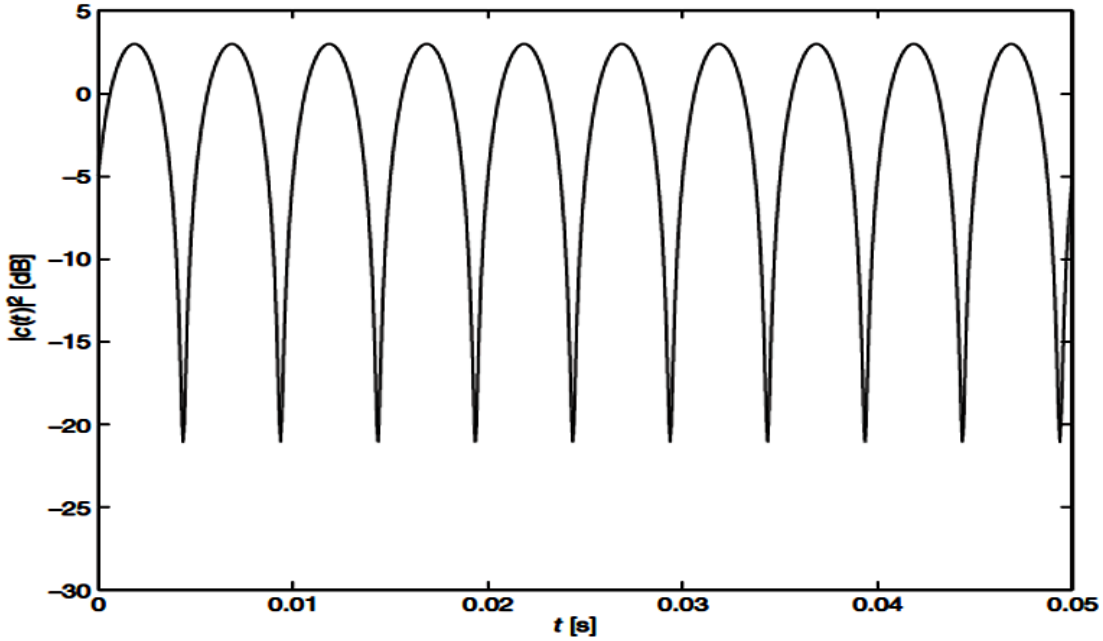
يدعى c(t) : الخفوت العقدي complex fading ويمكن حساب طاقة هذا الخفوت بافتراض أنه تم استقبال إشارتان فقط أي N=2 أو مايعرف بـ قناة ثنائية المسار two path channel كمايلي :

$$|c(t)|^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos\left(2\pi\,(\nu_1 - \nu_2)\,t + \theta_1 - \theta_2\right) \quad (2-13)$$

ويوضح الشكل التالي تغيرات $|c(t)|^2$ لأجل $a_1=0.75$ و $a_2=\sqrt{7}\ /4$.

الطاقة المتوسطة تم تقييسها إلى 1 حيث الطاقة الدنيا : $(a_1-a_2)^2 \approx 0.008$

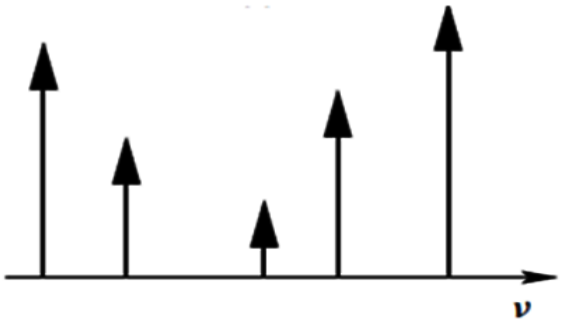
الطاقة العظمى : $(a_1+a_2)^2 \approx 1.99$



الشكل (٢-٥) : تغيرات $|c(t)|^2$ لأجل $a_1=0.75$ و $a_2=\sqrt{7}\ /4$.

وكما يبين الشكل مطال هذا الخفوت دوري له دور $|v_1-v_2|^{-1}$ ويفرض أن $v_1=v_{max}$ و $v_2=-v_{max}$ أي $\alpha_1=0$ (الإشارة مستقبلة من الأمام) و $\alpha_2=\pi$ (إشارة مستقبلة من الخلف) بالتالي الدور هو $(2v_{max})^{-1}$ أي الفاصل المكاني بين قيمتين أعظميتين أو دنيويتين للخفوت هو $\lambda/2$ وبالمثال السابق تم اختيار ($f_0=900MHz$ ، $v_{max}=100Hz$ ، سرعة المتحرك 120Km/h) .

الدراسة السابقة دراسة مبسطة اعتمدت على أن إشارتان فقط تصلان إلى المستقبل أي قناة ثنائية المسار two path channel ولكن عملياً يوجد عدد كبير من المسارات يمكن أن تسلكها الإشارة أي القناة توصف بأنها قناة متعددة المسارات Multi path channel ومن أجل N=5 فإن الخفوت له كثافة طيفية احتمالية probability spectrum density (PSD) ممثلة بالشكل التالي :



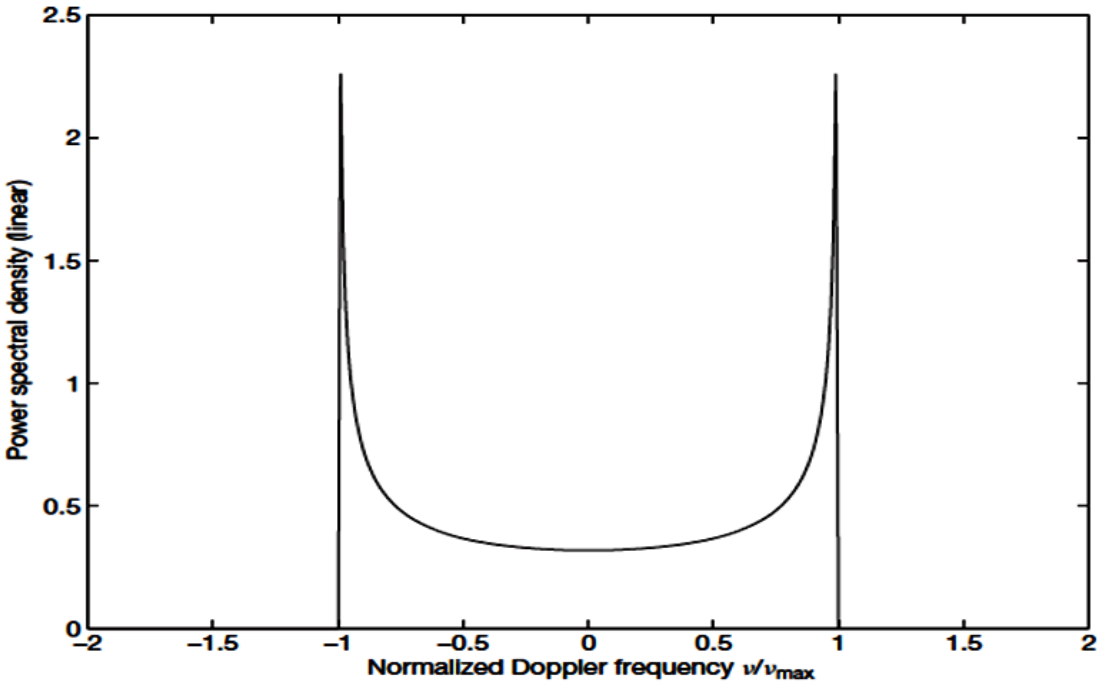
الشكل (٢-٦) : الكثافة الطيفية للخفوت.

ونلاحظ أن الكثافة الطيفية $S_c(v)$ متقطعة لأن الإشارة $|c(t)|^2$ دورية ، ولكن عملياً طيف دوبلر يكون مستمر غير مقطع .

الاستنتاج الرياضي يمكن أن يعطينا العلاقة بين $S_c(t)$ و v كمايلي :

$$\mathcal{S}_c(\nu)=\frac{1}{\pi\nu_{max}\sqrt{1-\frac{\nu^2}{\nu_{max}^2}}} \qquad (2-14)$$

والشكل التالي يوضح العلاقة بين سرعة المتحرك v والكثافة الطيفية PSD بعد إجراء عملية تقييس على المحور الأفقي .



الشكل (٢-٧) : العلاقة بين سرعة المتحرك v والكثافة الطيفية PSD.

- **القنوات المتغيرة زمنياً وترددياً :**

لنفترض لدينا إشارة المعلومات المعدلة التالية :

$$\check{s}(t) = \sqrt[2]{2}R\{s(t)e^{j2\pi f_o t}\} \quad (2\text{-}15)$$

S(t): الإشارة بالمجال الأساسي ، f_0: تردد الحامل .

وبفرض أن انزياح دوبلر مهمل أي المستقبل ثابت بالنسبة للمرسل أو يتحرك حركة بطيئة جداً بالتالي يمكن أن تكتب الإشارة المستقبلة بالعلاقة :

$$\check{r}(t) = \sqrt{2}\sum_{k=1}^{N} R\{\, ak\, e^{j\theta k}\ \ s(t-\tau k)e^{j2\pi f_o t}\,\} \quad (2\text{-}16)$$

حيث أن الإشارة يمكن أن تسلك N طريق للوصول إلى المستقبل بالتالي تتأخر هذه الإشارات بالمقارنة مع الإشارات المباشرة (التي تسلك أقصر طريق ممكن) بالمقدار الزمني التالي

$$\tau_k = L_k / c \quad (2\text{-}17)$$

حيث :

C : سرعة الضوء

τ_k : تأخير الإشارة k.

L_k: طول المسار الذي تسلكه الإشارة K.

a_k: يمثل التخامد الذي تتعرض له الإشارة k بفعل الانتشار .

θ_k: انزياح في طور الحامل للإشارة k.

ويمكن أن نكتب علاقة الإشارة المستقبلة كمايلي :

$$r(t) = h(t) * s(t),$$

$$h(t) = \sum_{k=1}^{N} a_k e^{j\theta_k} \delta(t - \tau_k) \quad (2-18)$$

حيث تعبر h(t) عن الاستجابة النبضية للقناة ، أما تابع النقل وهو تحويل فورييه لـ h(t)

يعطى هذا التحويل بالعلاقة التالية :

$$H(f) = \sum_{k=1}^{N} a_k e^{j\theta_k} e^{-j2\pi f \tau_k}. \quad (2-19)$$

ولأجل قناة بمسارين فقط N=2 ربح الطاقة للقناة Channel power gain يعطى كمايلي:

$$|H(f)|^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos(2\pi f(\tau_1 - \tau_2) + \theta_2 - \theta_1). \quad (2-20)$$

وإذا قمنا برسم العلاقة السابقة نحصل على نفس الشكل الذي يوضح طاقة الخفوت وهو مرسوم سابقاً ولكن بعد استبدال محور الزمن بمحور التردد بالتالي نستنتج أن تابع النقل دوري ودوره:

$$| \tau_1 - \tau_2 |.$$

إن القناة السابقة ندعوها قناة انتقائية التردد أي الخفوت الذي يصيب الإشارة يكون تابع لقيمة التردد f وننتقل الآن للحالة العامة وهي دراسة قناة ذات انتقائية زمنية وترددية لنفترض أن الإشارة المستقبلة تعطى بالعلاقة التالية :

$$\tilde{r}(t) = \sqrt{2} \sum_{k=1}^{N} \Re \{a_k e^{j\theta_k} e^{j2\pi v_k t} s(t - \tau_k) e^{j2\pi f_0 t}\} \quad (2\text{-}21)$$

أي تم أخذ أثر دوبلر بعين الاعتبار في هذه الدراسة ، أما الإشارة المرسلة فترتبط مع الإشارة المستقبلة بالعلاقة التالية :

$$r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau, t) s(t - \tau)\, d\tau \quad (2\text{-}22)$$

$$h(\tau, t) = \sum_{k=1}^{N} a_k e^{j\theta_k} e^{j2\pi v_k t} \delta(t - \tau_k) \quad (2\text{-}23)$$

بالتالي يعطى تابع النقل حسب العلاقة :

$$H(f, t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j2\pi f \tau} h(\tau, t)\, d\tau \quad (2\text{-}24)$$

$$H(f, t) = \sum_{k=1}^{N} a_k e^{j\theta_k} e^{j2\pi v_k t} e^{-j2\pi f \tau_k} \quad (2\text{-}25)$$

ويمكن أن تكتب العلاقة بين الإشارة المستقبلة r(t) وتحويل فوريه للإشارة المرسلة كمايلي:

$$r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j2\pi f \tau} H(f, t) S(f)\, d\tau \quad (2\text{-}26)$$

$$S_c(v) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\tau, v)\, d\tau \quad (2\text{-}27)$$

حيث $S_C(\tau, \upsilon)$ هو تابع التشتت .

وتعبر العلاقة السابقة عن استجابة القناة الترددية ، أما بالنسبة للاستجابة الزمنية لها فأيضاً تعتمد على تابع التبعثر حسب العلاقة :

$$S_H(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\tau, \nu)\, d\nu \quad (2-28)$$

ويمكن الوصول إلى تابع التبعثر $S_C(\tau, \upsilon)$ بعد إيجاد تابع الترابط الذاتي ثنائي البعد لتابع النقل والذي يعطى بالعلاقة :

$$\mathcal{R}(f,t) = \mathrm{E}\left\{H(f_1 + f, t_1 + t)H^*(f_1, t_1)\right\} \quad (2-29)$$

فيعطى عندها تابع النقل كمايلي :

$$S(\tau, \nu) = \int_{-\infty}^{\infty} df \int_{-\infty}^{\infty} dt\, e^{j2\pi f\tau} e^{-j2\pi\nu t} \mathcal{R}(f,t) \quad (2-30)$$

والعلاقة السابقة هي تحويل فوريه ثنائي البعد لتابع الترابط الذاتي .

- **قنوات رايلي وريسيان :**

إذا لم يتم تحديد صفات الانتشار لقناة راديوية معينة، فعندها نستنتج أن ضعف الإشارة على المسافة تأخذ سلوكاً كما لو أن الانتشار يتم في فراغ حر مثالي. يُعامِل هذا النمط من الفراغ الحر المسافة بين هوائيات المرسل والمستقبل وكأنها خالية من جميع الآثار التي قد تعيق أو تعكس التردد الراديوي، كما أنه يفترض أنه خلال هذه المنطقة يكون الغلاف الجوي كوسط مثالي وغير ماص، كما يتعامل مع الأرض على أنها بعيدة بشكل لا نهائي عن إشارة الانتشار، وبشكل أساسي في هذا الفراغ الحر المثالي، سيكون التخامد في طاقة الإشارة الراديوية بين المرسل والمستقبل حسب قانون التربيع العكسي.

يتم تخفيض الإشارة المستقبلة بمقدار العامل FSL، والذي يسمى بخسارة المسار، وعندما يكون الهوائي آيزوتروبي يكون هذا العامل:

$$\mathrm{FSL} = \left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)^2$$

حيث d هي المسافة بين المرسل والمستقبل، و λ طول موجة الانتشار.

أما في أنظمة الاتصالات اللاسلكية، قد تمر الإشارة على عدة عوائق عاكسة ويشار إلى ذلك بالانتشار متعدد المسارات.

كما ذكرنا سابقاً قناة الاتصال عملياً لها انتقائية زمنية وترددية وحسب نظرية الحد المركزي central limit theory واعتماداً على علم انتشار الأمواج وعلم الاحتمالات يمكن أن نكتب تابع النقل عند لحظة زمنية وتردد محدد بالشكل التالي :

$$H(f_1,t_1)=X+JY \qquad (2-31)$$

حيث كل من X,Y متحولان عشوائيان غاوصيان مستقلان لهما قيمة متوسطة صفرية بالتالي نكتب :

$$E\{H(f_1+f\ ,\ t_1+t\ )\ H(f_1,t_1)\}=0 \qquad (2-32)$$

هذه العلاقة تبين أنه لايمكن التوقع بقيمة تابع النقل .

نكتب علاقة التباين للمتحولان الغاوصيان X,Y :

$$E\{X^2\}=E\{Y^2\}=1/2 \qquad (2-33)$$

وذلك بافتراض أن ربح الطاقة المتوسط للقناة يساوي الواحد (Channel gain=1).

نكتب تابع كثافة الاحتمال الغاوصي لكل من X,Y :

$$p_X(x)=\frac{1}{\sqrt{\pi}}e^{-x^2},\ p_Y(y)=\frac{1}{\sqrt{\pi}}e^{-y^2} \qquad (2-34)$$

بالانتقال للإحداثيات القطبية حسب معادلات الانتقال التالية :

$$X=A\cos ø\ ,\ Y=A\sin ø \qquad (2-35)$$

يمكن أن نكتب تابع كثافة الاحتمال بالاحداثيات القطبية كمايلي :

$$p_{A,\Phi}(a,\phi)=\frac{1}{2\pi}2ae^{-a^2} \qquad (2-36)$$

Ø : متحول عشوائي له توزع منتظم من 0 إلى 2π أي :

$$p_\Phi(\phi)=\frac{1}{2\pi} \qquad (2-37)$$

بالتالي نكتب تابع كثافة الاحتمال للمطال بالشكل التالي :

$$p_A(a)=2ae^{-a^2} \qquad (2-38)$$

هذا التوزع للمطال يدعى توزع رايلي لذلك ندعو هذه القناة قناة خفوت رايلي وبسهولة يمكن إيجاد تابع كثافة الاحتمال للاستطاعة انطلاقاً من تابع كثافة الاحتمال للمطال فنجد :

$$p_{\text{power}}(\gamma)\,d\gamma = p_A(a)\,da$$

$$p_{\text{power}}(\gamma) = e^{-\gamma} \qquad (2-39)$$

هذا التوزع للاستطاعة يدعى توزع أسي .

نوجد الآن احتمال أن تكون الاستطاعة أقل من قيمة معينة γ فنكتب هذا الاحتمال بالعلاقة التالية:

$$P(A^2 < \gamma) = \int_0^{\gamma} e^{-x}\,dx = 1 - e^{-\gamma} = \gamma - \frac{1}{2}\gamma^2 + \cdots \qquad (2-40)$$

ولأجل قيمة صغيرة لـ γ يمكن أن نكتب :

$$P(A^2 < \gamma) \approx \gamma \qquad (2-41)$$

اعتماداً على هذه العلاقة يمكن بسهولة أن نستنتج أن احتمال حدوث خفوت بمقدار 20dB− في قناة خفوت رايلي هو 1% واحتمال حدوث خفوت 30dB− هو 0.1% وهكذا ...

الدراسة السابقة قدمت نموذج لقناة تدعى قناة خفوت رايلي وفيها تم اعتبار أن الإشارات الواصلة إلى المستقبل هي إشارات سلكت مسارات وطرق مختلفة أو مايدعى بالإشارات التبعثرية (أي إشارات تبعثرت في الوسط ثم التقطها المستقبل) ولكن تم إهمال وجود إشارة مباشرة بين المرسل والمستقبل أو مايدعى بإشارة خط النظر التي تعرف بـ (LOS (Line of Sight ، لذلك اعتبرنا أن X,Y في الاستنتاج السابق هي متحولات عشوائية غاوصية بقيمة متوسطة صفرية .

أما إذا قمنا بدراسة الحالة الأعم للقناة أي بوجود المركبات التبعثرية وبوجود LOS عندها فإن القيمة المتوسطة لهذه المتحولات الغاوصية لاتساوي الصفر وباعتماد نفس فكرة وطريقة الاستنتاج السابق ولكن بعد الأخذ بعين الاعتبار وجود قيمة متوسطة للمتحولات العشوائية الغاوصية يمكن أن نصل إلى تابع كثافة الاحتمال الذي يعطى بالعلاقة :

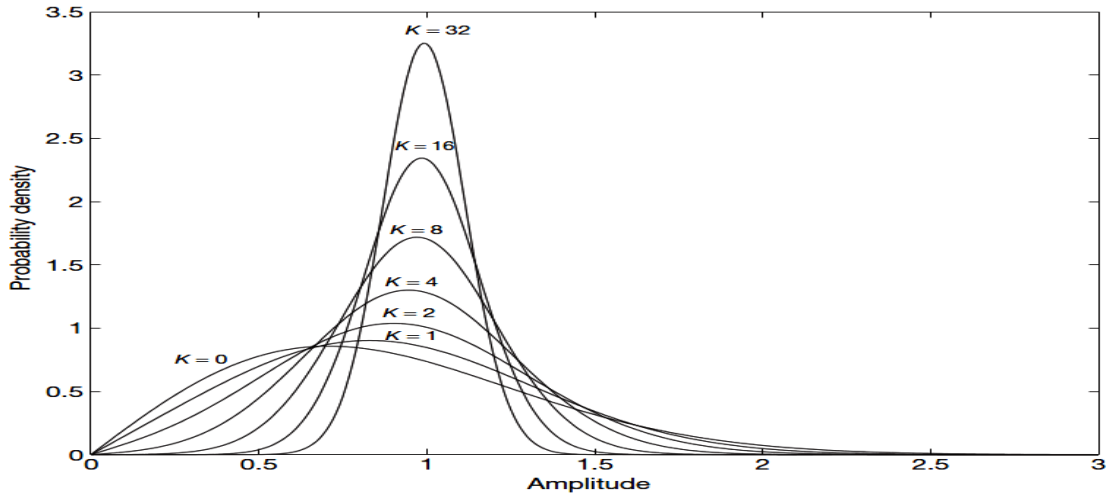
$$p_A(a) = 2a\,(1+K)\,e^{-\left(K+a^2(1+K)\right)} \cdot I_0\left(2a\sqrt{K\,(1+K)}\right) \quad (2-42)$$

$I_0(X)$ هو تابع بيسل المعدل من الدرجة صفر والذي يحقق $I_0(0)=1$ كثافة الاحتمال هذه تدعى التبعثر الجيبي أو تبعثر ريسيان وقناة الاتصال في هذه الحالة تسمى قناة ريسيان .

K هو العامل الجيبي أو عامل ريسيان ويعرف بأنه النسبة بين طاقة المركبة LOS وطاقة المركبات التبعثرية ونلاحظ عندما k=0 يمكن إهمال المركبة LOS أي عدنا للحالة الأولى وحصلنا على قناة خفوت رايلي ، وعندما K تسعى إلى اللانهاية أي إهمال المركبات التبعثرية "غياب التبعثر" القناة تدعى قناة ضجيج أبيض غاوصي جمعي ، ويمكن أن نصوغ علاقة تابع كثافة الطاقة كمايلي :

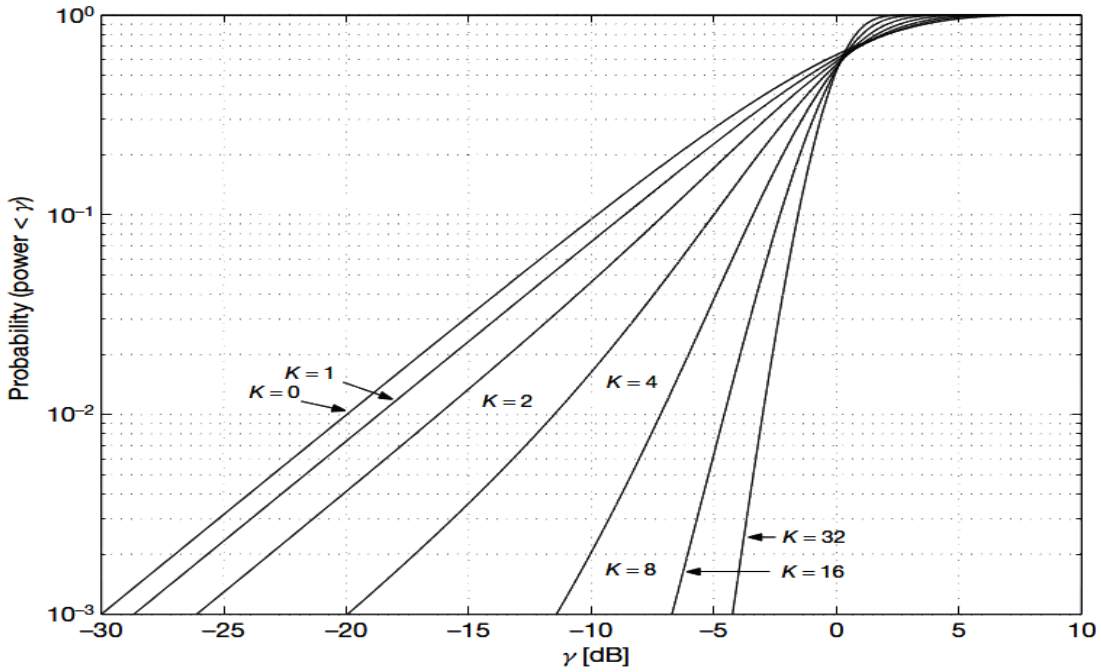
$$p_{\text{power}}(\gamma) = (1+K)\,e^{-(K+\gamma(1+K))} \cdot I_0\left(2\sqrt{\gamma K\,(1+K)}\right) \quad (2-43)$$

يوضح الشكل التالي تابع كثافة الاحتمال للمطال لأجل قيم مختلفة لـ K حيث نلاحظ لأجل K=0 نحصل على تابع كثافة الاحتمال لرايلي وكلما زدنا K نقترب من شكل تابع كثافة الاحتمال الغاوصي.



الشكل (٢-٨) : تابع كثافة الاحتمال للمطال .

كما يوضح الشكل التالي العلاقة بين قيمة معينة للخفوت الذي يمكن أن تسببه القناة واحتمال حدوثه . نلاحظ أنه كلما زادت K كلما كان أداء القناة من حيث احتمال حدوث الخفوت أفضل ولأجل K تسعى للانهاية يمكن القول أن الخفوت لايحدث لأن المركبة الوحيدة التي تصل للمستقبل هي مركبة LOS والتبعثر غير موجود وهي حالة نظرية بحتة .



الشكل (٢-٩) : العلاقة بين قيمة معينة للخفوت الذي يمكن أن تسببه القناة واحتمال حدوثه .

٢-٥ الخفوت قصير الأمد والخفوت طويل الأمد :

يوجد نوعان من الخفوت قصير وطويل الأمد .

- **الخفوت قصير الأمد:**

يحدث بسرعة وعلى مسافة قصيرة حيث شدة الإشارة المستقبلة 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 بالتالي هذا الخفوت يحصل في بيئة المدينة المزدحمة.

- **الخفوت طويل الأمد:**

يحصل هذا الخفوت ببطء وعلى مسافات بعيدة حيث شدة الإشارة المستقبلة سوف تتغير ببطء وبشكل تدريجي بسبب هذا الخفوت ويدعى هذا الخفوت خفوت ريسيان أو الخفوت البطيء.

في هذا النوع من الخفوت نعتبر أنه يصل إلى المستقبل المركبة المباشرة والمركبات التبعثرية بالتالي هذا الخفوت يحدث في الأماكن غير المزدحمة مثل بيئة الريف.

معالجة الإشارة الرقمية
ونظرية اتخاذ القرار

٣-١ مقدمة:

يزداد اعتماد نظم الاتصالات الحديثة على النظم الرقمية لتطبيق العمليات المعقدة وإجراءات معالجة الإشارة وأهم ما تحتويه بنية نظام اتصالات لاسلكي تقليدي هي وحدة معالج الإشارة الرقمية Digital Signal Processor (DSP).

وهو معالج Microprocessor ولكنه ليس كباقي المعالجات ٨٠٨٥ أو ٨٠٨٦ أو... Z80 إذ أن بنيته الخاصة تمكنه من إنجاز الكثير من العمليات المعقدة خلال زمن قليل ، إن السرعة في معالجة المعطيات هي ما يميز هذا المعالج وهذا ما تطلبه خوارزميات معالجة الإشارة . ويقال بأن سرعة المعالج DSP تتضاعف كل ثلاث سنوات.

الأمر ليس بهذه البساطة ! فالمعالجات DSP معقدة جداً وتحتاج لخبرات عالية المستوى ولكنها بنفس الوقت مهمة جداً واستخداماتها كثيرة جداً.

ويستخدم هذا المعالج بنية خاصة للقيام بوظائف متعددة منها التعديل وكشف التعديل ،وتحتاج هذه العمليات إلى قدرة حساب فائقة أمكن تحقيقها عملياً منذ مدة قصيرة بفضل تقدم تقانة الـ CMOS .

حيث يقلل استخدام المعالجة الرقمية من:

- الضجيج
- الزمن اللازم للمعالجة
- التكلفة
- استهلاك الطاقة

وتتنافس الشركات المصنعة لهذه المعالجات في تطوير هذه التقنية وزيادة المستوى ومن أهم الشركات المصنعة هي Texas Instruments و Motorola و Analog Device

أما عن استخداماته فهي كثيرة جداً فالأجهزة الخليوية تحوي معالج DSP لمعالجة إشارات الصوت. والكاميرا الرقمية تحوي معالج DSP لمعالجة إشارة الصورة . والكثير من التطبيقات الطبية (تخطيط قلب – التصوير الطبقي المحوري ...) والرادار والسونار والفضاء..

٣-٢ تحويل فورييه المتقطع وتحويل فورييه السريع

٣-٢-١ تحويل فورييه المتقطع (DFT (Discrete Fourier Transform :

عندما تكون الإشارة دورية وعندما تكون مقطعة لاحاجة إلى تحويل فورييه المستمر لرسم طيف الإشارة بل نستعيض عنه بتحويل فورييه المتقطع .

إذا كان لدينا عينات من إشارة ما وهي : a_n (n=0,1,2,.....,N-1)

يعرف تحويل فورييه المتقطع Discrete Fourier Transform بالعلاقة :

$$A_k = \sum_{n=0}^{N-1} e^{-i\frac{2\pi}{N}kn} a_n \qquad (3-1)$$

ويمكن أن يكتب بطريقة أخرى :

$$A_k = \sum_{n=0}^{N-1} W_N^{kn} a_n \qquad (3-2)$$

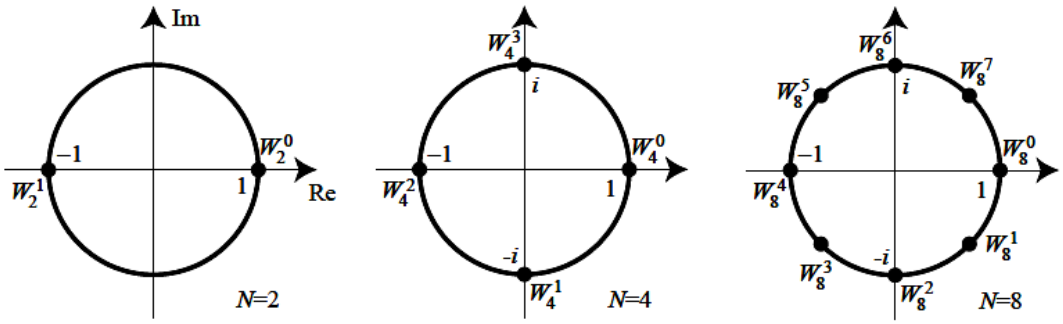
$$W_N = e^{-i\frac{2\pi}{N}} \qquad (3-3)$$

N: طول عملية FFT وهي تساوي على الأقل عدد عينات الإشارة أي عدد العينات الترددية ويؤخذ مساوياً لعدد العينات الزمنية للإشارة المدروسة وفي هذه الحالة سيكون عدد الحدود العقدية المحسوبة (حدود السلسلة) مساوياً N^2 وهي تعبر عن التعقيدية الحسابية لإيجاد تحويل فورييه المتقطع.

وقد وجد أنه عندما يكون عدد العينات من الشكل 2m وحيث m عدد صحيح موجب فإنه يمكن تقليل عدد العمليات الحسابية لإيجاد حدود السلسلة العقدية بحيث تنخفض التعقيدية الحسابية إلى { $0.5\ N\ log_2(N)$ } . وهنالك طريقة لحساب تحويل فورييه المتقطع اعتماداً على هذه الخاصية وتدعى بتحويل فورييه السريع ولها نوعان FFT بطريقة التقسيم الزمني وبطريقة التقسيم الترددي.

باعتبار أن $W_N = e^{-i\frac{2\pi}{N}}$ بالتالي فإن القيم W_N^{nk} هي قيم عقدية تقع على الدائرية الواحدية ومزاحة عن بعضها بمقدار الزاوية $2\pi/N$.

ويمكن أن نوضح القيم W_N^{kn} بالشكل التالي وذلك لأجل : N=2,N=4,N=8



الشكل (٣-١): قيم مختلفة لـ W_N^{nk} من أجل قيم مختلفة لأطوال DFT

نلاحظ أن أول قيمة من القيم W_N^{nk} تساوي إلى واحد القيم الأخرى تقع على الدائرة الواحدية ويتتالى ورودها مع جهة دوران عقارب الساعة وكل منها تتزاح عن السابقة بمقدار $2\pi/N$.

وأما تحويل فورييه المتقطع العكسي Invers Discrete Fourier Transform فيعطى بالعلاقة التالية :

$$a_n = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} W_N^{-kn} A_k \qquad (3-4)$$

- مثال تحويل فورييه المتقطع بنقطتين (N=2) two points DFT:

$$N=2 \rightarrow \quad W2 = e^{-j\pi} = -1 \qquad (3-5)$$

$$A_k = \sum_{n=0}^{1}(-1)^{kn}a_n = (-1)^{k\cdot 0}a_0 + (-1)^{k\cdot 1}a_1 = a_0 + (-1)^k a_1$$

(3-6)

إذاً:

$$A_1=a_0-a_1 \quad , \quad A_0=a_0+a_1 \qquad (3-7)$$

- مثال تحويل فورييه المتقطع بأربع نقاط (N=4) four points DFT:

$$N=4 \rightarrow \quad W4= e^{-j\pi/2}= -I \qquad (3-8)$$

$$A_k = \sum_{n=0}^{3}(-i)^{kn}a_n = a_0 + (-i)^k a_1 + (-i)^{2k}a_2 + (-i)^{3k}a_3 = a_0 + (-i)^k a_1 + (-1)^k a_2 + i^k a_3$$

(3-9)

إذاً :

$$A_0=a_0+a_1+a_2+a_3$$

$$A_1=a_0-ia_1-a_2+ia_3$$

$$A_2=a_0-a_1+a_2-a_3$$

$$A_3=a_0+ia_1-a_2-ia_3$$

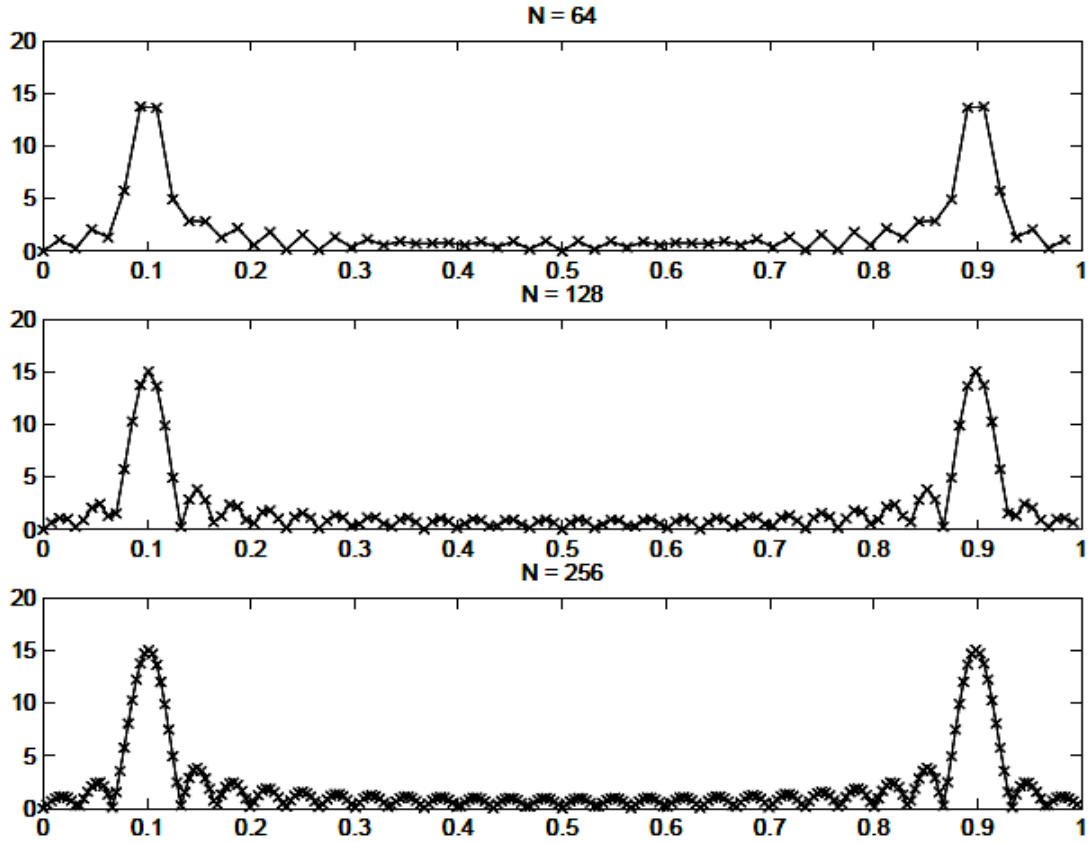
٣-٢-١-٢ ميزات تحويل فوريه المتقطع:

- الدورية : تحويل فوريه المتقطع دوري والدور الواحد يمتد من f=0 إلى $f=f_s$ ، حيث f_s : تردد أخذ العينات لإشارة المعلومات ، وكما نعلم من قانون نايكويست في أخذ العينات : $f_s \geq 2$ f_{max} ، حيث f_{max} أعظم تردد لإشارة المعلومات.
- التناظر : شكل تحويل فوريه المتقطع يكون متناظر حول التردد $0.5\ f_s$.

٣-٢-١-٣ أثر عدد النقاط على شكل تحويل فوريه المتقطع :

كلما زادت N كلما زادت دقة عملية تحويل فوريه المتقطع وكلما زادت كلفة العملية ، والمقصود بالكلفة الزمن اللازم لإنجازها ويمكن القول أنه كلما زادت كلما زاد تشابه تحويل فوريه المتقطع مع شكل تحويل فوريه المستمر.

الشكل التالي يوضح تحويل فوريه المتقطع لإشارة cosine ولأجل N=64,N=128,N=256 .

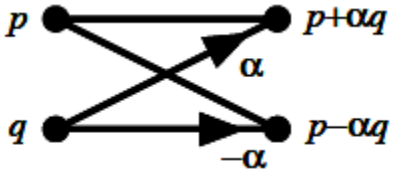


الشكل (٣-٢):أثر زيادة عدد العينات في تحويل فوريه المتقطع .

٣-٢-٢ تحويل فوريه السريع (Fast Fourier Transform) FFT:

هي طريقة سريعة ، بسيطة وقليلة الكلفة للحصول على تحويل فوريه المتقطع وهي المستخدمة برمجياً من قبل المعالجات الميكروية ومعالجات الإشارة الرقمية .

سنوضح بداية الشكل الذي يدعى بالفراشة والذي سنعتمد عليه كثيراً في توضيح خوارزمية FFT ويعطى كمايلي :



الشكل (٣-٣): أسلوب الفراشة

٣-٢-٢-١ خوارزمية FFT:

دوماً يجب أن يتحقق $N=2^r$ لإنجاز الخوارزمية أي : $N=4,8,16,32,\ldots\ldots$

أما خطوات الخوارزمية فهي :

١- عدد المراحل أي عدد أعمدة العملية هو $\log_2(N)$

٢- كل مرحلة تتضمن $N/2$ فراشة والتي لها الشكل الموضح سابقاً

٣- ترتيب توضع قيم FFT:

عينات الإشارة هي a_n حيث n رقم العينة فإذا كان n=4 أي العينة a_4 حيث $n=(4)_{10}=(100)_2$ نأخذ نظير القيمة $(100)_2$ وهي $(001)_2=(1)_{10}$ أي العينة a_4 توضع في المكان الأول عند دخولها دارة FFT.

أما لأجل العينة a_0 حيث $(0)_{10}=(000)_2$ نأخذ نظير القيمة $(000)_2$ فتبقى $(000)_2$ أي أن a_0 توضع في المكان الصفري عند دخولها للدارة وهكذا لباقي العينات ..... بالتالي إذا كان عدد العينات ٨: $a_0,a_1,\ldots\ldots,a_7$ فإنها تدخل بالشكل : $a_0,a_4,a_2,a_6,a_1,a_5,a_3,a_7$

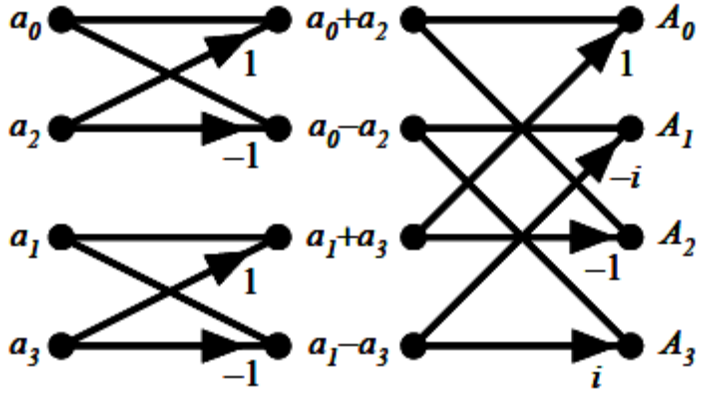
٤- قيم معاملات الفراشات :

في آخر مرحلة معاملات الفراشات : $w^0,w^1,\ldots\ldots,w^7$ (عندما N=8) ، في المرحلة السابقة لها معاملات الفراشات هي W_N المرفوعة للأسس :0,2,4,6,0,2,4,6 والتي تساوي إلى باقي قسمة القيم 0,2,4,6,8,10,12,14 على N=8

وفي المرحلة الأسبق معاملات الفراشات هي W_N والمرفوعة للأسس 0,4,0,4,0,4,0,4 والتي تساوي إلى باقي قسمة القيم :0,4,8,12,16,20,24,28 على N=8 وهكذا لجميع المراحل .....

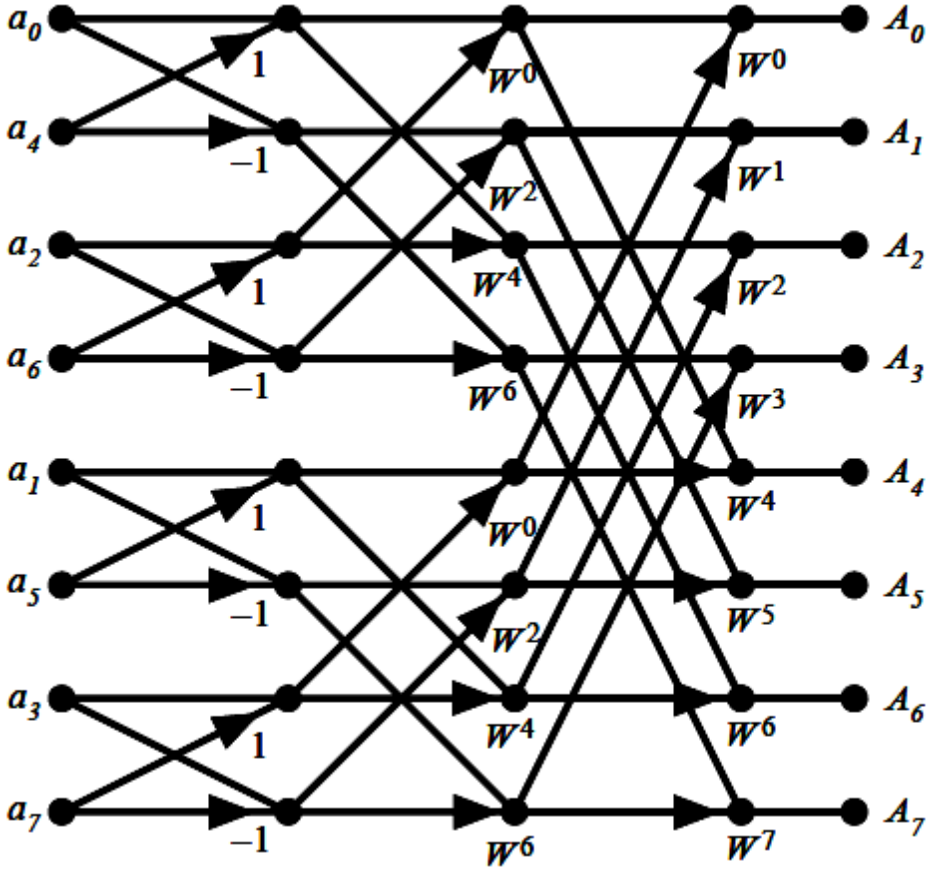
ويمكن تعميم ماشرحناه لأجل N=8 على أي قيمة لـ N.

نوضح الآن خوارزمية FFT لأجل N=4 بالشكل التالي:



الشكل (٣-٤) :خوارزمية FFT من أجل N=4.

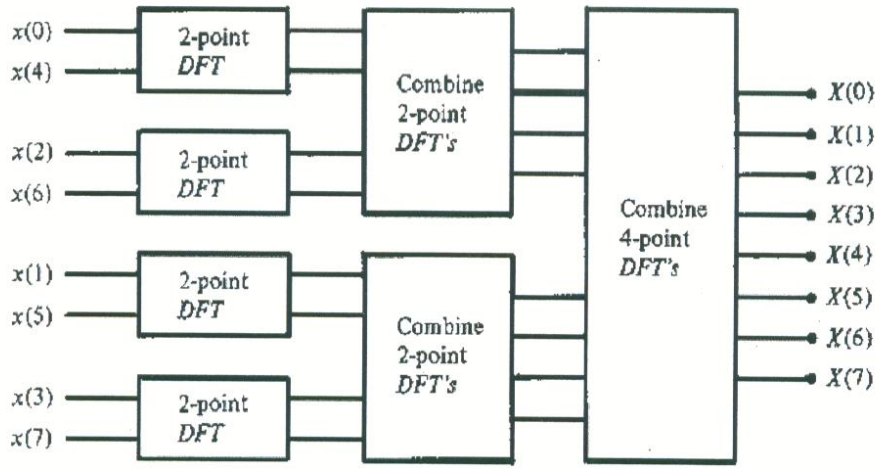
ونوضح خوارزمية FFT من أجل N=8 بالشكل التالي :



الشكل (٣-٥) : خوارزمية FFT من أجل N=8.

ونلاحظ أنه تم تقسيم السلسلة إلى مجموع سلسلتين الأولى تضم الحدود ذات معامل فردي والثانية تضم الحدود ذات المعامل الزوجي .

يبين الشكل التالي المخطط الصندوقي لعمليات حساب FFT(8 points).



الشكل (٣-٦) : المخطط الصندوقي لعمليات حساب FFT(8 points).

٣-٢-٣ FFT أسرع من DFT:

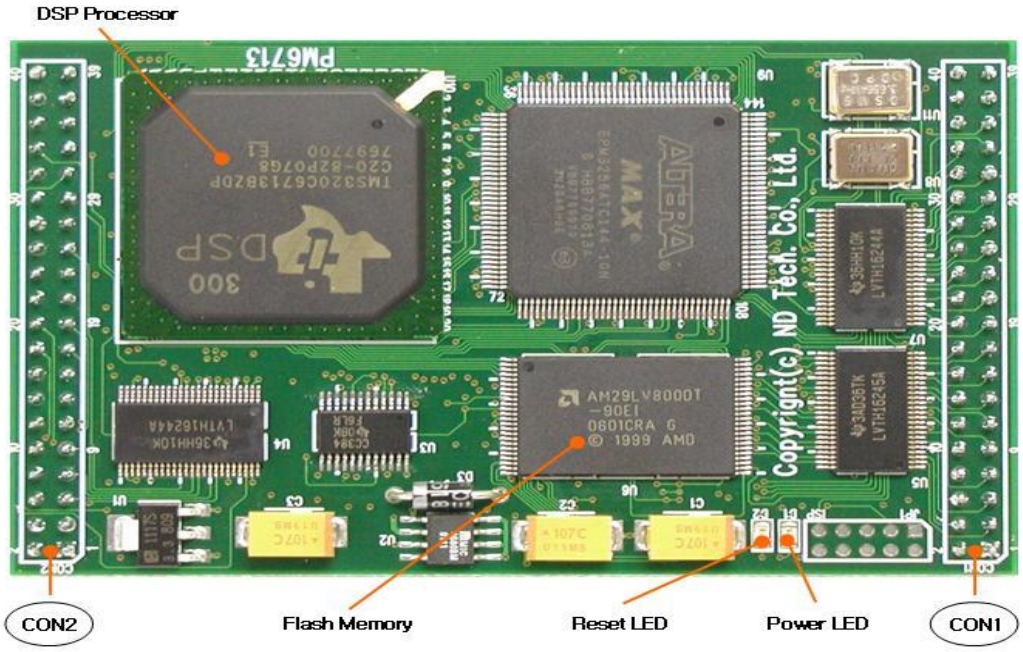
عدد العمليات اللازمة لإنجاز FFT هي $2N.\log_2 N$ أما عدد العمليات اللازمة لإنجاز DFT هو $4N^2$. الجدول التالي يوضح عدد العمليات اللازمة لـ DFT و FFT لأجل قيم N متغيرة ويوضح مدى التسريع الذي يحققه FFT.

N	$r = \log_2 N$	BRUTE FORCE $4N^2$	FFT $2N\log_2 N$	speedup
2	1	16	4	4
4	2	64	16	4
8	3	256	48	5
1,024	10	4,194,304	20,480	205
65,536	16	$1.7 \cdot 10^{10}$	$2.1 \cdot 10^6$	$\sim 10^4$

الجدول (٣-١): مقارنة بين عدد العمليات اللازمة لـ FFT وعدد العمليات اللازمة لـ DFT.

٣-٣ لوحة المعالج Starter Kit DSP(TMS ٣٢٠C٦٧١٣) :

يبين الشكل التالي معالج الإشارة الرقمي (TMS320C6713).



الشكل (٣-٧): معالج الإشارة الرقمي (TMS320C6713).

الـ DSK هي شريحة متطورة منخفضة التكلفة تمكن المستخدم من تنفيذ التطبيقات المطورة لعائلة TI C67xx .

تلائم الـ DSK تطبيقات متنوعة، ومن أهم أقسام اللوحة:

١- معالج DSP بتردد تشغيل 255 MHz .

٢- مرمز AIC23 stereo codec.

٣- ذاكرة الوصول المباشر SDRAM بسعة 16 Mbyte .

٤- ذاكرة FLASH غير قابلة للمحي بسعة 512 Kb .

٥- أربعة ثنائيات ضوئية LEDs ومفاتيح DIP متاحة للمستخدم .

٦- مسجلات متضمنة في CPLD تمكن من التهيئة البرمجية .

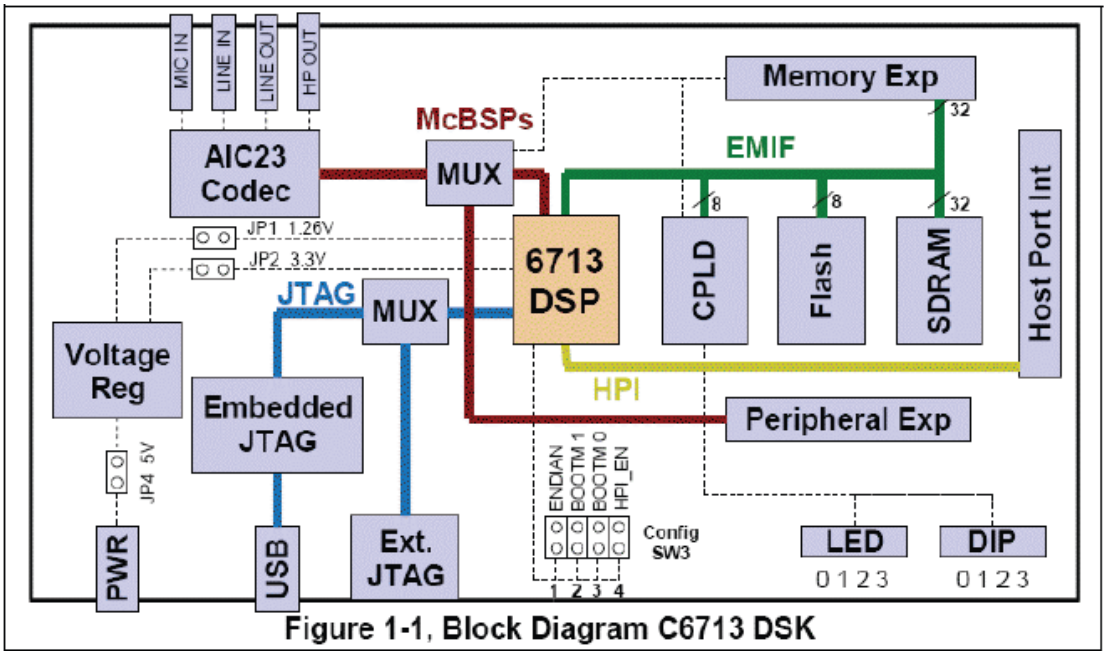
٧- Configuration boot option .

٨- وصلات توسع معيارية من أجل استخدام بطاقات إضافية .

٩- موائم JTAG متضمن في اللوحة ومزود بوصلة USB للمواءمة الخارجية .

١٠- جهد تغذية وحيد (+5 v) .

ويوضح الشكل التالي مخطط صندوقي لـ C6713 DSK



الشكل (٣-٨): مخطط صندوقي لـ C6713 DSK

لمحة وظيفية:

المعالج DSP في لوحة DSK يرتبط مع الطرفيات عبر سطح بيني (EMIF) بعرض 32 bit .

الذواكر SDRAM و FLASH و CPLD كلها موصولة مع (EMIF) .

إشارات EMIF أيضاً توصل مع وصلات توسع خارجية والتي تستخدم من أجل بطاقة إضافية.

وصلات إشارة الصوت التماثلية عبر اللوحة:

- مرمز ومفكك ترميز AIC23 codec .
- أربع بوابات بعرض (3.5) وهي (دخل الميكروفونmicrophon input - خط دخل line input - خط خرج line output - خرج السماعات headphone output) .

يستخدم McBSP0 لإرسال الأوامر التحكمية إلى واجهة تحكم الـ codec .

يستخدم McBSP1 للبيانات الصوتية الرقمية .

والجهاز المنطقي المبرمج ويدعى CPLD يستخدم الوصل المنطقي لربط مكونات اللوحة مع بعضها .

تتضمن الـ DSK(4) ثنائيات ضوئية LEDs و (4) مفاتيح DIP للمستخدم.

يمكن الوصول إليها بالكتابة والقراءة على سجلات الـ CPLD .

وحدة تغذية (5v) تستخدم لتغذية اللوحة .

منظم جهد مهمته تقسيم الجهد إلى – 1.26 v جهد نواة الـ DSP

– 3.3 v وحدات الدخل والخرج .

تحافظ اللوحة على وضعية Reset خلال عملية التهيئة .

برنامج الـ Code Composer يتواصل مع الـ DSK عبر موائم JTAG بواسطة مدخل USB .

ويمكن أيضاً للـ DSK أن تستخدم مع موائم خارجي عبر وصلة JTAGالخارجية.

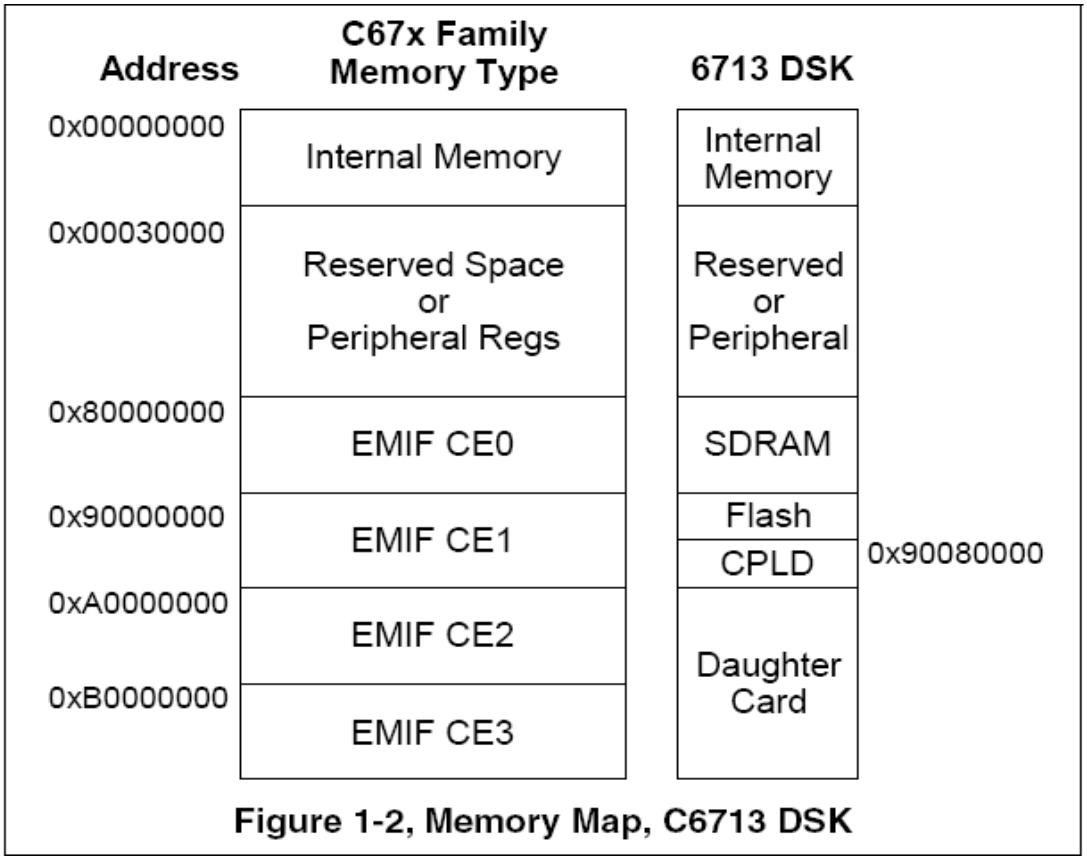
خريطة الذاكرة Memory Map:

سعة عناوين الذاكرة 32 bit.

حيث تشغل EMIF أربع مواقع من الذاكرة (CE0–CE3)

تحتل الـ SDRAM الموقع CE0 بينما تحتل الـ FLASH و الـ CPLD الموقع CE1 .

وتخدم الـ CE2 و CE3 بشكل عام الوصلات الإضافية .



الشكل (٣–٩): خريطة الذاكرة Memory Map.

التغذية :

هناك ثلاث نقط لفحص الطاقة JP1 و JP2 و JP4 .

تمر كل تيارات الدخل والخرج عبر JP2 ، بينما تمر تيارات النواة عبر JP1 .

أما بالنسبة لتيارات النظام ككل فهي تمر عبر JP4 .

٣-٣-١ المكونات الأساسية في لوحة الـ TMS320C6713 :

٣-٣-١-١ الجهاز المنطقي المبرمج (CPLD) :

يستخدم لصياغة :

١- أربع سجلات (حالة/تحكم) تسمح بالتحكم بالعديد من مكونات اللوحة .

٢- التحكم بواجهة البطاقة الإضافية والإشارات .

٣- وصل منطقي يربط مكونات اللوحة مع بعضها .

- CPLD يسمح للـ DSK بتنفيذ أو صياغة وظيفة محددة ، حيث تقوم (CPLD) بوظائف منطقية بسيطة تجنب من استخدام أجهزة خارجية إضافية .

وتولد CPLD إشارة إعادة تهيئة عامة (Reset) وذلك بجمع إشارات إعادة التهيئة (Reset) المختلفة القادمة من زر الـ Reset ومن منظم الطاقة .

الدارة المتكاملة للـ CPLD في الـ C6713DSK هي EPM3128TC100-10 وتعمل عند جهد 3.3V .

- سجلات الـ CPLD :

هي عبارة عن ٤ سجلات تسمح للمستخدم بالقيام بوظائف تحكم برمجية وتستخدم بشكل رئيسي للتحكم بالـ LEDs ومفاتيح DIP بواجهة البطاقة الإضافية (daughter card) ، وموقع هذه السجلات على خريطة الذاكرة يبدأ عند EMIF CE1 بالعنوان (01x90080000) ، وهي عبارة عن سجلات 8bit وبذاكرة متزامنة بسيطة .

- سجلات المستخدم :

تستخدم لقراءة حالة المفاتيح DIP الأربعة وإطفاء وتشغيل الثنائيات الأربعة (LEDs) التي تسمح للمستخدم بالتفاعل مع الـ DSK .

البتات الأربعة العليا للسجل تحدد حالة مفاتيح DIP بينما تحدد البتات الأربعة الدنيا حالة الـ LEDs.

- سجلات DC-REG (سجل البطاقة الإضافية):

تستخدم للمراقبة والتحكم بالسطح البيني للمحط الإضافية .

- version Reg :

يقوم بتحديد نسخة إصدار اللوحة و الـ CPLD .

- MISC Reg :

يستخدم لتزويد تحكم برمجي بالعديد من الوظائف ، حيث يتحكم بكيفية جلب الإشارات المساعدة إلى وصلات البطاقة الإضافية .

٣-٣-١-٢ AIC23 Codec :

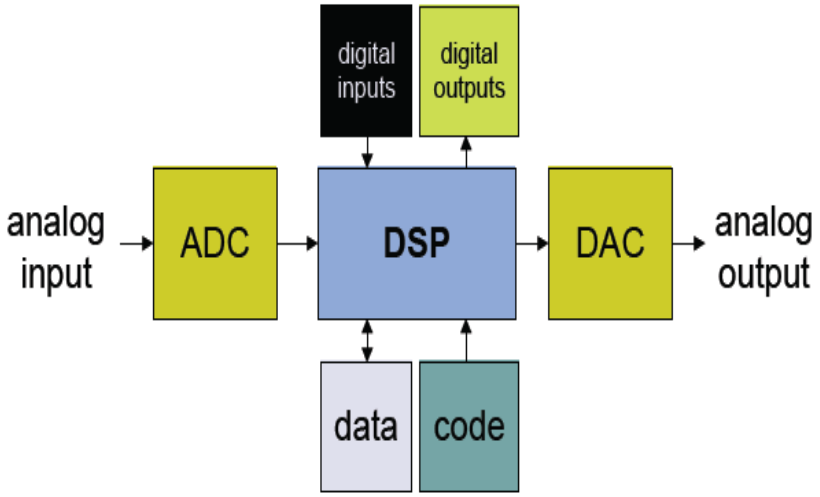
مرمز ستريو من أجل إشارات الدخل والخرج الصوتية .

المرمز Codec يأخذ عينات الإشارة التماثلية من الميكروفون أو من خط الدخل ويحولها إلى بيانات رقمية حتى تستطيع الـ DSP معالجتها .

وعندما ينتهي الـ DSP من معالجة البيانات يستخدم الـ Codec لتحويل العينات من جديد إلى إشارة تماثلية .

المرمز يحقق الاتصال باستخدام قناتين تسلسليتين ،إحداهما للتحكم في سجل التهيئة الداخلي للـ Codec والآخر لإرسال واستقبال العينات الصوتية الرقمية .

يعمل الـ Codec بتردد 12MHz.



الشكل(٣-١٠):المرمز codec

٣-٣-١-٣ SDRAM :

تستخدم ال DSK ذاكرة وصول مباشر متزامنة (SDRAM) بسعة 120 Mbit موقع ال SDRAM على خريطة الذاكرة يبدأ من CE0 عند عنوان (0X80000000) حجم الذاكرة المتاحة 16Mbit.

٣-٣-١-٤ ذاكرة Flash :

هي الذاكرة التي لا تفقد مكوناتها عند إطفاء التغذية و عند قراءتها تبدو كذاكرة ROM متزامنة تستخدم ال DSK ذاكرة Flash داخلية بسعة 512 Kbyte موقعها على خريطة الذاكرة يبدأ عند CE1 من العنوان (0X90000000) .

٣-٣-١-٥ مفاتيح ال DIP و الثنائيات الباعثة للضوء (LEDS):

تحتوي ال DSK أربعة ثنائيات ضوئية يمكن التحكم بها برمجياً و أيضاً أربع مفاتيح DIP (SW1) و التي تزود المستخدم بمعلومات بسيطة عن الدخل و الخرج حيث تمثل مفاتيح ال DIP الدخل الرقمي و ال LEDS تعبر عن الخرج الرقمي و كل منهما يمكن التحكم به عن طريق مسجل المستخدم الموجود في ال CPLD.

٣-٣-١-٦ واجهة البطاقة الإضافية (Daughter Card Interface) :

تزودنا لوحة ال DSK بثلاث وصلات توسع تمكننا من ربط البطاقات الإضافية

هذه الوصلات التوسعية هي من أجل - الذاكرة .

- الطرفيات .

- واجهة بوابات إضافية HPI .

*HPI (HOST Port Interface) واجهة عالية السرعة تمكن من ربط عدة معالجات رقمية (DSPs) لتنفيذ مهمة محددة .

٣-٤ نظرية اتخاذ القرار:

٣-٤-١ مقدمة :

ندرس في هذا الفصل نظرية اتخاذ القرار من وجهة نظر رياضية (دراسة احصائية) كون هذه النظرية هي أساس كل من عملتي فك التعديل وفك الترميز وكون أداء أي نظام اتصالات رقمي يعتمد بشكل مباشر على اتخاذ القرار.

يتم تصنيف مسائل الإحصاء الرياضي بحسب نوعية القرارات المطلوبة :

لدينا مسألة تقدير عندما المطلوب إيجاد تابع لتقدير الملاحظة x.

ولدينا مسألة اختبار فرضيات عندما يكون فضاء الاختبار مكوناً من قيمتين .

ولـدينا أيضـاً مسـألة تصـنيف المعطيـات عنـدما يكـون الفضـاء مكونـاً مـن عـدد محـدود مـن الاختبارات.

٣-٤-٢ نظرية التقدير :

نظريـة التقـدير هـي مسـألة قـرار إحصـائي، والقـرار الإحصـائي هـو إيجـاد تـابع $T : x \to \Delta = \Theta$ نسـميه مقـدر للمقـدار $\tau(\theta)$ أي لكـل ملاحظـة x يـربط التـابع T المقدار T(x) نسميه تقديراً لـ $\tau(\theta)$ ونسمي T المقدر.

ومن أهم نظريات التقدير المستخدمة هي طريقة Bays في نظرية التقدير :

٣-٤-٢-١ طريقة Bays :

لنفتـرض أنـه لـدينا مسـألة تقـدير وسـيط θ اعتمـاداً علـى ملاحظـات (x=(x1,……,xn مـن كثافة $p_\theta(x)$ أي $p_\theta(x) = p_\theta(x_1), p_\theta(x_2), ..., p_\theta(x_n)$.

ولـدينا تـابع الخسـارة $L(\delta,\theta)$ ومقـدر T(x) ، وأيضـاً لـدينا توزيـع مبـدئي لـه كثافـة $\Pi(\theta)d\theta$.

لإيجاد حل Bays في هذه الحالة نريد تعيين $T(.) = T_\pi(.)$ بحيث :

$$R(\pi,T_\pi) = \int R(\theta,T_\pi)\Pi(\theta)d\theta = \iint \left(L(\theta,T_\pi(x))p_\theta(x)dx\right)\Pi(\theta)d\theta$$

فـي هـذه الحالـة مقـدر Bays هـو مقـدر يتعلـق بـ π بحيـث يجعـل المقـدار $\iint \left(L(\theta,T_\pi(x))p_\theta(x)dx\right)\Pi(\theta)d\theta$ أصغرياً.

فـإذا نظرنـا إلـى $p_\theta(x)$ علـى أنهـا كثافـة شـرطية لـ π مشـروطة بقيمـة معينـة θ و $\Pi(\theta)$ كثافـة لـ θ فـإن : $p_\theta(x)\Pi(\theta)$ تصـبح كثافـة مشـتركة لـ (x,θ) وبالتـالي نسـتطيع تعريف كثافة شرطية لـ θ مشروطة بـ x : $p_\theta(x)\Pi(\theta) = g(x)h_x(\theta)$.

عندئـذ إذا أمكـن اختيـار T بحيـث مـن أجـل كـل قيمـة لـ x يكـون المقـدار $\int L(\theta,T(x))h_x(\theta)d\theta$ أصـغرياً فـإن هـذا المقـدر T هـو مقـدر Bays . أي أنـه لإيجـاد مقـدر Bays نبحـث عـن القيمـة الصـغرى للمقـدار $\int L(\theta,T(x))h_x(\theta)d\theta$ من أجل كل x.

أما طرق التقدير فهناك عدة طرق نذكر أهمها :

١. **طريقــة التوقعــات العظمــى :** فــي هـذه الطريقـة نفتـرض أنــه لـدينا ملاحظـات x1,....xn من توزيع له كثافة $p_\theta(x)$ ، ونعرف التوقع

$$L(x,\theta)=L(x_1,....,x_n,\theta_1,....,\theta_d)=\prod_1^n p_{\theta_{\theta_1,....,\theta_d}}(x)$$

بالتالي لتقدير θ نختارها بحيث يكون $\theta \to L(x,\theta)$ أعظمياً.

ويمكــن اســتعمال طــرق الاشــتقاق لإيجــاد هــذه القيمــة العظمــى، حيــث عــادة نأخــذ لوغاريتم التوزيع ونحسب أكبر قيمة للوغاريتم.

$$\log\left(L(x,\theta)\right)=\log\left(\prod_1^n p_{\theta_{\theta_1,....,\theta_d}}(x)\right)=\sum_1^n \log p_\theta(x_i)$$

$$\frac{d}{d\theta_1}\left(\sum_1^n \log p_\theta(x_i)\right)=0$$

.

.

.

$$\frac{d}{d\theta_d}\left(\sum_1^n \log p_\theta(x_i)\right)=0$$

وبالتالي نحصل على مجموعة من d معادلة تسمح بحساب المقدرات $\hat{\theta}_1,\hat{\theta}_2,....,\hat{\theta}_d$.

٢. **طريقــة العــزوم :** فــي هـذه الطريقـة أيضـاً نفتـرض أنــه لـدينا ملاحظـات x1,....xn مـن توزيــع لــه كثافــة $p_\theta(x)$ ونحســب المقــدار $E_\theta(x^k)$ الـذي يمثـل العـزم النظـري مـن أجل k=1,2,....,d حيث d هو بعد θ .

ثــم نحســب العــزوم التجريبيــة $\frac{1}{n}\sum_1^n x_i^k$ مــن أجــل قــيم k=1,2,...,d وبعــدها نكتــب العلاقات:

$$E_\theta\left(x^{\,k}\right)=\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}x_i^{\,k}$$

ونحصل بالتالي على d معادلة لتعيين θ.

٣-٤-٣ اختبار الفرضيات :

نهتم في العديد من المسائل باتخاذ قرار فيما إذا كان $\theta\in\Theta_0$, $\theta\in\Theta_1$ وذلك اعتماداً على ملاحظة x.

أي أننا نفترض وجود قرار مكون من قيمتين $\Delta=\{\delta_0,\delta_1\}$ بحيث يكون :

$$\theta\in\Theta_0 \qquad L_{\theta_0}(\delta_0)=0$$
$$\theta\in\Theta_1 \qquad L_{\theta_1}(\delta_1)=0$$

ونقول إن الفرضيات بسيط مقابل بسيط إذا كان $\Theta_1=\{\theta_1\}$, $\Theta_0=\{\theta_0\}$.

- في حالة فرض بسيط مقابل فرض بسيط : نعبر عن هذه المسألة باننا نريد اختبار الفرض H_0 : $\theta=\theta_0$ مقابل الفرض H_1 : $\theta=\theta_1$ اعتماداً على الملاحظة x ناتجة من كون

$$p_\theta=p_{\theta_0} \quad or$$
$$p_\theta=p_{\theta_1}$$

وترتيب الفرضيات هام في هذه الصياغة، أي أنه لدينا فراغ X هو فراغ الملاحظات ولدينا احتمالين $p_{\theta_0}, p_{\theta_1}$ ونريد أن نحدد منطقة في X بحيث إذا وقعت الملاحظة في x نفضل δ_0 أي نختار الفرض H_0 على الفرض H_1 .

وإذا وقعت الملاحظة في المتممة فإننا نفضل δ_1 أي نختار الفرض H_1 مقابل الفرض H_0 .

- اختيار المنطقة التي نسميها المنطقة الحرجة لرفض الفرض H_0 يجب أن يتم قبل أخذ العينة.
- نسمي منطقة الملاحظات التي إذا وقعت الملاحظة x فيها نرفض الفرض H_0 بالمنطقة الحرجة لـ H_0 .

- ونسمي المنطقة المتممة التي إذا وقعت الملاحظة فيها نرفض الفرض H_1 بالمنطقة الحرجة لـ H_1 .
- إذا كان احتمال وقوع الملاحظة في المنطقة الحرجة لـ H_0 إذا كان الفرض H_0 صحيح هو $p_{\theta_0}(c_0)$.
- وإذا كان احتمال وقوع الملاحظة في المنطقة الحرجة لـ H_1 إذا كان الفرض H_1 صحيح هو $p_{\theta_1}(c_0^c)$.

فإن هناك إمكانيتين للوقوع في الخطأ :

١. حالة الطبيعة هي θ_0 ولكن وقعت الملاحظة في C_0 احتمالها ضعيف بالنسبة لـ p_{θ_0}.

٢. حالة الطبيعة هي θ_1 ولكن وقعت الملاحظة في C^c_0 احتمالها ضعيف بالنسبة لـ p_{θ_1}.

ونريد أن يكون احتمال كل من الفرضين صغير وهذا مستحيل إذا صغر أحدهما كبر الآخر.

لذلك نختار عتبة $\propto$ ولا نقبل منطقة حرجة إلا إذا كانت تحقق $p_{\theta_0}(c_0) \le \alpha$.

ومن أجل $\propto$ صغيرة نحاول من بين جميع المناطق الحرجة التي تحقق الشرط اختيار المنطقة التي تجعل الخطأ الآخر $p_{\theta_0}(c_0^c)$ أصغرياً.

ومبرهنة Neyman–Person تعطي الشرط الكافي لتكون المنطقة الحرجة C^* هي المنطقة المثلى.

مبرهنة Neyman–Person :

إذا وجد منطقة C^* لاختيار الفرض H_0 مقابل H_1 ، وإذا كانت $p_{\theta_0}(c^*) = \alpha$ و :

$$\forall x \in C^* \quad : \frac{p_{\theta_1}(x)}{p_{\theta_0}(x)} \ge k$$

$$\forall x \in (C^*)^c \; : \frac{p_{\theta_1}(x)}{p_{\theta_0}(x)} \le k$$

فإن C^* هي المنطقة الحرجة المثلى بمفهوم Neyman–Person التي تحقق :

$$\sup_{\theta_1}(C) = p_{\theta_1}(C^*) \quad , \quad p_{\theta_0}(C) \le \alpha$$

أي إذا أمكن تحديد k بحيث : $p_{\theta_0}\left\{x : \frac{p_{\theta_1}(x)}{p_{\theta_0}(x)} \ge k\right\} = \alpha$ ،

فإن $C^* \underset{def}{=} \left\{x : \frac{p_{\theta_1}(x)}{p_{\theta_0}(x)} \ge k\right\}$ هي المنطقة الحرجة المثلى لـ H_0 بعينة قدرها $\propto$.

خوارزميات التعرف الآلي على التعديل والترميز

٤ – ١ مقدمة:

يعج الفضاء بإشارات اتصالات ذات أنواع تعديل مختلفة وذات ترددات مختلفة تقع في مجال عريض جداً(كالترددات العالية والترددات العالية جدا).

وتبرز الحاجة لتحديد ومراقبة هذه الإشارات في الكثير من التطبيقات المدنية والعسكرية على حد سواء.

ويفيد التعرف على التعديل modulation recognaition في نواح اتصالية عديدة نذكر منها كشف الإشارات وتحديد القنوات والملاحقة .

تعود أهمية التعرف على التعديل في الكثير من التطبيقات إلى أسباب عديدة منها :

تخريب محتوى معلومات الإشارة جزئياً أو كليا عند تطبيق الإشارة على كاشف تعديل غير ملائم ، والمساعدة في التعرف على التهديد ، وتحديد شكل موجة التشويش المناسبة ، والحفاظ على الأمن الوطني .

٤ – ٢التعرف على التعديل الرقمي The Digital Modifications Recognition:

اقترح NANDI & AZZOZ خوارزمية تعرف آلية على التعديلات الرقمية حتى أربع مستويات (ASK2 ,ASK4 , FSK2 , FSK4 ,PSK2 ,PSK4)

إن عملية التعرف على التعديل الرقمي يضم خطوتين رئيسيتين:

أولاً: قبل المعالجة Pre-processing: وتتمثل المهمة الرئيسية من وجهة نظر التعرف على التعديل في عزل وتجزئة الإشارة The signal isolation & segmentation

- عزل الإشارة The signal isolation : إشارة واحدة فقط مطلوبة من بين جميع الإشارات الموجودة في مجال التردد.
- تجزئة الإشارة The signal segmentation: يجب اختيار طول الجزء the segment length بحيث تحقق تجنب آثار خفوت التعديل والسماح باستحصال محددات مميزة جيدة من كل جزء.

ثانياً : تصنيف التعديل The modulation classification:

إن هذه الخوارزمية المقترحة شبيهة بخوارزمية التعرف الآلي على التعديل التماثلي لكن بدلاً من أخذ القرار حول نمط التعديل من جزء واحد one segment ، يكون القرار هنا مستمد من m جزء M segments من الإشارة المُعترَضة وتتكون هذه الخطوة من خطوتين أساسيتين:

١- تصنيف كل جزء classification of each segment : والتي فيها تحسب الخصائص الرئيسية Key features وتقارن مع قيم عتبات مناسبة.

٢- تصنيف إطار الإشارة Classification of a signal frame.

١- تصنيف كل جزء classification of each segment :

في خوارزمية التعرف الآلي على التعديل الرقمي the Digital Modulations Recognition Algorithm (DMRA) يتطلب التمييز بين الأنماط المختلفة للتعديل الرقمي المعتمد على كل جزء حساب المحددات المميزة وتصنيف التعديل.

أ- حساب المحددات المميزة Key features extraction:

تم الفصل بين التعديلات بالاعتماد على المحددات المميزة للإشارة والتي اشتقت من:

١-المطال اللحظي :instantaneous amplitude $a(i)$

وهو القيمة اللحظية لمطال الإشارة :

$$a(i)=\text{abs}(y(i)) \quad \ldots\ldots(4-1)$$

المطال اللحظي المنسوب normalized instantaneous amplitude $a_n(i)$

$$a_n(i)=a(i)/\text{mean}(a(i)) \quad \ldots\ldots(4-2)$$

المطال اللحظي المركزي المنسوب

centered normalized instantaneous amplitude $a_{cn}(i)$

$$a_{cn}(i)=[a(i)/\text{mean}(a(i))]-1 \quad \ldots\ldots(4-3)$$

٢-الطور اللحظي غير الخطي Nonlinear Instantaneous Phase

للطور اللحظي مركبتين :

_مركبة خطية (ناتجة عن الموجة الحاملة) $\emptyset_L(i)$

_مركبة غير خطية (ناتجة عن إشارة التعديل(المعلومات) $\emptyset_{NL}(i)$

يهمنا المركبة غير الخطية ويتم الحصول عليها بطرح المركبة الخطية للطور من الطور الكلي $\emptyset(i)$

وفق العلاقات التالية :

$$\emptyset(i) = \arg\big(y(i)\big) \qquad \ldots\ldots(4\text{-}4)$$

$$\emptyset_L(i) = w_c t \rightarrow \emptyset_L(i) = \frac{2\pi f_c}{f_s}\, i \quad \ldots\ldots(4-5)$$

$$\emptyset_{NL}(i) = unwrap\big(\emptyset(i)\big) - \frac{2\pi f_c}{f_s}\, i \quad \ldots\ldots(4-6)$$

٣-التردد اللحظي Instantaneous Frequency:

التردد اللحظي يعطى بالعلاقة :

$$f(t) = \frac{1}{2\pi}\frac{d\emptyset(t)}{dt} \quad \ldots\ldots(4-7)$$

وهو تغيرات الطور اللحظي:

$$f(i) = diff(\emptyset_{NL}(i)\,) \quad \ldots\ldots(4\text{-}8)$$

المحددات المميزة التي تم استخدامها لتمييز نوع التعديل:

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

ويعطى $\gamma_{\max}$ بالعلاقة :

$$\gamma_{max} = max|DFT(a_{cn}(i))|^2/NS \qquad \ldots\ldots(4\text{-}9)$$

NS: عدد العينات في الإطار الواحد.

ويحسب المطال اللحظي المركزي المنسوب $a_{cn}(i)$ باستخدام العلاقة (4-3).

إن استخدام المطال اللحظي المنسوب ضروري لتعويض ربح القناة .

٢ -الإنحراف المعياري للمركبة الطورية غير الخطية المركزية بالقيمة المطلقة وفوق عتبة محددة :

ويعطى σ_{ap} بالعلاقة :

$$\sigma_{ap} = \sqrt{\frac{1}{NS}\left(\sum_{a_{n(i)}>a_t} \emptyset_{NL}(i)^2\right) - \left(\frac{1}{c}\sum_{a_{n(i)}>a_t}|\emptyset_{NL}(i)|\right)^2} \quad \ldots\ldots(4\text{-}10)$$

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

$\emptyset_{NL}(i)$ المركبة غير الخطية للطور وتحسب من العلاقة (4-6).

٣-الإنحراف المعياري للمركبة الطورية غير الخطية المركزية بالقيمة المباشرة وفوق عتبة محددة:

ويعطى σ_{dp} بالعلاقة :

$$\sigma_{dp} = \sqrt{\frac{1}{NS}\left(\sum_{a_{n(i)}>a_t} \emptyset_{NL}(i)^2\right) - \left(\frac{1}{c}\sum_{a_{n(i)}>a_t} \emptyset_{NL}(i)\right)^2} \quad \ldots(4-11)$$

$\emptyset_{NL}(i)$ المركبة غير الخطية للطور وتحسب من العلاقة (6-4).

ويحسب المطال اللحظي المركزي المنسوب $a_{cn}(i)$ باستخدام العلاقة (3-4).

NS:عدد العينات في الإطار الواحد.

٤-الإنحراف المعياري للمطال اللحظي المركزي المنسوب بالقيمة المطلقة :

ويعطى σ_{aa} بالعلاقة :

$$\sigma_{aa} = \sqrt{\frac{1}{NS}(\sum a_{cn}(i)) - (\frac{1}{NS}\sum|a_{cn}(i)|)^2} \quad \ldots\ldots(4-12)$$

ويحسب المطال اللحظي المركزي المنسوب $a_{cn}(i)$ باستخدام العلاقة (3-4).

NS: عدد العينات في الإطار الواحد.

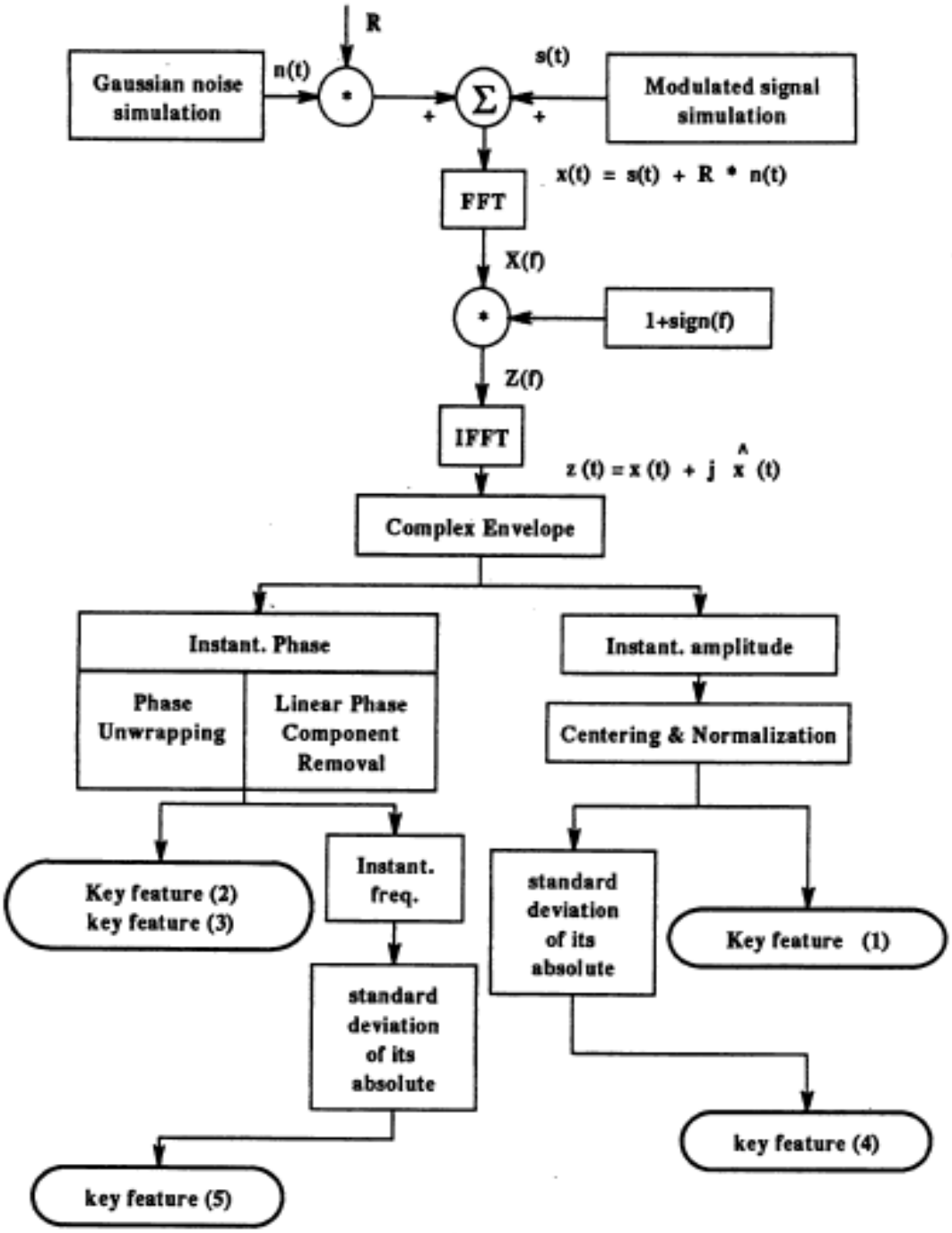
٥-الإنحراف المعياري للتردد اللحظي المركزي المنسوب بالقيمة المطلقة فوق عتبة محددة :

ويعطى σ_{af} بالعلاقة :

$$\sigma_{af} = \sqrt{\frac{1}{NS}(\sum_{a_{n(i)}>a_t} \mathrm{f}_{cn}(i)^2) - (\frac{1}{c}\sum_{a_{n(i)}>a_t}|\mathrm{f}_{cn}(i)|)^2} \quad \ldots\ldots(4-13)$$

NS:عدد العينات في الإطار الواحد.

$\mathrm{f}_{cn}(i)$ التردد المركزي المنسوب.

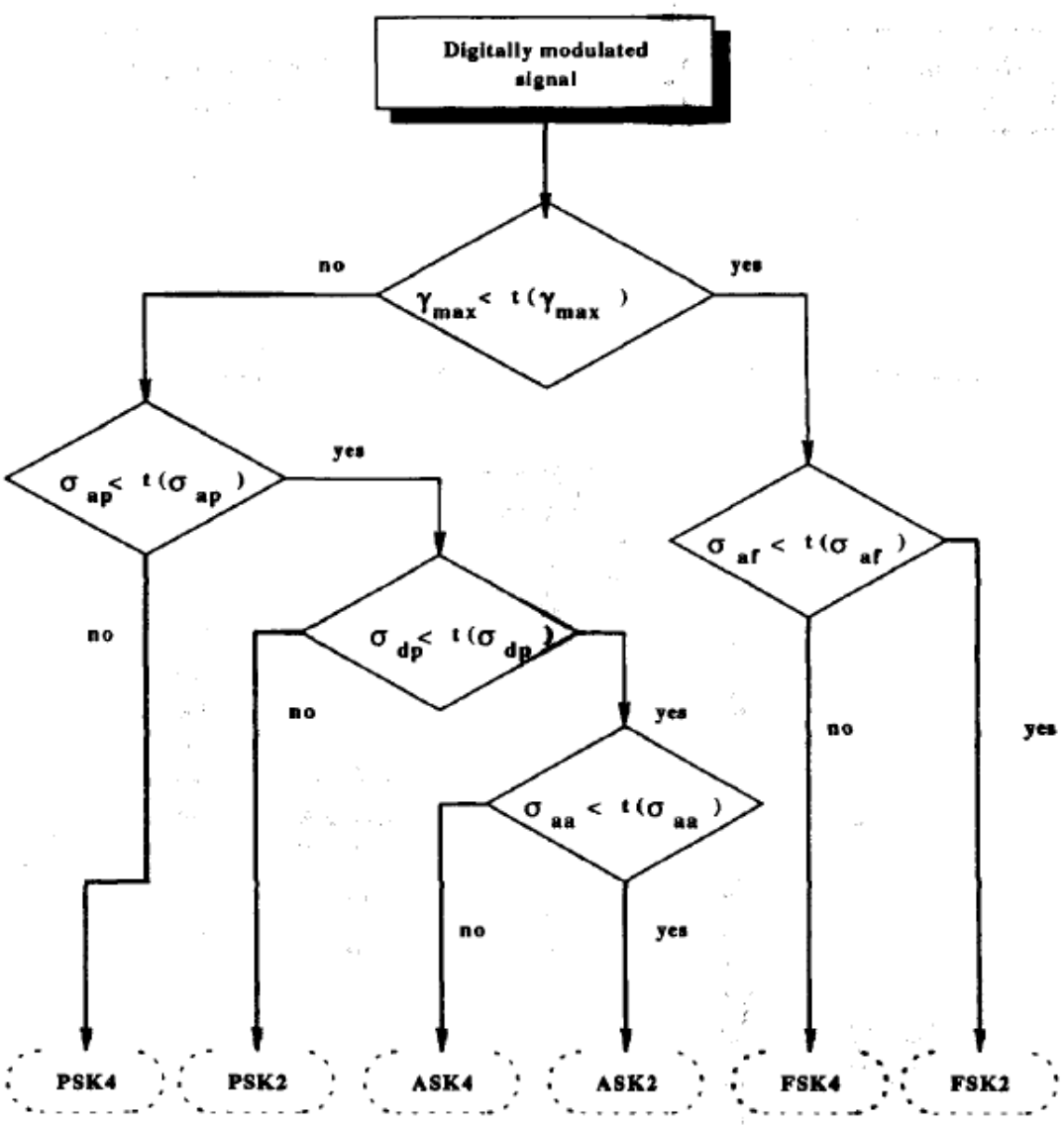


الشكل (٤-١): خوارزمية استحصال المحددات المميزة

ب-إجراءات تصنيف التعديل Modulation classification procedure:

اعتماداً على المحددات المميزة التي حسبت سابقاً ، العديد من الخوارزميات يمكن أن تُطوَّر حسب تسلسل تطبيق هذه المحددات في خوارزمية التصنيف.

اعتمدت الخوارزمية التالية للتعرف على التعديل الرقمي .



الشكل (٤-٢): خوارزمية التعرف على التعديل الرقمي

إن تطبيق الخوارزمية المقترحة للتعرف على التعديل الرقمي يتطلب تحديد عتبات المحددات المميزة الخمسة ($t(\sigma_{af})$,$t(\sigma_{aa})$, $t(\sigma_{dp})$, $t(\sigma_{ap})$, $t(\gamma_{max})$ بالإضافة إلى عتبة المطال المنسوب $a_{t\ opt}$ العتبات المثالية للمحددات المميزة مستمدة من ٤٠٠ عينة لكل نمط تعديل عند SNR=10 dB و 20dB وقيمها على التوالي هي 0.4 , 0.25 , π/5 , π/5.5 , 4 . $a_{t\ opt}$=[0.9:1.05]

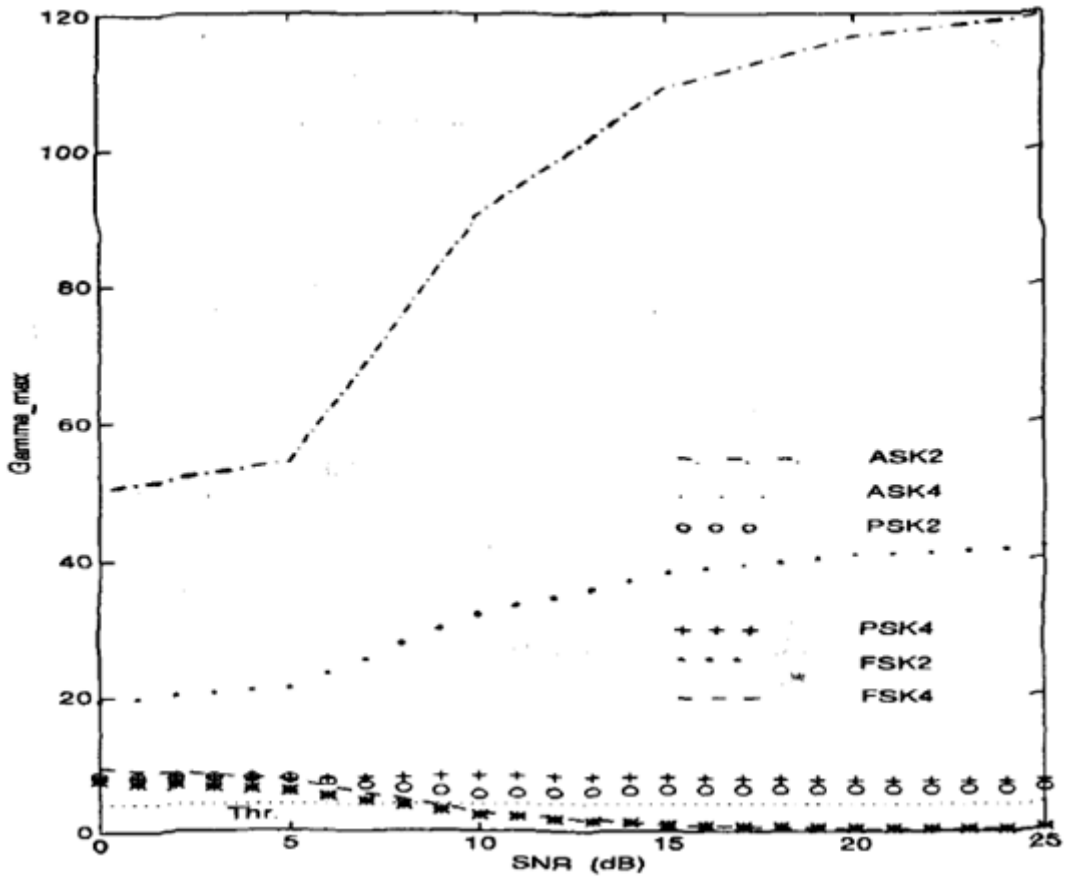
Key Features Thresholds	Optimum Value
$t(\gamma_{max})$	4
$t(\sigma_{ap})$	$\pi/5.5$
$t(\sigma_{dp})$	$[\pi/6.5\text{-}\pi/2.5]$
$t(\sigma_{aa})$	0.25
$t(\sigma_{af})$	0.4

الجدول (٤-١): العتبات المثالية للمحددات المميزة.

γ_{max} : يستخدم للتمييز بين FSK4 & FSK2 كمجموعة أولية و PSK2, ASK4, ASK2 PSK4, كمجموعة ثانوية وبما أن إشارتي FSK4 & FSK2 لها مطال ثابت فإن المطال اللحظي المركزي المنسوب لها يساوي الصفر لذلك تكون كثافة الاستطاعة الطيفية تساوي الصفر وهي لاتملك معلومات مطالية amplitude information بطبيعتها

(γ_{max}< t(γ_{max})) ، من ناحية أخرى تملك إشارتي ASK4, ASK2 معلومات مطالية

(γ_{max}≥ t(γ_{max})) بالإضافة لذلك فإن إشارتي PSK4, PSK2 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 ASK2,ASK4,PSK2,PSK4 والأخرى التي ليس لها معلومات مطالية FSK2,FSK4



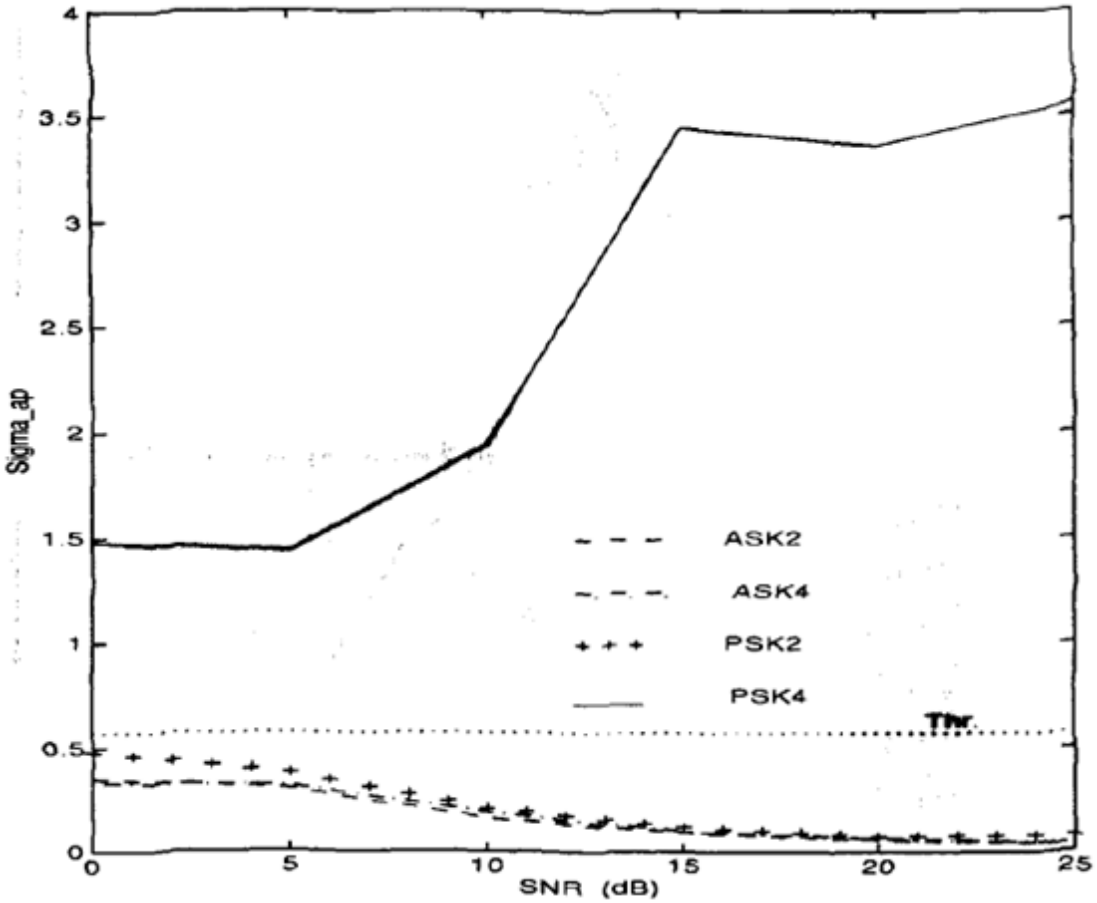
الشكل (٤-٣): علاقةγ_{max} مع SNR

يتضح من الشكل أن منحنيات FSK2,FSK4 عند SNR≥ 9 تقع تحت عتبة γ_{max} t(γ_{max})=4 ، بالإضافة إلى ذلك من أجل SNR>0 فإن منحنيات باقي الأنماط تقع فوق العتبة t(γ_{max})=4 .

σ_{ap} : يستخدم للتمييز بين ASK2,ASK4,PSK2 كمجموعة أولية و PSK4 كمجموعة ثانوية إن إشارتي ASK2,ASK4 ليس لها معلومات طورية بالقيمة المطلقة absolute phase information (σ_{ap}< t(σ_{ap})) بطبيعتها.

كذلك من الجيد معرفة أن القيمة المباشرة لطور إشارة PSK2 يأخذ القيم 0,π لذلك فإن القيمة المركزية المطلقة ثابتة وتساوي π/2 لذلك فهي لاتملك معلومات طورية بالقيمة المباشرة (σ_{ap}< t(σ_{ap}))

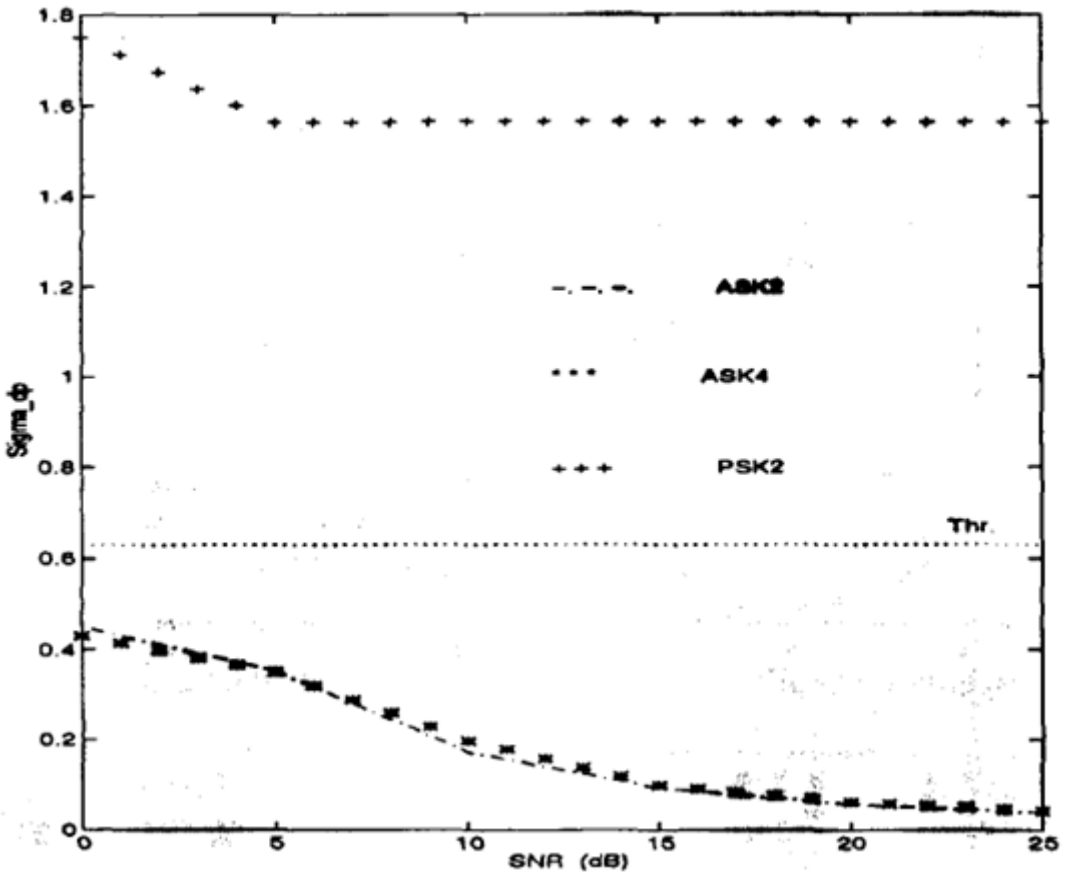
بالإضافة لذلك فإن إشارة PSK4 تملك معلومات طورية بالقيمة المباشرة والقيمة المطلقة (σ_{ap} ≥ t(σ_{ap})) بطبيعتها ، لذلك فإن هذا المحدد يمكن استخدامه للتمييز بين النمط الذي لديه معلومات طورية بالقيمة المطلقة(PSK4) والأنماط التي ليس لها (ASK2,ASK4,PSK2)



الشكل (٤-٤): علاقة σ_{ap} مع SNR

يتضح من الشكل أنه عند SNR>0 فإن منحنيات ASK2,ASK4,PSK2 تقع تحت مستوى العتبة $t(\sigma_{ap})=\pi/5.5$ ، بالإضافة لذلك فإنه عند SNR>0 يكون منحني PSK4 فوق العتبة.

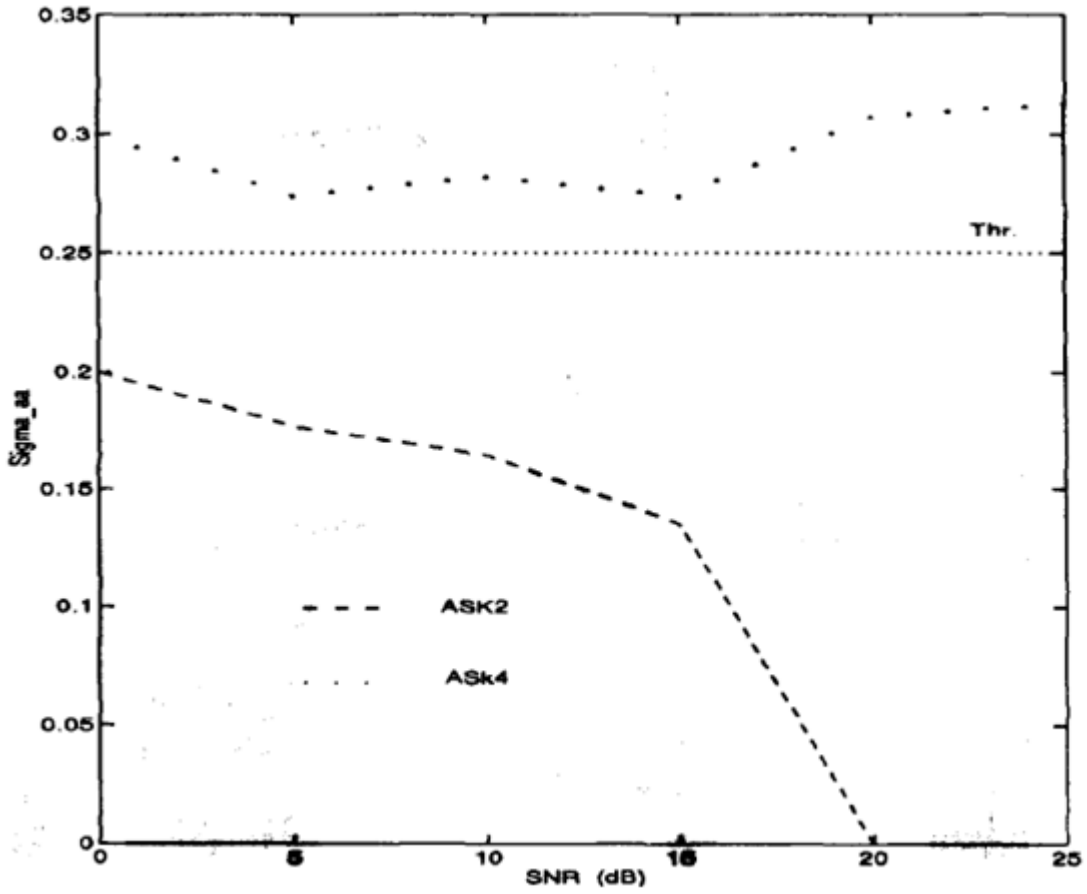
σ_{dp} : يستخدم للتمييز بين إشارات ASK2,ASK4 كمجموعة أولية وإشارة PSK2 كمجموعة ثانوية ، إن إشارتي ASK2,ASK4 لاتملك معلومات طورية بالقيمة المباشرة ($\sigma_{dp}< t(\sigma_{dp})$) بعكس إشارة PSK2 التي تملك معلومات طورية بالقيمة المباشرة ($\sigma_{dp} \geq t(\sigma_{dp})$) (حيث يأخذ الطور اللحظي القيم π, 0) لذلك يمكن استخدام هذا المحدد للتمييز بين النمط الذي يملك معلومات طورية بالقيمة المباشرة PSK2 والأنماط التي لاتملك معلومات طورية بالقيمة المباشرة ASK2,ASK4.



الشكل (٤-٥): علاقة σ_{dp} مع SNR.

يتضح من الشكل أنه عند SNR>0 فإن منحنيات ASK2,ASK4 تقع تحت مستوى العتبة $t(\sigma_{dp})=\pi/5$ ، بالإضافة لذلك فإنه عند SNR>0 يكون منحني PSK2 فوق العتبة .

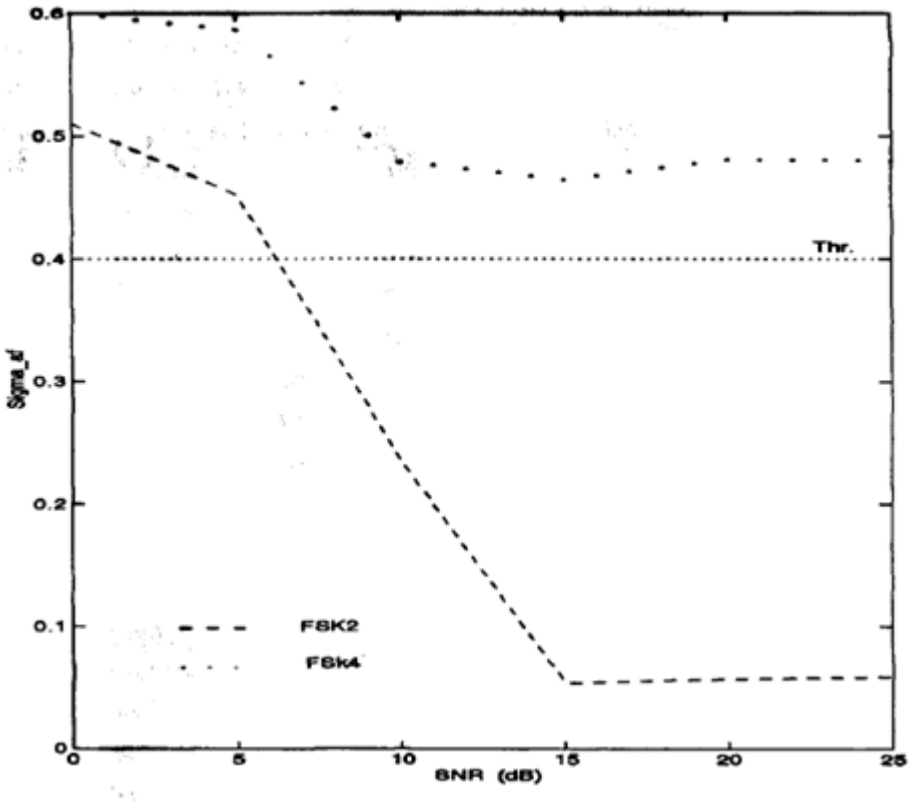
σ_{aa} : يستخدم للتمييز بين ASK2,ASK4 لأن المطال اللحظي المركزي المنسوب لإشارة ASK2 يتغير بين مستويين متساويين بالمطال ومتعاكسين بالإشارة لذلك فإن القيمة المطلقة للمطال اللحظي المركزي المنسوب ثابت وبالتالي فهي لاتملك معلومات مطالية بالقيمة المطلقة ($\sigma_{aa} < t(\sigma_{aa})$) ، من ناحية أخرى فإن 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 .



الشكل (٤-٦) : علاقة σ_{aa} مع SNR.

يتضح من الشكل أنه عند SNR>0 فإن منحني ASK2 يقع تحت مستوى العتبة $t(\sigma_{aa})=0.25$ ، بالإضافة لذلك فإنه عند SNR>0 يكون منحني ASK4 فوق العتبة .

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 لاتملك 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 .



الشكل (٤-٧) : علاقة σ_{af} مع SNR.

يتضح من الشكل أنه عند SNR>7 فإن منحني FSK2 يقع تحت مستوى العتبة t(σ_{af})=0.4 ، بالإضافة لذلك فإنه عند SNR>0 يكون منحني FSK4 فوق العتبة .

٢- تصنيف إطار الإشارة Classification of a signal frame.

اعتماداً على القرارات المأخوذة من M جزء من الرسالة يمكن اتخاذ القرار حول نمط تعديل إطار الإشارة.

٤-٣ الخوارزمية المقترحة للتعرف الآلي على التعديل باستخدام العزوم:

لتحسين نتائج الخوارزمية السابقة قمنا بإضافة بعض المحددات والتي كان لها دور بارز في الفصل حتى (SNR=9 dB) حيث أعطت نتائج مقبولة وهي:

١ - العزم المركزي الثالث للمطال اللحظي المركزي المنسوب (moment):

$$m=Moment(can(i),3)=E[(can(i))^3] \quad ....(4-14)$$

واستخدم بالنسبة للمطال اللحظي المركزي المنسوب وكان مفيداً لفصل psk4 عن بقية التعديلات . العتبة المثالية مستمدة من ٤٠٠ عينة لكل نمط تعديل عند SNR=10 dB و 20dB وقيمتها m=0.1

٢- العزم المركزي الرابع المنسوب للطور اللحظي غير الخطي (kurtosis) :

وهو يعبر عن انحراف قمة منحني التوزيع التكراري عن قمة المنحني التكراري المعتدل (الطبيعي) وهو في التوزيع الطبيعي يساوي ٣ وفي الغالب فإننا نطرح من القيمة المحسوبة ٣ فإذا كان الباقي صفر كانت البيانات طبيعية أو معتدلة أما إذا كانت القيمة أقل من ٣ كانت البيانات مفلطحة أما إذا كانت القيمة أكبر من ٣ فإن البيانات تكون مدببة.

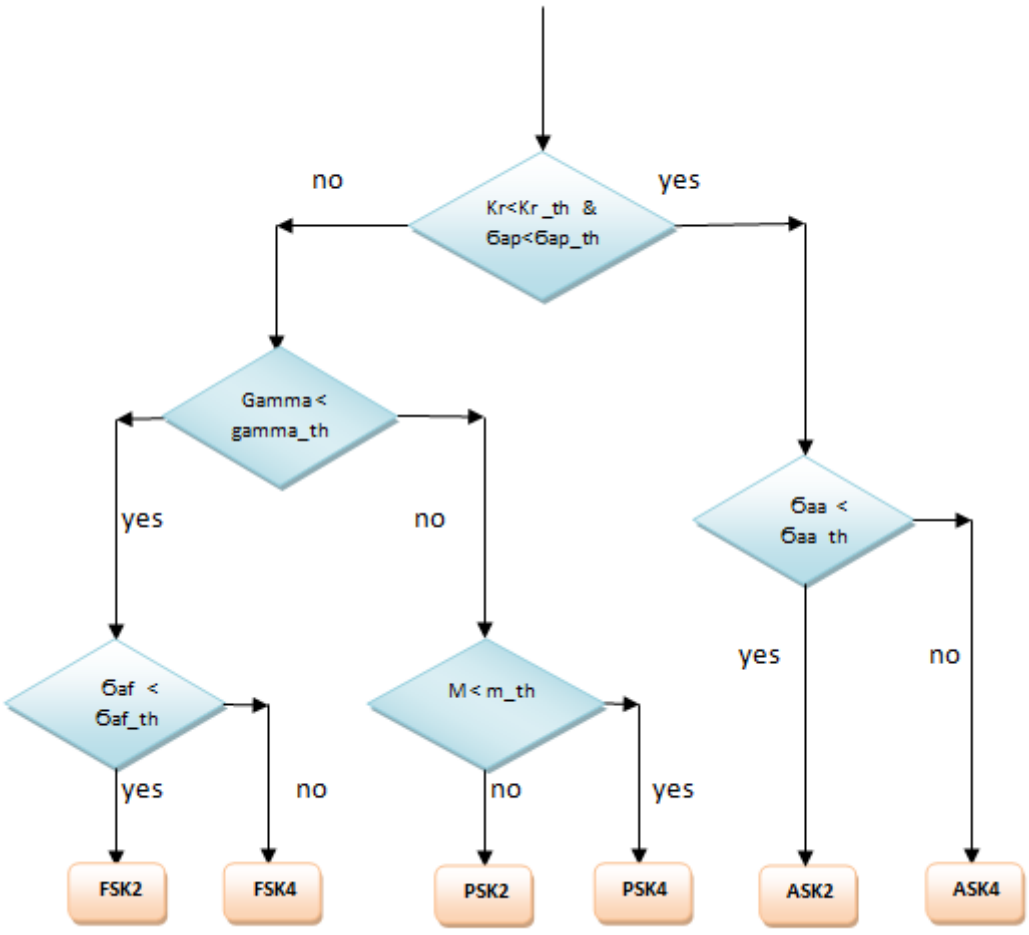
$$k = \frac{E[\emptyset_{NL}(i)^4]}{\sigma_x^4} \quad .....(4-15)$$

حيث تم استخدام هذا العزم بالنسبة للطور المركزي Kurtosis(phc1)

وكان استخدامه مفيداً لفصل التعديلات المطالية .

العتبة المثالية مستمدة من ٤٠٠ عينة لكل نمط تعديل عند SNR=10 dB و 20dB وقيمتها k=2.2

يبين الشكل التالي تحسين خوارزمية Azzouz and Nandi باستخدام العزوم.



الشكل (٤-٨): تحسين خوارزمية التعرف على التعديل الرقمي.

٤-٤ تصنيف المرمزات الكاشفة والمصححة للأخطاء :

١- **الترميز الصندوقي (الكتلي) Block coding** : تتم عملية كشف وتصحيح الأخطاء بتقسيم المعلومات إلى أقسام ، كل قسم يسمى كلمة وهناك نوعان للتراميز الصندوقية:

- **الترميز الزمري Group coding**: حيث تعتبر الكلمات هنا عبارة عن عناصر في الفراغ الشعاعي (أشعة) Vectors .
- **الترميز الدوري Cyclic coding** : حيث تعتبر الكلمات عبارة عن عناصر الجبر أي عبارة عن كثيرات حدود.

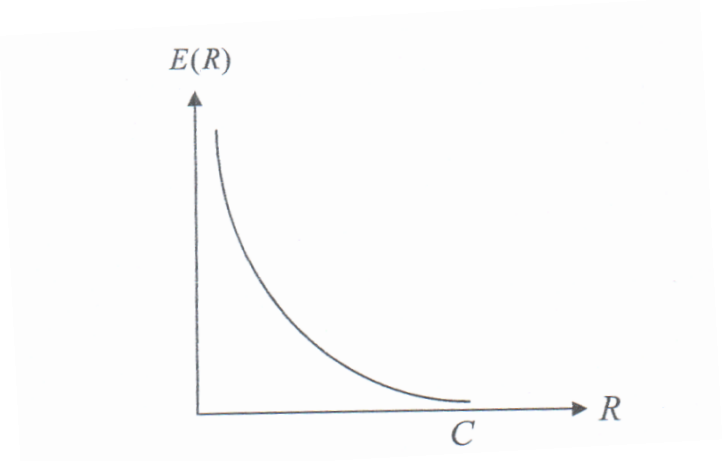
٢- **الترميز الإنطوائي Convlutional coding**: حيث معالجة الرموز تكون بشكل مستمر أي لاتجزأ إلى أقسام .

٤-٥ نظرية شانون للأقنية ذات الضجيج:

إذا كان لدينا منبع ذو معدل معلومات R bit/s وقناة ذات سعة C bit/s وإذا كان R<C فإنه يوجد ترميز طول الكلمة فيه n وباحتمالية خطأ لكاشف ترميز P_E $P_E \leq 2^{-nE(R)}$.

حيث : n طول الكلمة للمرمز.

E(R) دالة غير سالبة تسمى دالة أسية الأخطاء ولها الشكل التالي:



الشكل (٤-٩) : دالة أسية الأخطاء

هذه النظرية تشير إلى وجود ترميز لكن لا تبين كيف يتم تصميم هذا المرمز ولكن المهم في هذه النظرية بأنه مهما كان مستوى الضجيج في القناة فإنه يمكن إرسال باحتمالية خطأ صغيرة جداً ، وأدت هذه النظرية إلى تطور كبير في عالم الاتصالات.

عملياً في الحالة التي فيها R< (1/2) C فإنه يوجد مرمزات تعطي P_E بأقل قيمة ممكنة.

٤-٦ الترميز الزمري:

بما أن الكلمة تعتبر هنا عبارة عن شعاع فإن مركبات هذا الشعاع هي رموز الكلمة وقد سمي بالترميز الزمري على اعتبار أن الفراغ الشعاعي هو عبارة عن زمرة (حيث عملية الجمع والطرح داخلية) عملية الترميز هي إضافة رموز مراقبة (m رمز) إلى كلمة المعلومات (k رمز) للحصول على الكلمة المرمزة v وطولها n=m+k بحيث تتحقق العلاقة $2^m \geq n+1$ (m أصغر قيمة تحقق العلاقة) $2^m \geq m+k+1$

$$V=[\ a1\ a2\ \ldots\ldots a_m \quad a_{m+1}\ \ldots\ldots\ a_n\ ]$$

حيث : a_m ..... a1 a2 هي رموز المراقبة C و a_n ..... a_{m+1} هي رموز المعلومات i

في الترميز تتحقق العلاقة $H.v^T=0$

H: مصفوفة المراقبة (نوجدها بحيث إذا ضربناها بمنقول v ينتج الصفر)

T: منقول

وبما أن الرموز في النظام الثنائي فإن a_i هي عناصر في الحقل [0,1] ويرمز لهذا الحقل GF(2) فعملية الجمع والضرب من النموذج 2 هي على الشكل التالي :

x	0	1
0	0	0
1	0	1

+	0	1
0	0	1
1	1	0

٤-٦-١ تعيين الكلمات ذات المعنى :

نقول عن كلمات أنها ذات معنى إذا كانت كل كلمة تحتوي على معلومات صحيحة للمعلومات المرسلة وبالعكس .

فإذا كانت الكلمة مكونة من n رمز فإنه لدينا عدد الكلمات $N=2^n$ ، هذه الكلمات لها بنية الشعاع الفراغي ومجموعة الكلمات التي لها معنى تسمى الفراغ الشعاعي الجزئي $S=2^k$ ونشير إليها بـ V ، وإذا كافة الكلمات ذات معنى :

$$S=N=2^n$$

متوسط المعلومات في الكتلة الواحدة :

$$I= \log_2 n$$

ومتوسط المعلومات في الرمز (وهي القيمة العظمى) :

$$i_n = I/n=1 \text{ bit} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4-16)$$

إذا كانت جميع الكلمات لها معنى فإنه لاتوجد إمكانية لكشف وتصحيح الأخطاء التي تدخل في عملية الإرسال من خلال القناة ، حيث أنه في حال تعرض أي كلمة إلى خطأ فإنه ستنتج كلمة أخرى أيضاً لها معنى وبالتالي لايمكن معرفة إذا تم خطأ في الكلمة ، وحتى نتمكن من عملية كشف الخطأ وتصحيحه في الكلمة وذلك بعد معرفة الخطأ في الكلمة نقوم بالخطوة التالية : حيث يتم تقسيم مجموعة الكلمات W إلى مجموعتين جزئيتين V & F حيث الكلمات $N_i \in V$ لها معنى أي هي كلمات الترميز ونفترض عددهن $S=2^k$ حيث $k<N$ أما الكلمات $w_j \in F$ ليس لها معنى (أي لاتحتوي على معلومات) .

متوسط المعلومات المرسلة في الكلمة في هذه الحالة :

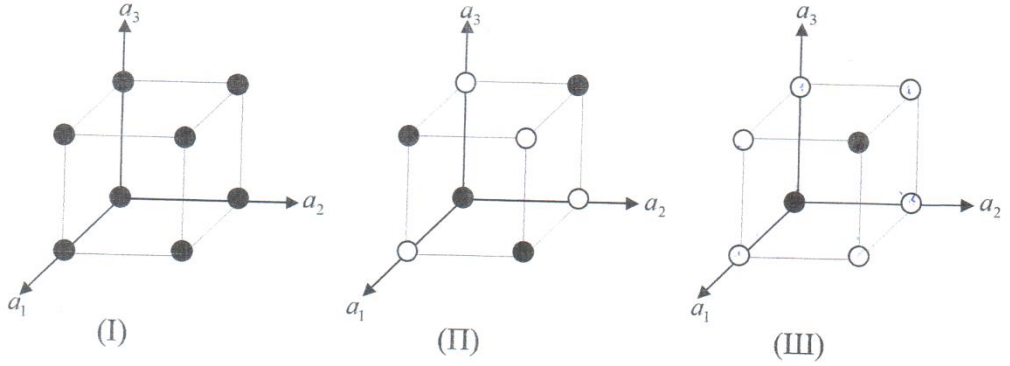
$$I= \log_2 S=k$$

أما متوسط المعلومات في الرمز فيكون :

$$i_k=k/n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4-17)$$

حيث i_k أصغر من i_n

في الشكل التالي نبين هندسياً عملية اختيار كلمات الترميز عندما $n=3$ حيث تمثل الدوائر السوداء الكلمات المرمزة التي لها معنى ، بينما تمثل الدوائر البيضاء الكلمات التي ليس لها معنى ،



الشكل (٤-١٠) : التمثيل الهندسي لعملية اختيار كلمات الترميز

في الحالة I جميع الكلمات لها معنى $N=2^3=8$ وبالتالي ظهور الخطأ لايمكن كشفه ، في الحالة II نختار $S=2^2=4$ الكلمات المرمزة فظهور الخطأ يؤدي إلى كلمة بدون معنى حيث يتم تغيير إحداثية واحدة ، إذاً يتم كشف الخطأ ولايمكن التصحيح .

أما في الحالة III نختار $S=2^1=2$ كلمات مرمزة وبالتالي ظهور الخطأ يمكن كشفه وتصحيحه، وسنشير فيما يلي إلى الكلمات المرمزة v_i أما الكلمات المستقبلة (التي تنتج عن v_i ولكن تختلف عنها بسبب وجود عملية الضجيج) v'_i :

$$v_i=[\ a_{i1}\ a_{i2}\ \ldots\ldots\ a_{in}]$$

$$v'_i=[a'_{i1}\ a'_{i2}\ \ldots\ldots a'_{in}]\ldots\ldots\ldots(4-18)$$

إذا كانت :

$$v'_i= v_i \rightarrow a'_{i1}= a_{i1}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ a'_{in}= a_{in}$$

ونستنتج بأنه لم يحدث خطأ أثناء عملية الإرسال والاستقبال.

٤-٦-٢ الكلمات كعناصر للفئات المتجاورة:

في مجموعة العناصر w للفراغ الشعاعي W (لها بنية زمرة) فعلى أساس قاعدة نحدد الفراغ الشعاعي V (الذي هو عبارة عن مجموعة من الفراغ الشعاعي الجزئي) وهذه العناصر $v\epsilon V$ لها معنى بالنسبة للفراغ يمكن تشكيل فئات متجاورة (الباقية) كمايلي :

أ- الفئة الأولى مشكلة من عناصر (الكلمات التي لها معنى) $v\epsilon V$ نبدأ بالعنصر صفر (ويختلف عن الصفر الثنائي في GF(2)) على اعتبار أنه مصفوفة من العناصر ذات الصفر.

ب-الفئة الثانية نختار عنصر أولي (واحدة من الكلمات بدون معنى ذو عدد أقل مايمكن من "1" وغير موجود في الفئة الأولى ونشير إليه ε_1

ت-تتشكل بقية العناصر من الفئة الثانية وذلك بالجمع ε_1 وعناصر الفئة الأولى:

0	v1	v2	$\ldots\ldots\ldots\ldots\ v_{s-1}$
$\varepsilon1$	$\varepsilon1+v1$	$\varepsilon1+v2$	$\ldots\ldots\ldots\ \varepsilon1+v_{s-1}$
$\varepsilon2$	$\varepsilon2+v1$	$\varepsilon2+v2\ \ldots\ldots\ldots\ \varepsilon2+v_{s-1}$	

$\ldots\ldots(4-19)$

وتستمر العملية حتى نحصل على جميع العناصر من المجموعة W حيث الفراغ الشعاعي معرف بالمعادلة :

$$v_i + \varepsilon_i = v_i' \in W \qquad \forall v_i \in V; \forall \varepsilon_j \in W$$

نلاحظ من الجدول السابق جميع الكلمات من W حيث في الصف الأول تكون الكلمات ذات المعنى وتتم عملية كشف الترميز على هذا الأساس وبمعرفة العمود الذي توجد فيه الكلمة المستقبلة يتم تحديد الكلمة المرسلة التي توجد في بداية العمود ولتبسيط ذلك نعتبر المجموعة W تحتوي على العناصر $2^3=8$ كلمة حيث $2^1=2$ هي كلمات لها معنى ، في هذه الحالة الفئات المجاورة نلاحظ من الجدول التالي :

000	111
001	110
010	101
100	011

١- إذا كانت الكلمة المستقبلة 100 نستنتج أن الكلمة المرسلة هي 000 ، أي أنه حصل خطأ في المكان الأول

٢- إذا استقبلنا الكلمة 101 نستنتج أن الكلمة المرسلة هي 111 وأنه حصل خطأ في المكان الثاني

٣- نلاحظ في العمود الأول بأن المكان الذي أصبح فيه خطأ هو "1" والرموز الباقية صفر

٤- هذا الترميز يستطيع تصحيح خطأ واحد في أي مكان كان

٥- الكلمات في العمود الأول تكون قريبة جداً من الكلمة في بداية العمود أكثر من أي كلمة أخرى في أي عمود آخر أو في نفس العمود

إن استخدام هذه الطريقة غير مجدية في حال كان عدد الكلمات المرسلة كبير جداً ، ولكن هذه الطريقة تساعدنا على فهم تقنية تصحيح الأخطاء.

٤-٦-٣ مسافة هامينغ:

في الفراغ الذي يحتوي على n كلمة ندخل مفهوم دالة المسافة $D(v_i , v_j)$ والتي تحقق مفهوم الفراغ المتري (القياس) وتعرف هذه الدالة : معادلة (20-4)

$$D(v_i, v_j) = (a_{i1} \oplus a_{j1}) + (a_{i2} \oplus a_{j2}) + \ldots\ldots\ldots\ldots + (a_{in} \oplus a_{jn})$$

حيث عملية الجمع تتم في الحقل GF(2) المحدود بعنصرين (0,1) : معادلة (4-21)

$$D(v_i, v_j) = \sum_{k=1}^{n} (a_{ik} \oplus a_{jk})$$

من العلاقة تعرف مسافة هامينغ بين كلمتين مرمزتين تساوي إلى عدد الرموز المختلفة بين هاتين الكلمتين عن بعضهما.

في المثال السابق ذو المكعبات في الشكل (D=1) a وفي الشكل (D=2) b وفي الشكل (D=3)c.

ينتج عن ذلك : تعتمد إمكانية كشف وتصحيح لترميز ما على المسافة الصغرى لكلمتين مرمزتين بحيث أنه لكشف e خطأ في أي مكان من الكلمة فإن المسافة الصغرى يجب أن تكون:

$$D_{min}=e+1 \quad .....(4-22)$$

ولتصحيح e خطأ في أي مكان تكون المسافة الصغرى:

$$D_{min}=2e+1 \quad .....(4-23)$$

إذا كانت المسافة بين الكلمات كبيرة ماعدا المسافة بين كلمتين صغيرة يكون من البديهي هنا تحديد عدد الأخطاء التي يمكن كشفها أو تصحيحها حيث خواص الكشف والتصحيح يجب أن تكون مضمونة لجميع الأشكال الممكنة لـ e خطأ.

ولتصحيح e خطأ وكشف d خطأ يجب أن تكون المسافة الصغرى :

$$D_{min}=2e+1+d \quad .....(4-24)$$

٤-٦-٤ كلمة الخطأ :

لفهم تقنية كشف وتصحيح الخطأ لابد من تحليل الأخطاء التي يجب كشفها وتصحيحها .

بشكل عام يمكن اعتبار الضجيج عبارة عن معامل L يقوم بتحويل من فراغ الكلمات المرمزة v_i (المرسلة ضمن القناة) إلى فراغ الكلمات v_i' (على مخرج قناة الإرسال):

$$L\{v_i\}=v_i' \quad .....(4-25)$$

يمكن لهذه العلاقة أن تكتب بشكل مبسط بحيث تعرف الكلمة الخاطئة لها نفس أحرف (رموز) الكلمة المرمزة v_i ونفس الطول n .

يمكن اعتبار كلمة الخطأ هي عبارة عن ضجيج القناة وبالتالي كلمة الخطأ يمكن أن تكتب على شكل مصفوفة :

$$\varepsilon = [\varepsilon 1 \quad \varepsilon 2 \ \ldots\ldots\ldots \ \varepsilon_n] \quad \ldots.(4-26)$$

حيث الرموز $(i = 1,2,\ldots\ldots,n)$ ε_i تأخذ القيم 0 أو 1 بحيث ε_i تأخذ القيمة 1 إذا كان الضجيج يدخل خطأ في المكان i (يغير 1 إلى الصفر وبالعكس) ويأخذ القيمة 0 في حال عدم وجود خطأ .

فيما يلي نشير إلى أماكن الرموز للكلمة بدأ من اليسار إلى اليمين ، فكلمة الخطأ يمكن أن تكتب:

$$\varepsilon = [\ldots\ldots\alpha_{i1}\ldots\ldots \alpha_{ie}\ldots\ldots]$$

حيث :

١- الرموز $\alpha_{i1}\ldots\ldots \alpha_{ie}$ هي الرموز 1 وبقية الرموز التي تكمل عدد الرموز حتى n هي أصفار .

٢- العلامات $i_1,i_2,\ldots\ldots,i_n$ هي عدد من 1 إلى n حيث نشير أين ظهر خطأ.

المعادلات (25) و (26) تكافئ المعنى الرموز ε_{ie} $\ldots\ldots\varepsilon_{i1}$ مساوية إلى 1 والباقي يساوي إلى أصفار .

وبناء على التعريف لكلمة الخطأ ، فإن العلاقة (24) تكتب على الشكل التالي:

$$L\{v_i\} = v_i + \varepsilon = v_i^{/} \quad \ldots\ldots\ldots(4-27)$$

حيث + تشير إلى الجمع من النموذج (2) للمصفوفات ε, v_i نشير إلى :

$$V_i = [\ a_{i1} \quad a_{i2} \ \ldots\ldots\ldots \ a_{in}\ ]$$

$$V_i = [\ a^{/}_{i1} \quad a^{/}_{i2} \ \ldots\ldots \ a^{/}_{in}\ ] \quad \ldots\ldots\ldots(4-28)$$

نحصل على :

$$a^{/}_{i1} = a_{i1} + \varepsilon 1$$

$$a^{/}_{i2} = a_{i2} + \varepsilon 2$$

$$a^{/}_{in} = a_{in} + \varepsilon_n \quad \ldots\ldots\ldots(4-29)$$

أو بالجمع من النموذج (الثنائي) (2) على الشكل التالي:

$$a_{i1} = a^{/}_{i1} + \varepsilon 1$$

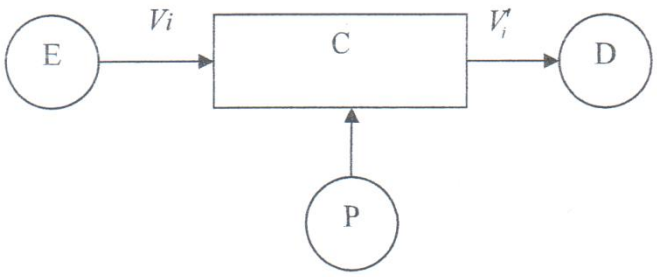
$$a_{i2} = a^{/}_{i2} + \varepsilon 2$$

$$a_{in} = a^{/}_{in} + \varepsilon_n \quad \ldots\ldots\ldots(4-30)$$

هذه العلاقة تمثل تحويلة فوريه العكسية :

$$V_i = F^{-1}\{v^{/}_i\} = v^{/}_i + \varepsilon \quad \ldots\ldots\ldots(4-31)$$

عملية إدخال الخطأ متمثلة في الشكل :



الشكل (٤-١١) : عملية إدخال الأخطاء

٤-٦-٥ رزمة – باكيت الأخطاء:

إذا كانت فترة الضجيج أكثر من فترة الرمز فإن الأخطاء تظهر على شكل رزمة ، تظهر هذه الأخطاء نتيجة تأثير ضجيج النبضات أو قطع في القناة أو وسط التخزين للمعلومات (خطوط الهاتف – أنظمة الذاكرة الأسطوانة المغناطيسية – القرص المدمج) هنا تظهر الأخطاء على شكل رزم (باكيت)

إذاً باكيت الأخطاء : هو سلسلة من الرموز (صحيحة أو خاطئة) حيث أول وآخر رمز يكون خطأ تظهر الرموز الصحيحة المتتالية كمجموعة أقل من p.

يوصف باكيت الأخطاء بالمعامل p ويعتمد على المواصفات الاحصائية لقناة الارسال بين آخر رمز (خطأ) لباكيت الأخطاء وأول رمز (خطأ) للباكيت التالي، ويوجد أكثرمن p رمز صحيح متتالي .

إذا وجد خطأين بينهما s<p رمز غير خاطئ (صحيح) فهما يشكلان قسم من الباكيت ، أما إذا كان s≥p رمز صحيح فإنهما يشكلان قسم من باكيت آخر .

ويعرف (l) بأنه طول الباكيت والذي يساوي إلى العدد الكتلي للرموز (الخاطئة والصحيحة) التي تشكل باكيت الخطأ حيث يكون أول وآخر رمز خطأ .

ويوصف باكيت الأخطاء أيضاً بمعامل آخر وهو كثافة الأخطاء D : وهو النسبة بين عدد الرموز الخاطئة من الباكيت إلى العدد الكلي لرموز الباكيت .

تحتوي كلمة الخطأ على باكيت من الأخطاء طوله (l) : وهو عبارة عن عدد من الرموز 0,1 حيث الأول والأخير منه (هو رموز خطأ) أي 1 وبقية الرموز أصفار أو واحدات ويمكن أن يكتب بالشكل التالي :

$$e=[\ldots\ldots\ \alpha_i\ \varepsilon_{i+1}\ \ldots\ldots\ \varepsilon_{i+l-2}\ \alpha_{i+l-1}\ \ldots\ldots] \quad \ldots\ldots(4-32)$$

حيث :

α_i : رمز 1 ويتوضع في المكان i

ε_i+k : يمثل الرمز 0 أو 1 ويتوضع في المكان i+k مع التأكيد أنه لا يمكن أن تظهر مجموعة أصفار أكبر أو يساوي p.

٤-٦-٦ تقنية كشف وتصحيح الأخطاء :

لشرح نموذج كشف وتصحيح الأخطاء نعتبر الفراغ ذو الأبعاد m (m=n-k) ويسمى بفراغ التصحيح Z حيث له 2^m عنصر $z\epsilon Z$ يسمى مصحح ونمثله بعمود ويسمى بشعاع المراقبة.

تشير هذه المصححات إلى مكان الخطأ في الكلمة المرمزة حيث نعمل على وضع تقابل بين مجموعة الكلمات المستقبلة (الفراغ W) ومجموعة المصححات (الفراغZ) ويتم وضع هذا التقابل بتحديد معامل :

$$H\{v'_i\}=z \qquad \forall\ v'_i \in W\ ,\ z \in Z \quad \ldots\ldots\ldots(4-33)$$

إذا كانت $v'_i = v_i$ أي لايوجد خطأ في عملية الإرسال فإن المصحح z نفسه من أجل أي i ، أي أنه لايوجد خطأ ويتم اختيار z في هذه الحالة مساوياً إلى الصفر وبالتالي العلاقة (33) تصبح :

$$H\{v_i\}=z \qquad i:1 \rightarrow s=2^k \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4-34)$$

في هذه الحالة يضع المعامل H شرط $H\{v'_i\}=0$ و $z=0$ إذا وفقط إذا v'_i كلمة مرمزة أي $v'_i=v_i$.

حتى يمكننا تصحيح الأخطاء الناتجة عن عملية الإرسال لابد أن يكون لكل كلمة خاطئة ناتجة عن الضجيج للقناة مصحح وحيد يختلف عن الصفر .

مجموعة الكلمات الخاطئة يجب أن تصحح ويمكن أن تمثل بنقاط من الفراغ E والذي أبعاده n للأخطاء المصححة.

التقابل بين نقاط الفراغ E الذي يمثل الأخطاء التي يمكن تصحيحها والفراغ Z ويمكن تحديد المعامل بناء على ذلك .

$$P\{z\} = \mathcal{E} \qquad \mathcal{E}\epsilon\ E \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4-35)$$

$$p^{-1}\{\mathcal{E}\}=z \qquad z\epsilon\ Z \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4-36)$$

وبمساعدة المعاملات p و H يمكن كشف وتصحيح الأخطاء على الشكل التالي :

١- إذا تبين لنا $H\{v'_i\} \neq 0$ دون أن نبين قيمة z فقط أنه يختلف عن الصفر نقول أنه تمت عملية كشف الأخطاء .

٢- إذا تمت معرفة مكان z في الفراغ Z $H\{v'_i\} = z$

إذ بمعرفة p نحصل على

$$p\{z\} = \varepsilon \quad \text{.....(4-37)}$$

وبمساعدة الكلمة الخاطئة المعروفة نحصل على الكلمة المصححة وكلمة الترميز المرسلة .

$$F^{-1}\{v'_i\} = v'_i + \varepsilon = v_i \quad \text{.....(4- 38)}$$

٤-٦-٧ مصفوفة التصحيح (المراقبة) :

مما سبق يحدد المعامل H بتحويلة أحادية الاتجاه من فراغ الكلمات المستقبلة إلى فراغ المصححات (التحويلة العكسية غير معروفة) نحصل على أبسط بنية للمعامل H إذا اعتبرنا أن التحويلة التي تكون أحادية الاتجاه فقط من فراغ الكلمات المستقبلة إلى فراغ المصححات ويحدد بالعلاقات :

$$\begin{aligned} &h_{11}\, a'_1 + h_{12}\, a'_2 + \ldots\ldots + h_{1n}\, a'_n = c_1 \\ &h_{21}\, a'_1 + h_{22}\, a'_2 + \ldots\ldots + h_{2n}\, a'_n = c_2 \; ; \; h_{ij} , a_i , c_i \in GF(2) \quad \text{.....(4-39)} \\ &h_{m1}\, a'_1 + h_{m2}\, a'_2 + \ldots\ldots + h_{mn}\, a'_n = c_m \end{aligned}$$

h_{ij} : معاملات تحدد المصفوفة H.

a_i : رموز الكلمة المستقبلة .

c_i : الإحداثيات التي تحدد النقطة z (مركبات المصحح).

يمكن أن تكتب العلاقة (39) بشكل مختصر :

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \ldots. & h_{1n} \\ h_{21} & h_{22} & \ldots. & h_{2n} \\ \ldots. & \ldots. & \ldots. & \ldots. \\ h_{m1} & h_{m2} & \ldots. & h_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{.....(4-40)}$$

وتسمى هذه المصفوفة بمصفوفة المراقبة .

نشير إلى الكلمات بشكل مصفوفة (صف) :

$$v' = [\, a'_1 \;\; a'_2 \;\; \ldots\ldots \; a'_n \,] \quad \text{..... (4-41)}$$

والمصححات على شكل مصفوفة (عمود) :

$$z = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_m \end{bmatrix} \qquad \text{.....(4-42)}$$

وبمساعدة العلاقات السابقة يمكن كتابة العلاقة (39) على الشكل التالي :

$$H\, v^{/T} = z \qquad \text{.....(4-43)}$$

حيث $v^{/T}$ مصفوفة النقل (التحويل) للمصفوفة $v^{/}$.

وتكون الكلمة المستقبلة غير مرمزة ($v^{/} = v$) طبقاً للعلاقة (34) حيث المصحح يساوي الصفر.

$$H\, v^{/T} = 0 \qquad \text{.....(4-44)}$$

ومن خلال المعالجة لهذه المصفوفة يمكن كتابتها على الشكل التالي :

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1k} \\ 0 & 1 & \dots & 0 & q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2k} \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & & & \\ 0 & 0 & \dots & 1 & q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_{mk} \end{bmatrix} = [I_m Q]$$

.....(4-45)

حيث I_m مصفوفة الوحدة من الدرجة m وتكون Q:

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1k} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_{mk} \end{bmatrix}$$

.....(4-46)

من خلال تغيير ترتيب الرموز للكلمة المرمزة لاتتغير خواص الكشف أو التصحيح ونقول أننا حصلنا على ترميز مكافئ . تنقل رموز كلمة الترميز إذا نقلنا أعمدة المصفوفة H ← نقل أعمدة المصفوفة H تقودنا إلى ترميز مكافئ .

٤-٦-٨ الترميز الزمري اعتماداً على مصفوفة المراقبة H:

تكتب الكلمة المرمزة على شكل مصفوفة (صف) :

$$V=[\ a_1\ a_2\ \ldots\ a_m\ a_{m+1}\ \ldots\ a_n\ ] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4-47)$$

الرموز الأولى :

$$c=[\ a_1\ \ a_2\ \ \ldots\ a_m\ ] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4-48)$$

هي رموز إضافية تساعد على كشف أو تصحيح الأخطاء وتسمى برموز المراقبة أما بقية الرموز :

$$i=[\ a_{m+1}\ \ \ldots\ \ a_{m+k}\ ]\ ;\ m+k=n \quad \ldots\ldots(4-49)$$

تسمى رموز المعلومات وبالتالي تكتب الكلمة المرمزة :

$$v=[\ c\ \ i\ ] \quad \ldots\ldots\ldots(4-50)$$

ولتحديد الرموز m (رموز المراقبة) بناءً على رموز المعلومات (k) نستعين بالمعادلة (34):

$$H\ v^T = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4-51)$$

نستنتج مماسبق :

$$H\ v^T = [\ I_m\ \ Q\ ]\ [\ c\ \ i\ ]^T = 0 \rightarrow c^T + Q\ .\ i^T = 0 \quad \ldots\ldots(4-52)$$

أو :

$$c^T = Q\ .\ i^T$$

تحدد عملية رموز المراقبة بدلالة رموز المعلومات وتسمى هذه العملية بالترميز ، فالعلاقة (52) يمكن كتابتها :

$$\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \ldots. & q_{1k} \\ q_{21} & q_{22} & \ldots. & q_{2k} \\ \ldots. & \ldots. & \ldots. & \ldots. \\ q_{m1} & q_{m2} & \ldots. & q_{mk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{m+1} \\ a_{m+2} \\ \ldots \\ a_{m+k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \ldots \\ a_m \end{bmatrix}$$

$$\ldots\ldots\ldots(4-53)$$

ينتج عن ذلك :

$$a_j = \sum_{i=1}^{k} q_{ji}\ a_{m+i} \qquad j=1,\ldots..,m \quad \ldots\ldots\ldots(4-54)$$

أي أننا حصلنا على رموز المراقبة من تشكيلة خطية(الجمع من النموذج الثنائي) لرموز المعلومات .

يمكن تشكيل كلمات الترميز اعتماداً على خاصية المصحح يساوي الصفر ، وإذا حصل أثناء عملية الإرسال أي خطأ فإن المصحح يصبح لايساوي الصفر .

ومن العلاقات (33) و (37) و(38) يمكن تصحيح الأخطاء .

يسمى الترميز نظامي فيما لو كانت رموز المعلومات المختارة عشوائياً موجودة في بداية (أو نهاية الكلمة المرمزة) ، وهذا الترميز له ميزة حيث أن عملية التصحيح تكون بسيطة حيث أنه في عملية كشف الترميز نستخدم فقط بوابة يتم وصلها في زمن وصول رموز المعلومات فقط .

٤-٦-٩ ترميز المجموعة بالاعتماد على المصفوفة المولدة G :

تعرف المصفوفة المولدة بأنها تحقق العلاقة التالية :

$$v=i.G \quad \text{.....(4-55)}$$

ولبيان العلاقة بين المصفوفة H والمصفوفة G نبدل v من العلاقة $Hv^T=0$ فنحصل على :

$$H/(i.G)^T=H/\ G^T\ i^T=0 \quad \text{.....(4-56)}$$

وبما أن هذه العلاقة محققة لجميع رموز المعلومات بالتالي :

$$H/\ G^T = 0 \quad \text{..... (4-57)}$$

وطبقاً للعلاقة (41) :

$$H/ = [\ I_m\ Q\ ] \quad \text{.....(4-58)}$$

حيث Q مصفوفة من m خط و k عمود وذلك من العلاقة (46) نلاحظ أن G هي من الشكل :

$$G= Q^T\ I_k$$

وتكون العلاقة (57) محققة :

$$H\ G^T = [\ I_m\ Q\ ]\ [\ Q^T\ I_k\ ]^T = [Q + Q\ ] = 0 \quad \text{..... (4-59)}$$

نشير إلى المصفوفة Q^T بالمصفوفة p :

$$p= Q^T \quad \text{.....(4-60)}$$

حيث :

k=P صف ، m عمود

m=Q صف ، k عمود

$$p=\begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{k1} & p_{k2} & \cdots & p_{km} \end{bmatrix}$$

.....(4-61)

أي :

$$G=[p\ I_k] \quad \text{.....(4-62)}$$

$$G=\begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1m} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{k1} & \cdots & p_{km} & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{.....(4-63)}$$

وطبقاً للعلاقات (50) و (55) و (62)

$$v=[c \quad i\ ] = i\ [p \quad I_k\ ] = [\ i.p \quad i\ ] \quad \text{.....(4-64)}$$

حيث ينتج :

$$c=ip \quad \text{.....(4-65)}$$

وهي العلاقة التي تعطينا رموز المراقبة بدلالة رموز المعلومات وبناء على العلاقة (65) لدينا:

$$c=[a_{m=1} \quad a_{m=2} \quad \cdots \quad a_{m=k}]\begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{k1} & p_{k2} & \cdots & p_{km} \end{bmatrix} \quad \text{.....(4-66)}$$

ورموز المراقبة $a_{ij} \leq m$:

$$a_j=\sum_{i=1}^{k} a_{m+1} \cdot P_{i,j} \quad \text{.....(4-67)}$$

والترميز الذي حصلنا عليه يسمى الترميز الازدواجي (Dual) للترميز الذي تم الحصول عليه من H.

٤-٦-١٠ تشكيل المصححات:

المصحح المعطى بالعلاقة $H\ v^{/T}=0$ يكون على الشكل :

$$Z^T= v^{/}\ H^T \quad \text{.....(4-68)}$$

أو:

$$Z^T=[c/ \quad i/\,][I_m \quad p^T]^T \quad \text{.....(4-69)}$$

حيث :

c^T: مصفوفة رموز المراقبة المستقبلة

i^T : مصفوفة رموز المعلومات المستقبلة.

وعند عملية النقل ←

$$z^T = [c' \quad i'] \cdot \begin{bmatrix} I_m \\ p \end{bmatrix} = [c' + i'p] \quad \text{.....(4-70)}$$

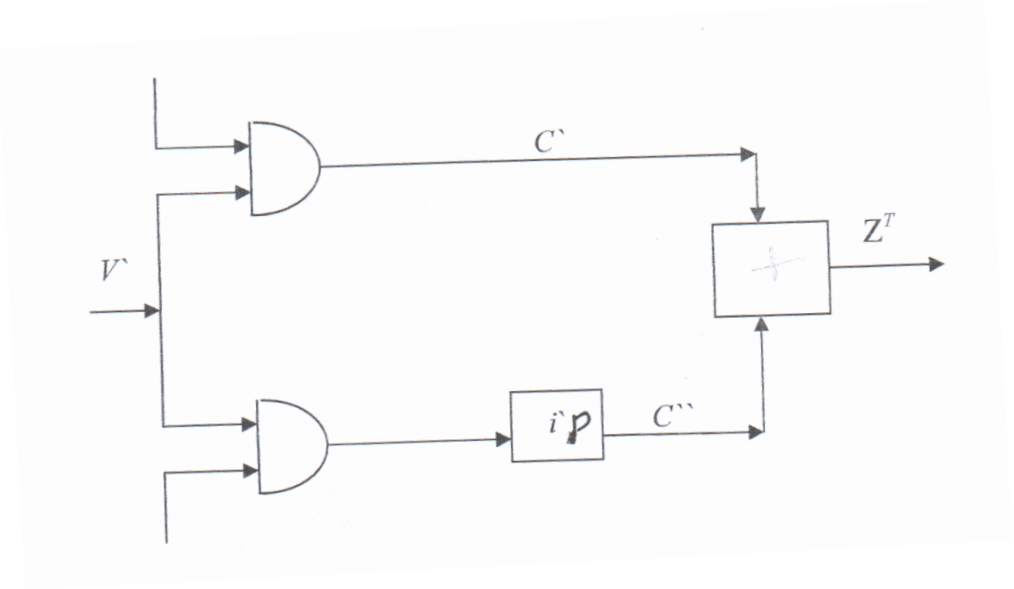
وطبقاً للعلاقة (65) ندخل العلاقة التالية:

$$c^{//} = i/\ p \quad \text{.....(4-71)}$$

والتي تمثل رموز المراقبة وتنتج عملية الترميز لرموز المعلومات المستقبلة ، ومن المعادلات السابقة :

$$Z^T = [\ c/ + c^{//}] \quad \text{.....(4-72)}$$

يتم انجاز هذه المعادلة كما في الشكل . من خلال هذه الطريقة نشكل المصححات ، وبإدخال عملية الضرب الضرورية نطبق العلاقة (68)



الشكل (٤-١٢) : تشكيل المصحح في الترميز الزمري

٤-٦-١١ ترميز هامينغ الزمري المصحح لخطأ واحد :

لتصحيح خطأ واحد في كلمة عدد المصححات 2^m يجب أن تساوي n+1 أو أكبر لنشير إلى خطأ ضمن (n رمز) للكلمة المستقبلة أو أن نشير أنه لايوجد أخطاء :

$$2^m \geq n+1 \quad \ldots\ldots\ldots(4-73)$$

أو :

$$2^m \geq k+m+1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4-74)$$

وهي العلاقة التي تحدد عدد رموز المراقبة عندما يعطى عدد k من رموز المعلومات في حالة تصحيح خطأ .

يتكون ترميز هامينغ من مصفوفة مراقبة H حيث العمود h_i يكون ممثل ثنائي للعدد i.

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \ldots. & \ldots. & \ldots. & 1 \\ \ldots. & \ldots. & \ldots. & \ldots. & \ldots. & 1 \\ \ldots. & \ldots. & \ldots. & \ldots. & \ldots. & \ldots. \\ \ldots. & \ldots. & \ldots. & \ldots. & \ldots. & \ldots. \\ 0 & 0 & 0 & \ldots. & \ldots. & \ldots. \\ 0 & 1 & 1 & \ldots. & 1 & \ldots. \\ 1 & 0 & 1 & \ldots. & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4-75)$

حيث : $h_i+h_j \neq 0$ (من شروط تصحيح خطأ واحد)

$\forall i \neq j$

فكلمة الخطأ بخطأ واحد :

$$\varepsilon = [\ \ldots\ldots\ldots \alpha_i \ldots\ldots\ldots\ ] \quad \ldots\ldots\ldots(4-76)$$

إذا أرسلت v_i نستقبل :

$$v'_j = v_j + \varepsilon \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4-77)$$

ويكون المصحح المقابل :

$$Z = H\, v'^{T}_j = H\, \varepsilon^T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4-78)$$

أو:

$$Z = [\ h_1 \quad h_2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad h_n\ ]\ [\ \ldots\ldots\ldots \alpha_i \ldots\ldots\ldots\ ]^T = h_i \quad \ldots\ldots\ldots(4-79)$$

أي أن المصحح ممثل ثنائياً بالعدد l الذي يشير إلى المكان الذي يوجد فيه خطأ ، وهذا يجعل كاشف الترميز بسيط ونحتاج فيه مبدل من ثنائي إلى عشري .

ترميز هامينغ يصحح جميع الأخطاء البسيطة ولايمكن أن يصحح أخطاء مضاعفة ونقول عنه مرمز كامل ، حيث أن الترميز الذي يمكن أن يصحح e خطأ في أي مكان ولكن لايمكن أن يصحح أي شكل خاص من e+1 خطأ أو أكثر يسمى المرمز الكامل .

في حالة الرموز الكاملة عدد المصححات مساو إلى عدد الكلمات الخاطئة المشكلة من e خطأ أو أقل .

التراميز الكاملة هي تراميز مكافئة .

٤-٦-١٢ مرمز هامينغ :

لتبسيط الحساب نختار m رمز مراقبة بحيث تلائم الأعمدة h_i وبمركبة تختلف عن الصفر ، هذه الأماكن 2^0 , 2^1 , 2^2 , ..., 2^n تشير إلى رموز المراقبة c_i والمعلومات i_i ولذلك يكتب الشعاع المرمز على الشكل التالي:

$v=[c_1\ c_2\ i_3\ c_4\ i_5\ \ldots\ldots i_n]$

ونتيجة توضع رموز المراقبة ينتج من ذلك أن هذا المرمز غير نظامي وتعطى رموز المراقبة من العلاقة :

$$H\ v^T = 0$$

$$[h_1 \quad h_2 \quad .... \quad h_n] \cdot \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ i_3 \\ ... \\ i_n \end{bmatrix} = 0$$

أو :

$$c_1 \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ ... \\ 1 \end{bmatrix} + c_2 \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} + i_3 \begin{bmatrix} 0 \\ ... \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + ... + i_n \begin{bmatrix} 1 \\ ... \\ ... \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

وتكون العلاقة المكافئة مكونة من m معادلة حيث الرموز ..... $c_1, c_2,$ لاتعاد أكثر من مرة ويعبر عن رموز المراقبة بناء على رموز المعلومات ، بدأً من آخر خط يمكن أن نكتب :

$$c_1= i_3+ i_5 + ...+ i_n$$

$$c_2= i_3+i_6+ ....+ i_n$$

$$c_4= i_5+i_6+ .... + i_n \quad (4-80)$$

.....

$$c_{2^m}=.....$$

٤-٦-١٣ كاشف ترميز هامينغ :

في الاستقبال فإن الكلمة المرمزة تطبق على خلية ثنائية في الذاكرة بعد ذلك نحسب المصحح:

$$z = Hv^{T} = \begin{bmatrix} e_1 \\ \dots \\ e_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & \dots & h_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c'_1 \\ c'_2 \\ \dots \\ c'_n \end{bmatrix}$$

وبناء على بنية المصفوفة H تتم عملية حساب :

$$e_m=c_1/+i_3/+i_5/+....+i_n/$$

$$e_{m-1}=c_2/+i_3/+i_6/+....+i_n/$$

.....

$$e_1=.....$$

العدد الثنائي يتم حسابه ($e_1\ e_2$ .....e_m) ضمن كاشف الترميز (ضمن مبدل ثنائي عشري) على الخرج نحصل على إشارة تشير إلى أماكن الأخطاء تساعدنا على عملية التصحيح.

٤-٧ الترميز الدوري:

هي ترميز صندوقي حيث n رمز يشكل منها كلمة الترميز التي هي عبارة عن أمثال كثير الحدود من الدرجة n-1

$$v(x)=a_0+a_1+.....+a_{n-1}\ x^{n-1} \qquad .....(4-81)$$

وهي من أهم أنواع التراميز الكتلية الخطية والذي يتميز بسهولة تحقيقه باستخدام منطق تتابعي Sequential Logic وسجلات إزاحة Shift Registers.

كما في التراميز فإن رموز الكلمة (أمثال كثير الحدود v(x)) تمثل على شكل مصفوفة خطية (صف)

$$v=[a_0\ a_1\ \ldots\ldots a_{n-1}\ ] \quad \ldots\ldots\ldots(4-82)$$

من خواص التراميز الدورية أنه إذا كان v كلمة لها معنى فإن أي عملية نقل دورية للرموز يبقى للكلمة معنى

$$[\ a_i\ a_{i+1}\ \ldots\ldots\ a_{n-1}\ a_0\ a_{i-1}\ ] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4-83)$$

تشكل مجموعة الكلمات الجبر ومجموعة الكلمات التي لها معنى بـ (مثالي) ideal

- مجموعة عناصر A التي تحقق شروط الفراغ الشعاعي وداخلية بالنسبة لعملية ضرب عنصرين تسمى هذه بالجبر
- مجموعة العناصر I التي فيها عمليات الجبر (الضرب والجمع) وعكس الجمع تسمى المثالي

١- I_1 هي زمرة جزئية من I

٢- فمن أجل $\forall x \in I_1\ ,\ \forall y \in I_1$ فإن $X.Y = Y.X \in I_1$

٤-٧-١ مولد الكلمات :

مجموعة الكلمات التي لها معنى وبدون معنى متمثلة بفئات الباقي من نموذج كثير الحدود P(x) من الدرجة n وأمثاله من GF(2) لنعتبر الحلقة لجميع كثيرات الحدود P(x) من الدرجة n.

ومن خلال تقنية التراميز الزمرية نشكل فئات الباقي فالفئة الأولى هي ideal المشكل من P(x)

أضعاف P(x)	0+P(x).....	(1+x)P(x)	xP(x)	P(x)	0
أضعاف P(x)	1+P(x)....	1+(1+x)P(x)	1+xP(x)	1+P(x)	1
أضعاف P(x)	x+P(x)....	x+(1+x)P(x)	x+xP(x)	x+P(x)	x
أضعاف P(x)	1+x+P(x)....	1+x+(1+x)P(x)	1+x+xP(x)	1+x+P(x)	1+x

$$a_0+a_1\ x + \ldots\ldots\ldots + a_{n-1}\ x^{n-1} \quad \ldots\ldots\ldots$$

تشكل فئات الباقي للنموذج P(x) الجبر .

وبما أننا نتحدث عن فئات الباقي ندخل المعادلات التالية:

$$a_0+a_1x+\ldots\ldots\ldots\ldots+a_{n-1}\ x^{n-1}$$

أو

$$a_0+a_1 X +.....+ a_{n-1} X^{n-1}$$

حيث يتم إبدال x بـ X حتى لايتم التباس بين كثير الحدود وفئات الباقي سنشير بـ x بدلاً من X.

نعتبر فيما يلي مجموعة الكلمات تشكل الجبر مولد من كثير الحدود P(x) من الدرجة n يمكن اختيار كثير الحدود P(x) عشوائياً. وللحصول على نتائج مشابهة للتراميز الزمرية بحيث الجداء .u(X) v(X) =0 حيث u(X).v(X) وتكون عناصر الجبر من النموذج P(x) يتم شرحها على شكل جداء سلمى <u.v>=0 ويتم هذا باختيار

$$P(x) = x^n+1$$

مثال :

$P(X)=X^3+1$

$u(X)=a_0+a_1X+a_2X^2$

$v(X)=b_0+b_1X+ b_2 X^2$

$u(X).v(X)=a_0b_0+ (a_0b_1+a_1b_0)X+$

$(a_0b_2+a_1b_1+a_2b_0)X^2+(a_1b_2+a_2b_1)X^3+a_2b_2 X^4$

حيث معطى بكثير الحدود نجد أن أول فئة الباقي

$P(X)=X^3+1=0$ $X^3=1$ $X^4=X$

بالتبديل نحصل على:

$$u(X).v(X)=a_0b_0+a_1b_2+a_2b_1+(a_0b_1+a_1b_0+a_2b_2)X+(a_0b_2+a_1b_1+a_2b_0)X^2$$

فإذا كان

$$u(X).v(X)=0 \quad .....(4-84)$$

$$a_0b_2+a_1b_1+a_2b_0=0$$

$$a_0b_1+a_1b_0+a_2b_2=0$$

$$a_0b_0+a_1b_2+a_2b_1=0$$

نلاحظ أن المعادلة الأولى هي ناتج الجداء السلمي <u.v>=0 حيث مركبات الشعاع مكتوبة بشكل عكسي ، وبشكل عام أي نقل دوري للأمثال يعطي جداء سلمي صفر .

٤-٧-٢ توصيف الكلمات ذات المعنى :

مجموعة فئات الباقي من النموذج $P(x)=x^n+1$ عدد العناصر 2^n نختار منها 2^k كلمة لها معنى (عنصر له معنى)

وهي ناتجة عن كثير حدود مولد g(x) (ideal) من الدرجة m أو بنموذج مكافئ العناصر من الفراغ صفر للـ ideal المولد من كثير الحدود h(x) من الدرجة k ، وبما أن العنصر "0" هو جزء من ideal ينتج من ذلك أنه يوجد كثير حدود h(x) بحيث:

$$g(x).h(x)=0=p(x) \quad \text{.....(4-85)}$$

من هذه العلاقة ينتج أن كثير الحدود وهو مقسم P(x)

$$g(x)= P(x)/h(x)=(x^n+1)/h(x) \quad \text{.....(4-86)}$$

مما سبق فإن الكلمات المرمزة يمكن أن توصف بطريقتين :

١- الكلمات المرمزة عبارة عن عناصر ideal مولدة من كثير الحدود g(x) من الدرجة m:

في هذه الحالة v(X) عبارة عن مضاعف لـ g(x)

$$v(X)=q(X).g(X) \quad \text{.....(4-87)}$$

حيث q(X) كثير حدود من الدرجة k-1 يشار إلى كثير الحدود المولد

$$g(x)=g_0+g_1x+\text{.....}+g_{m-1}\,x^{m-1}+x^m \quad \text{.....(4-88)}$$

من الواضح لابد من أن يكون من الدرجة m على اعتبار $g_m=1$ فإذاً :

$$q(X)=i(x) \quad \text{.....(4-89)}$$

حيث i(x) هو كثير حدود لرموز المعلومات

$$i(x)=a_m+a_{m+1}x+\text{.....}+a_{m+k-1}x^{k-1} \quad \text{.....(4-90)}$$

تعطينا العلاقة (87) عملية الترميز ولكن ليس ترميز نظامي وللحصول على ترميز نظامي نجري العملية التالية:

ليكن c(x) كثير حدود ولرموز التحكم

$$c(x)=a_0+a_1x+\text{.....}+a_{m-1}\,x^{m-1} \quad \text{.....(4-91)}$$

وتصبح عملية الترميز للكلمة المرمزة

$$v(x)=c(x)+x^m\ i(x)=q(x).g(x) \quad \text{.....(4-92)}$$

حيث:

$$x^m\, i(x) = q(x).g(x)+c(x) \quad \text{.....(4-93)}$$

وبما أن درجة $c(x)<m$ ودرجة $g(x)=m$ يمكن أن نكتب

$$c(x)=\text{rest}\ (\ x^m\, i(x) / g(x)\ ) \quad \text{.....(4-94)}$$

أي أن كثير الحدود لرموز المراقبة يستخرج من تقسيم كثير الحدود للمعلومات على كثير الحدود $g(x)$ مضروباً بـ x^m ، وبهذه الحالة فإن $v(x)$ هي كلمة الترميز من ترميز نظامي وبما أن :

$$v(X)=q(X).g(X) \quad \text{.....(4-95)}$$

$$q(x)=q_0+q_1x+q_2x^2+\text{.....}+q_{k-1}\ x^{k-1} \quad \text{.....(4-96)}$$

ويمكن كتابة $v(X)$:

$$v(x)=q_0\ g(x)+\ q_1x\ g(x)\ +\ \text{.....}+\ q_{k-1}x^{k-1}\ g(x)$$

بمعنى آخر فإن $v(x)$ في الفراغ الصف للمصفوفة

$$G=\begin{bmatrix} g(X) \\ Xg(X) \\ \vdots \\ X^{k-1}g(X) \end{bmatrix}$$

.....(4-97)

حيث أن فراغ الصف للمصفوفة مشكل من مجموعة مكونات الخطية لأشعة الصف للمصفوفة وبالتالي

$$G=\begin{bmatrix} g(X) \\ Xg(X) \\ \vdots \\ X^{k-1}g(X) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} g_0 & g_1 & \cdots & g_m & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & g_0 & \cdots & \cdots & g_m & \cdots & 0 \\ \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & g_0 & g_1 & \cdots & g_m \end{bmatrix}$$

....(4-98)

حيث عناصر الصف هي أمثال كثير الحدود من الدرجة n−1 (v(x) هي من الدرجة n−1) ولكن أمثال القوى لـ x غير موجودة تم تبديلها بصفر المصفوفة G تسمى المصفوفة المولدة لها k صف و n عمود ويمكن باستخدامها إجراء عملية الترميز طبقاً للعلاقة (55)

$$v= i.G$$

وهي مكافئة للعلاقة (95) حيث من كلاهما يمكن استخراج رموز التحكم.

٢- الكلمات المرمزة كعناصر في الفراغ المعلوم للـ ideal المولد من h(x) من الدرجة k:

لنبدأ من العلاقة (95) ونضربها بـh(x)

$$h(x)=h_0+h_1x+.....+h_k\ x^k \quad .....(4-99)$$

$$v(x).h(x)=q(x).g(x)h(x) \quad .....(4-100)$$

وبما أن كثيرات الحدود وهي عبارة عن فئات الباقي ومن العلاقة (85) :

$$v(x).h(x)=q(x).g(x)h(x)=q(x)(x^n+1)$$

أي أن :

$$v(x).h(x)=0 .....(4-101)$$

تخبرنا هذه العلاقة على أن v(x) هي موجودة في الفراغ الصفي ideal المولد من h(x) الناتج عن v(x).h(x) ، ومن خلال تعميم العلاقة (84) يمكن كتابة الجداء السلمي لمركبات الشعاع h(x) مكتوبة بترتيب عكسي:

$< (a_0\ a_1\ a_{n-1}) ,(0 \ .... \ 0 \ h_k \ h_{k-1} \ .... \ h_0)>=0$

$< (a_0\ a_1\ a_{n-1}),(0 \ .... \ h_k \ h_{k-1} \ ..... \ h_0 \ 0)>=0$

.....

.....

$< (a_0\ a_1\ a_{n-1}),(h_k \ h_{k-1} ..... h_0 \ 0 \ .... \ 0)>=0 \quad .....(4-102)$

باقي المعادلات ليست مهمة حيث من n معادلة يوجد من عملية النقل فقط n−k=m معادلة مستقلة.

المعادلات في العلاقة (102) تسمح لنا بتحديد رموز المراقبة بدلالة رموز المعلومات وذلك على الشكل التالي:

$$\begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & h_k & h_{k-1} & \dots & \dots & h_0 \\ 0 & \dots & h_k & \dots & \dots & \dots & h_0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_k & \dots & h_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ : \\ a_{n-1} \end{bmatrix} = 0$$

.....(4-103)

$$H = \begin{bmatrix} 0 & \dots & h_k & \dots & h_0 \\ 0 & \dots & 0 & h_0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ h_k & \dots & h_0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

.....(4-104)

$$H.v^T=0 \quad \text{.....(4-105)}$$

إذاً المصفوفة H المعطاة في العلاقة (104) هي مصفوفة التحكم والعلاقة (105) مكافئة للعلاقة (101) ومن العلاقة (85) والعلاقة (98) والعلاقة (105) يمكن أن نبين

$$G\,H^T = H\,G^T = 0 \quad \text{.....(4-106)}$$

٤-٧-٣ كاشف الترميز:

تقوم مشكلة كاشف الترميز على إيجاد التقابل بين الكلمة الخطأ المستقبلة $v^{/}(x)$ والكلمة $\varepsilon(x)$ التي تمثل نوعية الخطأ في هذه الكلمة الناتجة عن القناة

$$v^{/}(x)=v(x)+\varepsilon(x) \quad \text{.....(4-107)}$$

فإذا استقبلنا $v^{/}(x)$ يمكن حساب $\varepsilon(x)$ حينئذ تنجز عملية التصحيح من خلال الجمع ذو النموذج (2) الثنائي

$$v(x)=v^{/}(x)+\varepsilon(x) \quad \text{.....(4-108)}$$

من العلاقة (72) في الفصل الأول نحصل على المصحح من خلال الجمع رموز المراقبة المستقبلة $c^{/}(x)$ مع رموز المراقبة الناتجة أثناء عملية الترميز للمعلومات المستقبلة :

$$c^{//}(x)= \text{rest}\ (\ x^m\ i^{/}(x) / g(x)\ ) \quad \text{.....(4-109)}$$

$$Z(x)= c^{/}(x)+c^{//}(x) \quad \text{.....(4-110)}$$

$$Z(x)= c^{/}(x)+ rest\ (\ x^{m}\ i^{/}(x)\ /\ g(x)\ )\ \ .....(4-111)$$

كثير الحدود $c^{/}(x)$ له درجة أقل من m إذاً يمكن الكتابة

$$Z(x)= rest\ ((c^{/}(x)+\ x^{m}\ i^{/}(x))\ /\ g(x)\ )\ \ .....(4-112)$$

$$Z(x)= rest\ (\ v^{/}(x)\ /\ g(x)\ )\ \ .....(4-113)$$

ومن العلاقة (107):

$$Z(x)= rest\ (\ \varepsilon(x)\ /\ g(x)\ )\ \ .....(4-114)$$

كثير الحدود $Z(x)$ أكبر درجة له $m-1$ وبالتالي عدد المصححات يساوي 2^{m} (m حد) ومن مجموعة تشكيلة الأخطاء ينتج أن كثير الحدود $\varepsilon(x)$ ذو 2^{n} فقط هناك عدد يقابل عدد المصححات $Z(x)$ وهو 2^{m} تشكيلة أخطاء يمكن تصحيحها.

وتكون العلاقة (114) مكافئة للعلاقة :

$$Z= H\ \varepsilon^{T}\ \ .....(4-115)$$

حيث ε هو مصفوفة (صف) متمثلة بأمثال $\varepsilon=(x)$ والمصفوفة H هي من الشكل $H=[I_m \quad Q]$

ودرجة (ترتيب) الأعمدة لـ Q يتم اختياره بحيث

$$Z(x)= rest\ (\ \varepsilon(x)\ /\ g(x)\ )=H\ \varepsilon^{T}$$

٤-٧-٤ كاشف الترميز على أساس جدول الفئات الباقية :

أول فئة مكونة من ideal المولد ويكون أول عمود من كثيرات الحدود التي تعتبر الكلمات الخاطئة وبالتالي يتم حجز عمود للمصححات التي تحسب من العلاقة (114) أو (115)

		الكلمات المستقبلة	المصححات $z(x)$
	الكلمات الخاطئة		
الكلمات التي لها معنى	0	$v_1(x) \quad v_2(x) \quad ..... \quad v_5(x)$	
كلمات بدون معنى	$\varepsilon_1(x)$	$\varepsilon_1+v_1 \quad \varepsilon_1+v_2 \quad ..... \quad \varepsilon_1+v_5$	$Z_1 = rest\frac{\varepsilon_1(x)}{g(x)} = H\varepsilon_1^{T}$
	$\varepsilon_2(x)$	$\varepsilon_2+v_1 \quad \varepsilon_2+v_2 \quad ..... \quad \varepsilon_2+v_5$	$Z_2 = rest\frac{\varepsilon_2(x)}{g(x)} = H\varepsilon_2^{T}$
	:	:	:

الجدول (٤-٢) : جدول الفئات الباقية

يلاحظ أنه لجميع الكلمات من فئة الباقي في صف واحد لهن نفس المصحح بحيث أي فئة أول عنصر ε_j يكون لكلمة من هذه الفئة المصحح

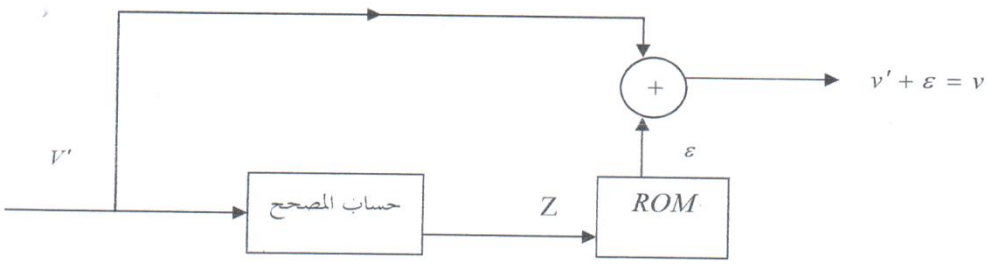
$$Z(x)= rest\ (\ v^{/}(x) / g(x)\ )= rest\ (\ (\varepsilon_j(x)+v_k(x)) / g(x)\ )\ ;\ k=T,s$$

$$Z(x) =Z_j(x)=rest\ (\ \varepsilon_j(x) / g(x)\ )\ .....(4-116)$$

ينتج من ذلك أن عملية كاشف الترميز تتم على الشكل التالي:

- كل كلمة مستقبلة $v^{/}$ يتم حساب المصحح $Z(x)= rest\ (\ v^{/}(x) / g(x)\ )$ أو $Z= H\ v^{/T}$.
- من جدول فئات الباقي نلاحظ أن كلمة الخطأ تقابل ε يقابلها مصحح
- يتم جمع ε مع $V^{/}$ لنحصل على V .

عملية كشف الترميز هذه صحيحة فقط إذا كان لكل مصحح كلمة خاطئة غير ذلك فإنه يمكن إجراء عملية الكشف دون تصحيح الخطأ ، في الشكل نبين المخطط العام لكاشف الترميز حيث الذاكرة التي يتم عنونتها عن طريق المصحح نقوم بإدخال الكلمات الخاطئة بالتقابل مع كل مصحح حتى الآن لم تتم وضع الشروط لكثير الحدود g(x) حتى يكون قادر على تصحيح كافة الأخطاء التي تحدث هذه المشكلة سيتم علاجها لاحقاً .



الشكل (٤-١٣) كاشف الترميز الدوري

٤-٧-٥ إنجاز عملية الترميز وكشف الترميز لكشف الأخطاء وذلك من خلال دارات الضرب والتقسيم:

لقد بينّا سابقاً أن عملية الترميز تنجز بطريقتين :

١- من خلال الضرب

$$v(x)=i(x).g(x) \quad .....(4-117)$$

حيث نحصل على ترميز غير نظامي وعملية كشف الترميز تتم بإجراء عملية التقسيم

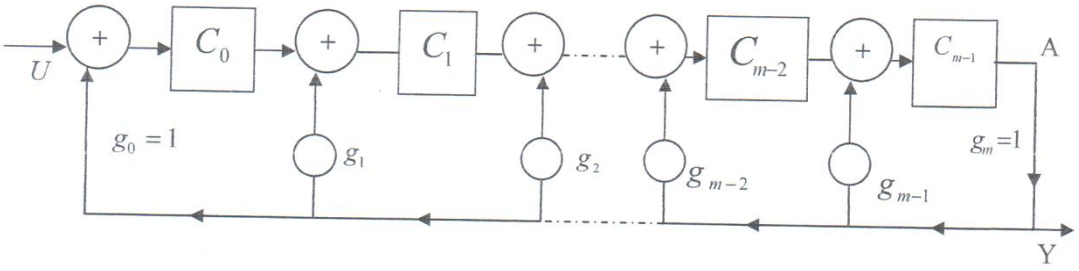
$$Z(x)= \text{rest}\ (\ v^{/}(x) / g(x)\ ) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4-118)$$

٢- من خلال التقسيم

$$v(x)= \text{rest}\ (\ x^{m}.i(x) / g(x)) + x^{m}.i(x) \quad \ldots\ldots\ldots(4-119)$$

هنا يتم الحصول على ترميز نظامي وعملية الكشف تتم بإجراء عملية التقسيم كما في الحالة 1 العلاقة (118) حيث للترميز النظامي ميزات بالمقارنة مع الترميز غير النظامي ، سنقوم بدراسة الترميز بالتقسيم.

٤-٧-٦ دارات التقسيم:



الشكل (٤-١٤) دارة التقسيم

نستعمل خلايا ثنائية نشير إليها C_i ودارات الضرب بثوابت EGF(2) g_i وجوامع من النوع الثنائي نطبق على دخل دارة التقسيم كثير الحدود على الدفع.

$$V(x)=a_n\ x^n + a_{n-1}\ x^{n-1} + \ldots\ldots + a_0 \quad \ldots\ldots\ldots(4-120)$$

ومن أجل كثير الحدود

$$g(x)= g_m\ x^m + g_{m-1}\ x^{m-1} + \ldots\ldots + g_0 \quad \ldots\ldots\ldots(4-121)$$

باقي عملية التقسيم يتم تخزينه ضمن خلايا المسجل يرمز له R(x)

أمثال كثير الحدود V(x) هي a_n , a_{n-1} ,……., a_0

تطبق على دخل دارة التقسيم بترتيب متناقص $a_n \leftarrow a_{n-1} \leftarrow a_0$

لتحليل عم هذه الدارة نستخدم المعامل للتأخير ونشير إليه بـ Δ الذي يمثل بتأثير نبضة خلية

$$V= a_n\ \Delta^0 + a_{n-1}\ \Delta + \ldots\ldots + a_0\ \Delta^n \quad \ldots\ldots\ldots(4-122)$$

في هذه العلاقة $\Delta^0=I$ يمثل معامل التأخير صفر (معامل الوحدة) يشير هذا أن الرمز a_n يوجد على مدخل الخلية C_0 أما الحد $a_0\ \Delta^n$ تشير على أن الرمز a_0 يصل إلى مدخل الخلية C_0 بعد n نبضة .

فتكون دالة النقل (التحويل) للدارة حيث U هي الدالة المطبقة على الدخل Y هي الإشارة التي نحصل عليها من الخرج

$$T= Y/U \quad \text{.....(4-123)}$$

لتحديد هذه الدالة نعتبر حالة خاصة حيث

$$U=g_m\Delta^0+g_{m-1}\Delta+....+g_0\Delta^m \; ; \; g_m=g_0=1 \quad \text{.....(4-124)}$$

أول رمز يطبق على الدخل $g_m=1$ بعد m نبضة سيظهر مافي الخلية C_{m-1} على الخرج بتأخير Δ^m والذي يكون أول نبضة على الخرج

$$Y= g_m\Delta^m=\Delta^m \quad \text{.....(4-125)}$$

الرمز $g_m=1$ يصل إلى الخرج من خلال وصلات التغذية العكسية سيضربه بأمثال $g_0,g_1,\dots,g_{m-1}$ ويتم الجمع من النموذج 2 مع آخر رمز g_0 من السلسلة U الذي يصل على مدخل الخلية C_0 بالإضافة إلى محتوى الخلايا $C_0,C_1,\dots,C_{m-2}$ أي الرموز $g_0,g_1,\dots,g_{m-1}$ ونتيجة عملية الجمع من النموذج 2 على مدخل جميع الخلايا ليظهر الرمز "0" في النبضة التالية m+1 فإن كافة خلايا المسجل تصبح "0" وبالمحصلة فإن Δ^m هو الحد الوحيد في السلسلة Y

$$Y =\Delta^m \quad \text{.....(4-126)}$$

$$T=Y/U =\Delta^m/(g_m\Delta^0+g_{m-1}\Delta^{/}+....+ g_0\Delta^m) \quad \text{.....(4-127)}$$

$$Y/U= I / (g_m\Delta^m+g_{m-1}\Delta^{/m-1}+....+ g_0.I) \quad \text{.....(4-128)}$$

حيث

$$Y=U/(g_m\Delta^m+g_{m-1}\Delta^{/m-1}+....+ g_0.I) \quad \text{.....(4-129)}$$

في هذه العلاقة يمكن أن تكتب U المبينة في العلاقة (122) على الشكل التالي:

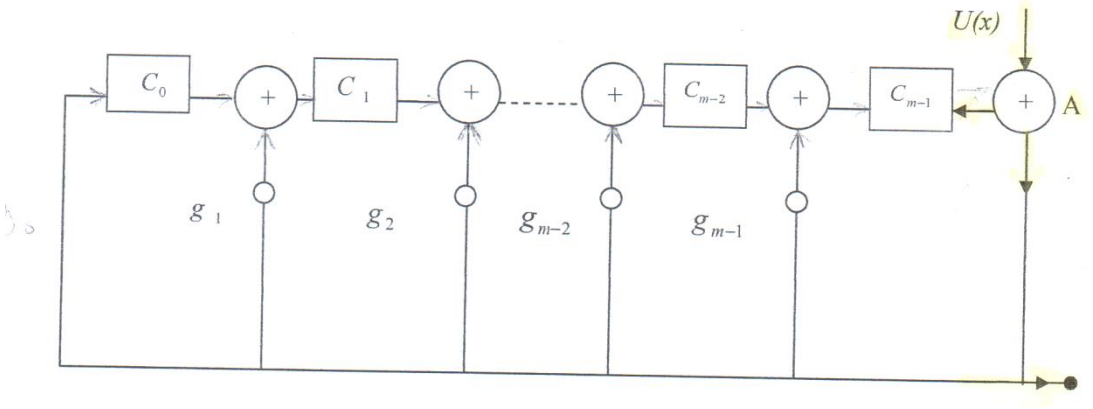
$$U=\Delta^n(\alpha_n\Delta^{-n}+ \alpha_{n-1}\Delta^{-(n-1)}+....+ \alpha_0.I) \quad \text{.....(4-130)}$$

وبتبديل $\Delta^{-1}=x$ ينتج بأن تقوم الدارة بعملية تقسيم كثير الحدود v(x) على كثير الحدود g(x) نحصل على ناتج التقسيم (الكم) على الخرج بتأثير Δ^n أي بعد n نبضة أما الباقي فينبغي أن يكون مخزن في المسجل عند النبضة n+1 في الحالة الخاصة U(x)=g(x) ففي النبضة n+1 (n=m) محتوى المسجل يكون صفر حيث الباقي صفر يمكن لهذا الناتج أن يعمم من أجل أي كثير الحدود v(x)=Z(x).g(x) مقسم على g(x) فإذا كان كثير الحدود U(x) من الدرجة (n<m) يكون الباقي بعد

نبضة n+1 محذوف في المسجل بأمثال X_0 في الخلية C_0 يمكن في عملية التحليل للمسجل أن نرى أنه من أجل n عند النبضة n+1 يكون الباقي مخزن في المسجل .

٤-٧-٧ الترميز من خلال دارة التقسيم:

لاستخدام هذه الدارة نطبق العلاقة (119) مع الإشارة u(x)=i(x) يتم تطبيقه في النقطة A كمافي الشكل التالي



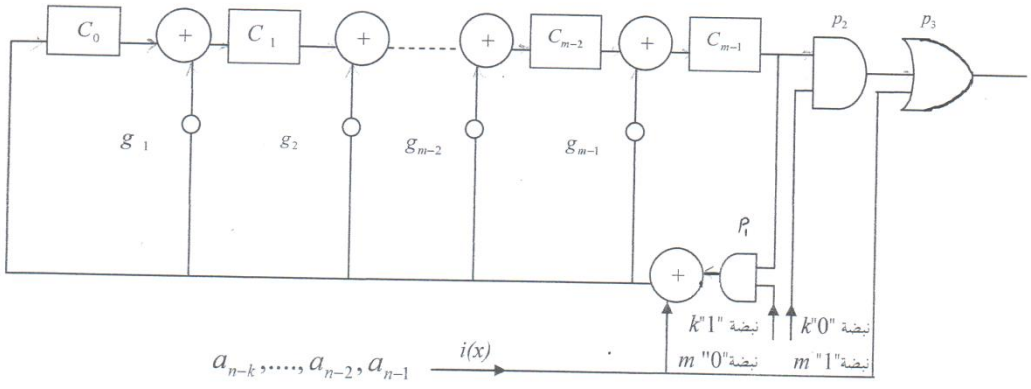
الشكل (٤-١٥) : دارة التقسيم عند دخل u(x)=i(x)

وليس على مدخل الدارة كمافي الشكل السابق عندئذ تقوم الدارة بعملية قسمة $x^m.i(x)$ على g(x) وليس i(x) على g(x) لإثبات ذلك نفترض كثير الحدود i(x)=1 ومطبق على النقطة A كمافي الشكل في هذه الحالة يكون محتوى المسجل في أول نبضة $g_0,g_1,\ldots,g_{m-1}$ أي باقي تقسيم X^m على g(x).

إذاً إما أن نطبق X^m على المدخل أو أن نطبق U(x) في النقطة A أن نحصل على نفس الباقي (إذ من حيث أية المسجل فإن الإزاحة في النقطة A تتكافئ عملية الضرب بـ X^m هذا يعني بتطبيق كثير الحدود i(x) على النقطة A نحصل على الباقي

$$c(x)= rest\ (\ x^m.i(x)/g(x)) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(4-131)$$

الدارة التي تقوم بعملية الترميز هي على الشكل :

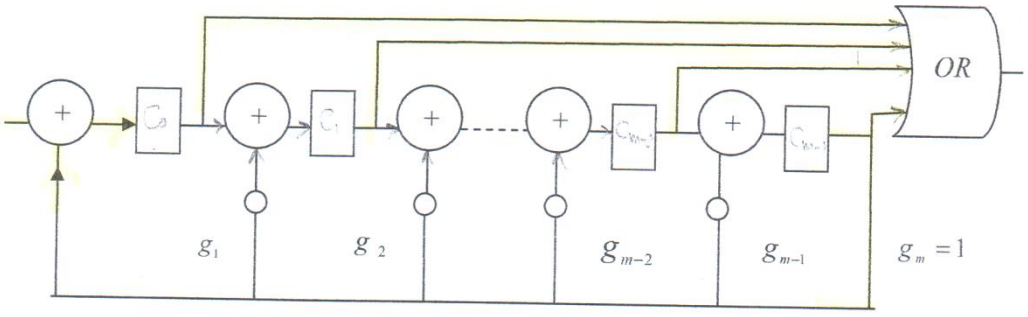


الشكل (٤-١٦) : الترميز من خلال دارة التقسيم

وبما أن (g_m=1) تطبيق رموز المعلومات في هذه الدارة يكافئ الشكل المبين في الأعلى في الوقت الذي نطبق k رمزاً من المعلومات ، البداية p1 تبقى في حالة قطع وتقوم الدارة بعملية الحساب للباقي الذي يظهر في المسجل . عند النبضة k+1 تكون البوابة p2 في حالة قطع والبوابة p1 موصولة ، البوابة p2 تبقى مفتوحة (في حالة قطع) لفترة m نبضة لتسمح بتفريغ المسجل أي رموز المراقبة التي تمر من خلال البوابة p3 يعد رموز المعلومات ليتم الحصول على كلمة الترميز .

٤-٧-٨ كاشف الترميز من خلال دارة التقسيم :

يعتمد كاشف الترميز على حساب المصحح $z(x)= rest\ (v'(x) / g(x))$ طبقاً للدارة من الشكل :



الشكل (٤-١٧) : كشف الترميز من خلال دارة التقسيم

حتى يتم اكتشاف الأخطاء نتحقق فيما يلي إذا كان z(x) يساوي الصفر أم لا وهذا العمل يتم بواسطة بوابة "OR" على الخرج فيما إذا كان يساوي 1 أي $z(x)\neq 0$ فإذا الباقي z(x) يساوي الصفر يكون على خرج البوابة "OR" سيكون لدينا صفر وفي حال العكس سيكون 1 يشير ذلك على أن الكلمة التي نستقبلها قد تعرضت للخطأ لذلك لابد من إعادة إرسالها ، عملية الترميز وكشف الترميز لها القدرة على

كشف باكيت من الأخطاء طوله m أو أقل لباكيت الأخطاء الذي يبدأ في المكان j وله طول يساوي L=m يمكن أن نكتب :

$$L(x)=x^{j}+\varepsilon_{j+1}\ x^{j+1}+....+x^{j+m-1}$$

وبما أن أول وآخر أمثال كثير الحدود للأخطاء هو "1" أما البقية يمكن أن تكون "1" أو "0" وبالتالي يمكن أن يكتب باكيت الأخطاء على الشكل التالي :

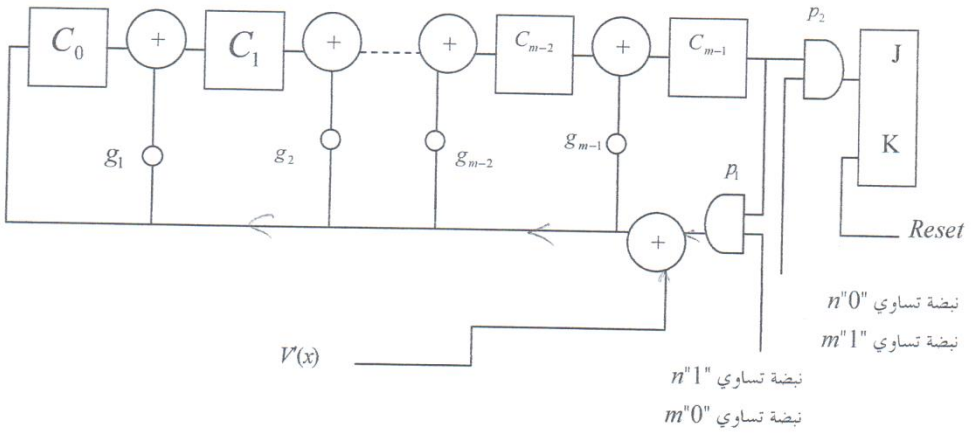
$$L(x)=x^{j}(1+\varepsilon_{j+1}\ x+....+x^{m-1})=x^{j}\ b(x) \quad .....(4-132)$$

$$v^{/}(x)=v(x)+ L(x) \quad .....(4-133)$$

$$z(x)= rest\ (\ L(x)\ /\ g(x))\ =\ rest\ (\ x^{j}.b(x)\ /\ g(x)) \quad .....(4-134)$$

وبما أن b(x) من الدرجة m−1 ليس مقسم على g(x) وبما أن g(x) لايقبل التحليل (ليس له جذور) وهو مقسم لكثير الحدود x^{n+1} فالباقي $x^{j}.b(x)/g(x)$ يختلف عن الصفر إذاً المرمز قادر على كشف باكيت من الأخطاء طوله m في أي مكان .

حتى يكون لدينا كاشف ترميز مطابق للمرمز نستخدم الدارة التالية :



الشكل (٤−١٨) : دارة كاشف الترميز المطابقة للمرمز

حيث دارة القلاب تكون في وضعية العمل إذا كان محتوى المسجل يختلف عن الصفر في هذه الحالة يكون الباقي الذي نحصل عليه مساو لما هو عليه في الدارة المبينة في الشكل الأول مضروب بـ x^{m} وهذه لها أهمية فقط في حالة القيام بعملية كشف الترميز .

٤-٧-٩ ترميز هامينغ الدوري المصحح لخطأ واحد:

يتميز ترميز هامينغ بمصفوفة المراقبة

$$H=[\ U\ TU\ T^2U\ \ldots\ldots\ T^{n-1}U\ ] \quad \ldots\ldots(4-135)$$

حيث $n=2^m-1$ عدد رموز الكلمة

T هي المصفوفة المميزة للمسجل وتعطى على الشكل التالي

$$T=\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & . & . & . & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & . & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & . & . & . & . & 0 & 1 \\ g_0 & g_1 & . & . & . & . & g_{m-1} \end{bmatrix}$$

أي أن كثير الحدود للمصفوفة T هو كثير الحدود المولد الذي يحدد نوعية المسجل ذو التغذية العكسية

طبقاً لنظرية (كايلي هاملتون) فالمصفوفة T هي جذر لكثير الحدود g(x)

U : هو أول عمود من المصفوفة T وهو يمثل الحالة الابتدائية أي أن جميع خلايا المسجل تحتوي على حالة "0" ماعدا الخلية C_{m-1} تحتوي على "1" .

عملية الترميز تتم طبقاً للعلاقة:

$$H.U^T=0 \quad \ldots\ldots\ldots(4-136)$$

إذا كان كثير الحدود المولد (أولي) g(x) يكون لدينا :

$$g(x)= 1+ g_1x+g_2.x^2+\ldots+g_{m-1}.x^{m-1}+x^m \quad \ldots\ldots\ldots(4-137)$$

وبما أن مسجل الإزاحة ذو التغذية العكسية يصمم طبقاً لكثير الحدود فإنه يولد ترميز دوري هامينغ ذو m رمز مراقبة و $k=n-m$ رمز معلومات .

يختلف هذا المرمز عن مرمز هامينغ الزمري بأنه مرمز نظامي .

ميزة مرمز هامينغ ذو المراقبة المعطى بالعلاقة (135) ويكون قادراً على تصحيح خطأ واحد حيث فقط يكون عمودان مستقلان خطياً

في الحقيقة

$$T^iU+T^kU=(T^i+T^k)U=T^jU\neq 0$$

يمثل شعاع الخطأ في المصفوفة

$$\varepsilon=[\ \ldots\ldots\alpha_{n-r}\ \ldots\ldots] \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(4-138)$$

أي أنه يظهر خطأ واحد في الوضعية n−r ويعطى المصحح في هذه الحالة بالعلاقة:

$$z=H\,\varepsilon^{T}=T^{n-r}\,.\,U \qquad \ldots\ldots\ldots(4-139)$$

نفترض أن الرمز α'_{n-r} أي الرمز الداخل إلى مسجل الإزاحة بعد r نبضة تكون خاطئة

$$\alpha'_{n-r}=\alpha_{n-r+1} \qquad \ldots\ldots\ldots(4-140)$$

وبما أن $n=2^{m}-1$ هي فترة T (كثير الحدود للمصفوفة T هو أولي) فإن الدورة تكون عظمى وتساوي إلى العدد الكلي للحالات الممكنة التي تختلف عن الصفر أي $2^{m}-1$

$$T^{n}=T \qquad \ldots\ldots\ldots(4-141)$$

أي

$$z=T^{-r}.U \qquad \ldots\ldots\ldots(4-142)$$

٤−٨ الترميز الانطوائي :

من أهم طرق الترميز المستخدمة في كشف الأخطاء وتصحيحها، ويمتاز بسهولة بناء المرمز المعتمد بشكل رئيسي على سجلات الإزاحة Shift Register، كما أن أدء المرمز يعتمد على تعقيد مفكك الترميز، أي أن أداءه يتعلق بالتصميم وخوارزمية فك الترميز المستخدمة، فكلما كانت هذه الخوارزمة 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 الترمز الكتلي يتم تقسيم المعطيات Data إلى كتل بطول ثابت وليكن *k* مثلاً ولا يعمل المرمز إلا في حال توفر *k* بت على دخله. في حين أن المرمز الانطوئي 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 الأقنية بذاكرة Memory، والتي هي النوع الشائع من الأقنية 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.

نرمز لرسالة المعلومات الصادرة من المنبع بالرمز $m = m_1, m_2, \dots, m_i, \dots$.

ويعبر الرمز i عن الترتيب الزمني لورود البت من المنبع (يمكننا تعميم حالة البت إلى أي أبجدية كانت دون أي تغيير لذلك فإن افتراض كون الرسالة سلسلة بتات لا يقلل من عمومية المسألة). وحتى تكون الرسالة الصادرة من المنبع معلومة يجب أن لا يكون هناك أي علاقة بين بتات الرسالة، بمعنى أن بتات الرسالة يجب أن تكون مستقلة عشوائياً.

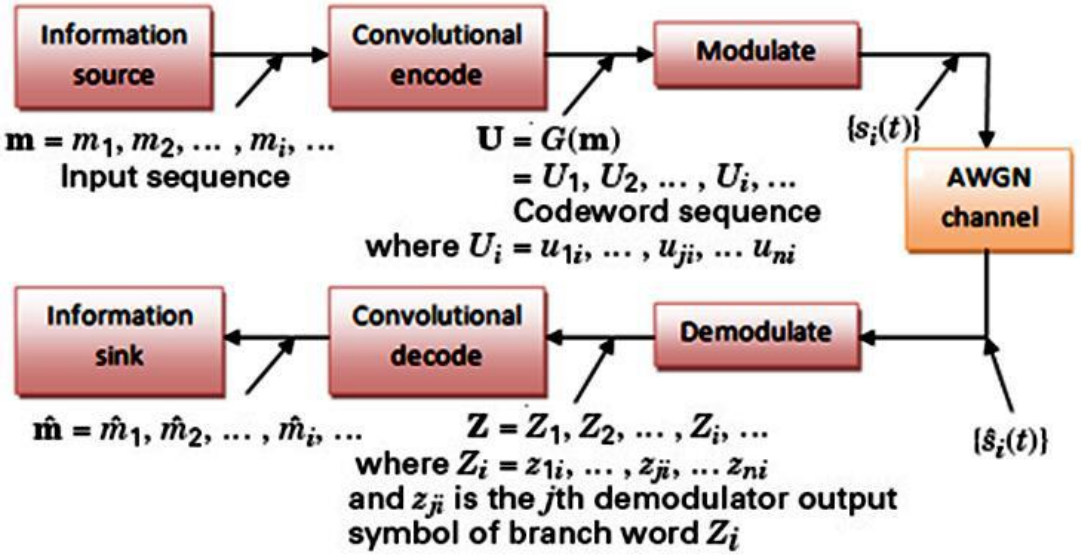
وجود هذا الاستقلال العشوائي يفرض علينا أنه لا يوجد أية بتات إضافية Redundancy، أي أن معرفة أي بت من الرسالة لا يعطينا أي تقدير للبت التالي، حيث أن بتات الرسالة لها توزع احتمالي منتظم أي : $P(m_i = 1) = P(m_i = 0) = \frac{1}{2}$.

وظيفة المرمز هي تحويل بتات الرسالة من بتات مستقلة عشوائياً إلى بتات مرتبطة ببعضها البعض بعلاقات رياضية مما يسهل عملية كشف الأخطاء وتصحيحها.

نرمز لكلمة الترميز (خرج المرمز) بـ U وهي عبارة عن تابع متقطع للرسالة، أي أنّه يوجد تابع G بحيث: $U = G(m)$.

كل جزء من كلمة الترميز $U = U_1, U_2, \dots, U_i, \dots$ نسميه برمز قناة Channel Symbol.

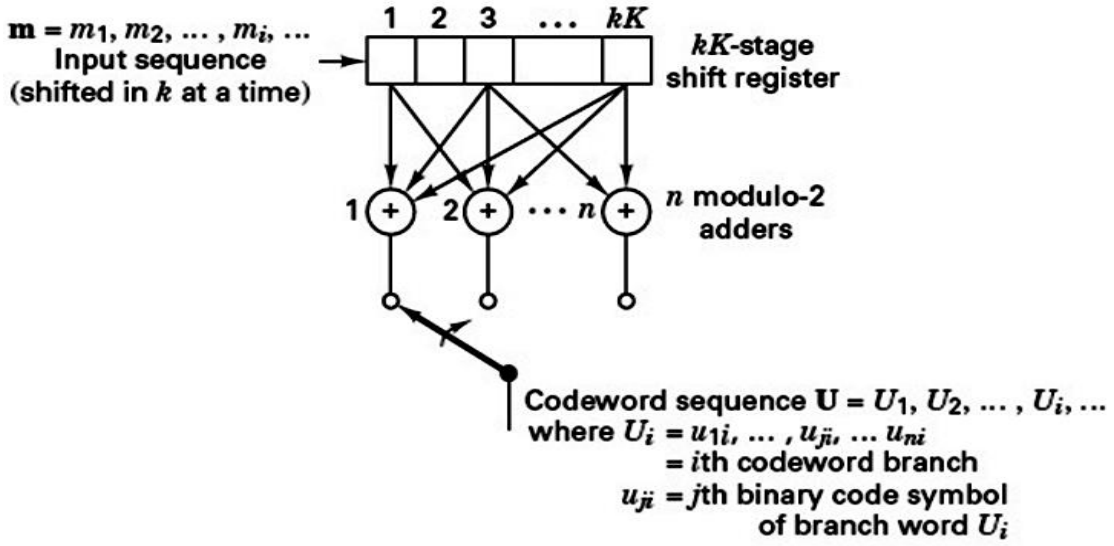
لقد رأينا سابقاً أنه بأي نظام اتصال فإن رموز القناة هي التي يتم تعديلها وإرسالها وليس بتات الرسالة الأصلية، وذلك كما يوضح الشكل التالي:



الشكل (٤-١٩) : العمليات التي تتم على بتات الرسالة في الإرسال والاستقبال

وبالتالي فإن المرمز Encoder عبارة عن تابع تقابل(بدخول بت جديد يتشكل لدينا خرج جديد مقابل لحالة سجل المرمز الجديدة) متقطع أي دخله ليس مستمراً.

يوضح الشكل التالي بنية المرمز الانطوائي بشكل عام:



الشكل (٤-٢٠) : المرمز الانطوائي

حيث يتألف من مسجل ذات K خانة وبالتالي يمكن تشكيل 2^K كلمة، أما خرج المرمز فيتألف من nبت وبالتالي يمكن الحصول على 2^n كلمة يكون منها 2^K كلمة مفيدة والباقي 2^{n-K} كلمة لامعنى لها، و هنا يأتي دور مفكك الترميز حيث يتوجب عليه عند استقبال إحدى الكلمات التي ليس لها معنى إرجاعها إلى كلمة مفيدة ذات معنى، وذلك حسب مسافة هامينغ.

المرمز الكتلي يُحدد بثنائية هي طول كتلة الدخل k وطول كلمة الترميز n أي (k,n)، في حين أن الترميز الانطوائي لا يحدد بثنائية وإنما بثلاثية (k,n,K) حيث k تمثل عدد الإزاحات في كل نبضة ساعة،n تمثل عدد مخارج كل سجل وK تمثل عدد سجلات الإزاحة المستخدمة.

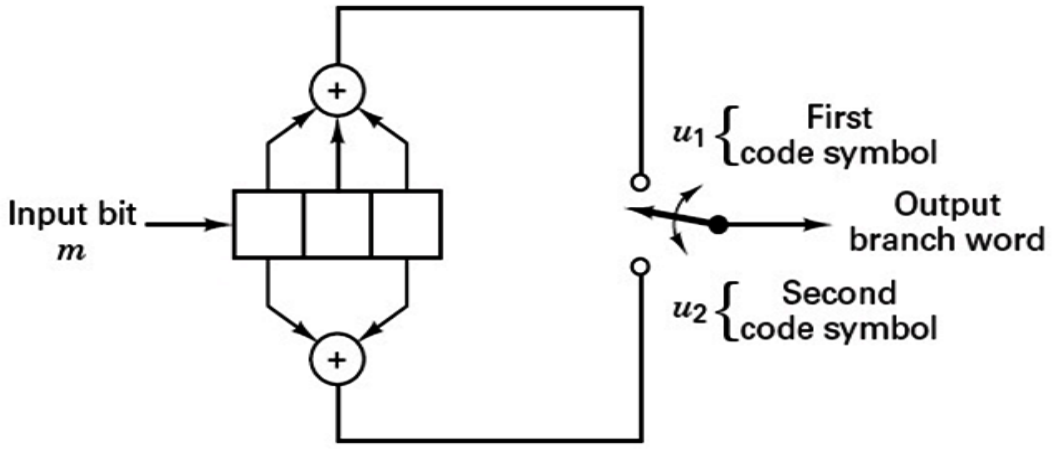
سنهتم بالنوع الأكثر استخداماً وشيوعاً وهو المرمز الذي يتم فيه إزاحة بت واحد كل نبضة ساعة.

٤-٨-١ التعبير عن المرمز :

كما رأينا فإنه لتحديد المرمز نحتاج للتعبير عن التابع $G(m)$، بذلك يصبح أي شخص قادر على إيجاد كلمة الترميز بمجرد إعطائه الرسالة. هناك طرق مختلفة لإيضاح هذا التابع نذكرها فيما يلي:

- باستخدام الوصلات Connection Representation:

كما أشرنا سابقاً فإن بناء المرمز يعتمد بشكل رئيسي على سجلات الإزاحة، وليكن لدينا المثال التالي:



الشكل (٤-٢١) : مرمز انطوائي

لنحدد أولاً المرمز (تحديد الثلاثية):

افترضنا هنا كون الإزاحة بمقدار بت وحيد عند كل نبضة ساعة، وكون سجل الإزاحة مكون من ثلاث خانات أي طوله K=3، ولديه خرجين n=2. بالتالي يكون معدل الترميز يساوي $R = \frac{1}{2}$.

كيف يعمل المرمز؟

في الحالة الابتدائية تكون قيم السجلات مساوية للصفر، عند ورود بت جديد تتم إزاحة محتوى سجلات الإزاحة بمقدار بت واحد وحساب المجموعَين، ومن ثم يقوم مفتاح بإخراج ناتجي عمليتي الجمع بترتيب محدد مسبقاً.

نلاحظ أن الوصلات هي التي تحدد الخرج، بالتالي فإن أي تغيير في ترتيب الوصلات يقودونا إلى ترميز جديد. كما أن عدد الخانات يلعب أيضاً دوراً رئيسياً في تحديد المرمز.

بالتالي فإنه للتعبير عن المرمز نلاحظ أنه يكفينا فقط تحديد عدد خانات سجل الإزاحة ووصف الوصلات لدار ة الجامع.

يجب عند البدء بعملية الترميز أن تكون الحالة الإبتدائية لسجلات الإزاحة أصفار وبالتالي لإعادة المرمز إلى حالته الابتدائية يجب إدخال سلسلة أصفار إلى المرمز عددها $K-1$ حيث سيخرج البت الأخير المتبقي عند دخول أول بت لرسالة المعلومات.

إحدى الطرق المتبعة هي استخدام الأشعة، يكون كل شعاع عبارة عن سلسلة أصفار وواحدات بطول يساوي إلى عدد خانات سجل الإزاحة، حيث يمثل الصفر كون الخانة غير موصولة للجامع بينما يمثل الواحد كونها موصولة. عدد هذه الأشعة يساوي إلى عدد دارات الجامع المستخدمة، فمن أجل المثال السابق نعبر عن المرمز بالطريقة التالية:

$$g_2 = 101 \quad , \quad g_1 = 111$$

لإيجاد الخرج بسرعة يمكننا استخدام مفهوم الاستجابة النبضية، ونقصد بالاستجابة

النبضية قيمة الخرج من أجل دخل يساوي الـ 1. فمن أجل المرمز السابق نكتب قيم الخرج من أجل دخل يساوي 1 ينتقل في سجلات الازاحة والجدول التالي يوضح قيمة الاستجابة:

قيم السجلات	كلمة الترميز	
	u_1	u_2
100	1	1
010	1	0
001	1	1

الجدول (٤-٣) : خرج المرمز الموافق لمحتوى السجل

رسالة الدخل: 1 0 0 ، الخرج: 111011

بالتالي لحساب ترميز أي رسالة نستخدم خطية المرمز، ويوضح المثال التالي كيفية إيجاد قيمة الترميز. فمثلا من أجل دخل 101 نحسب الخرج كما يلي:

الدخل	الخرج				
1	11	10	11		
0		00	00	00	
1			11	10	11
ناتج المجموع	11	10	00	10	11

الجدول (٤-٤): بتات الدخل ، خرج المرمز الانطوائي

- باستخدام كثيرات الحدود:

يمكننا التعبير عن المرمز باستخدام كثيرات الحدود (في حقل غالواه Galois)، فمن أجل المثال السابق يمكننا كتابة المرمز على الشكل التالي:

$$g_2(x) = 1 + x^2 \quad ، \quad g_1(x) = 1 + x + x^2 \quad ....(4-143)$$

نوجد كلمة الترميز لرسالة m باستخدام العلاقة التالية:

$$U(x) = m(x)(g_1(x) + g_2(x)) \qquad .....(4-144)$$

لهذه الطريقة في التعبير عن المرمز العديد من الفوائد من أهمها الاستفادة من خصائص كثيرات الحدود في بناء مرمز بسيط وذو أداء قوي.

من أجل المثال السابق نفسه نحسب قيمة الخرج كما يلي:

$$m(X)g_1(X) = (1+X^2)(1+X+X^2) = 1+X+X^3+X^4$$
$$m(X)g_2(X) = (1+X^2)(1+X^2) = 1+X^4$$

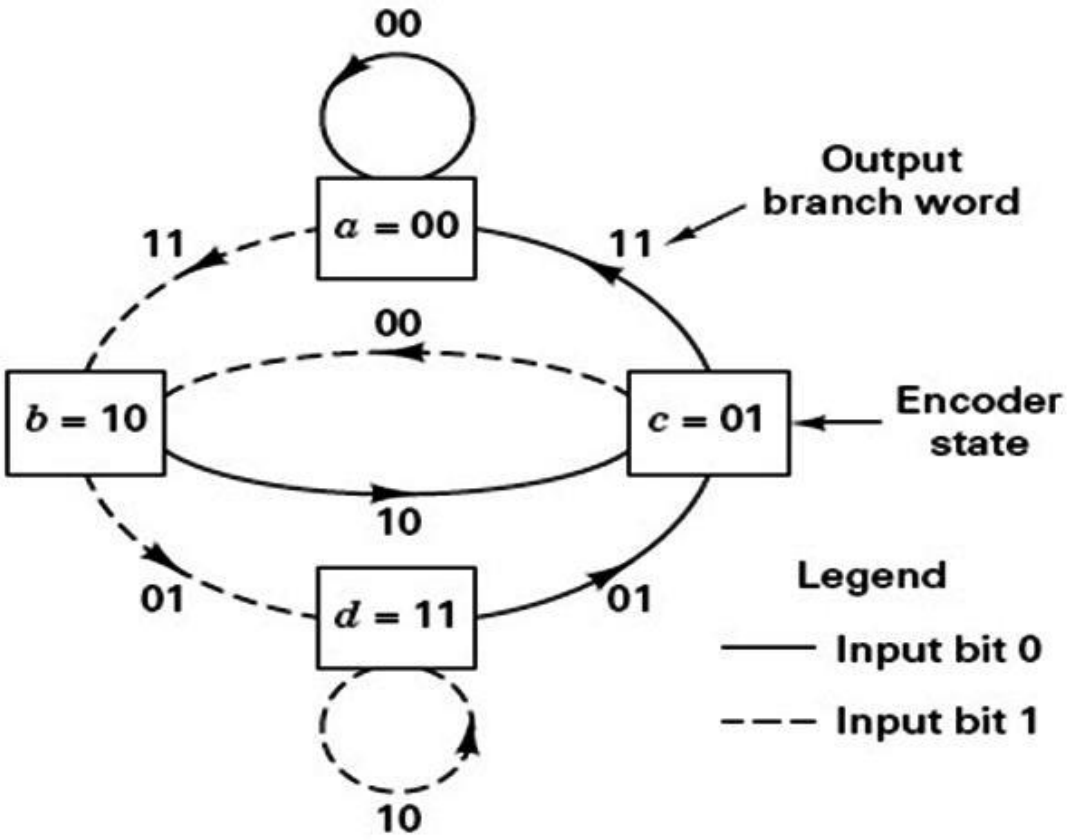
$$m(X)g_1(X) = 1+\ \ X+0X^2+\ X^3+X^4$$
$$m(X)g_1(X) = 1+0X+0X^2+0X^3+X^4$$

$$U(X) = (1,1)+(1,0)X+(0,0)X^2+(1,0)X^3+(1,1)X^4$$
$$U = \ 11\quad 10\quad 00\quad 10\quad 11$$

باستخدام هذه الطريقة في التعبير عن المرمز يمكننا اعتبار المرمز الانطوائي مرمزاً دائرياً والاستفادة من كافة خواص المرمز الدائري في تبسيط المرمز.

- باستخدام مخطط الحالة:

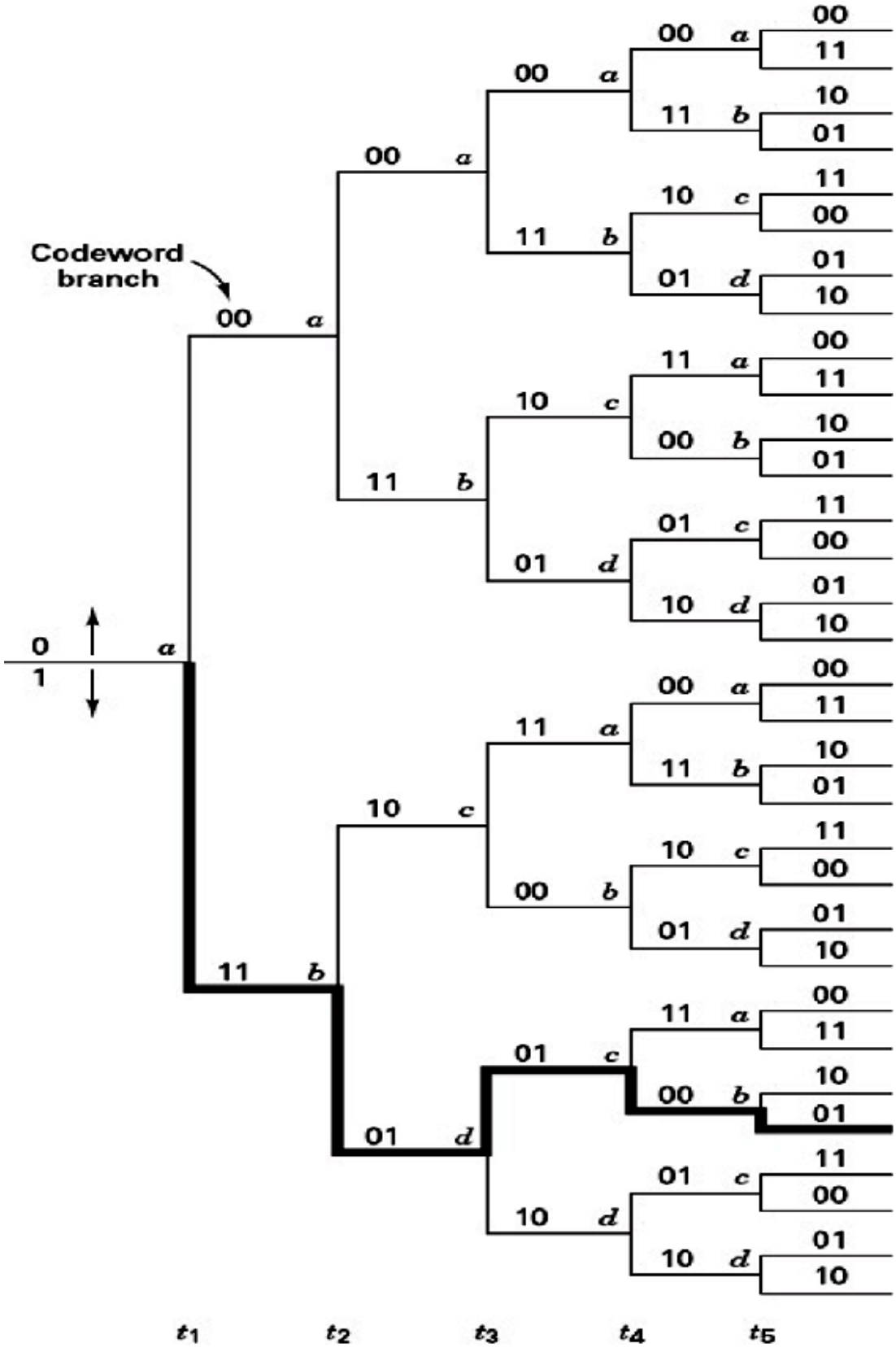
كما أشرنا في بداية حديثنا فإن المرمز الانطوائي يعتمد على سجلات الإزاحة وبالتالي يوجد حالات راهنة وحالات سابقة ويمكن التعبير عن ذلك باستخدام مخطط الحالة.



الشكل (٤-٢٢): مخطط الحالة للمرمز الانطوائي

- باستخدام المخطط الشجري:

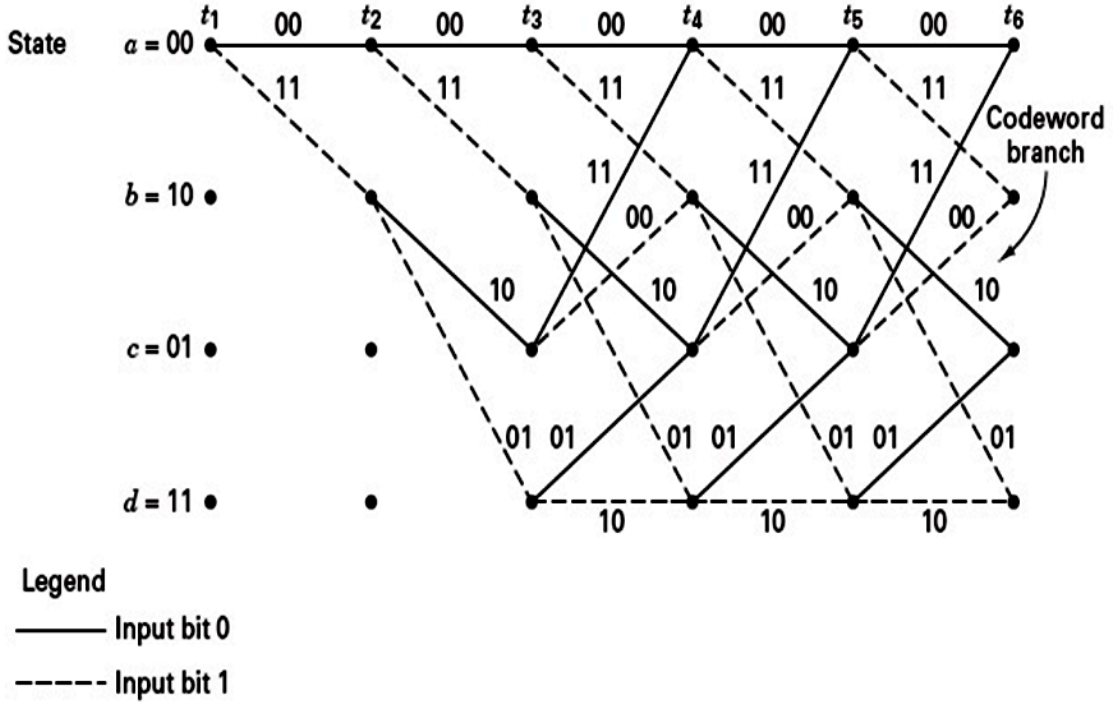
على الرغم من كون مخطط الحالة يصف المرمز بشكل جيد إلا أنه ليس من السهولة متابعة الترميز لذلك نستخدم ما يسمى بالمخطط الشجري والذي يوضحه الشكل التالي:



الشكل (٤-٢٣): المخطط الشجري للمرمز الانطوائي

- باستخدام المخطط الشبكي:

وهو ما يوضحه الشكل التالي:



الشكل (٤-٢٤): المخطط الشبكي للمرمز الانطوائي

كانت هذه معظم طرق التعبير عن المرمز الانطوائي.

٤-٨-٢ كشف الترميز Decoding:

خوارزمية فيتربي Viterbi:

تمتاز بأداء جيد لكن بحاجة إلى دارات معقدة للتنفيذ، وحجم ذاكرة كبير نسبياً.حيث يتم استقبال السلسلة كاملة، ثم البحث عن أقرب مسار للمسار المستقبل (أصغر مسافة هامينغ يمكن الوصول إليها) أي أنها تسعى إلى جعل احتمال الخطأ أصغرياً.

نفترض ان الدخل ذو توزيع منتظم بمعنى أن احتمالات صدور أي رمز من رموز الأبجدية المستخدمة متساوية. نتعامل هنا مع الاحتمالات الشرطية، أي ما هو احتمال ان تكون السلسة المرسلة هي U علما ان السلسلة المستقبلة هي Z ونعبر عن هذه العملية بالرمز $p(Z|U)$.

كون كلمات الترميز تستخدم عدد أكبر من البتات n بت عددها 2^n، إلا ان المرمز يصدر مجموعة جزئية من هذه الرموز عددها 2^k، فلكل رمز صادر عن المرمز مجموعة جزئية من الكلمات الممكن استقبالها.

فإذا افترضنا ان الكلمة المستقبلة هي Z وأن U هي أحد الكلمات الممكن ان تكون صادرة عن المرمز، فإن المرمز يختار الكلمة U' التي تحقق العلاقة التالية:

$$p(Z|U') = \max_{\text{من أجل جميع الكلمات الممكنة}}[p(z|U)]$$

وهذه هي قاعدة الأرجحية العظمى، وهي اساس نظرية اتخاذ القرار Decision Theory.

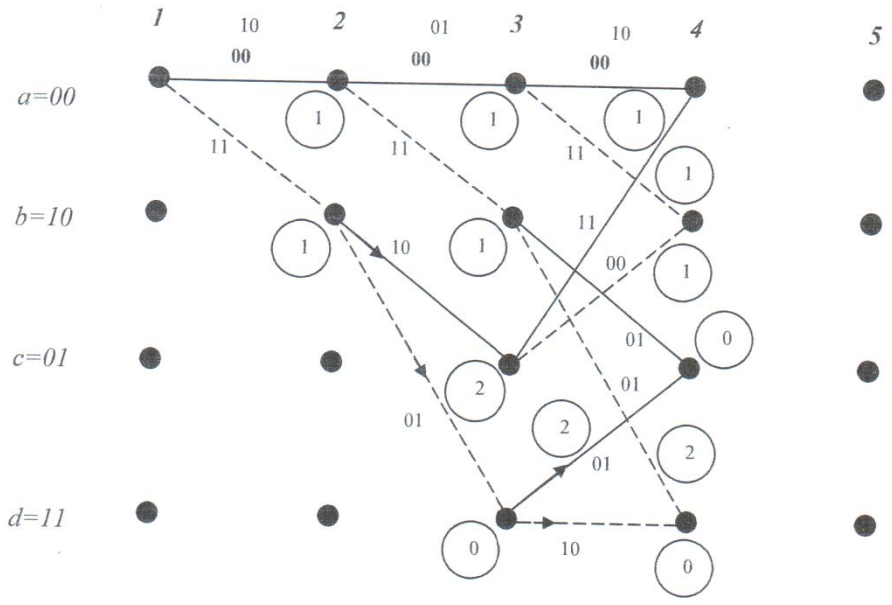
إذن الهدف جعل الاحتمال $p(Z|U')$ يبلغ قيمته العظمى، لكن لدينا:

$$p(Z|U') = \prod_{i=1}^{\infty}\prod_{j=1}^{n} p(z_{ij}|U_{ij}) \quad \ldots.(4-145)$$

باستخدام تابع اللوغاريتم نحول الجداء إلى جمع، ان استخدام تابع اللوغاريتم لا يؤثر على النتجة لإنه تابع متزايد تماما. ومنه:

$$\gamma_U(\mathrm{m}) = \log[p(Z|U')] = \sum_{i=1}^{\infty}\log[p(z|U_i)] = \sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{n}\log[p(z_{ij}|U_{ij})] \quad \ldots.(4-146)$$

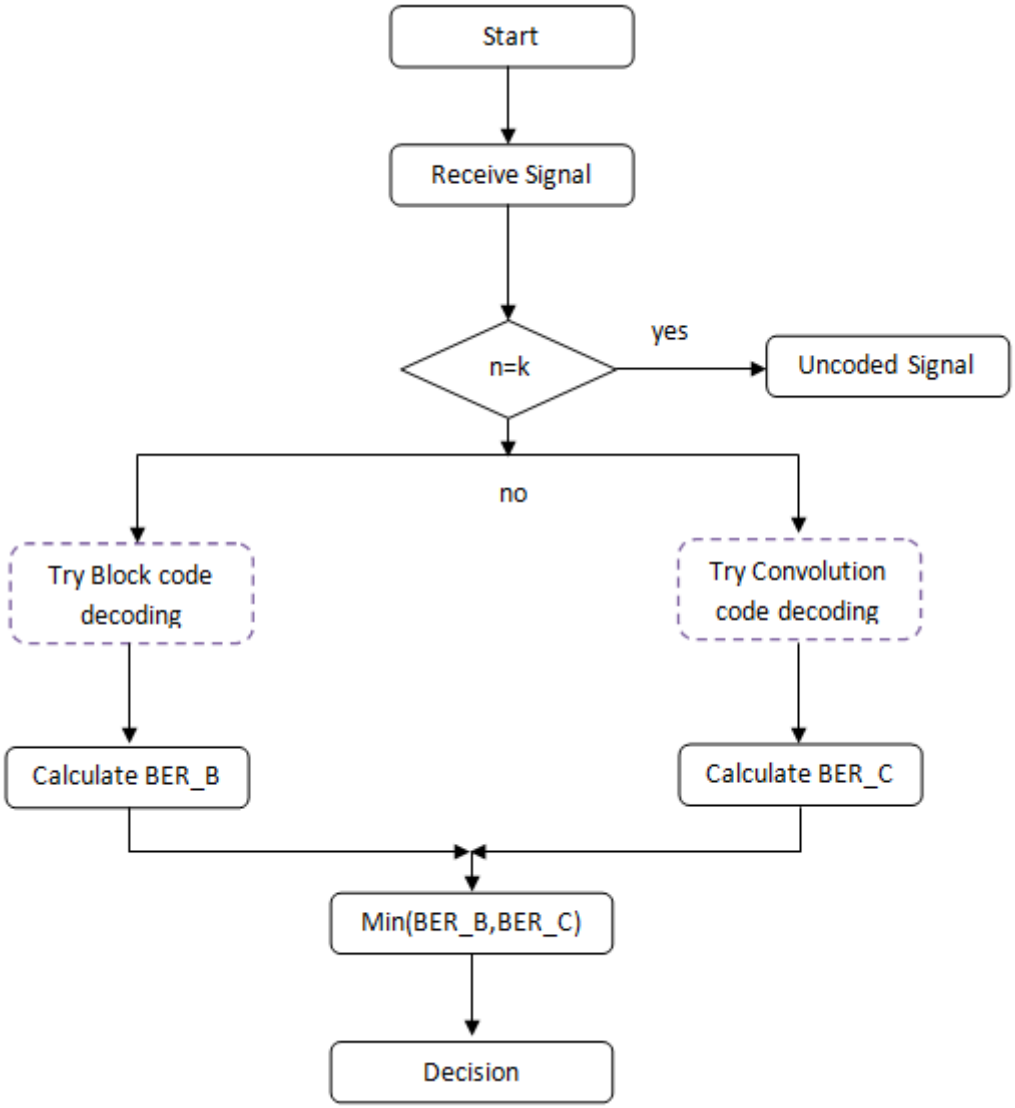
من العلاقة السابقة نجد ان الخوارزمية الأمثلية لعملية فك الترميز هي التي تعتمد على التمثيل الشبك أو الشجري، كما أن عملية فك الترميز يجب ان تتم بعد استقبال كامل الرسالة.



الشكل (٤-٢٥): خوارزمية فيتربي

٤-٩ خوارزمية التعرف الآلي على نوع الترميز:

في هذه الخوارزمية تمرر الإشارة المستقبلة 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 المستقبلة ثم يتم فك ترميزها .



الشكل (٤- ٢٦) : خوارزمية التعرف الآلي على الترميز.

خوارزمية العمل المقترحة والنتائج

٥-١ تقدير (تقييم) الأداء Performance evaluations:

تبين الجداول التالية نتائج أداء خوارزمية التعرف الآلي على التعديل الرقمي (خوارزمية Azzouz & Nandi) عند SNR=10,15,20 dB

إن التمييز بين الأنواع المختلفة من التعديل الرقمي في هذا النوع من أنواع التعرف الآلي المبين في خوارزمية التعرف الآلي على التعديل الرقمي (DMRA) قد صنفت بنسبة نجاح 98% عند SNR=10 dB

إن نسبة النجاح في MPSK هي أقل من غيرها بسبب التحديد غير الدقيق لعتبات المحددات المميزة يتضح من الجدول الأول أن جميع التعديلات قد صنفت بنسبة نجاح 98% عند SNR=10dB أما الجدول الثالث عند SNR=20dB كانت نسبة النجاح أكثر من 99% وإن أربع أنماط من أصل ستة قد صنفت بنسبة نجاح 100% .

Simulated Modulation type	Deduced Modulation type					
	ASK2	ASK4	PSK2	PSK4	FSK2	FSK4
ASK2	98.3%	1.7%	-	-	-	-
ASK4	-	100%	-	-	-	-
PSK2	-	-	99.3%	-	0.7%	-
PSK4	-	-	-	98.8%	1.2%	-
FSK2	-	-	-	0.5%	99.5%	-
FSK4	-	-	-	1.0%	0.7%	98.3%

الجدول (٥-١): نتائج أداء خوارزمية التعرف الآلي على التعديل الرقمي عند SNR=10 dB

Simulated Modulation type	Deduced Modulation type					
	ASK2	ASK4	PSK2	PSK4	FSK2	FSK4
ASK2	98.3%	1.7%	-	-	-	-
ASK4	0.2%	99.8%	-	-	-	-
PSK2	-	-	99.3%	-	0.7%	-
PSK4	-	-	-	98.8%	1.2%	-
FSK2	-	-	-	0.5%	99.5%	-
FSK4	-	-	-	1.0%	0.5%	98.5%

الجدول (٥-٢): نتائج أداء خوارزمية التعرف الآلي على التعديل الرقمي عند SNR=15 dB

Simulated Modulation type	Deduced Modulation type					
	ASK2	ASK4	PSK2	PSK4	FSK2	FSK4
ASK2	100%	-	-	-	-	-
ASK4	-	100%	-	-	-	-
PSK2	-	-	99.3%	-	0.7%	-
PSK4	-	-	-	98.8%	1.2%	-
FSK2	-	-	-	-	100%	-
FSK4	-	-	-	-	-	100%

الجدول (٥-٣): نتائج أداء خوارزمية التعرف الآلي على التعديل الرقمي عند SNR=20 dB

بينما تبين الجداول التالية نتائج أداء تحسين الخوارزمية 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

إن استخدام العزوم إلى جانب المحددات المميزة تحسن نسبة كشف إشارات PSK2,PSK4 وبزيادة SNR تزداد نسبة النجاح لهذه الإشارات إلى ١٠٠% عند SNR=20 dB ، بينما انخفضت نسبة نجاح ASK2,ASK4 في هذه الخوارزمية لكن بنسبة منخفضة مقارنة مع انخفاض نسبة نجاح PSK2,PSK4 الناتجة عن خوارزمية Azzouz and Nandi .

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 (٥-٤): 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 (٥-٥): 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%

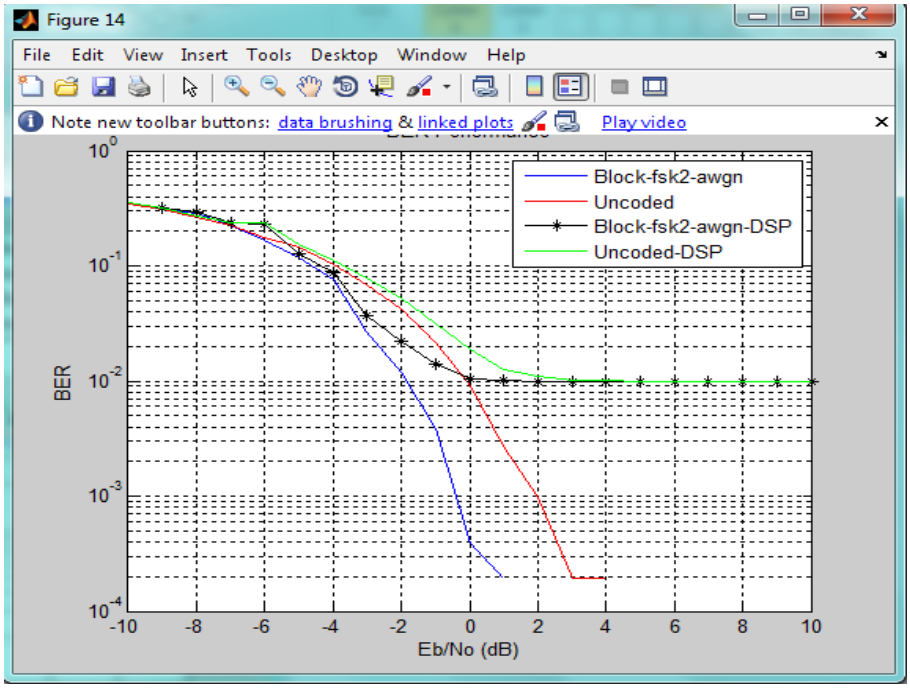
الجدول (٥-٦): نتائج أداء الخوارزمية المقترحة للتعرف الآلي على التعديل الرقمي عند SNR=20 dB

٥-٢ خوارزمية عمل الـ DSP:

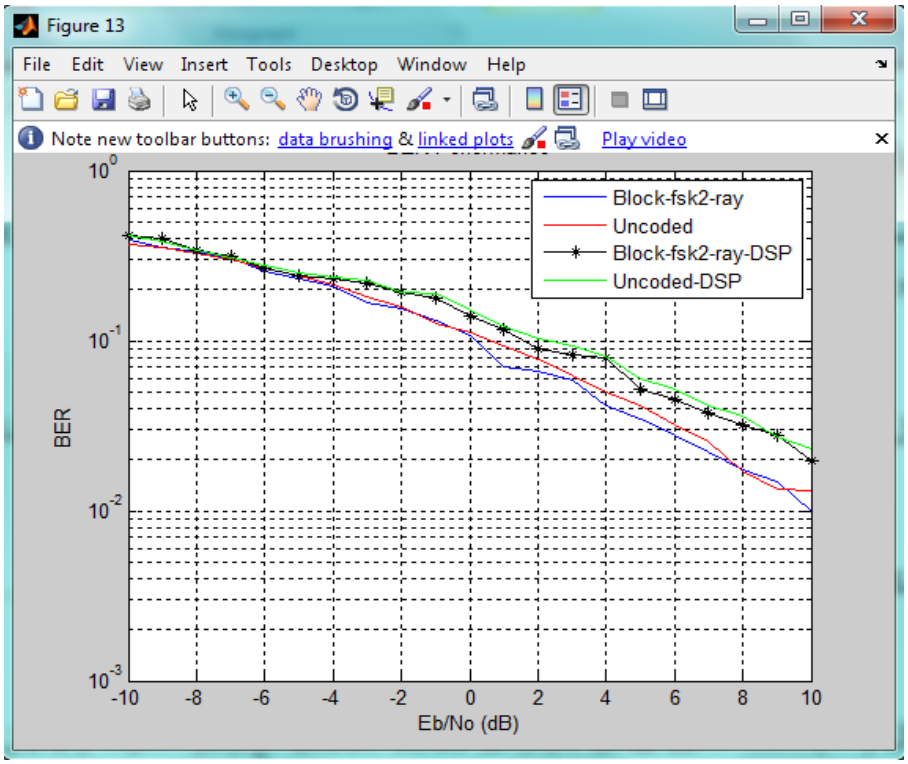
خوارزمية العمل في بطاقة الـ DSP هي نفسها في الماتلاب كخوارزمية عامة . أما الاختلاف الجوهري بينهما أنه في DSP يجب علينا تعريف جميع التوابع التي سوف نستخدمها كون المعالج لايفهم إلا لغة الـ C الأصلية . أي أنه يجب بداية تعريف تابع فوريه وفوريه العكسي وذلك من خلال بناء جدول بالقيم التي تأخذها كل قيمة يُراد تحويلها إلى فوريه أي بناء جدول : (looking table) ولاننسى أن حساب تحويل فوريه الأساسي معقد وطويل جداً حيث نحتاج إلى حسابات حتى اللانهاية ، لذلك نقوم بحساب تحويل فوريه 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 الإعدادت في ملفات config.

٥-٣ المقارنة بين النتائج الحاسوبية والنتائج العملية :

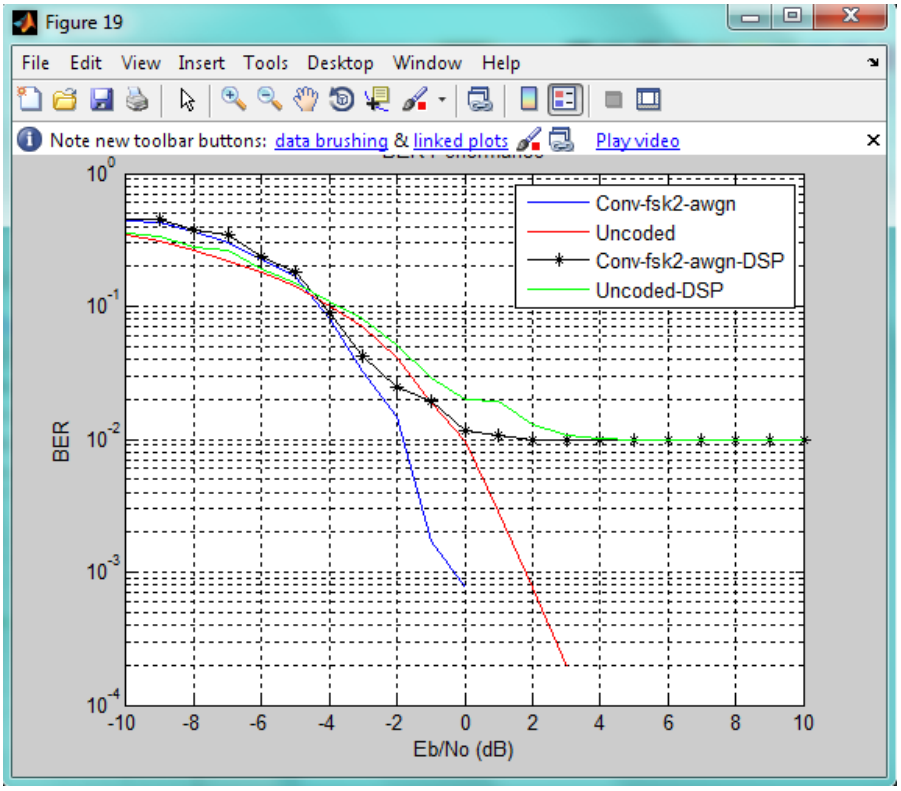
نورد فيما يلي نتائج المحاكاة الحاسوبية والتطبيق العملي وذلك بأخذ نوعين من أنواع التعديل FSK2 و PSK2 مع حالتي الترميز الكتلي والترميز الانطوائي بوجود خفوت رايلي وعدم وجود خفوت للقناة.



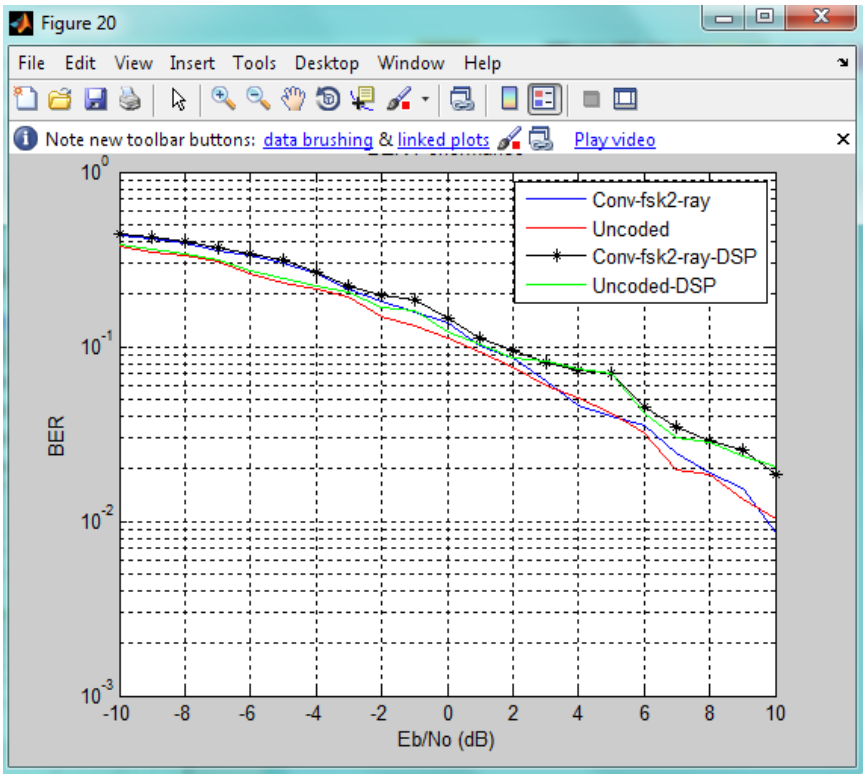
الشكل (٥-١) : حالة تعديل FSK2 وترميز Block code مع عدم وجود خفوت للقناة.



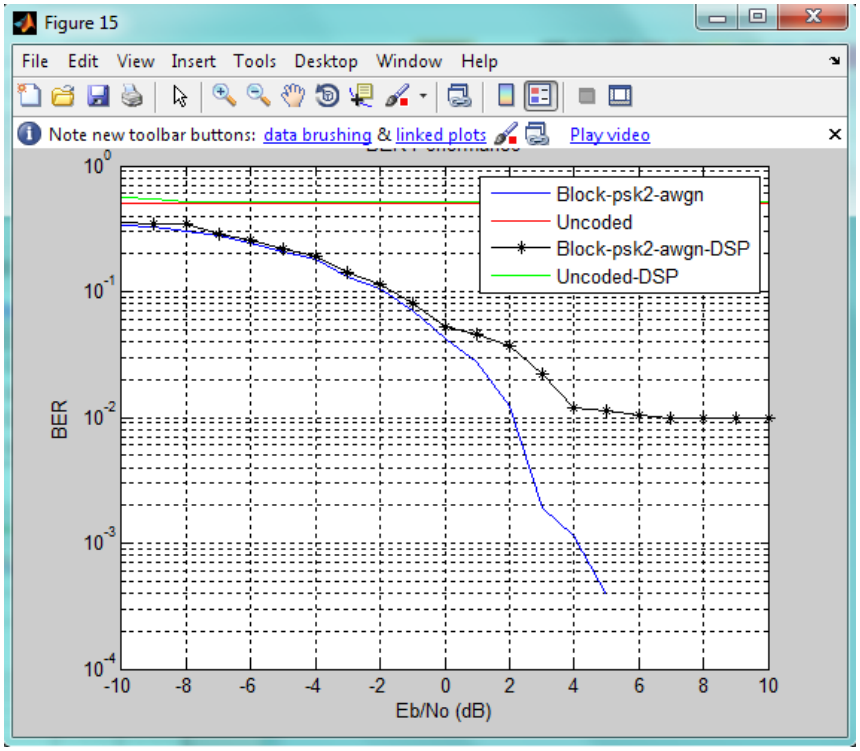
الشكل (٥-٢) : حالة تعديل FSK2 وترميز Block code مع وجود خفوت رايلي .



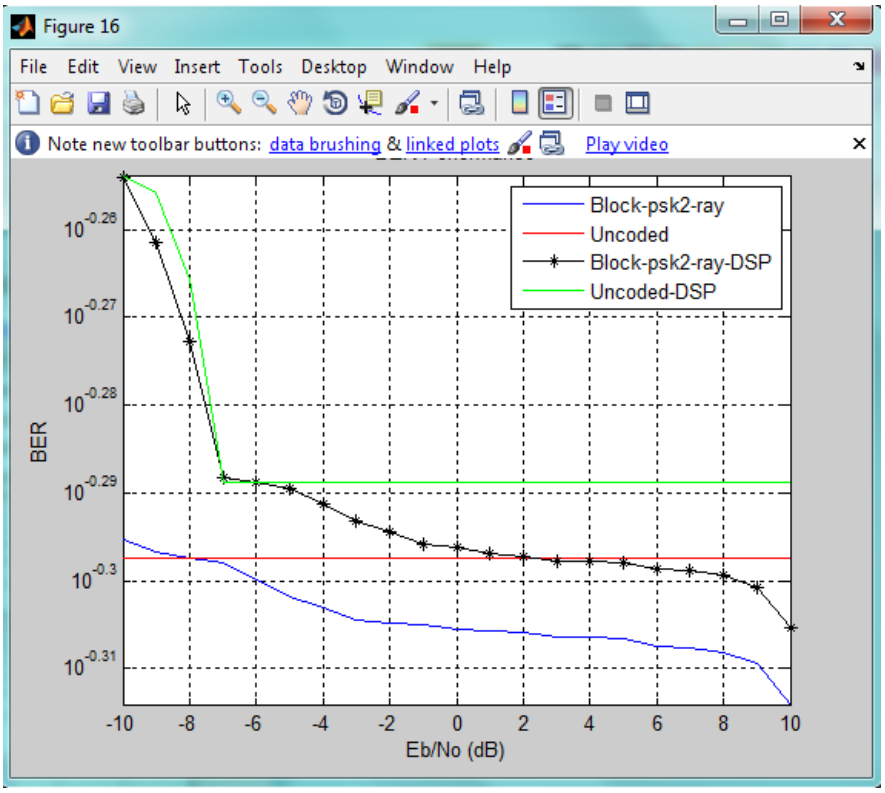
الشكل (٥-٣) : حالة تعديل FSK2 وترميز convolution code مع عدم وجود خفوت للقناة .



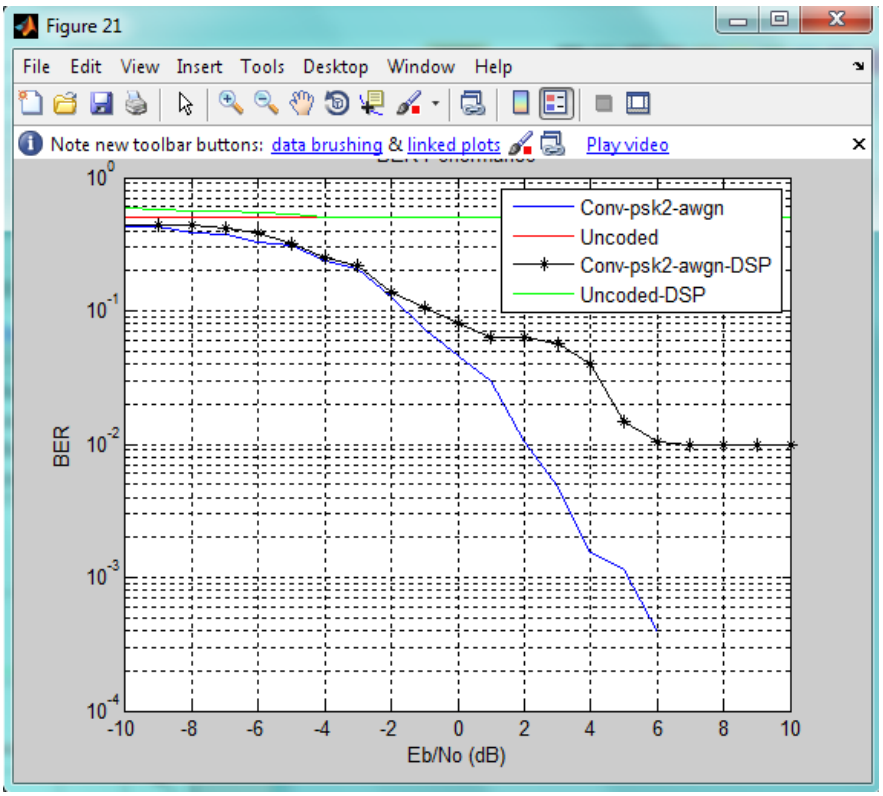
الشكل (٥-٤) : حالة تعديل FSK2 وترميز convolution code مع وجود خفوت رايلي .



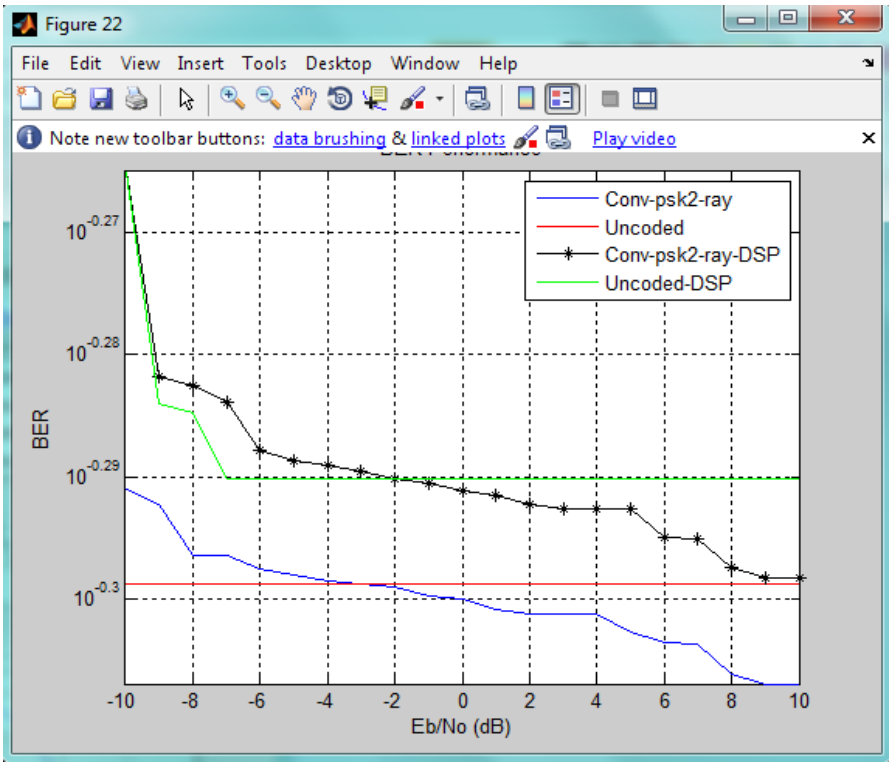
الشكل (٥-٥) : حالة تعديل PSK2 وترميز Block code مع عدم وجود خفوت للقناة.



الشكل (٥-٦) : حالة تعديل PSK2 وترميز Block code مع وجود خفوت رايلي.



الشكل (٥-٧) : حالة تعديل PSK2 وترميز convolution code مع عدم وجود خفوت للقناة .



الشكل (٥-٨) : حالة تعديل PSK2 وترميز convolution code مع وجود خفوت رايلي .

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 المستقبلة 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

ومع ذلك تظهر نتائج التطبيق العملي باستخدام معالج الإشارة الرقمية نتائج تعرف جيدة جداً عند مختلف أنواع التعديل والترميز وبوجود أو عدم وجود خفوت للقناة ممايمكن اعتماده واستخدامه في مختلف دراسات وبحوث معالجة وكشف الإشارة الرقمية.

٥-٤ التحسينات والآفاق المستقبلية:

التحسينات :

تم الاستفادة من ميزات وخصائص معالج الإشارة الرقمية في عملية كشف تعديل وترميز الإشارة بنسب عالية جداً بوجود أو عدم وجود خفوت للقناة وبدون معرفة مسبقة لنظام التعديل والترميز أو معدل الرمز ممايؤدي إلى تخفيض عدد التجهيزات المستخدمة في دارات الاستقبال وبالتالي يمكن استخدامه في مختلف دراسات وبحوث معالجة وكشف الإشارة الرقمية.

الآفاق المستقبلية :

تحسين نسبة الكشف عند نسب منخفضة لنسبة الإشارة إلى الضجيج عن طريق دراسة العزم المركزي الثالث المنسوب للتردد اللحظي المركزي المنسوب ، وتعتبر هذه الدراسة مدخل إلى استخدام الشبكات العصبونية للتعرف على الحالات المختلفة دون الحاجة إلى نظام تقليدي لأخذ قرار متكرر وفي هذه الحالة يكون مضمون العمل عند نسبة إشارة للضجيج صغيرة جداً تقارب الصفر ديسيبل أو أقل.

جدول المصطلحات العلمية

AM	Amplitude modulation	التعديل المطالي
FM	Frequency modulation	التعديل الترددي
PM	Phase modulation	التعديل الطوري
PAM	Pulse Amplitude Modulation	تعديل مطال النبضة
PDM	Pulse Duration Modulation	تعديل عرض النبضة
PPM	Pulse Position Modulation	تعديل موضع النبضة
PCM	Pulse Code Modulation	التعديل النبضي الترميزي
DM	Delta Modulation	تعديل دلتا
DPCM	Differential Pulse Code Modulation	التعديل النبضي الترميزي التفاضلي
ASK	Amplitude Shift Keying	الإقفال بإزاحة المطال
FSK	Frequency Shift Keying	الإقفال بإزاحة التردد
PSK	Phase Shift Keying	الإقفال بإزاحة الطور
	Coherent Detection	الكشف المتماسك
	Non-Coherent Detection	الكشف غير المتماسك
	Source Coding	ترميز المنبع
	Differential coding	الترميز التفاضلي
	Line Coding	ترميز الخط
	Channel Coding	ترميز القناة
	Block Coding	الترميز الكتلي
	Convolutional Coding	الترميز الإنطوائي
	Cyclic Codes	التراميز الدورية
NRZ	Non Return To Zero	عدم العودة للصفر
RZ	Return To Zero	العودة للصفر
DFT	Discrete Fourier Transform	تحويل فورييه المتقطع
FFT	Fast Fourier Transform	تحويل فورييه السريع
	Shot Noise	ضجيج الإطلاق
	Thermal Noise	الضجيج الحراري
	White Noise	الضجيج الأبيض
AWGN	Additive White Guassian Noise	الضجيج الغاوصي الجمعي الأبيض
BSC	Binary Symmetric Channel	القناة الثنائية المتناظرة
	Doppler Effect	أثر دوبلر
	Fading Channels	قنوات الخفوت
DMC	Discrete Memoryless Channel	القناة المتقطعة بدون ذاكرة
	Rayleigh Fading	خفوت رايلي
	Rician Fading	خفوت ريسيان

$a_{cn}(i)$	centered normalized instantaneous amplitude	المطال اللحظي المركزي المنسوب
$\emptyset_{NL}(i)$	Nonlinear Instantaneous Phase	الطور اللحظي غير الخطي
$f(i)$	Instantaneous Frequency	التردد اللحظي
γ_{max}	the maximum value of the spectral power density of the normalized-centered instantaneous amplitude	القيمة العظمى لكثافة الاستطاعة الطيفية للمطال اللحظي المركزي المنسوب
σ_{ap}	the standard deviation of the absolute value of the centered non-linear component of the instantaneous phase in the non-weak intervals of a signal segment	الإنحراف المعياري للمركبة الطورية غير الخطية المركزية بالقيمة المطلقة وفوق عتبة محددة
σ_{dp}	the standard deviation of the direct (not absolute) value of the centered non-linear component of the instantaneous phase	الإنحراف المعياري للمركبة الطورية غير الخطية المركزية بالقيمة المباشرة وفوق عتبة محددة
σ_{aa}	the standard deviation of the absolute value of the normalized-centered instantaneous amplitude	الإنحراف المعياري للمطال اللحظي المركزي المنسوب بالقيمة المطلقة
σ_{af}	the standard deviation of the absolute value of the normalized instantaneous frequency	الإنحراف المعياري للتردد اللحظي المركزي المنسوب بالقيمة المطلقة فوق عتبة محددة
M	The third central moment	العزم المركزي الثالث
Kr	The normalized fourth central moment (Kurtosis)	العزم المركزي الرابع المنسوب
PDF	Probability Duration Function	تابع كثافة الاحتمال
SNR	Signsl to Noise Ratio	نسبة الإشارة للضجيج

References:

[1] E. E. Azzouz and A. K. Nandi, " AUTOMATIC MODULATION RECOGNITION OF COMMUNICATION SIGNALS ", Kluwer Academic publishers , 1996.

[2] E. E. Azzouz and A. K. Nandi, "Automatic Modulation Recognition-1" J.Franklin Inst. Vol.334b,No.2,pp.241-273, 1997.

[3] E. E. Azzouz and A. K. Nandi, "Automatic identification of digital modulations" , Signal processing , Vol.47, No.1, pp.55-69, 1995.

[4] E. E. Azzouz, "Signal intelligence processing: Modulation recognition", M.Sc. thesis, Military Technical College, Cairo, Egypt, February 1992.

[5] E. E. Azzouz and A. K. Nandi, " Algorithms for modulation recognition of communication signals". Submitted to IEEE Trans. Commun.

[6] M. Hillenmeyer , "Applied Statistics". Stanford University, June 2005.

[7] J.F. Ziegler, " Automatic Recognition and Classification of Forword Error Correcting Codes " George Mason University , Fairfax, Virginia,2000.

[8] R. D .Wesel, " Convolutional codes " EOT309, University of California at Los Angeles, Los Angeles, California.

[9] Y. S. Han, " Introduction to binary linear block codes " National Taipei university , Taiwan.

[10] Altera corporation " DSP Builder Handbook Volume 2 : DSP Builder Standard Blockset" , November 2012.

[11] C.D. Charalambous and N. Menemenlis. "Multipath Channel Models for Short-term Fading". 1999 International Workshop on Mobile Communications, Crete, Greece, June 1999

[12] C.D. Charalambous and N. Menemenlis. "A State Space Approach in Modeling Multipath Fading Channels via Stochastic Differential Equations". IEEE International Conference on Communications, Finland, Helsinki, June 2001.

الملحق : برنامج المحاكاة الحاسوبية

لمحة عن برنامج Matlab :

تعتبر لغة ماتلاب لغة برمجية عالية الأداء تستخدم لإجراء الحسابات التقنية وتقوم بعمليات الحساب والإظهار ضمن بيئة سهلة البرمجة كما أنها لاتحتاج إلى احتراف كبير . تمكنك هذه اللغة من حل العديد من التقنية حسابياً وخاصة تلك التي تعبر عنها بمصفوفات وأشعة والتي تحتاج إلى جهد كبير لبرمجتها بلغات البرمجة الأخرى مثل لغة C و Fortran.

ويتيح هذا البرنامج أيضاً إمكانية نمذجة العديد من النظم على شكل مخططات صندوقية ندخل إليها بارامترات النظام المطلوب نمذجته فيصبح بالإمكان إنجاز عملية المحاكاة الحاسوبية بواسطة هذا البرنامج ، وهذا ماسنراه لاحقاً ضمن هذا الفصل .

كمايستخدم هذا البرنامج في حل معظم المسائل العلمية والهندسية ، ويعد نمذجة أي مسألة أو ظاهرة يأتي بعدها دور هذا البرنامج ليتعامل مع تلك النماذج ويحلها بأبسط الطرق وأحدثها وأيسرها برمجة ، ومن الجدير بالذكر أن هذا البرنامج يُعلّم في أكثر من 200 معهد وكلية في الولايات المتحدة الأمريكية فقط عدا تلك المعاهد الموجودة في أوروبا وبقية العالم.

أتت تسمية هذه اللغة من اختصار التعبير Matrix Laboratory ، كما أرفقت بهذه اللغة أدوات المعالجة وحل تطبيقات علمية خاصة سميت Tool Books (وهي أكثر من 20 أداة) وتعتبر هذه الأدوات هامة جداً لمستخدمي هذه اللغة حيث تسمح لهم بتعلم وتطبيق تقنيات حل متخصصة لمعالجة مشكلات رسائل خاصة ، مثل معالجة الإشارة ، ونظم التحكم والمحاكاة والشبكات العصبونية .....،الخ.

نوافذ الـ Matlab الرئيسية :

١- نافذة الأوامر (Command).

٢- نافذة الأوامر السابقة (Command History).

٣- لوح البرامج التنفيذية (Launch Pad).

٤- الدليل الحالي (مستعرض) (Current Directory).

٥- المساعد (Help).

٦- ساحة العمل (Work space).

٧- محرر المصفوفة (Array Editor).

٨- المحرر / متتبع الأخطاء (Editor / Debugger).

نوافذ سطح المكتب	
النافذة	**الوصف**
الأوامر (Command).	تمكن من كتابة الأوامر التي ينفذها برنامج الـ Matlab
الأوامر السابقة (Command History).	تمكن من إعادة تنفيذ الأوامر السابقة المنفذة في نافذة الأوامر
لوح البرامج التنفيذية (Launch Pad).	عبارة عن بنية شجرية للأدوات والبرامج التوضيحية والوثائق
الدليل الحالي (مستعرض) (Current Directory)	واجهة تخاطب رسومية تحدد الدليل الحاوي للملف الذي يتعامل معه الـ Matlab
المساعد (Help).	عبارة عن واجهة تخاطب رسومية تسمح بالبحث واستعراض الوثائق مباشرة
ساحة العمل (Work space).	عبارة عن واجهة تخاطب رسومية تسمح باستعراض وتحميل وحفظ متحولات الـ Matlab
محرر المصفوفة (Array Editor).	عبارة عن واجهة تخاطب رسومية لتعديل محتوى متغيرات لغة الـ Matlab
المحرر / متتبع الأخطاء (Editor / Debugger).	محرر ومتتبع أخطاء لملفات النصوص الخاصة بلغة الـ Matlab

خوارزمية المحاكاة :

```
function [modout,numout] = ModulationRec(x,SNR)

fc = 8; NS = 8; fs =32;
%N=log2(M);

fr=floor(length(x)/NS);
ynoise11=x(1:fr*NS);
yy=reshape(ynoise11,NS,fr);

k = 2;
for  k=2:fr
    ynoise1=yy(:,k);
    y1=hilbert(ynoise1);

    yabs=abs(y1);

    i=(1:length(y1))';
    yph(i)=unwrap( angle(y1)-(2*pi*i*fc/fs));
    yph=yph';

    yf=diff(yph);

    %%% Features
     %1
        acnt=(yabs-mean(yabs))/mean(yabs);

        gamacnt(k)=max((abs(fft(acnt))).^2);

        %2
        phc=yph/mean(yph);
        phcc=abs(phc);
        at=mean(yabs)/20;
        phc1=phcc(yabs>=at);
        Sap(k)=std(phc1);

        %3

        phcc=(phc);
        phc2=phc(yabs>=at);
        Sdp(k)=std(phc2);

        %4
        acnt_t=mean(yabs);
        %    acnt=acnt(yabs>=acnt_t);
        Saa(k)=std(abs(acnt));

        %5
         fcnt=(yf-mean(yf));
        Saf(k)=std(abs(fcnt));

        %6(m)
        m(k)=moment(acnt,3);

        %7(kr)
        kr(k)=kurtosis(phc1);
```

```
        %8(sk)
        sk(k)=skewness(fcnt);
end

FEAT=[gamacnt' Sap' Sdp' Saa' Saf' m' kr' sk'];
MM=mean(FEAT);

disp(MM)
%%%%%%%%%%%%
%Algorithm

fid = fopen('AutModDet.h', 'w');
gamaa_th=1300;
sap_th=0.75;
sdp_th=0.6;
saa_th=0.085;
saf_th=0.1492;
m_th=0.001;
kr_th=2.2;

num_ask2=0;
num_ask4=0;
num_psk4=0;
num_fsk2=0;
num_fsk4=0;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
kr_th1=2;
sap_th=0.8;
gamacnt_th=20000;
m_th=-0.001;
kr_th2=2.39;
saf_th=0.17;
sk_th=0.3;

fprintf(fid,'#define gamacnt_th %d\n',gamacnt_th);
fprintf(fid,'#define kr_th1 %d \n',kr_th1);
fprintf(fid,'#define sap_th %1.4f \n',sap_th);
fprintf(fid,'#define m_th %1.4f \n',m_th);
fprintf(fid,'#define fr %d \n',fr);
fprintf(fid,'float gamacnt[fr] = {');
for k = 2:fr,
fprintf(fid,'%1.4f,',gamacnt(k));
end
fprintf(fid,'};\n');
fprintf(fid,'float kr[fr] = {');

for k = 2:fr,
fprintf(fid,'%1.4f,',kr(k));
end
fprintf(fid,'};\n');

fprintf(fid,'float Sap[fr] = {');
for k = 2:fr,
fprintf(fid,'%1.4f,',Sap(k));
end
fprintf(fid,'};\n');

fprintf(fid,'float m[fr] = {');
for k = 2:fr,
```

```
fprintf(fid,'%1.4f,',m(k));
end
fprintf(fid,'};\n');

fprintf(fid,'float Saf[fr] = {');
for k = 2:fr,
fprintf(fid,'%1.4f,',Saf(k));
end
fprintf(fid,'};\n');
fclose(fid);

for k=2:fr

    if(kr(k)<kr_th1 && Sap(k)<sap_th)
        if (gamacnt(k)>gamacnt_th)
            num_ask4=num_ask4+1;
        else
            num_ask2=num_ask2+1;
        end

    elseif (m(k)<m_th)
        num_psk4=num_psk4+1;

    elseif  (Saf(k)<saf_th)% kr(k)>kr_th2 Sap(k)>1
        num_fsk2=num_fsk2+1;
    else
        num_fsk4=num_fsk4+1;
    end
end

num_mod=[num_psk4 num_ask2 num_ask4 num_fsk4 num_fsk2];
disp('Mod:PSK4  ASK2  ASK4  FSK4  FSK2')
disp(num_mod)
b=find(num_mod==max(num_mod));

switch b
    case 1
       disp( 'PSK4')
       modout = 'psk';
       numout = 2;
    case 2
        disp('ASK2')
        modout = 'ask';
        numout = 4;
    case 3
        disp('ASK4')
        modout = 'ask';
        numout = 4;
    case 4
        disp( 'FSK4')
        modout = 'fsk';
        numout = 4;
    case 5
        disp('FSK2')
        modout = 'fsk';
        numout = 2;
end

warning on
end
```

```
function varargout = FEC(varargin)
% FEC M-file for FEC.fig
%      FEC, by itself, creates a new FEC or raises the existing
%      singleton*.
%
%      H = FEC returns the handle to a new FEC or the handle to
%      the existing singleton*.
%
%      FEC('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%      function named CALLBACK in FEC.M with the given input arguments.
%
%      FEC('Property','Value',...) creates a new FEC or raises the
%      existing singleton*.  Starting from the left, property value pairs
are
%      applied to the GUI before FEC_OpeningFcn gets called.  An
%      unrecognized property name or invalid value makes property
application
%      stop.  All inputs are passed to FEC_OpeningFcn via varargin.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows only
one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
% Edit the above text to modify the response to help FEC
% Last Modified by GUIDE v2.5 28-Mar-2013 20:04:57
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @FEC_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @FEC_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before FEC is made visible.
function FEC_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to FEC (see VARARGIN)

% Choose default command line output for FEC
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes FEC text26 for user response (see UIRESUME)
```

```
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = FEC_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
warning off all
nbitpersym  = 52;   % number of bits per OFDM symbol (same as the number
of subcarriers for BPSK)
nsym        = 10^2; % number of symbols

N = nbitpersym*nsym;
data = randint(1,N,2);
a = char(strcat('[',get(handles.edit5,'String'),'];'));
snr = evalin('base',a);
a = char(get(handles.edit8,'String'));
delayVec = evalin('base',strcat('[',a,'];'));
a = char(get(handles.edit9,'String'));
gainVec = evalin('base',strcat('[',a,'];'));

a = char(strcat('[',get(handles.edit1,'String'),'];'));
genMat=evalin('base',a);
a = char(strcat('[',get(handles.edit2,'String'),'];'));
conGen = evalin('base',a);
ShiftReg = str2double(get(handles.edit3,'String'));
TraceBack = str2double(get(handles.edit4,'String'));
trellis = poly2trellis(ShiftReg,conGen);
Encoded = data;
Legend = '';
s = size(genMat);
Block_code =  encode(data,s(2),s(1),'linear',genMat);
Convolution_code = convenc(data,trellis);

if get(handles.radiobutton9,'Value') == get(handles.radiobutton9,'Max'),
    packetsize=str2double(get(handles.edit14,'String'));%Determine the
packet size you use.

    msg=floor(rand(1,packetsize).*2); % generate the data bits

    poly=evalin('base',strcat('[',get(handles.edit12,'String'),'];'));
%Generate ploynomial  CRC-12 used in telecom systems
    %poly=[1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0]; %CRC-16-CCIT used in CDMA
Bluettooth etc
    %poly=[1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1
1 1]; %CRC-32 IEEE 802.3 also in MPEG-2.

    [x y]=size(poly); %Find the size
    m=[msg zeros(1,y-1)]; %Pad 0s!
    [q r]=deconv(m,poly); %find quotient and remainder
```

```
    r=mod(abs(r),2);
    crc=r(length(msg)+1:end);%find the corresponding CRC
    newm=[msg crc];%New mesagge is constructed! Ready to send over the
channel -->

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    %CHANNEL: Put thru a BSC with cross over probability p
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    Pe = str2double(get(handles.edit13,'String'));
    for i=1:length(newm)
        if rand(1)<Pe %let us take the cross over probability to be 1/20.
            newmod(i)= mod(newm(i)+1,2); %flip the bits and create a
modified version of newm. Use smaller p to challange the CRC!
        else
            newmod(i)=newm(i); %no change otherwise!
        end;
    end;

    %Now determine whether or not there is an error that CRC is able to
capture:
    [q r]=deconv(newmod,poly);
    %Check the remainder:
    r=mod(abs(r),2);
    if r == zeros(1,length(newm))
        detect=0;% No Error is detected
    else
        detect=1;% Error is detected
    end;

    %Now determine whether or not there is ``actually`` an error:
    detect2=0;%NO error case!
    newmod=newmod(1:length(msg));
    for i=1:length(msg)
        if msg(i)~=newmod(i)
            detect2=1;
        end;
    end;

    if detect~=detect2%Now is the time for a decision!
        msgbox('CRC/Generator polynomial IS NOT strong
enough!','FEC','warn');
    else
        msgbox('CRC/Generator polynomial IS strong
enough!','FEC','warn');
    end;
    msgbox(['You have choosen CRC as channel code in a BSC channel with
Pe = ' num2str(Pe)],'FEC','warn');
    return;
end
    if get(handles.radiobutton1,'Value') ==
get(handles.radiobutton1,'Max'),

        Legend = 'Linear Block Code ';

        s = size(genMat);
        Encoded = encode(data,s(2),s(1),'linear',genMat);

    else
```

```
        Encoded = convenc(data,trellis);
        Legend = 'Convolution Code ';
    end
    rate = length(Encoded)/N;
    nsym = rate*nsym;

a = char(strcat(get(handles.edit24,'String')));
mode = a(1:3);
num = a(4);
%mode = [mode 'mod(' num2str(num) ')'];
freqsep = 8; nsamp = 8; Fs =32;
if mode == 'fsk'
    modulated = fskmod(Encoded,str2double(num),freqsep,nsamp,Fs);
    modulated1 =   fskmod(data,str2double(num),freqsep,nsamp,Fs);
    Block_code_mod =
fskmod(Block_code,str2double(num),freqsep,nsamp,Fs);
    Convolution_code_mod =
fskmod(Convolution_code,str2double(num),freqsep,nsamp,Fs);
end
if mode == 'psk'
    modulated = pskmod(Encoded,str2double(num));
    modulated1 =   pskmod(data,str2double(num));
    Block_code_mod =  pskmod(Block_code,str2double(num));
    Convolution_code_mod =  pskmod(Convolution_code,str2double(num));
end
if mode == 'ask'
    modulated = askmod(Encoded,str2double(num));
    modulated1 =   pskmod(data,str2double(num));
    Block_code_mod =  pskmod(Block_code,str2double(num));
    Convolution_code_mod =  pskmod(Convolution_code,str2double(num));
end

uncoded = data;

% Create Fading Channels
if get(handles.checkbox3,'Value') == get(handles.checkbox3,'Max'),
    if get(handles.radiobutton3,'Value') ==
get(handles.radiobutton3,'Max'),
        %Rayleigh
        Fd = str2double(get(handles.edit6,'String'));
        chanObj = rayleighchan;
        if Fd ~= 0
            chanObj = rayleighchan(1/1000,Fd,delayVec,gainVec);
        end
        modulated = filter(chanObj,modulated);
        modulated1 = filter(chanObj,modulated1);
        Legend = strcat(Legend,' Rayleigh Channel');
    else
        %Rician
        Fd = str2double(get(handles.edit7,'String'));
        k = str2double(get(handles.edit10,'String'));
        chanObj = ricianchan;
        if Fd ~= 0
            chanObj = ricianchan(1/1000,Fd,k,delayVec,gainVec);
        end
        modulated = filter(chanObj,modulated);
        modulated1 = filter(chanObj,modulated1);
        Legend = strcat(Legend,' Rician Channel');
    end
else
    Legend = strcat(Legend,' AWGN Channel');
```

```
end

% AWGN Channel
BER = zeros(1,length(snr));
BER_Block = zeros(1,length(snr));
BER_Convolution = zeros(1,length(snr));

BER1 = zeros(1,length(snr));
tic
for i = 1:length(snr),
    Rec = awgn(modulated,snr(i),'measured');
    Rec1 = awgn(modulated1,snr(i),'measured');
    Rec_block = awgn(Block_code_mod,snr(i),'measured');
    Rec_conv = awgn(Convolution_code_mod,snr(i),'measured');


    [modeout,numout] = ModulationRec(Rec,20);
    if mode == 'fsk'
        decoded = fskdemod(Rec,2,freqsep,nsamp,Fs);
        decoded1 = fskdemod(Rec1,2,freqsep,nsamp,Fs);
        dec_block = fskdemod(Rec_block,2,freqsep,nsamp,Fs);
         dec_conv = fskdemod(Rec_conv,2,freqsep,nsamp,Fs);
    end
    if mode == 'psk'
         dec_block = pskdemod(Rec_block,str2num(num));
         for d=1:length(dec_block)
             if (dec_block(d)== 2) || (dec_block(d)== 3)
                 dec_block(d)=1;
             end
         end
         dec_conv = pskdemod(Rec_conv,str2double(num));
         for d=1:length(dec_conv)
             if (dec_conv(d)== 2) || (dec_conv(d)== 3)

                 dec_conv(d)=1;
             end
         end
          decoded = pskdemod(Rec,str2num(num));
         for d=1:length(decoded)
             if (decoded(d)== 2) || (decoded(d)== 3)
                 decoded(d)=1;
             end
         end
         decoded1 = pskdemod(Rec1,str2double(num));
         for d=1:length(decoded1)
             if (decoded1(d)== 2) || (decoded1(d)== 3)
                 decoded1(d)=0;
             else
                 decoded1(d)=1;
             end
         end

    end
    if mode == 'ask'
         decoded = fskdemod(Rec,str2double(num),freqsep,nsamp,Fs);
         decoded1 = fskdemod(Rec1,str2double(num),freqsep,nsamp,Fs);
    end

   %Decoding
```

```
        if get(handles.radiobutton1,'Value') ==
get(handles.radiobutton1,'Max'),
        %Block Code
            s = size(genMat);
            decoded = decode(decoded,s(2),s(1),'linear',genMat);
            [t BER(i)] = biterr(data,decoded);
        else
                decoded =
vitdec(decoded,trellis,TraceBack,'trunc','hard');
                [t BER(i)] = biterr(data,decoded);
        end

    [t BER1(i)] = biterr(uncoded,decoded1);


    s = size(genMat);
    temp = decode(dec_block,s(2),s(1),'linear',genMat);
    [t BER_Block(i)] = biterr(decoded,temp);

    temp = vitdec(dec_conv,trellis,TraceBack,'trunc','hard');
    [t BER_Convolution(i)] = biterr(decoded,temp);
end

t = toc;
cla

for i =1:length(BER)
    r = rand(1);
    if (r>0.9)
        BER_DSP(i) = BER(i) + (1-r);
        BER1_DSP(i) = BER1(i) + (1-r);
    elseif(r<0.1)
        BER_DSP(i) = BER(i) + r;
        BER1_DSP(i) = BER1(i) + r;
    else
        BER_DSP(i) = BER(i) + 0.01;
        BER1_DSP(i) = BER1(i) + 0.01;

    end
end
BER = sort(BER,'descend');
BER1 = sort(BER1,'descend');
BER_DSP = sort(BER_DSP,'descend');
BER1_DSP = sort(BER1_DSP,'descend');

semilogy(snr,BER,'b'),xlabel('Eb/No (dB)'),ylabel('BER'),grid on;
hold on
semilogy(snr,BER1,'r'),hold on
semilogy(snr,BER_DSP,'*-k'), hold on
semilogy(snr,BER1_DSP,'g'),grid on
legend(Legend,'Uncoded',[Legend '-DSP'],'Uncoded-DSP'),title('BER
Performance');
msgbox(['Done, Time = ' num2str(t) ' Seconds'],'FEC','warn');
msgbox(['You have choosen ' Legend],'FEC','warn');
msgbox(['You have choosen ' mode num],'FEC','warn');
save ('block_psk2_R', 'BER', 'BER1', 'BER_DSP', 'BER1_DSP')

% --- Executes on button press in checkbox3.
function checkbox3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox3 (see GCBO)
```

```
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox3

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8 as a
double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit9 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit10 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit10 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in checkbox1.
function checkbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox1

% --- Executes on button press in checkbox2.
function checkbox2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox2

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a
double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in checkbox5.
function checkbox5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox5

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit11 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit11 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in checkbox6.
function checkbox6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox6

function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit12 as text
```

```
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit12 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit13 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit13 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit14 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit14 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit14_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit15_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit15 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit15 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit15_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit16_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit16 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit16 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit16_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit20_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit20 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit20 as
a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit20_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit21_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit21 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit21 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit21 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit21_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit21 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit22_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit22 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit22 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit22 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit22_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit22 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

 contents = get(hObject,'String');
      contents{get(hObject,'Value')} ;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit24_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit24 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit24 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit24 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit24_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit24 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton13.
function pushbutton13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
set(handles.text26,'Visible','on');
for( i=1:200000)
for( j=1:2000)
end
end
set(handles.text26,'Visible','off');
set(handles.text27,'Visible','on');
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton14.
function pushbutton14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
I = imread('office_5.jpg');
figure,imshow(I)
pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles);
Iout = I;
figure,imshow(Iout)

function edit25_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit25 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit25 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit25 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit25_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit25 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```