مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الأساسية المجلد (29) العدد (1) 2007
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Basic Sciences Series Vol. (29) No. (1) 2007

# خوارزمية تنفيذ ترميز تربو
# بنظام التضميم بتقسيم التردد التعامدي( OFDM)

**الدكتور محمد بشير قابيل***
**الدكتور محي الدين واياناخ****
**بشار بشير التكلة*****

**(تاريخ الإيداع 28 / 9 / 2006. قُبِل للنشر في 2006/12/21)**

## □ الملخّص □

إن نظام التضميم بتقسيم التردد التعامدي (Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) بدون ترميز قناة يكون عرضة لخفوت متعدد المسارات، حيث تصل كل الحوامل الجزئية عند المستقبل بطويلات مختلفة. وباستعمال ترميز فوق الحوامل الجزئية فمن الممكن كسب تنوع في التردد، وبالتالي زيادة القدرة على كشف ترميز حتى للحوامل الجزئية الضعيفة. لذلك يتم اختيار ترميز تربو الذي ينتمي لمجموعة ترميزات القناة ليطبّق بنظام(OFDM).

أقترح بهذا البحث تقديم نظام مكوّن من خوارزمية مثلى من حيث السرعة يطبّق فيها ترميز تربو بنظم التضميم بتقسيم التردد التعامدي (OFDM) للتخفيف من الخفوت بهذه النظم وحساب نسبة خطأ البت أو الحزمة ( Bit / Frame error rate (FER/ BER))، مع شرح خطوات خوارزمية النظام. ويتم إيجاد بترميز تربو كلّ من خوارزمية عملية الترميز وخوارزمية مشذّر عشوائي مع برمجياتهما. واستعملت خوارزمية Max-Log-MAP المقترحة سابقاً لكشف الترميز.

**الكلمات المفتاحية:** ترميزات تربو، نظام التضميم بتقسيم التردد التعامدي، نسبة خطأ البت أو الحزمة، أداء ترميز تربو.



* أستاذ دكتور – قسم الرياضيات– كلية العلوم– جامعة دمشق – سورية.
** أستاذ دكتور– المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا – دمشق– سورية.
*** طالب دكتوراه– اختصاص معلوماتية ونظم اتصالات – قسم الرياضيات– كلية العلوم– جامعة دمشق– سورية.

Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Basic Sciences Series Vol. (29) No. (1) 2007

# An Algorithm for Turbo Code Implementing with Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) System

**Dr. M.B. Kabil***
**Dr. M.D. Whinakh ****
**Bashar Basheer Takleh *****

**(Received 28 / 9 / 2006. Accepted 21/12/2006)**

## □ ABSTRACT □

The bit error rates of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) system are not acceptable without a powerful channel coding scheme, especially in fading channels. The reason for this is the lack of frequency diversity.

In multi carrier systems like (OFDM), some sub carriers may be completely lost because of deep fades. Thus, using turbo coding across the sub carriers, errors of weak sub carriers can be corrected, where turbo code belongs to set of channel codes.

This research presents an optimal algorithm using turbo code with( OFDM) system, for simulate bit/ frame error rate( BER /FER) performance of the turbo coded OFDM system, and studies the influence of code internal parameters on the performance of turbo code.

I present in turbo code: encoding algorithm, random interleaver algorithm, and use Max-Log-MAP algorithm for decoding.

Finally, I show in this research the practical programs for (algorithm of turbo encoding, random interleaver algorithm).

**Key words**: Turbo codes, OFDM scheme, Bit / Frame error ratio, Performance of turbo coding.

* **Professor, Department of Mathematics, Faculty of Sciences, University of Damascus, Damascus, Syria.**
** **Professor, High Institute for Technology Science, Damascus, Syria**
*** **Postgraduate Student, Department of Mathematics, Faculty of Sciences, University of Damascus, Damascus, Syria.**

## مقدمة:

إن الحاجة في نظم اتصالات حديثة ذات مجال واسع لنقل نسب بيانات عالية بنسب أخطاء منخفضة جداً هو أحد مجالات البحث في نظم ترميز قناة قوية. وبما أن القنوات الراديوية النقالة تعاني من النشر متعدد المسارات، فيمكن باستعمال ترميز تربو[1] الذي ينتمي لمجموعة ترميز القناة بنظم التضميم بتقسيم التردد التعامدي [4][orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)) التخفيف من الخفوت بتلك القنوات.

يؤدي حساب نسبة خطأ البت أو الحزمة دوراً هاماً في ترميز تربو لقياس أداء الترميز، وإن نسب أخطاء البتات لنظم (OFDM) لن تكون مقبولة بدون نظام ترميز قناة قوي خاصة في قنوات الخفوت، والسبب هو الفقد في تنوع التردد المتأصل بنظم حوامل الإشارات[4]. لذا فإننا نستعمل ترميز تربو الذي ينتمي لمجموعة ترميزات القناة بنظام(OFDM) للتعويض عن الخفوت، وحساب نسبة خطأ البت أو الحزمة.

باستعمال ترميز تربو في نظام( OFDM ) أمكننا بهذا البحث إيجاد نظام أمثلي لحساب نسبة خطأ البت أو الحزمة (BER / FER) وبسرعة عالية، وقد أخذت بالاعتبار المعالجة وفق هذا النظام لتأثير الوسطاء الداخلية لترميز تربو على أداء ترميز تربو بقناة ضجيج غاوس الأبيض الجمعي( Additive white Gaussian noise(AWGN) ) و شرحت ذلك بأمثلة وأشكال موضحة.

تتكون طريقة البحث الذي تمّ انجازه في قسم الرياضيات– كلية العلوم – جامعة دمشق في النصف الأول من العام 2006 على الشكل التالي: الفقرة (1) تخصص لتعريف ترميز تربو وأهم مكوناته، ويناقش في الفقرة (2) لمرمز وتعديل (OFDM )، ثم تكون مسألة البحث في الفقرة (3) وتتضمن( الفرضيات، المخطط الصندوقي لخوارزمية النظام المقترح وشرح خطواتها، خوارزمية عملية ترميز تربو وخوارزمية المشذر العشوائي وبرمجياتهما)، ثم يتم دراسة تأثير الوسطاء الداخلية للترميز على أداء ترميز تربو من خلال أمثلة وأشكال موضحة له، وتكون الفقرة (4) للنتائج والمناقشة. وأخيراً الاستنتاجات والتوصيات في (5).

## أهمية البحث وأهداف:

تكمن أهمية البحث بكون ترميز تربو من التراميز الهامة، فيجري البحث فيه منذ أكثر من عشرة سنوات بسبب استعماله في تطبيقات هامة مثل: الاتصالات– الشبكات– وسائط التخزين–الشبكات النقالة.. .....

بينما يهدف البحث لتقديم خوارزمية نظام يطبّق فيه ترميز تربو بنظام (OFDM) مع شرح خطوات الخوارزمية. حيث استعملت حساب واستنظام معاملات الخفوت لبعض قنوات الخفوت من [4] وطبقّت عليها ترميز تربو لإيجاد خوارزمية مثلى من حيث السرعة للتخفيف من الخفوت بنظام(OFDM) متعدد حوامل الاشارات ولحساب نسبة خطأ البت أو الحزمة، ودراسة تأثير الوسطاء الداخلية للترميز على أداء ترميز تربو كأمثلة على تطبيق النظام المقترح. وقدّمت أيضاً خوارزميات وبرمجيات (عملية الترميز– المشذّر ) لترميزات تربو.

## طريقة البحث:

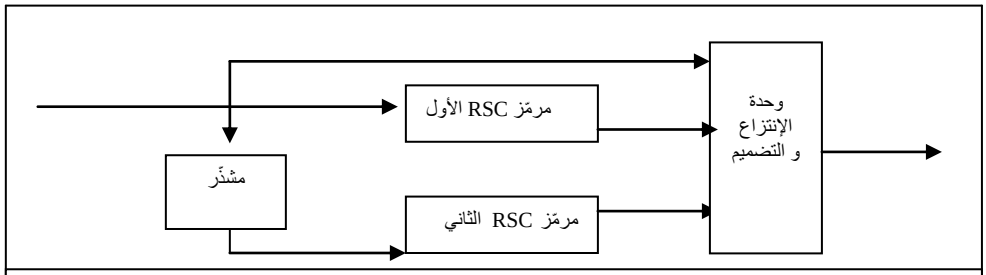
**1- ترميزات تربو(Turbo Coding)** : قدمت ترميزات تربو من قبل Berrou et alعام 1993 [1] وهي قريبة جداً من نهاية سعة قناة" Shannon". والمبدأ الأساسي لمفهوم ترميز تربو هو أن سلسلة المعلومات ترمّز مرتين

والترميز الثاني يتم بعد إعادة ترتيب بتات المعلومات باستعمال المشذّر. وإن مصطلح(Turbo) يعكس فعلياً كشف الترميز التعاودي المرتبط بترميز تربو.

- **مرمّز تربو (Turbo Encoder):**

لدينا في الشكل(1) التالي بنية مرمّز تربو ويتألف من المرمّزات المكوّنة وهما مرمزين تلفيفيين نظاميين تعاوديين (Recursive Systematic Convolutional(RSC)) مفصولين بمشذّر، ووحدة التنزيع والتضميم[1].

- **المشذّر ( Interleaver ):** تتم عملية التشذير على سلسلة المعلومات قبل تغذيتها للمرمّز المكوّن الثاني ويشّكل إعادة ترتيب لرموز المعلومات[1]




**الشكل (1): المخطط الصندوقي لمرمّز ترميز تربو**

**2- نظام التضميم بتقسيم التردد التعامدي:**

**(Orthogonal Frequency Division Multiplexing System(OFDM)):**

تعريف تعديل( OFDM )[4] : هو تقنية تعديل الحامل المتعدد التي تنشر الطاقة لإشارة رقمية بنسبة بت عالية بتعديلها إلى عدد كبير من الحوامل ذات نسبة بت منخفضة.

مرمّز (OFDM)[4] : نسب أخطاء البتات لنظم (OFDM) لن تكون مقبولة بدون نظام ترميز قناة قوي خاصة في قنوات الخفوت، والسبب هو الفقد في تنوع التردد المتأصل بنظم حوامل الإشارات. تتميز النظم متعددة الحوامل (OFDM) باستعمالها للطيف حيث يزود فضاء الحامل بالتعامد بين حوامل مختلفة، وفي هذه النظم يمكن أن تفقد بعض الحوامل الجزئية تماماً بسبب خفوتات عميقة وذلك نظراً لطبيعة المجال الواسع لطيف (OFDM) ويعوّض هذا الخفوت باستعمال تقنيات تقديرات القناة وترميز تصحيح الخطأ الذي يستعمل عبر الحوامل الجزئية. ويمكن أن تسترد الإشارة بدون تشويه حتى عندما يوجد تداخل طيفي جزئي بين الحوامل.

وتنظم إشارة ( OFDM ) المستردة في مجموعات رموز من نوع- (Quadrature Amplitude Modulation (QAM)) [2] تعديل المطال التربيعي. ولأن عملية فك تعديل( OFDM )تتطلب الاستعمال لتقدير القناة، فإن المعلومات الموثوقة تكون متاحة لكشف ترميز لمجموعة الإشارات، وهذا يمكن تحقيقه باستعمال تقنيات كشف ترميز قرار لين.

**3 - مسألة البحث وتطبيقاتها (The Research Issue and Their Practice):**

وهي تقديم خوارزمية النظام المقترح وتتضمن ( الفرضيات، التعاريف، المخطط الصندوقي لخوارزمية النظام المقترح وشرح خطواتها، خوارزمية عملية ترميز تربو وخوارزمية المشذر العشوائي وبرمجياتهما)، ثم دراسة تأثير الوسطاء الداخلية للترميز على أداء ترميز تربو من خلال أمثلة وأشكال موضحة له.

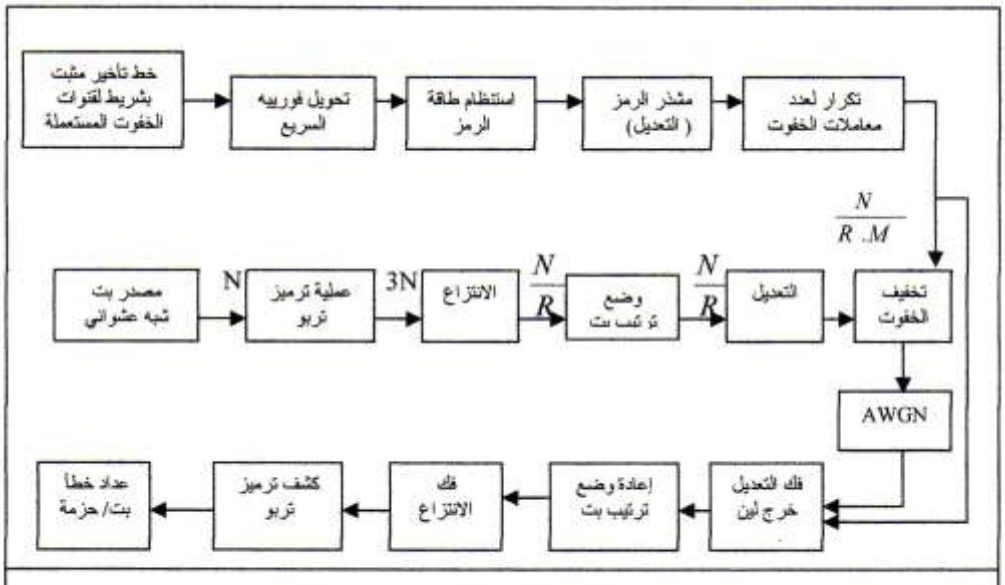
- **الفرضيات ( Assumptions):**

- عناصر نظام (OFDM) مثالية: التزامن مثالي أي بدون ضجيج طور، لا يوجد تداخل داخل القناة ( أي القناة لا تتبدل خلال زمن النقل لرمز (OFDM) واحد)، لا يوجد تداخل داخل الرمز ( أي البادئة الدوّارة كبيرة بشكل كاف).
- نمذجة قناة الخفوت المستعملة بهذا النظام بالحقل الترددي.
- الخفوت مستوٍ فوق الحوامل الجزئية.
- القناة خطية: تعني أن تركيباً خطياً من إشارات الدخل يعطي التركيب الخطي نفسه من إشارات الخرج.
- ضجيج غاوس بالنطاق الترددي له نفس الخواص الإحصائية كما هو الضجيج في النطاق الزمني، وذلك لأن تحويل (فوريه) لمتحول عشوائي موزع غاوسياً ينتج متحول عشوائي موزع غاوسياً بنفس التباين.

- **المخطط الصندوقي لخوارزمية النظام المقترح:**

**( Block diagram of The algorithm) :**

- تعمل خوارزمية هذا النظام ( الشكل (2)) بشكل تدفقي، أي يولّد عشوائياً صندوق المعلومات الأول بطول صندوق ترميز تربو ويعالج بكل وحدات النظام، والخطوة الأخيرة تحصي الأخطاء. ثم يولّد ويعالج صندوق المعلومات التالي وهكذا....




**الشكل (2) : المخطط الصندوقي لخوارزمية النظام المقترح**

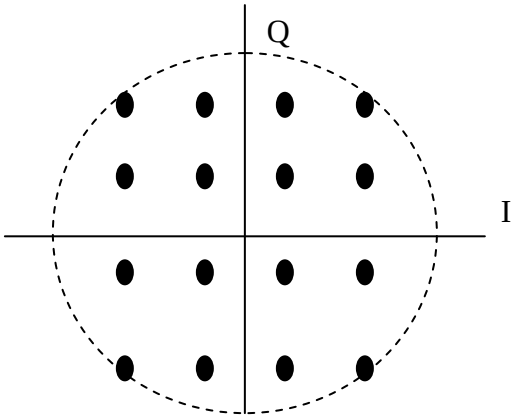
- **تعاريف (Definitions ):**

**1- مصدر بت شبه عشوائي(Pseudo random bit source):** يتم توليد تتابع شبه عشوائي باستعمال سجل إزاحة بتغذية خلفية حيث يتألف سجل الإزاحة من مجموعة وحدات ذاكرة موصولة على التسلسل وينتقل محتوى كل وحدة ذاكرة إلى الوحدة التالية عند كل نبضة ساعة. ويجمع بعض محتويات وحدات الذاكرة بالمقاس 2 ويغذى الناتج خلفياً للوحدة الأولى. ويتم باستعمال تتابع شبه عشوائي بعثرة المعطيات وذلك بإجراء جمع منطقي بالمقاس 2 لتتابع سلسلة شبه عشوائية مع تتابع بتات الدخل[5].

**2 - الانتزاع(Puncturing):** هو عملية نقل مواضع أو رموز معينة من كلمة الترميز وبذلك يتم تخفيض بطول كلمة الترميز وزيادة في كامل نسبة الترميز. فإذا كانت نسب الترميزات لترميزين مكوّنين هي $R_1, R_2$ على التتالي

فتكون كامل نسبة ترميز تربو R هي $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}-1$، وعند استعمال الانتزاع فإن بعض بتات الخرج الفائضة ( التماثل) تحذف وفقاً للنموذج المعرّف بمصفوفة الانتزاع[1].

3- **التعديل المطالي التعامدي (التربيعي)(Quadrature Amplitude Modulation (QAM)):** وهو تعميم على مبدأ التعديل التعامدي المستعمل في تعديل (M-array PSK) الإقفال بازاحة الطور ليحتوي على تعديل مطالي وطوري. حيث توجد علاقة بين المركبة في الطور(in-phase) والمركبة التربيعية (Quadrature) في تعديل الإقفال بازاحة الطور، فإذا جعلنا هاتين المركبتين مستقلتين إحداهما عن الأخرى نتج التعديل المطالي التعامدي ويسمى هذا النظام أيضاً بالإقفال بإزاحة الطور التربيعي (التعامدي) Quadrature Phase Shift Keying) ((QPSK) ويكون مخطط الإشارات النقطي لنظام (QAM) مستطيلاً إذا كانت M>4 (حيث M هي عدد البتات المنقولة ضمن رمز تعديل واحد)[2]. ويبين الشكل (3) التالي مخطط الإشارات النقطي لنظام (QAM) عندما M=16:




**الشكل ( 3) مخطط الإشارات النقطي لنظام :((QAM) عندماM=16**

4- **التعديل( Modulation)** [2]: هو العملية التي تقوم بتغيير بعض خواص إشارة حامل تبعاً لإشارة المعلومات.وتصنّف التعديلات بثلاثة أنواع أساسية: التعديل المطالي، التعديل الترددي، التعديل الطوري. إن أغلب قنوات الاتصال هي من نوع تمرير مجال وعلى هذا فإن الطريقة الوحيدة لإرسال إشارات عبرها هو إزاحة ترددات الإشارات الحاملة للمعلومات إلى المجال الترددي للقناة، وتنفّذ هذه الإزاحة الترددية باستعمال أحد أنواع التعديل الرقمية المناسبة مثل الإقفال بإزاحة الطور الثنائي ((Binary Phase Shift Keying(BPSK ) المعتمد بهذا النظام ويعرّف كالتالي: يتغير طور إشارة الحامل في نظام التعديل الطوري تبعاً لإشارة المعلومات، ويأخذ طور الحامل في حال الإرسال الثنائي إحدى القيمتين 0 أو 180 درجة لتمثيل الصفر والواحد المنطقيتين على الترتيب.

5- **قناة ضجيج غاوس الأبيض الجمعي(AWGN):** يوجد لكل رمز تعديل منقول قيمة ضجيج مركّبة مضافة، وهذه القيم موزعة غاوسياً. يحسب التباين من قيمة نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) المسواة وهي نسبة طاقة البت إلى كثافة الضجيج $\frac{E_b}{N_O}$ (Bit power to noise density rate) بالشكل التالي: نصف الضجيج الحراري

بعملية عشوائية غاوسية حيث يصاغ خرج القناة Y بإضافة متحول عشوائي موزع غاوسياً إلى دخل القناة X أي:

$$Y = X + G$$

حيث G هي متحول عشوائي غاوسي متوسطه صفر و تباينه $\sigma^2$.

مثال $G \sim N(0,\sigma^2)$ من أجل رمز دخل معطى X= x، فخرج القناة Y هو متحول عشوائي موزع غاوسياً متوسطه x وتباينه $\sigma^2$ أي:

$$PY/X(y/x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(y-x)^2}{2\sigma^2}}$$

حيث P(.) هو تابع الكثافة الاحتمالي لمتحول عشوائي أي $\sigma^2 = \frac{N_o}{2}$ [1].

**6- نسبة لوغاريتم الأرجحية( Log- Likelihood Ratio(LLR))** [5]: يتطلب كاشف الترميز لكل بت كشف ترميزها $u_k$ قيمة صلبة ( يرمز لها بـ $\hat{u}_k$) وقيمة وثوقية إضافية لهذا القرار الصلب، وبما أن كاشف الترميز يعمل في الحقل اللوغاريتمي ليصنع قرارات صلبة مستقلة عن القرار الصلب $\hat{u}_k$ فإن ما يسمى نسبة لوغاريتم الأرجحية (LLR) تعرّف بالشكل التالي: $L(u_k) = \ln \frac{p(u_k=1)}{p(u_k=0)}$ ومن هذا التعريف نستنتج الخواص التالية لقيم (LLR):

$$L(u_k) > 0 \rightarrow \hat{u}_k = 1$$
$$L(u_k) < 0 \rightarrow \hat{u}_k = 0$$

و $|L(u_k)|$ هي قيمة الوثوقية لقرار $\hat{u}_k$.

**7- حساب واستنظام معاملات الخفوت بقنوات الخفوت:**

**(Calculation and normalization of the fading coefficients)** [4]:

نمذجة قناة الخفوت المستعملة بهذا النظام بالحقل الترددي، لكن يعطى وصف قنوات الخفوت المستعملة مثل ( LOS( Line Of Sight و NLOS( Non Line Of Sight) أنموذج خط تأخير مثبت على شريط بالحقل الزمني (أي إزاحة الإشارة باتجاه الزمن الموجب). هذا الأنموذج مستقر ( يعني مقابل أي دخل محدود يعطي خرجاً محدوداً) وكل مجموعة الأشرطة مستقلة عن بعضها وتمثّل حالة قناة خاصة. ثم يتم تطبيق تحويل فورييه السريع (Fast Fourier Transformation(FFT)) على قيم خرج الشريط فنحصل على معاملات الخفوت لحوامل (OFDM) الجزئية. في المعالجة التالية يتم استنظام (أوتقييس: وتعني تصحيح التشويه) طاقة الرمز على المحور الترددي من جانب وعلى محور الربح من جانب آخر بحيث يصبح الربح الأعظم للمرشّح المقيّس يساوي 1. بفرض أن متوسط طاقة الإرسال مساو لمتوسط طاقة الإشارة المستقبلة المتعلقة بزمن طويل نسبياً، فإن معاملات الخفوت لحوامل (OFDM)الجزئية تمثّل حالة القناة التي تستنظم من غير أن تبدّل من طاقة إرسال رمز( OFDM)، وبالتالي تستنظم معاملات الخفوت لكل حالة قناة بشكل منفصل مع ملاحظة أن استنظام الطاقة لقيم خرج الشريط يكون بالحقل الزمني. ثم تتم عملية مشذر الرمز ( التعديل) بعد الإستنظام وقبل ضرب معاملات الخفوت برموز التعديل، وبذلك يكون لدينا فقط تشذير رموز التعديل ضمن رمز( OFDM) وليس فوق كامل صندوق الترميز. فإذا كان الصندوق المرسل أكثر من رمز( OFDM) واحد فتكرر معاملات الخفوت لحوامل (OFDM) الجزئية. ومعاملات الخفوت $\frac{N}{R.M}$ المضروبة برموز التعديل هي قيم حقيقية تمثّل فقط طويلة الخفوت.

- **خطوات خوارزمية النظام(A steps of the system algorithm):**

**<u>الخطوة 1:</u>**

– إدخال N بتاً باستعمال تتابع شبه عشوائي حيث N هو صندوق المعلومات الذي يولّد ويعالج في الوحدات التالية.

**الخطوة 2:**

– تجري عملية ترميز تربو على صندوق المعلومات بطول N الذي يحوّل لصندوق مرمّز بطول 3N باستعمال خوارزمية عملية الترميز* حيث كثيرات الحدود (RSC) المكونة لمرمّز تربو متغيرة.

**الخطوة 3:**

– يحصل الانتزاع ليعطي نسب ترميز مختلفة، والبتات المنتزعة هي البتات الفائضة فقط والخرج هو $\frac{N}{R}$ حيث R هي نسبة الترميز، ونسب الترميز المستعملة هي $\frac{1}{2},\frac{2}{3},\frac{3}{4}$

**الخطوة 4:**

– وضع ترتيب البت(Bit order setting) بتشّكيل تابع تطبيق اختياري لبتات مرمّز التربو النظامية والفائضة إلى مواضع البتات ضمن رمز التعديل من أجل QAM -16 و 64-QAM.

**الخطوة 5:**

– التعديل(Modulation) وفيه يتم تشّكيل تابع تطبيق لبتات مرمّز التربو إلى رمز التعديل في الترتيب الذي حدد بوضع ترتيب البت. والتعديلات المستعملة هي: (BPSK) الإقفال بإزاحة الطور الثنائي، ( QPSK)الإقفال بإزاحة الطور التربيعي. والخرج هو $\frac{N}{R.M}$ قيم فاصلة عائمة مركّبة (عنصر في الطور وتعامدي)، حيث M هي عدد البتات المنقولة ضمن رمز تعديل واحد، وتؤخذ M بالشكل التالي:(M=1 )BPSK ، (M=2)QPSK.

**الخطوة 6:**

– تضرب بوحدة تخفيف الخفوت(Fading attenuation) كلاً من رموز التعديل المركّبة $\frac{N}{R.M}$ بمعامل الخفوت حيث تستعمل معاملات الخفوت القيمة المطلقة (الطويلة) لمعامل مركّب.ويحوّل الخفوت (كل المعاملات هي1) لقناة (AWGN)، وكل معاملات الخفوت هذه تستنظم ولا تبدل من متوسط طاقة النقل.

**الخطوة 7:**

– بقناة ضجيج غاوس الأبيض الجمعي(AWGN) يوجد لكل رمز تعديل منقول قيمة ضجيج مركّبة مضافة، وهذه القيم موزعة غاوسياً. يحسب التباين من قيمة نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) المسواة وهي نسبة طاقة البت إلى كثافة الضجيج(Bit power to noise density rate) $\frac{E_b}{N_O}$.

**الخطوة 8:**

– بفرض التسوية مثالية، فيحسب فك تعديل الخرج اللين لكل بت كشف ترميزها قيمة نسبة لوغاريتم الأرجحية (LLR) .

**الخطوة 9:**

– تعكس وحدة إعادة وضع ترتيب البت(Bit order resetting) للقيم اللينة مقارنة مع وحدة وضع ترتيب البت.

**الخطوة 10:**

*يتم إيجاد خوارزمية عملية ترميز تربو في الصفحة(10).

– تحشر وحدة فك الانتزاع (Depuncturing) قيم لينة (أصفار) لمواضع البتات التي جرت عليها عملية الانتزاع.

**الخطوة 11:**

– هذه الوحدة هي كاشف ترميز تربو التعاودي. عدد التكرارات متغير، وتستعمل خوارزمية Max-Log- MAP لكشف الترميز بهذا النظام.

**الخطوة 12:**

– تحسب هذه الوحدة وهي عداد خطأ البت أو الحزمة (Bit/frame error counter) لقيم نسبة خطأ البت أو الحزمة (BER/ FER) لكل نصف تكرار في كاشف ترميز التربو.

**•الترميزات التلفيفية النظامية التعاودية(RSC ) وخوارزمية عملية الترميز:**

**(Recursive Systematic Convolutional and encoding algorithm) :**

يظهر الشكل (4) مرمّزاً، تلفيفياً، نظامياً، تعاودياً والذي سأستعمله لإيجاد خوارزمية عملية الترميز. سمي هذا الترميز التلفيفي تعاودي لأن بتات المعلومات المرمّزة سابقاً تغذى عكسياً باستمرار لدخل المرمزات، وهو نظامي لأن سلسلة المعلومات هي جزء من كلمة الترميز التي توافق لإتصال مباشر من الدخل إلى أحد المخرجات. وينتج عن مرمّزي (RSC) الأول والثاني سلسلتي تماثل ( فائضة). وبضم السلسلة الأصلية مع سلسلتي التماثل ينتج لدينا كلمة ترميز تربو. وتعطى حدودية الترميز لمرمّز (RSC) عادة بالتمثيل الثماني.

- **أوليات:**

حدودية التوليد للترميز: $G(D)=\left[1,\frac{g_2(D)}{g_1(D)}\right]$

كثير حدود التغذية ا $g_2(D)$ ، كثير حدود التغذية العكسية: $g_1(D)$

طول التقييد: K، ذاكرة المرمّز: $\upsilon$

سلسلة دخل المرمّز المكوّن الأول: $d_k : k \in \{1.....N\}$

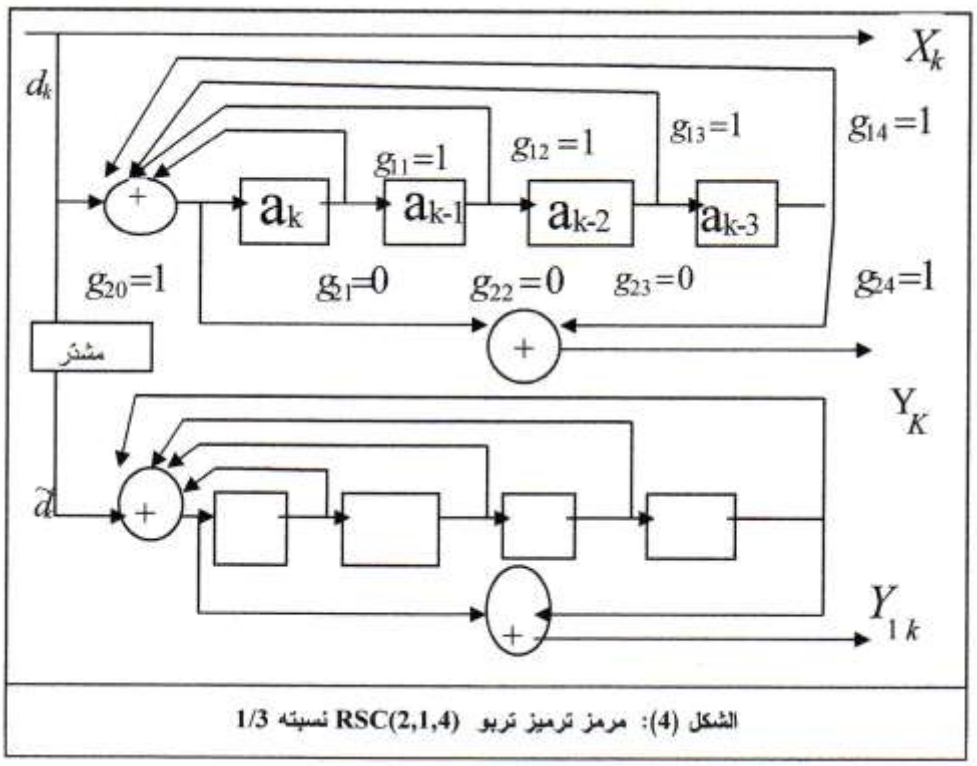
سلسلة دخل المرمز المكوّن الثاني: $\tilde{d}_k$

سلسلة خرج البيانات الأصلية: $X_k$

الخرج من مرمّزي RSC هما: $Y_k \quad Y_{1k}$

حالة المرمّز في الزمن k: $a_{k-i}$

دخل مسجل الإزاحة: $a_k$ حيث: $a_k = d_k + \sum_{i=1}^{\upsilon} g_i' a_{k-i} \pmod 2$




الشكل (4): مرمز ترميز تربو RSC(2,1,4) نسبته 1/3

○ **خوارزمية عملية ترميز تربو:**

Encoding algorithm

begin

*if* $d_k = X_k$ *then*

$g_i' = g_{1i}$ يكون

*else*

$g_i' = g_{2i}$ يكون

*for* $k = 1: N$

$a_k = 0$

*for* $i = 1: \upsilon$ نحسب

$a_k = a_k + d_k + g_i' a_{k-i}$

$a_k = a_k \pmod 2$

*end; end*

*if* $d_k = X_k$ *then*

$g_i' = g_{1i}$ يكون

*for* $k = 1: N$

*for* $i = 0: \upsilon$

$Y_K = g_i' d_{k-i}$ نحسب

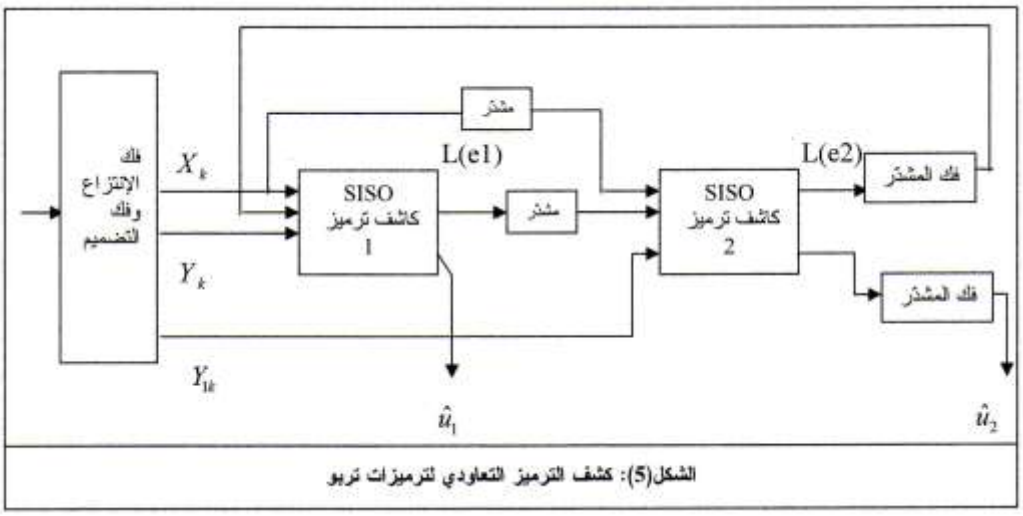
*end; end.*

- **خوارزمية المشذّر العشوائي (random interleaver algorithm):**

```
Procedure    random- interleaver;
begin
v[i] = i     إدخال متجهه
N     إدخال حجم المتجهه
   i = 0
_     طالما N > 1 افعل
   begin
   random (N) = j        أخذ قيمة عشوائية
   i=i+1
   w[i]=v[j]
_     تشكيل المتجهه الجديدة
   For i:=j   to  N-1  do
     v[i]= v[i+1]
     N=N-1
        if   N=1  then
            begin
             i=i+1; w[i]=v[1]; end; end;
_              إخراج المتجهه الجديدة w
end.
```

- **كشف ترميز تربو التعاودي (Iterative turbo decoding) :**

يظهر مبدأ كشف الترميز التعاودي لترميزات تربو في الشكل(5). ترميزي( RSC )(في الشكل(1)) يكشف ترميزهما بشكل منفصل، حيث كاشف الترميز 1 دخل لين–خرج لين (SISO) في الشكل(5) يكشف ترميز الترميز المولّد بمرمّز( RSC1 )و يحسب المعلومات الاستدلالية لكل بت في سلسلة المعلومات التي كشف ترميزها. هذه السلسلة تدعى المعلومات الخارجية ( المشار إليها بـ L(e1) بالشكل (5)) وتستعمل كمعلومات استنتاجيه لكشف ترميز مرمّز( RSC2 ) في كاشف الترميز2 (SISIO). ومرة ثانية (يشار للمعلومات الخارجية بـ L(e2) بالشكل (5)) وتستعمل هذه المعلومات الخارجية كمعلومات استنتاجيه لكشف ترميز مرمّز( RSC1 )مرّة ثانية. تكرر هذه الإجرائية مرات وتدعى عملية كشف ترميز مرمّز( RSC1 و RSC2 )بكشف ترميز تعاودي.وبعد كل نصف تكرار لسلسلة معالجة من بتات المعلومات تزود بكواشف ترميز دخل لين–خرج لين $(\hat{u}_1, \hat{u}_2)$.من أهم خوارزميات كشف ترميز تربو خوارزمية الاستدلالية العظمى(MAP ) [5,6]، خوارزمية Log- MAP ، خوارزمية Max-Log- MAP [7] التي استعملها بهذا النظام، وخوارزمية فيتربي بخرج لين (SOVA) [3].




الشكل(5): كشف الترميز التعاودي لترميزات تربو

- **أداء ترميز تربو بقناة AWGN**

**(Performance of the turbo code in the AWGN channel):**

يتم بهذه الفقرة دراسة تأثير الوسطاء الداخلية لترميز تربو ( حدودية الترميز، عدد تكرارات كشف الترميز، نسبة الترميز، طول صندوق المعلومات) على أداء الترميز بقناة (AWGN) بهذا النظام حاسوبياً. وسأقدّم في نهاية البحث برمجيات بعض مكوّنات هذا النظام ( عملية ترميز تربو والمشذّر العشوائي) بلغة Pascal.

يستعمل بهذه الدراسة حدودية ترميز (RSC) المكوّنة لترميز تربو هي $(13,15)_8$، والمشذّر العشوائي بمرمّز وكاشف ترميز تربو، وخوارزمية Max-Log- MAP لكشف الترميز وعدد التكرارات4.

- **حدودية الترميز (Code polynomial):**

يظهر في الشكل (6) التالي أن كل حدوديات الترميز لها أداءاً مشابهاً باستعمال تعديل BPSK/ QPSK حتى نسبة خطأ بت (BER) لـ $10^{-4}$ في 2.0 dB. ومن أجل نسبة خطأ بت (BER) فإن حدودية الترميز $(7,5)_8$تصبح مستوية. وفي نسبة خطأ بت (BER) لـ $10^{-6}$فالأداء يفقد حوالي 0.3dB مقارنة مع حدوديات ترميز أخرى. أما الفرق في الأداء بين حدوديات الترميز $(23,33)_8$, $(13,15)_8$فيعتبر هامشياً.

- **عدد تكرارات كشف الترميز (Number of decoding iterations):**

يظهر الشكل (7) الأداء بأعداد مختلفة لتكرارات كشف الترميز باستعمال تعديل BPSK /QPSK، ويتضح من الشكل أنه بعد 4 تكرارات فلا يوجد ربح إضافي بزيادة عدد التكرارات وهذا بسبب الاستعمال لأطوال صناديق محدودة.

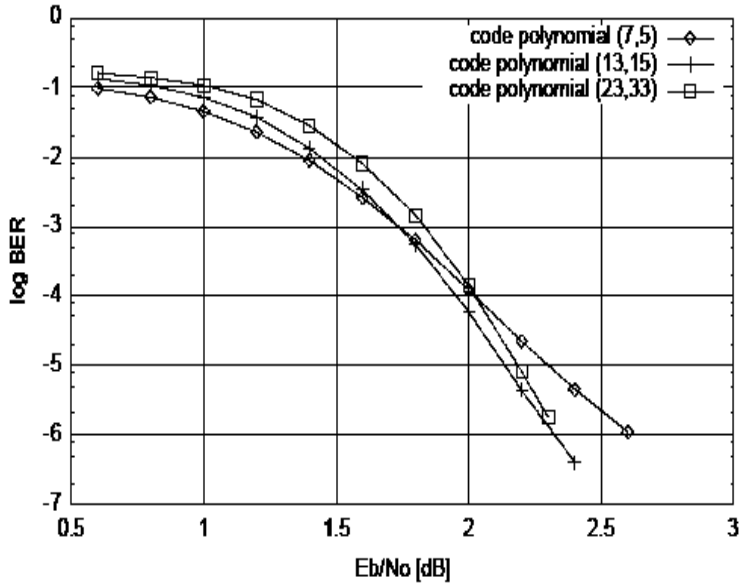
- **نسبة الترميز (Code rate):**

يعطي الشكل (8) السلوك لترميز تربو بنسب ترميز مختلفة وباستعمال تعديل BPSK/ QPSK.

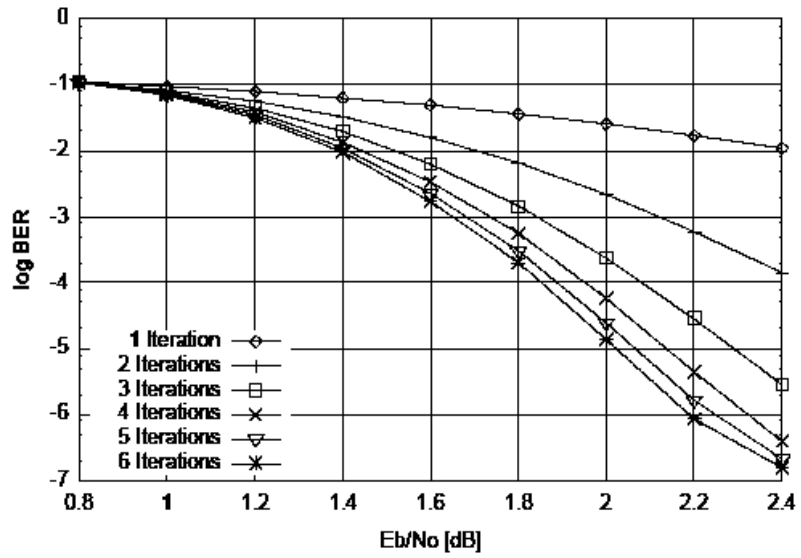
- **طول صندوق المعلومات(Information block length):**

يقدّم الشكل (9) فكرة حول تأثير أطوال صناديق المعلومات باستعمال تعديل BPSK/ QPSK.

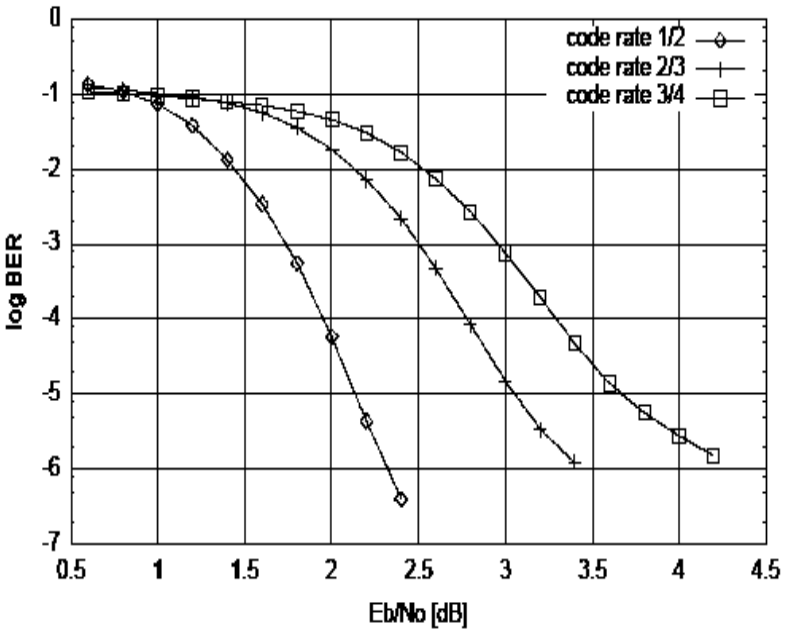
وتبيّن المنحنيات الظاهرة أنه عندما يكون طول صندوق المعلومات كبيراً فإنه يعطي أداءاً أفضل أطوال الصناديق المأخوذة في الشكل هي 128, 256,512,1024.



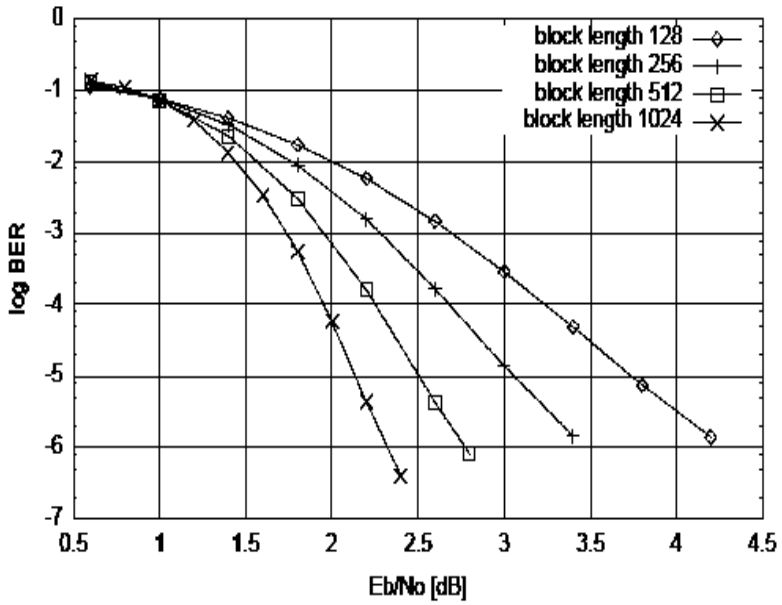

**الشكل(6):حدوديات ترميز مختلفة، قناةAWGN ، تعديل BPSK/QPSK ، نسبة الترميز1/2، طول صندوق المعلومات 1024، Max-Log- MAP لكشف الترميز و عدد التكرارات4**




**الشكل(7): أعداد مختلفة لتكرارات كشف الترميز ، قناةAWGN ، تعديل BPSK/QPSK، نسبة الترميز1/2، حدودية الترميز $(13,15)_8$ ، طول صندوق المعلومات 1024، Max-Log- MAP لكشف الترميز**




**الشكل(8): نسب ترميز مختلفة ، قناةAWGN ، تعديل BPSK/QPSK ، حدودية الترميز $(13,15)_8$ ، طول صندوق المعلومات 1024 Max-Log- MAP, لكشف الترميز و 4 تكرارات**




**الشكل(9): أطوال صناديق مختلفة ، قناةAWGN ، تعديل BPSK/QPSK ، نسبة الترميز1/2 حدودية الترميز $(13,15)_8$ ، MAP Max-Log- لكشف الترميز و 4 تكرارات**

**•البرمجيات (Software):**

**برنامج عملية ترميز تربو:**

```
Program  encoding;
type   vec=array[1..100]of integer;
var    i,n,k1,l1,l2: integer; w1,w2,v,d,a,g,y:vec;
procedure  Tahwel2(n: integer; var  v: vec, var  k: integer);
var t1,t2:   integer;
begin
k:=0;
if  n<2 then
         begin
         v[1]:=n; k:=k+1;
        end
      else
   begin
     while n>= 2 do
      begin
        t1:=n  div  2;
        t2:=n  mod 2; k:=k+1;
        v[k]:=t2;
         n:=t1
        end;
    k:=k+1;
   v[k]:=n;
  end;
end;
procedure  g1g2(  v: vec; var  w1,w2:vec , var l1,l2: integer);
var   t1,t2,t3,t4,c1,c2: integer;
   begin
     t1:= v[1] mod 10; t2:= v[1] div 10;
     t3:= v[2] mod10;  t4:= v[2] div 10;
     c1:=8* t2+t1; c2:=8* t4+t3;
     tahwel(c1,w1,l1); tahwel(c2,w2,l2);
   end;
begin {main}
    write (‘ input  dim dk1…n=’);  readln(n);
     for i:=1 to n  do
     begin
    write (‘d[‘,i,’]=’); readln(d[i]);
    end;
write (‘ input  g1g2, in 8’);
readln(v[1]); readln(v[2]);
g1g2 (v,w1,w2,l1,l2);
write (‘input  case k1= 0  or  1); readln(k1);
  if  k1 =1  then
    begin
      for i:=1 to l1 do
```

```
      g[i]:=w1[i];
      for k1:=1 to n  do
      begin
        a[k1]:=0;
        for i:=1 to l1  do
          if i < k1 then
       a[k1]:= a[k1]+d[k1]+g[i]+a[k1-i]
         else
       a[k1]:= a[k1]+d[k1];
       a[k1]:=a[k1] mod2;
      end;
       writeln('a=');
        for k1: =1  to  n   do
         write (a[k1],',');
        end
   else
  begin
     for i:=1 to l2 do
      g[i]:= w2[i];
      for i:=1  to  l2  do
       write (g[i],','); readln;
     for k1:=1 to n do
      begin
      y[k1]:=o;
    for i:=1 to k1-1 do
     y[k1]:=y[k1]+g[i]*d[k1-i];
    for k1:=1  to n  do
    write(y[k1],','); readln;
      y[k1]:= y[k1] mod 2;
     writeln('y=');
     for k1:=1  to  n  do
      write(y[k1],',');
     end;
  end; readln;
end.
```

**برنامج المشذّر العشوائي:**

```
Program  random-interleaver;
   type   vec=array[1..100] of integer;
   var   v,w:vec;   N,i,t,j: integer;
begin
    write ('input dim..N=');   readln(N);
        for i:=1 to N do
        v[i]:=i;
         i:=0;
   while  N>1  do
```

```
    begin
     t = random(N);
     i:=i+1;
     w[i]:=v[t];
    for i:= t to N-1 do
      v[i]:= v[i+1];
       N:=N-1;
      if  N=1  then
        begin
         i:=i+1;
         w[i]:=v[1];
         end;
       end;
  for  j:=1  to  N  do
     write (w[j],',');
end.
```

## النتائج والمناقشة:

إن نظام (OFDM) متعدد الحوامل بدون ترميز قناة قوي يكون عرضة لخفوت متعدد المسارات. وحيث إنّ ترميز تربو ينتمي لمجموعة ترميزات القناة، فهو أحد الخيارات لتطبيقه بنظم (OFDM).

وبعد دراسة ترميز تربو، ونظام (OFDM) تمّ بهذا البحث: إيجاد خوارزمية لتطبيق ترميز تربو بنظام (OFDM) حيث تمّ إيجاد المخطط الصندوقي لخوارزمية النظام المقترح وشرحاً لخطواتها، إيجاد خوارزمية عملية الترميز وخوارزمية المشذّر العشوائي بترميز تربو، ثم دراسة تأثير بعض الوسطاء الداخلية للترميز على أداء ترميز تربو بقناة ( AWGN).

وتمّ التوصل للنتائج التالية:

1- يمكن باستعمال خوارزمية النظام المقترح التخفيف من الخفوت بنظم متعددة حوامل الاشارات عندما تضرب بوحدة تخفيف الخفوت كلاً من رموز التعديل المركّبة $\frac{N}{R.M}$ بمعامل الخفوت حيث تستعمل معاملات الخفوت القيمة المطلقة (الطويلة) لمعامل مركّب، ثم يحوّل الخفوت (كل المعاملات هي1) لقناة (AWGN).وتضرب نفس رموز التعديل المركّبة $\frac{N}{R.M}$ بخرج فك تعديل الخرج اللين. وبتلك العملية يمكن زيادة القدرة على كشف الترميز حتى للحوامل الجزئية الضعيفة بنظام(OFDM).

2- إن عدد عمليات خوارزمية النظام المقترح كبيراً، وهي بالتالي مكّلفة. لكنها مثالية من حيث السرعة لأنها تهدف لحساب نسبة خطأ البت أو الحزمة. وتمكّنا بواسطتها الوصول لمستويات نسبة خطأ بت (BER) منخفضة جداً وصلت حتى $10^{-7}$كما ظهر في الأشكال الموضّحة، وبالتالي ينعكس ذلك على أداءٍ جيدٍ.

3- تمّ تطبيق برمجيات النظام لدراسة تأثير بعض الوسطاء الداخلية للترميز على أداء ترميز تربو بقناة ( AWGN) من خلال أمثلة وأشكال موضحة التي نستنتج منها أن الاستعمال لترميزات تربو أثبت أن المرمزات التلفيفية النظامية التعاودية بـ 3-حالات، وكواشف الترميز بخوارزمية Max-Log- MAP هي حل وسط جيد بهذا النظام بين تعقيد التنفيذ والأداء. وأثبتت المقارنة لنسب أخطاء بتات لأطوال صناديق معلومات مختلفة أن ترميزات تربو

تؤدي بشكل جيد فوق مجال واسع لأطوال صناديق طويلة وقصيرة. وعند البحث بربح الأداء المكتسب المتعلق بالطبيعة التعاودية لترميز تربو، فقد أظهرت النتائج أن الأداء المكتسب الأعظمي بهذا النظام قد حصل بعد 4 تكرارات وهذا له تأثير إيجابي على تعقيد التنفيذ.كذلك أعطى الاستعمال للمشذّر العشوائي في مرمّز وكاشف ترميز تربو نتائج جيدة بهذا النظام، إضافة لاستعمال نسب ترميز مختلفة.

## الاستنتاجات والتوصيات:

إن خوارزمية النظام المقدّمة وفوائدها من حيث تخفيف الخفوت بنظم متعددة حوامل الاشارات، وحساب نسبة خطأ البت أو الحزمة بسرعة عالية والتي تمكننا من الوصول لمستويات نسبة خطأ بت (BER) منخفضة جداً قد شكّلت بتطبيق ترميز تربو بنظام (OFDM)، لكن من مساوئ هذه الخوارزمية أن عدد خطواتها كبيراً فهي ذات كلفة كبيرة. وبرغم ذلك فهي مثالية من حيث السرعة ولها تأثيرٌ جيدٌ على أداء ترميز تربو بقناة ( AWGN) كما أظهرت الأشكال الموضّحة والنتائج الجيدة عند دراسة تأثير بعض الوسطاء الداخلية للترميز على أداء ترميز تربو. ولذلك تعتبر هذه الخوارزمية مهمة ومناسبة للاستعمال في القنوات الراديوية.

## المراجع:


1- BERROU, C. ; GLAVIEUX, G. and THITIMASHIMA, P.- *Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes.* IEEE Intern. Conf. On Comm.,Vol. 2, 1993, pp. 1064-1070.

2- HANZO ,L. ; WEBB, W. ; KELLER, T. - *Single- and Multi-carrier Quadrature Amplitude Modulation,* John Wiley, U.S.A.,2000,300p.

3- LANG LIN, ROGER S. CHENG. - *Improvements in SOVA-Based Decoding for Turbo Codes.* Proc. ICC 1997, pp. 1473-1478.

4- PRASAD, R. ; VAN NEE, R. - *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, U.S.A. , 2000,400p.

5- ROBERTSON, P. and HOEHER, P. - *Optimal and Sub-Optimal Maximum a Posteriori Algorithms Suitable for Turbo Decoding.* European Trans. on Telecommunication, (8)1997,pp.119–125.

6- SCHURGERS, C. ; CATTHOOR, F. and ENGELS, M. - *Energy efficient data transfer and storage organization for a map turbo decoder module.* IEEE. In ISLPED,*1999,* pp. 76–81.

7- VALENTI, M.C. - *Iterative Detection and Decoding for Wireless Communications,* PhD thesis,1999, Virginia Polytechnic Institute and State University.