مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (28) العدد (2) 2006
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Science Series Vol. (28) No (2) 2006

التعديل DMT هو الخيار الأفضل لخطوط النقل الرقمية عالية السرعة VDSL

الدكتور شحادة الموسى*
الدكتور معين يونس**
وائل حسن صقر***

(قبل للنشر في 2006/12/14)

□ الملخّص □

يبين هذا البحث أسباب اختيار التعديل DMT (Discrete Multitone) مقابل التعديل CAP (Carrier less Amplitude &Phase Modulation) كخيار أفضل لخطوط النقل الرقمية عالية السرعة VDSL (Very High speed digital subscriber line).

ويعرض هذا البحث أيضاً دور تعديل DMT في زيادة معدلات نقل المعطيات عن طريق زيادة عرض حزمة النقل لجعل شبكة الإنترنيت منبعاً هائلاً للمعلومات، وتأمين خدمات نقل المعطيات الجديدة باعتبارها منبعاً هائلاً للدخل القومي.

ويدرس هذا البحث جوهر كلا التعديلين ونقاط القوة والضعف لكليهما، وكذلك الأمر يتضمن تحليلاً لأنواع خطوط النقل وبعض الأمور العملية الأخرى والتي تبين لماذا يعتبر الـ DMT خيار أفضل لبناء أنظمة VDSL.

ويتضمن البحث أخيراً تمثيلاً برمجياً simulation للإشارة المرسلة DMT عبر خطوط النقل مع مرشح وبدون مرشح، وآلية تحقيق النظام (Filtered Multitone Modulation) FMT (تعديل DMT مع المرشح) لمرسل ومستقبلFMT .

الكلمات المفتاحية:

DMT (Discrete Multitone) – التعديل متقطع النغمات.

CAP (Carrierless Amplitude & phase Modulation) – التعديل الطوري المطالي مكبوت الحامل.

VDSL (Very High Speed digital subscriber line) – خطوط المشترك الرقمية عالية السرعة.

FMT(Filtered Multitone Modulation) – التعديل DMT المفلتر.

* أستاذ في قسم هندسة الاتصالات_ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية_ جامعة دمشق _ سوريا.
**أستاذ مساعد في قسم هندسة الاتصالات_ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية_جامعة تشرين _ اللاذقية _سوريا.
*** طالب ماجستير في قسم هندسة الاتصالات_ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية_جامعة تشرين_ اللاذقية_ سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (28) العدد (2) 2006
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Science Series Vol. (28) No (2) 2006

DMT Modulation is the Best Option for Digital Subscriber Line VDSL

Dr. Shahada al Mwssa*
Dr. Moieen Yonees **
Wael hassan sakr ***

(Accepted 14/12/2006)

□ ABSTRACT □

This paper explains reasons for choosing DMT modulation versus CAP modulation as a better option for a very high speed digital subscriber line VDSL. It also illustrates the role of DMT modulation in increasing data bit-rate by increasing data bandwidth in order to make the internet a universally accessible "information superhighway" and support the more demanding web-based applications, being potential sources of revenue.

This paper also studies the essence of both modulations and the strengths, weaknesses of each; it includes an analysis of line conditions and other practical matters which explain why DMT is a better option for VDSL system setting.

Finally, this paper also includes a simulation of transmitted DMT signal over digital subscriber line with and without filter, and an implementation of FMT (Filtered MultiTone modulation) system for FMT transmitter and receiver.

Key words:

DMT: (Discrete Multitone)
CAP : (Carrierless Amplitude & Phase Modulation)
VDSL: (Very High Speed Digital Subscriber Line)
FMT: (Filtered Multitone Modulation)

*Professor, Department of Communication Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Damascus University, Syria.
** Associate Professor, Department of Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
*** Postgraduate Student, Department of Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدّمة:

تنتشر منظومات نقل المعلومات بشكل واسع في جميع أرجاء العالم، وبأشكال مختلفة، وسائط متعددة، فمن الشبكات الهاتفية العادية إلى الشبكات الخلوية وشبكات التراسل الإلكتروني وصولاً إلى شبكات الحاسب التي تعتبر من أكثر التقانات أهميةً في وقتنا الراهن.

حيث يسعى الجميع للتواصل، والارتباط على الشبكات المختلفة، ولاسيما الشبكة العالمية (الإنترنيت)، مما أسهم إلى حد بعيد في لقاء الحضارات، وتواصل البشرية بمختلف أجناسها ليصبح العالم بحق قرية إلكترونية صغيرة.

فمع التطور الهائل والقفزة النوعية العالية في مجال تقانات المعلوماتية، والاتصالات، ومع التزايد السكاني الكبير الذي يفرض حاجةً على التواصل بين الأفراد، مما يسبب ضغطاً على نظم الاتصالات العامة؛ فقد أصبحت الحاجة ملحةٌ إلى تطوير شبكات نقل ذات عرض حزمة أكبر بحيث تستطيع نقل المعلومات بسرعة أكبر، وزمن أقل وإلى كل منزل، مما مهد السبيل للحاجة إلى خدمات شبكة ذات عرض حزمة أعلى، وكلفة أقل، وتوجه مباشرة إلى بيوت المشتركين.

كان الاعتقاد السائد في السنوات الماضية يتجلى في أن الحد الأعلى لنقل المعطيات على خط هاتفي من النحاس المجدول هو $56Kb/s$. إن السبب في هذا الحد يعود إلى شبكة الخدمات الهاتفية القديمة POTS كونها تستطيع فقط أن تستخدم عرض حزمة $4KHz$ وعدم قدرتها على استغلال عرض الحزمة الترددية المتوافرة كافة على السلك النحاسي الثنائي المجدول والذي هو من مرتبة الـ $1MHz$. مما حفز العلماء والباحثين والمهتمين في هذا المجال لفعل شيء لحل تلك المشكلة، وهذا ما جعلهم عملياً يكتشفون أنظمة وتقانات جديدة للوصول إلى تلك المتطلبات، وخصوصاً بعد التقدم الهائل في مجال معالجة الإشارة الرقمية، وظهور خطوط النقل الرقمية DSL.

1- أهمية البحث وأهدافه:

تتميز تقانات xDSL بأنواعها المختلفة بقدرتها على استغلال حزمة الترددات العليا في الأسلاك النحاسية المزدوجة المجدولة من أجل نقل المعطيات، حيث تستطيع وفي الوقت نفسه تأمين خدمات نقل الصوت

الـ POTS فضلا عن خدمات نقل المعطيات الرقمية المختلفة وعلى الجزء نفسه من السلك النحاسي المجدول.

وقد اختبرت تقانات DSL عن طريق بعض المشغلين في الولايات المتحدة الأمريكية وبعض الهيئات الأوربية.

وقادت تطبيقاتها إلى نشر خدمات الفيديو عند الطلب video on demand، وخدمات التلفزة المباشرة (interactive TV) والتي اعتبرت منبعاً هائلاً للدخل القومي، وقد اعتبرت تقانات DSL سلاحاً فعالاً تم تقديمه لشركات الهاتف مقابل شبكات Cable TV (CATV) الباهظة التكاليف والعالية التقانية.

ومع ولادة الشبكة العالمية العنكبوتية (WWW) عام 1995 ظهرت الحاجة ملحة إلى زيادة معدلات النقل عن طريق زيادة عرض حزمة النقل، وذلك لجعل شبكة الانترنيت منبع هائل للمعلومات فضلا عن الطلب المتزايد على تطبيقات الإنترنيت. ومن بين هذه التطبيقات:

الولوج إلى الإنترنيت، ربط الشبكات المحلية مع بعضها البعض LAN to LAN، التبديل بالإطارات، والنفاذ إلى شبكات الـ ATM، وخطوط النقل المباشر.

يعد VDSL بمستقبل زاهر كوسيلة تؤمن الجيل التالي من تقنيات التشبيك عالية السرعة على الخطوط الهاتف النحاسية. ولكي يتم تسويقها بشكل مؤكد فإن تجهيزات VDSL يجب أن تكون لديها قابلية التشغيل مع تجهيزات ADSL التي تتنامى شعبيتها في الوقت الراهن، وعليها أن تؤمن النقاط الرئيسية الثلاث التالية: [5]

* **دعم نقل معدل معطيات عالٍ عبر أطوال حلقات محددة.**
* **المناعة ضد الضجيج والتداخل.**
* **تقليل استهلاك الطاقة.**

تكمن أهمية تصميم الدارات المتكاملة IC في تقانة التعديل المستخدمة، وقد حددت الهيئات المعيارية تقانتين للتعديل من أجل VDSL هما:

- التعديل بالحامل الوحيد Single carrier modulation (SCM) .
- التعديل متعدد الحوامل Multi carrier modulation (MCM) .

إن تقنيات التعديل بالحامل المفرد هي تلك التعديلات التي تتضمن كلاً من التعديل المطالي الرباعي(QAM) والتعديل المطالي الطوري مكبوت الحامل (CAP).

بالمقابل فإن الـ (DMT) هو تقنية التعديل متعدد الحوامل والمقترحة أصلاً للإقرار من قبل الهيئات المعيارية.

2- تقنيات التعديل:

تتعرض الإشارات المرسلة في خطوط النقل النحاسية للتخميد في الخط، والتشتيت والضجيج الكهربائي. حيث يزداد تأثير التخميد، والضجيج الكهربائي مع ازدياد التردد.

وبناءً عليه فإن الأنظمة الرقمية العصرية ذات معدلات النقل العالية تتطلب تقانات تعديل ذات كفاءة طيفية خاصة، والتي يتم تحقيقها مع تسوية ملائمة وطرائق تخفيف الضجيج، لتحقيق أداء إرسال عالي الجودة.

2-1 التعديل CAP:

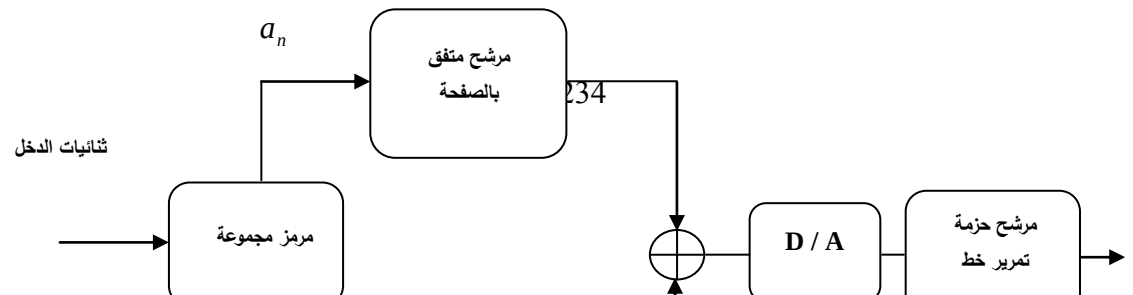
إن التعديل CAP لـه علاقة بشكل قريب بتعديل QAM (Quadrature Amplitude Modulation) التعديل المطالي الرباعي المعروف.

- يولد تعديل QAM حزمة جانبية مضاعفة مع حامل مكبوت مركبة من إشارات PAM ذات مستويات متعددة ومطبقة في تربيع الطور لكل من الإشارتين.
- يولد تعديل CAP نفس شكل الإشارة التي يولدها QAM لكن بدون الحاجة لعناصر تربيعية، ومتفقة في الطور.

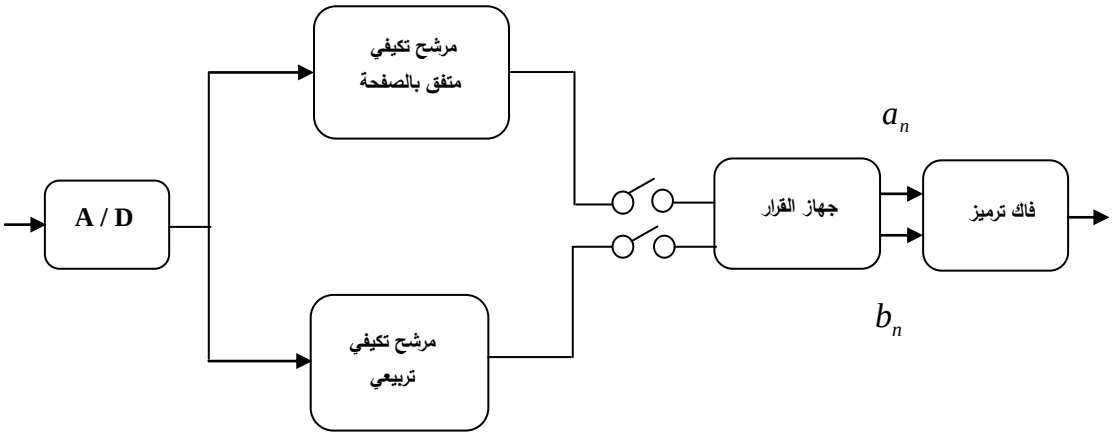
و يبين الشكلان (1) و(2) المخطط الصندوقي لمرسل مستقبل CAP.[1]

حيث يشكل مرمز مجموعة الإرسال حزمة من بتات المعطيات الداخلة ضمن تدفق بتي ذات مستوى متعددة الرموز $b_1, b_2, ...b_n$ & $a_1, a_2, ...a_n$.

كما هو موضح في الشكل (1) فإن الرموز a_n ترشح باستخدام مرشح مجال أساس متفق بالصفحة والرموز b_n ترشح باستخدام مرشح تربيعي موافق.



الشكل (1) المخطط الصندوقي لمرسل CAP.



الشكل (2) المخطط الصندوقي لمستقبل CAP.

صمم هذين المرشحين بحيث تكون استجابتهما النبضية h(t), h`(t) تشكلان زوج هلبرت (Hilbert pair) وهذا يعني أن تحويل فوريه لكل من h(t), h`(t) متفق بالمطال ومختلف بالطور بمقدار ($\lambda/2$) عند التردد موجب و($-\lambda/2$) عند التردد سالب .

و بالتالي فإن الاستجابات النبضية h(t), h`(t) هي توابع متعامدة أي أن ( h(t) *h`(t) = 0) وهذا التعامد يسمح بدمج شكلي الموجة المنفصلتين في إشارة واحدة ذات بعدين لتكون مرسلة عبر الخط كما هو موضح في الشكل (1). كما أنه يسمح باستعادة الإشارة وفصلها ثانية في المستقبل كما في الشكل (2).

تسبب خواص زوج هلبرت المذكور أعلاه فرق تربيعي متعامد في الصفحة بين عنصري (مكوني) الإشارة ذات البعدين الناتجة عن الرموز ذات البعدين a_n, b_n حيث تقوم بتشكيل الإشارة الملائمة.

نلاحظ أنه بالرغم من أن h(t) ، h`(t) تتناوب (تتبدل) عندما تكون مرسلة عبر زوج الأسلاك فإن الاستجابة المعدلة الظاهرة عند دخل المستقبل تبقى متعامدة. وهذا بطبيعة الحال ناتج عن خاصية خطية القناة التي تضمن أن الاستجابات المعدلة g(t), g`(t) لا تزال تشكل زوج هلبرت.

ولهذه الخاصية أهمية أساسية في تقانات التعديل ذات البعدين مثل CAP، لأنها تسمح للرموز المنفصلة المتفقة في الصفحة والتربيعية لتكون قابلة للاستعادة بشكل مستقل عن بعضها البعض عند المستقبل، وإن هذا محقق بوساطة مرشحين تكيفيين أحدهما متفق بالصفحة، والأخر تربيعي ضمن مستقبل CAP.

2-1-1 نقاط القوة في تعديل CAP:[2]

* تقنية متطورة.
* كانت تدعم في البداية من قبل AT&T.
* سيطرت في البداية على التجارب الأولية لـ *xDSL* .
* كلفة تصنيع تجهيزاتها أقل من كلفة تجهيزات DMT.
* تحقق هذه التقنية أقل معدلات تأخير.
* صممت لتحقق أعلى معدل من التنبؤ (التكيف).

2-1-2 نقاط الضعف في تعديل CAP:[2]

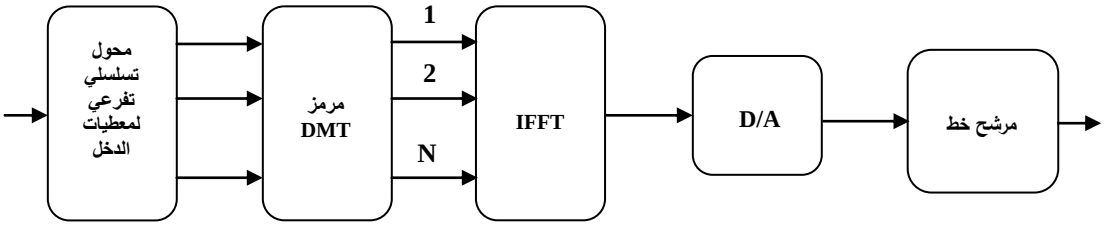
* يتم تطبيق إجراء تصحيح الخطأ فقط على ممر المعطيات الواردة downstream .
* ليس لديها القدرة على ضبط اختلاف نسبة الإشارة إلى الضجيج، كما هو الحال في DMT.
* طالما أنها غير معيارية، فإنه من غير المستحب التزود من مزودين متعددين ومختلفين.

2-2 تعديل DMT:

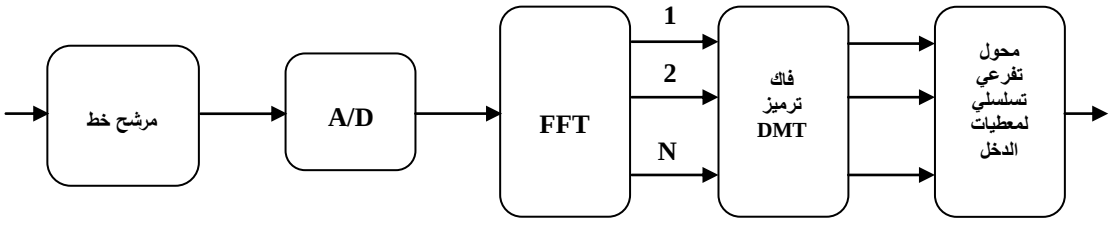
تطور تعديل DMT من مفهوم تشغيل مصفوفة N مرسل – مستقبل بمعدلات منخفضة على التوازي لتحقيق معدل نقل بتات إجمالي عالي على خط وحيد. حيث تبقى منفصلة عن بعضها البعض بإرسالها عبر قنوات جزئية منفصلة التردد.

يقوم تعديل DMT بإنجاز مصفوفة القنوات الجزئية ضمن مجموعة مرسل ومستقبل واحد باستخدام تحويل فورييه السريع العكسي (IFFT) ونظيره تحويل فورييه السريع (FFT).

و يبين الشكلان (4)،(3) مخطط توضيحي لمرسل ومستقبل DMT.[1]



الشكل (3) مخطط توضيحي لمرسل DMT .



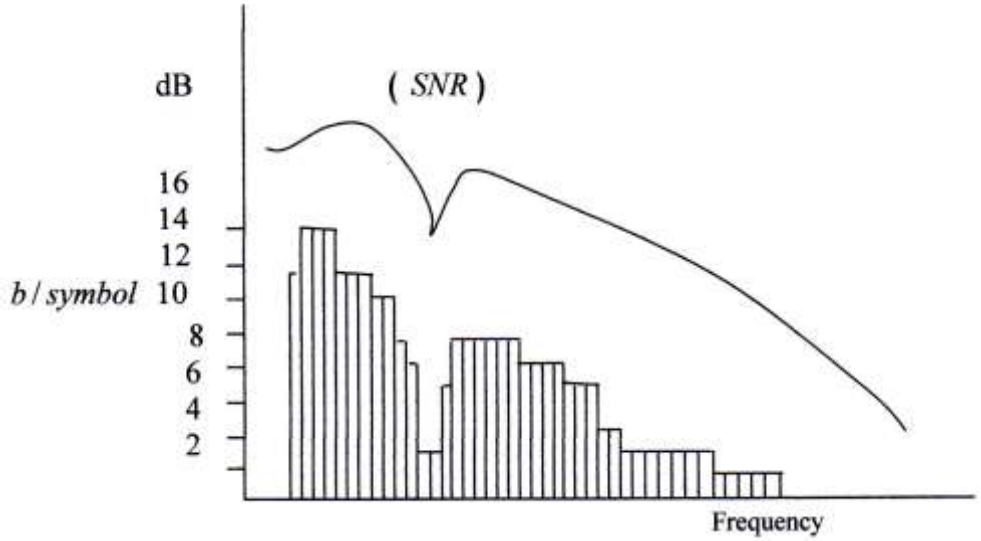
الشكل (4) مخطط توضيحي لمستقبل DMT.

في أثناء ترميز المعطيات تكون البتات معزولة وكل بت مخصص، أو مدمج ضمن مجموعة من N رمز عقدي جزئي متعدد المستويات (QAM) بوساطة مرمز الـ (DMT).

يمثّل كل رمز جزئي N بـ N رقم عقدي شبيهاً بتمثيل الإشارات في مستوي الزمن. ويمكن الحصول على الإشارة في مستوي الزمن بوساطة عملية تحويل فوريه السريع العكسي، حيث ينفذ مرسل DMT هذا التحويل بعملية أتمتة لتحويل فوريه السريع العكسي (IFFT)، ويرسل تابع مستوي الزمن الناتج تسلسلياً بوساطة مبدل D/A ومرشح خط.

DMT هو نمط مؤتمت من أنماط التعديل وبخاصة عند النظر إلى تضمين البتات ضمن رموز القناة الجزئية.

وبالتالي يخصص عدد أكبر من البتات للقنوات الجزئية عند نسبة إشارة إلى ضجيج (SNR) عالية وعدد أقل عندما تكون النسبة منخفضة.



الشكل (5) المعدل البتي المختلف المتشكل ضمن القنوات فرعية لـ DMT.

بمقارنة الشكلين (4,5) نجد أن المستقبل يقوم بعمليات عكسية بالمقارنة مع المرسل لإنتاج تنبؤات عن المعطيات الأصلية المرسلة.

يملك تعديل DMT القدرة على معالجة معدلات معلومات عالية باستخدام عدد كبير من القنوات الجزئية وسعة عظمى للقناة الواحدة. وبالتالي فإن تأثيرات تشتيت القناة يمكن أن تصحح دون الحاجة إلى تسوية معقدة.

2-2-1 نقاط القوة في تعديل DMT :[2]

* بما أن DMT معياراً من ANSI (المعهد الوطني للمعايير الأمريكية)، فإنه يمكن التزود بالتجهيزات من عدة مزودين مختلفين.

* تطبق إجراءات تصحيح الخطأ على المعطيات الصادرة Upstream والمعطيات الواردة Downstreamعلى حد سواء.

* تضبط حالات ضجيج الخط في أثناء المعايرة.

* أكثر قدرة على التحمل.
* أسرع بكثير من نماذج CAP.
* لديه إمكانية تصحيح الخطأ المعياري.
* سيتم تصنيع شرائح وتجهيزات DMT من قبل عدد كبير من المصنعين مقارنة بشرائح وتجهيزات CAPوبالتالي فإن التنافس الحاصل سيؤدي إلى خفض الأسعار.

2-2-2 نقاط الضعف في DMT.[2]

* DMT تقانة متعددة الحوامل أي (عدد كبير من القنوات الفرعية الصادرة والواردة) وهذا يؤدي إلى تأخير كبير مقارنة بـCAP ذي التعديل وحيد الحامل.
* AT&T تدعم CAP.
* تجهيزات DMT أكثر تعقيداً وبالتالي فهي أكثر غلاءً.

3- التعديل وحيد الحامل مقابل متعدد الحوامل:

في حالة التعديل وحيد الحامل ترمز البتات ضمن الرموز بمجموعات متتابعة من النقاط. تلك النقاط تعدّل ثم ترشّح وترسل ضمن عرض حزمة محددة. من ناحية ثانية فإن القناة تشوه الإشارة مسببة تعاقب الرموز لتتداخل مع بعضها البعض. وعند المستقبل يخفض المسوّي هذا التداخل لتحسين أداء النظام. وعلى الرغم من ذلك فإن المسوي يمكن أن يولد أخطاء تنتشر مسببة تأثيراً سلبياً في عمل الإرسال.

في التعديل متعدد الحوامل يتم تقسيم القناة إلى مجموعة من الأقنية الفرعية المستقلة، وكل واحدة منها تتميز بمعدل إشارة/ضجيج (SNR) خاص. يقاس المعيار(SNR) للقناة ويراقب من لحظة تأسيس الاتصال وحتى نهايته.

وعندما تتغير شروط القناة والضجيج وتتضاءل فعالية الأقنية الفرعية، فإن النظام القائم علىDMT يمكن أن يحافظ على أداء عالي عن طريق إعادة توزيع المعطيات ونشرها على الأقنية الفرعية الأخرى. كما أن التعديلDMT لا يولد أخطاءً في المستقبل لأنه بخلاف الأنظمة وحيدة الحامل، فإن كشف الأخطاء لا يؤثر في طريقة فك ترميز الإرساليات المستقبلة.

الأداء: بين النظرية والتطبيق.

إن الاقتراحات على تقانة الحامل المفرد تظهر بشكل متكرر بأن أداء الـDMT وCAPمتكافئين نظرياً وهي مطالبة بعدم وجود فرقاً في الأداء من الناحية العملية. في الحقيقة إن أداء الـ DMT والـ QAM/CAP متكافئين نظرياً فقط وإذا فقط اجتمع شرطان اثنان هما:

*** المركبات الإحصائية للنظامين لا نهائية:**

من أجل DMT، يقسم عرض الحزمة إلى عدد لا نهائي من الأقنية الفرعية.

ومن أجل، CAP/QAM فإن أطوال المرشحات تكون لا نهائية.

*** كلا النظامين يحققان عرض حزمة أكثر مثالية يحجز الإشارة المرسلة ضمن مجالاً ترددياً يؤمن دعماً ملائماً لهما.**

من أجل DMT، يتم إغلاق الأقنية الفرعية عند الترددات التي لا يمكنها إن تدعم المعطيات.

ومن أجل CAP/QAM يجب إن يدعم عدد لا نهائي من معدل أخذ العينات، ويؤمن مرشحات متلائمة ليحوي معطيات في حزمة التردد المعدلة.

3-1 أسباب اختيار DMT من أجل تصاميم VDSL: [4] [3]

تناقش المقاطع التالية مشاكل الأداء في سياق الحديث عن الأنظمة محدودة التعقيد وتشرح أسباب اختيار DMT كخيار أفضل لخطوط VDSL.

1- مثالية لكل الخط: Optimizing to each line.

يمتلك كل خط نحاسي مشاكل مميزة مختلفة ناجمة عن:

- التخميد: والذي يتعلق بدرجة عالية بالتردد، طول الكبل، وحلقات التوصيل التي يمكن أن تكون متصلة مع الخط في مكان ما.
- التشويش: الناجم عن المودمات عالية السرعة في كابلات الربط ،التي تتزايد بسرعة مع التردد والتي تتعلق بطبوغرافية كبل الربط نفسه.
- تداخلRF التردد العالي: من راديو AM وحزم راديو الهواة.

يتم تشغيل مودمات DMT بطرائق مختلفة على كل خط عن طريق تقسيم طيف الترددات إلى حوامل فرعية ضيقة. وكل حامل فرعي أو حزمة ترددية يتم تعديلها بشكل منفصل بـ QAM، ويمكن أن تحوي من 1 حتى 15 بت من المعطيات. إن عدد البتات لكل حزمة ترددية على امتداد مستوى طاقتها قد صمم بشكل

يتلاءم مع نقاط أساسية ومستمرة عن طريق مودم DMT بما يتوافق مع تخميد الحلقة ووسط الضجيج. على العكس، تخفض مودمات SCM (تعديل الحامل الوحيد) الطيف الثابت باستخدام حامل واحد يتم تعديله بوساطة QAM. تتم معالجة شكل هذا الطيف عن طريق تغيير حجم المجموعة، التردد الحامل، ومعدل الترميز، وبعملية ترشيح إضافية بعد التعديل. مخططات SCM تظهر مرونة أقل من مودم DMT عند توزيع معدل المعطيات.

2-التشغيل على الأقنية الصعبة: Operation on difficult channels.

لتخفيض تكلفة النظام يستخدم QAM وCAP مسويات ذات مرشحات قصيرة ومنخفضة التعقيد، هذه المرشحات لا تعمل جيداً على تلك الأقنية التي لها انحرافات معتبرة في ضياعاتها الداخلية كالخطوط الهاتفية الموصولة بطريقة التفريعات الجسرية (bridged tap) .

وعلى العكس فإن DMT تعمل بشكل فعال على تلك الأقنية الصعبة لأنها تجزيء القناة إلى عدد هائل من الأقنية الفرعية الضيقة. إن SNR عبر أي قناة فرعية وحيدة هو تقريباً ذو شكل مسطّح (مستوي). والأقنية الفرعية التي تتداخل بالمناطق ذات SNR المنخفض (الحاصلة بفعل التفريعات الجسرية، أو مستويات الضجيج العالي) تخصّص ببتات من المعلومات أقل من الأقنية الفرعية ذات SNR العالي.

وعلى الخطوط الطويلة والتي يتخامد بعضها بشكل كبير عند الترددات العالية فإن موديمات الـ DMT تكبح بشكل بسيط الأقنية الفرعية ذات التخميد الكبير للمعطيات. بخلاف QAM /CAP، فإن نظام DMT يرسل معطيات فقط في مناطق الترددات التي يمكن أن تؤمن نقل جيد.

3- المرونة في التداخل: Resilience to Ingress.

إن أي نظام VDSL يجب أن يخفف من تأثيرات مصادر الضجيج غير القابلة للتنبؤ مثل تداخل الترددات الراديوية RF عبر تأثير AM المنتشر في الجو، وكذلك إرساليات الراديو للهواة. إن مرونة CAP/QAM لتداخل

RFترتبط بشكل كبير بطول واحد من المرشحات في المسوي. والمدعو مرشح التغذية الأمامية. وهذا المرشح يجب أن يطابق مواقع التداخل مع RF ويولد شقوق عند تلك الترددات لتخفيض احتمالية الخطأ. عند زيادة أعداد مواقع التداخل مع RF، فإن ذلك يستوجب المزيد من الطول بالنسبة للمرشح، ومن الممكن أيضاً استهلاكاً كبيراً لطاقة مرشح التمرير الأمامي (التغذية الأمامية).

أما بالنسبة لنظام DMT ، يخفض ضجيج تداخل الترددات العالية RF لأن القناة تجزأ إلى أقنية فرعية ضيقة. والأقنية الفرعية التي تتداخل مع بعضها فإنها بكل بساطة تدعم بمعطيات قليلة أو يمكن أن تلغى.

4- كبت التداخل: Ingress suppression.

للوقاية من حصول التداخل مع حزم تردد الهواة عبر الأثير فإن أنظمة VDSLيجب أن تواجه متطلبات صارمة من أجل إخماد الجزء المتداخل من الحزم. وعلى الأنظمة CAP/QAM أن تستخدم مرشحات طويلة ومعقدة أو أن تقوم بإرسال إشارات متعددة بمرسلات منفصلة ومستقبلات لكل منها. وهذا بحد ذاته صعب ومكلف في تصميمه وتطبيقه وتشغيله.

بتقسيم الإشارات ضمن الأقنية الفرعية، فإن أنظمة DMT تتحكم بشكل كبير بطيف الطاقة وبالتالي فهي قادرة بشكل ديناميكي على مواجهة متطلبات التداخل. وأي قناة فرعية ستتداخل مع أقنية راديو الهواة يمكن إلغاؤها بسهولة.

5- المناعة من الضجيج النبضي :Immunity to impulse noise.

الضجيج النبضي هو مشكلة شائعة في شبكات الولوج النحاسية تنتج عن محولات التبديل من المولدات الحلقية في المقاسم المركزية أو المحركات الكهربائية في تجهيزات المشترك. يساعد الـ DMT في تقليل الضجيج النبضي، فبينما يستطيع النبض إلغاء الإشارة المستقبلة لمدة 5µs، أو أكثر، يستمر رمز DMT لمدة 250µs. وبالتالي سيدمر النبض فقط بعض العينات المستخدمة من أجل FFT (تحويل فورييه السريع). وسيقوم الـ FFT بنشر النبضة في مجال الزمن على الحوامل الترددية، وسيمتص هامش الضجيج المتوافر الطاقة النبضية. تقدم أنظمة DMT مناعة أفضل من أنظمة CAP/QAM بالنسبة للضجيج النبضي. إن نظام الـ DMT لن يعاني في كشف الأخطاء إذا كانت الاستطاعة المتوسطة لرشقة الضجيج النبضي خلال فترة الرمز DMT لا تستحوذ على هامش ضجيج. ولهذا السبب، لذلك فإن مستقبل الـ DMT يخفف آلياً تأثيرات معظم رشقات الضجيج الدفعي. وهذه الرشقات التي تشوه الإشارة يمكن تصحيحها باستخدام التصحيح المسبق للخطأ (Forword Error Corection (FEC.

بما أن رموز أنظمة CAP/QAM يتم كشفها الواحدة تلو الأخرى في المستقبل، فإن هذه الأنظمة تقدم حماية غير كافية ضد الضجيج النبضي. وبالمقابل الأنظمة القائمة على CAP/QAM يجب أن تعول كثيراً على التصحيح المسبق للخطأ (FEC)الأقل تأثراً بالضجيج النبضي كونه يتعامل مع المعطيات بعد خروجها من المسوي وفي المكان نفسه حيث تولد الأخطاء المرسلة، وكذلك إعادة التشكيل لحماية المعطيات من الضياع.

6- التكيف مع الظرف المتغير: Adaptability to changing condition.

إن أنظمة CAP/QAM يجب أن تعول على هوامش الضجيج وعلى التلاؤم المناسب لمرشحات المسوّي لتكون على مستوى التبدلات في ظروف القناة والضجيج. وعلى العكس أنظمة DMT تستخدم التأرجح البتي بين الأقنية الفرعية والتكيف، ومسويات مجال التردد المفرد لتسوية التغيرات التي لا تخفض بشكل أساسي سعة القناة. بالطبع، إذا انخفضت سعة القناة إلى النقطة التي لا تستطيع معها أن تدعم معدل معطيات أكثر لتأسيس الاتصال، فإن كلا النظامين DMT و CAP/QAM سيفشل، بالتالي فالحل هو تأسيس اتصال ذو هامش ضجيج يتيح انخفاض مزايا

وسط الإرسال دون أن يحصل انهيار في الاتصال. وعلى سبيل المثال استخدام (6db) كهامش ضجيج يتيح للوصلة أداء أفضل ضمن الخطأ المسموح.

7- دعم نسب المعطيات المطلوبة: Support of required data rates.

لأن الأنظمة CAP/QAM ترسل معطيات ضمن حزمة والتي تكون أعرض من قناة فرعية واحدة في نظام DMT فإن نظام CAP/QAM يمكنه أن يدعم فقط ظاهرة البرغلة الخشنة(coarse granularity) في معدلات المعطيات. إذا وقع معدل المعطيات المرغوب بين معدلين ممكنين فإن نظام CAP/QAM يجب أن يستخدم المعدل الأعلى، وهذا التحديد يعني أنه إذا فقد عرض حزمة، أو تم تشكيل أقنية قريبة جداً من سعة الخطأ المتولد يمكن أن يلغى النظام بشكل سريع. تقدم أنظمة DMT برغلة ناعمة جداً في معدل المعطيات، لأنها تجزيء الأقنية إلى أقنية فرعية ضيقة وتضع الخانات بشكل مستقل عن تلك الأقنية الفرعية. تتوقف البرغلة في معدلات المعطيات في نظام DMT خاص على عرض حزمة القناة الفرعية.

8- استهلاك الطاقة:Power consumption.

إن المقترحات من أجل أنظمة CAP/QAM بشكل عام تؤكد على أن أنظمة DMT تستهلك استطاعة كبيرة جداً. وبشكل مؤكد أكثر من الأنظمة وحيدة الحامل.

من الناحية العملية، فإن استهلاك الطاقة لأي شريحة VDSL يتوقف على مستوى تكاملها. إذا لم تؤمن الشريحة جميع الوظائف المرغوبة في موديمات VDSL فهذا سيتطلب عناصر إضافية. وبالتالي استهلاك الطاقة أكبر في النظام. ولقد أعلن حديثاً عن توافر معالجات إشارة رقمية (DSP) تقوم على شرائح DMT / VDSL والتي تستهلك أقل من(1watt)، وشريحة الـ VDSL هذه هي أقل استهلاكاً للطاقة في العالم. وبالمقارنة يتوافر حالياً مجموعات CAP و QAM تستهلك بين 1.8W إلى 2.5W.

9- قابلية التشغيل مع ADSL: Interoperability with ADSL.

إن السبب الأكثر إصراراً على اعتماد الـ DMT كتقنية تعديل في VDSL هو أنه قابل للتشغيل مع تجهيزات ADSL المتواجدة. إن قابلية التشغيل ممكنة لأن الـVDSL المبني على أساس الـDMT يستعمل المسافة نفسها بين الأقنية الفرعية Khz 4.3125 تماماً كمعيار ADSL. وإن نظام الـ VDSL القائم على الـ DMT هو الوحيد الذي يؤمن قابلية التشغيل هذه، حيث يتيح لمزودات الخدمة العبور من تجهيزات ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)في مركز البريد إلى تجهيزات الـ VDSL في الشبكة الضوئية والتي تنتشر في أعماق الليف داخل شبكاتها. وبدوره يكون هذا العبور واضحاً بالنسبة المشتركين.

في الإرسال، يكون معدل المعطيات على الأقل عالياً لأن مستقبلات ومرسلات ADSL عند المستهلك ستستمر بالإرسال عند مستوى طاقتها الأعظمية والإشارة تتدفق عبر أقصر خط عند الانتهاء بتجهيزات VDSL.

10- تلبي احتياجات PAR: meets the(peak to average) PAR demands.

إن PAR هي قياس الذروة إلى متوسط جهد الإشارة المرسلة إلى الخط. إن تقنيات التعديل المختلفة تمتلك قيماً نظرية مختلفة من PAR. إن PAR هي مواصفة هامة، لأن قيمتها تزداد كلما ازداد تأرجح الطاقة التي يجب أن تلاءم الدارات التشابهية، التي تحتاج إلى كلفة عالية واستهلاك أكبر للقدرة. ومن الشائع القول إن DMT هي أدنى جودة من CAP/QAM، لأن DMT ذات مستوى PAR أعلى. وقد يبدو هذا صحيحاً للوهلة الأولى طالما أن تعديل DMT يقدم PAR في حدود dB 15 في حين أن CAP/QAM تقدم 12dB. في الواقع فإن مودمات

DMT/VDSL تستخدم خوارزميات DSP المدمجة لتقليص PAR. وتتطلب هذه الخوارزميات كلفة وقدرة منخفضة جداً. وبشكل نموذجي يتم تقليص PAR بمقدار 3dB. وهذا يضع PAR من أجل DMT و (CAP/QAM) VDSL بمعدلات متساوية تقريباً .

4- تعديل DMT المفلتر:

لقد عرفت التعديلات متعددة الحوامل (MCM) منذ أكثر من 40 سنة، لكن التوسع الهائل بدأ فقط في تسعينيات القرن الماضي. حيث مكن التطوير العظيم للأجهزة وتحقيق (MCM) بوساطة خوارزمية (FFT) من استخدام التعديلات متعددة الحوامل.

تستعمل التعديلات متعددة الحوامل في الإرسال العالي لبتات المعطيات على القنواتِ، حيث يحدّ التداخل الرمزي البيني (ISI) بشكل ملحوظ من إرسال المعطيات. إن مجال الاستخدام في الشبكات النحاسية للمقاسم الهاتفية، حيث حدد إرسال المعطيات بتأثير استجابة نبضية طويلة جداً تعطى بالتشكيل الطيفي للقناة، وفي الإرسال الأرضي تلغى التأثيرات متعددة المسارات.

يمكِن التعديل (MCM) من تقليل هذه التأثيرات بشكل جيد عن طريق تقسيم المجال الترددي المتوافر إلى عدد كبير من القنوات الفرعية، (تقريبا عدة مئات أو آلاف منها). تعدل هذه القنوات الفرعية بشكل مستقل بالتعديل المطالي الرباعي (QAM) ويقسم ممر المعطيات إلى عدد كبير من الممرات المتوازية بأقل معدل معطيات مكافئ وبالتالي دور أطول إلى حد كبير من رموز المعلومات.

4-1 تعديل DMT و OFDM:

الإشارة المرسلة من قبل معدل DMT و OFDM يمكن أن توصَف كما هو مبين في المعادلة (1):[6]

$$X(t)=\frac{1}{\sqrt{2N}}\sum_{k=-\infty}^{\infty}\sum_{j=0}^{2N-1}X_j^k h(t-kT)e^{j\frac{2\Pi nk}{2N}} \qquad (1)$$

حيث

$$h(t)\begin{cases}1 & for \quad t\in(0,T)\\ 0 & other\end{cases}$$

و بالنسبة لـ DMT فإن :

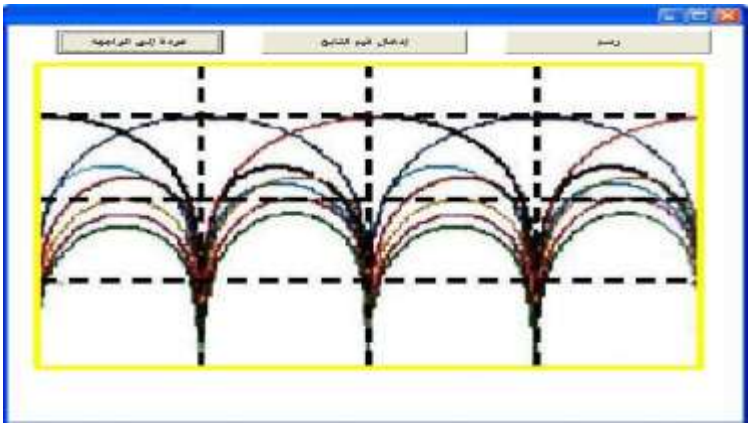
$$X_j^k\begin{cases}X_{2N-1}^K=(X_j^k)^* & \text{For j = ...2N-1}\\ 0 & \text{For j = 0, N}\end{cases}$$

حيث تدل * على العدد العقدي الذي يستخدم للحصول على إشارة حقيقية.

في تعديل DMT، تعبر N-1 عن عدد الحوامل وكذلك 2N عدد العينات في الرمز الواحد، k عدد ترتيبي لرمز ،j دليل الحامل، و X_J^K رمز QAM لحامل I^{th} لرمز K^{th} .

في تعديل OFDM، تعدل الحوامل بشكل منفصل، وهكذا فإن إشارة الخرج $X(t)$ عقدية. تشكل الرموز بتابع الاستجابة النبضي h(n) لذا فإن طيف كل قناة فرعية هو تابع sinc (f).

كما هو واضح من الشكل (6) تداخل قنوات الجزئية الفردية. يسمح الإرسال على القناة المثالية فك تعديل DMT أو إشارة OFDM على أساس التعامد بين الحاملين الفرديين، المدعومين من قبل FTT.

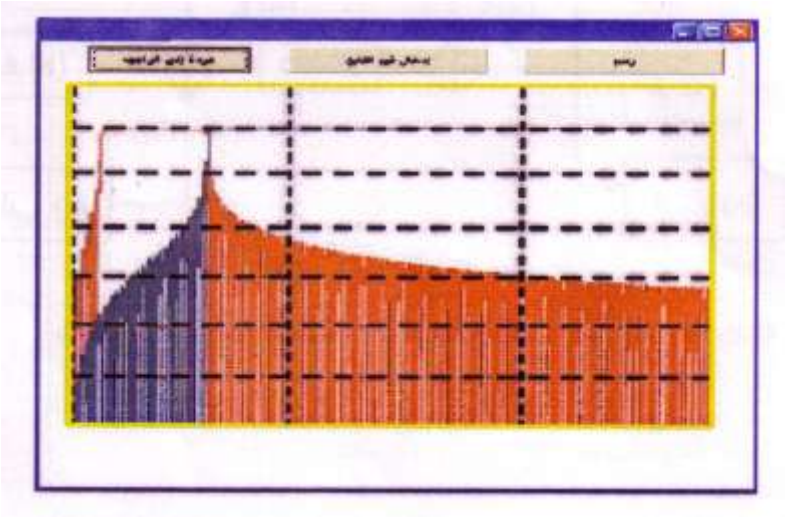


الشكل (6) طيف الحوامل في تعديل DMT و OFDM.

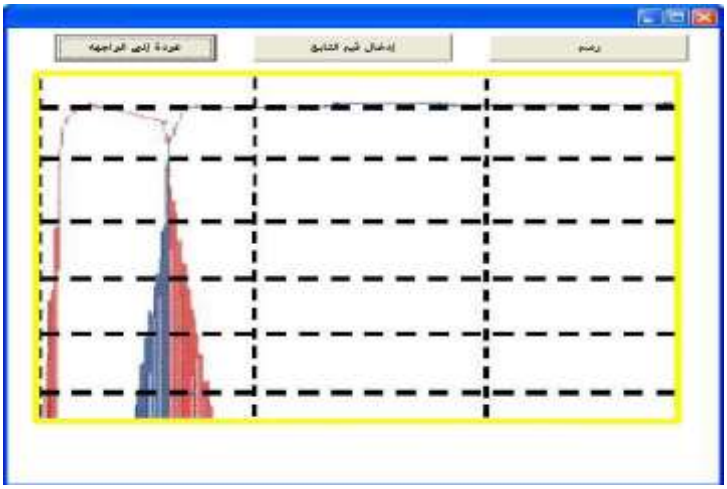
و لإلغاء تأثير القناة غير المثالية، ترسل فترات زمنية تدعى بالبادئات الدورية بين البلوكات الفردية للدور T إلى المعطيات المرسلة في المرسل. تتشكل البادئة الدورية بنسخ عدد معين من العينات من نهاية الرمز التالي. تخفض الاستجابة النبضية في المستقبل للقناة من قبل مرشح رقمي يسمى مسوي مجال الزمن (QAM)، بحيث لا يتجاوز طول البادئة الدورية. بعد ذلك تزال هذه البادئة.

إنّ أطياف القنوات الفرعية هي توابع $Sinc(f)$ وهناك يوجد تداخل حزمة خارجية معتبر في الحزمة الترددية التي لم تصمم لإرسال المعطيات. تظهر المشكلة بتحقيق الإرسال بالتقسيم الترددي (FDM) وبتوزيع حامل الإرسال بتقانة إرسال أخرى.

يظهر الشكل (7) مثالاً على تقنية ADSL حيث تستعمل حزمة التردد من الحامل 7 إلى الحامل 31 من قبل ممر المعطيات الصادرة Upstream ومن الحامل 32 إلى الحامل 255 لممر المعطيات الواردة Downstream. وتستعمل الحزمة الأساسية لخدمة الهاتف العادية. يتم حل مشكلة الإشعاع خارج الحزمة في ADSL بالترشيح الرقمي للإشارة المرسلة، حيث يخفض الإشعاع خارج الحزمة كما هو مبين في الشكل (8).



الشكل (7) طيف الـ ADSL للمر المعطيات الصادرة والواردة بدون ترشيح.

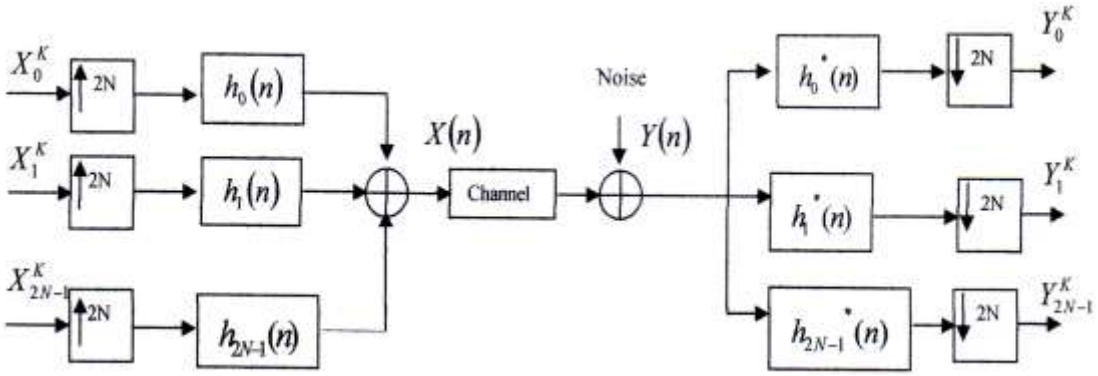


الشكل (8) طيف الـ ADSL للمر المعطيات الصادرة والواردة مع ترشيح.

حيث يلاحظ ضيق نطاق حزم الإرسال مما يؤدي إلى تداخل الحوامل المتقابلة والمتجاورة وبالتالي خسارة في نسبة البيانات وهذا يشكل الحافز الرئيسي لتصميم شكل جديد من أشكال تعديل (MCM) وهو التعديل متعدد النغمات المفلتر (FMT):

4-2 التعديل متعدد النغمات المفلتر (FMT) :

يبين الشكل (9) نظام اتصال FMT محقق بمرشح المجال المختبر الحرج حيث أن عامل العينات العليا (Up sampling) يساوي إلى حجم مرشح المجال (2N)، يمكن أن ينجز بشكل جيد بمساعدة خوارزمية FFT يكون مرشح المجال غير حرج، إذا كان عامل العينات العليا أعلى من حجم المرشح المجال(2N).



الشكل (9) المبادئ الأساسية لنظام اتصال يستخدم تعديل متعدد النغمات

توصف إشارة خرج مرسل FMT بالمعادلة(2):[6]

$$X(n)=\frac{1}{\sqrt{2N}}\sum_{K=-\infty}^{\infty}\sum_{j=0}^{2N-1}X_J^k h_{j(n-2kN)} \qquad (2)$$

حيث أن: For j = 1 ,….2N-1

$$X_J^K \begin{cases} X^k_{2N-j}=\left(X_J^K\right)^* \\ \text{o} \end{cases} \qquad \text{For j = 0,N}$$

حيث تدل*على العدد العقدي الذي يستخدم لحصول على إشارة حقيقية.

إن المرشحات المتعددة الأطوار FIR باستجابة نبضية $h_i(n)$ هي نماذج لإزاحة التردد لمرشح تمرير منخفض باستجابة نبضية $h(n)$ تدعى مرشح النموذج:[6]

$$h_j(n)=\frac{1}{\sqrt{2N}}h(n)e^{j\frac{2\Pi nj}{2N}} \qquad (3)$$

في المعادلة (3)، $h(n)$ هي الاستجابة النبضية لمرشح FIR متعدد الأطوار. إن درجة هذا المرشح $2\gamma N$ حيث أن γ عامل التداخل في مجال الزمن.

بالنسبة لفك التعديل المثالي لإشارة مستقبلة بعد الإرسال عبر قناة مثالية فإن المرشح النموذج يصمم كما في المعادلة (4) والتي تصح للمرشحات المتعددة الأطوار.[6]

$$\sum_n h_i(n)h_{i'}^*(n-2Nk)=\delta_{i-i'}\delta_i \qquad (4)$$

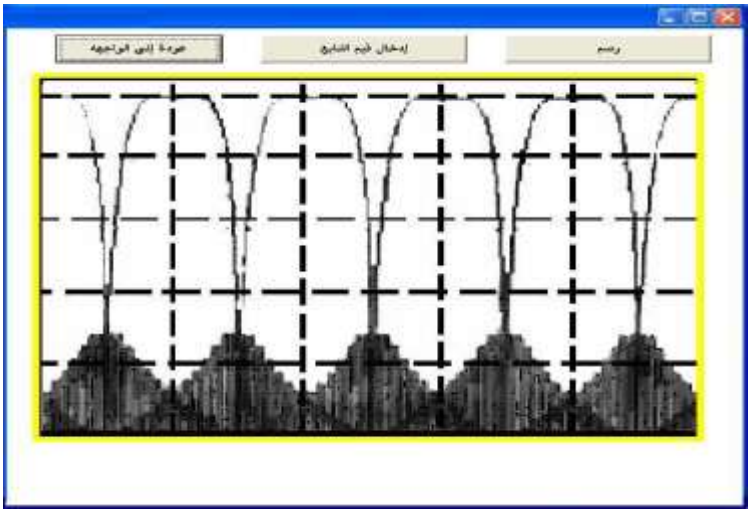
For $0 \le i,\ i' \le 2N\text{-}1$ and $k = 0, -1, 0, 1$

في المعادلة (4)، δ_i هي تابع دلتا– كرونيكر Kronecker. إن شرط إعادة بناء الإشارة محقق في حالة تعديل DMT، المعطى بالمعادلة (1)، لأن الأطياف sinc للقنوات الفرعية ذات قيم صفرية لبقية القنوات الفرعية المتطابقة. إنّ خاصية التردد المثالية لمرشح النموذج من أجل تحقيق نظام تعديل DMT غير متداخل معطى بالمعادلةِ (5).[6]

$$\left|H\left(e^{j\Pi fT}\right)\right| = \begin{cases}1 & \text{For } -\frac{1}{2}T \le f \le \frac{1}{2}T \\ 0 & \text{otherwise}\end{cases} \quad (5)$$

يمكن أن يصمم مرشح النموذج بأخذ عينات خاصية التردد (5) وتطبيقها على نافذة مثالية.

يبين الشكل (10) طيف نظام تعديل FMT صمم من أجل $\gamma = 14$.حيث صمم مرشح النموذج باستعمال نافذة Blackman.



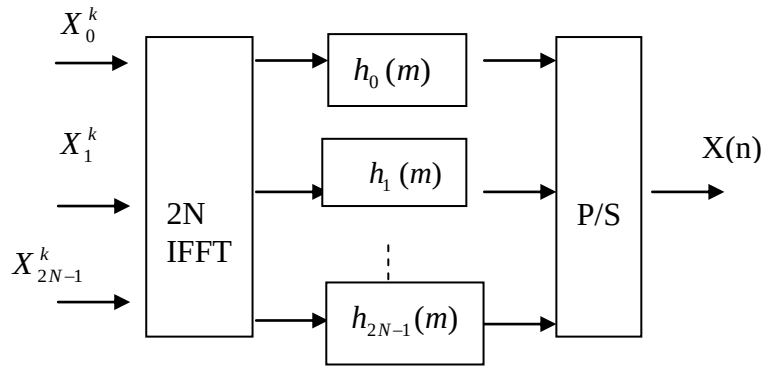
الشكل (10) طيف FMT من أجل $\gamma = 14$ ونافذة Blackman.

4-3 تطبيق نظام FMT: [6]

إن تحقيق نظام تعديل FMT بـ $N-1$ حامل مطابقاً للشكل (9) يحتاج $2N$مرشح FIR بمعاملات حقيقية من الدرجة $2\gamma N$. وهذا التحقيق موضح في الشكل (11).

بالمقارنة مع تعديل DMT، فإن كل ناتج لـ IFFT يرشح إضافياً بمرشح FIR $h_i(m)$ من الدرجة γ. المعامل للمرشح $h_i(m)$ يمكن أن يقرر من مرشح النموذج $h(n)$ من الدرجة $2\gamma N$.

$$h_i(m) = h(2mN + i) \quad (6)$$



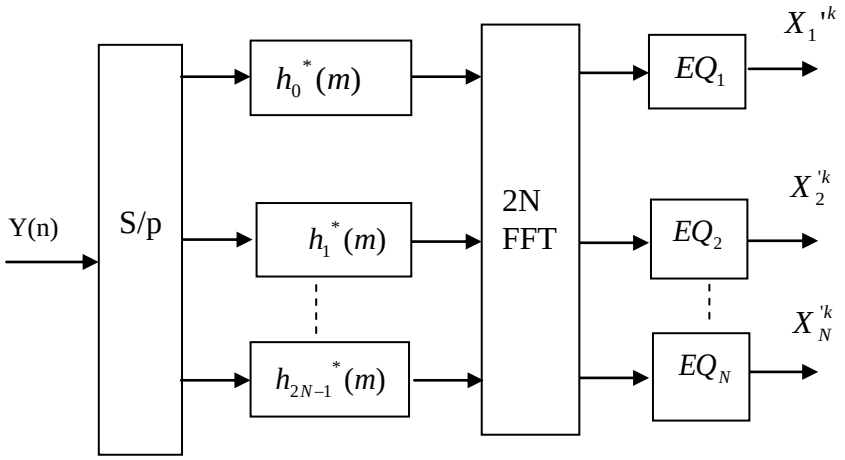
الشكل(11) تحقيق مرسل FMT باستعمال خوارزميةِ FFT.

يبين الشكل (12) مبدأ فك تعديل لإشارة FMT. طالما أن الحوامل الفردية منفصلة بالكامل، فإن تداخلات ICI لا تحصل. كذلك الأمر فقد استهدفت التسوية تقليل تدخلات وISI والتي يمكن أن تتم في مجال التردد بدون تطبيق البادئة الدورية، كما هو مبين في الشكل (12) .

إن الإرسال المزدوج يمكن أن يحل بطريقتين:

- التجميع بالتقسيم الترددي (FDM).
- مشاركة حزمة التردد بدون أي حاجة للترشيح كما فيDMT .

إذا تمت المشاركة في جزء من حزمة التردد فإن إلغاء الصدى يمكن أن ينجز بسهولة في مجال التردد.



الشكل (12) تحقيق مستقبل FMT باستعمال خوارزمية FFT.

5- الاستنتاجات:

1- لقد سمحت تقنية التعديل DMT/CAP المستخدمة في خطوط النقل الرقمية DSL باستغلال عرض الحزمة الترددية المتوفر على السلك النحاسي الثنائي المجدول والذي هو من مرتبة الـ *MHz* 1، مما أدى إلى زيادة عرض حزمة النقل وتأمين خدمات نقل الصوت وخدمات المعطيات الأخرى على الجزء نفسه من السلك النحاسي المجدول، كالفديو عند الطلب، والتلفزة المباشرة، وخطوط النقل المباشر، وولوج الانترنيت، وشبكات الـATM وغيرها .

2- تعتبر DSL منبعاً هائلاً للدخل القومي وسلاحاً فعالاًُ تم تقديمه لشركات الاتصالات مقابل شبكات الألياف الضوئية الباهظة التكاليف ذات التقانة العالية.

3- بناءً على المقارنة بين تعديلي DMT و CAP وباختيار التعديل DMT لشرائح IC، فإن ذلك سيكون قراراً هاماً في نجاح أنظمة xDSL. مم سيمكن مصممو تجهيزات *VDSL* من ضمان أن أنظمتهم تفي بمتطلبات الهيئات المعيارية. وستحصل مزودات الخدمة على تجهيزات *VDSL* التي تتطابق مع أجهزة *ADSL* وتحسّن البنية التحتية للشبكة التي تنقل كلا الخدمتين.

4- يظهر الـ FMT الكثير من الفوائد لتعديل MCM، حيث تكون حزمة التردد أفضل في حدود الطيف المخصص لاتجاه الإرسال الفردي، مما سيسبب خسائر في معدل الإرسال، وسيلغى الإشعاع خارج الحزمة بالكامل تقريباً. إذا استعملت طريقة تضاعف المجموعة الأوربية، فإن الإخماد الأبسط لإشارة الصدى يسمح بمشاركة حزمة تردد أعلى. سيئة التعديل FMT هي الزيادة في تأخير الإرسال، الذي يزيد من درجة المرشح γ . وهذا التأخير أعلى من تأخير إرسال نظام DMT لذلك فإن درجة المرشح γ يجب أن تحدد بدقة.

المراجع:

[1]- NEXTEP Broadband White paper, - *"xDSL Modulation Techniques, methods of achieving spectrum-efficient modulation for high quality transmissions*". www.nextep.com.au/upload/DSL Modulation Techniques ,May 2001.

[2]- GORDON, J.reesor Zarling semiconductor *"10 reasons to choos DMT fo VDSL design"*. www.commsdesign.com/design_center/homenetworking/. May 14, 2002.

[3]- ILHAVY, P. "*filtered multitone modulation*", ing.PAVEL ILHAVY, Ph.D.Brno University of technology faculty of electrical engineering and Communication, Czech Republic file://A:\filtered multitone modulation.htm December 3, 2004.

[4]- NEAL, J. "*VDSL very high speed digital subscriber lines*", http://www.dslprime.com/news_articles/a/VDSL/vdsl.html. march 2000.

[5]- JOHNS, D. "*other modulation techniques –CAP, QAM, DMT* ", University of Toronto, www.eecg.toronto.edu/~johns/nobots/courses/ece1392/modulations2. 1997.

[6] –Telecom Glossary, Links, Papers *"Introduction to the Public Switched Telephone Network And To xDSL*", Publicus@maway.com.. Dec 1999.

[7] ITU-D, study groups 2, "*Report on DSL technologies*" 1998-2002.