

تصميم شبكة WDM-PON كوصلة أمامية تخدم شبكات الجيل الخامس

د. محمد الحسين⁽¹⁾

الملخص

في هذا البحث صُمِّمَتْ وَبُنِيَتْ شبكة ضوئية غير فعالة تعمل بتقنية الانتخاب بتقسيم طول الموجة WDM-PON ذات 128 قناة، وعرض كل قناة 25 GHz مع طول ليف ضوئي 15 Km للربط كوصلة أمامية في الشبكات الخلوية، وتمت المحاكاة ضمن البيئة البرمجية OptiSystem. يُستخدم هذا التصميم لشبكات الجيل الخامس بين وحدات البث وبقية أجزاء الشبكة. إغْتُمِدَ التعديل الثنائي المضاعف Duo Binary الموصى به في الدراسات المرجعية لأنه أفضل تعديل للإشارة المرسلَة ضمن شبكات الاتصال بالألياف الضوئية. عند تحليل النتائج التي تم الحصول عليها للمعاملات المهمة في الشبكات WDM-PON، كانت قيمة معدل الخطأ $BER = 10^{-14}$ مع عامل جودة $Q \text{ Factor} = 7.6$ وشكّلَ عيناً جيداً نسبياً، مما يحقق أداء شبكة الجيل الخامس من حيث الجودة المرغوب بها معدل إرسال عالي للخانات.

الكلمات المفتاحية: تكنولوجيا الجيل الخامس، شبكات WDM-PON، OptiSystem، التعديل الثنائي المضاعف.

⁽¹⁾ عميد الكلية التطبيقية، جامعة دمشق، سورية

Design WDM-PON as fronthaul in support for 5G networks

Dr.Mouhamad Al-hussin⁽¹⁾

Abstract

we design in this research a passive optical network that works with wavelength division multiplexing technique (PON-WDM), to use it as fronthaul in 5G network between remote radio unit and the distribution unit. The proposed technique is with 128 channels, each with a bit rate of 10 Gbps, and frequency spacing of 25 GHz. The fiber optic cable length is 15 Km. According to the recommendations of latest researches in optical field, we used duo binary modulation for transmitting the signal.

Optisystem software is used to simulate the proposed system. The performance is analysed according to the result of bit error rate BER, Eye Diagram, and Q Factor. Our result, for BER as average is BER= 10^{-14} , with Q Factor =7.6, and good eye diagram, depending on the result, we can use this network as fronthaul in 5G network with achieving a high transmission bit rat.

Keywords: 5G Technology, WDM-PON, OptiSystem, Duo Binary Modulation.

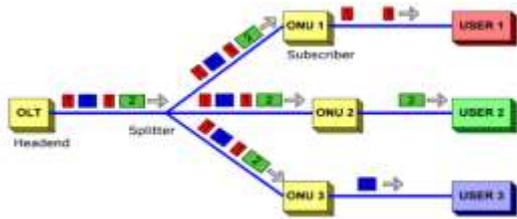
⁽¹⁾ Dean of the Applied College, Damascus University, Damascus, Syria.

والبدء من هذه الفرضيات من حيث مناقشتها، والعمل على تحقيق المحاكاة للفرضيات باستخدام البيئة البرمجية OptiSystem، ومن نتائج هذه المحاكاة تم اثبات صحة الفرضيات. وعدّها ركيزة من ركائز البنية التحتية لتكنولوجيا شبكات الجيل الخامس.

4- المسح الأدبي للبحث:

4-1 الشبكة WDM-PON

تعدّ الشبكة الضوئية غير الفعالة (Passive Optical Network PON) على أنها شبكة ذات طوبولوجيا نقطة إلى نقاط عدّة (Point to multi Point) باستخدام ليف ضوئي واحد عادةً 32 إلى 64 مُشتركاً (نقطة)، إذ تُوجّه كل إشارة إلى مقصدها [1] عن طريق المُقسّم كما في الشكل.



الشكل (1) هيكلية الشبكة الضوئية غير الفعالة PON

يعود سبب التسمية (غير الفعالة) إلى أنه لا توجد عناصر تحتاج لطاقة كهربائية على طول خط الإرسال فضلاً عن عدم وجود مضخّات على طول الليف، إذ تقتصر عملية التضخيم في قسم المكتب المركزي (Central Office CO) على الحزمة الهابطة فُيبل الإرسال، إذ تتوضع الطرفية الضوئية (Optical Line Terminal OLT) التي تقوم بتعديل الموجة الضوئية، ومن ثم إرسالها عبر الليف الضوئي إلى عناصر الشبكة الضوئية (Optical Network Units ONUs) في نهاية الشبكة عند المستخدم النهائي [2].

مع توسع استخدام الشبكة PON طُوّرت لتستخدم تقنية التجميع بتقسيم طول الموجة (Wave Division

1- مقدمة

حُدّد العام 2020 كعام إطلاق تقنية الجيل الخامس للاستخدام على أرض الواقع، بعد ما حُدِّدت مفاهيمها الأولية ضمن المدة السابقة، إذ تدور البحوث في الوقت الراهن على كيفية تحقيق ميزات هذه التقنية على أرض الواقع كشبكة متكاملة ابتداءً من المستخدم وصولاً إلى مركز تبادل البيانات، فكانت أحد أوجه البحوث هي توفير البنية التحتية الملائمة لتحقيق الجودة الكاملة لتقنية الجيل الخامس، وبناءً على الميزات المتعددة للألياف الضوئية وللشبكة WDM-PON، اقترح استخدامها كوصلة أمامية تربط الوحدة الراديوية (وحدة البث) مع وحدة التوزيع التي ترتبط مع نواة شبكة الجيل الخامس، وذلك بعد تعديلها بما تحقق عرض مجال كبير لنقل البيانات.

2- أهمية البحث وأهدافه

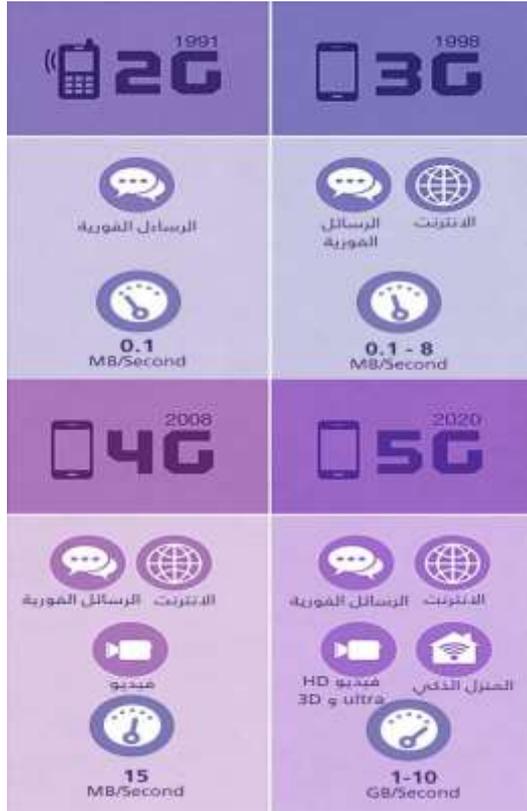
من أهم ميزات تكنولوجيا الجيل الخامس 5G هي السرعة في تبادل المعطيات، وعرض المجال الترددي الكبير لإرسال المعطيات. لتحقيق جودة خدمة 5G ضمن المحطة الراديوية الواحدة مع عدد معين من المستخدمين، يجب تحقيق وصلة أمامية (بين المحطة الراديوية ومركز تبادل المعطيات) ذات كفاءة عالية لنقل للمعطيات.

فكانت الفرضية أنّ الشبكة WDM-PON بميزاتها تستطيع تحقيق الهدف بنقل معدل عالٍ من المعطيات بين المحطة الراديوية والواجهة الأولى من الربط مع لب شبكة الجيل الخامس.

3- منهجية البحث وأدواته

بالاعتماد على المراجع العلمية وآخر الدراسات والبحوث المتخصصة بالشبكات الضوئية بأنواعها وتكنولوجيا الجيل الخامس، حُدِّدت ماهية البحث ومشكلته، ووُضعت فرضياته.

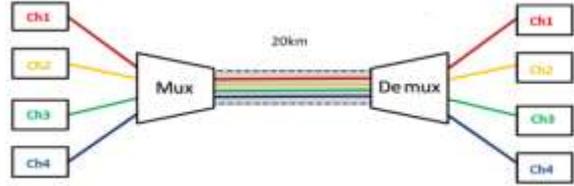
فقط، مع الزمن تطورت الشبكات الخلوية من ناحية تعدد الاستخدامات والسرعة ضمن أجيال، فالشكل 4 يوضح تطور الشبكات الخلوية واستخداماتها، وصولاً إلى الجيل الخامس الذي بدأت بعض الشركات بالتجارب الفعلية ضمن بعض المدن الكبرى، لكن الزمن المتوقع لإطلاق هذا المعيار رسمياً هو في العام 2020.



الشكل (4) تطور أجيال الشبكة الخلوية. [5]

تمتاز تقنية 5G بسعة النطاق الترددي يصل إلى 10 Gbps من الناحية النظرية [6]، في حين أن شبكات LTE الحالية تتيح إمكانية نقل البيانات بسرعة 330 Mbps، لكن في المرحلة الأولية لشبكات الجيل الخامس السرعة هي 1Gbps. يبين الجدول 1 تطور سرعة تبادل البيانات ضمن أجيال الشبكة الخلوية.

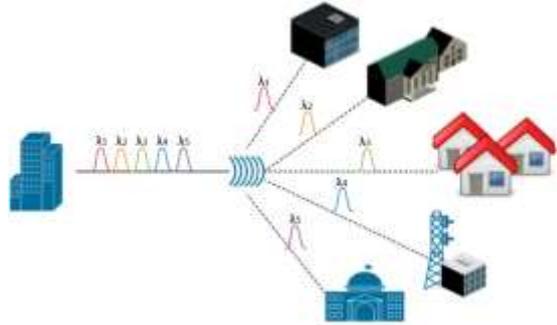
(Multiplexing WDM) إذ تعتمد هذه التقنية على تقسيم عرض المجال الضوئي إلى عدد من الأطوال الموجية (كل طول موجي يمثل قناة ارسال مستقلة) ثم تجميعها عبر مجمع خاص وإرسالها بشكل متزامن ومترايط، كما في الشكل (2).



الشكل (2) آلية عمل WDM في الشبكات.

تمتلك كل قناة المُعدل الخاص به (Modulator) في الإرسال والمُعدل في تقنية WDM عبارة عن الليزر الموزع ذي التغذية الخلفية (Distributed Feedback DFB)، أيضاً لكل طول موجي كاشف ضوئي خاص به في قسم الاستقبال [3]. من الميزات الجيدة التي تتمتع بها تقنية WDM هي القدرة العالية على إرسال كمية كبيرة من المعلومات ضمن الليف الضوئي المستخدم فضلاً عن الأمان والموثوقية.

يظهر الشكل (3) شبكة PON عاملة بتقنية WDM

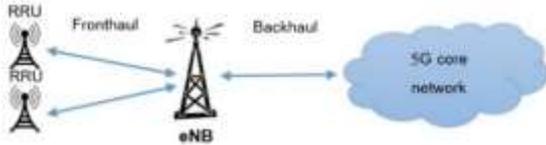


الشكل (3) شبكة PON-WDM [4].

2-4 شبكة الجيل الخامس

تعدّ مرحلة الثمانينيات من القرن الماضي هي مرحلة ولادة الشبكات الخلوية الأولى فيما يعرف بالجيل الأول أو GSM ويقتصر الاستخدام على إجراء المكالمات الهاتفية

قد يتم الجمع بين وحدتي التوزيع والوسط بوحدة اتصال الجيل التالي (Next Generation Node B gNB) كما في الشكل 6.

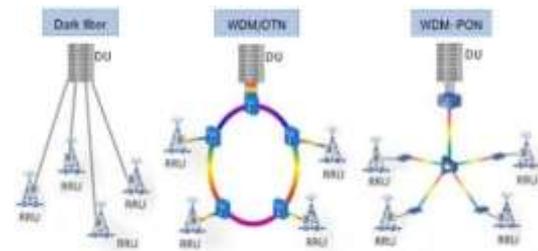


الشكل (6) بنية شبكة الجيل الخامس باستخدام gNB.

انطلاقاً من أنّ الوصلة الأمامية تمثل صلة الوصل بين وحدة البث ووحدة التوزيع، كانت الفكرة في استخدام شبكة ضوئية للربط بينهما تلك الشبكة ممثلة بشبكة WDM-PON، لذلك اقترحت نماذج عدّة للربط الضوئي كوصلة أمامية، وهي:

1- Dark Fiber: الربط مباشرة بين وحدة البث ووحدة التوزيع بليف ضوئي مستقل، إذ يعدّ أبسط أنواع الربط مع أقل زمن انتقال للبيانات (low Latency)، لكن يحتاج لكل وحدة بث ليف ضوئي خاص مرتبط مع وحدة التوزيع ومن ثمّ يحتاج لعدد كبير من الألياف للربط كوصلة أمامية، أيضاً لا يوجد حماية للشبكة من التنصت ومن ثمّ الموثوقية غير متوافرة [9]، يبيّن الشكل 7 هيكلية الربط كوصلة أمامية للنماذج الثلاثة المقترحة.

2- WDM/OTN: يحقق هذا النموذج مبدأ الإرسال المتعدد لعدة وحدات بث، إذ يعتمد هذا النموذج على طبولوجيا الشبكة الحلقية، ومن ثمّ يمكن توفير في عدد



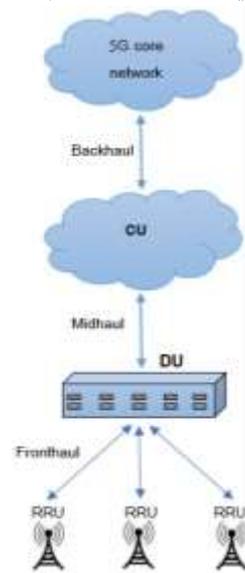
الشكل (7) هيكلية نماذج الربط المقترحة كوصلة أمامية.

الألياف المستخدمة في النموذج السابق، مع تأمين حماية للشبكة ورفع الموثوقية بها، إذ يخصص لكل وحدة بث أطوال موجية معينة، ممّا يتطلب وجود معدات خاصة عند كل وحدة بث لإضافة الأطوال الموجية الخاصة بها

الجدول (1) مقارنة سرعة البيانات ضمن أجيال الشبكة الخلوية

الجيل	السرعة Mbps
الجيل الأول	---
الجيل الثاني	0.144 - 1
الجيل الثالث	2 - 56
الجيل الرابع	175 - 300
المرحلة الأولى من الجيل الخامس	1000

تمتاز شبكات الجيل الخامس فضلاً عن السرعة بزيادة عدداً للأجهزة التي يمكن خدمتها في المحطة الواحدة، وزيادة سرعة الاستجابة لتصبح أقل من أربعة ميلي ثانية [7,8] (1.4ms) في حين كانت نحو (40 ms).

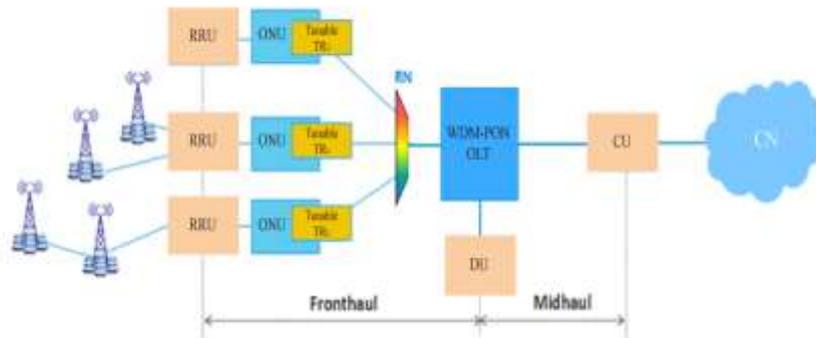


الشكل (5) بنية شبكة الجيل الخامس

تتألف شبكة الجيل الخامس (كما في الشكل 5) من عدة طرفيات تسمى وحدة البث البعيدة (Remote Radio Unit RRU)، ترتبط جميعها عبر وصلة أمامية (Fronthaul) مع وحدة توزيع (Distributed Unit DU) وكذلك الأمر ترتبط وحدة التوزيع مع وحدة الوسط (Centralized Unit CU) عبر وصلة الوسط (Midhaul) وبالوصلة الخلفية (Backhaul) ترتبط مع لب شبكة الجيل الخامس [6].

وإزالتها لذي من جهة أخرى يعني زيادة في التكلفة المادية، التي تتطلب إيجاد حلول منخفضة التكلفة [10].

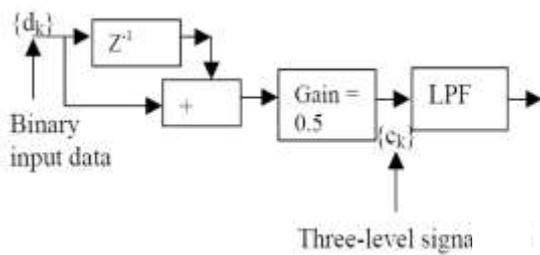
3- WDM-PON: الاعتماد على بنية الشبكة الضوئية غير الفعالة العاملة بتقنية تقسيم طول الموجة كوصلة أمامية بين وحدة التوزيع ووحدات البث، التي تعتمد على طبولوجيا الشبكة النجمي، والإفادة من قدرتها على نقل ساعات كبيرة من البيانات ضمن نسبة موثوقية وأمان عالٍ مع تكلفة منخفضة بالمعدات [11]. إذ يمكن أن تخدم هذه الشبكة من وحدة بث واحدة إلى أربع وحدات، بالاعتماد على مكان توضع هذه الوحدات، وعلى حجم تبادل المعطيات لكل منهم يظهر الشكل 8 بنية شبكة الجيل الخامس مع استخدام شبكة WDM-PON للربط كوصلة أمامية بين وحدتي البث والتوزيع.



الشكل (8) شبكة 5G مع شبكة WDM-PON كوصلة أمامية.

حالة الخرج محصورة ضمن المجموعتين $(-1 \ 0 \ +1)$ و $(+1 \ 0 \ -1)$ ، هذا التسلسل يجعل التعديل DB مرناً تجاه التشتت، لأنّ وروده يؤدي إلى تداخل هدام للحقل ضمن حيز الصفر، ممّا يؤدي إلى تخفيف أثر تداخل العينات (Inter Symbol interference ISI).

أمّا عن تفسيرها بالمجال الترددي فإنّ عرض المجال الترددي الذي يقدمه (DB) أقل منه في حالة (OOK) ومن ثمّ يسهم إسهاماً كبيراً في إنقاص التشتت والسماح بإنقاص المسافة الترددية بين الأطوال الموجية العاملة؛ ممّا يجعله مناسباً للعمل به في الوصلات الضوئية المستخدمة في شبكات الجيل الخامس [13,14,15]، يظهر الشكل (9) بنية المُرمز الثنائي المضاعف نمط التعديل DB.



الشكل (9) مرمز الثنائي المضاعف [16].

يمكن تضمين المرشح FIR والمرشح LPF في مرشح تماثلي واحد لسهولة التنفيذ، بعد هذه المرحلة تبقى عملية تعديل إشارة DB المكونة من ثلاثة مستويات التي سيكون نتيجتها حتماً إشارة ضوئية ثلاثية المستوى، والتي تتحقق

3-4 التعديل الثنائي المضاعف (Duo Binary)

يُرسل ضمن هذا النمط معدل من البتات R bits/sec باستخدام أقل من $R/2$ Hz من عرض المجال BW، يحوّل مستويي الإشارة الثنائية $(1, -1)$ في قسم الإرسال إلى ثلاثة مستويات $(-1, 0, 1)$ بتمرير الإشارة عبر مرشح الاستجابة النبضية المحدود (Finite Impulse Response FIR) ذو تفرعين، من ثم تمرير الإشارة الناتجة عبر مرشح تمرير منخفض (LPF) لأجل الحصول على الشكل الموجي المتناوب، عندما يكون دخل المرشح (FIR) هو الثنائي $(+1$ أو $-1)$ عندئذ سيكون الخرج ضمن ثلاثة احتمالات

$$a) 0.5 * (-1 + -1) = -1b) 0.5 * (-1 + 1) = 0 \ c) 0.5 * (1+1) = +1$$

من هذه النقطة فإنّ إشارة DB عبارة عن ثلاثة مستويات.

من الخصائص المهمة لتسلسل القيم الثلاثة عند خرج FIR هي أنّها إشارة مترابطة، ومن ثمّ لا يمكن أن تحدث كل التتابعات المحتملة للقيم الثلاثة، فعلى سبيل المثال تسلسل الخرج للمرشح FIR لا يمكن أن يحتوي -1 متبوعاً ب $+1$ أو $+1$ متبوعاً ب -1 ، بل دوماً بينهما 0 ، وبالمثل تتابع المجموعة $(-1 \ 0 \ -1)$ والمجموعة $(+1 \ 0 \ +1)$ لا يمكن أن يحدث عند الخرج لأجل مرشح FIR [10,a].

يظهر الجدول 2 مميزات شبكة WDM-PON

الجدول (2) مميزات شبكة WDM-PON

اسم المُميزة	قيمة المُميزة
معدل البت (القناة الواحدة)	10 Gbps
طول التتابع (Sequence length)	1024
نوع التعديل	DB
عدد القنوات	128
طول الموجة الاولى	1565 nm
المسافة الترددية بين كل قناة	50 GHz
استطاعة EDFA	20 dBm
نوع الليف	SMF
طول الليف	15 Km
التخامد	0.2 dB/Km
التشتت	17 ps/km-nm

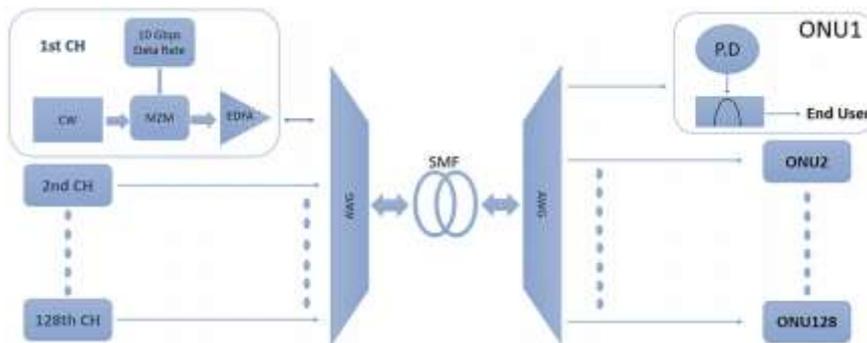
عن طريق استخدام عنصر مصفوفة تصنيف الأمواج تم الجمع بين الأمواج الضوئية عند المرسل، وفصلها من ناحية المستقبل، كما استُخدم نمط التعديل DB في تعديل الإشارة المرسله عوضاً عن النمط السائد OOK، ثم تضخيم الإشارة عبر المضخم ايربيوم المشاب (EDFA) باستطاعة 20 dBm. تُنقل الإشارة عبر ليف ضوئي وحيد النمط بطول 15 Km. يظهر الشكل 10 المخطط للشبكة WDM-PON المقترحة

باستخدام المعدل ماخ زندر MZM متحيزاً نحو نقطة الصفر (Null Point). مع عدم وجود دخل لا يتم إرسال أي إشارة ضوئية لكن مع الدخل $1+$ ، $1-$ يتم إرسال كحقل كهربائي $E+, E-$ ، فتبدو الإشارة على أنها مؤلفة من ثلاثة مستويات كهربائية، لكن هي في الواقع ذات مستويين من ناحية الطاقة الضوئية؛ ومن ثمّ بهذه الخاصية يمكن التخفيف من التعقيد لجهاز الاستقبال [16].

5- القسم التطبيقي:

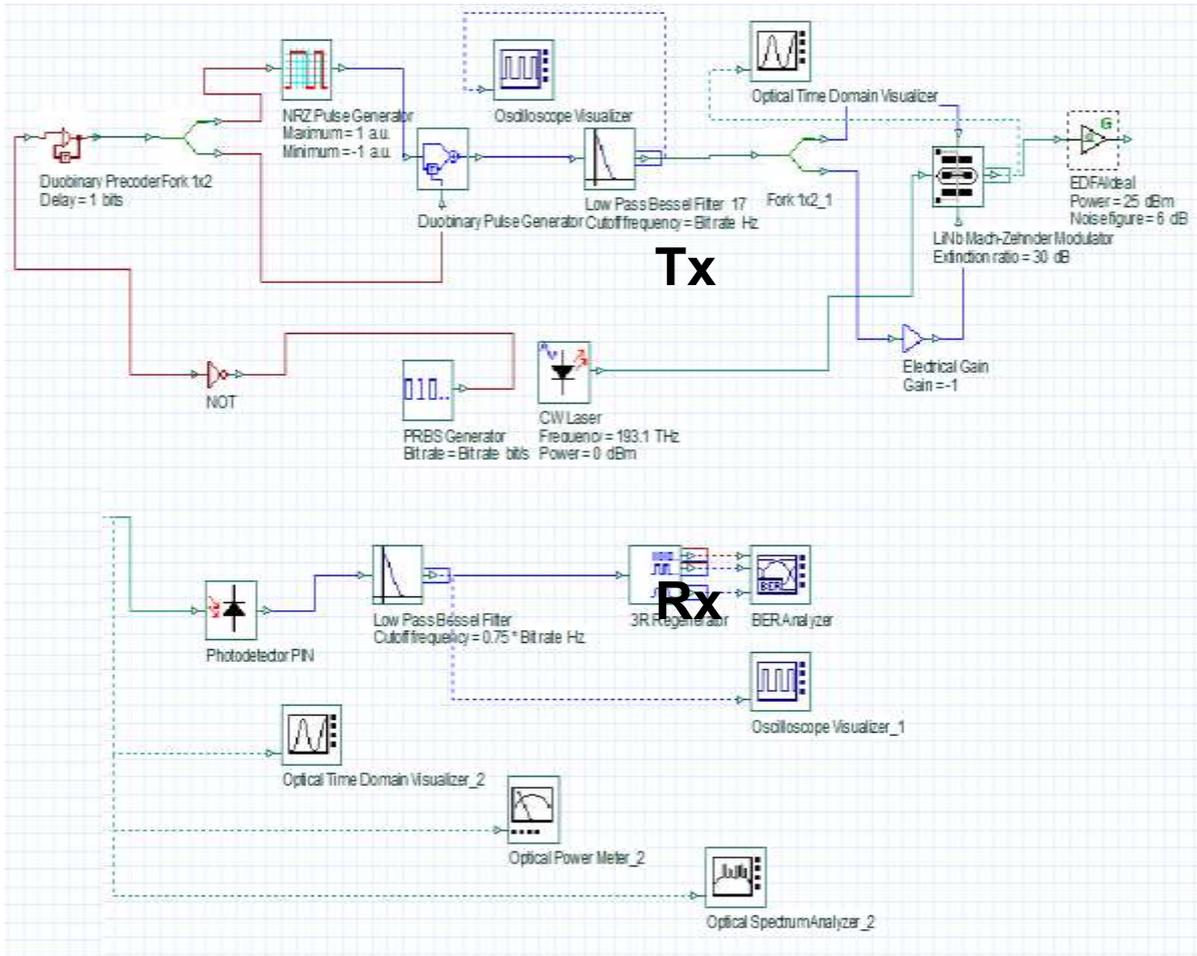
5-1 بناء شبكة WDM-PON

باستخدام البيئة البرمجية OptiSystem بُنيَت شبكة WDM-PON بعد تحديد ميزاتها، مكونة من 128 قناة سعة كل قناة 10 Gbps بالنسبة إلى الحزمة الهابطة، ومن ثمّ سعة النظام كله هي 1.25 Tbps؛ هذا السعة قادرة على أن تحقق الجودة الكاملة لتكنولوجيا شبكات الجيل الخامس. استُخدمت في الشبكة WDM-PON 128 قناة أي 128 طولاً موجياً، وبمسافة 50 GHz بين كل قناة ابتداء من الطول الموجي 1565 nm للقناة الأولى (المستخدم عادةً هو 50 GHz) [16].



الشكل (10) مخطط الشبكة WDM-PON المقترحة

استخدام تعديل DB لتعديل الإشارة المرسلة، وذلك تبعاً
 يبين لنا بنية المرسل والمستقبل للقناة الواحدة باستخدام
 تعديل DB ضمن برنامج المحاكاة. 11



الشكل (11) بنية المرسل في نمط التعديل DB ضمن OptiSystem

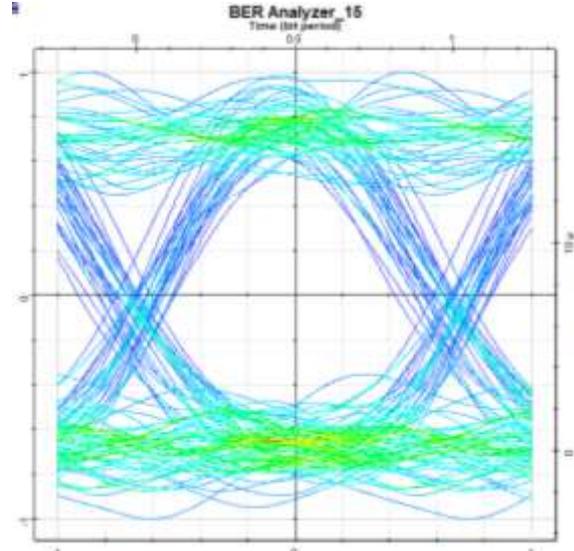
2-5 الدراسة التجريبية ضمن برنامج المحاكاة

لتقييم أداء الشبكة المقترحة اعتمد على العوامل الآتية مرتبة على حسب أهميتها

- معدل خطأ البت (Bit Error Rate).
- عامل الجودة (Q Factor).
- شكل العين (Eye Diagram).
- طيف الإشارة (Spectrum of signal).

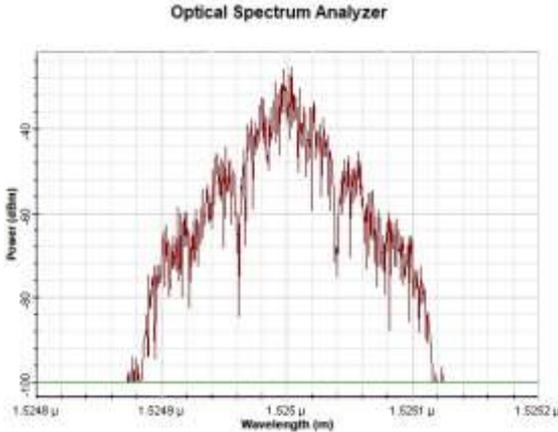
لابد من الذكر أن الحد الأدنى من القيم المقبولة ضمن أنظمة الاتصال الضوئي هي $Q \text{ Factor} = 6$ و $BER=10^{-9}$ و $Q \text{ Factor} = 7$ و $BER=10^{-12}$ [17].

بينت النتائج أن القيم جميعها هي أعلى من الحد الأدنى للقيم المقبولة من $Q \text{ Factor}$ و BER ، كمعدل وسطي كانت قيمة $BER=10^{-14}$ وعامل الجودة 7.6 أما بالنسبة إلى القناة الأولى فهي $BER=10^{-15}$ و $Q \text{ Factor} = 8$ ، يظهر الشكل 12 مخطط العين لهذه القناة.



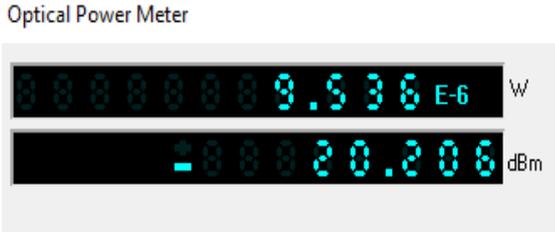
الشكل (12) مخطط العين عند المستقبل للقناة الأولى.

إذ يلاحظ اتساع فتحة العين بشكل يعد جيداً نوعاً ما، من حيث قيمة التباعد الطولي والعرضي للخطوط، ويظهر الشكل 13 طيف الإشارة المستقبلية للقناة الأولى.



الشكل (13) طيف الإشارة الواردة عند القناة الأولى.

عند قياس طاقة الإشارة الواردة للقناة الأولى كانت القيمة هي -20 dBm كما في الشكل 14.



الشكل (14) طاقة الإشارة الواردة للقناة الأولى

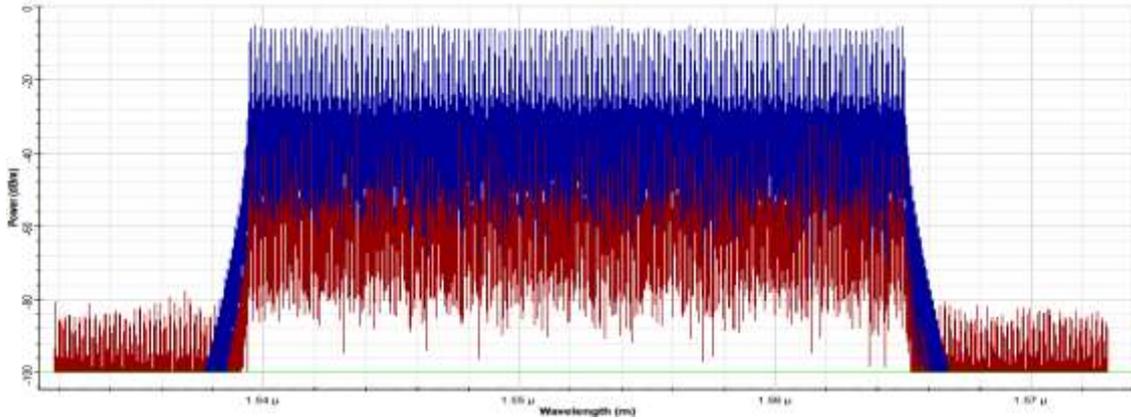
كما يبين الشكل 15 ميزات الشبكة من حيث طاقة الضجيج ونسبته إلى طاقة الإشارة (SNR)، وقيمة كل منهما على حدة، والقيمة العظمى والدنيا لهم، مع تحديد القناة.

من الشكل 16 نلاحظ التغير الحاصل على طيف الإشارة الكلية (128 قناة) قبل الإرسال (الأزرق) ذي الطاقة المرتفعة، وبعده (البنّي) ذو الطاقة المنخفضة، إذ نلاحظ تناقص طاقة الطيف للإشارة عند المستقبل نتيجة تخامد اللييف والفقْد عند عنصر تصنيف الأمواج (Array Wave Guide AWG).

	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	SNR (dB)	Noise Power: 0.1nm (dBm)	OSNR (dB)
Min value	-10.10324	-12.524212	-1.0340456	-14.565412	1.0071542
Max Value	-7.7623665	-9.0691946	4.7618455	-11.110394	6.8030453
Total	12.164987	10.799286		8.7580864	
Ratio max/min	2.3408736	3.4550174	3.4550174	3.4550174	3.4550174
	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)
Wavelength at min	1519.3965	1521.3241	1519.3965	1521.3241	1519.3965
Wavelength at max	1521.3241	1519.3965	1521.3241	1519.3965	1521.3241

الشكل (15) القيم العظمى والدنيا لنسبة الإشارة إلى الضجيج.

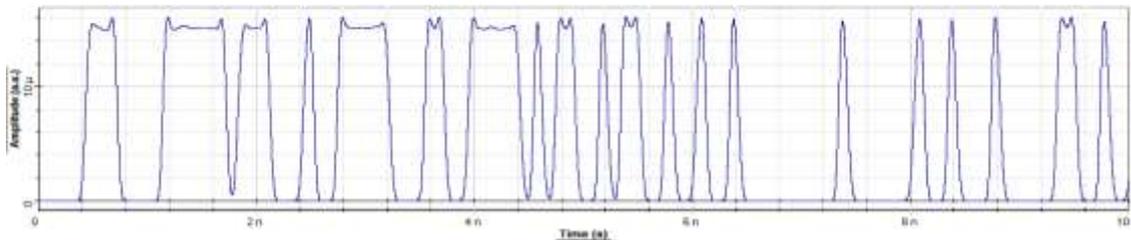
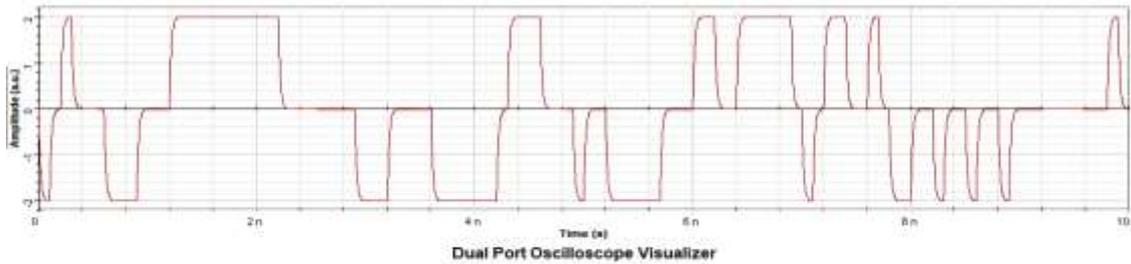
Dual Port Optical Spectrum Analyzer



الشكل (16) طيف الإشارة قبل الإرسال وبعده.

تعد تقانة تصنيع الليف والمحددات التكنولوجية له أحد في النمط DB، قُبيل الإرسال وعند الاستقبال والتغير مصادر الضجيج فضلاً عن عناصر الربط. بمقارنة أخرى الحاصل على شكل النبضات من تأثير التخامد والضجيج قبل الإرسال وبعده، لسلسلة من البتات كما في الشكل 17 والعوامل السلبية الأخرى.

شكل عينة من البتات على مسافة 15 Km



الشكل (17) عينة من البتات قبل الإرسال وبعده.

6- الاستنتاجات والتوصيات

مسرّد الاختصارات

WDM	Wave Division Multiplexing
PON	Passive Optical Network
DB	Duo Binary
BER	Bit Error Rate
OLT	Optical Line Terminal
ONUs	Optical Network Units
DFB	Distributed Feedback
RRU	Remote Radio Unit
DU	Distributed Unit
CU	Centralized Unit
gNB	Next Generation Node B
FIR	Finite Impulse Response
Inter	Symbol interference ISI
OOK	On Off Keying
SMF	Single Mode Fibre
SNR	Signal to Noise Ratio
AWG	Array Wave Guide
EDFA	Erbium-Doped Fibre Amplifiers

إقترح في هذا البحث نماذج عدّة للربط كوصلة أمامية في شبكات الجيل الخامس، واختيار شبكة WDM-PON لتكون الحل المستخدم في الربط، فتم تحقيق شبكة WDM-PON (مكونة من 128 قناة سعة كل قناة 10Gbps) ضمن القيم المسموحة لمعدل الخطأ وعامل الجودة؛ وذلك على مسافة 15 كم، وباستخدام التعديل DB، فكانت النتائج بشكل وسطي $BER=10^{-14}$ و Q Factor=8 على الرغم من اختيار المسافة الترددية 25 GHz التي تعدّ أضيق مسافة مستخدمة ضمن شبكات الاتصال الضوئية.

على ضوء هذه النتائج للشبكة المقترحة، أصبح بالإمكان نقل بيانات بمعدل 1.25 Tbps ضمن 128 قناة، على شكل شبكة (نقطة إلى نقاط عدّة) ومن ثمّ يمكن ربط وحدة التوزيع مع وحدة بث واحدة إلى أربع وحدات (تبعاً لموقع كل وحدة) ضمن هذه الشبكة مع بقية مكونات شبكة الجيل الخامس، وتحقيق الجودة المطلوبة لشبكة الجيل الخامس من سعة نقل البيانات والموثوقية العالية، فضلاً عن زمن التأخير المنخفض.

يمكن العمل في المراحل الآتية على زيادة استيعاب الشبكة WDM-PON من حيث زيادة عدد القنوات (الأطوال الموجية)، أو زيادة معدل الإرسال ضمن كل قناة؛ وذلك تبعاً للنتائج الفضلى.

References

- [12] Shankar, H., 2002. Duobinary modulation for optical systems. Inphi Corporation, Dicembre.
- [13] Cavaliere, F., Giorgi, L. and Potì, L., 2018, June. Transmission and Switching Technologies for 5G Transport Networks.
- [14] Liu, G.N., Zhang, L., Zuo, T. and Zhang, Q., 2018. IM/DD Transmission Techniques for Emerging 5G Fronthaul, DCI, and Metro Applications. *Journal of Lightwave Technology*, 36(2), pp.560-567.
- [15] Wey, J.S. and Zhang, J., 2018. Passive Optical Networks for 5G Transport: Technology and Standards. *Journal of Lightwave Technology In 2018 IEEE Optical Interconnects Conference (OI)* (pp. 47-48). IEEE.
- [16] Shankar, H., 2002. Duobinary modulation for optical systems. Inphi Corporation, Dicembre.
- [17] Sharan, L., Shanbhag, A.G. and Chaubey, V.K., 2016. Design and simulation of modified duobinary modulated 40 Gbps 32 channel DWDM optical link for improved non-linear performance. *Cogent Engineering*, 3(1), p.1256562.
- [18] Agrawal, G. P., 2012. *Fiber-optic communication systems* (Vol. 222). John Wiley & Sons.
- [1] Lam, C.F. ed., 2011. *Passive optical networks: principles and practice*. Elsevier.
- [2] Badar, T.G., Gronvall, E., Bolster, K. and Leblanc, T.G., Comm Scope Technologies LLC, 2017. *Passive optical network distribution systems and components thereof*. U.S. Patent.
- [3] Lewis, K., Perry, O. and Hospodar, P.A., Champion Optical Network Engineering LLC, 2018. *High-density modular WDM system — high density passive fiber module (PFM), tray and chassis interchangeable solution*. U.S. Patent 9,921,383.
- [4] Sharma, V., Kumar, L. and Sharma, A., 2017. A Review on advancements in WDM-PON Technology-A Future Aspect. *International Journal for Science, Management and Technology (IJSMT)*, 12(12).
- [5] [https://arabic.cnn.com/tech/2017/02/15/infograp-hic-difference-between-internet-speeds-generations.\(20/2/2019\)](https://arabic.cnn.com/tech/2017/02/15/infograp-hic-difference-between-internet-speeds-generations.(20/2/2019))
- [6] Wong, V.W., Schober, R., Ng, D.W.K. and Wang, L.C. eds., 2017. *Key technologies for 5G wireless systems*. Cambridge university press.
- [7] Ranaweera, C., Wong, E., Nirmalathas, A., Jayasundara, C. and Lim, C., 2017. *5G C-RAN With Optical Fronthaul: An Analysis From a Deployment Perspective*. *IEEE J. Lightwave Technol*, 99, pp.1-11.
- [8] Eluwole, O. T., Udoh, N., Ojo, M., Okoro, C. and Akinyoade, A.J., 2018. From 1G to 5G, What Next?. *IAENG International Journal of Computer Science*, 45(3).
- [9] Beyranvand, H., Lévesque, M., Maier, M., Salehi, J.A., Verikoukis, C. and Tipper, D., 2017. Toward 5G: FiWi enhanced LTE-A HetNets with reliable low-latency fiber backhaul sharing and WiFi offloading. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 25(2), pp. 690-707.
- [10] Eramo, V., Listanti, M., Lavacca, F.G. and Iovanna, P., 2018, July. Dimensioning of OTN/WDM Rings for the transport of Ethernet/CPRI Flows in 5G Scenario. In *2018 20th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)* (pp. 1-6). IEEE.
- [11] Sone, K., Nakagawa, G., Hirose, Y. and Hoshida, T., 2018, March. Demonstration of Simultaneous Multiple ONUs Activation in WDM-PON System for 5G Fronthaul. In *2018 Optical Fiber Communications Conference and Exposition (OFC)* (pp. 1-3). IEEE.

Received	2018/11/28	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2019/03/27	قبول البحث للنشر