

تأثير تستت نمط الاستقطاب على نظام الارسال للألياف البصرية المدروس باستخدام الحامل الموجي

سعاد ابوالقاسم مجاور ، سعاد محمد ابوزربية ، سميه محمد الطرشي

جامعة مصراته ، كلية العلوم ، قسم الفيزياء

Suadabu@yahoo.com

Soud.b@sci.misuratau.edu.ly

تاريخ الاستلام: 14.6.2021..... تاريخ القبول: 1.7.2021 تاريخ النشر: 1.8.2021

المخلص Abstract

في هذا البحث تمت دراسة لتقييم تأثير تستت نمط الاستقطاب (PMD) على أنظمة الإرسال للألياف البصرية ذات المسافات الطويلة وذلك من خلال مقاييس الأداء المتمثلة في عامل الجودة (Q) ومعدل الخطأ النبضي (BER)، تظهر النتائج أنه بسبب التفاعل المشترك بين تستت نمط الاستقطاب و الفقد الاستقطابي فإن أي تغير في قيمة الفقد الاستقطابي (PDL) حتى لو بقيمة صغيرة (0.5dB) يمكن أن يؤثر بشكل كبير على كفاءة وجودة النظام وبالتالي فإنه من المهم مراعاة تأثيرات الفقد الاستقطابي (PDL) عند تصميم وتنفيذ نظام الاتصال إلى جانب تستت نمط الاستقطاب (PMD). زيادة على ذلك فإنه بحسب عامل الجودة (Q) للنظام تحت الدراسة تم الحصول على قيم عالية لعامل الجودة Q مقارنة مع بعض الدراسات السابقة.

الكلمات المفاتيح: تستت نمط الاستقطاب ، الدليل الموجي ، حامل الموجة ، التشتت اللوني ، معدل الخطأ النبضي ، التشويش ، عامل الجودة Q.

للتناسب مع القناة ويعتمد اختيار نوع التضمين على عدة عوامل، مثل مقدار عرض النطاق الترددي المخصص، وأنواع الضوضاء والتداخل الذي تصادفه الإشارة أثناء الإرسال خلال القناة، والأجهزة الإلكترونية المتاحة لتضخيم الإشارة قبل الإرسال. على أي حال، تتبع عملية التضمين استيعاب إرسال رسائل متعددة من العديد من المستخدمين عبر نفس القناة الفعلية [6,2]. بالإضافة إلى عملية تضمين الإشارة، فإن الوظائف الأخرى التي يتم إجراؤها عادة في جهاز الإرسال هي ترشيح الإشارة الحاملة للتشويه، وتضخيم الإشارة المعدلة، وفي حالة الإرسال اللاسلكي، إشعاع الإشارة عن طريق هوائي الإرسال [6].

في وقتنا الحاضر تستخدم الألياف البصرية على نطاق واسع في مجال الاتصالات لأنها توفر وسط إرسال البيانات عبر مسافات طويلة بمعدل بيانات عالي مع خسارة قليلة [1]. يتم استخدام الألياف البصرية لنقل الضوء على طولها باستخدام تأثير الانعكاس الداخلي الكلي. ويتم استخدام مجموعة متنوعة من الألياف البصرية في صناعات مختلفة اعتماداً على التطبيق المطلوب. في الواقع، أصبحت تكنولوجيا الألياف البصرية كلمة مميزة في العديد من الفروع [3].

لكي نتصور آلية إرسال الألياف البصرية للبيانات بالأبعاد التي تقترب من سمك الشعرة، من الضروري أن ندرس دليل الموجة البصري للليف الزجاجي الاسطواني، مثل هذا الليف يعمل كدليل موجي بصري، الذي قد يحلل استعمال نظرية الشعاع البسيطة [2]. على أية حال، مفاهيم البصرييات الهندسية ليست كافية عندما ندرس كافة أنواع الألياف البصرية، ويجب أن تستخدم نظرية النمط الكهرومغناطيسية لتعطي صورة متكاملة [1]. الأقسام التالية سنلخص إرسال الضوء في الألياف البصرية قبل مناقشة أنواع هذه الألياف بشكل أكثر تفصيلاً، حيث يركز هذا الفصل على الكثير من الخصائص المتعلقة بالألياف البصرية كقناة اتصال في أنظمة الاتصالات البصرية. عند تصميم الليف البصري يكون من المهم بالنسبة لمهندسي نظام الاتصالات معرفة عدد الأنماط التي يمكن أن تنتشر خلال هذا الليف البصري، وما هي خصائصها [7]. مصطلح "النمط المفرد" يعني أنه لكل طول موجة (أعلى من الطول الموجي للقطع λ_c) ينتشر نمط واحد فقط، ولا يعني أن الألياف البصرية توجه فقط طول موجي واحد [8]. فعندما يقتصر الضوء على منطقة محددة في الفضاء، فإن شروط المفروضة على الضوء ستقتصر ثابت الطور على مجموعة محدودة من القيم. يمثل كل ثابت طور محتمل نمط.

المقدمة Introduction

نظام اتصالات الألياف البصرية مماثل في المفهوم الأساسي لأي نوع نظام اتصال، حيث تستخدم أنظمة الاتصالات البصرية الموجات الكهرومغناطيسية كناقلات لنقل المعلومات. بالتالي يمكن القول بأن أنظمة اتصالات الألياف البصرية هي أنظمة موجات بصرية تستخدم الألياف البصرية كوسيط لتوجيه الضوء [1]. نظام الاتصالات بالتالي يتكون من المرسل، وسط الإرسال أو قناة الإرسال، وأخيراً المستلم أو المستخلص في نقطة التي يراد وصول الإشارة إليها [2]. في أنظمة الاتصالات الكهربائية، هناك ثلاثة مكونات رئيسية؛ أي جهاز الإرسال والقناة وجهاز الاستقبال. لإرسال المعلومات من مكان إلى آخر، يتم دمج هذه المكونات معاً، لكل منها وظائف خاصة [3]. يمكن أن يزود مصدر المعلومات بالإشارة الكهربائية، تؤخذ عادة من مصدر للمعلومات الذي قد لا يكون كهربائياً، (مثلاً صوت)، يتم تمرير معلومات الإدخال عبر جهاز الإرسال لتحويلها إلى تنسيق مناسب حيث يتم تحويلها إلى إشارة معلومات كهربائية أصلية (معاد تشكيلها) قبل تمريرها عبر القناة التي تمثل وسيط الإرسال والتي قد تتكون من زوج من الأسلاك، أو كبل متحد المحور [4,2]. ثم تنقل القناة الإشارة المرسل من جهاز الإرسال إلى جهاز الاستقبال. في جهاز الاستقبال، يتم الكشف عن الإشارة المستقبلية ويتم تحويلها مرة أخرى إلى تنسيقها الأصلي. يجب ملاحظة أنه في أي وسيط إرسال، تكون الإشارة ضعيفة أو تعاني من فقد في الطاقة، وتخضع للتدهور بسبب التلوث الناتج من الضوضاء، وكذلك التشوهات المحتملة التي تفرزها الآليات داخل الوسيط نفسه. لذلك، في أي نظام اتصالات يوجد حد أقصى مسموح به بين المرسل والمستقبل الذي يتوقف بعده النظام عن إعطاء اتصالات واضحة [2, 1, 5].

يوفر مصدر المعلومات الإشارة الكهربائية إلى جهاز الإرسال الذي تتمثل وظيفته في تحويل إشارة الإدخال الكهربائية إلى إشارة بصرية ثم إرسالها عبر الليف البصري، حيث يمكن اعتبار المرسل على أنه جهاز كهربي يسيطر على المصدر الضوئي لإعطاء تشكيل للموجة الحاملة للمعلومات [4]. بشكل عام، يقوم المرسل بإجراء مطابقة إشارة الرسالة للقناة بواسطة عملية تسمى التضمين. عادة ما يتضمن التضمين استخدام إشارة لتغيير السعة أو التردد أو الطور، بحيث يحول التضمين إشارة المعلومات إلى نموذج يطابق خصائص القناة [6]. بالتالي، من خلال عملية تضمين المعلومات يتم ترجمة الإشارة

الضغط الناتج عن التحميل الميكانيكي أو الانحناء أو التواء الألياف البصرية). [2].

الأصل الفيزيائي لهذا التشنت هو الانكسار المزدوج (الثنائي) للضوء بسبب عدم تمركز اللب والذي يظهر عند عملية التصنيع أو نتيجة إجهاد خارجي على الليف البصري مثل الانحناء أو اللب وكنيجة لذلك فإن مركبتي الضوء المتعامدتين تنتقلان في الليف البصري كشعاع عادي وشعاع استثنائي اللذان تنتقلان في الليف البصري بسرعات مختلفة [14]، هذا الاختلاف في سرعة الانتشار يولد اختلاف في الطور الذي يتغير مع زمن الانتشار خلال الليف البصري. إلى جانب الاختلاف في الطور مع الزمن فإن السرعات المختلفة للشعاع العادي (متجه الاستقطاب يكون عمودي على مستوى محور الليف البصري) والشعاع الاستثنائي (متجه الاستقطاب يكون في نفس مستوى محور الليف البصري) تسبب في وصول الأشعة عند أزمنة مختلفة عند نهاية الليف البصري [13].

في الواقع، تدعم الألياف أحادية النمط نمطين أساسيين متعامدين. في الألياف الدائرية بشكل مثالي، هذان النمطان لهما ثوابت انتشار متماثلة بذلك فإن تشنت نمط الاستقطاب (PMD) لا يتواجد. في الألياف البصرية العملية، هناك فرق صغير بين ثوابت انتشار لاهذين النمطين بسبب الشكل الإهليجي الخفيف لللب، مما ينسب في وجود تشنت نمط الاستقطاب (PMD) [15,13].

تؤدي متطلبات التجديد المتزايدة لتطوير الاتصالات البصرية إلى تصميمات باهظة الثمن للشبكة. وبالتالي، من الضروري قياس تشنت نمط الاستقطاب (PMD) لجعل الألياف البصرية أكثر ملاءمة وجودة في نقل الإشارات البصرية ذات معدل البتات العالي. بهذا يعتبر تشنت نمط الاستقطاب (PMD) قضية مهمة للدراسة وجسم مهم لأساسيات المعرفة لتصميم أنظمة الاتصالات البصرية عالية السعة والسرعة، وخاصة مع معدلات البتات اليوم العالية جدًا. تم تحديد التأثيرات الضارة لتشنت نمط الاستقطاب (PMD) على أداء النظام في أوائل التسعينات، منذ ذلك الوقت ركزت الكثير من الأبحاث على دراسة هذه الظاهرة [14,2].

نموذج النظام System Model

يتطلب نقل المعلومات على شكل انتشار الضوء داخل الألياف البصرية التنفيذ الناجح لنظام اتصالات الألياف البصرية. يتألف هذا النظام من عدد من المكونات المنفصلة التي ترتبط ببعضها البعض بطريقة تمكنهم من أداء المهمة المطلوبة. ومن ثم، لتحقيق اتصال موثوق وأمن باستخدام الألياف البصرية، فإنه من الضروري أن تكون جميع المكونات داخل نظام الاتصال متوافقة بحيث يؤدي أداؤها الفردي، قدر الإمكان، إلى تحسين أداء النظام الكلي بدلاً من إضعافه [2]. بالتالي فإنه من المهم أن يتضمن تصميم نظام اتصالات الألياف البصرية تحسين عدد كبير من المعلمات المرتبطة بأجهزة الإرسال والألياف البصرية والضخامات المضمنة وأجهزة الاستقبال [1].

الهدف من تصميم نموذج للنظام البصري هو الحصول على هامش مناسب للدراسة مع مراعاة العديد من العوامل، مثل التدهور الناتج عن الضوضاء البصرية، والعيوب الخطية وتشوهات شكل الموجة، وتقلبات بارامترات الأداء. معلمات التصميم الرئيسية كثيرة من بينها طول الليف البصري، عدد مقاطع الليف البصري [14]. الشكل (1) يمثل نموذج مكافئ للنظام البصري المستخدم (نظام ليف بصري خطي) في الدراسة، والذي يظهر المكونات الرئيسية لنظام اتصالات الألياف البصرية، الذي يجمع بين جميع المكونات الأساسية مع القوى البصرية المناسبة في المرسل والمستقبل وذلك لتلبية متطلبات دراسة نظام الاتصال الليف البصري.

بعبارة أخرى، عندما يتم حصر الضوء، فإنه يمكن أن ينتشر فقط بعدد محدود من الطرق [7].

إن تقسيم الألياف البصرية بالنسبة لعدد الأنماط يأتي على أساس عدد أنماط التذبذب التي يمكنها المرور عبر الليف البصري، حيث يعتمد عدد الأنماط المدعومة خلال ألياف معينة عند طول موجي معين (λ) على معلمات التصميم الخاصة به، مثل نصف القطر الأساسي (d) والفرق بين مؤشر انكسار لب الليف البصري وعاكسه [9,4]. $[n_1 - n_2]$ بالتالي قد يسمح الليف البصري بمرور نمط تذبذب واحد للحزمة الضوئية الساقطة عند مدخله ويدعى حينئذ بليف النمط المفرد، أما الصنف الثاني فيسمح لعدة أنماط تذبذب بالمرور خلاله ويدعى بليف متعدد النمط [4]. الانتشار أحادي النمط، يعتمد على كون الدليل أو الليف البصري أحادي النمط، يجب ألا تكون أبعاده المستعرضة أكبر بكثير من الطول الموجي. بالتالي يمكن القول بأن لب الليف البصري صغير جدًا مقارنة بطول موجة الضوء بحيث يقتصر الضوء على السير في مسار واحد (أو نمط واحد) فقط مباشرة في المنتصف [8,5]. التأثيرات البصرية الخطية هي ظواهر فيزيائية تعمل على زيادة فقد الإشارة وتقليل عرض النطاق الترددي لنظام الاتصال. بما أن مقدار الفقد في طاقة الإشارة البصرية وعرض النطاق الترددي للنظام بارامترات تصف كمية البيانات المرسله عبر طول محدد من الألياف البصرية. بالتالي فإن هذه العيوب الخطية تؤثر على أداء نظام الاتصال وعلى كفاءته في نقل الإشارة البصرية [10].

يمكن تجميع تأثيرات الإرسال الخطية التي تؤثر على انتشار الإشارة عبر الألياف البصرية في عدة فئات عامة ناشئة عن خصائص الألياف البصرية نفسها كالتالي:

أولاً هناك تأثيرات فقد الطاقة البصرية، والتي تعتبر إما موزعة بالتساوي على طول الألياف البصرية (على سبيل المثال، توهين الطاقة) أو تحدث في نقاط معينة على طول الألياف البصرية بسبب أحداث منفصلة مثل التوصيلات [11]، بذلك نجد أن الفقد في كمية الطاقة الضوئية المنقولة بواسطة الألياف البصرية يتحكم في المسافة التي يمكن أن تسيرها الإشارة البصرية وباستمرار تخفيض طاقة النبضة البصرية يمكن أن نصل إلى نقطة معينة يتعذر فيها على جهاز الاستقبال اكتشاف النبضة البصرية [12].

ثانياً اعتماد سرعة الضوء المنتقل عبر الألياف البصرية على الطول الموجي، يؤدي إلى تأثيرات مشتتة للمعلومات التي تحمل إشارات بصرية (على سبيل المثال، التشنت اللوني (CD) [10]. ينتشر التشنت البصري أثناء انتقاله على طول الألياف البصرية مما يقلل من عرض النطاق الترددي للنظام أو قدرة الألياف البصرية على حمل المعلومات. بالتالي يحد التشنت من سرعة نقل المعلومات مما يؤدي إلى حدوث خطأ عندها يتعذر على جهاز الاستقبال التمييز بين نبضات الإدخال الناتجة عن انتشار كل نبضة [10-11]. في السنوات الأخيرة، أصبح تشنت نمط الاستقطاب (PMD) واحد من القضايا الرئيسية في أنظمة اتصالات الألياف البصرية، وذلك لأنه عامل مقيد للغاية في ترقية العديد من الأنظمة، حيث يمكن اعتباره أحد العوائق المتبقية أمام نقل البيانات لمسافات طويلة وبسرعة عالية [13]. يعتبر تشنت نمط الاستقطاب (PMD) مصدرًا لتوسيع النبضة، ووجوده في الألياف البصرية يعتبر أحد العوامل الرئيسية التي تحد من قدرة القناة على نقل البيانات بسرعة عالية، حيث يمكن أن يصبح عاملاً مقيداً لاتصالات الألياف البصرية بمعدلات الإرسال العالية، خاصة عندما يكون معدل البتات المرسل أكبر من 10 Gbit/s. يتسبب تشنت نمط الاستقطاب (PMD) في تأخيرات مختلفة للاستقطابات المختلفة، وعندما يكون الفرق في التأخيرات بين حالات الاستقطاب المختلفة كبير يحدث تشوه للنبضة المرسله مما يؤدي إلى حدوث عيوب في نظام الإرسال [14].

تجعل الطبيعة العشوائية لتشنت نمط الاستقطاب (PMD) صعب القياس والتعويض، وذلك بسبب اعتماده على العوامل الداخلية (نتيجة عن هندسة لب الألياف الغير دائرية والضغط المتبقية في المادة الزجاجية بالقرب من منطقة اللب) والعوامل الخارجية (نتيجة عن

الفرق بين هذين التأخرين يسمى تأخر المجموعة التفاضلي (DGD) [16].

في نموذج حالات الاستقطاب الرئيسية، الحالة الأساسية للاستقطاب ((PSP) وتأخر المجموعة التفاضلي (DGD) هما المعلمتان الرئيسيتان لوصف تشتت نمط الاستقطاب (PMD). يستخدم متجه تشتت نمط الاستقطاب (τ^-) (PMD) لدمج هذين المعاملين معاً، حيث يصف هذا المتجه كلاً من الحالات الرئيسية للاستقطاب ((PSPs) وتأخر المجموعة التفاضلي (DGD) في الألياف البصرية. وهو عبارة عن متجه يشير في اتجاه الحالة الأساسية للاستقطاب (PSP) البطيء بطول يساوي تأخر المجموعة التفاضلي (DGD) [17,14]. ويعطي بالصورة:

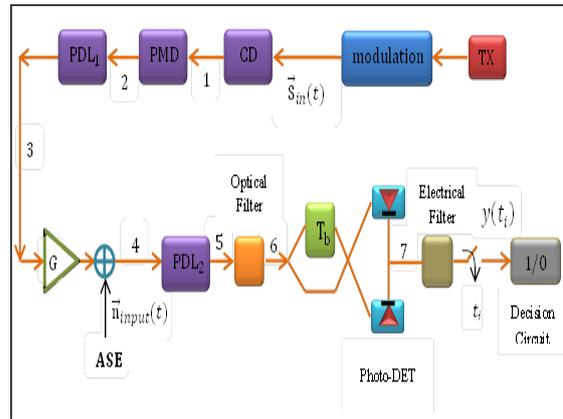
$$\vec{\tau} = \Delta\tau\hat{p} \quad (1)$$

حيث يمثل $\Delta\tau$ مقدار متجه تشتت نمط الاستقطاب (PMD)، والذي يساوي تأخر المجموعة التفاضلي (DGD) ويشير متجه الوحدة \hat{p} في اتجاه الحالة الأساسية للاستقطاب المتعامد (PSP). بالمقابل، يشير المتجه \hat{p} إلى الحالة الأساسية للاستقطاب المتعامد الأسرع [13]. يوفر متجه تشتت نمط الاستقطاب تمثيلاً بديهيًا له، وهو متجه استقطاب ثلاثي المكونات يختلف بشكل عشوائي مع طول الألياف البصرية والزمن والتردد البصري [14]. يتمتع التمثيل السابق لمتجه تشتت نمط الاستقطاب (PMD) بالعديد من المزايا من حيث أنه النموذج الأساسي لمعظم المعالجات الإحصائية لتشتت نمط الاستقطاب (PMD) بالتالي يشكل الأساس لمعظم الخصائص الإحصائية المعروفة لمتجه تشتت نمط الاستقطاب [16].

إذا اخترنا مخرجات الحالة الأساسية للاستقطاب ((PSP) كالاتجاه، نحصل على متجه تشتت نمط الاستقطاب (PMD) الناتج، وإذا اخترنا مدخلات الحالة الأساسية للاستقطاب ((PSP) نحصل على متجه تشتت نمط الاستقطاب ((PMD) المدخلات. يرتبط متجه تشتت نمط الاستقطاب (PMD) عند دخل الألياف البصرية τ_{in} بمتجه تشتت نمط الاستقطاب (PMD) الناتج τ_{out} بواسطة مصفوفة الإرسال وتعطى بالعلاقة

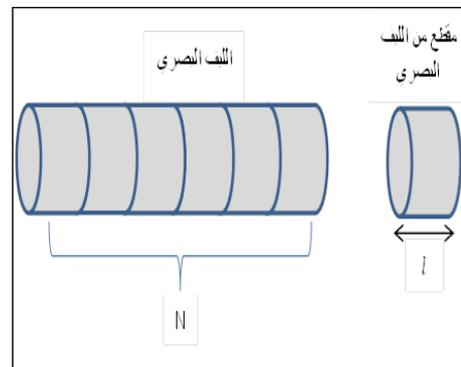
$$\vec{\tau}_{out} = R\vec{\tau}_{in} \quad (2)$$

بالنسبة للألياف البصرية التي يحافظ على الاستقطاب مع الانكسار المزدوج، يتطابق النمطين مع المحورين الرئيسيين للانكسار المزدوج للألياف البصرية. النبضات الضوئية المستقطبة على طول هذين النمطين لها إما تأخير أقصى أو أدنى للمجموعة [14]. على عكس ذلك، يتغير الانكسار المزدوج للألياف البصرية الحقيقية بشكل عشوائي على طول الألياف البصرية من حيث المقدار والاتجاه [13]. يختلف تشتت نمط الاستقطاب ((PMD) عن العديد من خصائص نظام الموجات الضوئية في أن الضعف الناتج عن تشتت نمط الاستقطاب (PMD) يتغير عادة بشكل عشوائي مع الطول الموجي والزمن وكذلك مع الظروف البيئية. هذا يعني أنه لا يمكن للمرء التنبؤ بضعف النظام في أي طول موجي أو في أي زمن، ولكن يجب بدلاً من ذلك اللجوء إلى وصف إحصائي. وهذا يعني أيضًا أنه، بشكل عام، لا يمكن للمرء أن يميز تشتت نمط الاستقطاب (PMD) لنظام ما إلى الدقة الحتمية، لأن القياس لن يأخذ سوى عينة من جزء من المجموعة الإحصائية [14]. نادرًا ما يكون احتمال تحمل أسوأ حالة ضعف ممكنًا عندما يكون تشتت نمط الاستقطاب (PMD) مصدرًا مهمًا للضعف. إن احتمالية حدوث تشتت نمط الاستقطاب (PMD) في معظم الحالات تؤدي إلى ضعف كبير بشكل غير مقبول [4]. وبالتالي، لا يمكن تصميم النظام للتعامل مع أسوأ حالة ضعف تشتت نمط الاستقطاب ويجب بدلاً من ذلك تصميمه لاحتمال انقطاع محدد. ولأسباب مماثلة، لا يمكن أن يكون الهدف من تعويض تشتت نمط الاستقطاب (PMD)



شكل (1) نموذج نظام الاتصالات البصرية قيد الدراسة

يعتبر نظام الاتصال الليفي البصري من أنظمة الإرسال لمسافات طويلة، بالتالي فإنه يتم استخدام أطوال كبيرة جدًا للألياف البصرية، وعند النظر في الجوانب البصرية للواجهة، من المفيد النظر إلى معلمات الألياف البصرية، وسيط الإرسال بين المرسل والمستقبل. يمكن وصف الليف البصري بخصائص عديدة من بينها طول الليف البصري، قطر اللب، ومقاييس معامل الانكسار، والفتحة العددية، والتوهين وغيرها. تؤثر هذه المعلمات المترابطة بشكل مباشر إلى حد ما على متطلبات إخراج المرسل ومدخلات جهاز الاستقبال [7]. إن الشكل (2) يظهر الليف البصري تحت الدراسة في الشكل المبسط له، حيث سنركز هنا، على جزء (أو مقطع) من الليف البصري ذو طول (l) ، الذي يلخص فكرة النظر في المقاطع الممجة التي يكون عددها الكلي (N) ، والتي تشير إلى الليف البصري في الوضع الحقيقي [13].



شكل (2) الليف البصري قيد الدراسة باستخدام طريقة الحامل الموجي

المعالجة الفيزيائية لنظام الاتصالات البصري

The Physical Treatment of The Optical Communication System

كما ذكرنا سابقاً توجد أزواج متعامدة خاصة من الاستقطاب عند مدخلات ومخرجات الألياف البصرية تسمى الحالات الرئيسية للاستقطاب ((PSPs). الضوء الذي يتم إطلاقه في الحالة الرئيسية للاستقطاب (PSP) لا يغير الاستقطاب عند الإخراج. هذه الحالات الرئيسية للاستقطاب ((PSPs) لها تأخيرات في المجموعة، وهي الحد الأقصى والحد الأدنى لتأخير الزمن لعرض المجال الزمني،

(BER) على جميع مكونات نظام الاتصالات وقد يتأثر بعدة عوامل، مثل ضوضاء قناة الإرسال والتوهين [22]. قد يشير معدل الخطأ النبضي (BER) إلى عدد المرات التي يتعين فيها إعادة إرسال البيانات بسبب خطأ ما، بحيث يشير معدل الخطأ النبضي (BER) المرتفع للغاية إلى معدل بيانات أبطأ. بذلك فإن دراسته تحسن في الواقع زمن الإرسال الإجمالي لكمية معينة من البيانات المرسل. ولتحديد موثوقية نظام الاتصالات الرقمي بالكامل من "البيانات الداخلة" إلى "بيانات الناتجة"، فإن خاصية معدل الخطأ النبضي (BER) المميزة هي المقياس الأساسي لأداء نظام الاتصالات الرقمية [23-24].

يعتمد معدل الخطأ النبضي (BER) على معدل الإرسال، وبالتالي حساسية المستقبل، وصيغ التضمين المستخدمة، وتعتمد مواصفات معدل الخطأ النبضي (BER) أيضاً على متطلبات التطبيق وتصميمات جهاز الاستقبال. في نظام الاتصال المثالي، إذا انخفض معدل الخطأ النبضي (BER)، تزداد قيمة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) ويكون هناك إرسال أفضل عبر قناة الإرسال البصري. يمكن التعبير عن نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) في معدل الخطأ النبضي (BER) بالمعادلة التالية [18,7]:

$$BER = 1/2 \operatorname{erfc}(SNR/2) \quad (4)$$

هناك تقنيات عديدة للكشف عن أخطاء البتات المرسله وتصحيحها، ولا يمكننا حساب معدل الخطأ النبضي (BER) بسهولة كما هو الحال في نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) لأن علاقة معدل الخطأ النبضي (BER) تعتمد على عدة عوامل، بما في ذلك تصميم الدوائر [23]. من أجل ضمان دقة وصحة البيانات المرسله يمكن تطبيق معدل الخطأ النبضي (BER) لتحديد خصائص أداء نظام الاتصالات، وبالتالي يكون من الضروري لمصممي النظام حساب معدل الخطأ النبضي (BER) بطريقة فعالة وموثوقة، حيث يعد قياس معدل الخطأ النبضي (BER) خطوة مهمة نحو تطوير مستقبل إرسال بيانات موثوق وخالي من الأخطاء. في الأونة الأخيرة، جذبت تقنيات تقدير معدل الخطأ النبضي (BER) الكثير من الاهتمام، حيث يوجد العديد من التقنيات لحساب معدل الخطأ النبضي (BER) في الأنظمة الرقمية [23-24]، ومنها I- مونت كارلو (MC) تعتبر تقنية محاكاة مونت كارلو (MC) الشهيرة مناسبة تماماً لأي نظام، بذلك فإنها ملائمة لتقدير معدل الخطأ النبضي (BER) عن طريق قسمة عدد البتات المستقبلية غير الصحيحة على إجمالي عدد البتات المرسله خلال زمن معين. ولكن عندما يتم التعامل مع معدلات أخطاء منخفضة جداً، فإن هذا يعني فترات زمنية طويلة مع المحاكاة باستخدام هذه التقنية، حيث أنه من المعروف جيداً أن هذه الطريقة لها تكلفة حسابية عالية جداً لنسبة معدل الخطأ النبضي (BER) المنخفض للغاية. بالتالي، فإن تقنية مونت كارلو (MC) ليست مناسبة للعديد من التطبيقات، مثل تقدير معدل الخطأ النبضي (BER) في الوقت الفعلي، وذلك لأنها تستغرق وقتاً طويلاً جداً لحساب قيم معدل الخطأ النبضي (BER) الصغيرة [24-25]. 2- طريقة أخذ العينات: كما تمت مناقشته سابقاً، يتطلب معدل الخطأ النبضي (BER) الصغير عدداً كبيراً من رموز البيانات. غالباً ما يُعتبر هذا نقطة ضعف قاتلة في طريقة مونت كارلو الكلاسيكية. إن الطريقة المستخدمة على نطاق واسع والتي يمكن أن تقلل من تعقيد محاكاة معدل الخطأ النبضي (BER) لأنظمة الاتصالات هي طريقة مونت كارلو المعدلة، والتي تسمى بطريقة أخذ العينات [25]. يعتمد أداء تقدير معدل الخطأ النبضي (BER) المستند إلى هذه الطريقة بشدة على معامل الترجيح، وإذا تم تحديد معامل الترجيح جيد لنظام اتصال معين، يمكن الحصول على تقدير دقيق لمعدل الخطأ النبضي (BER) مع زمن تشغيل المحاكاة قصير للغاية. خلاف ذلك، قد تتقارب تقديرات معدل الخطأ النبضي (BER) بمعدل

هو إزالة ضعف القيمة، بل تقليل احتمال انقطاع تشتت نمط الاستقطاب (PMD). لفهم وتوقع احتمالات انقطاع النظام، لتصميم معوضات تشتت نمط الاستقطاب (PMD)، ولقياس تشتت نمط الاستقطاب (PMD) في الأنظمة بدقة، يجب على المرء أن يفهم إحصاءات الظواهر المرتبطة بتشتت نمط الاستقطاب [13-14]. تشمل خصائص تشتت نمط الاستقطاب (PMD) الإحصائية المثيرة للاهتمام تشتت نمط الاستقطاب (PMD) من الدرجة الأولى والعالية، وتغيير ظواهر تشتت نمط الاستقطاب (PMD) مع التغييرات في متوسط تأخر المجموعة التفاضلي (DGD)، وغيرها، حيث تعتبر الخاصية الإحصائية الأولى لتشتت نمط الاستقطاب (PMD) لجذب الاهتمام هي متوسط تأخر المجموعة التفاضلي (DGD [14]). بما أن تأخر المجموعة التفاضلي (DGD) يتغير عادة ببطء شديد مع مرور الزمن، فمن الصعب الحصول على تقدير دقيق لمتوسط تأخر المجموعة التفاضلي (DGD) عن طريق قياس تأخر المجموعة التفاضلي (DGD) بشكل متكرر عند طول موجي واحد. بدلاً من ذلك، يتم حساب متوسط تأخر المجموعة التفاضلي (DGD) على الطول الموجي ويفترض أن تكون النتيجة مساوية لمتوسط الزمن. هذا الافتراض له أهمية حاسمة، على الرغم من أن بعض البيانات قد تم أخذها تغطي فترة واسعة من الزمن والطول الموجي [13,14].

في نظام الاتصالات الرقمية، يستخدم عادةً معدل الخطأ النبضي (BER) كمؤشر لجودة النظام بدلاً من نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) التي تستخدم غالباً لتمييز أداء أنظمة الاتصالات التناظرية [7]. ففي حالة تجاوز التداخل / الضوضاء للحد الحاسم، يتم تفسير الرموز بشكل خاطئ ويحدث الخطأ. ويتم وصف تعدد هذه الأخطاء بواسطة معدل الخطأ النبضي [18]. يعتبر معدل الخطأ النبضي (BER) أحد المعلمات الرئيسية التي تصف جودة أداء نظام الاتصال، حيث يعد قياس الأداء لتحقيق معدل الخطأ النبضي (BER) المرغوب فيه أمراً أساسياً لتطوير أنظمة الاتصالات البصرية. تسعى العديد من الدراسات الحديثة إلى استخدام معدل الخطأ النبضي (BER) وذلك من أجل تقييم أداء نظام اتصالات الألياف البصرية [19,5]. بالتالي يتم تحديد جميع معلمات النظام فيما يتعلق بهدف تصميم نظام الاتصال البصري لتحقيق معدل الخطأ النبضي (BER) المرغوب فيه [20]، حيث يمثل تحقيق معدل الخطأ النبضي (BER) المرغوب فيه المشكلة الأساسية في تصميم أنظمة اتصالات الألياف البصرية، بالتالي فإنه من المناسب أن يكون مقياس الأداء هو معدل الخطأ النبضي (BER)، الذي يمكن تعريفه على أنه نسبة عدد البتات الغير صحيحة إلى العدد الإجمالي للبتات المستقبلية [21]. بالتالي فإنه يصف عدد أخطاء البتات في عدد البتات المستلمة من البيانات في نظام الاتصالات بسبب الضوضاء أو غيرها. عادة ما يتم التعبير عن معدل الخطأ النبضي (BER) كرقم واحد على سبيل المثال، معدل الخطأ النبضي (BER) يساوي 10⁻⁶، وهذا يعني أنه كان هناك خطأ واحد من أصل 1,000,000 بت التي تم إرسالها، حيث يجب إدراك أن الأخطاء هي أحداث عادية في أنظمة الاتصالات، بمعنى هناك دائماً احتمال حدوث خطأ (مهما كان صغيراً) [22,5]. بالتالي يعتبر معدل الخطأ النبضي (BER) هو معيار جودة مسارات الإرسال الرقمي ويمكن حساب معدل الخطأ النبضي (BER) بطريقة بسيطة نسبياً تعتمد على عدد الأخطاء في رموز البتات المستلمة. إذا علم عدد الأخطاء، يتم التعبير عن معدل الخطأ النبضي (BER) بالمعادلة التالية [18,22]:

$$BER = (\text{Error Bits}) / (\text{Total Number Of Bits}) \quad (3)$$

بما أن معدل الخطأ النبضي (BER) يمثل احتمال تلقي بت خاطئ. بالتالي، فإن معدل الخطأ النبضي (BER) يقدم قياساً لتقييم الأداء من بداية نظام الاتصال إلى نهايته ويحدد مدى موثوقية نظام الاتصالات بأكمله. بمعنى آخر، يعتمد معدل الخطأ النبضي

كلما كانت قيمة عامل الجودة (Q) أكبر فإن قيمة معدل الخطأ النبضي (BER) تكون أصغر، وهذا يعني احتمالية حدوث خطأ في البتات المرسله تكون أقل، حيث يمثل عامل الجودة (Q) الخسارة في طاقة الإشارة البصرية، بالتالي الحد الأقصى لعامل الجودة (Q) لديه فقدان أقل للطاقة وهذا يعني أداء أفضل لنظام الاتصالات [17,22,29].

تؤثر تقنية التضمين على معلمات معينة، مثل عرض النطاق الترددي وكفاءة الطاقة، والتي تؤثر على إجمالي طاقة النظام، كما يعتمد اختيار تقنية التضمين على نوع الاستخدام، حيث يكون الحل الوسط بين التعقيد والقوة الضوئية وكفاءة الصورة وعرض النطاق الترددي مهماً [30]. إن الشكل السائد للإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية اليوم هو مفتاح التشغيل والإيقاف (OOK)، حيث يعتبر هذا النوع من التضمينات مخطط التضمين السائد المستخدم في أنظمة الاتصالات البصرية التجارية. يرجع ذلك في المقام الأول إلى بساطته ومرونته [23,31]، وذلك لأن أجهزة الإرسال والاستقبال بسيطة نسبيًا وتعمل شبكات الألياف البصرية بشكل عام بنسب عالية للإشارة إلى الضوضاء (SN) مع متطلبات نطاق صغير وإشارة يتم التحكم فيها جيدًا في المستقبلات [32].

ترمز معظم أنظمة الإرسال البصري الحالية إلى الإشارة كتسلسل من نبضات الضوء في شكل ثنائي. وهذا ما يسمى بمفتاح التشغيل والإيقاف (OOK). في بعض الأحيان يتم وصفها بأنها تضمين السعة، حيث يُعرف مفتاح التشغيل والإيقاف (OOK) باسم مفتاح إزاحة السعة، وهو بذلك ينتمي إلى تضمين مفتاح إزاحة السعة [5,30] (ASK)، حيث يتم تمثيل المعلومات الثنائية عن طريق وجود أو عدم وجود إشارة بصرية. في جهاز الاستقبال، يتم تحديد القرار المنطقي "1" أو "0" بواسطة طاقة الرمز المستقبلية التي تكون أعلى أو أقل من عتبة محددة مسبقًا. تعمل العتبة المثلى على موازنة احتمال أخطاء 0 و 1، وتعتمد على قوة الإشارة المستقبلية وإحصاءات الضوضاء، مما يتطلب عتبات تكيفية للحصول على أفضل أداء عبر القناة المتقلبة. بغض النظر عن دقة توقعات عتبة مفتاح التشغيل والإيقاف (OOK) المثلى بناءً على الحسابات النظرية [23,30]. في مخطط تضمين مفتاح التشغيل والإيقاف (OOK)، يوجد عدة خيارات لصيغة التضمين لتدفق البتات البصرية الناتجة. وتعرف بصيغة العودة إلى الصفر (RZ) وعدم العودة إلى الصفر (NRZ). يتم تحويل بتات المعلومات إلى بعض نبضات الكود المحددة (عدم العودة إلى الصفر (NRZ)، العودة إلى الصفر (RZ))، حيث يشير وجود النبضة إلى البت "1" وغياب النبضة يشير إلى البت "0" [29-31].

في الإرسال الرقمي، يكون عدد أخطاء البتات هو عدد البتات المستلمة لدفق بيانات عبر قناة الاتصال تم تغييرها بسبب أخطاء التشويش، بينما معدل الخطأ النبضي (BER) هو عدد أخطاء البتات مقسومًا على إجمالي عدد البتات المقولة خلال فترة زمنية معينة وعادةً ما يتم التعبير عنه كنسبة مئوية. احتمال خطأ البت هو قيمة توقع معدل الخطأ النبضي (BER) ويمكن اعتبار معدل الخطأ النبضي (BER) كتقدير تقريبي لاحتمال الخطأ في البتات. هذا التقدير دقيق لفترة زمنية طويلة وعدد كبير من أخطاء البت [33-32]. يمكن تعريف معدل الخطأ النبضي (BER) من حيث احتمالية الخطأ (POE)، حيث يتم استخدام ثلاثة متغيرات وهي دالة الخطأ (erf)، الطاقة لكل بت واحد E_b ، الكثافة الطيفية لقوة الضوضاء N_0 ، بذلك يمكن كتابة المعادلة بالشكل التالي [34]:

$$POE=1/2 (1-erf) \sqrt{(E_b/N_0)} \quad (8)$$

تتناسب احتمالية الخطأ (POE) مع النسبة (E_b/N_0) ، والتي تمثل شكل من أشكال نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR). بذلك تعتبر الكمية (E_b/N_0) معلمة مهمة في الاتصالات الرقمية ونقل البيانات، حيث تمثل الطاقة لكل بت E_b الطاقة الكلية للإشارة مقسوم على عدد البتات الموجودة في الإشارة وهي تقاس بوحد جول. يمكن التعبير عنها أيضًا بمتوسط قدرة الإشارة مضروبة في

أبداً من محاكاة مونت كارلو التقليدية. وهذا يعني أن هذه الطريقة لا يمكن اعتبارها طريقة عامة لتقدير معدل الخطأ النبضي (BER) لأي نظام اتصال معين [24-25]. 3- طريقة دالة توليد العزوم (MGF): يتراوح معدل الخطأ النبضي (BER) النموذجي للأنظمة البصرية بين 10⁻⁹ إلى 10⁻¹⁵ أو أقل، حيث تعتبر طريقة مونت كارلو (الكلاسيكية أو المعدلة) غير مناسبة للاستخدام، حيث أنها لا تعمل بشكل جيد ولا يمكنها أن تعطي تقييم دقيق لأداء النظام. في هذه الحالة، يمكن الحصول على معدل الخطأ النبضي (BER) عن طريق دالة توليد العزوم (MGF)، حيث تستخدم هي الطريقة لتقييم تأثير الضوضاء على أداء النظام، ومن المعروف أنها دقيقة لمختلف أنظمة الاتصالات [26]. طرق التقييم المعتمدة على دالة توليد العزوم (MGF) قادرة على إعطاء دقة حسابية محسنة مقارنةً بغيرها من الطرق وهي تلعب دورًا مهمًا في الإحصاءات النظرية والتطبيقية حيث أنها توفر التوصيف المطلوب لعمليات التي تحدث للإشارة أثناء مرورها خلال الليف البصري، حيث تستخدم هذه الطريقة لتقييم تأثير الضوضاء على أداء النظام البصري، ومن المعروف أن هذه الطريقة دقيقة لأنظمة الاتصالات الألياف البصرية المختلفة [27]. أحد التحديات في عمليات المحاكاة العددية هو توفير تقدير موثوق به لمعدل الخطأ النبضي (BER)، حيث تتمثل المشكلة الأساسية في تصميم أنظمة اتصالات الألياف البصرية في تحقيق معدل الخطأ النبضي (BER) المطلوب بعد انتشار الإشارة خلال النظام. عادةً ما يكون حد معدل الخطأ النبضي (BER) المقبول والذي يعتبر خاليًا من الأخطاء هو 10⁻⁹ أو أقل [5,28]. ومع ذلك، قد يكون من الصعب قياس معدل الخطأ النبضي (BER) نظرًا للزمن الطويل المطلوب للقياس. في واقع الأمر، كلما انخفضت قيمة معدل الخطأ النبضي (BER)، زادت صعوبة التحقق الفعلي من أداء المستقبل، بسبب طول زمن القياس المطلوب. بالتالي يمكن أن يكون حساب عدد الأخطاء عملية طويلة وصعبة للغاية وذلك ناتج بسبب القيم المنخفضة 10⁻¹² < BER مما يجعل قياس معدل الخطأ النبضي (BER) أمرًا معقدًا ويستغرق وقتًا طويلاً لتوفير زمن الحساب، يستخدم برنامج محاكاة نموذجي مئات البتات فقط، وبالتالي، لا يتم عادةً حساب معدل الخطأ النبضي (BER) بشكل مباشر ولكن يتم تقديره من خلال تقييم التقلب الإحصائي في الإشارة المستقبلية، حيث يستخدم مصممو النظام غالبًا بارامتر قياس آخر بدلاً من معدل الخطأ النبضي (BER)، والذي يعرف بعامل الجودة (Q) لتقييم أداء النظام [18,20,23,28]. بالتالي فإنه عندما يكون معدل الخطأ النبضي (BER) في النظام منخفضًا للغاية بحيث لا يمكن قياسه خلال فترة زمنية معقولة فإنه من المفيد اعتماد قياس عامل الجودة (Q) كتقنية غير مباشرة لقياس معدل الخطأ النبضي (BER) [7]، حيث يعتبر هذا المقياس معلمة بلا أبعاد تستخدم على نطاق واسع لقياس أداء أنظمة الاتصال البصرية، ويمكننا كتابته بواسطة العلاقة:

$$Q=(I_1-I_0)/((\sigma_1+\sigma_0)) \quad (5)$$

حيث I_1 و I_0 القيمة المتوسطة للتيار الكهربائي والنتابان الناتج بواسطة النبضة 1، I_0 و σ_0 القيمة المتوسطة للتيار الكهربائي والنتابان الناتج بواسطة النبضة 0 [14,20,28]. يرتبط العامل (Q) بمعدل الخطأ النبضي (BER) بواسطة العلاقة:

$$BER=1/2erfc(Q/\sqrt{2}) \cong 1/(Q\sqrt{2\pi}) \exp(-Q^2/2) \quad (6)$$

حيث (erfc) هي دالة الخطأ التكميلية المعرفة بالعلاقة:

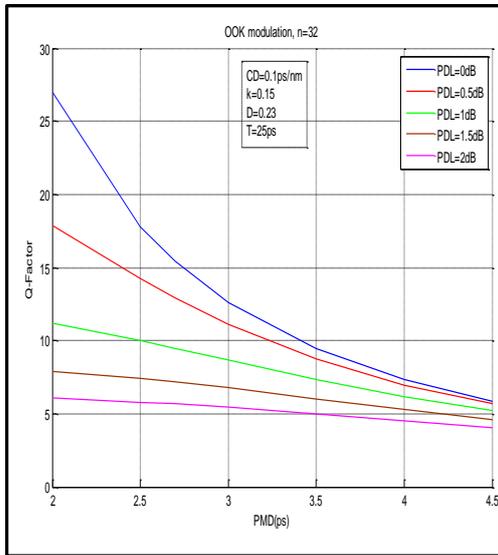
$$erfc(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-y^2) dy \quad (7)$$

متوسط معدلات الخطأ النبضي (BERs) على جميع البتات خلال الفترة $t_i = t_0 + kT_b$ تعطى بالعلاقة [26]:

$$BER = \sum_{i=0}^{N-1} BER_{yth}(t_i)/N \quad (13)$$

النتائج و المناقشة Results and Discussions

اولا : دراسة العلاقة بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) وعامل الجودة (Q) عند قيم ثابتة للفقد الاستقطابي (PDL)
في هذا البند تمت دراسة العلاقة بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) وعامل الجودة (Q) عند قيم ثابتة للفقد الاستقطابي (PDL) وذلك لثلاثة حالات مختلفة لعدد البتات الداخلة للنظام ($n = 32, 64, 128$)، حيث تم الحصول على عامل الجودة (Q) باستخدام النموذج الرياضي المدروس سابقاً، كما تم استخدام برنامج الماتلاب لحساب قيم عامل الجودة (Q).
نلاحظ من الشكل (3) والذي يمثل العلاقة بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) وعامل الجودة (Q) عند قيم ثابتة للفقد الاستقطابي (PDL) وذلك عندما تكون عدد البتات الداخلة للنظام ($n = 32$)، أنه عندما كانت قيمة الفقد الاستقطابي (PDL) تتناقصت قيمة عامل الجودة (Q) بشكل كبير مع زيادة تشتت نمط الاستقطاب (PMD) بينما يتناقص اضمحلال هذه العلاقة كلما زادت قيمة الفقد الاستقطابي (PDL)، وذلك نتيجة للتفاعل المشترك بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) والفقد الاستقطابي (PDL).



شكل (3) العلاقة بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) وعامل الجودة (Q) عندما يكون عدد البتات المدخلة للنظام ($n = 32$) لقيم مختلفة للفقد الاستقطابي (PDL)

نلاحظ نفس السلوك عندما تكون عدد البتات الداخلة للنظام ($n = 64, 128$) كما هو موضح بالشكل (4) والشكل (5) مع ملاحظة أننا نتحصل على أفضل قيمة لعامل الجودة (Q) عندما تكون عدد البتات الداخلة للنظام ($n = 128$).

مدة البت الواحد، بينما تمثل الكثافة الطيفية لقوة الضوضاء N_0 قوة الضوضاء في عرض نطاق معين وهي تقاس بوحدتي الجول في الثانية الواحدة. بذلك فإن الكمية (E_b/N_0) تعتبر مصطلح بلا أبعاد، أو هي نسبة عددية [34-35].

تجدر الإشارة إلى أن كل نوع مختلف من صيغ التضمين له قيمته الخاصة لاحتمالية الخطأ. وذلك لأن كل نوع من أنواع الصيغ يعمل بشكل مختلف في وجود الضوضاء. من استخدام (E_b/N_0) يمكن ملاحظة أن معدل الخطأ النبضي (BER) يمكن أن يتأثر بعدة عوامل، كما يمكن تحسين النظام لتوفير مستويات الأداء المطلوبة وذلك من خلال معالجة المتغيرات التي يمكن التحكم فيها. يتم ذلك عادة في مراحل تصميم نظام نقل البيانات بحيث يمكن ضبط معايير الأداء في مراحل التصميم الأولي. يمكن تخفيض مستوى التداخل وذلك بضبط النطاق الترددي للنظام عن طريق الحد من عرض النطاق الترددي. ومع ذلك، فإن الحد من عرض النطاق الترددي يحد من سرعة نقل البيانات التي يمكن تحقيقها. من ناحية أخرى، يكون من الممكن أيضاً زيادة مستوى طاقة النظام بحيث يتم زيادة الطاقة لكل بت، ويتم ذلك بالموازنة مع عوامل معينة بما في ذلك مستويات التداخل للمستخدمين الآخرين وتأثير زيادة خرج الطاقة والاستهلاك الكلي للطاقة، إلخ. يمكن كذلك استخدام مخططات الصيغ ذات الترتيب الأدنى، ولكن سيكون ذلك على حساب سرعة إرسال البيانات. بالتالي نجد أنه من الضروري موازنة جميع العوامل المتاحة لتحقيق معدل خطأ نبضي (BER) مرضٍ والوصول إلى كفاءة عالية لنظام الاتصال [34,32].

يمكن كتابة الإشارة الداخلة للنظام على صورة متسلسلة فورييه كالتالي:

$$\tilde{s}_{in}(t) = s_{in}(t)|\tilde{p}_s\rangle = \sum_{l=-\infty}^{\infty} (s_{in})_l e^{j\omega_l t} |\tilde{p}_s\rangle \quad (9)$$

حيث $|\tilde{p}_s\rangle$ يمثل متجه الوحدة و $(\omega_l = \frac{2\pi l}{NT_b})$ يمثل التردد الزاوي، بحيث l طول قطعة الليف البصري، N يمثل عدد النبضات، T_b يمثل الفترة الزمنية لكل بت (نبضة). يمكن كذلك تمثيل مصادر الفقد في الإشارة البصرية المارة خلال الليف البصري من خلال المعادلات التالية:

- التشتت اللوني (CD): يمثل بالعلاقة التالية:

$$H_{CD}(f) = e^{-2j\pi^2\beta_2 f^2 L} \quad (10)$$

حيث $\beta_2 = -\lambda^2 D(\lambda)/(2\pi c)$ ، بحيث يكون $D(\lambda)$ بارامتر التشتت اللوني (CD) لليف البصري في الطول الموجي λ ، f تردد الموجة.

- تشتت نمط الاستقطاب (PMD): في مجال التردد، يتم إعطاء مصفوفة جونز (T_{PMD}) لتشتت نمط الاستقطاب (PMD) من الدرجة الأولى بواسطة العلاقة:

$$T_{PMD}(\omega_l) = \exp(-j\omega_l \vec{\sigma} \cdot \vec{\sigma}/2) \quad (11)$$

حيث ($\vec{\sigma}$) يمثل التدرين القياسي لمصفوفات باولي التي تحقق العلاقة $\vec{\sigma} \times \vec{\sigma} = 2j\vec{\sigma}$ ، $\vec{\sigma}$ يمثل متجه ستوكس حقيقي ثلاثي الأبعاد.

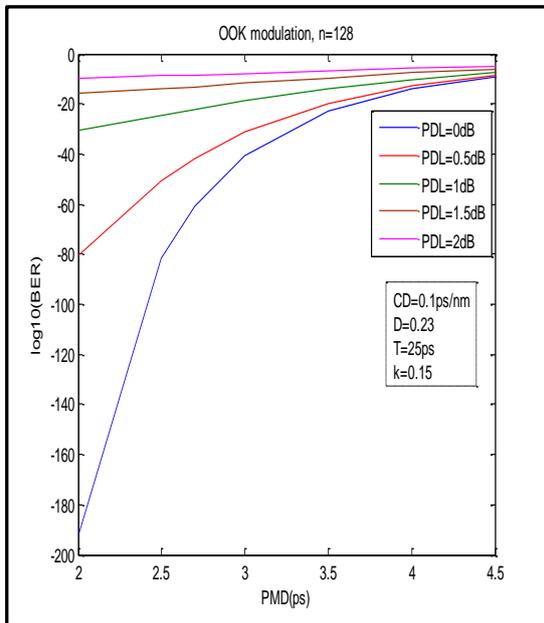
- الفقد الاستقطابي (PDL): بالنسبة لمصفوفة جونز (T_{PDL}) للفقد الاستقطابي (PDL) فإنه يتم إعطاؤها بواسطة العلاقة:

$$T_{PDL_1} = \exp(-\alpha/2) \exp(\vec{a} \cdot \vec{\sigma}/2) \quad (12)$$

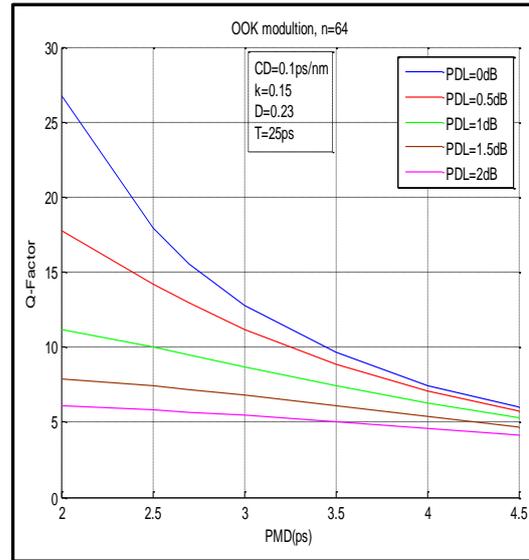
ثانيا : دراسة العلاقة بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) ومعدل الخطأ النبضي (BER) عند قيم ثابتة للفقد الاستقطابي (PDL)

في هذا البند تمت دراسة العلاقة بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) ومعدل الخطأ النبضي (BER) عند قيم ثابتة للفقد الاستقطابي (PDL) وذلك عندما يكون عدد البتات الداخلة للنظام ($n = 128$)، حيث تم الحصول على معدل الخطأ النبضي (BER) باستخدام النموذج الرياضي المدروس سابقاً، كما تم استخدام برنامج الماتلاب لحساب قيم معدل الخطأ النبضي (BER)، نلاحظ من الشكل (6) والذي يمثل العلاقة بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) و ($\log_{10}(\text{BER})$) عند قيم ثابتة للفقد الاستقطابي (PDL) وذلك عندما تكون عدد البتات الداخلة للنظام ($n = 128$)، أنه كلما كانت قيمة تشتت نمط الاستقطاب (PMD) أكبر فإن قيمة ($\log_{10}(\text{BER})$) تكون أكبر، وهذا يعني احتمالية حدوث خطأ في البتات المرسله تكون أكبر. كما وجدنا أنه عندما كانت قيمة الفقد الاستقطابي (PDL = 0dB) تزايدت قيمة ($\log_{10}(\text{BER})$) بشكل كبير مع زيادة تشتت نمط الاستقطاب (PMD) بينما يتناقص تزايد هذه العلاقة كلما زادت قيمة الفقد الاستقطابي (PDL)، وذلك نتيجة للتفاعل المشترك بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) والفقد الاستقطابي (PDL).

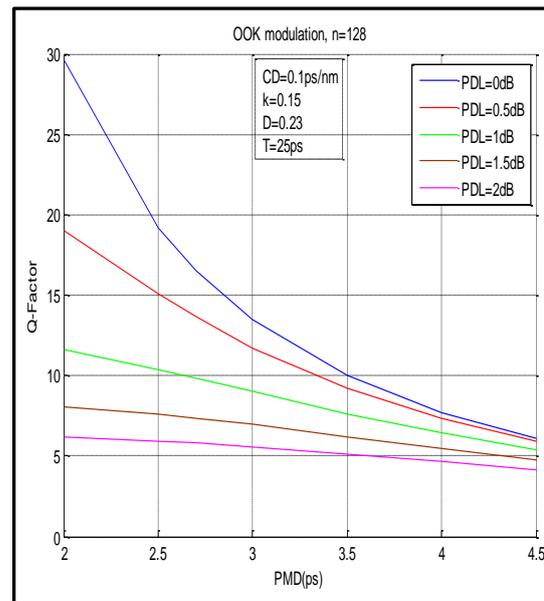
الشكل (7) يمثل العلاقة بين عامل الجودة (Q) و ($\log_{10}(\text{BER})$) وذلك عندما يكون عدد البتات الداخلة للنظام ($n = 128$)، لقيم مختلفة لتشتت نمط الاستقطاب (PMD) والفقد الاستقطابي (PDL)، حيث نلاحظ من الشكل أنه كلما كانت قيمة عامل الجودة (Q) أكبر فإن قيمة ($\log_{10}(\text{BER})$) تكون أصغر، وهذا يعني أن نسبة عدد البتات المرسله الصحيحة يكون أكبر مما يعني زيادة في جودة وكفاءة النظام، حيث نلاحظ تحقق هذه العلاقة لقيم مختلفة لتشتت نمط الاستقطاب (PMD) والفقد الاستقطابي (PDL).



شكل (6) العلاقة بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) و ($\log_{10}(\text{BER})$) عندما يكون عدد البتات الداخلة للنظام ($n = 128$) لقيم مختلفة للفقد الاستقطابي (PDL)



شكل (4) العلاقة بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) وعامل الجودة (Q) عندما يكون عدد البتات المدخلة للنظام ($n = 64$) لقيم مختلفة للفقد الاستقطابي (PDL)



شكل (5) العلاقة بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) وعامل الجودة (Q) عندما يكون عدد البتات المدخلة للنظام ($n = 128$) لقيم مختلفة للفقد الاستقطابي (PDL)

بالتالي يمكن القول بأنه عندما أخذنا في الاعتبار قيم الفقد الاستقطابي (PDL) في نظام الاتصال البصري، سينخفض عامل الجودة (Q) للإخراج كلما زادت قيم تشتت نمط الاستقطاب (PMD) مما يعني أن إشارة الخرج قد اتسعت بشكل أكبر، مع ملاحظة أن تناقص منحنى العلاقة يقل بزيادة الفقد الاستقطابي (PDL) وذلك بسبب التفاعل المشترك بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) والفقد الاستقطابي (PDL).

[2] JOHN M. SENIOR assisted by Yousif Jamro, "Optical Fiber Communications", Third Edition 2009.

[3] تأليف أ.د. محمد عبد الرحمن الحيدر، "اتصالات الألياف البصرية"، الطبعة الأولى 1995م، الناشر مكتبة العبيكات، الرياض.

[4] Gerd Keiser, "OPTICAL FIBER COMMUNICATION", Second Edition 1991.

[5] Harry J. R. Dutton, "Understanding Optical Communications", September 1998.

[6] John G. Proakis, Masoud Salehi, "COUMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING", SECON D EDITION 2002.

[7] Casimer DeCusatis, "Handbook of Fiber Optic Data Communication", Third Edition 2008.

[8] Pierre Lecoy, "Fiber-Optic Communications", 1988.

[9] PAUL L. KELLEY, IVAN P. KAMINOW, GOVIND P. AGRAWAL, "Nonlinear Fiber Optics", Third Edition 2001.

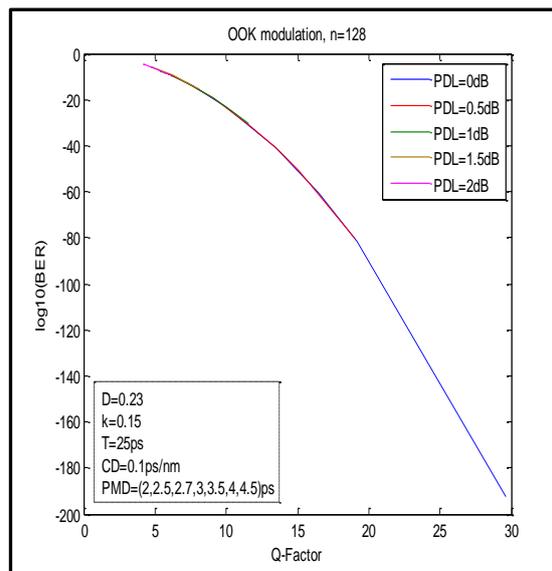
[10] "Navy Electricity and Electronics Training Series", Module 24-Fiber Optics, NAVEDTRA 14196A S.N 0504LP1139777, 2013 Edition, June 2014.

[11] Neophytos (Neo) Antoniadis, Georgios Ellinas, Ioannis Roudas, Editors, "WDM Systems and Networks", Modeling, Simulation, Design and Engineering, Springer Science+Business Media, LLC 2012.

[12] Alan Rogers, "Polarization in Optical Fibers", 2008 ARTECH HOUSE, INC.

[13] Andrea Gltarossa, Curtis R. Menyuk (Eds), "Polarization Mode Dispersion", 2005 Springer Science.

[14] IVAN P. KAMINOW, TINGYE LI "OPTICAL FIBER TELECOMMUNICATIONS IV B SYSTEMS AND IMPAIRMENTS", 2002.



شكل (7) العلاقة بين عامل الجودة (Q) و $\log_{10}(\text{BER})$ عندما يكون عدد البتات الداخلة للنظام ($n = 128$) لقيم مختلفة لتشتت نمط الاستقطاب (PMD) والفقء الاستقطابي (PDL)

الخلاصة

Conclusion

في هذا البحث تم تقديم دراسة لتقييم تأثير تشتت نمط الاستقطاب (PMD) على أنظمة الإرسال للألياف البصرية ذات المسافات الطويلة وذلك من خلال مقاييس الأداء المتمثلة في عامل الجودة (Q) ومعدل الخطأ النبضي (BER). تظهر النتائج أن أي تغير في قيمة الفقء الاستقطابي (PDL) حتى لو بقيمة صغيرة (0.5dB) يمكن أن يؤثر بشكل كبير على كفاءة وجودة النظام، وذلك بسبب التفاعل الناتج بين تشتت نمط الاستقطاب (PMD) والفقء الاستقطابي (PDL). وبالتالي فإنه من المهم مراعاة تأثيرات الفقء الاستقطابي (PDL) عند تصميم وتنفيذ نظام الاتصال إلى جانب تشتت نمط الاستقطاب (PMD)، وبحساب عامل الجودة (Q) تم الحصول على قيم جيدة له مقارنة بالدراسات السابقة.

السيرة الذاتية

1- سعاد ابوالقاسم المجاور

المؤهل العلمي: ماجستير فيزياء – جامعة مصراتة

الدرجة العلمية: ماضر مساعد

جهة العمل: جامعة مصراتة – كلية العلوم

2- سعاد محمد ابوزريبة

المؤهل العلمي: دكتوراه فيزياء – جامعة اوتاوا -كندا

الدرجة العلمية: استاذ (بروفيسور)

جهة العمل: جامعة مصراتة – كلية العلوم

3- سمية محمد الطرشي

المؤهل العلمي: بكالوريوس فيزياء

جهة العمل: تعليم مصراتة

المراجع

- [1] تأليف الأستاذة الدكتورة. سهام عفيف قندلا، أستاذة فيزياء – بغداد، "فيزياء الألياف البصرية"، أسس وتطبيقات، الطبعة الأولى 1995م، الناشر مكتبة العبيكات، الرياض.

- [23] Arun K. Majumdar, Jennifer C. Ricklin, "Free- Space Laser Communications", Principles and Advances.
- [24] S. M. Jahangir Alam, M. Rabiul Alam, Guoqing Hu, and Md. Zakirul Mehrab, " Bit Error Rate Optimization in Fiber Optic Communications", International Journal of Machine Learning and Computing, Vol. 1, No. 5, December 2011.
- [25] Adrian Bohdanowicz, "On Efficient BER Evaluation of Digital Communication Systems via Importance Sampling", Faculty of Information Technology and Systems, Delft University of Technology, The Netherlands .
- [26] Zhongxi Zhang, Liang Chen, Xiaoyi Bao, " Accurate BER evaluation for lumped DPSK and OOK systems with PMD and PDL", Received 13 Apr 2007, Vol. 15, No. 15.
- [27] Zhongxi Zhang , Liang Chen, Xiaoyi Bao, "Moment-generating function method used to accurately evaluate the impact of the linearized optical noise amplified by EDFAs", 18 jun 2013 Optical Society of America.
- [28] X. Wei, X. Liu, and C. Xu, "Q-Factor in Numerical Simulations of DPSK With Optical Delay Demodulation" , Manuscript submitted May 15- 2002 and revised June 21- 2002, Available: <http://arXiv.org/abs/physics/0304002>.
- [29] Govind P. Agrawal, " Fiber- Optic Communication Systems", Third Edition 2002 by John Wiley & sons.
- [30] Ales VANDERKA, Lukas HAJEK, Jan LATAL, Jan VITASEK, Petr KOUDELKA, "Design, Simulation and Testing of the OOK NRZ Modulation Format for Free Space Optic Communication in a Simulation Box" , VOLUME: 12 , NUMBER: 6 , 2014 , SPECIAL ISSUE .
- [31] Taissir Youssef Elganimi , " Performance Comparison between OOK, PPM and PAM
- [15] Ivan B. Djordjevic, " Advanced Optical and Wireless Communications Systems", Springer International Publishing AG 2018.
- [16] J. P. Gordon and H. Kogelnik, " PMD fundamentals: Polarization mode dispersion in optical fibers", Review, Vol.97, No.9, pp4541-4550, April 25,2000.
- [17] Nelson de Jesus, Cordeiro Muga , "Polarization Effects in Fiber-Optic Communication Systems", Universidade de Aveiro Departamento de Fisica 2011.
- [18] Tomáš Ivaniga, Petr Ivaniga , "Comparison of DPSK and RZ-DPSK Modulations in Optical Channel with Speed of 10 Gbps", SUBMITTED 02/16; ACCEPTED 04/17 , PP. 185-196, UDC 004.7:679.76 Original Scientific Paper, JIOS, VOL. 41, NO. 2 (2017).
- [19] Wolfgang Freude, René Schmogrow, Bernd Nebendahl, Marcus Winter, Arne Josten, David Hillerkuss, Swen Koenig, Joachim Meyer, Michael Dreschmann, Michael Huebner, Christian Koos, Juergen Becker, Juerg Leuthold, " Quality Metrics for Optical Signals: Eye Diagram, Q -factor, OSNR, EVM and BER", Mo.B1.5, pp. 978-1-4673, ICTON 2012.
- [20] Malcolm Johnson, "Optical Fibers, Cables And Systems ", 2009.
- [21] Md. Shazzad Hossain, Sujan Howlader, and Rinku Basak, "Investigating the Q-factor and BER of a WDM system in Optical Fiber Communication Network by using SOA", International Journal of Innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol. 13 No. 1 Jan. 2015, pp. 315-322.
- [22] Tomáš Ivaniga, Petr Ivaniga , "Evaluation of the bit error rate and Q-factor in optical networks", IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering , pp. 2278-8735. Volume 9, (Nov - Dec. 2014), PP 01-03.

Received 23 November 2019; Revised 9 January 2020; Accepted 13 January 2020; Published 12 February 2020, Volume 2020, Article ID 3146374, 13 pages.

[38] Zahraa H Mohammed, Zainab M Abid, "The effect of the optical fiber design on reducing the nonlinear characteristics of the optical fiber", Department of Electrical Engineering, College of Engineering, Al Mustansiriyah University Iraq, Baghdad, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 870 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/870/1/012126.

Modulation Schemes for Free Space Optical (FSO) Communication Systems: Analytical Study", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) , Volume 79 – No 11, October 2013 , University of Tripoli, Libya.

[32] Dragan Mitić, Aleksandar Lebl, Zarko Markov, "Calculating the required number of bits in the function of confidence level and error probability estimation", SERBIAN JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING , Vol. 9, No. 3, October 2012, 361-375.

[33] Shruti Trivedi, Mohd. Sarwar Raean, Shalendra Singh pawar, "BER Analysis of MIMO-OFDM System using BPSK Modulation Scheme", International Journal of Advanced Computer Research (ISSN (print): 2249-7277 ISSN (online): 2277-7970) , Volume-2 Number-3 Issue-5 September-2012.

[34] A. Sudhir Babu, Dr. K.V Sambasiva Rao, "Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels under Various Modulation Schemes ", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 26– No.9, July 2011.

[35] Dr. Ahlal H Montaser Mohamed, Dr. Amamer Khalil Masoud Ahmidat, "End To End Testing of Digital Transmission Systems Using Matlab", American Journal of Engineering Research (AJER) e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936 Volume-6, Issue-4, pp-52-59, 2017.

[36] Le Nguyen Binh, "OPTICAL FIBER COMMUNICATIONS SYSTEMS ", Theory and Practice with MATLAB and Simulink Models, CRC Press 2010.

[37] Fazal Muhammad , Farman Ali , Usman Habib , Muhammad Usman, Imran Khan , and Sunghwan Kim, " Time Domain Equalization and Digital Back-Propagation Method-Based Receiver for Fiber Optic Communication Systems",

The Effect of Polarization Mode Dispersion on An Optical Fiber System Studied with The Wave Plate Model

* Soad A Almujaer, Suad M. Abuzariba, Sumaia M. Altorshi

• *Physics Department , Faculty of Science , Misurata University
Misurtat , Libya*

Suadabu@yahoo.com

Soud.b@sci.misuratau.edu.ly

. Abstract

The effect of polarization mode dispersion on a long length optical fiber communication system has been studied in this work . The accuracy of the system was studied using the Q_factor , the bit error rate of the system (BER). From the results of the work , it has been seen that , because of the interaction between the polarization mode dispersion (PMD) and the polarization dependent loss , even with any small value of the polarization dependent loss (PDL) (0.5dB) the accuracy of the system will be effected. Because of that it is very important to take the effect of the polarization dependent loss in consideration (PDL) when the optical communication system will design , beside the polarization mode dispersion (PMD) . Furthermore, a high values of Q_fators have been achieved for the system compared with some previous studies.

Key words: Polarization Mode Dispersion , Optical Fibers, Wave Plate , Chromatic Dispersion , The Bit Error Rate , The Niose, Q_Factor.
