

## كشف الاختراقات وتحديد مكانها في شبكات الألياف الضوئية

الدكتور حسان ريشة\*

الدكتور علي أحمد\*\*

محمد نصر\*\*\*

(تاريخ الإيداع 22 / 5 / 2013 . قُبِلَ للنشر في 24 / 11 / 2013)

### ▽ ملخص ▽

تعد تقنية الألياف الضوئية من أهم تقنيات الاتصالات السلكية لما تتمتع به من مزايا كثيرة، أهمها:

- سعة قناة كبيرة.
- تخامد صغير جداً.
- ممانعة للتداخل.
- السرية وصعوبة التنصت.

أدت هذه المزايا لزيادة استخدام الوسائط الضوئية في التطبيقات المدنية والعسكرية على حد سواء، وعلى الرغم من كونها ذات سرية عالية، فإن الألياف الضوئية مثلها مثل أي وسط ناقل للمعلومات تتعرض ، باستخدام أساليب متطورة ، للكثير من الاختراقات والسرقات والتجسس.

نناقش في هذا البحث أمن نقل المعلومات عبر الألياف الضوئية الذي يعتبر من المواضيع الهامة في نظم الاتصالات الضوئية ، وسنقوم باقتراح بنية لكشف الاختراق عند حدوثه، وذلك بالاعتماد على أنماط الانتشار والاستطاعات الضوئية، إضافة لتقديم خوارزمية تحدد مكان الاختراق، وتبين النتائج بمحاكاة تتسجم مع الواقع العملي، لتساهم بشكل تطبيقي في ضمان سرية نقل المعلومات عبر شبكة الألياف الضوئية المعتمدة .

**الكلمات المفتاحية:** الألياف الضوئية ، السلكية ، الاختراق ، المحاكاة ، منظومة المراقبة ، الشبكات الضوئية الاستطاعة الضوئية.

\* استاذ في قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

\*\* استاذ في قسم هندسة الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة تشرين - طرطوس - سورية.

\*\*\* طالب دكتوراه في قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

## Detection and Location of Fiber Optic Networks Intrusion

Dr. Hassan Risheh\*  
Dr. Ali Ahmad\*\*  
Muhammar Nassr\*\*\*

(Received 22 / 5 / 2013. Accepted 24 / 11 / 2013)

### ▽ ABSTRACT ▽

Fibre optics have greatly developed over the past decades, making it usable in wired communication systems. It has many advantages such as:

- High channel capacity.
- Interference immunity.
- Low loss.
- Security & Immune to intrusion.

That's why it became so popular in different types of usage.

This article discusses the security of fibre optics, proposes an intrusion detection system able to detect different intrusion techniques, and specifies the intrusion point depending on modes and optical powers

**Keywords:** Fibre Optics; Wire; Intrusion; Simulation; Monitoring; Optical Networks; Optical Power.

---

\* Professor; Department of Electronic and Communication, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, University of Damascus, Damascus: Syria.

\*\* Professor, Department of Electronic and Communication, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, University of Tishreen; Tartous: Syria.

\*\*\* Postgraduate Student , Department of Electronic and Communication, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, University of Damascus, Damascus: Syria

**مقدمة :**

شهدت الاتصالات في القرن الماضي تطوراً كبيراً، وكان الدافع الأساسي لهذا التطور الحاجات العسكرية. إذ شهد القرن العشرون الحربين العالميتين الأولى والثانية، ولعبت الاتصالات دوراً هاماً فيهما وكذلك في باقي الحروب، مما دفع إلى البحث عن تقنيات متعددة ذات تطبيقات عسكرية وأمنية، مثل التشفير وتقنيات الطيف المنتثر، وذلك من أجل تأمين وصول المعلومة بشكل آمن وغير قابل للتشويش، وكان استخدام الألياف الضوئية إحدى الطرق للاتصالات السلكية الآمنة، لهذا النوع من وسائط نقل المعلومات [1].

عند بدايات العمل بالألياف الضوئية كانت هذه الألياف تعاني من تخامد عالٍ، ولم تستخدم على نطاق واسع، لكن ثمانينات القرن الماضي شهدت تطوراً كبيراً فظهرت ألياف بتخامد منخفض مما سمح باستخدامها بكثرة بالإضافة إلى سعة النقل الكبيرة مقارنة بباقي وسائل الاتصالات التي كانت مستخدمة (لاسلكية، سلكية wire باستخدام الكوابل المحورية، الخ ...).

إضافة إلى ذلك فقد دخلت الألياف الضوئية في كثير من التطبيقات الأمنية فبالإضافة إلى استخدامها في مجال الاتصالات فقد استخدمت في هياكل الطائرات المدنية لقياس مقدار التشوه الحاصل على الهيكل وفقاً لطرق القياس غير التخريبي ( Non destructive measurement ) NDM، كما استخدمت في المطارات للحماية الأمنية وفي خطوط النفط للمراقبة والحماية وأعمال أخرى في المجال الطبي والتطبيقات الحيوية ونقل الطاقة للمعالجة.

**أهمية البحث وأهدافه:**

نناقش في هذا البحث موضوعاً هاماً يتمثل في كشف الاختراقات وتحديد مكانها في شبكات الألياف الضوئية للاتصالات ونقل المعلومات ونقترح بنية نظام لكشف الاختراق، ولهذا البحث أهمية أمنية تتمثل في :

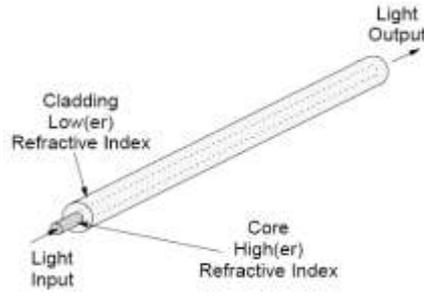
1. حماية شبكات اتصال نقل المعلومات، وخصوصاً الحساسية منها التي تتطلب سرية عالية في عملها المعلوماتي كما هي الحال في المصارف ومقرات القيادة ومراكز الأبحاث العلمية.
2. حماية شبكات الاتصالات العسكرية من الاختراق والتجسس.

**طرائق البحث ومواده :**

أنجز هذا البحث اعتماداً على دراسات ومراجع علمية حديثة وعديدة تختص في هذا المجال، وقد أخذت نتائجها وتوصياتها بعين الاعتبار، كما استخدمت البيئتان البرمجتان Matlab و Net(C#). في وضع النماذج الرياضية والمحاكاة الحاسوبية واستخلاص النتائج، وقد اعتمد هذا العمل ليمثل جزءاً هاماً في تحسين الجودة والموثوقية لنظام الاتصالات الضوئية.

**1. الألياف الضوئية :**

الليف الضوئي fiber optic عبارة عن اسطوانة رقيقة جداً وطويلة من السيلكون، وفقاً لما هو موضح في الشكل (1)، يتألف من قسمين أساسيين هما :



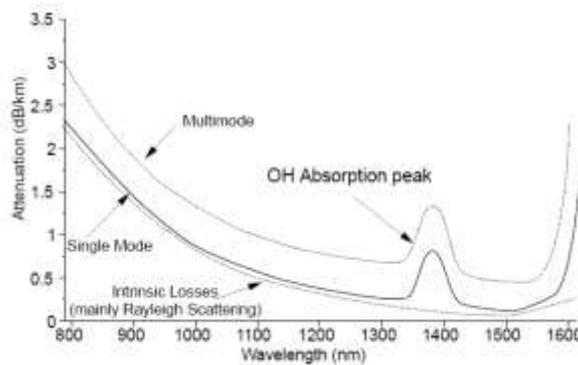
الشكل (1) بنية الليف الضوئي

اللب والغلاف، اللب core عبارة عن اسطوانة من الزجاج يحيط به الغلاف cladding، يكون اللب بقرينة انكسار أعلى من قرينة انكسار الغلاف، وبالتالي فإن السطح الفاصل بينهما يلعب دور مرآة مثالية تحافظ على بقاء الضوء ضمن الليف [2]. عند إرسال نبضة ضوئية pulse عبر الليف فإنها تصل إلى نهايته بمستوى طاقة أقل من مستوى طاقة الإرسال وذات تأخير زمني كما أنها تعاني من وجود تشويه ، وهذه الظواهر ناتجة من :

### 1. التخماد Attenuation

يتعرض الشعاع الضوئي عند عبوره ضمن الليف إلى تخامد عائد إلى المادة المصنوع منها الناقل وبنية الجزيئية أما التسرب والارتداد فينتجان من البنية الحبيبية والهندسية للناقل الضوئي، كما يؤدي وجود الشوائب Impurities بنوعها المعدنية وشوائب الهيدروكسيل OH إلى تبعثر الضوء scattering. تجدر الإشارة إلى أن نسبة الامتصاص والتبعثر ضمن الليف يتعلقان بطول الموجة، بالإضافة للتركيب الكيميائي للزجاج المستخدم ضمن الليف [3].

يوضح الشكل (2) مخططاً لامتناس الضوء وفق طول الموجة بالنانو متر، التخماد بالديسيبل، يطلق على التخماد الناتج من التبعثر بمقدار دقيقة (الدقيقة هي عشر طول الموجة) بتبعثر Rayleigh. سبب وجود تبعثر رايليه ضمن الليف هو أن البنية الكريستالية لثاني أكسيد السيليكون SiO<sub>2</sub> تتغير تبعاً لدرجة الحرارة خاصة بالقرب من حالة الانصهار لأن الحرارة المطبقة تزيد من حركة هذه الجزيئات، وعندما يبرد السائل تتوقف الجزيئات عن الحركة وبالتالي عند مرور حزمة ضوئية خلال بنية كهذه يتبعثر جزء من طاقتها مشكلة ضياع رايليه والتخماد يتناسب عكساً مع  $\lambda^4$  ، يوجد نوع آخر من التبعثر يسمى بتبعثر Mie من رتبة طول الموجة وهو ناتج من عيوب التصنيع إذ يؤدي المزج غير التام وانحلال المواد الكيميائية لعدم التجانس في النواة كما تسبب المعالجة الناقصة سطحاً خشناً بين النواة والغلاف.



الشكل (2). مخطط امتصاص الضوء تبعاً لطول الموجة

## 2. التشتت Dispersion

يحدث التشتت عند زيادة عرض النبضة الضوئية وتأثرها بالنبضة التي سبقتها مما يؤدي إلى ظهور تداخل يجعل من عملية استخراج البتات صعباً . توجد عدة أنواع للتشتت [4] هي:

❖ تشتت المادة material dispersion: تصدر الثنائيات الضوئية والليزرزات حزمة من أطوال الموجة وليس طول موجة وحيد. يرتبط معامل الانكسار لليف بطول الموجة المستخدم وفقاً لعلاقة Sellmeier، بالتالي فإن سرعة الانتشار ستتغير تبعاً للتردد مما يؤدي لوصول النبضة إلى نهاية الليف بأوقات مختلفة يزيد ذلك من عرض النبضة الضوئية.

❖ تشتت النمط intermodal dispersion: عند استخدام ليف متعدد الأنماط فإن الضوء يمكن أن يسلك عدة مسارات، ولكل مسار طول مختلف عن الآخر، بالتالي عند إرسال نبضات ضوئية عبر الليف فإنها ستقطعه بأزمنة مختلفة مما يؤدي إلى تداخل النبضات يطلق على هذا النوع من التشتت بتشتت النمط.

❖ تشتت دليل الموجة waveguide dispersion: وهو أثر معقد يرتبط ببنية الليف وشكله.

## 3. الضجيج Noise

من المزايا الهامة لليف الضوئي أنه لا يتأثر بمصادر الضجيج الخارجية ، وذلك لأنه مصنوع من مادة عازلة بالتالي لا يتدفق خلالها تيارات كهربائية سواء كانت ناتجة عن الإشارة المرسله أو من الإشعاعات الخارجية، كما أن الأمواج القادمة من الوسط الخارجي لا يمكنها الانتشار ضمن الليف ، يضاف إلى ذلك أن الموجة الضوئية داخل الليف تكون محجوزة ولا تتسرب إلى الخارج وبالتالي لا تتداخل مع اشارات الألياف الأخرى الموجودة ضمن الكبل الواحد، لكن هناك مصادر أخرى للضجيج قد تأتي من تقانة التصنيع والمحددات التكنولوجية لليف نفسه.

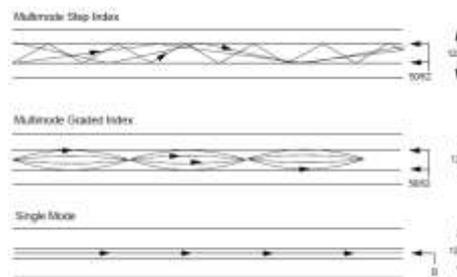
## 2. انتشار الضوء عبر الليف الضوئي:

يوضح الشكل (3) أنماط العمل المعتمدة في الألياف الضوئية التي يتم تحديدها وفقاً لمعامل انكسار اللب :

1- الليف الزجاجي متعدد النمط بقفزة قرينة الانكسار Step-Index-Multi-mode: يتغير معامل الانكسار بين اللب والغلاف بشكل مفاجئ،+ ويتراوح قطر النواة بين  $50\backslash 62 \mu\text{m}$ .

2- الليف الزجاجي متعدد النمط متدرج قرينة الانكسار Graded-Index-Multi-mode: يتغير معامل الانكسار تبعاً للبعد عن محور الليف ويصبح بقيمة ثابتة عند الوصول إلى الغلاف.

3- الليف الزجاجي وحيد النمط Single-mode: يكون بقطر صغير للنواة حوالي  $10\mu\text{m}$  ويؤدي لانتشار نمط وحيد هو 01 Linear Polarization (LP01).



الشكل(3). أنماط العمل الموجودة في الألياف [5]

عند دراسة الانتشار تؤخذ مناطق الانحناءات في الليف بعين الاعتبار، وغالباً لا يقل نصف قطر الانحناء عن 2 سم.

### 3. خوارزمية كشف حدوث الاختراق ضمن الليف الضوئي:

إن الهدف الأساسي في هذا العمل هو كشف الاختراقات التي تحدث لليف الضوئي بقصد تشويه المعلومات أو سرقتها .... وأشهر طرق الاختراق المعروفة هي :

#### ➤ الاختراق بثني الليف :

تتم عملية الاختراق في هذه الطريقة بثني الليف بنصف قطر محدد، بحيث يبقى ضمن مجال مرونة الليف، عند انحناء دليل الموجة تتغير زاوية الانعكاس الكلية عن السطح الفاصل بين اللب والغلاف، وعندما تصبح أقل من الزاوية الحرجة يؤدي ذلك إلى نفاذ جزء من الأشعة الضوئية المارة في اللب إلى الغلاف ومنها إلى الوسط الخارجي، كما يمكن أن يتم إزالة الغلاف للحصول على قيمة أعلى للاستطاعة [5] .

تعرف الزاوية الحرجة بأنها الزاوية التي إذا ورد فيها الشعاع الضوئي على السطح الفاصل بين مادتين بقرينتي انكسار مختلفتين فإن هذا الشعاع سينعكس بشكل موازٍ للسطح الفاصل. تعطى الزاوية الحرجة بالعلاقة التالية:

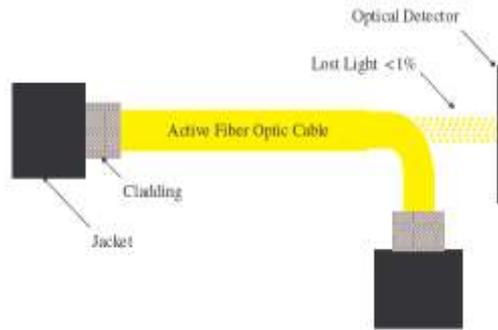
$$(1) \quad \sin\phi = n_2/n_1$$

$\phi$ : زاوية ورود الأشعة بالنسبة للناظم على السطح الفاصل بين اللب والغلاف.

$n_1$ : عامل الانعكاس لللب.

$n_2$ : عامل الانعكاس للغلاف.

تقدر قيمة الاستطاعة الخارجة من الليف بحوالي 1% من القيمة الإجمالية المنتشرة ، يتم تركيب مستقبل ضوئي يحول الأشعة الضوئية الصادرة عن الليف إلى معلومات ذات معنى. يبين الشكل (4) رسماً توضيحياً لعملية الاختراق بهذه الطريقة [6].



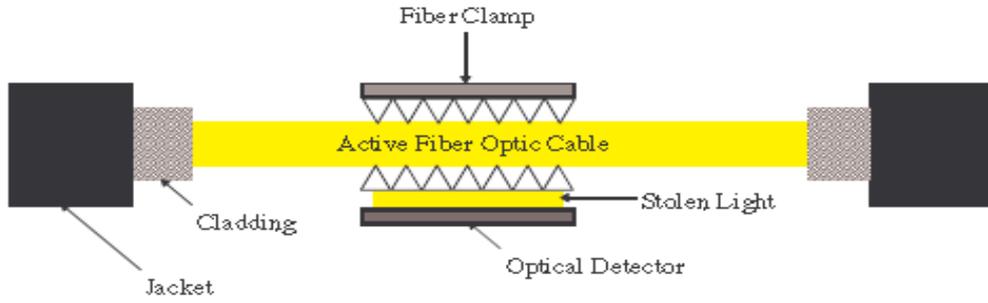
الشكل(4). عملية الاختراق بواسطة ثني الليف

تعد هذه الطريقة صعبة التنفيذ وتحتاج حرفة عالية، كما أن نجاح عملية الاختراق يتطلب معرفة مسبقة ببنية نظام الاتصالات كاملة ( ترميز كشف الخطأ، التعديل، ...)، ما يميز هذه الطريقة هو تناقص الاستطاعة بالتالي يمكن عن طريق مراقبة الاستطاعة الضوئية في طرف الاستقبال كشف هذه الحالة .

إن ثني الليف لا يؤدي فقط إلى تناقص قيمة الاستطاعة المستقبلية (بوصفها قيمة متوسطة)، وإنما إلى تغيير التوزيع المكاني للكثافة الضوئية المستقبلية، حيث سيؤدي تغيير زاوية الانعكاس عند منطقة الانحناء سيؤدي إلى تغيير مسارات انتشار الأشعة الضوئية وبالتالي لوصولها بأزمنة وزوايا مختلفة في جهة المستقبل، بالتالي فإن مراقبة توزع الاستطاعة المستقبلية يساهم أيضاً في تعزيز الحماية ضد هذا النوع من الاختراقات. مما سبق نجد أن الحماية من هذا النوع من الاختراق يمكن أن تتم من خلال مراقبة كل من الاستطاعة الضوئية المستقبلية وتوزعها مكانياً.

### ➤ الاختراق الفيزيائي المباشر لليف:

تحدث عملية الاختراق intrusion في هذه الطريقة بتركيب وصلة مباشرة على الليف، ويتم ذلك بتقشير لحاء الليف ومن ثم توصيل ليف جديد. كما يمكن أن تتم عملية الاختراق بواسطة clamp لاقط يخترق لب الليف ويسبب نفاذ جزء من الطاقة الضوئية إلى المستقبل كما هو موضح في الشكل (5).



الشكل(5) اختراق الليف بواسطة اللاقط [6]

إن الاضطرابات perturbation التي يحدثها اللاقط على سطح الليف مشابهة لتلك الناتجة من Microbending، وبالتالي يمكن بالاعتماد على نظرية الأنماط المقترنة mode coupled تحديد الاستطاعة المتسربة من الليف التي تحدث فقط عند أطوال الموجة المرتبطة مع فترة الاضطراب. إن طول الارتباط (فترة الاضطراب) الذي يربط فيه الضوء بين نمطين، يجب أن يساوي تقريباً نسبة طول الموجة المنتشرة ضمن الليف إلى الفرق بين عاملي الانكسار لللب واللاقط وفق العلاقة التالية [12]:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{n_{core} - n_{clamp}} \quad (2)$$

$\Lambda$ : فترة الاضطراب.

$\lambda$ : طول موجة الضوء المنتشر.

$n_{core}$ : عامل الانكسار لللب.

$n_{clamp}$ : عامل الانكسار للاقط.

تتميز هذه الطريقة بأنها تتطلب دقة عالية في التنفيذ لكن أدوات التنفيذ رخيصة ومتوافرة بكثرة. تؤدي عملية الاختراق بهذه الطريقة إلى تناقص في قيمة الاستطاعة المستقبلية، تغير في توزع الاستطاعة الضوئية، إضافة ضجيج إلى الاستطاعة الضوئية المستقبلية ناتج من تغير في قيمة قرينة الانكسار refractive index في اللب في منطقة الاختراق يؤدي هذا الضجيج بدوره إلى زيادة معدل الخطأ في نظام اتصالات الألياف الضوئية، بالتالي يمكن الحماية ضد هذا النوع من الاختراق بمراقبة كل من مستوى الاستطاعة الضوئية المستقبلية وتوزعها مكانياً، وكذلك بمراقبة معدل الخطأ في نظام الاتصالات [8].

#### 4. بنية نظام الحماية المقترح :

من خلال الدراسة النظرية واعتماداً على المراجع العلمية الاختصاصية والحديثة [5][6][7] [8][9][10][11]&[12] تبين لنا أنه لتأمين حماية الليب الضوئي من الاختراق يجب دراسة النقاط الأساسية التالية ومراقبتها لأنها تلعب الدور العملي في ضمان كشف الاختراقات وهي :

#### 4-1 - مراقبة الاستطاعة الضوئية:

تعتمد هذه الطريقة على استخدام حساسات sensors لقياس الاستطاعة الضوئية تُركَّب عند نهاية الليف الضوئي [9] وفي مركزه تحديداً، حيث تتركز الاستطاعة وتتناقص عند الأطراف. لتنفيذ المراقبة يتم تحديد عتبة تنبيه مرجعية بحيث إنه إذا حدث انخفاض في قيمة الاستطاعة المستقبلية عن هذا الحد تكون حالة الاختراق مؤكدة ضمن مجال القياس المراقب .

ما هي قيمة عتبة التنبيه هذه وكيف تحدد ؟

لنفترض أنه لدينا نظام اتصالات باستخدام ألياف ضوئية، وأن الليف المستخدم بطول يساوي  $L$ [Km]

ويعامل تخامد  $\alpha$ [dB/Km]

استطاعة الإرسال هي  $P_t$ [dB]

عندئذ تكون قيمة الاستطاعة المستقبلية  $P_r$  تعطى بالعلاقة التالية:

$$P_r = P_t(3) - L \cdot \alpha$$

#### 4-2 - مراقبة توزع الاستطاعة الضوئية مكانياً:

تتم عملية المراقبة باستخدام مجموعة من حساسات الاستطاعة بحيث يتم تحديد توزع الاستطاعة الضوئية بشكل مرجعي عند تركيب الليف ويعتمد ذلك على حل معادلات ماكسويل ضمن الليف، فإذا كان الليف المستخدم وحيد النمط فإن النمط المنتشر هو LP01، ويتبع توزع ببسل من النوع الأول والدرجة الأولى، بعدها يتم بشكل مستمر مراقبة قيم الاستطاعة الضوئية المستقبلية في الحساس ومقارنتها مع الحالة المرجعية، يتم إعطاء تنبيه عند التغير في توزع الاستطاعة الضوئية. تعطى حلول معادلة انتشار الضوء ضمن النواة بتتابع ببسل من النوع الأول [10] التي لها الصيغة التالية:

$$J = Bessel(x * v) \quad (4)$$

حيث

$$Bessel_{\eta}(y) = \left(\frac{y}{2}\right)^{\eta} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{y^2}{4}\right)^i}{i! \Gamma(\eta+i+1)} \quad (5)$$

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{a-1} dt \quad (6)$$

$$v = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_c^2 - n_g^2} \quad (7)$$

$\eta$ : درجة تابع بيسل.

$v$ : تردد القطع المقيس.

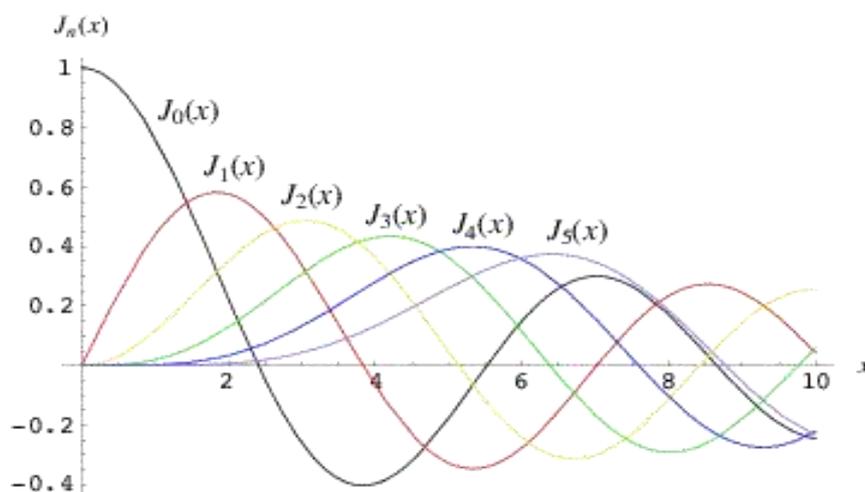
$a$ : نصف قطر اللب للليف.

$\lambda$ : طول الموجة المستخدم.

$n_c$ : عامل الانكسار اللب.

$n_g$ : عامل الانكسار للغلاف.

يوضح الشكل (6) توابع بيسل Bessel من النوع الأول والدرجات المختلفة التي تتغير تبعاً لعدة عوامل مثل عامل الانكسار للنواة أو الغلاف، قطر النواة، طول الموجة وهو ما يحدث عند حدوث الاختراق، إذ سيؤدي اختلاف أحد هذه العوامل إلى تغيير النمط المنتشر ضمن الليف.

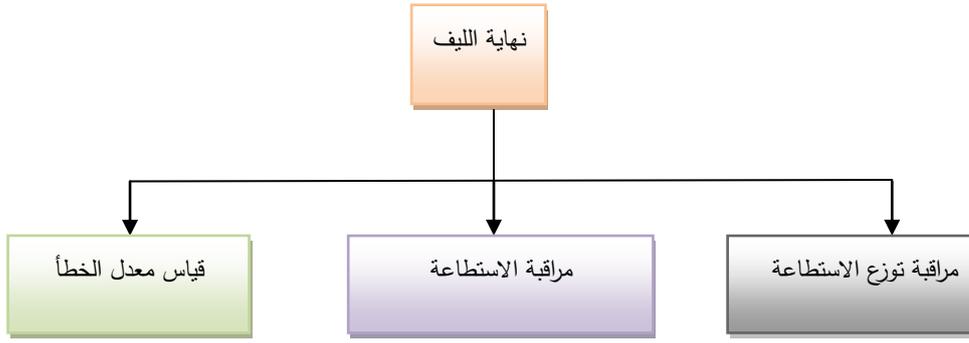


الشكل(6).رسم تحليلي لتوابع بيسل من النوع الأول

#### 3-4 - مراقبة معدل الخطأ:

إن معدل الخطأ المقبول في أي نظام اتصالات يتم تحديده حسب نوع المعلومات المنقولة ضمن هذا النظام وأهميتها ويتم تقدير معدل الخطأ باستخدام ترميز كشف الخطأ وتصحيحه , ويعطي النظام تنبيهاً عند زيادة معدل الخطأ عن المعدل المحدد.

بناءً على ما سبق فإننا نقترح المخطط الصندوقي المبين في الشكل (7) لنظام كشف الاختراق:



الشكل (7). المخطط الصندوقي لنظام كشف الاختراق

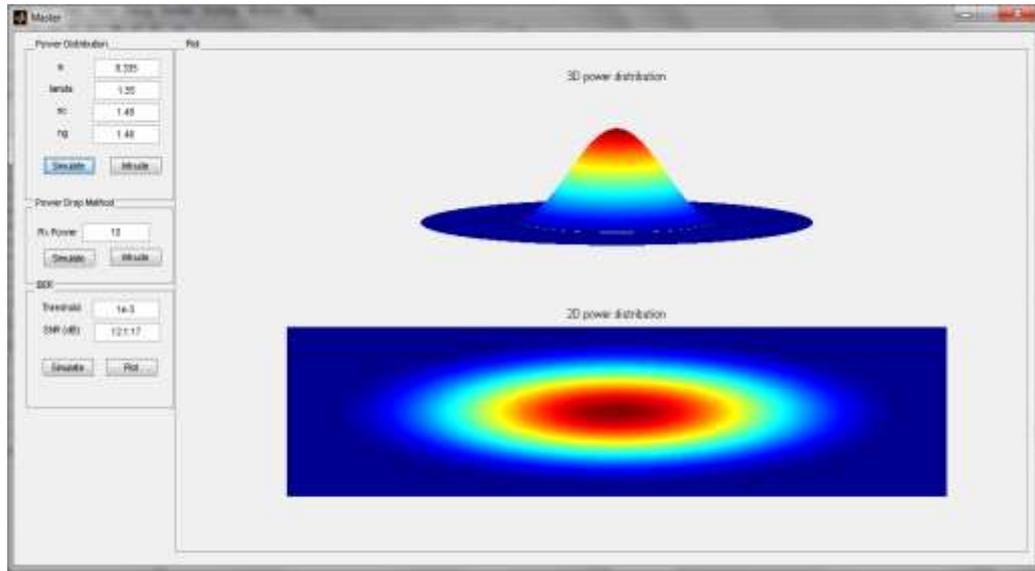
### النتائج والمناقشة:

#### 5-1- تمثيل توزع الاستطاعة الضوئية مكانياً عند نهاية الليف:

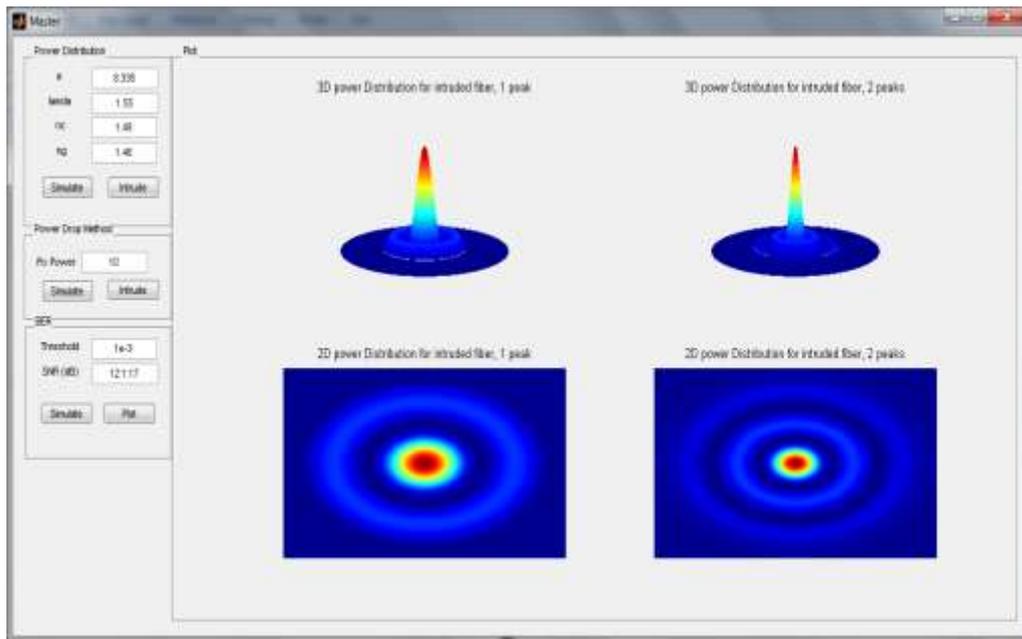
بينت نتائج المحاكاة التي أجريت على انتشار الضوء ضمن الليف الضوئي وحيد النمط وفقاً لما هو مبين في الشكل (8) ووفقاً للمعادلة (1) ما يلي :

- الاستطاعة الضوئية أعظمية في مركز الليف وتتناقص تدريجياً باتجاه الحواف.
- حدوث تغيير في توزع الاستطاعة عند حدوث الاختراق.
- القيمة العظمى للاستطاعة تبقى متمركزة في نهاية الليف، لكن تظهر قيم محلية عظمى باتجاه حواف الليف وذلك حسب عدد الأنماط المنتشرة.

إن تغيير توزع الاستطاعة ينتج من تغير نمط الانتشار ضمن الليف، سواء نتيجة الثني أو اللحام ويتم ضمن برنامج المحاكاة إدخال بارامترات الليف عوامل الانكسار للنواة والغلاف إضافة لطول الموجة المستخدمة وقطر النواة، إذ يقوم البرنامج بحساب تردد القطع المقيس والمحدد بالمعادلة (7) ثم من تردد القطع يمكن أن نحدد عدد الأنماط المنتشرة، وبالتالي توزع الاستطاعة على كامل سطح الليف. بفرض أن الليف المستخدم وحيد النمط بالتالي سيكون التوزيع كما في الشكل (8) استطاعة عظمى في المركز تتناقص باتجاه الغلاف والنمط المنتشر هو LP01، ويكون عندها تردد القطع المقيس  $> 2.405$ ، يؤدي تغير تردد القطع المقيس نتيجة الاختراق إلى انتشار أنماط أخرى وظهور قمم ثانوية ضمن نواة الليف وهذا ما يستدل عليه من انتشار النمط LP02 مثلاً التي من خلالها نكتشف حدوث الخرق بوضوح الشكل (9) ظهور القمم الثانوية، تمت المحاكاة باستخدام البيئة البرمجية Matlab .



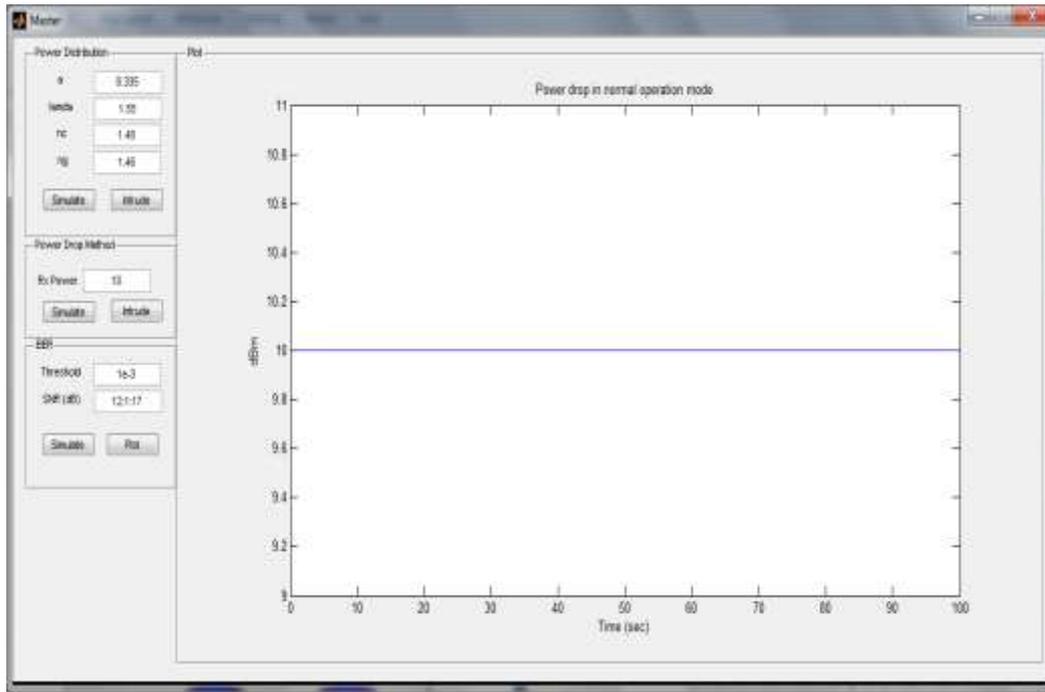
الشكل (8) توزيع الاستطاعة ضمن النواة لليف وحيد النمط



الشكل (9) ظهور القمم الثانوية نتيجة حدوث الاختراق

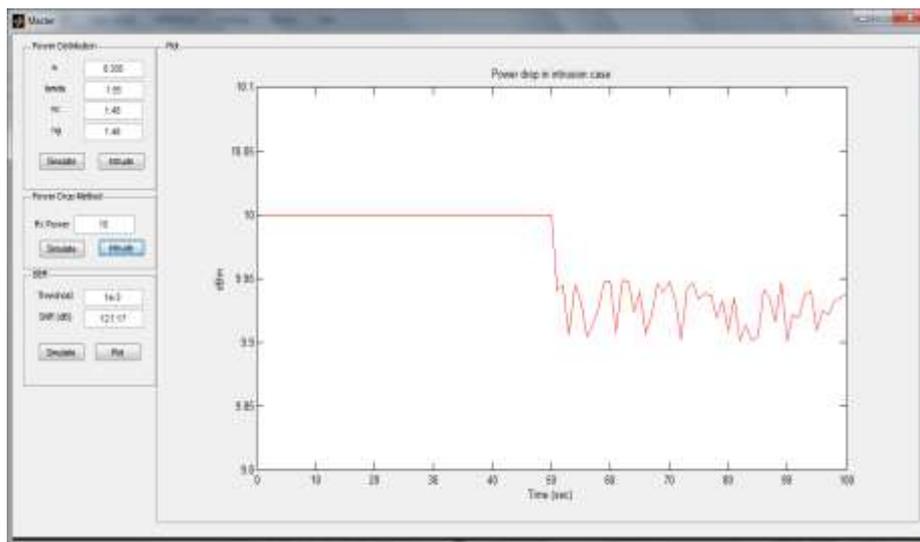
## 2-5 تمثيل توزيع الاستطاعة الضوئية مكانياً عند نهاية الليف:

قبل أن يتم وضع نظام الاتصالات في الخدمة يتم إجراء عمليات الاختبار على الاستطاعة المرسله لكي يتم تحديد عتبة الاستقبال الدنيا المسموح بها التي تحدد ظروف العمل الطبيعي ,بعد وضع العتبات يتم وضع حساس الاستطاعة في المستقبل عند القيمة المطلوبة التي يقبل من أجلها خطأ النظام. يمكن اعتبار الاستطاعة الضوئية للنبضة المستقبلية ثابتة ضمن ظروف العمل الطبيعي كما هو موضح بالشكل (10) و الناتج عن استخدام البيئة البرمجية Matlab .



الشكل (10). الاستطاعة المستقبلية في حالة العمل الطبيعي

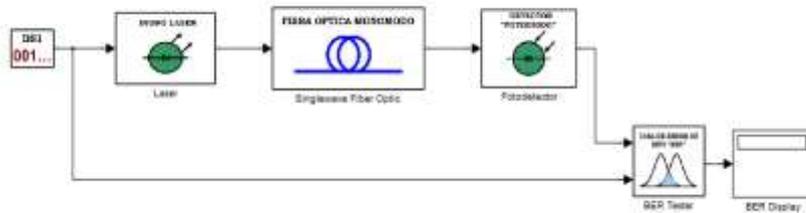
يؤدي حدوث خلل ضمن الليف إلى تناقص في قيمة الاستطاعة وبالتالي لحدوث تنبيه الاختراق .  
 يبين الشكل (10) محاكاة حدوث الخرق، يجب الأخذ بعين الاعتبار عتبات التنبيه الخاطئ false alarm ودراسة كافة الظروف المحيطة بالليف لتقليلها قدر الإمكان.  
 يتيح البرنامج إدخال العتبة المسموح عندها حدوث التنبيه التي يمكن من خلالها التحكم بدرجة حساسية جهاز الاستقبال.



الشكل (11). الاستطاعة المستقبلية في حال وجود اختراق

### 3-5- محاكاة نظام اتصالات ضوئي:

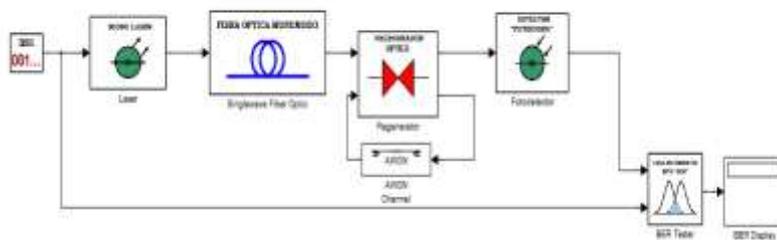
يبين الشكل (12) مخططاً صندوقياً لبنية نظام اتصالات يعتمد على الألياف الضوئية سوف نستخدمه لدراسة العلاقة بين نسبة الإشارة إلى الضجيج ومعدل الخطأ المسموح به بعد إرسال عدد محدد من البتات وإضافة ضجيج إلى القناة.



الشكل (12). بنية نظام اتصالات ضوئي

يتألف هذا النظام من:

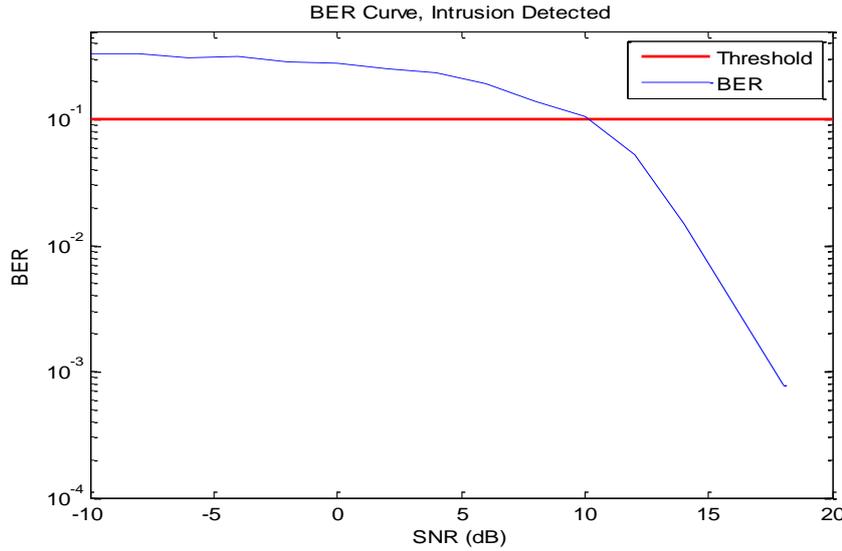
1. مصدر معلومات: منبع معلومات رقمي يمثل المعلومات التي يتعامل معها النظام.
  2. مرسل ضوئي: في النظام المبين أعلاه هو عبارة عن ديود ضوئي، مهمة المرسل تحويل الإشارة الرقمية إلى إشارة ضوئية، يتم ذلك باستعمال طرق التعديل الضوئي، التعديل في حالتنا هو (Keying هو OOK On/Off)، طول الموجة المرسلة 1550 nm.
  3. الليف الضوئي: وهو وسط الانتشار ويكون بتخامد منخفض كما أنه يتمتع بعازليه مرتفعة جداً تسمح بحماية الأشعة الضوئية من التداخل الخارجي.
  4. المستقبل الضوئي: مهمته تحويل الأشعة الضوئية المستقبلية إلى إشارة رقمية ذات معنى.
  5. مقياس معدل الخطأ: هو المستقبل الإلكتروني الرقمي عند نهاية النظام.
- تكون قيمة معدل الخطأ مساوية للصفر في الحالة المثالية، عند إضافة ضجيج إلى القناة يؤدي ذلك إلى تغير القيمة كما هو موضح بالشكل (13)



الشكل (13). المخطط الصندوقي لنظام الاتصالات في حالة وجود ضجيج

تتم عملية المحاكاة لهذا النظام باستخدام برنامج Matlab، حيث يتم إدخال قيمة العتبة المسموحة لخطأ البتات المستقبلية كما يتم إدخال مجال تغير نسبة الإشارة إلى الضجيج. النتيجة التي نحصل هي منحنى أداء نظام الاتصالات الضوئي وهي مبينة في الشكل (14) من أجل قيم نسبة إشارة للضجيج تنتمي للمجموعة {20, ..., -10}. من أجل معدل

خطاً ثابت للنظام فإن جميع القيم التي تقع تحت قيمة العتبة لا يتم إصدار تنبيه من أجلها أما القيم التي تقع فوق العتبة والتي تتخفف من أجلها نسبة الإشارة إلى الضجيج عن القيمة المسموحة يصدر النظام تنبيهاً بوجود خرق. يؤدي الاختراق إلى إضافة ضجيج إلى الإشارة المنقولة ضمن الليف، كما سيؤدي إلى خسارة جزء من طاقتها، ينتج من ذلك تناقص نسبة الإشارة إلى الضجيج، وبالتالي زيادة BER، عندما تتجاوز هذه القيمة العتبة المسموحة من قبل الشبكة يعطي النظام تنبيهاً بوجود خرق (صوتي - ضوئي).



الشكل (14). منحنى معدل الخطأ بدلالة نسبة الإشارة للضجيج

## 6. تحديد مكان حدوث الاختراق ضمن الليف :

من أجل زيادة موثوقية نظام الاتصالات تقتضي الحاجة تحديد مكان الاختراق بعد أن تم الكشف عنه، سنعتمد خلال عملية المحاكاة على بيئة (C#) Net. حيث سنقوم بتمثيل الليف الضوئي، كما هو موضح بالشكل (15). تسهل لغة البرمجة C# التعامل مع موارد النظام ومختلف أجهزة الهاردوير hardware، حيث تم الاستعانة ضمن البرنامج بإمكانية استخدام الفأرة mouse من أجل تحديد مكان الاختراق، وذلك بالنقر على المستطيل الممثل لليف الضوئي، مكان النقر يحدد مكان حدوث الاختراق ليقوم البرنامج بعدها بحساب مسافة الاختراق.

يقوم مبدأ تحديد المسافة ضمن الليف على إرسال نبضة ضوئية باستطاعة عالية ثم استقبال الإشارة المنعكسة [11]، الفاصل الزمني بين النبضة المرسل والمستقبلة يحدد المسافة المقطوعة، علماً أن الضوء ينتشر ضمن الليف بسرعة تساوي سرعة انتشار الضوء في الخلاء مقسومة على قرينة انكسار اللب [12]، قيمة الاستطاعة تحدد نوع الاختراق، تحسب الاستطاعة المستقبلية من العلاقة:

$$P_r = P_t - 2 * L * \beta - P_{loss} \quad (8)$$

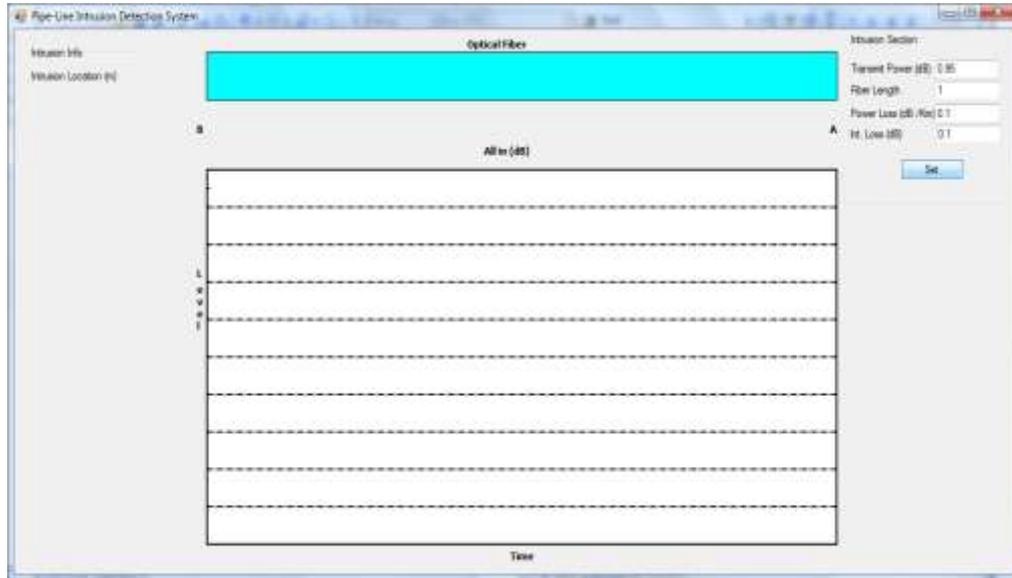
$P_r$  : الاستطاعة المستقبلية.

$P_t$  : الاستطاعة المرسلية.

L: طول الليف يقدر بـ Km.

$\beta$ : معامل التخماد لليف ويقدر بـ dB/Km.

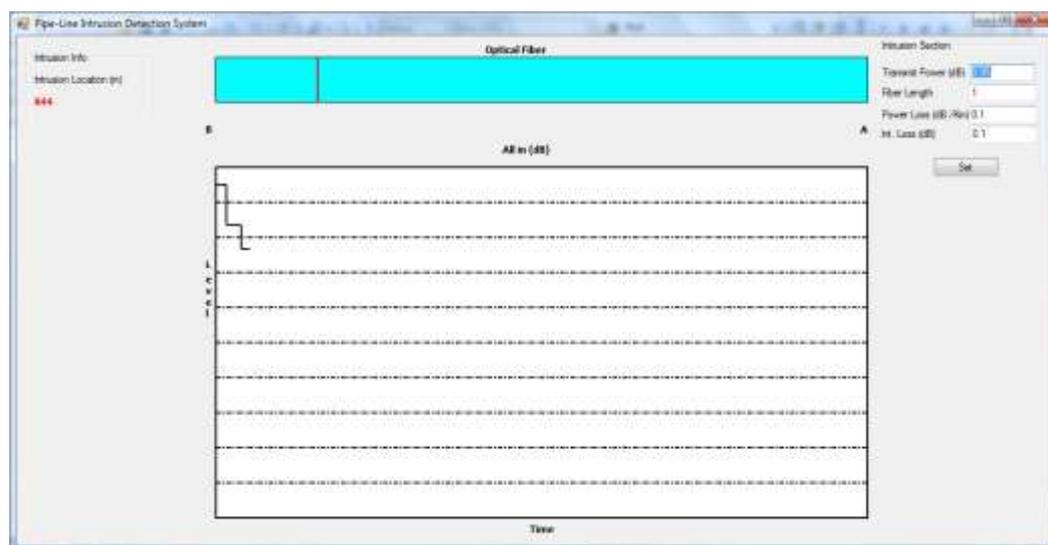
$P_{loss}$ : الضياع الناتج من الاختراق.



الشكل (15). واجهة البرنامج باستخدام لغة c#

معاملات المحاكاة:

قرينة انكسار اللب  $n_c$ , معامل التخماد في الليف  $\beta$  مقدرا بـ dB/Km, طول الليف  $L$  مقدرا بـ Km, في حال وجود فقد في الاستطاعة  $P_{loss}$  ناجم عن الاختراق يتم إدخال هذه القيمة مقدرة بـ dB, قيمة استطاعة الإرسال  $P_t$  مقدرة بـ dB. يقوم البرنامج بتحديد مكان حدوث الاختراق وذلك بمحاكاة عملية الاختراق بالنقر على الليف الضوئي، وعندها ستظهر المسافة التي حصل عندها الخطأ، وكذلك تغيرات الاستطاعة المستقبلية، كما هو موضح بالشكل التالي (16).



الشكل (16). قياس المسافة وتحديد قيمة الاستطاعة

### الاستنتاجات والتوصيات :

- لقد قمنا بدراسة الطرق المتبعة للقيام بعمليات الاختراق على الألياف الضوئية، ونجحنا بإيجاد طرق وخوارزميات لكشف هذه العمليات عن طريق الاستطاعة الضائعة وتغير توزيع الأنماط إضافة لمراقبة خطأ البتات الناتج من عملية الخرق .
- بعد عملية الكشف قمنا بالمحاكاة لتحديد مكان حدوث الاختراق وشكل الاستطاعة المستقبلية الناتجة.
- يمكن الاستعانة بأحد الطرق السابقة المستخدمة للكشف وتطبيقها على الشبكات العملية كما يمكن استخدام أكثر من طريقة في الوقت نفسه.
- يؤدي استخدام تقنية الكشف ضمن الشبكات الضوئية إلى زيادة موثوقية الاتصال وخاصة للأماكن التي تتطلب اتصالاتها سرية عالية.
- يمكن الاستفادة من تقنية wdm بإرسال نبضة ضوئية بشكل منفصل عن القنوات المخصصة للاتصال إذ يمكن من خلالها تحديد مكان الاختراق بشكل فوري update detection عند جهة المرسل.
- يمكن الاستعانة بتقنية الاتصال المزدوج لإرسال إشارة إلى جهة المرسل لقطع الاتصال في حال الكشف عن حدوث اختراق.

## المراجع:

- [1] GHATAK, J. and THYAGARAJAN, K. *Introduction to Fiber Optics*. Cambridge University Press, New Delhi, 1997,565.
- [2] BORN, M. and WOLF, E. *Principles of Optics* . 7th ed., Cambridge University Press, New York, 1999 , 986.
- [3] ELLIOTT, B; GILMOR, M. *Fiber Optic Cabling*. 2<sup>nd</sup> ed., Newens, Oxford, Auckland, Boston, Johannesburg, Melbourne, New Delhi,2002,318.
- [4] KELLEY, P. L; KAMINOW, I. P; AGRAWAL, G. P. *Nonlinear Fiber Optics*. 3<sup>rd</sup> ed., Academic Press A Harcourt Science And Technology Company, San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney & Tokyo, 2002, 467.
- [5] BAILEY, D; WRIGHT, E. *Practical Fiber Optics*. Newens, Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, Singapore, Sydney, Tokyo, 2003, 260.
- [6] Oyster Optics, Inc. *Securing Fiber Optic Communications against Optical Tapping Methods*. February 19, 2003.
- [7] JAY, J, A. *An Over View of Macrobending and Microbending of Optical Fibers*, Corning, 2010, 21.
- [8] EL-SHERIF, M; BANSAL, L; YUAN, J. *Fiber Optic Sensors for Detection of Toxic and Biological Threats*. MDPI U. S. A, 7, 2007, 3100-3118.
- [9] To So Yu, F; YIN, S. *Fiber Optic Sensors*. Marcel Dekkeir Inc, New York & Basel, 2002, 494.
- [10] Abramowitz, M. and Stegun, I, A., *Handbook of Mathematical Functions*, Dover, New York, 1965.
- [11] ANDERSON, F. R; JONSON, L; BELL, F. G. *Troubleshooting Optical-Fiber Networks*. 2<sup>nd</sup> ed, Elsevier Academic Press, Amsterdam, Boston, Heidelberg, London New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo, 2004, 563.
- [12] HUI, R; O'SULLIVAN, M. *Fiber Optic Measurement Techniques*. Elsevier Academic Press, USA, 2009,636.