

Propuesta de un mecanismo dinámico que permita contrarrestar el efecto de FWM en una red MLR-PON



Monografía para optar por el título de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Modalidad Trabajo de Investigación

Santiago Sánchez Echavarría
Andrés Felipe Diago Matta

Tutores:

Phd. Jose Giovanni López Perafán
Phd. Carlos Andres Martos Ojeda

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones
Programa de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones
Grupo de investigación de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - GNTT
Popayán, 28 de noviembre de 2023

TABLA DE CONTENIDO

1. Introduction	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. METODOLOGÍA	3
2. CONCEPTOS Y TECNOLOGÍAS	4
2.1. Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM)	4
3. VULNERABILIDADES EN APLICACIONES WEB	5
4. DISEÑO DEL PROCESO	6
4.1. REFERENCIAS	7

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FIGURAS

CNPq	–	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DS	–	Desenvolvimento Sustentável
ITV	–	Instituto Tecnológico Vale
MI	–	Mineração
UFOP	–	Universidade Federal de Ouro Preto

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Introduction

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El avance tecnológico en las comunicaciones ópticas ha permitido la transmisión de grandes cantidades de información a través de redes de fibra óptica. Estas redes, pese a sus numerosas ventajas, enfrentan desafíos significativos derivados de fenómenos no lineales. Debido a que, a medida que la señal óptica se propaga por la fibra, hay una interacción entre la luz y el material de la fibra. Estos efectos no lineales son especialmente relevantes en los sistemas de Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*), donde múltiples canales de diferentes longitudes de onda se transmiten simultáneamente con poca separación entre ellos. Uno de los factores críticos es la intensidad óptica, puesto que, a medida que esta aumenta, los efectos no lineales se vuelven más pronunciados. La alta intensidad óptica generada por la propagación simultánea de numerosos canales de alta potencia en la fibra puede desencadenar en distintos fenómenos críticos que afectan la comunicación óptica. [1] [2].

Dentro de estos efectos no lineales, se tiene el caso de la Mezcla de Cuatro Ondas (FWM, *Four Wave Mixing*), el cual es un efecto óptico no lineal de tercer orden, que ocurre cuando dos o más señales ópticas de frecuencias centrales diferentes que se propagan en una misma fibra, que generan una mezcla entre ellas y generando nuevas componentes de frecuencia en la señal óptica o nuevas longitudes de onda, llamadas armónicos, que tienen una frecuencia igual a la suma o la diferencia de las frecuencias de las ondas originales. Por esta razón, la FWM es el mayor efecto de ruido en sistemas WDM que emplean Asignación de Canales Igualmente Espaciados (ECS, *Equal Channel Spacing*), ya que, dos o más longitudes de onda (o frecuencias) se combinan y producen varios productos de mezcla [3]. En las redes de multiplexación por longitud de onda pasiva reconfigurable (MLR-PON, *Multi-Level Resilience Passive Optical Network*), la FWM puede ser particularmente problemática, debido a que, las señales de los diferentes usuarios se superponen en el mismo espacio.

En la búsqueda de soluciones para reducir los efectos no lineales, como la FWM en sistemas ópticos WDM, se han propuesto diferentes enfoques, entre ellos, algoritmos de Asignación de Canales Desigualmente Espaciados (USCA, *Unequally Spaced*

Channel Assignment). Estos algoritmos han demostrado ser prometedores en la supresión de la diafonía generada por las señales FWM.

Para contrarrestar el efecto de la FWM, es esencial una asignación eficiente de canales en la fibra óptica. Aquí es donde las reglas de Golomb entran en juego. Estas reglas, desarrolladas originalmente en el contexto de la teoría de números, definen conjuntos de números enteros con la particularidad de que todas las sumas o diferencias de dos elementos son distintas. Este principio resulta de especial interés para la asignación de canales, puesto que, al garantizar distancias distintas entre las frecuencias, se puede mitigar el efecto de la FWM.

Sin embargo, el uso de reglas de Golomb para la asignación de canales no es trivial. El proceso de búsqueda y definición de estas reglas es computacionalmente desafiante, y la tarea se torna aún más compleja a medida que se buscan conjuntos de mayor tamaño.

Con ello, surge la necesidad de proponer un mecanismo dinámico que, aprovechando las propiedades matemáticas de las reglas de Golomb, permita contrarrestar el efecto de la FWM en redes MLR-PON de manera eficiente y adaptable a diferentes condiciones y requerimientos de la red.

Para los canales WDM uniformemente espaciados, los términos del producto FWM generados caen sobre otros canales activos en la banda, lo que provoca una diafonía entre canales. El rendimiento puede mejorarse sustancialmente si se evita la generación de diafonía FWM en las frecuencias del canal. Es por esto que si la separación de frecuencia de cualquier par de canales de un sistema WDM óptico es diferente de la de cualquier otro par de canales, no se generarán señales de diafonía FWM en ninguna de las frecuencias del canal [3]. Por lo tanto, la supresión de la FWM puede tener implicaciones prácticas significativas en los sistemas WDM. Por ejemplo, una reducción en la interferencia de FWM puede permitir el uso de canales más densamente espaciados en el espectro óptico, lo que aumenta la capacidad del sistema. Además, la supresión de la FWM puede mejorar la calidad de la señal, reducir la tasa de errores de bit y aumentar la distancia de transmisión.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, se propone el diseño de un algoritmo soportado en la asignación de canales con espaciado desigual para contrarrestar la diafonía FWM en una red óptica.

En este contexto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Es posible contrarrestar los efectos de la FWM utilizando un mecanismo dinámico basado en la asignación desigual de canales?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Proponer un mecanismo dinámico con enfoque en la asignación de canales desigualmente espaciados para contrarrestar los efectos de la mezcla de cuatro ondas en una arquitectura de red MLR-PON.

1.2.2. Objetivos específicos

- Diseñar a nivel de simulación y en un ambiente controlado una arquitectura de red MLR-PON.
- Definir un algoritmo matemático basado en un mecanismo dinámico para contrarrestar los efectos de la mezcla de cuatro ondas.
- Analizar comparativamente el efecto de la inclusión del mecanismo propuesto.

1.3. METODOLOGÍA

Con respecto a la metodología, se ha decidido utilizar la metodología en cascada, la cual es un enfoque secuencial que permite dividir el proyecto en fases bien definidas. Cada fase debe ser completada antes de avanzar a la siguiente, siguiendo un flujo de trabajo lineal. Aunque esta metodología es ampliamente utilizada en el desarrollo de software, también puede ser aplicada a otros tipos de proyectos.

Capítulo 2

CONCEPTOS Y TECNOLOGÍAS

Una vez definido el motivo y los objetivos del trabajo y antes de dar un enfoque directamente sobre el problema, es necesario saber la situación actual del mismo. Comprender el objetivo, las tecnologías y arquitecturas utilizadas, es esencial para conocer el contexto del problema. En este capítulo hablaremos sobre los conceptos principales que se van a tratar a lo largo del proyecto.

2.1. Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM)

Capítulo 3

VULNERABILIDADES EN APLICACIONES WEB

Capítulo 4

DISEÑO DEL PROCESO

4.1. REFERENCIAS

Bibliografía

- [1] J. Toulouse, «Optical Nonlinearities in Fibers: Review, Recent Examples, and Systems Applications,» *Journal of Lightwave Technology*, vol. 23, n.º 11, págs. 3449-3465, 2005.
- [2] S. P. Singh y N. Sing, *Nonlinear effects in optical fibers: Origin, management and applications*, Department of Electronics and Communication University of Allahabad, 2007.
- [3] S. Bansal, «A Comparative Study of Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms in Search of Near-to-optimal Golomb Rulers for the FWM Crosstalk Elimination in WDM Systems,» Electronics y Communication Engineering Department, Punjab Engineering College, 2019.