

Resumen

Los sistemas ópticos no-coherentes se emplean actualmente en redes ópticas de corto alcance y cubren distancias de transmisión que van desde 100 metros o menos hasta 100 km. El formato más común que se encuentra actualmente en el estado del arte comercial se corresponde con sistemas con multiplexación por división de onda (WDM, *wavelength division multiplexing*) de cuatro longitudes de onda (λ) a 100 Gbps ($4\lambda \times 25$ Gbps). En los últimos años, las transmisiones ópticas no coherentes están evolucionando de 100 Gbps a 400 Gbps (100 Gbps por λ). Dado que el mercado de sistemas ópticos de corto alcance comprende un volumen muy grande de unidades desplegadas (en comparación con el mercado de sistemas de transmisión a larga distancia), el coste por unidad es muy importante y debe ser lo más bajo posible. El régimen binario de 100 Gbps / λ pueden lograrse empleando componentes de gran ancho de banda y altas prestaciones; sin embargo, esto elevaría significativamente el coste de los transceptores ópticos no coherentes, limitando la viabilidad comercial de esta solución. Otro enfoque es utilizar componentes disponibles comercialmente de relativamente bajo coste y, posteriormente, mejorar las prestaciones del sistema mediante procesado de señal digital (DSP, *digital signal processing*) o analógico al sistema. El objetivo de esta tesis es examinar algunas de las técnicas de procesado más comunes utilizadas en sistemas ópticos no-coherentes y también investigar algoritmos novedosos que podrían aplicarse al escenario descrito anteriormente. Para que una técnica DSP sea considerada viable para la red WDM no coherente, tiene que mitigar de manera efectiva al menos uno de las tres limitaciones principales que afectan a dichos sistemas, que son las siguientes: limitaciones de ancho de banda, limitaciones por dispersión cromática (CD, *chromatic dispersion*) y el ruido, considerando tanto el ruido óptico generado por los amplificadores ópticos como el ruido eléctrico generado por los componentes eléctricos presentes en el sistema.

En esta tesis se examinan una serie de algoritmos DSP, su rendimiento se analiza mediante simulaciones y también de manera experimental en laboratorio. Para cada algoritmo, se describe cómo generar / usar dicho algoritmo y a continuación se procede a evaluar sus ventajas y desventajas. A continuación, se proporciona una lista que detalla todas las técnicas DSP que se presentan en esta tesis (en orden de aparición):

- *Feed-forward equalizer* (FFE): este es el ecualizador más común y se emplea básicamente en todas las transmisiones ópticas no coherentes de alta velocidad. Es fácil de implementar y puede compensar grandes limitaciones en el ancho de banda. Su eficiencia se escala logarítmicamente con su complejidad.
- Estimación de la secuencia de máxima verosimilitud (MLSE, *maximum likelihood sequence estimation*): el MLSE es el detector óptimo y, por lo tanto, proporciona las mejores prestaciones en detección cuando se abordan las limitaciones por CD y de ancho de banda. Su principal inconveniente es la alta complejidad, que crece exponencialmente con incrementos lineales frente a las limitaciones por CD o ancho de banda.

- Conformación de constelaciones geométricas: en los esquemas de modulación de intensidad multinivel, la distancia entre los niveles de amplitud se puede ajustar adecuadamente (de manera que no son equidistantes) a fin de aumentar la tolerancia frente a la relación señal a ruido.
- Conformación probabilística: otra técnica diseñada específicamente para esquemas de modulación multinivel. Esta técnica ajusta la probabilidad de cada nivel de amplitud de modo que se incremente la tolerancia al ruido óptico.
- Señalización de respuesta parcial (PRS, *partial-response signalling*): este es un enfoque DSP donde una interferencia entre símbolos controlada (ISI, *inter-symbol interference*) se introduce intencionalmente de tal manera que la señal resultante requiere menos ancho de banda. Su forma más común es la señalización duobinaria (DB), que en conjunto con la FFE puede reducir significativamente los efectos de las restricciones de ancho de banda en el sistema de transmisión. La técnica PRS se puede personalizar para combatir también el efecto de CD, lo que permite aumentar las distancias de transmisión en sistemas ópticos no coherentes hasta tres veces.
- Pre-énfasis digital (DPE, *digital pre-emphasis*): esta técnica consiste en aplicar el inverso de la función de transferencia del sistema a la señal en el lado del transmisor, lo que reduce el impacto de las limitaciones de ancho de banda en la señal en el lado del receptor.
- Modulación codificada Trellis (TCM, *Trellis-coded modulation*): esquema de modulación que combina elementos de corrección de errores (FEC, *forward-error correction*) con técnicas de partición de conjuntos y modulación multidimensional para generar una señal más resistente al ruido. En el lado negativo, este esquema de modulación aumenta la sensibilidad a ISI.

Al utilizar las técnicas DSP enumeradas anteriormente, es posible lograr un régimen binario de transmisión óptica de $100 \text{ Gbps} / \lambda$ cuando empleando componentes de bajo costo. En esta tesis se demuestran incluso regímenes binarios de más de 200 Gbps, lo que indica que el enfoque no coherente es una solución viable para la próxima generación de transceptores ópticos WDM funcionado a 800 Gbps ($4\lambda \times 200 \text{ Gbps}$)