

# Técnicas de Procesado Vectorial Fotónico de Señales de Radiofrecuencia

El procesamiento de señales de radiofrecuencia (RF) utilizando medios fotónicos es una disciplina que apareció casi al mismo tiempo que el láser y la fibra óptica. La fotónica ofrece la capacidad de manipular señales de radiofrecuencia de banda ancha, una baja atenuación, procesados basados en una amplia variedad de fenómenos lineales y no lineales y, recientemente, el potencial para implementar subsistemas fotónicos integrados. Estas características ofrecen un gran potencial para la implementación de múltiples funcionalidades incluyendo transporte óptico, conversión de frecuencia, filtrado óptico de RF, multiplexación y demultiplexación de señales, encaminamiento y conmutación, muestreo óptico, generación de tonos, líneas de retardo, conformación de haz en agrupaciones de antenas o generación fotónica de modulaciones digitales, e incluso una combinación de varias de estas funcionalidades. Esta tesis se centra en la aplicación del procesamiento vectorial en el dominio óptico de señales de radiofrecuencia en dos campos de aplicación: la conformación óptica de haces y la modulación y demodulación vectorial fotónica de señales digitales en cuadratura. El control fotónico vectorial permite manipular la amplitud y fase de las señales de radiofrecuencia en el dominio óptico, que es el procesamiento fundamental que se requiere en diferentes aplicaciones tales como las redes de conformación de haces para agrupaciones de antenas y en la modulación en cuadratura.

Las agrupaciones de antenas consisten en un conjunto de antenas individuales que trabajan al unísono como un único elemento radiante de mayor tamaño. Todos los elementos de la agrupación irradian la misma señal y, cuando todas las señales interfieren en campo lejano, se produce una interferencia constructiva en una cierta dirección angular. Las implementaciones convencionales en el dominio digital o microondas pueden mostrar un alto grado de complejidad de las redes de conformación de haces (es decir, de los subsistemas que realizan la división de la señal y el control de fase, y, también el control de la amplitud) incrementándose dramáticamente su tamaño, peso, volumen, consumo y fiabilidad al aumentar el número de elementos. Las tecnologías alternativas, tales como las basadas en la fotónica, al basarse en una plataforma distinta ofrecen el potencial para eludir estos inconvenientes.

El trabajo descrito en esta tesis incluye diferentes técnicas para implementar una versión fotónica de las redes de conformación de haces de en agrupaciones de antenas, conocidas como redes ópticas de conformación de haces (OBFN), con los objetivos de proporcionar un control preciso en aplicaciones terrestres de señales de banda ancha a frecuencias muy altas por encima de 40 GHz en antenas de comunicaciones, optimizando el tamaño y el peso cuando se compara con los homólogos eléctricos en aplicaciones espaciales, y la presentación de nuevas funcionalidades fotónicas para agrupaciones de antenas. Por lo tanto, se estudian dos familias de OBFNs: arquitecturas de retardo en fibra óptica y arquitecturas integradas. Las primeras permiten el control de señales de banda ancha utilizando fibras ópticas dispersivas con técnicas de multiplexado por división de longitud de onda y funcionalidades avanzadas tales como la estimación del ángulo de llegada de la señal en la antena receptora. En la segunda, se estudian redes de conformación pasivas basadas en Matrices de Butler ópticas integradas, incluyendo una solución ultra-compacta utilizando técnicas ópticas heterodinas en silicio sobre aislante (SOI), y una alternativa homodina en sílice dopado con germanio.

En esta tesis, también se han investigado técnicas de procesado vectorial fotónico para la generación de modulaciones digitales en cuadratura. Las modulaciones multinivel codifican la

información digital en estados discretos de fase y amplitud de una señal eléctrica para aumentar su eficiencia espectral, como por ejemplo la modulación en cuadratura. El procesado necesario para generar y demodular este tipo de señales implica el procesamiento vectorial (control de amplitud y fase) y la conversión de frecuencia. A diferencia de la implementación electrónica o digital convencional, en esta tesis se estudian diferentes técnicas de procesado fotónico tanto para la generación de modulaciones digitales (modulación vectorial fotónica, PVM) como para su demodulación (PVdM). Esto es de particular interés en el caso de señales de banda ancha, donde la velocidad de datos requerida es del orden de gigabits por segundo, para aplicaciones como backhaul inalámbrico de redes ópticas metropolitanas (conocida como fibra hasta el aire). Las técnicas descritas se basan en explotar la dispersión cromática de la fibra óptica, la multiplexación por división de longitud de onda y la conversión en frecuencia. Además, se presenta una solución heterodina implementada monolíticamente en un circuito integrado fotónico (PIC).