

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. MOTIVACIONES

El rápido crecimiento en el ámbito de las tecnologías móviles y los sistemas de transmisión de datos vía radio está inspirando muchos proyectos de servicios de datos de alta velocidad, en el rango de los 64-144Kb/s, para aplicaciones de alta movilidad y área extensa y, hasta los 2Mb/s para aplicaciones *indoor*. Además de los sistemas móviles, las tecnologías FWA (*Fixed Wireless Access*, Acceso Radio Fijo) prometen una telefonía de alta calidad, acceso a Internet de alta velocidad, multimedia y otros servicios de banda ancha para el usuario mediante un interfaz radio. Investigaciones llevadas a cabo en este área incluyen el desarrollo de una codificación y modulación eficiente, técnicas de procesado de señal para mejorar la calidad y la eficiencia espectral de las radiocomunicaciones, y mejores técnicas para compartir el espectro limitado entre usuarios que acceden con distinta capacidad [1].

Se considera la codificación de canal como herramienta para mejorar la tasa de transmisión y/o la fiabilidad de las comunicaciones en canales que sufren desvanecimientos y donde se emplean múltiples antenas [2].

Las futuras generaciones de comunicaciones móviles deben proporcionar servicios de voz de alta calidad así como altas tasas de transmisión de datos (por encima de los 2Mbps). Al mismo tiempo, los terminales remotos deben ser pequeños y ligeros, siendo capaces de funcionar adecuadamente en todo tipo de entornos: macro, micro y picocelulares; urbanos y rurales; *indoor* y *outdoor*. En otras palabras, las nuevas generaciones deben dar mayor calidad y cobertura, y deben ser más eficientes en el uso de la potencia y el espectro para todo tipo de entornos. El objetivo es diseñar servicios y dispositivos al alcance del mayor número de usuarios, tanto por sus prestaciones como por su simplicidad y precio. Afortunadamente, podemos permitirnos invertir más recursos en las estaciones base y hacerlas más complicadas. De hecho, es la única opción posible para alcanzar los requerimientos de las nuevas generaciones de comunicaciones móviles.

El principal fenómeno que dificulta la obtención de una transmisión fiable es el desvanecimiento multirayecto variable en el tiempo. Incrementar la calidad o reducir la probabilidad de error en un entorno que sufre los efectos del desvanecimiento es extremadamente difícil. Además, un aumento de la SNR no debe conseguirse transmitiendo a mayor potencia o con un mayor ancho de

banda, pues estas soluciones contradicen los requerimientos de las nuevas generaciones. Por tanto, es crucial combatir eficientemente o reducir los efectos del desvanecimiento tanto en los terminales móviles como en las estaciones base sin aumentar la potencia ni sacrificar ancho de banda.

Teóricamente, la técnica mas efectiva es la de control de potencia. Sin embargo tiene sus inconvenientes: el transmisor debe tener rango dinámico para ajustarse a la potencia que hay que transmitir en cada momento; además, debe tener conocimiento del canal a través de la realimentación desde el receptor, lo cual supone un aumento de la complejidad y una disminución de la capacidad (*throughput*).

Otras técnicas propuestas son la diversidad en tiempo y frecuencia. Los canales radio limitados en ancho de banda son como tuberías estrechas que no permiten el paso rápido del flujo de datos. Desplegando múltiples antenas se consigue ensanchar dichos canales [3].

En la mayoría de entornos dispersivos resulta eficiente el uso de diversidad de antenas, técnica muy extendida para reducir los efectos negativos del desvanecimiento multitrayecto. El principal problema cuando se elige la técnica de diversidad en los terminales de usuario es el coste, tamaño y potencia de las unidades móviles, pues el uso de múltiples antenas y frecuencias supone terminales más grandes y costosos. Como consecuencia, las técnicas de diversidad se aplican a las estaciones base. Como una estación base da servicio a cientos de dispositivos remotos, resulta mas económico añadir equipamiento a las mismas. Ésta es la razón por la cual la técnica de diversidad en transmisión para el enlace descendente resulta tan atractiva

Otra propuesta interesante es la Codificación Espacio-Temporal de Trellis. Los símbolos se codifican según el número de antenas a través de las cuales van a ser transmitidos y se descodifican mediante un descodificador máximo-verosímil. Estos códigos introducen una correlación espacial y temporal entre las señales emitidas por las distintas antenas. Este esquema es muy efectivo porque combina corrección de errores hacia delante FEC y diversidad de transmisión para conseguir ganancias considerables sin sacrificar ancho de banda [1]. El coste de este esquema es un incremento en la complejidad de procesado, que aumenta exponencialmente como función del ancho de la eficiencia espectral y del orden de diversidad requerido [4]. No obstante, y dado que la capacidad de información en sistemas de comunicaciones por radio aumenta drásticamente con el uso de múltiples antenas de transmisión y recepción también consideraremos el caso de diversidad en el terminal móvil.

## 1.2. OBJETIVOS

En este proyecto se pretende estudiar en detalle las técnicas de codificación convolucional, espacio-temporal de Trellis y espacio-temporal de bloques.

La técnica de codificación convolucional esta diseñada para reducir la probabilidad de transmisiones erróneas en canales de comunicación altamente ruidosos. Un algoritmo muy popular para la descodificación de códigos convolucionales es el de Viterbi, que es un descodificador máximo-verosímil. Aunque su uso está muy extendido, el algoritmo de Viterbi mantiene una relación de compromiso entre la complejidad de descodificación y la longitud reducida. Esto limita en cierto modo la probabilidad de error alcanzable, la cual decrece exponencialmente con respecto a la longitud reducida del código [5].

Los códigos convolucionales, por ser un mecanismo de control de errores, se emplean en una amplia gama de aplicaciones; en las capas bajas de redes de datos, sistemas GSM, sistemas celulares CDMA, redes Bluetooth, modems...

En segundo lugar se desarrollan las técnicas de codificación espacio- temporal (STC) en sistemas con múltiples antenas para conseguir diversidad. Con ese fin, se implementa en recepción el algoritmo de Viterbi, que proporciona una descodificación óptima de los códigos STC. En particular, se estudiarán sistemas que utilizan códigos basados en las constelaciones 4PSK y 8PSK, haciendo un estudio detallado para un número variable de antenas en transmisión y recepción, y un número de estados posibles. Con dicho análisis se persigue hacer una comparativa entre los distintos sistemas, obteniendo así los beneficios que supone el uso de más de una antena en recepción, códigos espacio-temporales y el descodificador de Viterbi.

Pretendemos demostrar que hay un beneficio sustancial en emplear procesado de señal en recepción junto con una técnica apropiada de codificación de canal para múltiples antenas de transmisión. En particular, el estudio se centra en buscar una solución al problema del diseño de la capa física (codificación de canal, modulación y diversidad) [2].

Sin embargo, cuando el número de antenas de transmisión esta fijado, la complejidad de descodificación de los códigos espacio temporales de Trellis (medida por el número de estados en el descodificador) aumenta exponencialmente con la tasa de transmisión. Para solucionar este problema de complejidad de descodificación, Alamouti [4] desarrollo un esquema simple para transmitir con dos antenas en el emisor. Dicho esquema es mucho menos complicado que el de Trellis para el mismo número de antenas pero existe una pérdida en el rendimiento frente al esquema de codificación espacio-temporal de Trellis. A pesar de esta desventaja, el esquema de Alamouti sigue resultando atractivo en términos de simplicidad y rendimiento, y ha motivado la búsqueda de nuevos esquemas similares para dos antenas en transmisión. Los códigos de bloques espacio temporales son el resultado de dicha búsqueda.

Los datos se codifican según los códigos STBC y se dividen en  $n$  flujos que se transmiten simultáneamente por  $n$  antenas. La señal recibida en cada antena del receptor es una superposición lineal de todas las señales transmitidas más el ruido aditivo. Para conseguir descodificación

máximo-verosímil se desacoplan las señales transmitidas por las diferentes antenas en lugar de hacer una detección conjunta como se hacía con los códigos de Trellis. El uso de una estructura ortogonal simplifica el procesado, permitiendo conseguir un orden de diversidad máximo con un algoritmo de descodificación más simple [6-7].

Dichos códigos se utilizarán, como método eficiente de diversidad en transmisión [8] para sistemas con 1 o 2 antenas en recepción, y como método de cancelación de interferencias en entornos multiusuario, es decir, varios usuarios transmitiendo por el mismo con múltiples antenas.

### **1.3. ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA**

La memoria esta estructurada en cuatro capítulos, aparte del actual. Los dos capítulos siguientes desarrollan la teoría de los códigos empleados; en el segundo se exponen los fundamentos básicos de los códigos de convolucionales, así como un amplio desarrollo del algoritmo de Viterbi en sus dos versiones, descodificación dura y descodificación blanda. En el tercero se estudian las técnicas de diversidad tanto en recepción como en transmisión, haciendo hincapié en los códigos espacio-temporales como técnica eficiente de diversidad en transmisión. Se desarrollan los códigos espacio-temporales de Trellis y de bloques. En el capítulo cuarto se detallan los sistemas de comunicación implementados en este proyecto, los resultados obtenidos y una comparativa entre ellos. Por último, el capítulo cinco expone las conclusiones a las que se ha llegado y orienta sobre posibles ampliaciones futuras.