

## CAPITULO 2

# SISTEMAS DE DIVERSIDAD

### 2.1 Introducción

El canal radio presenta un comportamiento dinámico producto de los efectos multicamino y del ensanchamiento Doppler, los cuales pueden afectar significativamente el rendimiento del sistema. Las técnicas de diversidad permiten en ocasiones evitar este deterioro a un coste relativamente bajo, pudiendo implementarse de diferentes formas tanto en transmisión como en recepción.

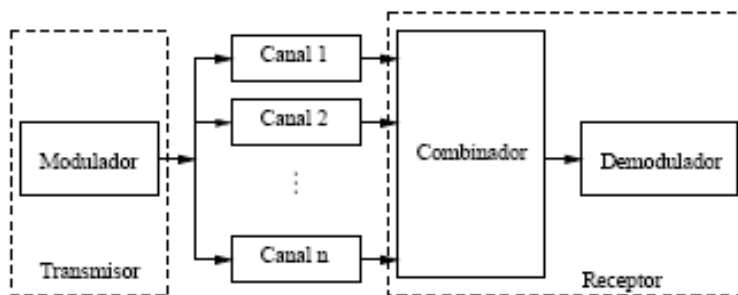


Figura 2.1 Esquema de un sistema con diversidad

Las técnicas de diversidad explotan la naturaleza aparentemente aleatoria del canal radio, disponiendo de más de una versión de la señal originalmente transmitida al

experimentar cada una de las versiones un canal diferente. En la Fig. 2.1 se muestra un diagrama de bloques de un esquema general de diversidad, en el cual la señal se descompone en réplicas de la señal original y es transmitida por distintos canales. Si los canales varían independientemente, la probabilidad de que ocurra un desvanecimiento profundo simultáneamente en todos ellos es baja. En situaciones reales es de esperar que los canales no sean totalmente independientes, sin embargo, un índice de correlación bajo sería suficiente para obtener una disminución de la relación señal a ruido (SNR) media necesaria para alcanzar una determinada probabilidad de indisponibilidad. A esta disminución de SNR media se llama ganancia de diversidad. Las diferentes réplicas recibidas de la señal transmitida son combinadas en recepción y enviadas a un circuito de demodulación y detección. La clasificación de las técnicas de diversidad que presentaremos más adelante depende del extremo del sistema en el que se implemente, del tipo de procesamiento que se realice sobre las diferentes réplicas de la señal o del tipo de fenómeno físico que se explote para obtener réplicas parcial o totalmente incorreladas.

## 2.2 Tipos de diversidad

La clasificación de los sistemas de diversidad depende del tipo de parámetro de interés. De esta forma, las siguientes clasificaciones son usadas en la literatura:

- De acuerdo al extremo del sistema en que se implemente: Diversidad en recepción y diversidad en transmisión.
- De acuerdo al fenómeno físico usado para lograr diferenciar las réplicas de la señal: diversidad de espacio o de antena, diversidad de frecuencia, diversidad de tiempo y diversidad de polarización.
- De acuerdo a la forma en que se utilizan las diferentes réplicas: diversidad por selección, diversidad por realimentación, diversidad por combinación de razón máxima (MRC) y diversidad por ganancia constante (EGC).

## 2.2.1 Diversidad de antena

La diversidad de antena, también conocida como diversidad espacial, puede obtenerse instalando múltiples antenas, tanto en el lado del transmisor como en el lado del receptor. Si las antenas se instalan suficientemente apartadas entre sí, las señales sufrirán desvanecimiento de una manera más o menos independiente, y por tanto se crean caminos de señal diferenciados. La separación de antena requerida depende de la dispersión local del medio así como de la frecuencia de la portadora. Por ejemplo en un sistema de telefonía móvil en el que el terminal está cerca del suelo y en el que existen mucha dispersión, el canal varía sobre pequeñas distancias en el espacio, y por tanto una separación de antena típica puede ser la mitad del ancho de banda de la portadora. Sin embargo para estaciones bases o sistemas instalados en torres, esta separación debe ser del orden de diez veces el ancho de banda.

Como se ha comentado anteriormente esta diversidad de antena puede darse tanto en el lado del transmisor, usando varias antenas transmisoras (conocido como sistemas MISO: multiple input single output), como en el lado de recepción, en el que se utilizarán múltiples antenas receptoras (hablamos entonces de sistemas SIMO). Cada vez más se están implementando sistemas que hacen uso de estos dos tipos de diversidad, y es lo que se conoce como sistemas MIMO. Estos sistemas además de conseguir la diversidad añaden distintos grados de libertad para la comunicación. Estos grados se tratarán con más detalle en el apartado posterior.

En la fig. 2.2 podemos observar un ejemplo de un esquema de diversidad de antena, donde (a) se corresponde a un sistema SIMO (Single Input Multiple Output); (b) representa un sistema MISO y (c) un sistema MIMO.

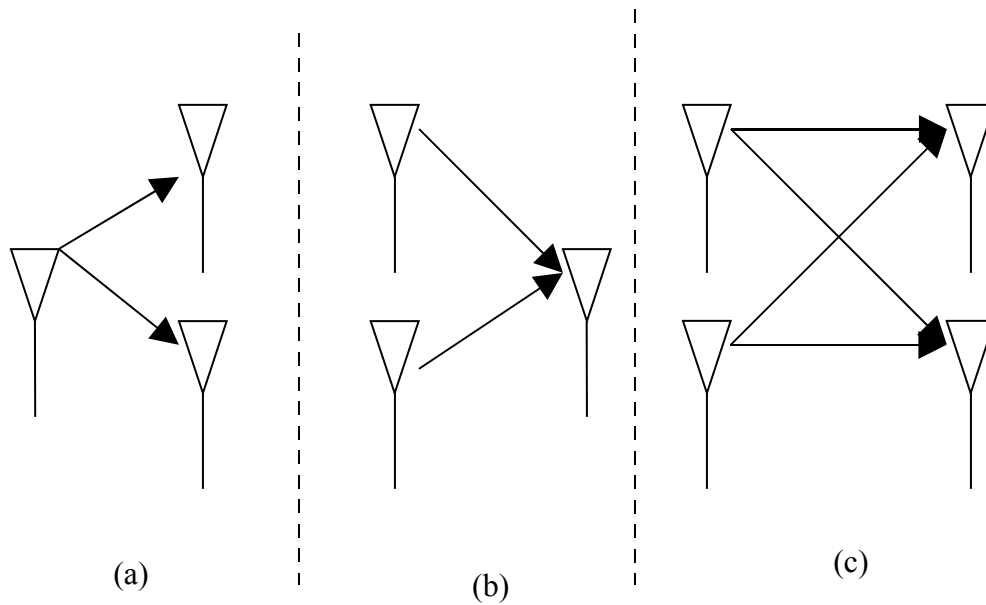


Figura 2.2 Diagrama de bloques de diversidad en espacio

### 2.2.2 Diversidad de frecuencia

Cuando se usa diversidad de frecuencia, la información se transmite en más de una portadora, de tal forma que señales con una separación de frecuencia mayor que determinado valor no experimenten el mismo desvanecimiento, siendo la separación en frecuencia necesaria para que los canales estén parcial o totalmente decorrelados una función del ancho de banda de coherencia del canal. Este valor puede corresponder a una fracción importante del ancho de banda total utilizado, y por lo tanto, esta técnica tiene la desventaja de necesitar generalmente un ancho de banda significativamente mayor, con un número igual de receptores que de canales de diversidad. Sin embargo, la diversidad en frecuencia se emplea usualmente en enlaces por línea de vista que usan FDM y para rutas críticas. En sistemas de diversidad en transmisión es posible utilizar la diversidad de frecuencia a través de códigos espacio-frecuencia, con la misma metodología empleada por los códigos espacio-tiempo que se verán en apartados siguientes.

### 2.2.3 Diversidad de tiempo

La diversidad de tiempo puede conseguirse promediando el desvanecimiento del canal a través del tiempo. Normalmente, el tiempo de coherencia del canal es entre diez y cien veces el tiempo de símbolo, por lo tanto el canal está altamente correlado a través de símbolos consecutivos. Por consiguiente la información se transmite repetidamente a espacios de tiempo, de forma que la repetición se haga en condiciones independientes de desvanecimiento. Una manera adecuada de obtener estas premisas es mediante el uso del entrelazado en los codificadores.

Por ejemplo, supongamos que transmitimos una señal  $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_L]$  de longitud  $L$  símbolos y que la señal recibida viene dada por la expresión

$$y_i = h_i x_i + w_i, \quad i = 1, \dots, L.$$

Asumiendo un entrelazado ideal en el que los símbolos  $x_i$  son transmitidos con suficiente separación entre ellos, puede asumirse que los  $h_i$  son independientes. El parámetro  $L$  se conoce como el número de ramas de diversidad.

Este tipo de diversidad tiene un inconveniente que hace que su uso esté poco generalizado, y es que se reduce la velocidad de transmisión efectiva, y aparte, debido a que la separación temporal entre transmisiones de las réplicas debe ser mayor que la duración media de los desvanecimientos, se produce una considerable latencia.

### 2.2.4 Diversidad de polarización

Se ha comprobado experimentalmente que las señales polarizadas horizontal y verticalmente presentan un grado significativo de decorrelación. Esta decorrelación es debida a las múltiples reflexiones en el canal entre el transmisor y el receptor con un

coeficiente de reflexión distinto para cada tipo de polarización, lo que resulta en diferentes amplitudes y fases para cada señal. Tras suficientes reflexiones aleatorias, las señales pueden mostrar un alto grado de decorrelación, haciendo posible la ganancia de diversidad.

### **2.2.5 Diversidad de ángulo**

Las diferentes réplicas de la señal pueden experimentar también diferentes canales de acuerdo a la dirección en que apunten los lóbulos principales de la(s) antena(s), tanto en el transmisor como en el receptor. De esta forma, al incidir sobre diferentes superficies de dispersión ('scatterers'), se pueden obtener canales con bajas correlaciones.

### **2.2.6 Diversidad por selección**

Al clasificar las técnicas de diversidad de acuerdo al procesamiento aplicado a las señales recibidas o transmitidas, una de las técnicas más sencillas es la de selección. Cuando se aplica en el receptor, su diagrama de bloques es similar al de la Fig. 2.3, donde se pueden utilizar  $m$  demoduladores y  $m$  cadenas de RF (radio frecuencia) para proveer  $m$  ramas de diversidad, seleccionándose la rama con mayor SNR, o se pueden utilizar  $m$  antenas y solo un demodulador y cadena de RF, seleccionando la rama con la mayor relación portadora a ruido (CNR). En caso de su aplicación en transmisión, el receptor debe observar periódicamente todos los canales e informar al transmisor sobre el canal con mayor envolvente. En caso que todas las ramas tengan la misma SNR media, la amplitud de la señal de salida del combinador simplemente es la magnitud de la señal más fuerte.

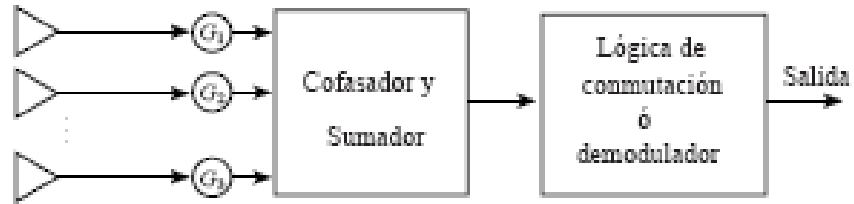


Figura 2.3 Esquema de un sistema con diversidad por selección

Los sistemas de diversidad por selección son particularmente sensibles a las diferencias de SNR media entre sus ramas. La ganancia por diversidad es máxima cuando todas las ramas presentan la misma SNR media, deteriorándose sensiblemente a medida que se incrementa la diferencia de SNR media entre ellas.

### 2.2.7 Diversidad por conmutación

Este método es muy similar a la diversidad por selección, excepto que en lugar de usar la mejor de  $m$  señales, los canales son observados en una secuencia determinada hasta encontrar uno con envolvente por encima de un nivel umbral predeterminado. Este canal se mantiene hasta que cae por debajo del umbral y el proceso de búsqueda se reinicia. Las estadísticas de desvanecimiento son un poco inferiores a las obtenidas por el método anterior, pero su implementación es más sencilla, requiriendo de sólo un receptor. En la Fig. 2.4 se muestra un diagrama de bloques de este método.

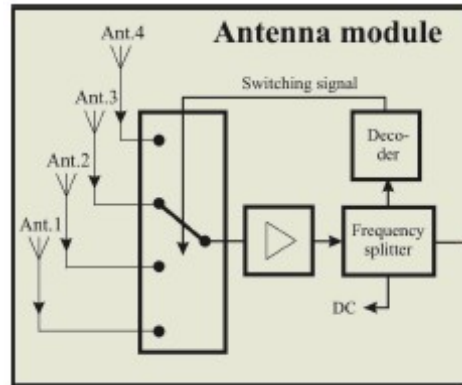


Figura 2.4 Diagrama de un sistema con diversidad en conmutación

### 2.3. Diversidad en transmisión

Todos los esquemas de diversidad descritos hasta ahora se pueden, en principio, aplicar tanto en el transmisor como en el receptor. En muchos entornos dispersivos la diversidad de antena es una técnica práctica, efectiva y por lo tanto ampliamente aplicada para reducir el efecto del desvanecimiento multicamino. La solución clásica es usar múltiples antenas en el receptor junto con algunos métodos de combinación para mejorar la calidad de la señal recibida. El principal problema al usar diversidad en recepción en sistemas móviles es el coste, tamaño y consumo de energía en las unidades móviles. El uso de múltiples antenas y cadenas de radio frecuencia (o circuitos de selección y conmutación) hace que las unidades móviles sean grandes y costosas. En cambio una estación base a menudo sirve a cientos o a miles de unidades móviles, y es por lo tanto más económico añadir equipamiento a las estaciones base antes que a las unidades móviles. Por estas razones, las técnicas de diversidad han sido casi exclusivamente aplicadas a las estaciones base. Sin embargo, la misma estación base que sirve de receptora en el camino de subida ('uplink'), hace funciones de transmisora en el camino de bajada ('downlink'). De esta forma, las mismas antenas usadas en diversidad de recepción pueden ser usadas para obtener diversidad en transmisión, sirviendo a todas las unidades móviles dentro del área de cobertura de la estación base.



Existen distintas técnicas para obtener diversidad en el transmisor, las cuales se pueden clasificar en técnicas de lazo abierto y técnicas de lazo cerrado, de acuerdo al uso o no de un lazo de realimentación del receptor al transmisor. En todos los casos, es necesario realizar algún procesamiento de señal tanto en el transmisor como en el receptor. Algunos ejemplos de estos procesamientos de señal fueron los trabajos realizados por Foschini que estudió arquitecturas espacio-temporales por capas para sistemas con múltiples antenas, las cuales consisten en esquemas de transmisión multicapa que permiten obtener diversidad espacio-tiempo con o sin codificación. En esos sistemas no existe ortogonalidad entre las señales transmitidas, razón por la cual estas llegan al receptor contaminadas por señales de otras capas, haciendo necesaria la aplicación de un proceso de cancelación de interferencia en recepción. Más tarde, la codificación espacio-temporal recibió una atención creciente debido a su buen desempeño para transmisión a altas velocidades en ambientes con desvanecimiento lento.

Aquí llegamos al punto principal en el cual se basa el proyecto y que es la célebre publicación en la que Alamouti descubrió un esquema de diversidad en transmisión de lazo abierto usando dos antenas transmisoras y una antena receptora que fácilmente se extiende al uso de varias antenas receptoras; esquema que más tarde se conocería como código espacio-tiempo de bloques (STBC). La STBC proporciona diversidad espacial completa y hace uso de un algoritmo de decodificación muy sencillo que únicamente requiere de procesamiento lineal sobre las señales recibidas.