



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 349 729**

(51) Int. Cl.:
H04L 25/49 (2006.01)
H04L 1/06 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **08167005 .1**
(96) Fecha de presentación : **20.10.2008**
(97) Número de publicación de la solicitud: **2053814**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **29.04.2009**

(54) Título: **Procedimiento de codificación espacio-temporal utilizando un alfabeto particionado de modulación de posición.**

(30) Prioridad: **25.10.2007 FR 07 58561**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
10.01.2011

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
10.01.2011

(73) Titular/es: **Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives
Batiment "Le Ponant D"
25, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

(72) Inventor/es: **Abou Rjeily, Chadi**

(74) Agente: **Justo Bailey, Mario de**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de codificación espacio-temporal utilizando un alfabeto particionado de modulación de posición.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a la vez al campo de las telecomunicaciones en banda ultra ancha o UWB (*Ultra Wide Band*) y al de los sistemas de antena múltiple de codificación espacio-temporal o STC (*Space Time Coding*).

10 **Estado de la técnica anterior**

Los sistemas de tipo de antena múltiple son bien conocidos en el estado de la técnica. Estos sistemas utilizan una diversidad de antenas en la emisión y/o en la recepción y se denominan, según el tipo de configuración adoptada, MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), MISO (*Multiple Input Single Output*) o SIMO (*Single Input Multiple Output*). A continuación emplearemos el mismo término MIMO para cubrir las variantes MIMO y MISO antes citadas. La explotación de la diversidad espacial en la emisión y/o en la recepción permite a estos sistemas ofrecer unas capacidades de canal netamente superiores a las de los sistemas mono-antena clásicos (o SISO por *Single Input Single Output*). Esta diversidad espacial se completa generalmente por una diversidad temporal por medio de una codificación espacio-temporal (STC). En una codificación así, un símbolo de información a transmitir se halla codificado en varias antenas y varios instantes de transmisión.

Se conocen dos grandes categorías de sistemas MIMO de codificación espacio-temporal: los sistemas de codificación en rejilla o STTC (*Space Time Trellis Coding*) y los sistemas de codificación por bloques o STBC (*Space Time Block Coding*). En un sistema de codificación por bloques, se codifica un bloque de símbolos de información a transmitir en una matriz de símbolos de transmisión, correspondiendo una dimensión de la matriz al número de antenas y correspondiendo el otro a los instantes consecutivos de transmisión.

La Figura 1 representa esquemáticamente un sistema de transmisión MIMO 100 con codificación STBC. Se codifica un bloque de símbolos de información $S = (\sigma_1, \dots, \sigma_b)$, por ejemplo una palabra binaria de b bits o más generalmente de b símbolos de orden M , en una matriz espacio-temporal:

$$C = \begin{pmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \dots & c_{1,P} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \dots & c_{2,P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{T,1} & c_{T,2} & \dots & c_{T,P} \end{pmatrix} \quad (1)$$

donde los coeficientes $c_{t,p}$, $t = 1, \dots, T$; $p = 1, \dots, P$ del código son por regla general unos coeficientes complejos que dependen de los símbolos de información, P es el número de antenas utilizadas en la emisión, T es un entero que indica la extensión temporal del código, es decir el número de utilizaciones del canal o PCU (*Per Channel Use*).

La función f que, a todo vector S de símbolos de información hace corresponder la palabra de código espacio-temporal C , se denomina función de codificación. Si la función f es lineal se dice que el código espacio-temporal es lineal. Si los coeficientes $c_{t,p}$ son reales, el código espacio-temporal se denomina real.

En la Figura 1, se ha designado por 110 un codificador espacio-temporal. A cada instante de utilización de canal t , el codificador suministra al multiplexor 120 el t -ésimo vector línea de la matriz C . El multiplexor transmite a los moduladores 130₁, ..., 130_P los coeficientes del vector línea y las señales moduladas se transmiten por las antenas 140₁, ..., 140_P.

El código espacio-temporal se caracteriza por su tasa, es decir por el número de símbolos de información que transmite por instante de utilización de canal (PCU). El código se denomina de tasa completa si es P veces más elevado que la tasa relativa a una utilización mono-antena (SISO).

El código espacio-temporal se caracteriza además por su diversidad que se puede definir como el rango de la matriz C . Se tendrá una diversidad máxima si para dos palabras de código C_1 y C_2 cualesquiera que corresponden a dos vectores S_1 y S_2 , la matriz $C_1 - C_2$ es de rango completo.

El código espacio-temporal está caracterizado finalmente por su ganancia de codificación que traduce la distancia mínima entre diferentes palabras del código. Se puede definir como:

$$\min_{C_1 \neq C_2} \det((C_1 - C_2)^H (C_1 - C_2)) \quad (2)$$

o, de manera equivalente, para un código lineal:

$$\min_{\mathbf{C}, \mathbf{C} \neq \mathbf{0}} \det(\mathbf{C}^H \mathbf{C}) \quad (3)$$

donde $\det(\mathbf{C})$ significa el determinante de $\mathbf{C}$ y $\mathbf{C}^H$ es la matriz conjugada transpuesta de $\mathbf{C}$. Para una energía de transmisión por símbolo de información, la ganancia de codificación está limitada.

Un código espacio-temporal será tanto más resistente al desvanecimiento cuanto más elevada sea su ganancia de codificación.

Un primer ejemplo de codificación espacio-temporal para un sistema MIMO de dos antenas de transmisión se ha propuesto en el artículo de S.M. Alamouti titulado “A transmit diversity technique for wireless communications”, publicada en el IEEE Journal on selected areas in communications, vol. 16, págs. 1451-1458, de octubre de 1998. El código de Alamouti se define por la matriz espacio-temporal 2×2 :

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \sigma_1 & \sigma_2 \\ -\sigma_2^* & \sigma_1^* \end{pmatrix} \quad (4)$$

donde σ_1 y σ_2 son dos símbolos de información a transmitir y σ_1^* y σ_2^* sus conjugados respectivos. Como se puede ver en la expresión (4), este código transmite dos símbolos de información para dos utilizaciones de canal y su tasa es por tanto de un símbolo/PCU.

Inicialmente presentado en el artículo antes citado para unos símbolos que pertenecen a una modulación QAM, el código de Alamouti se aplica igualmente a unos símbolos de información que pertenecen a una modulación PAM o PSK. En cambio no se puede entender fácilmente en una modulación de posición, denominada también PPM (*Pulse Position Modulation*). El símbolo de un alfabeto de modulación PPM de M posiciones se puede representar por un vector de M componentes todos nulos salvo uno igual a 1, que corresponde a la posición de modulación a la que se emite un impulso. La utilización de símbolos PPM en la expresión (4) conduce entonces a una matriz espacio-temporal de dimensiones $2M \times 2$. El término $-\sigma_2^*$ que figura en la matriz no es un símbolo PPM y necesita la transmisión de un impulso afectado por un cambio de signo. Dicho de otra forma, éste vuelve a utilizar unos símbolos PPM con signo, que pertenecen a una extensión del alfabeto de modulación PPM.

Un segundo ejemplo de código espacio-temporal se ha propuesto en el artículo de C. Abou-Rjeily *et al.* titulado “A space-time coded MIMO TH-UWB transceiver with binary pulse position modulation” publicado en IEEE Communications Letters, Vol. 11, Nº 6, de junio de 2007, páginas 522-524. Este código se aplica a unos sistemas de antena múltiple que poseen un número de antenas de transmisión igual a una potencia de 2, es decir $P = 2^p$ y tiene unos símbolos de información que pertenecen a un alfabeto de modulación de posición binaria o BPPM (*Binary Pulse Position Modulation*). Más precisamente, la matriz del código espacio-temporal propuesta se escribe en la forma:

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \sigma_1 & \sigma_2 & \dots & \sigma_P \\ \Omega \sigma_P & \sigma_1 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \sigma_2 \\ \Omega \sigma_2 & \dots & \Omega \sigma_P & \sigma_1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

donde los símbolos de informaciones BPPM $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_P$ se representan en forma de vectores $(1 \ 0)^T$ o $(0 \ 1)^T$, correspondiendo el primer vector a la primera posición PPM y el segundo vector a la segunda posición PPM, y donde Ω es la matriz de permutación de dimensiones 2×2 . Este código espacio-temporal presenta la ventaja de no utilizar símbolos o señales complejos y de tener una diversidad máxima. En cambio este código no permite transmitir más que un símbolo BPPM por utilización de canal (por lo tanto 1 bit/PCU) es decir el mismo que el de un sistema mono-antena clásico.

Un tercer ejemplo de código espacio-temporal se ha propuesto en el artículo de C. Abou-Rjeily *et al.* titulado “A rate-1 2×2 space-time code without any constellation extension for TH-UWB communications system with PPM”

publicado en Proceedings of the 2007 VTC Conference, páginas 1683-1687, de abril de 2007. Este código se aplica a unos sistemas de $P = 2$ antenas de transmisión y a unos símbolos de información que pertenecen a un alfabeto de modulación M -PPM. Más precisamente, la matriz del código espacio-temporal propuesta se escribe en la forma:

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \sigma_1 & \sigma_2 \\ \Omega\sigma_2 & \sigma_1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Donde los símbolos de información M -PPM $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_P$ se pueden representar en la forma de vectores de dimensión M cuyos $M-1$ componentes son nulos y la componente restante, igual a 1, indica la posición de modulación del símbolo PPM, y donde Ω es la matriz de permutación de dimensiones $M \times M$.

Como en el segundo ejemplo, este código espacio-temporal presenta la ventaja de no utilizar símbolos o señales complejos. Presenta igualmente una diversidad máxima para todos los valores de $M \geq 2$. Por el contrario, aún aquí, el código no permite transmitir más que un símbolo M -PPM por utilización de canal (por lo tanto una tasa binaria de $\log_2(M)/PCU$) es decir la misma tasa que para un sistema mono-antena clásico.

Se han propuesto en la bibliografía unos sistemas MIMO de codificación espacio-temporal que utilizan unas señales de transmisión UWB (*Ultra Wide Band*). Se entiende por señal UWB una señal de acuerdo a una máscara espectral estipulada en la reglamentación del FCC de 14 de febrero de 2002, revisada en marzo de 2005, es decir, esencialmente, una señal en la banda espectral de 3,1 a 10,6 GHz que presenta una amplitud de banda de al menos 500 MHz a -10 dB.

Las señales UWB se dividen en dos categorías: señales de banda múltiple OFDM (MB-OFDM) y las señales UWB de tipo impulsional. Solamente se considerarán estas últimas a continuación en la presente solicitud.

Una señal UWB impulsional está formada por impulsos muy cortos, típicamente del orden de algunas centenas de picosegundos, repartidas en el seno de una trama. A fin de reducir la interferencia de acceso múltiple (MAI de *Multiple Access Interference*), se afecta a cada utilizador con un código de saltos temporales (TH de *Time Hopping*) distinto. La señal TH-UWB resultante o en el destino de un usuario k se puede escribir entonces en la forma:

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} w(t - nT_s - c_k(n) T_c) \quad (7)$$

donde w es la forma del impulso elemental, T_c es un fragmento de duración (o chip), T_s es la duración de un intervalo elemental con $N_s = N_c T_c$ donde N_c es el número de chips en el intervalo, siendo la duración de la trama total $T_f = N_s T_s$ donde N_s es el número de intervalos en la trama. La duración del impulso elemental se elige inferior a la duración del chip, es decir $T_w \leq T_c$. La secuencia $c_k(n)$ para $n = 0, \dots, N_s - 1$ define el código de salto temporal del usuario k . Las secuencias de saltos temporales se eligen de manera que se minimice el número de colisiones entre impulsos que pertenecen a unas secuencias de salto temporal de usuarios diferentes.

Se ha representado en la Figura 2 una señal TH-UWB asociada a un usuario k . Se observará que la secuencia $c_k(n)$, $n = 0, \dots, N_s - 1$, relativa al usuario en cuestión es aquí $c_k(n) = 7, 1, 4, 7$.

En un sistema MIMO de codificación espacio-temporal que utiliza unas señales UWB, también denominadas MI-MO-UWB, cada antena transmite una señal UWB modulada en función de un símbolo de información o de un bloque de tales símbolos. Por ejemplo, para una antena p dada, si los símbolos de información son del tipo QAM o BPSK, la señal $s^p(t)$ transmitida por esta antena se podrá expresar, conservando las mismas notaciones que anteriormente pero haciendo abstracción del índice relativo al usuario:

$$s^p(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} \sigma_p w(t - nT_s - c(n) T_c) \quad (8)$$

donde σ_p es el símbolo de información QAM o BPSK transmitido.

Dada la muy grande amplitud de banda de las señales UWB, es muy delicado recuperar una información de fase en el nivel del receptor y por lo tanto detectar un símbolo de información σ_p . Además, ciertos sistemas UWB no se prestan o no mucho a la transmisión de impulsos con signo. Por ejemplo, los sistemas UWB ópticos no transmiten más que señales de intensidad luminosa TH-UWB, necesariamente desprovistos de información de signo.

Los códigos espacio-temporales que utilizan unos símbolos PPM permiten no tener que recurrir a unos impulsos complejos o con signo. En efecto, si σ_p es un símbolo M -PPM transmitido por la antena p , la señal transmitida por esta antena se puede expresar en la forma:

$$s^p(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} w(t - nT_s - c(n)T_c - \mu_p \varepsilon) \quad (9)$$

donde ε es un retardo de modulación (*dither*) sensiblemente inferior a la duración del chip y $\mu_p \in \{0, \dots, M-1\}$ es la posición de orden M PPM del símbolo, considerándose aquí la primera posición como que introduce un retardo nulo.

Por ejemplo, los ejemplos segundo y tercero de códigos espacio-temporales antes citados, se adaptan bien a unos sistemas MIMO UWB. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, estos códigos no permiten obtener una tasa superior a la de un sistema mono-antena clásico.

El objeto de la presente invención es proponer un procedimiento de codificación espacio-temporal para un sistema UWB-MIMO que, aunque sin utilizar unos símbolos de información complejos o con signo, permitan alcanzar unas tasas superiores a la de un sistema mono-antena.

Exposición de la invención

Según un primer modo de realización, la presente invención se define por un procedimiento de codificación espacio-temporal para un sistema de transmisión UWB que comprende dos elementos de radiación, codificando dicho procedimiento un bloque de símbolos de información $S = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4)$ que pertenecen a un alfabeto de modulación PPM que presenta un número M par de posiciones de modulación, estando particionado dicho alfabeto en un primer y en un segundo sub-alfabeto que corresponden a unas zonas sucesivas de posiciones de modulación, perteneciendo los símbolos σ_1, σ_3 al primer sub-alfabeto y perteneciendo los símbolos σ_2, σ_4 al segundo sub-alfabeto, codificando el procedimiento dicho bloque de símbolos en una secuencia de vectores, estando asociado cada vector a una utilización del canal de transmisión y a un elemento radiador dado, estando destinados los componentes de un vector a modular en posición una señal UWB impulsional, correspondiendo cada componente a una posición de modulación PPM, siendo obtenidos dichos vectores a partir de los elementos de la matriz:

$$C = \begin{pmatrix} \sigma_1 + \sigma_2 & \sigma_3 + \sigma_4 \\ \Delta(\sigma_3 + \Omega\sigma_4) & \sigma_1 + \Omega\sigma_2 \end{pmatrix}$$

una línea de la matriz corresponde a una utilización del canal de transmisión y una columna de la matriz corresponde a un elemento de radiación, definiéndose la matriz C en una permutación cerca de sus líneas y/o sus columnas, siendo Δ una permutación de las posiciones PPM de dicho alfabeto y siendo Ω una permutación de las posiciones de modulación PPM de dicho segundo sub-alfabeto.

La matriz Ω es ventajosamente una permutación circular, por ejemplo, un desplazamiento circular de las posiciones de modulación PPM de dicho segundo alfabeto.

Según un segundo modo de realización, la invención se define por un procedimiento de codificación espacio-temporal para un sistema de transmisión UWB que comprende tres elementos de radiación, codificando dicho procedimiento un bloque de símbolos de información $\tilde{S} = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \sigma_9)$ que pertenecen a un alfabeto de modulación PPM que presenta un número M de posiciones de modulación múltiplo de 3, estando particionado dicho alfabeto en un primer, un segundo y un tercer sub-alfabetos que corresponden a unas zonas sucesivas de posiciones de modulación, perteneciendo los símbolos $\sigma_1, \sigma_4, \sigma_7$ al primer sub-alfabeto, perteneciendo los símbolos $\sigma_2, \sigma_5, \sigma_8$ al segundo sub-alfabeto y perteneciendo los símbolos $\sigma_3, \sigma_6, \sigma_9$ al tercer sub-alfabeto, codificando el procedimiento dicho bloque de símbolos en una secuencia de vectores, estando asociado cada vector a una utilización del canal de transmisión y a un elemento radiador dado, estando destinados los componentes de un vector a modular en posición una señal UWB impulsional, correspondiendo cada componente a una posición de modulación PPM, siendo obtenidos dichos vectores a partir de los elementos de la matriz:

$$C = \begin{pmatrix} \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 & \sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6 & \sigma_7 + \sigma_8 + \sigma_9 \\ \Delta(\sigma_7 + \Omega^{(1)}\sigma_8 + \sigma_9) & \sigma_1 + \Omega^{(1)}\sigma_2 + \sigma_3 & \sigma_4 + \Omega^{(1)}\sigma_5 + \sigma_6 \\ \Delta(\sigma_4 + \sigma_5 + \Omega^{(2)}\sigma_6) & \Delta(\sigma_7 + \sigma_8 + \Omega^{(2)}\sigma_9) & \sigma_1 + \sigma_2 + \Omega^{(2)}\sigma_3 \end{pmatrix}$$

una línea de la matriz corresponde a una utilización del canal de transmisión y una columna de la matriz corresponde a un elemento de radiación, definiéndose la matriz C por una permutación en de sus líneas y/o sus columnas, siendo Δ una permutación de las posiciones PPM de dicho alfabeto, siendo $\Omega^{(1)}$ una permutación de las posiciones de modulación PPM de dicho segundo sub-alfabeto y siendo $\Omega^{(2)}$ una permutación de las posiciones de modulación PPM de dicho tercer sub-alfabeto.

Las matrices $\Omega^{(1)}$ y/o $\Omega^{(2)}$ es/son una(s) permutación(es) circular(es), por ejemplo, un(os) desplazamiento(s) circular(es) de las posiciones de modulación PPM, respectivamente de dichos segundo y tercer sub-alfabetos.

Según un tercer modo de realización, la invención se define por un procedimiento de codificación espacio-temporal para un sistema de transmisión UWB que comprende una diversidad P de elementos de radiación, codificando dicho procedimiento un bloque de símbolos de información $S = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{P^2})$ que pertenecen a un alfabeto de modulación PPM que presenta un número M de posiciones de modulación múltiplo de P , estando particionado dicho alfabeto en P sub-alfabetos que corresponden a unas zonas sucesivas de posiciones de modulación, perteneciendo los símbolos $\sigma_{q^{p+1}}$, $q = 0, \dots, P - 1$ al primer sub-alfabeto, perteneciendo los símbolos $\sigma_{q^{p+2}}$, $q = 0, \dots, P - 1$ al segundo sub-alfabeto y así sucesivamente, los símbolos $\sigma_{q^{p+P}}$, $q = 0, \dots, P - 1$ al P -ésimo sub-alfabeto, codificando el procedimiento dicho bloque de símbolos en una secuencia de vectores, estando asociado cada vector a una utilización del canal de transmisión y a un elemento radiador dado, estando destinados los componentes de un vector a modular en posición una señal UWB impulsional, correspondiendo cada componente a una posición de modulación PPM, siendo obtenidos dichos vectores a partir de los elementos de la matriz dada en el anexo, correspondiendo una línea de la matriz a una utilización del canal de transmisión y correspondiendo una columna de la matriz a un elemento de radiación, definiéndose la matriz C en una permutación cerca de sus líneas y/o sus columnas, siendo Δ una permutación de las posiciones PPM de dicho alfabeto, siendo las matrices $\Omega^{(p)}$, $p = 1, \dots, P - 1$ una permutación de las posiciones de modulación PPM del $(p+1)$ -ésimo sub-alfabeto.

Al menos una matriz $\Omega^{(p)}$, $p = 1, \dots, P - 1$ puede ser una permutación circular, por ejemplo un desplazamiento circular, de las posiciones de modulación PPM del $(p+1)$ -ésimo sub-alfabeto.

De manera similar la matriz Δ puede ser una permutación circular, por ejemplo un desplazamiento circular de dicho alfabeto.

De acuerdo con una primera variante, los elementos de radiación son unas antenas UWB.

De acuerdo con una segunda variante, los elementos de radiación son unos diodos láser o unos diodos electroluminiscentes.

Ventajosamente, dicha señal impulsional puede ser una señal TH-UWB.

40 Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención aparecerán con la lectura de un modo de realización preferido de la invención realizada con referencia a las figuras adjuntas entre las que:

la Figura 1 representa esquemáticamente un sistema de transmisión MIMO con codificación STBC conocido en el estado de la técnica;

la Figura 2 representan la forma de una señal TH-UWB;

la Figura 3 representa esquemáticamente un sistema de transmisión UWB de antena múltiple de acuerdo con un primer modo de realización de la invención;

la Figura 4 representa esquemáticamente un sistema de transmisión UWB de antena múltiple de acuerdo con un segundo modo de realización de la invención.

55 Exposición detallada de modos particulares de realización

La idea de base de la presente invención es particionar un alfabeto de modulación PPM en zonas distintas y crear una extensión del alfabeto de modulación PPM a partir del alfabeto así particionado, siendo generado el código espacio-temporal a partir de un bloque de símbolos que pertenecen al alfabeto así entendido. Como se verá más adelante, la extensión del alfabeto permite incrementar la tasa del código.

De acuerdo con un primer modo de realización, se considera en primer lugar un sistema de transmisión UWB de $P = 2$ antenas de transmisión o, más generalmente, de $P = 2$ elementos de radiación.

Se supone igualmente que se dispone de un alfabeto de modulación M -PPM, denotado por A , que posee un número M par de posiciones de modulación. Estas posiciones se pueden ordenar de acuerdo con un orden temporal dado, por ejemplo $\{1, \dots, M\}$, donde 1 corresponde al desplazamiento temporal mínimo y M al desplazamiento temporal

máximo. En lo que sigue, una posición de modulación se representará indistintamente por un índice $m \in \{1, \dots, M\}$ o por un vector σ de tamaño M y de componentes todos nulos con excepción del componente m -ésimo, igual a 1, que define la posición en cuestión.

El alfabeto A se particiona en dos zonas consecutivas separadas, o sub-alfabetos, o sea $A_1 = \left\{1, \dots, \frac{M}{2}\right\}$ et

$A_2 = \left\{\frac{M}{2} + 1, \dots, M\right\}$. Consideraremos los bloques de símbolos de información $S = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4)$ donde $\sigma_1, \sigma_2,$

σ_3, σ_4 son unos símbolos A tal que $\sigma_1, \sigma_3 \in A_1$ y $\sigma_2, \sigma_4 \in A_2$. El alfabeto $\tilde{A}$ compuesto de los cuádruplos $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ que verifican la condición precedente, es decir:

$$\tilde{A} = \{(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4) \mid \sigma_1, \sigma_3 \in A_1 \text{ et } \sigma_2, \sigma_4 \in A_2\} \quad (10)$$

es una extensión del alfabeto A , de cardinal $\text{Card}(\tilde{A}) = \left(\frac{M}{2}\right)^4$, puesto que $\text{Card}(A_1) = \text{Card}(A_2) = \frac{M}{2}$.

Por ejemplo para un alfabeto 8-PPM, el alfabeto $\tilde{A}$ estaría compuesto por unos cuádruplos $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$, tales que:

$$\sigma_1, \sigma_3 \in \left\{ \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right\} \quad \text{y} \quad \sigma_2, \sigma_4 \in \left\{ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \right\}$$

En el caso general de un alfabeto M -PPM, con M par, el código espacio-temporal utilizado por el sistema MIMO-
UWB de dos antenas se define por la matriz siguiente, de dimensión $2M \times 2$:

$$C = \begin{pmatrix} \sigma_1 + \sigma_2 & \sigma_3 + \sigma_4 \\ \Delta(\sigma_3 + \Omega\sigma_4) & \sigma_1 + \Omega\sigma_2 \end{pmatrix} \quad (11)$$

donde $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ son los símbolos de información a transmitir, representados en forma de vectores columna de dimensión M ;

Ω es una matriz de tamaño $M \times M$ definida por:

$$\Omega = \begin{pmatrix} \mathbf{1}_M & \mathbf{0}_M \\ \mathbf{0}_M & \Omega' \end{pmatrix} \quad (12)$$

con $M' = \frac{M}{2}$, donde $1_{M'}$ y $0_{M'}$ son respectivamente la matriz identidad y la matriz nula de dimensión M'

$\times M'$ y Ω' es una matriz de permutación de tamaño $M' \times M'$. Se notará que la matriz Ω no permuta más que las posiciones de modulación del alfabeto A_2 ;

Δ es una matriz de permutación de tamaño $M \times M$ que opera sobre las posiciones de modulación del alfabeto A .

Se denomina permutación sobre un conjunto de posiciones de modulación toda biyección de este conjunto sobre sí mismo, con la excepción de la identidad. La matriz de permutación Ω' puede ser especialmente una matriz de permutación circular sobre las M' últimas posiciones, por ejemplo un simple desplazamiento circular:

$$\Omega' = \begin{pmatrix} 0_{1 \times M'-1} & 1 \\ 1_{M'-1 \times M'-1} & 0_{M'-1 \times 1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

donde $1_{M'-1 \times M'-1}$ es la matriz identidad de tamaño $M'-1$, $0_{1 \times M'-1}$ es el vector línea nula de tamaño $M'-1$, $0_{M'-1 \times 1}$ el vector columna nulo de tamaño $M'-1$.

De manera similar, la matriz Δ puede ser una matriz de permutación circular sobre las M posiciones de modulación del alfabeto A , por ejemplo un simple desplazamiento circular:

$$\Delta = \begin{pmatrix} 0_{1 \times M-1} & 1 \\ 1_{M-1 \times M-1} & 0_{M-1 \times 1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (14)$$

donde $1_{M-1 \times M-1}$ es la matriz identidad de tamaño $M-1$, $0_{1 \times M-1}$ es el vector línea nula de tamaño $M-1$, $0_{M-1 \times 1}$ el vector columna nulo de tamaño $M-1$.

Es importante observar que el código espacio-temporal se define en una permutación de las líneas y de las columnas de C . En efecto, una permutación en las líneas -se entiende aquí por línea, una línea de vectores en la expresión (11)- y/o las columnas de C es aún un código espacio-temporal de acuerdo con la invención, una permutación en las líneas equivale a una permutación de los instantes de utilización del canal y una permutación en las columnas equivale a una permutación de las antenas de transmisión.

Como se puede constatar a partir de (11), los componentes de la matriz C son simplemente unos 0 y unos 1 y no unos valores con signo. Estos componentes no introducen en consecuencia inversión de fase ni, de manera general, de desfase. Este código espacio-temporal se presta bien a la modulación de una señal de banda ultra ancha.

Además, la matriz C posee el mismo número de "1" en cada una de sus columnas (cuatro valores "1", es decir dos valores "1" por PCU), lo que se traduce en un ventajoso reparto equilibrado de la energía en las diferentes antenas.

Se puede explicitar la matriz de código espacio-temporal en el caso en el que las matrices Ω y Δ vienen las dadas respectivamente por las expresiones (13) y (14):

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \sigma_{1,1} & \sigma_{3,1} \\ \sigma_{1,2} & \sigma_{3,2} \\ \vdots & \vdots \\ \sigma_{1,M'} & \sigma_{3,M'} \\ \sigma_{2,M'+1} & \sigma_{4,M'+1} \\ \sigma_{2,M'+2} & \sigma_{4,M'+2} \\ \vdots & \vdots \\ \sigma_{2,M} & \sigma_{4,M} \\ \sigma_{4,M-1} & \sigma_{1,1} \\ \sigma_{3,1} & \sigma_{1,2} \\ \vdots & \vdots \\ \sigma_{3,M'} & \sigma_{1,M'} \\ \sigma_{4,M} & \sigma_{2,M} \\ \sigma_{4,1} & \sigma_{2,1} \\ \vdots & \vdots \\ \sigma_{4,M-2} & \sigma_{2,M-1} \end{pmatrix} \quad (15)$$

donde $\sigma_i = (\sigma_{i1}, \sigma_{i2}, \dots, \sigma_{iM})^T$ para $i = 1, \dots, 4$. La expresión (15) se obtiene teniendo en cuenta el hecho de que los M últimos componentes de σ_1, σ_3 , y los M primeros componentes de σ_2, σ_4 , son nulos.

Se observará que la tasa binaria del código espacio-temporal definido por la expresión (11) es de:

$$R = \frac{\log_2 \left(\left(\frac{M}{2} \right)^4 \right)}{2} = 2 \log_2 \left(\frac{M}{2} \right) \quad (16)$$

Por ejemplo, para una modulación 8-PPM, la tasa será de 4 bits/CPU mientras que la de un sistema monoantena clásico es de 3 bits/CPU. La ganancia de tasa será tanto más pronunciado cuanto mayor sea el orden de modulación PPM.

Además, se puede mostrar que el código espacio-temporal es de diversidad máxima. Se recuerda que un código es de diversidad máxima si para todo par de matrices distintas $\mathbf{C}, \mathbf{C}'$ del código, $\Delta \mathbf{C} = \mathbf{C} - \mathbf{C}'$ es de rango completo. En efecto, si la matriz $\Delta \mathbf{C}$ no fuese de rango completo esto significaría que sus dos vectores columna de:

$$\Delta \mathbf{C} = \begin{pmatrix} \delta \sigma_1 + \delta \sigma_2 & \delta \sigma_3 + \delta \sigma_4 \\ \Delta(\delta \sigma_3 + \Omega \delta \sigma_4) & \delta \sigma_1 + \Omega \delta \sigma_2 \end{pmatrix} \quad (17)$$

con $\delta \sigma_i = \sigma_i - \sigma'_i$, serían colineales. Es fácil deducir de la primera línea de $\Delta \mathbf{C}$ que esto implica que $\delta \sigma_1 = \delta \sigma_3$ y $\delta \sigma_2 = \delta \sigma_4$ y, de la segunda línea que $\delta \sigma_1 = \delta \sigma_3 = \delta \sigma_2 = \delta \sigma_4 = 0$, dicho de otra manera que $\Delta \mathbf{C} = 0$.

Se ha representado en la Figura 3 un ejemplo del sistema de transmisión UWB de dos elementos de radiación según un primer modo de realización de la invención. Los elementos de radiación pueden ser unas antenas UWB, unos diodos láser o unos LED infrarrojos. El sistema 300 comprende un codificador espacio-temporal 320, dos moduladores UWB designados por 331 y 332 y dos antenas UWB, 341 y 342. El codificador 320 recibe unos bloques de símbolos de información $\mathbf{S} = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4)$ que pertenecen al alfabeto $\tilde{\mathbf{A}}$ y calcula los elementos de la matriz $\mathbf{C}$

que obedecen a la expresión (11) o a una variante obtenida por permutación de sus líneas y/o sus columnas como se ha indicado anteriormente. En el caso de un código espacio-temporal definido por (11), el codificador 320 transmite respectivamente a los moduladores 331 y 332 los vectores $\sigma_1 + \sigma_2$ y $\sigma_3 + \sigma_4$ durante la primera utilización del canal, y los vectores $\Delta(\sigma_3 + \Omega\sigma_4)$ y $\Delta(\sigma_1 + \Omega\sigma_2)$ durante la segunda utilización del canal.

El modulador UWB 331 genera, a partir de los vectores columnas $\sigma_1 + \sigma_2$ y $\Delta(\sigma_3 + \Omega\sigma_4)$, las señales UWB impulsionales moduladas correspondientes y las transmite al elemento de radiación 341 durante la primera y la segunda utilización del canal, respectivamente. Igualmente, el modulador UWB 332 genera, a partir de los vectores $\sigma_3 + \sigma_4$ y $\sigma_1 + \Omega\sigma_2$ las señales UWB impulsionales moduladas correspondientes y las transmite al elemento de radiación 342 durante la primera y la segunda utilización del canal, respectivamente.

El sistema 300 puede comprender además un transcodificador 310 adaptado para recibir unos símbolos de información, por ejemplo unos símbolos binarios $A = (a_1, a_2, \dots, a_b)$ y para codificarlos bajo la forma de bloques $S \in \tilde{A}$. El transcodificador puede comprender además unos medios de codificación de origen y/o de codificación del canal previamente a la operación de transcodificación propiamente dicha, de manera conocida por sí misma.

A título de ejemplo, podemos formular las señales transmitidas por las antenas 341 y 342 durante los dos instantes de transmisión, cuando el código espacio-temporal se define por la expresión (15). Se supone además que los moduladores 331, 332 efectúan una modulación del tipo TH-UWB.

Durante la primera utilización del canal, la antena 341 transmite una primera trama, es decir retomando las notaciones de (9):

$$s^1(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} \sum_{m=1}^M (\sigma_{1,m} + \sigma_{2,m}) w(t - nT_s - c(n) T_c - m\epsilon) \\ = \sum_{n=0}^{N_s-1} w(t - nT_s - c(n) T_c - \mu_1\epsilon) + w(t - nT_s - c(n) T_c - \mu_2\epsilon) \quad (18)$$

donde μ_1 y μ_2 son las posiciones de modulación respectivas de los símbolos σ_1 y σ_2 , con $1 \leq \mu_1 \leq M'$ y $M' + 1 \leq \mu_2 \leq M$. La primera posición PPM corresponde aquí a un desplazamiento temporal de ϵ aunque se podría haber podido concebir alternativamente un desplazamiento nulo.

Simultáneamente, la antena 342 transmite una primera trama:

$$s^2(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} \sum_{m=1}^M (\sigma_{3,m} + \sigma_{4,m}) w(t - nT_s - c(n) T_c - m\epsilon) = \\ \sum_{n=0}^{N_s-1} w(t - nT_s - c(n) T_c - \mu_3\epsilon) + w(t - nT_s - c(n) T_c - \mu_4\epsilon) \quad (19)$$

Durante la segunda utilización del canal, la antena 341 transmite una segunda trama:

$$s^2(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} \sum_{m=1}^M (\sigma_{3,\omega(m)} + \sigma_{4,\delta\omega(m)}) w(t - nT_s - c(n) T_c - m\epsilon) = \\ \sum_{n=0}^{N_s-1} w(t - nT_s - c(n) T_c - \omega(\mu_3)\epsilon) + w(t - nT_s - c(n) T_c - \delta \circ \\ \omega(\mu_4)\epsilon) \quad (20)$$

donde $\omega(\cdot)$ es el desplazamiento circular derecho de $\{M'+1, \dots, M\}$ correspondiente a Ω y $\delta(\cdot)$ es el desplazamiento circular derecho sobre $\{1, 2, \dots, M\}$ correspondiente a Δ y $\circ$ es la operación de composición.

y la antena 342 transmite simultáneamente una segunda trama:

$$\begin{aligned}
 s^2(t) &= \sum_{n=0}^{N_s-1} \sum_{m=1}^M (\sigma_{1,m} + \sigma_{2,\omega(m)}) w(t - nT_s - c(n) T_c - m\epsilon) \\
 &= \sum_{n=0}^{N_s-1} w(t - nT_s - c(n) T_c - \mu_1\epsilon) + w(t - nT_s - c(n) T_c \\
 &\quad - \omega(\mu_2)\epsilon)
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

De acuerdo con un segundo modo de realización, el sistema MIMO comprende $P = 3$ antenas UWB y el número M de posiciones de modulación es un múltiplo de 3. El alfabeto A está particionado en tres zonas consecutivas dis-

continuas, o sub-alfabetos, es decir $A_1 = \left\{1, \dots, \frac{M}{3}\right\}$, $A_2 = \left\{\frac{M}{3} + 1, \dots, \frac{2M}{3}\right\}$ y $A_3 = \left\{\frac{2M}{3} + 1, \dots, M\right\}$.

Consideraremos unos bloques de símbolos de información $S = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \sigma_9)$ donde $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \sigma_9$ son unos símbolos de A tales que $\sigma_1, \sigma_4, \sigma_7 \in A_1$, $\sigma_2, \sigma_5, \sigma_8 \in A_2$ y $\sigma_3, \sigma_6, \sigma_9 \in A_3$. El alfabeto $\tilde{A}$ compuesto de los n-úpletos $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \sigma_9$ que verifican la condición precedente, es decir:

$$\begin{aligned}
 \tilde{A} &= \{(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \sigma_9) \mid \sigma_1, \sigma_4, \sigma_7 \in A_1; \sigma_2, \\
 &\quad \sigma_5, \sigma_8 \in A_2; \sigma_3, \sigma_6, \sigma_9 \in A_3\}
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

es una extensión del alfabeto A , de cardinal $\text{Card}(\tilde{A}) = \left(\frac{M}{3}\right)^9$, puesto que $\text{Card}(A_1) = \text{Card}(A_2) =$

$$\text{Card}(A_3) = \frac{M}{3}.$$

Por ejemplo para un alfabeto 6-PPM, el alfabeto $\tilde{A}$ estará compuesto de los n-úpletos $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \sigma_9$, tales que:

$$\begin{aligned}
 \sigma_1, \sigma_4, \sigma_7 &\in \left\{ \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right\}; \quad \sigma_2, \sigma_5, \sigma_8 \in \left\{ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right\}; \quad \sigma_3, \sigma_6, \sigma_9 \\
 &\in \left\{ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \right\}
 \end{aligned}$$

ES 2 349 729 T3

En el caso general de un alfabeto M -PPM, con M múltiplo de 3, el código espacio-temporal utilizado por el sistema MIMO-UWB de tres antenas se define por la matriz siguiente, de dimensiones $3M \times 3$:

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 & \sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6 & \sigma_7 + \sigma_8 + \sigma_9 \\ \Delta(\sigma_7 + \Omega^{(1)}\sigma_8 + \sigma_9) & \sigma_1 + \Omega^{(1)}\sigma_2 + \sigma_3 & \sigma_4 + \Omega^{(1)}\sigma_5 + \sigma_6 \\ \Delta(\sigma_4 + \sigma_5 + \Omega^{(2)}\sigma_6) & \Delta(\sigma_7 + \sigma_8 + \Omega^{(2)}\sigma_9) & \sigma_1 + \sigma_2 + \Omega^{(2)}\sigma_3 \end{pmatrix} \quad (24)$$

donde $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \sigma_9$, son los símbolos de información a transmitir, representados en la forma de vectores columna de dimensión M ;

$\Omega^{(1)}$ es una matriz de dimensiones $M \times M$ definida por:

$$\Omega^{(1)} = \begin{pmatrix} \mathbf{1}_{M'} & \mathbf{0}_{M'} & \mathbf{0}_{M'} \\ \mathbf{0}_{M'} & \Omega' & \mathbf{0}_{M'} \\ \mathbf{0}_{M'} & \mathbf{0}_{M'} & \mathbf{1}_{M'} \end{pmatrix} \quad (25)$$

con $M' = \frac{M}{3}$, donde $\mathbf{1}_{M'}$ y $\mathbf{0}_{M'}$ son respectivamente la matriz identidad y la matriz nula de dimensiones $M' \times M'$ y Ω' es una matriz de permutación de dimensiones $M' \times M'$. Se observará que la matriz $\Omega^{(1)}$ no permuta más que las posiciones de modulación del alfabeto A_2 ;

$\Omega^{(2)}$ es una matriz de dimensiones $M \times M$ definida por:

$$\Omega^{(2)} = \begin{pmatrix} \mathbf{1}_{M'} & \mathbf{0}_{M'} & \mathbf{0}_{M'} \\ \mathbf{0}_{M'} & \mathbf{1}_{M'} & \mathbf{0}_{M'} \\ \mathbf{0}_{M'} & \mathbf{0}_{M'} & \Omega' \end{pmatrix} \quad (26)$$

Con las mismas convenciones de notación que anteriormente. Se observará que la matriz $\Omega^{(2)}$ no permuta más que las posiciones de modulación del alfabeto A_3 .

Δ es una matriz de permutación de dimensiones $M \times M$ que opera en las posiciones de modulación del alfabeto A .

Las matrices Δ y Ω' pueden ser unas matrices de permutación circular incluso de simple desplazamiento circular, como anteriormente. El código espacio-temporal se entiende bien así como se define en una permutación de las líneas y de las columnas de $\mathbf{C}$.

La tasa binaria del código espacio-temporal definida por la expresión (24) es de:

$$R = \frac{\log_2 \left(\left(\frac{M}{3} \right)^9 \right)}{3} = 3 \log_2 \left(\frac{M}{3} \right) \quad (27)$$

El código espacio-temporal también es de una máxima diversidad y posee las propiedades ventajosas ya mencionadas para el primer modo de realización.

La Figura 4 representa un ejemplo del sistema de transmisión UWB de tres elementos de radiación de acuerdo con un segundo modo de realización de la invención. Los elementos de radiación pueden ser unas antenas UWB, unos diodos láser o unos LED infrarrojos. El sistema 400 comprende un codificador espacio-temporal 420, tres moduladores UWB designados por 431, 432 y 433 y tres antenas UWB, 441, 442 y 443. El codificador 420 recibe unos bloques de símbolos de información $S = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \sigma_9)$ que pertenecen al alfabeto $\tilde{A}$ y calcula los elementos de la matriz C que obedecen a la expresión (24) o a una variante obtenida por permutación de sus líneas y/o sus columnas como se ha indicado anteriormente. En el caso de un código espacio-temporal definido por (24), el codificador 420 transmite respectivamente a los moduladores 431, 432 y 433 los vectores $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$, $\sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6$, y $\sigma_7 + \sigma_8 + \sigma_9$ durante la primera utilización del canal, los vectores $\Delta(\sigma_7 + \Omega^{(1)}\sigma_8 + \sigma_9)$, $\sigma_1 + \Omega^{(1)}\sigma_2 + \sigma_3$, y $\sigma_4 + \Omega^{(1)}\sigma_5 + \sigma_6$ durante la segunda utilización del canal, y finalmente los vectores $\Delta(\sigma_4 + \sigma_5 + \Omega^{(2)}\sigma_6)$, $\Delta(\sigma_7 + \sigma_8 + \Omega^{(2)}\sigma_9)$ y $\sigma_1 + \sigma_2 + \Omega^{(2)}\sigma_3$ durante la tercera utilización del canal.

El modulador UWB 431 genera, a partir de los vectores columnas $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$, $\Delta(\sigma_7 + \Omega^{(1)}\sigma_8 + \sigma_9)$ y $\Delta(\sigma_4 + \sigma_5 + \Omega^{(2)}\sigma_6)$, las señales UWB impulsionales moduladas correspondientes y las transmite a la antena 441 durante la primera, segunda y tercera utilizations del canal, respectivamente. Igualmente, el modulador UWB 432 genera, a partir de los vectores columna $\sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6$, $\sigma_1 + \Omega^{(1)}\sigma_2 + \sigma_3$, y $\Delta(\sigma_7 + \sigma_8 + \Omega^{(2)}\sigma_9)$ las señales UWB impulsionales moduladas correspondientes y las transmite a la antena 442 durante la primera, segunda y tercera utilizations del canal, respectivamente. Finalmente, el modulador UWB 433 genera, a partir de los vectores columna $\sigma_7 + \sigma_8 + \sigma_9$, $\sigma_4 + \Omega^{(1)}\sigma_5 + \sigma_6$, y $\sigma_1 + \sigma_2 + \Omega^{(2)}\sigma_3$ las señales UWB impulsionales moduladas correspondientes y las transmite a la antena 443 durante la primera, segunda y tercera utilizations del canal, respectivamente.

El sistema 400 puede comprender, como en el primer modo de realización, un transcodificador 410 adaptado para recibir unos símbolos de información, por ejemplo unos símbolos binarios $A = (a_1, a_2, \dots, a_b)$ y para codificarlos bajo la forma de bloques $S \in \tilde{A}$.

De manera más general, el primer y el segundo modos de realización se pueden generalizar en el caso de un sistema MIMO-UWB a P elementos de radiación, para un número de posiciones de modulación M múltiplo de P . Se establece

$M' = \frac{M}{P}$. El alfabeto A se puede particionar en P zonas consecutivas discontinuas, o sub-alfabetos, es decir $A_1 = \{1, \dots, M'\}$, $A_2 = \{M' + 1, \dots, 2M'\}$, ..., $A_P = \{M - M' + 1, \dots, M\}$.

Se considera unos bloques de símbolos de información $S = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{P^2})$ donde $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{P^2}$ son unos símbolos de A de modo que $\sigma_{qP+1} \in A_1$, $\sigma_{qP+2} \in A_2$, ..., $\sigma_{qP+P} \in A_P$ con $q = 0, \dots, P-1$. El alfabeto $\tilde{A}$ compuesto de los grupos de P^2 -uplas que verifican la condición precedente, es decir:

$$\tilde{A} = \{ (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{P^2}) \mid \sigma_{qP+1} \in A_1; \sigma_{qP+2} \in A_2; \dots, \sigma_{(q+1)P} \in A_P; q = 0, \dots, P-1 \} \quad (28)$$

es una extensión del alfabeto A , de cardinal $\text{Card}(\tilde{A}) = (M')^{P^2}$, puesto que $\text{Card}(A_P) = M'$.

El código espacio-temporal utilizado por el sistema MIMO-UWB de P antenas se define por la matriz C de dimensiones $PM \times P$ dada en el anexo.

Las matrices $\Omega^{(p)}$, $p = 1, \dots, P-1$, son unas matrices de dimensiones $M \times M$ definidas por:

$$\Omega^{(1)} = \begin{pmatrix} \mathbf{1}_{M'} & \mathbf{0}_{M'} & \dots & \mathbf{0}_{M'} \\ \mathbf{0}_{M'} & \Omega' & \dots & \mathbf{0}_{M'} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}_{M'} & \mathbf{0}_{M'} & \dots & \mathbf{1}_{M'} \end{pmatrix} \quad (29)$$

y así sucesivamente, la matriz Ω' que ocupa unas posiciones sucesivas en la diagonal hasta:

$$\Omega^{(P-1)} = \begin{pmatrix} \mathbf{1}_{M'} & \mathbf{0}_{M'} & \cdots & \mathbf{0}_{M'} \\ \mathbf{0}_{M'} & \mathbf{1}_{M'} & \cdots & \mathbf{0}_{M'} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}_{M'} & \mathbf{0}_{M'} & \cdots & \Omega' \end{pmatrix} \quad (30)$$

donde $\mathbf{1}_{M'}$ y $\mathbf{0}_{M'}$ son respectivamente la matriz identidad y la matriz nula de dimensiones $M' \times M'$ y Ω' es una matriz de permutación de dimensiones $M' \times M'$. Se observará que la matriz $\Omega^{(p)}$, $p = 1, \dots, P-1$, no permuta más que las posiciones de modulación del alfabeto A_{p+1} .

Δ es una matriz de permutación de dimensiones $M \times M$ que opera en las posiciones de modulación del alfabeto A .

El código espacio-temporal se define aún aquí en una permutación en unas líneas y unas columnas de C .

De manera general, las conclusiones expuestas para el primer modo de realización ($P = 2$) y el segundo modo de realización ($P = 3$) son válidas aún para $P > 3$. En particular la tasa binaria del sistema es de:

$$R = \frac{\log_2((M')^{P^2})}{P} = P \log_2\left(\frac{M}{P}\right) \quad (31)$$

que es superior a la tasa de un sistema mono-antena clásico $\log_2(M)$. El código espacio-temporal posee igualmente las propiedades de máxima diversidad de carácter sin signo y de equilibrio de potencia entre antenas.

Las señales UWB transmitidas por el sistema ilustrado en las Figuras 3, 4 o más generalmente por un sistema MIMO-UWB de P antenas que utilizan el codificador espacio-temporal descrito anteriormente se pueden tratar por un receptor de antena múltiple de manera clásica. El receptor podrá comprender por ejemplo una etapa de correlación del tipo Rake seguida de una etapa de decisión, que utilice por ejemplo un decodificador por esfera conocido por el experto en la técnica.

Anexo:

$$C = \begin{pmatrix} \sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_p & \dots & \sigma_{p(p-1)+1} + \sigma_{p(p-1)+2} + \dots + \sigma_{p^2} \\ \Delta(\sigma_{p(p-1)+1} + \Omega^{(1)}\sigma_{p(p-1)+2} + \dots + \sigma_{p^2}) & \sigma_{p+1} + \sigma_{p+2} + \dots + \sigma_{2p} & \dots & \sigma_{p(p-2)+1} + \sigma_{p(p-2)+2} + \dots + \sigma_{p(p-1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta(\sigma_{p(p-2)+1} + \sigma_{p(p-2)+2} + \dots + \Omega^{(2)}\sigma_{p(p-1)}) & \sigma_1 + \Omega^{(1)}\sigma_2 + \dots + \sigma_p & \dots & \sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \Omega^{(p)}\sigma_p \end{pmatrix}$$

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de codificación espacio-temporal para un sistema de transmisión UWB que comprende dos elementos de radiación, codificando dicho procedimiento un bloque de símbolos de información $S = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4)$ que pertenecen a un alfabeto de modulación PPM que presenta un número M par de posiciones de modulación, estando particionado dicho alfabeto en un primer y en un segundo sub-alfabeto que corresponden a unas zonas sucesivas de posiciones de modulación, perteneciendo los símbolos σ_1, σ_3 al primer sub-alfabeto y perteneciendo los símbolos σ_2, σ_4 al segundo sub-alfabeto, codificando el procedimiento dicho bloque de símbolos en una secuencia de vectores, estando asociado cada vector a una utilización del canal de transmisión y a un elemento radiador dado, estando destinados los componentes de un vector a modular en posición una señal UWB impulsional, correspondiendo cada componente a una posición de modulación PPM, **caracterizado** porque dichos vectores se obtienen a partir de los elementos de la matriz:

$$C = \begin{pmatrix} \sigma_1 + \sigma_2 & \sigma_3 + \sigma_4 \\ \Delta(\sigma_3 + \Omega\sigma_4) & \sigma_1 + \Omega\sigma_2 \end{pmatrix}$$

una línea de la matriz corresponde a una utilización del canal de transmisión y una columna de la matriz corresponde a un elemento de radiación, definiéndose la matriz C en una permutación en sus líneas y/o sus columnas, siendo Δ una permutación de las posiciones PPM de dicho alfabeto y siendo Ω una permutación de las posiciones de modulación PPM de dicho segundo sub-alfabeto.

2. Procedimiento de codificación espacio-temporal de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque Ω es una permutación circular de las posiciones de modulación PPM de dicho segundo sub-alfabeto.

3. Procedimiento de codificación espacio-temporal de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** porque Ω es un desplazamiento circular de las posiciones de modulación PPM de dicho segundo alfabeto.

4. Procedimiento de codificación espacio-temporal para un sistema de transmisión UWB que comprende tres elementos de radiación, codificando dicho procedimiento un bloque de símbolos de información $S = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \sigma_9)$ que pertenecen a un alfabeto de modulación PPM que presenta un número M de posiciones de modulación múltiplo de 3, estando particionado dicho alfabeto en un primer, un segundo y un tercer sub-alfabeto que corresponden a unas zonas sucesivas de posiciones de modulación, perteneciendo los símbolos $\sigma_1, \sigma_4, \sigma_7$ al primer sub-alfabeto, perteneciendo los símbolos $\sigma_2, \sigma_5, \sigma_8$ al segundo sub-alfabeto y perteneciendo los símbolos $\sigma_3, \sigma_6, \sigma_9$ al tercer sub-alfabeto, codificando el procedimiento dicho bloque de símbolos en una secuencia de vectores, estando asociado cada vector a una utilización del canal de transmisión y a un elemento radiador dado, estando destinados los componentes de un vector a modular en posición una señal UWB impulsional, correspondiendo cada componente a una posición de modulación PPM, **caracterizado** porque dichos vectores se obtienen a partir de los elementos de la matriz:

$$C = \begin{pmatrix} \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 & \sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6 & \sigma_7 + \sigma_8 + \sigma_9 \\ \Delta(\sigma_7 + \Omega^{(1)}\sigma_8 + \sigma_9) & \sigma_1 + \Omega^{(1)}\sigma_2 + \sigma_3 & \sigma_4 + \Omega^{(1)}\sigma_5 + \sigma_6 \\ \Delta(\sigma_4 + \sigma_5 + \Omega^{(2)}\sigma_6) & \Delta(\sigma_7 + \sigma_8 + \Omega^{(2)}\sigma_9) & \sigma_1 + \sigma_2 + \Omega^{(2)}\sigma_3 \end{pmatrix}$$

una línea de la matriz corresponde a una utilización del canal de transmisión y una columna de la matriz corresponde a un elemento de radiación, definiéndose la matriz C en una permutación cerca de sus líneas y/o sus columnas, siendo Δ una permutación de las posiciones PPM de dicho alfabeto, siendo $\Omega^{(1)}$ una permutación de las posiciones de modulación PPM de dicho segundo sub-alfabeto y siendo $\Omega^{(2)}$ una permutación de las posiciones de modulación PPM de dicho tercer sub-alfabeto.

5. Procedimiento de codificación espacio-temporal de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** porque $\Omega^{(1)}$ y/o $\Omega^{(2)}$ es una permutación /son unas permutaciones circular(es) de las posiciones de modulación PPM, respectivamente de dichos segundo y tercer sub-alfabetos.

6. Procedimiento de codificación espacio-temporal de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** porque $\Omega^{(1)}$ y/o $\Omega^{(2)}$ es una /son unos desplazamiento(s) circular(es) de las posiciones de modulación PPM, respectivamente de dichos segundo y tercer sub-alfabetos.

7. Procedimiento de codificación espacio-temporal para un sistema de transmisión UWB que comprende una diversidad P de elementos de radiación, codificando dicho procedimiento un bloque de símbolos de información $S = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{P^2})$ que pertenecen a un alfabeto de modulación PPM que presenta un número M de posiciones de

modulación múltiplo de P , estando particionado dicho alfabeto en P sub-alfabetos que corresponden a unas zonas sucesivas de posiciones de modulación, perteneciendo los símbolos $\sigma_{q^{p+1}}$, $q = 0, \dots, P - 1$ al primer sub-alfabeto, perteneciendo los símbolos $\sigma_{q^{p+2}}$, $q = 0, \dots, P - 1$ al segundo sub-alfabeto y así sucesivamente, los símbolos $\sigma_{q^{p+P}}$, $q = 0, \dots, P - 1$ al P -ésimo sub-alfabeto, codificando el procedimiento dicho bloque de símbolos en una secuencia de vectores, estando asociado cada vector a una utilización del canal de transmisión y a un elemento radiador dado, estando destinados los componentes de un vector a modular en posición una señal UWB impulsional, correspondiendo cada componente a una posición de modulación PPM, **caracterizado** porque dichos vectores se obtienen a partir de los elementos de la matriz dada en el anexo, correspondiendo una línea de la matriz a una utilización del canal de transmisión y correspondiendo una columna de la matriz a un elemento de radiación, definiéndose la matriz C en una permutación cerca de sus líneas y/o sus columnas, siendo Δ una permutación de las posiciones PPM de dicho alfabeto, siendo las matrices $\Omega^{(p)}$, $p = 1, \dots, P - 1$ una permutación de las posiciones de modulación PPM del $(p+1)$ -ésimo sub-alfabeto.

8. Procedimiento de codificación espacio-temporal de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado** porque al menos una matriz $\Omega^{(p)}$, $p = 1, \dots, P - 1$ es una permutación circular de las posiciones de modulación PPM del $(p+1)$ -ésimo sub-alfabeto.

9. Procedimiento de codificación espacio-temporal de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado** porque al menos una matriz $\Omega^{(p)}$, $p = 1, \dots, P - 1$ es un desplazamiento circular de las posiciones de modulación PPM del $(p+1)$ -ésimo sub-alfabeto.

10. Procedimiento de codificación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque la matriz Δ es una permutación circular de dicho alfabeto.

11. Procedimiento de codificación de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado** porque la matriz Δ es un desplazamiento circular de dicho alfabeto.

12. Procedimiento de codificación espacio-temporal de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque los elementos de radiación son unas antenas UWB.

13. Procedimiento de transmisión de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado** porque los elementos de radiación son unos diodos láser o unos diodos electroluminiscentes.

14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque dicha señal impulsional es una señal TH-UWB.

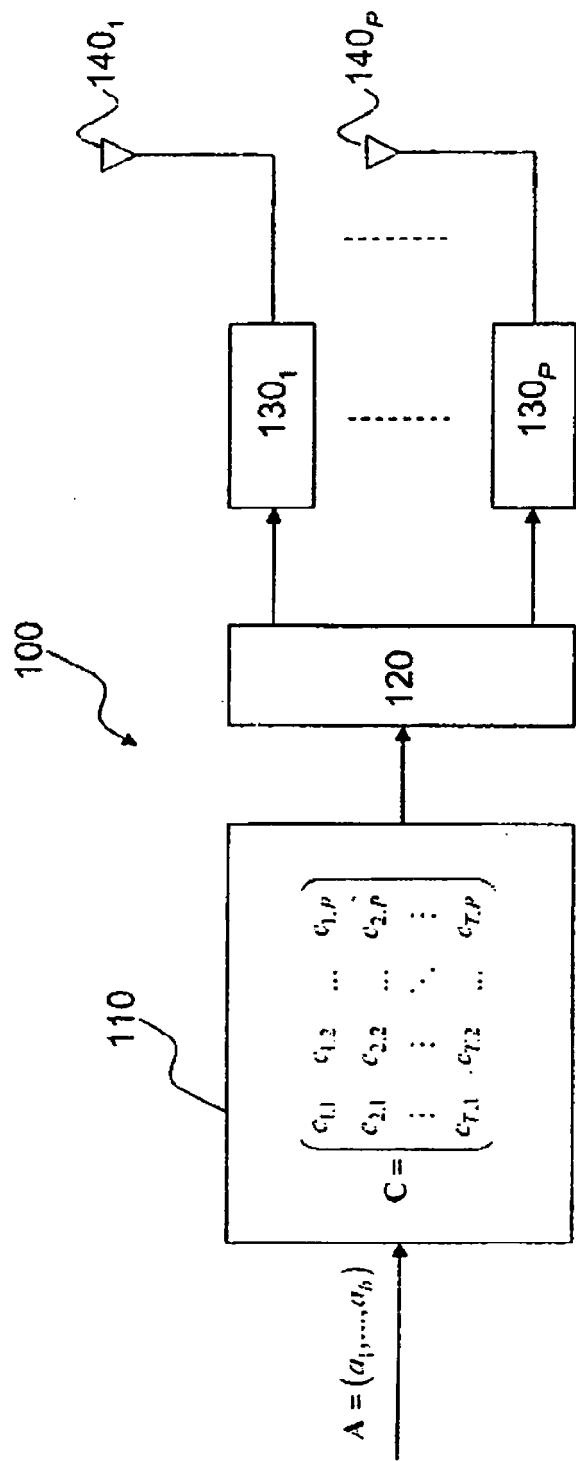


FIG.1

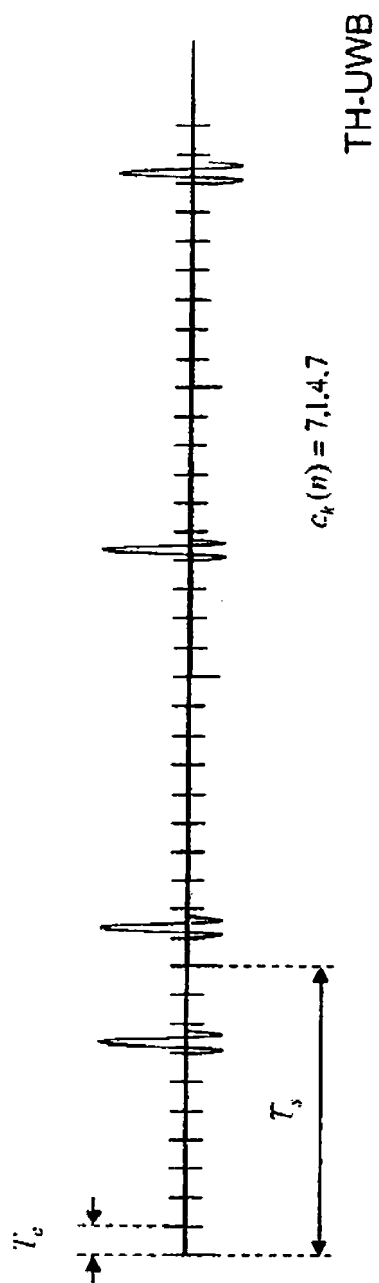


FIG.2

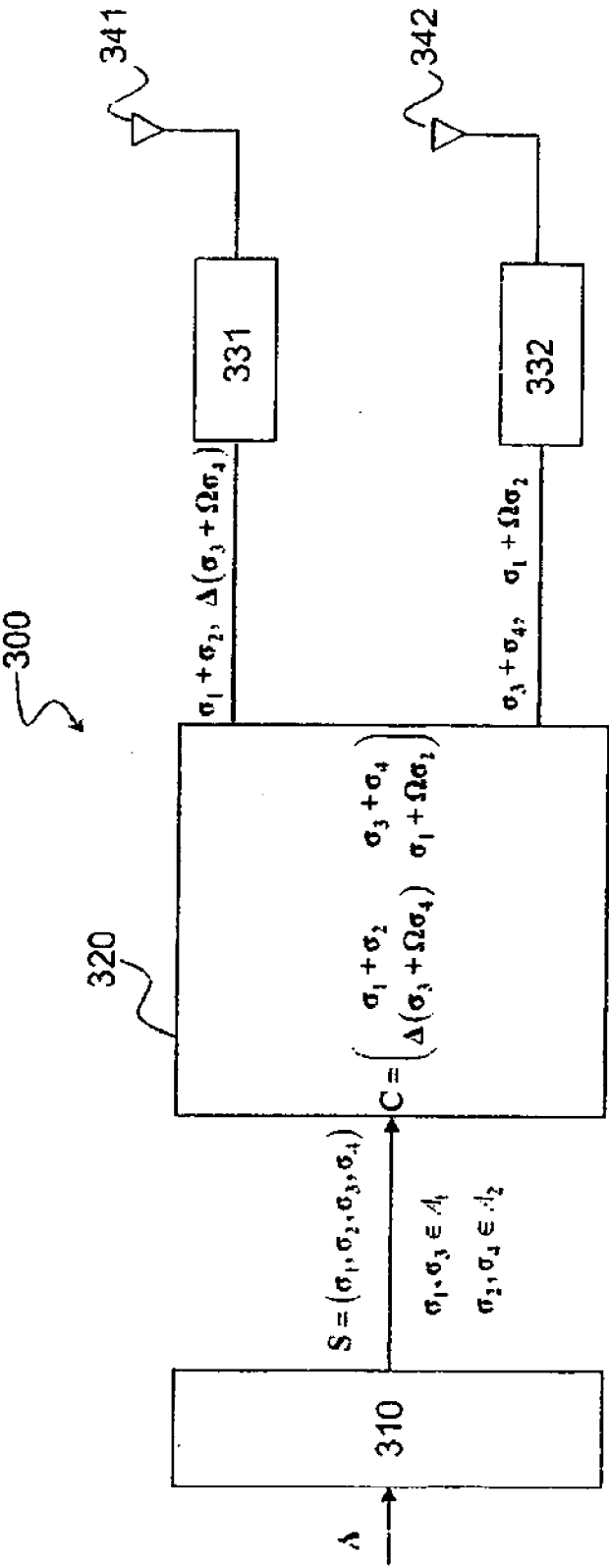


FIG.3

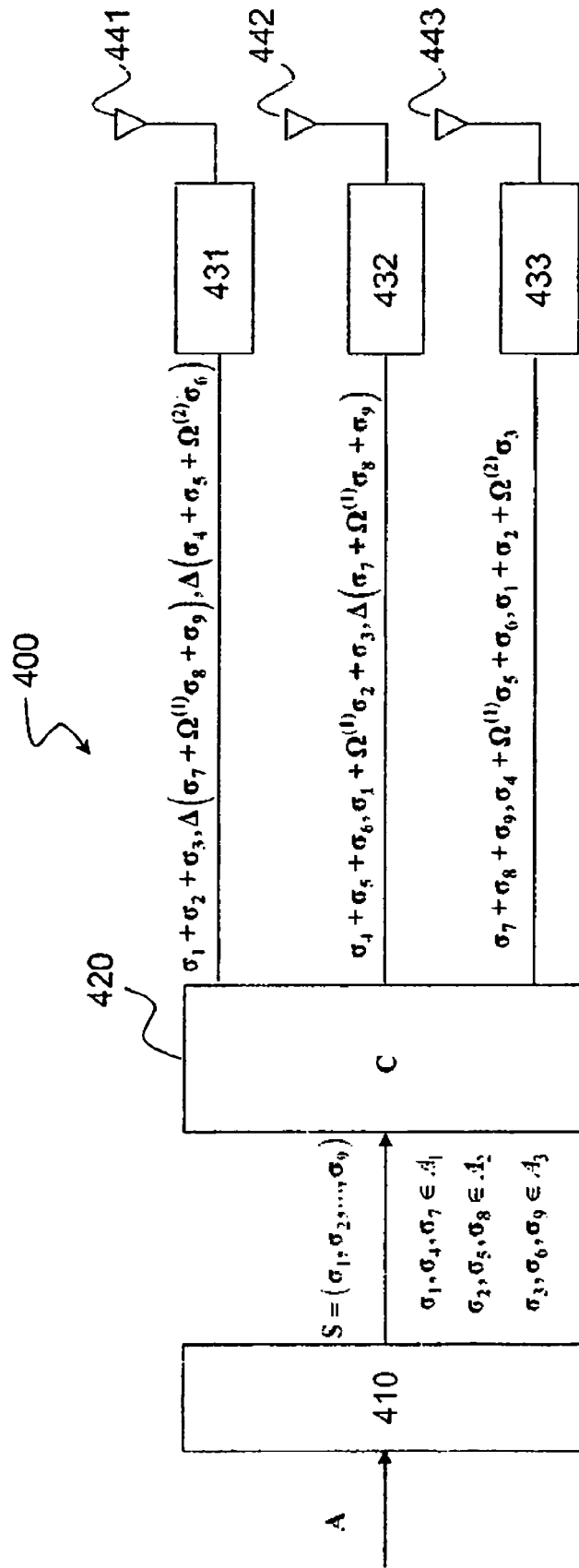


FIG. 4