



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 307 578**

⑤1 Int. Cl.:

G06F 3/00 (2006.01)

A63B 23/12 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑨6 Número de solicitud europea: **01402864 .1**

⑨6 Fecha de presentación : **08.11.2001**

⑨7 Número de publicación de la solicitud: **1207448**

⑨7 Fecha de publicación de la solicitud: **22.05.2002**

⑤4 Título: **Procedimiento y sistema de control de un elemento con retorno del esfuerzo.**

③0 Prioridad: **15.11.2000 FR 00 14733**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.12.2008

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.12.2008

⑦3 Titular/es: **FRANCE TELECOM**
6, place d'Alleray
75015 Paris, FR

⑦2 Inventor/es: **Hennion, Bernard**

⑦4 Agente: **Justo Vázquez, Jorge Miguel 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 y sistema de control de un elemento con retorno del esfuerzo.

5 La presente invención se encuentra dentro del ámbito de la transmisión del retorno del esfuerzo a distancia, especialmente en el desarrollo de mundos virtuales repartidos y del desarrollo de los medios de tele-presencia.

De la misma manera que las técnicas de codificación de vídeo digital se apoyan en los conocimientos de la percepción visual, y las técnicas de reconocimiento de voz en el conocimiento del oído, la tecnología háptica (del griego haptos: mano) se apoyan en los conocimientos de los gestos.

Hay dos tipos de gestos finos realizables con la mano: los gestos balísticos, como desplazar la mano hacia un vaso para agarrarlo y los gestos con contra-reacción al tacto, como aquel que permite después de agarrar el vaso y cerrar la pinza pulgar-dedos, llevar el vaso a su boca. El cerebro es entonces informado en todo momento de la fuerza con la que la mano aprieta el vaso, de su peso que depende de la cantidad de líquido. El cerebro reacciona entonces dando una orden motora de “pellizcar” suficiente ese vaso para que no se caiga, pero no demasiado, para no romperlo, ni gastar una energía inútil.

Los gestos balísticos activan el arco motor pero no activan el arco sensorial en retorno al tacto. El retorno de informaciones puede ser una representación visual del espacio, pero también un documento gestual, es decir, una representación mental innata o adquirida por cable en el cerebro y que genera automáticamente la secuencia de órdenes motoras de los músculos del hombro, del brazo, de la mano para realizar este gesto balístico en función de una determinada representación mental del espacio, específicamente de la distancia presumida mano-vaso.

Para los gestos balísticos, es suficiente transmitir al cerebro las informaciones sobre el gesto con una frecuencia de muestreo de 100 Hz. Esto significa que si envía una muestra de la señal cada 10 ms, la señal transmitida contendrá toda la información pertinente del gesto balístico.

Los gestos con contra-reacciones al tacto activan al mismo tiempo el arco motor y el arco sensorial. El cerebro cierra el circuito y el ciclo completo en el hombre dura menos de 1 ms. El ancho de banda de las neuronas sensoriales ubicadas en las puntas de sus dedos, es decir la frecuencia máxima de la señal mecánica que estas neuronas son capaces de detectar y transmitir al cerebro, es superior a 500 Hz. Si se desea poder codificar en un ordenador un gesto fino, es necesario que el sistema con retorno de los esfuerzos utilizado tenga en sí mismo una frecuencia de funcionamiento elevada, al menos igual, de acuerdo con el teorema de Shannon, al doble del ancho de banda de los dedos.

En la práctica, los sistemas con retorno de esfuerzos en una máquina local funcionan a una frecuencia típica de 1 kHz en circuito cerrado local, es decir que una retroacción es calculada y luego ejercida en sus motores y luego percibida por la mano cada 1/1000 segundos. Con ello se evita el efecto denominado “cepillo de dientes eléctrico”: el instrumento que se tiene en la mano no debe dar la impresión de que vibra.

Esta frecuencia de 1 kHz resulta del siguiente compromiso: la misma no debe ser ni demasiado baja para poder restituir finamente la impresión táctil, ni demasiado alta para dejar tiempo suficiente al ordenador para calcular la fuerza de contra-reacción que representará en el mundo virtual mecánico, la simulación fina del gesto efectuado.

Si ahora se desea transmitir a través de una red de telecomunicaciones, gestos finos codificados por el sistema de retorno de esfuerzos y gestos finos con contra-reacciones, el problema se complica a causa de la latencia generalmente muy superior introducida por la propia red.

Por lo tanto, la latencia en tecnología RNIS es de 30 ms, en tecnología ADSL en el orden de 200 ms, y en Internet puede alcanzar 6 s o incluso provocar el rechazo puro y simple del mensaje. En ADSL e Internet, la latencia varía debido a la naturaleza asíncrona de las redes. La cadencia de 1 kHz es por lo tanto demasiado elevada para que pueda mantenerse si el circuito cerrado comprende un ir y venir a través de la red - el gesto se codifica y se transmite a través de la red, se aplica a un objeto distante, la contra-reacción de ese objeto es a su vez codificada y transmitida en retorno a través de la red.

Un gesto balísticos se puede transmitir con un retraso de la orden de magnitud de 10 ms. De hecho, la vista es un sentido mono-direccional: el ojo es una especie de cámara que registra una escena y el cerebro, con una tolerancia cercana, puede percibir con un ligero retraso la película visual precisa sin perturbar la ejecución del gesto.

Por el contrario, un gesto fino con contra-reacción requiere cerrar en menos de un milisegundo, la ida y vuelta de la decisión sobre la intensidad de la fuerza a ejercer:

- emisión de la orden al músculo a través del arco sensorial motor,
- acción mecánica de la mano sobre el vaso,
- sensación del tacto del vaso (aumento de la presión de contacto) en los extremos de los dedos, y

ES 2 307 578 T3

- retorno al cerebro a través del arco sensorial táctil de esta información para permitir al cerebro decidir el ajuste de la fuerza de la “pinza”.

Para intentar transmitir sin embargo un gesto fino de este tipo, hay un método llamado Método “Wavetransform”, publicado por John Wilson, Neville Hogan del MIT bajo el título “Algorithms for Network - Based Force Feedback”, Proceedings of the Fourth PHANTOM Users Group Workshop (PUG 99) Massachusetts Institute of Technology, Noviembre de 1999. Este método simula el retraso introducido por la red por una viscosidad artificial que estabiliza el circuito de contra-reacción: el sistema es mucho más viscoso que la red introduce un gran retraso.

El método “Wavetransform” consiste en transponer en el espacio fuerzas/velocidades la teoría de los cuádruplos pasivos con retraso puro que es bien conocido para las magnitudes eléctricas tensión/intensidad. Esta teoría permite calcular las ondas eléctricas incidentes y reflejadas en función de la impedancia característica de la línea. La transmisión de la señal eléctrica es óptima cuando esta línea está cerrada en este mismo valor característico de la impedancia.

La Ley de Ohm $U = Z \cdot I$ se transpone en el espacio mecánico en la ley $F = \text{viscosidad} \cdot \text{Velocidad}$ y el método “Wavetransform” consiste en adaptar una línea con retraso puro virtual dando como impedancia (viscosidad de hecho) característica aquella del robot tele-manipulado. La señal se transmite bajo la forma de su transformada en Z, $S(z) = \Sigma(s(t) \cdot e^{(2i \cdot \pi \cdot n \cdot T)})$, donde T es la demora límite fija de la red. Mientras más retraso presenta la red, es más fácil añadir una gran viscosidad artificial en la línea para estabilizar la simulación mecánica repartida del gesto final en circuito cerrado y en red.

Se distorsiona la verdadera sensación gestual, pero se optimiza la transmisión de la señal útil. Este método se publicó en el Fourth Users Group Workshop (PUG99).

El método “Wavetransform” requiere una red sincrónica, es decir, una red con retraso fijo y conocido, por ejemplo RNIS. Se basa en la representación en Z de las señales discretas muestreadas de período igual a la demora fija conocida de la red.

Por lo tanto, es inaplicable a las redes asíncronas de mensajes del tipo Internet o ATM, UMTS, que se caracterizan por una demora de transmisión variable, y un rechazo si el mensaje se pierde o toma demasiado tiempo para atravesar la red.

El problema de la cadencia demasiado elevada de los sistemas de retorno de esfuerzos es exacerbada en estas redes asíncronas, para las cuales:

- los mensajes se pueden perder, no tienen éxito, o se rechazan si el acuse de recibo tarda demasiado (TCP/IP),
- los mensajes que llegan en condiciones de seguridad imponen una demora variable para atravesar la red,
- los mismos no llegan necesariamente en el orden en que fueron emitidos,
- no existe reloj común exacto de alrededor de milisegundos entre dos máquinas.

El documento WO 98/06024 describe un procedimiento para proporcionar un retorno forzoso en un sistema compuesto por un servidor y un ordenador que comprende una interfaz hombre-máquina con retorno de fuerza.

El documento FR 2 646 612 describe un sistema de juegos de fuerza a distancia que permite a dos jugadores alejados medir su fuerza sin estar físicamente en contacto, oponiéndose cada uno por su lado a equipos electromecánicos conectados entre sí por un medio de telecomunicaciones, y restituyendo a cada uno de los socios los esfuerzos y los movimientos realizados por su adversario.

En el documento “Un sistema de colaboración a distancia utilizando un entorno virtual hand-force”, Makoto Sako, y otros, Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japón 226, describe un sistema de colaboración a distancia que permite a los operadores ubicados en sitios distantes colaborar manteniendo un entorno virtual que ejecuta interacciones de tipo “brazo de hierro” por medio de una red.

La invención propone remediar las desventajas de los sistemas del arte anterior.

La invención proporciona un sistema de control de un elemento con retroacción situado a distancia susceptible de funcionar con transmisión de datos a través de redes síncronas o asíncronas, de retraso conocido o indeterminado.

El sistema de control, de acuerdo a un aspecto de la invención está destinado a un elemento con retorno del esfuerzo apto para interactuar con otro elemento, del tipo de constante de tiempo inferior a aquella vinculada a un control a distancia. El sistema comprende un modelo local para el cálculo de un registro destinado al elemento de retorno del esfuerzo a partir de una variable medida por el elemento con retorno del esfuerzo, de variables inherentes al elemento con retorno del esfuerzo y una estimación de una interacción exterior sobre el elemento con retorno del esfuerzo, y una variable de estado del elemento con retorno de esfuerzo, un modelo a distancia para la estimación de las interacciones

ES 2 307 578 T3

y de las variables de estado del otro elemento con actualización a partir de la recepción de los datos recibidos de otro sistema situado a distancia, y un medio de reajuste capaz de emitir un mensaje de reajuste hacia el otro sistema.

Se realiza así una simulación del comportamiento del elemento distante.

Ventajosamente, el sistema comprende un modelo fantasma para realizar una estimación de las variables de estado del elemento con retorno del esfuerzo y volver a ajustar dicha estimación a partir de la recepción del mensaje de reajuste. El modelo fantasma permite simular localmente el modelo distante del sistema de control distante.

En un modo de realización de la invención, el medio de reajuste comprende un medio de comparación de la estimación de las variables de estado que provienen del modelo fantasma y de las variables de estado que provienen del modelo local a fin de que en caso de diferencia superior a un umbral predeterminado, el medio de reajuste emita un mensaje de reajuste hacia el modelo fantasma y hacia el otro sistema.

En un modo de realización de la invención, el sistema comprende un medio de extrapolación para el tratamiento de un mensaje de reajuste proveniente del otro sistema y para actualizar el modelo distante.

La invención también propone un conjunto de controles de dos elementos con retorno del esfuerzo situados a distancia uno del otro. Cada elemento es provisto de un sistema de control que comprende un modelo local para el cálculo de un registro destinado al elemento de retorno del esfuerzo a partir de una variable medida por el elemento de retorno del esfuerzo, de variables inherentes al elemento con retorno del esfuerzo y una estimación de una interacción exterior en el elemento con retorno del esfuerzo, y de una variable de estado del elemento con retorno del esfuerzo, un modelo distante para la estimación de las interacciones y de las variables de estado del otro elemento con actualización de la recepción de datos recibidos de otro sistema situado a distancia, y un medio de reajuste capaz de emitir un mensaje de reajuste hacia dicho otro sistema.

La invención también propone un procedimiento de control de un elemento con retorno del esfuerzo capaz de interactuar con otro elemento, en el que se realiza un modelado local para obtener un señal destinada al elemento con retorno del esfuerzo a partir de una variable medida por dicho elemento con retorno del esfuerzo, de variables inherentes a dicho elemento con retorno del esfuerzo, de una estimación de una interacción exterior en el elemento con retorno del esfuerzo, y de una variable de estado del elemento con retorno del esfuerzo; se realiza un modelado distante de las interacciones y de las variables de estado del otro elemento con actualización a partir de la recepción de los datos recibidos de otro sistema situado a distancia; se elabora y se emite hacia dicho otro sistema un mensaje de reajuste.

Ventajosamente, se lleva a cabo un modelado fantasma de las variables de estado del elemento con retorno del esfuerzo con reajuste a partir de la recepción del mensaje de reajuste.

En un modo de realización de la invención, durante el reajuste, se compara la estimación de las variables de estado salidas del modelado fantasma y de variables de estado salidas del modelado local de forma de que en caso de una diferencia superior a un umbral predeterminado, se emite un mensaje de reajuste en vista de un nuevo modelado fantasma, y hacia el otro sistema.

En un modo de realización de la invención, se realiza una extrapolación para el tratamiento de un mensaje de reajuste proveniente del otro sistema y realizar una actualización del modelado distante.

La invención se refiere también a un programa de ordenador que comprende medios de código de programa para realizar los pasos del procedimiento, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.

La invención se refiere también a un soporte capaz de ser leído por un dispositivo de lectura de medios de código de programa que se encuentran almacenados y que son capaces de aplicar en la realización de las etapas del procedimiento, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.

La presente invención se aplica de forma ventajosa a sistemas de dos direcciones, por ejemplo juegos de vídeo con empuñaduras de control equipados con accionadores para el retorno del esfuerzo, a la tele-ecografía robotizada que puede ser utilizada en el campo de la obstetricia y de los exámenes abdominales.

En el caso de la ecografía, la piel del paciente o de la paciente se encuentra generalmente recubierta con un gel para una adecuada transmisión de los ultra sonidos. La sonda ecográfica se puede manipular a distancia por un operador. Debido a la presencia del gel, los componentes de la fuerza ejercida por el paciente o la paciente sobre la sonda pueden ser considerados normales en la superficie local de la piel. La sonda posee 6 grados de libertad con una contra reacción de fuerza según los tres ejes de una referencia tridimensional y una contra reacción del par igualmente según los tres ejes de una referencia tridimensional. El sistema puede aplicarse igualmente a los juegos de combate a distancia, de esgrima, o también a aplicaciones industriales del género de mecanizado a distancia.

La presente invención será mejor comprendida y aparecerán otras ventajas con la lectura de la descripción detallada de algunos modos de realización tomados a título de ejemplo no limitativo e ilustrada por los dibujos anexos, en los que:

la figura 1 es una vista esquemática de un sistema de acuerdo a un primer modo de realización de la invención.

la figura 2 es una vista detallada de la figura 1.

5 la figura 3 muestra las curvas de evolución de determinados parámetros del sistema.

la figura 4 es una vista esquemática de un segundo modo de realización de la invención.

10 Como puede verse en la figura 1, un conjunto de juegos donde los jugadores J1 y J2 comparten su fuerza a distancia - juego a menudo llamado "brazo de hierro" - comprende una empuñadura P1 para el jugador J1 y una empuñadura P2 para el jugador J2. Cada empuñadura P1, P2 está conectada a una interfaz I1, I2 que comprende un medio para ejercer una fuerza sobre la empuñadura P1, P2, por ejemplo, un accionador de tipo gato eléctrico, y un medio para medir la fuerza ejercida por el jugador J1, J2 sobre la empuñadura P1, P2, por ejemplo un sensor del par o también un medidor del esfuerzo. La interfaz I1, I2 comprenderá igualmente una tarjeta de adquisición conectada al medio de ejercicio de una fuerza y al medio de medición y capaz de intercambiar datos digitales con otro sistema digital, tal como un ordenador.

15 Cada interfaz I1, I2 está conectada a un sistema de control S1, S2. En el caso ilustrado aquí, los sistemas S1 y S2 son idénticos. Sólo el sistema S1 será descrito. Sin embargo, se pueden considerar modos de realización en los que uno de los dos sistemas es de estructura simplificada con relación al otro.

20 De forma general, el sistema S1 puede presentarse bajo la forma de un ordenador, del tipo ordenador personal generalmente provisto de al menos un micro-procesador, de memorias remanentes y no remanentes, un bus de comunicación, de puertos de entrada y salida y de uno o varios programas almacenados en la memoria y aptos para ser ejecutados por el micro-procesador.

30 El sistema S1 está conectado por una parte a la interfaz I1 por ejemplo mediante un bus de tipo RS 232 y al sistema S2 por una red de comunicación de referencia 3 en su conjunto y que podrá ser de tipo síncrono por ejemplo RNIS o asíncrono, del tipo ATM, UMTS o también Internet (TCP/IP). El sistema S1 se encuentra cerca del jugador J1, por ejemplo, en la misma habitación. El sistema S2 se encuentra a una distancia del sistema S1, distancia que puede ir desde algunos metros a varios miles de kilómetros. En otras palabras, el sistema S1, la interfaz I1, la empuñadura P1 y el jugador J1 están dispuestos a nivel local, mientras que el sistema S2, la interfaz I2, la empuñadura P2 y el jugador J2 están dispuestos de manera distal en comparación con los anteriores.

35 Más concretamente, el sistema S1 comprende un modelo local ML1 apto para enviar una señal a la interfaz I1 y para recibir de dicha interfaz I1 una variable medida por la interfaz I1, por ejemplo la posición X de la empuñadura P1. La señal puede ser una variable de fuerza o de par y es denotada F_e . El sistema S1 comprende un modelo distante MD2 previsto para estimar un estado del modelo local ML2 del sistema S2. El modelo distante MD2 del sistema S1 está apto para recibir datos provenientes del sistema S2, para recibir los datos provenientes del modelo local ML1 y para emitir los datos hacia el modelo ML1 local. Más concretamente, el sistema S1 comprende un extrapolador EXT2 que recibe datos provenientes del sistema de S2 a través de la red de comunicación 3 para procesar un mensaje de reajuste proveniente del sistema S2 y transmitir datos de actualización al modelo distante MD2 en función del mensaje de reajuste recibido último.

45 El sistema S1 comprende una pantalla E1 conectada al modelo local ML1 para mostrar datos salidos del modelo local ML1, por ejemplo una curva que traza la evolución de las fuerzas ejercidas y posiciones de las empuñaduras P1 y P2.

50 El sistema S1 comprende un recalador R1 que recibe datos del modelo local ML1 y apto para enviar datos de salida con destino al sistema S2, en particular con destino al extrapolador EXT1 del sistema S2. El recalador R1 está apto para realizar una preparación de datos para emitirlos bajo la forma de un mensaje de reajuste que podrá incluir una fecha, la posición X de la empuñadura P1, la fuerza F ejercida sobre la empuñadura P1 en dicha fecha así como la fuerza ejercida sobre la empuñadura P1 en una fecha anterior.

55 El sistema S1 comprende, además, un modelo fantasma MF1 que también recibe los mensajes de reajuste provenientes del recalador R1 del sistema S1 y que realiza una estimación de las variables de estado de la interfaz I1 después de emitir los mensajes de reajuste por el recalador R1 y recibidos por el sistema S2. En otras palabras, el modelo fantasma MF1 efectúa una estimación a partir de los mismos datos que los recibidos por el modelo distante MD1 del sistema S2. De este modo, el modelo fantasma MF1 permite modelar las variables de la interfaz I1 de manera que estas sean modeladas por el sistema S2.

60 La salida del modelo fantasma MF1 está conectada al recalador R1 que compara la estimación de las variables de estado provenientes del modelo fantasma MF1 y las variables de estado provenientes del modelo local ML1. En caso de diferencia superior a un umbral predeterminado, el recalador R1 emite un mensaje de reajuste destinado al modelo fantasma MF1 y al extrapolador EXT1 del sistema S2. De este modo, el volumen de datos intercambiados entre los sistemas S1 y S2 es relativamente reducido en la medida en que un mensaje de reajuste no es emitido si uno de los dos sistemas S1, S2 estima que el otro sistema S2, S1 no está en las mejores condiciones para estimar convenientemente esas variables de estado.

El funcionamiento del sistema será mejor comprendido con referencia a la figura 2. Para el jugador J1, el vector de estado X se descompone en tres partes: X^e variable situada en la interfaz con la empuñadura P1, X^m variable interna al modelo mecánico del jugador J1 y X^i variable de interacción situada en la interfaz con el otro jugador. Del mismo modo, la variable asociada de fuerza o de par F se descompone en: F^e fuerza ejercida por el jugador J1 sobre la empuñadura P1, F^m fuerza ejercida por la gravedad, los otros objetos, otros jugadores eventuales, y la fuerza F^i ejercida por el jugador J1 sobre el jugador J2. Del mismo modo, el vector de estado Y del jugador J2 se descompone en Y^e , Y^m y Y^i y el vector asociado de fuerza del par G se descompone en G^e , G^m , y G^i . Los dos jugadores J1 y J2 están en contacto virtual. Por lo tanto, se tiene $X^i = Y^i$. La ley de acción y de reacción da: $F^i + G^i = 0$.

A cada paso del tiempo, la interfaz I1 capta la posición X_n^e y la transmite al modelo ML1 local. La interfaz I1 recibe la fuerza de señal F_n^e proveniente del modelo local ML1 y controla su o sus accionadores con la fuerza de contra reacción - F_n^e . Del mismo modo, la interfaz I2 capta la posición Y_n^e y la transmite al modelo ML2 local y recibe la fuerza G_n^e proveniente del modelo ML2 controla su o sus accionadores con la fuerza de contra reacción - G_n^e .

Al principio del instante $n + 1$, el modelo local ML1 recibe la posición X_{n+1}^e de la interfaz I1, la estimación de la interacción $\tilde{G}_{n+1}^i$ del modelo distante MD2 y las variables inherentes pre-registradas F_{n+1}^m . El modelo local ML1 calcula la fuerza ejercida por el jugador J1 sobre el jugador J2: $F_{n+1}^i = \tilde{G}_{n+1}^i$, la fuerza ejercida por el jugador J1 sobre la empuñadura P1: $F_{n+1}^e = B^{ee-1} \{ X_{n+1}^e - X_n^e - A^e X_n - B^{em} F_{n+1}^m + B^{ei} \tilde{G}_{n+1}^i \}$, las matrices A y B siendo aquellas de la evolución del jugador J1 con $X = AX + BF$. El modelo local ML1 calcula de nuevo:

$$X_{n+1}^m = X_n^m + A^{m,i} X_n + B^{m,i} \begin{bmatrix} F_{n+1}^e \\ F_{n+1}^m \\ -\tilde{G}_{n+1}^i \end{bmatrix}$$

El modelo local ML1 envía X_{n+1} y F_{n+1} al recalador R1, la señal - F_{n+1}^e a la interfaz I1 y la variable de posición X_{n+1}^i al modelo distante MD2.

El modelo fantasma MF1 si no recibe el mensaje del recalador R1 calcula $\hat{F}_{n+1} = \hat{F}_n + K_1, K_1$ siendo proporcionada por el sistema S2, y la estimación de la posición $\hat{X}_{n+1} = (I+A)\hat{X}_n + B\hat{F}_{n+1}$, es decir, el estado mecánico del jugador J1, tal que pueda ser predicha por el sistema S2. I es aquí la matriz identidad.

En el momento de la recepción de un mensaje de reajuste $M_n = \{n, \bar{X}_n, \bar{F}_n \text{ y } \bar{F}_{n-1}\}$ proveniente del recalador R1, el modelo fantasma MF1 efectúa el reajuste siguiente:

$$\hat{X}_n = \bar{X}_n, \hat{F}_n = \bar{F}_n \text{ y } K1 = \bar{F}_n - \bar{F}_{n-1}$$

El recalador R1 recibe a cada paso de tiempo n la variable de posición X_n y las variables de esfuerzo F_n y F_{n+1} provenientes del modelo local ML1, y la estimación $\hat{X}_n$ proveniente del modelo fantasma MF1. Se compara el valor absoluto de la diferencia entre la variable de posición X_n y la estimación $\hat{X}_n$ a un umbral predeterminado y no hace nada si el valor absoluto es inferior a ese umbral. En el caso contrario, compone un mensaje de reajuste $M_n = \{n, X_n, F_n, F_{n-1}\}$. El recalador R1 envía el mensaje de reajuste M_n al modelo fantasma MF1 que se ajusta de inmediato y al modelo distante MD1 a través del extrapolador EXT1 del sistema S2 para que se ajuste lo más pronto posible.

El extrapolador EXT2 del sistema S1 permite realizar una sincronización. De hecho, el mensaje $M_p = \{p, Y_p, G_p, G_{p-1}\}$, emitido por el recalador R2 del sistema S2 llega al sistema S1 en un instante comprendido entre n y $n + 1$. Sin embargo, el mensaje M_p es sellado por la fecha p proveniente del sistema S2. El extrapolador EXT2 calcula $K_2 = G_p - G_{p-1}$ y ajusta el modelo distante MD2 efectuando: $\bar{G}_p = G_p$ y $\bar{Y}_p = Y_p$ y luego en los instantes siguientes y cualquiera que sea:

$$j = p, \dots, n, \quad \bar{G}_{j+1} = \bar{G}_j + K2 \text{ y } \bar{Y}_{j+1} = \bar{Y}_j + C\bar{Y}_j + D\bar{G}_{j+1}, \quad C \text{ y } D \text{ siendo las matrices equivalentes a las matrices A y B para el jugador J2. El extrapolador EXT2 transmite al modelo distante MD2 el resultado del reajuste: } \bar{Y}_{n+1}, \bar{G}_{n+1} \text{ y } K2.$$

El modelo distante MD2 del sistema S1 se ajusta con la recepción de un mensaje proveniente del extrapolador EXT2 tomando los valores proporcionados por dicho extrapolador EXT2:

$$\tilde{G}_{n+1} = \bar{G}_{n+1}, \quad \tilde{Y}_{n+1} = \bar{Y}_{n+1} \quad y \quad \bar{K}_2 = K_2$$

Fuera de la recepción de este mensaje, y a cada paso de tiempo, el modelo distante MD2 recibe la variable de posición de X_{n+1}^i proveniente del modelo local ML1 y efectúa un cálculo de predicción:

$$\tilde{G}^{e,m'}_{n+1} = \tilde{G}^{e,m'}_n \tilde{K}^{e,m'}_2$$

$$\tilde{G}^i_{n+1} = D^{ii-1} \left\{ X^i_{n+1} - \tilde{Y}^i_n - C \tilde{Y}^i_n - D^e G^e_{n+1} - D^m G^m_{n+1} \right\}$$

$$\tilde{Y}^{e,m'}_{n+1} = \tilde{Y}^{e,m'}_n + C^{e,m'} \tilde{Y}_n + D^{e,m'} \tilde{G}_{n+1}$$

$$\tilde{Y}^i_{n+1} = X^i_{n+1}$$

El modelo distante MD2 transmite al modelo local ML1 la predicción de variable de posición relativa al jugador J2: $\tilde{G}_{n+1}$

Preferiblemente, el extrapolador EXT2 efectúa un reajuste en chaflán que permite alisar las evoluciones. Un ejemplo de este reajuste se muestra en las curvas de la figura 3. En lugar de reducir drásticamente la estimación de la variable de posición Y a la variable $\tilde{Y}$ calculada como se expuso anteriormente por el extrapolador EXT2, el reajuste temporal se lleva a cabo en cuatro etapas entre los instantes n y $n+4$ de acuerdo al siguiente cálculo:

$$k = \left\lfloor \frac{|\tilde{Y}_{n+1} - \bar{Y}_{n+1}|}{\text{umbral} + 1} \right\rfloor;$$

Si $k = 1$, entonces $\tilde{Y}_{n+1} := \bar{Y}_{n+1}$

Si no $j = n$,

$$\bar{G}_{j+1} = \bar{G}_j + K_2$$

$$\bar{Y}_{j+1} = \bar{Y}_j + C \bar{Y}_j + D \bar{G}_{j+1}$$

$$\tilde{Y}_{j+1} := \tilde{Y}_j + C \tilde{Y}_j + D \bar{G}_{j+1}$$

$$\tilde{Y}_{j+1} = \left(\bar{Y}_{j+1} + (K-1) \tilde{Y}_{j+1} \right) / k$$

$$j := j+1$$

Si k es superior a 2, entonces $k := k-1$

Si no, se sale del circuito y $\tilde{Y}_{j+1} = \bar{Y}_{j+1}$. El reajuste en chaflán permite un funcionamiento más suave del sistema, lo que es mejor percibido por los usuarios y supone menos esfuerzos mecánicos.

De forma más general, el modelo fantasma MF1 recibe los mismos datos que el modelo distante MD1 del otro sistema y permite realizar la misma simulación que el otro sistema. En otras palabras, se busca saber lo que el otro sistema no sabe con el fin de un reajuste. El recalador funciona a ciegas en comparación con el otro sistema y permite continuar a simular en ausencia de datos relevantes transmitidos por un mensaje de reajuste proveniente del otro sistema. El extrapolador EXT2, en particular en el caso de un reajuste en chaflán, permite tener en cuenta el movimiento tal como es medido por el otro sistema durante la demora de transmisión debida a la red de comunicación. En una variante simplificada, se puede perfectamente concebir que uno de los dos o los sistemas estén desprovistos de modelo fantasma. También se puede prever hacer funcionar de forma conjunta un número de sistemas superior a dos.

Los modelos locales representan los modelos mecánicos de dos usuarios. Los modelos distantes representan una replicación distante de los modelos mecánicos locales necesariamente aproximados debido al hecho de demoras de transmisión a través de la red de comunicación de los estados de los modelos locales. Los modelos fantasmas represen-

tan una copia local próxima a los modelos distantes. Los modelos distantes y los modelos fantasmas funcionan todos en modo predictor-corrector. Los extrapoladores realizan una extrapolación de los mensajes recibidos con un cierto retraso para reajustar los modelos distantes al valor del reloj del otro sistema. Los recaladores evalúan la necesidad de lanzar un mensaje de reajuste sobre la red de comunicación cuando aparece una diferencia demasiado grande entre los modelos locales y los modelos fantasmas testigos de predicción locales de los modelos de predicción distantes. Los recaladores permiten limitar el número de mensajes emitidos a través de la red de comunicación para evitar la acumulación. En el interior de un sistema, los intercambios de información pueden ser realizados a la cadencia de un kHz. Entre los sistemas y, por tanto, a través de la red de comunicación, los intercambios de mensajes se efectúan si uno de los recaladores lo considera necesario.

Un modo de realización de la invención destinado a la ecografía se ilustra en la figura 4. Se prevé un sistema de control S1 instalado por ejemplo en un establecimiento no especializado en obstetricia, en un establecimiento de una pequeña ciudad, o también en un vehículo para los servicios a las zonas rurales. El sistema S2 se instala en un establecimiento hospitalario especializado donde los operadores altamente calificados están disponibles para realizar las operaciones de ecografía, por ejemplo en un centro hospitalario regional o universitario. Un paciente J3 descansa en una cama o sobre una mesa T. Una sonda de ecografía SE está en contacto con su abdomen. Una tabla de regulación TR de los parámetros de la sonda SE es instalado cerca. La sonda SE está conectada al sistema S1 y transmite datos de imágenes ecográficas a dicho sistema S1, e intercambia datos relativos a la posición y a los efectos ejercidos con el sistema S1. Por razones de claridad del diseño, el soporte de la sonda SE que podría ser un brazo articulado no ha sido representado aquí. Sin embargo, se entiende que se trata de un soporte que permita un desplazamiento en el espacio de acuerdo con varios grados de libertad, por lo general al menos seis para poder tomar una posición adaptada en contacto con el abdomen del paciente J3. Se prevé un micrófono MI3 y un altavoz HP3 conectado al sistema S1 y permitiendo al paciente conversar con el operador situado a distancia. Se prevé también una cámara CA3 orientada hacia el paciente J3 y una pantalla de vídeo EV3 que permite al paciente ver tanto al operador situado a distancia, como las imágenes de ecografía. La cámara CA3 y la pantalla de vídeo EV3 también están conectadas al sistema S1. Los sistemas S1 y S2, además de los elementos que se han descrito con referencia a las figuras 1 y 2, comprenden cada uno un multiplexor-demultiplexor DM1 y DM2 para permitir la transmisión de datos a través de la red 3, que puede ser por ejemplo del tipo ADSL.

Por el lado del sistema S2, el operador J4 que puede ser un médico especializado en ecografía manipula una empuñadura P3, cuya posición en el espacio se repetirá por la sonda SE. La empuñadura P3 está conectada a un brazo articulado BA, él mismo conectado a una interfaz I3 del tipo de las interfaces I1 y I2 descritas anteriormente y que comprenden uno o más accionadores y uno o más sensores de posición y sensores de esfuerzo. La medición del efecto puede ser llevada a cabo por una medida de una magnitud de energía de los accionadores, por ejemplo por la corriente consumida también por medio de una medida de esfuerzo. La interfaz I3 está conectada al sistema S2.

Se prevé también una cámara CA4 dirigida hacia el operador J4 y cuyas imágenes se pueden visualizar en la pantalla EV3, un micrófono MI4 y un altavoz HP4 que permite al operador J4 conversar con el paciente J3. Estos elementos están conectados al sistema S2. Una pantalla de vídeo EV4 de gran dimensión permitirá mostrar simultáneamente una pluralidad de imágenes, por ejemplo una imagen ecográfica, una imagen de la cara del paciente J3 y una imagen que muestra el posicionamiento de la sonda SE en el abdomen del paciente.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de control (S1) de un elemento con retorno del esfuerzo (I1) apto para interactuar con otro elemento (I2) controlado por otro sistema (S2) situado a distancia y apto para comunicarse con dicho sistema de control, del tipo con constante de tiempo inferior a aquella vinculada a un control a distancia, dicho sistema de control estando **caracterizado** porque comprende un modelo local (ML1) para el cálculo de una señal (F_e) destinada al elemento con retorno del esfuerzo a partir de una variable (X^e) medida por el elemento con retorno del esfuerzo, variables intrínsecas (F^m) al elemento con retorno del esfuerzo, una estimación ($\tilde{G}$) de una interacción exterior sobre el elemento con retorno del esfuerzo, y una variable de estado ($X^{m,i}$) del elemento con retorno del esfuerzo, un modelo distante (MD2) para la estimación de las interacciones y de las variables de estado del otro elemento con actualización de la recepción de datos recibidos del otro sistema (S2) situado a distancia, y un medio de reajuste (R1) apto para emitir un mensaje de reajuste (M_n) hacia otro sistema.

2. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque comprende un modelo fantasma (MF1) para efectuar una estimación ($\hat{X}$, $\hat{F}$) de las variables de estado del elemento con retorno del esfuerzo y reajustar dicha estimación a partir de la recepción del mensaje de reajuste.

3. Sistema según la reivindicación 2, donde los medios de reajuste temporal (R1) comprenden un medio de comparación de la estimación de las variables de estado provenientes del modelo fantasma y variables de estado provenientes del modelo local a fin de que en caso de diferencia superior a un umbral predeterminado, el medio de reajuste emite un mensaje de reajuste hacia el modelo fantasma (MF1) y hacia el otro sistema (S2).

4. Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes **caracterizado** porque comprende un medio de extrapolación (EXT2) para tratar un mensaje de reajuste proveniente del otro sistema y para actualizar el modelo distante.

5. Conjunto de control de dos elementos distantes, cada elemento estando provisto con un sistema de control de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

6. Procedimiento utilizado en un sistema (S1) de control de un elemento con retorno del esfuerzo (I1) apto para interactuar con otro elemento (I2) controlado por otro sistema (S2) situado a distancia apto para comunicarse con dicho sistema de control, dicho procedimiento estando **caracterizado** porque comprende las etapas siguientes:

- se efectúa una modelación local para obtener una señal destinada al elemento con retorno del esfuerzo a partir de una variable (X^e) medida por dicho elemento con retorno del esfuerzo, variables inherentes (F^m) a dicho elemento con retorno del esfuerzo, una estimación ($\tilde{G}$) de una interacción exterior sobre el elemento con retorno del esfuerzo, y una variable de estado ($X^{m,i}$) del elemento con retorno del esfuerzo;

- se efectúa un modelado distante de las interacciones y de las variables de estado del otro elemento con actualización a partir de la recepción de datos recibidos desde el otro sistema (S2) situado a distancia;

- se elabora y se emite hacia otro sistema un mensaje de reajuste (R1).

7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, en el que se efectúa un modelado fantasma de las variables de estado del elemento con retorno del esfuerzo con reajuste a partir de la recepción del mensaje de reajuste.

8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que durante el reajuste, se compara la estimación de variables de estado salidas del modelado fantasma y de variables de estado salidas del modelado local a fin de que en caso de una diferencia superior a un umbral predeterminado, se emita un mensaje de reajuste en vista de un nuevo modelado fantasma, y hacia el otro sistema.

9. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que se efectúa una extrapolación para el tratamiento de un mensaje de reajuste proveniente del otro sistema y efectuar una actualización del modelado distante.

10. Programa de ordenador que comprende medios de código-programa para realizar las etapas del procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, cuando dicho programa funciona en un ordenador.

11. Soporte capaz de ser leído por un dispositivo de lectura de medios de código-programa que se encuentran allí almacenados y que están aptos para la realización de las etapas del procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, cuando dicho programa funciona en un ordenador.

FIG.1

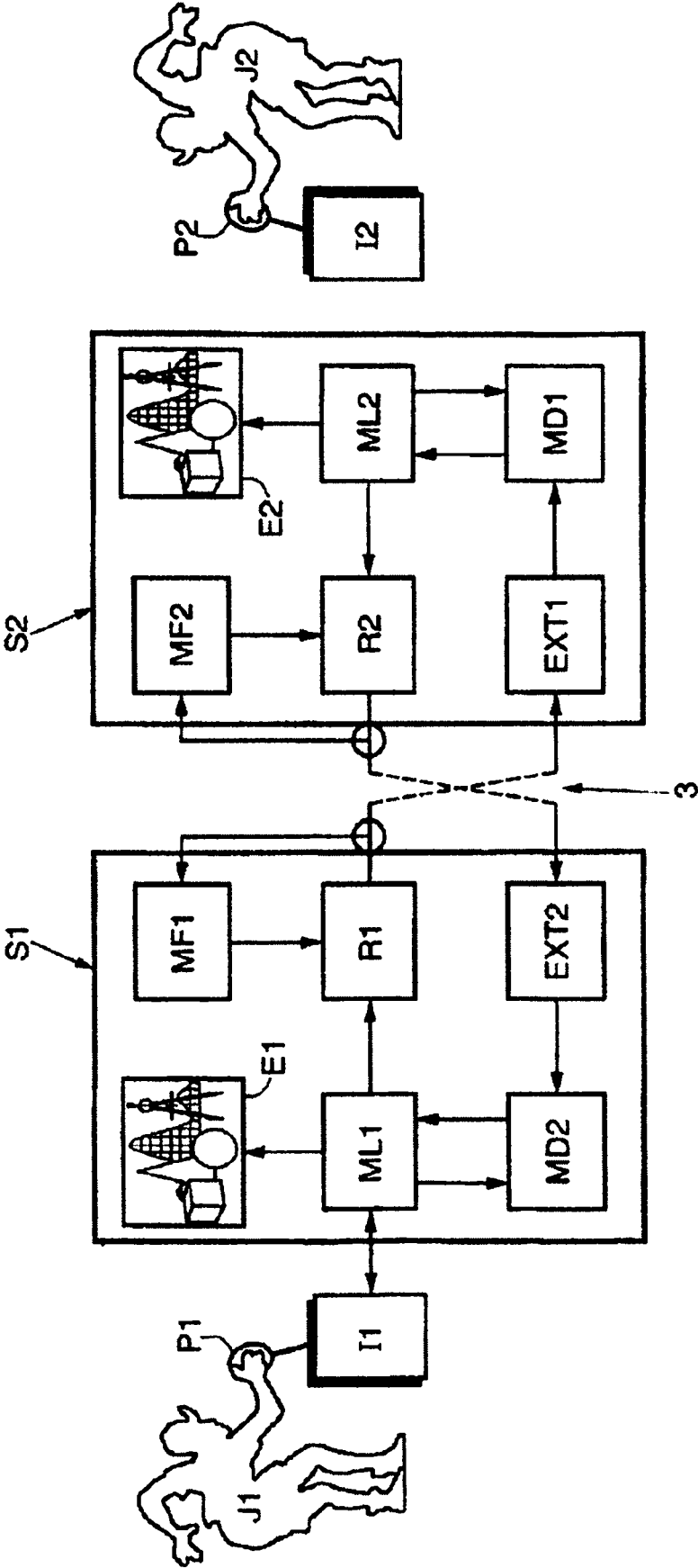
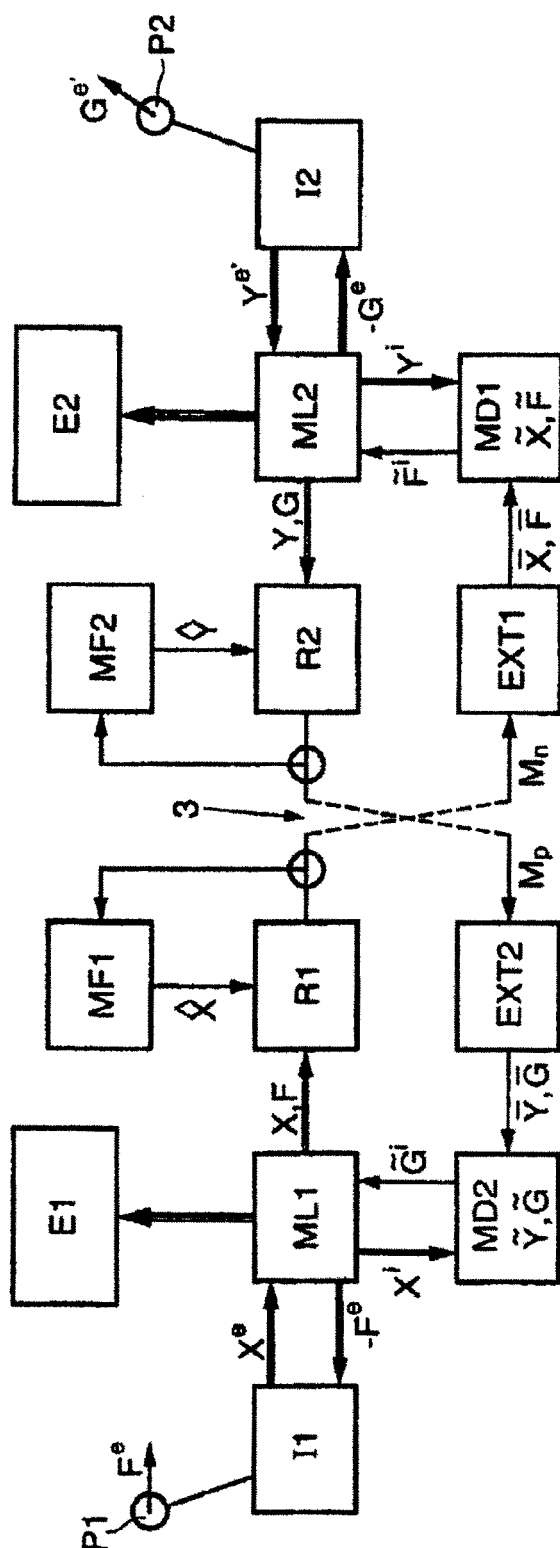


FIG. 2



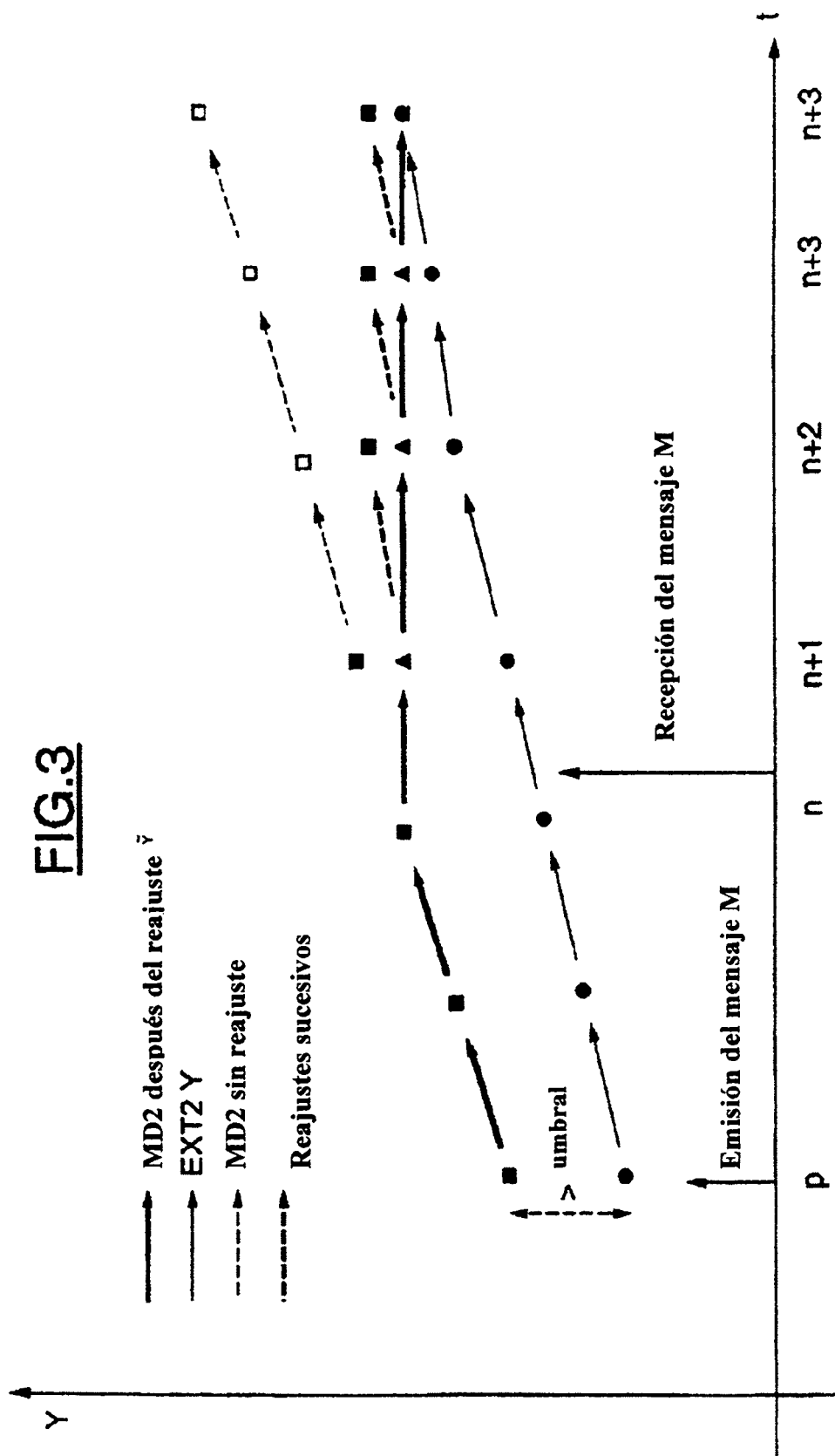


FIG.4

