



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 290**

51 Int. Cl.:
H04B 11/00 (2006.01)
H04B 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06820480 .9**
96 Fecha de presentación : **11.12.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1964292**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.09.2008**

54 Título: **Mejoras en las comunicaciones de datos.**

30 Prioridad: **09.12.2005 GB 0525126**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
06.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
06.04.2011

73 Titular/es: **SONITOR TECHNOLOGIES AS.**
Forskningsveien 1B
0314 Oslo, NO

72 Inventor/es: **Holm, Sverre y**
Holm, Rune

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 356 290 T3

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

Mejoras en las comunicaciones de datos

Esta invención se refiere a la transmisión de datos entre objetos que se están moviendo relativamente entre sí, por ejemplo un transmisor móvil y un receptor estacionario. Es aplicable particularmente, pero no exclusivamente, a las comunicaciones de datos acústicos a frecuencias ultrasónicas (del orden de 40 kHz) en el aire.

El documento WO 03/087871 describe un sistema de localización basado en comunicaciones ultrasónicas que es capaz de determinar en qué habitación está situada cada una de un cierto número de etiquetas transmisoras de ultrasonidos. Cada etiqueta transmite una señal de identificación única que es captada por uno de los receptores que se proveen en cada habitación.

El presente Solicitante ha observado que los sistemas de posicionamiento por ultrasonidos actuales tal como éste usan un enlace de datos acústicos que está muy limitado en su velocidad de transmisión de datos. Esto limita el número de objetos/personas a las que se puede seguir y/o la velocidad de actualización y en particular lo correctamente que se pueden seguir con precisión los movimientos rápidos de muchas personas/objetos entrando y saliendo de habitaciones.

Los sistemas de comunicaciones acústicas más avanzados de los que tienen conocimiento los solicitantes son aquellos que se pueden encontrar en la acústica subacuática. La primera generación de módems digitales se basaba en la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, del inglés "Frequency Shift Keying"), dado que la FSK es robusta en cuanto a la distribución del tiempo y la frecuencia del canal. Pero la FSK es ineficiente en el modo en que usa el ancho de banda, de modo que en los últimos años se ha puesto un gran esfuerzo en el desarrollo de sistemas coherentes más eficientes basados en, por ejemplo, diversas formas de modulación por desplazamiento de fase (PSK, del inglés "Phase Shift Keying"), como se describe por ejemplo en D. B. Kilfoyle y A. Baggeroer, The state of the art in underwater acoustic telemetry, IEEE Trans. Ocean. Eng., OE-25, 1-1111 (2000), a menudo en combinación con la equalización adaptativa. A pesar de esto, los sistemas FSK y MFSK (FSK múltiple) incoherentes juegan un gran papel en el suministro de comunicaciones fiables en la práctica. Tales sistemas típicamente no son adaptativos y se diseñan con suficiente ancho de banda para tener en cuenta el entorno más riguroso esperado. Esto significa que bajo condiciones ordinarias, más favorables, los sistemas funcionarán de modo ineficiente con respecto al ancho de banda y la potencia. Tales ineficiencias pueden ser sustanciales. Una de las limitaciones de diseño que produce esta baja eficiencia en el ancho de banda es la presencia de desplazamientos de frecuencia debido al efecto Doppler.

En cualquier situación en la que un transmisor y un receptor se estén moviendo acercándose o alejándose entre sí, la frecuencia de la señal percibida en el receptor difiere de la transmitida por el transmisor como resultado de la diferente distancia que cada frente de onda debe recorrer entre ambos. Esto es conocido como el efecto Doppler.

El valor relativamente bajo de la velocidad del sonido hace que incluso movimientos a baja velocidad creen desplazamientos de frecuencia relativamente grandes. Un movimiento relativo de v , en donde un v positivo significa un movimiento desde la fuente hacia el receptor, desplaza la frecuencia en:

$$f' = f(1 + v/c) \quad (1)$$

En la que f es la frecuencia original y c es la velocidad del sonido (por ejemplo aproximadamente 340 m/s en el aire y aproximadamente 1500 m/s en el agua).

Como un ejemplo, un sistema de comunicaciones acústicas subacuáticas que funcione en una frecuencia central de 25 kHz y que se use en un AUV ("Autonomous Underwater Vehicle" o Vehículo Subacuático Autónomo) con una velocidad de 10 nudos se desplazará por efecto Doppler en 86 Hz o 3,4% de un ancho de banda relativo típico del 10% de la frecuencia central (es decir 2500 Hz). Un sistema de comunicaciones ultrasónico aéreo que transmita a 40 kHz desde un transmisor que se esté moviendo a una velocidad de 6 km/h (caminar rápido) experimentará incluso un desplazamiento Doppler más grande de 196 Hz o 4,9% del ancho de banda relativo típico del 10% (es decir 4000 Hz).

El desplazamiento Doppler generará un desplazamiento en la frecuencia hacia arriba o hacia abajo dependiendo del movimiento relativo. La MFSK usa múltiples frecuencias simultáneamente y se puede considerar que son varios sistemas FSK funcionando en paralelo. La única relación entre las frecuencias es la de que nunca se les debe permitir solaparse. En un sistema MFSK, es posible teóricamente y deseable espaciar las frecuencias tan próximamente como la inversa de la longitud del pulso, $B = 1/T$. sin embargo, el desplazamiento Doppler, $f_D = f' - f$ puede exceder fácilmente esta separación en una gran cantidad, $|f_D| \gg B$, y por ello limitar de modo efectivo el número de frecuencias que se pueden usar y en consecuencia también la velocidad de transmisión de bits.

La forma estándar de tener en cuenta los desplazamientos Doppler es espaciar las frecuencias de acuerdo con el desplazamiento Doppler máximo más una cierta banda de protección, f_p :

$$\Delta f > B + 2|f_D| + f_p \quad (2)$$

La relación entre Δf y B puede ser sustancial. Dado que los transductores tienen un ancho de banda limitado esto representa una pérdida en la velocidad de transmisión de datos efectiva que se puede alcanzar de acuerdo con este

esquema.

Los esquemas de modulación descritos hasta el momento son adaptaciones de métodos que funcionan bien en comunicaciones de radio. Sin embargo es un objeto de la invención proporcionar un esquema más apropiado para entornos acústicos.

5 Cuando se ve desde un primer aspecto, la invención proporciona un aparato de comunicación de datos de acuerdo con la reivindicación 1.

10 Cuando se ve desde un segundo aspecto, la invención proporciona un método de transmisión de datos que comprende la codificación de los datos como una pluralidad de señales que comprende pares de frecuencias, la transmisión de dichos pares de frecuencias, la recepción de cada par de frecuencias, la determinación de la relación de dichas frecuencias y la decodificación de los datos de las mismas.

La invención también se extiende a un receptor de acuerdo con la reivindicación 14.

Por ello se puede ver que de acuerdo con la invención, a diferencia de los métodos de transmisión de datos conocidos tales como el FSK, en lugar de codificar los datos que se transmiten en el valor de la frecuencia de una señal portadora, los bits de datos se representan por la relación de frecuencias entre un par de señales portadoras.

15 La principal ventaja apreciada por el presente inventor de la codificación de los datos en la relación de dos frecuencias es que esta relación es invariable bajo desplazamiento Doppler que surge a partir del movimiento relativo entre el transmisor y el receptor. Esto se explicará a continuación:

Como se mostró anteriormente, a consecuencia del efecto Doppler cada una de las frecuencias transmitidas f_1 : f_2 sufrirán un desplazamiento en la frecuencia dado por:

$$20 \quad f_1' = f_1 (1 + v/c)$$

$$f_2' = f_2 (1 + v/c)$$

Sin embargo si en lugar de codificar los datos en las frecuencias absolutas de las señales transmitidas, los datos se codifican, de acuerdo con la invención, en la relación de las frecuencias de pares de señales entonces la señal recibida será la siguiente:

$$25 \quad \frac{f_2'}{f_1'} = \frac{f_2(1+v/c)}{f_1(1+v/c)} = \frac{f_2}{f_1}$$

30 De ese modo la relación original se mantiene exactamente bajo desplazamiento Doppler. Esto significa que no se requiere un ancho de banda adicional para tener en cuenta el desplazamiento Doppler, al menos debido a movimientos de velocidad constante entre el transmisor y receptor, lo que contribuye a un sistema de comunicaciones que es robusto ante el movimiento. En consecuencia el ancho de banda disponible se puede usar de modo significativamente más eficiente para la transmisión de datos. Por ejemplo, ya no se necesitan las grandes bandas de protección que se requieren en los sistemas FSK convencionales.

35 En una implementación simplista los datos se podrían codificar en bits individuales únicos que tengan solamente dos valores posibles de la relación. Esto requeriría un ancho de banda muy bajo dado que los tonos a partir de los que se construye la relación se pueden espaciar muy juntos entre sí. Preferiblemente sin embargo se proporcionan más de dos relaciones posibles de modo que se pueda conseguir una velocidad de transmisión de datos mejorada para un ancho de banda dado. En realizaciones preferidas, por ejemplo, el número de relaciones disponibles es una potencia de dos de modo que se puedan transmitir a la vez una pluralidad de bits. Por ejemplo si hay 64 valores posibles de relación, se pueden transmitir seis bits de datos en cada ranura de tiempo. Son posibles números de valores de relaciones significativamente mayores en un ancho de banda dado ya que no están afectados por el desplazamiento Doppler estándar como se ha demostrado anteriormente. Preferiblemente el intervalo de relaciones posibles se divide en incrementos preferiblemente iguales, cada uno de los cuales corresponde a un valor de datos posible.

40 La relación podría cambiar para ranuras de tiempo sucesivas mediante el cambio del valor absoluto de una o de ambas de las portadoras.

45 Aunque la invención se puede aplicar a comunicaciones de datos que usen ondas electromagnéticas, el desplazamiento Doppler al que están sometidos los transmisores que viajan a velocidades terrestres normales es, en general, pequeño comparado con $1/T$. La aplicación preferida de la invención es por lo tanto en comunicaciones sónicas, más preferiblemente ultrasónicas. Por sónico se quiere indicar ondas de compresión en un medio fluido; no se pretende que se extraiga ninguna deducción tal como la frecuencia u otros parámetros que describan las ondas. Por comunicaciones ultrasónicas se indican ondas a una frecuencia por encima del intervalo de audición normal. Éste se toma convencionalmente para indicar frecuencias por encima de 20 kHz.

- De acuerdo con la invención los datos se codifican como una relación entre un par de señales en dos frecuencias. De acuerdo con algunas realizaciones las señales se podrían transmitir simultáneamente. Sin embargo no se necesita transmitir las dos frecuencias simultáneamente. Por ejemplo en otras realizaciones se transmiten secuencialmente. Esto podría tener la ventaja de que se podría emplear un único oscilador ya que sólo se necesitaría producir una frecuencia en un momento dado. Aunque tal esquema reduciría inevitablemente la velocidad de transmisión de datos comparada con la transmisión simultánea dado que a cada bit le llevaría el doble de tiempo su transmisión, aún se consigue una mejora significativa sobre los esquemas conocidos al evitarse la necesidad de grandes bandas de protección.
- Cuando no se transmiten simultáneamente el par de señales, se pueden separar mediante otras señales, por ejemplo de acuerdo con un esquema de intercalado. Preferiblemente, sin embargo, el par de señales se transmiten en sucesión, es decir una inmediatamente después de la otra. En algunas de tales realizaciones preferidas, el par de señales se transmiten en una sucesión suficientemente rápida como para que se puedan detectar como si se hubieran transmitido simultáneamente. En estas realizaciones, el receptor se configura preferiblemente de modo que detecte tales transmisiones secuenciales como simultáneas. Por ejemplo, el receptor puede emplear una transformada rápida de Fourier (FFT) cuando se codifican las señales, fijándose el tamaño de la trama FFT de modo que las dos señales caigan dentro de la misma trama FFT. En una realización de ejemplo, la primera señal de un par de señales se transmite durante una duración de 1 milisegundo, seguida, después de un intervalo de menos de 1 milisegundo, por la segunda señal, también transmitida durante una duración de 1 milisegundo.
- En algunas realizaciones, la transmisión de un par de señales se puede repetir una, dos, tres o más veces. Esto podría facilitar la mitigación de los errores de transmisión.
- En lugar de codificar los datos en la relación entre solamente dos frecuencias, se pueden usar más frecuencias. Los datos se pueden codificar entonces en relaciones entre pares respectivos de frecuencias. Por ejemplo puede haber una frecuencia base y una pluralidad de frecuencias más altas y más bajas; los datos se codifican en la relación entre cada frecuencia y la frecuencia base. El presente Solicitante se ha dado cuenta además de que tal esquema permitiría una verificación de los datos recibidos por parte del receptor mediante la determinación además de las relaciones entre algunas o todas de las frecuencias más altas/más bajas.
- El esquema descrito anteriormente podría tener alguna similitud con un sistema de modulación por desplazamiento de frecuencia múltiple (MFSK) pero tendría la diferencia crucial de que los datos se codificaban en relaciones de frecuencias más que en sus valores absolutos, de modo que las frecuencias se pueden espaciar más próximamente entre sí que lo que la teoría de la MFSK dictaría.
- Una aplicación preferida de la invención es para un sistema ultrasónico para la localización de una pluralidad de personas u objetos en una habitación particular. El ultrasonido se adapta particularmente a tales aplicaciones dado que tiene la característica de que las señales se confinan de modo efectivo a una habitación debido a que no penetran las paredes, ni se difractan en los pasos de puerta, etc. El ultrasonido es de lejos mucho menos proclive a interferencias medioambientales que, por ejemplo, la comunicación infrarroja que podría quedar fácilmente saturada por la luz solar.
- Hay sin embargo aplicaciones adicionales en las que el presente Solicitante concibe que los principios de la invención en cuanto a la mejora de la velocidad de transmisión de datos que se puede obtener con la comunicación ultrasónica pudiera ser de utilidad. Un primer ejemplo está en las comunicaciones de datos subacuáticas con una plataforma en movimiento tal como a/desde un AUV (vehículo subacuático autónomo). Aunque el problema del desplazamiento Doppler se reduce en el agua debido a la velocidad relativamente más rápida del sonido, las velocidades relativas entre el transmisor y el receptor tienden a ser mayores.
- Otro ejemplo es en las aplicaciones de control remoto, especialmente en entornos industriales. De nuevo los ultrasonidos tienen la ventaja de que no se requiere una línea directa de visión (como se requiere por ejemplo con la transmisión infrarroja) pero por otro lado no hay peligro de controlar accidentalmente máquinas en habitaciones adyacentes (como podría ocurrir con la transmisión en radiofrecuencia) lo que podría suponer un peligro significativo allí donde estén implicados robots industriales. Naturalmente, de acuerdo con la invención, se pueden conseguir velocidades de transmisión de datos más altas que hasta la fecha.
- Un tercer ejemplo de una aplicación beneficiosa que también aprovecha el confinamiento de las señales ultrasónicas a una habitación es en la comunicación inalámbrica entre equipos por ejemplo, un teclado de ordenador inalámbrico. Hay un beneficio significativo al impedir de modo efectivo que haya escuchas en esta situación.
- Una aplicación adicional potencialmente significativa es en la comunicación inalámbrica de los datos de un paciente desde un dispositivo de supervisión tal como un monitor cardíaco a una estación base. Esto permitiría la actualización en tiempo real de los datos desde el paciente a la estación base sin que el paciente tenga que permanecer estacionario. El uso de ultrasonidos es beneficioso en tales aplicaciones desde la perspectiva de la privacidad mencionada anteriormente y también porque se ve como ventajoso evitar tener transmisores de radio cercanos a los tejidos humanos o a dispositivos tales como los marcapasos.
- El presente Solicitante se ha dado cuenta de que dado que se requiere ahora que el receptor detecte correctamente dos tonos en lugar de uno para cada palabra de datos, habrá una reducción marginal en la probabilidad total de detección en un intervalo, potencia de transmisión, nivel de ruido, etc. dados. Dicho de otra forma, para una probabilidad total de

detección mínima dada (digamos del 99%) será necesario elevar la probabilidad de detección para cada tono individual. En términos prácticos esto significa que o bien se debe aceptar un intervalo ligeramente más bajo, o bien usar una potencia de transmisión ligeramente más alta. Sin embargo se cree que con el muy significativo aumento en la velocidad de transmisión de datos que se puede conseguir de acuerdo al menos con algunas realizaciones de esta invención, ésta es una consideración relativamente menor.

La invención se explicará ahora adicionalmente usando ejemplos específicos y realizaciones de la misma, con referencia los dibujos adjuntos que no son limitadores del alcance de la invención y en los que:

la Figura 1 es un gráfico de la frecuencia respecto al tiempo para un esquema MFSK simplificado;

la Figura 2 es un gráfico similar para un esquema de ejemplo de acuerdo con la invención;

la Figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema que incluye la invención; y

la Figura 4 es un diagrama esquemático de un sistema de localización que incluye la invención.

La Figura 1 muestra un sistema de modulación por desplazamiento de frecuencia múltiple (MFSK). El sistema tiene un ancho de banda disponible W centrado alrededor de la frecuencia media f_c . La frecuencia máxima y mínima que se pueden usar son por lo tanto $f_{\min} = f_c - W/2$ y $f_{\max} = f_c + W/2$.

El ancho de banda se divide en cinco pares de frecuencias $f_{1,0}$ y $f_{1,1}$ que corresponden a 0 y 1 respectivamente. Para transmitir la señal digital 1001000 como se muestra en la Figura 1, el primer bit 1 se transmite mediante la transmisión de un tono a la frecuencia $f_{1,1}$ que es la frecuencia del bit '1' que es el más bajo de los cinco pares. El siguiente bit, que es un '0', se transmite usando el 2º par de frecuencias y por lo tanto se transmite a la frecuencia $f_{2,0}$. El siguiente bit '0' se transmite buscando el tercer par de frecuencias, es decir a la frecuencia $f_{3,0}$. El cuarto bit, '1', se transmite a $f_{4,1}$. El quinto bit '0' se transmite usando el último par, es decir, $f_{5,0}$. El sexto bit se transmite usando el par inicial de nuevo, es decir $f_{1,0}$ y así sucesivamente.

El paso cíclico como éste a través de pares de frecuencias se utiliza para maximizar el intervalo de tiempo G_I que transcurre entre la reutilización de frecuencias para evitar la interferencia entre las señales más tempranas y posteriores como resultado de las reverberaciones. El tiempo mínimo para la reutilización de una frecuencia es conocido como intervalo de protección. La necesidad de un intervalo de protección coloca claramente una limitación en la velocidad de transmisión de datos máxima que se puede alcanzar.

El paso cíclico a través de pares de frecuencias es una descripción para claridad de la ilustración pero también se pueden transmitir esquemas MFSK en múltiples tonos simultáneamente.

Se observará que las frecuencias $f_{i,0}$ y $f_{i,1}$ están separadas a través del ancho de banda. Se requiere la separación entre frecuencias adyacentes FS para impedir la interferencia entre señales cuando sufren desplazamientos Doppler. Esto limita el número de pares de frecuencias que se pueden usar antes de que se deban reciclar y por ello también limita la velocidad de transmisión de datos máxima. El espaciado mínimo se fija normalmente en el desplazamiento de frecuencia máxima que se podría esperar del movimiento relativo entre el transmisor y el receptor.

Se describirá a continuación un esquema de codificación de acuerdo con la invención.

Hay tres parámetros del ancho de banda que entran en juego: el ancho de banda disponible, W ; la frecuencia central, f_c ; y el espaciado mínimo absoluto para un sistema de frecuencia múltiple síncrono que es la inversa de la longitud del pulso T usado, $B = 1/T$. En un sistema asíncrono, se ha de usar un espaciado mayor dado que la cantidad de solape entre los marcos de procesamiento y la longitud del pulso determinarán el ancho de banda efectivo del pulso. Por ejemplo, el espaciado se podía doblar, es decir a $2B$.

Hay también tres parámetros en el dominio del tiempo que son importantes: T , la longitud del pulso; t_r , el tiempo de reverberación o tiempo antes de que se pueda reutilizar una frecuencia (equivalente al intervalo de protección G_I de la Figura 1); y la aceleración máxima esperada, a_{\max} .

El método para codificación esbozado aquí sólo se aplica al caso en el que se ha de enviar un mensaje corto (una ráfaga) y en el que cada relación entre las dos frecuencias se usa sólo una vez. Se puede concebir un esquema más elaborado para la transmisión continua. En una aplicación dada se podría usar un procesador para realizar un algoritmo de búsqueda para hallar la forma óptima de espaciar las frecuencias usando el criterio de que las frecuencias y las relaciones de frecuencias se deberían reutilizar tan pocas veces como sea posible.

Una teoría para un algoritmo de codificación para una ráfaga de datos es la siguiente. De nuevo las frecuencias máximas y mínimas disponibles son $f_{\min} = f_c - W/2$ y $f_{\max} = f_c + W/2$. A partir de los parámetros dados, el desplazamiento de frecuencia máxima debido a la aceleración para un pulso único se puede determinar cómo:

$$f_a = \frac{a_{\max} t_r f_{\max}}{c}$$

Aunque no es esencial, esto se tiene en cuenta en este ejemplo cuando se establece el espaciado mínimo entre las frecuencias transmitidas. Teniendo en cuenta el desplazamiento Doppler debido a la aceleración, la distancia de frecuencias mínima es:

$$\Delta f > 2B + f_a$$

5 Si esto se compara con la ecuación 2 anterior y estableciendo $f_a = 0$, es decir a velocidad constante, no se necesita tener en cuenta ninguna consideración sobre el desplazamiento Doppler de modo que las frecuencias se pueden espaciar mucho más próximas aquí.

10 Dado que la información se está codificando en las relaciones entre dos frecuencias, esto se puede convertir en $\Delta r = \Delta f / f_{\min}$ que es la diferencia más pequeña posible entre dos relaciones de frecuencia. El espaciado de frecuencias requerido establece la relación mínima en:

$$r_{\min} = \frac{f_{\min} + \Delta f}{f_{\min}}$$

15 La correspondiente relación máxima r_{\max} podría ser tan grande como f_{\max}/f_{\min} es decir usando todo el ancho de banda disponible. Sin embargo, esto no conduciría a ninguna libertad en la distribución de las dos frecuencias f_1 y f_2 . Para permitir tanto una relación de frecuencias grande como alguna libertad en los valores reales para f_1 y f_2 , se limita preferiblemente la relación máxima. En este ejemplo se limita al uso de 2/3 del ancho de banda disponible aunque se podrían usar otros límites.

$$\text{es decir, } r_{\max} = \frac{f_{\max}}{f_{\max} - \frac{2}{3}W}$$

20 La codificación real se realiza por la división del intervalo de relaciones r_{\min} a r_{\max} en incrementos lineales iguales y la asignación de palabras de datos o símbolos a cada incremento lineal. El número de símbolos disponibles viene dado por:

$$n_{\text{sim}} = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{\Delta r}$$

En el ejemplo mostrado en la Figura 2 hay 64 símbolos.

Se deduce que se pueden codificar $\lceil \log_2 n_{\text{sim}} \rceil$ bits en un símbolo, es decir 6 en el ejemplo anterior. Dado que la velocidad de transmisión de símbolos es $1/T$, la velocidad de transmisión de bits viene dada entonces por:

25
$$\text{velocidad de transmisión} = \frac{\lceil \log_2 n_{\text{sim}} \rceil}{T}$$

El cálculo precedente supone que las frecuencias no utilizadas para su uso en los símbolos están siempre disponibles lo que es una suposición razonable para mensajes cortos. Para transmisiones más largas, se requeriría un mecanismo que libere una frecuencia para reutilización después de que haya pasado el tiempo de reverberación t_r .

30 Se dará ahora un ejemplo del análisis anterior para una aplicación en la que el transmisor es llevado por una persona caminando. Tomando la frecuencia central f_c como 35 kHz y el ancho de banda $W = 5$ kHz da un intervalo de frecuencias $f_{\min} = 32,5$ kHz a $f_{\max} = 37,5$ kHz. El desplazamiento Doppler máximo se supone que viene dado por el ritmo de paseo rápido, es decir 6 km/h o $6/3,6=1,67$ m/s. Se supone una aceleración máxima de $a_{\max}=0,5$ m/s² y el sistema se diseña para funcionar en habitaciones en donde la reverberación de cada tono puede durar hasta 0,2 s.

35 La duración del pulso ha de ser mucho mayor que el tiempo de reverberación máximo de modo que se haya extinguido la energía antes de que se envíe el siguiente pulso. Tomando por lo tanto una duración de pulso de $T = 0,05$ s da un ancho de banda de pulso de $B = 1/T = 20$ Hz.

40 Con propósitos comparativos se calculará la velocidad de transmisión de datos de un sistema de comunicaciones convencional que emplee MFSK. El desplazamiento Doppler máximo en tal sistema sería $\pm v/c * f_c = \pm (1,67/340) * 35000 = \pm 172$ Hz. A esto se añade el ancho de banda de la duración del pulso $2*B = 40$ Hz y el deslizamiento de frecuencia debido a la aceleración. La aceleración da un deslizamiento o desplazamiento de frecuencia de:

$$\frac{a_{\max} t_r f_{\max}}{c} = \frac{0,5 \frac{m}{s^2} \cdot 0,2 s \cdot 35 \text{ kHz}}{340 \frac{m}{s}} = 10 \text{ Hz}$$

Cuanto todo esto se suma junto da un intervalo de variación de un tono simple de:

$$\Delta f = +/- (172+40+10) = +/- 222 \text{ Hz}$$

5 La implicación es que se pueden usar un total de 5 kHz / (2*222) Hz = 11,3 frecuencias posibles en el ancho de banda disponible. En la práctica esto son 5 pares de frecuencias o 10 frecuencias diferentes. Debido a la reverberación no se puede transmitir en una frecuencia única más frecuentemente que 1/0,2 s = 5 veces por segundo y por ello la velocidad de transmisión de datos para un par de frecuencias único es 5 * 5 = 25 bit/s.

10 Volviendo ahora al esquema de codificación de ejemplo de acuerdo con la invención, la relación más pequeña entre dos frecuencias se determina por lo cercanas que estas dos frecuencias pueden estar antes de que sea demasiado difícil distinguirlas. Esto es $\Delta f = 2*20 + 10 \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}$ debido al ancho del pulso y la aceleración. Esto da la relación de frecuencias más pequeña como:

$$r_{\min} = 1 + 50 \text{ Hz}/f_{\min} = 1,0015$$

y la relación de frecuencias más grande como:

$$r_{\max} = \frac{f_{\max}}{f_{\max} - \frac{2}{3}(f_{\max} - f_{\min})} = 1,098 \quad \Delta r = 50/32500 = 0,0015$$

15 Esto da un total de $\frac{r_{\max} - r_{\min}}{\Delta r} = 64 = 2^6$ mensajes diferentes posibles por cada par de frecuencias o una codificación de un mensaje de 6 bits por cada par de frecuencias transmitidas en lugar de 1 bit por par como en la MFSK. La velocidad de transmisión de datos alcanzada en este ejemplo es por lo tanto 150 b/s o un incremento de un factor de seis comparada con el esquema convencional.

20 Se muestra en la Figura 2 un gráfico de la frecuencia en relación al tiempo para un sistema que funciona de acuerdo con el ejemplo anterior.

25 En este esquema más que un único tono que representa un único bit, una palabra de datos de 6 bits se representa por la relación entre dos tonos transmitidos simultáneamente. Considerando la primera ranura del tiempo en el gráfico de la Figura 2, se transmiten dos tonos a frecuencias f_{\min} y $f_{\min} + \Delta f$ respectivamente. f_{\min} es la frecuencia mínima del ancho de banda teniendo en cuenta una banda de protección para asegurar que no se excede el ancho de banda. La diferencia Δf representa el incremento de frecuencia mínimo basándose en el ancho de banda de la duración del pulso y el desplazamiento Doppler por aceleración. El espaciado es significativamente más pequeño que el espaciado de frecuencias del sistema MFSK de la Figura 1 dado que incluso con el desplazamiento Doppler por los movimientos relativos (velocidad constante), la relación entre los dos tonos permanece constante.

30 En la primera ranura de tiempo se transmite la relación de tonos mínima r_{\min} que por lo tanto corresponde a una palabra de datos cero 000000. En el segundo intervalo de tiempo se transmite la relación de tonos máxima r_{\max} . El tono más bajo es $f_{\max} - (2/3) W$. El tono superior de la relación es f_{\max} , la frecuencia más alta en el ancho de banda cuando se tiene en cuenta la banda de protección superior. Por lo tanto la segunda ranura de tiempo transmite la palabra de datos más alta 111111 ó 63 en decimal. En la tercera ranura de tiempo se transmite una relación de tonos intermedia, más precisamente una relación de 36/64 de la relación máxima. Esto corresponde por lo tanto a 100100 (el mismo código transmitido en la totalidad de la secuencia de la Figura 1).

35 Se puede ver por lo tanto que de acuerdo con este ejemplo de la invención, se puede alcanzar una velocidad de transmisión de datos seis veces más grande que usando FSK para el mismo ancho de banda.

40 Aún se usa un intervalo de protección en este ejemplo en el que no se reutiliza ningún tono o relación de tonos dentro de un periodo igual al intervalo de protección. Para mensajes cortos ésta es una buena suposición. Sin embargo para mensajes más largos, donde puede ser necesario gestionar la reutilización de tonos o relaciones, el esquema descrito puede ser también beneficioso. Esto resulta del hecho de que r_{\max} cubre sólo dos tercios del ancho de banda, de modo que se pueda alcanzar una relación de tonos requerida usando una elección de combinaciones de frecuencias dentro del ancho de banda. Esta elección se puede gestionar de modo adaptativo por parte del transmisor para minimizar la reutilización dado que habrá flexibilidad en cuanto a la parte del ancho de banda que se utiliza, especialmente para las

relaciones más pequeñas.

Se describirá ahora una posible aplicación del esquema de comunicación de acuerdo con la invención.

5 Se muestra en la Figura 3 un diagrama esquemático simplificado de un sistema que incluye la invención. En el lado izquierdo de la figura está el módulo transmisor 100. El bloque más a la izquierda representa los datos digitales 2 en
bruto que se han de transmitir. Estos han podido ser convertidos a partir de datos analógicos dependiendo de la
aplicación particular. Los datos se procesan entonces por un procesador 4 que convierte los datos en una estructura
adecuada, por ejemplo añadiendo encabezados, comprobando bits, etc. y codifica los datos si se requiere. Los datos
10 que están listos para ser transmitidos se pasan entonces al codificador 6. El codificador 6 divide los datos en palabras,
por ejemplo de 6 bits en el ejemplo descrito previamente y calcula entonces la relación de frecuencias para cada
palabra. El codificador determina entonces exactamente qué frecuencias se usarán para dar la relación calculada,
basándose por ejemplo en las frecuencias usadas en las pocas últimas ranuras de tiempo. El codificador controla
entonces un generador de señal 8 adecuado para producir las señales eléctricas que corresponden a los tonos
requeridos que se amplifican por un amplificador 10 y se transmiten por el transductor ultrasónico 12.

15 En el módulo receptor 200, un sensor transductor ultrasónico adecuado convierte las ondas de presión en una señal
eléctrica que se amplifica y filtra en el módulo 16 y a continuación se decodifica la señal por un decodificador 18
mediante la determinación de la relación entre las 2 frecuencias recibidas para recuperar los datos 20. Incluso si los
transductores del transmisor y del receptor 12, 14 se están moviendo relativamente entre sí de modo que las señales
transmitidas sufran un desplazamiento Doppler, su relación permanece constante y por ello los datos se puedan
recuperar con precisión.

20 Observando la Figura 4, se puede ver una representación esquemática de un sistema de localización de acuerdo con la
invención. A mano derecha del diagrama hay una pluralidad de habitaciones 22. Cada habitación contiene un módulo
receptor ultrasónico 200. Los módulos receptores 200 están todos conectados a una red de datos que puede incluir un
servidor central 36 y uno o más clientes 38.

25 Dentro del sistema hay un gran número de etiquetas transmisoras ultrasónicas 100. En la realización más simple en la
que las etiquetas se usan simplemente para localizar a personas o equipos en una de las habitaciones 22, cada
transmisor 100 puede estar preprogramado para transmitir un único código de identificación. En realizaciones más
complicadas el transmisor puede transmitir información adicional. Puede estar ajustado para transmitir a intervalos fijos
o en respuesta a la aparición de un evento —por ejemplo tras la detección de movimiento de la etiqueta o tras la
recepción de una señal de consulta—.

30 Cuando una etiqueta 100 transmite sus datos, la señal de ultrasonidos estará confinada a la habitación 22 en la
que está situada. La señal se detectará y decodificará por el receptor 200 en esa habitación. Mediante el paso de la
información de identificación tanto por el transmisor 100 como por el receptor 200, a la red 34, el servidor central 36
puede determinar en qué habitación está cada transmisor. La velocidad de transmisión de datos mejorada que se puede
35 alcanzar de acuerdo con la invención significa que el sistema puede incluir un gran número de etiquetas transmisoras
100 que se pueden estar moviendo alrededor y a pesar de eso ser capaces de localizarlas todas con precisión en las
habitaciones 22 respectivas. La información de localización puede naturalmente enviarse y procesarse por cualquiera de
los terminales clientes 38.

40 Se apreciará por los expertos en la materia que los ejemplos y aplicaciones expuestas anteriormente de ninguna
manera son exhaustivos y se pueden realizar muchas variaciones y modificaciones dentro del alcance de la invención.
Por ejemplo, no es esencial que se transmitan dos tonos simultáneamente, se podían transmitir secuencialmente o
incluso con un retardo mutuo aunque normalmente sería deseable minimizar esto para reducir el riesgo de que cambien
apreciablemente las velocidades relativas del transmisor y del receptor entre los tonos.

Tampoco es esencial que las relaciones calculadas estén entre solamente dos tonos —se podrían utilizar tres o más—.

45 Las realizaciones mostradas emplean una comunicación unidireccional pero naturalmente los principios se pueden
utilizar igualmente en donde se use comunicación bidireccional.

REIVINDICACIONES

1. Aparato de comunicación de datos que comprende medios de transmisión y adaptado para codificar y transmitir datos como la relación de pares de frecuencias.
2. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicha relación tiene más de dos valores posibles.
- 5 3. Aparato de acuerdo con la reivindicación 2 en el que el número de valores posibles de dicha relación es una potencia entera de dos.
4. Aparato de acuerdo con la reivindicación 2 ó 3 que comprende medios de codificación para la codificación de los datos, estando dispuestos dichos medios de codificación para convertir los datos a transmitir en uno de dichos valores posibles.
- 10 5. Aparato de acuerdo con la reivindicación 2, 3 ó 4 en el que dichos valores posibles representan divisiones iguales entre una relación mínima y una relación máxima.
6. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes dispuesto para transmitir señales sónicas.
7. Aparato de acuerdo con la reivindicación 6 en el que dichas señales tienen una frecuencia mayor de 20 kHz.
- 15 8. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes dispuesto para transmitir dicho par de frecuencias simultáneamente.
9. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 dispuesto para transmitir dicho par de frecuencias en sucesión.
- 20 10. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 que comprende además medios de recepción y en el que los medios de transmisión se disponen para transmitir el par de frecuencias en una sucesión suficientemente rápida como para que los medios de recepción las detecten como simultáneas.
11. Aparato de acuerdo con la reivindicación 10 en el que los medios de recepción se disponen para realizar una transformada rápida de Fourier, estando dispuestos dichos medios de transmisión para transmitir dicho par de frecuencias durante una trama única de la transformada rápida de Fourier del receptor.
- 25 12. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes que comprende una pluralidad de medios de transmisión dispuesto cada uno para transmitir un único código de identificación.
13. Un método de transmisión de datos que comprende la codificación de los datos como una pluralidad de señales que comprenden pares de frecuencias, la transmisión de dichos pares de frecuencias, la recepción de cada par de frecuencias, la determinación de la relación de dichas frecuencias y la decodificación de los datos a partir de las mismas.
- 30 14. Un receptor adaptado para detectar un par de frecuencias, determinar la relación entre dicho par de frecuencias y decodificar los datos a partir de dicha relación.

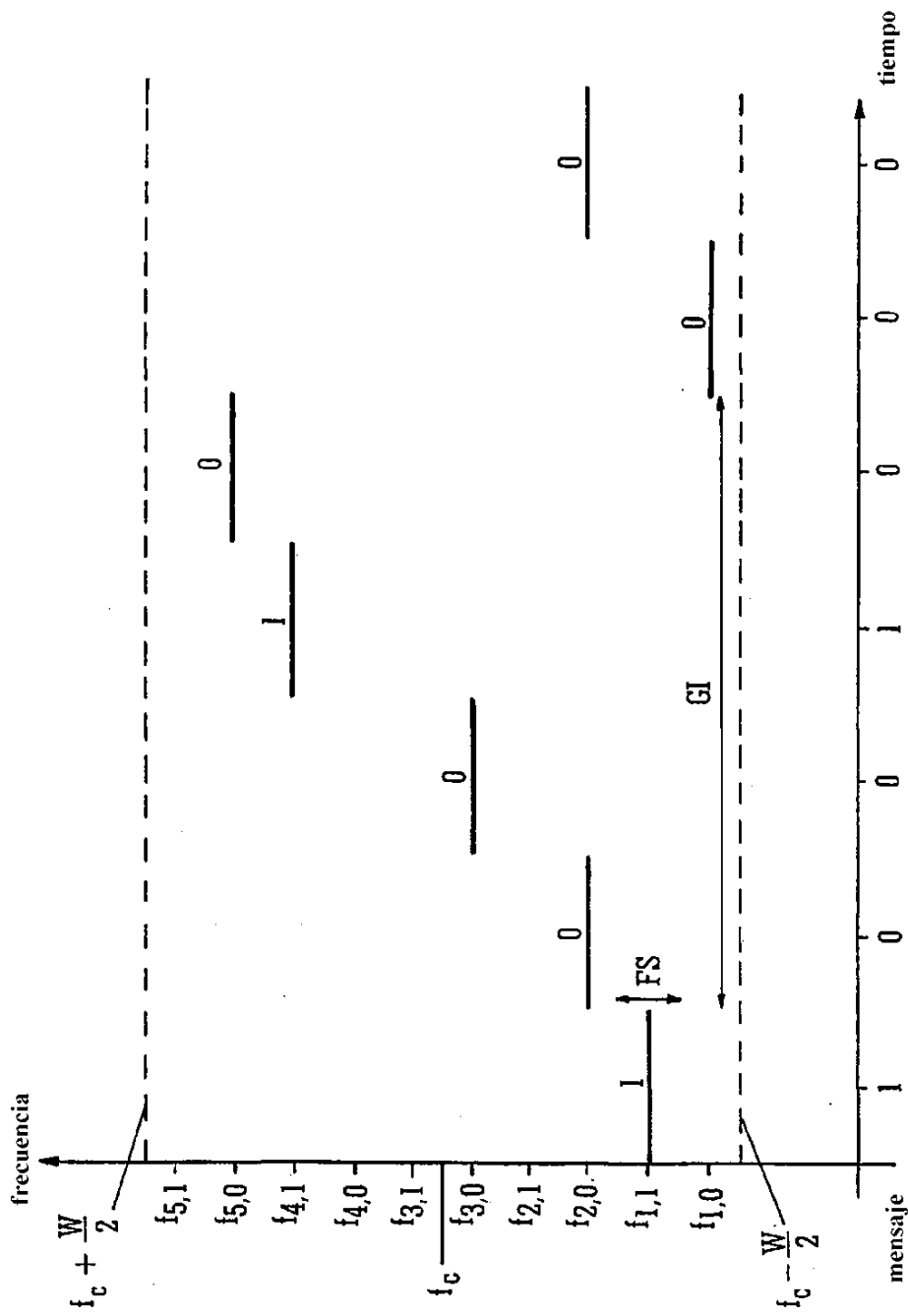


FIG. 1

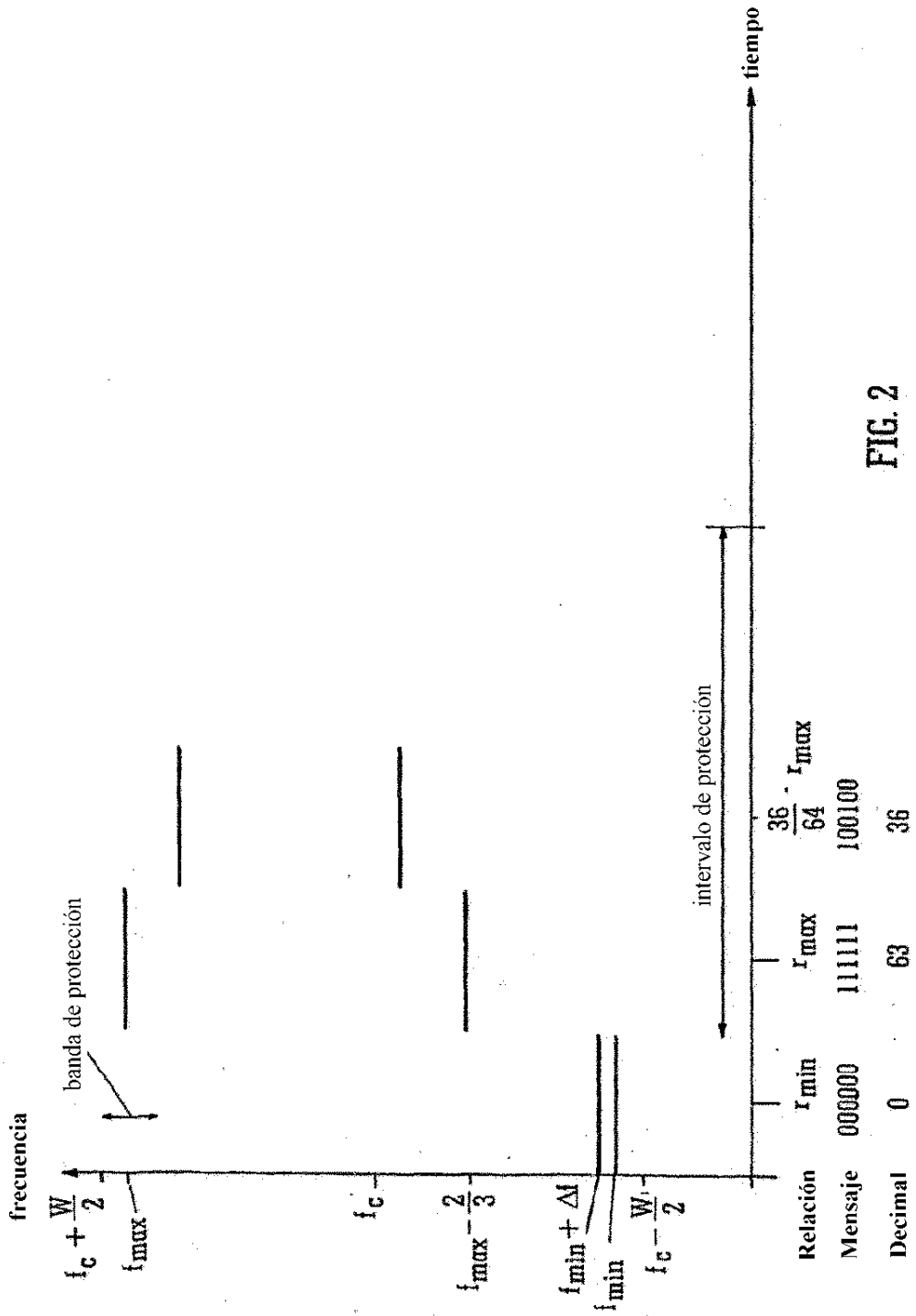


FIG. 2

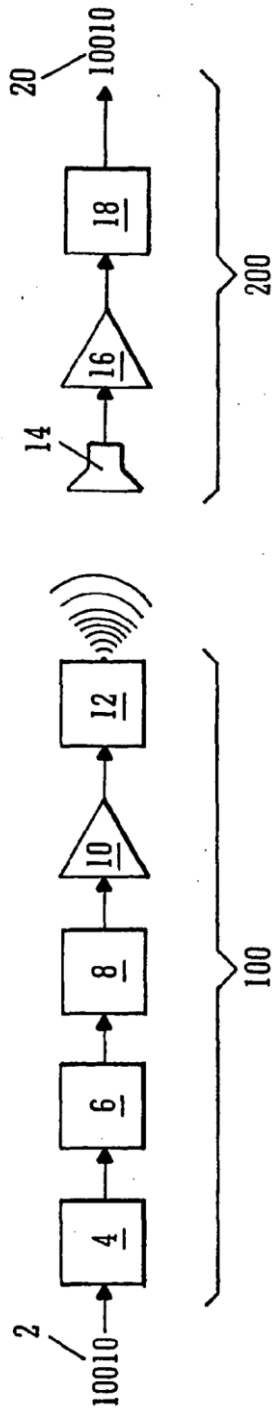


FIG. 3

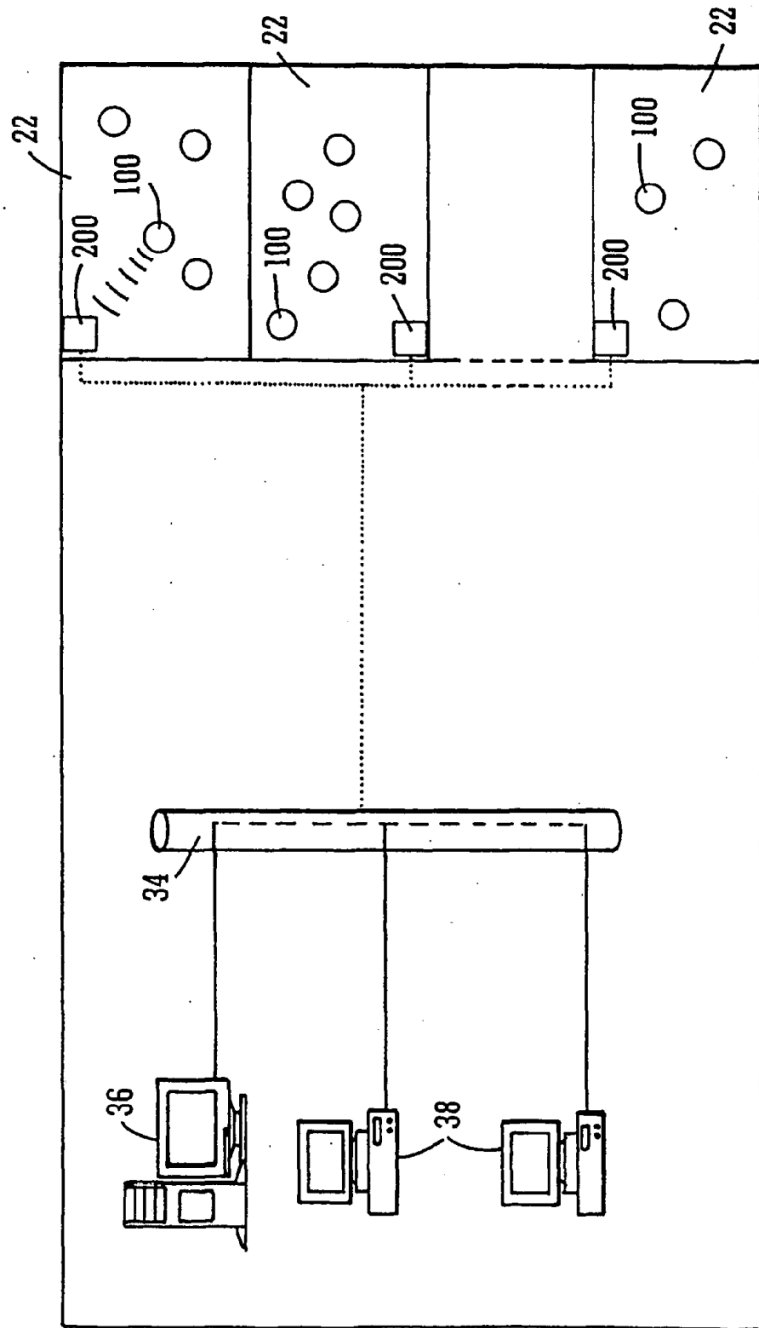


FIG. 4