

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 429**

51 Int. Cl.:

**A61B 5/024** (2006.01)

**A61B 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.06.2015 PCT/EP2015/063858**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16000986**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2015 E 15731553 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.01.2017 EP 3016582**

54 Título: **Aparato y método de sensor de fotopletismografía**

30 Prioridad:

**30.06.2014 EP 14174974**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**04.07.2017**

73 Titular/es:

**KONINKLIJKE PHILIPS N.V. (100.0%)**

**High Tech Campus 5**

**5656 AE Eindhoven, NL**

72 Inventor/es:

**VERMEULEN, OLAF THOMAS JOHAN ANTONIE y  
GEENEN, KOEN**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 621 429 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**

Aparato y método de sensor de fotopletismografía

## 5 Campo de la invención

La invención se refiere a un aparato sensor de fotopletismografía, un método de sensor de fotopletismografía y un programa de ordenador para sensor de fotopletismografía.

## 10 Antecedentes de la invención

La fotopletismografía (PPG) se refiere a la adquisición de una medición volumétrica de un órgano por medios ópticos. Frecuentemente, se utilizan oxímetros de pulso, que detectan cambios en las propiedades de absorción lumínica de la piel humana. Típicamente, un sensor PPG transmisor o reflexivo de sangre monitoriza la perfusión de sangre a la dermis y al tejido subcutáneo de la piel a través de la medición de absorción a una longitud de onda específica. Además de la luz que se origina en la sangre, hay una porción mucho mayor lumínica detectada, que se origina en el tejido y la luz ambiental.

Las señales de fotopletismografía comprenden una señal de CA muy pequeña (el pletismograma real) encima de una señal de desplazamiento de CC de gran tamaño (no deseada). La señal de compensación de corriente continua comprende señales procedentes de la piel y el tejido, y de una parte considerable lumínica ambiental. Desafortunadamente, la cantidad lumínica ambiental detectada no es constante, sino que varía debido a condiciones cambiantes de la luz ambiental y debido a artefactos de movimiento (causados, por ejemplo, por el acoplamiento entre el sensor de fotopletismografía y la piel). La velocidad temporal de cambio de la luz ambiental detectada incluye frecuencias en la banda de frecuencia de fotopletismografía de interés. Esto impide la filtración simple del dominio de frecuencia, porque la filtración de estas frecuencias (con la intención de suprimir la luz ambiental detectada) también filtraría (o suprimiría significativamente) las frecuencias de la banda de frecuencia de fotopletismografía de interés.

Mecanismos conocidos actualmente para el rechazo de la luz ambiental incluyen, por ejemplo, circuitos de restauración de CC, que muestrean la luz ambiental periódicamente cuando la luz de excitación de fotopletismografía (tal como, por ejemplo, un diodo de iluminación, LED) se apaga temporalmente. En un intervalo de tiempo diferente (por ejemplo, cuando se enciende el LED) se toma una muestra que contiene tanto la señal ambiental como la señal de fotopletismografía. Al sustraer la señal con la luz de excitación de fotopletismografía desactivada de la señal con la luz de excitación de fotopletismografía encendida, se obtiene una señal de fotopletismografía "corregida por compensación", que no presenta interferencia lumínica ambiental. Típicamente, este muestreo se realiza después de que un amplificador de transimpedancia (TIA) haya convertido y amplificado la fotocorriente generada por el detector en un voltaje. Alternativamente y/o adicionalmente, este muestreo se realiza completamente en el dominio digital después de que la señal ha sido procesada por un convertidor analógico a digital (ADC).

Una serie de problemas y desventajas están presentes en sensores de fotopletismografía convencionales. En primer lugar, la cantidad lumínica ambiental detectada puede ser considerable. Esto significa que al diseñar el amplificador, se debe reservar una cierta cantidad del rango dinámico disponible para detectar apropiadamente la luz ambiental, dando como resultado un diseño de amplificador subóptimo.

Además, si la substracción de la señal ambiental se realiza en el dominio digital (es decir, después de la conversión analógica-a-digital), entonces tiene que reservarse un número de bits ADC para la luz ambiental. Sin embargo, la reserva de bits ADC para la luz ambiental limita la resolución disponible para las señales de fotopletismografía.

Sin embargo, si la substracción se realiza directamente después del procesamiento por el TIA, se necesita un circuito de muestreo y retención para retener el valor ambiental (es decir, el valor de medición correspondiente a la luz ambiental) hasta el siguiente período de muestreo de señal de fotopletismografía. La precisión de ganancia de esta señal de muestreo y retención determina la eficacia de la compensación.

Una opción para tratar los problemas de los sensores fotopletismográficos convencionales es emplear una etapa de calibración de fábrica del elemento de muestreo y retención. Sin embargo, este paso adicional de calibración de fábrica añade costes de fabricación y, por lo tanto, es menos preferible.

El documento US 7740591 describe un sensor de pletismografía. Este sensor comprende un circuito de cancelación lumínica ambiental que recibe la salida de amplificadores diferenciales de transimpedancia. El circuito de cancelación lumínica ambiental funciona de la siguiente manera: cuando el circuito de control de temporización tiene apagados los LED rojo e IR, la luz ambiental es la única luz que el sensor tiene para una salida. La luz ambiental es muestreada, y el valor de la señal se mantiene en un condensador conectado a tierra usando un FET. Cuando se apaga el FET, el valor almacenado en el condensador se utiliza en la trayectoria de la cuerda de señal roja e IR. Este valor almacenado en el condensador elimina el error de la luz ambiental.

US6381479B1 describe un sistema para proporcionar un rechazo de señal DC y baja frecuencia mejorado en un instrumento de medición fotopletismográfico. El sistema se utiliza en un instrumento de medición que incluye al menos dos fuentes de señal para transmitir señales lumínicas al menos a dos longitudes de onda a través de un tejido de un sujeto de prueba y un detector para convertir señales lumínicas transmitidas a través del tejido en una señal de salida del detector. El sistema incluye una restauración de CC que elimina los componentes de señal de CC y de baja frecuencia de la señal de salida del detector antes de su amplificación para evitar saturar la señal de salida amplificada con la componente de señal de baja frecuencia. La restauración de CC está configurada para retirar continuamente el componente de señal de baja frecuencia de la señal de detector durante intervalos oscuros cuando se desactivan las fuentes de señal, así como durante intervalos lumínica cuando se activa una de las fuentes de señal. En una realización, la restauración de CC se realiza en forma de un circuito de restauración de CC que comprende un amplificador de transimpedancia que recibe la señal de salida del detector y produce una señal de salida del amplificador y un bucle de retroalimentación del integrador que recibe la señal de salida amplificada y produce una corriente de polarización, en el que la corriente de polarización se usa para sustraer componentes de señal de CC y de baja frecuencia de la señal de salida del detector antes de la amplificación de la señal del detector por el amplificador.

#### Resumen de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un aparato sensor de fotopletismografía mejorado, un método de sensor de fotopletismografía mejorado y un programa de ordenador de sensor de fotopletismografía mejorado que superen los problemas asociados con los sensores de PPG de la técnica anterior.

En un primer aspecto de la invención, se proporciona un aparato sensor de fotopletismografía que comprende una unidad de fuente lumínica configurada para generar una primera señal lumínica; y una unidad fotodetectora configurada para observar una segunda señal lumínica, en la que dicha segunda señal lumínica es indicativa de una absorción de dicha primera señal lumínica en un objetivo en el que dicha unidad fotodetectora está configurada adicionalmente para emitir una señal de salida del fotodetector en respuesta a la observación de dicha segunda luz señal. El aparato comprende además un bucle de retroalimentación de compensación lumínica ambiental que comprende una unidad de seguimiento y retención configurada para recibir una señal de salida de fotodetector. El aparato está configurado para comparar una señal de salida de dicha unidad de seguimiento y retención con una señal de referencia y el bucle de retroalimentación de compensación lumínica ambiental comprende una primera unidad de amplificación configurada para proporcionar una corriente de compensación basada en dicha comparación con la unidad de rastreo y retención.

La presente invención propone medir una señal fotopletismográfica sin interferencia lumínica ambiental. Las señales lumínica ambiental son rechazadas proporcionando una corriente de compensación en la entrada de la unidad de seguimiento de rastreos directamente o a través, por ejemplo, de un amplificador de transimpedancia. La corriente de compensación se controla preferiblemente a través de un bucle cerrado, sin interferir con la operación de bajo ciclo de trabajo de la unidad de fuente lumínica (tal como, por ejemplo, un LED de excitación de fotopletismografía). En otras palabras, la presente invención propone superar los problemas anotados anteriormente restando una corriente de compensación directamente a la entrada del amplificador. Esta corriente se controla a través de un bucle de retroalimentación que garantiza que no entrará corriente lumínica ambiental en el TIA. Esto elimina los problemas antes mencionados. Dicha unidad de seguimiento y retención comprende preferiblemente un circuito de seguimiento y retención. Mediante el empleo de una unidad de seguimiento y retención, es decir, preferiblemente un circuito de seguimiento y retención, la presente invención es apropiada para un tipo lumínica ambiental "de tipo CA", tal como, por ejemplo, luz artificial y luz solar, durante la operación. El término "tipo lumínica ambiental AC" tal como se usa en la presente memoria significa que, por ejemplo, durante la operación, la intensidad de la luz ambiental varía (por ejemplo, porque el corredor está balanceando su brazo periódicamente mientras se está ejecutando) dando por resultado una corriente alterna que es observada por el fotodetector, la corriente alterna puede ser periódica, pero no es necesariamente el caso. También se cubren los cambios escalonados que pueden ser causados, por ejemplo, por un salto del usuario. Por lo tanto, es preferible un circuito de seguimiento y retención, por ejemplo, un circuito de integración y retención, en el que el diodo emisor lumínica se pulsa con un ciclo de trabajo lo más bajo posible. En consecuencia, la luz ambiental se integra durante un periodo elegido para utilizar esa historia para compensación durante un periodo de medición corto. Se observa que los circuitos de integración y retención no se integran necesariamente durante largos periodos. El tiempo de integración se puede elegir tan corto como se desee. Sin embargo, la parte de integración implica una acción de filtro de paso bajo y, por lo tanto, es menos adecuada para un tipo lumínica ambiental AC. El uso de una acción de integración en el bucle de retroalimentación negativa implica asegurar un error de cero de CC porque cualquier señal de CC no nula aumentará la señal de error por integración. Esto no se puede lograr con una topología de seguimiento y retención, porque allí el error sólo puede llegar a cero en la amplificación infinita. En el presente caso, sin embargo, no es necesario tener un error de CC cero. Por el contrario, la luz ambiental debe atenuarse lo más posible para liberar el rango dinámico. Además, al proporcionar un bucle de retroalimentación de corrección de la luz ambiental que está (preferiblemente siempre, es decir, permanentemente) cerrado, la parte de la señal de seguimiento es siempre insignificativamente pequeña dentro del bucle. Como las señales PPG son pequeñas (especialmente en sensores PPG de modo reflectante), los niveles lumínica ambiental pueden ser relativamente altos. Si la parte ambiental de la corriente no fuese substraída

continuamente, un amplificador (tal como, por ejemplo, un amplificador de transimpedancia) que recibe luz de dicha unidad fotodetectora tendría que asentarse a grandes pasos lumínica ambiental durante cada ciclo de corrección. En la presente configuración, este no es el caso. La presente realización permite así relajar los requisitos dinámicos en el aparato sensor PPG. Los sensores PPG suelen emplear al menos un amplificador. Sin embargo, un sensor PPG también puede utilizar un fototransistor en lugar de un fotodiodo. Un fototransistor tiene ganancia y por lo tanto es un amplificador aunque no siempre es explícitamente visible como amplificador si se lo ve como el detector. Lo mismo es cierto para cualquier otro detector de fotos con ganancia interna.

En una realización preferida adicional, dicha primera unidad de amplificación comprende un amplificador transconductancia. Dado que dicha primera unidad de amplificación comprende un amplificador de transconductancia, la diferencia entre la señal de salida de la unidad de seguimiento y la señal de referencia se convierte preferiblemente en una corriente de compensación por medio de dicho amplificador de transconductancia. Como consecuencia, es posible sustraer la corriente de compensación ya en la entrada del segundo amplificador. En otra realización preferida, en la que dicho amplificador de transconductancia comprende una resistencia y/o una fuente de corriente controlada por voltaje. Por definición, la trans conductancia es la recíproca de la resistencia y por lo tanto tiene la dimensión de la corriente dividida por el voltaje, o en otras palabras, una corriente que depende de un voltaje (es decir, una fuente de corriente controlada por voltaje).

En una realización preferida adicional, dicho aparato sensor de fotopleletismografía comprende un convertidor analógico a digital configurado para recibir la señal de salida de dicha segunda unidad de amplificación. En la práctica, los sensores PPG y SpO2 modernos tienen un extremo frontal analógico seguido por una parte de procesamiento digital y por lo tanto requieren un ADC.

En una realización preferida adicional, dicho aparato sensor de fotopleletismografía comprende además una unidad de excitación de fuente lumínica configurada para controlar dicha unidad de fuente lumínica. Preferiblemente, la unidad de fuente lumínica comprende un LED pulsado. El empleo de LEDs pulsados es preferible para los dispositivos portátiles por razones de ahorro de batería y el muestreo ambiental. El empleo de LEDs pulsados es preferible además para dispositivos médicos con respecto al muestreo ambiental y también debido a razones secuenciales de color en sensores de SpO2.

En una realización preferida adicional, dicho aparato sensor de fotopleletismografía comprende además un detector síncrono. Mediante el empleo de un detector síncrono, la luz ambiental que no es sincrónica con la señal lumínica emitida desde dicha unidad de fuente lumínica es preferiblemente cancelada o al menos suprimida.

En una realización preferida adicional, dicho aparato sensor de fotopleletismografía comprende además una unidad de excitación de fuente lumínica configurada para controlar dicha unidad de fuente lumínica y en la que dicho detector síncrono está configurado para operar de forma sincrónica con dicha unidad de excitación de fuente lumínica. Teniendo dicho detector síncrono y dicha unidad excitadora de fuente lumínica funcionando de forma sincrónica, dicho aparato sensor de fotopleletismografía está configurado preferiblemente de modo que solamente la luz ambiental que es sincrónica con la luz de dicha unidad de fuente lumínica contribuye con una señal de fondo a la luz reflejada desde dicho objetivo. Por el contrario, la luz que no es sincrónica con la señal lumínica emitida desde dicha unidad de fuente lumínica es preferiblemente cancelada o al menos suprimida.

En una realización preferida adicional, dicho aparato sensor de fotopleletismografía comprende un convertidor analógico a digital configurado para recibir la señal de salida de dicho detector síncrono. Emplear un convertidor analógico a digital en combinación con dicho detector síncrono es preferible por las siguientes razones. Un detector síncrono puede ser implementado en el dominio analógico o digital. Su uso en el dominio analógico tiene la ventaja de que después de la detección sincrónica (que preferiblemente incluye el filtro de paso bajo), el ancho de banda se limita a lo que se necesita (por ejemplo, aproximadamente 15 Hz) y se ha eliminado toda interferencia asíncrona. Esto significa que se puede usar un ADC de baja velocidad y alta resolución. Si el SD se realiza en el dominio digital, entonces los requisitos de ancho de banda son mayores (dependiendo de la frecuencia del pulso LED) y por lo tanto la conversión AD será más cara y/o menos precisa. Además, la interferencia asíncrona todavía está presente y debe considerarse en la selección de ADC. La ventaja de implementar un detector síncrono en el dominio digital implica una mayor flexibilidad (porque es software y/o programable) y, debido a que se necesitan menos componentes externos. Otras ventajas de implementar un detector síncrono en el dominio digital se refieren a un tamaño menor y un consumo de potencia potencialmente menor.

En otra realización preferida, dicho detector síncrono comprende un rectificador síncrono seguido por un filtro de paso bajo. En otra realización preferida, dicho rectificador síncrono multiplica la señal con +1 o -1.

En una realización preferida adicional, dicho aparato sensor de fotopleletismografía comprende además un microcontrolador configurado para ajustar dicha señal de referencia. Los casos de uso típicos para ajustar la señal de referencia incluyen compensación de desplazamiento o cambio de nivel, por ejemplo en el rango ADC. La señal de salida corregida "activará/desactivará" dicha señal de referencia. Esto significa que con el LED apagado, la salida de la segunda unidad de amplificación será la señal de referencia. Con el LED encendido, será mayor o menor dependiendo de la dirección (es decir, de la conexión) del fotodiodo. La desviación de 0V preferiblemente se elegiría

para circuitos de alimentación individuales (tales como, por ejemplo, dispositivos accionados por baterías) para cambiar de nivel la señal por encima de la referencia (0 V).

5 En una realización preferida adicional, dicho aparato sensor de fotopletismografía comprende una unidad de sustracción. Empleando una unidad de sustracción, se puede determinar la diferencia entre dicha señal de referencia y dicha señal de salida de dicha unidad de seguimiento y retención.

En una realización preferida adicional, dicha unidad fotodetectora comprende un fotodiodo y/o transistor.

10 En una realización preferida adicional, el aparato sensor de fotopletismografía comprende además una segunda unidad de amplificación para amplificar una suma de la corriente de compensación y la señal de salida del fotodetector y para suministrar una señal amplificada a una entrada de la unidad de seguimiento y retención. La segunda unidad de amplificación puede comprender un amplificador de transimpedancia. Las disposiciones estándar de amplificadores de transimpedancia se pueden encontrar, por ejemplo, en el libro "Photodiode Amplifiers: Op Amp Solutions", McGraw Hill Book Co (1995) de J. Graeme.

15 En una realización preferida adicional, dicho aparato sensor de fotopletismografía comprende además un circuito de muestreo y retención configurado para almacenar una señal emitida por dicho amplificador de transimpedancia. Preferiblemente, la unidad de fuente lumínica (tal como, por ejemplo, un LED) se acciona con un ciclo de trabajo bajo para ahorrar energía de la batería. Esto significa que sólo hay un corto período disponible para el muestreo de la señal real de fotopletismografía. Un circuito de muestreo y retención ampliará este tiempo. Sin embargo, muchos ADC modernos (normalmente denominados ADCs de muestreo) ya incluyen un componente de muestreo y retención. Por lo tanto, incluir un circuito de muestreo y retención proporcionará una ventaja, por ejemplo, en caso de que se desee evitar el uso de un ADC para ahorrar costes y/o espacio utilizando el hardware ya presente en un microcontrolador. Existen varias posibilidades conocidas para construir un ADC (de baja velocidad) usando un microcontrolador. Una posibilidad se refiere a la construcción de un SAR-ADC utilizando la salida analógica de un microcontrolador en combinación con su comparador de voltaje.

20 En una realización preferida adicional, dicha fuente lumínica comprende un diodo emisor lumínica. Otros tipos de fuentes lumínica pueden incluir láseres semiconductores/VCSELs.

25 En una realización preferida adicional, dicho detector síncrono comprende un amplificador de bloqueo digital. Preferiblemente, se puede implementar un detector síncrono como un rectificador síncrono (por ejemplo, que se multiplica sincrónicamente por  $\pm 1$ ) seguido por un filtro de paso bajo. Además, preferiblemente, un amplificador de bloqueo puede corresponder a un dispositivo que multiplica la señal de entrada con una referencia de coseno y seno síncrono (es decir, una componente en fase (I) y una componente en cuadratura (Q), seguida por un filtro de paso bajo y un cálculo de la amplitud  $\sqrt{I^2 + Q^2}$ . Debido a que implica un cálculo, el bloqueo se implementa preferiblemente en el dominio digital. En una realización preferida adicional, dicho detector síncrono está dispuesto dentro de dicho microcontrolador. Es preferible disponer el detector síncrono dentro del microcontrolador debido a razones de espacio, menores costes y menos corriente de suministro. La realización preferida se utiliza preferiblemente en una implementación de un detector síncrono analógico: En un detector síncrono que no utiliza demodulación en cuadratura (es decir, cuando sólo se realiza una rectificación síncrona), el desplazamiento de fase entre la señal medida y la referencia se traduce preferiblemente en una DC en la salida. Puesto que este cambio de fase estará casi completamente fijado (por ejemplo, el impacto de la variación de la longitud de la trayectoria óptica no es significativo, debido a la velocidad de la luz), puede compensarse ajustando la señal de referencia (es decir, preferiblemente un voltaje de referencia).

30 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método de sensor de fotopletismografía que comprende las etapas de

- 50
- generar una primera señal lumínica por una unidad de fuente lumínica;
  - observar una segunda señal lumínica por una unidad fotodetectora, en el que dicha segunda señal lumínica es indicativa de una absorción de dicha primera señal lumínica en un objetivo;
  - recibir, en respuesta a la observación de dicha segunda señal lumínica, una señal de salida de fotodetector por un bucle de retroalimentación de compensación lumínica ambiental que comprende una unidad de seguimiento y retención y una unidad de amplificación;
  - comparar una señal de salida de la unidad de seguimiento y retención con una señal de referencia, en el que dicha señal de salida de dicha unidad de seguimiento y retención se basa en dicha señal de salida del fotodetector; y
  - proporcionar una corriente de compensación por la unidad de amplificación a la unidad de seguimiento y retención basada en dicha comparación.
- 60

De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un producto de programa de ordenador de sensor de fotopletismografía que comprende una memoria legible por ordenador que almacena medios de código de programa de ordenador para hacer que el aparato sensor de fotopletismografía lleve a cabo las etapas del método de sensor de fotopletismografía, El programa de ordenador se ejecuta en un ordenador que controla el

65

aparato sensor de fotopleletismografía.

Se entenderá que el aparato sensor de fotopleletismografía de la reivindicación 1, el método de sensor de fotopleletismografía de la reivindicación 13 y el programa de ordenador de sensor de fotopleletismografía de la reivindicación 14 tienen realizaciones preferidas similares y/o idénticas, en particular, como se define en las reivindicaciones dependientes.

Se entenderá que una realización preferida de la presente invención también puede ser cualquier combinación de las reivindicaciones dependientes o realizaciones anteriores con la reivindicación independiente respectiva.

Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes y se explicarán con referencia a las realizaciones descritas a continuación.

Breve descripción de los dibujos

En los siguientes dibujos:

La Fig. 1 ilustra el principio básico de la fotopleletismografía,

La Fig. La figura 2 muestra esquemáticamente y a manera de ejemplo una realización de un aparato sensor de fotopleletismografía,

La Fig. 3 muestra esquemáticamente y a manera de ejemplo otra realización de un aparato sensor de fotopleletismografía y

La Fig. 4 muestra esquemáticamente y a manera de ejemplo una realización de un método de sensor de fotopleletismografía.

Descripción detallada de realizaciones

La presente invención se refiere a un aparato sensor de fotopleletismografía, un método de sensor de fotopleletismografía y un programa de ordenador con sensor de fotopleletismografía. Se propone medir una señal fotopleletismográfica sin interferencia lumínica ambiental. Las señales lumínica ambiental son rechazadas por sustracción de una corriente de compensación en la entrada de un amplificador de transimpedancia. La corriente de compensación se controla mediante un bucle cerrado, sin interferir con el funcionamiento de ciclo de trabajo bajo de un LED de fotopleletismografía.

La Fig. 1 ilustra el principio básico de PPG. PPG se refiere a la adquisición de una medición volumétrica de órganos por medios ópticos. En el ejemplo 100 mostrado en la Fig. 1, un diodo lumínico 110a emite luz hacia un dedo 120a humano. La luz es parcialmente absorbida y parcialmente reflejada por el dedo 120a. La luz reflejada se observa mediante el fotodiodo o transistor 130a. Además, en el ejemplo 100, un diodo 110b emisor lumínico emite luz hacia un lóbulo de la oreja 120b humana. La luz es parcialmente absorbida y parcialmente transmitida por el lóbulo de la oreja 120b. La luz transmitida es observada por el fotodiodo o transistor 130b. La luz observada por el fotodiodo o transistor 130a, 130b es indicativa de la cantidad lumínica absorbida dentro del objetivo 120a, 120b. La luz observada se puede utilizar para obtener información sobre la estructura objetivo.

La figura 2 muestra esquemáticamente y de manera ejemplar una realización de un aparato sensor de fotopleletismografía 200. El LED 210 es encendido y apagado periódicamente por el controlador 215 de LED. Esto ahorra energía, pero también permite muestrear luz ambiental cuando el LED 210 se apaga. La luz 210a emitida por el LED 210 se dirige hacia el tejido, tal como, en el ejemplo mostrado, la muñeca humana 220. La luz 220a reflejada se observa mediante un fotodiodo 230. La luz 220a reflejada puede ser adicionalmente filtrada por un filtro 225 óptico opcional. El fotodiodo 230 observará la interferencia procedente de la luz 221 ambiental. En el caso de que el LED 210 se conecte, el fotodiodo 230 generará de este modo una corriente combinada que comprende un componente LED  $I_L$  y un componente luz ambiental  $I_A$ .

Los sensores actuales de PPG usan típicamente un circuito de muestreo y retención para 'almacenar' una muestra ambiental. De este modo, una vez que se dispone de una señal PPG, se puede aplicar una etapa de corrección basándose en la muestra ambiental almacenada. En una realización preferida del aparato sensor de fotopleletismografía 200, se propone sustraer directamente una corriente de compensación  $I_A$  de la entrada en lugar de almacenar una muestra ambiental, a partir de la cual se deriva un nivel de fondo para corregir posteriormente la señal observada. Un circuito de retroalimentación de compensación lumínica ambiental cerrado 201 asegura que la salida de TIA 240 corresponde a un voltaje de referencia  $V_R$ . Manteniendo este procedimiento, también se compensará una señal PPG cuando el LED 210 esté encendido. Por consiguiente, se propone emplear un circuito 260 de seguimiento y retención para estabilizar el bucle de retroalimentación de compensación lumínica ambiental 201 cuando se toma una señal de PPG.

El aparato 200 sensor de fotopletismografía se puede describir como sigue:

5 Durante un primer periodo de tiempo, el diodo 210 emisor lumínica se desactiva. El circuito 260 de seguimiento y retención está en "modo de rastreo". Un elemento de seguimiento y retención (o muestreo y retención, SHA) almacena un valor analógico durante un cierto tiempo. De este modo, convierte una señal de tiempo continuo en una  
 10 señal de tiempo discreta. Un integrar-y-retener no almacena la entrada en sí, pero almacena una integral de la entrada. (Los elementos de integrar y retener también se denominan elementos de integración-muestreo-y-retención). En el elemento de seguimiento y retención, la salida sigue la entrada mientras está en modo de rastreo. Cuando se cambia a modo de retención, se mantiene el último nivel de entrada. El elemento de integración y  
 15 retención integra la señal de entrada durante el modo de integración y almacena el valor integrado (no igual a la entrada) cuando se conmuta al modo de espera. La salida del circuito 260 de seguimiento y retención se compara con el voltaje de referencia VR (que puede ser, por ejemplo, un voltaje cero o algún otro nivel de voltaje de CC deseado). La diferencia obtenida a partir de dicha comparación (por ejemplo, obtenida mediante el circuito 255 sustractor) se convierte posteriormente en una corriente de compensación por medio de una primera unidad 250 de  
 20 amplificación, que puede ser, por ejemplo, un amplificador 250 de transconductancia. Un amplificador 250 transconductor puede ser, por ejemplo, una fuente de corriente controlada por resistencia o voltaje, pero también son adecuados cualesquiera otros medios de amplificación de transconductancia. El voltaje de referencia VR puede ser fijo o de controlado, por ejemplo por el microcontrolador 270.

25 En una segunda instancia en el tiempo, justo antes de activar el diodo 210 de encendido, el circuito 260 de seguimiento y retención se conmuta a un modo de espera. En otras palabras, el último nivel de entrada es retenido y se muestra la última muestra "rastreada" en el modo de rastreo. El bucle dentro del aparato 200 sensor de fotopletismografía resta entonces el nivel ambiente actual durante un periodo de tiempo subsiguiente.

30 Durante dicho periodo de tiempo subsiguiente, el diodo 210 emisor lumínica se enciende. El nivel ambiente almacenado se resta de la corriente combinada  $I_L + I_A$ . Por consiguiente, sólo se amplifica la señal PPG (es decir,  $I_L$ ), pero no la corriente procedente de la luz ambiental interferente (es decir,  $I_A$ ), mediante una segunda unidad amplificadora 240, que puede ser, por ejemplo, un TIA. La señal PPG de salida resultante del amplificador 240 de transimpedancia puede almacenarse preferiblemente en un circuito opcional de muestreo y retención.  
 35 Alternativamente y/o adicionalmente, la señal PPG de salida resultante del amplificador 240 de transimpedancia puede convertirse directamente mediante el conversor 280 analógico-digital.

40 En una cuarta instancia en el tiempo, el diodo 210 emisor lumínica se desconecta de nuevo. El ajuste resultante puede considerarse entonces como el punto de partida para una iteración adicional de supresión lumínica ambiental conmutando el circuito 260 de seguimiento y retención en el "modo de rastreo" de nuevo y procediendo entonces como se ha indicado anteriormente. Se observa que el bucle de retroalimentación de corrección lumínica ambiental 201 está preferiblemente siempre cerrado, debido a la parte de seguimiento del circuito 260 de seguimiento y retención. Por consiguiente, esa parte de la señal es siempre insignificanamente pequeña dentro del bucle. A saber, puesto que las señales PPG son pequeñas (especialmente en sensores PPG de modo reflectante), los niveles lumínica ambiental pueden ser relativamente altos. Si la parte ambiental  $I_A$  de la corriente no fuese substraída continuamente, el amplificador 240 de transimpedancia tendría que asentarse a grandes pasos lumínica ambiental durante cada ciclo de corrección. En la presente configuración, este no es el caso. La presente realización permite así relajar las exigencias dinámicas del aparato 200 sensor de fotopletismografía.

45 La figura 3 muestra esquemáticamente y de manera ejemplar otra realización de un aparato 300 sensor de fotopletismografía. Los elementos 3xx mostrados en la Fig. 3 corresponden a los elementos 2xx numerados en la Fig. 2. En la realización mostrada en la Fig. 3, se coloca un detector 390 síncrono antes del convertidor 380 analógico-digital, para permitir el rechazo o supresión de interferencias adicionales (tales como, por ejemplo, desde 1/f ruido (es decir, ruido donde la densidad espectral de potencia Hz) es inversamente proporcional a la frecuencia f de la señal de ruido) del amplificador 340 transimpedancia, e interferencias externas no sincronizadas con la luz LED 310a). Las interferencias externas no sincrónicas con la luz LED 310a pueden incluir, por ejemplo, corriente electromagnética externa tal como, por ejemplo, interferencia de línea eléctrica de 50/60 Hz recogida en otra parte del circuito (es decir, no parte de la fotocorriente). Por lo tanto, estas interferencias pueden ser rechazadas por el detector 390 síncrono. El detector 390 síncrono comprende preferiblemente un rectificador síncrono seguido por un  
 50 filtro de paso bajo. El rectificador síncrono preferiblemente multiplica la señal con +1 o -1. Preferentemente, la rectificación es síncrona con el control del LED 310, efectuándose el control mediante el controlador 315 de LED.

55 En una realización preferida adicional, el detector 390 síncrono puede ser implementado como un amplificador incorporado digital en el microcontrolador.

60 La figura 4 muestra esquemáticamente y de manera ejemplar una realización de un método 400 de sensor de fotopletismografía.

65 En la etapa 410, una primera señal 210a, 310a lumínica es generada por una unidad de fuente lumínica.

En la etapa 420, una segunda señal 220a, 320a lumínica es observada por una unidad fotodetectora, en la que

dicha segunda señal 220a, 320a lumínica es indicativa de una absorción de dicha primera señal 210a, 310a lumínica en un objetivo 220, 320.

5 En la etapa 430, una señal de salida del fotodetector es recibida por un bucle (201, 301) de retroalimentación de compensación de la luz ambiental que comprende una unidad (260, 360) de seguimiento y retención y una unidad (250, 350) de amplificación en respuesta a la observación de dicha segunda señal 220a, 320a lumínica.

10 En la etapa 440, se compara una señal de salida de la unidad 260 y 360 de seguimiento y retención con una señal de referencia VR, en la que dicha señal de salida de dicha unidad 260 y 360 de seguimiento y retención se basa en dicha señal de salida del fotodetector.

En la etapa 450, la unidad (250, 350) de amplificación proporciona a la unidad (260, 360) de seguimiento y retención una corriente de compensación basada en dicha comparación.

15 La invención se puede usar en sensores fotopleletismográficos, y en particular como un extremo frontal fotopleletismográfico pequeño y eficiente. La invención también puede usarse en otros sensores de oximetría de pulso, tales como, por ejemplo, sensores de SpO<sub>2</sub>.

20 Otras variantes de las realizaciones descritas pueden ser entendidas y efectuadas por los expertos en la técnica en la práctica de la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, la descripción y las reivindicaciones adjuntas.

25 En las reivindicaciones, la palabra "que comprende" no excluye otros elementos o etapas, y el artículo indefinido "uno" o "una" no excluye una pluralidad.

Una única unidad o dispositivo puede cumplir las funciones de varios artículos enumerados en las reivindicaciones. El mero hecho de que determinadas medidas se reciten en reivindicaciones dependientes mutuamente diferentes no indica que una combinación de estas medidas no pueda utilizarse con ventaja.

30 Las determinaciones y/o el control del aparato sensor de fotopleletismografía de acuerdo con el método de sensor de fotopleletismografía descrito anteriormente se pueden implementar como medios de código de programa de un programa de ordenador y/o como hardware dedicado.

35 Un programa de ordenador puede almacenarse/distribuirse en un medio adecuado, tal como un medio de almacenamiento óptico o un medio de estado sólido, suministrado junto con o como parte de otro hardware, pero también puede distribuirse en otras formas, tales como a través de Internet u otros sistemas de telecomunicaciones cableados o inalámbricos.

40 Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no debe ser interpretado como limitativo del alcance.



**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato (200, 300) sensor de fotopleletismografía que comprende:

5 - una unidad (210, 310) de fuente lumínica configurada para generar una primera señal (210a, 310a) lumínica;

- una unidad (230, 330) fotodetectora configurada para observar una segunda señal (220a, 320a) lumínica, donde dicha segunda señal (220a, 320a) lumínica es indicativa de una absorción de dicha primera señal (210a, 310a) lumínica en un objetivo (220, 320), en el que dicha unidad (230, 330) fotodetectora está configurada además para emitir una señal de salida de fotodetector en respuesta a la observación de dicha segunda señal (220a, 320a) lumínica; y

- un bucle (201, 301) de retroalimentación de compensación de la luz ambiental que comprende una unidad (260, 360) de seguimiento y retención configurada para recibir dicha señal de salida del fotodetector;

15 en el que dicho aparato (200, 300) sensor de fotopleletismografía está configurado para comparar una señal de salida de dicha unidad (260, 360) de seguimiento y retención con una señal de referencia (VR), y en el que dicho bucle (201, 301) de retroalimentación de compensación lumínica ambiental comprende una primera unidad (250, 350) de amplificación configurada para proporcionar una corriente de compensación basada en dicha comparación con la unidad (260, 360) de seguimiento y retención.

2. El aparato (200, 300) sensor de fotopleletismografía de la reivindicación 1, que comprende además una segunda unidad (240, 340) de amplificación para amplificar una suma de la corriente de compensación y la señal de salida del fotodetector y para suministrar una señal amplificada a una entrada de la unidad (260) de seguimiento y retención.

25 3. El aparato (200, 300) sensor de fotopleletismografía de la reivindicación 2, en donde dicha segunda unidad (240, 340) de amplificación comprende un amplificador de transimpedancia.

4. Aparato (200, 300) sensor de fotopleletismografía según la reivindicación 1, en el que dicha primera unidad (250, 350) de amplificación comprende un amplificador de transconductancia, en el que dicho amplificador (250, 350) de transconductancia comprende una resistencia y/o una fuente de corriente controlada por voltaje.

5. El aparato (200) sensor de fotopleletismografía según la reivindicación 2, en donde dicho aparato (200) sensor de fotopleletismografía comprende un convertidor (280) analógico a digital configurado para recibir una señal de salida de dicha segunda unidad (240) de amplificación.

6. Aparato (200, 300) sensor de fotopleletismografía de la reivindicación 1, en donde dicho aparato (200, 300) sensor de fotopleletismografía comprende además una unidad (215, 315) de excitación de fuente lumínica configurada para controlar dicha unidad (210, 310) de fuente lumínica.

7. El aparato (300) sensor de fotopleletismografía según la reivindicación 1, en donde dicho aparato (300) sensor de fotopleletismografía comprende además un detector (390) síncrono.

8. El aparato (300) sensor de fotopleletismografía según la reivindicación 7, en donde dicho aparato (300) sensor de fotopleletismografía comprende además una unidad (315) de excitación de fuente lumínica configurada para controlar dicha unidad (310) de fuente lumínica y en el que dicho detector (390) síncrono está configurado para operar de forma sincrónica con dicha unidad (315) excitadora de fuente lumínica.

9. El aparato (300) sensor de fotopleletismografía de la reivindicación 7, en donde dicho aparato (300) sensor de fotopleletismografía comprende un convertidor (380) analógico a digital configurado para recibir la señal de salida desde dicho detector (390) síncrono.

10. El aparato (200, 300) sensor de fotopleletismografía según la reivindicación 7, en donde dicho detector (390) síncrono comprende un rectificador síncrono seguido por un filtro de paso bajo.

11. El aparato (200, 300) sensor de fotopleletismografía de la reivindicación 10, en donde dicho rectificador síncrono multiplica la señal con +1 o -1.

12. El aparato (200, 300) sensor de fotopleletismografía de la reivindicación 1, en donde dicho aparato (200, 300) sensor de fotopleletismografía comprende además un microcontrolador (270, 370) configurado para ajustar dicha señal de referencia (VR).

13. Un método (400) sensor de fotopleletismografía que comprende las etapas de:

65 - generar (410) una primera señal (210a, 310a) lumínica mediante una unidad de fuente lumínica;

- observar (420) una segunda señal (220a, 320a) lumínica por una unidad fotodetectora, en la que dicha segunda

señal (220a, 320a) lumínica es indicativa de una absorción de dicha primera señal (210a, 310a) lumínica en un objetivo (220, 320);

5 - recibir (430), en respuesta a la observación de dicha segunda señal (220a, 320a) lumínica, una señal de salida de fotodetector por un bucle (201, 301) de retroalimentación de compensación lumínica ambiental que comprende una unidad (260, 360) de seguimiento y retención y una unidad (250, 350) amplificadora;

10 - comparar (440) una señal de salida de la unidad (260, 360) de seguimiento y retención a una señal de referencia (VR), en el que dicha señal de salida de dicha unidad (260, 360) de seguimiento y retención se basa en dicha señal de salida del fotodetector; y

- proporcionar (450) una corriente de compensación por la unidad (250, 350) de amplificación a la unidad (260, 360) de seguimiento y retención sobre la base de dicha comparación.

15 14. Un producto de programa de ordenador de sensor de fotopletismografía que comprende una memoria legible por ordenador que almacena medios de código de programa de ordenador para hacer que el aparato (200, 300) sensor de fotopletismografía según se define en la reivindicación 1 lleve a cabo las etapas del método (400) sensor de fotopletismografía de la reivindicación 13, cuando el programa de ordenador se ejecuta en un ordenador que controla el aparato (200, 300) sensor de fotopletismografía.  
20

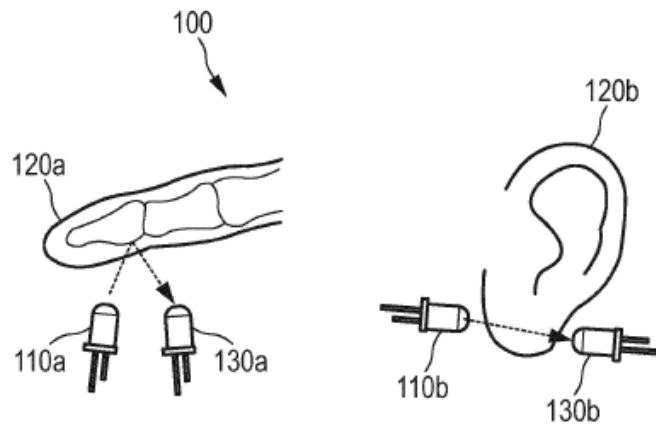


FIG. 1

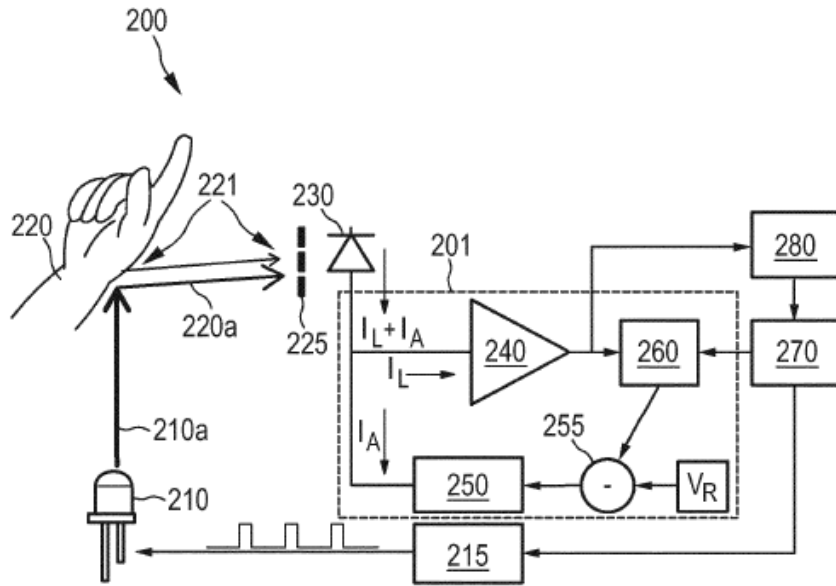


FIG. 2

