

DETECCIÓN DE INICIO DE SOMNOLENCIA

ANTECEDENTES

5 La electroencefalografía (EEG, según sus siglas en inglés) es un método supervisar la actividad eléctrica del cerebro a lo largo del tiempo, capturada utilizando varios electrodos colocados en el cuero cabelludo. La información acerca de las condiciones físicas y mentales de una persona puede derivarse a partir de un análisis de las denominadas ondas cerebrales observadas en las señales de la EEG. Una de dicha condición es la transición entre un estado de despierto y un estado de somnolencia.

10 En el sueño humano, existen dos tipos principales de sueño: principalmente, el sueño de rápido movimiento del ojo (REM, según sus siglas en inglés) y el sueño sin movimiento rápido del ojo (NREM, según sus siglas en inglés). El sueño REM es identificable en una señal de EEG por sus ondas de alta frecuencia, de baja amplitud características. El sueño NREM se categoriza en tres fases distintas: N1, N2 y N3; y presenta patrones de onda de EEG muy diferentes del sueño REM. Por ejemplo, El sueño NREM
15 N3 exhibe las ondas cerebrales en una señal de EEG caracterizada por ondas de baja frecuencia, de alta amplitud. En general, las ondas cerebrales se hacen más lentas y más sincronizadas a medida que una persona pasa del sueño de etapa N1 a N3.

A medida que una persona se queda dormida, la actividad de su cuerpo se desacelera y sus ondas cerebrales se hacen más lentas y más grandes. El sueño NREM N1, que a menudo se denomina
20 sueño somnoliento o somnolencia, generalmente ocurre entre el sueño y el estado de alerta. Esta etapa se caracteriza en las señales de EEG como una transición entre las así llamadas ondas alfa que tienen una frecuencia de 8-13 Hz (lo cual es común en estado despierto) a las así llamadas ondas theta que tienen una frecuencia de 4-7 Hz. Así, la transición de un estado de despierto a un estado de somnolencia puede ser fácilmente vista en una señal de EEG.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas generalmente detectan el inicio de somnolencia en un individuo. En una implementación general, esto implica el uso de
30 uno o más sensores de la frecuencia cardíaca (HR, según sus siglas en inglés)) que capturan la información de HR del individuo, uno o más dispositivos de cómputo y un programa de computadora de detector de inicio de somnolencia que tiene una pluralidad de sub-programas ejecutables por uno o más dispositivos de cómputo. El uno o más dispositivos de cómputo son dirigidos por los sub-programas del programa de computadora de detector de inicio de somnolencia para recibir por primera vez la
35 información de HR del sensor o sensores frecuencia cardíaca. Un conjunto de características se extrae después a partir de la información de HR. Estas características, que están entre las muchas características que pueden extraerse de la información de HR, se han decidido que son específicamente indicativas de una transición desde un estado de despierto de un individuo a un estado de somnolencia

de un individuo. Después, las características extraídas se combinan para producir una entrada de detección de somnolencia. La entrada de detección de somnolencia se alimenta entonces a un clasificador de red neuronal artificial (ANN, según sus siglas en inglés) que ha sido entrenado para distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnolencia de un individuo basándose en las características extraídas. En una implementación, el clasificador de ANN también se ha entrenado en parte utilizando un indicador de la transición entre el estado de alerta y la somnolencia (es decir, El sueño NREM N1) según exhibido en un señal de EEG. Después se identifica a partir de una salida del clasificador de ANN si la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia. Si es así, se inicia una advertencia de inicio de somnolencia.

Se debe observar que la Breve Descripción anterior se proporciona para introducir una selección de conceptos, en una forma simplificada, que se describen a continuación en la Descripción Detallada. Esta Breve Descripción no pretende identificar características clave o características esenciales de la materia objeto reclamada, ni pretende ser usada como una ayuda para determinar el alcance de la materia objeto reclamada. Su único propósito es presentar algunos conceptos de la materia objeto reclamada en una forma simplificada, como un preludio a la descripción más detallada que se presenta a continuación.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las características, aspectos y ventajas específicas de la descripción se entenderán mejor con respecto a la siguiente descripción, reivindicaciones anexas y dibujos anexas en donde:

La Figura 1 es un diagrama que ilustra una implementación, en forma simplificada, de una estructura de sistema para realizar las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas.

La Figura 2 es un diagrama de flujo que ilustra una implementación ejemplar, en forma simplificada, de un proceso para detectar el inicio de somnolencia para un individuo.

La Figura 3 es un diagrama que ilustra otra implementación, en forma simplificada, de una estructura de sistema para realizar las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas, que involucra un servidor remoto o servicio de nube.

La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra una implementación ejemplar, en forma simplificada, de un proceso para detectar el inicio de somnolencia para un individuo, que involucra un servidor remoto o servicio de nube.

La Figura 5 es un diagrama que ilustra una implementación ejemplar, en forma simplificada, de una estructura de sistema para entrenar un clasificador de detección de inicio de somnolencia, que a su vez puede utilizarse para detectar el inicio de somnolencia en un individuo.

La Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra una implementación ejemplar, en forma simplificada, de un proceso para entrenar un clasificador de detección de inicio de somnolencia.

La Figura 7 es un diagrama que ilustra un dispositivo de cómputo de propósito general que

constituye un sistema ejemplar para el uso con las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

5

En la siguiente descripción se hace referencia a los dibujos acompañantes que forman parte de ella, y en donde se muestran, a modo de ilustración, versiones específicas en donde se pueden practicar implementaciones de detección de inicio de somnolencia. Queda entendido que otras implementaciones pueden ser utilizadas y se pueden hacer cambios estructurales sin apartarse del alcance de la misma.

10 También se observa que, en aras de la claridad, la terminología específica será invocada para describir las implementaciones de detección de inicio de somnolencia y no está pensado que estas implementaciones sean limitadas a los términos específicos así elegidos. Además, se entiende que cada término específico incluye todos sus equivalentes técnicos que operan de una manera similar para lograr un propósito similar. Aquí la referencia a "una implementación" u "otra implementación" o una
15 "implementación ejemplar" o "una implementación alternativa" significa que una característica particular, una estructura particular o características particulares descritas en relación con la implementación puede estar incluida en al menos una versión de la detección de inicio de somnolencia. Las apariciones de las frases "en una implementación", "en otra implementación", "en una implementación ejemplar" y "en una implementación alternativa" en diversos lugares en la especificación no necesariamente todas se refieren
20 a la misma implementación, ni son implementaciones separadas o alternativas mutuamente exclusivas de otras implementaciones. Pero además, el orden del flujo del proceso que representa una o más implementaciones de la extracción de información de proyecto intrínsecamente no indica ningún orden concreto ni implica ninguna limitación del mismo.

Como se utiliza aquí, los términos "componente", "sistema", "cliente" y similares se refieren a una
25 entidad relacionada con computadora, ya sea *hardware*, *software* (por ejemplo, en ejecución), *firmware* o una combinación de los mismos. Por ejemplo, un componente puede ser un proceso que se ejecuta en un procesador, un objeto, un ejecutable, un programa, una función, una biblioteca, una subrutina, una computadora o una combinación de *software* y *hardware*. A modo de ilustración, tanto una aplicación que se ejecuta en un servidor como el servidor pueden ser un componente. Uno o más componentes pueden
30 residir dentro de un proceso y un componente puede estar localizado en una computadora y/o distribuido entre dos o más computadoras. El término "procesador" generalmente se refiere a un componente de *hardware*, tal como una unidad de procesamiento de un sistema de computadora.

Además, en la medida en que los términos "incluye", "incluyendo", "tiene", "contiene" y sus variantes, y otras palabras similares son utilizados en esta descripción detallada o las reivindicaciones,
35 estos términos pretenden ser incluidos en una manera similar al término "que comprende" como una palabra de transición abierta sin excluir ningún elemento adicional u otro elemento.

1.0 Detección de Inicio de Somnolencia

Por lo general, las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas pueden predecir cuando una persona va de un estado de alerta a un estado de somnolencia basándose en la información de la frecuencia cardíaca a lo largo del tiempo. Después pueden adoptarse medidas apropiadas para estimular al individuo a un estado de alerta o notificar a otras personas de su estado (con respecto a la somnolencia/alerta). Esto es útil en muchos escenarios en donde el estado de alerta de una persona es necesario, tal como mientras conduce un coche, requisa un buque, pilotea un avión, las personas que estudian para los exámenes, durante las reuniones y así sucesivamente.

Las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas implican generalmente la captura de información del ritmo cardíaco de una persona a lo largo del tiempo usando uno o más sensores de frecuencia cardíaca (HR) y luego calcular la señal de variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV, según sus siglas en inglés) de la información de frecuencia cardíaca capturada. Esta señal de HRV es analizada para extraer características que son indicativas de la transición del individuo desde un estado de despierto a un estado somnoliento (es decir, sueño NREM N1). Las características extraídas se introducen en una red neuronal artificial (ANN) que ha sido entrenada utilizando las mismas características para identificar cuando un individuo hace la mencionada transición a la somnolencia. Siempre que se detecte un inicio de somnolencia, se inicia una advertencia que puede adoptar diversas formas.

Una característica ventajosa de la detección del inicio de somnolencia aquí descrita es que las características extraídas de la señal de HRV se han adaptado para detectar específicamente la transición de estado de alerta a somnolencia. Por ejemplo, en una implementación, sólo 11 características se emplean en oposición a las muchas características que pueden ser extraídas de una señal de HRV. Como tal, la cantidad de procesamiento, así como el tiempo que se tarda en detectar el inicio de somnolencia, se reducen significativamente.

Las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas también son ventajosas por varias otras razones, incluyendo pero no limitado a, lo siguiente. Como se puede apreciar en la descripción más detallada que sigue, algunas de las implementaciones de detección de inicio de somnolencia son auto-contenidas. Más particularmente, están ya sea completamente contenidas en un dispositivo de sensor de HR local o emplean un dispositivo para capturar información de HR, que es entonces enviada a un dispositivo de cómputo llevado por el usuario. Como tal, no es necesaria la comunicación externa (por ejemplo, sin el uso de datos celulares) y el sistema puede funcionar incluso sin conectividad con el exterior (por ejemplo, cuando el servicio celular no está disponible). Además, las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas son no invasivas y producen resultados precisos que se cree que superan cualquier esquema de verificación de somnolencia que se emplea actualmente.

1.1 Estructuras de Sistema y Proceso

Esta sección describe diferentes implementaciones de una estructura de sistema y una estructura

de proceso que pueden utilizarse para realizar las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas. Cabe señalar que además de las implementaciones de estructura de sistema y de estructura de proceso descritas en esta sección, varias otras implementaciones de estructura de sistema y estructura de proceso también se pueden usar para realizar las implementaciones de detección de inicio de somnolencia.

La Figura 1 ilustra una implementación, en forma simplificada, de una estructura de sistema para realizar de las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas. Como se muestra en la Figura 1, la estructura de sistema 100 incluye un conjunto de uno o más sensores de frecuencia cardíaca (HR) 102. Cualquier tipo de sensor que capture la frecuencia cardíaca de un individuo puede ser empleado como el sensor(es) de frecuencia cardíaca (HR) 102. En una versión, estos sensores de HR 102 están físicamente dispuestos (por ejemplo, usados) en el cuerpo de un usuario. En otra versión, el sensor(es) HR 102 son llevados por el usuario 104. En otra versión más, el sensor(es) HR 102 está lejos del usuario, pero aún es capaz de detectar la frecuencia cardíaca del individuo (por ejemplo, mediante técnicas de formación de imagen). Como se puede apreciar a partir de la descripción más detallada que sigue, el conjunto de sensores de HR 102 está configurado para continuamente (por ejemplo, en una base continua) y de forma pasiva medir (por ejemplo, capturar) la información de frecuencia cardíaca asociada con el usuario en su día, y al menos una salida de la fecha y la hora de la corriente de datos que incluye un valor actual de esta información de frecuencia.

Haciendo referencia nuevamente a la Figura 1, la estructura de sistema 100 también incluye uno o más dispositivos de cómputo 104. En una versión, un dispositivo de cómputo 104 es residente en el sensor o sensores de HR 102, creando así un dispositivo de detección de inicio de somnolencia unificado. En otra versión, se emplea un dispositivo de cómputo 104 separado del sensor o sensores de HR 102. Esta última versión del dispositivo de cómputo 104 puede ser un dispositivo móvil que es llevado por el usuario, tal como un teléfono inteligente convencional o una computadora tipo tableta convencional. En otra versión, hay tanto un dispositivo de cómputo 104 residente en el sensor(es) de HR 102 como un dispositivo de cómputo independiente llevado por el usuario. Como se describe con más detalle más adelante, el dispositivo de cómputo 104 residente en el sensor(s) 102 en esta última versión se utiliza para realizar al menos algo de pre-procesamiento de la señal(es) que sale del sensor(es). Por ejemplo, como se describirá en más detalle más adelante, este pre-procesamiento puede implicar derivar una señal de variabilidad de frecuencia cardíaca (HRV) de las lecturas del sensor de HR en bruto.

Como se indicó anteriormente, el sensor o sensores de HR 102 pueden adoptar diferentes formas. Por ejemplo, en una implementación en donde el sensor(s) se usa en el cuerpo de un usuario, el sensor(es) de HR 102 puede ser empaquetado en el dispositivo utilizable. Dicho dispositivo utilizable es un dispositivo de seguimiento de salud/entrenamiento que se lleva en la muñeca del individuo. Cabe señalar que muchos tipos diferentes dispositivos de cómputo utilizables de seguimiento de salud/entrenamiento están comercialmente disponibles en la actualidad que incluyen sensores de HR.

En las versiones anteriores que tienen un dispositivo de cómputo 104 que es independiente del sensor o sensores de HR 102, cada uno de los sensores de HR está configurado para transmitir

inalámbicamente la salida de secuencia de datos a la hora establecida del sensor(s) al dispositivo de cómputo. El dispositivo de cómputo 104 está, por consiguiente, configurado para recibir de forma inalámbrica las varias secuencias de datos transmitidas desde el conjunto de sensores de HR 102. La comunicación inalámbrica de la salida de las distintas secuencias de datos del conjunto de sensores de HR 102 puede realizarse utilizando varias tecnologías inalámbricas. Por ejemplo, esta comunicación inalámbrica puede realizarse utilizando una red de área personal Bluetooth convencional. Otra versión es posible cuando la comunicación inalámbrica se realiza utilizando una red de área local Wi-Fi convencional. Otra versión también más es posible cuando la comunicación inalámbrica se realiza utilizando una combinación de distintas tecnologías de redes inalámbricas.

Como se muestra en la Figura 1, la estructura de sistema 100 también incluye un programa de computadora de detector de inicio de somnolencia 106 que tiene sub-programas ejecutables por uno o más dispositivos de cómputo 104. Los sub-programas incluyen un sub-programa de recepción 108, un sub-programa de extracción de característica 110, un sub-programa combinación de característica 112, un sub-programa de entrada de clasificador de red neuronal artificial (ANN) 114, un inicio de sub-programa de identificación de somnolencia 116 y un sub-programa de aviso de advertencia de somnolencia 118. En una versión, los datos de sensor de HR 120 en bruto entran en el sub-programa de recepción 108 de los sensores de HR 102. En otra versión, la citada señal de HRV 122 se introduce en el sub-programa de recepción 108 desde los sensores de HR 102. El carácter alternativo de estas dos entradas se indica en la Figura 1 mediante el uso de flechas de línea punteada. Una advertencia de inicio de somnolencia 124 se emite desde el sub-programa de advertencia de inicio de somnolencia 118. Como se ha indicado anteriormente, cada uno de estos subprogramas se realiza en uno o más dispositivos de cómputo (tales como aquellos descritos en más detalle en la sección Entornos de Operación ilustrativos que sigue). Se observa que cuando existe una pluralidad de dispositivos de cómputo, éstos están en comunicación entre sí a través de una red de computadora (tal como Internet o una intranet).

Refiriéndose ahora a la Figura 2, el uno o más dispositivos de cómputo antes mencionados son dirigidos por los sub-programas anteriores del programa de computadora para llevar a cabo una serie de acciones de proceso. Más particularmente, la Figura 2 ilustra una implementación ejemplar, en forma simplificada, de un proceso para detectar el inicio de somnolencia de un individuo. Este proceso comienza con la recepción de la información de HR del sensor o sensores de frecuencia cardíaca (acción de proceso 200). Un conjunto de características se extrae después de la información de HR (acción de proceso 202). Estas características, que están entre muchas características que pueden extraerse de la información de HR, se ha determinado que son específicamente indicativas de una transición de un estado de despierto de un individuo a un estado de somnoliento de un individuo. Después, las características extraídas se combinan para producir una entrada de detección de somnolencia (acción de proceso 204). La entrada de detección de somnolencia es la entrada en un clasificador de red neuronal artificial (ANN) que ha sido entrenado para distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnoliento de un individuo basándose en las características extraídas (acción de proceso 206). Luego se determina a partir de una salida del clasificador de ANN si la entrada de detección de

somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia (acción de proceso 208). Si es así, se inicia una advertencia de inicio de somnolencia (acción de proceso 210). Si no es así, el proceso anterior se repite.

Con respecto a la iniciación de la advertencia de inicio de somnolencia, las advertencias pueden caracterizarse como pertenecientes a tres categorías generales. La primera categoría es la de un despertador para el individuo que está siendo vigilado para somnolencia. A modo de ejemplo, pero no limitativo, la advertencia de inicio de puede ser un "mensaje" que aparece en la pantalla. Cuando el sensor o sensores de frecuencia cardíaca se empaquetan tal como se describió anteriormente, este paquete puede tener una pantalla. Además, en el caso de implementaciones que emplean el citado dispositivo móvil, este dispositivo puede tener una pantalla. El mensaje puede ser texto o imágenes, o incluso adoptar la forma de imágenes parpadeantes que aparecen ante el usuario como una luz que destella en la pantalla. Además de, o en lugar de los ejemplos de mensaje anteriores para despertar, el mensaje de despertar puede tomar la forma de sugerencias para el individuo. Por ejemplo, en el contexto de un individuo que está conduciendo un vehículo, el mensaje puede incluir texto que proporciona la ubicación del hotel más cercano o parada de descanso. La advertencia también puede ser una alerta audible (por ejemplo, el zumbido, timbre, voz, música, etc.) que se reproduce a través del altavoz residente en el paquete de sensor(es) de frecuencia cardíaca o el dispositivo móvil. La advertencia además puede ser una alerta háptica (por ejemplo, vibración, choques eléctricos leves, etc.) que se crea utilizando los métodos convencionales mediante el paquete de sensor(es) de frecuencia cardíaca o el dispositivo móvil en respuesta a un comando de inicio. Cualquiera de las alertas anteriores también se puede combinar para crear la advertencia de somnolencia para el individuo. Otro tipo de advertencia involucra transmitir un mensaje a una tercera parte (por ejemplo, enfermera, médico, doctor, investigador del sueño, etcétera), quien a su vez advierte al individuo que está siendo supervisado para somnolencia o, de lo contrario, toma acción basándose en la experiencia del individuo del inicio de somnolencia. Otro tipo de advertencia es una instrucción para que un dispositivo tome alguna acción en respuesta al individuo que experimenta el inicio de somnolencia. Por ejemplo, en un futuro próximo, el individuo puede estar conduciendo un denominado automóvil conectado que puede aceptar una instrucción (suponiendo que los protocolos de seguridad adecuados son seguidos) para asumir el control de coche y lo conduzca a un lugar seguro (como al lado de la carretera). Del mismo modo, otros dispositivos "conectados" podrían ser controlados de manera similar para evitar accidentes debido a la somnolencia del individuo. Por ejemplo, aparatos domésticos, tal como una estufa puede ser apagada.

Como se indicó anteriormente, las implementaciones anteriores y versiones de detección de inicio de somnolencia tienen la ventaja de ser independientes. Están totalmente contenidas en un dispositivo de detección de HR o emplean un dispositivo para capturar información de HR que luego es enviada a un dispositivo de cómputo llevado por el usuario. No obstante, pese a ser independiente tiene sus ventajas, otras consideraciones pueden prevalecer sobre ellas. Por ejemplo, en un escenario basado en nube, características históricas adicionales tales como la historia del sueño, el clima actual y otra información en tiempo real pueden ser incluidas. Ya que la potencia de procesamiento en la nube suele ser bastante

grande, se puede concebir un modelo más complejo que involucra calcular la información del sueño de varias personas al mismo tiempo. Hasta este punto, algunas implementaciones de detección de inicio de somnolencia implican el uso de los elementos de sistema anteriores para comunicarse con un servidor o servicio de nube. En este caso, la información del sensor de HR en bruto o una señal de HRV preprocesada se envía al servidor o servicio en nube que, a su vez, detecta cuando se produce el inicio de somnolencia y emite la advertencia correspondiente. Esto podría implicar el envío de un indicador de advertencia de vuelta al dispositivo(s) del usuario que implementaría la advertencia, o a una tercera parte, o ambos.

La Figura 3 ilustra la implementación alternativa anterior. Como se muestra en la Figura 3, la estructura de sistema 300 incluye un conjunto de uno o más sensores de frecuencia cardíaca (HR) 302. Como en las implementaciones anteriores, en una versión, estos sensores de HR 302 están físicamente dispuestos (por ejemplo, usados) en el cuerpo de un usuario. En otra versión, el sensor(es) de HR 302 es llevado por el usuario. En otra versión más, el sensor(es) de HR 302 está lejos del usuario, pero aún es capaz de detectar la frecuencia cardíaca de la persona. El conjunto de sensores de HR 302 está configurado para medir continuamente (por ejemplo, en una base continua) y de forma pasiva (por ejemplo, captura) información de la frecuencia cardíaca asociada con el usuario a través de su día y al menos producir una secuencia de datos a tiempo que incluye un valor actual de esta información de frecuencia. La estructura de sistema 300 también incluye uno o más dispositivos de cómputo 304. Como con las implementaciones anteriores, en una versión, un dispositivo de cómputo 304 es residente en el sensor o sensores de HR 302. En otra versión, se emplea un dispositivo de cómputo 304 separado del sensor o sensores de HR 302. Esta última versión del dispositivo de cómputo 304 puede ser un dispositivo móvil que es llevado por el usuario, tal como un teléfono inteligente convencional o una computadora de tipo tableta convencional. En otra versión más, hay tanto un dispositivo de cómputo 304 residente en el sensor(es) de HR 302 como un dispositivo de cómputo separado llevado por el usuario. Como se describirá con más detalle posteriormente, el dispositivo de cómputo 304 residente en el sensor(s) 302 en esta última versión se utiliza para realizar al menos algo de pre-procesamiento de la salida de señal(s) por el sensor(s) como, por ejemplo, derivando la mencionada HRV de las lecturas del sensor de HR. Además, como antes, en las versiones anteriores que tienen un dispositivo de cómputo 304 que está separado del sensor o sensores de HR 302, cada uno de los sensores de HR está configurado para transmitir inalámbricamente la fecha y hora de la salida de secuencia de datos del sensor(s) al dispositivo de cómputo. El dispositivo de cómputo 304 está configurado para recibir de forma inalámbrica las varias secuencias de datos transmitidas desde el conjunto de sensores de HR 302. La comunicación inalámbrica de salida de las varias secuencias de datos del conjunto de sensores de HR 302 puede realizarse utilizando varias tecnologías inalámbricas. Por ejemplo, esta comunicación inalámbrica puede realizarse mediante una red de área personal Bluetooth convencional. Otra versión es posible cuando la comunicación inalámbrica se realiza mediante una red de área local Wi-Fi convencional. Otra versión también es posible cuando la comunicación inalámbrica se realiza mediante una combinación de diferentes tecnologías de redes inalámbricas.

Además, en las implementaciones ilustradas en la Figura 3, el dispositivo de cómputo 304 (ya sea residente sólo en el sensor(es) de HR 302 o en forma de un dispositivo separado que lleva el usuario) está configurado para comunicarse a través de una red de comunicación de datos 306 tal como la Internet (entre otros tipos de redes) a un servicio de nube 308 que opera en uno o más de otros dispositivos de cómputo 310 que están ubicados de forma remota del dispositivo de cómputo 304. Los dispositivos de cómputo remotos 310 también pueden comunicarse entre sí a través de la red 306. El término "servicio de nube" se emplea aquí para referirse a una aplicación web que funciona en la nube y puede alojarse en (por ejemplo, desplegarse en) una pluralidad de centros de datos que pueden estar ubicados en diferentes regiones geográficas (por ejemplo, diferentes regiones del mundo). Cabe señalar que en una versión del esquema anterior, el servicio nube es sustituido por un servidor remoto convencional (no mostrado).

Como se ilustra más en la Figura 3, la estructura de sistema 300 incluye un programa de computadora de detector de inicio de somnolencia 312 que opera en uno o más dispositivos de cómputo 310 asociado con el servicio de nube 308 (o servidor remoto). El programa de computadora de detector de inicio de somnolencia 312 tiene sub-programas ejecutables por uno o más dispositivos de cómputo 310. Los sub-programas incluyen un sub-programa de recepción 314, un sub-programa de extracción de características 316, un sub-programa de combinación de característica 318, un sub-programa de entrada de clasificador de red neuronal artificial (ANN) 320, un sub-programa de identificación de inicio de somnolencia 322 y un sub-programa de advertencia de inicio de somnolencia 324. En una versión, los datos del sensor de HR 326 recibidos del dispositivo de cómputo 304 se introducen en el sub-programa de recepción 314. En otra versión, la citada señal de HRV 328 se introduce al sub-programa de recepción 314. El carácter alternativo de estas dos entradas se indica en la Figura 3 mediante el uso de flechas de línea punteada. Una advertencia de inicio de somnolencia 330 se produce a través de la red 306 desde el sub-programa de advertencia de inicio de somnolencia 324. Como se indicó anteriormente, cada uno de estos sub-programas se realiza en uno o más dispositivos de cómputo (como aquellos descritos con más detalle en la sección Entornos de Operación ilustrativos que siguen). Se observa que cuando existe una pluralidad de dispositivos de cómputo, éstos están en comunicación entre sí a través de una red de computadora (tal como Internet o una Intranet).

Haciendo referencia ahora a la Figura 4, el uno o más dispositivos de cómputo antes mencionados asociados con el servicio de nube (o servidor remoto) están dirigidos por los sub-programas anteriores del programa de computadora de detector de inicio de somnolencia equipo para llevar a cabo una serie de acciones de proceso. Más concretamente, la Figura 4 ilustra una implementación ejemplar, en forma simplificada, de un proceso para detectar el inicio de la somnolencia de un individuo. El proceso comienza con la recepción de información de HR del individuo (acción de proceso 400). Esta información de HR se recibe del dispositivo de cómputo asociado con el uno o más sensores de HR mencionados a través de la red de comunicación de datos. Un conjunto de características después se extrae de la información de HR (acción de proceso 402). Estas características, que están entre las muchas características que pueden extraerse de la información de HR, se ha determinado que son

específicamente indicativas de una transición desde un estado de despierto de un individuo a un estado de somnoliento de un individuo. Después, las características extraídas se combinan para producir una entrada de detección de somnolencia (acción de proceso 404). La entrada de detección de somnolencia es la entrada en un clasificador de red neuronal artificial (ANN) que ha sido entrenado para distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnoliento de un individuo basándose en las características extraídas (acción de proceso 406). Luego se determina a partir una salida del clasificador de ANN si la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia (acción de proceso 408). Si es así, se transmite una notificación de inicio de somnolencia (acción de proceso 410). Si no es así, el proceso anterior se repite.

Como se describió anteriormente, las implementaciones independientes (como se ilustra en las Figuras 1 y 2) inician una advertencia de inicio de somnolencia. La notificación de inicio de somnolencia transmitida por el servicio de nube (o servidor remoto) se utiliza para obtener un efecto similar. Como se indicó anteriormente, uno de los tipos de advertencia implica un despertador para el individuo que está siendo vigilado para somnolencia. Principalmente, a modo de ejemplo, pero no limitativo, la notificación de inicio de somnolencia puede ser un "mensaje" que se transmite al sensor o sensores de frecuencia cardíaca empaquetados previamente descritos o el citado dispositivo móvil. Este mensaje puede ser texto o imágenes que se muestran en una pantalla asociada con el sensor(es) o dispositivo móvil, o incluso adoptar la forma de imágenes parpadeantes que aparecen ante el usuario como una luz que destella en la pantalla. Además de, o en lugar de los anteriores ejemplos de mensaje para despertar, el mensaje de despertar puede tomar la forma de sugerencias para el individuo. Por ejemplo, en el contexto de una persona que está conduciendo un vehículo, el mensaje puede incluir texto que proporciona la ubicación del hotel más cercano o parada de descanso. El mensaje también puede adoptar la forma de una instrucción para crear una alerta audible (por ejemplo, zumbido, timbre, voz, música, etc.) que se reproduce a través de los altavoces residentes en el sensor(es) o dispositivo móvil. El mensaje además puede tomar la forma de una instrucción para crear una alerta háptica (por ejemplo, vibraciones, choques eléctricos leves, etc.) que se crea utilizando los métodos convencionales por el sensor(es) o dispositivo móvil. Como antes, cualquiera de los anteriores alertas puede combinarse para crear la advertencia de somnolencia para el individuo. Otro tipo de notificación implica la transmisión de un mensaje a una tercera parte (por ejemplo, enfermera, médico, doctor, investigador del sueño, etcétera), quien a su vez advierte al individuo que está siendo supervisado para somnolencia o, de lo contrario, toma acción basándose en el individuo que experimenta el inicio de somnolencia. Otro tipo de notificación que el servicio de nube (o servidor) puede transmitir es una instrucción a un dispositivo para tomar alguna acción en respuesta al individuo que experimenta el inicio de somnolencia. Por ejemplo, en un futuro próximo, el individuo puede estar conduciendo un así denominado automóvil conectado que puede aceptar una instrucción (suponiendo que los protocolos de seguridad adecuados son seguidos) para asumir el control del coche y manejarlo a un lugar seguro (como al lado de la carretera). Del mismo modo, otros dispositivos "conectados" podrían ser controlados de manera similar para evitar accidentes debido a la somnolencia del individuo. Por ejemplo, aparatos domésticos como una estufa puede ser

apagada.

1.2 Extracción de Características

Como se indicó anteriormente, en implementaciones ya sea independientes o basadas en servicio de nube, un clasificador de red neuronal artificial (ANN) que ha sido entrenado para distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnoliento de una individuo con base en las mencionadas características extraídas se emplea para detectar el inicio de somnolencia en un individuo que se está supervisando. En esta sección, se describirán métodos de extracción de características ejemplares y tipos de características ejemplares que se extraen.

La investigación médica indica que la frecuencia cardíaca y una percepción del individuo de somnolencia están conectadas. Más concretamente, es posible detectar cuando un individuo pasa de un estado de despierto a un estado de somnoliento (es decir, sueño NREM N1) utilizando una medida de la frecuencia cardíaca de esa persona. El patrón de onda producida por un electrocardiograma típico (EKG o ECG) incluye una serie de ondas QRS complejas. Cada uno de estos complejos se compone de una combinación de tres deflexiones, principalmente las deflexiones que se conocen como la onda Q, onda R y onda S. La onda Q y la onda S se caracterizan típicamente por una deflexión negativa inicial negativa o descendente, mientras que la onda R se caracteriza típicamente por una deflexión inicial positiva o ascendente. El tiempo transcurrido entre dos ondas R consecutivas en el electrocardiograma se denomina un intervalo RR. El sensor o sensores de HR empleados en implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritos son capaces de, al menos, detectar los picos de la onda R. En una implementación, los picos de la onda R detectados forman la mencionada señal de HR en bruto capturada por el sensor o sensores HR. La variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) es el fenómeno fisiológico de la variación en el intervalo de tiempo entre los picos de onda R. Se mide por la variación en el intervalo RR. La de HRV se calcula a partir de la señal de HR en bruto mediante un dispositivo de cómputo asociado con el sensor(s) de HR u otro dispositivo (tal como un dispositivo móvil llevado por el individuo que está siendo supervisando o por el dispositivo(s) de cómputo asociado con un servicio de nube (o servidor remoto).

En una implementación, a medida que la señal de HRV es generada, se segmenta en una secuencia de segmentos de longitud prescrita. En una versión, estos segmentos son dos minutos de duración y representan aproximadamente 120 valores del intervalo RR (es decir, un segmento de señal de 1 Hz). En una implementación, los segmentos de dos minutos de la señal de HRV son entonces muestreados de manera ascendente antes de la extracción de característica. Más particularmente, se emplean técnicas de ajuste de curva (tales como interpolación Spline cúbico) para modelar la variación observada en los valores del intervalo RR del segmento como una ecuación. Las ecuaciones resultantes después son muestreadas. En una versión, en donde 120 intervalos RR están representados por las ecuaciones, 840 muestras son tomadas utilizando métodos convencionales. Esto representa un muestreo ascendente de siete veces del segmento de HRV original. Este muestreo ascendente (es decir, 1 Hz a 7 Hz) se realiza ya que se encontró que un segmento de señal de 7 Hz funciona bien con los métodos de

extracción de características que se describen en breve.

En una implementación, los segmentos de señal de HRV de longitud prescrita antes mencionados se toman de la señal de HRV en una base de ventana de enrollamiento tal que existe un tiempo de desplazamiento prescrito entre cada segmento. Por ejemplo, en el caso de un segmento largo de dos minutos, el desplazamiento puede ser cualquier período de tiempo mayor que 0 y menor que 2 minutos. En una versión, se emplea un desplazamiento de 1 minuto de manera que el 50% de los datos es común con el segmento anterior y el 50 % son nuevos datos.

El mencionado conjunto de características es extraído de cada segmento consecutivo de la señal de HRV muestreada de manera ascendente. En una implementación, esta extracción de característica generalmente involucra el uso de una transformada rápida de Fourier discreta (DFFT, según sus siglas en inglés) y una transformada de onda discreta (DWT, según sus siglas en inglés) empleando un conjunto de ondas madre Symlet de orden 3. Aunque muchas características pueden derivarse del segmento de señal de HRV frecuencia transforma resultante, se ha encontrado que la relación de potencia de los componentes de baja frecuencia (LF) a la potencia de los componentes de alta frecuencia (HF) es particularmente indicativa de la transición entre el estado de despierto y la somnolencia. Como tal, en una implementación, esta relación de potencia de LF a HF es elegida como una de las características extraídas antes mencionadas.

En cuanto a la DWT, en una implementación, una descomposición de 8 niveles del segmento de HRV se realiza. La entropía de una diferencia entre el segmento descompuesto y las ondas madre Symlet en cada nivel se calcula utilizando métodos convencionales para producir una serie de coeficientes de entropía D de rango superior (es decir, $D_1, \dots, D_8$) y una serie de coeficientes de entropía A de rango inferior (es decir, $A_1, \dots, A_8$). También se pueden calcular y emplear varios promedios de los coeficientes como características extraídas, entre otras combinaciones. Sin embargo, se ha encontrado que algunos de los coeficientes y combinaciones de DWT son más indicativos de la transición entre el estado de despierto y la somnolencia, que otros. Por ejemplo, se ha encontrado que los siguientes coeficientes de DWT son más indicativos de la transición que otros:

- a) coeficientes de entropía D_1 a D_8 ;
- b) un coeficiente entropía A_8 ; y
- c) el promedio de coeficientes de entropía A_1 a A_8

En consecuencia, de los muchos coeficientes que se pueden extraer utilizando los análisis DFFT y DWT de los segmentos de HRV, los once coeficientes descritos anteriormente (es decir, la relación de potencia de LF/HF, entropía D_1 a D_8 , entropía A_8 , y media de entropía A_1 a A_8) se encontraron que proporcionan una indicación específica de la transición entre el estado de despierto y la somnolencia.

1.3 Entrenamiento del Clasificador

La Figura 5 ilustra una implementación ejemplar, en forma simplificada, de una estructura de sistema utilizada para entrenar un clasificador de detección de inicio de somnolencia que a su vez puede utilizarse para detectar el inicio de somnolencia en un individuo. Como se muestra en la Figura 5, la

estructura de sistema 500 incluye un programa de computadora de entrenamiento de detector de inicio de somnolencia 502 que tiene sub-programas ejecutables por uno o más dispositivos de cómputo. Estos sub-programas incluyen un sub-programa de recepción 504 y para la información de HR asociada con cada uno de una pluralidad de individuos ($I_1, I_2, \dots, I_n$), un sub-programa de extracción 506 y un sub-programa de combinación 508. Además, existe un sub-programa de entrenamiento 510 que se ha entrenado utilizando la salida del sub-programa de combinación para cada individuo ($I_1, I_2, \dots, I_n$). La salida de información de HR 512 por uno o más sensores de frecuencia cardíaca para una pluralidad de individuos, así como un indicador de somnolencia 514 para cada uno de los individuos especificando si ese individuo se encuentra en un estado de despierto o en un estado de somnoliento, se introducen al sub-programa de recepción 504. Un clasificador de detección de inicio de somnolencia entrenado 516 se emite desde el sub-programa de entrenamiento 510. Cada uno de estos sub-programas se realiza en uno o más dispositivos de cómputo tal como el que se describe con más detalle en la sección Entornos de Operación ejemplares que sigue. Se observa que cuando existe una pluralidad de dispositivos de cómputo, éstos pueden estar en comunicación entre sí a través de una red de computadoras (tal como Internet o una intranet).

Refiriéndose ahora a la Figura 6, el uno o más dispositivos de cómputo antes mencionados son dirigidos por los sub-programas anteriores del programa de computadora de entrenamiento de detector de inicio de somnolencia para llevar a cabo una serie de acciones de proceso. Más particularmente, la salida de información de HR por uno o más sensores de frecuencia cardíaca para una pluralidad de individuos, así como un indicador de somnolencia para cada uno de los individuos especificando si ese individuo está en un estado de despierto o en un estado de somnoliento en el momento en que se capturó la información de HR, se reciben a través del sub-programa de recepción (acción de proceso 600). En una implementación, el indicador de somnolencia de deriva de una señal de EEG capturada utilizando los métodos de electroencefalografía descritos previamente para identificar si una persona está en un estado de despierto o un estado de somnolencia (es decir, sueño NREM N1). Además, la información de HR capturada y el indicador de somnolencia asociado corresponden a las veces que el individuo va de un estado de despierto a un estado de somnoliento.

La Información de HR asociada con una seleccionada anteriormente uno de los individuos mencionados se selecciona después (acción de proceso 602). Un conjunto de características se extrae de la información de HR seleccionada utilizando el sub-programa de extracción (acción de proceso 604). Estas características, que están entre muchas de las características que pueden extraerse de la información de HR, se ha determinado que específicamente son indicativas de una transición de un estado de despierto de un individuo a un estado de somnoliento de un individuo. Las características extraídas entonces se combinan para producir una entrada de detección de somnolencia utilizando el sub-programa de combinación (acción de proceso 606). Después se determina si hay Información de HR asociada con una persona que aún no ha sido seleccionada y procesada (acción de proceso 608). Si la hay, entonces las acciones de proceso 602 a 608 se repiten. Cuando la información de HR asociada con todos los individuos ha sido seleccionada y procesada, el sub-programa de entrenamiento luego instruye

a un clasificador de red neuronal artificial (ANN) a distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnoliento de un individuo utilizando entradas de detección de somnolencia e indicador de somnolencia asociado con cada uno de la pluralidad de los individuos (acción de proceso 610). Este entrenamiento se realiza utilizando métodos convencionales de entrenamiento de ANN.

5

2.0 Entornos Operativos Ejemplares

Las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas son operativas utilizando numerosos tipos de entornos o configuraciones de sistemas de cómputo de propósito general o propósito especial. La Figura 7 ilustra un ejemplo simplificado de un sistema de computadora de uso general con el cual diversos aspectos y elementos de detección de inicio de somnolencia, tal como se describe aquí, pueden ser implementados. Cabe señalar que las casillas que estén representadas por líneas punteadas o discontinuas en el dispositivo de cómputo simplificado 10 mostradas en la Figura 7 representan implementaciones alternativas del dispositivo de cómputo simplificado. Como se describe a continuación, cualquiera o todas estas implementaciones alternativas pueden ser utilizadas en combinación con otras implementaciones alternativas que se describen en este documento. El dispositivo de cómputo simplificado 10 suele encontrarse en dispositivos que tienen al menos un mínimo de capacidad computacional, tales como las computadoras personales (PC), computadoras de servidor, dispositivos de cómputo de bolsillo, computadoras portátiles o móviles, dispositivos de comunicaciones, tales como teléfonos móviles y asistentes digitales personales (PDA), sistemas multiprocesadores, sistemas basados en microprocesadores, cajas de tv por cable, electrónica de consumo programable, computadoras en red, minicomputadoras, computadoras centrales y reproductores multimedia de audio o vídeo.

Para realizar las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas, el dispositivo debe tener una suficiente capacidad computacional y memoria de sistema para habilitar las operaciones computacionales básicas. En particular, la capacidad computacional del dispositivo de cómputo simplificado 10 mostrado en la Figura 7 generalmente se ilustra por una o más unidad(es) de procesamiento 12 y también puede incluir una o más unidades de procesamiento de gráficos (GPU) 14, uno o ambos en comunicación con la memoria de sistema 16. Observar que la unidad(es) de procesamiento 12 del dispositivo de cómputo simplificado 10 puede ser microprocesadores especializados (como un procesador de señal digital (DSP), un procesador de palabra de instrucción muy larga (VLIW), una matriz de compuerta programable por campo (FPGA), u otro micro-controlador) o pueden ser unidades de procesamiento central (CPU) convencionales que tienen uno o más núcleos de procesamiento.

Además, el dispositivo de cómputo simplificado 10 también puede incluir otros componentes, como, por ejemplo, una interfaz de comunicación 18. El dispositivo de cómputo simplificado 10 también puede incluir uno o más dispositivos de entrada de computadora convencionales 20 (por ejemplo, pantallas táctiles, superficies sensibles al tacto, dispositivos de señalización, teclados, dispositivos de entrada de audio, dispositivos de entrada a base de voz o habla y de control, dispositivos de entrada de

vídeo, dispositivos de entrada háptica, dispositivos para recibir transmisiones de datos inalámbricas o cableadas, y similares) o cualquier combinación de estos dispositivos.

De igual manera, varias interacciones con el dispositivo de cómputo simplificado 10 y con cualquier otro componente o característica de detección utilizable, incluyendo entrada, salida, control, retroalimentación y respuesta a uno o más usuarios u otros dispositivos o sistemas asociados con la detección de inicio de somnolencia, son activadas por una variedad de escenarios de Interfaz de Usuario Natural (NUI, según sus siglas en inglés). Las técnicas y escenarios de NUI incluyen, pero no están limitados a, tecnologías de interfaz que permiten a uno o más usuarios interactuar de una manera "natural", libre de limitaciones artificiales impuestas por los dispositivos de entrada, tales como ratones, teclados, controles remotos y similares.

Tales implementaciones de NUI se habilitan a través del uso de diversas técnicas, incluyendo, pero no limitado a, el uso de información de NUI derivada de la voz del usuario o vocalizaciones capturadas a través de micrófonos u otros sensores. Dichas implementaciones de NUI también son habilitadas por el uso de varias técnicas, incluyendo, pero no limitado a, información derivada de las expresiones faciales del usuario y de las posiciones, movimientos u orientaciones de las manos del usuario, dedos, muñecas, brazos, piernas, cuerpo, cabeza, ojos y similares, en donde dicha información puede ser capturada mediante el uso de distintos tipos de dispositivos 2D o de formación de imagen de profundidad, tales como sistemas de cámara estereoscópica o tiempo de vuelo, sistemas de cámara de infrarrojos, sistemas de cámara RGB (rojo, verde y azul) y similares, o cualquier combinación de estos dispositivos. Otros ejemplos de tales implementaciones de NUI incluyen, pero no están limitados a, información de NUI derivada de reconocimiento de tacto y lápiz, reconocimiento de gestos (tanto en pantalla como adyacente a la pantalla o superficie de visualización), gestos basados en aire o contacto, toque del usuario (en diversas superficies, objetos u otros usuarios), entradas o acciones basadas en función activable y similares. Dichas implementaciones de NUI pueden incluir, pero no se limitan, al uso de diversos procesos de inteligencia de máquina predictiva que evalúan los comportamientos actuales o pasados de los usuarios, entradas, acciones, etc., ya sea solos o en combinación con otra información de NUI, para predecir información tal como las intenciones, deseos y/u objetivos del usuario. Independientemente del tipo o fuente de información basada en NUI, dicha información puede ser utilizada para iniciar, terminar o de otro modo controlar o interactuar con una o más entradas, salidas, acciones o características funcionales de las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas.

Sin embargo, debe entenderse que los escenarios de NUI antes mencionados ilustrativos pueden ser aumentados al combinar el uso de limitaciones artificiales o señales adicionales con cualquier combinación de entradas de NUI. Tales limitaciones artificiales o señales adicionales pueden ser impuestas o generadas por dispositivos de entrada, tales como ratones, teclados y controles remotos o mediante una variedad de dispositivos remotos o usados por el usuario tales como acelerómetros, sensores de electromiografía (EMG, según sus siglas en inglés) para recibir señales mioeléctricas representativas de señales eléctricas generadas por los músculos del usuario, monitores de frecuencia

cardíaca, sensores de conducción piel galvánicos para medir la transpiración del usuario, biosensores remotos o portátiles para medir o de lo contrario el usuario detectar la actividad cerebral o campos eléctricos, biosensores portátiles o remotos para medir cambios o diferenciales en la temperatura corporal del usuario y similares. Cualquier información derivada de estos tipos de limitaciones artificiales o señales adicionales puede combinarse con cualquiera de una o más entradas de NUI para iniciar, terminar o controlar de otro modo o interactuar con una o más entradas, salidas, acciones o características funcionales de las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas.

El dispositivo de cómputo simplificado 10 también puede incluir otros componentes opcionales tales como uno o más dispositivos de salida de computadora 22 convencionales (por ejemplo, dispositivo(s) de pantalla 24, dispositivos de salida de audio, dispositivos de salida de vídeo, dispositivos para la transmisión inalámbrica o cableada de datos, transmisiones y similares). Observar que las interfaces de comunicaciones típicas 18, dispositivos de entrada 20, dispositivos de salida 22 y dispositivos de almacenamiento 26 para computadoras de propósito general son bien conocidas por los expertos en la materia y no se describirán en detalle en este documento.

El dispositivo de cómputo simplificado 10 mostrado en la Figura 7 también puede incluir una variedad de medios legibles por computadora. Los medios legibles por computadora pueden ser cualquier medio disponible que puede ser accedido por la computadora 10 a través de dispositivos de almacenamiento 26 y pueden incluir medios tanto volátiles como no volátil que sean removibles 28 y/o no removibles 30, para el almacenamiento de información tal como instrucciones legibles por computadora o ejecutables por computadora, estructuras de datos, programas, sub-programas u otros datos. Los medios legibles por computadora incluyen medios de almacenamiento por computadora y medios de comunicación. Los medios de almacenamiento por computadora se refieren a medios tangibles legibles por computadora o legibles por máquina o dispositivos de almacenamiento, tales como discos versátiles digitales (DVD), los discos Blu-Ray (BD), discos compactos (CDs), discos flexibles, unidades de cinta, discos duros, unidades ópticas, dispositivos de memoria de estado sólido, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de sólo lectura (ROM), memoria de sólo lectura eléctricamente borrrable y programable (EEPROM), CD-ROM u otras formas de almacenamiento en disco óptico, tarjetas inteligentes, memoria flash (por ejemplo, tarjeta, tarjeta de memoria y dispositivo de almacenamiento portátil muy pequeño), casetes magnéticos, cintas magnéticas, almacenamiento en discos magnéticos, cintas magnéticas u otros dispositivos de almacenamiento magnético. Además, una señal propagada no se incluye en el alcance de medios de almacenamiento legibles por computadora.

La retención de información tal como instrucciones legibles por computadora o ejecutables por computadora, estructuras de datos, programas, sub-programa y similares, también se puede realizar mediante cualquiera de una variedad de los citados medios de comunicación (en contraposición a los medios de almacenamiento por computadora) para codificar una o más señales de datos moduladas u ondas portadoras u otros mecanismos de transporte o protocolos de comunicaciones y puede incluir cualquier mecanismo de entrega inalámbrica o cableada de información. Observar que los términos "señal de datos modulada" u "onda portadora" generalmente se refieren a una señal que tiene una o más

de sus características fijadas o cambiadas de tal manera que codifica la información en la señal. Por ejemplo, los medios de comunicación pueden incluir medios por cable tales como una red con cable o conexión de cable directo que lleva una o más señales de datos moduladas y medios inalámbricos tales como medios acústicos, de radiofrecuencia (RF), infrarrojos, láser y otros medios de comunicación inalámbricos para transmitir y/o recibir una o más señales de datos moduladas u ondas portadoras.

Además, el *software*, programas y/o productos de programa de computadora que modalizan todas o algunas de las varias implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritos, o sus porciones, se pueden almacenar, recibir, transmitir o leer desde cualquier combinación deseada de medios legibles por computadora o legibles por máquina o dispositivos de almacenamiento y medios de comunicación en la forma de instrucciones ejecutables por computadora u otras estructuras de datos. Además, la materia objeto reclamada puede ser implementada como un método, aparato o artículo de fabricación utilizando técnicas estándares de programación y/o de ingeniería para producir *software*, *firmware*, *hardware* o cualquier combinación de los mismos para controlar una computadora para implementar la materia objeto descrita. El término "artículo de fabricación" tal como se utiliza en el presente documento pretende abarcar un programa de computadora accesible desde cualquier dispositivo legible por computadora o medios.

Las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas pueden ser descritas con más detalle en el contexto general de instrucciones ejecutables por computadora, tales como programas, que se ejecutan por un dispositivo de cómputo. Generalmente, los programas incluyen rutinas, programas, objetos, componentes, estructuras de datos y similares, que realizan determinadas tareas o implementan determinados tipos de datos abstractos. Las implementaciones de detección de inicio de somnolencia aquí descritas también se pueden practicar en los entornos de cómputo distribuidos en donde las tareas se realizan por uno o más dispositivos de procesamiento remoto, o dentro de una nube de uno o más dispositivos, que están enlazados a través de una o más redes de comunicación. En un entorno de cómputo distribuido, los programas pueden estar ubicados en medios de almacenamiento por computadora tanto locales como remotos incluyendo dispositivos de almacenamiento de medios. Además, las citadas instrucciones pueden implementarse, en parte o en su totalidad, como circuitos de lógica de *hardware*, que pueden o no incluir un procesador.

Alternativamente o además, la funcionalidad aquí descrita puede llevarse a cabo, al menos en parte, por uno o más componentes de lógica de *hardware*. Por ejemplo, y sin limitación, los tipos ilustrativo de componentes de lógica de *hardware* que pueden ser usados incluyen matrices de puerta programable por campo (FPGAs, según sus siglas en inglés), circuitos integrados de aplicación específica (ASIC según sus siglas en inglés), productos estándares de aplicación específica (ASSPs, según sus siglas en inglés), sistemas de sistema en un chip (SOC, según sus siglas en inglés), dispositivos de lógica programables complejos (CPLDs, según sus siglas en inglés) y así sucesivamente.

3.0 Otras Implementaciones

Se observó que alguna o todas las implementaciones mencionadas a lo largo de la descripción se

pueden utilizar en cualquier combinación deseada para formar implementaciones híbridas adicionales. Además, aunque la materia objeto ha sido descrita en lenguaje específico de características estructurales y/o actos metodológicos, se entiende que la materia objeto definida en las reivindicaciones anexas no se limita necesariamente a las características o actos específicos descritos anteriormente. Más bien, las características específicas y actos descritos anteriormente son descritos como ejemplo formas ilustrativas para implementar las reivindicaciones.

Lo que se ha descrito anteriormente incluye ejemplos de implementaciones. Obviamente, no es posible describir cada combinación concebible de componentes o metodologías para propósitos de describir la materia objeto reclamada, pero un experto en la materia puede reconocer que muchas otras combinaciones y permutaciones son posibles. Por consiguiente, la materia objeto reclamada pretende abarcar todas estas alteraciones, modificaciones y variaciones que caen dentro del espíritu y el alcance de las reivindicaciones anexas.

En cuanto a las distintas funciones desempeñadas por los componentes, dispositivos, circuitos y sistemas descritos anteriormente y similares, los términos (incluyendo una referencia a un "medio") que se utilizan para describir estos componentes están diseñados para corresponder, a menos que se indique lo contrario, a cualquier componente que realiza la función especificada del componente descrito (por ejemplo, un equivalente funcional), aunque no estructuralmente equivalente a la estructura descrita, que realiza la función en los aspectos ejemplares aquí ilustrados de la materia objeto reclamada. En este sentido, también se reconocerá que las anteriores implementaciones incluyen un sistema así como un medio de almacenamiento legible por computadora que tiene instrucciones ejecutables por computadora para realizar de los actos y/o eventos de los diversos métodos de la materia objeto reclamada.

Existen varias maneras de realizar las implementaciones anteriores (tales como una interfaz de programación de aplicación apropiada (API), kit de herramientas, código de controladores, sistema operativo, control u objeto *software* independiente o descargable o similares), que permiten a las aplicaciones y servicios utilizar las implementaciones aquí descritas. La materia objeto reclamada contempla este uso desde el punto de vista de una API (u otro objeto de *software*), así como desde el punto de vista de un objeto de *software* o *hardware* que funciona de acuerdo con las implementaciones aquí establecidas. Por lo tanto, varias implementaciones aquí descritas pueden tener aspectos que están totalmente en el *hardware* o parcialmente en *hardware* y parcialmente en *software*, o totalmente en *software*.

Los sistemas mencionados anteriormente se han descrito con respecto a la interacción entre varios componentes. Se comprenderá que tales sistemas y componentes pueden incluir esos componentes o sub-componentes especificados, algunos de los componentes especificados o sub-componentes y/o componentes adicionales, y de acuerdo con varias permutaciones y combinaciones de los anteriores. Los sub-componentes también pueden ser implementados como componentes comunicativamente acoplados a otros componentes, en lugar de incluirse dentro de los componentes principales (por ejemplo, componentes jerárquicos).

Además, se observa que uno o más componentes pueden combinarse en un solo componente

proporcionando funcionalidad agregada o dividirse en varios subcomponentes y una o más capas medias, tal como una capa de manejo, se pueden proporcionar para acoplarse comunicativamente a tales sub-componentes para proporcionar una funcionalidad integrada. Los componentes aquí descritos también pueden interactuar con uno o más componentes no descritos específicamente en este documento pero generalmente conocidos por aquellos expertos en la materia.

4.0 Apoyo para Reivindicaciones y otras Implementaciones

En los siguientes párrafos se resumen varios ejemplos de implementaciones que pueden ser reclamadas en el presente documento. Sin embargo, debe entenderse que las implementaciones resumidas a continuación no están destinadas a limitar la materia objeto, que puede ser reclamada en vista de las descripciones anteriores. Además, cualquier o todas las implementaciones que se resumen a continuación pueden ser reclamadas en cualquier combinación deseada con todas o algunas de las implementaciones descritas a lo largo de la descripción que antecede y cualesquiera implementaciones ilustradas en una o más de las figuras y cualquier otras implementaciones que se describen a continuación. Además, cabe señalar que las siguientes implementaciones están destinadas a entenderse en vista de la descripción anterior y figuras descritas en este documento.

En una implementación, se emplea un sistema para detectar el inicio de somnolencia en un individuo. Este sistema incluye uno o más sensores de frecuencia cardíaca (HR) que capturan la información de HR del individuo y uno o más dispositivos de cómputo, los dispositivos de cómputo estando en comunicación entre sí a través de una red de computadora cuando existe una pluralidad de dispositivos de cómputo. El sistema también incluye un programa de computadora de detector de inicio de somnolencia que tiene una pluralidad de sub-programas ejecutables por uno o más dispositivos de cómputo. El uno o más dispositivos de cómputo son dirigidos por los sub-programas del programa de computadora de detector de inicio de somnolencia para recibir la información de HR del sensor o sensores de frecuencia cardíaca, extraer un conjunto de características de la información de HR (que están entre muchas de las características que pueden extraerse de la información de HR) que se ha determinado que son específicamente indicativas de una transición de un estado de despierto de un individuo a un estado de somnoliento de un individuo, combinar las características extraídas para producir una entrada de detección de somnolencia, introducir la entrada de detección de somnolencia en un clasificador de red neuronal artificial (ANN) que ha sido entrenado para distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnoliento de un individuo basándose en las características extraídas, identificar de una salida del clasificador de ANN si la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia, y siempre que la entrada de detección de somnolencia indique que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia, iniciar una advertencia de inicio de somnolencia.

En una implementación del sistema en donde la información de HR incluye una señal de HR en bruto capturada por uno o más sensores de HR, el sub-programa para extraer el conjunto de características de la información de HR incluye primero calcular una señal de variabilidad de frecuencia

cardíaca (HRV) de la señal de HR en bruto. En otra implementación del sistema, el uno o más sensores de HR incluye un dispositivo de cómputo que calcula una señal de variabilidad de frecuencia cardíaca (HRV) a partir de una señal de HR en bruto capturada por el sensor o sensores de HR. La citada información de HR incluye esta señal de HRV. En otra implementación más, el uno o más de los

5 sensores de frecuencia cardíaca (HR) y de uno o más dispositivos de cómputo residen en un dispositivo de detección de inicio de somnolencia unificado. En una versión de esta implementación, el dispositivo de detección de inicio de somnolencia es ya sea un dispositivo portátil usado en la persona del individuo o un dispositivo móvil llevado por el individuo. En otra implementación, el uno o más sensores de frecuencia cardíaca (HR) son residentes en un dispositivo portátil usado en la persona del individuo y uno

10 o más dispositivos de cómputo son residentes en un dispositivo móvil llevado por el individuo y el dispositivo portátil está en comunicación inalámbrica con el dispositivo móvil. En una versión de esta implementación, la información de HR incluye una señal de HR en bruto capturada por uno o más sensores de HR que se transmite al dispositivo móvil llevado por el individuo. En otra versión, la información de HR incluye una señal de HR en bruto capturada por uno o más sensores de HR y el uno o

15 más sensores de HR incluye un dispositivo de cómputo que calcula una señal de variabilidad de frecuencia cardíaca (HRV) de la señal de HR en bruto, en donde la señal de HRV se transmite al dispositivo móvil llevado por el individuo.

Una implementación del sistema además incluye un sub-programa de segmentación que se ejecuta antes de la ejecución del sub-programa para extraer el conjunto de características de la

20 información de HR. Este sub-programa de segmentación segmenta la información de HR recibida del sensor o sensores de frecuencia cardíaca en una secuencia de segmentos de longitud prescrita cuando la información de HR recibida está en la forma de la señal de variabilidad de frecuencia cardíaca (HRV). Además, el sub-programa de segmentación calcula una señal de HRV la información de HR recibida cuando la información de HR recibida no está en la forma de una señal de variabilidad de frecuencia

25 cardíaca (HRV) antes de la segmentación de la señal de HRV en la secuencia de segmentos de longitud prescrita. Los sub-programas para extraer un conjunto de características de la información de HR, combinar las características extraídas, introducir la entrada de detección de somnolencia en el clasificador de ANN, identificar desde una salida del clasificador de ANN si la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia y siempre que la entrada de

30 detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia, iniciar una advertencia de inicio de somnolencia, se ejecutan en cada uno de los segmentos de señal de HRV según se crean. En una versión, estos segmentos de longitud prescrita de la HRV señal tienen una duración de dos minutos y representan una ventana de enrollamiento de tal manera que hay una diferencia de tiempo prescrito entre cada segmento. En una variante, cada segmento de señal de HRV de dos minutos

35 representa aproximadamente 120 valores de variación de frecuencia cardíaca y el sub-programa de segmentación también incluye el muestreo ascendente de cada segmento de señal de HRV a aproximadamente 840 valores de variación de frecuencia cardíaca de muestras mediante técnicas de ajuste de curva. En otra versión, el sub-programa para extraer el conjunto de características de cada

segmento de señal de HRV incluye extraer el conjunto de características usando una transformada rápida de Fourier discreta (DFFT) y una transformada de onda discreta (DWT). En una variante, la DFFT se utiliza para calcular la proporción de energía de los componentes de baja frecuencia del segmento de señal de HRV a la potencia componentes de alta frecuencia (HF) del segmento de señal de HRV como un característica extraída y la DWT se utiliza para calcular de una descomposición de 8 niveles del segmento de HRV, coeficientes de entropía D_1 a D_8 , como coeficiente de entropía A_8 y la media de coeficientes de entropía A_1 a A_8 como características extraídas.

En una implementación del sistema, el sub-programa para iniciar una advertencia de inicio de somnolencia incluye la iniciación de una llamada de despertar al individuo en la forma de un mensaje que se muestra en una pantalla que se puede ver por el individuo. En una versión, este mensaje incluye texto o imágenes o imágenes parpadeantes que aparecen como una luz que destella en la pantalla o cualquier combinación de los anteriores. En otra implementación, el sub-programa para iniciar una advertencia de inicio de somnolencia incluye la iniciación de una llamada de despertar al individuo en la forma de una alerta audible que se reproduce a través de unos altavoces que están dentro de un rango de audición del individuo. En otra implementación más, el sub-programa para iniciar una advertencia de inicio de somnolencia incluye la iniciación de una llamada de despertar al individuo en la forma de una alerta háptica que puede ser percibida por el individuo. En otra implementación, el sub-programa para iniciar una advertencia de inicio de somnolencia incluye la transmisión de un mensaje a una tercera parte que solicita a la tercera parte advertir al individuo.

En una implementación, se emplea otro sistema para detectar el inicio de somnolencia en un individuo. Este sistema incluye uno o más dispositivos de cómputo, los dispositivos de cómputo están en comunicación entre sí a través de una red de computadora cuando existe una pluralidad de dispositivos de cómputo. El sistema también incluye un programa de computadora de detector de inicio de somnolencia que tiene una pluralidad de sub-programas ejecutables por uno o más dispositivos de cómputo. El uno o más dispositivos de cómputo son dirigidos por los sub-programas del programa de computadora de detector de inicio de somnolencia para recibir la información de frecuencia cardíaca (HR) del individuo, en donde uno o más dispositivos de cómputo están en comunicación a través de una red de comunicación de datos con un dispositivo de cómputo remoto asociado con uno o más sensores de HR que capturan la información de HR, y donde la información de HR es recibida del dispositivo de cómputo remoto a través de la red de comunicación de datos. El uno o más dispositivos de cómputo también están dirigidos por los sub-programas del programa de computadora de detector de inicio de somnolencia para extraer un conjunto de características de la información de HR (que están entre las muchas características que pueden extraerse de la información de HR) que se ha determinado que son específicamente indicativas de una transición desde un estado de despierto de un individuo a un estado de somnoliente de un individuo, combinar las características extraídas para producir una entrada de detección de somnolencia, introducir la entrada de detección de somnolencia en un clasificador de red neuronal artificial (ANN) que ha sido entrenado para distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnoliente de un individuo basándose en las características extraídas,

identificar desde una salida del clasificador de ANN si la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia y siempre que la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia, transmitir una notificación de inicio de somnolencia.

5 En una implementación, se emplea otro sistema para entrenar un clasificador de detección de inicio de somnolencia. Este sistema incluye uno o más dispositivos de cómputo, los dispositivos de computación están en comunicación entre sí a través de una red de computadora cuando existe una pluralidad de dispositivos de cómputo. El sistema también incluye un programa de computadora de entrenamiento de detector de inicio de somnolencia que tiene una pluralidad de sub-programas
10 ejecutables por uno o más dispositivos de cómputo. El uno o más dispositivos de cómputo están dirigidos por los sub-programas del programa de computadora de entrenamiento de detector de inicio de somnolencia para recibir la salida de información de HR por uno o más sensores de frecuencia cardíaca para una pluralidad de personas, así como un indicador de somnolencia para cada uno de los individuos especificando si ese individuo está en un estado de despierto o en un estado de somnoliento en el
15 momento en que se capturó la información de HR. Para la información de HR asociada con cada uno de la pluralidad de los individuos, un conjunto de características se extrae de la información de HR (que están entre las muchas características que pueden extraerse de la información de HR) que se ha determinado que es específicamente indicativa de una transición de un estado de despierto de un individuo a un estado de somnoliento de un individuo y las características extraídas se combinan para
20 producir una entrada de detección de somnolencia. Un clasificador de red neuronal artificial (ANN) se entrena para distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnoliento de un individuo utilizando las entradas de detección de somnolencia y el indicador de somnolencia asociado con cada uno de la pluralidad de los individuos.

 En una implementación, se emplea un proceso implementada en computadora para detectar el
25 inicio de somnolencia en un individuo, el cual incluye el uso de un dispositivo de cómputo para realizar las siguientes acciones de proceso: recibir información de HR del sensor o sensores de frecuencia cardíaca, extraer un conjunto de características de la información de HR (que están entre las muchas características que pueden extraerse de la información de HR) que se ha determinado que es específicamente indicativa de una transición de un estado de despierto de un individuo a un estado de
30 somnoliento de un individuo, combinar las características extraídas para producir una entrada de detección de somnolencia, introducir la entrada de detección de somnolencia en un clasificador de red neuronal artificial (ANN) que ha sido entrenado para distinguir entre el estado de despierto del individuo y el estado de somnoliento de un individuo basándose en las características extraídas, identificar de una salida de clasificador de ANN si la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está
35 exhibiendo un inicio de somnolencia y siempre que la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia, iniciar una advertencia de inicio de somnolencia.

 En otra implementación, se emplea un proceso implementado en computadora para detectar el inicio de somnolencia en un individuo, el cual incluye el uso de un dispositivo de cómputo para realizar las

siguientes acciones de proceso: recibir la información de frecuencia cardíaca (HR) del individuo, en donde uno o más dispositivos de cómputo están en comunicación a través de una red de comunicación de datos con un dispositivo de cómputo remoto asociado con uno o más sensores de HR que capturan la información de HR, y en donde la información de HR es recibida del dispositivo de cómputo remoto a través de la red de comunicación de datos. También se incluyen acciones de proceso para extraer un conjunto de características de la información de HR (que están entre las muchas características que pueden extraerse de la información de HR) que se ha determinado que es específicamente indicativa de una transición de un estado de despierto de un individuo a un estado de somnoliento de un individuo, combinar las características extraídas para producir una entrada de detección de somnolencia, introducir la entrada de detección de somnolencia en un clasificador de red neuronal artificial (ANN) que ha sido entrenado para distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnoliento de un individuo basándose en las características extraídas, identificar desde una salida del clasificador de ANN si la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia y siempre que la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia, transmitir una notificación de inicio de somnolencia.

En otra implementación, se emplea un proceso implementado en computadora para el entrenamiento de un clasificador de detección de inicio de somnolencia, que incluye el uso de un dispositivo de cómputo para realizar las siguientes acciones de proceso: recibir la salida de información de HR por uno o más sensores de frecuencia cardíaca para una pluralidad de individuos, así como un indicador de somnolencia para cada uno de los individuos especificando si esa persona está en un estado de despierto o en un estado de somnoliento en el momento en el que se capturó la información de HR. Para la información de HR asociada con cada uno de la pluralidad de los individuos, extraer un conjunto de características de la información de HR (que están entre las muchas características que pueden extraerse de la información de HR) que se ha determinado que específicamente son indicativas de una transición de un estado de despierto de un individuo a un estado de somnoliento de un individuo, y combinar las características extraídas para producir una entrada de detección de somnolencia. Un clasificador de red neuronal artificial (ANN) entonces se entrena para distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnoliento de un individuo utilizando entradas de detección de somnolencia y un indicador de somnolencia asociado con cada uno de la pluralidad de los individuos.

En una implementación, la detección del inicio de somnolencia en un individuo incluye el uso de un dispositivo de cómputo para realizar los siguientes pasos de proceso: un paso de recepción para recibir la información de HR del sensor o sensores de frecuencia cardíaca, un paso de extracción para extraer un conjunto de características de la información de HR (que están entre las muchas características que pueden extraerse de la información de HR) que se ha determinado que son específicamente indicativas de una transición de un estado de despierto de un individuo a un estado de somnoliento de un individuo, un paso de combinación para combinar las características extraídas para producir una entrada de detección de somnolencia, un paso de introducción para introducir la entrada de detección de somnolencia en un clasificador de red neuronal artificial (ANN) que se ha entrenado para

distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnoliento de un individuo basándose en las características extraídas, un paso de identificación para identificar desde una salida del clasificador de ANN si la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia y siempre que la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia, realizar un paso de inicio para iniciar una advertencia de inicio de somnolencia.

En otra implementación, la detección del inicio de somnolencia en un individuo incluye el uso de un dispositivo de cómputo para realizar los siguientes pasos de proceso: un paso de recepción para recibir la información de frecuencia cardíaca (HR) del individuo, en donde uno o más dispositivos de cómputo están en comunicación a través de una red de comunicación de datos con un dispositivo de cómputo remoto asociado con uno o más sensores de HR que capturan la información de HR, y en donde la información de HR es recibida desde el dispositivo de cómputo remoto a través de la red de comunicación de datos. Los pasos de proceso incluyen además un paso de extracción para extraer un conjunto de características de la información de HR (que están entre las muchas características que pueden extraerse de la información de HR) que se ha determinado que son específicamente indicativas de una transición de un estado de despierto de un individuo a un estado de somnoliento de un individuo, un paso de combinación para combinar las características extraídas para producir una entrada de detección de somnolencia, un paso de introducción para introducir la entrada de detección de somnolencia en un clasificador de red neuronal artificial (ANN) que ha sido entrenado para distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de somnoliento de una persona basándose en las características extraídas, un paso de identificación para identificar desde una salida del clasificador de ANN si la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia y siempre que la entrada de detección de somnolencia indica que el individuo está exhibiendo un inicio de somnolencia, realizar un paso de transmisión para transmitir una notificación de inicio de somnolencia.

En otra implementación, el entrenamiento de un clasificador de detección de inicio de somnolencia incluye el uso de un dispositivo de cómputo para realizar los siguientes pasos de proceso: un paso de recepción para recibir la salida de información de HR por uno o más sensores de frecuencia cardíaca para una pluralidad de individuos, así como un indicador de somnolencia para cada uno de los individuos especificando si ese individuo está en un estado de despierto o en un estado de somnoliento en el momento en el que se capturó la información de HR. Para la información de HR asociada con cada uno de la pluralidad de individuos, realizar un paso de extracción para extraer un conjunto de características de la información de HR (que están entre las muchas características que pueden extraerse de la información de HR) que se ha determinado que son específicamente indicativas de una transición desde un estado de despierto de un individuo a un estado de somnoliento de un individuo y un paso de combinación para combinar las características extraídas para producir una entrada de detección de somnolencia. Un paso de entrenamiento después se lleva a cabo para entrenar un clasificador de red neuronal artificial (ANN) para distinguir entre el estado de despierto de un individuo y el estado de

somnoliento de un individuo utilizando las entradas de detección de somnolencia y el indicador de somnolencia asociado con cada uno de la pluralidad de los individuos.

5

10

15

20

25

30

35

5

10

15

20