

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 097**

51 Int. Cl.:

G01D 4/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.08.2012 PCT/GB2012/052090**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.03.2013 WO13030552**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.08.2012 E 12772359 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017 EP 2748562**

54 Título: **Identificación de consumo de servicio**

30 Prioridad:

26.08.2011 GB 201114814

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

25.10.2017

73 Titular/es:

**SENSUS USA INC. (100.0%)
8601 Six Forks Road, Suite 700
Raleigh, NC 27615, US**

72 Inventor/es:

**MATTHEWS, ALEXANDER;
DONALDSON, JAMES;
TRYGUBENKO, SEMEN y
WILSON, ALEX**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 639 097 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

Identificación de consumo de servicio

5 **Campo de la invención**

Esta invención se refiere a métodos y aparatos para identificar el consumo de un servicio realizado por dispositivos en un grupo de dispositivos.

10 **Antecedentes de la invención**

Por razones tanto de costo como medioambientales, los consumidores (ya sean personas físicas, empresas, etc) están bajo una presión creciente para que reduzcan el consumo de servicios tales como electricidad, agua y gas. Se han desarrollado métodos de la denominada supervisión de carga no intrusiva (NILM), que implican medir el nivel de consumo de un servicio realizado por un lugar y luego identificar qué aparatos concretos están consumiendo el servicio en cualquier punto de tiempo.

La mayoría de las soluciones NILM usan técnicas conocidas como técnicas "basadas en evento". En estas técnicas, el perfil de consumo de servicio del lugar es registrado y analizado en busca de cambios significativos en el estado de consumo de servicio realizado por el lugar (producido, por ejemplo, por los dispositivos del lugar que se encienden o apagan). La figura 1 de los dibujos acompañantes representa un perfil típico de consumo de servicio para un lugar doméstico. En tal perfil de consumo de servicio, se pueden ver los cambios en el consumo de servicio del lugar y los dispositivos que están efectuando el cambio en el consumo de servicio pueden deducirse usando algoritmos heurísticos. Ejemplos del uso de técnicas basadas en evento en NILM se puede ver en: Hart, G.W., "Nonintrusive appliance load monitoring", Proceedings of the IEEE, 80, 1870-1891; y en US4858141, US5483153 y US2011/0144819A1. Aunque las técnicas basadas en evento pueden proporcionar resultados razonables en algunas circunstancias, padecen varias limitaciones significativas. En primer lugar, para calcular la magnitud de consumo de servicio por un dispositivo, es necesario muestrear el perfil de consumo de servicio en puntos que están a ambos lados del cambio en el estado del dispositivo. Por lo tanto, la exactitud de esta técnica queda limitada por el ruido en el perfil de consumo de servicio.

En segundo lugar, en situaciones donde múltiples dispositivos están cambiando de estado simultáneamente o donde múltiples dispositivos están cambiando de estado en sucesión rápida, el perfil que indica un cambio de estado de un dispositivo individual puede quedar oscurecido o distorsionado por un cambio en el estado de uno u otros varios dispositivos. Esto puede suceder en un lugar comercial, por ejemplo. La figura 2 de los dibujos acompañantes muestra un perfil de consumo de servicio que ha sido registrado en una factoría. En una situación como ésta, donde está instalado un gran número de dispositivos y muchos dispositivos están cambiando de estado simultáneamente o en sucesión rápida, el perfil de consumo de servicio es demasiado complicado para su análisis satisfactorio mediante técnicas basadas en evento.

Por lo tanto, sería deseable proporcionar un método mejorado de supervisión de carga no intrusiva.

Resumen de la invención

Según un primer aspecto de la invención, se facilita un método de identificar el consumo de un servicio por dispositivos en un grupo de dispositivos, donde cada dispositivo del grupo de dispositivos tiene una pluralidad de estados de dispositivo y está dispuesto para consumir el servicio, incluyendo el método, para un periodo de medición dado en un suministro del servicio al grupo de dispositivos: obtener un vector temporal de niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante el período de medición dado; para cada uno de una pluralidad de estados de grupo, donde cada estado de grupo corresponde a cada dispositivo en el grupo de dispositivos que están en un estado de dispositivo correspondiente, calcular un score que representa una probabilidad de que el grupo de dispositivos esté en el estado de grupo durante el período de medición dado, donde dicho score se basa en una probabilidad de que el vector obtenido tenga lugar en base a un modelo estadístico multivariante, correspondiente al estado de grupo, del nivel de consumo total del servicio por el grupo de dispositivos durante un período de medición en el suministro del servicio al grupo de dispositivos cuando el grupo de dispositivos está en el estado de grupo; e identificar, en base al menos en parte a los scores calculados, un estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos. Se ha hallado que dicho método proporciona un método más fiable y exacto de supervisión de carga no intrusiva, especialmente en escenarios en los que hay gran número de dispositivos en operación y/o en los que los dispositivos que están siendo operados cambian su estado frecuentemente. El modelo estadístico multivariante para un estado de grupo se basa en: un vector medio predeterminado, μ , que representa una media de un grupo de vectores, siendo cada vector del grupo de vectores un vector temporal, correspondiente al vector temporal obtenido, de los niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante un período de medición respectivo cuando el grupo de dispositivos está en el estado de grupo; y una matriz de covarianza predeterminada, C , que representa una matriz de covarianza para el grupo de vectores.

65

La matriz de covarianza predeterminada del modelo estadístico multivariante para cada estado de grupo puede ser regularizada con un parámetro de regularización s de modo que el número de condiciones de cada una de las matrices de covarianza predeterminadas sea a lo sumo un valor predeterminado.

- 5 El modelo estadístico multivariante para un estado de grupo puede basarse entonces en un modelo gaussiano multivariante representable por una función de densidad de probabilidad $f(x)$, donde

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{N/2} |C|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)^T C^{-1}(x-\mu)},$$

- 10 donde x representa el vector temporal obtenido, N es la longitud del vector medio predeterminado, y $|C|$ es el determinante de la matriz de covarianza predeterminada C .

En alguna realización, dicho score se calcula en base al valor $\alpha(x-\mu)^T C^{-1}(x-\mu) + \beta \ln(|C|) + \gamma$, donde α , β y γ son constantes.

- 15 En algunas realizaciones, el modelo estadístico multivariante para un estado de grupo se basa en uno de un modelo exponencial multivariante, un modelo gamma multivariante, un modelo Poisson multivariante, o un modelo Cauchy-Lorentz multivariante de los niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante un período de medición respectivo cuando el grupo de dispositivos está en el estado de grupo.

- 20 En algunas realizaciones, el método incluye determinar, en base al modelo estadístico multivariante del estado de grupo más probable identificado, un vector temporal que representa niveles estimados de consumo del servicio por un dispositivo dado en el grupo de dispositivos durante el período de medición dado.

- 25 En este caso, el modelo estadístico multivariante para un estado de grupo puede incluir un vector medio predeterminado para el dispositivo dado que representa una media de un conjunto de vectores, siendo cada vector en el conjunto de vectores un vector temporal, correspondiente al vector temporal obtenido, de los niveles de consumo del servicio por el dispositivo dado durante un período de medición respectivo cuando dicho dispositivo está en el estado de dispositivo correspondiente al estado de grupo; y el vector temporal determinado que representa niveles estimados de consumo del servicio por el dispositivo dado durante el período de medición dado puede ser el vector medio predeterminado para el dispositivo dado del modelo estadístico multivariante del estado de grupo más probable identificado.

- 35 El modelo estadístico multivariante para un estado de grupo puede incluir, para cada dispositivo, d , en el grupo de dispositivos: un vector medio predeterminado correspondiente, μ_d , que representa una media de un conjunto de vectores, siendo cada vector en el conjunto de vectores un vector temporal, correspondiente al vector temporal obtenido, de los niveles de consumo del servicio por el dispositivo d durante un período de medición respectivo cuando dicho dispositivo está en el estado de dispositivo correspondiente al estado de grupo; y una matriz de covarianza predeterminada correspondiente, C_d , que representa una matriz de covarianza del conjunto de vectores; donde el vector temporal que representa niveles estimados de consumo del servicio por el dispositivo dado durante el período de medición dado se determina en base al vector temporal obtenido y los vectores medios predeterminados correspondientes a los dispositivos en el grupo de dispositivos y las matrices de covarianza predeterminadas correspondientes a los dispositivos en el grupo de dispositivos.

- 45 El vector temporal que representa niveles estimados de consumo del servicio por el dispositivo dado durante el período de medición dado puede ser determinado en base a la fórmula:

$$x_i = C_i \left(\sum_{d \in D} C_d \right)^{-1} \left(x - \sum_{d \in D} \mu_d \right) + \mu_i$$

- 50 donde: x representa el vector temporal obtenido; D representa el grupo de dispositivos; μ_i representa el vector medio predeterminado correspondiente al dispositivo dado; C_i representa la matriz de covarianza predeterminada correspondiente al dispositivo dado; y x_i representa el vector temporal que representa niveles estimados de consumo del servicio por el dispositivo dado durante el período de medición dado.

- 55 El vector medio predeterminado μ puede ser la suma de los vectores medios predeterminados correspondientes a los dispositivos en el grupo de dispositivos y la matriz de covarianza predeterminada C puede ser la suma de las matrices de covarianza predeterminadas correspondientes a los dispositivos en el grupo de dispositivos.

El servicio puede ser electricidad y un "nivel de consumo del servicio" puede entonces ser un nivel de consumo de corriente.

5 En algunas realizaciones, el método incluye además identificar que el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos no es uno de la pluralidad de estados de grupo. En este caso, el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos puede ser identificado como no siendo uno de la pluralidad de estados de grupo en base a una comparación de los scores calculados, o una función de los scores calculados, con un umbral predeterminado.

10 En algunas realizaciones, dicha identificación de un estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos se puede basar, al menos en parte, en un vector temporal obtenido de los niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante uno o más períodos de medición precedentes y/o siguientes al período de medición dado o en base, al menos en parte, a un estado de grupo más probable identificado para uno o más períodos de medición precedentes y/o siguientes al período de medición dado. En este caso, dicha identificación de un estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos puede incluir usar un modelo Markov oculto para el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos.

El suministro del servicio al grupo de dispositivos puede tener un componente cíclico y un período de medición puede corresponder entonces a uno o más ciclos del componente cíclico.

20 El consumo del servicio por un dispositivo en el grupo de dispositivos puede depender de un estado de dispositivo actual para dicho dispositivo.

25 El método puede incluir seleccionar la pluralidad de estados de grupo de un conjunto mayor de estados de grupo posibles para el grupo de dispositivos. La pluralidad de estados de grupo puede seleccionarse como un conjunto de estados de grupo más probables para el grupo de dispositivos de entre el conjunto de estados de grupo posibles para el grupo de dispositivos en base a un estado de grupo actualmente identificado para el grupo de dispositivos. La pluralidad de estados de grupo puede seleccionarse usando un proceso de filtración de partículas. La pluralidad de estados de grupo puede seleccionarse usando un conjunto de probabilidades de transición. Cada probabilidad de transición puede indicar, para un primer estado de grupo correspondiente y un segundo estado de grupo correspondiente, una probabilidad de que el grupo de dispositivos estará en el segundo estado de grupo durante un período de medición si el grupo de dispositivos estaba en el primer estado de grupo durante un período de medición inmediatamente precedente.

35 Según un segundo aspecto de la invención, se facilita un método de determinar una indicación de un nivel de consumo de electricidad por un dispositivo dado, siendo el dispositivo dado un dispositivo en un grupo de dispositivos cada uno de los cuales está dispuesto para consumir electricidad, incluyendo el método, durante un período de medición dado en un suministro de electricidad al grupo de dispositivos: obtener un vector temporal de los niveles totales de corriente consumida por el grupo de dispositivos durante el período de medición dado; y determinar un vector temporal correspondiente que representa niveles estimados de consumo de corriente por el dispositivo dado durante el período de medición dado en base a la fórmula:

$$x_i = C_i \left(\sum_{d \in D} C_d \right)^{-1} \left(x - \sum_{d \in D} \mu_d \right) + \mu_i$$

45 donde: x representa el vector temporal obtenido; D representa el grupo de dispositivos; para cada dispositivo d en el grupo de dispositivos, μ_d es un vector medio predeterminado correspondiente que representa una media de un conjunto de vectores, siendo cada vector en el conjunto de vectores un vector temporal, correspondiente al vector temporal obtenido, de los niveles de consumo de la corriente por el dispositivo d durante un período de medición respectivo y C_d es una matriz de covarianza predeterminada correspondiente que representa una matriz de covarianza del conjunto de vectores; μ_i representa el vector medio predeterminado correspondiente al dispositivo dado; C_i representa la matriz de covarianza predeterminada correspondiente al dispositivo dado; y x_i representa el vector temporal que representa niveles estimados de consumo de corriente por el dispositivo dado durante el período de medición dado. Se ha hallado que dicho método proporciona una estimación más exacta del nivel de consumo de electricidad por un dispositivo.

55 Los métodos anteriores pueden incluir obtener un vector temporal de niveles de voltaje del suministro de electricidad al grupo de dispositivos durante el período de medición correspondiente al vector temporal obtenido de niveles totales de corriente consumida por el grupo de dispositivos durante el período de medición dado; y determinar una indicación de consumo de potencia eléctrica por el dispositivo dado durante el período de medición dado en base al vector temporal de niveles de voltaje del suministro de electricidad al grupo de dispositivos durante el período de medición dado y el vector temporal que representa niveles estimados de consumo de corriente por el dispositivo dado durante el período de medición dado.

Según un tercer aspecto de la invención, se facilita un método de permitir la identificación de consumo de un servicio por dispositivos en un grupo de dispositivos, dicha identificación deberá realizarse poniendo en práctica un método según el primer aspecto anterior de la invención, incluyendo: generar y proporcionar dicho vector medio predeterminado, μ , que representa una media de dicho grupo de vectores; y generar y proporcionar dicha matriz de covarianza predeterminada, C , que representa una matriz de covarianza de dicho grupo de vectores.

Según un cuarto aspecto de la invención, se facilita un aparato dispuesto para llevar a la práctica cualquiera de los métodos antes descritos.

Según un quinto aspecto de la invención, se facilita un programa de ordenador que, cuando es ejecutado por un procesador, hace que el procesador ejecute cualquiera de los métodos antes descritos.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán realizaciones de la invención, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos acompañantes, en los que:

La figura 1 representa un perfil típico de consumo de servicio para un lugar doméstico.

La figura 2 representa un perfil de consumo de servicio que ha sido registrado en una factoría.

La figura 3 ilustra esquemáticamente un sistema según una realización de la invención.

Las figuras 4a y 4b ilustran esquemáticamente ejemplos de períodos de medición.

Las figuras 4c y 4d ilustran esquemáticamente secuencias ejemplares de valores de servicio durante un período de medición.

La figura 5 ilustra esquemáticamente un procesador y una memoria de un aparato de supervisión según una realización de la invención.

La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método de identificar el consumo de un servicio por dispositivos de un grupo de dispositivos según una realización de la invención.

Descripción detallada de realizaciones de la invención

Algunas realizaciones de la invención se describen en la descripción siguiente y en las figuras. Sin embargo, se apreciará que la invención no se limita a las realizaciones que se describen y que algunas realizaciones pueden no incluir todas las características que se describen a continuación. Será evidente, sin embargo, que se puede hacer aquí varias modificaciones y cambios sin apartarse del alcance de la invención expuesta en las reivindicaciones anexas.

La figura 3 ilustra esquemáticamente un sistema 5 según una realización de la invención. El sistema 5 incluye un lugar 11, por ejemplo, una casa, apartamento, oficina, tienda, escuela, edificio, factoría, etc. Uno o más aparatos (o dispositivos, máquinas, equipos) 12A, 12B, 12C, 12D ... están situados en, o forman parte de, el lugar 11. El grupo de aparatos 12 puede incluir desde cualesquiera aparatos domésticos (como lavadoras, refrigeradores, secadores de pelo, bombillas, etc) a cualesquiera aparatos industriales o comerciales. Los aparatos 12, en la operación, están dispuestos para usar o consumir uno o varios servicios, como electricidad, gas (por ejemplo, gas natural), agua, aceite, etc. Puede haber un grupo de aparatos 12 que estén dispuestos para consumir un solo servicio (por ejemplo, un secador de pelo sólo consume electricidad) mientras que puede haber otros grupos de aparatos 12 que están dispuestos para consumir una pluralidad de servicios (por ejemplo, un lavavajillas consume tanto agua como electricidad).

En el sistema 5, un suministro de electricidad 10A está dispuesto para proporcionar electricidad a uno o varios aparatos 12 que están dispuestos para consumir electricidad. La electricidad es suministrada a estos aparatos 12 por medio de cableado convencional 14. Los aparatos 12 y el cableado 14 se representan esquemáticamente de forma simple en la figura 3, pero pueden estar configurados, naturalmente, de cualquier forma apropiada, tal como mediante una unidad de consumidor con disyuntores de circuito o fusibles, y con uno o más circuitos principales anulares con bifurcaciones o derivaciones. Se ha dispuesto un contador de electricidad (o sensor o detector) 16A para medir (contar o detectar) el suministro instantáneo total de electricidad del suministro de electricidad 10A al lugar 11 (es decir, al grupo de aparatos 12 en el lugar 11 que están dispuestos para consumir electricidad), o, en otros términos, medir la cantidad combinada (acumulada) actual de electricidad consumida por el grupo de aparatos 12 en el lugar 11.

En el sistema 5, un suministro de agua 10B está dispuesto para proporcionar agua a uno o varios aparatos 12 que están dispuestos para consumir agua. El agua es suministrada a estos aparatos 12 por medio de tubos

convencionales 15 (que pueden incluir válvulas, grifos, etc). Se ha dispuesto un contador de contador de agua (o sensor o detector) 16B para medir (o contar o detectar) el suministro instantáneo total de agua del suministro de agua 10B al lugar 11 (es decir, al grupo de aparatos 12 en el lugar 11 que están dispuestos para consumir agua), o, en otros términos, medir la cantidad combinada (acumulada) actual de agua que consume el grupo de aparatos 12 en el lugar 11.

Algunos aparatos 12 pueden estar conectados adicional o alternativamente al suministro de otros servicios 10C, 10D, Se disponen medidores de servicio correspondientes 16C, 16D, ... para detectar el uso general de servicio de cada uno de estos otros servicios por los aparatos 12 situados en el lugar 11.

El contador de electricidad 16A se puede disponer para medir la corriente suministrada a (o consumida por) los aparatos 12 procedente del suministro 10A. La corriente puede medirse con cualquier sensor adecuado, por ejemplo, una pinza amperométrica colocada alrededor de uno de los conductores del cableado de suministro de electricidad 14. La pinza amperométrica incluye típicamente un material magnetizable, tal como ferrita, que forma un circuito magnético alrededor del conductor, y actúa como un transformador induciendo un voltaje en un devanado secundario alrededor del material magnetizable, del que se puede obtener una indicación de la corriente que fluye en el cableado de suministro 14. Como una alternativa a este transformador de corriente, se puede usar un sensor de efecto Hall para medir el campo magnético en el bucle de material magnetizable alrededor del cable que está relacionado con la corriente que fluye a través del cable. Naturalmente, pueden usarse otras formas adecuadas para detectar la corriente.

Adicional o alternativamente, el contador de electricidad 16A se puede disponer para medir el voltaje instantáneo del suministro de electricidad 10A. El voltaje del suministro de electricidad 10A puede medirse con cualquier voltímetro adecuado. Naturalmente, esto requiere típicamente el acceso a dos de los conductores en el cableado 14. Esto se puede lograr, por ejemplo, con sondas que se colocan alrededor de los respectivos cables y tienen picos que penetran en el aislamiento haciendo contacto con el conductor. Alternativamente, se podría hacer conexiones a terminales situados en la unidad de consumo, o, por ejemplo, en una posición donde se puedan insertar fusibles o disyuntores de circuito. También se podría usar detectores de voltaje capacitivos no invasivos.

El contador de agua 16B se puede disponer para medir el flujo (consumo o suministro) de agua a los aparatos 12 del suministro de agua 10B usando cualquier técnica conocida de detectar la tasa de suministro de agua a través de uno o más tuberías de suministro de agua 15 que dan servicio al lugar 11. Igualmente, se puede disponer otros contadores 16C, 16D, ... para medir el suministro instantáneo total de su servicio respectivo al lugar 11 mediante cualesquiera técnicas adecuadas correspondientes.

Se apreciará que diferentes realizaciones pueden referirse a algunos o todos los suministros de servicio 10A, 10B, 10C, por ejemplo, algunos pueden referirse solamente a supervisar/analizar los valores de suministro de electricidad, algunos pueden estar relacionados solamente con la supervisión/análisis valores de suministro de agua, algunos pueden estar relacionados solamente con la supervisión/análisis de valores de suministro de gas, mientras que algunos pueden estar relacionados con la supervisión/análisis de valores de suministro de diferentes combinaciones de servicios. En consecuencia, en algunas realizaciones, algunos contadores de servicio 16A, 16B, 16C, ... pueden omitirse, dependiendo en especial de qué servicio (o servicios) han de ser supervisados.

Como se representa en la figura 3, los contadores de servicio 16 están conectados a un aparato de supervisión 20. Naturalmente, es posible que algunos o todos los contadores de servicio 16 estén incorporados dentro del aparato 20, por ejemplo, que unos cables conecten el cableado de suministro 14 al aparato 20, y la corriente y/o el voltaje del suministro de electricidad 10A se miden dentro del aparato 20. Alternativamente, en una realización diferente, uno o varios contadores de servicio 16 pueden ser autónomos y pueden comunicar con el aparato 20 de forma inalámbrica y/o mediante un cable de comunicaciones que conecte un contador de servicio 16 con el aparato 20, por ejemplo, enviando valores analógicos o digitales de la corriente instantánea y el voltaje instantáneo. En una realización, el aparato 20 puede derivar su propio suministro de potencia en virtud de su conexión a una porción del contador de electricidad 16A. En una forma particular de éste, el aparato 20 se enchufa simplemente a una salida eléctrica de la misma forma que un aparato 12 para obtener su suministro de potencia y también para medir el voltaje de suministro y/o la corriente. Sin embargo, en la realización preferida, el aparato 20 y los contadores de servicio 16 están situados convenientemente cerca de donde los servicios suministrados entran al lugar 11, tal como cerca de donde está o estaría situado el contador de electricidad convencional. En cualquier caso, el aparato 20 recibe valores de servicio representativos de un nivel de consumo total del servicio por los aparatos 12.

El aparato 20 incluye un número de diferentes unidades, a saber, una sección de entrada 22, un reloj 24, un procesador 26, un dispositivo de almacenamiento o memoria 28, y una sección de salida 40. Es posible implementar cada una de las varias unidades como circuitos electrónicos cableados dedicados; sin embargo, las varias unidades no tienen que estar separadas una de otra, y algunas o todas podrían estar integradas en un solo chip electrónico tal como un circuito integrado específico de aplicación (ASIC) o matriz de puertas programables in situ (FPGA) o dispositivo procesador de señales digitales (DSP). Además, las unidades pueden realizarse como una combinación de hardware y software, y el software puede ser ejecutado por cualquier microprocesador general adecuado, de tal manera que, en una realización, el aparato 20 podría ser un ordenador personal (PC) convencional, un teléfono

móvil u otro dispositivo de procesado. El software tomaría la forma de uno o varios programas de ordenador que tienen instrucciones de ordenador que, cuando son ejecutadas por un procesador (por ejemplo, el procesador 26) llevan a la práctica un método según una realización de la presente invención, como se explica a continuación. Los programas de ordenador pueden estar almacenados en un medio de almacenamiento legible por ordenador, tal como un disco magnético, disco óptico (por ejemplo, un CD o DVD), la memoria 28, etc.

Cuando el aparato está dispuesto para supervisar electricidad, la sección de entrada 22 del aparato 20 recibe valores de corriente y/o voltaje del contador de electricidad 16A. Como se apreciará en las figuras 4c y 4d, los valores son introducidos o medidos preferiblemente múltiples veces por ciclo de un suministro de electricidad alterna al nivel de exactitud que precise la aplicación. Si los valores son suministrados como voltajes analógicos, entonces la sección de entrada 22 puede incluir, por ejemplo, un convertidor analógico a digital, de tal manera que el resto del aparato 20 pueda implementarse usando electrónica digital. Cuando el aparato está dispuesto para supervisar agua, la sección de entrada 22 del aparato 20 recibe valores representativos del uso de agua (por ejemplo, mediciones del caudal de agua o mediciones de presión del agua) del contador de agua 16B. Igualmente, pueden suministrarse otros valores a la sección de entrada 22 por los otros contadores de servicio 16C, 16D, ... (por ejemplo, otras mediciones de caudal de servicio, tal como mediciones de caudal de aceite o gas, u otras mediciones de presión de servicio, como mediciones de presión de aceite o gas) cuando el aparato está dispuesto para supervisar los otros servicios. En general, entonces, la sección de entrada 22 del aparato 20 actúa como una interfaz que está dispuesta para recibir (derivar u obtener) una serie de valores de servicio representativos de un nivel de consumo total del servicio por los aparatos 12. La sección de entrada 22 podría formar parte del procesador 26.

La sección de entrada 22 también recibe datos de tiempo del reloj 24. Los datos de tiempo pueden representar la hora actual real, una hora local del aparato 20, o algunos otros valores de tiempo. Los datos de tiempo suministrados a la sección de entrada 22 podrían ser simplemente un pulso de sincronización. La sección de entrada 22 puede usar los datos de tiempo recibidos del reloj 24 para determinar cuándo enviar valores de datos al procesador 26 y/o cuándo muestrear las entradas que recibe de los contadores de servicio 16.

Naturalmente, El reloj 24 podría ser integral con otros componentes del aparato 20, o el aparato 20 podría recibir una señal de reloj de una fuente externa tal como un transmisor que emita datos de tiempo. En una realización preferida, el reloj 24 incluye un oscilador de cuarzo conjuntamente con otra circuitería temporizadora que es una parte integral del procesador 26 (descrito más adelante). En este caso, la sección de entrada 22 para recibir los datos de tiempo también puede ser una parte integral del procesador 26.

El procesador 26 recibe (o deriva u obtiene), de la sección de entrada 22, una serie de valores de servicio representativos de un nivel de consumo total del o de cada servicio medido por los aparatos 12 y realiza un número de funciones diferentes como se describirá con más detalle más adelante.

La memoria 28 puede ser cualquier tipo de memoria para almacenar información. La memoria 28 puede incluir una memoria no volátil y/o una memoria volátil y puede incluir uno o más de un disco magnético, un disco óptico, una memoria de estado sólido, una memoria Flash, un dispositivo de tarjeta CI, una memoria de lectura solamente o una memoria de acceso aleatorio. La memoria 28 puede almacenar uno o varios programas de ordenador 29 que, cuando son ejecutados por el procesador 26, llevan a la práctica realizaciones de la invención. El procesador 26 puede escribir datos (es decir, almacenar datos) en la memoria 28 y/o leer datos de la memoria 28 como parte de sus operaciones de procesado.

El procesador 26 recibe datos de la sección de entrada 22 y posiblemente la memoria 28 y posiblemente el reloj 24. El procesador 26 podría ser un dispositivo procesador general o podría ser un procesador de señales digitales o podría ser un dispositivo de hardware personalizado (por ejemplo, FPGA o ASIC) fabricado específicamente para implementar una o más realizaciones de la invención. El procesador 26 puede almacenar algunos o todos los datos recibidos de la sección de entrada 22 en la memoria 28. El procesador 26 realiza entonces varios pasos de procesado/análisis que se describen en detalle más adelante.

Después del procesado/análisis, el procesador 26 produce información relativa a la utilización de servicio con respecto a algunos o todos los aparatos 12. Esta información puede ser transmitida directamente al proveedor de servicio. Alternativamente, esta información puede ser enviada por la sección de salida 40 a un terminal de usuario 42 (tal como un PC o un dispositivo dedicado para realimentación de uso de servicio) de modo que la información pueda ser presentada convenientemente al usuario. El terminal de usuario 42 puede ser un ordenador de sobremesa o personal estándar con un monitor/pantalla 44 y/o impresora 46, o puede ser un dispositivo dedicado. El terminal de usuario 42 puede incluir su propio procesador (no representado) para procesar datos (por ejemplo, datos recibidos del aparato 20 y/o como una entrada de un usuario). Alternativamente, la sección de salida 40 puede enviar la información directamente a una persona (por ejemplo, visualmente cuando la sección de salida 40 incluye una pantalla y/o de forma audible cuando la sección de salida 40 incluye un altavoz) - en este caso el terminal de usuario 42, la pantalla 44 y la impresora 46 pueden omitirse.

En algunas realizaciones, es el procesador del terminal de usuario 42 (independiente de o en unión con el procesador 26 del aparato 20) el que lleva a cabo el procesado/análisis de consumo de servicio que se describirá más adelante.

5 Aunque el aparato 20 y el terminal de usuario 42 se representan como dispositivos separados en la figura 3, podrían ser, naturalmente, parte del mismo dispositivo. La sección de salida 40 en la realización preferida comunica de forma inalámbrica, por ejemplo, por enlace de radiofrecuencia (RF), u ópticamente, o por infrarrojos, o de forma acústica. La sección de salida 40 se puede disponer de manera que comunique mediante una red (ya sea de forma inalámbrica o mediante una red de cable). También es posible que la comunicación con el terminal de usuario 42 se realice a través del cableado de suministro 14 si el terminal de usuario 42 está enchufado a una de las tomas de suministro del lugar 11 como un aparato 12.

15 En otra realización, la sección de salida 40 también puede actuar como un receptor, de tal manera que la comunicación entre el aparato 20 y el terminal de usuario 42 sea bidireccional. Esto permite usar el terminal de usuario 42 como otro medio de actualizar el aparato 20 (por ejemplo, actualizar los programas de ordenador 29 almacenados en la memoria 28).

20 Como se ha mencionado, la sección de entrada 22 del aparato 20 recibe valores de servicio de uno o más contadores 16. Como se describirá con más detalle más adelante, las realizaciones de la invención operan en base a uno o más intervalos de tiempo, denominados a continuación "períodos de medición", y puede haber una secuencia o serie de períodos de medición en las que operen las realizaciones de la invención.

Las figuras 4a y 4b ilustran esquemáticamente ejemplos de períodos de medición.

25 La figura 4a ilustra un voltaje cíclico 400 de electricidad alterna proporcionada por el suministro de electricidad 10A. Un período de medición (ilustrado en la figura 4a como un período de medición 402) puede corresponder a un ciclo completo del voltaje, de modo que una secuencia de períodos de medición pueda corresponder entonces a ciclos consecutivos. Un período de medición (ilustrado en la figura 4a como un período de medición 404) puede corresponder a la mitad de un ciclo del voltaje, de modo que una secuencia de períodos de medición pueda corresponder entonces a semiciclos consecutivos. Un período de medición (ilustrado en la figura 4a como un período de medición 406) puede corresponder a alguna otra porción de tiempo, que puede ser una parte de uno o más ciclos del voltaje (tal como un cuarto de un ciclo o dos ciclos), de modo que una secuencia de períodos de medición pueda corresponder entonces a períodos consecutivos. Aunque la figura 4a se ha descrito con referencia al voltaje cíclico de un suministro de electricidad 10A, se apreciará que esta descripción se aplica igualmente a otros suministros de servicio con otros componentes cíclicos.

40 La figura 4b ilustra el concepto de un período de medición para un suministro de servicio (tal como agua, aceite o gas) que no tiene un componente cíclico. En este caso, los períodos de medición pueden corresponder a cualquier período de tiempo. En particular, varios períodos de medición 408-422 se ilustran como porciones de tiempo en las que se pueden tomar mediciones de consumo de servicio.

45 Tanto para servicios que tienen un componente cíclico (como electricidad) como para servicios que no tienen un componente cíclico (como agua, aceite o gas), los períodos de medición pueden seguir uno a otro en una secuencia ininterrumpida o contigua (por ejemplo, los períodos de medición 408, 410 y 412 en la figura 4b), o los períodos de medición pueden estar separados por un intervalo (tal como un intervalo 425 ilustrado en la figura 4b). Además, aunque no se representa en las figuras 4a o 4b, dos o más períodos de medición en una secuencia de períodos de medición pueden solaparse. Además, los períodos de medición pueden ser de la misma longitud/duración (por ejemplo, en la figura 4b los períodos de medición 408, 410 y 412 pueden ser de una longitud predeterminada), o los períodos de medición puede ser de diferentes longitudes/duraciones (véase, por ejemplo, los períodos de medición 416, 418, 420 y 422 en la figura 4b).

50 Entonces, en general, un período de medición es un período de tiempo en el que se pueden tomar mediciones de consumo de servicio (por ejemplo, por los sensores 16). Un período de medición puede considerarse un período de tiempo en el que los valores/mediciones de consumo de servicio se habrán de obtener y/o analizar y/o considerar como un grupo. Puede usarse una secuencia de períodos de medición - los períodos de medición en la secuencia pueden solaparse o no, pueden ser o no de la misma longitud, y pueden ser o no contiguos.

60 Dentro de un período de medición dado, puede tomarse (o medirse o determinarse) uno o varios valores de servicio que representan un nivel de consumo de un servicio. Por ejemplo, la sección de entrada 22 del aparato 20 puede, durante un período de medición, recibir u obtener uno o varios valores de servicio que representan un nivel de consumo total de un servicio por el grupo de aparatos de un contador 16. Estos valores de servicio individuales pueden ser valores instantáneos, o pueden promediarse durante un período dado (por ejemplo, un intervalo corto de medición dentro del período de medición).

65 El uno o más valores de servicio para un período de medición pueden obtenerse en cualesquiera puntos en tiempo durante el período de medición (puede incluir o no el inicio o el final del período de medición), proporcionando por

ello una secuencia de uno o más valores de servicio para el período de medición. Las figuras 4c y 4d ilustran esquemáticamente secuencias ejemplares de valores de servicio durante un período de medición. Como se ilustra en la figura 4c, los valores de servicio pueden estar regularmente espaciados (en el tiempo) – véase, por ejemplo, los valores de servicio 430-439 durante un período de medición 460. Como se ilustra en la figura 4d, los valores de servicio pueden estar irregularmente espaciados (en el tiempo) - véase, por ejemplo, los valores de servicio 440-449 durante un período de medición 470. En cualquier punto durante el período de medición puede tomarse una pluralidad de valores de servicio correspondiente a dicho punto - por ejemplo, en un punto dado durante el período de medición podrían tomarse mediciones correspondientes de corriente eléctrica y niveles de voltaje; de forma similar, con un suministro polifásico de electricidad (tal como un suministro trifásico de electricidad), podrían tomarse múltiples mediciones de niveles de corriente (correspondientes a cada una de las fases) correspondientes a dicho punto concreto en el período de medición.

La duración de un período de medición puede depender de la naturaleza del servicio especial que se considere. Por ejemplo, cuando el servicio es un suministro de electricidad de 50 Hz, entonces un período de medición puede corresponder a la duración de un ciclo en el suministro, es decir, 0,02 segundos. Como se ha descrito anteriormente, la duración del período de medición puede depender de la longitud de un ciclo de otras formas.

Como se describirá con más detalle más adelante, las realizaciones de la invención operan en base a cada aparato 12 que está en un "estado de dispositivo". Un estado de dispositivo para un aparato 12 puede corresponder a que el aparato 12 está en una configuración (o posición o modo) en el que el aparato 12 consume un servicio 10 para realizar una función correspondiente (es decir, para llevar a cabo una o más acciones, tareas u operaciones correspondientes a dicho estado de dispositivo concreto). Alternativamente, un estado de dispositivo para un aparato 12 puede corresponder a que el aparato 12 está en una configuración en la que el aparato 12 no está consumiendo un servicio 10 dado que el aparato 12 puede estar en un "estado apagado" (es decir, el aparato puede estar desconectado, sin alimentación o apagado) o el aparato 12 puede no estar ya en uso o puede estar simplemente a la espera de ser encendido. Cuando un aparato 12 está en un estado de dispositivo concreto, el consumo de servicio realizado por dicho aparato 12 puede asumir un perfil correspondiente de consumo de servicio.

Un aparato 12 puede ser capaz de realizar solamente una función. Tal aparato 12 puede tener solamente dos estados de dispositivo - un primer estado de dispositivo puede corresponder al aparato 12 que no consume un servicio 10 (es decir, el aparato 12 puede estar apagado), y un segundo estado de dispositivo puede corresponder al aparato 12 que consume un servicio 10 (es decir, el aparato 10 puede estar encendido y realizando su función). Por ejemplo, un reloj eléctrico puede tener un primer estado de dispositivo correspondiente a que el reloj eléctrico está apagado y no consume electricidad, y un segundo estado de dispositivo correspondiente a que el reloj eléctrico está encendido y consume electricidad para indicar la hora.

Un aparato 12 puede ser capaz de realizar múltiples funciones; sin embargo, el aparato 12 solamente puede ser capaz de realizar una función a la vez. Tal aparato 12 puede tener más de dos estados de dispositivo - un primer estado de dispositivo puede corresponder a que el aparato 12 no consume un servicio 10 (es decir, el aparato 12 puede estar apagado), y otros estados de dispositivo pueden corresponder a que el dispositivo consume un servicio 10 de formas diferentes (es decir, el aparato 12 puede estar encendido y realizar una de sus funciones). Por ejemplo, un televisor puede tener un primer estado de dispositivo correspondiente a que el televisor está apagado y no consume electricidad, un segundo estado de dispositivo correspondiente a que el televisor está encendido y consume electricidad para presentar un programa de televisión, y un tercer estado de dispositivo correspondiente a que el televisor consume electricidad mientras está en un modo de espera.

Un aparato 12 puede ser capaz de realizar múltiples funciones simultáneamente. Tal aparato 12 puede tener más de dos estados de dispositivo - un primer estado de dispositivo puede corresponder a que el aparato 12 no consume un servicio 10 (es decir, el aparato 12 puede estar apagado), y otros estados de dispositivo pueden corresponder a que el dispositivo consume un servicio 10 de formas diferentes (es decir, el aparato 12 puede estar encendido y realizar una o más de sus funciones). Por ejemplo, una lavadora tiene una bomba y un motor y, en cualquier tiempo dado, la bomba puede estar encendida o apagada y el motor puede estar encendido o apagado o el motor puede estar encendido y operar en uno de varios valores de velocidad (tal como un valor de velocidad baja, un valor de velocidad media o un valor de velocidad alta). Cada combinación posible de estados de los componentes individuales del aparato (es decir, el estado de la bomba y el estado del motor) pueden corresponder a un estado de dispositivo - por ejemplo, un primer estado de dispositivo puede corresponder a que la bomba está encendida y el motor apagado, y un segundo estado de dispositivo puede corresponder a que la bomba está encendida y el motor está conmutado a una posición de velocidad baja, etc.

Un estado de dispositivo puede corresponder a una función concreta que el aparato 12 está realizando. Por ejemplo, la lavadora puede tener un estado de dispositivo que corresponde a que la lavadora realiza un ciclo de centrifugado. En el estado de dispositivo que corresponde a que la lavadora realiza un ciclo de centrifugado, el motor puede estar encendido y operar a alta velocidad, mientras que la bomba puede estar apagada. La lavadora puede tener otros estados de dispositivo que corresponden a que la lavadora realiza otras partes del ciclo de lavado, tal como lavado o drenaje. Además, un estado de dispositivo puede corresponder a un estado real de un aparato 12 (como se ha expuesto anteriormente) o a un estado más abstracto de un aparato 12 - por ejemplo, la operación de calentamiento

realizada por una tetera puede modelarse o aproximarse por una serie discreta de estados de dispositivo que se aproximan al estado cambiante de la tetera.

5 En un aparato 12 que incluye múltiples componentes (tal como la lavadora descrita anteriormente que tiene una bomba y un motor, o cualquier otro aparato 12 que incluya múltiples componentes), cada componente individual (por ejemplo, la bomba y el motor) pueden considerarse como un dispositivo separado, cada uno con su propio conjunto de estados de dispositivo que corresponden a las posibles funciones/estados de dicho componente. Por ejemplo, la lavadora anterior puede constar de un primer dispositivo que representa la bomba y un segundo dispositivo que representa el motor - (a) el primer dispositivo puede tener dos estados de dispositivo que representan posibles estados de la bomba (el primer estado de dispositivo corresponde a que la bomba no consume electricidad, es decir, la bomba puede estar apagada, y el segundo estado de dispositivo corresponde a que la bomba consume electricidad para realizar su operación de bombeo); (b) el segundo dispositivo puede tener cuatro estados de dispositivo que representan posibles estados del motor (el primer estado de dispositivo puede corresponder a que el motor está apagado y no consume electricidad, el segundo estado de dispositivo puede corresponder a que el motor está encendido y consume electricidad para operar a velocidad baja, el tercer estado de dispositivo puede corresponder a que el motor está encendido y consume electricidad para operar a velocidad media, y el cuarto estado de dispositivo puede corresponder a que el motor está encendido y consume electricidad para operar a velocidad alta).

20 Por lo tanto, el término "dispositivo" se usa aquí para hacer referencia a un aparato 12, o un componente de un aparato 12, que puede tener una pluralidad de estados de dispositivo. Por ejemplo, puede considerarse que una lavadora es un dispositivo por sí mismo, con numerosos estados de dispositivo en base a los estados de sus componentes bomba y motor; alternativamente, puede considerarse que el componente bomba y el motor son dispositivos separados con sus respectivos estados de dispositivo. Las realizaciones de la invención pueden usarse con ambas perspectivas dependiendo de la resolución requerida, por ejemplo, si es suficiente saber que la lavadora está consumiendo una cierta cantidad de electricidad, o si es deseable conocer información acerca del consumo de electricidad de la bomba y el motor dentro de la lavadora por separado.

30 A continuación, se supondrá que el lugar tiene un número N_d de dispositivos (ya sean aparatos 12 y/o componentes de aparatos 12 como se ha expuesto anteriormente), siendo el conjunto o grupo de dispositivos el dispositivo D_1 , el dispositivo D_2 , ..., el dispositivo D_{N_d} . Para $1 \leq i \leq N_d$, el dispositivo D_i tiene el número $N_{ds}(i)$ de estados de dispositivo, siendo el conjunto de estados de dispositivo para el i -ésimo dispositivo D_i el estado de dispositivo $DS_{i,1}$, el estado de dispositivo $DS_{i,2}$, ..., $DS_{i,N_{ds}(i)}$. Se apreciará que, para un dispositivo concreto D_i , puede haber en la práctica más de $N_{ds}(i)$ estados de dispositivo para dicho dispositivo D_i ; sin embargo, $N_{ds}(i)$ representa el número de estados de dispositivo modelados o conocidos D_i , o al menos el número de estados de dispositivo que van a considerarse con respecto al dispositivo D_i . Por ejemplo, cuando un dispositivo pasa de un estado de dispositivo a otro estado de dispositivo, puede haber un período de transición durante el que el consumo de servicio puede ser más difícil de modelar o simplemente puede no ser de interés; por lo tanto, tal período de transición puede no modelarse como un estado de dispositivo.

40 Las realizaciones de la invención considerarán un número N_{gs} de "estados de grupo", siendo el conjunto o grupo de estados de grupo el estado de grupo GS_1 , el estado de grupo GS_2 , ..., el estado de grupo $GS_{N_{gs}}$. Para $1 \leq j \leq N_{gs}$, el j -ésimo estado de grupo GS_j corresponde a cada uno de los N_d dispositivos que están en un estado correspondiente de sus estados de dispositivo de su conjunto de posibles estados de dispositivo. Así, un estado de grupo corresponde al grupo de N_d dispositivos que están, colectivamente, en una configuración correspondiente. Dado que hay un número $N_{ds}(i)$ de estados de dispositivo conocidos para el dispositivo D_i , el número total de estados de grupo conocidos es

$$\prod_{i=1}^{N_d} N_{ds}(i).$$

50 Sin embargo, las realizaciones de la invención pueden no usar necesariamente todos estos estados de grupo posibles, de modo que N_{gs} puede ser menos de

$$\prod_{i=1}^{N_d} N_{ds}(i).$$

55 Por ejemplo, puede saberse que algunos estados de grupo teóricos no se producen o existen en la práctica - por ejemplo cuando un primer dispositivo solamente puede encenderse si se apaga un segundo dispositivo, entonces no hay que considerar un estado de grupo que implica que el primer dispositivo está encendido y que el segundo dispositivo también está encendido puesto que esto no puede producirse en práctica. Además, algunos estados de grupo pueden no ser de interés y, por lo tanto, pueden no ser usados (por ejemplo, si se considera que es altamente improbable que se produzcan); esto puede reducir entonces el tiempo de procesamiento requerido para realizaciones de la invención.

El concepto de estados de grupo puede ilustrarse por medio del ejemplo siguiente. Un lugar 11 puede tener tres dispositivos (un reloj eléctrico, un televisor y una lavadora) donde cada uno de los tres dispositivos puede estar, en cualquier tiempo, en un estado de dispositivo concreto. Los posibles estados de dispositivos del grupo de dispositivos pueden ser los siguientes.

- El reloj eléctrico puede estar encendido e indicar la hora, o el reloj eléctrico puede estar apagado.
- El televisor puede estar apagado, o el televisor puede estar encendido y presentar un programa de televisión, o el televisor puede ser en un modo de espera.
- La lavadora -que incluye una bomba (que puede estar encendida o apagada) y un motor (que puede estar apagado, o encendido y operando en uno de un número de valores de velocidad, por ejemplo, un valor de velocidad baja, un valor de velocidad media o un valor de velocidad alta)- tiene una pluralidad de estados de dispositivo, donde cada estado de dispositivo corresponde a una combinación concreta de los estados de los componentes individuales (es decir, el estado de la bomba y el estado del motor).

Los estados de grupo posibles de los tres dispositivos anteriores corresponden a combinaciones concretas de los estados de dispositivo de cada dispositivo - por ejemplo, un primer estado de grupo puede corresponder a que el reloj eléctrico está encendido, el televisor está en un modo de espera y la lavadora realiza un ciclo de centrifugado; un segundo estado de grupo puede corresponder a que el reloj eléctrico está apagado, el televisor está encendido y presenta un programa, y la lavadora está apagada, y así sucesivamente.

A continuación, la función q se usará de la siguiente manera: la función q toma como entradas el índice j para el j -ésimo estado de grupo GS_j y el índice i para el i -ésimo dispositivo D_i y envía el índice k para el estado de dispositivo $DS(i,k)$ que el i -ésimo dispositivo D_i asume cuando el conjunto de dispositivos está en el j -ésimo estado de grupo GS_j , es decir, $q(j,i)=k$.

Las realizaciones de la invención operan asociando, o usando, un modelo estadístico multivariante respectivo (o un modelo probabilístico multivariante) con cada uno de los N_g estados de grupo considerados. A continuación, el modelo estadístico multivariante correspondiente al j -ésimo estado de grupo GS_j se representará con el modelo M_j (para $1 \leq j \leq N_g$). El j -ésimo modelo M_j representa la distribución de probabilidad para una serie (o secuencia o vector) de una pluralidad de valores, cada uno de los cuales representa el nivel de consumo total de un servicio por el grupo de dispositivos en un punto correspondiente en el tiempo durante un período de medición, en el supuesto de que el grupo de dispositivos esté en el j -ésimo estado de grupo GS_j . En otros términos, durante un período de medición, se podría tomar una serie basada en el tiempo $x=(x_1, x_2, \dots, x_N)$ de mediciones del nivel de consumo total del servicio por el grupo de dispositivos, y el j -ésimo modelo M_j representa la probabilidad de que la serie de valores tenga lugar si el grupo de N_d dispositivos está en el j -ésimo estado de grupo GS_j . En otros términos, el j -ésimo modelo M_j puede ser usado para determinar o proporcionar una posibilidad (o probabilidad) de que, en el supuesto de que el grupo de dispositivos esté en el j -ésimo estado de grupo GS_j , una serie concreta basada en el tiempo/vector de valores que representan niveles totales de consumo de un servicio por el grupo de dispositivos se produzca durante un período de medición. El modelo M_j es un modelo estadístico multivariante puesto que considera la distribución de probabilidad para un vector o serie temporal de valores, y cada valor puede ser considerado una variable aleatoria en sí mismo.

En lo anterior, N representa la longitud del vector serie temporal (es decir, el número de valores/mediciones en el vector temporal), es decir, el número de variables aleatorias en el modelo estadístico multivariante. A continuación, se supondrá que todos los vectores temporales son de longitud N y que cada uno de los N valores en el vector temporal corresponde a una desviación de tiempo concreta (o posición) dentro de un período de medición asociado, de modo que dos vectores temporales estarán sustancialmente sincronizados (con relación a sus respectivos períodos de medición). Si, en la práctica, un vector temporal tiene un número diferente de valores, entonces puede ser convertido fácilmente a un vector temporal con N valores por interpolación. En las realizaciones de la invención, un valor típico para N puede ser 200 o sustancialmente igual a él.

Se ha previsto que el término "vector temporal" cubra una serie temporal estricta de valores, de modo que un valor en el vector temporal corresponda a un punto en el tiempo que tiene lugar después de (o, alternativamente, antes de) el valor que precede en el vector temporal. Por ejemplo, con un suministro monofásico de electricidad, un vector temporal de los niveles de corriente puede ser una secuencia de valores de nivel de corriente donde cada valor de nivel de corriente se midió, o produjo, en un punto en el tiempo posterior a cualesquiera valores de nivel de corriente precedentes en la secuencia. Sin embargo, se apreciará que el término "vector temporal" también pretende cubrir una secuencia de valores equivalentes a una reordenación de tal serie temporal estricta de valores (por ejemplo, una inversión de orden o algún otro desorden de valores). Además, el término "vector temporal" también pretende cubrir escenarios en los que una pluralidad de valores en el vector se produjeron, o midieron, en el mismo punto de tiempo. Por ejemplo, con un suministro polifásico de electricidad, en un punto de tiempo dado puede medirse una pluralidad de valores de corriente correspondientes (uno para cada una de las fases del suministro polifásico de electricidad) – esta pluralidad de valores de corriente (correspondientes al mismo punto de tiempo) puede formar parte del vector temporal. Esto se podría lograr concatenando una pluralidad de series temporales estrictas de valores de corriente

(habiendo una serie temporal estricta para cada una de las fases); alternativamente, esto se podría lograr agrupando conjuntamente, dentro del vector temporal, las mediciones tomadas en el mismo punto de tiempo; alternativamente, se podría usar alguna otra ordenación. También se apreciará que los valores en un vector temporal no tienen que representar necesariamente la misma entidad medida (por ejemplo, en el suministro polifásico de electricidad, las mediciones de fases diferentes se representarían en el vector temporal) y que, de hecho, valores diferentes en el vector temporal pueden tener diferentes unidades (por ejemplo, si los valores en el vector temporal representan las mediciones de potencia real y potencia reactiva, o mediciones de corriente y voltaje).

Se apreciará que el modelo M_j puede representarse o determinarse de varias formas, y que varios datos o características del modelo M_j pueden almacenarse consiguientemente en la memoria 28. Aunque más adelante se pondrán ejemplos, se apreciará que las realizaciones de la invención no se limitan a estos ejemplos o sus métodos de cálculo y representación. También se apreciará que, para dos estados de grupo diferentes, se puede usar los mismos o diferentes tipos de modelos.

El modelo M_j para un estado de grupo GS_j puede implicar (o usar o incluir) un vector medio $\mu_{GS(j)}$ y una matriz de covarianza $C_{GS(j)}$, donde (a) el vector medio $\mu_{GS(j)}$ representa una media de un grupo de vectores $\{v_1, \dots, v_R\}$, siendo cada uno un vector temporal de niveles totales de consumo del servicio por los N_d dispositivos cuando los N_d dispositivos están en el estado de grupo GS_j durante respectivos períodos de medición; (b) la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ es una matriz de covarianza para este grupo de vectores $\{v_1, \dots, v_R\}$. Hay varias formas en las que el vector medio $\mu_{GS(j)}$ y la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ pueden determinarse. Por ejemplo, se puede poner el grupo de dispositivos en el j -ésimo estado de grupo GS_j y luego, en una serie de R períodos de medición, obtener R vectores temporales correspondientes v_1, \dots, v_R de niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante el período de medición respectivo - tales vectores temporales podrían obtenerse, por ejemplo, usando el aparato de supervisión 20 o algún aparato similar. El vector medio $\mu_{GS(j)}$ y la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ pueden calcularse entonces a partir de los R vectores temporales obtenidos v_1, \dots, v_R .

Sin embargo, dado que el número de estados de grupo N_{gs} puede ser bastante grande, en una realización preferida, por cada dispositivo D_i y cada estado de dispositivo $DS_{i,k}$ para dicho dispositivo, se puede determinar y usar un vector medio $\mu_{DS(i,k)}$ y una matriz de covarianza $C_{DS(i,k)}$. El vector medio $\mu_{DS(i,k)}$ representa una media de un grupo de vectores $\{y_1, \dots, y_s\}$, siendo cada uno un vector temporal de niveles de consumo del servicio por el i -ésimo dispositivo D_i cuando el dispositivo D_i está en su k -ésimo estado de dispositivo $DS_{i,k}$ durante un período de medición respectivo; (b) la matriz de covarianza $C_{DS(i,k)}$ es una matriz de covarianza para este grupo de vectores $\{y_1, \dots, y_s\}$. Hay varias formas en las que el vector medio $\mu_{DS(i,k)}$ y la matriz de covarianza $C_{DS(i,k)}$ pueden determinarse, tal como obtener S vectores temporales correspondientes y_1, \dots, y_s de niveles de consumo del servicio por el dispositivo D_i (a) teniendo los otros dispositivos en un estado conocido (constante) (por ejemplo, apagados) y poniendo después el dispositivo D_i de manera que esté en su k -ésimo estado de dispositivo $DS_{i,k}$ y usando el aparato de supervisión 20 o algún aparato similar o (b) usando un aparato de supervisión que tome mediciones en el suministro de servicio individual para el dispositivo individual D_i cuando el dispositivo D_i esté en su k -ésimo estado de dispositivo $DS_{i,k}$ (por ejemplo, tomando mediciones en base al cableado o tubo concreto que alimenta el dispositivo individual D_i). El vector medio $\mu_{DS(i,k)}$ y la matriz de covarianza $C_{DS(i,k)}$ pueden calcularse entonces a partir de los S vectores temporales obtenidos y_1, \dots, y_s . Alternativamente, el vector medio $\mu_{DS(i,k)}$ y/o la matriz de covarianza $C_{DS(i,k)}$ pueden ser información que el fabricante del dispositivo D_i puede suministrar. En cualquier caso, habiendo obtenido un vector medio $\mu_{DS(i,k)}$ y una matriz de covarianza $C_{DS(i,k)}$ por cada dispositivo y sus estados de dispositivo asociados, el vector medio $\mu_{GS(j)}$ para el j -ésimo estado de grupo puede ser calculado como la suma de los vectores medios $\mu_{DS(i,k)}$ para los N_d dispositivos en los estados de dispositivo correspondientes al j -ésimo estado de grupo; de forma similar, la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ para el j -ésimo estado de grupo puede calcularse como la suma de las matrices de covarianza $C_{DS(i,k)}$ para los N_d dispositivos en los estados de dispositivo correspondientes al j -ésimo estado de grupo. Por ejemplo, si el primer estado de grupo GS_1 corresponde a cada uno de los N_d dispositivos que están en sus primeros estados de dispositivo respectivos $DS_{i,1}$, entonces

$$\mu_{GS(1)} = \sum_{i=1}^{N_d} \mu_{DS(i,1)} \quad \text{y} \quad C_{GS(1)} = \sum_{i=1}^{N_d} C_{DS(i,1)} .$$

O, en general,

$$\mu_{GS(j)} = \sum_{i=1}^{N_d} \mu_{DS(i,q(j,i))} \quad \text{y} \quad C_{GS(j)} = \sum_{i=1}^{N_d} C_{DS(i,q(j,i))} .$$

Esto opera especialmente bien en el supuesto de que los estados de dispositivo para diferentes dispositivos no estén correlacionados. El uso de este método también reduce el número de mediciones que hay que tomar - en particular, hay que tomar

$$\sum_{i=1}^{Nd} Nds(i)$$

conjuntos de mediciones (es decir, uno por cada posible estado de dispositivo) con este método, mientras que el primer método mencionado anteriormente tendría que tomar Ngs conjuntos de mediciones, que pueden ser

$$\prod_{i=1}^{Nd} Nds(i)$$

5

conjuntos de mediciones.

10 Por lo tanto, puede considerarse que el modelo M_j para el estado de grupo GS_j incluye (o usa o implica) los vectores medios $\mu_{DS(i,q(j,i))}$ y matrices de covarianza $C_{DS(i,q(j,i))}$ para cada dispositivo en sus estados de dispositivo asociados con el estado de grupo GS_j .

15 Es posible que las matrices de covarianza $C_{GS(j)}$ puedan estar mal condicionadas. Por lo tanto, el modelo M_j para el j -ésimo estado de grupo GS_j puede hacer uso de una matriz de covarianza regularizada. En particular, la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ puede ser sustituida por una matriz de covarianza $C'_{GS(j)} = C_{GS(j)} + \epsilon I$, donde ϵ es un parámetro de regularización y I es la matriz de identidad. El parámetro de regularización s puede ser un número real pequeño. A continuación, la referencia a la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ significará la matriz de covarianza regularizada $C'_{GS(j)}$ si se ha realizado la regularización. Igualmente, las matrices de covarianza $C_{DS(i,k)}$ para dispositivos individuales D_i y sus estados de dispositivo $DS_{i,k}$ pueden estar mal condicionadas y, por lo tanto, pueden ser regularizadas de forma similar.

20

El parámetro de regularización ϵ puede ser un valor predeterminado.

25 Sin embargo, en las realizaciones preferidas, el parámetro de regularización ϵ se elige con el fin de asegurar que el "número de condiciones" de cada una de las matrices de covarianza regularizadas de los estados de grupo $C'_{GS(j)}$ ($1 \leq j \leq Ngs$) no exceda de un valor umbral predeterminado W (tal como 100). Aquí, el término "número de condiciones" de una matriz quiere decir la relación del valor propio más grande de dicha matriz al valor propio más pequeño de dicha matriz. Un número alto de condiciones representa una matriz mal condicionada, lo que es indeseable. Por lo tanto, sería deseable asegurar que ninguna de las matrices de covarianza de los estados de grupo $C'_{GS(j)}$ ($1 \leq j \leq Ngs$) tenga un número de condiciones que supere el valor umbral predeterminado W .

30

El número de estados de grupo Ngs está relacionado exponencialmente con el número de dispositivos Nd . Para evitar que el procesado implicado al determinar un parámetro de regularización ϵ adecuado (en el sentido expuesto anteriormente) también sea exponencial en el número de dispositivos Nd , puede realizarse el procesado siguiente. Por cada dispositivo D_i ($1 \leq i \leq Nd$), la matriz de covarianza $C_{DS(i,k)}$ de cada uno de los $Nds(i)$ estados de dispositivo $DS_{i,k}$ ($1 \leq k \leq Nds(i)$) puede ser analizada para determinar el valor propio más alto (o más grande) de dicha matriz de covarianza $C_{DS(i,k)}$ (referida más adelante como $\lambda_max(i,k)$) - se apreciará que hay muchas formas conocidas por los expertos de determinar los valores propios de una matriz. Por cada dispositivo D_i ($1 \leq i \leq Nd$), puede determinarse el más alto de estos valores propios más altos determinados $\lambda_max(i,k)$ ($1 \leq k \leq Nds(i)$) - este valor propio más alto para el dispositivo D_i se denominará a continuación $\lambda_max(i)$. Sea el valor G la suma de estos valores propios más altos en los varios dispositivos D_i , es decir,

35

40

$$G = \sum_{i=1}^{Nd} \lambda_max(i).$$

45 El valor G corresponde al peor valor propio más alto para cualquiera de las matrices de covarianza (no regularizadas) para los estados de grupo. El peor valor propio más bajo para cualquiera de las matrices de covarianza (no regularizadas) los estados de grupo es 0 (puesto que estas matrices son matrices definidas semipositivas simétricas). Añadir ϵI a las matrices de covarianza de los estados de grupo dará un nuevo valor propio peor más bajo de s . Añadir ϵI a las matrices de covarianza de los estados de grupo dará un nuevo valor propio peor más alto de $G + \epsilon$. El número de condiciones más alto posible de cualquiera de las matrices de covarianza regularizadas de los estados de grupo $C'_{GS(j)}$ ($1 \leq j \leq Ngs$) sería, por lo tanto,

50

$$c = \frac{G + \epsilon}{\epsilon}.$$

55 Con el deseo de hacer que este número de condiciones sea a lo sumo el valor umbral W , el parámetro de regularización se puede poner de modo que sea (al menos)

$$\varepsilon = \frac{G}{W - 1}$$

En algunas realizaciones, la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ para el j-ésimo modelo M_j puede truncarse. Esto reduce el procesamiento requerido al realizar cálculos de multiplicación de matriz. Tal truncamiento puede realizarse de la siguiente manera. La matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ puede representarse, según el teorema espectral, como $C_{GS(j)} = U\Delta U^T$ donde U es la matriz unitaria conteniendo los vectores propios de $C_{GS(j)}$ y la matriz Δ es una matriz diagonal donde los términos en la diagonal son los valores propios de $C_{GS(j)}$. Los expertos sabrán cómo obtener tal descomposición. En el proceso de truncamiento, la matriz diagonal Δ puede ser sustituida por una matriz diagonal Δ' . Esto puede realizarse, por ejemplo, tomando los valores propios dentro de un rango predeterminado (por ejemplo, un pequeño porcentaje de ε donde ε puede ser el parámetro de regularización antes indicado si se ha realizado regularización, o un pequeño rango en torno a 0 si no se ha realizado regularización) y poniéndolos en Δ' de manera que sean iguales a ε (si se ha realizado regularización) o a 0 (si no se ha realizado regularización) para obtener por ello Δ' . La matriz de covarianza truncada es entonces $C''_{GS(j)} = U\Delta'U^T$. A continuación, la referencia a la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ significará las matrices de covarianza regularizada y/o truncada $C'_{GS(j)}$ y $C''_{GS(j)}$ si se ha realizado regularización y/o truncamiento. Igualmente, las matrices de covarianza $C_{DS(i,k)}$ para dispositivos individuales D_i y sus estados de dispositivo $DS_{i,k}$ pueden truncarse de forma similar.

Además, en algunas realizaciones, el modelo M_j para el j-ésimo estado de grupo GS_j puede hacer uso de la inversa de la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$. La inversa $C^{-1}_{GS(j)}$ puede ser regularizada y/o truncada de manera análoga, como se ha expuesto anteriormente. Igualmente, parte del procesamiento puede hacer uso de la inversa de las matrices de covarianza $C_{DS(i,k)}$ para los dispositivos individuales D_i y sus estados de dispositivo $DS_{i,k}$. La inversa $C^{-1}_{DS(i,k)}$ puede ser regularizada y/o truncada, como se ha expuesto anteriormente.

Los expertos estarán familiarizados con el concepto de regularización para manejar datos mal condicionados y/o escasos, así como el concepto de truncamiento para mejorar la eficiencia de cálculo cuando las matrices son escasas, y, por lo tanto, no se expondrán aquí otros detalles.

En algunas realizaciones de la invención, el modelo M_j para un estado de grupo GS_j se puede basar en un modelo gaussiano multivariante, representable por la función de densidad de probabilidad $f(x)$, donde

30

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{N/2} |C_{GS(j)}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(x - \mu_{GS(j)})^T C_{GS(j)}^{-1} (x - \mu_{GS(j)})}$$

y donde x representa un vector temporal de niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante un período de medición, N es la longitud del vector medio $\mu_{GS(j)}$ y del vector temporal obtenido, y $|C_{GS(j)}|$ representa el determinante de la matriz $C_{GS(j)}$. Sin embargo, se apreciará que otros modelos estadísticos multivariante pueden ser usados en su lugar, tal como los basados en un modelo exponencial multivariante, un modelo gamma multivariante, un modelo Poisson multivariante, un modelo Cauchy-Lorentz multivariante, o en algún otro modelo estadístico multivariante.

40 La figura 5 ilustra esquemáticamente más detalle del procesador 26 y la memoria 28 del aparato de supervisión 20 según una realización de la invención.

Como se ilustra, la memoria 28 puede almacenar, para cada uno de los estados de grupo GS_j ($1 \leq j \leq N_{GS}$), datos de estado de grupo 500(j). Los datos de estado de grupo 500(j) pueden incluir datos que representan la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ para el estado de grupo GS_j , la matriz de covarianza inversa $C^{-1}_{GS(j)}$ para el estado de grupo GS_j , y el vector medio $\mu_{GS(j)}$ para el estado de grupo GS_j .

Como se ilustra, la memoria 28 puede almacenar, para cada uno de los dispositivos D_i ($1 \leq i \leq N_d$) y cada uno de los $N_{ds}(i)$ estados de dispositivo respectivos para los dispositivos, datos de estado de dispositivo 510(i,k). Los datos de estado de dispositivo 510(i,k) pueden incluir datos que representan la matriz de covarianza $C_{DS(i,k)}$ para el estado de dispositivo $DS_{i,k}$, la matriz de covarianza inversa $C^{-1}_{DS(i,k)}$ para el estado de dispositivo $DS_{i,k}$, y el vector medio $\mu_{DS(i,k)}$ para el estado de dispositivo $DS_{i,k}$.

Los datos de estado de grupo 500(j) para un estado de grupo GS_j pueden incluir uno o más punteros 502 que referencian los datos de estado de dispositivo 510(i,q(j,i)) asociados con los dispositivos que están en los estados de dispositivo correspondientes al estado de grupo GS_j .

Se apreciará que la memoria 28 no tiene que almacenar necesariamente todos estos datos. Por ejemplo, la inversa de una matriz de covarianza puede calcularse a partir de la matriz de covarianza propiamente dicha, y así la inversa de una matriz de covarianza no tiene almacenarse necesariamente en la memoria 28 - el procesador 26 podría

60

5 calcular la inversa como y cuando sea necesario. Igualmente, dado que es posible calcular la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ para el estado de grupo GS_j y el vector medio $P_{GS(j)}$ para el estado de grupo GS_j a partir de vectores medios y matrices de covarianza para estados de dispositivo correspondientes (como se ha expuesto anteriormente), la memoria 28 no tiene que almacenar necesariamente la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ para el estado de grupo GS_j y el vector medio $\mu_{GS(j)}$ para el estado de grupo GS_j - el procesador 26 podría calcular el vector medio de estado de grupo $\mu_{GS(j)}$ y la matriz de covarianza $C_{GS(j)}$ como y cuando sea necesario.

10 Como se describirá con más detalle en breve, el procesador 26 puede incluir (o puede estar dispuesto para ejecutar) un módulo de cálculo de score 530 que usa los datos de estado de grupo 500 para generar scores 540 que se almacenan en la memoria 28. El procesador 26 puede incluir (o puede estar dispuesto para ejecutar) un módulo de identificación de estado de grupo 550 que usa los scores 540 para identificar, o estimar, un estado de grupo actual para el grupo de dispositivos. El procesador 26 también puede incluir (o puede estar dispuesto para ejecutar) un módulo de estimación de uso de servicio 560, cuya finalidad se describirá más adelante.

15 La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método 600 de identificar el consumo de un servicio por dispositivos en el grupo de dispositivos según una realización de la invención. El método 600 se lleva a cabo con respecto a un período de medición actual/dado y puede repetirse durante uno o varios períodos de medición posteriores. Ejemplos de períodos de medición, y sus secuencias, se han descrito anteriormente con referencia a las figuras 4a y 4b.

20 En un paso S602, el procesador 26 obtiene un vector temporal $x=(x_1, \dots, x_N)$ de valores que representan niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante el período de medición actual. Ejemplos de vectores temporales de valores de medición durante un período de medición se han descrito anteriormente con referencia a las figuras 4c y 4d. Como se ha descrito anteriormente, el procesador 26 puede obtener el vector temporal x de un contador 16 mediante la sección de entrada 22, y el reloj 24 puede ser usado para determinar el tiempo en el que se obtiene/lee cada uno de los valores x_i .

25 En un paso S604, el procesador 26 usa el módulo de cálculo de score 530 para generar, por cada uno de los N_{GS} estados de grupo que se consideran, un score correspondiente. En particular, por cada estado de grupo GS_j ($1 \leq j \leq N_{GS}$), el módulo de cálculo de score 530 calcula un score correspondiente S_j que el procesador 26 guarda en la memoria 28 como datos de score 540.

30 El score S_j para el j -ésimo estado de grupo GS_j representa una probabilidad de que el grupo de N_d dispositivos esté en el estado de grupo GS_j durante el período de medición corriente (dado). El módulo de cálculo de score 530 calcula el score S_j en base a una probabilidad de que se produzca el vector temporal obtenido $x=(x_1, \dots, x_N)$, basándose esta probabilidad en (o derivándose de) el modelo M_j para el j -ésimo estado de grupo GS_j . El score S_j puede ser, por ejemplo, la probabilidad (o una función de la probabilidad) de que el modelo M_j proporcione el vector temporal $x=(x_1, \dots, x_N)$ que tiene lugar cuando el grupo de dispositivos está configurado para estar en el j -ésimo estado de grupo GS_j . En consecuencia, el módulo de cálculo de score 530 puede usar los datos de estado de grupo 500 (y posiblemente los datos de estado de dispositivo 510) almacenados en la memoria 28 para calcular los scores 540.

35 En una realización, especialmente adecuada para realizaciones en las que el modelo M_j es dicho modelo gaussiano multivariante, el score S_j se calcula en base (o iguala) al valor

$$45 \quad \alpha(x - \mu_{GS(j)})^T C_{GS(j)}^{-1} (x - \mu_{GS(j)}) + \beta \ln(|C_{GS(j)}|) + \gamma$$

donde α , β y γ son constantes. En una realización, $\alpha = \beta = 1/2$ y

$$50 \quad \gamma = \frac{N}{2} \ln(2\pi) \quad \text{de modo que} \quad S_j = \frac{1}{2} (x - \mu_{GS(j)})^T C_{GS(j)}^{-1} (x - \mu_{GS(j)}) + \frac{1}{2} \ln(|C_{GS(j)}|) + \frac{N}{2} \ln(2\pi),$$

en cuyo caso $S_j = -\ln(f(x))$, donde $f(x)$ es dicha función de densidad de probabilidad para el modelo estadístico gaussiano multivariante (alternativamente, para evitar la división por 2, se podría poner $\alpha = \beta = 1$ y $\gamma = N \ln(2\pi)$ de modo que

$$55 \quad S_j = (x - \mu_{GS(j)})^T C_{GS(j)}^{-1} (x - \mu_{GS(j)}) + \ln(|C_{GS(j)}|) + \ln(2\pi),$$

60 en cuyo caso $S_j = -2\ln(f(x))$, donde $f(x)$ es la función de densidad de probabilidad antes mencionada para el modelo estadístico multivariante gaussiano). En esta realización particular, cuanto más bajo es el score, más alta es la probabilidad de que el grupo de dispositivos esté en el j -ésimo estado de grupo GS_j . Los datos de estado de grupo 500(j) para el estado de grupo GS_j también pueden incluir datos que representan los valores

$$\frac{1}{2} \ln(C_{GS(j)}) \quad \vee \quad \frac{N}{2} \ln(2\pi)$$

de modo que estos valores no tienen que ser recalculados cada vez que se genera un score.

5 Se apreciará que, para diferentes tipos de modelos (como los mencionados anteriormente), la fórmula para calcular un valor score adecuado S_j dependerá del modelo concreto que se use. Por ejemplo, es posible que se pueda poner simplemente el score S_j de modo que sea $f(x)$, donde f es la función de densidad de probabilidad para el modelo M_j - en este caso, cuanto más alto es el score, más alta es la probabilidad de que el grupo de dispositivos esté en el j -ésimo estado de grupo GS_j . Para modelos M_j cuya función de densidad de probabilidad implica un exponencial, tal como dicha función de densidad de probabilidad para el modelo estadístico multivariante gaussiano, el score S_j podría basarse en un logaritmo de la función de densidad de probabilidad (como se ha mencionado anteriormente) - esto ayuda a reducir la complejidad de calcular los scores.

15 En un paso S606, el procesador 26 usa el módulo de identificación de estado de grupo 550 para identificar, en base al menos en parte a los scores calculados 540, un estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos, es decir, una estimación del estado de grupo actual para el grupo de dispositivos durante el período de medición actual. En particular, el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede identificar el score S_j que representa la probabilidad más alta de que el grupo de N_d dispositivos esté en el estado de grupo correspondiente GS_j durante el período de medición actual (dado), y, por lo tanto, puede identificar que el grupo de dispositivos está actualmente configurado en el estado de grupo correspondiente GS_j .

25 Sin embargo, en el paso S606, el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede identificar que el grupo de dispositivos no está en ninguno de los N_{gs} estados de grupo $GS_1, \dots, GS_{N_{gs}}$ que han sido comprobados, en cuyo caso el módulo de identificación de estado de grupo 550 identifica que el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos es un estado de grupo distinto del de los N_{gs} estados de grupo considerados. Esto podría producirse, por ejemplo, si uno o varios dispositivos están pasando de un estado de dispositivo a otro estado de dispositivo de modo que el consumo de servicio actual por uno o varios dispositivos no sea conforme con el perfil de consumo de servicio especial para ninguno de los estados de grupo considerados. El módulo de identificación de estado de grupo 550 puede hacer tal determinación (a saber, que el grupo de dispositivos no está en ninguno de los N_{gs} estados de grupo $GS_1, \dots, GS_{N_{gs}}$ que han sido comprobados) en base a una función de los scores $S_1, \dots, S_{N_{gs}}$ que han sido calculados. En particular, suponiendo que cuanto menor es el score S_j , menor es la probabilidad determinada de que el grupo de dispositivos esté en el j -ésimo estado de grupo GS_j , entonces (a) el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede hacer tal determinación comparando la suma de los scores

$$\left(\sum_{j=1}^{N_{gs}} S_j \right)$$

35 con un umbral predeterminado y , si esta suma es menos que el umbral predeterminado, entonces el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede determinar que el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos no es ninguno de los N_{gs} estados de grupo $GS_1, \dots, GS_{N_{gs}}$ que han sido comprobados; o (b) el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede hacer tal determinación comparando cada uno de los scores S_j con un umbral predeterminado y , si todos son menos que el umbral predeterminado, entonces el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede determinar que el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos no es ninguno de los N_{gs} estados de grupo $GS_1, \dots, GS_{N_{gs}}$ que han sido comprobados. Igualmente, suponiendo que cuanto más bajo es el score S_j , más alta es la probabilidad determinada de que el grupo de dispositivos esté en el j -ésimo estado de grupo GS_j , entonces (a) el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede hacer tal determinación comparando la suma de los scores

$$\left(\sum_{j=1}^{N_{gs}} S_j \right)$$

50 con un umbral predeterminado y , si esta suma es más grande que el umbral predeterminado, entonces el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede determinar que el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos no es ninguno de los N_{gs} estados de grupo $GS_1, \dots, GS_{N_{gs}}$ que han sido comprobados; o (b) el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede hacer tal determinación comparando cada uno de los scores S_j con un umbral predeterminado y , si todos son más grandes que el umbral predeterminado, entonces el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede determinar que el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos no es ninguno de los N_{gs} estados de grupo $GS_1, \dots, GS_{N_{gs}}$ que han sido comprobados. Se apreciará que se puede usar otros métodos y que las realizaciones de la invención pueden determinar que el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos no es uno de la pluralidad de N_{gs} estados de grupo comprobados en

base a una comparación de los scores calculados 540, o una función de los scores calculados 540, con un umbral predeterminado.

5 Así, las realizaciones de la invención usan los modelos M_j para identificar un estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos. Esto proporciona estimaciones mucho más exactas y fiables de la configuración actual para un grupo de dispositivos que los métodos previamente conocidos, especialmente en entornos altamente dinámicos donde los niveles de uso de servicio cambian rápidamente (como se ilustra en la figura 2).

10 **Transiciones**

10 En algunas realizaciones, el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede hacer su determinación del estado de grupo más probable en base (al menos en parte) a información correspondiente a uno o varios períodos de medición precedentes, por ejemplo, en base a uno o varios vectores temporales anteriores de los niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante uno o más períodos de medición precedentes, o en base a los estados de grupo más probables identificados durante uno o varios períodos de medición precedentes. Esto se puede lograr, por ejemplo, haciendo uso de un modelo Markov oculto para el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos - se apreciará que los expertos sabrán cómo implementar un modelo Markov oculto (o similar).

20 Por ejemplo, con respecto a cada uno de los dispositivos D_i ($1 \leq i \leq N_d$), puede determinarse una matriz de transición asociada TD_i . La matriz de transición TD_i es una matriz $N_{ds}(i) \times N_{ds}(i)$, donde el (a,b)-ésimo elemento de la matriz de transición TD_i representa una posibilidad o una probabilidad de que el dispositivo D_i , cuando esté en estado de dispositivo $DS_{i,a}$, pase a estar en el estado de dispositivo $DS_{i,b}$ en el período de medición siguiente. Las entradas diagonales de la matriz de transición TD_i representan las respectivas posibilidades o probabilidades de que el dispositivo D_i permanezca en su estado de dispositivo actual en el período de medición siguiente. Se apreciará que otras representaciones de una matriz de transición son posibles (por ejemplo, usando la transposición TD_i^T de la matriz TD_i antes descrita).

30 Hay muchas formas en las que la matriz de transición TD_i para el dispositivo D_i puede ponerse o estimarse. Por ejemplo, se podría supervisar la operación del dispositivo D_i en un número (preferiblemente un número estadísticamente grande/significativo) de períodos de medición y, durante cada período de medición, determinar en qué estado de dispositivo, de entre los $N_{ds}(i)$ estados de dispositivo para el dispositivo D_i , está operando el dispositivo D_i . Esto se puede lograr de varias formas, por ejemplo, (a) observando el dispositivo D_i (por ejemplo, es posible observar si está operando la bomba o el motor de una lavadora) o (b) usando los vectores medios $\mu_{DS(i,k)}$ y las matrices de covarianza $C_{DS(i,k)}$ para determinar, por cada estado de dispositivo posible $DS_{i,k}$ ($1 \leq k \leq N_{ds}(i)$) un score que indique la probabilidad de que el dispositivo D_i esté en ese estado de dispositivo (por ejemplo, de manera similar a usar una función score, como se ha expuesto anteriormente, para determinar cuándo el grupo de dispositivos está en un estado de grupo concreto en base a los vectores medios $\mu_{GS(i)}$ y las matrices de covarianza $C_{GS(i)}$, y, en base a estos scores, elegir el estado de dispositivo más probable durante el período de medición actual (de manera similar a la expuesta anteriormente). Entonces, si el número de períodos de medición durante los que el dispositivo D_i estuvo en estado de dispositivo $DS_{i,a}$ era n_a y, de los n_a períodos de medición, había n_b períodos de medición en los que el dispositivo D_i estaba en el estado de dispositivo $DS_{i,b}$ en el período de medición posterior, entonces se podría poner el (a-b)-ésimo elemento de matriz de transición TD_i a n_b/n_a .

45 Alternativamente, se podría supervisar de nuevo la operación del dispositivo D_i en un número (preferiblemente un número estadísticamente grande/significativo) de períodos de medición y, por cada período de medición, determinar en qué estado de dispositivo, de los $N_{ds}(i)$ estados de dispositivo para el dispositivo D_i , está operando el dispositivo D_i (esto se podría lograr como se ha expuesto anteriormente). Por cada uno de los $N_{ds}(i)$ estados de dispositivo para el dispositivo D_i , se puede encontrar la duración media y que el dispositivo D_i operaba continuamente en dicho estado de dispositivo (es decir, un número medio de períodos consecutivos de medición). Por ejemplo, si la supervisión indicó que el dispositivo D_i operó en el estado de dispositivo $DS_{i,a}$ en 5 ocasiones durante solamente 1 período de medición, en 8 ocasiones durante 2 períodos consecutivos de medición, en 4 ocasiones durante 3 períodos consecutivos de medición, en 2 ocasiones durante 4 períodos consecutivos de medición, y en ninguna ocasión durante una duración continua más grande, entonces la duración media durante la que el dispositivo D_i opera continuamente en el estado de dispositivo $DS_{i,a}$ es $\gamma_{i,a} = (5 \times 1 + 8 \times 2 + 4 \times 3 + 2 \times 4) / (5 + 8 + 4 + 2) = 2,16$ períodos de medición. Más en general, si la supervisión indicó que el dispositivo D_i operó en el estado de dispositivo $DS_{i,a}$ durante una duración de k períodos de medición consecutivos en $t_{i,a,k}$ ocasiones ($k=1, 2, \dots$), entonces la duración media es

$$\gamma_{i,a} = \frac{\sum_k t_{i,a,k} k}{\sum_k t_{i,a,k}}$$

60 La probabilidad de que el dispositivo D_i , una vez en el estado de dispositivo $DS_{i,a}$, permanezca en dicho estado de dispositivo $DS_{i,a}$ es entonces

$$\tau_{i,a} = 1 - \frac{1}{\gamma_{i,a}}$$

Esto es debido a lo siguiente:

5 $P(D_i, \text{ una vez en } DS_{i,a}, \text{ estará en } DS_{i,a} \text{ durante } n \text{ periodos consecutivos de medición}) = \tau_{i,a}^{n-1}(1-\tau_{i,a})$

$$\begin{aligned} \gamma_{i,a} = E(n) &= \sum_{n=1}^{\infty} \tau_{i,a}^{n-1}(1-\tau_{i,a})n \\ &= (1-\tau_{i,a}) \sum_{n=1}^{\infty} \tau_{i,a}^{n-1}n \\ &= (1-\tau_{i,a}) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{d}{d\tau_{i,a}} \tau_{i,a}^n \\ &= (1-\tau_{i,a}) \frac{d}{d\tau_{i,a}} \sum_{n=1}^{\infty} \tau_{i,a}^n \\ &= (1-\tau_{i,a}) \frac{d}{d\tau_{i,a}} \left(\frac{\tau_{i,a}}{1-\tau_{i,a}} \right) \\ &= \frac{1}{1-\tau_{i,a}} \end{aligned}$$

de modo que $\tau_{i,a} = 1 - \frac{1}{\gamma_{i,a}}$.

10 Entonces se pueden poner las entradas diagonales de TD_i a dichas probabilidades calculadas, es decir, el (a,a)-ésimo elemento de TD_i es $\tau_{i,a}$. Las entradas no diagonales de TD_i pueden ponerse entonces de la siguiente manera. En particular, se puede asumir que, con respecto al dispositivo D_i y un estado de dispositivo $DS_{i,a}$ ($1 \leq a \leq Nds(i)$), la probabilidad p de transición de dicho estado de dispositivo $DS_{i,a}$ a cualquier otro estado de dispositivo $DS_{i,b}$ ($b \neq a$) de dispositivo D_i es la misma para cada $b \neq a$, con $1 \leq b \leq Nds(i)$. Dado que las probabilidades de transición en base a que actualmente está en estado de dispositivo $DS_{i,a}$ ascenderán a 1, esta probabilidad p será

15

$$\frac{1 - \tau_{i,a}}{Nds(i) - 1},$$

y así los (a,b)-ésimos elementos de TD_i pueden ponerse a

20

$$\frac{1 - \tau_{i,a}}{Nds(i) - 1}$$

(para $1 \leq b \leq Nds(i)$ y $b \neq a$). Se apreciará que se podría usar otros métodos para poner los elementos no diagonales de TD_i .

25

Alternativamente, las matrices de transición pueden determinarse mediante técnicas más automatizadas, por ejemplo usando aprendizaje bayesiano variacional - ver, por ejemplo, "Ensemble Learning for Hidden Markov Models", D J C Mackay, 1997. Para el grupo de dispositivos D_i ($1 \leq i \leq Nd$), puede determinarse una matriz de transición de grupo TG. La matriz de transición de grupo TG es una matriz $Ngs \times Ngs$, donde el (a,b)-ésimo elemento de la matriz de transición de grupo TG representa una posibilidad o una probabilidad de que el grupo de dispositivos, cuando esté en estado de grupo GS_a , pase a estar en el estado de grupo GS_b en el período de medición siguiente. Las entradas diagonales de la matriz de transición de grupo TG representan las respectivas posibilidades o probabilidades de que el grupo de dispositivos permanezca en su estado de grupo actual en el

30

período de medición siguiente. Se apreciará que son posibles otras representaciones de una matriz de transición (por ejemplo, usando la transposición TG^T de la matriz TG antes descrita).

5 La matriz de transición de grupo TG puede ser determinada a partir de las matrices de transición TD_i para los dispositivos D_i ($1 \leq i \leq Nd$). En particular, en el supuesto de que las transiciones de estado de dispositivo que un primer dispositivo D_j experimenta sean independientes de las transiciones de estado de dispositivo que un segundo dispositivo D_k experimenta (para $1 \leq j, k \leq Nd, j \neq k$), entonces el (a,b) -ésimo elemento de TG es el

$$\prod_{i=1}^{Nd} ((q(a,i), q(b,i))\text{-ésimo elemento de } TD_i).$$

10

Alternativamente, la matriz de transición de grupo TG podría determinarse de manera similar a las descritas anteriormente para determinar las matrices de transición de dispositivo TD_i .

15 El módulo de identificación de estado de grupo 550 y/o el módulo de cálculo de score 530 pueden usar la matriz de transición de grupo TG para contribuir a determinar el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos. Por ejemplo, si el estado de grupo que se determinó más recientemente para el grupo de dispositivos era GS_a (es decir, se determinó que el grupo de dispositivos estaba en el estado de grupo GS_a en el período de medición precedente), entonces el módulo de cálculo de score 530 puede determinar los scores S_j para cada estado de grupo ($1 \leq j \leq Ngs$) como se ha expuesto anteriormente, pero entonces ajustar los scores S_j , para formar respectivos scores ajustados S'_j , donde $s'_j = S_j \times (a,j)$ -ésimo elemento de TG. El módulo de identificación de estado de grupo 550 podría realizar estos ajustes en lugar del módulo de cálculo de score 530. De esta forma, el score para un estado de grupo GS_j puede ser ponderado según la probabilidad de que el grupo de dispositivos haya pasado de estar en el estado de grupo GS_a previo a dicho estado de grupo GS_j . El módulo de identificación de estado de grupo 550 determinaría entonces el estado de grupo más probable en base a los scores ajustados S'_j . Se apreciará que, aunque lo anterior se ha descrito con referencia a la consideración de un solo estado de grupo precedente, es posible considerar múltiples estados de grupo precedentes y realizar ajustes/ponderación de score de forma análoga tomando en cuenta los múltiples estados de grupo precedentes.

30 Adicional o alternativamente, dados los estados de grupo GS_j ($j=1, \dots, Ngs$) y sus respectivos modelos estadísticos multivariante y dada una secuencia de observaciones (es decir, una secuencia de vectores $x(t)$ de los niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante respectivos períodos de medición, obteniéndose cada vector $x(t)$ en una ejecución respectiva del paso S602), el módulo de cálculo de score 530 puede calcular, para cada estado de grupo que use el modelo estadístico multivariante para dicho estado de grupo, un score que indique una probabilidad de que cada observación se produzca si el grupo de dispositivos estuviese en ese estado de grupo. En base a estos scores, el conjunto de estados de grupo que se considera y la matriz de transición de grupo TG, el módulo de identificación de estado de grupo 550 puede tratar el grupo de dispositivos, y sus transiciones, como un modelo Markov oculto y puede identificar, para una o varias observaciones, un estado de grupo más probable respectivo usando algoritmos conocidos para resolver modelos Markov ocultos, por ejemplo el algoritmo de Viterbi. Así, la identificación de un estado de grupo para un período de medición dado se puede basar, al menos en parte, en un vector temporal obtenido de niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante uno o más períodos de medición precedentes y/o siguientes al período de medición dado o en base, al menos en parte, a un estado de grupo más probable identificado durante uno o varios períodos de medición precedentes y/o siguientes al período de medición dado.

45 Dichas matrices de transición TD_i ($1 \leq i \leq Nd$) y TG pueden predeterminarse (es decir, ponerse y fijarse antes de un tiempo de ejecución/supervisión reales). Alternativamente, una o varias de estas matrices de transición pueden determinarse y/o actualizarse durante el tiempo de ejecución - por ejemplo, una matriz de transición TD_i para el dispositivo D_i puede ser actualizada durante la operación y supervisión actuales del grupo de dispositivos (por ejemplo, regularmente a intervalos de tiempo predeterminados, o después de que haya transcurrido una cantidad de tiempo especificada desde que el dispositivo D_i empezó a operar) de modo que la matriz de transición TD_i represente más exactamente cómo el dispositivo D_i está operando en el contexto del grupo de dispositivos.

55 **Estimación de uso de servicio**

El método 600 puede incluir un paso opcional S608 en el que el procesador hace uso del módulo de estimación de uso de servicio 560 para determinar un vector temporal x_d_w que representa niveles estimados de consumo del servicio por un dispositivo dado D_w en el grupo de dispositivos durante el período de medición actual. Esto puede realizarse con respecto a uno o más dispositivos en el grupo de dispositivos y el aparato de supervisión 20 puede permitir al usuario identificar el dispositivo o los dispositivos concretos con respecto a los que se ha de realizar esto.

60

La estimación del vector temporal x_{dw} de los niveles de consumo del servicio por el dispositivo D_w durante el período de medición actual se puede basar, al menos en parte, en el estado de grupo más probable identificado GS_j y/o el modelo M_j para dicho estado de grupo más probable identificado GS_j .

5 En una realización, si el estado de grupo más probable que ha sido identificado es el j -ésimo estado de grupo GS_j , entonces el módulo de estimación de uso de servicio 560 puede poner la estimación del vector temporal x_{dw} de niveles de consumo del servicio por el dispositivo D_w durante el período de medición actual al vector medio $\mu_{DS(w,q(j,w))}$, es decir, el vector temporal x_{dw} se puede poner de modo que sea el vector medio $\mu_{DS(w,q(j,w))}$ del dispositivo D_w que corresponde al modelo M_j para el j -ésimo estado de grupo GS_j .

10 En una realización alternativa, el módulo de estimación de uso de servicio 560 puede determinar el vector temporal x_{dw} en base al conjunto de vectores medios $\mu_{DS(i,k)}$ y las matrices de covarianza $C_{DS(i,k)}$ para el grupo de dispositivos D_i que corresponde al modelo M_j para el j -ésimo estado de grupo GS_j . En particular, puede obtenerse una estimación más exacta y fiable x_{dw} poniendo

$$15 \quad x_{dw} = C_{DS(w,q(j,w))} \left(\sum_{i=1}^{Nds} C_{DS(i,q(j,i))} \right)^{-1} \left(x - \sum_{i=1}^{Nds} \mu_{DS(i,q(j,i))} \right) + \mu_{DS(w,q(j,w))} .$$

20 El término adicional en esta ecuación, que modifica el parámetro x_{dw} con respecto a ser sólo $\mu_{DS(w,q(j,w))}$, se deriva de una minimización de los errores (o desviaciones) e_i del consumo de servicio de cada uno de los Nd dispositivos D_i a partir de su media asociada $\mu_{DS(i,q(j,i))}$ (es decir, $e_i = x_{d_i} - \mu_{DS(i,q(j,i))}$) sujeto a la limitación de

$$\sum_{i=1}^{Nd} e_i = x - \sum_{i=1}^{Nd} \mu_{DS(i,q(j,i))}$$

Véase el apéndice A.

25 En general, la ecuación anterior puede ser usada independientemente de cómo se determine el estado de grupo para un grupo de dispositivos. En particular, obteniendo un vector temporal x de los niveles totales de servicio consumido por el grupo de dispositivos durante un período de medición dado, el procesador 26 puede determinar un vector temporal correspondiente que represente los niveles estimados de consumo del servicio por un dispositivo dado durante el período de medición dado en base a la fórmula:

$$30 \quad x_{dw} = C_{dw} \left(\sum_{d \in D} C_d \right)^{-1} \left(x - \sum_{d \in D} \mu_d \right) + \mu_{dw}$$

35 donde D representa el grupo de dispositivos y, para cada dispositivo d en el grupo de dispositivos, μ_d es un vector medio predeterminado correspondiente que representa una media de un conjunto de vectores, siendo cada vector en el conjunto de vectores un vector temporal, correspondiente al vector temporal obtenido, de los niveles de consumo del servicio por el dispositivo d durante un período de medición respectivo, y C_d es una matriz de covarianza predeterminada correspondiente que representa una matriz de covarianza del conjunto de vectores; μ_{dw} representa el vector medio predeterminado correspondiente al dispositivo dado; C_{dw} representa la matriz de covarianza predeterminada correspondiente al dispositivo dado; y x_{dw} representa el vector temporal que representa niveles estimados de consumo del servicio por el dispositivo dado durante el período de medición dado. El uso de este cálculo proporciona estimaciones más exactas del vector temporal de los niveles de consumo del servicio por el dispositivo dado durante un período de medición que usando simplemente el vector medio μ_{dw} .

45 En realizaciones en las que el servicio es electricidad, los vectores temporales obtenidos son vectores temporales de niveles de corriente del suministro de electricidad. Igualmente, los vectores medios y las matrices de covarianza corresponden a niveles de corriente eléctrica. Adicionalmente, entonces, el paso S602 también puede incluir obtener un vector temporal de niveles de voltaje del suministro de electricidad para el grupo de dispositivos durante el período de medición actual, donde este vector temporal de niveles de voltaje corresponde al vector temporal obtenido de niveles totales de corriente consumida por el grupo de dispositivos durante el período de medición dado. El paso S608 puede incluir entonces determinar una indicación de consumo de potencia eléctrica por un dispositivo dado durante el período de medición actual en base al vector temporal de niveles de voltaje del suministro de electricidad para el grupo de dispositivos durante el período de medición actual y el vector temporal que representa niveles estimados de consumo de corriente por el dispositivo dado durante el período de medición dado. Por ejemplo, la estimación del consumo de potencia eléctrica por un dispositivo dado durante el período de medición actual se puede basar en un producto punto, o producto escalar, de estos dos vectores - en particular, si el vector temporal de niveles de voltaje del suministro de electricidad para el grupo de dispositivos durante el período de medición actual es un vector v y el vector temporal que representa niveles estimados de consumo de corriente por el

dispositivo dado durante el período de medición dado es un vector i , entonces la estimación del consumo de potencia eléctrica por el dispositivo dado durante el período de medición actual puede calcularse como

$$\frac{1}{N}(\mathbf{v} \cdot \mathbf{i}).$$

5

Procesado de subconjuntos de estados de grupo

En lo anterior, el módulo de cálculo de score 530 calcula un score S_j asociado con cada uno de los N_{gs} estados de grupo GS_j ($1 \leq j \leq N_{gs}$). El número de estados de grupo N_{gs} es exponencial en el número de dispositivos N_d , y así algunas realizaciones tienen la finalidad de evitar que haya que realizar una cantidad de cálculo, durante el tiempo de ejecución (es decir, al supervisar realmente), que está vinculada exponencialmente al número de dispositivos N_d . Para reducir la cantidad de procesado realizado por el procesador 26 al realizar el método 600, el módulo de cálculo de score 530 puede calcular un score S_j solamente para un subconjunto de los N_{gs} estados de grupo, es decir, no para todos los N_{gs} estados de grupo posibles, sino, en cambio, solamente para una selección o número concreto de los N_{gs} estados de grupo. El módulo de identificación de estado de grupo 550 puede identificar entonces el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos, donde este estado de grupo más probable se selecciona del subconjunto de estados de grupo para el que el módulo de cálculo de score 530 calculó un score S_j .

Por ejemplo, si el estado de grupo que se determinó más recientemente para el grupo de dispositivos era GS_a (es decir, se determinó que el grupo de dispositivos estaba en el estado de grupo GS_a en el período de medición precedente), entonces el módulo de cálculo de score 530, en lugar de determinar scores S_j para cada estado de grupo GS_j ($1 \leq j \leq N_{gs}$) como se ha expuesto anteriormente, puede determinar un score S_b para el estado de grupo GS_b si el (a,b) -ésimo elemento de la matriz de transición de grupo TG es más grande que un umbral predeterminado Ω , y puede no determinar un score S_c para el estado de grupo GS_c si el (a,c) -ésimo elemento de la matriz de transición de grupo TG es menor que el umbral predeterminado Ω , para $1 \leq c \leq N_{gs}$. En otros términos, el módulo de cálculo de score 530 puede calcular un score S_b para un estado de grupo GS_b ($1 \leq b \leq N_{gs}$) solamente si la probabilidad de que el grupo de dispositivos pase del estado de grupo actual GS_a al estado de grupo GS_b es suficientemente alta (una prueba/procesado de garantía), es decir, es superior a Ω . Esto puede usarse para reducir la cantidad de procesado que el procesador 26 lleva a cabo en tiempo real (en virtud de que tiene que precalcular las matrices de transición antes del tiempo de ejecución y almacenar los resultados en la memoria 28).

Adicional o alternativamente, si el estado de grupo que se determinó más recientemente para el grupo de dispositivos era GS_a (es decir, se determinó que el grupo de dispositivos estaba en el estado de grupo GS_a en el período de medición precedente), entonces el módulo de cálculo de score 530, en lugar de determinar scores S_j para cada estado de grupo GS_j ($1 \leq j \leq N_{gs}$) como se ha expuesto anteriormente, puede determinar un score S_b para un número predeterminado N de los estados de grupo GS_b , donde estos N estados de grupo GS_b para los que se determina un score son los estados de grupo que la matriz de transición de grupo TG indica que son los N estados de grupo siguientes más probables para el grupo de dispositivos dado que el grupo de dispositivos está actualmente en el estado de grupo GS_a . Por ejemplo, si hubiese que ordenar los (a,j) -ésimos elementos de TG ($1 \leq j \leq N_{gs}$) en orden descendente, entonces los estados de grupo considerados corresponderían a los primeros N elementos de dicho orden. En otros términos, dado que el estado de grupo que se determinó más recientemente para el grupo de dispositivos era GS_a , el módulo de cálculo de score 530 puede calcular un score para el estado de grupo GS_b si el (a,b) -ésimo elemento de la matriz de transición de grupo TG está en el N superior de los (a,j) -ésimos elementos de la matriz de transición de grupo TG ($1 \leq j \leq N_{gs}$). Aquí, N puede ser un valor constante predeterminado, o N puede ser un porcentaje predeterminado de N_{gs} . Así, los scores S_j solamente se calculan para un número predeterminado de estados de grupo. Esto puede usarse para reducir la cantidad de procesado que el procesador 26 lleva a cabo en tiempo real (en virtud de tener que precalcular las matrices de transición antes del tiempo de ejecución y almacenar los resultados en la memoria 28).

Adicional o alternativamente, si el estado de grupo que se determinó más recientemente para el grupo de dispositivos era GS_a (es decir, se determinó que el grupo de dispositivos estaba en el estado de grupo GS_a en el período de medición precedente), entonces el módulo de cálculo de score 530, en lugar de determinar scores S_j para cada estado de grupo GS_j ($1 \leq j \leq N_{gs}$) como se ha expuesto anteriormente, puede determinar un score S_b para un estado de grupo GS_b ($1 \leq b \leq N_{gs}$) si la transición del estado de grupo GS_a al estado de grupo GS_b implica a lo sumo un número umbral predeterminado V de dispositivos que cambian su respectivo estado de dispositivo. Por ejemplo, si V se pone de manera que sea 1, entonces esto es igual al supuesto de que, entre sucesivos períodos de medición, a lo sumo un solo dispositivo habrá cambiado su estado de dispositivo. Esto puede usarse para reducir la cantidad de procesado que el procesador 26 lleva a cabo en tiempo real (en virtud de considerar solamente un pequeño subconjunto de todos los estados de grupo posibles). Además o alternativamente, las realizaciones de la invención pueden usar métodos basados en muestreo para identificar un subconjunto de estados de grupo probables para los que el módulo de cálculo de score 530 ha de calcular scores S_j . Este muestreo puede ser muestreo en el sentido probabilístico en base a la matriz de transición de grupo TG. En particular, si el estado de grupo actual para el grupo de dispositivos es GS_a , entonces la fila de la matriz de transición de grupo TG que corresponde al grupo de dispositivos que actualmente están en estado de grupo GS_a define una distribución de

probabilidad sobre todo el conjunto de estados de grupo (dado que, o condicionalmente a, actualmente está en estado de grupo GS_a), es decir, cada elemento de dicha fila representa una probabilidad respectiva de una transición de estado de grupo del estado de grupo actual GS_a a un estado de grupo correspondiente. Realizando muestreo probabilístico en base a estas probabilidades, si es probable una transición de estado de grupo desde el estado de grupo GS_a al estado de grupo GS_b (incluyendo la posibilidad de la transición nula, es decir, que permanezca en el estado de grupo actual GS_a , de modo que $b=a$), entonces es probable que dicho estado de grupo GS_b se represente en el conjunto de muestras, mientras que si dicha transición de estado de grupo es improbable, entonces es improbable que dicho estado de grupo GS_b sea representado en el conjunto de muestras. Ésta es una propiedad deseable de un esquema para elegir un subconjunto de estados de grupo a probar. En otros términos, cada uno de los estados de grupo GS_j ($1 \leq j \leq Ngs$) tendrá una probabilidad asociada, representada en la fila de la matriz de transición de grupo TG que corresponde al estado de grupo actual GS_a , y el procesador 26 puede muestrear a partir del conjunto de estados de grupo GS_j ($1 \leq j \leq Ngs$) en base a estas probabilidades respectivas con el fin de determinar un subconjunto del conjunto de estados de grupo GS_j ($1 \leq j \leq Ngs$) para el que el módulo de cálculo de score 530 ha de calcular scores S_j . El número de muestras tomadas como parte del procedimiento de muestreo puede ser un número predeterminado de muestras (aunque el número de diferentes estados de grupo seleccionado por el muestreo puede ser menor que dicho número predeterminado debido a la naturaleza de muestreo de una distribución de probabilidad).

Dado que el número de estados de grupo Ngs es exponencial en el número de dispositivos Nd , las realizaciones de la invención pueden asumir que hay independencia entre los dispositivos. En este caso, dado que el grupo de dispositivos está actualmente en el estado de grupo GS_a , entonces el dispositivo D_j ($1 \leq i \leq Nd$) está actualmente en el estado de dispositivo $DS_{i,q(i)}$. Por lo tanto, las realizaciones de la invención pueden realizar muestreo a nivel de dispositivo para cada dispositivo D_i ($1 \leq i \leq Nd$). Este muestreo a nivel de dispositivo puede realizarse como se ha expuesto anteriormente con respecto a estados de grupo, pero en base a la matriz de transición TD_i en lugar de la matriz de transición de grupo TG - esto puede usarse para identificar un subconjunto de estados de dispositivo $DS_{i,k}$ ($1 \leq k \leq Nds(i)$) para el dispositivo D_i . El subconjunto de estados de grupo GS_j ($1 \leq j \leq Ngs$) para el que el módulo de cálculo de score 530 ha de calcular scores S_j incluye los estados de grupo que están formados en base a cada dispositivo D_i ($1 \leq i \leq Nd$) que está en alguno de los estados de dispositivo del subconjunto de estados de dispositivo que fue identificado por el muestreo para dicho dispositivo D_i .

Los métodos de muestreo anteriores son ejemplos de la denominada "filtración de partículas". Puede usarse otras formas de filtración concreta para seleccionar un subconjunto de estados de grupo para el que calcular scores S_j . Una explicación más detallada de filtración de partículas se expone en "A tutorial on Particle Filters for Online Nonlinear/Non Gaussian Bayesian Tracking", Arulampalam y colaboradores, IEE Transactions on Signal Processing, Vol. 50, nº 2, Feb 2002, cuya descripción completa se incorpora aquí por referencia.

Lo anterior son ejemplos de determinar un subconjunto de estados de grupo para el que calcular scores S_j , donde se considera que este subconjunto de estados de grupo contiene los estados de grupo siguientes más probables para el grupo de dispositivos dado que el grupo de dispositivos está en un estado de grupo actual concreto. Se apreciará que otros subconjuntos podrían seleccionarse consiguientemente para lograr esta finalidad.

Medios y covarianzas

Como se ha explicado anteriormente, cada dispositivo D_i ($1 \leq i \leq Nd$) puede tener $Nds(i)$ estados de dispositivo $DS_{i,1}, \dots, DS_{i,Nds(i)}$. Cada estado de dispositivo $DS_{i,k}$ ($1 \leq i \leq Nd, 1 \leq k \leq Nds(i)$) puede tener un vector medio asociado $P_{DS(i,k)}$ y una matriz de covarianza asociada $C_{DS(i,k)}$. Cada dispositivo D_i ($1 \leq i \leq Nd$) también puede tener su propia matriz de transición asociada TD_i . Dados estos datos, para un dispositivo D_i ($1 \leq i \leq Nd$), se puede calcular un vector medio $\mu_{D(i)}$ y una matriz de covarianza $C_{D(i)}$ para el dispositivo D_i en conjunto, como se expone a continuación.

El dispositivo D_i ($1 \leq i \leq Nd$) con sus estados $DS_{i,k}$ ($1 \leq k \leq Nds(i)$) y su matriz de transición asociada TD_i se puede ver como una cadena Markov. Entonces se puede calcular la distribución estacionaria de la cadena Markov. La distribución estacionaria puede definirse (de forma informal) comenzando la cadena en una configuración arbitraria, ejecutando la cadena a través de gran número de iteraciones y midiendo después el estado resultante. De forma más formal, un paso de la cadena Markov para el dispositivo D_i puede representarse usando multiplicación de matriz - en este caso, multiplicación por la transposición de la matriz de transición TD_i . Entonces, dado un vector de distribución inicial arbitrario s (donde el j -ésimo elemento de s representa una probabilidad de que el dispositivo D_i esté en el j -ésimo estado de dispositivo $DS_{i,j}$), la distribución estacionaria Q_i para la cadena Markov de dispositivo D_i se define por:

$$Q_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \{ (TD_i^T)^n s \} .$$

El j -ésimo elemento de la distribución estacionaria Q_i representa la probabilidad de que el dispositivo D_i esté en el estado de dispositivo $DS_{i,j}$ dado que no hay conocimiento reciente del estado del dispositivo D_i . Puede mostrarse que

esta distribución de limitación Q_i satisface $TD_i^T Q_i = Q_i$. Q_i por lo tanto, puede calcularse usando técnicas de álgebra lineal estándar.

El vector general $\mu_{D(i)}$ para el dispositivo D_i ($1 \leq i \leq Nd$) puede ser calculado como

$$\mu_{D(i)} = \sum_{j=1}^{Nds(i)} Q_i(j) \mu_{DS(i,j)},$$

donde $Q_i(j)$ es el j -ésimo elemento del vector Q_i .

La covarianza general $C_{D(i)}$ para el dispositivo D_i ($1 \leq i \leq Nd$) puede calcularse como

$$C_{D(i)} = \sum_{j=1}^{Nds(i)} Q_i(j) C_{DS(i,j)} + \sum_{1 \leq j < k \leq Nds(i)} Q_i(j) Q_i(k) (\mu_{DS(i,j)} - \mu_{DS(i,k)}) (\mu_{DS(i,j)} - \mu_{DS(i,k)})^T$$

Puede calcularse un vector medio para el sistema general (es decir, para el grupo de dispositivos)

$$\mu_{sys} = \sum_{i=1}^{Nd} \mu_{D(i)}$$

y también puede calcularse una matriz de covarianza para el sistema general (es decir, para el grupo de dispositivos)

$$C_{sys} = \sum_{i=1}^{Nd} C_{D(i)}$$

Estas cantidades pueden pregenerarse (es decir, antes de un tiempo de ejecución real o antes de un despliegue activo); alternativamente, el procesador 26 puede disponerse para generar y actualizar una o varias de estas cantidades durante el tiempo de ejecución (es decir, durante el despliegue/supervisión activo).

Operaciones de matriz

Como se ha mencionado anteriormente, en algunas realizaciones puede usarse la inversa de las matrices de covarianza $C_{GS(j)}$ ($1 \leq j \leq Ngs$) y/o la inversa de las matrices de covarianza $C_{DS(i,k)}$ ($1 \leq i \leq Nd$, $1 \leq k \leq Nds(i)$). En algunas realizaciones, las inversas se almacenan en la memoria 28 (como se representa en la figura 5). Sin embargo, el número de tales matrices inversas crece exponencialmente con el número de dispositivos - por ejemplo, si cada dispositivo tiene solamente 2 estados de dispositivo, entonces el número de estados de grupo Ngs es $2Nds$. En algunas realizaciones, la memoria 28 puede ser suficientemente grande para poder almacenar todas estas matrices. Sin embargo, en otras realizaciones, la memoria 28 puede ser más limitada, en cuyo caso el procesador 26 puede disponerse para calcular la inversa de una matriz de covarianza (en base a que la matriz de covarianza está almacenada en la memoria 28) como y cuando dicha inversa sea necesaria en lugar de almacenar dicha inversa en la memoria 28.

Sin embargo, el cálculo de una matriz inversa es computacionalmente caro. Si la dimensionalidad de la matriz es n , entonces la complejidad del cálculo de inversa es entre $O(n^2)$ y $O(n^3)$. Por lo tanto, las realizaciones de la invención pueden disponerse para ayudar a reducir la cantidad de procesamiento requerido al calcular una matriz inversa (por ejemplo, reduciendo la dimensionalidad de las matrices a invertir).

Independientemente de si las inversas de matriz están o no prealmacenadas en la memoria 28 o se calculan durante el tiempo de ejecución cuando sea necesario, la cantidad de procesamiento realizado por el procesador 26 al realizar el método 600 se puede reducir si se reduce la dimensionalidad de las matrices y vectores implicados. Esto es especialmente útil para realizaciones de la invención para las que los períodos de medición tienen lugar a una frecuencia alta y/o que tienen bajas capacidades de procesamiento.

A continuación se presenta cierta matemática para la reducción (o compresión) de dimensionalidad preliminar.

Se considera una matriz A cuyas filas son un conjunto de vectores ortonormales. Sea el número de vectores ortonormales N_{basis} . Sea la dimensionalidad de datos a procesar N_{full} . Dado que la finalidad es reducir la dimensionalidad de los datos a procesar, se supone que $N_{basis} < N_{full}$. Por lo tanto, la matriz A tiene N_{basis} filas y N_{full}

columnas. Puede considerarse que La matriz A es una transformación lineal o mapa desde el espacio dimensional más alto al dimensional inferior.

5 Dado que las filas de A son vectores ortonormales, se sigue que $AA^T = I_{\text{basis}}$, donde I_{basis} es el operador de identidad en el espacio de dimensionalidad reducido (es decir, es una matriz de identidad $N_{\text{basis}} \times N_{\text{basis}}$).

10 Para un vector de datos original (no comprimido) x, la compresión (o reducción de dimensionalidad) del vector de datos x da lugar a un vector de compresión r, donde $r = Ax$ (aquí, x se trata como una matriz de $N_{\text{full}} \times 1$ columnas). Esto puede usarse para determinar versiones comprimidas de los vectores medios $\mu_{\text{GS}(j)}$ ($1 \leq j \leq N_{\text{gs}}$) y/o $\mu_{\text{DS}(i,k)}$ ($1 \leq i \leq N_{\text{d}}, 1 \leq k \leq N_{\text{ds}(i)}$), a saber: $\mu'_{\text{GS}(j)} = A\mu_{\text{GS}(j)}$ y $\mu_{\text{DS}(i,k)} = A\mu_{\text{DS}(i,k)}$. Igualmente, para un vector x que es un vector temporal que representa niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante un período de medición, puede determinarse una versión comprimida de x, a saber: $x' = Ax$.

15 Igualmente, para tensores de rango 2 como la matriz de covarianza, la compresión (o reducción de dimensionalidad) puede calcularse de la siguiente manera. Una matriz de covarianza de rango pleno C se define como $C = E((x - \mu)(x - \mu)^T)$, donde E denota expectación. Una versión comprimida D de la matriz de covarianza C puede calcularse como

$$\begin{aligned} D &= E(A(x - \mu)(x - \mu)^T A^T) \\ &= E(A(x - \mu)(x - \mu)^T A^T) \\ &= AE((x - \mu)(x - \mu)^T)A^T \\ &= ACA^T \end{aligned}$$

20 Esto puede ser usado para determinar versiones comprimidas de las matrices de covarianza $C_{\text{GS}(j)}$ ($1 \leq j \leq N_{\text{gs}}$) y/o $C_{\text{DS}(i,k)}$ ($1 \leq i \leq N_{\text{d}}, 1 \leq k \leq N_{\text{ds}(i)}$), a saber: $C'_{\text{GS}(j)} = AC_{\text{GS}(j)}A^T$ y $C'_{\text{DS}(i,k)} = AC_{\text{DS}(i,k)}A^T$.

25 Así, la memoria 28 puede almacenar vectores medios comprimidos $\mu'_{\text{GS}(j)}$ ($1 \leq j \leq N_{\text{gs}}$) y/o $\mu'_{\text{DS}(i,k)}$ ($1 \leq i \leq N_{\text{d}}, 1 \leq k \leq N_{\text{ds}(i)}$) en lugar de los vectores medios no comprimidos originales $\mu_{\text{GS}(j)}$ y/o $\mu_{\text{DS}(i,k)}$, y puede almacenar matrices de covarianza comprimidas $C'_{\text{GS}(j)}$ ($1 \leq j \leq N_{\text{gs}}$) y/o $C'_{\text{DS}(i,k)}$ ($1 \leq i \leq N_{\text{d}}, 1 \leq k \leq N_{\text{ds}(i)}$) en lugar de las matrices de covarianza no comprimidas originales $C_{\text{GS}(j)}$ y/o $C_{\text{DS}(i,k)}$. El procesador 26, al recibir u obtener (en el paso S602) un vector x que es un vector temporal que representa niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante un período de medición, puede convertir dicho vector x a un vector comprimido x'. El procesador 26 puede realizar entonces cualquier procesamiento mencionado usando los vectores medios comprimidos $\mu'_{\text{GS}(j)}$ y/o $\mu_{\text{DS}(i,k)}$, las matrices de covarianza comprimidas $C'_{\text{GS}(j)}$ y/o $C'_{\text{DS}(i,k)}$ y el vector comprimido x' en lugar de sus contrapartidas no comprimidas. Dado que la dimensionalidad de las varias matrices y vectores se ha reducido, la cantidad de procesamiento requerido también se reduce.

35 Dado que esta forma de proceso de compresión implica pérdida de datos, la compresión es necesariamente una aproximación. La opción de vectores de fila para la matriz A determina la extensión en que es una buena aproximación.

40 Como ejemplo, algunas realizaciones utilizan la base Fourier para la matriz A, es decir, las filas de la matriz A son diferentes componentes Fourier. Podría elegirse cualquier subconjunto del espacio Fourier pleno como el conjunto base (es decir, las filas para la matriz A).

45 En realizaciones en las que el servicio es electricidad cíclica, se espera que los componentes de frecuencia más bajo sean los más útiles y, por lo tanto, los componentes Fourier usados se pueden basar en componentes de frecuencia más baja, ignorando los componentes de frecuencia más alta por encima de una cierta frecuencia de corte. En particular, en algunas realizaciones de la invención, para la i-ésima fila de A ($0 \leq i \leq N_{\text{basis}}$), el j-ésimo elemento de la i-ésima fila ($0 \leq j \leq N_{\text{full}}$) (es decir, el (i,j)-ésimo elemento de A, representado como A_{ij}) se puede poner como:

$$A_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N_{\text{full}}}} & j = 0 \\ \sin\left(\frac{\pi(i+1)j}{N_{\text{full}}}\right) \sqrt{\frac{2}{N_{\text{full}}}} & j \text{ impar} \\ \cos\left(\frac{\pi ij}{N_{\text{full}}}\right) \sqrt{\frac{2}{N_{\text{full}}}} & j > 0 \text{ y } j \text{ par} \end{cases}$$

Aquí, se supone que los índices de matriz empiezan en 0 y se supone que se toman N_{full} muestras por ciclo eléctrico.

5 se ha determinado que un buen valor para N_{basis} es 11, de modo que se usan 5 componentes seno, 5 componentes coseno y el componente DC.

Se apreciará que se podría usar en cambio otros componentes base Fourier. Igualmente, se apreciará que se podría usar otros conjuntos de vectores ortonormales como las filas para la matriz A (por ejemplo, vectores para una transformada de coseno, vectores para una transformada de seno, o alguna otra base).

10 Como se explica a continuación, en algunas realizaciones, puede usarse análisis de componentes principales (PCA) para ayudar a determinar las filas de la matriz A.

15 En una realización, se puede llevar a cabo PCA en base a los datos reales en vivo. En particular, se supone que el procesador 26 ha recibido u obtenido K vectores $x(t)$ ($t=1, \dots, K$) (por ejemplo, en casos respectivos del paso S602), donde cada vector $x(t)$ es un vector temporal (de N muestras) que representa niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante un período de medición. Una estimación no sesgada de la matriz de covarianza C de toda la población para los vectores $x(t)$ se define como

$$20 \quad C = \frac{1}{K-1} \sum_{t=1}^K (x(t) - \mu)(x(t) - \mu)^T \text{ donde } \mu = \frac{1}{K} \sum_{t=1}^K x(t).$$

Hay varios métodos de calcular realmente la matriz de covarianza C en la práctica, de los que se puede utilizar cualquiera.

25 Habiendo calculado la matriz de covarianza C, la matriz de covarianza puede ser diagonalizada. En particular, la matriz de covarianza C será en general una matriz definida semipositiva simétrica, es decir, tendrá un conjunto de vectores propios reales y valores propios semipositivos reales. Esto quiere decir que la matriz puede escribirse en la forma $C = U\Lambda U^T$, donde U es una matriz ortogonal cuyas columnas son dichos vectores propios reales normalizados y Λ es una matriz diagonal cuya diagonal contiene dichos valores propios semipositivos reales. Las matrices U y Λ pueden calcularse usando cualquier método conocido.

30 Cada vector propio (una columna de U) se puede considerar como una dirección que explica una cierta cantidad de varianza en torno a la media de los vectores $x(t)$. La fracción de la varianza explicada por un vector propio e_i que tiene un valor propio correspondiente λ_i es

$$35 \quad f_i = \frac{\lambda_i}{\sum_j \lambda_j},$$

40 donde la suma se toma sobre todos los valores propios. Por lo tanto, el vector propio con el valor propio superior es el mejor al explicar la variación y así hacia abajo en orden. Los N_{basis} vectores ortonormales que forman las filas de la matriz A pueden elegirse, por lo tanto, para que sean los N_{basis} vectores propios correspondientes a (o que tienen) los N_{basis} valores propios más altos.

45 Se apreciará que el PCA anterior se puede llevar a cabo cada vez que se realiza el paso S602 y se recibe u obtiene un nuevo vector $x(t)$. Alternativamente, PCA anterior se puede llevar a cabo con menos frecuencia (para reducir la cantidad de procesado implicado), por ejemplo, una vez cada R veces que se lleve a cabo el paso S602, donde R es un número predeterminado.

50 En el PCA anterior, en lugar de usar una matriz de covarianza C derivada de los datos de entrada "en vivo" $x(t)$, algunas realizaciones pueden usar la matriz de covarianza C_{sys} que puede calcularse usando los métodos antes descritos. El uso de C_{sys} de esta forma puede ayudar a evitar posibles problemas/errores que podrían introducirse si los datos de entrada $x(t)$ no son verdaderamente representativos del grupo de aparatos en general. Experimentos han indicado que el uso de C_{sys} de esta forma para determinar la matriz A es preferible al primer método PCA descrito anteriormente, y también al método base Fourier descrito anteriormente.

55 En general, con los métodos anteriores, la matriz A puede pregenerarse (es decir, antes del tiempo de ejecución real o antes del despliegue activo), de modo que las versiones comprimidas de los vectores medios y matrices de covarianza también pueden pregenerarse y almacenarse en la memoria 28. Alternativamente, el procesador 26 puede disponerse para generar y/o actualizar la matriz A durante el tiempo de ejecución (es decir, durante el despliegue activo), en cuyo caso las versiones comprimidas de los vectores medios y las matrices de covarianza pueden generarse como y cuando sea necesario y/o como y cuando la matriz A sea actualizada.

60

Se apreciará que las realizaciones de la invención pueden implementarse usando varios sistemas diferentes de procesado de información. En particular, aunque la figura 3 y su explicación proporcionan una arquitectura de sistema ejemplar, se presentan simplemente con el fin de proporcionar una referencia útil al explicar varios aspectos de la invención. Naturalmente, la descripción de la arquitectura se ha simplificado a efectos de explicación, y es solamente uno de muchos diferentes tipos de arquitectura que pueden usarse para las realizaciones de la invención. Se apreciará que los límites entre bloques lógicos son simplemente ilustrativos y que las realizaciones alternativas pueden unir bloques o elementos lógicos, o pueden imponer una descomposición alternativa de la funcionalidad en varios bloques o elementos lógicos.

Se apreciará que, en la medida en que las realizaciones de la invención son implementadas por un programa de ordenador, un medio de almacenamiento y un medio de transmisión que soportan el programa de ordenador forman aspectos de la invención. El programa de ordenador puede tener una o varias instrucciones de programa, o código de programa, que, cuando son ejecutados por un ordenador, llevan a cabo una realización de la invención. El término "programa", en el sentido en que se usa aquí, puede ser una secuencia de instrucciones diseñada para ejecución en un sistema informático, y puede incluir una subrutina, una función, un procedimiento, un método objeto, una implementación objeto, una aplicación ejecutable, un applet, un servlet, código fuente, código objeto, una librería compartida, una librería enlazada dinámica, y/u otras secuencias de instrucciones diseñadas para ejecución en un sistema informático. El medio de almacenamiento puede ser un disco magnético (tal como una unidad de disco duro o un disco floppy), un disco óptico (tal como un CD-ROM, un DVD-ROM o un disco BluRay), o una memoria (tal como una ROM, una RAM, EEPROM, EPROM, memoria Flash o un dispositivo de memoria portátil/removible), etc. El medio de transmisión puede ser una señal de comunicaciones, emisión de datos, un enlace de comunicaciones entre dos o más ordenadores, etc.

Apéndice A

Considérese el vector E que nos indica el error total de la estimación si usamos los medios de cada dispositivo en combinación (para facilidad de notación quitamos la dependencia del tiempo de nuestros términos en lo que sigue). Sea un índice que puede representar dispositivos en el conjunto A de dispositivos, y sea $\mu\{i\}$ el vector medio para el estado de dispositivo actualmente identificado para el i-ésimo dispositivo, de modo que

$$E = x - \sum_{i \in A} \mu\{i\}$$

E está formado por desviaciones del consumo de servicio real de cada uno de los dispositivos a partir de sus medias $\mu\{i\}$. Sea $x\{i\}$ el vector temporal de uso de servicio debido al dispositivo i. Así

$$E = \sum_{i \in A} (x\{i\} - \mu\{i\})$$

Representamos los errores de dispositivo (es decir, $x\{i\} - \mu\{i\}$) por $E\{i\}$. Por lo tanto, podemos remodelar el problema de hallar el consumo de servicio de máxima probabilidad para un dispositivo dado el consumo de servicio total como el problema de hallar los errores de máxima probabilidad $E\{i\}$ sujetos a

$$\sum_{i \in A} E\{i\} = E$$

La probabilidad de un conjunto concreto de errores independientes es el producto de la probabilidad de cada error de dispositivo constituyente. Así la distribución de probabilidad es

$$f_E = \frac{1}{N} \prod_{i \in A} e^{-\frac{1}{2} E\{i\}^T C\{i\}^{-1} E\{i\}}$$

donde $C\{i\}$ es la matriz de covarianza para el dispositivo i.

Si tomamos $P_E = -\ln(f_E)$, entonces obtenemos

$$P_E = \sum_{i \in A} \frac{1}{2} E\{i\}^T C\{i\}^{-1} E\{i\} + \ln N$$

Nuestra intención será minimizar P_E teniendo en cuenta las limitaciones de los dispositivos. El segundo término puede ignorarse porque no depende de $E\{i\}$ y aunque N depende de $C\{i\}$, dado que ya hemos decidido acerca de los estados de dispositivo, las matrices de covarianza $C\{i\}$ no son variables. Enmarcando esto en términos de optimización familiares, usamos una formulación de multiplicador Lagrange. Es decir, buscamos el mínimo de la función relacionada

5

$$P'_E = \sum_{i \in A} \frac{1}{2} E\{i\}^T C\{i\}^{-1} E\{i\} + \lambda \left(\sum_{i \in A} E\{i\} - E \right)^2$$

Aquí λ es un multiplicador Lagrange no determinado. P'_E es una función de cada componente de cada uno de los vectores. Es decir, es una función de $N|A|$ variables independientes. Buscamos los puntos estacionarios de la función tomando el gradiente con respecto a cada una de estas variables y poniéndolo a 0.

10

$$\frac{\partial P'_E}{\partial E\{i\}} = C\{i\}^{-1} E\{i\} + 2\lambda \left(\sum_{i \in A} E\{i\} - E \right) = 0 \quad \forall i \in A$$

15 el primer término depende de i , pero el segundo término no dado que i solamente aparece como una variable simulada. Llamamos a este segundo término $-\beta$. Reordenando $E\{i\}$ obtenemos

$$E\{i\} = C\{i\}\beta$$

20 Usamos ahora la ecuación de restricción que nos ayuda a resolver β .

$$\sum_{i \in A} E\{i\} = E = \left(\sum_{i \in A} C\{i\} \right) \beta$$

$$\beta = \left(\sum_{i \in A} C\{i\} \right)^{-1} E$$

Finalmente, sustituyendo de nuevo β . Obtenemos nuestro resultado para $E\{i\}$

25

$$E\{i\} = C\{i\} \left(\sum_{j \in A} C\{j\} \right)^{-1} E$$

y, por lo tanto, el error de máxima probabilidad para $x\{i\}$

30

REIVINDICACIONES

1. Un método de identificar el consumo de un servicio por dispositivos en un grupo de dispositivos, donde cada dispositivo del grupo de dispositivos tiene una pluralidad de estados de dispositivo y está dispuesto para consumir el servicio, incluyendo el método, para un período de medición dado en un suministro del servicio al grupo de dispositivos:

obtener un vector temporal de niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante el período de medición dado;

para cada uno de una pluralidad de estados de grupo, donde cada estado de grupo corresponde a cada dispositivo en el grupo de dispositivos que está en un estado de dispositivo correspondiente, calcular un score que representa una probabilidad de que el grupo de dispositivos esté en el estado de grupo durante el período de medición dado, donde dicho score se basa en una probabilidad de que el vector obtenido tenga lugar en base a un modelo estadístico multivariante, correspondiente al estado de grupo, del nivel de consumo total del servicio por el grupo de dispositivos durante un período de medición en el suministro del servicio al grupo de dispositivos cuando el grupo de dispositivos está en el estado de grupo; e

identificar, en base al menos en parte a los scores calculados, un estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos;

caracterizado porque el modelo estadístico multivariante para un estado de grupo se basa en:

un vector medio predeterminado, μ , que representa una media de un grupo de vectores, siendo cada vector en el grupo de vectores un vector temporal, correspondiente al vector temporal obtenido, de niveles totales de consumo del servicio por el grupo de dispositivos durante un período de medición respectivo cuando el grupo de dispositivos está en el estado de grupo; y

una matriz de covarianza predeterminada, C, que representa una matriz de covarianza para el grupo de vectores.

2. El método de la reivindicación 1, en el que el modelo estadístico multivariante para un estado de grupo se basa en un modelo gaussiano multivariante representable por una función de densidad de probabilidad $f(x)$, donde

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{N/2} |C|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)^T C^{-1}(x-\mu)},$$

donde x representa el vector temporal obtenido, N es la longitud del vector medio predeterminado, y |C| es el determinante de la matriz de covarianza predeterminada C.

3. El método de alguna de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho score se calcula en base al valor $\alpha(x-\mu)^T C^{-1}(x-\mu) + \beta \ln(|C|) + \gamma$, donde α , β y γ son constantes.

4. El método de alguna de las reivindicaciones precedentes, incluyendo determinar, en base al modelo estadístico multivariante del estado de grupo más probable identificado, un vector temporal que representa niveles estimados de consumo del servicio por un dispositivo dado en el grupo de dispositivos durante el período de medición dado.

5. El método de la reivindicación 4, donde:

el modelo estadístico multivariante para un estado de grupo incluye un vector medio predeterminado para el dispositivo dado que representa una media de un conjunto de vectores, siendo cada vector en el conjunto de vectores un vector temporal, correspondiente al vector temporal obtenido, de niveles de consumo del servicio por el dispositivo dado durante un período de medición respectivo cuando dicho dispositivo está en el estado de dispositivo correspondiente al estado de grupo; y

donde el vector temporal determinado que representa niveles estimados de consumo del servicio por el dispositivo dado durante el período de medición dado es el vector medio predeterminado para el dispositivo dado del modelo estadístico multivariante del estado de grupo más probable identificado.

6. El método de la reivindicación 4, donde:

el modelo estadístico multivariante para un estado de grupo incluye, para cada dispositivo, d, en el grupo de dispositivos:

un vector medio predeterminado correspondiente, μ_d , que representa una media de un conjunto de vectores, siendo cada vector en el conjunto de vectores un vector temporal, correspondiente al vector temporal obtenido, de niveles

de consumo del servicio por el dispositivo d durante un período de medición respectivo cuando dicho dispositivo está en el estado de dispositivo correspondiente al estado de grupo; y

5 una matriz de covarianza predeterminada correspondiente, C_d , que representa una matriz de covarianza del conjunto de vectores;

10 donde el vector temporal que representa niveles estimados de consumo del servicio por el dispositivo dado durante el período de medición dado se determina en base al vector temporal obtenido y los vectores medios predeterminados correspondientes a los dispositivos en el grupo de dispositivos y las matrices de covarianza predeterminadas correspondientes a los dispositivos en el grupo de dispositivos.

7. El método de la reivindicación 6, donde el vector temporal que representa niveles estimados de consumo del servicio por el dispositivo dado durante el período de medición dado se determina en base a la fórmula:

$$15 \quad x_i = C_i \left(\sum_{d \in D} C_d \right)^{-1} \left(x - \sum_{d \in D} \mu_d \right) + \mu_i$$

donde:

20 x representa el vector temporal obtenido;

D representa el grupo de dispositivos;

μ_i representa el vector medio predeterminado correspondiente al dispositivo dado;

25 C_i representa la matriz de covarianza predeterminada correspondiente al dispositivo dado; y

x_i representa el vector temporal que representa niveles estimados de consumo del servicio por el dispositivo dado durante el período de medición dado.

30 8. El método de la reivindicación 7, donde

el vector medio predeterminado μ es la suma de los vectores medios predeterminados correspondientes a los dispositivos en el grupo de dispositivos; y

35 la matriz de covarianza predeterminada C es la suma de las matrices de covarianza predeterminadas correspondientes a los dispositivos en el grupo de dispositivos.

40 9. El método de alguna de las reivindicaciones precedentes incluyendo además identificar que el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos no es uno de la pluralidad de estados de grupo, y opcionalmente donde el estado de grupo más probable para el grupo de dispositivos es identificado como no siendo uno de la pluralidad de estados de grupo en base a una comparación de los scores calculados, o una función de los scores calculados, con un umbral predeterminado.

45 10. El método de alguna de las reivindicaciones precedentes, incluyendo seleccionar la pluralidad de estados de grupo entre un conjunto mayor de estados de grupo posibles para el grupo de dispositivos.

50 11. El método de la reivindicación 10, en el que la pluralidad de estados de grupo se selecciona como un conjunto de estados de grupo más probables para el grupo de dispositivos del conjunto de estados de grupo posibles para el grupo de dispositivos en base a un estado de grupo actualmente identificado para el grupo de dispositivos;

donde, opcionalmente, la pluralidad de estados de grupo se selecciona usando un proceso de filtración de partículas;

55 y/o donde, opcionalmente, la pluralidad de estados de grupo se selecciona usando un conjunto de probabilidades de transición, donde además opcionalmente cada probabilidad de transición indica, para un primer estado de grupo correspondiente y un segundo estado de grupo correspondiente, una probabilidad de que el grupo de dispositivos estará en el segundo estado de grupo durante un período de medición si el grupo de dispositivos estaba en el primer estado de grupo durante un período de medición inmediatamente precedente.

60 12. Un método de determinar una indicación de un nivel de consumo de electricidad por un dispositivo dado, siendo el dispositivo dado un dispositivo en un grupo de dispositivos cada uno de los cuales está dispuesto para consumir

electricidad, incluyendo el método, durante un período de medición dado en un suministro de electricidad al grupo de dispositivos:

- 5 obtener un vector temporal de los niveles totales de corriente consumida por el grupo de dispositivos durante el período de medición dado; y **caracterizado por** determinar un vector temporal correspondiente que representa niveles estimados de consumo de corriente por el dispositivo dado durante el período de medición dado en base a la fórmula:

$$x_i = C_i \left(\sum_{d \in D} C_d \right)^{-1} \left(x - \sum_{d \in D} \mu_d \right) + \mu_i$$

- 10 donde:
- x representa el vector temporal obtenido;
- 15 D representa el grupo de dispositivos;
- para cada dispositivo d en el grupo de dispositivos, μ_d es un vector medio predeterminado correspondiente que representa una media de un conjunto de vectores, siendo cada vector en el conjunto de vectores un vector temporal, correspondiente al vector temporal obtenido, de niveles de consumo de la corriente por el dispositivo d durante un período de medición respectivo y C_d es una matriz de covarianza predeterminada correspondiente que representa una matriz de covarianza del conjunto de vectores;
- 20 μ_i representa el vector medio predeterminado correspondiente al dispositivo dado;
- 25 C_i representa la matriz de covarianza predeterminada correspondiente al dispositivo dado; y
- x_i representa el vector temporal que representa niveles estimados de consumo de corriente por el dispositivo dado durante el período de medición dado.

- 30 13. El método de la reivindicación 12, incluyendo:
- obtener un vector temporal de niveles de voltaje del suministro de electricidad al grupo de dispositivos durante el período de medición correspondiente al vector temporal obtenido de niveles totales de corriente consumida por el grupo de dispositivos durante el período de medición dado; y
- 35 determinar una indicación de consumo de potencia eléctrica por el dispositivo dado durante el período de medición dado en base al vector temporal de los niveles de voltaje del suministro de electricidad al grupo de dispositivos durante el período de medición dado y el vector temporal que representa los niveles estimados de consumo de corriente por el dispositivo dado durante el período de medición dado.

- 40 14. Un método de permitir la identificación de consumo de un servicio por dispositivos en un grupo de dispositivos, debiendo efectuarse dicha identificación realizando un método según alguna de las reivindicaciones precedentes, incluyendo:
- 45 generar y proporcionar dicho vector medio predeterminado, μ , que representa una media de dicho grupo de vectores; y
- generar y proporcionar dicha matriz de covarianza predeterminada, C, que representa una matriz de covarianza de dicho grupo de vectores.

- 50 15. El método de la reivindicación 14, donde, para un estado de grupo dado:
- por cada dispositivo, d, en el grupo de dispositivos, hay:
- 55 un vector medio predeterminado correspondiente, μ_d , que representa una media de un conjunto de vectores, siendo cada vector en el conjunto de vectores un vector temporal de los niveles de consumo del servicio por el dispositivo d durante un período de medición respectivo cuando dicho dispositivo está en el estado de dispositivo correspondiente al estado de grupo dado; y
- 60 una matriz de covarianza predeterminada correspondiente, C_d , que representa una matriz de covarianza del conjunto de vectores;

donde generar dicho vector medio predeterminado, μ , para dicho estado de grupo incluye generar μ como una suma de los vectores medios predeterminados μ_d correspondientes a los dispositivos en el grupo de dispositivos; y

5 donde generar dicha matriz de covarianza predeterminada, C, incluye generar C como una suma de las matrices de covarianza predeterminadas C_d correspondientes a los dispositivos en el grupo de dispositivos.

16. Un aparato dispuesto para llevar a la práctica un método según alguna de las reivindicaciones precedentes.

10 17. Un programa de ordenador que, cuando es ejecutado por un procesador, hace que el procesador ejecute un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15.

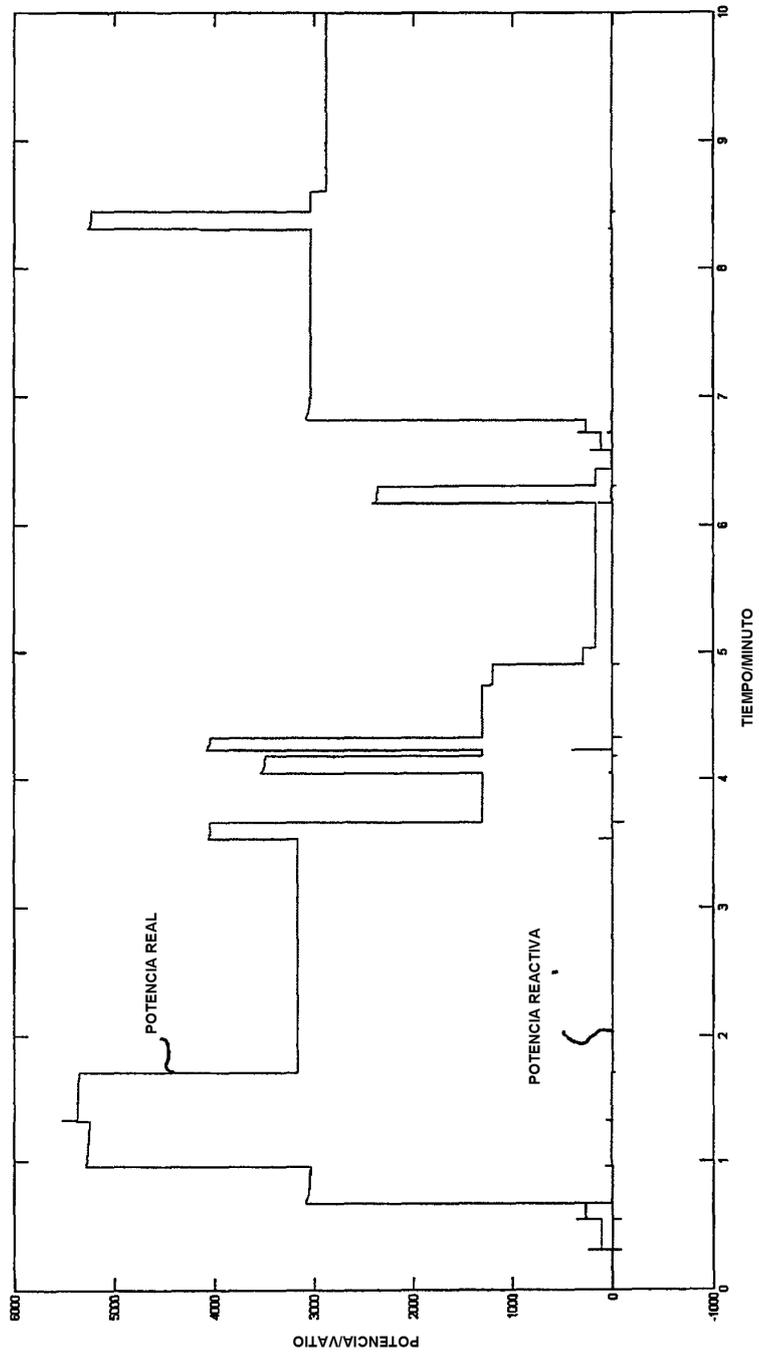


FIGURA 1

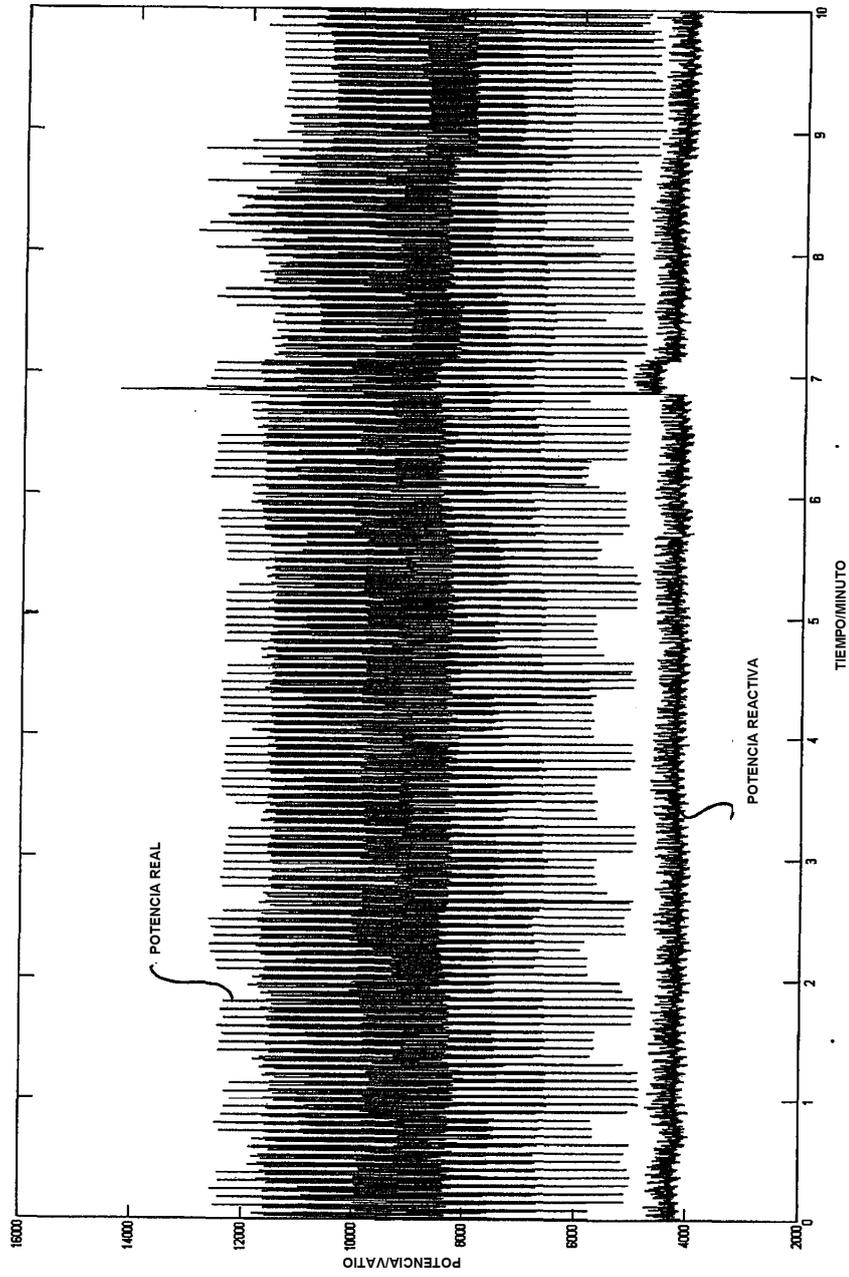


FIGURA 2

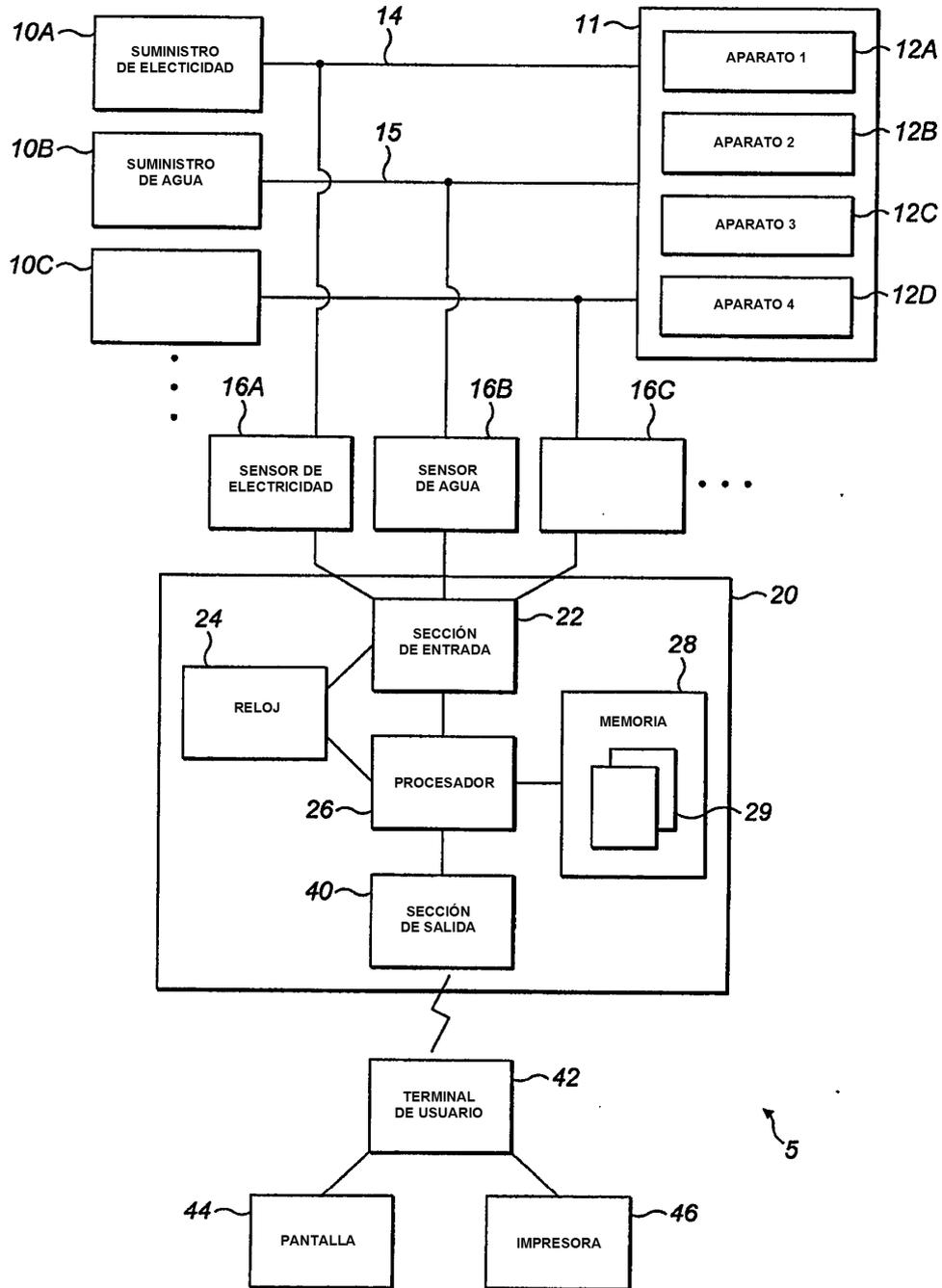


FIGURA 3

FIGURA 4a

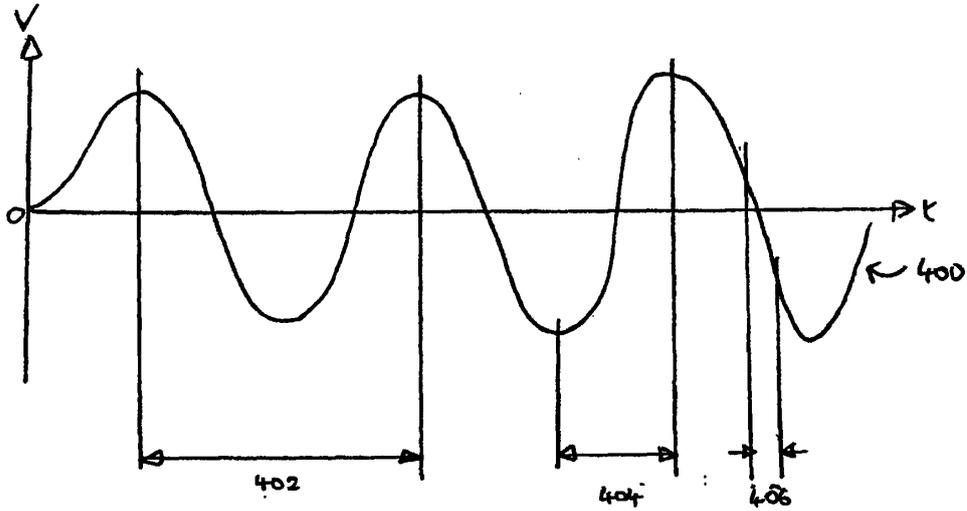


FIGURA 4b

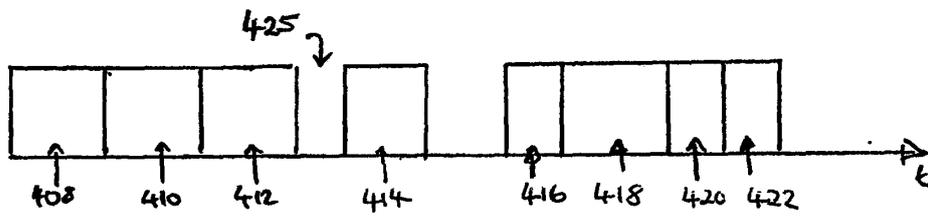


FIGURA 4c

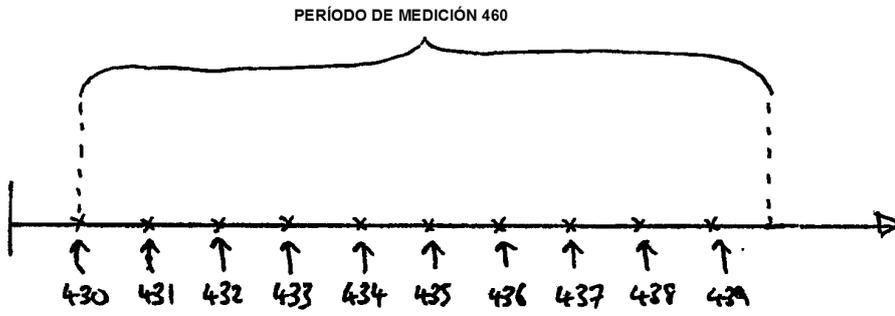
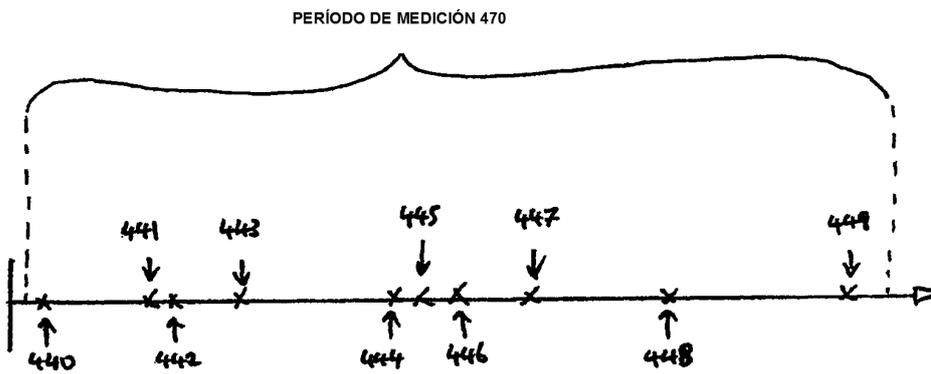


FIGURA 4d



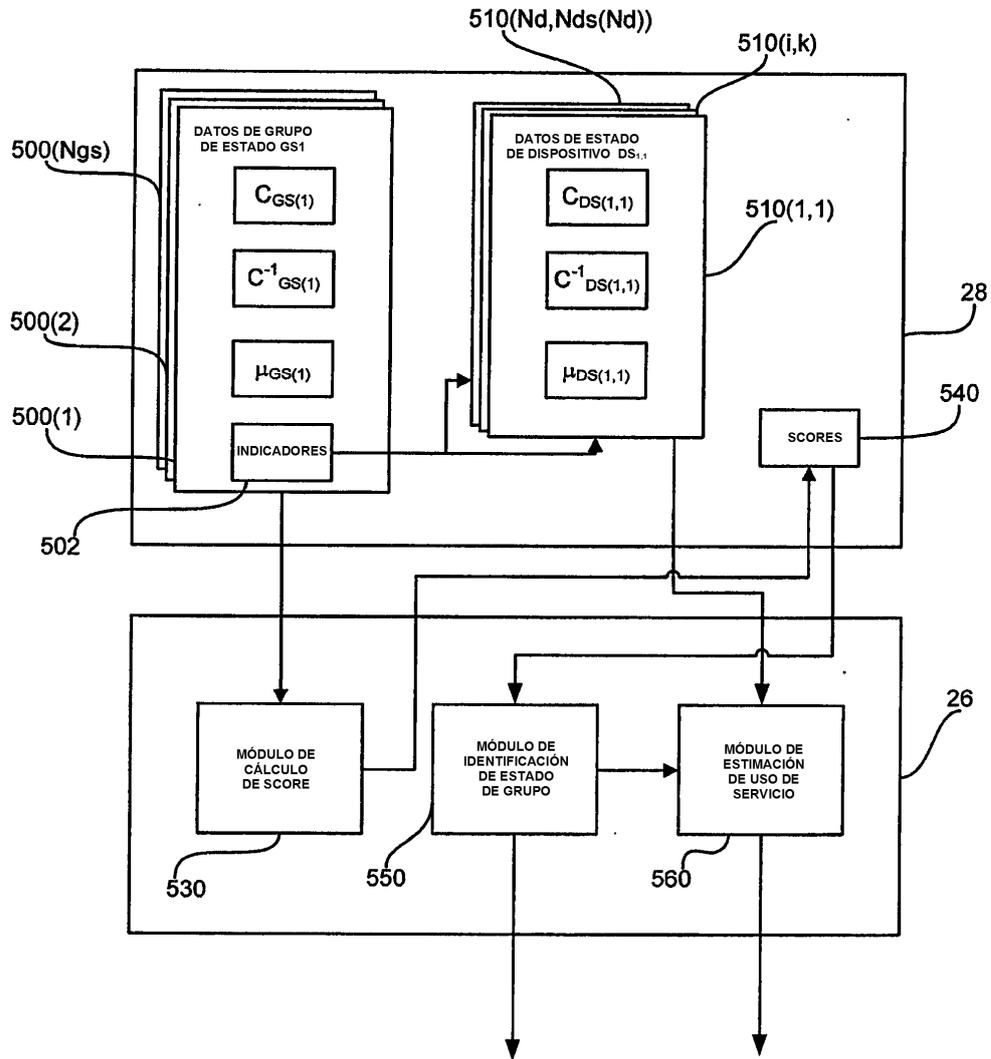


FIGURA 5

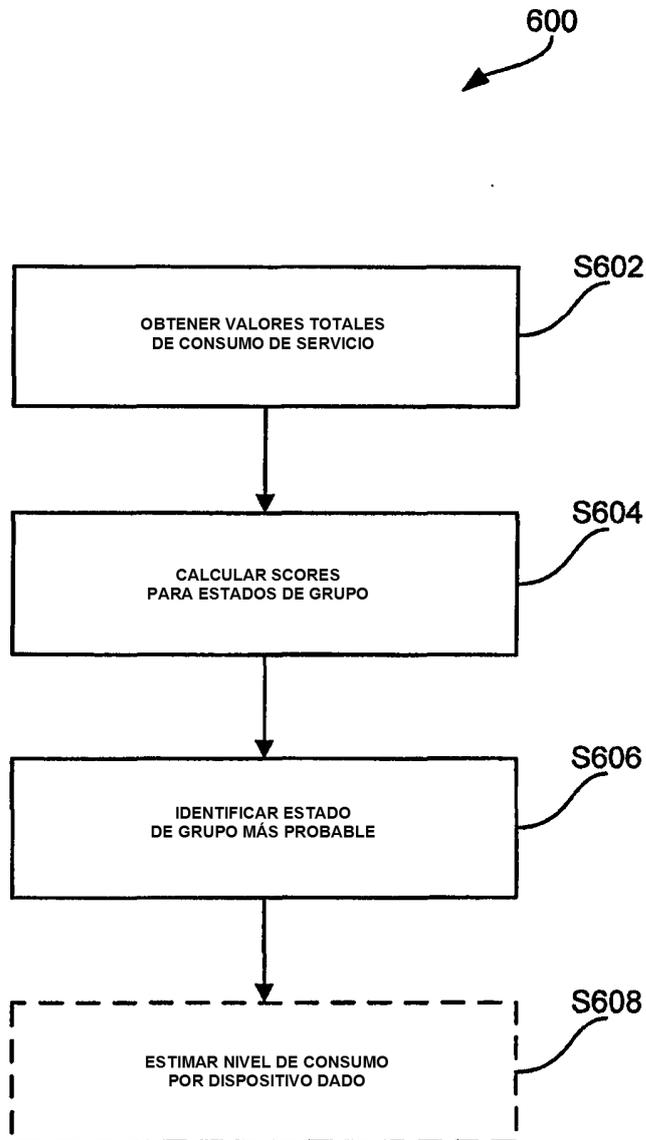


FIGURA 6