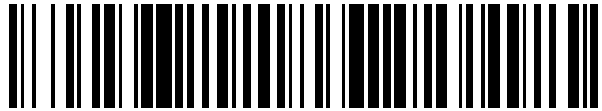


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 428 375**

51 Int. Cl.:

H05B 37/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2007 E 07705946 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2013 EP 1994800**

54 Título: **Sistema de iluminación con unidades de iluminación usando comunicación óptica**

30 Prioridad:

07.03.2006 EP 06110751

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

07.11.2013

73 Titular/es:

**KONINKLIJKE PHILIPS N.V. (100.0%)
High Tech Campus 5
5656 AE Eindhoven, NL**

72 Inventor/es:

**BUDE, WOLFGANG OTTO y
ERDMANN, BOZENA**

74 Agente/Representante:

ZUAZO ARALUZE, Alexander

ES 2 428 375 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

Sistema de iluminación con unidades de iluminación usando comunicación óptica

5 La invención se refiere a un sistema de iluminación, a una unidad de iluminación para su uso en un sistema de iluminación y a un método para controlar un sistema de iluminación.

Se entiende que un sistema de iluminación en el presente contexto significa un sistema que comprende una pluralidad de unidades de iluminación, que están conectadas de manera que pueden controlarse apropiadamente.

10 Un sistema de iluminación de este tipo puede instalarse en un edificio y puede comprender, adicionalmente a las unidades de iluminación (lámparas) instaladas también otros elementos, tales como elementos de control (por ejemplo interruptores, sensores, controladores avanzados) y similares.

15 El documento WO 2004/023849A1 da a conocer un sistema de control de iluminación inalámbrico de RF de dos vías, que tiene múltiples unidades de control de iluminación y al menos una unidad de control remoto. Cada uno de los dispositivos puede comunicarse con el otro a través de enlaces de RF en una red orientada maestra-esclava, en la que una de dichas unidades de control de iluminación se configura como maestra y las unidades de control de iluminación restantes se configuran como esclavas. Las unidades de control de iluminación pueden emparejarse con la al menos una unidad de control remoto para permitir una reconfiguración del sistema de iluminación. El sistema de control de iluminación según el documento puede comprender además uno o más sensores separados.

25 El documento WO 03/077610A1 da a conocer un método para inicializar componentes de sistema de un sistema de iluminación controlado de manera inalámbrica. El sistema puede comprender unidades de iluminación, controles remotos y sensores. El método se usa para inicializar tanto controles remotos como otros componentes de sistema y por tanto permite una configuración simplificada del sistema de iluminación.

30 El documento WO-A-2005/096677 describe un sistema de iluminación, que puede usarse en oficinas y salas de conferencia. Hay unidades de iluminación (lámparas) instaladas en una sala en posiciones espaciales conocidas. Cada unidad de iluminación comprende una conexión por cable o una conexión inalámbrica para comunicarse con una unidad de controlador. La unidad de controlador está programada para ejecutar un proceso de activación automática. En primer lugar, se apagan todas las unidades de iluminación, luego se comunica una instrucción de "encender" a una primera de las unidades de iluminación para encender esta unidad de iluminación. El controlador comprende una célula que mide la luz, mediante la que recibe la luz emitida desde las unidades de iluminación. La posición espacial de las unidades de iluminación se deduce de la dirección de luz percibida y el nivel de intensidad percibido o cambios de intensidad de luz. De esta manera, puede configurarse un sistema de iluminación dentro de un edificio con varias salas, en el que se instala una unidad de controlador en cada sala.

40 Sin embargo, la configuración de un sistema de iluminación todavía requiere algunas etapas de configuración que no están automatizadas en los sistemas actuales. Esto es especialmente cierto para un sistema de iluminación en el que es necesario asegurar la comunicación mediante encriptación, lo que requiere que la clave de encriptación esté disponible para cada unidad de iluminación de una manera segura.

45 Por tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de iluminación, una unidad de iluminación y un método para controlar un sistema de iluminación, que permita una reconfiguración fácil y automática.

50 Por consiguiente, la presente invención proporciona un sistema de iluminación, que comprende una pluralidad de unidades de iluminación, comprendiendo cada unidad de iluminación un elemento de iluminación para generar luz, una unidad de control de iluminación para controlar la salida de luz de dicho elemento de iluminación, una unidad de comunicación para enviar y recibir señales de comunicación a través de un medio de comunicación, un receptor óptico para recibir la luz desde otras unidades de iluminación y una unidad de controlador conectada a dicho receptor óptico, unidad de comunicación y unidad de control de iluminación.

55 La invención también se refiere a una unidad de iluminación para su uso en un sistema según una de las reivindicaciones 1-2, comprendiendo dicha unidad de iluminación un elemento de iluminación para generar luz, una unidad de control de iluminación para controlar la salida de dicho elemento de iluminación, una unidad de comunicación para enviar y recibir señales de comunicación a través de un medio de comunicación, un receptor óptico para recibir luz desde otras unidades de iluminación y una unidad de controlador conectada a dicho receptor óptico, unidad de comunicación y unidad de control de iluminación.

60 La invención también se refiere a un elemento de control para su uso en un sistema de iluminación, comprendiendo dicho elemento un elemento de función para realizar una función de conmutación, de control o de sensor, una unidad de comunicación para enviar y recibir señales de comunicación a través de un medio de comunicación y un elemento de iluminación para generar luz y una unidad de control de iluminación para controlar la salida de dicho elemento de iluminación y/o un receptor óptico para recibir luz y una unidad de controlador conectada a dicho elemento de función, receptor óptico, unidad de comunicación y unidad de control de iluminación.

65

Además la invención se refiere a un método para controlar un sistema de iluminación, comprendiendo dicho sistema de iluminación una pluralidad de unidades de iluminación, comprendiendo cada una de dichas unidades de iluminación un elemento de iluminación para generar luz, una unidad de comunicación para una comunicación a través de un medio de comunicación y un receptor óptico para recibir luz desde otras unidades de iluminación, en el que dichas unidades de iluminación se comunican a través de dicho medio de comunicación, y en el que, al menos en una fase de configuración, al menos una de dichas unidades de iluminación envía información haciendo funcionar dicho elemento de iluminación de una manera controlada, y al menos una unidad de iluminación adicional recibe dicha información observando dicha luz generada.

Un sistema de iluminación según la invención comprende una pluralidad de unidades de iluminación. Las unidades de iluminación tienen un elemento de iluminación para generar luz, y una unidad de control de iluminación asociada que controla la salida de luz del elemento de iluminación. Además, hay una unidad de comunicación para enviar y recibir señales de comunicación a través de un medio de comunicación, que es preferiblemente un medio compartido y puede ser un medio de comunicación convencional, tal como por ejemplo una línea de potencia o comunicación de radio según IEEE802.15.4. Un receptor óptico está presente para recibir luz desde otras unidades de iluminación. Una unidad de controlador está conectada al receptor óptico, la unidad de comunicación y la unidad de control de iluminación.

Tal como resultará evidente, una unidad de iluminación y un sistema de iluminación de este tipo constituidos por una pluralidad de tales unidades de iluminación pueden configurarse fácilmente debido a su capacidad para

- controlar su propia salida de luz, y
- recibir luz desde otras unidades de iluminación
- mientras se comunican a través del medio de comunicación para conseguir un control y/o una alineación.

De esta manera, se establece un canal de comunicación (enlace óptico) adicional, que permite enviar y recibir datos entre las unidades de iluminación. Con la transferencia de estos datos a través de este enlace óptico además de la comunicación a través del medio de comunicación, se hace posible un establecimiento (autocargado) fácil y automatizado de una comunicación segura. Debido a que en la mayoría de los casos el ancho de banda del enlace óptico será menor que el del medio de comunicación, se prefiere usar el medio de comunicación para la mayoría de transmisiones, y sólo transmitir información complementaria a través del enlace óptico.

La comunicación a través del medio de comunicación se usa preferiblemente para conseguir una alineación de la comunicación a través del enlace óptico adicional entre las unidades de iluminación. Se entiende que el término "alineación" significa cualquier tipo de correlación de tiempo de la comunicación óptica entre las unidades de iluminación (es decir, qué unidad de iluminación envía y/o recibe señales ópticas en qué momento y/o de qué duración), especialmente el orden (es decir, en qué orden las unidades de iluminación envían y/o reciben señales ópticas). Por tanto, la alineación permite que una unidad de iluminación reciba una señal óptica para interpretar esta información de manera apropiada.

El elemento de iluminación puede comprender cualquier tipo de elemento emisor de luz, tal como lámparas incandescentes, lámparas de descarga de gas, lámparas fluorescentes, LED y similares. Puede estar presente uno o más de estos elementos emisores de luz, que pueden producir luz del mismo o diferente color. La salida de luz de este elemento de iluminación se controla por la unidad de control de iluminación, que puede comprender simplemente encender o apagar el elemento de iluminación así como tipos de modulación más sofisticados tales como variar el flujo luminoso o color o duración u otro parámetro de una manera continua o discreta.

La unidad de comunicación se comunica a través de un medio de comunicación. Éste comprende tipos de comunicación que no están limitados a una línea de visión (como en el caso de la luz) y que permiten una comunicación bidireccional, tal como por ejemplo una comunicación de radio (RF) o comunicación de línea de potencia. Hay muchos protocolos diferentes conocidos en la actualidad según los cuales puede organizarse tal comunicación. No es necesario que cada unidad de iluminación pueda recibir físicamente señales emitidas desde cada otra unidad de iluminación directamente (un salto), si el protocolo proporciona un reenvío de transmisiones (múltiples saltos) entre nodos. Tal como se explicará adicionalmente más adelante, una realización preferida es usar una interfaz de RF según la pila de red "ZigBee" sobre IEEE 802.15.4.

El receptor óptico puede ser cualquier tipo de elemento que tenga la capacidad para recibir la luz emitida desde los elementos de iluminación de otras unidades de iluminación. Por ejemplo, es posible usar solamente un simple fotodiodo para detectar la presencia o ausencia de cualquier luz incidente por medio de un discriminador umbral. Alternativamente, también es posible emplear otros tipos de elementos sensibles a la luz. Puede haber más de un elemento sensible a la luz presente en el receptor óptico, por ejemplo uno para cada dirección desde la que podría recibirse luz. Son posibles modificaciones adicionales del receptor, de modo que, por ejemplo, podría ser selectivo para un ancho de banda específico de luz incidente o que puede reaccionar a cambios de luz con respecto a cualquier clase de iluminación de fondo (por ejemplo a través de la luz del sol u otra luz artificial).

Finalmente, la unidad de controlador puede ser cualquier tipo de unidad de procesamiento que pueda al menos recibir señales desde el receptor óptico, enviar instrucciones de control a la unidad de control de iluminación y enviar/recibir instrucciones a través de la unidad de comunicación. Es posible enviar muy poca inteligencia a bordo a las unidades de iluminación proporcionando una unidad de controlador que sólo actúa como interfaz, reenviando las señales entrantes desde el receptor óptico a través de la unidad de comunicación, y controlando la unidad de control de iluminación en respuesta a una instrucción recibida a través de la unidad de comunicación. Alternativamente, también es posible usar un microcontrolador con suficiente memoria y una programación que implemente el comportamiento de la unidad de iluminación localmente, tal como resultará evidente en conexión con la descripción de la realización preferida.

El sistema de iluminación puede instalarse en un edificio. No es necesario que un sistema de iluminación se limite a sólo las unidades de iluminación, sino que puede comprender elementos adicionales tales como elementos de control (interruptores, atenuadores o unidades de control complejas, tales como por ejemplo PC, elementos de sensor y similares).

Un elemento de control según la invención comprende una unidad de comunicación que permite que el elemento de control se comunique a través del medio de comunicación. Además, el elemento de control comprende un elemento de función. Es éste elemento el que permite que el elemento de control realice su función de control especial. El elemento de función puede ser o comprender uno o más de un elemento de conmutación, un elemento de control (por ejemplo un microprocesador) o un elemento de sensor para detectar un valor de sensor.

El elemento de control comprende además o bien un elemento de iluminación para generar luz, que está asociado con una unidad de control de iluminación para controlar su salida, o bien un receptor óptico para recibir la luz emitida desde unidades de iluminación u otros elementos de control, o tanto un elemento de iluminación como un receptor óptico. Una unidad de controlador del elemento de control está conectada al elemento de función, al receptor óptico (si está presente) y a la unidad de control de iluminación (si está presente). La unidad de controlador hace funcionar los elementos funcionales del elemento de control. Permite que el elemento de control realice funciones de conmutación, de control o de sensor dentro de la red, comunicando la salida de su elemento de función a través del medio de comunicación.

Debe indicarse que un elemento de control que tiene tanto un elemento de iluminación como un receptor óptico tiene todas las características de una unidad de iluminación (más el elemento de función adicional). Por tanto, un elemento de control de este tipo puede considerarse como un tipo (especial) de unidad de iluminación, de modo que todas las explicaciones descritas anteriormente y a continuación con respecto a unidades de iluminación también pueden aplicarse a tales elementos de control.

Agrupamiento de unidades de iluminación

En una primera realización preferida de la invención, las unidades de iluminación se agrupan, durante una etapa de configuración, en una o más agrupaciones. Específicamente, si el sistema de iluminación se instala en un edificio con una pluralidad de salas, las unidades de iluminación deben agruparse de manera que todas las unidades de iluminación en la misma agrupación estén ubicadas dentro de la misma sala, y viceversa, de manera que sea posible el control de una agrupación entera desde un único punto de control (por ejemplo interruptor). Estas agrupaciones reflejan la capacidad de las unidades de iluminación para observar la luz emitida desde otras unidades de iluminación. Esto puede conseguirse (preferiblemente después del primer apagado de todos los elementos de iluminación):

- encendiendo el elemento de iluminación de una primera unidad de iluminación, y
- generando información de agrupación dependiendo de qué unidades de iluminación observan la luz emitida desde el elemento de iluminación de la primera unidad de iluminación.

De esta manera, es posible generar automáticamente información de agrupación según la topología de la instalación de las unidades de iluminación. Preferiblemente, las etapas se repiten para una pluralidad de unidades de iluminación, en las que cada vez se enciende una unidad de iluminación diferente. Se prefiere además, pero no es absolutamente necesario, repetir las etapas para todas las unidades de iluminación en el sistema.

La operación durante el agrupamiento puede controlarse y/o la información de agrupamiento almacenarse de una manera descentralizada (es decir, en una pluralidad de unidades de iluminación) o de una manera centralizada (es decir, en un dispositivo central).

Si el agrupamiento se realiza de una manera centralizada, el dispositivo central puede ser una unidad central con una unidad de comunicación. La unidad central envía instrucciones a través del medio de comunicación para activar las etapas descritas. Al menos una, pero preferiblemente todas las unidades de iluminación que observan la luz emitida desde la primera unidad de iluminación notifican esto a la unidad central como información detectada, es

decir, si se observó o no la luz. La unidad central procesa la información detectada para generar y almacenar listas de agrupación.

5 Si el agrupamiento se realiza de una manera descentralizada, las propias unidades de iluminación organizan la operación según las etapas descritas anteriormente para conseguir una alineación, pueden comunicarse a través del medio de comunicación. La información de agrupación generada puede almacenarse como tabla de agrupación en un medio de almacenamiento que forma parte de una o más unidades de iluminación. Para una operación descentralizada eficaz, se prefiere que todas las unidades de iluminación comprendan un medio de almacenamiento para una tabla de agrupación. Sin embargo, debe indicarse que no es necesario que la información de agrupación disponible para una unidad esté completa, es decir, que describa el agrupamiento de todas las unidades de iluminación en el sistema. En cambio, se prefiere que se limite a la información de agrupación relevante para las unidades de iluminación individuales, por ejemplo una lista de identificadores para todas las unidades de iluminación en la misma agrupación.

15 **Configuración de red segura**

En una realización adicional preferida, se usa el canal de comunicaciones óptico adicional para configurar (autocargar) automáticamente, todavía de manera segura, una comunicación segura.

20 Con el fin de asegurar la comunicación a través de un medio compartido, por ejemplo mediante encriptación, es necesario que se autocarguen mecanismos de seguridad relacionados, lo que en particular significa que debe establecerse un primer secreto ("inicial") (por ejemplo que va a usarse directamente como clave, o para la autenticación de un intercambio de mensajes criptográficos adicional).

25 Considerando que tras la instalación de las unidades de iluminación no es fácil predecir los límites del alcance de comunicación a través del medio compartido (que no se limita a una sala, o incluso un edificio), las características de la propagación de luz limitan generalmente la comunicación óptica a una única sala dentro de un edificio.

30 Para fines de autocargado de seguridad, puede suponerse de manera segura que se autentican los dispositivos que se ha demostrado que están dentro de la misma sala durante la fase de configuración. Estas características se emplean transmitiendo datos de código (por ejemplo que comprenden el secreto inicial), usados para un autocargado de seguridad a través del enlace de comunicación óptica disponible para la unidad de iluminación. De esta manera, sólo se autentican los dispositivos en la misma sala, y no los dispositivos dentro del alcance de comunicación de red, pero fuera de la sala.

35 La configuración comienza suponiendo que una parte de la red ya está configurada. Debe indicarse que en un sentido amplio incluso una única unidad de iluminación puede considerarse como red, aunque la red comprenderá generalmente una pluralidad de unidades (nodos) de iluminación. Por tanto, puede aplicarse el mismo mecanismo para establecer la red entre (un) primer (par) de nodos. Las unidades de iluminación (y posiblemente otros tipos de nodos; por ejemplo unidades de control) en la red están configuradas para comunicarse a través del medio de comunicación.

40 Con el fin de permitir que una unidad de iluminación (por ejemplo recién instalada) se una a la red, se envían datos de código a través del enlace óptico. Los datos de código se usan al autocargar la seguridad (por ejemplo como secreto inicial), y pueden usarse, por ejemplo, como clave para la encriptación simétrica, un par de claves para encriptación asimétrica, una parte de una clave simétrica o asimétrica, una parte de datos de los que puede calcularse una parte o una clave simétrica o asimétrica completa en una unidad de iluminación. Por ejemplo, pueden usarse los datos de código para la autenticación de un intercambio de mensajes criptográficos (por ejemplo Diffie-Hellman).

50 Los datos de código se transmiten desde la unidad de iluminación de unión a al menos una unidad de iluminación ya configurada en la red (nodo de red), o desde un nodo de red a la unidad de iluminación de unión, o ambos, codificando los datos de código "en la luz" en el caso más sencillo mediante la duración de un periodo de "encendido" de la unidad de iluminación y controlando el elemento de iluminación según esto. Más generalmente, la codificación se realiza mediante una "secuencia de modulación" (que debe entenderse en un sentido amplio) que puede comprender cualquier tipo de cambio de parámetros de iluminación (intensidad, color etc.) con el tiempo. Preferiblemente, la secuencia se refiere al flujo luminoso, que cambia con el tiempo. Como ejemplo sencillo, puede usarse una modulación de encendido/apagado.

60 Las fuentes de luz avanzadas (por ejemplo LED) pueden usar características de modulación de luz avanzadas para transferir información. Pueden producir patrones de iluminación de tiempo variable complejos cambiando otros parámetros de la luz, por ejemplo intensidad o frecuencia o duración de luz o cualquier combinación de las mismas. Naturalmente esto requerirá un receptor óptico apropiado, que puede medir el parámetro modulado. Con una complejidad creciente del elemento de iluminación y el receptor óptico, es más fácil portar cantidades mayores de información a través del enlace óptico.

65

En una realización preferida, se selecciona uno de los nodos de red ya configurados para el papel como registrador. Puesto que el alcance y la propagación de la comunicación a través del medio compartido diferirán generalmente del alcance y la propagación a través del enlace óptico, no todos los nodos de red pueden comunicarse con la unidad de iluminación de unión a través del enlace óptico. Por tanto, se elige una unidad de iluminación configurada en la línea de visión de la unidad de iluminación de unión como registrador. Esto se consigue mediante la unidad de iluminación de unión, ya anunciada a través del medio de comunicación, enviando una señal de detección a través del enlace óptico (es decir, modulando la operación de su elemento de iluminación). Si un nodo de red recibe la señal de detección, esto indica que es posible la comunicación óptica entre este nodo y la unidad de iluminación de unión. Por tanto, el nodo puede elegirse como registrador, de modo que, por consiguiente, los datos de código se intercambian entre el registrador y la unidad de iluminación de unión. Si más de un nodo de red recibe la señal de detección, el registrador se elige de entre los mismos. Esto puede conseguirse mediante la comunicación dentro de la red (medio de comunicación convencional).

Se prefiere que el intercambio de datos de código entre la unidad de iluminación de unión y un nodo de red sea bidireccional. Entonces los datos de código pueden comprender un primer código, que se transmite desde la unidad de iluminación de unión al nodo de red, y un segundo código, que se transmite desde el nodo de red a la unidad de iluminación de unión. A los datos de código primero y segundo se les puede aplicar, por ejemplo, una función X-OR, pueden estar concatenados, se les puede aplicar una función *hash*, etc. para construir un secreto compartido inicial (al menos temporal), establecido de manera segura a través del enlace óptico. En una realización preferida, se usa este elemento de datos para autenticar mediante contraseña el protocolo de intercambio de claves de Diffie-Hellman (o cualquier otro protocolo de clave asimétrica), ejecutado entre el registrador y el nodo de unión, para un mejor rendimiento, a través del medio de comunicación. Dicho elemento de datos también puede usarse directamente para establecer una jerarquía de clave segura, por ejemplo como clave maestra de centro de seguridad de ZigBee.

Estos y otros aspectos, características y/o ventajas de la invención resultarán evidentes a partir de y se aclararán con referencia a las realizaciones descritas a continuación en el presente documento.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán en detalle realizaciones preferidas de la invención con referencia a los dibujos, en los que:

la figura 1 muestra un dibujo esquemático de una primera realización de una unidad de iluminación con una unidad de comunicación de RF;

la figura 2 muestra un dibujo esquemático de una segunda realización de una unidad de iluminación con una unidad de comunicación de línea de potencia;

la figura 3 muestra una representación simbólica de una realización de un sistema de iluminación con unidades de iluminación instaladas en un edificio;

la figura 4 muestra un dibujo esquemático de una unidad de interruptor;

la figura 5 muestra un dibujo esquemático de una unidad central;

la figura 6 proporciona una representación simbólica de una realización de un sistema de iluminación con unidades de iluminación instaladas en un edificio;

la figura 7 muestra una representación simbólica de comunicaciones durante la configuración de un sistema de iluminación en una red.

Descripción de realizaciones preferidas

La figura 1 muestra una representación esquemática de una primera realización de una unidad 10 de iluminación. La unidad 10 de iluminación comprende un elemento 12 de iluminación que, tal como se explicó anteriormente, puede ser cualquier tipo de elemento de iluminación. En el presente ejemplo, el elemento 12 de iluminación es una lámpara halógena que va a usarse para iluminar una sala. Se proporciona una unidad 14 de control de iluminación para controlar el flujo luminoso desde el elemento 12 de iluminación encendiendo o apagando el elemento de iluminación y/o atenuándolo. Se proporciona una unidad 16 de comunicación como interfaz de comunicación de RF, en el presente ejemplo una pila de red ZigBee sobre IEEE 802.15.4 para una comunicación y control de RF. En este ejemplo, se usa una comunicación de RF como medio de comunicación convencional. Está presente un receptor 18 óptico, que en el presente ejemplo comprende una pluralidad de fotodiodos. La unidad 14 de control de iluminación, la unidad 16 de comunicación y el receptor 18 óptico están conectados a una unidad 20 de controlador que es un microcontrolador que ejecuta un programa operativo almacenado localmente. Un suministro 22 de potencia está conectado a todas las unidades y elementos de la unidad de iluminación. Tal como se explicará, opcionalmente puede estar presente una unidad 26 de almacenamiento/memoria.

La unidad 10 de iluminación puede comunicarse a través de la interfaz 16 de RF con otras unidades de iluminación del mismo tipo, así como con otros dispositivos (por ejemplo sensores, interruptores, controladores) que incluyen una interfaz de ZigBee/IEEE 802.15.4. Una pluralidad de unidades de iluminación del tipo mostrado en la figura 1 pueden estar configuradas para formar una red, en la que la comunicación a través del medio de comunicación convencional (RF) se organiza según el protocolo de ZigBee/IEEE 802.15.4, incluyendo direccionamiento, acceso al medio, detección de colisión, etc. así como reenvío de mensajes de red recibidos, que se dirigen a otros nodos (comunicación de múltiples saltos). En la red de RF, los nodos de red pueden direccionarse de manera única y uniforme. Estas direcciones únicas pueden preprogramarse físicamente en la unidad 16 de comunicación de RF (como la dirección de MAC en IEEE 802.11) o podrían ser direcciones lógicas, asignadas mientras se realiza la unión a la red (como por ejemplo los ID cortos en ZigBee).

La figura 2 muestra una segunda realización de una unidad 10' de iluminación, que es idéntica a la unidad 10 de iluminación de la figura 1 en todos los aspectos excepto la unidad 16' de comunicación, que en la segunda realización es una unidad de comunicación de línea de potencia. Una red de unidades 10' de iluminación (y otros nodos) se comunica a través de señales moduladas en la conexión 22 de red eléctrica. En este ejemplo, la comunicación de línea de potencia sirve como medio de comunicación convencional. En este caso, de nuevo, se supone que la comunicación a través del medio de comunicación convencional se organiza con respecto a direccionamiento, conexión en red, acceso al medio, etc.

Sistema de iluminación

La figura 3 muestra una representación simbólica de una parte de un edificio 30 con dos salas 32, 34. En el edificio 30, se instala un sistema de iluminación que comprende unidades 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54 de iluminación así como interruptores 36, 38 (y una unidad 56 central que se explicará más adelante). Las unidades 40-54 de iluminación son unidades de iluminación controladas por RF tal como se describió anteriormente en conexión con la figura 1. Están instaladas en el techo de las salas 32, 34, en las que sus elementos 12 de iluminación sirven como iluminación de sala.

Los interruptores 36, 38 se muestran en la figura 4 en una representación esquemática. Para realizar su función como elementos de control, se proporciona un interruptor 24 accesible exterior. El estado de conmutación (encendido/apagado) se lee por la unidad 20 de controlador. Para una comunicación a través del medio de comunicación convencional, comprenden una unidad 16 de comunicación de RF. Además, los interruptores 36, 38 comprenden los mismos elementos que las unidades 10 de iluminación, es decir, un elemento 12 de iluminación (que en el caso de los interruptores 36, 38 es sólo un LED), una unidad 14 de control de iluminación, una unidad 16 de comunicación de RF, un receptor 18 óptico y una unidad 20 de controlador.

Debe indicarse que aunque el ejemplo de la figura 4 muestra tanto un elemento 12 de iluminación como un receptor 18 óptico, es alternativamente posible que sólo uno de estos dos elementos esté presente.

En el edificio 30, está presente además una unidad 56 central. La figura 5 muestra una representación esquemática de la unidad 56 central, que comprende algunos de los elementos ya descritos anteriormente en conexión con la unidad 10 de iluminación: una unidad 16 de comunicación de RF y una unidad 20 de controlador. La unidad 56 central comprende además una unidad 26 de almacenamiento para almacenar una tabla de agrupación. La unidad 26 de almacenamiento puede ser cualquier tipo de almacenamiento permanente o volátil al que puede acceder (leer/escribir) el microcontrolador 20. Debe entenderse esta unidad 56 central como entidad lógica, que consiste en los elementos mencionados anteriormente. Su implementación física no debe estar limitada, es decir, la unidad 56 central puede ser, por ejemplo, un PC (con almacenamiento y controlador), conectado a través de algún medio de comunicación (por ejemplo tecnología de mayor alcance, como por ejemplo Ethernet, 802.11, Internet) con un nodo de pasarela, que traslada la información transmitida al medio de comunicación usado por los módulos 18 de comunicación de las unidades 40-54 de iluminación (por ejemplo ZigBee/ IEEE802.15.4).

En funcionamiento, el sistema de iluminación proporciona la iluminación de sala para las salas 32, 34. Las unidades 40-54 de iluminación están organizadas en una red, en la que las instrucciones de control se comunican a través del enlace de RF. Esto incluye instrucciones de conmutación, por ejemplo emitidas desde el interruptor 36 a todas las unidades de iluminación en la sala 32. En respuesta a estas instrucciones de control, se hacen funcionar las unidades de iluminación, es decir, los elementos 12 de iluminación se encienden o se apagan en respuesta al estado de conmutación de los elementos 24 de conmutación de los interruptores 36, 38.

Con el fin de proporcionar esta funcionalidad, es necesario proporcionar una instalación completa y una configuración del sistema de iluminación. A continuación, se explicará cómo puede automatizarse la configuración.

Agrupamiento automático

Un primer aspecto es un mecanismo de agrupamiento automático. El objetivo del mecanismo de agrupamiento propuesto es conseguir una topología de subred de una red de iluminación global, que refleja precisamente la topología de arquitectura del entorno de las unidades de iluminación (edificio 30). El protocolo se basa en dos modos

de comunicación: comunicación de RF y comunicación óptica.

Los nodos de red, es decir, las unidades 40-54 de iluminación y los interruptores 36, 38, pueden hallar todos sus "nodos vecinos" independientemente de su "proximidad lógica" (por ejemplo que están en la misma sala), por medio de las características de descubrimiento (estandarizado) y de autoconfiguración de la tecnología de comunicación de RF en uso, como en el presente ejemplo ZigBee (IEEE 802.15.4). La comunicación óptica permite limitar la lista de "nodos vecinos" sólo a aquéllos que son ópticamente visibles, es decir, los colocados en la misma sala (no ocultos detrás de las paredes o techos). Incluso si las unidades de iluminación están montadas en estantes, en techos ocultos u otras ubicaciones en las que no pueden "verse" directamente, puede observarse algún flujo de luz desde tales unidades en algún lugar de la sala, por ejemplo a través de reflejos de pared, y mediante la elección adecuada del receptor 18 óptico puede observarse por otras unidades de iluminación.

Tal como se explicó, los nodos de red comprenden no sólo unidades 40-54 de iluminación con elementos 12 de iluminación relativamente potentes que sirven como iluminación de sala en el edificio 30, sino que los interruptores 36, 38 también son nodos de red y también comprenden un elemento de iluminación (auxiliar), que puede usarse en un funcionamiento normal, por ejemplo, para control de estado o para hallar fácilmente el interruptor en la oscuridad. Este elemento de iluminación, junto con el receptor 18 óptico, se usa en la fase de agrupamiento para asignar los interruptores 36, 38 a la agrupación correcta, de modo que en la operación posterior, por ejemplo, los interruptores determinen la operación de todas las unidades de iluminación en la misma sala, pero no en la otra sala. Alternativamente, los interruptores podrían estar equipados sólo con el receptor 18 óptico, pero no el elemento 12 de iluminación, para recibir la comunicación óptica desde las unidades 40-54 de iluminación. Alternativamente, los interruptores podrían estar equipados sólo con el elemento 12 de iluminación, pero no un receptor 18 óptico, para enviar la señal óptica que va a recibirse por las unidades 40-54 de iluminación. Las capacidades del elemento de control con respecto a una comunicación óptica (de envío o de recepción o ambos) requerirían una adaptación correspondiente de los procedimientos, tal como se describe a continuación en "posibles variantes".

Primera realización de un algoritmo de agrupamiento automático: coordinación central

En la primera realización, la unidad 56 central es un nodo en la red de sistema de iluminación. La unidad 56 central está equipada con una unidad 20 de controlador que puede realizar cálculos más complejos que las unidades 20 de controlador en las unidades 40-54 de iluminación o interruptores 36, 38, que en esta realización pueden ser muy sencillos. La unidad 56 central también comprende un medio 26 de almacenamiento para contener una lista de todos los nodos de red y para almacenar la lista de agrupación.

Se supone que cada uno de los nodos de red conoce la dirección de (y, en redes de múltiples saltos, al menos el comienzo de la ruta hacia) la unidad 56 central. Se supone además que la unidad 56 central conoce el espacio de dirección que va a buscarse, es decir, tiene la lista completa de todos los nodos asociados a través de la red de RF (con sus direcciones de MAC u otros números de serie) y/o conoce el espacio de dirección lógica que va a usarse (por ejemplo los definidos por los parámetros de direccionamiento de árbol de ZigBee). Esto puede cumplirse fácilmente si el papel de la unidad 56 central se combina con el papel del coordinador de PAN de ZigBee.

La unidad 56 central controla el mecanismo de activación tal como sigue:

0. La unidad 56 central inicia el procedimiento de agrupamiento enviando un mensaje "preparar para agrupamiento" en la red (por ejemplo apagar todas las luces y que ignoren la entrada desde otros dispositivos de control durante el tiempo de ejecución del procedimiento de agrupamiento). La unidad central puede activarse automáticamente o mediante interacción del usuario.

Uno por uno, la unidad 56 central selecciona cada nodo de red "i" y le envía un mensaje de agrupamiento a través del enlace de RF con la semántica: >"i", preséntese<, donde "i" se ejecuta entre todos los identificadores de las unidades 40-54 de iluminación así como los interruptores 36, 38.

Después de recibir este mensaje de agrupamiento, el nodo "i":

- a través del enlace de RF, difunde (con un alcance de difusión limitado) el mensaje >hola "i"< que contiene su dirección/identificador,

- para el fin de señalización óptica, enciende su elemento 12 de iluminación durante un periodo de tiempo predefinido ("periodo de encendido óptico").

Después de recibir el mensaje >hola "i"< cada nodo "n" comprueba, si también detecta la luz emitida por el nodo "i" usando su sensor óptico: Si la luz se detecta, el nodo "n" envía un mensaje de "respuesta a hola" de unidifusión con direcciones del nodo "i" y del nodo "n" a la unidad 56 central. Si la luz no se detecta, no se envía ningún mensaje.

Cuando se recibe(n) (el) mensaje(s) de "respuesta a hola", la unidad 56 central añade la dirección de cada nodo "n" a la lista de parejas de agrupación del nodo "i". Opcionalmente, la unidad 56 central puede eliminar cada nodo "n" de

5 la lista de nodos que van a introducirse/agruparse (como que ya pertenecen a la agrupación del nodo "i"), reduciendo por tanto la lista de nodos que todavía van a introducirse/agruparse, es decir, reduciendo la cantidad de tráfico y el tiempo necesario para ejecutar el procedimiento de agrupamiento. Alternativamente, la unidad 56 central puede añadir el nodo "i" a la lista de parejas de agrupación de cada nodo "n". Además, la unidad 56 central puede llenar las entradas de la tabla de parejas de agrupación del nodo "i" así como cada uno de los nodos "n" en (el) mensaje(s) de "respuesta a hola". Esto tiene dos ventajas: por un lado, las listas se llenan con menos operaciones (y por tanto menos tráfico), y por otro lado las situaciones en las que el enlace óptico entre dos nodos sólo existe en una dirección, todavía puede tener lugar su asociación topológica.

10 El procedimiento se repite para cualquier nodo siguiente en la lista de nodos que van a introducirse, hasta que todos los nodos se asignan a una agrupación.

15 La unidad 56 central asigna un identificador único a cada agrupación, por ejemplo le asigna la dirección de grupo; puede ser, por ejemplo, MAC, NKW o dirección de grupo/de multidifusión de capa de aplicación o identificador de agrupación portado en un campo de cabecera independiente. Luego, informa a cada nodo en esta agrupación del nombre asignado.

20 Esto puede realizarse direccionando cada nodo en un mensaje de unidifusión o de difusión (lista de carga útil de todos los nodos que pertenecen a una agrupación dada junto con el identificador de agrupación). Cada uno de los nodos almacena el identificador de agrupación, opcionalmente también actualiza la lista de parejas de agrupación.

Ejemplo según la primera realización

25 En el escenario mostrado en la figura 3, el algoritmo de agrupamiento, después del mensaje "preparar para el agrupamiento", se inicia por la unidad 56 central enviando en primer lugar un mensaje de agrupamiento (a través de RF) a la unidad 40 de iluminación, que a su vez difunde un mensaje >hola "40"< (a través de RF) (que contiene el identificador "40" de la unidad de iluminación) y enciende su elemento 12 de iluminación. La luz se observa sólo por los nodos de red en la misma sala 32, es decir, los nodos 42, 48, 50, 36.

30 Todos los nodos 40-54 y 36, 38 han recibido el mensaje de difusión >hola "40"<. Pero sólo aquéllos que observan la luz informan a la unidad 56 central. A partir de estos informes la unidad 56 central genera la lista de agrupación de la primera unidad de iluminación y asigna un identificador de agrupación:

35 AGRUPACIÓN n.º1

Nodo "40"

Nodo "42"

40 Nodo "48"

Nodo "50"

45 Nodo "36"

Entonces la unidad 56 central selecciona el siguiente nodo que va a direccionarse. Mientras que pueda seleccionar simplemente el siguiente nodo disponible, saltará los nodos ya agrupados (es decir, aquéllos contenidos en la lista de agrupación de la agrupación n.º 1) y el nodo 44 de dirección. De nuevo, el nodo 44 se activa para su comunicación a través de RF y encender su elemento de iluminación y los informes de todos los nodos en la sala 34 producirán una segunda lista de agrupación:

50 AGRUPACIÓN n.º 2

55 Nodo "44"

Nodo "46"

Nodo "52"

60 Nodo "54"

Nodo "38"

65 La unidad 56 central envía un mensaje de RF de difusión con ambas listas de agrupación, de modo que se informa a todos los nodos en qué parte de la agrupación están y pueden almacenar esta información.

Este ejemplo sencillo muestra cómo, sin ningún conocimiento previo de la topología y disposición de nodos de red, puede generarse automáticamente la información de agrupamiento completa.

Posibles variantes de la primera realización

5 Hay muchas maneras y extensiones alternativas posibles de cómo puede implementarse el algoritmo de agrupamiento según la primera realización:

10 El “periodo de encendido óptico” puede iniciarse durante, inmediatamente después o algún tiempo después del mensaje >hola “i”< enviado a través del medio de comunicación convencional. Por ejemplo para una comunicación óptica y RF simultáneas, la duración del “periodo de encendido óptico”, es decir, el periodo de tiempo mínimo que las unidades de iluminación deben estar encendidas para que se detecten apropiadamente por todos los nodos de red a la vista, puede calcularse como “periodo de encendido óptico” = $(2 * r) * RTT$, donde r es igual al “alcance de difusión de radio” = número de saltos de difusión, y RTT indica un tiempo de ida y vuelta de radio por salto.

15 Puede ser ventajoso que la unidad 56 central consolide la lista de agrupación. Puede suceder que no todos los nodos en una agrupación sean directamente visibles a todos los demás nodos o por ejemplo que el alcance de difusión sea demasiado pequeño, y no se pueda alcanzar a cada nodo en una agrupación o debido a una estructura de sala compleja (por ejemplo en forma de L). Además, puede haber varias entradas para (partes de) la misma agrupación. Por tanto, puede ser ventajoso un algoritmo, que hallará las partes de la misma agrupación (debe compartir algunos nodos en la “lista de parejas de agrupación”) y fusionará las subagrupaciones conectadas en una agrupación. Un algoritmo de este tipo puede implementarse fácilmente.

20 En la etapa 3 anterior, en lugar de responder a la unidad 56 central, todos los nodos “n” pueden responder al nodo “i”, y entonces el nodo “i” puede reenviar una lista de sus “parejas de agrupación” a la unidad 56 central. Esto reducirá la cantidad de tráfico de larga distancia (es decir, múltiples saltos) a la unidad 56 central.

25 Dependiendo de las capacidades de comunicación óptica de los nodos de control (por ejemplo sensores, actuadores, controladores, ordenadores, etc.), su asignación a agrupaciones puede realizarse por la unidad 56 central basándose solamente en sus mensajes de “respuesta a hola” a las señales ópticas recibidas (si no hay ningún elemento 12 de iluminación disponible) o, alternativamente, en la respuesta de las unidades de iluminación a sus mensajes >hola “i”< (si ningún receptor 18 óptico está disponible). Para adaptar el procedimiento de manera correspondiente las capacidades de comunicación óptica de estos nodos de control deben ser conocidas al menos para la unidad 56 central.

35 Segunda realización de un algoritmo de agrupamiento automático: coordinación distribuida

Al contrario de la primera realización, no hay ninguna unidad central presente. En cambio, cada nodo de red contiene su propia tabla de agrupación, que consiste en el identificador de agrupación y la lista de parejas de agrupación. Cada nodo de red comprende un almacenamiento 26 de tabla de agrupación (tal como se muestra en la figura 1, la figura 2).

40 Se supone que se usa algún protocolo de MAC, por ejemplo usando una señal de baliza, etc. Al comienzo, la tabla de agrupación está vacía y no se establece el identificador de agrupación.

45 El agrupamiento se efectúa automáticamente en las siguientes etapas:

50 Un primer nodo de red (unidad de iluminación o interruptor) inicia el procedimiento de agrupamiento enviando un mensaje “preparar para el agrupamiento” en la red (por ejemplo apagar todas las luces y que ignoren la entrada desde otros dispositivos de control durante el tiempo de ejecución del procedimiento de agrupamiento). Esta primera unidad de iluminación puede ser, por ejemplo, el coordinador de PAN, o la unidad de iluminación activada por el usuario, o sólo cualquier otro nodo elegido de manera arbitraria; activado automáticamente o mediante interacción del usuario.

55 Entonces el primer nodo de red envía la siguiente información como mensaje de agrupamiento de difusión de alcance limitado a través del enlace de RF:

60 El identificador de agrupación seleccionado (puede ser un número aleatorio, un número consecutivo o derivado de un propio identificador del nodo; en este último caso, es necesario al menos 1 bit de información en la dirección del nodo para distinguir entre direcciones individuales y de agrupación);

- el propio identificador de la unidad de iluminación (si no está disponible de capas de protocolo subyacentes);

65 - el identificador del sucesor designado en el protocolo, es decir, el siguiente nodo para presentarse. El nodo sucesor se selecciona de entre vecinos de radio no agrupados previamente del nodo de envío. Si no puede designarse ningún nodo sucesor, el mensaje sólo se envía sin o con una dirección de difusión en el campo de sucesor y los

vecinos intentarán acceder al medio según las reglas de MAC subyacentes (por ejemplo con retardo de retroceso aleatorio, suponiendo que no puede detectarse ninguna colisión en el MAC).

5 Mientras (o poco después) se envía el mensaje de agrupamiento definido anteriormente, este primer nodo usa señalización óptica, es decir, enciende su elemento 12 de iluminación durante una duración de "periodo de encendido óptico" predefinida.

10 Todos los nodos comprueban la entrada en los receptores tanto de RF como óptico. Su funcionamiento depende de las señales recibidas a través del enlace RF u óptico:

Los nodos, que reciben tanto el mensaje de agrupamiento de radio como la señal óptica, almacenan el identificador de agrupación desde el mensaje de agrupamiento como "su" identificador de agrupación y almacenan el identificador del remitente/nodo que se presenta en "su" tabla de agrupación.

15 Los nodos, que reciben sólo el mensaje de agrupamiento de radio (y no la señal óptica), almacenan el identificador del remitente/nodo que se presenta como que no pertenece a "su" agrupación (por ejemplo en otra lista, una "lista de no parejas", o lo marcan como ya visto y perteneciente a una agrupación diferente), con el fin de evitar su direccionamiento en el futuro.

20 El nodo (unidad de iluminación o interruptor) designado como sucesor crea el siguiente mensaje de agrupamiento y realiza el envío como difusión de alcance limitado, dependiendo el contenido de si recibe la señal óptica, y también de si ya forma parte de una agrupación:

25 Si el nodo sucesor designado puede recibir la señal tanto de radio como óptica desde el nodo predecesor, su mensaje de agrupamiento contiene el mismo ID de agrupación, su propio identificador y un nodo sucesor seleccionado de entre sus vecinos. El algoritmo para seleccionar el sucesor debe impedir seleccionar nodos, que ya se comunican en el procedimiento de agrupamiento (es decir, aquéllos ya enumerados en la "propia" tabla de agrupación o lista de no parejas).

30 Si el nodo sucesor designado no recibió la señal óptica del nodo predecesor, y si no pertenece a ninguna agrupación todavía (es decir, ni recibió ninguna otra señal óptica todavía ni pasó por el procedimiento de agrupamiento), su mensaje de agrupamiento contiene un ID de agrupación nuevo, su propio identificador y un sucesor de entre sus vecinos (todavía no agrupados).

35 Si el nodo sucesor designado no recibió la señal óptica del nodo predecesor y ya pertenece a alguna agrupación (es decir, recibió previamente algún mensaje de agrupamiento con una señalización óptica concurrente), su mensaje de agrupamiento contiene el ID de agrupación de la agrupación a la que ya pertenece, su propio identificador y un sucesor de entre sus vecinos (todavía no agrupados).

40 Entonces, también enciende su unidad de iluminación.

45 Debe indicarse que las alternativas b) y c) se refieren al caso en el que el sucesor no forma parte de la misma agrupación (porque no recibió la señal óptica). Alternativamente a continuar tal como se describió anteriormente en las etapas b) y c), la elección del sucesor podría repetirse para intentar hallar un sucesor dentro de la misma agrupación. Para conseguir esto, el nodo que se seleccionó como sucesor pero no recibió la señal óptica, debe responder a través del enlace de RF en unidifusión al nodo predecesor (o sólo permanecer en silencio), de modo que el nodo predecesor puede detectar de esta clase de "acuse de recibo negativo" el límite de agrupación, y enviar el mensaje de agrupamiento otra vez con un sucesor cambiado. Esto permitirá hallar en primer lugar todos los nodos que pertenecen a una agrupación; para la siguiente agrupación, el procedimiento se iniciará de nuevo automáticamente tal como se describe en las etapas 4 y 5 a continuación. Si se usa esta opción de implementación, la interrupción para el nuevo inicio puede acortarse, es decir, adaptarse al número esperado de nodos por agrupación (por ejemplo 20-50).

55 Manejo de errores: los nodos, que después de una interrupción (de por ejemplo $n \cdot$ "periodo de encendido óptico" + retardo de retroceso aleatorio adicional para evitar colisiones; donde n puede ser por defecto o depender del tamaño de red) todavía no se han puesto en contacto en absoluto (no han recibido ningún mensaje de agrupamiento a través del enlace de RF ni han observado ninguna señalización óptica), envían el mensaje de agrupamiento con los siguientes parámetros:

60 ID de agrupación = no seleccionado (por ejemplo difusión o cero)

- (opcionalmente su propio ID)

- ID de sucesor = no seleccionado (por ejemplo difusión o cero),

65 acompañado por una transmisión de señal óptica tal como se describió anteriormente.

5 Cada nodo de red (ya agrupado), que recibe la señal tanto óptica como de radio, contestará con una transmisión a través del enlace de RF que contiene el ID de agrupación y el ID de sucesor establecidos para el ID del nodo de activación. Si el nodo recién agrupado todavía tiene algunos vecinos todavía no agrupados, puede continuar con el procedimiento de agrupamiento, proceder como en la etapa 1.

10 Otros nodos todavía no agrupados, que reciben tal mensaje de agrupamiento nuevo, deben esperar el mensaje de agrupamiento de respuesta y, posteriormente (si no sigue ningún mensaje de agrupamiento nuevo), esperar una interrupción predeterminada antes de proceder como en la etapa 4.

Si no hay ninguna respuesta al mensaje de agrupamiento descrito en la etapa 4 dentro de una interrupción predeterminada (por ejemplo 5 ranuras de agrupamiento), el nodo de activación debe seleccionar un identificador de agrupación nuevo y proceder como en la etapa 1.

15 **Ejemplo según la segunda realización**

En el escenario tal como se muestra en la figura 3 (pero sin la unidad 56 central), se supone que el nodo 50 de red inicia el procedimiento de agrupamiento. Envía el siguiente mensaje de agrupamiento a través del enlace de RF

20 Mensaje de agrupamiento [agrupación n.º 1, nodo "50", nodo sucesor "48"]

25 y simultáneamente enciende su elemento 12 de iluminación durante el "periodo de encendido óptico". Puesto que la unidad 50 de iluminación está instalada en la sala 32, la luz se observa sólo por los nodos de red en la misma sala 32, es decir, los nodos 40, 42, 48 y 36. Por consiguiente, estos nodos almacenan la siguiente información de agrupación:

INFORMACIÓN DE AGRUPACIÓN DE LOS NODOS 40, 42, 48, 36

30 Identificador de agrupación n.º 1

Nodo 50

35 Los nodos que recibieron sólo el mensaje de RF pero no la agrupación 50 de adición de señalización óptica en su lista de no parejas:

LISTA DE NO PAREJAS DE LOS NODOS 44, 46, 52, 54, 38

Nodo 50

40 Luego, el sucesor designado continúa el agrupamiento enviando un mensaje de agrupamiento [agrupación n.º 1, nodo "48", nodo sucesor "42"] y encendiendo su unidad 12 de iluminación. Esto conduce a las siguientes entradas de lista:

45 INFORMACIÓN DE AGRUPACIÓN DE LOS NODOS 40, 42, 48, 50, 36

Identificador de agrupación n.º 1

Nodo 50

50 Nodo 48

LISTA DE NO PAREJAS DE LOS NODOS 44, 46, 52, 54, 38

Nodo 50

55 Nodo 48

Esto se continúa hasta que todos los nodos de red se han direccionado y no puede elegirse ningún sucesor adicional, produciendo finalmente las siguientes listas de agrupación:

60 INFORMACIÓN DE AGRUPACIÓN DE LOS NODOS 40, 42, 48, 50, 36

Identificador de agrupación n.º 1

65 Nodo 50

Nodo 48

Nodo 40

5 Nodo 42

Nodo 36

INFORMACIÓN DE AGRUPACIÓN DE LOS NODOS 44, 46, 52, 54, 38

10 Identificador de agrupación n.º 2

Nodo 52

15 Nodo 44

Nodo 38

Nodo 46

20 Nodo 54

Posibles variantes para ambas realizaciones de agrupamiento automático

25 También hay algunas maneras alternativas y extensiones en cuanto a cómo puede implementarse el algoritmo de agrupamiento según cualquier realización:

30 La duración del “periodo de encendido óptico” puede calcularse como tiempo de envío + retardo de transmisión de medio + retardo de procesamiento en nodos de recepción. Entonces puede elegirse la duración predefinida para estar por encima de este tiempo mínimo, por ejemplo 1 s.

35 Puede requerirse que el algoritmo diferencie entre unidades de iluminación y otros nodos de red (por ejemplo sensores, actuadores, controladores, ordenadores, etc.) sin un elemento 12 de iluminación que puede estar en su alcance. Esto puede conseguirse, por ejemplo, añadiendo un campo de “tipo de nodo” a la dirección de dispositivo enviada en la trama de agrupamiento a través de radio. Sin embargo, esto puede ya estar cubierto por una pila de red subyacente (por ejemplo dispositivo y mecanismos de descubrimiento de servicios ya proporcionados por ZigBee).

40 Puede requerirse que el algoritmo agrupe otros nodos de red (por ejemplo sensores, actuadores, controladores, ordenadores, etc.), con sólo capacidades de comunicación óptica unidireccionales, es decir, sin un receptor 18 óptico o sin un elemento 12 de iluminación. Dependiendo de las capacidades de comunicación óptica de estos elementos de control, el protocolo puede adaptarse para su asignación a agrupaciones basándose solamente en la detección de sus mensajes de agrupamiento mediante unidades de iluminación o mediante mensajes adicionales, respectivamente. Para adaptar el procedimiento de manera correspondiente, las capacidades de comunicación óptica de estos nodos de control deben conocerse al menos por sus nodos vecinos, por ejemplo a través del campo de capacidades incluido en el mensaje de agrupamiento.

50 Las características del algoritmo tanto centralizado como descentralizado pueden combinarse, porque el nodo “i” que va a agruparse en primer lugar difunde el mensaje >hola “i”<, luego recibe los mensajes de “respuesta a hola” desde sus parejas de agrupación “n”, y sólo entonces envía un “mensaje de agrupamiento” de unidifusión a un nodo sucesor, seleccionando según las reglas definidas por el algoritmo distribuido (preferiblemente no una pareja de agrupación).

55 En la realización preferida anterior, las comunicaciones de RF y ópticas están intercaladas. Sin embargo, si cada unidad de iluminación pudiera modular luz de modo que lleve información (por ejemplo en una secuencia de modulación de encendido/apagado, modulación de flujo, cambios de color o duración), por ejemplo, podría transmitir su ID único a través del enlace óptico. Luego, después de la recepción del mensaje “preparar para el agrupamiento” de activación, no será necesaria ninguna comunicación adicional a través del medio de comunicación convencional si los nodos pueden ponerse de acuerdo de otro modo en el orden de agrupamiento (suponiendo que se conoce la “duración de ranura de agrupamiento”, que es la duración máxima prevista necesaria para una unidad de iluminación para “presentarse” a la red a través de una comunicación óptica). El orden de agrupamiento puede elegirse de diversas maneras. Si los nodos se organizan en alguna clase de estructura lógica (como por ejemplo en ZigBee: un árbol con el coordinador de PAN como raíz), el algoritmo de agrupamiento puede seguir esta estructura lógica, (por ejemplo en el ejemplo de ZigBee: comenzando desde el coordinador de PAN hasta los nodos de hoja). Alternativamente, puede implementarse el esquema de ZigBee de direccionamiento jerárquico: cada uno de los nodos ya está identificado de manera única en una topología de red, puede especificarse la ranura de tiempo

planificada para cada unidad de iluminación o interruptor, por ejemplo como dirección de nodo multiplicada por la “duración de ranura de agrupamiento”. En lugar de dirección de nodo, podría usarse un número seleccionado aleatoriamente. Además, puede usarse cualquiera de los algoritmos de planificación (por ejemplo siguiendo el concepto de “algoritmos de inundación”) tal como se conoce en la técnica.

5 Mientras que todas las unidades 40-54 de iluminación en la descripción anterior se comunican a través del enlace de RF, es alternativamente posible emplear unidades de iluminación del tipo mostrado en la figura 2, que se comunican a través de la unidad 16' de comunicación de línea de potencia.

10 **Configuración de red segura**

Según un segundo aspecto de la invención, las unidades de iluminación (así como otros nodos de red tales como interruptores, sensores, controladores) pueden organizarse automáticamente en una red de una manera segura. La seguridad se consigue usando una comunicación óptica, que mediante características de propagación de luz se limita dentro de un área topológica limitada, por ejemplo una sala delimitada por paredes (no transparentes).

15 Para esto, se requiere que los nodos de red transmitan cierta cantidad de información a través del enlace óptico. Para los elementos 12 de iluminación de un solo color, sencillos, cuyo flujo no puede cambiarse muy frecuentemente (por ejemplo lámparas HID), podría conseguirse controlando la luz según la duración, de modo que coincida con la información requerida (por ejemplo si la información que va a transmitirse es “198”, la lámpara podría encenderse durante 198 ranuras de 10 ms, es decir, durante 1,98 s). Esto requiere que el receptor 18 óptico pueda medir la duración de señal óptica (por ejemplo con un temporizador o contador). Ésta es la realización preferida, puesto que este método sencillo se aplica también a cualquier otra fuente de luz.

20 Para los elementos 12 de iluminación de un solo color, sencillos, que podrían permitir un cambio de flujo lento (por ejemplo lámparas incandescentes), por ejemplo podría usarse una modulación de encendido/apagado lenta, por ejemplo con una duración de bits de 2 s (si el tiempo no es un problema). Esto requerirá que el receptor 18 óptico pueda leer esta modulación de encendido/apagado (por ejemplo almacenarla en su registro de desplazamiento).

30 Finalmente, para fuentes de luz muy flexibles (por ejemplo LED) puede producirse un patrón de iluminación de tiempo variable complejo cambiando otros parámetros de la luz, por ejemplo la intensidad o frecuencia o duración de la luz o cualquier combinación de las mismas. Naturalmente esto requerirá un receptor 18 óptico apropiado, que pueda medir el parámetro modulado.

35 El nivel de seguridad resultante depende no sólo de la cantidad de información transmitida a través de un enlace óptico, sino también de cómo se usa esta información para autocargar la seguridad.

40 Se prefiere que la autenticación entre el nodo de unión y el “registrator” sea mutua, por tanto, la información se transmite preferiblemente a través del enlace óptico en cualquier dirección entre los dos. Después de que la información se ha intercambiado, se combinan ambas partes de una manera adecuada, por ejemplo, se aplica una función X-OR, *hash*, se concatenan.

45 Los datos de código resultantes pueden usarse para autocargar la seguridad de múltiples maneras. Podría autenticar con contraseña un intercambio de Diffie-Hellman a través del medio de comunicación convencional, por ejemplo según SPEKE (D. Jablon. Strong Password-Only Authenticated Key Exchange. Computer Communication Review, ACM SIGCOMM, vol. 26, n.º 5, páginas 5-26, octubre de 1996) o el algoritmo de DH-EKE, (S. M. Bellovin y M. Merritt, “Encrypted Key Exchange: Password-Based Protocols Secure Against Dictionary Attacks”, Proceedings of the I.E.E.E. Symposium on Research in Security and Privacy, Oakland, mayo de 1992.). Podría usarse en cualquier forma de acuerdo de clave autenticada con contraseña (S. M. Bellovin y M. Merritt. Encrypted Key Exchange: Password-Based Protocols Secure Against Dictionary Attacks. Proceedings of the I.E.E.E. Symposium on Research in Security and Privacy, Oakland, mayo de 1992.). También podría usarse para derivar la clave como clave maestra por pares (por ejemplo clave maestra de centro de seguridad de ZigBee), o podría servir como clave de encriptación (temporal) para transmitir información de configuración desde el registrator al nodo de unión (por ejemplo la clave maestra, la clave de red, etc.), o podría usarse como clave maestra por pares (por ejemplo clave maestra de centro de seguridad de ZigBee). Por consiguiente, dependiendo del nivel de seguridad requerido y la densidad de las redes, pueden seleccionarse mecanismos apropiados.

55 En una primera etapa, después del encendido, un nodo de red no configurado inicia en un “modo de descubrimiento”. Durante esta fase, el nodo intenta en primer lugar asociarse con la red existente a través del medio de comunicación convencional.

60 Si un nodo puede detectar una red existente, se anuncia a la red usando mecanismos estandarizados (por ejemplo ZigBee/IEEE802.15.4) y procede con el procedimiento de autocargado de seguridad.

65 Si un nodo no puede detectar ninguna red existente, crea una red por sí solo, por ejemplo mandando dicho mensaje de baliza de ZigBee, o cualquier otro mensaje de autoanuncio adecuado y escucha mensajes de descubrimiento por

nodos todavía no configurados. Si detecta otro nodo no configurado, procede con el procedimiento de autocargado de seguridad.

5 Siempre que se reciba el mensaje de autoanuncio (“Soy nuevo”) de un nodo nuevo por un nodo de red configurado, este nodo configurado y asume el papel del “contrincante” para el nodo de unión y envía un mensaje de difusión a la red, indicando que se desea que se configure un nodo nuevo.

10 Opcionalmente, desde este momento, hasta que se completa la configuración (o se interrumpe), no se acepta ninguna petición de configuración adicional.

El contrincante envía una instrucción de “señal” al nodo nuevo, activándolo para enviar información definida previamente a través del enlace óptico.

15 La información se observa por los nodos de red sólo si no hay ningún obstáculo presente para dificultar la propagación de luz entre el nodo de unión y los otros nodos de red (por ejemplo paredes y techos). Debe indicarse que dentro del mismo edificio o incluso la sala es posible que algunos, pero no todos los nodos configurados en la red observen la secuencia (por ejemplo en una sala en forma de L).

20 Aquellos nodos de red configurados que han recibido la información a través del enlace óptico, informan de este evento al contrincante. El contrincante selecciona entonces uno de ellos (por ejemplo el primer nodo que informa del evento), y designa este nodo para que asuma el papel del “registrador” para el nodo de unión (obsérvese que el papel del registrador también puede asumirse por el propio nodo “contrincante”).

25 El registrador establece una relación segura con el dispositivo nuevo. Para realizar esto de una manera segura, es decir, con autenticación del nodo nuevo, la información se intercambia entre el nodo nuevo y el registrador a través del enlace óptico. Puesto que el enlace óptico está limitado a los límites físicos de la sala, se autenticarán sólo los nodos presentes en la misma sala durante esta etapa de configuración, que se supone de manera segura que son genuinos.

30 **Ejemplo de configuración de red segura**

La figura 6 muestra una representación simbólica de un edificio 70. Dentro del edificio 70, hay cuatro unidades 60, 62, 64, 66 de iluminación del tipo mostrado en la figura 1. Son lámparas halógenas sencillas, de modo que usan un control de duración de luz para transmitir información a través de un enlace óptico. A partir de estas cuatro unidades de iluminación tres unidades 60, 62, 64 de iluminación ya están configuradas como red de ZigBee.

40 El intercambio de señales durante la configuración se muestra en la figura 7, en la que los mensajes de RF se muestran como líneas discontinuas y la señalización óptica se muestra como líneas continuas. La unidad 66 de iluminación comienza con un mensaje 72 “hola”. A partir de las unidades 60, 62, 64 de iluminación configuradas, la unidad 62 de iluminación se elige como contrincante. El contrincante 62 difunde en la red una instrucción 74 “señal”, haciendo que el nodo 66 de unión encienda su elemento 12 de iluminación durante una duración de $56 * 10 \text{ ms} = 560 \text{ ms}$, para codificar el valor determinado previamente “56” (mensaje 76) y los nodos 60, 64 de red para prepararse para recibir la comunicación óptica.

45 El mensaje 76 se observa sólo por los nodos 60, 64, pero no por el nodo 62. Obviamente, el nodo 62 no tiene ninguna conexión óptica con el nodo 66 de unión. Los nodos 60, 64 informan de su observación del mensaje 76 (“56”) al contrincante 62, que selecciona el nodo 60 como registrador R.

50 El registrador 60 genera un primer valor aleatorio “183” y lo transmite a la unidad 66 de iluminación de unión encendiendo su unidad 12 de iluminación durante la duración de 1,83 ms (mensaje 78a). La unidad 12 de iluminación de unión recibe y almacena el mensaje 78a. A su vez, genera un valor aleatorio “027” y lo transmite como mensaje 78b. Tanto el registrador 60 como el nodo 66 de unión unen entonces las secuencias aleatorias (en este ejemplo mediante simple concatenación) para tener un código secreto compartido de “183027”.

55 A continuación, se usa este código secreto como clave temporal, que se usa posteriormente para encriptar datos 80 de configuración (clave maestra de centro de seguridad para ZigBee/IEEE 802.15.4) enviados desde el registrador al nodo de unión a través del medio de comunicación convencional. Si la longitud de clave no es suficiente, puede aplicarse una función *hash* al valor “183027” para obtener una clave temporal.

60 **Posibles variantes para una configuración de red segura**

También hay algunas maneras alternativas y extensiones en cuanto a cómo puede implementarse el algoritmo de agrupamiento según cualquier realización:

65 No es necesario que la información transmitida por la unidad 66 de iluminación de unión en respuesta al mensaje “señal” sea una secuencia fija, predeterminada. Alternativamente, también es posible codificar datos en esta

secuencia, que se usan en la comunicación, por ejemplo (parte de) la dirección de MAC de la unidad de iluminación de unión.

5 Mientras que en la descripción anterior, todas las unidades de iluminación se comunican a través del enlace de RF, alternativamente también es posible emplear unidades de iluminación del tipo mostrado en la figura 2, que se comunican a través de la unidad 16' de comunicación de línea de potencia.

10 Mientras que en los ejemplos anteriores los dos aspectos de la invención se han descrito por separado, naturalmente es posible combinar los dos. Por tanto, un sistema de iluminación que usa una configuración de red segura mediante autenticación a través del enlace óptico puede usar además uno de los procedimientos de agrupamiento automático descritos anteriormente para configurar los nodos en grupos.

15 En lo anterior, se apreciará que también se pretende que la referencia al singular abarque el plural y viceversa, y las referencias a un número específico de características o dispositivos no deben interpretarse como que limitan la invención a ese número específico de características o dispositivos. Además, las expresiones tales como "incluir", "comprender", "tiene", "tienen", "incorporar", "contener" y "abarcar" deben interpretarse como no exclusivas, concretamente tales expresiones deben interpretarse como que no excluyen otros ítems que están presentes.

20 Aunque la presente invención se ha descrito en conexión con realizaciones específicas, no se pretende que esté limitada a la forma específica expuesta en el presente documento. Más bien, el alcance de la presente invención está limitado sólo por las reivindicaciones adjuntas.

25 Los números de referencia están incluidos en las reivindicaciones, sin embargo la inclusión de los números de referencia es sólo por motivos de claridad y no debe interpretarse como que limita el alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Unidad (10, 10') de iluminación, que comprende:
 - 5 - un elemento (12) de iluminación para generar luz,
 - una unidad (14) de control de iluminación para controlar la salida de luz de dicho elemento (12) de iluminación,
 - 10 - una unidad (16, 16') de comunicación para enviar y recibir señales de comunicación a través de un medio de comunicación,
 - un receptor (18) óptico para recibir la luz desde otras unidades (10, 10') de iluminación, y
 - 15 - una unidad (20) de controlador conectada a dicho receptor (18) óptico, unidad (16, 16') de comunicación y unidad (14) de control de iluminación,
 - caracterizada por estar configurada para establecer un enlace óptico, que permite el envío y/o recepción de datos mediante dicha unidad (10, 10') de iluminación además de la comunicación a través de dicho medio de comunicación.
2. Unidad (10, 10') de iluminación según la reivindicación 1, en la que dicha unidad (14) de control de iluminación está adaptada para modular la luz, generada por dicho elemento (12) de iluminación.
- 25 3. Unidad (10, 10') de iluminación según una de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha unidad de comunicación está configurada para una comunicación de radio o comunicación de línea de potencia.
4. Sistema de iluminación que comprende una pluralidad de unidades de iluminación según una de las reivindicaciones anteriores, en el que
 - 30 - dicho controlador (20) en dichas unidades (10, 10') de iluminación está programado para operar dichas unidades (10, 10') de iluminación para formar una red de comunicación y para comunicarse con una unidad (66) de iluminación de unión
 - 35 - transmitiendo datos (78a, 78b) de código desde dicha unidad (66) de iluminación de unión a al menos una de dichas unidades de iluminación en dicha red y/o desde al menos una de dichas unidades de iluminación en dicha red a dicha unidad (66) de iluminación de unión controlando su elemento (12) de iluminación para emitir luz según una secuencia de modulación que representa dichos datos (78a, 78b) de código,
 - 40 - y usando dichos datos (78a, 78b) de código para establecer una comunicación segura a través del medio de comunicación.
5. Sistema de iluminación según la reivindicación 4, en el que al menos en una fase de configuración, al menos una de dichas unidades (10, 10') de iluminación está configurada para enviar dichos datos haciendo funcionar dicho elemento (12) de iluminación de una manera controlada, y al menos una unidad (10, 10') de iluminación adicional está configurada para recibir dichos datos observando dicha luz generada.
- 45 6. Sistema de iluminación según la reivindicación 5, en el que dichos datos se reciben por dicho receptor (18) óptico.
- 50 7. Sistema de iluminación según la reivindicación 5 o la reivindicación 6, en el que dichos datos se transmiten durante dicha fase de configuración para agrupar las unidades (10, 10') de iluminación en una o más agrupaciones y/o para configurar una comunicación segura.
- 55 8. Elemento de control para su uso en un sistema de iluminación según una de las reivindicaciones 4-7, comprendiendo dicho elemento:
 - un elemento (24) de función para realizar una función de conmutación, de control o de sensor,
 - 60 - una unidad (16, 16') de comunicación para enviar y recibir señales de comunicación a través de un medio de comunicación, y
 - un elemento (12) de iluminación para generar luz y una unidad (14) de control de iluminación para controlar la salida de dicho elemento (12) de iluminación, y/o un receptor (18) óptico para recibir luz, y
 - 65 - una unidad (20) de controlador conectada a dicho elemento (24) de función, receptor (18) óptico, unidad

(16, 16') de comunicación, y unidad (14) de control de iluminación,

- estando dicho elemento de control caracterizado porque está configurado para establecer un enlace óptico, que permite el envío y/o recepción de datos entre dicho elemento de control y al menos una unidad de iluminación de dicho sistema de iluminación además de la comunicación a través de dicho medio de comunicación.

9. Método para controlar un sistema de iluminación

- comprendiendo dicho sistema de iluminación una pluralidad de unidades (10, 10') de iluminación, comprendiendo cada una de dichas unidades de iluminación

- un elemento (12) de iluminación para generar luz,

- una unidad (16, 16') de comunicación para una comunicación a través de un medio de comunicación,

- y un receptor (18) óptico para recibir luz desde otras unidades (10, 10') de iluminación,

- en el que dichas unidades (10, 10') de iluminación se comunican a través de dicho medio de comunicación, y

- caracterizado porque dichas unidades (10, 10') de iluminación establecen un enlace óptico, que permite el envío y/o recepción de datos entre dichas unidades (10, 10') de iluminación además de la comunicación a través de dicho medio de comunicación.

10. Método según la reivindicación 9,

- en el que, al menos en una fase de configuración, al menos una de dichas unidades (10, 10') de iluminación envía datos haciendo funcionar dicho elemento (12) de iluminación de una manera controlada, y al menos una unidad (10, 10') de iluminación adicional recibe dichos datos observando dicha luz generada.

11. Método según la reivindicación 9 o reivindicación 10, en el que

- una o más de dichas unidades (10, 10') de iluminación que forma una red de comunicación se comunica con una unidad (66) de iluminación de unión

- transmitiendo datos (78a, 78b) de código desde dicha unidad (66) de iluminación de unión a al menos una de dichas unidades de iluminación en dicha red, y/o desde al menos una de dichas unidades de iluminación en dicha red a dicha unidad (66) de iluminación de unión, controlando su elemento de iluminación para emitir luz según una modulación que corresponde a dichos datos (78a, 78b) de código,

- y usando dichos datos (78a, 78b) de código para establecer una comunicación segura a través del medio de comunicación.

12. Método según la reivindicación 11, en el que

- dicha unidad (66) de iluminación de unión envía una señal (74) de detección controlando sus elementos (12) de iluminación para emitir luz en una secuencia modulada,

- se elige un registrador (R) de dichas unidades de iluminación en dicha red que recibe la señal de detección observando la luz emitida desde dicha unidad (66) de iluminación de unión,

- y dichos datos (78a, 78b) de código se intercambian entre dicho registrador (R) y dicha unidad (66) de iluminación de unión.

13. Método según la reivindicación 11 ó 12, en el que

- dichos datos de código comprenden al menos un primer código (78a) que se transmite desde dicha unidad de iluminación en dicha red a dicha unidad (66) de iluminación de unión,

- y un segundo código (78b) que se transmite desde dicha unidad (66) de iluminación de unión a dicha unidad de iluminación en dicha red.

10

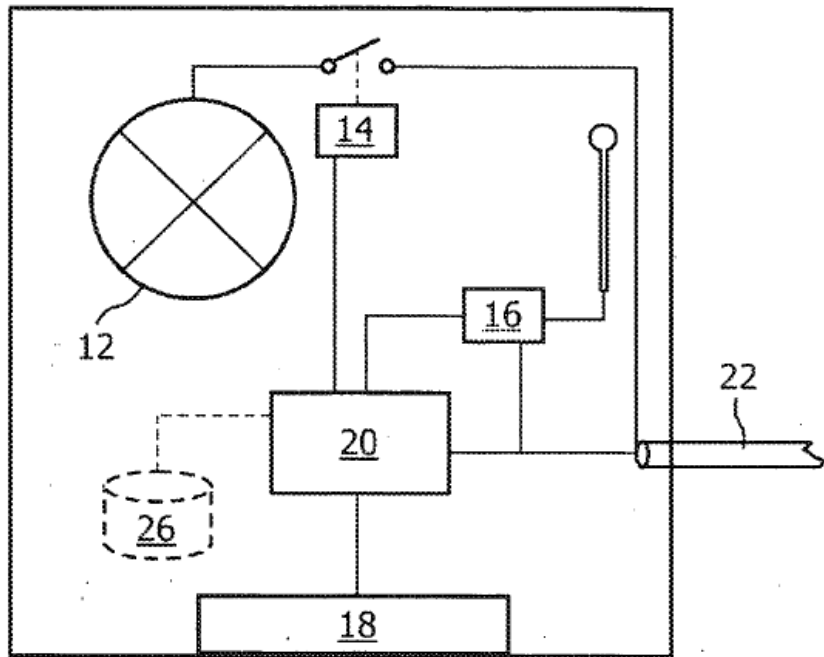


FIG. 1

10'

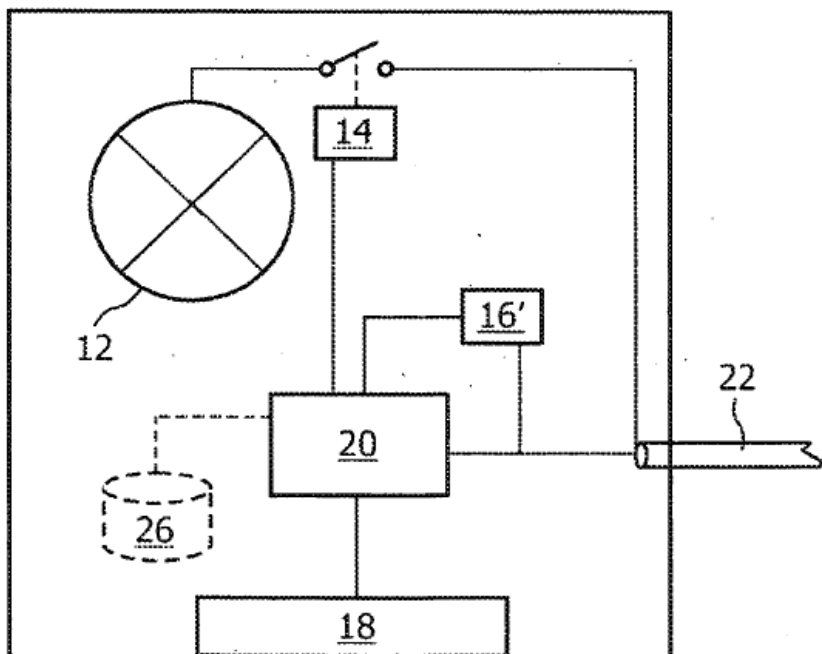


FIG. 2

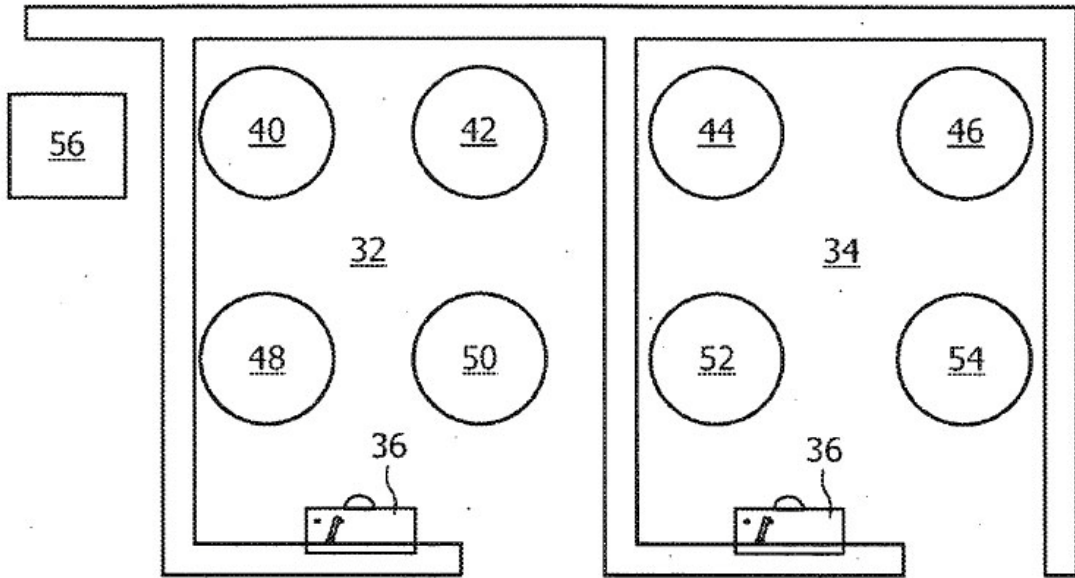


FIG. 3

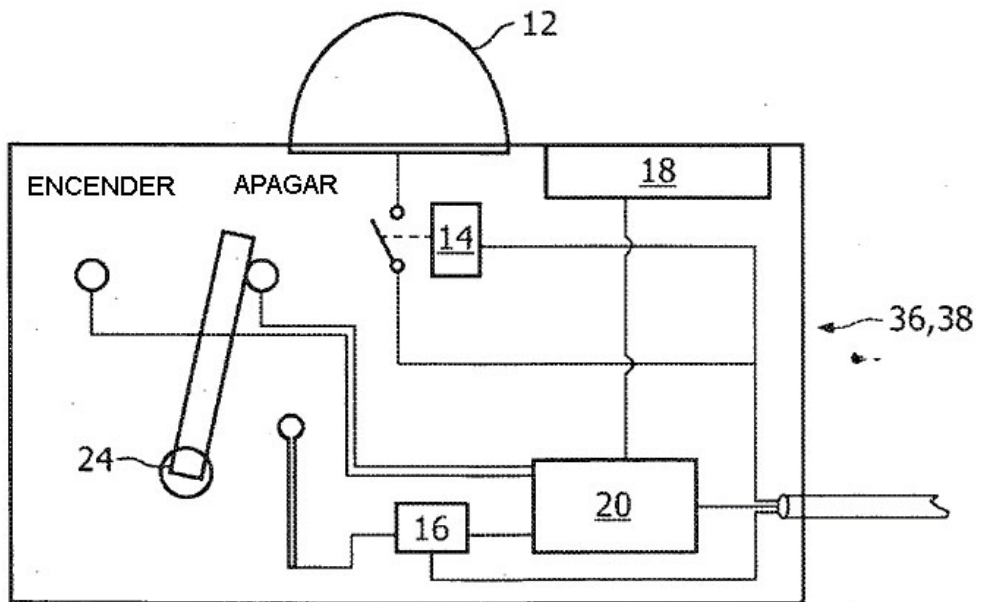


FIG. 4

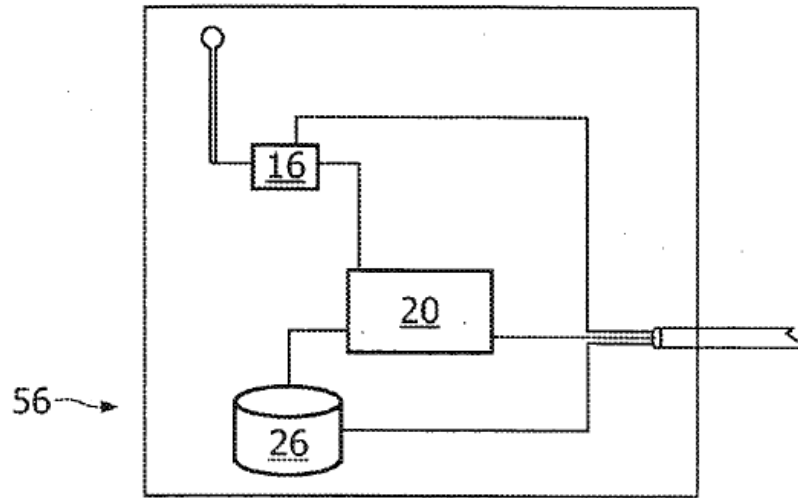


FIG. 5

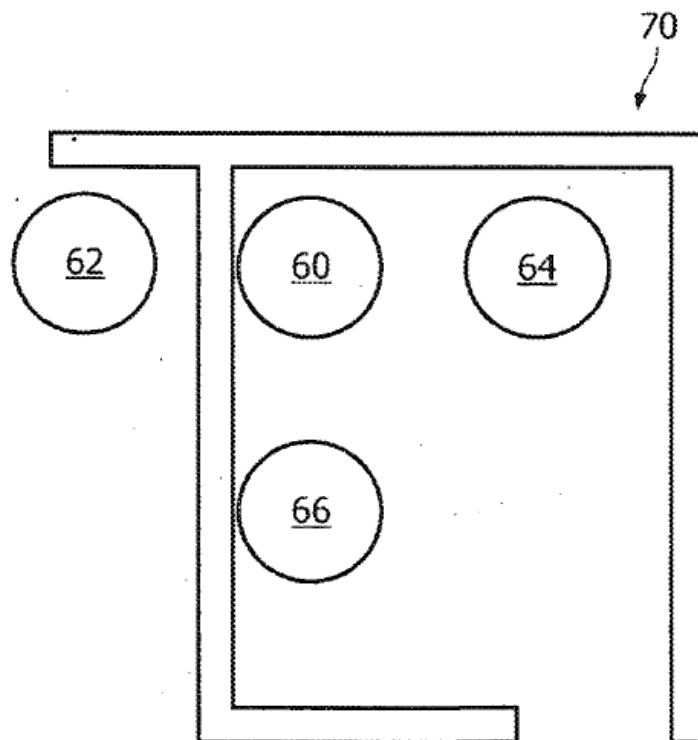


FIG. 6

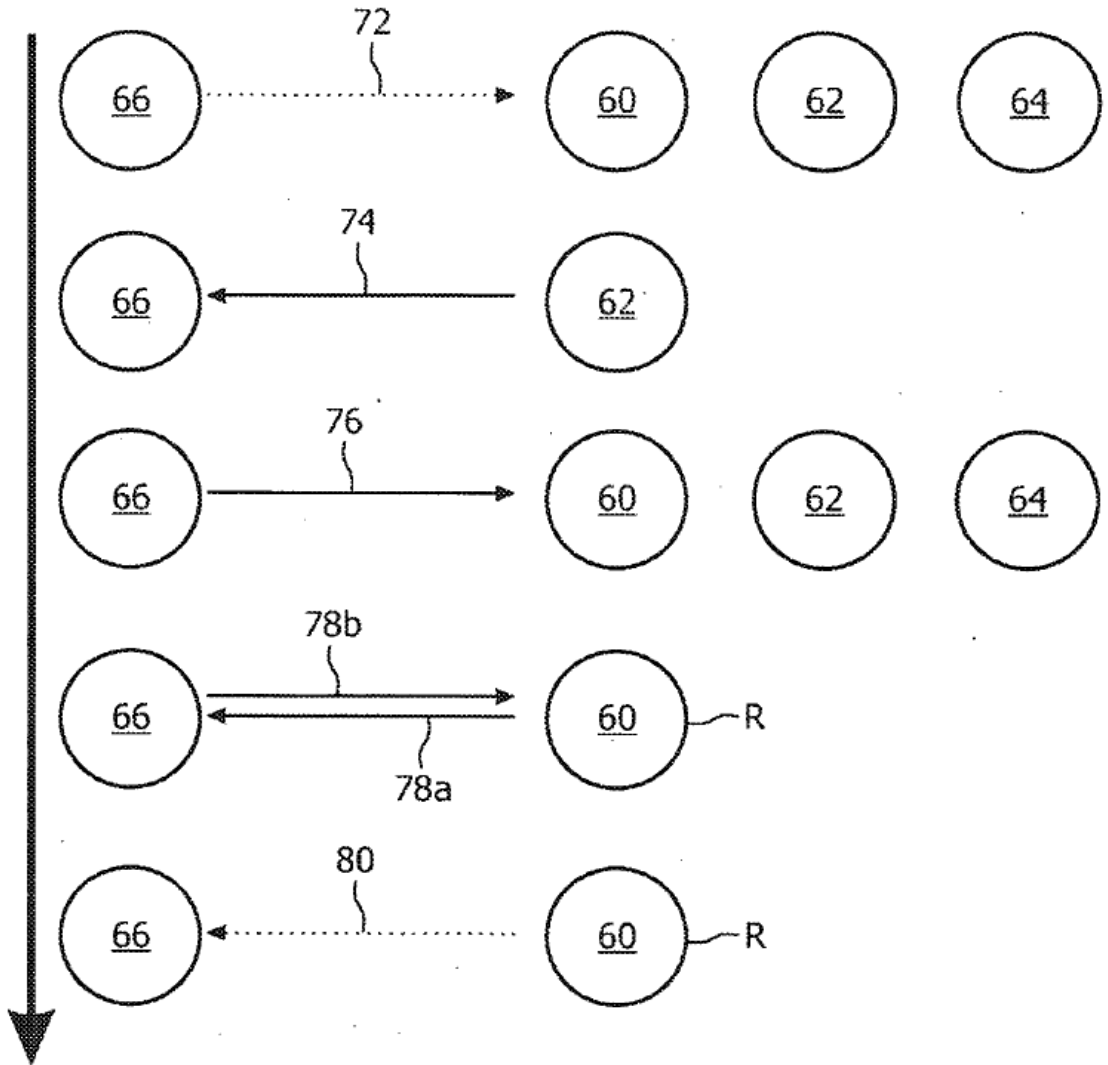


FIG. 7