

DISPOSITIVO PARA PROCESAMIENTO SEMÁNTICO DISTRIBUIDO Y COMUNICACIÓN, Y MÉTODO DE FUNCIONAMIENTO DEL MISMO

CAMPO DE LA INVENCION

La presente divulgación se refiere en general al campo de aprendizaje semántico dentro de la red y, en particular, a un dispositivo para comunicación y procesamiento semántico distribuido, así como a un método para operar el mismo.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Un número cada vez mayor de aplicaciones y servicios, tal como la robótica, conducción autónoma, gestión del tráfico y fábrica inteligente, se basan en técnicas tal como el reconocimiento de objetos y visión por computadora. En estas aplicaciones y servicios, múltiples sensores distribuidos recopilan información sobre el entorno para permitir una toma de decisiones compleja en un centro de control. Sin embargo, debido a la creciente cantidad y/o complejidad de los datos de los sensores que se transmiten por los sensores y se procesan por el centro de control, la toma de decisiones eficiente se convierte en una tarea muy difícil.

Una dirección prometedora es procesar los datos de sensor a un nivel semántico, por ejemplo, centrándose en el significado previsto de los datos de sensor en lugar de en su representación exacta. Proporcionar interpretaciones semánticas de los datos de sensor en lugar de enviar mediciones directas (o datos de sensor sin procesar) al centro de control puede reducir significativamente los costos de comunicación y reducir la latencia, lo que facilita la toma de decisiones en el centro de control.

Sin embargo, el problema de la inferencia semántica distribuida, especialmente en escenarios móviles, aún no está bien estudiado. Los pocos métodos existentes sufren de varias desventajas. En primer lugar, no permiten la interpretación semántica (o el razonamiento semántico sobre la utilidad) de sus datos de entrada con respecto a un objetivo global y/o fusión semántica de interpretaciones semánticas obtenidas por separado de múltiples fuentes/sensores para obtener representaciones semánticas más ricas. En segundo lugar, no consideran un número variable de dispositivos móviles que recopilen datos multimodales. En tercer lugar, no tienen en cuenta el contexto variable causado por la movilidad de los dispositivos móviles.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Un objeto es superar los inconvenientes mencionados anteriormente y otros. Los objetos anteriores y otros objetos se logran por las características de las reivindicaciones independientes. Otras formas de implementación son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes, la descripción y las figuras.

De acuerdo con un primer aspecto, se proporciona un dispositivo para el procesamiento semántico distribuido y comunicación. El dispositivo se puede operar como un dispositivo hijo y/o un dispositivo padre en una jerarquía de dispositivos padre-hijo. El dispositivo se configura para procesar semánticamente datos de entrada en dependencia de un contexto local y un objetivo local. Los datos de entrada se originan en uno o más sensores o uno o más dispositivos hijo del dispositivo. El dispositivo se configura además para mantener el contexto local en función de los datos de entrada procesados semánticamente y la información secundaria disponible. El dispositivo se configura además para participar en una asignación de objetivos locales respectivos de los dispositivos a través de la jerarquía padre-hijo en dependencia del contexto local.

De manera ventajosa, la jerarquía de dispositivos padre-hijo soporta un número variable de dispositivos.

Ventajosamente, mantener los objetivos locales y el contexto local mejora una solidez a los cambios dinámicos del patrón de vistas, y no requiere un costoso reentrenamiento o recalibración cada vez que cambia la topología / jerarquía.

De manera ventajosa, los dispositivos permanecen en silencio siempre que no se haya observado información relevante, y proporcionan datos solo cuando se ha detectado información relevante. Esta comunicación intermitente permite reducir la velocidad de comunicación promedio en órdenes de magnitud, reducir los costos de comunicación, mejorar la privacidad y mejorar significativamente el rendimiento (por ejemplo, menor latencia, robustez, flexibilidad y consumo de energía) en comparación con las técnicas anteriores para la inferencia distribuida, tal como el aprendizaje simple en red (INL) o el aprendizaje dividido (SL).

Como se usa en la presente, el procesamiento semántico (de datos) se puede referir al procesamiento de datos, tal como datos de sensor, a un nivel semántico, por ejemplo,

centrándose en su significado previsto en lugar de su representación exacta.

Como se usa en la presente, comunicación semántica puede hacer referencia a comunicación de acuerdo con un lenguaje semántico.

5 Como se usa en la presente, un lenguaje semántico puede hacer referencia a un sistema estructurado de comunicación, tal como un lenguaje basado en lógica o un lenguaje basado en gráficos.

10 Como se usa en la presente, un objetivo puede hacer referencia a un hallazgo previsto del procesamiento semántico distribuido y comunicación. Un objetivo local puede estar relacionado con un dispositivo particular de la jerarquía de dispositivos padre-hijo. Un objetivo se puede expresar usando un lenguaje semántico de composición adecuado. Más específicamente, un objetivo superordinado (por ejemplo, global) puede estar compuesto por, o descompuesto en, objetivos sub(ordinado)s. Por ejemplo, $G0 = \varphi1 \varphi2$ puede definir un objetivo $G0$ que se compone de $\varphi1$ y $\varphi2$ que se puede descomponer en subobjetivos $\varphi1$ y $\varphi2$, en donde φ representa una operación lógica OR. En este ejemplo, $\varphi1$ puede indicar "*hay un*
15 *automóvil en movimiento en el área peatonal*", y $\varphi2$ puede significar "*hay una persona sosteniendo un arma*". Los objetivos globales y locales se pueden expresar usando un nivel variable de abstracción semántica. Por ejemplo, el *monitoreo de "vehículos"* se podría descomponer aún más para monitorear "*automóviles*", "*bicicletas*", "*autobuses*", etc. Un objetivo local puede implicar una función de procesamiento/computación que se configura
20 para almacenar y mantener el objetivo local.

Como se usa en la presente, un objetivo local puede hacer referencia a una porción de un objetivo superordinado (por ejemplo, global) relacionado con un dispositivo particular en la jerarquía de dispositivos padre-hijo.

25 Como se usa en la presente, un dispositivo padre puede hacer referencia a un dispositivo superordinado de uno o más dispositivos hijo en una jerarquía de dispositivos padre-hijo.

Como se usa en la presente, un dispositivo hijo puede hacer referencia a un dispositivo subordinado de un dispositivo padre en una jerarquía de dispositivos padre-hijo.

30 Como se usa en la presente, el contexto local puede hacer referencia a información sobre un entorno observado y un estado de un dispositivo dentro de la jerarquía de dispositivos padre-hijo. El contexto puede servir para interpretar correctamente los datos de

entrada y asignar objetivos a los dispositivos hijo. Por ejemplo, el contexto puede incluir conocimiento de antecedentes incorporado o aprendido, parámetros del sensor (tipo, posición, etc.), configuraciones generales (clima, tiempo, días festivos, etc.), patrón actual de vistas, una posición del dispositivo con respecto a otros dispositivos, información semántica parcial
5 proporcionada por otros dispositivos (incluidos objetos ya detectados con atributos) y similares. El contexto puede evolucionar constantemente debido a la movilidad de los dispositivos y debido a cambios en el entorno observado. Los posibles eventos que causan cambios significativos de contexto incluyen dispositivos que entran/salen de la jerarquía de dispositivos padre-hijo, cambio en el patrón relativo de vistas (por ejemplo, causado por la
10 rotación de un sensor), desplazamiento de uno o más sensores en una nueva área (por ejemplo, de una calle a un parque), cambio en las capacidades del dispositivo (por ejemplo, batería baja), cambios significativos en el entorno (por ejemplo, lluvia intensa, cambios diurnos, etc.) y similares. Es decir, el contexto puede quedar desactualizado en relación con la información "verdadera" sobre el entorno observado y el estado del dispositivo. Por lo tanto,
15 un descubrimiento/actualización/intercambio de contexto puede ser relevante. Cuando un dispositivo padre detecta un cambio significativo en el contexto local, puede compartir el contexto actualizado con sus dispositivos hijo y actualizar la asignación de subobjetivo. Cuando un dispositivo hijo detecta un cambio significativo en el contexto local, puede compartir el contexto actualizado con su dispositivo padre. El contexto local puede implicar
20 una función de procesamiento/computación que almacena y evalúa la misma.

Como se usa en la presente, la información secundaria puede hacer referencia a información contextual global que no se puede observar directamente a partir de datos sin procesar recopilados por los sensores, en particular información sobre el estado de la jerarquía de dispositivos padre-hijo, tal como una cantidad de dispositivos registrados, sus
25 posiciones/ubicaciones geográficas, sus niveles de batería, una topología de red, capacidades computacionales de los dispositivos, recursos disponibles y similares.

En una forma de implementación posible como un dispositivo padre, procesar semánticamente los datos de entrada puede comprender además que el dispositivo esté configurado para recibir, desde el uno o más dispositivos hijo, información semántica
30 codificada posicionalmente respectiva como los datos de entrada.

Como se usa en la presente, una codificación posicional puede hacer referencia a complementar la información semántica mediante información adicional que ayuda a un dispositivo padre a relacionar mejor los datos de entrada recibidos de diferentes dispositivos

hijo.

En una forma de implementación posible, la información semántica codificada posicionalmente respectiva puede comprender uno o más de: una marca de tiempo, una posición geográfica y un identificador único del dispositivo respectivo.

- 5 En una forma de implementación posible como un dispositivo hijo o como un dispositivo padre, procesar semánticamente los datos de entrada puede comprender además que el dispositivo esté configurado para determinar información semántica de los datos de entrada dependiendo de los datos de entrada y el contexto local, usando una red neuronal de atención entrenada, ANN, codificador del dispositivo; y para determinar hechos semánticos
- 10 de los datos de entrada dependiendo de la información semántica de los datos de entrada, usando un componente de extracción semántica entrenada, SE, del dispositivo.

De manera ventajosa, los codificadores ANN permiten una fusión de datos eficiente desde múltiples sensores o dispositivos hijo.

- 15 Como se usa en la presente, la información semántica puede hacer referencia a un extracto de información relevante de los datos de entrada de un dispositivo.

Como se usa en la presente, los vectores de características pueden hacer referencia a una representación particular de información semántica que describe diferentes aspectos de los datos de entrada. Los vectores de características pueden capturar implícitamente relaciones semánticas en los datos de entrada de un dispositivo.

- 20 Como se usa en la presente, un codificador de red neuronal de atención (ANN) puede hacer referencia a una función de procesamiento/computación de autoatención/atención cruzada para capturar relaciones semánticas en los datos de entrada (es decir, uno o más vectores de características de uno o más sensores o uno o más dispositivos hijo). Esto es invariante a un número y orden de vectores de características de entrada y, por lo tanto, puede
- 25 dar como resultado la *fusión* semántica de los datos de entrada al capturar relaciones semánticas entre los datos de entrada que se originan desde más de una fuente, usando contexto local. En otras palabras, un codificador ANN puede emitir uno o más vectores de características que capturan estas relaciones semánticas a través de un mecanismo de atención (no explícitamente).

- 30 Como se usa en la presente, un componente de extracción semántica (SE) puede hacer referencia a una función de procesamiento/computación para identificar hechos

semánticos de los datos de entrada (es decir, uno o más vectores de características de un codificador ANN) dependiendo de la información semántica de los datos de entrada en donde los hechos semánticos representan una interpretación semántica de los datos de entrada, tal como un gráfico de escena local.

5 En una forma de implementación posible, la información semántica de los datos de entrada puede comprender uno o más vectores de características de los datos de entrada.

El codificador ANN puede comprender un codificador de transformador de una arquitectura de codificador-decodificador de transformador.

10 Como se usa en la presente, una arquitectura de codificador-decodificador de transformador puede hacer referencia a la arquitectura de codificador-decodificador estándar *de-facto* en el procesamiento de lenguaje natural, que se propuso originalmente en Vaswani, Ashish, et al. "Attention is all you need." *Advances in neural information processing systems* 30 (2017).

15 Como se usa en la presente, un codificador de transformador puede hacer referencia a una porción de codificador de una arquitectura de codificador-decodificador de transformador.

En una forma de implementación posible, el codificador de transformador se puede entrenar previamente con base en un paradigma de aprendizaje automático supervisado.

20 Como se usa en la presente, el aprendizaje automático supervisado puede hacer referencia a un paradigma de aprendizaje automático para problemas en donde los datos disponibles consisten en ejemplos etiquetados. Más específicamente, el aprendizaje supervisado busca entrenar una función que asigna vectores de características (entradas) a etiquetas (salida), con base en pares de entrada-salida de ejemplo.

25 En una forma de implementación posible, el componente SE puede comprender un decodificador de transformador de la arquitectura de codificador-decodificador de transformador.

Como se usa en la presente, un decodificador de transformador puede hacer referencia a una porción de decodificador de una arquitectura de codificador-decodificador de transformador.

30 En una forma de implementación posible, el decodificador de transformador se puede

entrenar previamente con base en un paradigma de aprendizaje automático supervisado.

En una forma de implementación posible, el dispositivo se puede configurar además para participar en un entrenamiento conjunto distribuido a través de la jerarquía de dispositivos padre-hijo con base en etiquetas de entrenamiento locales para el dispositivo respectivo.

5 En una forma de implementación posible como un dispositivo hijo o como un dispositivo padre, procesar semánticamente los datos de entrada puede comprender además que el dispositivo esté configurado para determinar una solución del objetivo local dependiendo de los hechos semánticos de los datos de entrada y el objetivo local, usando un componente de procesamiento semántico, SP, del dispositivo.

10 Como se usa en la presente, un componente de procesamiento semántico (SP) puede hacer referencia a una función de procesamiento/computación para resolver el objetivo local mediante el análisis de decisiones opcionales de dispositivos hijo y los hechos semánticos del componente SE utilizando reglas lógicas y razonamiento semántico. Como tal, el componente SP puede detectar un cambio del contexto local. Además, el componente SP puede indicar
15 opcionalmente una decisión (es decir, un éxito en la resolución del objetivo local) a un dispositivo padre.

En una forma de implementación posible como un dispositivo padre, procesar semánticamente los datos de entrada puede comprender además que el dispositivo esté configurado para recibir, desde uno o más dispositivos hijo, banderas de decisión respectivas;
20 y determinar la solución del objetivo local dependiendo de los hechos semánticos de los datos de entrada, las banderas de decisión respectivas y el objetivo local, usando el componente SP del dispositivo.

Como se usa en la presente, un indicador de decisión puede hacer referencia a un valor booleano que representa un éxito (1) o falta de éxito (0) en la resolución del objetivo
25 local.

En una forma de implementación posible como un dispositivo hijo, procesar semánticamente los datos de entrada puede comprender además que el dispositivo esté configurado, después de que la solución tenga una confianza menor que un primer umbral de confianza, para enviar, a un dispositivo padre del dispositivo, una bandera de sincronización,
30 o para omitir el envío de la bandera de sincronización.

Como se usa en la presente, una confianza puede hacer referencia a una medida de

certeza de una decisión, tal como que resolver el objetivo local fue exitoso o no. La confianza se puede expresar como un valor porcentual que varía de 0% a 100%, respectivamente.

5 En una forma de implementación posible como un dispositivo hijo, procesar semánticamente los datos de entrada puede comprender además que el dispositivo esté configurado, después de que la solución tenga una confianza superior a un segundo umbral de confianza, para codificar posicionalmente la información semántica de los datos de entrada, usando un componente de postprocesamiento, PP, del dispositivo; y para enviar, al dispositivo padre, la información semántica codificada posicionalmente.

10 Como se usa en la presente, un componente de postprocesamiento (PP) puede hacer referencia a una función de postprocesamiento/computación para convertir la información semántica de los datos de entrada en un formato requerido por un dispositivo padre, que incluye codificación posicional (es decir, bits de información adicionales que ayudan al dispositivo padre a relacionar mejor los datos provenientes de diferentes dispositivos hijo), y para seleccionar información semántica relevante con respecto al objetivo local.

15 En una forma de implementación posible como un dispositivo hijo, procesar semánticamente los datos de entrada puede comprender además que el dispositivo esté configurado, después de que la solución tenga una confianza superior a un tercer umbral de confianza, para enviar, al dispositivo padre, una bandera de decisión de acuerdo con la confianza de la solución.

20 En una forma de implementación posible como un dispositivo hijo, mantener el contexto local puede comprender además que el dispositivo esté configurado para determinar un cambio del contexto local dependiendo de los hechos semánticos de los datos de entrada y la información secundaria disponible, usando el componente SP del dispositivo; y después del cambio del contexto local que tiene una importancia superior a un umbral de importancia,
25 para adaptar el contexto local dependiendo de los hechos semánticos de los datos de entrada y la información secundaria disponible; y para enviar, al dispositivo padre, el contexto local.

 Como se usa en la presente, una importancia puede hacer referencia a una medida de relevancia de un cambio, tal como que el contexto local ha cambiado. La importancia se puede expresar como un valor porcentual que varía de 0% a 100%, respectivamente.

30 En una forma de implementación posible, los hechos semánticos de los datos de entrada pueden ser representables como un gráfico de escena; y un cambio del gráfico de

escena puede ser indicativo del cambio del contexto local del dispositivo.

Como se usa en la presente, un gráfico de escena puede hacer referencia a una red semántica que representa hechos semánticos de una manera teórica de gráficos, tal como representar todos los objetos detectados junto con sus relaciones y atributos.

5 En una forma de implementación posible como un dispositivo padre, mantener el contexto local puede comprender además que el dispositivo esté configurado para recibir, desde uno o más dispositivos hijo, contextos locales respectivos; determinar el cambio del contexto local dependiendo de los contextos locales recibidos; y después del cambio del contexto local que tiene una importancia superior al umbral de importancia, para adaptar el
10 contexto local dependiendo de los contextos locales recibidos; y para enviar, al uno o más dispositivos hijo, el contexto local adaptado.

En una forma de implementación posible como un dispositivo padre, participar en la asignación de los objetivos locales respectivos puede comprender además que el dispositivo esté configurado, después del cambio del contexto local que tiene una importancia superior al
15 umbral de importancia, para descomponer el objetivo local en los objetivos locales respectivos del uno o más dispositivos hijo dependiendo del contexto local, usando un componente de asignación de objetivos del dispositivo; y para enviar, al uno o más dispositivos hijo, el objetivo local respectivo.

Como se usa en la presente, un componente de asignación de objetivos puede hacer
20 referencia a una función de procesamiento/computación para traducir un objetivo local que puede estar compuesto por múltiples subobjetivos en objetivos locales que se asignarán al dispositivo hijo respectivo. Los objetivos locales asignados a diferentes dispositivos hijo se pueden expresar usando diferentes lenguajes semánticos. Además, a diferentes dispositivos hijo se les puede asignar un mismo subobjetivo.

25 En una forma de implementación posible como un dispositivo hijo, participar en la asignación de los objetivos locales respectivos puede comprender además que el dispositivo esté configurado para recibir, desde el dispositivo padre, el objetivo local.

En una forma de implementación posible, el objetivo local se puede expresar en un lenguaje semántico común del dispositivo y el dispositivo padre.

30 En una forma de implementación posible como un dispositivo hijo, participar en la asignación de los objetivos locales respectivos puede comprender además que el dispositivo

esté configurado para determinar un objetivo local potencial del dispositivo dependiendo de las etiquetas de entrenamiento locales y el contexto local; y para enviar, al dispositivo padre del dispositivo, el objetivo local potencial determinado.

5 En una forma de implementación posible como un dispositivo padre, participar en la asignación de los objetivos locales respectivos puede comprender además que el dispositivo esté configurado para recibir, desde el uno o más dispositivos hijo, objetivos locales potenciales respectivos; y para enviar, al dispositivo padre del dispositivo, los objetivos locales potenciales respectivos.

10 En una forma de implementación posible, el dispositivo puede comprender un dispositivo móvil, tal como un teléfono móvil, vehículo autónomo y similares.

Como se usa en la presente, un dispositivo móvil puede hacer referencia a un equipo electrónico portátil que tiene capacidades de procesamiento de datos y comunicación inalámbrica.

15 De acuerdo con un segundo aspecto, se proporciona un método para operar un dispositivo para procesamiento semántico distribuido y comunicación. El dispositivo se puede operar como un dispositivo hijo y/o un dispositivo padre en una jerarquía de dispositivos padre-hijo. El método comprende un paso de procesamiento semántico de datos de entrada en dependencia de un contexto local y un objetivo local, los datos de entrada se originan en uno o más sensores o uno o más dispositivos hijo del dispositivo. El método comprende además
20 un paso de mantener el contexto local en función de los datos de entrada procesados semánticamente y la información secundaria disponible. El método comprende además un paso de participación en una asignación de objetivos locales respectivos de los dispositivos a través de la jerarquía padre-hijo en dependencia del contexto local.

25 En una forma de implementación posible, el método puede ser realizado por el dispositivo del primer aspecto o cualquiera de sus implementaciones.

De acuerdo con un tercer aspecto, se proporciona un programa de computadora que comprende un código de programa para realizar el método del segundo aspecto o cualquiera de sus implementaciones, cuando se ejecuta en una computadora.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

30 Los aspectos e implementaciones descritos anteriormente ahora se explicarán con referencia

a las figuras anexas, en las cuales los mismos o similares números de referencia designan los mismos o similares elementos.

Las figuras se deben considerar como representaciones esquemáticas, y los elementos ilustrados en las figuras no se muestran necesariamente a escala. En su lugar, los diversos elementos se representan de modo que su función y propósito general sean evidentes para aquellos expertos en la técnica.

La figura 1 ilustra un escenario de ejemplo de procesamiento semántico distribuido y comunicación de acuerdo con la presente divulgación;

Las figuras 2A y 2B ilustran un dispositivo cliente y un dispositivo padre de acuerdo con la presente divulgación;

Las figuras 3A y 3B ilustran una interacción de los dispositivos de las figuras 2A y 2B en términos de procesamiento semántico de datos de entrada;

Las figuras 4A y 4B ilustran una interacción de los dispositivos de las figuras 2A y 2B en términos de mantener el contexto local;

Las figuras 5A y 5B ilustran una interacción de los dispositivos de las figuras 2A y 2B en términos de participación en una asignación de objetivos locales respectivos de los dispositivos a través de la jerarquía padre-hijo;

La figura 6 ilustra un diagrama de flujo de un método de acuerdo con la presente divulgación para operar un dispositivo para procesamiento semántico distribuido y comunicación; y

Las figuras 7A a 7C ilustran un escenario de ejemplo concreto de procesamiento semántico distribuido y comunicación de acuerdo con la presente divulgación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En la siguiente descripción, se hace referencia a las figuras acompañantes, las cuales forman parte de la divulgación y que muestran, a manera de ilustración, aspectos específicos de las implementaciones de la presente divulgación o aspectos específicos en los que se pueden utilizar las implementaciones de la presente divulgación. Se entiende que las implementaciones de la presente divulgación se pueden usar en otros aspectos y comprenden cambios estructurales o lógicos no representados en las figuras. Por lo tanto, la siguiente

descripción detallada no se debe tomar en un sentido limitante, y el alcance de la presente divulgación se define por las reivindicaciones anexas.

Por ejemplo, se entiende que una divulgación en conexión con un método descrito también se puede mantener verdadera para un aparato o sistema correspondiente configurado para realizar el método y viceversa. Por ejemplo, si se describen uno o una pluralidad de pasos de método específicos, un dispositivo correspondiente puede incluir una o una pluralidad de unidades, por ejemplo, unidades funcionales, para realizar el paso de método descrito (por ejemplo, una unidad para realizar el paso o pluralidad de pasos, o una pluralidad de unidades para realizar cada uno o más de la pluralidad de pasos), incluso si esta unidad o más no se describen o ilustran explícitamente en las figuras. Por otro lado, por ejemplo, si un aparato específico se describe con base en una o una pluralidad de unidades, por ejemplo, unidades funcionales, un método correspondiente puede incluir un paso para realizar la funcionalidad de la una o pluralidad de unidades (por ejemplo, un paso para realizar la funcionalidad de la una o pluralidad de unidades, o una pluralidad de pasos para realizar cada una la funcionalidad de una o más de la pluralidad de unidades), incluso si este paso o pluralidad de pasos no se describen o ilustran explícitamente en las figuras. Además, se entiende que las características de las diversas implementaciones de ejemplo y/o aspectos descritos en la presente se pueden combinar entre sí, a menos que se indique específicamente lo contrario.

La figura 1 ilustra un escenario de ejemplo de procesamiento semántico distribuido y comunicación de acuerdo con la presente divulgación.

Suponemos alguna topología arbitraria de múltiples saltos con un número variable de dispositivos 1 (por ejemplo, teléfonos móviles, vehículos autónomos, etc.), posiblemente algunos nodos intermedios (por ejemplo, estaciones base) y un centro de fusión (FC) 1, 1" a la derecha de la figura 1. Los dispositivos 1, 1' pueden observar una parte del entorno y, por lo tanto, recopilar datos multimodales (por ejemplo, videos, audio, etc.). Se permite la comunicación bidireccional entre los dispositivos 1. Por otro lado, asumimos que debido a las restricciones de comunicación/privacidad, no es posible o no se permite compartir datos sin procesar con el FC.

En el escenario de ejemplo, el FC intenta resolver algún objetivo complejo (objetivo global) que es expresable utilizando algún lenguaje de composición adecuado (por ejemplo, lenguaje basado en lógica o lenguaje basado en gráficos). Ejemplos de un objetivo global podrían ser detectar eventos que representan un riesgo de seguridad para los peatones,

determinar la causa raíz de un accidente de tráfico, contar objetos específicos presentes en una escena observada, etc. Además, un objetivo global puede comprender múltiples subobjetivos y puede cambiar con el tiempo. Se puede notar que para resolver tal objetivos globales, el FC no solo debe interpretar correctamente los datos observados, sino también

5 realizar un razonamiento semántico utilizando reglas lógicas y algún conocimiento de contexto/fondo. Por lo tanto, resolver el objetivo va más allá de las tareas tradicionales de clasificación/ regresión y obtener un gráfico de escena completo que represente todos los objetos detectados junto con sus relaciones y atributos.

El procesamiento semántico eficiente y la comunicación dependen de una distribución

10 de objetivos locales adecuados a cada dispositivo 1 en la red, lo que a su vez requiere un conocimiento preciso sobre la utilidad de cada dispositivo 1 para resolver el objetivo global. La utilidad de los dispositivos 1 se puede evaluar fácilmente cuando la topología distribuida es estática, es decir, tenemos un número fijo de dispositivos 1 en la red y sus posiciones y orientaciones relativas son siempre las mismas. En estas situaciones, el patrón de vistas

15 locales visto conjuntamente por todos los sensores sigue siendo el mismo durante las fases de entrenamiento e inferencia. Como resultado, los dispositivos padre 1, 1" pueden aprender a asignar objetivos adecuados a través de calibración adecuada y entrenamiento de redes neuronales durante la fase de entrenamiento.

Sin embargo, la asignación de objetivos (y el procesamiento semántico) se vuelve más

20 desafiante cuando los nodos de borde son independientes y móviles. Se debe a que la utilidad de cada dispositivo 1 para resolver el objetivo global depende también de su posición y orientación en el entorno y su relación con otros dispositivos 1. En un enfoque ingenuo, se puede intentar volver a entrenar y recalibrar la red de la figura 1 cada vez que la topología cambia significativamente. Sin embargo, esto se vuelve muy difícil, si no imposible, cuando el

25 número y la posición u orientación de los dispositivos 1 cambian con frecuencia. Esto se debe a que las vistas locales de los dispositivos 1 forman conjuntamente un patrón que evoluciona constantemente con el tiempo.

El problema que se va a resolver es encontrar procedimientos adecuados de señalización, codificación y decodificación que permitan al FC resolver de manera eficiente su

30 objetivo global, sin un acceso directo a los datos sin procesar recopilados por un número variable de sensores móviles con un patrón dinámico de vistas.

Resolver este problema se asocia con varios desafíos técnicos. En primer lugar, los dispositivos de borde 1, 1' y los dispositivos intermedios 1, 1', 1" que observan solo datos

parciales deben poder extraer adecuadamente información semánticamente relevante de estos datos con respecto al objetivo global. Además, la asignación adecuada de subobjetivos requiere un conocimiento preciso y actualizado sobre el estado actual del sistema y del entorno observado. Finalmente, la información semántica extraída se debe fusionar/procesar de manera sólida en un dispositivo padre 1, 1" a pesar de un número variable de dispositivos móviles 1.

El tipo de procesamiento semántico distribuido y comunicación propuesta en lo siguiente es, por lo tanto, en apoyo de

- un número variable de dispositivos móviles 1,
- 10 - costos de comunicación reducidos y privacidad mejorada en comparación con una situación en la que los datos recopilados por los dispositivos 1 se envían sin comprimir al FC,
- rendimiento significativamente mejorado (por ejemplo, menor latencia, robustez, flexibilidad y consumo de energía) en comparación con las técnicas de aprendizaje distribuido de propósito general, tal como INL simple, en tanto que permite la fusión eficiente de datos de
- 15 múltiples sensores, y
- robustez a los cambios dinámicos del patrón de vistas, y no requiere un costoso reentrenamiento o recalibración cada vez que cambia la topología.

Las figuras 2A y 2B ilustran un dispositivo cliente 1, 1' y un dispositivo padre 1, 1" de acuerdo con la presente divulgación.

20 El dispositivo respectivo 1 puede comprender un dispositivo móvil, tal como un teléfono móvil, vehículo autónomo y similares, o un dispositivo fijo, tal como una estación base, punto de acceso y similares.

 El dispositivo respectivo 1 es adecuado para el procesamiento semántico distribuido y la comunicación y se puede operar como un dispositivo hijo 1' y/o un dispositivo padre 1" en una jerarquía de dispositivos padre-hijo 1. La figura 2A y la figura 2B representan

25 colectivamente una jerarquía padre-hijo más pequeña posible de dispositivos 1.

 El dispositivo respectivo 1 puede comprender el contexto local 12 y un objetivo local 13, un codificador de red neuronal de atención (ANN) 14, un componente de extracción semántica (SE) 15, un componente de procesamiento semántico (SP) 16, un componente de

30 postprocesamiento (PP) 18 y un componente de asignación de objetivos 19.

Una implementación respectiva de estas funciones de procesamiento/computación puede incluir hardware y/o software de procesador de propósito general a menos que se especifique lo contrario más adelante.

5 También se explicará en más detalle más adelante una operación respectiva de estas funciones de procesamiento/computación. Como resumen,

- el dispositivo respectivo 1 se puede configurar para participar 21 en un entrenamiento conjunto distribuido a través de la jerarquía de dispositivos padre-hijo 1 con base en etiquetas de entrenamiento locales para el dispositivo respectivo 1;

10 - el dispositivo respectivo 1 se configura para procesar semánticamente 22 datos de entrada 11 dependiendo del contexto local 12 y el objetivo local 13. Los datos de entrada 11 se originan en uno o más sensores o uno o más dispositivos hijo 1' del dispositivo 1;

15 - el dispositivo respectivo 1 se configura además para mantener 23 el contexto local 12 en función de los datos de entrada procesados semánticamente, que se refieren a la información semántica 11' de los datos de entrada 11, los hechos semánticos 11" de los datos de entrada 11 y el indicador de decisión 17 explicado más adelante, y la información secundaria disponible, y

- el dispositivo respectivo 1 se configura además para participar 24 en una asignación de objetivos locales respectivos 13 de los dispositivos 1 a través de la jerarquía padre-hijo en dependencia del contexto local 12.

20 Las figuras 3A y 3B ilustran una interacción de los dispositivos 1, 1', 1" de las figuras 2A y 2B en términos de procesamiento semántico de datos de entrada 11.

Procesamiento semántico basado en atención en dispositivos hijo

25 Un dispositivo hijo 1' procesa sus datos de entrada/detectados obtenidos 11 utilizando su red neuronal basada en la atención (ANN) 14 en vista de su contexto local 12. La salida de las ANN 14 son vectores de características que contienen información semántica relevante 11' de los datos de entrada/detectados 11. Entonces, los componentes SE y SP 15, 16 procesan los vectores de características obtenidos para resolver el objetivo local 13.

Si el objetivo local 13 del dispositivo hijo 1'

- no se puede validar con alta confianza, entonces el dispositivo no envía nada (o solo

una bandera de sincronización),

- se podría validar, luego el nodo envía características semánticas postprocesadas 11" (por ejemplo, con codificación posicional adjunta), posiblemente con algunos hechos/datos simbólicos relacionados, y

- 5 - se puede validar con alta confianza, luego el dispositivo hijo puede enviar opcionalmente un indicador de decisión 17 y posiblemente algunos datos/características relacionados al dispositivo padre,

10 Por lo tanto, como un dispositivo hijo 1' o como un dispositivo padre 1", procesar semánticamente 22 los datos de entrada 11 puede comprender que el dispositivo 1 esté configurado para determinar 2202 información semántica 11' de los datos de entrada 11 dependiendo de los datos de entrada 11 y el contexto local 12, usando una red neuronal de atención entrenada, ANN, codificador 14 del dispositivo 1; y para determinar 2203 hechos semánticos 11" de los datos de entrada 11 dependiendo de la información semántica 11' de los datos de entrada 11, usando un componente de extracción semántica entrenada, SE, 15
15 del dispositivo 1.

La información semántica 11' de los datos de entrada 11 puede comprender uno o más vectores de características de los datos de entrada 11.

El codificador ANN 14 puede comprender un codificador de transformador de una arquitectura de codificador-decodificador de transformador.

- 20 El componente SE 15 puede comprender un decodificador de transformador de la arquitectura de codificador-decodificador de transformador.

El decodificador de transformador y el codificador de transformador se pueden entrenar previamente respectivamente con base en un paradigma de aprendizaje automático supervisado.

- 25 Además, como un dispositivo hijo 1' o como un dispositivo padre 1", procesar semánticamente 22 los datos de entrada 11 puede comprender además que el dispositivo 1 esté configurado para determinar 2204 una solución del objetivo local 13 dependiendo de los hechos semánticos 11" de los datos de entrada 11 y el objetivo local 13, usando un componente de procesamiento semántico, SP, 16 del dispositivo 1.

- 30 Se debe señalar que el papel conjunto de los componentes SE y SP 15, 16 también

es evaluar una relevancia de los datos de entrada 11 con respecto al subobjetivo local 13. Sin estos componentes, un dispositivo hijo 1' no puede evaluar la utilidad de sus datos de entrada 11 y corre el riesgo de enviar datos irrelevantes al dispositivo padre 1". Esto conduce a un uso ineficiente del escaso ancho de banda de comunicación.

5 Como un dispositivo hijo 1', procesar semánticamente 22 los datos de entrada 11 puede comprender además que el dispositivo 1 esté configurado, después de que la solución tenga una confianza menor que un primer umbral de confianza, para enviar 2207, a un dispositivo padre 1" del dispositivo de borde móvil 1, una bandera de sincronización, o para omitir 2208 el envío de la bandera de sincronización. El primer umbral de confianza puede
10 ascender al 50%, por ejemplo.

 Además, como un dispositivo hijo 1', procesar semánticamente 22 los datos de entrada 11 puede comprender además que el dispositivo 1 esté configurado, después de que la solución tenga una confianza superior a un segundo umbral de confianza, para codificar posicionalmente 2209 la información semántica 11' de los datos de entrada 11, usando un
15 componente de postprocesamiento, PP, 18 del dispositivo 1; y para enviar 2210, al dispositivo padre 1", la información semántica codificada posicionalmente 11"". El segundo umbral de confianza puede ascender a 90%, a manera de ejemplo.

 Se debe señalar que la codificación posicional adjunta por los dispositivos hijo 1' ayuda al dispositivo padre 1" a relacionar mejor los datos de múltiples dispositivos hijo 1' (al eliminar
20 posibles ambigüedades). La codificación puede contener, por ejemplo, la posición GPS del sensor, el sello de tiempo y la ID del dispositivo.

 Además, como un dispositivo hijo 1', procesar semánticamente 22 los datos de entrada 11 puede comprender además que el dispositivo 1 esté configurado, después de que la solución tenga una confianza superior a un tercer umbral de confianza, para enviar 2211, al
25 dispositivo padre 1", una bandera de decisión 17 de acuerdo con la confianza de la solución. El tercer umbral de confianza puede ascender a 97%, a manera de ejemplo.

Procesamiento semántico basado en atención en dispositivos padre

 Un dispositivo padre 1" intenta combinar y procesar las banderas de decisión 17 recibidas de sus dispositivos hijo 1', si las hay, para validar su objetivo local 13.

30 Si el objetivo local 13 no se puede validar, el dispositivo padre 1" alimenta la información semántica codificada posicionalmente recibida 11"" en su codificador ANN 14.

El codificador ANN 14 es capaz de fusionar los datos de entrada 11 de un número variable de dispositivos hijo 1' debido a las propiedades únicas de los transformadores con atención:

- ser invariante al número y orden de los vectores de características recibidos,

5 - usar el mecanismo de autoatención/atención cruzada y el contexto local 12 para detectar correlaciones semánticas entre los datos de entrada 11 recibidos de diferentes dispositivos hijo 1' (por ejemplo, señales semánticas comunes, mismo fondo/objetos, etc.),

- confiar en la codificación posicional adjunta por los dispositivos hijo 1 para mejorar la confiabilidad,

10 - ayudar a producir salidas más ricas (por ejemplo, gráficos de escena) en el componente SE del dispositivo padre 1" que las locales producidas en los dispositivos hijo 1', porque la fusión semántica

- posiblemente revela nuevos objetos que se infieren parcialmente, o no se infieren en absoluto, de cada vista localmente,

15 - posiblemente revela nuevos atributos o relaciones entre objetos, y

- posiblemente refina los atributos existentes o las relaciones entre los objetos.

Entonces, los componentes SE y SP 15, 16 procesan las características semánticas fusionadas 11' para resolver el objetivo local 13.

20 Se debe señalar que validar el objetivo local 13 en un dispositivo padre 1" puede requerir una comunicación de múltiples rondas entre el dispositivo padre 1" y cualquiera de sus dispositivos hijo 1'. Puede ser útil, por ejemplo, cuando el dispositivo padre 1" requiere más evidencia para validar su objetivo local 13, o cuando el dispositivo padre 1" decide reasignar subobjetivos en función de la información ya proporcionada por otros dispositivos hijo 1'.

25 Por lo tanto, como un dispositivo padre 1", procesar semánticamente 22 los datos de entrada 11 puede comprender que el dispositivo 1 esté configurado para recibir 2205, desde uno o más dispositivos hijo 1', banderas de decisión respectivas 17; y determinar 2206 la solución del objetivo local 13 dependiendo de los hechos semánticos 11" de los datos de entrada 11, las banderas de decisión respectivas 17 y el objetivo local 13, usando el

componente SP 16 del dispositivo 1.

Además, como un dispositivo padre 1", procesar semánticamente 22 los datos de entrada 11 puede comprender además que el dispositivo 1 esté configurado para recibir 2201, desde el uno o más dispositivos hijo 1', información semántica codificada posicionalmente respectiva 11' " como los datos de entrada 11.

La información semántica codificada posicionalmente respectiva 11'" puede comprender uno o más de: una marca de tiempo, una posición geográfica y un identificador único del dispositivo respectivo 1.

Como un dispositivo hijo 1' o como un dispositivo padre 1", procesar semánticamente 22 los datos de entrada 11 puede comprender que el dispositivo 1 esté configurado para determinar 2202 información semántica 11' de los datos de entrada 11 dependiendo de los datos de entrada 11 y el contexto local 12, usando una red neuronal de atención entrenada, ANN, codificador 14 del dispositivo 1; y para determinar 2203 hechos semánticos 11" de los datos de entrada 11 dependiendo de la información semántica 11' de los datos de entrada 11, usando un componente de extracción semántica entrenada, SE, 15 del dispositivo 1.

La información semántica 11' de los datos de entrada 11 puede comprender uno o más vectores de características de los datos de entrada 11.

El codificador ANN 14 puede comprender un codificador de transformador de una arquitectura de codificador-decodificador de transformador.

El componente SE 15 puede comprender un decodificador de transformador de la arquitectura de codificador-decodificador de transformador.

El decodificador de transformador y el codificador de transformador se pueden entrenar previamente respectivamente con base en un paradigma de aprendizaje automático supervisado.

Además, como un dispositivo hijo 1' o como un dispositivo padre 1", procesar semánticamente 22 los datos de entrada 11 puede comprender además que el dispositivo 1 esté configurado para determinar 2204 una solución del objetivo local 13 dependiendo de los hechos semánticos 11" de los datos de entrada 11 y el objetivo local 13, usando un componente de procesamiento semántico, SP, 16 del dispositivo 1.

Las figuras 4A y 4B ilustran una interacción de los dispositivos 1, 1', 1" de las figuras

2A y 2B en términos de mantener el contexto local 12.

Como se usa en la presente, el contexto local 13 puede hacer referencia a información sobre un estado y un entorno observado de un dispositivo 1 dentro de la jerarquía de dispositivos padre-hijo 1. El contexto puede servir para interpretar correctamente los datos de entrada 11 y asignar objetivos locales 13 a los dispositivos hijo 1'. Por ejemplo, el contexto puede incluir conocimiento de antecedentes incorporado o aprendido, parámetros del sensor (tipo, posición, etc.), configuraciones generales (clima, tiempo, días festivos, etc.), patrón actual de vistas, una posición del dispositivo 1 con respecto a otros dispositivos 1, información semántica parcial proporcionada por otros dispositivos 1 (incluidos objetos ya detectados con atributos) y similares. El contexto puede evolucionar constantemente debido a la movilidad de los dispositivos y debido a cambios en el entorno observado. Los posibles eventos que causan cambios significativos de contexto incluyen dispositivos que entran/salen de la jerarquía de dispositivos padre-hijo 1, cambio en el patrón relativo de vistas (por ejemplo, causado por la rotación de un sensor), desplazamiento de uno o más sensores en una nueva área (por ejemplo, de una calle a un parque), cambio en las capacidades del dispositivo (por ejemplo, batería baja), cambios significativos en el entorno (por ejemplo, lluvia intensa, cambios diurnos, etc.) y similares.

Cuando se produce un cambio de contexto local 13, los objetivos locales 13 asignados a cualquiera de los dispositivos 1 pueden llegar a ser subóptimos o incluso irresolubles. Además, el contexto no actualizado puede conducir a una interpretación incorrecta de los datos de entrada recibidos 11 por el dispositivo 1 (por ejemplo, un automóvil en una calle debe interpretarse de manera diferente que un automóvil en un parque). Por lo tanto, la detección del contexto cambiado y su actualización frecuente es una tarea crucial.

La detección de un cambio de contexto se puede hacer mediante cualquier dispositivo 1 al analizar

- datos de entrada recibidos 11 (datos de entrada/detectados en los dispositivos hijo 1' o datos procesados en los dispositivos padre 1"),

- información secundaria obtenida, por ejemplo, el número de dispositivos registrados, sus ubicaciones de GPS, nivel de batería, etc.

La detección del contexto cambiado puede basarse particularmente en la evaluación de la evolución de la salida de gráficos de escena de los componentes SE 15, ya sea en los

dispositivos hijo 1' o en los dispositivos padre 1". Una vez que se detecta el cambio de contexto, el dispositivo 1 utiliza la información adquirida para actualizar su modelo local de contexto 12. A continuación, el dispositivo 1 puede comunicar el contexto actualizado a los dispositivos conectados directamente 1 (es decir, los dispositivos hijo 1' y/o los dispositivos padre 1").

Por lo tanto, como un dispositivo hijo 1', mantener 23 el contexto local 12 puede comprender que el dispositivo 1 esté configurado para determinar 2301 un cambio del contexto local 12 dependiendo de los hechos semánticos 11" de los datos de entrada 11 y la información secundaria disponible, usando el componente SP 16 del dispositivo 1; y después del cambio del contexto local 12 que tiene una importancia superior a un umbral de importancia, para adaptar 2302 el contexto local 12 dependiendo de los hechos semánticos 11" de los datos de entrada 11 y la información secundaria disponible; y para enviar 2303, al dispositivo padre 1", el contexto local 12.

Los hechos semánticos 11" de los datos de entrada 11 pueden ser representables como un gráfico de escena; y un cambio del gráfico de escena puede ser indicativo del cambio del contexto local 12 del dispositivo 1.

Como un dispositivo padre 1", mantener 23 el contexto local 12 puede comprender además que el dispositivo 1 esté configurado para recibir 2304, desde uno o más dispositivos hijo 1', contextos locales respectivos 12; determinar 2305 el cambio del contexto local 12 dependiendo de los contextos locales recibidos 12; y después del cambio del contexto local 12 que tiene una importancia superior al umbral de importancia, para adaptar 2306 el contexto local 12 dependiendo de los contextos locales recibidos 12; y para enviar 2307, al uno o más dispositivos hijo 1', el contexto local adaptado 12.

Las figuras 5A y 5B ilustran una interacción de los dispositivos 1, 1', 1" de las figuras 2A y 2B en términos de participación en una asignación de objetivos locales respectivos 13 de los dispositivos 1, 1', 1" a través de la jerarquía padre-hijo.

De acuerdo con la presente divulgación, se propone un mecanismo que traduce un objetivo global en el FC en objetivos locales 13 al asignar progresivamente objetivos locales 13 a cada dispositivo 1 en la red. Se asume que el objetivo global se da o se forma en el FC. Por ejemplo, se puede proporcionar por un operador humano como una consulta de lenguaje natural, y luego se analiza automáticamente en una fórmula en algún lenguaje semántico orientado a la máquina adecuado. El objetivo global en el FC se puede descomponer

automáticamente en subobjetivos que se asignarán a sus dispositivos hijo 1'. Para mantener la generalidad de la solución, no se proporciona ningún algoritmo particular para descomponer objetivos globales en subobjetivos. Sin embargo, se debe señalar que una asignación adecuada de subobjetivos debe tener en cuenta:

- 5 - utilidad de los datos de entrada 11 que puede adquirir un dispositivo hijo 1',
- capacidades de procesamiento de un dispositivo 1 (por ejemplo, la capacidad de extraer tipos específicos de hechos de sus datos de entrada 11),
- conocimiento de contexto/fondo disponible (por ejemplo, algún conocimiento específico del dominio o conocimiento aprendido implícitamente sobre la utilidad de un
- 10 dispositivo 1 para resolver una tarea en particular).

Los subobjetivos se asignan y se comunican a los dispositivos hijo adecuados 1'. Si estos dispositivos 1 tienen sus propios dispositivos hijo 1', pueden traducir el objetivo local obtenido 13 más y asignar nuevos subobjetivos respectivos a sus dispositivos hijo 1' usando el método descrito anteriormente. Esto se puede repetir de forma recursiva hasta que todos

15 los dispositivos 1 en la red posean un objetivo local 13.

De manera similar a los objetivos globales, los objetivos locales 13 pueden consistir de múltiples subobjetivos. Además, se pueden asignar subobjetivos idénticos a múltiples nodos hijo 1'. Finalmente, un subobjetivo asignado debe expresarse en un lenguaje semántico que sea entendido por un dispositivo hijo 1. Esto puede requerir que cada par de dispositivos

20 conectados directamente 1 acuerde un lenguaje semántico común utilizado para la comunicación.

Cuando el contexto local 12 de un dispositivo padre 1" cambia, el dispositivo 1 reevalúa su asignación de objetivos. Si es necesario, el dispositivo 1 puede actualizar la asignación de objetivos. Esto puede incluir asignar subobjetivos a nuevos dispositivos 1 que ingresan, o

25 actualizar/refinar los subobjetivos a dispositivos ya registrados 1.

Se debe señalar que una suposición básica es que los dispositivos hijo y padre 1', 1" comparten un lenguaje semántico común utilizado para interpretar los objetivos locales asignados 13. Cada pareja hijo-padre puede usar un lenguaje semántico diferente.

Por lo tanto, como un dispositivo hijo 1', participar 24 en la asignación de los objetivos

30 locales respectivos 13 puede comprender que el dispositivo 1 esté configurado para recibir

2505, desde el dispositivo padre 1", el objetivo local 13.

El objetivo local 13 se puede expresar en un lenguaje semántico común del dispositivo 1 y el dispositivo padre 1.

Además, como un dispositivo padre 1", participar 24 en la asignación de los objetivos locales respectivos 13 puede comprender además que el dispositivo 1 esté configurado, después del cambio del contexto local 12 que tiene una importancia superior al umbral de importancia, para descomponer 2406 el objetivo local 13 en los objetivos locales respectivos 13 del uno o más dispositivos hijo 1' dependiendo del contexto local 12, usando un componente de asignación de objetivos 19 del dispositivo 1; y para enviar 2407, al uno o más dispositivos hijo 1', el objetivo local respectivo 13.

Aprender a asignar objetivos

La asignación progresiva de objetivos locales a cada dispositivo 1 en la red para que todos los dispositivos 1 puedan contribuir a resolver un objetivo global es una tarea particularmente crucial. Sin embargo, esto requiere que los dispositivos padre 1" sepan qué tipo de consultas podrían ser respondidas por sus dispositivos hijo 1'.

La solución más simple es pre-codificar manualmente el conjunto de posibles objetivos locales 13 de cada dispositivo 1 por un operador humano. En tanto que es conceptualmente simple, sin embargo, este enfoque puede llegar a ser poco práctico en grandes redes con cientos de dispositivos 1.

Un procedimiento de descubrimiento más práctico es usar el conjunto de datos de entrenamiento para construir y propagar progresivamente un conjunto de objetivos posibles desde los dispositivos de borde 1 al FC. En un primer paso, cada dispositivo de borde 1 puede usar sus etiquetas de entrenamiento local y conocimiento de fondo local para construir un conjunto de posibles objetivos locales 13 que el dispositivo 1 podría validar. El conocimiento previo se puede codificar previamente o aprender de los datos. El conjunto obtenido de posibles objetivos locales 13 puede comunicarse entonces al dispositivo padre 1", que a su vez puede construir su propio conjunto de posibles objetivos locales 13 y reenviarlo a su propio dispositivo padre 1. El procedimiento se puede repetir hasta que se alcanza el FC.

Durante la asignación de objetivos, un dispositivo padre 1 puede verificar si su objetivo local 13 (o parte de él) pertenece al conjunto de posibles objetivos locales 13 del respectivo nodo hijo 1'. Si es así, entonces el dispositivo padre 1" puede asignar un subobjetivo al

dispositivo hijo 1'.

Además, un mecanismo de aprendizaje implícito (aprender de los ejemplos) se puede usar para enriquecer el contexto local/conocimiento de fondo de un dispositivo 1. Durante la fase de inferencia, un dispositivo 1 puede observar muchos ejemplos de los que puede derivar algunos hechos y relaciones nuevos que no aparecen en el conjunto de datos de entrenamiento. Si el conocimiento previo actualizado ayuda a resolver algunos objetivos nuevos por parte del dispositivo 1, esta información se debe comunicar al dispositivo padre 1" y luego propagar hasta que se alcanza el FC.

Por lo tanto, como un dispositivo hijo 1', participar 24 en la asignación de los objetivos locales respectivos 13 puede comprender que el dispositivo 1 esté configurado para determinar 2401 un objetivo local potencial 13 del dispositivo 1 dependiendo de las etiquetas de entrenamiento locales y el contexto local 12; y para enviar 2402, al dispositivo padre 1" del dispositivo 1, el objetivo local potencial determinado 13.

Además, como un dispositivo padre 1", participar 24 en la asignación de los objetivos locales respectivos 13 puede comprender que el dispositivo 1 esté configurado para recibir 2403, desde el uno o más dispositivos hijo 1', objetivos locales potenciales respectivos 13; y para enviar 2404, al dispositivo padre 1" del dispositivo 1, los objetivos locales potenciales respectivos 13.

La figura 6 ilustra un diagrama de flujo de un método 2 de acuerdo con la presente divulgación para operar un dispositivo 1 para procesamiento semántico distribuido y comunicación.

Como se mencionó anteriormente, el dispositivo 1 se puede operar como un dispositivo hijo 1' y/o un dispositivo padre 1" en una jerarquía de dispositivos padre-hijo 1.

El método 2 puede comprender un paso de participar 21 en un entrenamiento conjunto distribuido (más específicamente, entrenamiento conjunto supervisado usando aprendizaje dentro de la red) a través de la jerarquía de dispositivos padre-hijo 1 con base en etiquetas de entrenamiento locales para el dispositivo respectivo 1.

El entrenamiento completo de los transformadores generalmente requiere una cantidad considerable de datos de entrenamiento y una potencia computacional significativa. Para superar este desafío técnico, un enfoque común es pre-entrenar un modelo de propósito general en el entorno fuera de línea, utilizando un gran conjunto de datos de entrenamiento,

y luego afinar el modelo pre-entrenado para realizar tareas más específicas basadas en un número relativamente pequeño de muestras de entrenamiento. Inicialmente, las muestras de entrenamiento adecuadas se pueden cargar en dispositivos de borde respectivos (es decir, solo para niños) (por ejemplo, imágenes, videos, señales de audio, etc.). Además, se pueden

5 cargar etiquetas de entrenamiento adecuadas en cada nodo en la red. Las etiquetas de entrenamiento en cada dispositivo ayudan a entrenar los componentes SE respectivos para extraer hechos semánticos relevantes de los datos de entrada. A continuación, se puede realizar un entrenamiento conjunto distribuido utilizando una función de pérdida multitarea. En el paso hacia adelante, los dispositivos de borde pasan sus datos de entrada a través de sus

10 redes neuronales con atención. Los valores de activación emitidos por los componentes SE respectivos se utilizan para calcular el valor de la función de pérdida local, y los valores de activación emitidos por los codificadores de atención respectivos se envían al dispositivo padre respectivo. El dispositivo padre respectivo combina los valores de activación recibidos y los alimenta en sus propias redes neuronales con atención. De manera similar a lo anterior,

15 los valores de activación emitidos por el componente SE se utilizan para calcular la pérdida local, y los valores de activación emitidos por el codificador de atención se envían al siguiente nodo. El procedimiento continúa hasta que se alcanza el FC. El paso hacia atrás invierte esencialmente las operaciones realizadas en el paso hacia adelante. El vector de error en la entrada de cada red neuronal (NN) se divide invirtiendo la operación "combinar". Los vectores

20 divididos obtenidos entonces se distribuyen a continuación a los nodos hijo respectivos. El procedimiento continúa hasta que cada nodo de borde procesa los vectores de error y actualiza los pesos de sus respectivas redes neuronales. Los pasos hacia adelante y hacia atrás se repiten hasta la convergencia de todos los NN.

El método 2 comprende un paso de procesamiento semántico 22 de datos de entrada

25 11 en dependencia de un contexto local 12 y un objetivo local 13, los datos de entrada 11 se originan en uno o más sensores o uno o más dispositivos hijo 1' del dispositivo 1.

El método 2 comprende además un paso de mantener 23 el contexto local 12 en función de los datos de entrada procesados semánticamente y la información secundaria disponible.

El método 2 comprende además un paso de participación 24 en una asignación de

30 objetivos locales respectivos 13 de los dispositivos 1 a través de la jerarquía padre-hijo en dependencia del contexto local 12.

El método 2 se puede realizar por el dispositivo 1, 1', 1" del primer aspecto o cualquiera

de sus implementaciones.

Las figuras 7A a 7C ilustran un escenario de ejemplo concreto de procesamiento semántico distribuido y comunicación de acuerdo con la presente divulgación, es decir, monitoreo de seguridad en un área peatonal.

5 La figura 7A representa una vista en planta del escenario de ejemplo y la jerarquía padre-hijo correspondiente de dispositivos 1. La jerarquía padre-hijo incluye cuatro dispositivos de borde ① – ④ (es decir, solo para hijo), equipados con una cámara de video, dos estaciones base (dispositivos intermedios) ⑤ – ⑥ y un centro de fusión remoto (FC).

10 Cada dispositivo 1 en la jerarquía padre-hijo que se muestra en la figura 7A tiene objetivos locales asignados como se indica, en donde $G0 = \phi1 \phi2$ representa el objetivo global en el FC y subobjetivos $\phi1$, $\phi2$. Por ejemplo, el subobjetivo $\phi1$ puede indicar una oración "hay un automóvil en movimiento en el área peatonal", el subobjetivo $\phi2$ puede indicar una oración "hay una persona sosteniendo un arma", y "" representa una operación lógica OR.

15 La figura 7B representa cuadros de videos grabados por cámaras en el dispositivo ① (cámara estática) y el dispositivo ② (cámara móvil) en tres pasos de tiempo diferentes $t1$, $t2$ y $t3$ (lado izquierdo). Se observa que las áreas observadas se superponen parcialmente y que la vista del dispositivo ② cambia con el tiempo. Los cuadros ilustran un automóvil en movimiento que representa un riesgo de seguridad para los peatones. La figura 7B muestra además una comunicación entre los dispositivos (lado derecho).

20 En el paso de tiempo $t1$, solo el dispositivo ① observa el automóvil. El dispositivo 1, que es capaz de resolver el subobjetivo $\phi1$, evalúa sus datos recopilados y decide con alta confianza que el automóvil observado representa un riesgo para la seguridad en el área peatonal. Por lo tanto, envía un bandera de decisión 17 al dispositivo padre ⑤ para informar el evento. Al mismo tiempo, el dispositivo ② no observa ningún automóvil y, por lo tanto,
25 permanece en silencio.

 En el paso de tiempo $t2$, el automóvil avanzó y ahora ambos dispositivos lo observan parcialmente ①,②. Los dispositivos ①,② detectan el automóvil, pero no pueden evaluar con alta confianza si el automóvil representa un riesgo para la seguridad. Por lo tanto, en lugar de enviar una bandera de decisión 17, ambos dispositivos 1 envían vectores de características
30 (datos procesados) emitidos por sus respectivos codificadores ANN 14 al dispositivo padre ⑤. El dispositivo intermedio recibe los vectores de características y realiza la fusión semántica.

Al tener en cuenta las señales semánticas comunes en los datos proporcionados por los dispositivos ①,② (por ejemplo, el color/tamaño de un automóvil, la misma valla blanca en el fondo), el dispositivo intermedio determina que ambos dispositivos ①,② observan el mismo automóvil. La evaluación conjunta de los datos de entrada 11 ayuda al dispositivo ⑤ a
5 determinar con alta confianza la presencia de un automóvil no autorizado. Por lo tanto, envía un bandera de decisión 17 al centro de fusión.

En el paso de tiempo t3, el automóvil avanzó nuevamente y solo es visible por el dispositivo ②. El dispositivo 1 envía un bandera de decisión 17 a su dispositivo padre ⑤, en tanto que el dispositivo ① permanece en silencio. Se puede notar que el dispositivo ① observa
10 otro automóvil, que está fuera del área peatonal y, por lo tanto, no representa un riesgo para la seguridad. Por lo tanto, no se informa la presencia del automóvil.

La presente divulgación se describió junto con diversas implementaciones como ejemplos. Sin embargo, se pueden comprender y efectuar otras variaciones por aquellos expertos en la técnica y practicar la materia reivindicada, a partir de los estudios de los dibujos,
15 esta divulgación y las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones, así como en la descripción, la palabra "que comprende" no excluye otros elementos o pasos y el artículo indefinido "un" o "una" no excluye una pluralidad. Un solo elemento u otra unidad puede cumplir con las funciones de varias entidades o artículos mencionados en las reivindicaciones. El simple hecho de que determinadas mediciones se mencionen en las reivindicaciones
20 dependientes diferentes mutuas no indica que una combinación de estas mediciones no se pueda utilizar en una implementación ventajosa. Un programa de computadora se puede almacenar/distribuir en un medio adecuado, tal como un medio de almacenamiento óptico o un medio de estado sólido suministrado junto con o como parte de otro hardware, pero también se puede distribuir en otras formas, tal como a través de Internet u otros sistemas de
25 telecomunicaciones alámbricos o inalámbricos.