

Coordinación de Dispositivos IoT mediante Web Semántica y Ontologías en Situational-Context

Daniel Flores-Martin¹, Alejandro Pérez-Vereda², Javier Berrocal¹, Carlos Canal² y Juan M. Murillo¹

¹ Universidad de Extremadura
{dfloresm,jberolm,juanmamu}@unex.es

² Universidad de Málaga
apvereda@uma.es, canal@lcc.uma.es

Resumen El ritmo al que crece Internet de las Cosas (IoT) es imparable. Existen multitud de fabricantes que desarrollan dispositivos IoT, siguiendo sus propias especificaciones y sin atender a un estándar que todavía no existe como tal. Esto nos lleva a una situación donde la gran heterogeneidad de dispositivos que podemos encontrar en el mercado, provoca que esta interconexión sea compleja o incluso no sea posible, impidiendo así que los dispositivos puedan coordinarse para desarrollar tareas colaborativas. Esta interconexión además depende del contexto, pues los dispositivos IoT deben adaptar su comportamiento dependiendo de las características de las personas que les rodean. Con nuestra propuesta, abordamos esta situación proponiendo un sistema que permita identificar una interconexión dinámica de dispositivos IoT que surja de situaciones cambiantes. Gracias a nuestro trabajo conseguimos que esta interconexión sea dependiente del contexto, creando un entorno colaborativo entre personas y dispositivos.

Palabras clave: Internet de las Cosas, Contexto, Interconexión, Personas

1. Introducción

La relevancia de Internet de las Cosas (Internet of Things ó IoT) está aumentando a medida que se desarrollan más y más dispositivos interconectados. Estimaciones recientes afirman que en los próximos años tendremos alrededor de 30 mil millones de dispositivos inteligentes conectados a Internet [15]. Uno de los propósitos generales de estos dispositivos es facilitar la vida de las personas, simplificando las tareas o ayudando a realizarlas.

Por sí solos, estos dispositivos pueden realizar tareas sencillas como regular la temperatura o la luminosidad de una habitación, pero el verdadero potencial llega cuando se interconectan entre sí, pudiendo realizar tareas más complejas. Esta interconexión no es algo simple, pues encontramos una gran heterogeneidad de dispositivos IoT en el mercado y que, además, pueden estar adaptados y

configurados para diferentes dominios de aplicación específicos como ciudades inteligentes, tiendas conectadas o la industria del automóvil, dificultando aún más la conexión de distintos objetos inteligentes. Actualmente no hay un estándar que permita la interconexión e intercambio de información entre dispositivos y cada fabricante define sus propios protocolos de comunicación. Esto aumenta el riesgo de dependencia de proveedores o *vendor lock-in*, pues nos vemos condicionados a adquirir productos de los mismos fabricantes si queremos que sean totalmente compatibles entre sí [17].

Para mitigar este inconveniente, en los últimos años, distintos trabajos han defendido métodos alternativos para hacer que los dispositivos IoT trabajen entre sí, como *frameworks* específicos, por ejemplo [18], donde se desarrolla un marco para integrar aplicaciones específicas de dominio en IoT, ó [13], que presenta interfaces y procedimientos de interconexión basados en oneM2M [19]. La utilización de ontologías y la Web Semántica (SW) también está cobrando gran relevancia para solucionar estos problemas de interconexión [20]. El World Wide Web Consortium (W3C) lanzó recientemente el grupo de trabajo Web of Things (WoT) para desarrollar estándares iniciales para la WoT, con el objetivo de contrarrestar la fragmentación de la IoT y fomentar el crecimiento exponencial en el mercado de dispositivos y servicios de IoT [1].

Estos trabajos ayudan a solventar el problema de la interconexión de dispositivos, pero no es una tarea fácil, pues, para ello, se deben tener en cuenta las capacidades y la diversidad tecnológica de los objetos inteligentes, además de realizar un correcto manejo del contexto, que no siempre se tiene en cuenta. El desarrollo de software sensible al contexto ha demostrado ser exitoso [16]. Los dispositivos IoT cada vez se van haciendo más y más inteligentes gracias a la información recopilada sobre el contexto en el que se encuentran. Un problema todavía muy presente es que la interacción de las personas con los dispositivos IoT sigue siendo demasiado manual [18,13], y tienen que ser configurados manualmente por los usuarios, que a menudo no tienen las habilidades técnicas necesarias, con la consiguiente inversión de tiempo y frustración que esto puede causar. Para minimizar la interacción de las personas con los dispositivos, esta interconexión debe emerger del contexto. Estos inconvenientes pueden abordarse mediante el desarrollo de software capaz de adaptar su comportamiento a las necesidades de las personas [16,21]. Además, varias áreas de investigación pueden contribuir a resolverlas, concretamente la Programación Orientada al Contexto (COP), Ambient Intelligent (AmI), SW y Machine Learning (ML). La mayoría de estos paradigmas nos permiten definir comportamientos para diferentes escenarios en el momento en que se diseñan los sistemas, por lo que la adaptación de los dispositivos se limita a las situaciones que los desarrolladores han podido identificar, imposibilitando su adaptación a otras situaciones que puedan surgir del contexto.

Durante los últimos años, los autores de este trabajo han propuesto el Contexto Situacional ó Situational-Context [5], donde se trata el contexto como una forma de analizar las condiciones que existen en un momento y lugar en particular identificando las necesidades de las personas. En este artículo se presenta

una arquitectura que modela el paradigma Situational-Context y permite la interconexión de dispositivos independientemente del fabricante. Además, permite obtener datos de los perfiles de las personas, almacenados en sus smartphones, para utilizarlos de manera que los dispositivos IoT adapten su comportamiento a las necesidades de las personas. Esto sucede de manera dinámica y en tiempo de ejecución, pues las posibilidades que pueden darse en un contexto son innumerables.

El resto del documento está estructurado de la siguiente manera. La Sección 2 describe las motivaciones de nuestro trabajo. La Sección 3 recuerda el concepto de Situational-Context. En la Sección 4 mostramos la arquitectura. La Sección 5 detalla la interconexión de dispositivos. En la Sección 6 describimos algunos trabajos relacionados. Finalmente, en la Sección 7 se detallan algunas conclusiones.

2. Motivaciones

La interconexión de dispositivos IoT es un problema todavía hoy presente que impide explotar todo el potencial de los paradigmas IoT y WoT, debido a la gran heterogeneidad de fabricantes y dispositivos que existen.

Para mostrar mejor el impacto de este problema, vamos a utilizar un escenario basado en un SmartCar, mostrado en la Fig. 1. En el resto del trabajo se utilizará el escenario propuesto para mostrar los beneficios de nuestro trabajo.

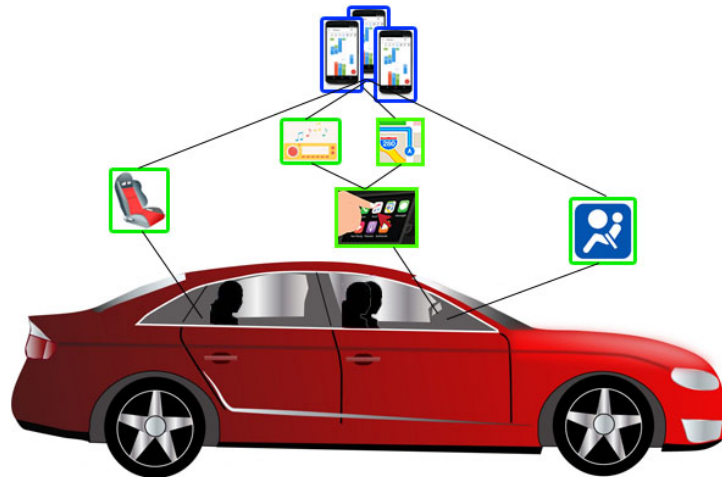


Figura 1. Caso de estudio: SmartCar

María tiene un coche inteligente donde entre sus numerosas funciones destacan el sistema del navegador multimedia, la regulación de asientos y aire acondicionado o el uso inteligente de los airbags. Puesto que su smartphone es compati-

ble con el sistema del vehículo, María puede conectarlo para hacer más agradable la conducción y facilitar la interacción con el vehículo.

María decide ir al cine con sus amigos, y recoge a Sandra en su casa. Sandra está embarazada desde hace varios meses y esto es algo que está registrado en su smartphone, por lo que al subirse al coche de María, este debería desconectar automáticamente el airbag del copiloto. Lamentablemente, el smartphone de Sandra no es compatible con el coche y no permite que se interconecten, lo que supone un grave problema de seguridad, por lo que María debe desconectarlo de forma manual. También recogen a Julián, que, igual que María, posee un smartphone compatible con el vehículo.

En el trayecto, el GPS guía a María por la mejor ruta. Para tener un viaje más agradable, el navegador multimedia debería adaptar su contenido musical a todos miembros del vehículo, basado en los gustos de María y sus amigos. Esto podría hacerse mediante la conexión de los smartphones de cada uno con el sistema del coche. Debido a que el smartphone de Sandra no es compatible, no es posible que se interpreten sus datos, por lo que es incapaz de adaptarse a ella. En este punto, se presenta el problema de que debido a la incompatibilidad de dispositivos, no se pueden satisfacer las necesidades de una persona. Asimismo, la configuración de los asientos del coche de María es regulable. De igual manera, se recupera dicha información de los teléfonos inteligentes de María y Julián para adaptar su configuración, y, otra vez, no es posible obtener la de Sandra.

A través de este ejemplo, identificamos cómo el problema de la falta de estándares y la gran heterogeneidad que hay en el mercado dificultan la adaptación de los dispositivos IoT, y que además están en constante cambio, a las necesidades de todos los integrantes del vehículo, en tiempo de ejecución.

Como se ha explicado al inicio de este trabajo, existen ya tecnologías que abordan estos problemas y tratan de solventarlos.

Las tecnologías semánticas basadas en el formalismo de representación interpretable por máquina se han mostrado prometedoras para describir objetos, compartir e integrar información e inferir nuevos conocimientos junto con otras técnicas inteligentes de procesamiento [3]. Sin embargo, la naturaleza dinámica y limitada de recursos del IoT requiere consideraciones de diseño especiales que deben tenerse en cuenta, como modelar las propiedades y relaciones de estos dispositivos para aplicar efectivamente las tecnologías semánticas en los datos del mundo real.

Además, el diseño de ontologías es cada vez más y más popular para facilitar la interoperabilidad entre aplicaciones y servicios, software y plataformas y para describir el dominio de conocimiento [8]. Con arreglo a [11], los principales beneficios del uso de ontologías son: (1) intercambio de datos entre sistemas, (2) facilitar la interoperabilidad entre sistemas, (3) diseñar el conocimiento, (4) compartir el conocimiento, y (5) la simplificación de las operaciones. Sin embargo, dentro de la comunidad Internet de las Cosas, cada proyecto o plataforma desarrolla una ontología propia que aún hoy en día obstaculiza la interoperabilidad. Un reto importante sería la reutilización en la medida de lo posible de las ontologías existentes en Internet.

En cuanto a algunas tecnologías consientes del contexto, encontramos People as a Service (PeaaS), un modelo de computación centrado en dispositivos móviles, que permite analizar el contexto de las personas que poseen un smartphone y generar su propio perfil sociológico [9]. Con Internet of People (IoP) se propone una infraestructura cuyo principio reside en que la interacción entre la personas y las cosas deben ser sociales, personalizadas a través de los perfiles de usuario y además, predecibles y proactivas para ejecutar tareas automáticamente dependiendo del contexto [14]. Aunque ambas tecnologías tienen en cuenta el contexto, no permiten su adaptación en tiempo de ejecución.

En este trabajo utilizamos la información almacenada en los perfiles generados por el Situational-Context, en combinación con la arquitectura propuesta, para generar una interconexión de dispositivos que emerge en tiempo de ejecución a partir de los dispositivos que se encuentran dentro de la misma situación. De esta manera, se mitigan los problemas de interconexión dinámica de los dispositivos IoT, facilitando su adaptación al contexto para satisfacer las necesidades de las personas. Así, el coche de María podría interpretar los datos almacenados en los perfiles de María, Sandra y Julián una vez son detectados, y podría adaptar sus sistemas inteligentes (reproductor de música, aire acondicionado, airbags o asientos) de acuerdo a las preferencias de estos, sin necesidad de tener que realizar ninguna interacción manual.

3. Situational-Context (Contexto Situacional)

El Situational-Context es una forma de analizar las condiciones que existen en un momento y lugar en particular para predecir, en tiempo de ejecución, el comportamiento esperado en sistemas WoT. Está compuesto por entidades. Estas entidades pueden ser tanto dispositivos IoT, como personas representadas a través de sus smartphones, indistintamente. Además, tienen dos propiedades fundamentales: *habilidades* y *necesidades*.

Este modelo explota las capacidades de los dispositivos inteligentes para recopilar, almacenar y calcular localmente la información contextual para construir su perfil virtual y el perfil virtual de su propietario. Por lo tanto, los dispositivos que se encuentran alrededor pueden reutilizarlo para adaptarse a las preferencias del usuario. Para ese fin, el Situational-Context define que el perfil virtual de una entidad (cosa o persona) debe contener al menos la siguiente información:

- Un *Perfil Básico* que contiene la información contextual bruta fechada con el estado de la entidad, las relaciones con otros dispositivos y su historial.
- Un *Perfil Social*. Este perfil contiene los resultados de las inferencias de alto nivel realizadas sobre el Perfil Básico.
- Las *Necesidades o metas* que detallan el estado del entorno deseado por la entidad. Estas Necesidades se deducen de los Perfiles Básicos y Sociales en tiempo de ejecución.
- Las *Habilidades o capacidades* que una entidad tiene para tomar decisiones y realizar acciones capaces de modificar el entorno y destinadas a alcanzar las metas.

Considerando entornos en los que hay diferentes entidades y cada uno de ellos tiene un perfil virtual, el Situational-Context se puede definir como la composición de los perfiles virtuales de todas las entidades involucradas en una situación particular.

Una vez que se compone el contexto situacional, las formas en que las entidades satisfarán mejor los objetivos se identifican a partir del Situational-Context. Por lo tanto, el Situational-Context proporciona un mayor nivel de automatización para conectar cosas inteligentes con las personas. Gracias al Situational-Context se puede analizar el contexto que rodea el coche de María y detectar entidades cercanas, como el navegador multimedia, que puede utilizar su habilidad de reproducir música para adaptar su comportamiento a las preferencias de todos los integrantes del vehículo, o para guiar a María durante el trayecto. De igual manera esto podría aplicarse sobre otras entidades como los asientos, airbag, etc.

Este paradigma ha obtenido resultados previos de interconexión de dispositivos a nivel de red [7]. Asumimos, por lo tanto, que la conexión a través de la red de dispositivos IoT en un ambiente de Situational-Context es viable. No obstante, del desarrollo del Situational-Context surgen varios desafíos a solucionar que empezamos a abordar con este trabajo: (1) la creación de una arquitectura adecuada a este concepto, que debe permitir representar cualquier entidad (dispositivo IoT o persona) y, (2) la interconexión de dispositivos IoT en tiempo de ejecución posibilitando que surja del contexto formado por entidades envueltas en una situación particular.

4. Arquitectura para la representación de entidades

Debido a la necesidad detectada, desarrollamos una arquitectura con la que pretendemos lograr una mejor interconexión de los dispositivos IoT, y obtener el máximo beneficio adaptando su comportamiento a las personas en tiempo de ejecución. Esta favorece la interacción de las entidades y permite que sean dependiente del contexto en el que se encuentren, en tiempo de ejecución. En la Fig. 2 se detallan sus componentes.

- **Connectivity Manager.** Establece la conexión física entre entidades. Envía y recibe información relativa a las habilidades, necesidades, información personal, etc.
- **Context Manager.** Responsable de crear y actualizar la información contextual. Contiene la información de las entidades pertenecientes a la misma situación en un instante de tiempo determinado.
- **Profile.** Unión del *Basic* y *Social Profile* de la entidad.
 - **Basic Profile.** Es la información básica que identifica a la entidad, como el identificador, fabricante, modelo, fecha de fabricación, etc. (Personal Information). Además, contiene datos brutos acerca del histórico de interacción con otras entidades (Raw Data History).

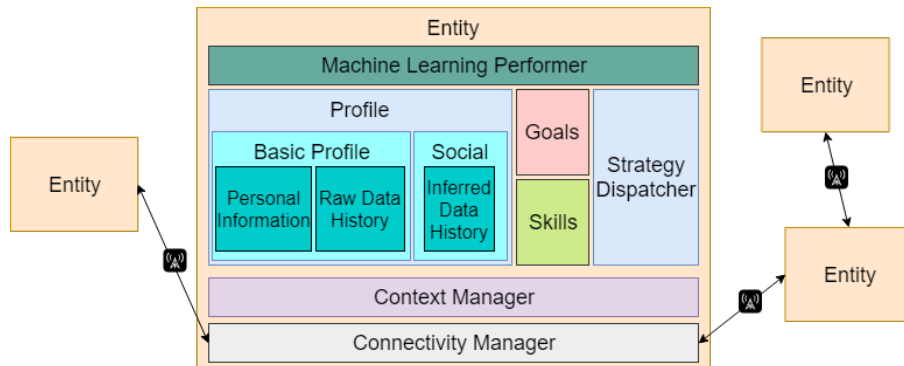


Figura 2. Arquitectura de la entidad

- **Social Profile.** Almacena el conjunto de todos los datos inferidos por el perfil básico (Inferred Data History). Por ejemplo, el airbag se desconectó porque se detectó que Sandra estaba embarazada.
- **Skills.** Funcionalidades de la entidad. Produce un cambio en el contexto. Por ejemplo, el sistema integrado en el coche puede desconectar un airbag.
- **Goals.** Surgen cuando se quiere lograr un estado en una propiedad del contexto que con las necesidades propias no es posible. Por ejemplo, debido a la situación de que Sandra está embarazada, necesita que se desconecte el airbag por cuestiones de seguridad.
- **Strategy Dispatcher.** Los dispositivos pueden detectar qué necesidades hay en el contexto, y cuáles pueden resolver con sus habilidades, por lo que una estrategia se resuelve cuando existe una habilidad que puede cubrir la necesidad de una entidad. La complejidad de las estrategias radica en la colaboración de entidades para identificar y resolver necesidades. Volviendo al ejemplo de María, el reproductor de música detecta que hay necesidades relacionadas con sus habilidades y puede reproducir música acorde con los gustos de los integrantes del vehículo.
- **Machine Learning Performer.** Analiza el histórico de actividades de la entidad para detectar patrones y poder aprender de ella, con el objetivo de automatizar tareas en el futuro.

Esta arquitectura consigue una interconexión de dispositivos IoT a nivel de funcionalidades. La interconexión está basada en relacionar las habilidades de una entidad, con las necesidades de otra. Sabemos que las necesidades en una entidad surgen por la falta de habilidades a la hora obtener un estado deseado del contexto, por eso debemos saber cómo realizar esta interconexión y que las necesidades puedan ser resueltas de la mejor manera. Cada entidad tiene su propia visión del contexto, y conoce las habilidades y necesidades de las entidades cercanas, de modo que puede interactuar con ellas. Esto se consigue integrando el Situational-Context con SW y las ontologías.

Atendiendo a una ontología que pueda representar las habilidades y necesidades de nuestro reproductor de música, sabemos qué tipo de necesidades podría cubrir esta entidad. Cuando una persona sube al coche, y el reproductor interpreta los datos de su perfil social, sabe que le gusta un determinado tipo de música y a un volumen concreto. De esta manera podrá utilizar automáticamente su habilidad para cubrir la necesidad de la persona. La Web Semántica será la encargada de dotar de conocimiento a esta información, haciendo que las relaciones entre habilidades y necesidades estén en un lenguaje más humano, y además, interpretable por las máquinas.

Por lo tanto, sabiendo que el uso de ontologías y la Web Semántica, tiene un gran impacto dentro del mundo IoT, la definición de las habilidades y necesidades de las entidades del Situational-Context debe atender a estas dos tecnologías, y son utilizadas para:

1. Definir las habilidades y necesidades de los dispositivos, de acuerdo a una ontología, preferiblemente reutilizada de alguna de las muchas ya existentes sobre este campo, y siguiendo las mejores prácticas definidas por Gyrard et al. en [11]. De esta forma podemos dotar de contenido semántico a estas dos propiedades de las entidades, haciendo más fácil su utilización e interoperabilidad.
2. Realizar *matching* entre habilidades y necesidades. La necesidad de una entidad debe ser cubierta por la habilidad de otra. La utilización de la ontología nos ayudará a saber qué necesidades tienen relación con las habilidades, de manera que se puedan asociar, y se puedan realizar tareas de manera automática en el contexto. Decidir si crear una ontología o reutilizar algunas de las propuestas para nuestra investigación será cuestión de adentrarnos en cada una de ellas y ver si se acercan a nuestras necesidades.

Tabla 1. Navegador multimedia

<i>Inf. personal</i>	<i>Habilidades</i>
Fabricante	Gestión de canciones
- Apple	- Reproducir
Modelo	- Parar
- CarPlay 1.0.0	- Añadir
Familia	- ...
- Vehículo	Explorar tendencias
Dispositivo	- Género
- SmartCar	- Autor
...	- ...
	GPS
	- Ir a
	- Ver tráfico
	- ...
	...

Tabla 2. Sandra

<i>Inf. personal</i>	<i>Necesidades</i>
Fabricante	Gestión de canciones
- Samsung	- Reproducir
Modelo	- Aumentar volumen
- Galaxy S8	- ...
Familia	Seguridad
- Smartphone	- Desactivar airbag
...	- ...
	...

Para explicar mejor la composición de las entidades utilizadas en nuestro escenario, se especifican algunos de sus componentes en las Tablas 1 y 2, donde podemos ver el navegador multimedia y a Sandra, representada a través de su smartphone. Aparte de la información personal, observamos que el navegador multimedia tiene una serie de habilidades con las que puede conseguir solventar las necesidades de Sandra. El resto de entidades como el airbag o los asientos, tendría una composición similar.

En nuestro ejemplo, los tres integrantes del vehículo tienen la necesidad de escuchar música relacionada con sus gustos, y el navegador multimedia tiene la habilidad de reproducir canciones de acuerdo a distintos géneros o artistas. En este caso gracias a los perfiles generados a través del Situational-Context, el navegador multimedia puede obtener la información de cada persona y, llegando a un acuerdo, adaptar la música a las preferencias de todos. Además, la interconexión de estas entidades, personas y dispositivos, se hace de forma totalmente dinámica en tiempo de ejecución, por lo que no es necesaria ningún tipo de configuración previa o acción manual.

5. Interconexión entre entidades

La interconexión de dispositivos en el Situational-Context tiene un objetivo claro: la resolución de necesidades. Tal y como se ha mencionado en la Sección 3, a una entidad le surge una necesidad cuando con sus habilidades no puede conseguir el estado deseado en el contexto y necesita recurrir a las habilidades de otras entidades.

A través del *Connectivity Manager*, las entidades se conectan entre sí, e intercambian información, que es interpretada y actualizada por el *Context Manager*. En este punto, la entidad conoce sus propias habilidades y necesidades, así como las de las demás entidades del contexto, y sabrá si puede resolver alguna necesidad en cuestión. En el caso de que pueda hacerlo, detectará la información proveniente del *Profile*, que contiene el historial y preferencias de la entidad que tiene la necesidad. De esta manera, intentará adaptar sus habilidades a la necesidad detectada. Una vez detectado el cambio a realizar, formulará una estrategia y propondrá el cambio sobre el contexto a través del *Strategy Dispatcher*. Esta estrategia tendrá en cuenta las habilidades de la entidad y también las de otras cercanas que pudieran contribuir a resolver la necesidad. Con la ayuda de una ontología, la estrategia sabe qué habilidades y necesidades están relacionadas entre sí, y qué operación debe realizar. Una vez formulada esta estrategia, se lleva a cabo, y se procede a almacenar en el perfil para poder inferir sobre ella y detectar posibles patrones. Todo este proceso se lleva a cabo en tiempo de ejecución, sin que sea necesario predefinir los comportamientos previos de las entidades, pues la soluciones a explorar serían innumerables. La Fig. 3 muestra el diagrama genérico de interconexión entre las entidades dentro del vehículo.

Para el caso concreto de la estrategia musical en el coche de María, el navegador multimedia tiene en cuenta las preferencias de todos los integrantes del vehículo, cuya información podría obtenerse de los perfiles contenidos los sus

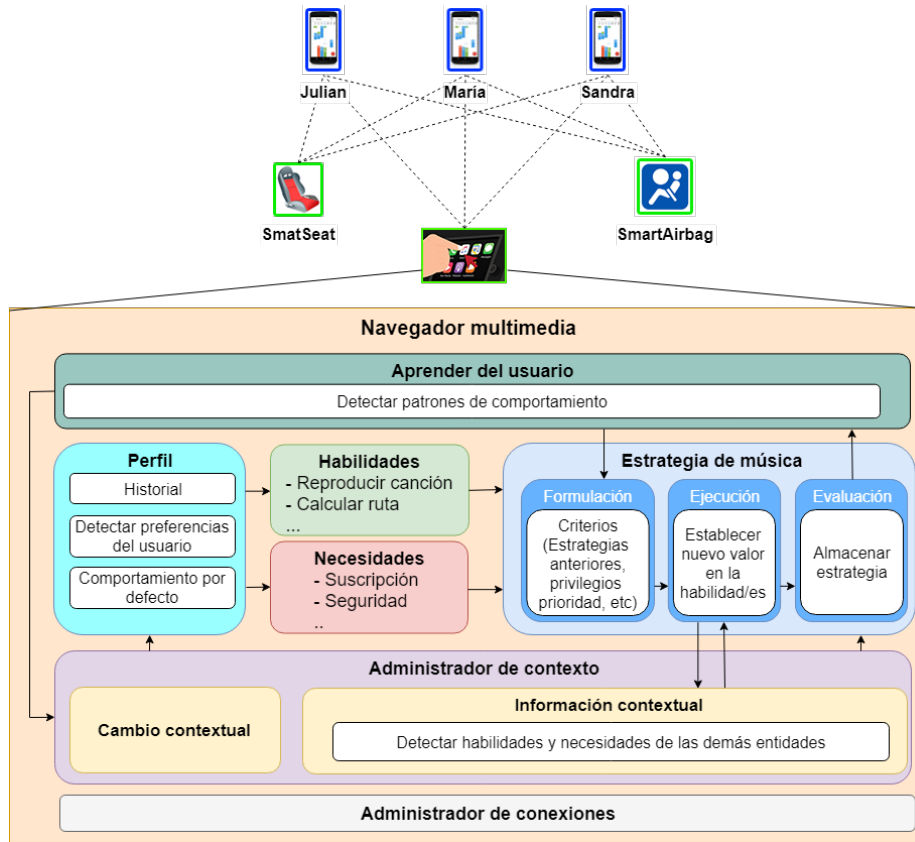


Figura 3. Interconexión entre entidades

smartphones, para elegir la música adecuada a todos. La Fig. 4 ilustra los componentes de la arquitectura definida más arriba desde el punto de vista del flujo de comunicación para esta situación en particular.

Estas estrategias tienen cuenta otras cuestiones como estrategias anteriores, los privilegios de usuarios o su prioridad, a la hora de resolver una necesidad. No todas las entidades tendrían los mismos permisos dentro del contexto. Diferenciamos entre entidad propietaria del contexto, y entidades invitadas, y dentro de estas, tenemos varios niveles de privilegios en función de parámetros tales como la antigüedad dentro del contexto o nivel de importancia. De esta forma, a la hora de cubrir una necesidad común para varias entidades, se favorece a aquellas entidades de más privilegios, pero cumpliendo igualmente la necesidad de las demás. Como el coche pertenece a María, el navegador multimedia reproducirá contenido relacionado más con sus gustos, aunque también se adapte a los demás integrantes del vehículo.

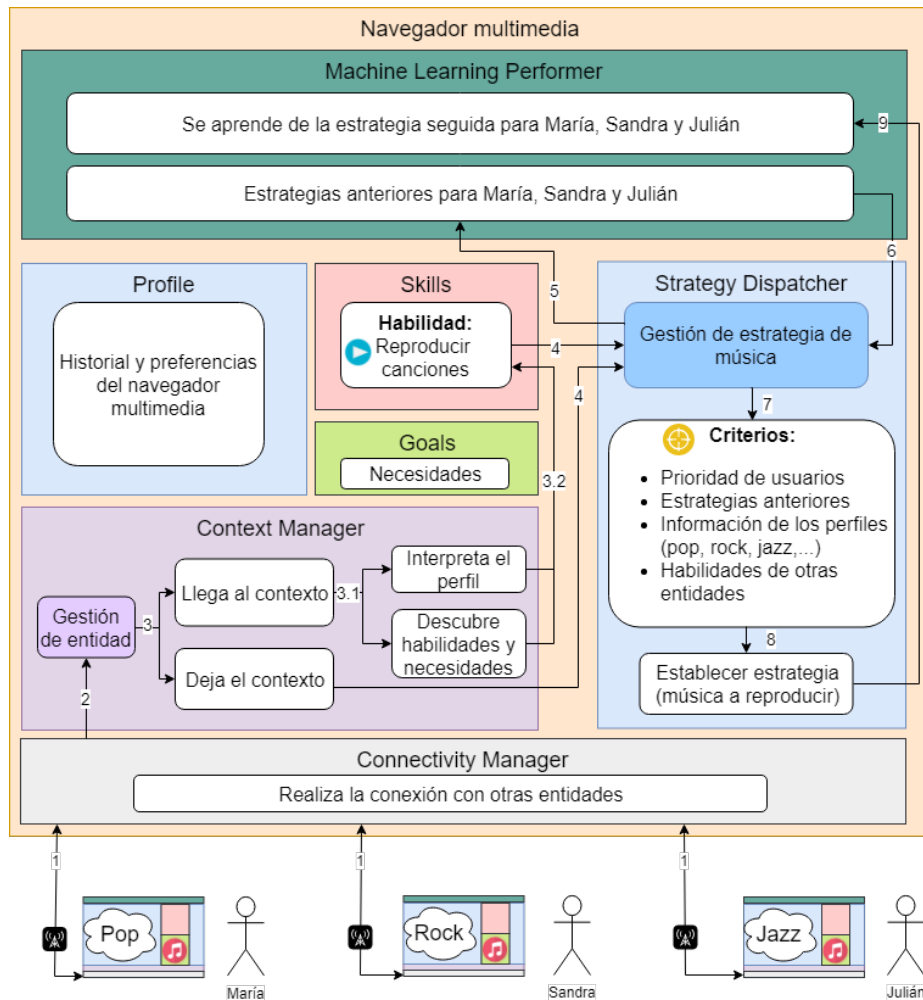


Figura 4. Flujo de comunicación para el caso de estudio de la reproducción de música

La ejecución de estas estrategias produce un cambio en el contexto actual, modificando el comportamiento de algunas entidades y, además, aprende cuáles son las preferencias de la entidad o entidades que están involucradas, de manera que, en futuras interacciones, se puedan ejecutar estas estrategias de forma más precisa.

De forma análoga, el resto de entidades como los airbag, aire acondicionado, Sandra o Julián (representados a través de sus smartphones) etc, tendrían una representación similar a la del navegador multimedia, y con idéntico comportamiento.

6. Trabajos relacionados

Como se comentó al inicio de esta investigación en [6], podemos utilizar diferentes paradigmas como AmI, COP, SW y ML; y smartphones, para automatizar interacciones entre usuarios y los sistemas IoT de acuerdo a las preferencias de los usuarios. Además, también se trataron soluciones para mejorar la integración entre las personas y los sistemas IoT mediante el uso de smartphones, como People as a Service (PeasS) e Internet of People (IoP).

Adentrándonos en aspectos de la Web Semántica en combinación con Internet de las Cosas, encontramos SocioTal [4], un proyecto cuyo objetivo es crear un entorno IoT confiable y seguro, que aliente a los ciudadanos a contribuir con sus dispositivos y flujos de información, centrado sobre todo en cuestiones de seguridad en la compartición de datos, y proporcionando herramientas y mecanismos adecuados que simplifiquen la complejidad y reduzcan las barreras de entrada, fomentando la participación ciudadana. Estos mecanismos podrán responder a las necesidades de la sociedad, mejorando así la calidad de vida en las ciudades y comunidades. Gyrard et al., también investigan temas relacionados con IoT y la Web Semántica [12]. Incluso han desarrollado su propio framework para facilitar la interacción entre dispositivos IoT [10], a partir de un generador de plantillas para diferentes entornos de actuación IoT, basado en tecnologías de la Web Semántica para describir explícitamente el significado de las mediciones de sensores de forma unificada, facilitando la interpretación de los datos de los sensores y combinando diferentes dominios. Asimismo, en [2] se desarrolla un mecanismo de indexación y búsqueda semántica apoyado en una vista arquitectónica para interconectar dispositivos WoT y además proponer una estrategia para almacenar y procesar la información semántica que soporta la interacción de los objetos de la WoT, basado en ontologías, apoyando la comunicación semántica entre los objetos inteligentes de la web de las cosas para casos de estudios determinados y desarrollados en tiempo de diseño.

Somos conscientes de que hay muchas propuestas para el desarrollo de software cuyo comportamiento se adapta al contexto, pero que, hasta donde llega nuestro conocimiento, no cubren en muchos casos los problemas mencionados anteriormente, como los relacionados con la adaptación de los dispositivos a las condiciones del contexto en tiempo de ejecución. Por lo tanto, los retos de investigación que abordamos son varios. Primero, la falta de un modelo unificado de interacción persona-IoT. Los dispositivos IoT son producidos por varios fabricantes, cada uno con su propio modelo de interacción. En segundo lugar, la falta de un modelo de negociación automática para la interacción entre las personas y los dispositivos de IoT según las preferencias de las personas. Algunos de los trabajos mencionados anteriormente persiguen un objetivo similar al nuestro, en cuanto a conseguir un contexto adaptativo en IoT, pero nosotros queremos conseguir que la interconexión de estos dispositivos IoT emerja de la propia situación en la que se encuentre. Si estos problemas pudieran resolverse, se obtendría una mejor interacción de las personas con entornos IoT en lo que a nivel de interoperabilidad se refiere.

7. Conclusiones

El problema de la interconexión en el mundo IoT sigue estando hoy presente debido a la heterogeneidad de dispositivos que hay en el mercado. La interacción entre dispositivos IoT resulta crucial para la resolución de estrategias y debe permitir que estos adapten sus comportamientos a las necesidades de las personas, que en muchas ocasiones depende de la colaboración de varios dispositivos inteligentes.

Este trabajo constituye un paso más para lograr que esta interconexión se realice de forma dinámica, gracias a tecnologías como el Situational-Context junto con la Web Semántica y las ontologías. Así podemos adaptar el comportamiento de los dispositivos a las necesidades de las personas en tiempo real, sin necesidad de atender a configuraciones previas en tiempo de diseño.

En trabajos posteriores centraremos nuestros esfuerzos en ver cómo definir las estrategias que resuelven las necesidades. Sabemos qué habilidades y necesidades van a estar involucradas en la estrategia, pero debemos continuar por este camino para determinar cómo deben actuar, y afinar los criterios a tener en cuenta.

Además, también seguiremos trabajando en la línea de la Web Semántica y las ontologías, para lograr que la asociación de habilidades y necesidades sea lo más precisa posible.

Agradecimientos. Este trabajo fue apoyado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (TIN2014-53986-REDT, TIN2015-69957-R y TIN2015-67083-R), por el Departamento de Economía e Infraestructura del Gobierno de Extremadura (GR15098), por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional y por el proyecto 4IE (0045-4IE-4-P) financiado por el programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020.

Referencias

1. W3c begins standards work on web of things to reduce iot fragmentation. <https://www.w3.org/WoT/>, (Accessed on 22/02/2018)
2. Angel, N.Z.M., Adolfo, R.G.G.: Semantic indexing for semantic interaction in wot
3. Barnaghi, P., Wang, W., Henson, C., Taylor, K.: Semantics for the internet of things: early progress and back to the future. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)* 8(1), 1–21 (2012)
4. Bernabe, J.B., Elicegui, I., Gandrille, E., Gligoric, N., Gluhak, A., Hennebert, C., Hernandez-Ramos, J.L., López, C., Manchinu, A., Möessner, K., Nati, M., O'Reilly, C., Palaghias, N., Pintus, A., Sánchez, L., Serra, A., van Kranenburg, R.: Sociotal 2014; the development and architecture of a social iot framework. In: 2017 Global Internet of Things Summit (GIoTS). pp. 1–6 (June 2017)
5. Berrocal, J., Garcia-Alonso, J., Canal, C., Murillo, J.M.: Situational-context: a unified view of everything involved at a particular situation. In: *International Conference on Web Engineering*. pp. 476–483. Springer (2016)
6. Flores-Martin, D.: Meeting iot users' preferences by emerging behavior at run-time. *International Conference on Service-Oriented Computing* (2017)

7. Galán-Jiménez, J., Berrocal, J., Garcia-Alonso, J., Canal, C., Murillo, J.M.: Coordinating heterogeneous iot devices by means of the centralized vision of the sdn controller (2017)
8. Gruber, T.R.: Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? *International journal of human-computer studies* 43(5-6), 907–928 (1995)
9. Guillen, J., Miranda, J., Berrocal, J., Garcia-Alonso, J., Murillo, J.M., Canal, C.: People as a service: A mobile-centric model for providing collective sociological profiles. *IEEE software* 31(2), 48–53 (2014)
10. Gyrard, A., Datta, S.K., Bonnet, C., Boudaoud, K.: Cross-domain internet of things application development: M3 framework and evaluation. In: 2015 3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud. pp. 9–16 (Aug 2015)
11. Gyrard, A., Serrano, M., Ateazing, G.A.: Semantic web methodologies, best practices and ontology engineering applied to internet of things. In: 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT). pp. 412–417 (Dec 2015)
12. Gyrard, A., Patel, P., Datta, S.K., Ali, M.I.: Semantic web meets internet of things and web of things: [2nd edition]. In: Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion. pp. 917–920. WWW '17 Companion, International World Wide Web Conferences Steering Committee, Republic and Canton of Geneva, Switzerland (2017), <https://doi.org/10.1145/3041021.3051100>
13. Kim, J., Yun, J., Choi, S.C., Seed, D.N., Lu, G., Bauer, M., Al-Hezmi, A., Campowsky, K., Song, J.: Standard-based iot platforms interworking: implementation, experiences, and lessons learned. *IEEE Communications Magazine* 54(7), 48–54 (2016)
14. Miranda, J., Mäkitalo, N., Garcia-Alonso, J., Berrocal, J., Mikkonen, T., Canal, C., Murillo, J.M.: From the internet of things to the internet of people. *IEEE Internet Computing* 19(2), 40–47 (2015)
15. Nordrum, A.: The internet of fewer things [news]. *IEEE Spectrum* 53(10), 12–13 (2016)
16. Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., Georgakopoulos, D.: Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 16(1), 414–454 (2014)
17. Roman, R., Zhou, J., Lopez, J.: On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things. *Computer Networks* 57(10), 2266–2279 (2013)
18. Shrestha, N., Kubler, S., Främling, K.: Standardized framework for integrating domain-specific applications into the iot. In: Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), 2014 International Conference on. pp. 124–131. IEEE (2014)
19. Swetina, J., Lu, G., Jacobs, P., Ennesser, F., Song, J.: Toward a standardized common m2m service layer platform: Introduction to onem2m. *IEEE Wireless Communications* 21(3), 20–26 (2014)
20. Szilagyi, I., Wira, P.: Ontologies and semantic web for the internet of things—a survey. In: Industrial Electronics Society, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE. pp. 6949–6954. IEEE (2016)
21. Taivalsaari, A., Mikkonen, T.: A roadmap to the programmable world: software challenges in the iot era. *IEEE Software* 34(1), 72–80 (2017)