

Modelado de Contexto: Una Ontología Adaptativa al Usuario en Ambientes Inteligentes.

Ramón Hervás, Salvador W. Nava, Gabriel Chavira, José Bravo

¹ Castilla-La Mancha University, Paseo de la Universidad,
13071 Ciudad Real, Spain.

rhucas@inf-cr.uclm.es, jose.bravo@uclm.es

² Autonomous University of Tamaulipas, Tampico-Madero,
Tamps, México.

{snava, gchavira}@uat.edu.mx

Resumen. Las aplicaciones concientes de contexto adaptan su comportamiento a las circunstancias del mundo real. La imagen de mundo real que disponen debe venir definida por un modelo que lo represente, en mayor o menor medida. Del modelo y de la gestión adecuada de la información dependerá que las aplicaciones concientes de contexto sean capaces de razonar y adaptarse eficientemente al entorno que las rodea.

Palabras clave: Inteligencia Ambiental, Consciencia de Contexto, Visualización de información, Modelos y Ontologías.

1 Introducción.

El conocimiento de cómo funciona el mundo por parte de las aplicaciones es una fuente de información capital. Las acciones de los usuarios pueden ser previstas analizando la situación en la que se encuentran [1], de una forma similar a nuestra propia forma de comportamiento. Hay que tener en cuenta que la misma pregunta puede tener respuestas distintas según la información de contexto. Aquí está la principal ventaja de las aplicaciones concientes de contexto, lo interesante es saber cómo el contexto puede provocar distintas configuraciones y adaptaciones del sistema.

Es necesario definir el concepto de contexto y, en nuestro caso, adoptamos la propuesta de Anind K. Dey: *Contexto es cualquier información que puede ser caracterizada para definir una situación de una entidad. Una entidad es una persona, lugar u objeto considerado relevante para la interacción entre un usuario y una aplicación, incluyendo al propio usuario y a la aplicación.* De acuerdo con esta definición describe una Computación Consciente de Contexto como *un sistema que hace uso del contexto para proporcionar información relevante y/o servicios al usuario, donde la relevancia depende de la tarea del usuario.* [2]

El contexto, como vemos en su definición, es por naturaleza amplio, complejo y ambiguo. Necesitamos modelos que representen la realidad o, más concretamente, que representen el contexto como fuente de información. En un análisis inicial, hay

cinco aspectos importantes a considerar, conocido como la teoría de las cinco W's: Who, Where, When, What y Why [3], teoría utilizada en múltiples áreas como periodismo y psicología, entre otras. En nuestro caso identificamos el perfil del usuario y su situación, la localización relativa del usuario dentro de un edificio, el momento relativo en el que se encuentra, la tarea que está realizando o quiere realizar y por último y más importante y complejo, la finalidad u objetivo del usuario. [4]

2 Consciencia de contexto en los trabajos relacionados.

A diferencia del estudio de Dey en [5] que presenta un listado de aplicaciones y el número de tipos de contextos que captan a través de sensores, este trabajo hace hincapié en si estas aplicaciones son conscientes de quién es el usuario, qué tarea realiza, dónde y cuándo la lleva a cabo, ya sea adquirido por sensores, obtenido de una base de datos o deducido a través del modelo. El porqué un usuario tiene un comportamiento determinado no es una fuente habitual de contexto por su enorme complejidad. De hecho, el porqué es un aspecto aún muy poco explorado y apenas tenido en cuenta por las aplicaciones desarrolladas hasta ahora, por esta razón se ha optado por no valorarlo en el estudio comparativo.

BLUEBOARD [6]: Se trata de una pantalla táctil de gran tamaño acompañada de un identificador RFID. Ofrece servicios dependientes de los usuarios previamente identificados. Principalmente ofrece servicios para la colaboración entre varias personas (documentos compartidos, herramientas de trabajo colaborativos, acceso a agenda personal, etc.). Su arquitectura es sencilla, formada por dos bases de datos, una con la información del perfil de los usuarios, y otra con los contenidos que los usuarios quieren compartir.

CLASSROOM 2000 [7]: Proyecto de apoyo en entornos educativos que captura automáticamente experiencias de enseñanza y aprendizaje. A partir de la captura de experiencias, proporciona múltiples herramientas para la gestión de contenidos multimedia así como para facilitar que sean compartidos, comentados y modificados.

COBRA [8]: Arquitectura para dar cobertura a múltiples agentes, lugares y eventos en un campus universitario. Incluye una ontología para este contexto concreto basada en OWL, con la que dotan al sistema de conocimiento compartido, razonamiento de contexto, protección y privacidad.

CONMOTION [9]: Entorno “conciente de localización” que enlaza información personal del usuario con un servicio de localización. Proporciona información adaptada al lugar donde se encuentre el usuario. La aportación de este trabajo es el proceso de localización centrada en los hábitos del usuario y apoyado tecnológicamente por GPS.

CONON [10]: Se trata de un modelo formal para entornos pervasivos. Se centran en un caso de estudio para adaptar el comportamiento del teléfono móvil a las circunstancias de contexto. Incluye métodos de deducción de información de contexto y tratamiento de la ambigüedad a través de una valoración de la calidad de la información captada.

CONTEXT TOOLKIT [11]: Presenta un soporte ante tres de los principales problemas: abstracción de la programación de alto nivel, datos de contextos ambiguos

y control de acceso. Se basa en grupos de duplas atributo-valor. Es un modelo de información muy sencillo pero capaz incorporar nuevos componentes en tiempo de ejecución.

CYBERDESK [12]: El principal objetivo de CyberDesk es proporcionar una infraestructura para la auto-integración de programas software según las acciones del usuario. La interfaz escoge de entre todos los programas disponibles aquellos que sean relevantes a la situación del usuario. Está diseñado de forma que permita acceso ubicuo a los programas y datos tanto a través de equipos de sobremesa, PDA (Personal Data Assistants) o servicios web de forma indistinta.

CYBREMINDER [13]: Es una herramienta de gestión de recordatorios y que, como novedad, identifica la situación del usuario y determina la mejor manera de entregar el recordatorio. Para su implementación utilizan la arquitectura Context-Toolkit comentada anteriormente.

DIGITAL AURA [14]: Proporciona un sistema de interacción a través de un modelo basado en presencia, proximidad física, localización y comunicación espontánea. La metafórica “aura digital” puede ser construida en el área de proximidad de sensores sin hilos, determinada por el signo del radio de recepción y la potencia. En esta aproximación, cada objeto individual liga un perfil descriptivo codificado en XML. Un análisis semántico y estructural determina las similitudes entre perfiles. Si la similitud es suficiente, se invoca la interacción a nivel de aplicación.

EASYLIVING [15]: Arquitectura para entornos inteligentes que permite agregar nuevos dispositivos en tiempo real. Implementa un modelo de mundo a través de una base de datos centralizada para proporcionar servicios de localización.

GUIDE [16]: Se trata de un entorno de servicios a turistas implantado en la ciudad de Lancaster. El modelo de contexto únicamente utiliza un perfil para los visitantes y un sensor de posición local. En trabajos posteriores, GUIDE es dotado de cierta conciencia social, con el fin de facilitar la participación de múltiples usuarios en el enriquecimiento de la información proporcionada. Es decir la información del sistema se retroalimenta de los comentarios de los propios usuarios. El modelo de información no se ve modificado sustancialmente pero le incorporan cierta semántica asociado a los comentarios de los usuarios.

INTELLIBADGE [17]: Proyecto para proporcionar servicios a partir de la localización de usuarios en espacios de conferencias académicas. Combina conciencia de localización con minería de datos y tecnología de servicios web. Principalmente se centra en localización de personas y eventos de interés.

INTRIGUE [18]: Aplicación para asistir en la planificación de itinerarios turísticos, tanto en formato escritorio como móvil, y con soporte para funcionamiento fuera de línea. Un servidor central almacena el contexto de interacción que incluye los itinerarios del usuario, sus últimas búsquedas y la lista de ítems que satisficieron estas búsquedas.

LOOKOUT [19]: El sistema LookOut es un agente supervisor del correo electrónico del usuario con el fin de gestionar la agenda de citas a través del conocimiento extraído del contenido de los correos. Si detecta, con cierta certeza, que se está negociando una cita a través del correo, toma la iniciativa para buscar el mejor hueco en la agenda. LookOut incluye actuaciones de mediación por parte del usuario para confirmar las predicciones que hace el sistema.

MODELO TEA 3D [20]: Es un modelo genérico para herramientas conscientes de contexto. Distingue tres tipos de componentes: Sensores (tanto físicos como lógicos), señales (como abstracción de la salida de los sensores) y contextos

ORM CONTEXT MODEL [21]: Utilizan Object Role Modeling (ORM) para modelar el contexto. En su modelo, la localización de personas y dispositivos es adquirida por sensores. La proximidad de los usuarios a los dispositivos es inferida desde dos tipos distintos de sensores. Los permisos son suministrados por el administrador y la información sobre cada dispositivo es estática. Es un modelo muy sencillo y algo limitado pero hace interesantes aportaciones en la representación de la ambigüedad y las alternativas ante esta. Además se puede extender el modelo para guardar la calidad asociada con cada hecho y así hacer suposiciones sobre la confianza de la información de contexto.

PERSONAL DIGITAL SECRETARY [22]: Sistema de apoyo a las tareas cotidianas. Distingue entre un modelo de usuario y un modelo de contexto, básicamente diferenciados en que el primero adquiere la información a través de interacciones con el usuario y el segundo a través de sensores. La arquitectura se complementa con un módulo de calendario dónde el usuario registra sus tareas y compromisos pendientes.

ROOMOTES [23]: Proporciona un control remoto de un entorno físico a través del teléfono móvil. Permite controlar aspectos generales como iluminación, audio y sonido. Tienen en cuenta tres tipos de entidades: personas, salas y objetos, y son almacenados en una base de datos.

SENSOR FUSION MODEL [24]: Presenta una arquitectura basada en el proyecto Context Toolkit de Dey pero incorporando un modelo, centrado en el usuario, para representar el contexto y con capacidad de incorporar de forma dinámica sensores al entorno. Los tres conceptos principales que engloban al modelo general son el entorno, la actividad del usuario y los estados del usuario. El contexto se representa en su totalidad a través del modelo Entidad-Relación.

VIMOS [25]: Servicio de visualización de información adaptada al contexto y centrado en la identificación de usuarios. Sin querer parecer pretencioso, y resaltando el estado aún inmaduro de este servicio, se basa en un modelo general formal, y que en próximos avances, sea capaz de manejar la ambigüedad de la información, pueda inferir información adicional a través de la que dispone y aprenda a través de los propios usuarios.

3 Tipos de consciencia, ambigüedad, aprendizaje y modelos.

Hemos indagado en ciertas características interesantes de las aplicaciones conscientes de contexto descritas anteriormente, siendo algunas de las que más repercusión han tenido. En la Tabla 1, en primer lugar, se ha querido ilustrar el nivel de consciencia de dichas aplicaciones. Como se ha introducido anteriormente, se muestran qué aplicaciones son conscientes de identidad (Who), conscientes de localización (Where), consciencia respecto al tiempo (When) y respecto a la actividad realizada (What). Partimos de la premisa de que las aplicaciones pueden trabajar a estos niveles

de consciencia independientemente de que lo hagan a través de las diversas fuentes de información de contexto o bien lo deduzcan a partir de otros datos.

Table 1. Font sizes of headings. Table captions should always be positioned *above* the tables.

Sistema	Who	Where	When	What	Inferencia / Aprendizaje	Ambigüedad	Modelo Formal
BlueBoard	X	X	X	X	No	No	No
Classroom 2000				X	Si (eClass)	No	No
CoBrA	X	X		X	Si, Inferencia	No	Si, Específico
ConMotion	X	X			Si, Bayes y Marcov	No	No
CONON	X	X	X	X	Si, Inferencia	Si, valoración calidad	Si, General
ContextToolkit	X	X			No	No	Si, General
CyberDesk	X	X			Si, Inferencia	No	Si, General
CyberMinder	X	X	X	X	No	No	Si, General
Digital Aura	X	X	X	X	No	No	No
EasyLiving	X	X		X	No	No	No
GUIDE	X	X			Si, Aprendizaje	No	Si, Específico
IntelliBadge	X	X			No	No	No
Intrigue	X	X		X	No	No	No
LookOut			X	X	Si, Probabilístico	Si, Mediación	No
Modelo TEA	X	X		X	No	Si	Si, General
Roomotes	X	X		X	No	Si, solo en Localización	No
PDS	X		X	X	No	No	No
ORM	X	X			No	Si	Si, General
Sensor Fusion	X	X	X	X	No	No	Si, General
ViMos	X	X	X	X	Si, Inferencia	Si, valoración calidad	Si, General

Además del nivel de consciencia, se ha indagado en el modelo de contexto de cada aplicación, así como si existe relación entre el modelo y tres de las características más

importantes de estas aplicaciones: el tratamiento de la ambigüedad, la inferencia de información de contexto y la capacidad de aprendizaje autónomo.

Según el modelo de contexto que adopta una aplicación podríamos hacer una clasificación. Podemos distinguir entre las aplicaciones que no utilizan ningún modelo de contexto y aquellas que sí. Entre las aplicaciones con modelos formales podemos hacer dos niveles de distinción. En primer lugar algunas optan por modelos de uso específico, cuyo único propósito es ayudar a cumplir los objetivos de la herramienta, sin pretensiones de reutilización. Es el caso del modelo propuesto para GUIDE [16] que se centra en una representación espacial de Lancaster para propósitos turísticos o la arquitectura CoBrA [8], que pese a su nivel de formalidad, se centra en el caso concreto de la aplicación para la que fue diseñado.

Podemos realizar otra clasificación según el tipo de modelado de contexto. Coincide que los modelos de uso específico suelen caracterizarse por ser poco expresivos y cuyo nivel de formalidad se puede considerar bajo. Una excepción es el caso de Context-Toolkit [11], una arquitectura bastante referenciada y, con cierto nivel de generalidad, pero cuyo modelo se reduce a duplas (nombre-valor) codificadas en XML. Otro gran grupo de aplicaciones utilizan modelos conceptuales existentes para representar el contexto. Algunas alternativas son definir modelos basados en diagramas Entidad-Relación [24] o bien modelado de funciones de objetos (Object Role Modeling, ORM) [21]. Alcanzando mayores niveles de formalidad, durante los últimos años se está apostando por modelos genéricos muchos de ellos orientados a ontologías [8, 24, 25]. Estas son las principales alternativas aunque pueden ser combinadas. Es el caso por ejemplo de la propuesta de [26], una combinación de modelo de contexto espacial capaz de gestionar la información de contexto eficientemente y de forma escalable, y una ontología que proporcione métodos sofisticados de representación de conocimiento y razonamiento.

Otro aspecto estudiado en estas aplicaciones es el tratamiento de la ambigüedad. Un modelo de contexto formal y expresivo facilita que las aplicaciones aborden uno de los problemas actuales en esta área: la ambigüedad de la información de contexto. Los propios modelos pueden ser extensivos para gestionar la ambigüedad, habitualmente debida a medidas no válidas tomadas por los sensores, aunque todas las fuentes de información de contexto son susceptibles de sufrir ambigüedad. En el presente estudio podemos observar dos enfoques distintos, aunque no incompatibles: incorporar valores de calidad a la información de contexto y utilizar mediación para completar la información de contexto con la intervención de los usuarios. Estas son las principales líneas de investigación en el tratamiento de la ambigüedad de la información de contexto.

4 Modelo Ontológico para ViMos.

Una definición modular de la ontología favorece su uso para servicios diferentes que, al igual que el de visualización de información, sean conscientes del contexto. En la Figura 1 se pueden observar tres módulos diferenciados: (a) el modelo de usuario, que se nutre principalmente en información contenida en bases de datos pero también del (b) modelo de servicios generales, es decir, aquellos que se obtienen directamente

de los sensores RFID y que también dan cobertura a otros (c) servicios específicos. Esta organización dota de mayor consistencia al sistema ante cambios o ante nuevos servicios. De forma general, estamos representando tres aspectos bien diferenciados: el modelado completo del usuario incluyendo toda la información representativa del mismo, así como de su entorno directo. En segundo lugar disponemos del proceso de identificación que supone el pilar central de nuestra aproximación a la interacción implícita así como el proceso de localización firmemente ligado al primero. Por último, nuestra línea de investigación trata de ofrecer nuevos servicios posibles a través de la identificación y el modelado del usuario, concretamente, el servicio de visualización de información adaptativa ViMos.

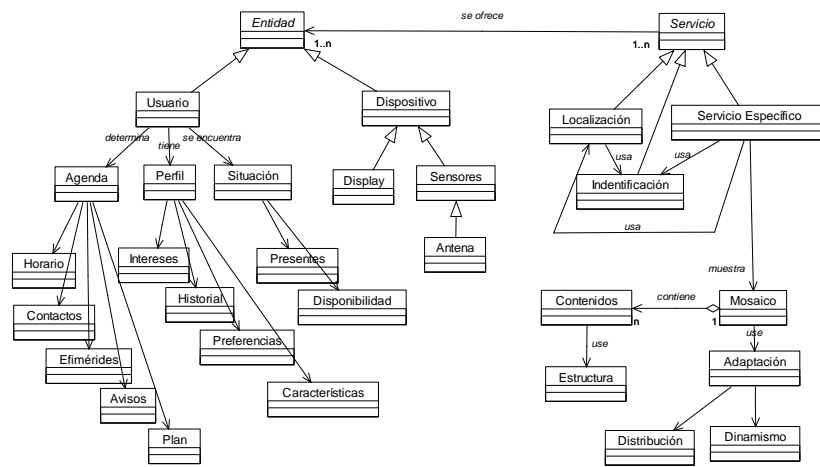


Fig. 1. Ontología para ViMos en entornos conscientes del contexto.

Esta Ontología de alto nivel definida de manera semi-formal define los conceptos básicos que intervienen en las aplicaciones conscientes de contexto. Se ha planteado como un modelo extensible para que pueda ser adaptado a cada circunstancia, añadiendo conceptos específicos para cada dominio. Para ello y una vez identificados los conceptos principales, se está elaborando un estudio de las relaciones y restricciones (tanto de cuantificación, cardinalidad, como de valores que pueden tomar las instancias).

Expresión OWL para describir Usuario y la relación “Localizado_en”.

```
<owl:Class rdf:about="#Usuario">
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Dispositivo"/>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Entidad"/>
</owl:Class>

<owl:ObjectProperty rdf:ID="Localizado_En">
```

```

<owl:inverseOf>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="Alberga_A"/>
</owl:inverseOf>
</owl:ObjectProperty>

```

Toda esta información puede ser serializada para poder ser compartida entre distintos sistemas o diversos módulos de una misma aplicación. El fragmento de código siguiente muestra un fragmento de la ontología serializado y exportado a XML. El fragmento muestra la representación en XML de la clase Usuario en nuestro modelo así como las propiedades definidas para él respecto a su relación con el resto de clases. En OWL se representan también las relaciones existentes entre clases, entre instancias de clases o entre estas dos y los tipos de datos. Estas relaciones son conocidas como Características y se declaran tal y como muestra la figura 7. Tienen un identificador y unas propiedades como ser inversa de otra propiedad, cumplir la propiedad transitiva, poder tener una única instancia en cada momento, etc.

El objetivo es obtener un grafo que represente nuestro contexto en cada situación. El grafo unido a una definición adecuada de las reglas que describan el comportamiento habitual de los usuarios nos permitirá seleccionar la información más apropiada y ofrecérsela al usuario, todo ello de forma implícita, sin necesidad de interacción explícita del usuario. Esta es precisamente nuestra principal hipótesis.

En la Figura 2 se muestra un fragmento de una ficticia situación de contexto.

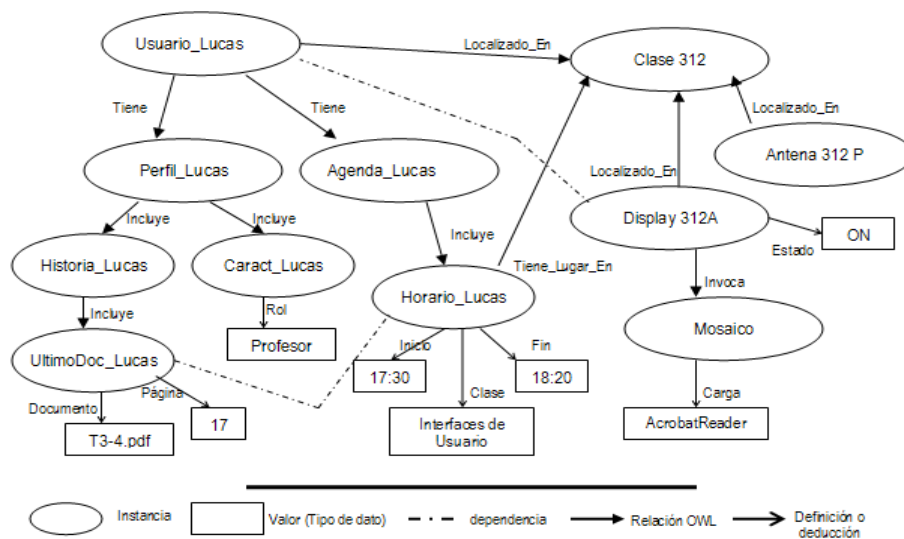


Fig. 2. Grafo de contexto representando la llegada de un profesor a clase.

El escenario propuesto es un entorno docente en el que el profesor Lucas se dispone a dar comienzo a su clase de Interfaces de Usuario. El profesor acaba de entrar en la sala en la que ya esperan los alumnos. La información de contexto relevante en este momento es el rol del usuario, información sobre su horario y sobre

el historial de su clase anterior. Además hay dos entidades más involucradas: la antena y el dispositivo de visualización de la sala en cuestión. En realidad el grafo es una simplificación pero sirve para ilustrar el comportamiento que deseamos para nuestro sistema.

En la figura 2 están representadas con un círculo las instancias de clases, el cuadrado representa valores de tipos de datos, y con una línea punteada las dependencias entre elementos. Las relaciones definidas en el modelo se muestran con una flecha con la punta coloreada y las de punta simple representan obtención de datos ya sea porque son definidos, deducidos o captados por un sensor.

Lo más importante del modelo formal de contexto es la capacidad de razonamiento automático. Existe gran variedad de información implícita que puede ser derivada del resto de información de contexto. El conjunto de información de contexto, junto al propio modelo, debe permitirnos extraer los contenidos y servicios de mayor interés para el usuario. Pese a que el proceso de formalización del modelo está aún en marcha ya podemos intuir el tipo de reglas que se usarán.

Localizacion (Usuario_Lucas, Clase312) ^ Rol (Usuario_Lucas, Profesor) ^ Clase (Horario_Lucas, Interfaces de Usuario) \vdash Estado (Display312A, ON) ^ Invoca (Display312A, Mosaico) ^ Carga (Mosaico, AcrobatReader)

5 Conclusiones.

En general, las aplicaciones conscientes de contexto entrañan dificultades que han de ser tenidas en cuenta desde las primeras etapas de análisis y diseño. Cualquier aplicación que pretenda utilizar la información de contexto debe ser desarrollada asumiendo los problemas existentes en la captura de información. La gran mayoría de aplicaciones conscientes de contexto, incluso las más recientes, hacen suposiciones irreales sobre la calidad de la información de contexto. Típicamente se asume que la información es completa y válida, normalmente tratándose de una suposición injustificada. La principal fuente de errores son los sensores, cada vez más adaptados a los entornos inteligentes, con una importante reducción de costes y ampliación de su efectividad, pero aún imperfectos al transformar sus salidas en contexto.

En general se están haciendo esfuerzos por buscar técnicas automáticas de tratar la ambigüedad. Algunos investigadores, sin embargo, creen que para abordarla correctamente es necesario involucrar al usuario. A las técnicas que utilizan la intervención del usuario para resolver los problemas de ambigüedad se conoce como técnicas de mediación. Este tipo de técnicas entran en confrontación directa con los objetivos adquiridos al enmarcarnos en el paradigma de la inteligencia ambiental y en nuestra búsqueda de interacciones naturales, deseablemente implícitas. Por esta razón el tratamiento de la ambigüedad debe nutrirse del propio contexto y de las entradas implícitas del sistema, dejando las mínimas responsabilidades al usuario. Cuando un usuario rechaza un servicio proporcionado por el entorno, el sistema debe captar toda la información necesaria para evaluar la situación convirtiendo el rechazo del usuario en una entrada implícita de gran valor semántico y así evitar que se vuelva a producir tal situación.

Nuestra aportación apuesta por completo modelo de usuario capaz de aprender y de adaptarse a las peculiaridades de cada persona y proporcionando al sistema los mecanismos que conviertan las acciones del usuario en fuente de información es posible abordar la ambigüedad de forma adecuada y sobretodo, no intrusa con las tareas del usuario. El usuario inmerso en un ambiente inteligente, sólo debe ser responsable de adecuar su perfil lo mejor posible para que los servicios implícitos a su disposición se adapten pro-activamente a sus actividades. Esta retroalimentación implícita es una estrategia de gran valor en entornos que no estén expuestos a frecuentes errores en los sensores en el ambiente, pero de gran interés para sistemas que se apoyen en un buen modelo de usuario y de contexto

Agradecimientos.

El trabajo aquí presentado está financiado por el proyecto SERVIDOR (PIB-05-034) de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y con el proyecto CICYC del Ministerio de Ciencia y Tecnología denominado MOSAIC LEARNING (TSI2005-08225-C07-07).

Referencias.

1. Schilit, B.N., Adams, N., and Want, R. Context-aware Computing Applications. in Workshop Mobile Computer Systems and Applications. 1994: IEEE CS Press.
2. Dey, A.K., Understanding and Using Context. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2001. 5(1): p. 4-7.
3. Brooks, K. The Context Quintet: narrative elements applied to Context Awareness. in *Humn Computer Interaction*. 2003. Crete (Greece).
4. Bravo, J., Hervás, R., and Chavira, G., Ubiquitous Computing at classroom: An approach through identification process. *Journal of Universal Computer Science*, 2005. 11(9): p. 1494-1504.
5. Dey, A.K. and Mankoff, J., Designing Mediation for Context-Aware Applications. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 2005. 12(1): p. 53-80.
6. Russell, D.M., Trimble, J.P., and Dieberger, A. The use patterns of large, interactive displays surfaces: Case studies of media design and use for BlueBoard and MERBoard. in *37th Hawaii International Conference on system Sciences*. 2004.
7. Abowd, G., Brotherton, J., and Bhalodia, J. Classroom 2000: A System for Capturing and Accessing Multimedia Classroom Experiences. in *Computer Human Interaction*. 1998. Los Angeles (USA).
8. Chen, H., Finin, T., and Joshi, A., An Ontology for Context-Aware Pervasive Computing Environments. *Special Issue on Ontologies for Distributed Systems, Knowledge Engineering Review*, 2003.
9. Marmasse, N. and Schmandt, C., A User-Centered Location Model. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2002. 6: p. 318-321.
10. Wang, X.H., Zhang, D.Q., Gu, T., and Pung, H.K. Ontology Based Context Modeling and Reasoning using OWL. in *Modeling and Reasoning Workshop at PerCom*. 2004. Orlando (USA).
11. Dey, A.K. and Abowd, G. The Context Toolkit: Aiding the Development of Context-Aware Applications. in *Workshop on Software Engineering for Wearable and Pervasive Computing*. 2000. Limerick (Ireland).

12. Dey, A.K., Abowd, G., and Wood, A., CyberDesk: A framework for providing self-integrating Context-Aware Services. *Knowledge-Based Systems*, 1999. 11: p. 3-13.
13. Dey, A.K. and Abowd, G. CyberMinder: A Context-Aware System for Supporting Reminders. in *2nd International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*. 2000. Bristol (UK).
14. Ferscha, A., Hechinger, M., Mayrhofer, R., Dos Santos, M., Franz, M., and Oberhauser, R. Digital Aura. in *Advances in Pervasive Computing in Pervasive 2004*. 2004.
15. Brumitt, B., Meyers, B., Krumm, J., Kern, A., and Shafer, S. EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments. in *Second International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*. 2000. Bristol (UK).
16. Cheverst, K., Smith, G., Mitchell, K., and Davies, N., Exploiting context to support social awareness and social navigation. *ACM SIGGROUP Bulletin*, 2000. 21(3): p. 43 - 48.
17. Cox, D., Kindratenko, V., and Pointer, D. IntelliBadge: Towards Providing Location-Aware Value-Added Services at Academic Conferences. in *Ubiquitous Computing (UbiComp)*. 2003.
18. Ardissono, L., Goy, A., Petrone, G., Segnan, M., and Torasso, P. Ubiquitous User Assistance in a tourist Information Server. in *2nd International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web Based Systems*. 2002. Malaga (Spain): Springer.
19. Horvitz, E. Principles of Mixed-Initiative User Interfaces. in *Computer Human Interaction (CHI'99)*. 1999.
20. Schmidt, A., Aidoo, K.A., Takalouma, A., Tuomela, U., Van Laerhoven, K., and CVan de Velde, W. Advanced Interaction in Context. in *HUC'99*. 1999: LNCS.
21. Henriksen, K. and Indulska, J. Modelling and Using Imperfect Context Information. in *Pervasive Computer and Communications Workshops (PERCOMW 04)*. 2004. Orlando (USA): IEEE.
22. Byum, H.E. and Cheverst, K. Exploiting User Models and Context-awareness to Support Personal Daily Activities. in *Workshop on User Modeling*. 2001. Sonthofen (Germany).
23. Wakikawa, R., Trevor, J., Schilit, B.N., and Boreczky, J. Roomotes: ubiquitous room-based remote control over web phones. in *Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2001. Seattle (USA): ACM Press.
24. Wu, H., Siegel, M., and Ablay, S. Sensor Fusion for Context Understanding. in *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*. 2002. Anchorage (USA).
25. Hervás, R., Bravo, J., Nava, S., and Chavira, G. Interacción Natural en Ambientes Inteligentes a través de Roles en Mosaicos de Visualización. in *Interacción06*. 2006. Puertollano (Spain).
26. Becker, C. and Nicklas, D. Where do spatial context-models en and where do ontologies start? A proposal of a combined approach. in *Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management*. 2004. Nottingham (UK).