

XXVIII CONVOCATORIA DE PREMIOS

“Ingenieros de telecomunicación”

Resumen Tesis Doctoral

Título: Contribución a la Medida de Calidad de Servicio Percibida en Servicios Telemáticos Mediante la Definición y Representación de Relaciones Formales entre Ámbitos de Calidad

Autor: Alfonso Sánchez-Macián Pérez

Directora: Encarna Pastor Martín

Departamento: Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos, ETSIT, UPM

Descripción del Trabajo

Origen

Los esfuerzos relacionados con la calidad de servicios en los servicios telemáticos se han enfocado tradicionalmente hacia métricas y arquitecturas de provisión basadas en características objetivas como la disponibilidad, el ancho de banda o el retardo. Sin embargo, la percepción que los usuarios tienen de la calidad difiere, en general, de la calidad medida por los proveedores de servicio. El problema es una falta de entendimiento acerca de las relaciones entre características objetivas y calidad percibida por el usuario.

La percepción de la calidad es un indicador de la satisfacción del usuario y, por tanto, su medida se considera un factor clave en las estrategias de las empresas proveedoras de servicios. Desde el punto de vista de la ingeniería, el objetivo es ser capaz de detectar la calidad percibida y posteriormente ajustar las características objetivas del servicio, su calidad de funcionamiento, para situar dicha percepción en un punto óptimo. La correspondencia entre calidad percibida y calidad de funcionamiento del servicio se puede representar mediante funciones de utilidad o fórmulas de calidad. Todo el proceso de evaluación de la calidad percibida debe poder hacerse de forma automática.

La existencia de un “gap” a la hora de trabajar con los diferentes aspectos de la calidad (calidad percibida, calidad de funcionamiento) hace necesario buscar una solución que proporcione una concepción integrada de las diferentes perspectivas de calidad.

En resumen, la Tesis se sitúa en una línea de investigación que centra sus esfuerzos en la construcción de fórmulas o relaciones formales entre la calidad de servicio percibida y la calidad de funcionamiento del servicio con una doble finalidad. Por un lado, se busca ser capaz de ajustar los parámetros objetivos del servicio para obtener un nivel de calidad de servicio percibida aceptable para el usuario. Por otro lado, se busca disponer de una herramienta para conocer en cada momento cuál es la percepción de los usuarios sin necesidad de una interacción directa con ellos, sólo haciendo uso de medidas de parámetros objetivos y de modelos basados en las relaciones formales definidas previamente.

Objetivos

El objetivo de esta Tesis es aportar una solución al problema de la medida de la calidad de servicio percibida. Para ello se propone una arquitectura y un sistema automático para añadir la percepción de los usuarios a la valoración de la calidad de los servicios telemáticos, teniendo en consideración de forma simultánea las opiniones de los usuarios y las características de funcionamiento de los servicios (Figura 1.). Las primeras se recogen mediante las técnicas de encuestas comentadas previamente. Las características de funcionamiento se obtienen mediante la observación de parámetros objetivos del servicio.

El objetivo global se aborda mediante su descomposición en los siguientes objetivos concretos:

- Construcción de modelos de representación para el soporte de la calidad percibida.
- Definición de un sistema automático para la recogida de datos de encuestas a los usuarios para el cálculo de la calidad de servicio percibida. Este sistema permitirá gestionar de forma sencilla una realimentación por parte de los usuarios sobre las acciones tomadas por los proveedores.

- Evaluación de las propuestas de investigación que desarrollan relaciones formales entre la calidad percibida y la calidad de funcionamiento, medida mediante valores objetivos.
- Diseño de un modelo de representación de las relaciones formales entre ámbitos de la calidad. Servirá para la automatización de la medida de la calidad de servicio y la previsión de variaciones en la calidad percibida a partir de la calidad de funcionamiento técnico del servicio.
- Generación de una aplicación que permita refinar las funciones de utilidad. Además permitirá descubrir y prever las variaciones producidas en el usuario por cambios en el servicio y programar las mejoras del mismo ante la variación de las expectativas producidas por el paso de tiempo o la competencia.

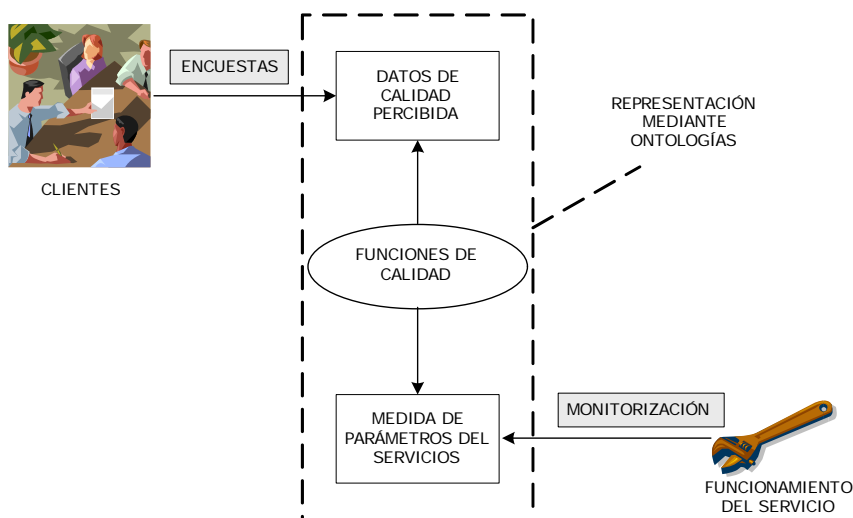


Figura 1. Esquema general de la solución mediante ontologías

Desarrollo

Estado del arte

La Tesis Doctoral contempla la situación existente (en el momento de realización de la misma) en relación a la calidad de servicio percibida, los trabajos enfocados a la relación de dicha calidad con el funcionamiento técnico de los servicios y las ontologías como métodos de representación de conceptos dentro de un ámbito particular.

En primer lugar se presentan los trabajos relacionados con la captura de información de calidad de servicio percibida por los usuarios. Para ello se contemplan trabajos dentro del campo de la Economía como ServQual o ServPerf y sus adaptaciones para la evaluación de dicha calidad en los Sistemas de Información. Otros estudios sobre los aspectos que influyen en la valoración subjetiva del usuario son también analizados.

Posteriormente se describen los trabajos que se centran en el estudio de métricas orientadas a la calidad de funcionamiento de los servicios, incluyendo parámetros de red y parámetros propios del tipo de aplicación. Algunos definen metodologías para la selección de las características a estudiar o de los métodos que se han de emplear para medirlas. Otros marcan ya dichas métricas y umbrales para los valores las mismas. Se investigan estándares y recomendaciones de ITU-T, IETF o ETSI, junto con informes de consultoras y resultados de proyectos de investigación.

Otro aspecto observado es el de las relaciones entre ámbitos de calidad, con recomendaciones (definidas por ITU-T, 3GPP) centradas en aspectos particulares de dichas relaciones ya sea

definiendo dichas relaciones para servicios específicos o presentando metodologías para llegar a dicha definición.

Adicionalmente, se examinan las propuestas existentes y surgidas de forma simultánea a la Tesis para trabajar con modelos basados en ontologías para la representación de la calidad de servicio.

Por último, se evalúan las carencias y puntos pendientes en dichos ámbitos, seleccionando un subconjunto que se corresponde con los objetivos planteados.

Ontología para la Calidad de Servicio Percibida

La finalidad de esta sección de la Tesis es, por un lado, entender la necesidad de un modelo común de representación de la información en cuanto a la Calidad de Servicio en todas sus facetas y, por otro, construir dicho modelo.

Por tanto, se evalúan inicialmente los escenarios de aplicación del modelo común identificando los siguientes: 1) la selección dinámica de servicios basada en ofertas del proveedor o valores medidos del servicio, 2) monitorización y detección de violaciones de acuerdo de nivel de servicio y 3) sistemas autónomos y adaptativos mediante la conexión de la arquitectura con un sistema de gestión de red basado en políticas. La utilidad se incrementa cuando se consideran las distintas facetas (calidad de funcionamiento, calidad percibida, calidad de negocio) de la calidad haciendo posible la comparación de valores definidos en diferentes niveles de abstracción.

Una vez comprobada la utilidad de este modelo común, se hace una selección de la metodología a utilizar buscando la sencillez, y se identifican los requisitos que ha de cumplir, entre los que destacan: la inclusión de todos los conceptos básicos relacionados con la calidad y los acuerdos de nivel de servicio, el soporte a los escenarios definidos y la relación con estándares existentes tanto en la propia ontología como en la nomenclatura utilizada.

Seguidamente se construyen las ontologías necesarias para completar el modelo común. En ellas se incluyen ontologías de soporte (unidades y cuestionarios), una ontología de términos de calidad (OWL-Qual), un modelo para trabajar con acuerdos de nivel de servicio (OWL-SLA) y la base para incluir la calidad percibida (OWL-ServQual).

Finalmente se realiza un análisis sobre las modificaciones para aplicar el factor precio en el modelo de calidad de los servicios.

Propuesta de arquitectura

Una vez completado el modelo de información que se utiliza en la Tesis, se realiza una propuesta de arquitectura en la que se definen actores, diagramas de despliegue y actividad para trabajar en los escenarios propuestos. Esta arquitectura se describe en relación a las siguientes facetas: 1) calidad de funcionamiento, 2) captación de calidad subjetiva, 3) relaciones formales entre ámbitos de calidad y 4) refinado de las funciones de calidad que representan la relación entre ámbitos.

En el aspecto de calidad de funcionamiento, se describe el método para publicar los datos de medida de calidad y ofertas de los diferentes proveedores y la forma de realizar la comparación de perfiles de calidad haciendo uso de las ontologías OWL-Qual y OWL-SLA. Los diferentes módulos a utilizar (Repositorios de Ontologías de Calidad y de Ejemplares de calidad y perfiles, Componentes de publicación, Perfiles de Referencia, Comparador de perfiles de calidad, Generador de Perfiles de Medida, Agrupador de Medidas Parciales) se localizan en los diferentes actores (Organización de Estandarización/Autoridad Nacional de Reglamentación, Auditora/Agencia de Calidad, Proveedor de Servicio, Proveedor de red). Esta arquitectura es

aplicable a la evaluación de las medidas del servicio de un proveedor frente a un perfil de referencia, a comparaciones entre diferentes proveedores, entre la calidad ofertada o la acordada y la medida de un proveedor, o entre ofertas de proveedores y solicitudes de clientes, por ejemplo.

En cuanto a la captación de la calidad subjetiva, se propone el uso de sistemas automáticos basados en encuestas que utilizan el modelo de datos común (OWL-Qual, OWL-Servqual) para integrar información subjetiva de los usuarios en relación a las expectativas y al comportamiento percibido de un determinado servicio. Se establecen una serie de requisitos que ha de cumplir la arquitectura y que serán validados posteriormente. Los diagramas UML representan la funcionalidad asignada a los diferentes actores (Organización de Estandarización, Proveedor de Servicio, Cliente, Tercero Independiente) y la relación de dicha funcionalidad con los distintos componentes (Componente de definición de cuestionarios para servicios, Repositorios de cuestionarios, de respuestas a los cuestionarios y de valores de calidad percibida, Componente de publicación, Agente de recuperación de cuestionarios y de respuestas, Componente de presentación y Cálculo de QoE).

Para el uso de las relaciones formales entre ámbitos de calidad se amplía la arquitectura de calidad de funcionamiento agregando nuevos componentes (Componente Matemático, Repositorio de funciones de calidad, Comparador de QoE, Cálculo de QoE mediante funciones de calidad) capaces de trabajar con fórmulas matemáticas y ontologías de forma simultánea. Dichas fórmulas representan la relación entre los parámetros objetivos de calidad de funcionamiento y las características subjetivas de calidad percibida. Para ello se define una extensión del lenguaje de reglas semántico SWRL y una combinación del mismo con la formalización del modelo matemático proporcionada por OpenMath. Estos nuevos módulos y funciones son asignados a los diferentes actores existentes. Esta extensión permite no sólo comparar perfiles de calidad de servicio correspondientes a la misma faceta de la calidad, sino también realizar comparaciones entre calidad de servicio percibida y calidad de funcionamiento, pudiendo monitorizar los servicios desde un punto de vista de utilidad para el cliente y facilitando una selección semántica de servicios entre diferentes facetas de calidad.

Finalmente, el uso simultáneo de la arquitectura de captación de calidad subjetiva y la arquitectura para las relaciones formales entre ámbitos de calidad facilita detectar errores en las funciones de calidad y ser capaces de proporcionar relaciones cada vez más exactas. La Tesis define la forma de emplear el sistema para lograr ese objetivo.

Validación

Para la validación de la arquitectura presentada se presenta un prototipo y se seleccionan un conjunto de escenarios de prueba. El escenario principal consiste en una aplicación de "Streaming" por Internet usando RTP (Real Time Protocol). Para observar la flexibilidad de la arquitectura, se introducen escenarios secundarios. En los diferentes apartados se explican las tecnologías y lenguajes utilizados para implementar el prototipo.

En el apartado de calidad de funcionamiento se realiza una comparación de perfiles de calidad. En primer lugar, se presenta un escenario en el que una agencia de calidad o auditora compara los perfiles de calidad publicados por un conjunto de ISPs (Internet Service Provider) con una serie de perfiles de referencia definidos por una Autoridad Nacional de Reglamentación, una organización de estandarización o la propia agencia de calidad. Se describen las reglas SWRL utilizadas para la comparación de los ejemplares de las ontologías de calidad. En el escenario de la aplicación de "Streaming", se realiza una comparación entre la solicitud de un cliente y las ofertas publicadas por distintos proveedores, mostrándose una evaluación del rendimiento del prototipo

En la validación de la arquitectura basada en encuestas, se genera un conjunto de páginas web capaces de presentar los formularios al usuario y almacenar la información como ejemplares del modelo de información, calculando los valores de calidad percibida. Un primer escenario aplica la metodología EX-Servqual para evaluar la calidad de un sitio web. El segundo escenario calcula el valor de opinión media (MOS) de una aplicación de Streaming basándose en los datos introducidos por los usuarios. En ambos casos se comprueba que el prototipo de la arquitectura cumple con los requisitos establecidos en la sección de Propuesta de Arquitectura.

Finalmente, en cuanto a las relaciones de calidad, se evalúa la aplicación de Streaming multimedia utilizando un conjunto de funciones de calidad definidas en estudios derivados de colaboración con otras Tesis doctorales. Esas funciones de calidad, que son fórmulas matemáticas, se enlazan con SWRL y se procesan utilizando un motor de inferencia (Bossam) capaz de enviar información a un programa de cálculo matemático (Mathematica). Se aporta también una evaluación del rendimiento del prototipo.

Conclusiones

La presente Tesis Doctoral se ha centrado en la calidad de servicio y, en concreto, en la creación de modelos de representación de los distintos ámbitos de la calidad y sus relaciones, así como en la definición de metodologías y herramientas para el cálculo automático de la calidad percibida a partir de dichos modelos.

Las aportaciones de la presente Tesis Doctoral se enmarcan en el ámbito de la monitorización y cálculo de la calidad de servicio percibida a partir de características objetivas de funcionamiento del servicio. Se centran en los siguientes aspectos: 1) modelo de representación de calidad de servicio percibida; 2) modelo de representación de las relaciones formales entre ámbitos de calidad; y 3) propuesta de arquitectura para la gestión global de la calidad de servicio.

Modelo de representación de calidad de servicio percibida

- Nuevo modelo de representación basado en ontologías para la calidad de servicio que incluye la calidad percibida. Hasta el momento no existía ningún modelo de representación que permitirá realizar inferencias sobre el problema de la calidad de servicio percibida en un entorno práctico.
- Utilización de recomendaciones para la definición del modelo. Los conceptos de calidad de servicio han sido tradicionalmente definidos en recomendaciones de organizaciones internacionales. Para la creación del modelo de representación se han tenido en cuenta estas recomendaciones para así conseguir una mayor aceptación por parte de la comunidad.
- Relaciones con modelos existentes de servicios. Se ha considerado como aspecto importante la relación del modelo generado con otros existentes y ampliamente conocidos para servicios.
- Iniciativa de estandarización del modelo. En la actualidad, el autor ha constituido un grupo ad-hoc compuesto por investigadores internacionales expertos en este campo con el fin de estandarizar una ontología de calidad de servicio.

Modelo de representación de las relaciones formales entre ámbitos de calidad

- Generación de un esquema de representación de relaciones formales entre ámbitos de calidad aplicable al modelo definido. La incorporación de este nuevo modelo para las relaciones formales al esquema semántico global permite realizar inferencias en el ámbito de la calidad percibida en una arquitectura modular.

- Generalización del esquema para su uso en cualquier problema matemático que se desee solucionar en un entorno de Web Semántica. El modelo presentado permite también su utilización en la generación de nuevos hechos utilizando reglas de inferencia y fórmulas en cualquier ámbito.

Propuesta de arquitectura para la gestión global de la calidad de servicio

- Definición de una arquitectura modular y flexible para la gestión de la calidad de servicio. La sencillez para añadir nuevos servicios y el uso de un modelo de representación la hace flexible pues se pueden ir integrando nuevos elementos a lo largo del tiempo.
- Especificación de los actores y las actividades realizadas por cada uno de ellos. La descripción de los diferentes roles presentes en la arquitectura y las actividades que les corresponder facilita el despliegue de la arquitectura y permite ver las ventajas obtenidas por cada uno de ellos.
- Cálculo automático de la calidad percibida en el entorno modular. El uso del modelo de representación de relaciones formales permite realizar de un modo automático la monitorización de la calidad de servicio percibida. Además, frente a los enfoques existentes, la incorporación del cálculo para nuevos servicios o la modificación de las fórmulas de calidad se realiza de una manera fácil debido al enfoque basado en Web Semántica.
- Automatización en la recogida de datos de calidad percibida e integración en la arquitectura global mediante el soporte a las herramientas de cuestionarios comúnmente usadas en el ámbito de la economía.
- Detección de variaciones en las relaciones de calidad. Mediante la comparación de los datos obtenidos al aplicar las funciones de calidad a los datos de funcionamiento del servicio, con la información de calidad percibida capturada con las técnicas de automatización de cuestionarios.

Originalidad del Tema

La presente Tesis doctoral ofrece novedades en diferentes aspectos que se comentan en los siguientes apartados.

Es importante destacar que, si bien las aportaciones a cada aspecto son originales, aún tiene una mayor trascendencia el enfoque transversal y holístico de la arquitectura definida en esta Tesis en cuanto a la calidad, puesto que facilita el manejo integrado de la misma en todas sus facetas utilizando un método de representación y una base de conocimiento común frente a las estrategias usadas con anterioridad.

La arquitectura definida ha tenido en cuenta los diferentes actores y mercados (regulados y no regulados) proporcionando una serie de posibilidades de aplicación para cada caso. Su utilización va desde el campo del Comercio Electrónico para seleccionar al proveedor más idóneo o para establecer o priorizar la calidad percibida por un cliente, hasta entornos regulados donde las autoridades de reglamentación pueden hacer uso del sistema para valorar la calidad de los servicios en relación a un determinado perfil de calidad y publicar dichos datos de calidad (de forma similar a como se realiza con los llamados servicios universales).

Calidad de servicio percibida

Los modelos presentados hasta el momento para la medida de la calidad percibida tienen sus valedores y detractores. Sin embargo, el más utilizado históricamente corresponde a ServQual. Ha sido adaptado al campo de la informática y a algunos servicios concretos (por ejemplo. Extranets), y ha influido en otros modelos (WebQual). El principal problema que presentan todos ellos, especialmente en el ámbito de los servicios proporcionados de forma remota, es la necesidad de interactuar con los clientes mediante encuestas en persona o de manera telefónica. En caso de implantar sistemas automáticos, estos suelen ser cerrados, sin posibilidad de seleccionar el método de encuesta o de integración con otras aplicaciones.

En esta Tesis se ha realizado el diseño de una arquitectura y sistema automático modular para la presentación de encuestas a los clientes y recogida de datos de calidad percibida.

Calidad de funcionamiento del servicio

El estudio de la calidad de funcionamiento de la red, como elemento que afecta directamente al servicio, ha dado importantes resultados respecto a los parámetros objetivos que se han de monitorizar y los métodos de medida. La definición de clases de servicio permite simplificar la forma de establecer la influencia de estos parámetros en cada uno de los servicios.

En el aspecto del funcionamiento del servicio, aún es necesario completar el esfuerzo de definición de los parámetros de calidad específicos de cada servicio, como el tiempo de servicio disponible (“uptime”) de un servidor.

Además es necesario proporcionar un sistema automático con una arquitectura modular que permita incorporar nuevos servicios y nuevas características de forma sencilla para trabajar con la calidad de funcionamiento. Este aspecto es contemplado en la presente Tesis.

Relación entre ámbitos de la calidad

La finalidad a la hora de valorar la calidad de los servicios es disponer de un sistema automático basado en parámetros medibles y que, a partir de estos, sea capaz de calcular el nivel de la calidad

que los usuarios perciben. Por tanto, es necesario disponer de las relaciones entre la calidad de funcionamiento y la calidad percibida.

Un enfoque relacionado con el uso de sistemas de intermediación, obliga al usuario o a la aplicación a decidir qué parámetros son importantes para ellos a la hora de valorar la calidad del servicio. Aunque se intente que los parámetros sean fáciles de entender (como los definidos por Bannock), no se puede confiar en que el usuario entienda la influencia que tienen en el servicio. Además, este planteamiento incluye una carga adicional de trabajo al usuario, que puede reducir su predisposición hacia el uso del servicio.

Esta Tesis se centra en proporcionar los mecanismos modulares necesarios para utilizar las relaciones entre ámbitos de calidad de forma automática. El método que se defina ha de permitir refinar las funciones de calidad y modificarlas de manera rápida y sencilla. Para esta optimización de las funciones de calidad será necesario recurrir a los mecanismos automáticos de encuestas.

Ontologías

Las ontologías van a servir para conseguir la automatización y los mecanismos modulares comentados en los apartados anteriores.

Todos los trabajos realizados hasta el momento de desarrollo de la Tesis se centran en la calidad de servicio orientada a parámetros objetivos, principalmente de red, o de alto nivel en servicios web. Por otro lado, ninguno enfoca el uso de ontologías y reglas con un motor de inferencia capaz de hacer comprobaciones semánticas que emparejen los requisitos de los usuarios con las ofertas o las medidas de los servicios de los proveedores.

Para conseguir conectar la calidad de servicio percibida y la calidad de funcionamiento técnico de los servicios el autor ha tenido que generar ontologías que cubran la calidad de servicio percibida, los parámetros objetivos de los distintos servicios, (por ejemplo acceso a Internet) y las relaciones formales entre distintos ámbitos de la calidad.

Resultados Obtenidos

Definición de un modelo de representación de la calidad

Se ha procedido a la construcción de modelos de representación para el soporte de la calidad percibida. Para ello:

- Se han definido los escenarios de utilización de dichos modelos destacando la monitorización de la calidad, la selección de servicios basada en calidad y la adaptación de servicios según varíe la calidad.
- Se han definido los requisitos generales que ha de cumplir el modelo.
- Se ha seleccionado un método de desarrollo de ontologías ampliamente conocido y utilizado.
- Se ha desarrollado una ontología con los conceptos básicos de calidad de servicio (OWL-Qual) junto con otras ontologías de soporte (unidades OWL-Unit). Los términos de OWL-Qual están basados en estándares de calidad de servicio de ITU-T. Esta ontología permite representar valores de medidas de características de funcionamiento del servicio en estudio.
- Se ha generado la representación semántica de los conceptos relacionados con requisitos de servicio y acuerdos de servicio (OWL-SLA). En ella se han definido distintos tipos de perfiles de información del servicio (perfiles de anuncios del proveedor o requisitos de usuario, por ejemplo) para permitir la selección de servicios basados en correspondencia entre distintos perfiles.
- Se ha definido una ontología para representar cuestionarios (OWL-Quest) y permitir la representación de las herramientas utilizadas para la captación de la calidad percibida. Esta ontología, junto con OWL-Qual y OWL-SLA sirven de apoyo para el modelado de la calidad percibida que se realiza mediante OWL-ServQual.

Existe una iniciativa creada por el doctorando que engloba a un grupo de investigadores internacionales cuyo fin es enviar un conjunto de documentos (Member Submission) al consorcio W3C para la creación de una recomendación que incluya un modelo semántico de representación de la calidad de servicio.

Arquitectura para el uso del modelo de calidad

El modelo de calidad generado se puede utilizar para trabajar tanto en el plano de la calidad de funcionamiento del servicio como en el de la calidad percibida. La presente Tesis Doctoral ha mostrado los fundamentos de la utilización de dicho modelo y lo ha validado con ejemplos.

Para la calidad de funcionamiento de servicio se ha presentado el trabajo con perfiles de calidad: anuncio del proveedor, requisitos de usuario, medidas del servicio, niveles de referencia y acuerdos de servicio. Cinco perfiles que permiten realizar inferencias sobre el comportamiento de los servicios, comparativas entre distintos proveedores, detección de violaciones de acuerdos de nivel de servicio o acreditaciones de calidad de una oferta, entre otras posibilidades.

Por otro lado, respecto a la calidad percibida, se ha mostrado una metodología para la recogida automática de datos de cuestionarios y el cálculo de dicha calidad.

Método de representación semántica de relaciones entre ámbitos de la calidad

Debido a las limitaciones de los lenguajes de inferencia de la Web Semántica, ha sido necesario definir una propuesta para la representación de información matemática que permita realizar deducciones semánticas mediante un motor de inferencia. Este modelo es capaz de dar soporte a las funciones de calidad que relacionan los ámbitos de funcionamiento de servicio y percepción.

La propuesta ha separado la semántica del problema de la semántica matemática dando lugar a un modelo que se puede utilizar para cualquier problema que requiera realizar inferencias que incluyan ecuaciones matemáticas.

En el caso de estudio, las funciones de calidad definidas en diferentes estudios se representan utilizando este método. Se comprueba cómo es factible realizar ese cálculo y el rendimiento a la hora de realizar estas operaciones.

Marco semántico de cálculo de calidad percibida

Partiendo de los modelos semánticos generados para la calidad de servicio, las técnicas presentadas para su uso y el método de representación de las relaciones entre ámbitos de calidad, se ha definido un marco semántico que permite calcular la calidad percibida.

Este marco de trabajo se compone de una arquitectura y un proceso para su utilización. La arquitectura está formada por: sondas de medida y traductores capaces de producir información de medida en formato de ejemplares de las ontologías de calidad, un entorno distribuido de servidores web que publiquen las ontologías y los ejemplares medidos, un motor de inferencia y una aplicación matemática que lo complementa para realizar el cálculo de las funciones de calidad y, opcionalmente, actuadores capaces de modificar el comportamiento del sistema en función de los datos inferidos.

Se ha descrito también el proceso a seguir para utilizar esta arquitectura generando nuevas herramientas con el fin de abstraer lo más posible el entorno de ontologías, facilitar la aplicación de la propuesta semántica matemática y la agregación de nuevos servicios de forma sencilla.

También se ha descrito el método para la detección de problemas en las funciones de calidad definidas.

Validación del marco semántico

La validación del marco de trabajo semántico descrito en este Tesis Doctoral se ha llevado a cabo mediante el uso de servidores de difusión multimedia.

Se ha realizado un experimento generando información de calidad mediante una sonda que publica ejemplares de las ontologías a partir de la información de los paquetes RTP. El motor de inferencia (Bossam) y la aplicación matemática (Mathematica) han sido capaces de producir información de calidad percibida utilizando funciones de calidad.

Se ha comprobado la facilidad para desplegar el cálculo de la calidad percibida para un nuevo servicio si se utilizan las herramientas disponibles a tal efecto. Esta capacidad permite utilizarlo en un entorno de redes de nueva generación donde es muy probable la aparición de nuevos servicios de telecomunicación.

Publicaciones
(ver Anexo II)

Aplicabilidad práctica en el área específica

Utilidad para diferentes actores

La propuesta de arquitectura presentada en este Tesis Doctoral proporciona un conjunto de beneficios para diferentes actores:

- Proveedores: Les permite realizar una monitorización de la calidad de servicio objetiva y la calidad percibida por el usuario utilizando una arquitectura flexible y modular. Además facilita la reacción a problemas en la calidad de servicio pues permite la comunicación con otros sistemas (como servidores de gestión de red basada en políticas - PBNM) y facilita la adaptación basada en QoS y la creación de mecanismos de gestión autónoma.
- Usuarios: Habilita la posibilidad de una selección basada en calidad de servicio (en sus diversos ámbitos) para los usuarios. Contribuye, por tanto, a los servicios de nueva generación (NGS) en el aspecto de personalización del servicio.
- Autoridades nacionales de reglamentación (NRAs). En el caso de los servicios universales permite generar mecanismos sencillos de monitorización de niveles mínimos de calidad. Las NRA serían, en este caso, las encargadas de publicar perfiles de referencia de calidad de servicios con los umbrales mínimos. Las empresas auditoras se encargarían de comprobarlo.
- Otras compañías. La propuesta facilita una oportunidad de negocio a las agencias de calidad mediante la certificación de proveedores en cuanto a características de calidad de sus servicios telemáticos. En entornos regulados, las compañías auditoras tendrían el papel de observar el comportamiento de las ofertas de servicio universal de los proveedores y compararlas con los umbrales mínimos.

Como se ve, son varias las ventajas en relación a la calidad de servicio que se consiguen mediante el uso de la propuesta de arquitectura.

Hoja de Ruta para su aplicación

Evidentemente, el resultado generado es un prototipo y, como tal, requiere una "hoja de ruta" para su aplicación en un entorno comercial:

- Definición e integración de mecanismos de confianza y seguridad. Para la puesta en producción de la implementación de esta arquitectura es necesario definir claramente restricciones y políticas en cuanto a la seguridad y autorización en el acceso a los datos (legislación de protección de datos). Los mecanismos de confianza que permiten interactuar a los diferentes componentes también deberán ser descritos.
- Mejora en el rendimiento y diversidad de los motores de inferencia. En la actualidad existe un número muy limitado de motores de inferencia que soporten los requisitos presentados en la arquitectura. Además, los que se encuentran disponibles requieren usar máquinas potentes para obtener un rendimiento aceptable en aplicaciones de tiempo real. El enfoque de los motores de inferencia debería ser similar al de los servidores de aplicación Java en el sentido de proporcionar un conjunto de funciones estándar y poder decidir entre ellos o incluso cambiar de proveedor en un momento dado.

- Estandarización de las ontologías de calidad de servicio para su difusión e integración. La aceptación de los distintos actores en el uso de una arquitectura como la aquí presentada dependerá de que el modelo de representación definido esté respaldado por organizaciones internacionales que produzcan estándares o recomendaciones.
- Integración con sistemas de gestión de red para la gestión autónoma y la adaptación basada en calidad. Para poder reaccionar a las variaciones de la calidad de servicio y permitir la gestión autónoma de los sistemas, es necesario integrar la arquitectura propuesta en los sistemas de gestión de los proveedores (p. ej.: interacción con servidores PBNM)
- Definición de características, métodos de medida y umbrales para cada servicio. Las características que afectan a la calidad varían con cada servicio, así como los umbrales requeridos para la entrega del mismo. Es necesario definir estos aspectos por cada servicio que se desea monitorizar.
- Extrapolación de nuevas fórmulas de calidad para diferentes servicios mediante técnicas experimentales (p. ej.: diseño de experimentos). Existen muy pocos estudios que relacionen los diferentes ámbitos de la calidad de servicio utilizando fórmulas analíticas. Será necesario obtener la fórmula que relaciona calidad percibida y calidad de funcionamiento para cada servicio que se desea monitorizar.
- Adaptación de otras herramientas para la generación de ejemplares de las ontologías de calidad. Las herramientas de medida no están preparadas para la generación de la información en la forma de ejemplares de las ontologías aquí definidas. Será necesario añadir traductores capaces de transformar información desde los formatos más comúnmente usados a ejemplares que permitan utilizar esta arquitectura.

Anexo I. Aportaciones de índole tecnológica

Proyectos de Investigación

TÍTULO DEL PROYECTO:

TIC2003-04406

Modelos de arquitecturas y mecanismos adaptativos de encaminamiento para redes de distribución de medios continuos (VideoRed)

ENTIDAD FINANCIADORA: Ministerio de Educación y Ciencia

DURACIÓN DESDE: 01/12/2003 HASTA: 30/11/2006

TÍTULO DEL PROYECTO:

TSI2005-07306-C02-01

Caracterización de nuevos servicios de telecomunicación desde el punto de vista de la calidad de servicio e impacto en las reglas de diseño de redes de próxima generación (CasertelNGN)

ENTIDAD FINANCIADORA: Ministerio de Educación y Ciencia

DURACIÓN DESDE: 01/12/2005 HASTA: 30/11/2007

TÍTULO DEL PROYECTO:

IST-Akogrimo

Access to Knowledge through the Grid in a Mobile World (Akogrimo).

ENTIDAD FINANCIADORA: Comisión Europea FP6-IST

DURACIÓN DESDE: 01/06/2004 HASTA: 30/05/2007

Referencias al trabajo por otros autores

El trabajo del autor ha sido referenciado por otros autores en las siguientes publicaciones:

- A Mukhija, A Dingwall-Smith, DS Rosenblum, "QoS-Aware Service Composition in Dino", en *Proceedings of the 5th IEEE European Conference on Web Services (ECOWS 2007)*, Halle (Saale), Alemania, Noviembre 2007
- H Derbel, N Agoulmine, M Salaun, "Service Utility Optimization Model Based on User Preferences in Multiservice IP Networks", en *Proceedings of the 2nd IEEE International Workshop on Distributed Autonomous Network Management Systems (DANMS 2007)*. Noviembre 2007, Washington DC, EEUU. Publicado en 2007 IEEE Globecom Workshops, IEEE, 2007
- G Dobson, S Hall, G Kotonya, "A Domain-Independent Ontology for Non-Functional Requirements", en *Proceedings of IEEE International Conference on e-Business Engineering, 2007 (ICEBE 2007)*, Octubre 2007, Hong Kong, China.
- E Gallo, M Siller, J Woods, "An Ontology for the Quality of Experience framework", en *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 2007*, Octubre 2007, Montreal, Canadá.
- F Agboma, A Liotta, "Addressing user expectations in mobile content delivery", *Mobile Information Systems*, Volume 3, Number 3-4 - IOS Press, Octubre 2007, Amsterdam, Holanda.
- T Klie, B Ernst, L Wolf, "Automatic Policy Refinement Using OWL-S and Semantic Infrastructure Information", en *Proceedings of the 2nd IEEE International Workshop on Modelling Autonomic Communications Environments (MACE 2007)*, Octubre 2007, San José, California, EEUU.
- J. L. García-Dorado, J. Aracil, J. A. Hernández, S. Lopez-Buedo, J. E. López de Vergara, P. Reviriego, G. Huecas, S. Pavón, J. Quemada, "A quality of service assessment technique for large-scale management of multimedia flows", en *Proceedings of the 10th IFIP/IEEE International Conference on Management of Multimedia and Mobile Networks and Services*

(MMNS'2007), San José, California, Octubre, 2007. Publicado en Lecture Notes in Computer Science, Vol 4787.

- C. Müller, O. Martín-Díaz, A. Ruiz-Cortés, M. Resinas and P. Fernández, "Improving Temporal Awareness of WS-Agreement", en Proceedings of the *Fifth International Conference on Service-Oriented Computing (ICSOC 2007)*, Viena, Austria, Septiembre 2007. Publicado en Lecture Notes in Computer Science Vol. 4749.
- J. M. García, D. Ruiz and A. Ruiz, "On User Preferences and Utility Functions in Selection: A Semantic Approach", en *Proceedings of the Non Functional Properties and Service Level Agreements in Service Oriented Computing Workshop (NFPSLA-SOC 2007)*, Viena, Austria, Septiembre 2007.
- I. Miloucheva, D. Wagner, P. A. Aranda Gutiérrez, "Architecture for dynamic management of QoS policies for heterogeneous Internet environments", en Proceedings of the *International Conference and Exhibition on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 2007 (NGMAST 2007)*, Septiembre 2007, Cardiff, Gran Bretaña.
- S Yuan, J Shen, "QoS-Aware Service Selection in P2P-Based Business Process Frameworks," en Proceedings of the 9th IEEE International Conference on E-Commerce Technology and the 4th IEEE International Conference on Enterprise Computing, E-Commerce and E-Services (CEC-EEE 2007), Tokio, Japón, Julio 2007
- K. Verma, *Configuration and Adaptation of Semantic Web Processes*, PhD Thesis, Agosto 2006, University of Georgia, Athens, GA, EEUU.
- O. Martín Díaz. *Emparejamiento Automático de Servicios Web Usando Programación con Restricciones*, Tesis Doctoral, Septiembre 2007, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

Otras aportaciones

El autor ha generado una iniciativa que aglutina a los principales investigadores en el tema de las ontologías de calidad de servicio con el fin de proponer un estándar (a través de una "Member Submission al W3C").

Anexo II. Trabajos publicados.

Revistas indexadas en Journal Citations Report

1. Alfonso Sánchez-Macián, Jorge E. López de Vergara, Encarna Pastor, Luis Bellido. A System for Monitoring, Assessing and Certifying Quality of Service in Telematic Services. Knowledge-Based Systems, Elsevier, In press.

Congresos, LNCS e IEEE proceedings

1. G. Dobson, A. Sánchez-Macián. Towards unified QoS/SLA ontologies, en Proceedings of the Third International Workshop on Semantic and Dynamic Web Processes, Chicago, USA, 18-22 Septiembre 2006. Publicado en 2006 IEEE Services Computing Workshops (SCW 2006), pp. 169-174, IEEE, ISBN 0-7695-2681-0.
2. A. Sánchez-Macián, E. Pastor, J. E. López de Vergara, D. López. Extending SWRL to enhance mathematical support, en Proceedings of the First International Conference on Web Reasoning and Rule Systems (RR2007), 7-8 Junio 2007, Innsbruck (Austria). Publicado en Lecture Notes in Computer Science, Vol 4524, pp. 358-360, 2007. Springer Verlag, ISSN 0302-9743
3. A. Guerrero, V. Villagrà, J. E. López de Vergara, A. Sánchez-Macián, J. Berrocal. Ontology-based Policy Refinement Using SWRL Rules for Management Information Definitions in OWL, en 17th IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management (DSOM 2006), 25-26 Octubre 2006. Publicado en Lecture Notes in Computer Science, Vol 4269, pp. 227-232, 2006. Springer Verlag, ISSN 0302-9743
4. A. Sánchez-Macián, D. López, J. E. López de Vergara, E. Pastor. A Framework for the Automatic Calculation of Quality of Experience in Telematic Services en Proceedings of the 13th HP-OVUA Workshop, Sophia Antipolis, Francia, 21-24 Mayo 2006. ISBN 3-00-018780-4
5. D. López, F. González, L. Bellido, A. Sánchez-Macián. Delivering Customer Oriented Multimedia Streaming Services., en Proceedings of the 2006 International Workshop "Towards QoS Internet" (To-QoS'2006), IFIP Networking 2006, Coimbra, Portugal, 15-19 Mayo 2006
6. D. López, J. E. López de Vergara, F. González, A. Sánchez-Macián. An OWL-S based architecture for self-optimizing multimedia over IP services, en Proceedings of the 1st IEEE International Workshop on Modelling Autonomic Communications Environments (MACE 2006), Dublin, Irlanda, 25-26 Octubre 2006.
7. A. Sánchez-Macián, E. Pastor, L. Bellido. Sistema Automático de Recogida de Datos para la Evaluación de la Calidad Percibida por los Usuarios en Servicios Internet, en Actas de las XV Jornadas Telecom I+D 2005, Madrid, Noviembre 2005. ISBN 84-689-3794-0
8. A. Sánchez-Macián, L. Bellido, E. Pastor. Ontologías para la Medida de la Calidad de Servicio Percibida, en Libro de Ponencias de las V Jornadas de Ingeniería Telemática (Jitel 2005), Vigo, Pontevedra, España, Septiembre 2005, pp. 693-700. ISBN 84-8408-346-2.
9. A. Sánchez-Macián, E. Pastor. Evaluación de la calidad de servicio en redes IP. Percepción de Usuario y Métricas, en Actas de las XIV Jornadas Telecom I+D 2004, Madrid, Noviembre 2004. ISBN 84-933783-4-8.

Capítulos de libros

1. B. Koller, E. Oliveros, A. Sanchez-Macian. Service Level Agreements in the GRID Environment, en Market Oriented Grid and Utility Computing, Rajkumar Buyya and Kris Bubendorfer (eds), Wiley, Nueva York, EEUU, en producción.