

# Computación en la Nube como modelo distribuido para la interacción de plataformas robóticas

## *Cloud computing as distributed system model for interacting robotic platforms*

Byron Portilla-Rosero\*

Jaime A. Guzmán\*\*

Fecha recepción: 12 de febrero de 2013

Fecha aceptación: 30 de abril 30 de 2013

### Resumen

El uso de nuevas perspectivas tecnológicas genera la introducción de nuevos conceptos que se familiarizan con la agilidad de los procesos de cómputo aplicado a diferentes procesos de negocio. Una de estas tecnologías es la computación en la nube, utilizada para mejorar la interacción entre dispositivos y el procesamiento de información; este campo se ha extendido a áreas como la robótica donde el uso de dispositivos robóticos cada vez es más frecuente para desarrollar actividades de limpieza, vigilancia, es decir desarrollar diferentes trabajos donde el dispositivo se programa para realizar un conjunto de actividades repetitivas que los convierte en una plataforma que satisface unos requerimientos particulares en un ambiente centralizado. Sin embargo en ambientes altamente dinámicos como exploración de terrenos, el ambiente es totalmente incierto y por lo tanto los dispositivos robóticos deben ser capaces de interactuar con ese ambiente y dar una solución oportuna. Así mismo se cuenta con múltiples plataformas robóticas que necesitan interactuar entre sí para mejorar la reacción a un evento determinado.

\* Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Grupo de Investigación SINTELWEB- Núcleo Robledo. Correo electrónico: [beportillar@unal.edu.co](mailto:beportillar@unal.edu.co)

\*\* Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Grupo de Investigación SINTELWEB- Núcleo Robledo. Correo electrónico: [jaguzman@unal.edu.co](mailto:jaguzman@unal.edu.co)

## Palabras claves

Computación en la nube, sistemas distribuidos, plataformas robóticas, servicios robóticos.

### Abstract

Using new technology perspectives give rise to new concepts related agility of computing processes applied to different business processes. One such technology is the cloud computing used to improve the interaction between devices and information processing. The cloud computing has been applied to areas as robotic through using robotic devices in order to develop cleanup surveillance activities, i.e. develop different jobs where the device is programmed to perform a set of repetitive activities that becomes a platform that satisfies some particular requirements in a centralized environment. However in highly dynamic environments such as exploration of land the environment is uncertain therefore robotic devices must be able to interact with the environment and provide a timely solution. Also is possible have multiple robotic platforms that need to interacted with each other to improve the reaction to a particular event.

### Keywords

Cloud computing, distributed systems, robotic platforms, robotic services

## 1. Introducción

El creciente desarrollo de las tecnologías Web está cambiando el paradigma de cómo las personas pueden acceder a los diferentes servicios disponibles en la Web y cómo hacer uso de ellos. La revolución tecnológica propone un nuevo concepto llamado computación en la nube [10] que consiste en el procesamiento de los datos de manera independiente del software y hardware de los dispositivos, es decir todo el procesamiento se realiza en la nube a través de tres capas encargadas de ofrecer los medios necesarios para interactuar con los diferentes sistemas. Estas capas son: la capa de servicios (SaaS)

que se refiere a todas las aplicaciones desplegadas en la Web y que prestan un servicio a los usuarios, la capa de plataforma (PaaS) compuesta por los diferentes sistemas de desarrollo y la capa de infraestructura (IaaS) que hace alusión a todos los implementos físicos necesarios para la comunicación como son las redes, servidores. Acorde a lo anterior, es posible contar con dispositivos como laptops, desktop, pdas, Smartphone, sensores, dispositivos robóticos que solo cuenten con una conexión a la red y pueda interactuar con un gran conjunto de información distribuida en la Web sin necesidad de instalar ninguna aplicación para el procesamiento de los datos, sino en algunos casos,

contar con aplicaciones que sirvan como interfaz para su interacción con la Web como los browsers.

Esta nueva concepción de la Web se está aplicando en diferentes áreas que necesitan dinamizar sus procesos o mejorar de alguna manera su interacción con los clientes. Bajo este nuevo paradigma, la robótica desde hace un par de años está tratando de incluir algunos de sus procesos en la Web con el fin de mejorar el desempeño de los dispositivos robóticos [15].

Desde el punto de vista de la robótica se identificó un conjunto de factores que impiden el buen desempeño de los dispositivos robots cuando estos se ven enfrentados a ambientes dinámicos [5]: (1) los dispositivos robots no tienen la suficiente capacidad de almacenamiento en cuanto al programa que soporta todas las posibles situaciones, (2) el entorno es variable por lo tanto no puede predecirse, (3) la ocurrencia de fallos, (4) el modificar el sistema sin detener el proceso y (5) el ser independiente de la plataforma, con lo cual se puede integrar diferentes aplicaciones en los robots

Asimismo, en [1] se referencia problemas físicos que están relacionados con los robots como: (1) su peso, (2) vida del robot y (3) costo de manufactura de los robots.

Para solucionar estos problemas, en la literatura se encuentran diferentes investigaciones que proponen modelos y métodos que se fundamentan en el uso de la Web para proporcionar una solución ágil a los problemas mencionados. Una de esas técnicas es la computación en la nube. Ésa si como en este artículo se pretende detallar como estas investigaciones han utilizado este nuevo paradigma de computación para dar solución a los problemas en la robótica mencionados anteriormente.

Este artículo se encuentra distribuido de la siguiente manera. La sección 2, presenta las propuestas sobre robótica en la nube para la solución de problemas relacionados con la

interoperabilidad, procesamiento de información, la sección 3, presenta una propuesta en la búsqueda de una integración de tareas robóticas y finalmente la sección 4, muestra las conclusiones y trabajos futuros.

## 2. Modelos de representación de la robótica

Los robots son considerados como sistemas stand-alone [9] donde su funcionalidad se limita a los programas que existen en su memoria y al apoyo que le puede ofrecer un conjunto de robots cuando este pertenece a una red. En primer lugar, el almacenamiento en memoria y el procesamiento de datos se torna crítico cuando el robot debe reconocer todas las situaciones a las que se va a enfrentar dentro de un ambiente dinámico siendo estas tareas desgastantes y complejas para todo el dispositivo debido a que se presentan situaciones difíciles de prever y solo se tiene la información cuando ocurren los eventos. En segundo lugar, las redes de robots posibilitan la forma de interactuar entre estos para adaptarse a una situación. Sin embargo estos robots también deben ser programados con todas las posibles situaciones que pueden ocurrir para dar una solución individual o en conjunto a un problema. Aunque el programa está distribuido en varios robots, este no deja de ser complejo más aún cuando se trata de obtener información altamente dinámica. Finalmente, cuando no se cuenta con varios dispositivos para resolver un problema, se hace necesario utilizar los recursos disponibles y adaptarlos para que puedan interactuar entre sí y con el ambiente, desarrollando diferentes actividades acordes a los requerimientos del problema.

Por lo tanto, la agilidad de los procesos depende de cómo un sistema puede desenvolverse frente a una situación en particular, es decir, si el dispositivo puede adaptarse a eventos reales de su entorno cambiante y la forma cómo afronta esta situación. En este caso, se puede hablar de una interacción externa que posibilite al dispositivo desarrollar cualquier actividad y funcionar solo

como una herramienta de apoyo para alcanzar un conjunto de objetivos.

Desde hace algunos años se busca nuevas formas para representar el comportamiento y la integración de los dispositivos robóticos a través de la Web, con el fin de solventar las limitaciones que tienen los robots. Varias investigaciones estudian la posibilidad de representar los robots como parte de la Web a través de servicios Web. En [12] se presentan dos librerías que posibilitan la representación de las acciones de los robots como servicios Web y trabaja con los robots como si fuera un laboratorio virtual. Estas librerías permiten comunicarse con los robots bajo el sistema operativo ROS. Por otro lado, en el trabajo de [4], se presenta un modelo enfocado en la computación orientada a servicios (SOC). Con este trabajo se da inicio a una representación del conocimiento enfocado a las actividades de los robots a través de la descripción de servicios Web permitiendo que estos sean utilizados por los robots. Se habla entonces de hacer una descripción de los robots en la Web a través de la arquitectura orientada a servicios (SOA), con esto se pretende dar una mejor escalabilidad a la interacción con el fin de representar la composición de tareas a través de un modelo automático. Aunque la composición de servicios es una tecnología muy utilizada para la integración de servicios en la Web, apenas se inicia el siguiente paso hacia una robótica en la nube [16].

La búsqueda de la virtualización de los dispositivos robóticos se enfoca en la computación en la nube como una más de sus capas dando como resultado diferentes modelos para atacar los desafíos que tiene los robots en esta época.

Actualmente, la Web se ha convertido en el medio para unificar distintos sistemas y representarlos por medio de procedimientos que permiten controlar de manera independiente los diferentes procesos asociados a dichos sistemas. Varias teorías se plantean para lograr una interacción entre sistemas, una de ellas es la que se enfoca a los robots

como servicios (RaaS) tratando de definir una nueva era en computación en la nube, la cual hace alusión al control de robots de manera distribuida a través de la Web. En los últimos años, se ha tratado de migrar diferentes descripciones asociadas a los robots para de alguna manera puedan ser operados a partir de procesos remotos, alrededor de un contexto particular.

Uno de los principales trabajos es el de [6], [7] aquí se define el término de RaaS es decir un robot como servicio para representarlo en un ambiente virtual en la Web, se describe al robot como unidades que son representadas como servicios para que estos puedan estar disponibles en la Web e interactuar con el ambiente. Este trabajo representa un robot como un todo que contiene un service bróker, aplicaciones de acceso al cliente y los servicios que ejecutan su funcionalidad. Esta propuesta busca comprender de otra forma la estructura y el comportamiento de los robots bajo una arquitectura descentralizada. A través de esta representación, es posible interactuar con diferentes tipos de robot para cumplir múltiples objetivos; no obstante, cuando un robot no puede satisfacer un requerimiento de manera independiente, es necesario distribuir esa tarea a varios robots y así alcanzar el requerimiento.

Por otro lado, el concepto de redes de robots en la nube es otro modelo que se está aplicando para solucionar problemas de interoperación y procesamientos distribuidos [11]. En esta dirección se orienta el trabajo en [9], el cual pretende tener descripciones de los robots disponibles en la Web para que estos puedan aprender y mejorar habilidades y solucionar diferentes tareas colaborativas.

En el trabajo de [13], se propone un enfoque de composición de servicios robóticos que permite la integración humano-máquina a través de un repositorio de conocimiento representado en la nube. En este enfoque, se describe como una infraestructura de acceso y procesamiento de datos, le permite al robot la interacción entre las diferentes máquinas mejorando el procesamiento de tareas.

Tabla 1. Análisis comparativo

Trabajo	Características	Problema tratado
[6][7]	Remote Collaboration Center (RCC) - interfaz de usuario Service provider Service broker Robot, sensores y actuadores	Capacidad limitada Ambientes inciertos
[3]	Servidores Almacenamiento Infraestructura de red	Descarga intensiva de dato Sobrecarga computacional a los recursos del robots
[8]	Robot cloud panel Service broker Mapping layer Robot cloud units	Versatilidad Capacidad de procesamiento Extensibilidad
[12]	Servicios robóticos, multi middleware y controlados por medio de una aplicación	Heterogeneidad Seguridad
[13]	Redes de sensores SOA (service broker) Arquitectura general del Robot Capa de datos	Compartir y adquirir conocimiento para ejecutar tareas complejas
[9]	Nube elástica Usos de proxy Clone de máquina M2M M2C	Seguridad Comunicación Restricción de recursos

Fuente: elaboración propia.

Este trabajo presenta cada habilidad del robot como un servicio y cuenta con un repositorio de habilidades que están en la nube.

Por otra parte, en [8] se plantea un marco de trabajo el cual identifica limitaciones asociadas a la versatilidad, capacidad y extensibilidad de los robots tradicionales. En este se plantea los robots como objetos programables disponibles en una red, lo cual permite que el procesamiento de los datos se realice no como una secuencia sino como tareas particulares para cumplir ciertos procesos relevantes en una ejecución. Esto influye en el comportamiento del robot ya que se satura de procesos innecesarios.

Finalmente, [3], también presenta un propuesta que busca obtener las ventajas de la computación en la nube en cuanto a la escalabilidad y el paralelismo para ser utilizados en servicios robóticos. Con esto se pretende comunicar paralelamente diferentes servicios robóticos y reducir el procesamiento de la información en cuanto a la adquisición de la información y la generación de rutas.

### 3. Modelos de computación en la Nube

El procesamiento y los grandes volúmenes de la información se han convertido en uno

de los principales problemas que deben afrontar los dispositivos robóticos, por lo tanto el modelo de computación en la nube pretende que estos dispositivos sean vistos como una interface de comunicación entre el ambiente y un sistema de procesamiento de información. Cuando se habla de entornos altamente dinámicos se estima una alta probabilidad de cambio en su estado así que el dispositivo robótico debe tener la facultad de manejar múltiples posibilidades de interacción y a su vez identificar aquellas que puede o no desarrollar. Sin embargo, cuando se tienen plataformas heterogéneas es necesario definir un modelo que logre la interacción con cada una de ellas a través de los datos adquiridos y de esta forma recibir una instrucción del sistema de procesamiento.

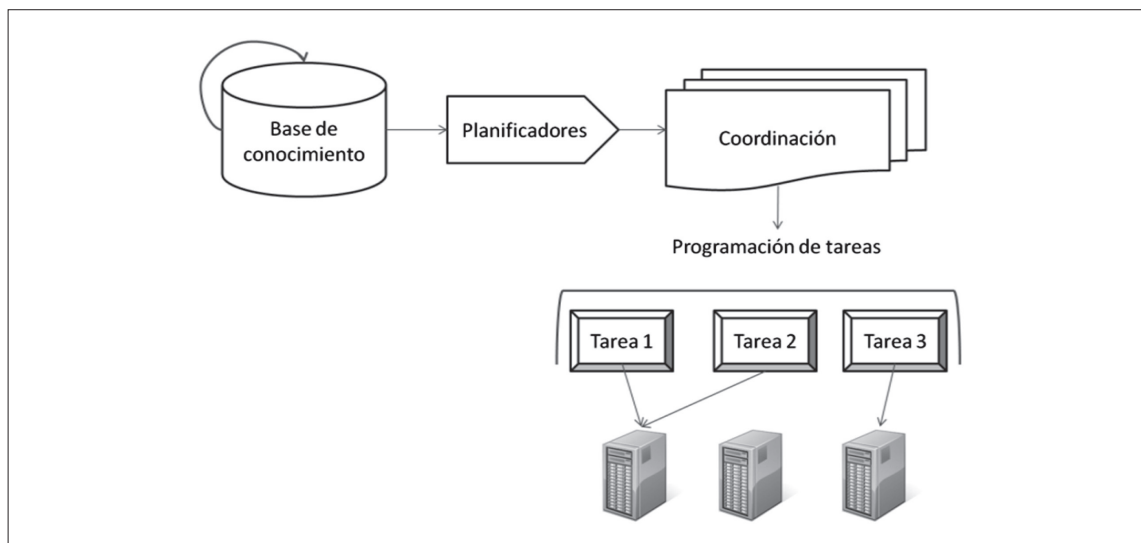
La computación en la nube se ha visto como una herramienta de interacción entre los dispositivos poco capaces de procesar información centralizada, por lo tanto, se pretende que toda la información sea descrita en un modelo de conocimiento a partir de los datos adquiridos del ambiente y el uso de tales dispositivos, construir la información necesaria en la nube, para modelar el conjunto de

tareas a desarrollar por los diferentes dispositivos robóticos.

Dentro de la nube, se encuentra la descripción de un repositorio de conocimiento que contiene en primer lugar la representación del ambiente y la información adquirida previamente por los dispositivos robóticos, la cual se convierte en la información base para construir las tareas a desarrollar por los robots. En segundo lugar, la nube contiene la descripción de los dispositivos robóticos; esta se divide en dos partes, una que contiene la descripción física de los dispositivos robóticos y otra con la descripción de las habilidades que estos pueden desarrollar y aprender.

Estas descripciones permiten crear un modelo general a través del cual, se trata de codificar las instrucciones para los dispositivos robóticos haciendo uso de dos componentes: el primero está conformado por planificadores en inteligencia artificial que son los encargados de construir la secuencia de eventos a partir de los datos dispersos en la nube y generar con ellos las tareas robóticas para las plataformas heterogéneas. El segundo

**Figura 1. Capa de conocimiento**





componente, es un traductor encargado de trasladar la descripción las tareas robóticas a los dispositivos robóticos seleccionados de acuerdo al planificador. La figura 1. Presenta la primera capa de la arquitectura propuesta en el marco de este trabajo.

Como se presenta en la figura 1. existe una base de conocimientos que describe el conjunto de elementos que componen el ambiente, esta se conforma de planificadores, robots, acciones, tareas, dispositivos robot como sensores, interfaces de comunicación como antenas wi-fi, zigbee o bluetooth, servomotores, ruedas y baterías. La función de esta base de conocimientos es la de identificar cada una de las características físicas de diferentes plataformas robóticas y coordinar a partir de estas un conjunto de tareas a desempeñar. Cada uno de estos elementos es representado como un servicio Web el cual puede ser implementado por los diferentes dispositivos robóticos.

Por otro lado, las habilidades, de los dispositivos robóticos, se refiere a las tareas básicas que cumple cada robot como desplazamientos, adquisición de datos a través de sensores, movimientos de sus componentes descritas como servicios. No obstante, el dispositivo robótico puede describir habilidades propias de él y ejecutar otras descritas en la base de conocimiento, esto si el dispositivo cuenta con los componentes necesarios que requiere dicha habilidad.

Además, se requiere una descripción del contexto con el fin de identificar las condiciones iniciales a las que debe enfrentarse el robot y la descripción del estado final a la que debe llegar el robot, por lo tanto es necesario que un conjunto de servicios que describan las situaciones que se presentan en un contexto particular como condiciones de terreno, distancias y objetos en el, sin embargo, cubrir todas las variaciones del contexto es una actividad muy compleja, así que dentro de esta descripción es posible adquirir nuevos estados del mundo que describen el ambiente percibido por los robots y los

cuales aumentaran la base de conocimientos referente al ambiente.

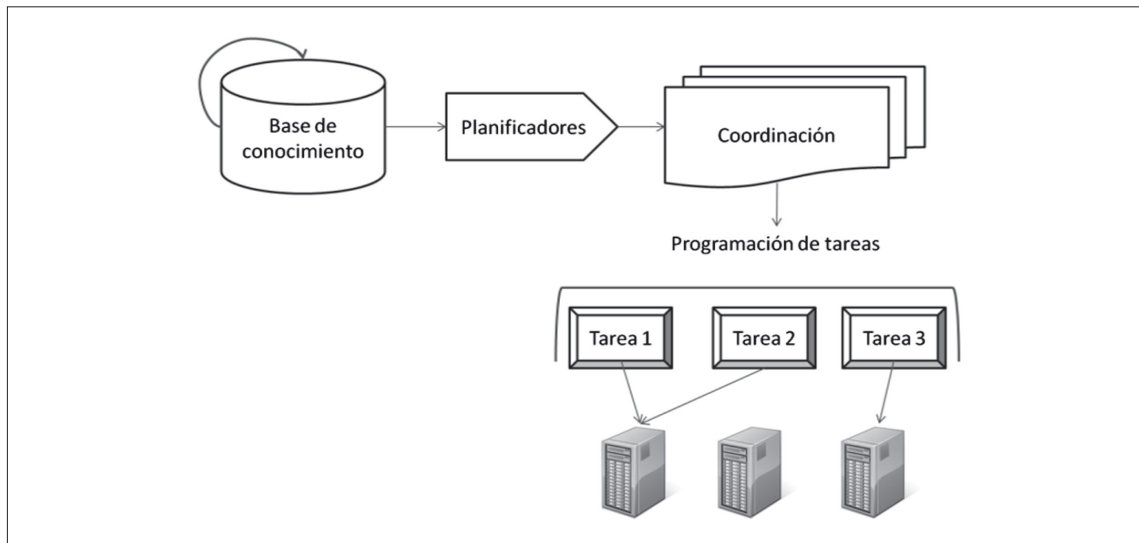
De igual manera, dentro de esta capa, existe una descripción de los compositores los cuales permiten coordinar los servicios disponibles en la nube y dar una solución a partir de los datos iniciales capturados por los dispositivos robóticos. Con esta información, se procede a programar la ejecución de las tareas de tal manera que se determine cuáles son las tareas prioritarias a desarrollar y cuáles son los recursos necesarios para ejecutarla.

En la figura 2, se presenta la arquitectura para la construcción de tareas robóticas heterogéneas.

Esta arquitectura se compone de cuatro capas, en primer lugar, se modela a través de un conjunto de bases de conocimiento la representación del ambiente y los robots para que los compositores puedan construir las tareas complejas. Esta información pasa al traductor de comunicaciones que representa la segunda capa es decir la plataforma; aquí se decodifica la información de la tarea a un lenguaje de programación ejecutable por las distintas plataformas robóticas. En esta capa se aloja un conjunto de mediadores capaces de interactuar con la nube y trasladar la información a las diferentes arquitecturas robóticas.

La capa de infraestructura, representa los servidores y router para direccionar la información hacia los dispositivos móviles. Sin embargo la transferencia solo emite señales con los datos requeridos por la tarea es decir, se limita a hacer uso exclusivo de los recursos básicos del dispositivo robótico, dejando de lado los componentes que no se requiere usarlos en ese instante. La transmisión hace uso de protocolos de comunicación inalámbricos para transmitir los datos desde el servidor a los dispositivos robóticos que se convierte en la última capa. Finalmente, dichos dispositivos, reaccionan ante el evento que proporcione la nube de conocimiento.

**Figura 2. Arquitectura RaaS heterogéneas**



Fuente: elaboración propia.

#### 4. Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se propone una arquitectura para la interacción de plataformas a partir de datos iniciales sin procesamiento enviados a la nube por dispositivos robóticos y con ellos, se pretende dar una solución a un problema del contexto al que se enfrenta uno o un conjunto de dispositivos robóticos heterogéneos.

Como lo plantea la arquitectura, los dispositivos robóticos son los intermediarios entre el ambiente y la nube, la información es capturada a través de los sensores que describen como está el ambiente en un instante particular del tiempo y se envía a través de protocolos de comunicación inalámbrica para que dicha información sea procesada en la nube.

Como trabajo futuro, se pretende utilizar plataformas robóticas de arduino y lego como dispositivos de adquisición de información y probar la arquitectura propuesta bajo ambientes controlados y dinámicos de manera que sea posible la construcción de

tareas robóticas independientes de la plataforma y dar una solución eficiente a un problema planteado.

#### 5. Agradecimientos

Este trabajo es apoyado por el proyecto “Apoyo al Grupo de Sistemas Inteligentes Web - SINTELWEB - Convocatoria Nacional – “Apoyo para el Fortalecimiento de Grupos de Investigación o Creación Artística 2012” código 205010011129 de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y la Tesis Doctoral “Model Based on Cloud Computing Paradigm for Synthesis of Robotic Tasks” apoyada por COLCIENCIAS Estudios de Doctorado en Colombia 2012 Convocatoria 567

#### 6. Referencias

- [1]. Abidi, F. (2011) Cloud Computing and Its Effects on Healthcare, Robotics, and Piracy. In *World Congress on Sustainable Technologies (WCST)*, 135-140
- [3]. Arumugam, R., Enti, V., Reddy, B, Liu et al. (2010), DAVinCi: A Cloud Com-



- puting Framework for Service Robots. *International Conference on Robotics and Automation*, 3084-3089.
- [4]. Blake, M. Brian, Remy, Sekou L., Wei, Yi, and Howard, Ayanna M. (2011) Robots on the Web. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 18, 2, 33- 43
- [5]. Chen, Y. and Bai, X. (2008) On Robotics Applications in Service-Oriented Architecture. *The 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, 551-556.
- [6]. Chen, Y., Du, Z., and García-Acosta, M. (2010) Robot as a Service in Cloud Computing. *International Symposium on Service Oriented System Engineering*, 151-158.
- [7]. Chen, Y. and Hu, H. (2012) Internet of intelligent things and robot as a service. *Simulation Modelling Practice and Theory*, in press.
- [8]. Du, Z., Yang, W., Chen, Y., Sun, X., Wang, X, and Xu, C. (2011) Design of a Robot Cloud Center. *Tenth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems*, 261-275
- [9]. Kamei, K., Nishio, S., and Hagita, N. (2012) Cloud Networked Robotics. *IEEE Network Magazine*, 26, 3, 28-34
- [10]. McCann, J. and Huebscher, M. (2008) A survey of Autonomic Computing - degrees, models and applications. *Journal ACM Computing Surveys (CSUR)*, 40, 3.
- [11]. Olivi, L., Feliciano, G., Paolieri, F., Rodrigues, D., Cardozo, E., and Guimaraes, (2011) E. A Cloud Computing Environment for Supporting Networked Robotics Applications. In *Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC)*.
- [12]. Osentoski, S., Jay, G., Crick, C., Pitzer, B., DuHadway, C., and Jenkins, O. (2011) Robots as web services: Reproducible experimentation and application development using rosjs. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 6078-6083.
- [13]. Quintas, J., Menezes, P, and Dias, J. (2011) Cloud Robotics: Towards Context Aware Robotic Networks. *International Conference on Robotics*, 420-427.
- [15]. Taylor, K. and Dalton, B. (2000) Internet Robots: A New Robotics Niche. *Robotics & Automation Magazine*, 7, 1, 27-34.
- [16]. Wagner, S., Kopp, O., and Leymann, F. (2011) Towards