

UMA PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA ROBÔS COMO UM SERVIÇO (RAAS)

Edson de A. Silva¹, Adilson T. da Cruz¹, Gustavo L. P. da Silva¹, Vandermi J. da Silva¹,
Alex S. R. Pinto², Mario A. R. Dantas²

¹Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia – Universidade Federal do Amazonas
(UFAM)
Itacoatiara – AM – Brasil

²Departamento de Informática e Estatística – Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)
Florianópolis – SC – Brasil

{eas.inf, adilson.soft.cruz, gustavo.eng18}@gmail.com,
vandermi@ufam.edu.br, {a.r.pinto, mario.dantas}@ufsc.br

Resumo. *A Internet trouxe consigo uma gama de oportunidades de serviços com inúmeras possibilidades de negócios. Juntamente com a Computação em Nuvem (CN), o contexto de robôs como um serviço (RaaS) nasce como oportunidade para novos nichos de mercado, podendo ser um fator de redução de custos e serviços. Uma das vantagens na utilização da CN é justamente a redução de custos, pois o provedor assume todo o custo com a infraestrutura e manutenção dos equipamentos necessários ao provimento de serviços. Para o funcionamento desse tipo de serviço é necessário que novas arquiteturas sejam propostas para atender essa demanda de forma satisfatória. O objetivo deste trabalho é propor uma arquitetura para o controle remoto de um robô utilizando a internet como meio de comunicação realizando um estudo de caso para comprovar sua efetividade. A qualidade do serviço (QoS) de rede foi utilizada para demonstrar a viabilidade do serviço de forma satisfatória e de forma segura. Os resultados demonstraram que, no contexto de robôs como um serviço, a realização de tarefas por meio de uma conexão remota pode ser viável de forma satisfatória desde que alguns fatores sejam levados em consideração, como a qualidade da rede.*

1. Introdução

Com o advento da Internet, inúmeras possibilidades de produtos e serviços surgiram como oportunidade de desenvolvimento tecnológico e nichos de mercado. Com o avanço das tecnologias, novas oportunidades como o conceito de Computação em Nuvem (CN) estão em ascensão, que segundo Yang e Huang (2012), se destina a fornecer os recursos computacionais na aquisição via XaaS (*X as a Service*), onde X pode ser qualquer coisa. Diante destes avanços, surgiu uma nova abordagem que consiste na utilização da robótica como um serviço (RaaS – *Robot as a Service*). O conceito de "robô-como-um-serviço" refere-se a robôs que podem ser combinados dinamicamente para dar suporte à execução de aplicações específicas que segundo (Koken, 2015) pode perfeitamente ser aplicado a policiais robôs (Wired, 2006), robôs

garçons para restaurante (Technovelgy, 2016), robôs animais de estimação (Aibo, 2016) entre outras.

Uma das razões pela qual os robôs não são providos de inteligência está ligado ao alto custo computacional e de armazenamento, pois isso afeta não só do ponto de vista do preço do robô, mas também resulta na necessidade de espaço adicional e peso extra, que restringem a sua mobilidade e habilidade (Tian, Chen e Fei, 2015). A CN pode ser uma aliada no que diz respeito à redução destes custos, como por exemplo na execução de cálculos que exigem maior poder computacional podendo ser deixados a cargo da nuvem (Koken, 2015). Para obter todos os benefícios, é necessário criar novos métodos de acessos e arquiteturas que beneficiem esse tipo de conexão no que diz respeito a utilização de CN.

De acordo com (Yoshigae e Emil, 2011), comando remoto pode ser interpretado como um processo de transmissão de dados que sejam capazes de induzir a alteração do estado de um sistema em um local geograficamente distinto. Dentre as aplicações de comando remoto está incluída a de robôs industriais, cuja importância se destaca pela execução de trabalhos repetitivos ou cuja a execução torne-se uma ameaça à segurança do operador.

Chase e Jorge (2010) afirmam que as funções relacionadas à mobilidade de um robô móvel em seu ambiente são a navegação e a localização, que têm grande importância no desenvolvimento de sistemas autônomos inteligentes. Essas duas capacidades são essenciais para que o robô possa executar tarefas mais complexas no ambiente em que atua. Yoshigae e Emil (2011) citam ainda que, a execução de um projeto para o comando remoto de robôs mostra-se importante para a formação de recursos humanos, bem como seu uso nas distintas áreas, seja na indústria, medicina, controle e carregamento, onde estes são alguns exemplos de onde pode-se integrar robôs para auxiliar nas tarefas realizadas pelo homem.

Diante do exposto e baseado nos trabalhos discutidos, o objetivo deste trabalho é apresentar uma arquitetura demonstrando, por meio de um estudo de caso, o controle remoto de um robô utilizando a Internet como meio de comunicação no contexto de RaaS. Foram pré-definidas tarefas para que o usuário possa controlar o robô seguindo as orientações e assim alcançar o objetivo. Para avaliação geral dos resultados foi adotado a qualidade do serviço proposta por meio de métricas de avaliação de desempenho de rede no trabalho de Silva e Alves Júnior, 2014.

O restante do trabalho está dividido na seguinte forma. Na seção 2 é apresentado o conceito de *Robot as a Service*. Na seção 3 são demonstrados alguns trabalhos relacionados ao tema proposto. Na seção 4 são apresentados detalhes da arquitetura proposta. Com base na arquitetura, na seção 5 são discutidos a realização de um experimento. Por fim a seção 6 apresenta as conclusões.

2. Robot as a Service

Desde a antiguidade a humanidade tende a criar soluções com objetivo de diminuir a carga de serviço necessária a execução de tarefas cotidianas e repetitivas, as quais podem trazer malefícios aos trabalhadores. A medida que se usa robôs em uma ampla variedade de tarefas, o modelo de aplicações de robótica irão mudar de produto

para o modelo de serviço, semelhante aos serviços de utilidade pública, tais como água, eletricidade, gás e telefonia (Du *et al.* 2011).

A Arquitetura Orientada a Serviço (SOA) considera um sistema de software um conjunto de serviços de baixo acoplamento que se comunicam uns com os outros através de interfaces padrão e através de protocolos de troca de mensagens. A CN torna possível sair da computação baseada em desktop para o desenvolvimento baseado na *Web*, onde os desenvolvedores usam uma plataforma que possibilita o desenvolvimento, configuração de hardware / infra-estrutura (potência, capacidade de memória, largura de banda de comunicação e processamento) e a execução da aplicação *on line* (Chen *et al.* 2010).

SOA tem sido encarado como uma abordagem adequada e eficaz para automação industrial e de fabricação que, em última instância o usa para controlar e gerenciar as células robóticas que são responsáveis por várias funções no processo de automação (Borangiu, 2016; Veiga, 2007). Os benefícios da robótica em nuvem são inúmeras. Ao aliviar as tarefas para a nuvem, seria possível construir baterias de robôs menores, eficazes, enquanto a capacidade de memória e computação podem ser quase infinitas, utilizando recursos da nuvem (Lorencik e Sincak, 2013).

Algumas das aplicações de RaaS citadas por (Doriya *et al.* 2012) são: virtualização sobre robôs físicos; acesso a web pode ser dada para os robôs; redução do custo de hardware robótico, pois a fabricação é mais barata, mais leve e robôs tendem a ser "mais inteligentes"; pode ter funcionalidades como reconhecimento de objetos e de voz por meio de serviços sob demanda; uma "base de conhecimento compartilhado" pode ser criada para robôs e resultados e habilidades adquiridas podem ser publicadas ou compartilhadas entre os robôs.

No entanto, quando os serviços de robôs são fornecidos através de redes de internet, serviços confiáveis são necessários para lidar com a desconexão entre os serviços e os robôs em redes wireless LAN, problemas de atendimento ao robô, erro de sistema no robô, entre outros (Narita *et al.* 2013).

3. Trabalhos relacionados

Neste trabalho propõe-se uma arquitetura voltada ao controle de robôs para estruturar, organizar e garantir a segurança dos dados, bem como o transporte de mensagem entre o cliente/servidor. Para isso apresenta-se uma análise sobre algumas propostas que utilizam o serviços de *Web Service* e serviços robóticos.

Kato *et al.* (2011), discorre sobre integração de serviços de robôs com serviços em nuvem e sua comunicação com a Internet. Com esses recursos pode-se disponibilizar serviços inovadores como navegação, construção de mapas, planejamento de trajetória, localização, reconhecimento de objetos etc, combinando diferentes componentes para finalidades heterogêneas para um mesmo cliente, já que, é determinado em *Web Service*. Essas tecnologias usam o serviço de nuvem para armazenar dados, portanto pode-se oferecer vários serviços de uma plataforma robótica. O recurso de *RSi-Cloud* é a utilização de um protocolo de comunicação padrão, que é, Protocolo de Rede de Serviços Roboticos (RSNP).

Em HU *et al.* (2012), os autores propõem uma arquitetura robótica em nuvem, utilizando a combinação de robôs em nuvem formada máquina a máquina, comunicação

(M2M) entre todos os robôs conectados a nuvem. Utilizando-se o modelo de arquitetura M2M para o armazenamento e utilização de recursos compartilhados, apoiando na realização de tarefas e tomada de decisão bem como o compartilhamento de informações para aplicações robóticas. HU *et al.* (2012), citam que o protocolo M2M incluem roteamento que envolve a troca de mensagens periodicamente para que cada rota de um destino possível na rede seja mantido. Este protocolo de encaminhamento *Ad-hoc* sofre latência elevada por ter que estabelecer uma rota antes de uma mensagem ser enviada. Este problema é significativo em redes móveis robóticas, e pode levar a uma degradação grave do desempenho.

Nakagawa *et al.* (2012), aborda uma arquitetura de Protocolo de Rede de Serviços Robóticos (RSNP) para integrar inúmeros dispositivos, inclusive serviços robóticos. Neste quadro o mecanismo proposto é uma função de atribuição a robôs, que descobre e atribui tarefas solicitadas por usuários finais aos robôs conectados a nuvem. Pondera ainda que, não há nenhum mecanismo que implante serviços robóticos no ambiente de nuvem como componentes de um serviço homogêneo. Nuvem Robótica é uma plataforma que se move em função de robôs lado a lado, o que torna difícil a implementação por partes de Engenheiros de Software inexperientes.

Narita *et al.* (2013) cita que serviços robóticos baseados em nuvem vem se tornando atrativo para muitos pesquisadores da área, muitos trabalhos já foram realizados em função da temática. Narita *et al.* (2013), propõem um mecanismo de integração *Robotics Services Network Protocol* (RSNP), como uma tecnologia de mensagens confiável para serviços web. Adotando o WS-RM (*WS-Reliable Messaging*), afim de integrar serviços de uma plataforma robótica com serviços de Internet, propõem-se uma arquitetura baseada em nuvem para RSNP tendo em vista a comunicação de um ponto. Desta forma, no lado cliente estipula-se um tempo limite para ser atendido, em seguida a aplicação divide um arquivo em algumas partes, os envia ao servidor usando mecanismos de mensagens confiáveis. Do lado do servidor, a aplicação recebe o arquivo e o retorna em um único arquivo.

4. Modelo Proposto

O controlador do robô deve acessar a aplicação por meio de qualquer dispositivo que tenha um browser e serviço de internet ativo. Porém o dispositivo cliente deve estar na mesma VPN que o robô, e assim enviar os dados da aplicação para o servidor. Para receber os dados da aplicação foi desenvolvida um interface Web conforme apresentado na Figura 1.

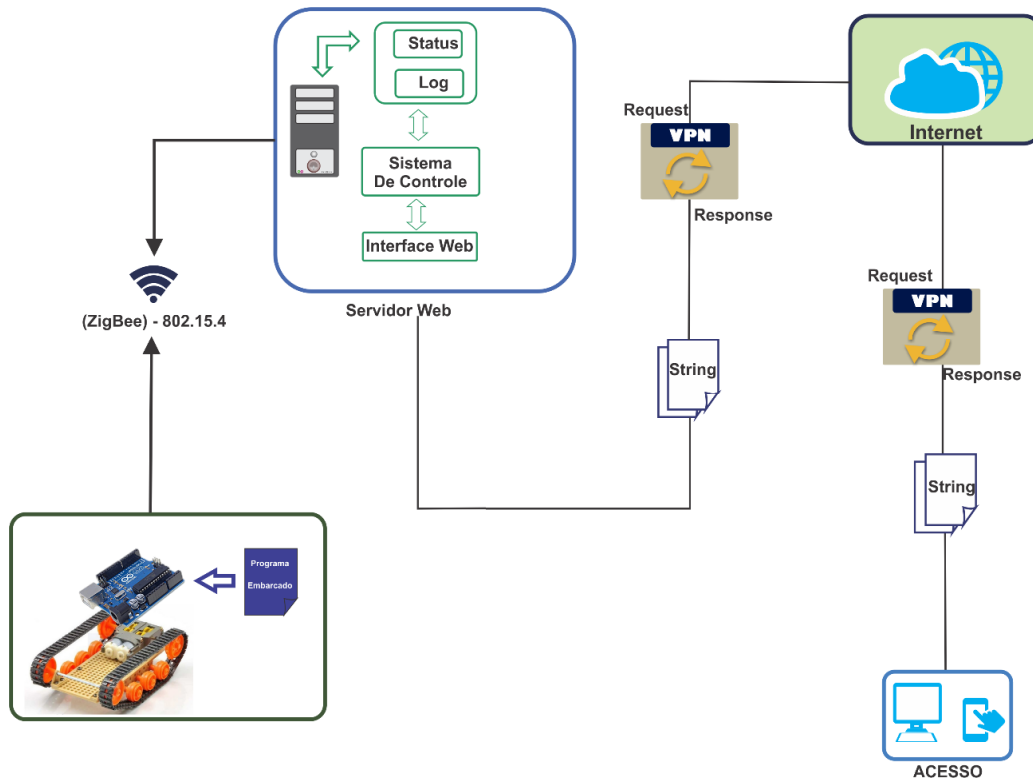


Figure 1 – Arquitetura proposta.

As informações do dispositivo são enviadas para o servidor ao qual o robô está conectado, utilizando uma VPN, onde o servidor, por meio do protocolo HTTP, recebe os dados (uma string de comandos) e as envia através do protocolo *ZigBee* (802.15.4) para o robô, que os executa. Os comandos recebidos pelo robô são executados seguindo a ordem a qual foram enviados pelo cliente da VPN. Foi necessário a utilização de um programa em linguagem própria do Arduino para salvar os dados em um vetor de comandos, e assim fazer com que sejam executados conforme o programa realiza a leitura desse vetor.

5. Ambiente Experimental e Estudo de Caso

Para realização do trabalho proposto foi necessário os seguintes materiais e métodos adotados:

1. Construção do protótipo de robô do tipo esteira;

Na construção do protótipo foi utilizado a plataforma *Open Source* Arduino na versão Uno REV 3, placa *XBee Shield V2*, *XBee Pro S2* e placa *Dual Motor Shield* juntamente com a plataforma *Tamya*, esta última, por sua vez, fornece os motores e base de um robô do tipo esteira. A Figura 2 apresenta o robô com todos os componentes.

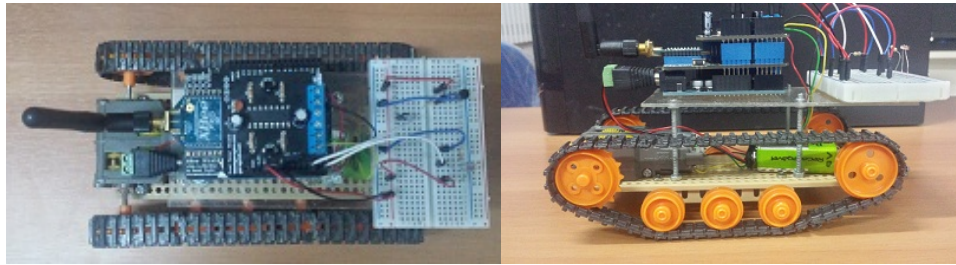


Figura 2 – Protótipo do robô.

2. Implementação de *WebService* para controle do robô;

O *WebService* foi implementado no Linux Ubuntu 14.10 Lts com o *Lamp Server* para fornecer os serviços necessários a manipulação do robô a distância por meio da aplicação desenvolvida na linguagem PHP conforme Figura 3. A aplicação conta com as setas direcionais para movimentação do robô e botões para obtenção de dados de sensores como luminosidade e temperatura.



Figure 3 – Aplicação para controle do robô.

3. Implementação de VPN para comunicação do usuário com o robô de forma segura;

Com o intuito de proporcionar o acesso a aplicação para controle do robô, foi necessário a criação de uma Rede VPN, pois desse modo garante-se a segurança no tráfego das informações. A implementação da VPN foi por meio de um serviço de rede virtual chamado LogMeIn Hamachi que conforme (Hamachi, 2016) é um serviço de rede virtual que pode ser configurado em minutos e permite acesso remoto seguro à rede, em qualquer lugar que haja uma conexão à Internet.

4. Avaliação dos resultados.

Para avaliação dos resultados a comunicação com o robô a rede foi monitorada com a ferramenta IPERF que forneceu as informações de Largura de Banda, Latência, Jitter e Perda de pacotes durante o teste.

5.1. Estudo de Caso

Com o intuito de validar a arquitetura proposta, utilizou-se alguns parâmetros de rede definidos em Silva e Alves Júnior (2014), como a largura de banda, latência, perda de pacotes e *jitter*. Os resultados são provenientes do controle do robô remotamente para realização de uma tarefa previamente estabelecida que consistiu em percorrer um labirinto, como mostra a Figura 4.

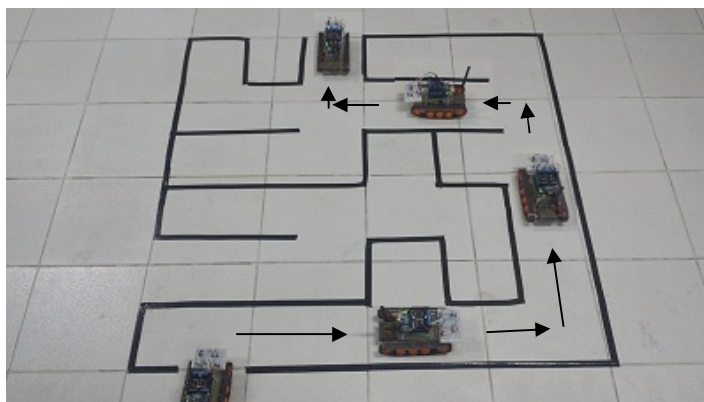


Figure 4 – Objetivo do robô.

A comunicação entre o usuário e o servidor foi realizada por meio de conexões distintas de internet para simular uma conexão à distância. No teste foram utilizadas duas conexões com a internet com largura de banda de 1Mbps não dedicada. Portanto durante o teste a largura de banda média foi bem inferior ao máximo como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Resultados obtidos pelo IPERF

	Intervalo de Tempo	Dados Transferidos <i>throughput</i>	Largura de Banda Média (TCP)	Jitter (UDP)	Datagramas Perdidos/Tot al (%) (UDP)
Cliente	300 seg.	10328 Kbytes	275 Kbits/sec		
Servidor	300 seg.	22637 Kbytes	617 Kbits/seg	16,403 ms	9741/25510 (38%)

Em virtude do *Jitter* ser o desvio padrão do atraso de pacotes enviados em sequência, esse dado foi computado apenas no lado do servidor por ser onde reside a interface de comunicação com o protótipo. Da mesma forma os datagramas são demonstrados na tabela. A arquitetura proposta considerou os controles direcionais do robô e portanto não houve grande dificuldade na transferência, pois os pacotes de dados transferidos são de cerca de 60 Kbytes em média.

A medida do *Jitter* realizada no servidor demonstrou uma variação no atraso de entrega de 16,403 milissegundos ocasionando uma recepção não regular dos pacotes de dados transferidos e que conseqüentemente culminou para o recebimento de 30 datagramas fora de ordem no teste. O tráfego de dados pode ser observado na figura 5.

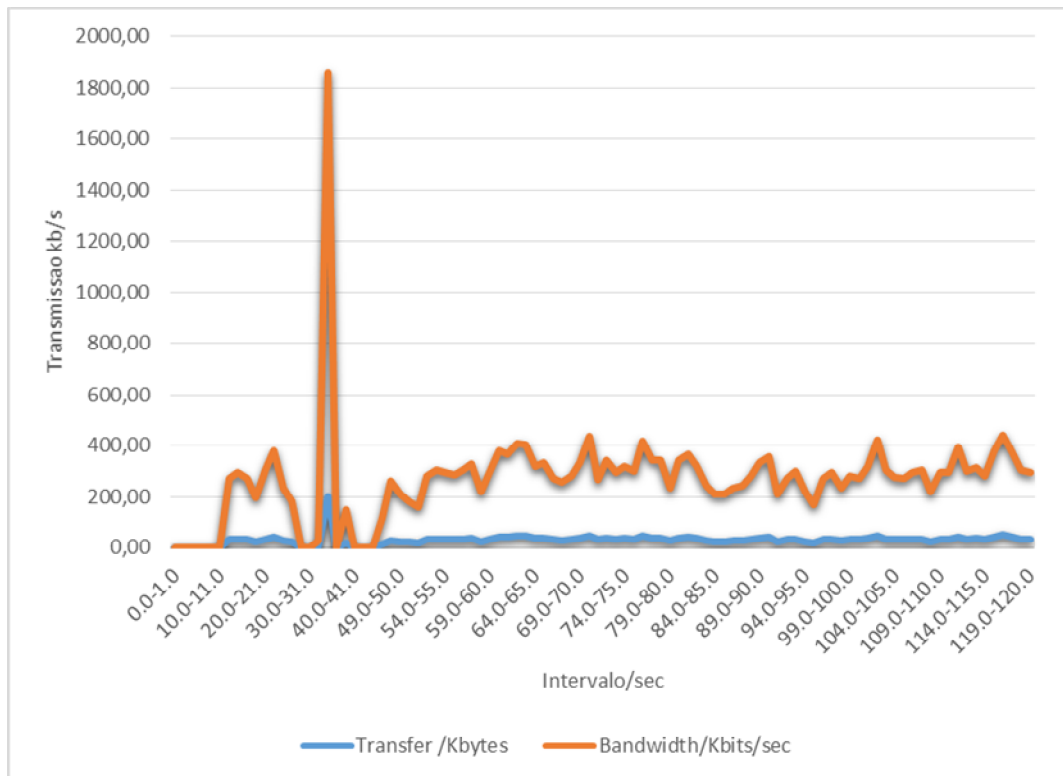


Figura 5 – Tráfego de dados.

Do ponto de vista da qualidade de serviço da rede (QoS) a preocupação com a perda de pacotes é normalmente no sentido de especificar e garantir limites razoáveis (Taxas de Perdas) que permitam uma operação adequada da aplicação. Conforme demonstrado, houve uma grande percentagem de perda de pacotes, que pode ser creditado a má qualidade da conexão, o que provocou um atraso na resposta de alguns comandos enviados ao robô.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Os trabalhos realizados no contexto de robô como um serviço (RaaS) demonstram uma tendência para evolução nas aplicações de RSSF e Robôs proporcionando um novo paradigma no uso de recursos computacionais voltados para esta tecnologia. Deste modo, a utilização destes conceitos pode trazer grandes benefícios para sociedade como, por exemplo, a redução dos custos para implementação de robôs. Outro exemplo de utilização deste tipo de arquitetura é a monitoração de áreas hostis, o que torna o acesso ao local um risco a saúde.

Como pode ser observado nos resultados, para garantir um bom provimento de serviços no controle do agente é necessária uma preocupação com a qualidade da rede para obter um padrão aceitável no controle do mesmo. Além disso, a segurança das informações e o controle do robô devem ser garantidos para que não violem dados confidenciais e nem assumam o controle deste tipo de serviço indevidamente. De maneira geral, o trabalho demonstrou que é possível provê esse tipo de serviço por meio de uma conexão confiável e seguindo critérios de segurança para garantir ao cliente um serviço aceitável.

7. Referências

- Aibo. Robot Pets. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/AIBO>, Acesso em 02.04.2016.
- Borangiu, T., “Trends in Service Oriented Architectures for Robot-CNC Manufacturing Control”, Disponível em: <http://www.iit.bas.bg/PECR/59/10-31.pdf>. Acesso em 03.04.2016.
- Chase, Otavio A., Jorge, R. Brito de Souza. “Desenvolvimento de um Robo Movel Não-Homologo Para Navegacao Autonoma Em Ambientes Fechados Por Wall-Following”. Anais CBA – Congresso Brasileiro de Automação – 2010. Pages: 3833-3838.
- Chen, Yinong; Du, Zhihui; Acosta, Marcos García. (2010) Robot as a Service in Cloud Computing. Fifth IEEE International Symposium on Service Oriented System Engineering.
- Dias, Maxwell Macedo, Ramos, Edson M.L.S., Silva Filho, Luiz, Betini, Roberto C. (2008) A Utilização de Software Livre na Análise de QoS em Redes IP Utilizando Mineração de Dados, http://wsl.softwarelivre.org/2008/0001/37623_1.pdf
- Doriya, Rajesh; Chakraborty, Pavan; Nandi, G. C. (2012) Robotic Services in Cloud Computing Paradigm. International Symposium on Cloud and Services Computing. IEEE.
- Du, Zhihui; Yang, Weiqiang; Chen, Yinong; Sun, Xin; Wang, Xiaoying; Xu, Chen. (2011) Design of a Robot Cloud Center. Tenth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems. IEEE.
- Hu, Guoqiang. Peng, Wee Tay. Wen, Yonggang. “Cloud Robotics: Architecture, Challenges and Applications”. Network, IEEE (Volume: 26, Issue: 3), May -June 2012. IEE, pp. 21 – 28.
- Kato, Yuka. Izui, Toru. Tsuchiya, Yosuke. Masahiko, Narita. (2011). “RSi-Cloud for Integrating Robot Services with Internet Services”. IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. IEE, pages 2158 - 2163.
- Koken, Busra. (2015) Cloud Robotics Platforms. Interdisciplinary Description of Complex Systems, pág. 26-33, Yalova University.
- Lorencik, D.; Sincak, P., (2013) Cloud Robotics: Current trends and possible use as a service, in 11th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Herlany, Slovakia, February.
- Nakagawa. Sachiko, Igarashi. Noboru, Tsuchiya. Yosuke, Narita. Masahiko, Kato. Yuka. “An Implementation of a Distributed Service Framework for Cloud-based Robot Services”. IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, pages 4148 – 4153.
- Narita, Masahiko. Okabe, Sen. Kato, Yuka. Murakwa, Yoshihiko. Okabayashi, Keiju. Kanda, Shinji. “Reliable cloud-based robot services”. Industrial Electronics Society, IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE, IEEE, pages 8317 – 8322.

- Silva, Pedro H. D. da. Alves Júnior, Nilton. (2014) Ferramenta IPERF: geração e medição de Tráfego TCP e UDP. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Nota Técnica
- Tas, Baris; Tosun, Ali Şaman. (2014) Coordinating Robots for Connectivity in Wireless Sensor Networks. 11th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, IEEE.
- Technovelgy. Robot Waiters. Disponível em: <http://www.technovelgy.com/ct/Science-Fiction-News.asp?NewsNum=771>, Acesso em 02.04.2016
- Tian, Guohui Chen, Huanzhao. Lu, Fei. (2015) Cloud Computing Platform Based on Intelligent Space for Service Robot. International Conference on Information and Automation. IEEE.
- Veiga, G., Pires, J.N., Nilsson, K., "On the use of SOA platforms for industrial robotic cells", Proceedings of Intelligent Manufacturing Systems, IMS2007, Alicante, Spain, June 2007, pp. 3-8.
- Wired. Robot Cops to Patrol Korean Streets. Disponível em: http://www.wired.com/gadgetlab/2006/01/robot_cops_to_p, Acesso em 02.04.2016.
- Yang, Chih-Chin. Huang, J. T. (2012) The Era of Cloud Computer thru Bio-Detecting and Open-Resources to Achieve the Ubiquitous Devices. International Symposium on Computer, Consumer and Control.
- Yoshigae, Nako Emil. Villani, Emilia. "Comando Remoto de Robôs Industriais". Anais do 14º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XIV ENCITA / 2008.