

Um Modelo Federado em Cloud Computing para Infraestruturas Robóticas

Lucio Agostinho, Ricardo Souza, Fernando Paolieri, Leonardo Olivi, Guilherme Feliciano, Fábio Teixeira, Diego Rodrigues, Eliane Guimarães, Eleri Cardozo (Orientador)

Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial (DCA)
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC)
Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
Caixa Postal 6101, CEP 13083-970 – Campinas, SP, Brasil

{larocha, eleri}@dca.fee.unicamp.br

Abstract – This paper presents the design of a cloud computing environment for networked robotics. The environment aims to support distributed robotics applications that require large shares of computing resources and very low communication delays. Networked robotics applications are built above these services and run on virtualized environments deployed on processing nodes directly connected to the robotic resources manipulated by the applications. The cloud computing environment offers the REALabs platform according to the Platform as a Service (PaaS) model of cloud computing.

Keywords –Cloud Computing, Virtualization, Networked Robotics.

1. Introdução

Esse artigo apresenta a plataforma REAL Cloud que é um ambiente federado para experimentos robóticos virtualizados baseado na Computação em Nuvem (*Cloud Computing*).

A motivação desse trabalho foi a de estender as funcionalidades do projeto REAL [1], que é um projeto de Web Lab de robótica bem consolidado, utilizado em cursos de pós-graduação da FEEC, na Unicamp. A priori, o uso de *Cloud Computing* nesse projeto reduz a complexidade do estudante em realizar a interação com os recursos robóticos. Isso ocorre porque cada usuário possui um ambiente próprio virtualizado na plataforma, com o conjunto de aplicativos pré-configurados para a interação. Além disso, o ambiente situa-se próximo à rede dos recursos robóticos do laboratório, o que implica em maior desempenho para a realização de experimentos em tempo-real.

Consideramos esse tema importante porque alterações críticas dentro desses ambientes virtualizados não comprometem a infraestrutura original. A plataforma REAL Cloud oferece interfaces para a gerência de múltiplos ambientes virtualizados, finalizando o acesso à rede de recursos no fim de cada experimento.

A pesquisa visa à elaboração de um modelo onde a própria infraestrutura da plataforma possa ser completamente virtualizada. Esse modelo tem o objetivo de oferecer componentes de plataformas robóticas que possam ser facilmente instalados e federados em novos domínios.

Esse artigo está organizado como segue: a Seção 2 descreve a proposta; a Seção 3 abrange uma visão geral sobre mecanismos de virtualização utilizados em Cloud; a Seção 4 apresenta a Plataforma REAL Cloud; a Seção 5 comenta os resultados alcançados até o momento; a Seção 6 faz as considerações finais.

2. Proposta

A proposta desse artigo é a de apresentar o modelo da plataforma REAL Cloud. Esse modelo visa reduzir a complexidade de interação com recursos remotamente acessíveis de um laboratório de robótica, sem comprometer a infraestrutura que a mantém.

A infraestrutura anterior do projeto exige a manutenção de um intrincado conjunto de arquivos para manter o ambiente funcional. Portanto, a distribuição da plataforma em outros domínios exige o conhecimento tanto do conjunto de aplicações como das configurações de rede necessárias para manter o ambiente funcional. Além disso, a integração dos recursos robóticos distribuídos nesses ambientes exige a criação de certificados digitais reconhecidos por uma entidade certificadora, o que aumenta a complexidade para a manutenção desses ambientes.

O modelo baseado em *Cloud Computing* tem o objetivo de reduzir a complexidade de configuração da plataforma, em um ambiente virtualizado, que possa ser facilmente distribuído para outros domínios com infraestruturas similares. Espera-se que essa proposta contemple uma ampla gama de recursos, não sendo exclusiva para aplicações robóticas.

Nessa proposta a virtualização dos ambientes de trabalho dos usuários ocorre na nuvem de recursos da plataforma. Cada usuário possui um espaço de interação protegido e acessível pela Internet por meio de um cliente gráfico com suporte a conexão segura do tipo SSL (*Secure Socket Layer*).

A implementação atual do modelo faz o controle de sessão entre plataformas: uma exclusiva para aplicações robóticas, e outra exclusiva para ambientes virtuais em nuvem. Ao contrário de outras abordagens *open source* em nuvem, o modelo proposto contempla a possibilidade de agregar novos componentes virtuais à plataforma, ou seja, o usuário tem a possibilidade de utilizar o seu ambiente virtualizado na nuvem e, quando necessário, recuperar o mesmo ambiente em seu próprio computador.

3. Visão Geral sobre Virtualização

Virtualização é uma técnica para ocultar as características físicas de recursos computacionais [2][3]. Isso significa que um único recurso físico, tal como um servidor, dispositivo de armazenagem, ou mesmo um sistema operacional, passa a ser visto como uma unidade física que contempla múltiplos recursos lógicos. Em essência, a virtualização consiste em imitar um recurso em outro. Ela também é definida como um método para dividir múltiplos recursos computacionais em ambientes isolados, conhecidos como máquinas virtuais (*virtual machines* – VM), aplicando conceitos de particionamento, *time sharing*, simulação, emulação, qualidade de serviço, entre outros. A virtualização é recomendada como alternativa para: consolidar múltiplos servidores em um *host*, isolando diferentes aplicações de usuários em um único servidor; executar / depurar *software* e/ou sistema operacional de uma arquitetura em outra; testar aplicações em *hardware* não disponível, entre outros.

A redução do custo de aquisição de *hardware* computacional e o aumento considerável do compartilhamento de informação e dados na Internet levaram as técnicas de virtualização para um estado de hibernação por muitos anos. Apenas em meados da década de 90, com o aumento do poder computacional dos computadores, a virtualização voltou a ganhar destaque com produtos como o VMware, User Mode Linux (UML), Xen, KVM e VirtualBox. Esses produtos trazem o conceito de virtualização como uma alternativa para executar

múltiplos sistemas operacionais sem a necessidade de aumentar o número de *hosts* físicos. Esses produtos trazem o conceito de virtualização como uma alternativa para executar múltiplos sistemas operacionais sem a necessidade de aumentar o número de servidores físicos. Isso implica em redução dos custos relacionados à aquisição de *hardware*, infraestrutura física, consumo de energia, refrigeração, suporte e manutenção de múltiplos servidores.

O sistema operacional que executa o software para a virtualização é conhecido como *Host*. O sistema operacional virtualizado é conhecido como *Guest*. Múltiplos *Guests* podem ser instanciados no mesmo *Host*, sem interferência entre eles. O *kernel* do *Host* fornece a API (*Application Program Interface*) para suportar múltiplos ambientes de usuários, conhecidos como *Virtual Environments* (VE), no *Guest*. Cada *Guest* possui virtualização para arquivos, bibliotecas de sistema, usuários e grupos, árvore de processos (com PID – Process IDentification) e rede (com seus próprios endereços IP, tabelas de roteamento e demais atributos de rede) [2].

Com o crescente avanço do poder de processamento do *hardware*, fabricantes de processadores como a AMD e Intel, recentemente incluíram no *hardware* de suas CPUs o suporte à virtualização, com o propósito de melhorar o desempenho de aplicações virtualizadas. A extensão da CPU Intel é chamada VT (ou *Vanderpool Technology*). A AMD, por sua vez, desenvolveu a extensão AMD-V (ou *Pacifica*), também conhecida como AMD *Secure Virtual Machine* (SVM).

Teoricamente, os tipos de virtualização mais comuns são agrupados como segue [3]:

- *Full Virtualization*: uma camada de software fornece uma abstração genérica do *hardware*, sem a necessidade de modificar o sistema operacional *Guest* que executa na VM. O controle de acesso a recursos físicos do sistema é gerenciado pelo componente *hypervisor*, assim como a tradução de instruções não-privilegiadas a dispositivos físicos, tais como disco rígido, memória, periféricos, entre outros. O software VirtualBox é um exemplo de sistema que utiliza esse tipo de virtualização.
- *Para-virtualization*: o sistema operacional *Guest* recebe modificações para interagir diretamente com os drivers do *hypervisor* e, conseqüentemente, ter acesso direto às rotinas do *hardware*. Atuais avanços no

hardware das CPUs mostram que a para-virtualização tem provado ser tão eficiente quanto a virtualização completa. A para-virtualização é uma alternativa para adquirir acesso mais apropriado aos recursos disponíveis no *hardware*, sem utilizar instruções abstratas e genéricas. Nessa abordagem, apenas o sistema operacional no domain 0 (zero) tem acesso aos dispositivos de forma privilegiada. VMs em níveis acima têm acesso aos dispositivos através da VM desse domain 0. Xen e UML são exemplos de sistemas que usam essa abordagem.

- **Hardware Virtualization:** AMD-V e Intel VT suportam a virtualização em *hardware* para processadores da arquitetura x86. Esse tipo de abordagem reduz a necessidade de uso de sistemas operacionais para-virtualizados para se ter o acesso direto aos recursos de *hardware*. Esse tipo de virtualização é oferecido com modificações no software que provê a virtualização, de forma que os sistemas operacionais *Guest* interajam diretamente com o *hardware*, usualmente com o processador. KVM é um exemplo de extensão no *kernel* do Linux para prover virtualização em *hardware*.
- **Virtualização no Nível do Sistema Operacional:** baseia-se na instanciação de múltiplos ambientes de execução isolados utilizando o mesmo *kernel* do sistema operacional *Host*. Essa abordagem permite obter um desempenho na execução de aplicativos virtualizados próximo ao nativo do sistema operacional *Host*. Além disso, são oferecidas, de forma transparente, a gerência dinâmica de recursos. Por exemplo, caso seja ampliada a quantidade de memória no *hardware* do *Host*, todos os *Guests* terão esse aumento de memória refletido em seus ambientes de forma transparente. No entanto, não é possível executar sistemas operacionais com *kernels* diferentes do *Host*. LXC, OpenVZ and Linux VServer são exemplos de sistemas que utilizam esse tipo de virtualização.

4. Plataforma REAL Cloud

A plataforma REAL Cloud é uma infraestrutura em nuvem para aplicações robóticas, como ilustrado na Figura 1. São descritos [5] muitos outros exemplos de sistemas para *Cloud Computing* gratuitos e *open source*, tais como: Xen XCP, Open Nebula, Nimbus, Eucalyptus, TPlatform, Apache VCL e Enomaly ECP. Mas

uma infraestrutura de *Cloud* que faz a integração com aplicações robóticas é uma nova abordagem.

Considerado [6] como uma nova proposta para a comunidade científica, *Cloud Robotics*, refere-se à Computação em Nuvem aplicada à robótica. Nessa área de pesquisa existe o ganho potencial em se ampliar o nível de consultas a múltiplas fontes de dados em um contexto de consulta distribuída (sejam consultas regulares a bases de dados, ou consultas mais rebuscadas por *Data Mining*, por exemplo). Robôs se comportariam como *thin clients* que coletam informações do ambiente e realizam consultas por informações processadas na nuvem, quando necessário. Essa abordagem tem o impacto de reduzir a quantidade de informação que precisaria ser mantida nos robôs, com a possibilidade de consultar múltiplas fontes de dados remotas.

Similar a essa abordagem, o modelo da infraestrutura REAL Cloud suporta aplicações virtualizadas que executam na nuvem, especificamente em VMs acessíveis por meio da plataforma. Nesse modelo, o acesso ocorre dentro de um ambiente virtualizado, próximo aos recursos robóticos (por exemplo, robôs Pioneer P3-DX, câmeras panorâmicas, redes de sensores, entre outros). No lado cliente, é suficiente o uso de uma aplicação Web gráfica com conexão de rede segura para acessar plataforma.

A plataforma supre e mantém atualizados os demais recursos de software e APIs para a interação remota, além de fornecer os recursos de *hardware* adequados para a interação, tais como arquitetura de CPU, quantidade de memória RAM, espaço para armazenagem em disco, entre outros. Isso implica em um maior nível de gerência para a execução adequada de experimentos em *real-time* para muitos usuários concorrentes. A Figura 1 mostra os principais componentes da plataforma em notação UML.

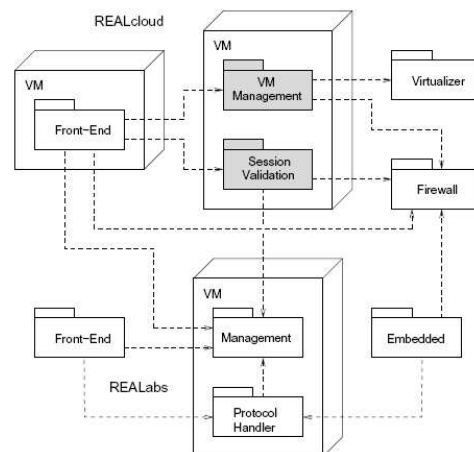


Fig.1 Modelo UML da Plataforma REAL Cloud.

Cloud Computing [7] é um modelo de computação distribuída que deriva características da Computação em Grades, no que diz respeito à provisão de informação sob demanda para múltiplos usuários concorrentes. Um domínio oferece aplicações na Cloud sem se preocupar sobre onde os serviços estão sediados ou como eles são oferecidos.

Fatias do poder computacional dos nós da rede são disponibilizadas, reduzindo os custos para fornecer uma infraestrutura de *hardware* interna para prover os serviços. Os recursos são cedidos apenas durante o período de uso, reduzindo o consumo de energia quando a interação não for mais necessária.

A virtualização fornece a tecnologia de base para muitas soluções de *Cloud Computing*. Além disso, em muitas soluções de Cloud são oferecidos ambientes onde os usuários são capazes de escolher seus recursos virtualizados como linguagem de programação, sistema operacional e outros serviços personalizados. Os principais benefícios são a redução dos custos de investimento em infraestrutura, dos custos operacionais e a escalabilidade para a provisão de serviços sob demanda [8].

O modelo da plataforma REAL Cloud também contempla o uso de entidades federadas. Uma federação representa um conjunto de organizações que cooperam entre si de acordo com regras de confiança pré-estabelecidas para a autenticação de usuários e compartilhamento de recursos. Uma solução de federação é considerada desejável quando organizações crescem com a aquisição de novos sites, para a manutenção distribuída de repositórios e para simplificar a autenticação e autorização de usuários a recursos e aplicações entre domínios parceiros.

5. Resultados

Atualmente existe uma implementação do modelo da plataforma REAL Cloud federada com outros três Web Labs de experimentação robótica. Esperamos estender a descrição dos recursos nesses ambientes com o uso de representações sensíveis ao contexto de políticas do usuário no domínio.

A pesquisa também contempla o desenvolvimento de aplicações distribuídas no ambiente da nuvem. Uma descrição formal para a submissão de processos com qualidade de serviço (QoS) por meio de workflows foi elaborada e está em processo de avaliação.

6. Conclusões

Este artigo aborda uma sucinta descrição de uma proposta de modelo federado em Cloud com suporte para aplicações robóticas educacionais. As principais contribuições da pesquisa são: explicação sistemática dos requisitos necessários para uma infraestrutura de Cloud em robótica; redução da complexidade da instrumentação remota com o uso de virtualização; estudo de alternativas para a integração de Web Labs virtualizados.

A virtualização em robótica é um recurso para ampliar a disponibilização de infraestruturas complexas, mas também concorre para promover a colaboração entre os estudantes, sendo uma importante temática que guia essa pesquisa. O suporte à federação entre domínios é um mecanismo de suporte para a integração segura de recursos robóticos entre institutos de pesquisa, além de auxiliar na validação da autenticidade das entidades parceiras.

Referências

- [1] E. Cardozo, E. Guimarães, L. Agostinho, R. Souza, F. Paolieri, F. Pinho, "A Platform for Networked Robotics", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010.
- [2] A. Carissimi. "Virtualização: da teoria a soluções". Mini-curso. XXVI Simpósio Brasileiro em Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos – SBRC 2008.
- [3] D. A. Menascé: "Virtualization: Concepts, Applications, and Performance Modeling". Int. CMG Conference 2005: 407-414.
- [5] T. P. Endo, G. E. Gonçalves, J. Kelner, D. Sadok. "A survey on open-source cloud computing solutions". XXVIII SBRC 2010 - VIII WCGA, 2010.
- [6] Guizzo, E. "Cloud Robotics: Connected to the Cloud, Robots Get Smarter". Available at:<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-software/cloud-robotics>, 2011.
- [7] L. M. Vaquero, L. R. C. J. Merino, M. Lindner. "A Break in the Clouds: towards a Cloud Definition". ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008.
- [8] F. Verdi, C. E. Rothenberg, R. Pasquini, and M. F. Magalhães. Novas Arquiteturas de Data Center para Cloud Computing. XXVIII SBRC 2010.