

Integração de Gêmeos Digitais a SDNs com Aplicações ONOS

Gabriela S. Do Carmo, Lucas B. Oliveira e Antonio J. G. Abelem

Resumo— Resumo— O estudo explora o desenvolvimento de uma aplicação para gerenciar redes de computadores utilizando Redes Definidas por Software (SDN) e Gêmeos Digitais devido à crescente complexidade das redes, a manutenção e gerência eficazes são desafiadoras. E dessa forma gerar representações virtuais em tempo real do ambiente físico, permitindo monitorar, controlar e otimizar processos. É destacada uma arquitetura modular e a interoperabilidade entre plataformas de gêmeos digitais e controladores SDN. A expectativa é evoluir de um modelo digital inicial para uma "sombra digital" e, eventualmente, um gêmeo digital completo, representando fluxos e regras de rede de maneira contínua e dinâmica.

Palavras-Chave— Gêmeo Digital, Redes SDN, controlador SDN, ONOS

Abstract— The study explores the development of a application to manage computer networks using Software Defined Networks (SDN) and Digital Twins. Due to the increasing complexity of networks, effective maintenance and management is challenging. This way it can generate real-time virtual representations of the physical environment, allowing to monitor, control and optimize processes. A modular architecture and interoperability between digital twin platforms and SDN controllers are highlighted. The expectation is to evolve from an initial digital model to a "digital shadow" and eventually a complete digital twin, representing network flows and rules in a continuous and dynamic way.

Keywords— Digital Twin, SDN, Controller, ONOS.

I. INTRODUÇÃO

A separação em plano de dados e plano de controle, impulsionada pelo paradigma das Redes Definidas por Software (Software-Defined Networking - SDN), possibilita automatizar diversas ações antes realizadas manualmente na rede por meio de softwares, facilitando a operação unificada das infraestruturas, diminuindo a complexidade e aumentando a flexibilidade, além de reduzir custos e evitar erros humanos [1]. Tais características oferecem o suporte necessário para diversos cenários complexos (como computação em nuvem, Internet das Coisas -IoT- e redes celulares 5G e 6G), uma vez que exigem redes capazes de se adaptar dinamicamente às necessidades de transmissão de grande quantidade de dados, baixa latência, resiliência e disponibilidade [2].

Diante da necessidade de alta disponibilidade, agilidade e confiabilidade, a complexidade dos ambientes de rede vem aumentando. Assim, a manutenção e gerência dessas redes tornam-se desafiadoras e precisam ser bem planejadas e assertivas [3]. Sendo assim, por segurança, é necessário que toda e qualquer alteração seja previamente testada em um sistema que dê apoio à tomada de decisão e garanta a disponibilidade da rede. Nessa direção, o conceito de gêmeos digitais emerge, tornando-se alvo de investigação e sendo utilizado nos últimos anos, tanto na academia como na indústria [2].

Capaz de representar virtualmente em tempo real o ambiente físico, com o gêmeo digital é possível monitorar, controlar, e otimizar processos e funções por meio de tomadas de decisão inteligentes [4].

Dessa forma, ao relacionar esses temas ao desenvolver uma aplicação que interage com o controlador SDN enquanto solicita as informações da rede para este, busca-se reduzir custos, melhorar a tomada de decisão e torná-la mais segura. O trabalho a seguir tem por objetivo descrever quais as características necessárias para aplicação da técnica em SDNs, passando pelo entendimento do que é, sua arquitetura e o que é fundamental na construção de um gêmeo digital de uma SDN. Assim como o desenvolvimento de uma aplicação que auxilia na geração do gêmeo digital ao recolher informações-chave na constituição de uma rede.

II. GÊMEOS DIGITAIS E REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE

O gêmeo digital pode ser definido como uma instância virtual de um objeto, seja ele físico ou virtual, que é continuamente atualizada com os dados de desempenho, manutenção e estado de saúde do mesmo em todo o ciclo de vida do sistema físico [5]. Porém, vai além, pois se torna um sistema que propõe evolução sincronizada e contínua, acompanhando o objeto "real" em seu comportamento. Este se diferencia do modelo digital, que é a instância virtualizada de apenas um estado do objeto, e; da "sombra digital", que é a instância virtualizada e atualizada constantemente, porém sem a transmissão das mudanças desta para o objeto real.

A SDN é uma abordagem para projetar, gerenciar e controlar redes de computadores, que transfere a funcionalidade de controle para uma entidade de rede externa baseada em software, o controlador SDN[6].

Essa estrutura permite que o desenvolvedor controle os elementos de encaminhamento de pacotes presentes no dispositivo e desenvolva aplicações que façam a gestão desses entes.

Os elementos componentes da SDN, e que por consequência são elementos-chave para a produção de um gêmeo digital de SDN. São: (i) Elementos de comutação programáveis: Comutadores físico; (ii) Divisores de recursos/visões: Poder associar um processamento complexo, determinado fluxo; (iii) Controlador: Elemento age como um sistema operacional para a rede, provê o controle direto dos dispositivos de rede ao oferecer uma interface mais eficiente para os desenvolvedores e isolando os detalhes de cada componente; (iv) Aplicações de rede: As aplicações são os softwares desenvolvidos para criar funcionalidades a serem executadas sobre a rede física[7].

Considerando que o principal objetivo dos Gêmeos digitais é criar modelos virtuais de alta fidelidade, guardado o nível de abstração desejado, para reproduzir verdadeiramente as propriedades dos entes das SDN, modelos virtuais e objetos físicos devem manter aparências semelhantes (como irmãos gêmeos) e o mesmo padrão de comportamento (como imagens espelhadas). Como é dito em [8], com a comunicação Virtual-Física e Física-Virtual, tanto o objeto físico quanto o modelo virtual evoluem juntos.

III. IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

Para a implementação, foi configurado um ambiente de desenvolvimento utilizando o *VirtualBox* para criar uma máquina virtual onde foram empregadas diversas ferramentas, que incluem o Java Development Kit (JDK 11), visto que o controlador ONOS 2.5.9 (Open Network Operating System) é escrito em Java, e o Apache Maven 3.8.6, para gerenciamento de dependências e construção do projeto. Paralelo a isso, o estudo da documentação e código-fonte do ONOS, a fim de entender seus *endpoints* e parâmetros de entrada e saída. E então foram utilizadas funções, que relacionam os objetos de interesse, já estabelecidas no código-fonte do controlador.

A. Módulo de Busca

1) *Dispositivos*: Este interage com o núcleo ONOS para descobrir a lista de dispositivos disponíveis na rede. Além disso, utiliza o código de identificação do dispositivo, o ID, para recuperar informações como, tipo de dispositivo, qual o Hardware e Software, número do chassi e fabricante. Complementando ainda com informações das portas e suas estatísticas, a fim de ter conhecimentos quais estão sendo usadas ou disponíveis.

2) *Enlace*: Este é utilizado para buscar a lista de enlaces disponíveis na rede. Utilizando os pontos de conexão, informação dupla, ponto de conexão de origem e destino, cada um contendo ID do dispositivo e porta utilizada, como código de identificação. Com o auxílio deste código faz a busca de informações como tipo de enlace, qual o ponto de conexão fonte, qual o ponto de conexão de destino e estado do enlace.

3) *Hospedeiro ou Host*: Quanto aos *hosts*, a aplicação busca a lista de *hosts* disponíveis na rede e busca pelo ID dos *hosts* as informações deste ente na rede, como ponto de conexão em que ele se conecta à rede, MAC e endereço de IP.

B. Módulo de Retorno

Após cada módulo de busca, as informações de cada componente da rede são disponibilizadas para requisição em *endpoint* no formato .JSON, além de serem disponibilizadas no *prompt* de comando.

Como ilustrado na figura III-B, o comportamento obtido ao testar a aplicação em um ambiente de simulação utilizando o emulador de rede *Mininet* com uma topologia de três dispositivos de rede e seis *host* é o retorno dos dados citados acima a partir do funcionamento da lógica implementada.

O projeto está em andamento e até o momento foram implementadas rotinas que tem como objetivo capturar os dados

```

17:36:29.187 INFO [DtwInWebResource] Link Id: of:0000000000000001-1-of:000000000000002/1
17:36:29.187 INFO [DtwInWebResource] Type: DIRECT
17:36:29.188 INFO [DtwInWebResource] Source: of:0000000000000001/1
17:36:29.188 INFO [DtwInWebResource] Destination: of:0000000000000002/1
17:36:29.189 INFO [DtwInWebResource] State: ACTIVE
17:36:29.189 INFO [DtwInWebResource] Link
17:36:29.113 INFO [DtwInWebResource] Host Id: 66:4F:29:E6:6B:5A/None
17:36:29.116 INFO [DtwInWebResource] MAC: 66:4F:29:E6:6B:5A
17:36:29.117 INFO [DtwInWebResource] IP Address: [10.0.0.5, fe80::644f:29ff:fee6:6b5a]
17:36:29.118 INFO [DtwInWebResource] Location: of:0000000000000002/1
17:36:29.118 INFO [DtwInWebResource] Host
17:36:29.119 INFO [DtwInWebResource] Host Id: DE:22:88:4F:A4:C5/None
17:36:29.119 INFO [DtwInWebResource] MAC: DE:22:88:4F:A4:C5
17:36:29.119 INFO [DtwInWebResource] IP Address: [fe80::dc22:88ff:fe4f:a4c5, 10.0.0.2]
17:36:29.119 INFO [DtwInWebResource] Location: of:0000000000000002/1
    
```

Fig. 1. Retorno das informações dos *links* e *hosts* no *prompt* de comando

que individualizam cada componente da rede, disponibilizá-los para requisições contínuas em um ponto de acesso e assim instaurar a comunicação Física - Virtual.

IV. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento de uma aplicação para o ONOS é um processo meticuloso que envolve várias etapas, desde o planejamento até a implementação e testes. Uma arquitetura modular e bem planejada é crucial para garantir a eficiência e a escalabilidade da aplicação.

Para além disso, a análise preliminar destaca a importância da interoperabilidade entre as plataformas de Gêmeo Digital e os controladores SDN. Com a progressão do projeto, a aplicação evoluirá de uma solução que disponibiliza as informações para requisições, permitindo que estas sejam contínuas e avance como um auxiliar na formação do Gêmeo digital. Dessa forma, os resultados preliminares obtidos demonstram que a solução acessa o ONOS e consegue retornar as informações necessárias para a formação do Gêmeo Digital, tendo em mente que os diferentes sistemas se comunicam entre si para trocar informações de forma estruturada.

Como trabalhos futuros pretende-se concluir o desenvolvimento da aplicação, com o objetivo obter a comunicação Virtual-Física entre os ambientes. Assim como a realização de testes de desempenho, com o intuito de avaliar o comportamento da aplicação sob carga, verificando latência, *throughput* e resiliência, incluindo testes em Ambiente Real, ao implementar a aplicação em um ambiente de teste que simula as condições reais de operação.

REFERÊNCIAS

- [1] F. N. Farias, A. d. O. Junior, L. B. da Costa, B. A. Pinheiro, and A. J. Abelém, "vsdnemul: A software-defined network emulator based on container virtualization," *arXiv preprint arXiv:1908.10980*, 2019.
- [2] A. Fuller, Z. Fan, C. Day, and C. Barlow, "Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research," *IEEE access*, vol. 8, pp. 108952–108971, 2020.
- [3] E. VanDerHorn and S. Mahadevan, "Digital twin: Generalization, characterization and implementation," *Decision Support Systems*, vol. 145, p. 113524, 2021.
- [4] L. B. D. OLIVEIRA, "Gerenciamento dinâmico de redes definidas por software por meio de gêmeos digitais," 2023.
- [5] A. M. Madni, C. C. Madni, and S. D. Lucero, "Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering," *Systems*, vol. 7, no. 1, 2019.
- [6] K. Poularakis, L. Tassioulas, and T. Lakshman, *Modeling and Optimization in Software-Defined Networks*. Springer Nature, 2022.
- [7] D. Guedes, L. Vieira, M. Vieira, H. Rodrigues, and R. Nunes, *Redes Definidas por Software: uma abordagem sistêmica para o desenvolvimento de pesquisas em Redes de Computadores*. 11 2014.
- [8] Y. Wu, K. Zhang, and Y. Zhang, "Digital twin networks: A survey," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 18, pp. 13789–13804, 2021.